مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

فیلم زیست‌تخریب پذیر برپایه موسیلاژ گل پنیرک اصلاح شده با شیرین بیان و نانو ذرات سولفات مس: بررسی خواص فیزیکوشیمیایی

اکرم خاکپور[۱*]، محمود رضازاد باری[۲]، سجاد پیرسا[۳]، فاطمه خاکپور[۴]

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

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

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

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۶

کلمات کلیدی:

فیلم خوراکی،

موسیلاژ،

شیرین‌بیان،

نانوذرات سولفات مس

DOI: 10.22034/FSCT.20.145. 226

* مسئول مکاتبات:

sevdakhakpour1@gmail.com

چکیده

هدف از این پژوهش، تولید فیلم از موسیلاژ گل پنیرک اصلاح شده با شیرین‌بیان ۰، ۳، ۶ ٪ (وزنی/ وزنی) و نانوذرات سولفات مس ۰، ۲، ٤ ٪ (وزنی/ وزنی) بود. برای مطالعه خواص ضخامت، رطوبت، حلالیت، نفوذپذیری به بخار آب، رنگی و خواص مکانیکی فیلم‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش شیرین‌بیان و نانوذرات سولفات مس، میزان ضخامت فیلم افزایش می‌یابد. رطوبت، نفوذپذیری بخار آب و حلالیت فیلم با افزایش نانوذرات سولفات مس کاهش و با افزایش شیرین‌بیان افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت شیرین–بیان، شاخص‌های رنگی a^* افزایش یافته و روشنایی لایه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. نتایج بافت مکانیکی نشان داد که با افزایش شیرین‌بیان و نانوذرات سولفات مس، مقاومت کششی کاهش و افزایش نانوذرات سولفات مس ازدیاد طول در نقطه شکست به طور چشمگیری افزایش یافت. نتیجه‌گیری: افزودن ریشه شیرین‌بیان و نانوذرات سولفات مس به فیلم‌های خوراکی بر پایه موسیلاژ گل پنیرک سبب بهبود ضخامت و ازدیاد طول در نقطه شکست فیلم‌ها، همچنین موجب تضعیف مقاومت کششی، رطوبت، نفوذپذیری به بخار آب و روشنایی گردید.

۱- مقدمه

امروزه، افزایش زباله‌های تجزیه‌ناپذیر و مشکلات بازیافت مواد بسته‌بندی مصنوعی، محققان را بر آن داشته است تا تلاش‌های بیشتری را برای دستیابی به مواد زیست تخریب پذیر مناسب برای بسته‌بندی انجام دهند [۱]. استفاده از فیلم‌های قابل تجزیه زیستی می‌تواند مشکلات دفع زباله را کاهش دهد. تکرارپذیری و خوراکی بودن این فیلم‌ها آن‌ها را برای بسته‌بندی‌های غذایی و غیر خوراکی مناسب می‌کند. فیلم‌های خوراکی و پوشش‌ها می‌توانند از آلودگی میکروبی ناشی از فساد مواد غذایی جلوگیری کنند. علاوه بر این، نانومواد و افزودنی‌های غذایی مانند مواد غذایی مورد علاقه، آنتی‌اکسیدان‌های ضدمیکروبی و رنگ‌ها را می‌توان برای گسترش کاربرد آن‌ها به مواد غذایی اضافه کرد [۲]. موسیلاژ ماده‌ای است آبدوست، یعنی یا محلول یا متورم در آب است. موسیلاژها در قسمت‌های مختلف گیاهان مانند سلول‌های برگ، پوشش بذر، ریشه، پوست و اجزای میانی گیاهان به وفور یافت می‌شوند. بنابراین، موسیلاژ طبیعی به دلیل در دسترس بودن آسان، زیست سازگاری، هزینه کم، غیر سمی بودن و کمترین تحریک‌پذیری طیف وسیعی از پذیرش را دارد و بنابراین بیشتر از مصنوعی ترجیح داده می‌شود [۳]. برگ‌های گیاه پنیرک سرشار از انرژی بوده و حاوی کربوهیدرات، پروتئین، قندهای کاهنده وچربی می‌باشد. فعالیت بیولوژیکی برگ این گیاه می‌تواند به علت وجود ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند: ترکیبات فنولی، ویتامین‌های C ، E و A کاروتنوئیدها، موسیلاژ(لعاب نباتی)، کومارین‌ها، ترپنوئیدها و رنگدانه‌ها باشد ماده مؤثر موجود در گل و برگ گیاه پنیرک را موسیلاژ تشکیل می‌دهد موسیلاژها کربوهیدرات‌هایی با ساختمان شیمیایی بسیار پیچیده و با وزن مولکولی بالا هستند. این مواد مخلوط‌های آمورف (بی‌شکل) پلی‌ساکاریدی هستند که همراه آب ماده لزج و چسبناکی را به وجود می‌آورند این مواد در آب سرد باد می‌کنند و ماده ژل‌های تشکیل می‌دهنریشه شیرین‌بیان دارای ترکیبات متعددی نظیر قندهای مختلف (تا ۱۸ درصد)، فلاوونوئیدها، استرول‌ها، اسیدهای آمینه، صمغ و نشاسته، اسانس‌های روغنی ساپونین‌ها می‌باشد. عمده‌ترین ساپونین (تری ترپن ۵ حلقه‌ای) آن اسید گلیسریزیک یا گلیسریزین به فرمول C42H62O می‌باشد دو واحد گلوکورونیک و یک مولکول اسید گلیسرتنیک (آگلیکون) تشکیل شده است. ریشه و ریزوم این گیاه حدود ۴۰۰۰ سال است که استفاده دارویی دارند و در فارماکوپه کشورهای نظیر آمریکا، چین و سایر کشورها ثبت شده است. از شیرین‌بیان در طب سنتی آسیا و اروپا برای درمان گاستریت، عفونت‌های تنفسی و زخم‌های پپتیک استفاده می‌شود. در طب سنتی چین نیز در درمان هپاتیت، رشد تومور و بیماری‌های قلبی کاربرد دارد. در طب سنتی ایران نیز گیاه شیرین‌بیان به عنوان درمان ورم معده و ضدسرفه استفاده می‌شد. گلیسریزنیک اسید با توانایی مهار باکتری هلیکوپیلوری، در درمان زخم معده، مشکلات مخاطی معده و کاهش اسید معده موثر است [٤]. شیرین‌بیان بر سیستم غدد درون‌ریز بدن نیز تاثیرگذار است و مصرف آن ممکن است مقدار تستوسترون خون را کاهش دهد. خواص ضدسرطانی نیز برای این گیاه گزارش شده است [٥]. نانوتکنولوژی یکی از مهم‌ترین و سریع‌ترین بخش‌های فناوری پیشرفته است. محصولات حاوی نانوذرات می‌توانند در کاربردهای مختلف صنعتی، پزشکی، شخصی و نظامی استفاده شوند. نانوکامپوزیت یک ماده مرکب است که حداقل یکی از فازهای آن ابعادی در مقیاس نانو دارد (بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) [٦]. 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 [۷]. نانوکامپوزیت‌ها پلیمرهایی هستند که در آن‌ها از ترکیبات آلی یا غیرآلی مختلفی با اشکال مختلف صفحه‌ای و کروی، در ابعاد نانو به عنوان پرکننده استفاده می‌شود. فیلم‌های حاصل از ترکیب نانومواد و زیست پلیمری و یا به اصطلاح نانوکامپوزیت‌های زیست پلیمر، خواص کاربردی مطلوب‌تری از خود نشان می‌دهند که مهم‌ترین آن‌ها افزایش مقاومت مکانیکی و کاهش نفوذپذیری نسبت به بخار آب است. افزایش بازدارندگی در برابر نفوذ گازها، افزایش کارایی فیلم به عنوان بسته‌بندی فعال، افزایش مقاومت حرارت ماده بسته-بندی، ایجاد شفافیت و بهبود خواص ظاهری فیلم از دیگر مزایای نانوکامپوریت‌های زیست پلیمری است. نمک‌های فلزی مانند کرم، آهن و مس نه تنها باعث تنوع رنگ در رنگرزی می‌شوند، بلکه ثبات نوری و شستشویی بسیاری از مواد رنگزای مستقیم را بهبود می‌بخشند. تحقیقات زیادی در اصلاح ثبات نوری مواد رنگزای مستقیم بر روی منسوجات انجام شده است و استفاده از نمک‌های فلزی از جمله سولفات مس از اهمیت تجاری بسیاری برخورداراست. علاوه بر این، سولفات مس به عنوان ماده ضدعفونی کننده در مقابل عفونت‌های قارچی و درمان عفونت‌های باکتریایی مورد استفاده قرار می گیرد [۸]. مطابق بررسی‌های صورت گرفته، تاکنون تحقیقی در مورد تأثیر ریشه شیرین-بیان و نانوذرات سولفات مس بر فیلم‌های خوراکی تهیه شده از موسیلاژ گل پنیرک صورت نگرفته است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر ریشه شیرین‌بیان و نانوذرات سولفات مس در غلظت‌های مختلف بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی فیلم‌های خوراکی تهیه شده بر پایه موسیلاژ گل پنیرک می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

