



تأثیر افزودن کربوکسی متیل سلولز و مونت موریلونیت بر خواص فیزیکی-شیمیایی و حرارتی فیلم زیست تخریب پذیر موسیلاژ دانه ریحان

مرضیه قمی مرزدشتی^۱ و یونس زاهدی^{۲*}

۱- مرضیه قمی مرزدشتی، دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- یونس زاهدی (مسئول مکاتبات)، دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۴

کلمات کلیدی:

بسته بندی مواد غذایی،

زیست تخریب پذیری،

نانوکامپوزیت.

DOI: 10.22034/FSCT.20.145. 74

* مسئول مکاتبات:

younes.zahedi@gmail.com

Y_zahedi@uma.ac.ir

هدف از این مطالعه بهینه سازی و بهبود خواص بیوپلیمر بر پایه موسیلاژ دانه ریحان و کربوکسی متیل سلولز (۱۰۰، ۱۶۲/۵ و ۲۲۵٪ وزنی موسیلاژ) با استفاده از نانورس (صفر و ۸٪ وزنی موسیلاژ) و با بهره گیری از روش تولید قالب گیری بود. پس از تهیه ضخامت، رطوبت، دانسیته، خواص مکانیکی، طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) و وزن سنجی حرارتی (TGA) در فیلم ها اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که ضخامت و دانسیته فیلم خالص BSM بصورت معنی داری تحت تأثیر اضافه شدن CMC و MMT قرار نگرفتند ($p > 0.05$) ولی مقدار رطوبت با افزایش غلظت CMC روند کاهشی به خود گرفت ($p < 0.05$) در حالیکه حضور MMT روی این پارامتر بی تأثیر بود. استفاده از CMC و MMT باعث افزایش مقاومت به کشش نهایی و همچنین ازدیاد طول تا نقطه پارگی نانوکامپوزیت ها شد به گونه ای که بیشترین مقاومت کششی و ازدیاد طول در نقطه پارگی به ترتیب به میزان ۲۷/۹ MPa و ۴۱٪ برای نانوکامپوزیت حاوی ۸٪ MMT و ۲۲۵٪ CMC حاصل شد. نتایج FTIR حاکی از این بود که فعل و انفعالات شیمیایی خاصی که منجر به تولید ترکیبات جدید شود اتفاق نیفتاده است و فقط شدت و ضعف پیک های جذبی تا حدی تغییر کرده و در مواردی نیز طول موج های پیک های جذبی بصورت جزئی تغییر مکان داده اند. نتایج TGA نشان داد افزودن CMC و MMT سبب بهبود مقاومت حرارتی فیلم ها می شود. در مجموع، نتایج اندازه گیری ها حاکی از تأثیر مثبت CMC و MMT روی فیلم BSM بود و تیمار حاوی MMT و بیشینه غلظت CMC را می توان به عنوان فیلمی با ویژگی های بهتر برای استفاده در بسته بندی توصیه نمود.

۱- مقدمه

امروزه بسته‌بندی برای حفظ کیفیت غذا و تامین ایمنی بهداشتی مصرف‌کننده استفاده می‌شود. بسته‌بندی از محصولات غذایی در برابر آسیب‌های فیزیکی (خرد شدن، ساییدگی و ضربه)، شیمیایی (پرتو فرابنفش) و بیولوژیکی (میکروارگانیسم‌ها) حفظ کرده و به جابجایی، حمل و نقل و ذخیره‌سازی ایمن آن‌ها کمک می‌کند. در دهه‌های گذشته، از مواد پلاستیکی مبتنی بر نفت به دلیل خواص جذاب آن‌ها مانند انعطاف‌پذیری، ایمنی، تطبیق‌پذیری و هزینه کم در صنایع غذایی استفاده شده است. از مزایای فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر با توجه به کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی می‌توان به جلوگیری از انتقال رطوبت، اکسیژن و طعم‌ها و در نتیجه افزایش ماندگاری محصولات غذایی اشاره کرد. پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌های گیاهی به عنوان مواد خام برای تهیه فیلم‌های بیونانوکامپوزیت توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند، که این امر به دلیل در دسترس بودن و همچنین هزینه پایین آن‌ها می‌تواند باشد [۱]. موسیلاژ دانه ریحان^۱ (BSM) پلی‌ساکارید اسیدی است که دارای محتوای اسید اورونیک تقریباً ۷٪ است. در مقایسه با پلی‌ساکاریدهای دیگر، BSM دارای مزایای جذابی از جمله هزینه تولید پایین، زیست‌سازگاری، تجزیه‌پذیری زیستی و خواص رئولوژیکی خوب است که آن را قادر می‌سازد به عنوان یک عامل تشکیل دهنده فیلم از پتانسیل بسیار خوبی برخوردار باشد [۲]. BSM به دلیل ارزان بودن، عدم تحریک‌پذیری و غیرسمی بودن، کاربردهای گسترده‌ای دارد. آن خواص فیزیکی و شیمیایی قابل توجهی مانند ظرفیت جذب آب بالا، ویسکوزیته بالا، مقاومت در برابر حرارت، رفتار شبه پلاستیک غیرنیوتنی، جذب، خواص امولسیون‌کنندگی و تثبیت‌کنندگی را ارائه می‌دهد [۳]. همچنین گزارش شده است که BSM می‌تواند فیلم‌هایی با ظاهر خوب و خواص مکانیکی رضایت‌بخش تولید کند [۴ و ۵]. در تحقیقی از موسیلاژ دانه ریحان به‌عنوان ماده تشکیل دهنده فیلم خوراکی استفاده و تأثیر افزودن گلیسرول به-عنوان نرم‌کننده مورد بررسی قرار گرفت؛ نتایج نشان داد که افزودن گلیسرول به طور قابل توجهی نفوذپذیری بخار آب و حلالیت فیلم موسیلاژ دانه ریحان را افزایش داد و افزایش

غلظت گلیسرول از ۲۵ به ۵۰٪ باعث افزایش کشش پذیری و کاهش استحکام کششی شد [۲]. در تحقیق دیگری با افزودن اسانس پونه کوهی به موسیلاژ دانه ریحان، فیلمی با ویژگی‌های ضدباکتریایی و آنتی‌اکسیدانی تولید شد که عمر مفید برش‌های تازه زردآلو را افزایش و سبب کاهش فساد میوه و در نتیجه نگهداری بهتر زردآلو شد [۶].

