



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

ساخت بیوفیلم بر پایه پلی ساکارید محلول در آب استخراج شده از ریشه سریش گونه اسپکتابیلیس:

بررسی ویژگی های فیزیکوشیمیایی، مکانیکی و آنتی اکسیدانی

زهره حسین پور^۱، راضیه نیازمند^{۲*}، محمدرضا عبدالهی مقدم^۳، محبوبه سرابی جماب^۴

۱- دانشجوی مقطع دکتری گروه شیمی مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

۲- استاد گروه شیمی مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

۳- استادیار گروه فناوری های سبز مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

۴- دانشیار گروه میکروبیولوژی مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۴

کلمات کلیدی:

پلی ساکارید،

فیلم زیست تخریب پذیر،

خواص فیزیکی مکانیکی،

فعالیت آنتی اکسیدانی

DOI: 10.48311/fsct.2026.83936.0

* مسئول مکاتبات:

r.niazmand@rifst.ac.ir

مواد بیونانو کامپوزیت فرصتی را برای استفاده از مواد کامپوزیتی جدید، با کارایی بالا، وزن سبک و سازگار با محیط زیست ایجاد می کنند و می توانند جایگزین مواد بسته بندی پلاستیکی غیرقابل تجزیه زیستی سنتی شوند. در پژوهش حاضر یک بیوفیلم بر پایه پلی ساکارید محلول در آب استخراج شده از ریشه سریش گونه اسپکتابیلیس تهیه شد و تاثیر غلظت های مختلف پلی ساکارید (۱، ۱/۵ و ۲ درصد) بر ویژگی های فیزیکی مکانیکی فیلم بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش غلظت پلی ساکارید، ضخامت و نفوذپذیری بخار آب فیلم افزایش اما حلالیت آن کاهش پیدا کرد. همچنین با افزایش غلظت پلی ساکارید مقاومت کششی فیلم ها به طور معنی داری افزایش پیدا کرد. آنالیز رنگ فیلم ها نشان داد پارامتر a و b با افزایش غلظت پلی ساکارید افزایش اما پارامتر L کاهش پیدا کرد. بیشترین شفافیت و انتقال نور مرئی هم مربوط به فیلم ۱ درصد پلی ساکارید بود. فیلم ۱ درصد پلی ساکارید به علت نشان دادن خواص مکانیکی قابل قبول به عنوان فیلم نهایی انتخاب شد که آزمون SEM فیلم منتخب نیز نشان داد فیلم پلی ساکارید فیلم یکپارچه و فشرده، بدون ترک و حفره می باشد. طبق نتایج آزمون DSC فرآیند ذوب فیلم در محدوده دمایی ۲۸۰/۴۶-۲۰۲/۶۳ درجه سانتی گراد بود. نتایج پژوهش حاضر بیانگر قابلیت پلی ساکارید ریشه سریش برای تهیه فیلم یا پوشش کارآمد برای نگهداری مواد غذایی و یا به عنوان لایه میانی در فیلم های چند لایه می باشد.

۱-مقدمه

بسته بندی مواد غذایی به دلیل توانایی محافظت از برخی خطرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مانند خطر میکروارگانیسم ها، گرد و غبار، نور و گازها، از دست دادن بافت و ارزش غذایی محصول؛ به عنوان یک مانع در برابر آلاینده ها عمل می کند و ارتباط تنگاتنگی با ایمنی مواد غذایی دارد [۱].

به طور سنتی، بسیاری از مواد بسته بندی که معمولاً مورد استفاده قرار می گیرند، پلاستیک های مشتق شده از نفت هستند [۲]. طبق آمار جهانی، تولید پلاستیک در سال ۲۰۲۰ حدود ۳۵۰ میلیون تن برآورد شد که حدود ۴۰ درصد آن توسط صنعت بسته بندی مصرف شد [۳].

بنابراین یک نیاز فوری برای جستجو استراتژی های بسته بندی جایگزین مواد پلاستیکی مبتنی بر نفت با هدف دستیابی به بسته بندی پایدار و قابل تجزیه وجود دارد.

با توجه به مطالعات انجام شده بسیاری توسط دانشمندان و محققان، پلیمرهای زیستی به عنوان مواد بسته بندی جایگزین مواد پلاستیکی معرفی شده اند [۴].

پلیمرهای زیستی به عنوان ترکیبات زنجیره بلند متشکل از زیر واحدهای مولکول شناخته می شوند. زیست تخریب پذیر و سازگار با محیط زیست هستند و از منابع طبیعی تجدیدپذیر از سیستم های بیولوژیکی مانند میکروارگانیسم ها، گیاهان و حیوانات به دست می آیند [۵].

فیلم های زیست تخریب پذیر نسبت به پلاستیک های معمولی به دلیل مواد اولیه پرهزینه و فرایندهای تولید تخصصی، پرهزینه تر و عموماً به شرایط محیطی حساس تر هستند و ماندگاری کوتاه تری دارند اما با این وجود فیلم های زیست تخریب پذیر می توانند تحت شرایط خاص به اجزای بی ضرر تجزیه شوند و اثرات طولانی مدت زیست محیطی را کاهش دهند [۶].

با توجه به ساختار شیمیایی طیف گسترده ای از پلیمرها به عنوان موجودات زنده سنتز شده، آن ها را می توان به

گروه های اصلی طبقه بندی کرد: (۱) پلی ساکاریدها، (۲) پروتئین ها و (۳) پلی استرها. همچنین بر اساس پیشرفت های صورت گرفته در بیوتکنولوژی، پلیمرهای طبیعی را می توان توسط تخمیر میکروارگانیسم ها یا در تولید آزمایشگاهی توسط فرایندهای آنزیمی به دست آورد [۷].

مطالعات روی یافتن منابع جدید پلی ساکاریدی در سراسر جهان رو به افزایش می باشد. هدف از این پلی ساکاریدهای جدید کاربردهای مختلفی از جمله بسته بندی (فیلم های محافظ و زیست تخریب پذیر) است [۸]. پلی ساکاریدها و پروتئین ها به عنوان بیومواد می توانند فعل و انفعالات مختلفی را ایجاد کنند که ویژگی های عملکردی فیلم های زیستی به آن ها بستگی دارد. این نوع فیلم ها به دلیل ماهیت آب دوستشان، بر خلاف ممانعت کنندگی در برابر گازها، نفوذپذیری بالایی در برابر آب دارند [۹]. به عنوان یک قاعده کلی فیلمی که ویژگی های مناسبی از نظر ممانعت کنندگی در انتقال آب ندارد، معمولاً در مقابل انتقال گازها مقاوم می باشد و بالعکس. مقاومت در برابر انتقال گاز برای فیلم های پلی ساکاریدی بسیار چشم گیر است. بنابراین می توان از آنها برای پوشش و یا بسته بندی مواد غذایی که در معرض اکسیداسیون قرار دارند استفاده کرد. از آنجا که اغلب پلی ساکارید ها و سایر ترکیبات آب دوست در برابر نفوذ رطوبت مقاوم نیستند (بسیار جاذب الرطوبه هستند)، ممکن است از آنها در سطح مواد غذایی به صورت یک فیلم نسبتاً ضخیم استفاده شود. هدف از چنین پوششی در سطح ماده غذایی جذب آب و محافظت موقت در برابر از دست رفتن بیشتر رطوبت است. بنابراین محصول پوشش داده شده تا زمانی که فیلم دهیدراته نشود رطوبت از دست نمی دهد [۱۰].

سریش با نام علمی *Eremurus* از گیاهان ریزوم دار، بهار گل و متعلق به خانواده آسفودلاسه^۱ است. از دانه های این گیاه، روغنی گرفته می شود که در طب سنتی برای درمان تصلب شریان ها مورد استفاده قرار می گیرد. از

بررسی پژوهش‌های موجود نشان می‌دهد که هیچ پژوهش خاصی، اثر غلظت‌های مختلف یک نوع بیوپلیمر به تنهایی بر خواص فیلم را بررسی نکرده و اکثر پژوهش‌های پیشین اثر نوع و غلظت نرم‌کننده را مورد مطالعه قرار دادند، بنابراین هدف از انجام این پژوهش تهیه فیلم زیستی با غلظت‌های مختلف پلی ساکارید محلول در آب استخراج شده از ریشه سریش گونه اسپکتابیلیس^۱ و بررسی تاثیر غلظت پلی ساکارید بر ویژگی های فیزیکی، مکانیکی فیلم می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

ریشه های گیاه *E. spectabilis* از پژوهشکده علوم گیاهی مشهد تهیه شد و پس از آن، ریشه های خشک شده در هوا، تمیز و به صورت پودر آسیاب شدند و از الک با مش ۷۰ عبور داده شد. گلیسرول، کلرید سدیم، معرف فولین سیوکالچيو^۲، ۲ و ۲ دی فنیل-۱ پیکریل هیدرازیل^۳، اتانول ۹۶ درصد، متانول و کربنات سدیم از Merck یا Sigma Aldrich تهیه شدند.