موسیلاژ با استفاده از گل پنیرک اصلاح شده استخراج شده، نانوذرات سولفات مس با درصد خلوص ۹۹ درصد و شیرین‌بیان خریداری شد. مورد استفاده قرار گرفت. نیترات سدیم، متانول ۹۹ درصد، گلیسرول، سیلیکاژل و سایر ترکیبات و محلول های شیمیایی از شرکت مرک (آلمان) و سیگما-آلدریج (آمریکا) تهیه شده و بدون خالص سازی مجدد مورد استفاده قرار گرفتند.

۲-۲- روش آماده‌سازی موسیلاژ از گل پنیرک

گل پنیرک به نسبت ۱ به ۲۰ با آب مقطر مخلوط و ابتدا در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در معرض اولتراسوند قرار داده شد و سپس به مدت ۲ ساعت روی همزن مغناطیسی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس کل محتویات از فیلتر پارچه‌ای عبور داده شد. گل‌های باقیمانده روی فیلتر پارچه‌ای دوباره با نسبت کمتری آب مقطر مخلوط شد و پس از یک ۱ ساعت هم‌زدن، از فیلتر پارچه-ای عبور داده شد. سپس مخلوط حاصل از مرحله قبل به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. موسیلاژ حاصل از مرحله قبل با استفاده از آون در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و در کیسه زیپ-دار نگه‌داری شد [۹].

۲-۳- تهیه فیلم کامپوزیت

ابتدا ۲ گرم موسیلاژ گل پنیرک را درون ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر با استفاده از همزن مغناطیسی با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد و سرعت ۵۰۰ rpm همزده شد. درصدهای مختلفی از نانوذرات سولفات مس (۰، ۲، ۴ ٪) و ریشه شیرین‌بیان (۰، ۳، ۶ ٪) در ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و به محلول موسیلاژ گل پنیرک اضافه شد. پس از افزودن ۱۰٪ گلیسرول به محلول، با استفاده از محلول NaOH، pH

روی ۷/۵ تنظیم شد. محلول داخل فالکون ریخته و سانتریفوژ شد. محلول رویی حاصله را داخل پلیت ریخته و پس از گذشت ٤٨ ساعت در دمای اتاق فیلم‌ها خشک شد، سپس جدا شد و در کیسه‌های زیپ دار نگهداری شد [۱۰].

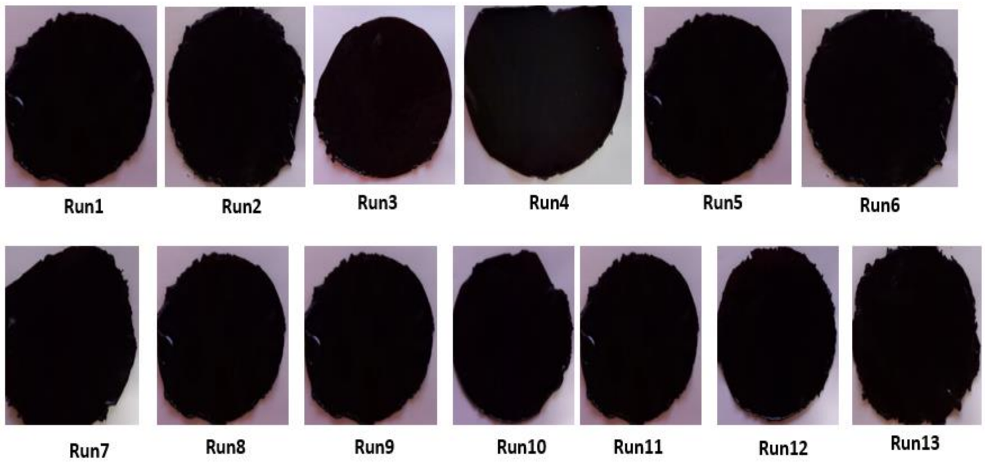


Fig 1: An image of the prepared films

۲-٤- خصوصیات فیلم

۲-٤-۱- ضخامت

ضخامت فیلم‌های تهیه شده با استفاده از میکرومتر دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. حداقل پنج نقطه مختلف در هر فیلم اندازه‌گیری شد و میانگین اعداد به‌دست‌آمده گزارش شد و در آزمایش‌های مختلف استفاده شد.