کربوکسی متیل سلولز (CMC) از مشتقات سلولزی بوده و کاربرد گسترده‌ای در تولید فیلم‌های خوراکی و زیست‌تخریب‌پذیر دارد؛ مطالعات نشان داده است که فیلم‌های تهیه شده از CMC دارای مقاومت مکانیکی متوسطی، مقاوم به نفوذ روغن، شفاف، فاقد بو و طعم می‌باشند [۷]. مطالعات نشان داده‌است که هر چند نفوذپذیری و حساسیت نسبت به رطوبت فیلم‌های CMC و دیگر فیلم‌های حاصل از مشتقات سلولزی در مقایسه با سایر فیلم‌های بیوپلیمری آب دوست کمتر می‌باشد، ولی در مقایسه با فیلم‌های سنتزی بیشتر است [۸]. به دلیل انعطاف‌پذیری کم و شکنندگی فیلم‌های CMC از نرم‌کننده‌ها به منظور افزایش انعطاف‌پذیری آن‌ها استفاده می‌شود. در طی سال‌های اخیر مطالعات زیادی بر روی بهبود خواص کاربردی فیلم‌های بیوپلیمری از طریق تولید فیلم‌های آلیاژی با استفاده از مخلوط کردن یک پلیمر زیست‌تخریب‌پذیر با سایر بیوپلیمرها انجام گرفته است [۹].

مشکل اصلی بیونانوکامپوزیت‌ها، خصوصیات مکانیکی نسبتاً ضعیف و بازدارندگی کم در برابر رطوبت و گازها می‌باشد که باعث ایجاد محدودیت‌هایی در کاربرد آن‌ها شده‌است. از روش‌های بهبود خواص فیلم‌های بیوپلیمری طبیعی استفاده از پرکننده‌هایی با ویژگی‌های خاص است. مواد غیرآلی مختلفی مثل مواد جامد لایه‌ای، نانوفیبرهای سنتزی، نانولوله‌های کربنی و نانورشته‌های سلولزی را می‌توان به‌عنوان پرکننده به پلیمر افزود و نانوکامپوزیت تهیه کرد [۱۰]. نانوکامپوزیت‌های پلیمری بخصوص نانوکامپوزیت‌های سیلیکاتی به خاطر وجود ذراتی با ابعاد نانو که در ماتریکس پلیمری پخش شده‌اند خصوصیات مکانیکی، نوری، حرارتی و فیزیکی-شیمیایی بهتری در مقایسه با

1- Basil seed mucilage

۲-مواد و روش‌ها

دانه ریحان از عطاری در شهر اردبیل، گلیسرول و نیترات کلسیم ۴ آبه از شرکت مرک آلمان، نمک سدیم CMC (CMC, 400- CMC 2% in H₂O (25 °C)) 800 cP از شرکت سیگما الدریج آلمان و نانورس (سدیم مونت موریلونیت (Cloisite® Na+)) از شرکت نانوکور آلمان تهیه شدند.

۲-۱- استخراج موسیلاژ از دانه ریحان

برای استخراج موسیلاژ دانه ریحان از روش رضوی و همکاران [۱۵] (دمای آب مقطر ۵۰ °C، pH=۷، زمان خیساندن ۲۰ دقیقه و نسبت آب به دانه ۱:۵۰ (وزنی-وزنی) استفاده شد. موسیلاژ استخراج شده درون قالب‌های پلی‌پروپیلنی منتقل و در آن با دمای ۵۰ °C به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت تا خشک شود. موسیلاژ خشک شده از ظرف جدا و توسط آسیاب پودر شده و تا لحظه مصرف درون کیسه‌های زیپ‌پک نگهداری شد.

۲-۲- تهیه فیلم نانوکامپوزیت

۲-۳-تهیه محلول نانورس

برای تهیه محلول نانورس ابتدا ۰/۳۲ گرم نانورس، (۸٪ w/w موسیلاژ) به ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شده و همزدن به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق توسط همزن مغناطیسی با دور rpm ۱۲۰۰ انجام شد. سپس، به مدت ۳۰ دقیقه در التراسوند آبی (Backer vCLEAN, 6 L IRAN) با فرکانس ۳۵kHz تحت سونیکاسیون قرار گرفت و بلافاصله بعد از اتمام برای جلوگیری از رسوب ذرات، بصورت تدریجی به محلول فیلم‌ساز اضافه شد [۱۶].

۲-۴- تهیه فیلم خالص BSM، فیلم‌های آمیخته BSM

CMC- و نانوکامپوزیت‌ها

برای تهیه فیلم خالص BSM در ابتدا ۰/۴ گرم (۱۰۰٪ w/w موسیلاژ ریحان) گلیسرول به عنوان پلاستی‌سایزر درون ظرف توزین و سپس آب مقطر اضافه شد. حرارت دادن تا رسیدن محلول به دمای ۸۰ °C انجام شد؛ سپس پودر موسیلاژ ریحان بصورت تدریجی اضافه شده و هم زدن به مدت ۱۰ دقیقه با دور rpm ۱۲۰۰ صورت گرفت. در ادامه، دهانه ظرف حاوی موسیلاژ

پلیمر خالص یا کامپوزیت‌های رایج ارائه می‌کند. همچنین، مزایای دیگری مانند نفوذپذیری پایین، دانسیته کم، شفافیت و خصوصیات سطحی خوب دارند و زیست تخریب‌پذیری شان همچنان حفظ می‌گردد و بعد از تجزیه، مواد غیر آلی و مواد معدنی طبیعی بر جای می‌ماند [۱۱]. مونت موریلونیت^۱ (MMT) یا نانو رس یکی از پرکننده‌های غیر آلی رسی می‌باشد که ساختار بلوری و لایه‌ای شامل ورقه‌های سیلیکات انباشته شده روی هم با نسبت منظر بالا دارد. بالا بودن نسبت منظر نقش مهمی در افزایش خواص مکانیکی و فیزیکی مواد کامپوزیتی دارد. به‌طور معمول قطر صفحات سیلیکاتی در دامنه ۱۰ الی ۱۰۰۰ نانومتر می‌باشد. استفاده از MMT به دلیل دارا بودن منشأ طبیعی، مدول الاستیک بالا و بهبود ویژگی‌های مکانیکی مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۱۲]. به دلیل این ویژگی‌های ممتاز از نانورس به شکل گسترده‌ای در صنعت بسته‌بندی و برای تقویت بیوپلیمرهای تولید شده استفاده شده و نتایج بسیار مطلوبی گزارش شده است؛ محققان گزارش کرده‌اند که افزودن MMT به فیلم نشاسته- CMC باعث افزایش استحکام کششی بیش از سه برابری در مقایسه با بیوکامپوزیت‌های نشاسته- CMC شد. همچنین، در سطح ۷٪ MMT، نانوکامپوزیت‌ها کمترین انحلال را نشان دادند [۱۳]. در تحقیق دیگری که بر بهبود خواص فیلم CMC با کاربرد MMT تمرکز داشت، نتایج نشان داد که CMC بهترین خواص تشکیل فیلم را در مقایسه با سایر پلیمرهای زیستی که مورد آزمایش قرار گرفتند، ارائه کرد و قابلیت بازدارندگی و ویژگی‌های فیزیکی آن در حضور نانورس بسیار بهبود یافت [۱۴]. بررسی منابع نشان داد که در هیچ پژوهشی از ترکیب همزمان موسیلاژ دانه ریحان به همراه CMC و نانورس برای تهیه فیلم زیست تخریب‌پذیر استفاده نشده بود. لذا هدف از این پژوهش تهیه فیلم آمیخته بر پایه موسیلاژ دانه ریحان و با غلظت‌های مختلف CMC بود تا تأثیر افزودن CMC روی فیلم خالص BSM اندازه‌گیری شود. در ادامه، نانورس در غلظت پایین و بهینه مستخرج از مقالات، برای کاهش اثرات منفی احتمالی ناشی از افزودن CMC به فرمولاسیون فیلم اضافه شد و مجدداً خواص فیلم‌های حاصل تعیین گردید.

1- Montmorillonite

* BSM = basil seed mucilage, CMC= carboxymethyl cellulose, MMT= montmorillonite.

۲-۵- مشروط کردن فیلم‌ها و اندازه‌گیری ضخامت

پس از خشک شدن فیلم‌ها به آرامی از سطح قالب‌ها جدا شده و درون کیسه‌های زیپ کیپ نگهداری شد. قبل از انجام آزمون‌ها فیلم‌ها داخل دسیکاتور حاوی محلول اشباع نیترات کلسیم ۴ آبه (رطوبت نسبی $50 \pm 2\%$) در درجه حرارت $23 \pm 2^\circ\text{C}$ و به مدت ۴۸ ساعت مشروط شدند. ضخامت فیلم‌ها توسط میکرومتر دیجیتالی (QLR digit-IP54, China) و قبل از انجام آزمون‌ها در چند نقطه از فیلم تعیین و میانگین آن برای محاسبات استفاده شد.

۲-۶- اندازه‌گیری رطوبت فیلم‌ها

برای اندازه‌گیری میزان رطوبت فیلم‌ها، دو گرم از هر کدام از نمونه‌ها در 105°C تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد. میزان رطوبت از رابطه (۱) محاسبه شد. این آزمون در مورد هر کدام از نمونه‌ها سه بار تکرار شد.

$$\text{میزان رطوبت (\%)} = \frac{(W_f - W_0)}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

W_0 : وزن اولیه قبل از خشک کردن W_f : وزن نمونه پس از خشک کردن

۲-۷- دانسیته فیلم

فیلم در ابعاد $2 \times 2 \text{ cm}^2$ تهیه شده و بعد از مشروط شدن سریعاً توزین شده و بلافاصله ضخامت هر فیلم در چندین نقطه با میکرومتر اندازه‌گیری گردید. دانسیته فیلم (g/cm^3) با رابطه (۲) محاسبه گردید. تعداد ۳ تکرار برای هر نمونه انجام و میانگین گرفته شد.

$$\text{فیلم دانسیته} = \frac{\text{وزن (g)}}{\text{سطح (cm}^2\text{)} \times \text{ضخامت (cm)}} \quad (2)$$

توسط فویل مسدود شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه برای هیدراتاسیون کامل قرار گرفت. تیمار شاهد در روز دوم قالب‌گیری شده و باقی تیمارها ابتدا بر روی هیت‌ر با دور ۹۰۰ rpm تا دمای 80°C گرم شده و CMC به مقدار لازم و بصورت تدریجی افزوده و ۴۰ دقیقه با دور ۱۲۰۰ rpm هم زده شد. در نهایت، بعد از سپری شدن زمان لازم، هم زدن نیز متوقف شده و محلول در دمای محیط به حال خود قرار داده شد تا ضمن خنک شدن حباب‌های هوا نیز از آن خارج گردد و سپس قالب‌گیری شد. برای تیمارهای حاوی نانورس، محلول نانورس بلافاصله پس از اتمام التراسوند بصورت قطره‌قطره اضافه شد و هم زدن روی هیت‌ر خاموش به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۱۲۰۰ rpm ادامه یافت. پس از رسیدن به دمای محیط، محلول‌های فیلم‌ساز قالب‌گیری شده و به همراه سایر تیمارها در آون 50°C به مدت ۳۶ ساعت تا خشک شدن قرار گرفتند [۱۶]. مواد مورد استفاده در این پژوهش برای ساخت نانوکامپوزیت‌ها شامل موسیلاژ دانه ریحان، کربوکسی متیل سلولز و نانو ذرات رس بودند. نسبت ترکیب این مواد و تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش در جدول (۱) ارائه شده‌اند:

Table 1 Formulations of basil seed mucilage based films*.

Film composition (treatment)	BSM (g/10 0 ml water)	CMC (g/10 0 ml water)	MM T (g/10 0 ml water)
T1 = BSM	0.40	0	0
T2 = CMC 100%+BSM	0.40	0.40	0
T3 = CMC 162.5%+BSM	0.40	0.65	0
T4 = CMC 225%+BSM	0.40	0.90	0
T5 = MMT 8%+CMC 100%+BSM	0.40	0.40	0.032
T6 = MMT 8%+CMC 162.5%+BSM	0.40	0.65	0.032
T7 = MMT 8%+CMC 225%+BSM	0.40	0.90	0.032

۸-۲- خواص مکانیکی

ویژگی‌های مکانیکی شامل مقاومت به کشش نهایی^۱ (UTS) و درصد ازدیاد طول تا نقطه پارگی^۲ (EB/%) بر اساس استاندارد ASTM D882 – 02 و به وسیله دستگاه بافت سنج STM-20 (SANTAM, Eng. Design CO. LTD.) با لودسل ۲۵ کیلوگرم اندازه‌گیری گردید. فیلم‌ها در ابعاد $1 \times 8 \text{ cm}^2$ بریده شدند. فاصله بین دو فک قبل از شروع آزمون ۵ cm و سرعت حرکت فک ۵۰ mm/min بود. تعداد ۵ تکرار برای هر نمونه انجام و میانگین گرفته شد.

۹-۲- آنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR)

برای سنجش طیف زیر قرمز در حالت عبور فیلم‌ها از دستگاه اسپکتروفتومتر FT-IR (Perkin-Elmer Spectrum RXI FT-) استفاده شد. طیف زیر قرمز در گستره عدد موجی Cm^{-1} ۴۰۰۰-۴۰۰ و تفکیک‌پذیری Cm^{-1} ۴ تعیین گردید.

۱۰-۲- وزن‌سنجی حرارتی (TGA)

رفتار حرارتی نمونه‌ها با دستگاه آنالیز وزن سنجی حرارتی (TGA) (LINSEIS STA PT-1000, Germany) در اتمسفر ازت و با سرعت روبش گرمایی 10°C/min از دمای اتاق تا 550°C بررسی شد.

۱۱-۲- آنالیز آماری

آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام پذیرفت. نتایج به‌دست‌آمده به کمک نرم افزار Minitab تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها با روش توکی و در سطح احتمال کمتر از ۵٪ انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ضخامت

تغییرات نسبت کربوکسی متیل سلولز (CMC) و نانورس (MMT) در ساختار کامپوزیت موسیلاژ دانه ریحان (BSM) بر ضخامت فیلم تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد ($p > 0.05$)؛ با اینحال همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، فیلم BSM خالص دارای کمترین ضخامت (۶۷ میکرومتر) و فیلم با بیشترین درصد CMC و MMT دارای بیشترین ضخامت (۸۸ میکرومتر) بود. در واقع، فیلم خالص BSM به دلیل کمترین مقدار ماده جامد در آن، کمترین ضخامت و بالعکس فیلم حاوی بالاترین میزان CMC و MMT با بیشترین مقدار ماده جامد، دارای ضخامت بیشینه بود. در تحقیقات گذشته مشخص شده است که کاهش درصد BSM و یا افزایش درصد CMC در ساختار فیلم تهیه شده از BSM و عصاره تیمول [۱۷] و نشاسته کاساوا و CMC [۱۸] باعث افزایش ضخامت فیلم‌ها شده‌است.

۳-۲- دانسیته

همانطور که در جدول ۲ مشخص است تغییرات نسبت CMC و MMT در ساختار نانوکامپوزیت بین دانسیته فیلم‌ها تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد ($p > 0.05$)؛ با این حال فیلم BSM خالص دارای کمترین دانسیته ($1/17$ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و فیلم T5 دارای بیشترین دانسیته ($1/40$ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود. از یک طرف با اضافه شدن CMC (دانسیته $= 1/6 \text{ g/cm}^3$) و MMT (دانسیته $= 2/3 \text{ g/cm}^3$) به فرمولاسیون فیلم انتظار بر این بود که افزایش دانسیته به دلیل دانسیته بالای این دو ماده اتفاق بیفتد. ولی از طرف دیگر، حضور این مواد به دلیل قابلیت جذب و نگهداری بالای آب، سبب کاهش خروج آب در هنگام خشک شدن (و کاهش محتوای رطوبت اندازه‌گیری شده (جدول ۳)) گردید و چون آب دانسیته کمتری نسبت به CMC و MMT دارد باقی ماندن بیشتر آب در پیکره فیلم‌ها منجر به خنثی کردن اثر افزایش دانسیته ناشی از این دو ماده شد و همانطور که داده‌ها نشان می‌دهند دانسیته فیلم‌های آمیخته و نانوکامپوزیت فقط کمی افزایش یافت.

Table 2 Effect of CMC and MMT addition on the thickness and density of BSM-based composite films*

- 1- Ultimate tensile strength
- 2- Elongation at break
- 3 -Fourier Transform Infrared Spectrometer
- 4- Thermogravimetric analysis

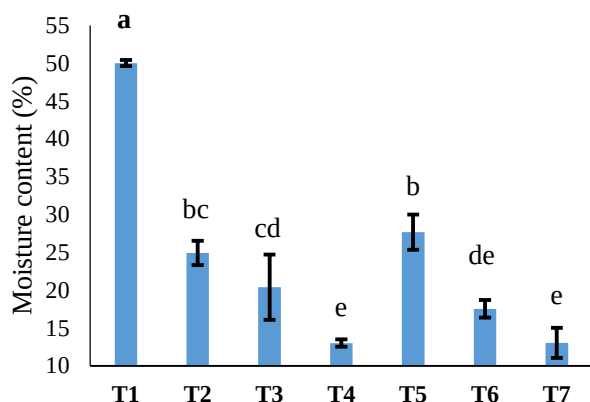


Fig 1 Effect of CMC and MMT addition on moisture content of BSM-based composite films (T1: BSM, T2: BSM + 100% CMC, T3: BSM + 162.5% CMC, T4: BSM + 225% CMC, T5: BSM + 100% CMC + 8% MMT, T6: BSM + 162.5% CMC + 8% MMT, T7: BSM + 225% CMC + 8% MMT). Different lowercase letters on the top of bars indicate significant differences ($p < 0.05$) among treatments.

Treatment	Thickness (μm)	Density (g/cm^3)
T1	67 $\pm$ 15.3 ^a	1.17 $\pm$ 0.17 ^a
T2	81 $\pm$ 13.6 ^a	1.40 $\pm$ 0.10 ^a
T3	67 $\pm$ 10.8 ^a	1.17 $\pm$ 0.18 ^a
T4	75 $\pm$ 2.0 ^a	1.37 $\pm$ 0.07 ^a
T5	80 $\pm$ 18.8 ^a	1.40 $\pm$ 0.05 ^a
T6	72 $\pm$ 25.2 ^a	1.29 $\pm$ 0.06 ^a
T7	88 $\pm$ 7.3 ^a	1.30 $\pm$ 0.12 ^a

*: T1: BSM, T2: BSM + 100% CMC, T3: BSM + 162.5% CMC, T4: BSM + 225% CMC, T5: BSM + 100% CMC + 8% MMT, T6: BSM + 162.5% CMC + 8% MMT, T7: BSM + 225% CMC + 8% MMT.

۳-۴- مقاومت به کشش نهایی (UTS)

خصوصیات مکانیکی پلیمرهای مرکب از جمله خصوصیات است که به میزان برهم‌کنش‌ها در سطح مشترک ترکیبات بستگی دارد. بطور کلی، برقراری برهم‌کنش‌های مناسب میان ترکیبات، سبب بهبود معنی‌دار در ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها می‌شود. در شکل ۲ اثرات نسبت‌های مختلف CMC و MMT بر مقاومت به کشش نهایی فیلم‌های نانوکامپوزیتی ارائه شده‌است که نشان می‌دهد افزایش CMC و MMT باعث افزایش مقاومت به کشش نهایی فیلم‌ها گردید. اما تغییرات ایجاد شده در مقاومت کششی تیمارها نسبت به تیمار شاهد به غیر از تیماری که بیشترین درصد CMC و MMT را دارد، معنی‌دار نیست. افزایش مقاومت کششی با افزایش CMC، احتمالاً به دلیل ایجاد برهم‌کنش‌های بین مولکولی قوی در بین ماکرومولکول‌های CMC و BSM به دلیل شباهت ساختاری این دو ماده (پلی- ساکارید) می‌باشد که می‌تواند با تقویت شبکه بیوپلیمر به بهبود خواص کششی فیلم کمک کند [۲۰]. با کاهش میزان CMC خاصیت نرم‌کنندگی BSM غالب شده و مقاومت کششی فیلم کاهش می‌یابد. در واقع می‌توان بیان نمود حضور BSM در فضای بین رشته‌های CMC با ممانعت از تشکیل پیوندهای بین

۳-۳- محتوای رطوبت

در شکل یک اثر تغییرات نسبت CMC و نانورس MMT در ساختار کامپوزیت بر محتوای رطوبت فیلم‌ها نشان داده شده است. همانطور که مشخص است فیلم خالص BSM بیشترین رطوبت را دارد و با افزایش نسبت CMC رطوبت فیلم‌ها بصورت معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0.05$). با توجه به وجود تعداد زیادی گروه هیدروکسیل روی CMC، مقداری از آب آزاد موجود در فرمولاسیون با این گروه‌ها پیوند برقرار کرده و سبب کاهش خروج آب به هنگام خشک کردن خواهد شد [۱۷، ۱۸ و ۱۹]. با توجه به اینکه نسبت MMT در ساختار فیلم ناچیز بود تغییرات آن تأثیر معنی‌داری بر تغییرات رطوبت فیلم‌ها نداشت ($p > 0.05$).

۳-۵- ازدیاد طول تا نقطه پارگی (%EB)

ازدیاد طول در هنگام شکست، به توانایی فیلم برای مقاومت در برابر تغییرات شکل بدون پاره شدن اشاره دارد. ازدیاد طول برای فیلم‌های خوراکی مطلوب است زیرا ظرفیت فیلم را برای بسته‌بندی و احاطه کردن مواد غذایی بهبود می‌بخشد [۳۰]. در شکل ۳ اثرات نسبت‌های مختلف CMC و MMT بر ازدیاد طول تا نقطه پارگی فیلم‌های نانوکامپوزیتی ارائه شده است.

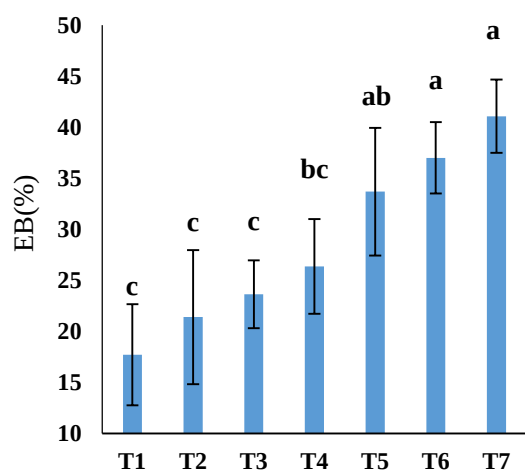


Fig 3 Effect of CMC and MMT addition on elongation at break (EB) of BSM-based composite films (T1: BSM, T2: BSM + 100% CMC, T3: BSM + 162.5% CMC, T4: BSM + 225% CMC, T5: BSM + 100% CMC + 8% MMT, T6: BSM + 162.5% CMC + 8% MMT, T7: BSM + 225% CMC + 8% MMT). Different lowercases on the top of bars indicate significant differences ($p < 0.05$) among treatments.

همچنانکه مشخص است افزایش CMC و MMT باعث افزایش %EB فیلم‌ها شده است. در تحقیقات متعددی گزارش شده است که فیلم‌های مبتنی بر پلی‌ساکاریدها دارای انعطاف‌پذیری بالایی می‌باشند و با افزایش مقدار آن‌ها در ترکیب‌های کامپوزیتی، فیلم ویژگی کشسانی به خود گرفته و در اثر اعمال نیرو دچار تغییر شکل می‌شود. از آنجایی که محتوای آب فیلم‌های مبتنی بر پلی-ساکاریدها با رطوبت نسبی اتمسفر اطراف آن‌ها تغییر می‌کند، بسیار مهم است که فیلم‌ها در فضایی با رطوبت نسبی و دمایی مشابه شرایط محیطی برای کاربرد آن‌ها متعادل شوند و خواص

مولکولی، باعث کاهش مقاومت کششی و افزایش انعطاف‌پذیری فیلم می‌شود [۲۱ و ۲۲]. همچنین دلیل چنین پدیده‌ای را می‌توان به برقراری پیوندهای هیدروژنی قوی بین زنجیره‌های CMC نسبت داد. برقراری اتصالات قوی بین ماکرومولکول‌ها باعث افزایش پیوستگی و کاهش انعطاف‌پذیری فیلم‌ها با درصد بالای CMC می‌شود [۲۳]. در پژوهشی که توسط نور حزیره و همکاران [۲۴] در مورد تأثیر افزودن صمغ زانتان بر ویژگی‌های فیلم CMC-ژلاتین صورت گرفت تأثیر منفی افزودن این صمغ بر هر دوی UTS و EB آشکار گردید. در تحقیق وانگ و همکاران [۲۵] گزارش شد که افزودن موسیلاژ دیوسکورا/اوپوزیتا به فیلم CMC سبب کاهش UTS و افزایش EB فیلم‌ها گردید. تغییرات مکانیکی ایجاد شده پس از افزودن MMT به فیلم را می‌توان به این واقعیت نسبت داد که نسبت منظر زیاد لایه‌های سیلیکاتی بین لایه‌ای، سطح وسیعی برای ایجاد برهم‌کنش‌های قوی بین CMC و MMT فراهم می‌کند که به تقویت مقاومت به کشش و کاهش کشش‌پذیری فیلم‌ها می‌انجامد [۱۳، ۲۶ و ۲۷]. همسو با یافته‌های این مطالعه، گزارش‌های زیادی مبنی بر افزایش UTS و کاهش ازدیاد طول تا نقطه پارگی نانوکامپوزیت‌ها در نتیجه افزودن مقادیر کم نانورس وجود دارد [۲۸ و ۲۹].

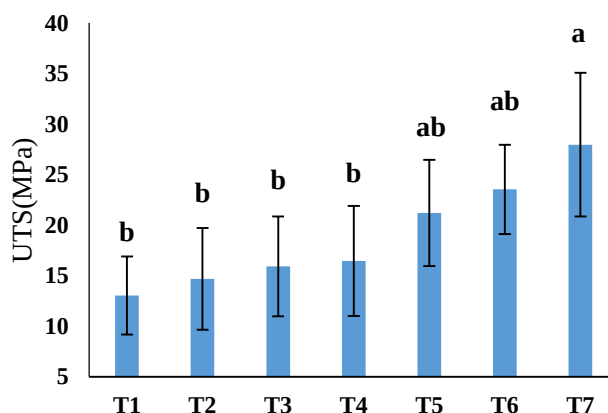


Fig 2 Effect of CMC and MMT addition on ultimate tensile strength (UTS) of BSM-based composite films (T1: BSM, T2: BSM + 100% CMC, T3: BSM + 162.5% CMC, T4: BSM + 225% CMC, T5: BSM + 100% CMC + 8% MMT, T6: BSM + 162.5% CMC + 8% MMT, T7: BSM + 225% CMC + 8% MMT). Different lowercases on the top of bars indicate significant differences ($p < 0.05$) among treatments.

آروماتیک C—H است [۱۹]. همانطور که از سایر منحنی‌های شکل مشخص است اضافه شدن CMC و MMT روند و شکل کلی منحنی BSM خالص را تغییر نداده و فقط شدت و ضعف پیک‌های جذبی تا حدی تغییر کرده و در مواردی نیز طول‌موج‌های پیک‌های جذبی بصورت جزئی تغییر مکان داده‌اند.

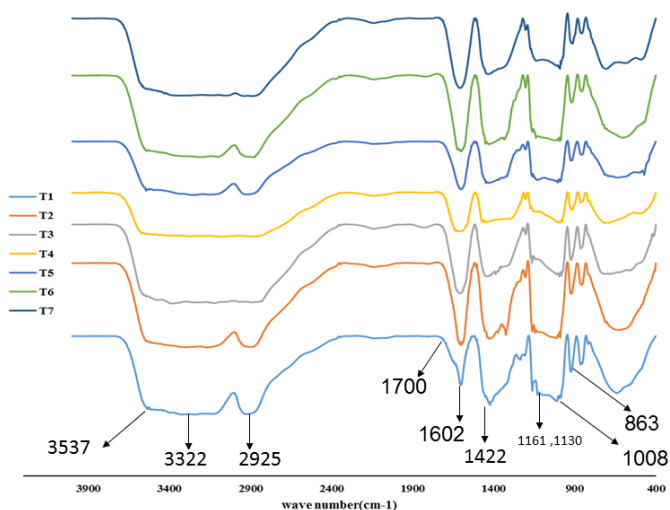


Fig 4 The FTIR spectra of BSM-based composite films (T1: BSM, T2: BSM + 100% CMC, T3: BSM + 162.5% CMC, T4: BSM + 225% CMC, T5: BSM + 100% CMC + 8% MMT, T6: BSM + 162.5% CMC + 8% MMT, T7: BSM + 225% CMC + 8% MMT).

۷-۳- وزن سنجی حرارتی (TGA)

کاربرد فیلم در بخش بسته‌بندی مواد غذایی تحت تأثیر پایداری حرارتی آن است. شکل‌های ۵ و ۶ منحنی‌های حرارت-وزنی (TGA) فیلم‌های نانوکامپوزیتی را نمایش می‌دهند. با توجه به این شکل‌ها چهار مرحله تخریب حرارتی در منحنی‌ها قابل تشخیص است. مرحله اول، بین ۳۵ تا ۱۰۰ °C، مربوط به تبخیر رطوبت است [۳۶]. مرحله دوم، در دمای ۱۲۰-۲۱۰ °C، به دلیل تخریب حرارتی گلیسرول در اسفنج ایجاد شد [۳۷]. مرحله سوم، در دمای ۲۵۵ تا ۳۲۰ °C، به دلیل تخریب حرارتی گلوکومانان، زایلان و سایر پلی‌ساکاریدها در همی سلولز در مولکول‌های BSM بود [۲]. مرحله چهارم، در دمای ۴۱۰-۴۶۰ °C، به دلیل تجزیه حرارتی سلولز و لیگنین در BSM بود [۳۸]. با افزایش %

مکانیکی آن‌ها در این شرایط تعیین شود. در واقع، محتوای آب لایه‌ها با رطوبت نسبی تغییر می‌کند و آب به عنوان یک نرم‌کننده لایه‌های مبتنی بر پلی‌ساکارید عمل می‌کند و در نتیجه بر خواص مکانیکی آن تأثیر می‌گذارد و باعث انعطاف‌پذیری بافت فیلم می‌شود [۳۱ و ۳۲]. در تحقیقات گذشته گزارش شده است که افزایش MMT به فیلم‌های خوراکی باعث تردی و شکنندگی آن‌ها می‌گردد بگونه‌ای که EB فیلم‌ها در اثر افزایش MMT کاهش می‌یابد [۱۳، ۱۶ و ۳۳]. با اینحال بنظر می‌رسد که کاربرد همزمان BSM و CMC که موادی آب‌دوست هستند و خاصیت کشسانی به فیلم می‌دهند اثر تردکنندگی MMT را خنثی کرده و موجب تشکیل فیلمی گردیده است که ضمن دارا بودن مقاومت کششی بالا از خاصیت کشسانی خوبی نیز برخوردار باشد. همچنین در تحقیقی که به بررسی اثر MMT بر خواص مکانیکی BSM متمرکز بود، با افزایش MMT مقدار EB افزایش یافته بود که می‌تواند بیانگر این واقعیت باشد که تعامل بین MMT و BSM متفاوت از سایر پلی‌ساکاریدها می‌باشد و ترکیب این دو ماده ساختاری قوی و انعطاف‌پذیر به فیلم خوراکی می‌دهد [۳۴].

۳-۶- آنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوری (FTIR)

نتایج طیف‌سنجی فیلم‌های نانو کامپوزیتی در شکل ۴ ارائه شده است. در این شکل منحنی مربوط به BSM خالص پیک‌های بین ۳۵۰۰ تا ۳۰۰۰ cm^{-1} مربوط به کشش OH- ناشی از پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی و درون مولکولی است، از جمله کشش گروه‌های آزاد OH- و همچنین گروه‌های پیوندی OH- اسید کربوکسیلیک و کشش OH- الکل [۳]. پیک‌های بین ۳۰۰۰ تا ۲۸۰۰ cm^{-1} کشش C—H و خمش CH₂، CH₃ و CH را نشان می‌دهند، پیک‌ها در ناحیه ۱۷۰۰-۱۶۰۰ cm^{-1} کشش گروه آمید I- از C=O و C—N را مشخص می‌کنند، در حالی که خمش N—H گروه آمیدی II- در محدوده ۱۶۰۰-۱۵۰۰ cm^{-1} قرار دارد [۳۵]. پیک‌های ۱۶۳۰-۱۶۰۰ cm^{-1} از گروه‌های کربوکسیلات آزاد هستند، پیک‌های بین ۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰ cm^{-1} کشش متقارن و نامتقارن C—O را نشان می‌دهند که حضور اسید اورونیک را تأیید می‌کند، پیک‌ها در محدوده ۱۱۳۰-۱۱۶۰ cm^{-1} به دلیل کشش C—O و C—O—C است. پیک در ۱۰۰۸ cm^{-1} کشش الکل با C=O را نشان می‌دهد و پیک در ۸۶۳ cm^{-1} به دلیل پیوند

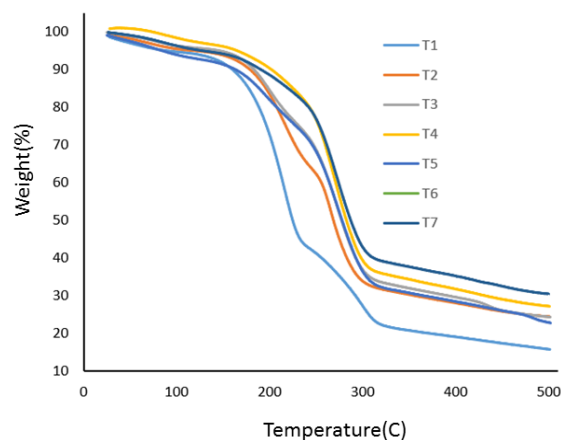


Fig 5 TGA graphs of BSM-based composite films (T1: BSM, T2: BSM + 100% CMC, T3: BSM + 162.5% CMC, T4: BSM + 225% CMC, T5: BSM + 100% CMC + 8% MMT, T6: BSM + 162.5% CMC + 8% MMT, T7: BSM + 225% CMC + 8% MMT).

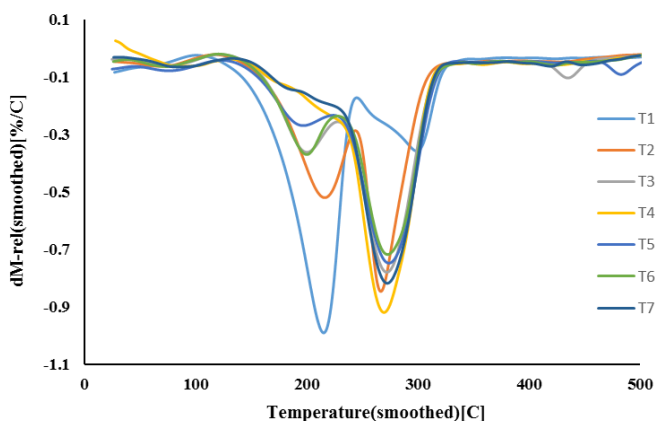


Fig 6 DTG graphs of BSM-based composite films (T1: BSM, T2: BSM + 100% CMC, T3: BSM + 162.5% CMC, T4: BSM + 225% CMC, T5: BSM + 100% CMC + 8% MMT, T6: BSM + 162.5% CMC + 8% MMT, T7: BSM + 225% CMC + 8% MMT).

CMC در فیلم‌های نانوکامپوزیتی خواص حرارتی فیلم‌ها مخصوصاً در مرحله سوم و چهارم افزایش یافته است. دلیل چنین پدیده‌ای می‌تواند به علت جایگیری BSM بین زنجیره‌های CMC باشد و در نتیجه محتوای رطوبتی کمتر فیلم‌های کامپوزیتی نسبت به فیلم BSM خالص باشد. افت وزن کمتر فیلم‌های کامپوزیتی در مرحله دوم را می‌توان به خواص حرارتی بهتر CMC نسبت داد که قابلیت تحمل دمای بیشتری را نسبت به فیلم BSM خالص دارند [۹]. علت افت وزن بیشتر فیلم BSM خالص نسبت به فیلم‌های کامپوزیتی می‌تواند به تبخیر یا تخریب بخشی از مواد فرار موسیلاژ و مواد آنتی‌اکسیدانی با پایداری کم نسبت داده شود [۳۹]. افت وزن کمتر فیلم‌های کامپوزیتی نسبت به فیلم BSM خالص در مرحله سوم احتمالاً به دلیل قرارگیری ترکیبات پایدار و معدنی موسیلاژ در اطراف و بین زنجیره‌های CMC است که به مانند لایه‌ها یا شبکه‌های محافظ عمل می‌کنند و باعث افزایش پایداری حرارتی فیلم می‌شوند. از جمله ترکیبات معدنی و فلزی جداسازی و شناسایی شده موسیلاژ که افزایش پایداری حرارتی را می‌توان به آن‌ها نسبت داد، ترکیباتی از قبیل کلسیم، فلئوئور، کلر، سیلیکا، سولفور، سدیم، پتاسیم، منیزیم، منگنز، آهن، روی و دیگر ترکیبات معدنی هستند که نسبت به دیگر مواد می‌توانند به وسیله ایجاد شبکه یونی بزرگتر و پیچیده‌تر و یا ایفای نقش به‌عنوان پرکننده‌ها در CMC مورد استفاده در این مطالعه، باعث پایداری بیشتر نانوکامپوزیت‌ها شده باشند [۴۰]. افت وزن بسیار کمتر فیلم‌های کامپوزیتی نسبت به فیلم BSM خالص در مرحله چهارم می‌تواند به وجود مواد آروماتیک در BSM نسبت داده شود به گونه‌ای که با افزایش نسبت CMC در فیلم‌ها مقدار مواد فرار آروماتیک کمتر شده و مقدار مواد خشک غیرفرار بیشتر می‌شود.

افزودن نانوذرات رس (MMT) تاحدی باعث بهبود خواص فیلم‌های کامپوزیتی شده‌است. MMT به علت ماهیت غیرآلی مقاومت حرارتی بالایی دارد و وجود آن می‌تواند باعث افزایش دمای شروع تجزیه حرارتی فیلم‌ها شود [۴۱]. از طرف دیگر نانوذرات با محدود کردن حرکات قطعات مولکول‌های CMC-

نقش مهمی دارد. برهمکنش بین سطحی بیشتر بین نانوذرات و زنجیره‌های پلیمری، باعث ایجاد محدودیت بیشتر برای حرکت زنجیرها خواهد شد و بدین ترتیب شکست زنجیره‌های پلیمری دشوارتر و دمای تجزیه آنها افزایش خواهد یافت [۴۶].

۴- نتیجه‌گیری

بنابر نتایج این تحقیق، افزودن CMC و MMT سبب بهبود ویژگی‌های مکانیکی نانوکامپوزیت‌های حاصله تا بیش از دو برابر در فیلم‌های حاوی بیشینه غلظت این دو ماده گردید بدون اینکه ضخامت فیلم‌ها از محدوده مناسب برای فیلم تجاوز کند. همچنین، خواص حرارتی فیلم‌ها در نتیجه حضور CMC و MMT افزایش یافت بدون اینکه فعل و انفعال شیمیایی خاصی روی طیف‌های حاصل از FTIR مشاهده شود. در مجموع می‌توان تیمار هفتم را بعنوان بهترین تیمار برای استفاده در بسته‌بندی اولیه مواد غذایی توصیه نمود.

۵- منابع

- [1] Ghanbarzadeh, B, Almasi, H. & Zahedi, Y. 2009. Biodegradable edible biopolymers in food and drug packaging. Tehran, Amir Kabir University of technology publication, 526 pages (In Persian).
- [2] Khazaei, N., Esmaili, M., Djomeh, Z. E., Ghasemlou, M., & Jouki, M. 2014. Characterization of new biodegradable edible film made from basil seed (*Ocimum basilicum* L.) gum. Carbohydrate polymers, 102: 199-206.
- [3] Maqsood, H., Uroos, M., Muazzam, R., Naz, S., & Muhammad, N. 2020. