مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

ساخت بیوفیلم بر پایه پلی‌ساکاریدمحلول در آب استخراج شده از ریشه سریش گونه اسپکتابیلیس: بررسی ویژگی های فیزیکوشیمیایی، مکانیکی و آنتی اکسیدانی

زهرا حسین پور[۱]، راضیه نیازمند[۲*]، محمدرضا عبدالّهی‌مقدم[۳]، محبوبه سرابی جماب[٤]

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.

٤- استاد گروه زیست فناوری مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

تاریخ داوری: ۱۴۰٤/۰۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰٤/۰۲/۱٤

کلمات کلیدی:

پلی ساکارید،

فیلم زیست تخریب پذیر،

خواص فیزیکی مکانیکی،

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

DOI: 10.48311/fsct.2026.83936.0

* مسئول مکاتبات:

r.niazmand@rifst.ac.ir

چکیده

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 می‌توانند جایگزین مواد بسته‌بندی پلاستیکی غیرقابل تجزیه زیستی سنتی شوند. درپژوهش 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 فیلم‌ها به طور معنی داری افزایش پیدا کرد.آنالیز رنگ فیلم‌ها نشان داد پارامترa 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 می‌باشد. طبق نتایج آزمون DSC فرآیند ذوب فیلم در محدوده دمایی ۲۸۰/٤٦-۲۰۲/٦۳ درجه سانتی‌گراد بود. نتایج پژوهش حاضر بیانگر قابلیت پلی ساکارید ریشه سریش برای تهیه فیلم یا پوشش کارامد برای نگهداری مواد غذایی و یا به عنوان لایه میانی در فیلم های چند لایه می باشد.

۱-مقدمه

بسته‌بندی 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 بسته‌بندی که معمولاً مورد استفاده قرار می گیرند، پلاستیک‌های مشتق شده از نفت هستند[۲]. طبق آمار جهانی، تولید پلاستیک در سال ۲۰۲۰ حدود ۳۵۰ میلیون تن برآورد شد که حدود ٤٠ درصد آن توسط صنعت بسته‌بندی 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[٤].

پلیمرهای زیستی به عنوان ترکیبات زنجیره بلند متشکل از زیر واحدهای مولکول شناخته می‌شوند. زیست تخریب‌پذیر وسازگار با محیط زیست هستند و از منابع طبیعی تجدیدپذیر از سیستم‌های بیولوژیکی مانند میکروارگانیسم‌ها، گیاهان و حیوانات به دست می‌آیند[٥].

فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر نسبت به پلاستیک‌های معمولی به دلیل مواد اولیه پرهزینه و فرآیندهای تولید تخصصی، پرهزینه‌تر و عموماً به شرایط محیطی حساس‌تر هستند و ماندگاری کوتاه‌تری دارند اما با این وجود فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر می‌توانند تحت شرایط خاص به اجزای بی‌ضرر تجزیه شوند و اثرات طولانی مدت زیست محیطی را کاهش دهند[٦].

با توجه به ساختار شیمیایی طیف گسترده‌ای از پلیمرها به عنوان موجودات زنده سنتز شده، آن‌ها را می‌توان به گروه‌های اصلی طبقه بندی کرد: ۱) پلی ساکاریدها، ۲) پروتئین‌ها و ۳) پلی‌استرها. همچنین بر اساس پیشرفت های صورت گرفته در بیوتکنولوژی، پلیمرهای طبیعی را می توان توسط تخمیر میکروارگانیسم ها یا درتولید آزمایشگاهی توسط فرآیندهای آنزیمی به دست آورد[۷].

مطالعات روی یافتن منابع جدید پلی ساکاریدی در سراسر جهان رو به افزایش می‌باشد. هدف از این پلی ساکاریدهای جدید کاربردهای مختلفی از جمله بسته‌بندی (فیلم‌های 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 فیلم‌های زیستی به آن ها بستگی دارد. این نوع فیلم‌ها 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، معمولا در مقابل انتقال گازها مقاوم می‌باشد و بالعکس. مقاومت در برابر انتقال گاز برای فیلم‌های پلی ساکاریدی بسیار چشم گیر است. بنابراین می توان از آنها برای پوشش و یا بسته‌بندی 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 نسبتا 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 ریزوم‌دار، بهار گل و متعلق به خانواده آسفودلاسه[1] است. از دانه‌های این گیاه، روغنی گرفته می‌شود که در طب سنتی برای درمان تصلب شریان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. از

1-Asphodelaceae

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 عصار ه ای، مواد آلبومینوئیدی، 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 ضداکسایشی 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 تخریب‌پذیر از سریش را با غلظت ۱ درصد وزنی بررسی کردند[۱۸].

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[1] 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 سیوکالچیو[2]، ۲ و ۲ دی فنیل-۱ پیکریل هیدرازیل[3]، 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 هموژن 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 پلی‌ساکاریدها، جهت جداسازی پلی ساکاریدها از سانتریفیوژ با سرعت ۷۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه

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

2 Folin-Cicalteus Phenol Reagent

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

در دمای محیط استفاده شد. در انتهای فرآیند استخراج، پلی‌ساکارید به دست آمده با استفاده از خشک‌کن هوای داغ در دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد به مدت ٢٤ ساعت خشک، پس از آن آسیاب و بعد از الک کردن با مش ٤٥ درون ظروف مخصوص ریخته شد و برای انجام آزمون های بعدی در محیط سرد و خشک نگهداری گردید.

٣-٢- تولید فیلم

برای تهیه محلول تشکیل‌دهنده فیلم ESREP، ابتدا غلظت‌های مختلفی از ESREP (١، ١/٥ و ٢ درصد وزنی/ حجمی) در آب مقطر تهیه شده و به مدت ٢٤ ساعت روی همزن مغناطیسی همگن شد. سپس به آن ٣٠ درصد وزنی/وزنی بر حسب وزن پلی ساکارید گلیسرول افزوده و به مدت ٣٠ دقیقه روی همزن مغناطیسی قرار گرفت تا کاملا پخش شود. در نهایت ٤٦ میلی لیتر از محلول تشکیل‌دهنده فیلم در پلیت پلاستیکی با قطر ١٠ سانتی متر ریخته و در خشک کن در دمای ٤٥ درجه سانتی گراد به مدت ٢٤ ساعت نگهداری شد. فیلم از سطح پلیت جدا شد و به منظور مشروط‌سازی، به درون خشکانه حاوی محلول اشباع نیترات منیزیم (رطوبت نسبی فضای داخلی خشکانه در دمای ٢٥ درجه سانتی‌گراد، حدود ٥٣ درصد بود) منتقل و خشکانه مدت ٧٢ ساعت در محیط با دمای ٢٥ درجه سانتیگراد قرار داده شد. فیلم مشروط شده در کیسه های پلاستیکی زیپی تا زمان انجام آزمون ها بسته‌بندی شد. فیلم‌های سالم و بدون حباب برای اندازه گیری خواص فیلم انتخاب شدند.

٤-٢- اندازه‌گیری ضخامت فیلم

ضخامت فیلم درپنج نقطه تصادفی از سطح فیلم با یک میکرومتر دیجیتال (با دقت ٠/٠٠١ ± میلی متر) (Mitutoyo، توکیو، ژاپن) اندازه‌گیری و سپس میانگین داده‌ها ± انحراف معیار گزارش شد[٩].

٥-٢- تعیین حلالیت فیلم

برای تعیین حلالیت فیلم خشک شده در آب، فیلم با ابعاد ٢×٢ سانتی متر مربع در داخل ٥٠ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ٦ ساعت در دمای اتاق غوطه‌ور شد. فیلم حل نشده با فیلتر کاغذی واتمن در پایان زمان جدا شده و سپس در آون ١٠٣ درجه سانتی گراد به مدت ٢٤ ساعت خشک شد. حلالیت فیلم با رابطه ٢-١ محاسبه شد:

رابطه ٢-١

$$\text{حلالیت فیلم (درصد)} = \frac{M1-M2}{M1} \times ١٠٠$$

که در آن M_1 وزن فیلم خشک اولیه (به گرم) و M_2 وزن فیلم حل نشده خشک (به گرم) می‌باشد[٩].

٦-٢- نفوذپذیری بخار آب[1]

برای اندازه‌گیری نفوذپذیری به بخار آب از روش ASTM E96 (١٩٩٥) استفاده شد. برای این کار از ویال‌های شیشه‌ای استفاده شد. در درپوش این ویال‌ها منفذی به قطر ١٣ میلی‌متر قرار دارد که قطعه‌هایی از فیلم مورد آزمون در این قسمت قرار می‌گیرد. سیلیکاژل در داخل ویال‌ها قرار داده شد. درپوش ویال با قطعه‌هایی از فیلم پوشانده شد. ویال‌ها با تمام محتویات توزین شده و درون دسیکاتوری حاوی آب نمک کلرید سدیم اشباع قرار گرفتند. دسیکاتور در درون گرمخانه در دمای ٢٥ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و به مدت ده روز هر ٢٤ ساعت یکبار وزن ویال‌ها اندازه‌گیری شد. مقدار بخارآب انتقال‌یافته از فیلم‌ها، از روی افزایش وزن ویال ها با گذشت زمان رسم شد و پس ازمحاسبه رگرسیون خطی، شیب خط حاصل محاسبه گردید. از تقسیم کردن شیب خط مربوط به هر ویال به کل سطح فیلم که در معرض انتقال بخارآب قرار داشت، سرعت انتقال بخارآب[2] به دست آمد.میزان نفوذپذیری بخارآب فیلم‌ها از رابطه زیر محاسبه شد.

رابطه ٢-٢

$$WVP = (WVTR.X)/ P$$

1- Water vapor permeability (WVP)

2- water vapor transmision rate(WVTR)

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

۲-۷- فعالیت آنتی‌اکسیدانی

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

۲-۷-۱- قدرت مهار رادیکال DPPH

برای تعیین قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH فیلم، ۲/۵ میلی لیتر از محلول متانولی (DPPH با غلظت ۰/۰۰٤ درصد) به ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره فیلم درون لوله آزمایش افزوده و مخلوط حاصله به شدت همزده شد. لوله های 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)

×۱۰۰جذب کنترل / (جذب نمونه -جذب کنترل)

رابطه۲-۳

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 نمونه ها پس از دو ساعت با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷٦۰ نانومتر خوانده شد[۲۱].

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

برای بررسی رنگ نمونه‌های فیلم، عکس های نمونه با استفاده از یک اسکنر رومیزی (HP Scanjet300، چین) اسکن شدند. یک قطعه ۳×۲ سانتی‌متری از تصویر هر کدام (فرمت JPEG؛ ٤۰۰ 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 × ۵ سانتی‌متر) به ترتیب در ۲۸۰ نانومتر (T280) و ٦٦۰ 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 × ٤۰ میلی متر) در طول موج ٦۰۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر UV-vis ثبت شد. کدورت هر فیلم توسط روش Hasheminya و همکاران (۲۰۱۹) مطابق رابطه۲-٤ تعیین شد:

$$\text{کدورت} = \frac{A600}{X} \qquad \text{رابطه۲-٤}$$

که در آن X، ضخامت فیلم (میلی متر) و A600 جذب فیلم در ٦۰۰ نانومتر است[۲٤].

۲-۹- 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 ٦ × ۱ 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[1] ۲۰۰ نیوتن برای دستگاه استفاده شده و فاصلهٔ

[1] Load cell

دو فک۴۰ میلی‌متر و سرعت حرکت فک بالایی در ۴۰ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم شد.

۲-۱۰- ریزساختار

ریزساختار سطح نمونه‌های فیلم با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی[1] مدل MIRA3 TESCAN با روکش طلایی و با ولتاژ ۱۰ کیلو ولت مورد بررسی قرار گرفت[۲۶].

۲-۱۱- ویژگی‌های حرارتی

برای اندازه‌گیری خواص حرارتی از کالریمتر اسکن دیفرانسیل[2] (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 افزارSTAR*E مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند[۲۷].

۲-۱۲- طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز[3]

حضور گروه‌های عاملی توسط طیف‌سنجی مادون قرمز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل حدود ۱۰ میلی‌گرم 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 سانتی‌متر با وضوح =۴ ثبت شد [۲۸].

۲-۱۳- تجزیه و تحلیل آماری

آزمون‌ها در سه تکرار انجام و نتایج به صورت میانگین انحراف معیار (SD) گزارش شدند. تجزیه و تحلیل آماری از طریق طرح کاملا تصادفی ساده و تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) در P ۰/۰۵ با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۲۳) انجام شد.

۳-نتایج و بحث

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 فیلم‌ها شد(p ۰/۰۵ >)، ضخامت فیلم به عوامل مختلفی و عمدتاً محتوای مواد جامد محلول تشکیل دهنده فیلم بستگی دارد، معمولاً غلظت بالاتر محلول فیلم باعث ایجاد فیلم‌های ضخیم‌تر می‌شود. علاوه بر این، ماهیت و ترکیب فیلم‌ها بر ضخامت تأثیر می گذارد[۲۹]. بنابراین افزایش غلظت ESREP، مواد جامد حل شده بیشتر در محلول و در نتیجه فیلم‌های ضخیم تر ایجاد می کند. تأثیر افزایش غلظت مواد پایه بر افزایش ضخامت فیلم‌های 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 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 ۰/۰۵) کاهش پیدا کرد. میزان حلالیت فیلم‌ها از ۲۶/۷ درصد تا ۴۴/۶ درصد متغیر بود. افزایش در حلالیت فیلم‌های مورد مطالعه با محتوای پلی ساکارید رابطه معکوس داشت. این پدیده ممکن است به دلیل فشرده شدن ساختار فیلم با افزایش غلظت ESREP

1- Scanning Electron Microscopy (SEM)

2 -Differential Scanning Calorimeter (DSC)

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 بخارآب

خواص بازدارنده یک فیلم پلیمری برای تخمین یا پیش‌بینی ماندگاری ماده غذایی بسته‌بندی شده در آن بسیار مهم است. تاثیر سه غلظت مختلف ESREP بر روی WVP در جدول ۱ نشان داده شده است. تفاوت بین WVP فیلم‌ها معنی‌دار بود (۰/۰۵ p).با افزایش غلظتESREP، WVP فیلم‌ها از ۰/ ۵ 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[۳٤]، 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، ۳٦]. 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 گروه های هیدروکسیل موجود در صمغ باشد که سبب افزایش فعل و انفعال با آب می‌گردد و به انتقال بخارآب در ساختمان فیلم کمک می‌کند، که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر مطابقت داشت. همچنین نتایج Haq و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد که WVP فیلم صمغ کوردیا به عنوان تابعی از ضخیم‌ترشدن 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 تاثیر اثر خطی غلظت صمغ کتیرا و گلیسرول بود. به گونه‌ای که نفوذپذیری بخارآب فیلم، با افزایش غلظت صمغ کتیرا و گلیسرول افزایش یافت[۳۸]. همچنین در پژوهشSaravani 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 منظم‌ترشدن زنجیره‌های درون ماتریکس فیلم و ممانعت بهتر فیلم در برابر نفوذ بخارآب، کاهش یافت[۳۳].

با توجه به نتایج موجود برای WVP فیلم‌های سنتزی[۲۹] می‌توان گفت WVP فیلم تهیه شده از غلظت‌های مختلف ESREP تقریبا۷٦۰ برابر بیشتر از WVP فیلم‌های سنتزی با ممانعت‌کنندگی خوب (پلی وینیلیدین کلراید با g/m Pa s $^{-11}$ ۱۰× ۰/۰۸۳) و حدود ۱/۳ برابرکمتر از WVP فیلم‌های سنتزی با ممانعت کنندگی پایین (سلفون با g/m Pa s $^{-10}$ ۱۰× ۸/٤۱) می‌باشد. با توجه به ماهیت آبدوست هیدروکلوئیدهای طبیعی، فیلم‌های خوراکی آماده شده از آن‌ها نمی‌توانند به عنوان یک ممانعت‌کننده بخارآب موثر عمل کنند.

جدول۱. خصوصیات فیزیکی فیلم (میانگین ±انحراف معیار) با غلظت‌های مختلف ESREP

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

۱ درصد	۰/۰ ± ۰۴/۰۰۱^{c}	۰± /۳^{a} ۴۴/۶	۵/۰ ۰± /۱^{c}
۱/۵ درصد	۰/۰ ± ۰۶/ ۰۰۵^{b}	۰± /۲^{b} ۴۰/۵	۵/۰ ± ۹/۱^{b}
۲ درصد	۰/۰ ± ۰۹/۰۰۳^{a}	۰± /۱^{c} ۲۶/۷	۸/۱ ۰ ± /۱^{a}

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

٤-۳- 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 بسته‌بندی فیلم خوراکی شفافیت و روشنایی بالا است[۳۹، ٤۰] .

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

شفافیت فیلم‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. بالاترین مقدار کدورت در فیلم‌های ساخته شده، برای فیلم ۱/۵ درصد و پایین ترین مقدار کدورت برای فیلم ۲ درصد ESREP به دست آمد. افزایش مقدار ESREP اثرات متفاوت بر شفافیت فیلم‌ها داشت. در واقع، سطح مورفولوژی فیلم‌ها یک عامل تعیین کننده برای چنین تغییراتی در کدورت است، زیرا بازتاب نور می‌تواند تحت تاثیر همگنی ماتریس فیلم درسطح تماس فیلم – هوا قرار گیرد. به عبارت دیگر، سطوح بالاتر همگنی، سطوح کمتری از کدورت را فراهم می‌کند[٤۱] .

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

نتایج نشان داد فیلم‌های ESREP در مقایسه با فیلم‌های مصنوعی مانند پلی اتیلن با دانسیته کم[1](با ٦۷/۵ درصد عبور نور UV) و پلی پروپیلن جهت‌دار[2] (با ۸۰ درصد عبور نور UV) به میزان خیلی کمتری نور UV را از خود عبور می‌دهد[٤۲، ٤۳]. پارامترهای رنگی و شفافیت فیلم‌های ESREP قابل قبول و قابل مقایسه با سایر فیلم‌های هیدروکلوئیدی است.

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

فیلم ESREP	a	b	L	۲۸۰ (nm)	کدورت (۶۰۰nm)	نشر (۶۶۰nm)
۱ درصد	۰/۱±۸/۲^{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±۲/۲^{c}

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

۳-۵- خواص کششی

ویژگی‌های کششی فیلم‌های خوراکی/تخریب‌پذیر با اندازه‌گیری سه پارامتر معمول: مقاومت کششی[3]، افزایش طول در نقطه پارگی[4] و مدول الاستیک[5] یا مدول یانگ[6] ارزیابی می‌شوند. تاثیر افزودن غلظت ESREP بر روی خواص کششی فیلم‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. بـا

1 -LOW-density polyethylene (LDPE)

2 -Oriented polypropylene (OPP)

3 -Tensile strength (TS)

4 -Elongation at break (EB)

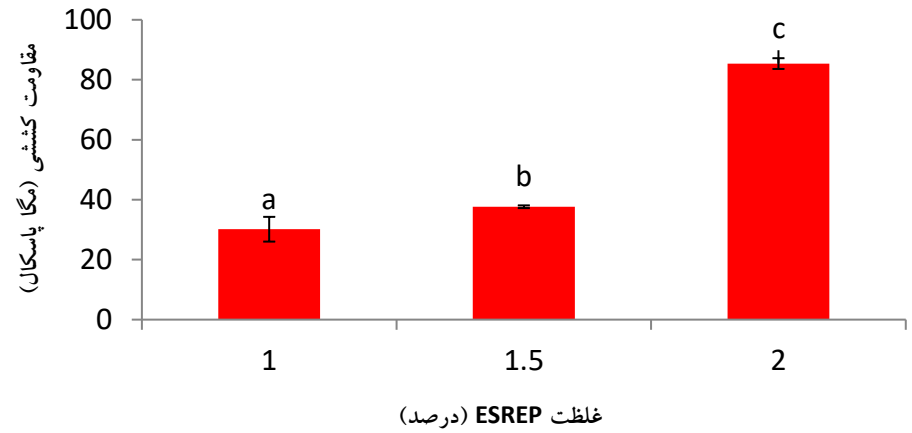
5 -Elastic modulus (EM)

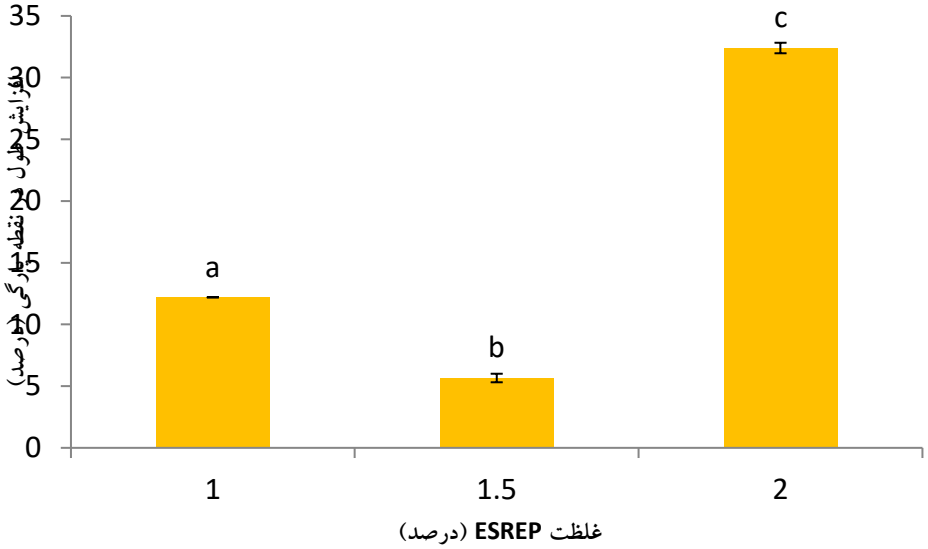
6 -Young’s modulus (YM)

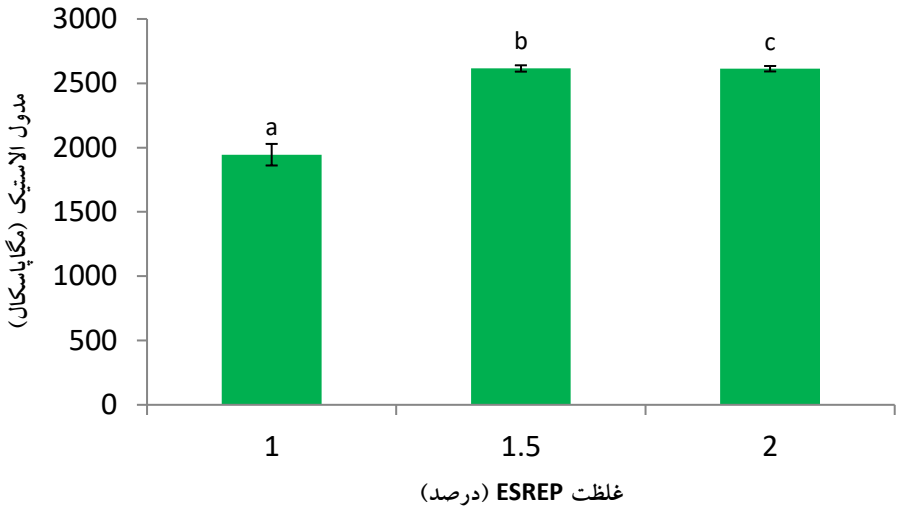
توجه به نتایج، اختلاف معناداری از لحاظ مقاومت کششی و افزایش طول در نقطه پارگی بین فیلم‌ها مشاهده شد (p /۰۵ ۰).نتایج نشان داد مقاومت کششی و مدول یانگ با افزایش غلظت ESREP به طور معنی داری افزایش پیدا کرد (p /۰۵ ۰). بیشترین مقاومت کششی و بیشترین افزایش طول در نقطه پارگی مربوط به فیلم با غلظت ۲ درصد ESREP بود، به طوری که با افزایش غلظت ESREP از ۱ درصد به ۲ درصد مقاومت کششی از ۳۰/۱۵ مگاپاسکال به ۸۵/٤ مگاپاسکال و افزایش طول در نقطه پارگی از ۱۲/۲ درصد به ۳۲/٤ 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 درساخت فیلم‌های مبتنی بر آگار [۳۱]، موسیلاژ دانه بالنگو [۳۳] و پروتئین و نشاسته [٤٤ – ٤٧] 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 [٤٨، ٤٩]. 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 (۲۰۱٦)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.


مقاومت کششی (مگا پاسکال)
100
80
60
40
20
0
a
b
c
1
1.5
2
غلظت ESREP (درصد)


35
30
25
20
15
10
5
0
a
b
c
1
1.5
2
غلظت ESREP (درصد)



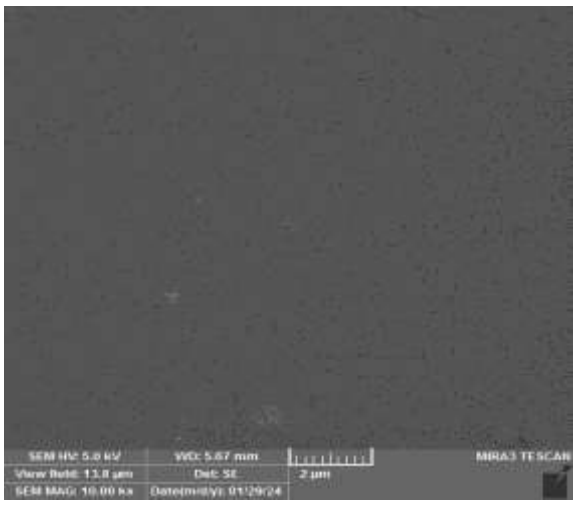
شکل۱. خواص کششی فیلم‌های ESREP: مقاومت کششی (a) افزایش طول در نقطه پارگی (b) و مدول الاستیک (c). نوارهای خطا انحراف معیار (SD) را نشان می دهد. حروف غیر مشابه روی هر ستون بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی داری را نشان می‌دهد (P < ۰/۰۵).

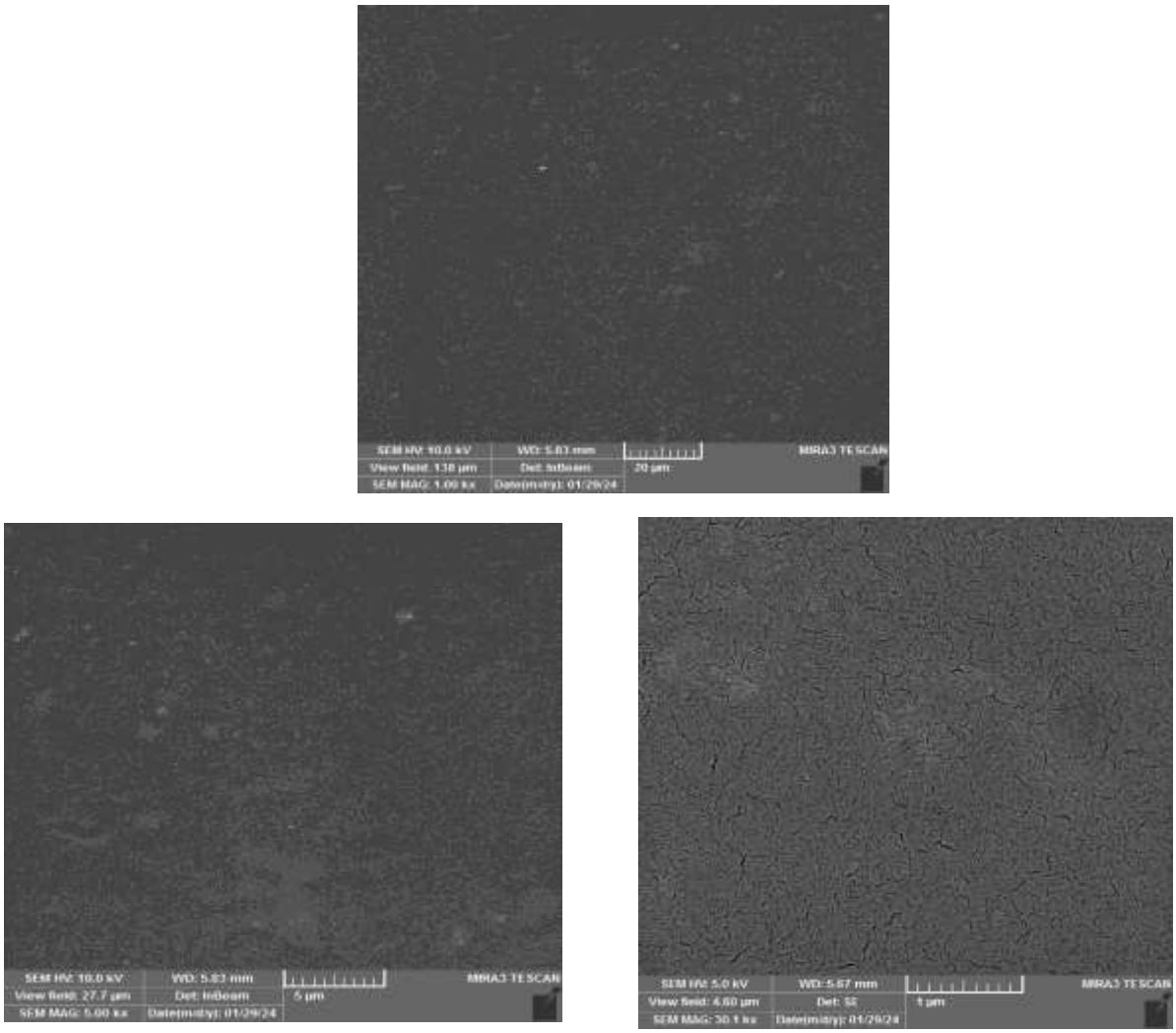
۲-۳- خصوصیات فیلم ESREP بهینه

۱-۲-۳- ریز ساختار

میکروگراف‌های گرفته شده از سطح یا مقطع عرضی فیلم برای روشن‌کردن 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 سطح و تعیین ضخامت فیلم استفاده می شود. 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 فیلمESREP بهینه توسط یک ساختار متراکم تشکیل شده است و دارای مورفولوژی سطحی کاملا یکنواخت و همگن است.





شکل۲. تصاویر میکروسکوپی الکترونی فیلم ۱ درصد ESREP با بزرگنمایی های مختلف

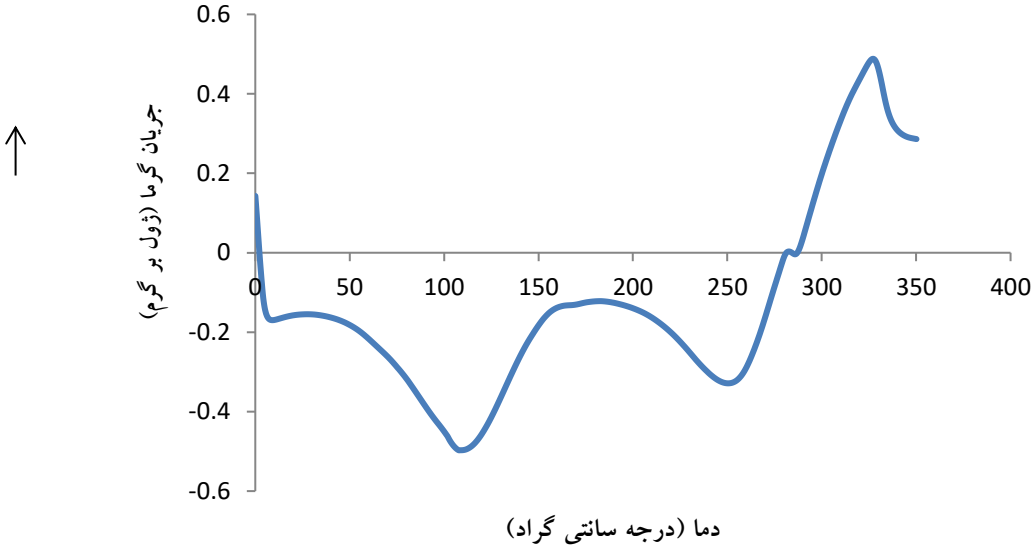
۲-۲-۳- ویژگی‌های حرارتی

جدول ۳ نتایج آنالیز حرارتی فیلم تهیه شده از ESREP با غلظت ۱ درصد را نشان می‌دهد. ترموگرام فیلم (شکل ۳) نشانگر یک پیک اندوترم اولیه در محدوده ۱۵۲/٦۵- ٦٦/۱٦ درجه سانتی گراد بود. این پیک متناظر با دفع سطحی رطوبت پیوند یافته با گروه های هیدروفیل نمونه است[۵۲]. ذوب شدن که پدیدهای گرماگیر است در قسمت‌های بلورین پلیمرها اتفاق می‌افتد. ذوب شدن زمانی رخ می‌دهد که زنجیره‌های 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 ۲۸۰/٤٦- ۲۰۲/٦۳ درجه سانتی‌گراد ثبت گردید که می‌تواند 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 سانتی‌گراد قابل مشاهده است که احتمالا مربوط به دپلیمره شدن و تجزیه شدن زنجیره پلیمری می‌باشد[٥٤].

جدول ۳. پارامترهای حرارتی فیلم ESREP ۱ درصد

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



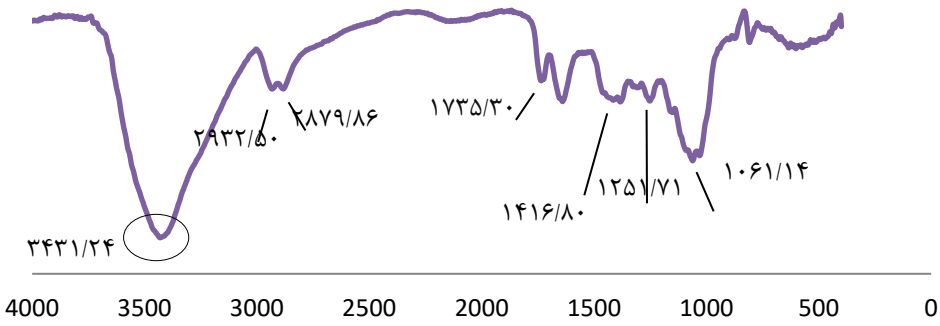
شکل ۳.ترموگرام DSC فیلم تهیه شده از ESREP با غلظت ۱ درصد

۳ . ۲ . ۳. طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز

روش طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز در پلی‌ساکاریدها معمولا 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 ٤ نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، در محدوده ۳۵۹۰-۲۹۵۰ که مشخصه ارتعاشات کششی O-H است، پیک جذبی با عدد موجی ۳٤۳۱/۲٤وجود دارد که مربوط به ارتعاشات کششی آزاد، درون و بین مولکولی گروه های عاملی هیدروکسیل می‌باشد. این گروه مربوط به رطوبت فیلم، حضور گلیسرول یا گروه های هیدروکسیل حلقه قند است .در محدوده ۳۰۰۰-۲۸۰۰که 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

همچنین این ناحیه معیاری از مناطق آمورف است. باند جذب در طول موج ۱۷۳۵/۳۰ بر سانتی‌متر می‌تواند به ارتعاش کششی C=O اسیدارونیک [۸] مربوط باشد. پیک‌های مشاهده شـده در ناحیه ۱۵۰۰–۱۲۰۰ بر سانتی‌متر به ارتعاش باندهای خمشی گروه های C-H و بانـدهای خمشـی گـروه‌هـای الکلـی O-H نسبت داده می‌شود. ناحیه بین ۹۵۰ و ۱۱۵۰ بر سانتی‌متر مربوط به نوسانات C-O و C-O-C گلیکوزیدی و باندهای C-O-H است [۳۹].



شکل ۴. طیف FTIR فیلم ESREP ۱ درصد

٤-۲-۳- فعالیت آنتی‌اکسیدانی

ظرفیت آنتی اکسیدانی بسته‌بندی می‌تواند در طراوت و توسعه ماندگاری مواد غذایی نقش داشته باشد.

میزان ترکیبات فنلی نمونه فیلم ۱ درصد ESREP ۱۳۵/۲±۰٦/۹۰(میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم پودر عصاره) و قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH، ۲۵/۰±۵٦/٦۰ درصد بود. Soni و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که فعالیت آنتی اکسیدانی ۷۵/۲۵ درصد وزنی و ۱۰۰/۰ درصد وزنی فیلم‌های کیتوزان/ نانوالیاف سلولزی (CNFs)TEMPO نسبت به مهار رادیکال DPPH به ترتیب ۲/۱ و ۸/۲ (میلی گرم فعالیت ترولاکس در گرم نمونه) بود. از این‌رو، 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 گلیسرول (۵۰ – ۳۰ درصد) در پژوهش Shahrampour و Razavi (۲۰۲۲) به ترتیب ۱۸/۳۹ و ۲۵/۷۱ – ۱٦/۹۸ درصد قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH را نشان دادند[٥٦، ۹].

Karaman و همکاران (۲۰۱۱) مقدار ترکیبات فنولی، فعالیت های آنتی اکسیدانی ، ضد میکروبی، آنتی رادیکالی عصاره‌های اتانولی، متانولی و آبی سریش حاصل از منطقه آنتالیا را مورد بررسی قرار دادند. سی و چهار ترکیب فرار در اروموروس اسپکتابیلیس شناسایی شد. عمده‌ترین ترکیبات فنلی اروموروس، کاروون۱۷ و کارواکرول۱۸ بودند. بیشترین مقدار ترکیبات فنولی در عصاره های متانولی به مقدار۰/٤۸ ± ۳۱/۹۲ 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. قوی‌ترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی در عصاره متانولی مشخص گردید[۵۷].

17-CARVONE

18- CARVACROL

٤-نتیجه‌گیری

در این پژوهش ویژگی‌های فیزیکی مکانیکی بیوفیلم بر پایه پلی ساکاریدمحلول 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 محلول های 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 آزمون هایSEM، DSC، FTIRو فعالیت آنتی اکسیدانی انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که فیلم پلی ساکارید گزینه ای مناسب برای تلفیق با سایر فیلم‌های شفاف سنتزی جهت تهیه فیلم‌های چند لایه برای کاربردهای بسته‌بندی موادغذایی می‌باشد، زیرا سبب افزایش زیست تخریب پذیری فیلم‌های مذکور خواهد شد.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافع مالی یا روابط شخصی شناخته‌شده‌ای ندارند که بتواند بر پژوهش گزارش‌شده 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. محمدرضاعبدالهی مقدم: نگارش(بازبینی و ویرایش)، نظارت، مدیریت داده‌ها. محبوبه سرابی جماب:نگارش (بازبینی و ویرایش)، نظارت، مدیریت داده‌ها.

دسترسی به داده ها

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

بیانیه هوش مصنوعی

از هوش مصنوعی استفاده نشده است.

٥-منابع

[1] [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 Characterizationof 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-Bandegharaei, 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] Shahrampour, 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 Judaean Desert. Liber Annuus, 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] Shahrampour, 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 modifed 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 kefiran, 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., Lalhlenmawia , H., Selvan , V., Palanisamy , S., Kandasamy , R., & Pachuau , 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).

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

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- Professor, Department of Food Biotechnology, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

ARTICLE INFO

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

ABSTRACT

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.