۲-٤-۲- رطوبت

برای بررسی رطوبت، ابتدا فیلم‌ها را به ابعاد ۳×۳ سانتی متر مربع برش داده و (ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم، Sartoriآلمان) (وزن اولیه) وزن کرده و به مدت ۲٤ ساعت در خشک کن حاوی سیلیکا ژل قرار دادند. سپس فیلم‌ها مجدداً توزین شدند (وزن نهایی). سپس با استفاده از رابطه زیر مقدار رطوبت به دست آمد [۱۰].

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

که در آن Wi وزن اولیه و Wf وزن نهایی است

۲-٤-۳- حلالیت

برای اندازه‌گیری میزان حلالیت در آب، نخست هر نمونه فیلم (3×3 cm^2) توزینگردید و درون دیسیکاتور قرار داده شد و سپس به دقت توسط ترازوی دیجیتال توزین شد. سپس فیلم‌ها را به مدت ٦ ساعت درون بشری که ٥۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه در آن ریخته شده بود و هر ۲۰ دقیقه یکبار به آرامی هم زده شد و سپس محلول توسط صافی صاف گردید. در مرحله بعد کاغذ صافی همراه با فیلم، به مدت ۲٤ ساعت درون آون ٤۰ درجه‌ی سانتیگراد نگهداری گردید و مجددا توزین شد [۱۰].

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

که در آن M1 وزن اولیه نمونه و M2 وزن نمونه پس از خشک شدن است.

۲-٤-٤- نفوذپذیری نسبت به بخار آب (WVP)[1]

نفوذپذیری به عنوان عبور مولکول‌ها از طریق فیلم تعریف می‌شود و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و گرادیان رطوبت نسبی ۵۰٪ طبق روش ASTM E96-05 اندازه‌گیری شد. فیلم‌های با ضخامت خاص در رطوبت نسبی ۵۰ درصد و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت قبل از آزمایش قرار گرفتند. ویال به قطر ۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر که دارای سوراخی به قطر ۸ میلی‌متر، برای اندازه-گیری نفوذپذیری به بخار آب استفاده شد. برای این منظور ۳ گرم سولفات کلسیم را در ظروف وزن کردند تا رطوبت از بین برود و سپس یک قطعه فیلم داخل درب قرار داده و روی ویال بسته شد. ۱ لیتر آب مقطر در دمای ۲۳ درجه سانتیگراد و سپس ظروف هر ٢٤ ساعت به مدت یک هفته توزین شدند. WVP بر اساس موارد زیر محاسبه شد [۱۰].

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

که WVTR سرعت انتقال بخار آب ثابت (g/m².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٪) می-باشد.

۲-٤-۵- ویژگی‌های رنگی

پارامترهای رنگ (L, a,b) با استفاده از سیستم آزمایشگاه (Colorimeter Minolte CR-400) اندازه گیری شد [۱۱]. به منظور کالیبره کردن دستگاه، از یک صفحه سفید استاندارد برای اندازه‌گیری رنگ فیلم‌ها استفاده شد. فاکتورهای تعیین شده در این دستگاه شامل روشنایی L یا فیلم (۰ تا ۱۰۰)، a سبز-قرمز (۸۰- تا ۱۰۰) و b زرد آبی (۸۰- تا ۷۰) می باشد [۱۰].

1. Water vapor Permeability

۲-٤-٦- خواص مکانیکی

تست کشش با دستگاه آنالیز بافت انجام شد. نیروی ۲۰۰ نیوتن، فاصله بین دو فک دستگاه ٤۰ میلی‌متر و سرعت حرکت ۵۰ میلی‌متر در دقیقه بود. سپس خواص کششی لایه‌ها شامل استحکام کششی (TS)[2] و درصد کشیدگی در نقطه گسیختگی (%E) بر اساس روش استاندارد ASTM D882-12 مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۰].

۲-۵- مطالعه آماری

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

Table 1: Table of prepared films

2. Tensile strength

Film	A: CuSO4 NP (%)	B: licorice (٪)
F1	2	3
F2	4	6
F3	0	0
F4	0	6
F5	2	3
F6	4	3
F7	2	0
F8	2	3
F9	2	3
F10	0	3
F11	2	3
F12	4	0
F13	2	6

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ضخامت

ضخامت از فاکتورهای مهم فیلم‌های خوراکی است به طور مستقیم روی ویژگی‌های بیولوژیکی و ماندگاری محصول بسته‌بندی تاثیر می‌گذارد ضخامت در فیلم‌های بسته‌بندی خواص مکانیکی و نفوذپدیری به گازهای مختلف را تحت تاثیر قرار می‌دهد و از این جهت بسیار مهم می‌باشد. با توجه به شکل (۳-۱) با افزایش شیرین‌بیان تا (٦٪) و نانوذرات سولفات مس تا (٤٪) ضخامت بطور معنی‌داری (p<۰/۰۵) افزایش یافت. مقادیر میانگین کلی ضخامت فیلم ۰/۲-۰/۳ میلی‌متر می‌باشد. علت افزایش ضخامت فیلم‌ها با افزودن شیرین‌بیان و نانوذرات سولفات مس، افزایش ماده خشک فیلم‌ها و همچنین جذب آب در ناحیه تک لایه توسط این ترکیب هیدروکلوئیدی می‌باشد، به طوریکه هنگام خشک کردن رطوبت کمتری از فیلم‌ها خارج می‌گردد و مجموع این تغییرات سبب افزایش ضخامت فیلم‌های تولیدی می‌گردد[۱۳]. که با نتایج داواچی و همکاران مطابقت دارد [١٤].

Thickness (mm)= 0.277 +0.016 * A +0.021 * B +0.006 *A*B +0.008 * A^2 +0.003 *B^2
(R^2 =0.977 ; AdjR^2 =0.961)
A: CuSO4 B: Licorice

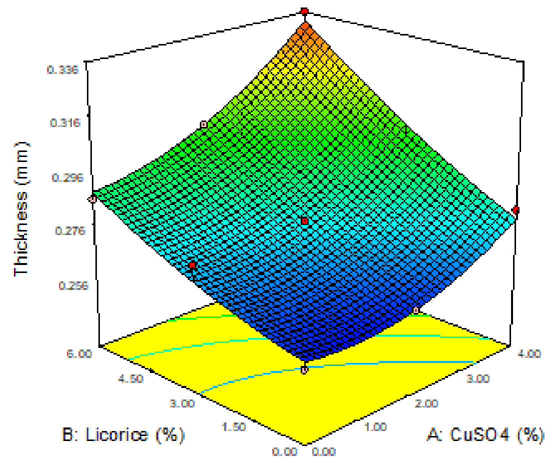


Figure 3-1: Three-dimensional figure of the thickness of the mucilage film of the flower modified with licorice and copper sulfate nanoparticles.

۳-۲- رطوبت

اثر شیرین‌بیان و نانوذرات سولفات مس بر رطوبت در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. معادله ریاضی (۲) رابطه بین متغیرهای مستقل و ضرایب رطوبت و رگرسیون را نشان می‌دهد. حلالیت نشان‌دهنده مقاومت لایه‌ها در برابر آب است و عامل مهمی برای پلیمرهای مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی با فعالیت آبی بالا یا زمانی که لایه‌ها در تماس مستقیم با آب هستند و همچنین در فیلم‌هایی که به عنوان نگهدارنده مواد غذایی عمل می‌کنند به طور کلی تأثیر مواد افزودنی بر حلالیت فیلم‌ها به نوع، غلظت، آب گریزی و شاخص‌های آب دوستی آن‌ها بستگی دارد و انتظار می‌رود که ترکیبات آبدوست حلالیت فیلم‌ها و ترکیبات آبی را افزایش دهند. [۱۵]. پلیمر مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی باید تا حد امکان در برابر رطوبت مقاوم باشد تا از بروز خواص نامطلوب ناشی از نفوذ رطوبت به مواد غذایی جلوگیری شود. مطابق شکل (۲-۳) با افزایش شیرین‌بیان، رطوبت به طور معنی‌داری ($p<0/05$) افزایش یافت اما با افزایش نانوذرات سولفات مس، رطوبت به طور معنی‌داری کاهش یافت. میزان جذب رطوبت به مقدار فضاهای خالی موجود برای نفوذ مولکول های آب و درجه آب دوستی پلیمر بستگی دارد. شیرین‌بیان به طور طبیعی آب دوست هستند و میزان جذب رطوبت را در فیلم افزایش می‌دهند [۱۶]. آن‌ها در ساختار خود دارای گروه‌های هیدروکسیل هستند و بنابراین جزء مواد آبدوست محسوب می‌شوند. ایجاد پیوندهای هیدروژنی قوی بین پنیرک، ساختار بسیار فشرده و محکمی را ایجاد می‌کند که جذب و نفوذ مولکول‌های آب به این ساختار را محدود می‌کند. 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 سه بعدی محتوای رطوبت فیلم، شیرین‌بیان رطوبت فیلم را افزایش می‌دهد، اما نانوذرات سولفات مس باعث کاهش رطوبت فیلم می‌شود. نانوذرات سولفات مس با ایجاد نیروهای الکترواستاتیک از طریق اتم‌های اکسیژن، گروه‌های H^+و OH^-را با زنجیره پنیرک درگیر کرده و ورود مولکول‌های H_2O را به ساختار پلیمری مسدود می‌کنند. رطوبت را کاهش می‌دهد. همچنین با قرار دادن نانوذرات سولفات مس در فضاهای خالی فیلم، فضاهای مورد نیاز برای قرارگیری مولکول‌های آب را کاهش می‌دهند. به دلیل خاصیت ژل-کنندگی شیرین‌بیان و قابلیت جذب آب آن، با افزودن شیرین‌بیان، فیلم توانایی جذب و حفظ آب در ساختار خود را افزایش می‌دهد [۱۷]. با نتایج نفتچی و همکاران مطابقت دارد [۱۸].

Moisture (%)= 18.83 -7.52 *A +3.16 *B
(R^2 =0.807 ; AdjR^2 =0.769)

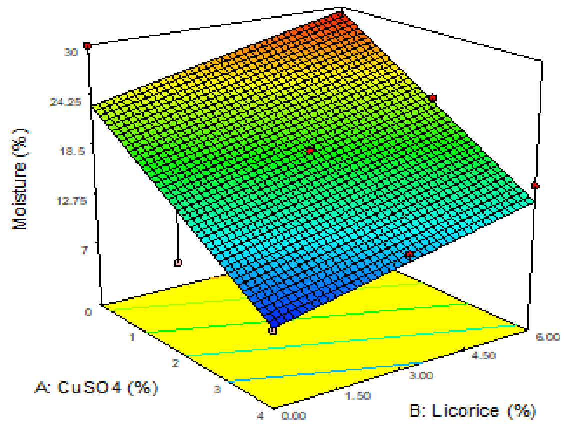


Figure 3-2: The three-dimensional shape of the moisture content of the mucilage film of the flower modified with licorice and copper sulfate nanoparticle.

۳-۳ حلالیت

تأثیر درصد شیرین‌بیان و نانوذرات سولفات مس بر حلالیت در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. معادله ریاضی (۳) رابطه بین متغیرهای مستقل و ضرایب حلالیت و رگرسیون را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، حلالیت در آب یک عامل مهم در تعریف کاربردهای احتمالی برای فیلم‌های بیوپلیمر کامپوزیتی و بسته‌بندی مواد غذایی است. بیشتر پلیمرهای زیستی در حالت طبیعی خود به رطوبت حساس و محلول در آب هستند که با روش‌های مختلفی مانند گنجاندن اجزای چربی از منابع غذایی در فیلم، کامپوزیت پروتئین/چربی و استفاده از نانوذرات با ایجاد پیوندهای عرضی می‌توان این رطوبت را کاهش داد. حلالیت کم در آب یک ویژگی مطلوب برای بسته‌بندی مواد غذایی است. زیرا فیلم‌های بسته‌بندی با چنین ویژگی‌هایی می‌توانند در برابر شرایط با رطوبت بالا مقاوم باشند. مطابق شکل (۳-۳) با افزایش شیرین‌بیان، حلالیت به طور معنی‌داری افزایش یافت، اما با افزایش سولفات مس، حلالیت فیلم ابتدا افزایش و سپس به طور معنی داری $(p<0.05)$ کاهش یافت. همانطور که از نتایج مشاهده می‌شود، حلالیت لایه‌های نانوکامپوزیتی با افزایش شیرین‌بیان و کاهش سولفات مس افزایش می‌یابد. از آنجایی که موسیلاژ آبدوست است، در آب محلول است. شیرین‌بیان یک ماده آبدوست است و به راحتی با آب واکنش داده و تشکیل ژل می‌دهد که این برهمکنش مناسب با آب است که با افزودن شیرین‌بیان باعث انحلال می‌شود. همچنین وجود گروه‌های هیدروکسیل و حلالیت بالا به نرم کننده‌های آبدوست (گلیسرول) نسبت داده می‌شود که برای ایجاد انعطاف‌پذیری کافی به فیلم‌ها اضافه شده است[۱۹]. نتایج تنگ با این نتایج مطابقت دارد [۲۰].

$$\text{Solubility (\%)} = 112.053 - 21.298 *A + 124.401 *B + 6.72 *A*B - 164.547 *A^2 + 178.062 *B^2$$

$(R^2 = 0.457;\ AdjR^2 = 0.069)$

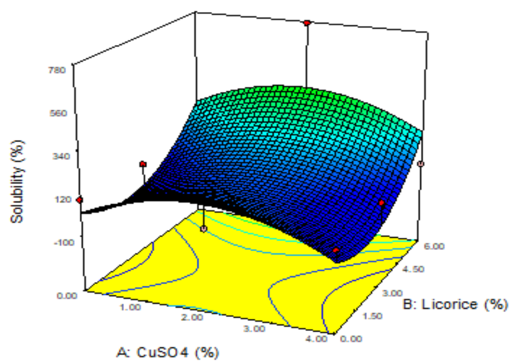


Figure 3-3: The three-dimensional figure of the solubility of the mucilage film modified with licorice and copper sulfate nanoparticles

۳-٤- نفوذپذیری به بخار آب

تأثیر درصد شیرین‌بیان و نانوذرات سولفات مس بر نفوذپذیری بخار آب در شکل ۳-٤ نشان داده شده است. معادله ریاضی زیر رابطه بین متغیرهای مستقل و نفوذپذیری بخار آب و ضرایب رگرسیون را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است مواد مورد استفاده در بسته‌بندی باید دارای حداقل نفوذپذیری بخار آب (WVP) باشند تا از تبادل رطوبت بین محیط و غذا جلوگیری شود. محصول

بسته‌بندی شده یا پوشیده شده با فضای بیرونی به دلیل ماهیت قطبی اکثر واحدهای تشکیل دهنده آن‌ها، اکثر فیلم‌های پلیمری ماهیت آبدوست دارند و نفوذپذیری بالایی در برابر بخار آب دارند که استفاده از آن‌ها را به عنوان مواد بسته‌بندی محدود می‌کند مطابق شکل (۳-٤)، با افزایش شیرین‌بیان، نفوذپذیری فیلم به بخار آب به طور معنی‌داری افزایش یافت اما با افزایش نانوذرات سولفات مس، نفوذپذیری فیلم به بخار آب افزایش یافت. به طور قابل ملاحظه کاهش یافت. مقاومت ضعیف در برابر بخار آب یکی از عیوب اصلی لایه‌های پلی‌ساکارید است و به دلیل آب دوستی پلی‌ساکاریدها، لایه‌های آن‌ها نفوذپذیری بالایی در برابر بخار آب دارند و این حساسیت به رطوبت باعث تغییر خواص کاربردی لایه‌های پلی‌ساکارید می‌شود. شرایط محیطی متفاوتی داشته باشد و در نتیجه استفاده از این فیلم‌ها را در شرایط مختلف به ویژه در رطوبت نسبی بالا محدود کند. هنگامی که نانوذره در ماتریس پلیمری وجود دارد، مولکول آب باید مسیر پیچیده‌تری را نسبت به ترکیب پلیمری خالص طی کند، بنابراین WVP را کاهش می‌دهد[۲۱]. همچنین نانوذرات فضاهای خالی لایه پلیمری را پر می‌کنند و اجازه عبور مولکول‌های آب را نمی‌دهند. همچنین احتمالاً نانوذرات سولفات مس با پر کردن فضاهای پلیمری از عبور مولکول‌های آب جلوگیری کرده و WVP را کاهش می‌دهند. شیرین بیان خاصیت ژل کنندگی دارد و این باعث افزایش نفوذپذیری فیلم به بخار آب می‌شود.

$$WVP\ (g/Pa.m.s)= 0.0028 -0.001 *A +0.0002 *B +0.0005 *A*B$$

$$(R^2 =0.843;\ \ AdjR^2 =0.790)$$

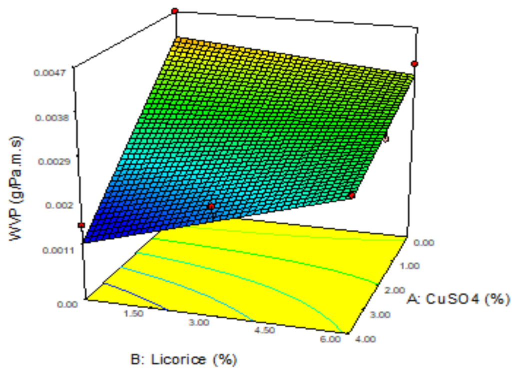


Figure 3-4: The three-dimensional figure of the water vapor permeability of the mucilage film of Panerak flower modified with licorice and copper sulfate nanoparticle.

۳-۵- (L, a, b)

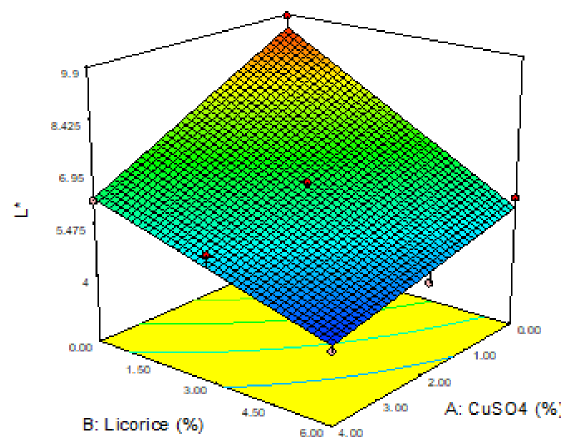
تاثیر درصد شیرین‌بیان و نانودرات سولفات مس بر روی L,a,b در شکل ۳-۵ نمایش داده شده است. معادله ریاضی‌ها ارتباط بین متغیرهای مستقل L,a,b و ضرایب رگراسیون‌ها را نشان می‌دهد. تحقیق در زمینه رنگ موادغذایی و فاکتورهای تاثیرگذار بر آن هم بخش مهمی از تحقیقات در زمینه موادغذایی است [۲۲]. پارامتر رنگ L معیاری 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 بالاتر باشد، روشنی بیشتر است با توجه به شکل‌ها با افزایش شیرین‌بیان و نانوذرات سولفات مس میزان L کاهش یافته کاهش L به خاطر رنگ‌های بنفش شیرین‌بیان و آبی نانوذرات سولفات مس که دارند باعث کاهش روشنایی فیلم‌ها می‌شوند. 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 شیرین‌بیان میزان a به طور معنی‌داری $(p<۰/۰۵)$ افزایش یافت. با افزایش نانو ذرات سولفات

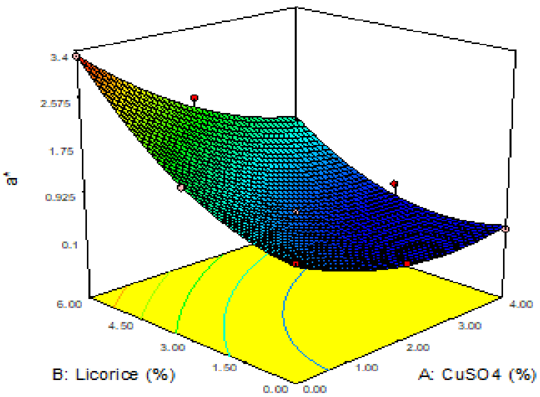
مس میزان a کاهش یافت. دلیل افزایش فاکتور a با افزایش شیرین‌بیان به خاطر رنگ بنفش شیرین‌بیان است. همچنین کاهش a با افزایش نانوذرات سولفات مس به خاطر رنگ آبی که دارد. هست. با افزایش شیرین‌بیان میزان b تغییری نکرده ولی با افزایش نانوذرات سولفات مس میزان b به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) کاهش یافت. علت این کاهش به خاطر رنگ آبی که نانوذرات سولفات مس دارد است [۲۳].

$L^* = 6.398 - 1.147 * A - 1.486 * B + 0.475 * A * B$
($R^2 = 0.958$; $AdjR^2 = 0.944$)

$a^* = 0.607 - 0.652 * A + 0.839 * B - 0.352 * A * B + 0.356 * A\hat{}2 + 0.518 * B\hat{}2$
($R^2 = 0.988$; $AdjR^2 = 0.980$)

$b^* = 0.145 - 3.135 * A - 0.028 * B + 0.323 * A * B + 2.605 * A\hat{}2 + 0.741 * B\hat{}2$
($R^2 = 0.954$; $AdjR^2 = 0.917$)





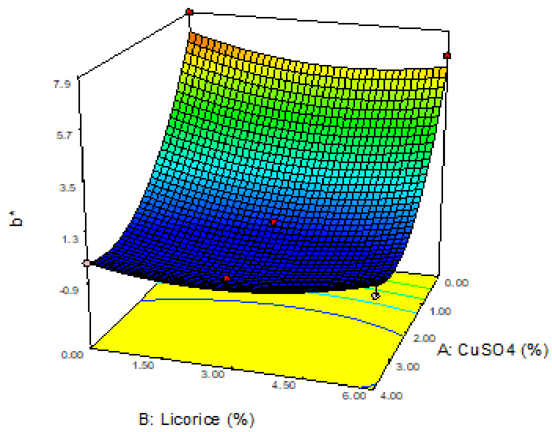


Figure 3-5: L, a, b three-dimensional figure of mucilage film modified with licorice and copper sulfate nanoparticles

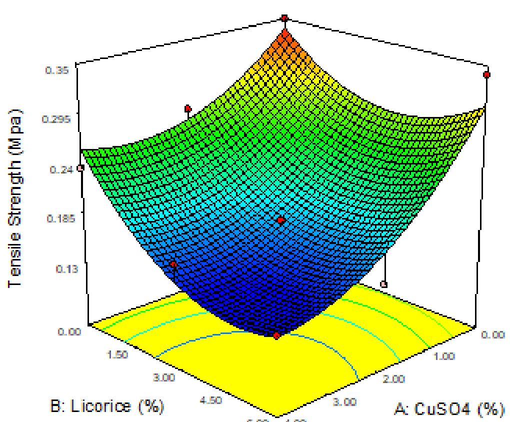
۳-٦- خواص مکانیکی کامپوزیت‌های تولیدی (مقاومت به کشش، درصد افزایش طول)

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های یک فیلم مصنوعی، خواص مکانیکی آن است. این ویژگی متاثر از طول زنجیره و وزن مولکولی ماکرومولکول‌ها و همچنین طول و موقعیت زنجیره‌های جانبی در آن است. این خواص بر توانایی بیوپلیمر برای تشکیل پیوندهای بین مولکولی تأثیر می‌گذارد. هرچه این پیوندها بیشتر و قوی‌تر باشند، یکپارچگی سازه بیشتر و در نتیجه مقاومت مکانیکی بالاتر می‌رود. بهینه‌سازی خواص مکانیکی فیلم‌های خوراکی از جنبه‌های مختلف از جمله استحکام بالای فیلم حائز اهمیت است که

از آسیب‌های مکانیکی مانند سوراخ شدن در اثر تنش وارده به مواد بسته‌بندی جلوگیری می‌کند و در نتیجه خاصیت بازدارندگی آن کاهش می‌یابد. بهتر برای حفظ گازها و رطوبت انعطاف‌پذیری بالای فیلم باعث می‌شود که بدون شکستگی با شکل ماده غذایی مطابقت داشته باشد و به راحتی بتوان از آن به عنوان روکش استفاده کرد. مشخصات مکانیکی از جمله عوامل مهم در انتخاب نوع بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشد. بسته‌بندی باید بتواند در برابر استرس فیزیکی و تغییر شرایط محیطی در طول نگهداری تا زمان مصرف محافظت کند. استحکام کششی نشان‌دهنده حداکثر تنش کششی است که یک فیلم می‌تواند تحمل کند، درصد کشیدگی نشان‌دهنده توانایی یک لایه برای کشش است، این حداکثر تغییر طول نمونه آزمایش قبل از شکستن است، و مدول الاستیک معیاری برای سفتی فیلم است. بسته‌بندی مواد غذایی به طور کلی به تنش بالا با تغییر شکل بر اساس استفاده مورد نظر نیاز دارد. TS حداکثر تنش کششی است که نمونه در طول آزمایش کشش تجربه می‌کند[۲٤]. در شکل ۳-٦ نتایج مقاومت کششی و درصد افزایش طول در نقطه شکست فیلم‌های تولیدی مشاهده می‌شود با افزایش شیرین‌بیان و نانوذرات سولفات مس مقاومت کششی بطور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) کاهش می‌یابد. کاهش مقاومت کششی با افزایش شیرین‌بیان را می‌توان به خاصیت ژله‌ای و پیوندهای هیدروژنی قوی بین زنجیره‌های شیرین‌بیان نسبت داد. افزایش بیشتر نانوذرات به دلیل تجمع نانوذرات منجر به تضعیف خواص مکانیکی می‌شود زیرا نانوپرکننده‌ها دارای سطح انرژی بالایی هستند و تمایل به ایجاد مناطق غنی از نانوپرکننده و ضعف در محتوای ساختاری پلیمر دارند. آگلومره شدن نانوپرکننده‌ها، تأثیر مثبت پرکننده‌ها را در ماتریس پلیمری کاهش می‌دهند و به نوعی رفتار می‌کنند که باعث ایجاد نقص در افزایش تنش و پارگی نهایی فیلم‌ها می‌شود. به دلیل سطح ویژه بسیار بالایی که توسط نانوذرات فراهم می‌شود، برهمکنش‌های سطحی پرکننده‌ی ماتریس نقش اساسی در خصوصیات مکانیکی فیلم‌های نانوکامپوزیتی دارد [۲۵]. در درصدهای بالا، نانوذرات در حجم بیشتری از ماتریس پلیمری پراکنده می‌شوند و تمرکز تنش را به فضای بیشتری انتقال می‌دهند و در نتیجه نواحی بیشتری در فرآیند تغییر شکل شرکت می‌کنند [۲٦]. ذرات توزیع شده با اتصال مناسب بین پرکننده و ماتریس امکان انتقال مؤثر تنش از طریق مکانیسم برشی از ماتریس به ذرات را فراهم می‌کنند. این امر می‌تواند بازدهی خواص مکانیکی را بطور مؤثر افزایش دهد و استحکام فیلم‌های نانوکامپوزیتی را بالا ببرد ولی با افزایش نانو ذره سولفات مس ازدیاد طول در نقطه شکست افزایش یافت ولی با افزایش شیرین‌بیان، میزان ازدیاد طول در نقطه شکست ثابت است.

Tensile strength (Mpa)= 0.175 -0.061*A -0.037*B -0.021*A*B +0.038*A^2 +0.047 *B ^2
(R^2 =0.903; AdjR^2= 0.834)

Elongation at Break (%) = 144.697 +27.345 *A -16.543 *B +15.448 *A*B -25.544 *A^2 +27.965 *B ^2
(R^2 =0.836; AdjR^2 =0.719)



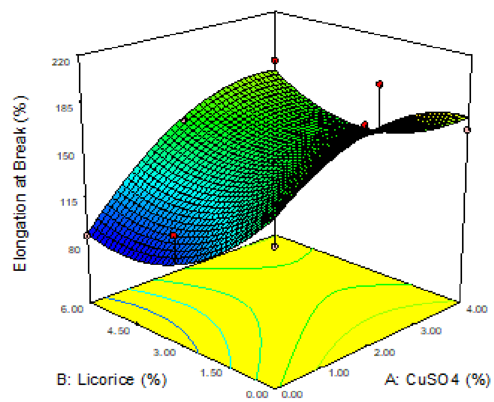


Figure 3-6: The three dimensional figure of tensile strength, the percentage of elongation of the mucilage film of Paneerak flower modified with Shirinbian and copper sulfate nanoparticles

٤- نتیجه گیری

با وجود همه مزایایی که بیوپلیمر موسیلاژ در تولید فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر دارد. اما خواص مکانیکی ضعیف و حساسیت آن به آب مانع اصلی در مقابل استفاده گسترده این بیوپلیمر در صنایع بسته‌بندی می‌باشد. به همین‌دلیل در این پژوهش فیلم موسیلاژ گل پنیرک اصلاح شده با شیرین‌بیان و نانوذرات سولفات مس تولید شد. نتایج نشان داد که با افزایش شیرین‌بیان و نانوذرات سولفات مس، میزان ضخامت فیلم افزایش یافت. رطوبت، نفوذپذیری و حلالیت با افزایش نانوذرات سولفات مس کاهش و با افزایش شیرین‌بیان افزایش یافته است. با افزایش شیرین-بیان و نانوذرات سولفات مس، مقاومت کششی کاهش و افزایش نانوذرات سولفات مس ازدیاد طول در نقطه شکست به طور چشمگیری افزایش یافت. به طور کلی با توجه به بررسی‌های انجام شده، فیلم‌های موسیلاژ گل پنیرک حاوی نانوذرات سولفات مس قابلیت به کارگیری به عنوان بسته‌بندی فعال در صنایع غذایی را دارا می‌باشند.

٥- منابع

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

[2] Pirsa S, Asadzadeh F, Sani IK (2020) Synthesis of magnetic gluten/pectin/Fe3O4 nano-hydrogel and its use to reduce environmental pollutants from Lake Urmia sediments. J Inorg Organometall Polym Mater.

[3] Khodaei, S, M., Gholami-Ahangaran, M., Karimi Sani, I., Esfandiari, Z., & Eghbaljoo, H. (2023). Application of intelligent packaging for meat products: A systematic review. Veterinary Medicine and Science, 9(1), 481-493.

[4] Li YJ, Chen J, Li Y, Li Q, Zheng YF, Fu Y and Li P.(2011). Screeing and haracterization of natural antioxidants in four Glycyrrhiza species by liquid chromatography coupied with electrospary ionization quadrupole time of flight tanden mass spectrometry. J. Chromatogr A. 1218 (45):

[5] Kobaya shi M, Fujita K, Katakura T, Utsunomiya T, (2002). Pollard RB and Suzuki F. Inhibitory effect of glycyrrhizin on experimental pulmonary metastas: in mice inoculated with B16 melanoma. Anti Cancer Res. 22: 4053 - 8.

[6] Karimi Sani, I., Aminoleslami, L., Mirtalebi, S. S., Sani, M. A., Mansouri, E., Eghbaljoo, H., & Kazemzadeh, B. (2023).Cold plasma technology. Applications in improving edible films and food packaging. Food Packaging and Shelf Life, 37, 101087.

[7] S. Pirsa and S. Chavoshizadeh,(2018). Design of an optical sensor for ethylene based on nanofiber bacterial cellulose film and its application for determination of banana storage time, Polym Adv Technol 29 1385–1393.

[8] 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 and Antimicrobial

Properties. Journal of Polymers and the Environment , 12-1

[9] 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.

[10] 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.

[11]Arjeh, E.; Barzegar, M.; Sahari, M. (2015).Effects of gamma irradiation on physicochemical properties, antioxidant and microbial activities of sour cherry juice. Radiation physics and chemistry 114: 18-24.

[12]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.

[13] Davachi, Seyed Mohammad, & Shekarabi, Azadeh Sadat. (2018). Preparation and characterization of antibacterial, eco-friendly edible nanocomposite films containing Salvia macrosiphon and nanoclay. International journal of biological macromolecules, 113, 66-72. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.02.106.

[14] Kavoosi, Gholamreza, Dadfar, Seyed Mohammad Mahdi, & Purfard, Amin Mohammadi. (2013). Mechanical, physical, antioxidant, and antimicrobial properties of gelatin films incorporated with thymol for potential use as nano wound dressing. Journal of Food Science.

[15] Gómez-Estaca, J., López de Lacey, A., López-Caballero, M.E., GómezGuillén, M.C. and Montero, P. 2010. Biodegradable gelatin-chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation. Food Microbiology, 27: 889–896.

[16]Averous L and Bquillon N, 2004. Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviours. Carbohydrate polymers 56, 111-.222.

[17] Nafchi, A.M., A.K. Alias, S. Mahmud, and M. Robal. (2012). Antimicrobial, rheological, and physicochemical properties of sago starch films filled with nanorod- rich zinc oxide. J. Food Eng., 113(4), 511-519.

[18] Shen, X. L., Wu, J. M., Chen, Y., & Zhao, G. (2010). Antimicrobial and physical properties of sweet potato starch films incorporated with potassium sorbate or chitosan. Food Hydrocolloids, 24(4), 285-290 .

[19] Tang, C.H. and Jiang, Y. 2007. Modulation of mechanical and surface hydrophobic properties of food protein films by transglutaminase treatment. Food Research International, 40: 504- 509

[20] Thellen, C., C. Orroth, D. Froio, D. Ziegler, J. Lucciarini, R. Farrell, N.A. D'Souza, and J.A. Ratto. (2005). Influence of montmorillonite layered silicate on plasticized poly(l-lactide) blown films. Polym., 46(25), 11716-11727.

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

[22] D. Abedi, S. M. Mortazavi, M. Khajeh Mehrizi. (2008). Antimicrobial properties of acrylic fabrics dyed with direct dye and a copper salt. Text. Res. J. 78, 311-319.

[23] Srinivasan, M; Devipriya, N; Kalpana, K.B; and Menon, V.P.(2009). Lycopene: An antioxidant and radioprotector against radiation-induced cellular damaves in cultured human lymphocytes. Toxicol, 262: 43-49.

[24] Wetzel, B., Haupert, F. & Zhang, M.Q. (2003). Epoxy nanocomposites with high mechanical and tribological performance. Composites Science and Technology, 63(14), 2055-2067.

[25] Cao, X., Chen, Y., Chang, P.R., Muir, A.D. & Falk, G. (2008). Starch-based nanocomposites reinforced with flax cellulose nanocrystals. Express Polymer Letters, 2(7), 502-510.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Biodegradable film based on the mucilage of Pansyrak flower modified with licorice and copper sulfate nanoparticles, investigation of physicochemical properties

Akram Khakpour[1]*, Mahmoud Rezad Bari[2], Sajad Pirsa[3], Fatemeh Khakpour[4]

1- Master's student, Department of Food Science and Industry, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
2- Professor, Department of Food Science and Industry, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
3- Professor, Department of Food Science and Industry, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
4- Master's student, Department of Food Science and Industry, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

ABSTRACT

The aim of this study. The production of film was from the mucilage of the Paneerak flower modified with licorice (0, 3, 6%) and copper sulfate nanoparticles (0, 2, 4%). It was used to study the properties of thickness, humidity, solubility, permeability to water vapor, color and mechanical properties of the films. The results show that with the increase of licorice and copper sulfate nanoparticles, the thickness of the film increases. Humidity, water vapor permeability and solubility of the film decrease with the increase of copper sulfate nanoparticles and increase with the increase of licorice. Also, with the increase of licorice concentration, the color indices a* increased and the brightness of the layers decreased significantly. The results of the mechanical test showed that with the increase of licorice and copper sulfate nanoparticles, the tensile strength decreased and with the increase of copper sulfate nanoparticles, the elongation at the breaking point increased significantly. Final conclusion: Addition of licorice root and copper sulfate nanoparticles to edible films based on the mucilage of paneerak flower improved the thickness and increased length at the breaking point of the films, and also weakened the tensile strength, humidity, permeability to water vapor and brightness.

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2023/10/6
Accepted: 2023/11/27

Keywords:

edible film,

mucilage,

Licorice,

copper sulfate nanoparticles

DOI: **10.22034/FSCT.20.145.226**

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