۲-۲- استخراج عصاره

برای استخراج عصاره پلی ساکاریدی ریشه سریش، پودر ریشه سریش با غلظت ۲ درصد وزنی/حجمی در آب مقطر تهیه و به مدت ۲ ساعت در دمای ۹۰-۸۰ درجه سانتی گراد روی همزن مغناطیسی هموزن شد. سپس عصاره استخراج شده با پارچه کتانی صاف شد. به منظور خالص سازی بیشتر عصاره دریافتی از سانتریفوژ با سرعت ۸۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه استفاده شد. در مرحله بعد جهت حذف ناخالصی‌های شیمیایی مانند رنگ، چربی و قندهای ساده، به نسبت ۱:۱ به عصاره استخراج شده اتانول ۹۶ درصد اضافه شد. بعد از ۱۵ دقیقه استراحت و رسوب پلی ساکاریدها، جهت جداسازی پلی ساکاریدها از سانتریفوژ با سرعت ۷۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه

برگ‌های این گیاه به عنوان سبزی خوردنی و از ریشه‌های این گیاه که به صورت غدد پنجه‌ای است و به میزان زیادی نشاسته دارد به عنوان چسب و همچنین برای تهیه نوعی سوپ یا آش استفاده می‌شود [۱۲، ۱۱].

ریشه و غده‌های سریش از کربوهیدرات غنی اند که در میان آن‌ها قندها فراوان‌ترند. در مجموع مقدار قندی که به دست می‌آید از ۱۴ تا ۲۲ درصد تغییر می کند. عصاره حاصل از غده‌ها دارای سلولز است ولی عصاره و باقیمانده فاقد نشاسته است. در عصاره غده های این گیاه مقدار کمی قند احیا شده لوولوز، سلولز، مواد عصاره ای، مواد آلومینوئیدی، خاکستر و مواد معدنی وجود دارد اما برخی گزارش کرده اند که جزء اصلی آن را اینولین تشکیل می‌دهد [۱۴، ۱۳].

به موضوع تجمع سطوح بالای کربوهیدرات‌های محلول در آب در ریشه گونه سریش در تحقیقات پیشین اشاره شده است [۱۶، ۱۵]. همچنین ساختارها و ویژگی‌های گلوکومانان‌ها و گالاکتومانان‌های محلول در آب (GlcMan & GalMan) حاصل از ریشه چندین گونه سریش مرتبط مانند *Eremurus spectabilis* و *Eremurus stenophyllus* رشد کرده در ایران مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۱۷].

علاوه بر نوع و غلظت نرم‌کننده‌ها، نوع بیوپلیمر و غلظت آن، تا حد زیادی می‌تواند کیفیت فیلم‌ها را از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی آن‌ها بهبود بخشد.

شهرام‌پور و رضوی (۲۰۲۲) ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ساختاری فیلم بسته‌بندی ضد اکسایشی برپایه ۱/۵ درصد صمغ ریشه اروموروس لوتئوس و غلظت های مختلف از گلیسرول و سوربیتول را مورد مطالعه قرار دادند. [۹]. همچنین براتیان قرقی و همکاران (۱۳۹۷) ویژگی های فیلم زیست تخریب پذیر از سریش را با غلظت ۱ درصد وزنی بررسی کردند [۱۸].

2 Folin-Cicalteus Phenol Reagent

3 2,2-Di-phenyl-1-Picryl-Hydrazyl (DPPH)

1 *Eremurus Spectabilis* root extracted water soluble polysaccharide (ESREP)

برای تعیین حلالیت فیلم خشک شده در آب، فیلم با ابعاد ۲×۲ سانتی متر مربع در داخل ۵۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت ۶ ساعت در دمای اتاق غوطه ور شد. فیلم حل نشده با فیلتر کاغذی واتمن در پایان زمان جدا شده و سپس در آون ۱۰۳ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. حلالیت فیلم با رابطه ۱-۲ محاسبه شد:

رابطه ۱-۲

$$\text{حلالیت فیلم (درصد)} = 100 \times \frac{M_1 - M_2}{M_1}$$

که در آن M_1 وزن فیلم خشک اولیه (به گرم) و M_2 وزن فیلم حل نشده خشک (به گرم) می باشد [۹].

۲-۶- نفوذپذیری بخار آب^۱

برای اندازه گیری نفوذپذیری به بخار آب از روش ASTM E96 (۱۹۹۵) استفاده شد. برای این کار از ویال های شیشه ای استفاده شد. در درپوش این ویال ها منفذی به قطر ۱۳ میلی متر قرار دارد که قطع هایی از فیلم مورد آزمون در این قسمت قرار می گیرد. سیلیکاژل در داخل ویال ها قرار داده شد. درپوش ویال با قطع هایی از فیلم پوشانده شد. ویال ها با تمام محتویات توزین شده و درون دسیکاتوری حاوی آب نمک کلرید سدیم اشباع قرار گرفتند. دسیکاتور در درون گرمخانه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت و به مدت ده روز هر ۲۴ ساعت یکبار وزن ویال ها اندازه گیری شد. مقدار بخار آب انتقال یافته از فیلم ها، از روی افزایش وزن ویال ها با گذشت زمان رسم شد و پس از محاسبه رگرسیون خطی، شیب خط حاصل محاسبه گردید. از تقسیم کردن شیب خط مربوط به هر ویال به کل سطح فیلم که در معرض انتقال بخار آب قرار داشت، سرعت انتقال بخار آب^۲ به دست آمد. میزان نفوذپذیری بخار آب فیلم ها از رابطه زیر محاسبه شد.

رابطه ۲-۲

$$WVP = (WVTR \cdot X) / P$$

در دمای محیط استفاده شد. در انتهای فرآیند استخراج، پلی ساکارید به دست آمده با استفاده از خشک کن هوای داغ در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک، پس از آن آسیاب و بعد از الک کردن با مش ۴۵ درون ظروف مخصوص ریخته شد و برای انجام آزمون های بعدی در محیط سرد و خشک نگهداری گردید.

۳-۲- تولید فیلم

برای تهیه محلول تشکیل دهنده فیلم ESREP، ابتدا غلظت های مختلفی از ESREP (۱، ۱/۵ و ۲ درصد وزنی/حجمی) در آب مقطر تهیه شده و به مدت ۲۴ ساعت روی همزن مغناطیسی همگن شد. سپس به آن ۳۰ درصد وزنی/وزنی بر حسب وزن پلی ساکارید گلیسرول افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی قرار گرفت تا کاملاً پخش شود. در نهایت ۴۶ میلی لیتر از محلول تشکیل دهنده فیلم در پلیت پلاستیکی با قطر ۱۰ سانتی متر ریخته و در خشک کن در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شد. فیلم از سطح پلیت جدا شد و به منظور مشروط سازی، به درون خشکانه حاوی محلول اشباع نیترات منیزیم (رطوبت نسبی فضای داخلی خشکانه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، حدود ۵۳ درصد بود) منتقل و خشکانه مدت ۷۲ ساعت در محیط با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد قرار داده شد. فیلم مشروط شده در کیسه های پلاستیکی زیپی تا زمان انجام آزمون ها بسته بندی شد. فیلم های سالم و بدون حباب برای اندازه گیری خواص فیلم انتخاب شدند.

۴-۲- اندازه گیری ضخامت فیلم

ضخامت فیلم در پنج نقطه تصادفی از سطح فیلم با یک میکرومتر دیجیتالی (با دقت ± 0.001 میلی متر) (Mitutoyo، توکیو، ژاپن) اندازه گیری و سپس میانگین داده ها $\pm$ انحراف معیار گزارش شد [۹].

۵-۲- تعیین حلالیت فیلم

2- water vapor transmission rate(WVTR)

1- Water vapor permeability (WVP)

۸-۲- خصوصیات نوری (رنگ، کدورت و میزان جذب UV)

برای بررسی رنگ نمونه‌های فیلم، عکس‌های نمونه با استفاده از یک اسکنر رومیزی (HP Scanjet300، چین) اسکن شدند. یک قطعه 2×3 سانتی‌متری از تصویر هر کدام (فرمت JPEG؛ ۴۰۰ dpi) با استفاده از فتوشاپ Adobe انتخاب شد (Adobe Inc، ایالات متحده آمریکا). پس از کاهش نویز، پارامترهای پیکسل به پارامترهای L^* و a^* با استفاده از نرم‌افزار Image J (1.40 g) تبدیل شدند [۲۲].

خواص ممانعت‌کنندگی UV و نور مرئی فیلم با اندازه‌گیری درصد عبور نور نمونه فیلم (۵ سانتی متر $\times$ ۵ سانتی متر) به ترتیب در ۲۸۰ نانومتر (T280) و ۶۶۰ نانومتر (T660)، با استفاده از یک اسپکتروفتومتر UV-vis (DR 5000- HACH LANGE GmbH، ایالات متحده آمریکا) تعیین شد [۲۳].

برای اندازه‌گیری کدورت، جذب نمونه فیلم (اندازه ۸ میلی‌متر $\times$ ۴۰ میلی‌متر) در طول موج ۶۰۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر UV-vis ثبت شد. کدورت هر فیلم توسط روش Hasheminya و همکاران (۲۰۱۹) مطابق رابطه ۲-۴ تعیین شد:

$$\text{رابطه ۲-۴} \quad \frac{A_{600}}{X} = \text{کدورت}$$

که در آن X، ضخامت فیلم (میلی متر) و A_{600} جذب فیلم در ۶۰۰ نانومتر است [۲۴].

۹-۲- خواص کششی

خواص کششی فیلم با استفاده از دستگاه Texture Analyzer (TA Plus-LLOYD، انگلستان) و مطابق با استاندارد شماره ASTM D882-09 اندازه‌گیری شد [۲۵]. نمونه به ابعاد 6×1 سانتی‌متر مربع از فیلم مشروط شده جدا شد و خواص کششی آن در دمای محیط اندازه‌گیری و پس از رسم منحنی تنش-کرنش، مقادیر مقاومت کششی، افزایش طول در نقطه پارگی و مدول کششی آن تعیین شد. از لودسل^۱ ۲۰۰ نیوتن برای دستگاه استفاده شده و فاصله

که در آن X ضخامت فیلم به میلی متر و P فشار جزئی بخار آب در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد است [۱۹].

۷-۲- فعالیت آنتی‌اکسیدانی

به منظور بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها، محتوای فنل کل و نیز فعالیت ضد رادیکال آن‌ها در برابر DPPH تعیین شد.

۱-۷-۲- قدرت مهار رادیکال DPPH

برای تعیین قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH فیلم، ۲/۵ میلی لیتر از محلول متانولی (DPPH با غلظت ۰/۰۰۴ درصد) به ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره فیلم درون لوله آزمایش افزوده و مخلوط حاصل به شدت همزده شد. لوله‌های آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه در محل تاریک قرار گرفتند. بعد از این مدت، میزان جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. لازم به ذکر است که در نمونه کنترل، عصاره با ۵۰۰ میکرولیتر متانول جایگزین شد. در نهایت درصد مهار رادیکال‌های DPPH توسط فیلم با رابطه ۲-۳ محاسبه گردید [۲۰].

قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد فیلم (درصد)
 $100 \times \text{جذب کنترل} / (\text{جذب نمونه} - \text{جذب کنترل})$

رابطه ۲-۳

۲-۷-۲- ترکیبات فنلی کل

میزان ترکیبات فنولی کل با روش فولین سیوکالتیو اندازه‌گیری شد. گالیک اسید به عنوان استاندارد برای رسم منحنی کالیبراسیون به کار رفت و نتایج بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک در گرم عصاره بیان شد. به طور خلاصه در این روش، ۵۰۰ میکرولیتر از محلول عصاره فیلم درون لوله آزمایش با ۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتیو مخلوط شدند. بعد از گذشت ۵ دقیقه، ۲/۵ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم (۷/۵٪/وزنی/حجمی) به محتوای لوله آزمایش افزوده شد. جذب نمونه‌ها پس از دو ساعت با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شد [۲۱].

¹ Load cell

۳-۱- ضخامت فیلم

ضخامت فیلم فاکتور مهمی در تعیین عبور گاز و آب است که نه تنها بر ظاهر محصول غذایی اثر دارد بلکه بر طعم آن نیز اثرگذار است، بنابراین تا حد ممکن باید از ضخامت حداقل فیلم استفاده شود تا سبب تغییر نامطلوب در طعم غذا نشود. ضخامت فیلم با غلظت های مختلف ESREP در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، افزودن غلظت ESREP به طور معنی داری باعث افزایش ضخامت فیلم ها شد ($p < 0.05$). ضخامت فیلم به عوامل مختلفی و عمدتاً محتوای مواد جامد محلول تشکیل دهنده فیلم بستگی دارد، معمولاً غلظت بالاتر محلول فیلم باعث ایجاد فیلم های ضخیم تر می شود. علاوه بر این، ماهیت و ترکیب فیلم ها بر ضخامت تأثیر می گذارد [۲۹]. بنابراین افزایش غلظت ESREP، مواد جامد حل شده بیشتر در محلول و در نتیجه فیلم های ضخیم تر ایجاد می کند. تأثیر افزایش غلظت مواد پایه بر افزایش ضخامت فیلم های مشاهده شده در این مطالعه با نتایج مطالعات قبلی گزارش شده توسط Saravani Pak و همکاران (۲۰۲۰) در مورد فیلم خوراکی برپایه صمغ فارسی، Arham و همکاران (۲۰۱۶) در مورد فیلم خوراکی آگار، Kokoszka و همکاران (۲۰۱۰) در رابطه با فیلم خوراکی مبتنی بر ایزوله پروتئین سویا و Sadeghi و Varkani و همکاران (۲۰۱۷) در مورد فیلم خوراکی از موسیلاژ دانه بالنگو مطابقت دارد [۳۰-۳۳].

۳-۲- حلالیت در آب

مطابق جدول ۱، با افزایش غلظت ESREP در فیلم، حلالیت به طور معنی داری ($P < 0.05$) کاهش پیدا کرد. میزان حلالیت فیلم ها از ۲۶/۷ درصد تا ۴۴/۶ درصد متغیر بود. افزایش در حلالیت فیلم های مورد مطالعه با محتوای پلی ساکارید رابطه معکوس داشت. این پدیده ممکن است به دلیل فشرده شدن ساختار فیلم با افزایش غلظت ESREP

دو فک ۴۰ میلی متر و سرعت حرکت فک بالایی در ۴۰ میلی متر بر دقیقه تنظیم شد.

۲-۱۰- ریزساختار

ریزساختار سطح نمونه های فیلم با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱ مدل MIRA3 TESCAN با روکش طلائی و با ولتاژ ۱۰ کیلو ولت مورد بررسی قرار گرفت [۲۶].

۲-۱۱- ویژگی های حرارتی

برای اندازه گیری خواص حرارتی از کالریمتر اسکن دیفرانسیل^۲ (DSC 1) (METTLER TOLEDO, Switzerland) استفاده شد. این فرآیند از دمای صفر تا ۳۵۰ درجه سانتیگراد با نرخ گرمایش ۱۰ درجه سانتیگراد در دقیقه تحت جریان نیتروژن انجام شد. تمامی نمودارها با استفاده از نرم افزار STAR* مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند [۲۷].

۲-۱۲- طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز^۳

حضور گروه های عاملی توسط طیف سنجی مادون قرمز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل حدود ۱۰ میلی گرم از نمونه با نمک پتاسیم برمید پرس و داخل دستگاه (Thermo-AVATAR 370 FT-IR, Nicolet, ایالات متحده آمریکا) قرار داده شد و درصد انتقال بین اعداد موجی ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ بر سانتی متر با وضوح ۴= ثبت شد [۲۸].

۲-۱۳- تجزیه و تحلیل آماری

آزمون ها در سه تکرار انجام و نتایج به صورت میانگین انحراف معیار (SD) گزارش شدند. تجزیه و تحلیل آماری از طریق طرح کاملاً تصادفی ساده و تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) در $P < 0.05$ با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۲۳) انجام شد.

۳-نتایج و بحث

2 -Differential Scanning Calorimeter (DSC)

1- Scanning Electron Microscopy (SEM)

3 -Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

باشد، چراکه نفوذ مولکول‌های آب به ساختار فیلم‌های حاوی غلظت‌های بالاتر ESREP کمتر می‌شود [۹]. تحقیقات قبلی در مورد فیلم‌های خوراکی بر پایه آگار (Arham و همکاران، ۲۰۱۶) و صمغ فارسی (Saravani Pak و همکاران، ۲۰۲۰)، نتایج مشابهی به همراه داشتند [۳۰، ۳۱]. فیلم‌های با حلالیت بالا می‌توانند در برخی از موارد از جمله فیلم‌های حامل ترکیبات فعال زیستی و غذاهای آماده مصرف با ذوب آسان فیلم در حین جوشاندن در آب مفید باشند. از این رو، فیلم‌های ESREP با حلالیت نسبتاً بالا برای تهیه بسته‌بندی‌های خوراکی مناسب هستند.

۳-۳- نفوذپذیری بخار آب

خواص بازدارنده یک فیلم پلیمری برای تخمین یا پیش‌بینی ماندگاری ماده غذایی بسته‌بندی شده در آن بسیار مهم است. تأثیر سه غلظت مختلف ESREP بر روی WVP در جدول ۱ نشان داده شده است. تفاوت بین WVP فیلم‌ها معنی‌دار بود ($p < 0.05$). با افزایش غلظت ESREP، WVP فیلم‌ها از ۵/۰ به ۸/۱ افزایش پیدا کرد. WVP فیلم‌های خوراکی به فاکتورهای زیادی وابسته است که از جمله آن می‌توان به انسجام ساختاری فیلم‌ها، تحرک زنجیره پلیمری، نسبت بخش هیدروفیلی به هیدروفوبی در فیلم [۳۴]، نوع و مقدار نرم‌کننده، ضخامت فیلم، حساسیت به آب، شرایط محیطی (دما و رطوبت نسبی) [۲۹] اشاره کرد.

در فیلم‌های صرفاً پلی‌ساکاریدی، به دلیل نبود ترکیبات آبگریز مانند چربی‌ها، هیچ مانعی برای نفوذ بخار آب وجود ندارد و در غیاب این ترکیبات، افزایش غلظت پلی‌ساکارید به دلیل ماهیت آبدوست پلی‌ساکاریدها، باعث افزایش ظرفیت جذب رطوبت فیلم می‌شود [۳۵، ۳۶]. به این ترتیب مشخص شده است که ضخامت معمولاً یک رابطه مستقیم با WVP فیلم‌های آبدوست نشان می‌دهد، یعنی WVP با افزایش غلظت صمغ و ضخیم‌تر شدن فیلم افزایش می‌یابد [۲۹]، این مسئله می‌تواند به دلیل حضور

بالای گروه‌های هیدروکسیل موجود در صمغ باشد که سبب افزایش فعل و انفعال با آب می‌گردد و به انتقال بخار آب در ساختمان فیلم کمک می‌کند، که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر مطابقت داشت. همچنین نتایج Haq و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که WVP فیلم صمغ کوردیا به عنوان تابعی از ضخیم‌تر شدن فیلم افزایش یافت [۳۷].

رضائی تقی آبادی و همکاران (۱۳۹۰) نفوذپذیری بخار آب فیلم‌های خوراکی بر پایه صمغ کتیرا را بررسی کردند. مشابه نتایج این پژوهش، نفوذپذیری بخار آب برای فیلم‌های بر پایه صمغ کتیرا تحت تأثیر اثر خطی غلظت صمغ کتیرا و گلیسرول بود. به گونه‌ای که نفوذپذیری بخار آب فیلم، با افزایش غلظت صمغ کتیرا و گلیسرول افزایش یافت [۳۸]. همچنین در پژوهش Saravani Pak و همکاران (۲۰۲۰) و Sadeghi-Varkani و همکاران (۲۰۱۷) نتایج مشابهی حاصل شد و با افزایش غلظت مواد پایه، WVP افزایش پیدا کرد [۳۰، ۳۳]. اما بالعکس در پژوهش Sadeghi-Varkani و همکاران (۲۰۱۷) با افزایش محتوای بیوپلیمر تا سطح معینی (۱/۲ درصد) در غلظت ثابت نرم‌کننده، WVP به دلیل منظم‌تر شدن زنجیره‌های درون ماتریکس فیلم و ممانعت بهتر فیلم در برابر نفوذ بخار آب، کاهش یافت [۳۳].

با توجه به نتایج موجود برای WVP فیلم‌های سنتزی [۲۹] می‌توان گفت WVP فیلم تهیه شده از غلظت‌های مختلف ESREP تقریباً ۷۶۰ برابر بیشتر از WVP فیلم‌های سنتزی با ممانعت‌کنندگی خوب (پلی وینیلیدین کلراید با $10^{-11} \text{ g/m Pa s}$ و 0.083) و حدود ۱/۳ برابر کمتر از WVP فیلم‌های سنتزی با ممانعت‌کنندگی پایین (سلفون با $10^{-10} \text{ g/m Pa s}$ و 0.081) می‌باشد. با توجه به ماهیت آبدوست هیدروکلوئیدهای طبیعی، فیلم‌های خوراکی آماده شده از آن‌ها نمی‌توانند به عنوان یک ممانعت‌کننده بخار آب موثر عمل کنند.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی فیلم (میانگین $\pm$ انحراف معیار) با غلظت‌های مختلف ESREP

فیلم ESREP ضخامت (میلی متر) حلالیت (درصد) نفوذپذیری بخار آب ($10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}$)

۵/۰ ± ۱/۱ ^c	۴۴/۶ ± ۳/۳ ^a	۰/۰ ± ۰/۴/۰۰۱ ^c	۱ درصد
۵/۰ ± ۹/۱ ^b	۴۰/۵ ± ۲/۲ ^b	۰/۰ ± ۰/۶/۰۰۵ ^b	۱/۵ درصد
۸/۱ ± ۱/۱ ^a	۲۶/۷ ± ۱/۱ ^c	۰/۰ ± ۰/۹/۰۰۳ ^a	۲ درصد

حروف غیر مشابه در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی داری

بر اساس آزمون دانکن است ($P < ۰/۰۵$)

۳-۴- خصوصیات نوری (رنگ، کدورت و میزان

جذب UV)

رنگ فیلم‌ها ممکن است بر مقبولیت یک محصول توسط مصرف کننده تأثیر بگذارد. به طور کلی، ویژگی های مطلوب در پوشش و بسته بندی فیلم خوراکی شفافیت و روشنایی بالا است [۳۹، ۴۰].

پارامترهای رنگ و شفافیت فیلم های ESREP در جدول ۲ نشان داده شده است. با افزایش غلظت ESREP پارامتر L^* کاهش و پارامترهای a^* و b^* فیلم افزایش پیدا کرد (۰/۰۵ p). به دلیل افزایش پارامتر b ، فیلم های تولیدی ظاهر زرد رنگی داشتند که مرتبط با پودر ESREP اولیه می باشد.

شفافیت فیلم ها در جدول ۲ نشان داده شده است. بالاترین مقدار کدورت در فیلم های ساخته شده، برای فیلم ۱/۵ درصد و پایین ترین مقدار کدورت برای فیلم ۲ درصد ESREP به دست آمد. افزایش مقدار ESREP اثرات

تفاوت بر شفافیت فیلم ها داشت. در واقع، سطح مورفولوژی فیلم ها یک عامل تعیین کننده برای چنین تغییراتی در کدورت است، زیرا بازتاب نور می تواند تحت تاثیر همگنی ماتریس فیلم در سطح تماس فیلم - هوا قرار گیرد. به عبارت دیگر، سطوح بالاتر همگنی، سطوح کمتری از کدورت را فراهم می کند [۴۱].

مشابه نتایج این مطالعه، در پژوهش Saravani Pak و همکاران (۲۰۲۰)، افزایش مقدار SPG اثرات متفاوت بر کدورت فیلم ها داشت [۳۰].

نتایج نشان داد فیلم های ESREP در مقایسه با فیلم های مصنوعی مانند پلی اتیلن با دانسیته کم^۱ (با ۶۷/۵ درصد عبور نور UV) و پلی پروپیلن جهت دار^۲ (با ۸۰ درصد عبور نور UV) به میزان خیلی کمتری نور UV را از خود عبور می دهد [۴۲، ۴۳]. پارامترهای رنگی و شفافیت فیلم های ESREP قابل قبول و قابل مقایسه با سایر فیلم های هیدروکلوئیدی است.

جدول ۲. پارامترهای رنگ و شفافیت فیلم با غلظت های مختلف ESREP

فیلم ESREP	a	b	L	(nm) ۲۸۰	کدورت (۶۰۰ nm)	نشر (۶۶۰ nm)
۱ درصد	۰/۱ ± ۸/۳ ^c	۱/۲۵ ± ۵/۸ ^b	۱/۷۴ ± ۲/۸ ^a	۱/۲۷ ± ۸/۲ ^a	۰/۲ ± ۱/۶ ^b	۰/۷۳ ± ۲/۸ ^a
۱/۵ درصد	۱/۲ ± ۰/۴ ^b	۲/۲۷ ± ۲/۵ ^b	۱/۶۶ ± ۱/۲ ^b	۰/۱۹ ± ۵/۹ ^b	۰/۲ ± ۰/۷ ^a	۰/۶۵ ± ۱/۱ ^b
۲ درصد	۱/۷ ± ۳/۸ ^a	۲/۳۷ ± ۹/۷ ^a	۱/۵۹ ± ۸/۵ ^c	۰/۱۹ ± ۵/۹ ^b	۰/۲ ± ۰/۴ ^c	۰/۵۸ ± ۲/۳ ^c

حروف غیر مشابه در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی داری بر اساس آزمون دانکن است ($P < ۰/۰۵$)

۳-۵- خواص کششی

ویژگی های کششی فیلم های خوراکی/تخریب پذیر با اندازه گیری سه پارامتر معمول: مقاومت کششی^۳، افزایش

طول در نقطه پارگی^۴ و مدول الاستیک^۵ یا مدول ینگ^۶ ارزیابی می شوند. تاثیر افزودن غلظت ESREP بر روی خواص کششی فیلم ها در شکل ۱ نشان داده شده است. با

4 -Elongation at break (EB)

5 -Elastic modulus (EM)

6 -Young's modulus (YM)

1 -LOW-density polyethylene (LDPE)

2 -Oriented polypropylene (OPP)

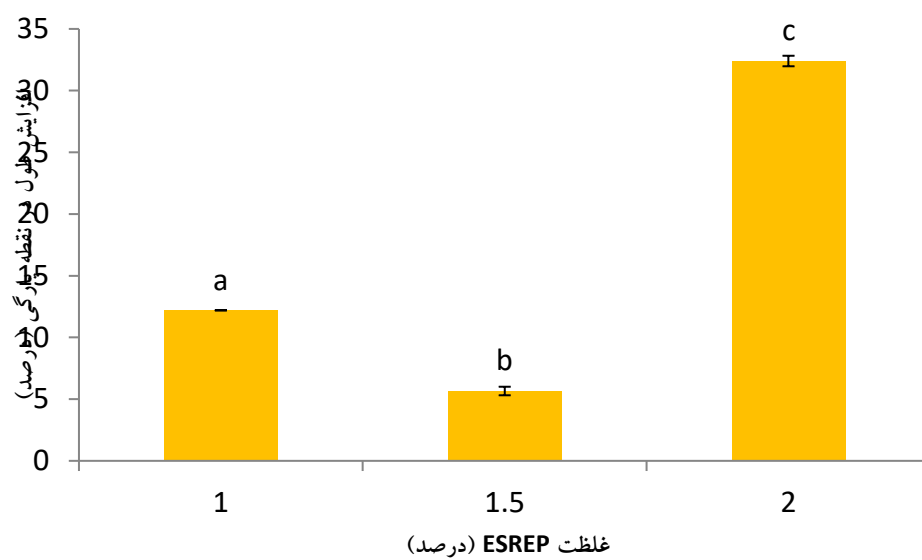
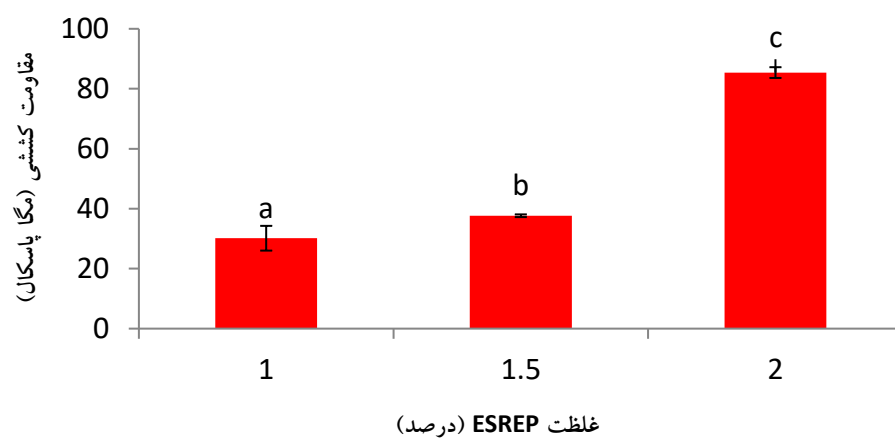
3 -Tensile strength (TS)

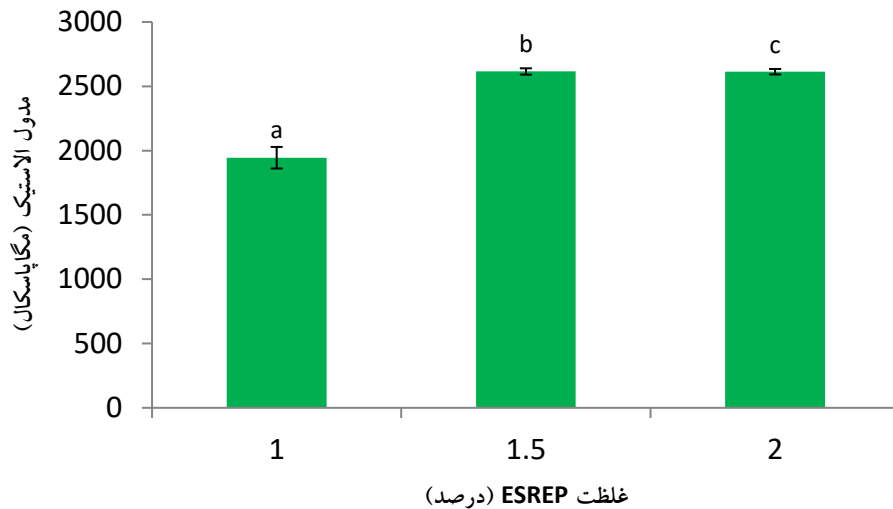
توجه به نتایج، اختلاف معناداری از لحاظ مقاومت کششی و افزایش طول در نقطه پارگی بین فیلم‌ها مشاهده شد ($p < 0.05$). نتایج نشان داد مقاومت کششی و مدول یانگ با افزایش غلظت ESREP به طور معنی داری افزایش پیدا کرد ($p < 0.05$). بیشترین مقاومت کششی و بیشترین افزایش طول در نقطه پارگی مربوط به فیلم با غلظت ۲ درصد ESREP بود، به طوری که با افزایش غلظت ESREP از ۱ درصد به ۲ درصد مقاومت کششی از ۳۰/۱۵ مگاپاسکال به ۸۵/۴ مگاپاسکال و افزایش طول در نقطه پارگی از ۱۲/۲ درصد به ۳۲/۴ درصد افزایش یافت. افزایش محتوای ESREP منجر به افزایش برهمکنش مولکولی بین زنجیره‌های پلیمری می‌شود و در نهایت فیلم‌های خوراکی را تقویت می‌کند. به عبارتی می‌توان گفت هر چه ساختار فشرده‌تر و فاصله بین زنجیره‌های بیوپلیمر کمتر باشد مقاومت کششی هم بیشتر می‌شود [۲۹]. افزایش مقدار TS به دلیل اثر افزایش غلظت مواد پایه نیز در ساخت فیلم‌های مبتنی بر آگار [۳۱]، موسیلاژ دانه بالنگو [۳۳] و پروتئین و نشاسته [۴۴ - ۴۷] گزارش شده است.

افزایش طول در نقطه پارگی یک ویژگی مکانیکی کلیدی است که نشان‌دهنده انعطاف‌پذیری و شکل‌پذیری فیلم است. در فیلم‌های مبتنی بر پلی‌ساکارید، زمانی که متغیرهای خاصی (مانند محتوای پلی‌ساکارید، غلظت نرم‌کننده، یا عامل اتصال عرضی) تغییر می‌کنند، این ویژگی

اغلب یک روند غیرخطی را نشان می‌دهد - ابتدا کاهش، سپس افزایش می‌یابد. این پدیده به دلیل تعاملات پیچیده بین اجزای فیلم و تأثیر آنها بر ریزساختار فیلم است [۴۸]. علاوه بر این افزایش مقدار EB با افزایش غلظت بیوپلیمر به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب و ساخت ماتریکس ژل بهتر در این پژوهش با پژوهش Arham و همکاران (۲۰۱۶) و Murdinah و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد [۳۱، ۵۰].

با توجه به نتایج خواص کششی فیلم ESREP، می‌توان نتیجه گرفت فیلم ESREP قوی، منعطف و دارای مدول الاستیک بالایی است. عوامل اصلی که منجر به تفاوت خواص کششی فیلم‌ها می‌شود ممکن است ترکیب فیلم، نوع نرم‌کننده و روش تهیه فیلم باشد [۵۰]. فیلم‌هایی که TS آنها در محدوده ۱۰۰ - ۱۰ مگاپاسکال و افزایش طول در نقطه پارگی آنها بیشتر از ۱۰ درصد است را می‌توان جزء فیلم‌هایی با خواص کششی خوب طبقه بندی کرد [۳۳]. علاوه بر این معمولاً صمغ‌های خشک شده در غلظت کم (حدود ۱ درصد وزنی/حجمی) برای جلوگیری از مشکلات ناشی از ویسکوزیته بالای محلول‌های صمغ در مراحل مختلف فیلم‌سازی (اختلاط، گاززدایی و ریخته گری) استفاده می‌شود [۲۹]. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده، می‌توان فیلم ۱ درصد ESREP را به عنوان یک فیلم بهینه با خواص فیزیکی مکانیکی قابل قبول انتخاب کرد.





شکل ۱. خواص کششی فیلم‌های ESREP: مقاومت کششی (a) افزایش طول در نقطه پارگی (b) و مدول الاستیک (c).
نوارهای خطا انحراف معیار (SD) را نشان می‌دهد. حروف غیر مشابه روی هر ستون بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی داری را نشان می‌دهد ($P < 0.05$).

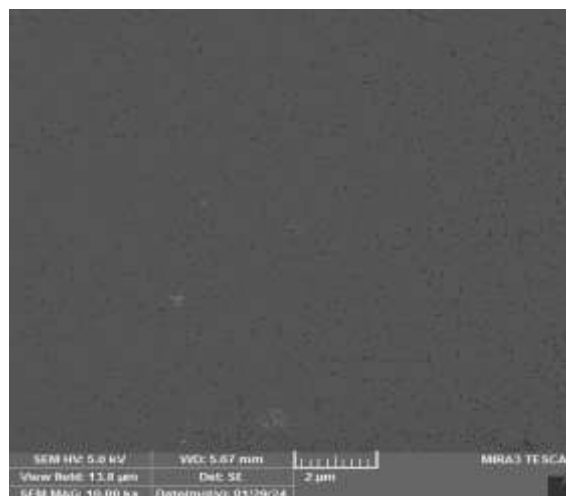
سطح و تعیین ضخامت فیلم استفاده می‌شود. هنگامی که ماتریکس فیلم یکپارچه و فشرده، بدون ترک و حفره باشد، نشانه انسجام ساختاری و در نتیجه خواص مکانیکی مطلوب آن می‌باشد [۵۱].

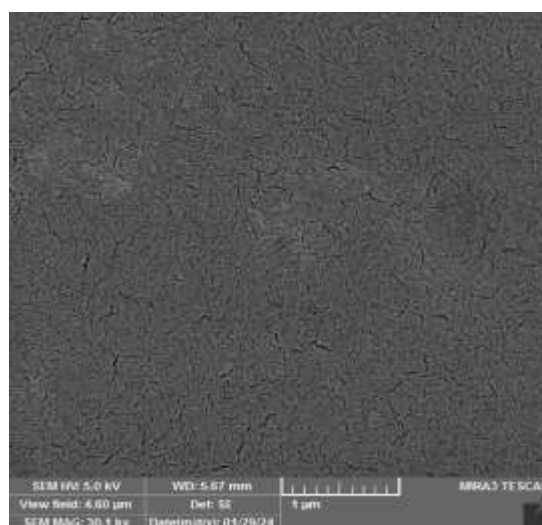
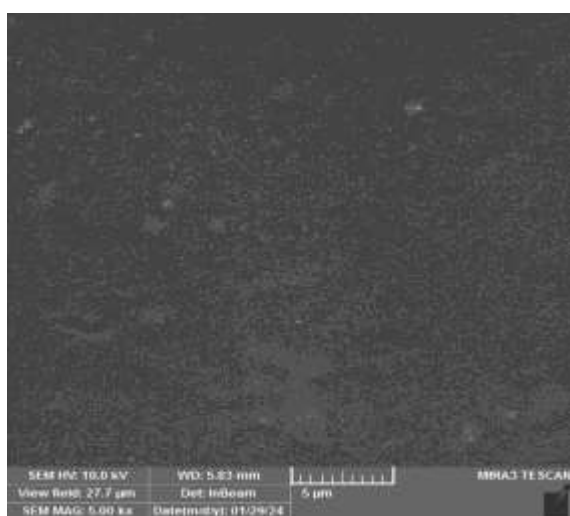
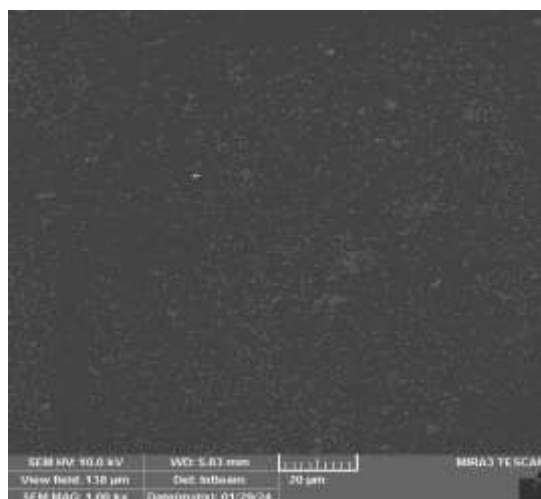
تجزیه و تحلیل نتایج SEM فیلم ESREP (شکل ۲) نشان داد که فیلم ESREP بهینه توسط یک ساختار متراکم تشکیل شده است و دارای مورفولوژی سطحی کاملاً یکنواخت و همگن است.

۳-۲- خصوصیات فیلم ESREP بهینه

۳-۲-۱- ریز ساختار

میکروگراف‌های گرفته شده از سطح یا مقطع عرضی فیلم برای روشن کردن ویژگی‌های فیلم مانند WVP، خواص مکانیکی، کدورت و تراکم، مفید هستند. آزمون SEM به عنوان روشی برای ارزیابی یکپارچگی ساختار فیلم، لایه‌ای بودن ساختار، وجود حفرات و ترک‌ها، صافی





شکل ۲. تصاویر میکروسکوپی الکترونی فیلم ۱ درصد ESREP با بزرگنمایی های مختلف

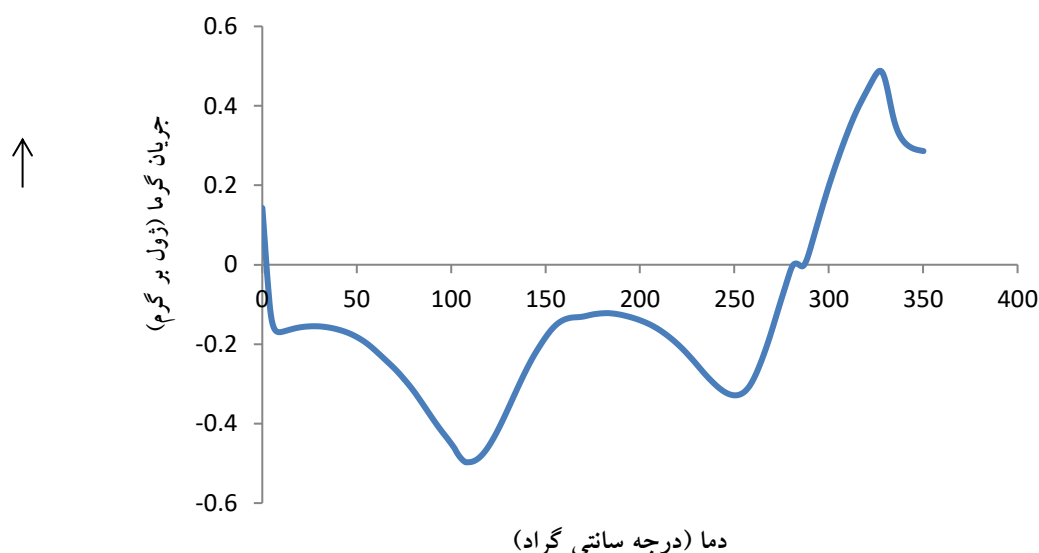
۲-۲-۳- ویژگی های حرارتی

جدول ۳ نتایج آنالیز حرارتی فیلم تهیه شده از ESREP با غلظت ۱ درصد را نشان می دهد. ترموگرام فیلم (شکل ۳) نشانگر یک پیک اندوترم اولیه در محدوده ۱۵۲/۶۵-۶۶/۱۶ درجه سانتی گراد بود. این پیک متناظر با دفع سطحی رطوبت پیوند یافته با گروه های هیدروفیل نمونه است [۵۲]. ذوب شدن که پدیده های گرماگیر است در قسمت های بلورین پلیمرها اتفاق می افتد. ذوب شدن زمانی رخ می دهد که زنجیره های پلیمری از ساختارهای بلورین

خود خارج شده و تبدیل به مایعی نامنظم شوند [۵۳]. دومین گزار حرارتی در نمونه این پژوهش بازهم به صورت یک پیک اندوترم در محدوده دمایی ۲۸۰/۴۶-۲۰۲/۶۳ درجه سانتی گراد ثبت گردید که می تواند مربوط به فرآیند ذوب فیلم باشد. علاوه بر دو پیک اندوترم در منحنی DSC فیلم تهیه شده، یک پیک اگزوترم در دمای حدود ۳۰۳ درجه سانتی گراد قابل مشاهده است که احتمالاً مربوط به دپلمره شدن و تجزیه شدن زنجیره پلیمری می باشد [۵۴].

جدول ۳. پارامترهای حرارتی فیلم ESREP ۱ درصد

پیک سوم	پیک دوم	پیک اول	دما (درجه سانتی گراد)
303	۲۰۲/۶۳	۶۶/۱۶	نقطه شروع
---	۲۵۲/۳۲	۱۰۹/۴۷	پیک
---	۲۸۰/۴۶	۱۵۲/۶۵	نقطه پایانی
---	-۸۸۳/۷۵	-۱۲۸۹/۴۰	آنتالپی (میلی ژول)



شکل ۳. ترموگرام DSC فیلم نهیه شده از ESREP با غلظت ۱ درصد

۳.۲.۳. طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز

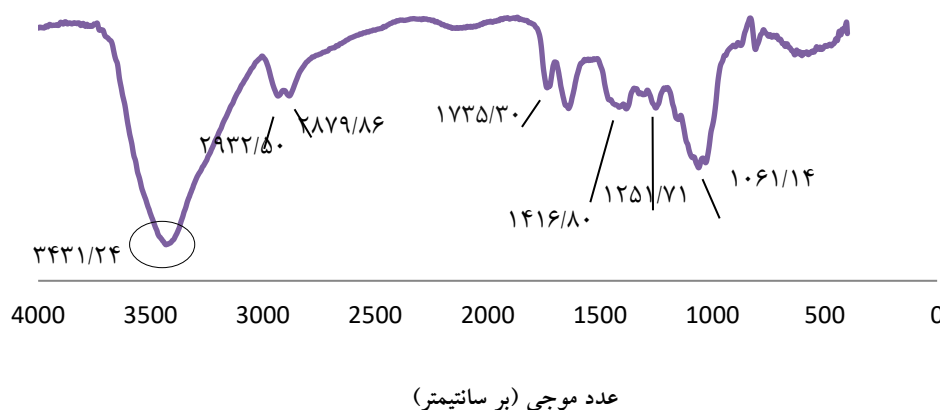
روش طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز در پلی ساکاریدها معمولاً برای بررسی نوع پیوندهای گلیکوزیدی، نوع مونوساکاریدها و گروه های عاملی مورد استفاده قرار می گیرد.

طیف FTIR برای فیلم با غلظت ۱ درصد ESREP در شکل ۴ نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می شود، در محدوده ۲۹۵۰-۳۵۹۰ که

مشخصه ارتعاشات کششی O-H است، پیک جذبی با عدد موجی ۳۴۳۱/۲۴ وجود دارد که مربوط به ارتعاشات کششی آزاد، درون و بین مولکولی گروه های عاملی هیدروکسیل می باشد. این گروه مربوط به رطوبت فیلم، حضور گلیسرول یا گروه های هیدروکسیل حلقه قند است. در محدوده ۲۸۰۰-۳۰۰۰ که مشخصه ارتعاشات کششی C-H است؛ پیک جذبی با عدد موجی ۲۸۷۹ و ۲۹۳۲ وجود دارد. این نوار جذبی به عنوان شاخص حضور قندها و گلیسرول نمونه است

خمشی گروه های C-H و باندهای خمشی گروه های الکلی O-H نسبت داده می شود. ناحیه بین ۹۵۰ و ۱۱۵۰ بر سانتی متر مربوط به نوسانات C-O و C-O-C گلیکوزیدی و باندهای C-O-H است [۳۹].

همچنین این ناحیه معیاری از مناطق آمورف است. باند جذب در طول موج ۱۷۳۵/۳۰ بر سانتی متر می تواند به ارتعاش کششی C=O اسیدارونیک [۸] مربوط باشد. پیک های مشاهده شده در ناحیه ۱۵۰۰-۱۲۰۰ بر سانتی متر به ارتعاش باندهای



شکل ۴. طیف FTIR فیلم ESREP ۱ درصد

گلیسرول (۵۰-۳۰ درصد) در پژوهش Razavi و Shahrampour (۲۰۲۲) به ترتیب ۱۸/۳۹ و ۲۵/۷۱ - ۱۶/۹۸ درصد قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH را نشان دادند [۹، ۵۶].

Karaman و همکاران (۲۰۱۱) مقدار ترکیبات فنولی، فعالیت های آنتی اکسیدانی، ضد میکروبی، آنتی رادیکالی عصاره های اتانولی، متانولی و آبی سریش حاصل از منطقه آنتالیا را مورد بررسی قرار دادند. سی و چهار ترکیب فرار در اروموروس اسپکتابیلیس شناسایی شد. عمده ترین ترکیبات فنولی کاروون ۱۷ و کارواکرول ۱۸ بودند. بیشترین مقدار ترکیبات فنولی در عصاره های متانولی به مقدار 0.48 ± 31.92 میلی گرم اکی والان اسید گالیک به ازای یک گرم عصاره خشک مشاهده شد. عصاره اتانولی بیشترین فعالیت ضد رادیکالی را از خود نشان داد. قوی ترین خاصیت آنتی اکسیدانی در عصاره متانولی مشخص گردید [۵۷].

۴-۲-۳- فعالیت آنتی اکسیدانی

ظرفیت آنتی اکسیدانی بسته بندی می تواند در طراوت و توسعه ماندگاری مواد غذایی نقش داشته باشد. میزان ترکیبات فنولی نمونه فیلم ۱ درصد ESREP $135.2 \pm 0.6/90$ (میلی گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم پودر عصاره) و قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH، $25.0 \pm 5.6/60$ درصد بود. Soni و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که فعالیت آنتی اکسیدانی ۷۵/۲۵ درصد وزنی و ۱۰۰/۰ درصد وزنی فیلم های کیتوزان/نانوالیاف سلولزی TEMPO/CNFs نسبت به مهار رادیکال DPPH به ترتیب ۲/۱ و ۸/۲ (میلی گرم فعالیت ترولاکس در گرم نمونه) بود. از این رو، مطالعه به این نتیجه رسید که فعالیت آنتی اکسیدانی با غلظت کیتوزان رابطه خطی دارد [۵۵].

فیلم پلی ساکاریدی بر پایه موسیلاژ دانه به در پژوهش Jouki و همکاران (۲۰۱۳) و فیلم اروموروس با غلظت های مختلف

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش ویژگی‌های فیزیکی مکانیکی بیوفیلم بر پایه پلی ساکارید محلول در آب استخراج شده از ریشه سریش گونه اسپکتابیلیس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد مقاومت کششی و مدول یانگ با افزایش غلظت ESREP به طور معنی داری افزایش پیدا کرد اما برای جلوگیری از مشکلات ناشی از ویسکوزیته بالای محلول‌های صمغ در مراحل مختلف فیلم سازی فیلم، ۱ درصد ESREP به عنوان یک فیلم بهینه با خواص فیزیکی مکانیکی قابل قبول انتخاب شد. بر روی فیلم منتخب آزمون‌های SEM، FTIR، DSC و فعالیت آنتی اکسیدانی انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که فیلم پلی ساکارید گزینه‌ای مناسب برای تلفیق با سایر فیلم‌های شفاف سنتزی جهت تهیه فیلم‌های چند لایه برای کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشد، زیرا سبب افزایش زیست تخریب پذیری فیلم‌های مذکور خواهد شد.

تضاد منافع

review of recent advances, feasibility and cleaner production. The Science of the Total Environment. doi: 10.1016/j.scitotenv.2025.178911

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافع مالی یا روابط شخصی شناخته شده‌ای ندارند که بتواند بر پژوهش گزارش شده در این مقاله تأثیرگذار تلقی شود.

بیانیه تامین مالی:

این پژوهش هیچ‌گونه حمایت مالی خاصی از نهادهای دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

زهرا حسین‌پور: پژوهش، نگارش (پیش‌نویس اولیه)، تحلیل صوری. راضیه نیازمند: اعتبارسنجی، مدیریت پروژه، مفهوم‌سازی، نگارش (بازبینی و ویرایش)، نظارت، مدیریت داده‌ها. محمدرضا عبدالهی مقدم: نگارش (بازبینی و ویرایش)، نظارت، مدیریت داده‌ها. محبوبه سرابی جماب: نگارش (بازبینی و ویرایش)، نظارت، مدیریت داده‌ها.

دسترسی به داده‌ها

در پژوهش توصیف شده در این مقاله، از هیچ‌گونه داده‌ای استفاده نشده است.

بیانیه هوش مصنوعی

از هوش مصنوعی استفاده نشده است.

۵- منابع

- [1] Wu, X., Liu, P., Shi, H., Wang, H., Huang, H., Shi, Y., & GAO, S. (2021). Photo aging and fragmentation of polypropylene food packaging materials in artificial seawater. *Water Research*, 188, 116456.
- [2] Fu, X.; Chang, X.; Ding, Z.; Xu, H.; Kong, H.; Chen, F.; Wang, R.; Shan, Y.; Ding, S. (2022). Fabrication and Characterization of Eco-Friendly Polyelectrolyte Bilayer Films Based on Chitosan and Different Types of Edible Citrus Pectin. *Foods*, 11, 3536. <https://doi.org/10.3390/foods11213536>
- [3] Abdalkarim, S.Y.H.; Chen, L.M.; Yu, H.Y.; Li, F.; Chen, X.; Zhou, Y.; Tam, K.C. (2021). Versatile nanocellulose-based nanohybrids: A promising-new class for active packaging applications. *Int. J. Biol. Macromol.* 182, 1915–1930.
- [4] Udayakumar, G. P., Muthusamy, S., Selvaganesh, B., Sivarajasekar, N., Rambabu, K., banat, F., sivamani, S., Sivakumar, N., Hosseini-Bandegharaci, A., & Show, P. L. (2021). Biopolymers and composites: Properties, characterization and their applications in food, medical and pharmaceutical industries. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105322.
- [5] Safia, KH., Amina, B., Houda, T., & Hamdi, I. 2024. Edible biofilm formation based on gum Arabic from acacia Senegal. *Studies in Engineering and Exact Sciences*. DOI: 10.54021/seesv5n2-211
- [6] Huang, S., Dong, Q., Che, S., Li, R., & Tang, K.H.D. 2025. Bioplastics and biodegradable plastics: A review of recent advances, feasibility and cleaner production. *The Science of the Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2025.178911
- [7] Hassan, M.E., Bai, J., & Dou, D.Q. 2019. Biopolymers; Definition, Classification and Applications. *Egyptian Journal of Chemistry*, 62(9), 1725-1737.
- [8] Lazo, L.; Melo, G.M.; Auad, M.L.; Filippa, M.; Masuelli, M.A. (2022). Synthesis and Characterization of Chanar Gum Films. *Colloids Interfaces*, 6, 10. <https://doi.org/10.3390/colloids6010010>
- [9] Shahrapour, D., Razavi, S. M. A. (2022). Physicochemical and structural properties of a bio-based antioxidant packaging film derived from *Eremurus luteus* root gum. *Materials Today Communications*, 33 (12), 104756-10.
- [10] Fatemi, h. 2018. Food chemistry. Publishing company.
- [11] Dashti, M., Zarif Ketabi, H., Paryab A., & Tavakoli, H. (2005). "Study OF Ecological Requirements of Foxtail Lilly (*Eremurus Spectabilis* M.B.) In Khorassan," *Iran. J. Range Desert Res.*, vol. 12, p. 153 To 165.
- [12] Zargari, Ali. 1369 medicinal plants. Volume 4, Tehran: Tehran University Publications.
- [13] Khorasani, M.M., Yousefi, A.A. and Langroudi, A.A. 2015. Viscoelastic behavior of Cerish-Borax gels. *Journal of Polymer Science and Technology* 3: 1-11.
- [14] Rubin, R. (2002). The Melagria: on anchorites and edible roots in Judaeen Desert. *Liber Annus*, 52: 347-352.
- [15] Jahanbin K., Abbasian A., & Ahang, M. (2017). Isolation, purification and structural characterization of a new water-soluble polysaccharide from *Eremurus*

- stenophyllus (boiss. & buhse) baker roots. Carbohydrate Polymers, 178, 386-393.
- [16] Shahrpour, D., Razavi, S. M. A. (2023). Fabrication and characterization of novel biodegradable active films based on Eremurus luteus root gum incorporated with nanoemulsions of rosemary essential oil. Progress in Organic Coatings.
- [17] Muhidinov, Z.K., Bobokalonov, J.T., Ismoilov, I.B., Strahan, G.D., Chau, H.K., Arland T. Hotchkiss, A.T., & Liu, L. (2020). Characterization of two types of polysaccharides from Eremurus hissaricus roots growing in Tajikistan. Food Hydrocolloids, 105.
- [18] Baratian Garghi, S., Mohebi, M., & Koocheki, A. 2017. Investigating the properties of a new biodegradable film from Sirish: evaluating the effect of the type and concentration of plasticizer. Master thesis of food science and industry. Ministry of Science, Research and Technology. Ferdowsi University of Mashhad - Faculty of Agriculture.
- [19] ASTM E96-00. (1995). Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. In Annual Book of American Standard Testing Methods. Philadelphia, PA: American Society of Testing and Materials.
- [20] Shaygannia, Sh., Eshaghi, M.R., Fazel, M., & Hashemiravan, M. (2020). Phenolic compounds and antioxidant activities of lemon wastes affected by microencapsulation using coatings of Arabic, Persian, and basil seed gums. Journal of Food Measurement and Characterization, 1-11.
- [21] Salehi, E., Emam-Djomeh, Z., Askari, Gh., & Fathi, M. (2019). Opuntia ficus indica fruit gum: Extraction, characterization, antioxidant activity and functional properties. Carbohydrate Polymers, 206, 565-572.
- [22] Niazmand, R., & Yeganehzad, S. (2020). Capability of oxygen-scavenger sachets and modified atmosphere packaging to extend fresh barberry shelf life. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 7:28.
- [23] Roy, S., & Whan Rhim, J. (2020). Carboxymethyl cellulose-based antioxidant and antimicrobial active packaging film incorporated with curcumin and zinc oxide. International Journal of Biological Macromolecules, 148, 666-676.
- [24] Hasheminya, S., Mokarram, R.R., Ghanbarzadeh, B., Hamishekar, H., Kafil, H.S., & Dehghannya, J. (2019). Development and characterization of biocomposite films made from kefir, carboxymethyl cellulose and Satureja Khuzestanica essential oil. Food Chem, 289, 443-452.
- [25] ASTM D882. (2009). Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [26] Niazmand, R., & Razavizadeh, B.M. (2021). Active polyethylene films incorporated with β -cyclodextrin/ferula asafoetida extract inclusion complexes: Sustained release of bioactive agents. Polymer Testing, 95.
- [27] Kian, L.K., Saba, N., Jawaid, M., Alothmanb, O.Y., & Fouad, H. (2020). Properties and characteristics of nanocrystalline cellulose isolated from olive fiber. Carbohydrate Polymers, 241, 1-7.
- [28] Malsawmtluangi, C., Thanzami, K., Lahlhlemawia, H., Selvan, V., Palanisamy, S., Kandasamy, R., & Pachauau, L. (2014). Physicochemical characteristics and antioxidant activity of Prunus cerasoides D. Don gum exudates. International Journal of Biological Macromolecules, 69, 192-199.
- [29] Zahedi, Y. (2019). Edible/Biodegradable Films and Coatings from Natural Hydrocolloids. Emerging Natural Hydrocolloids: Rheology and Functions.
- [30] Saravani Pak, E., Najafi Ghaghelestani, S., & Najafi, M.A. (2020). Preparation and characterization of a new edible film based on Persian gum with glycerol plasticizer. Journal of Food Science and Technology. 1-11.
- [31] Arham, R., Mulyati, M.T., Metusalach, M., & Salengke, S. (2016). Physical and mechanical properties of agar based edible film with glycerol plasticizer. International Food Research Journal 23(4): 1669-1675.
- [32] Kokoszka, S., Debeaufort, F., Hambleton, A., Lenart, A. and Voilley, A. (2010). Protein and glycerol contents affect physico-chemical properties of soy protein isolate-based edible films. Innovative Food Science and Emerging Technologies 11: 503-510.
- [33] Sadeghi-Varkani, A., Emam-Djomeh, Z., & Askari, Gh. (2017). Physicochemical and Microstructural Properties of a Novel Edible Film Synthesized from Balangu Seed Mucilage. International Journal of Biological Macromolecules.
- [34] Carneiro-da-Cunha, M. G., Cerqueira, M. A., Souza, B. W., Souza, M. P., Teixeira, J. A., & Vicente, A.A. (2009). Physical properties of edible coatings and films made with a polysaccharide from Anacardium occidentale L. Journal of Food Engineering, 95, 379-385.
- [35] Javanmard, M., & Golestan, L. 2010. Water vapor permeability of edible films based on whey protein concentrate and olive oil Iranian Chemical Engineering Journal, 9 (46).
- [36] Ameri Nasab, A., & Khodaiyan, F. 2014. An attitude on the properties of edible films based on kefir extracellular polysaccharide. The first national snack conference
- [37] Haq, M.A., Hasnain, A., & Azam, M. (2014). Characterization of edible gum cordia film: Effects of plasticizers. LWT - Food Science and Technology, 55(1), 163-169.
- [38] Rezaei Taqiabadi, M., Moftun Azad, N., Badiei, F., Hosseini, S. A. 2018. Evaluation of factors affecting mechanical properties, turbidity and water vapor permeability of tragacanth based edible films using surface response method. Quarterly Journal of Food Science and Industry. 37(9).
- [39] Razavi, S. M. A., Amini, A. M., Zahedi, Y. (2015). Characterisation of a new biodegradable edible film based on sage seed gum: Influence of plasticiser type and concentration. Food Hydrocolloids, 43, 290-298.
- [40] Ren, J. (2008). Study on edible film based on whey protein concentrate. Wuxi: Jiangnan University.
- [41] Kibar E.A.A., & Ferhunde, US. (2017). starch-cellulose ether films: microstructure and water resistance. J Food Process Eng 40:1-8.
- [42] Dick, M., Costa, T.M.H., Gomaa, A., Subirade, M., Rios, A.D.O., & Flôres, S.H. (2015). Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. Carbohydrate Polymers, 130, 198-205.
- [43] Haq, M.A., Jafri, F.A., & Hasnain, A. (2016). Effects of plasticizers on sorption and optical properties of gum cordia based edible film, JFST 53 (6), 2606-2613.
- [44] Al-Hassan, A.A. and Norziah, M.H. (2012).
- [45] Starchgelatin edible films: water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. Food Hydrocolloids 26: 108-117.

- [46] Jongjareonrak, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., Prodpran, T. and Tanaka, M. (2006). Characterization of edible film from skin gelatin of brownstripe red snapper and bigeye snapper. *Food Hydrocolloids* 20: 492-501.
- [47] Polnaya, F.J., Talahatu, J., Haryadi and Marseno, D.W. (2012). Properties of biodegradable films from hydroxypropyl sago starch. *Asian Journal of Food and Agro-Industry* 5(3): 183-192.
- [48] Fazilah, A., Maizura, M., Abd Karim, A., Bhupinder, K., Rajeev, B., Uthumporn, U. and Chew, S. H. 2011. Physical and mechanical properties of sago starch – alginate films incorporated with calcium chloride. *International Food Research Journal* 18(3): 1027-1033
- [49] Ren, Y.Y., Fang, J.L., Gong, R.Z., Xiang, Z.L., & Sun, P.P. 2023. Preparation of alkali-soluble polysaccharide from *Clausena lansium* (Lour.) Skeels and its effects on properties of chitosan-based edible film. *Sec. Sustainable Food Processing*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1185951>
- [50] Murdinah, Darmawan, M. and Fransiska, D. (2007). Characteristics of edible film of the composite alginate, gluten and beeswax. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan* 2(1): 19-25.
- [51] Zhang, P., Zhao, Y., & Shi, Q. (2016). Characterization of a novel edible film based on gumghatti: Effect of plasticizer type and concentration. *Carbohydrate Polymers*, 153: 345-355.
- [52] Embuscado, M. E., & Huber, K. C. (2009). *Edible films and coatings for food applications* (pp. 213-214). New York, NY, USA:: Springer.
- [53] Kamboj, S., & Rana, V. (2014). Physicochemical, rheological and antioxidant potential of corn fiber gum. *Food Hydrocolloids*, 39:1-9.
- [54] Rajaei, A., Shekarchizadeh, H. 2018. Investigating the physical and mechanical properties of biodegradable film prepared from Javashir gum *Food science and industry*. 91 (16).
- [55] Soni, B., Mahmoud, B., Chang, S., El-Giar, E.M., & Hassan, E.B. 2018. Physicochemical, antimicrobial and antioxidant properties of chitosan/TEMPO biocomposite packaging films. *Food Packaging Shelf Life*;17:73-9.
- [56] Jouki, M., Khazaei, N., Ghasemlou, M., & HadiNezhad, M. (2013). Effect of glycerol concentration on edible film production from cress seed carbohydrate gum, *Carbohydr. Polym.* 96 (1) ; 39–46.
- [57] Karaman, K., Polat, B., Ozturk, I., Sagdic, O., & Ozdemir, C. (2011). Volatile Compounds and Bioactivity of *Eremurus spectabilis* (Ciris), a Turkish Wild Edible Vegetable. *Journal of Medicinal Food*, 14(10).



Scientific Research

Fabrication of biofilm based on water-soluble polysaccharide extracted from the *Eremurus Spectabilis* root: investigation of physicochemical, mechanical and antioxidant properties

Zahra Hosseinpour ¹, Razieh Niazmand ^{2*}, MohammadReza Abdollahi Moghaddam ³, Mahboobe Sarabi- Jamab ⁴

1- PhD student, Department of - Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.

2- Professor, Department of - Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Green technologies in Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.

4- Associate Professor, Department of Food Microbiology Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2024/12/01

Review: 2025/04/28

Accepted: 2025/05/04

Keywords:

polysaccharide,

biodegradable film,

mechanical physical properties,

antioxidant activity

DOI: 10.48311/fsct.2026.83936.0

*Corresponding Author E-

r.niazmand@rifst.ac.ir

Bionanocomposite materials provide an opportunity to use new, high-performance, light-weight, and environmentally friendly composite materials that can replace traditional non-biodegradable plastic packaging materials. In the present study A biofilm based on water-soluble polysaccharide extracted from the root of *Eremurus Spectabilis* species was prepared And the effect of different concentrations of polysaccharide (1, 1.5 and 2%) on the physical and mechanical properties of the film was investigated. The results showed that with increasing polysaccharide concentration, film thickness and water vapor permeability increased, but its solubility decreased. Also, with increasing polysaccharide concentration, the tensile strength of the films increased significantly. The color analysis of the films showed that parameters a and b increased with increasing polysaccharide concentration, but parameter L decreased. The highest transparency and visible light transmission was related to the 1% polysaccharide film. 1% polysaccharide film was chosen as the final film due to its acceptable mechanical properties, The SEM test of the selected film also showed that the polysaccharide film is a solid and compact film without cracks or holes. According to the results of the DSC test, the melting process of the film was carried out in the temperature range of 202.63-280.46°C. The findings of the current research demonstrate that polysaccharides derived from *E. Spectabilis* root possess the capability to create an efficient film or coating suitable for food preservation, as well as serving as an intermediary layer in multilayer film applications.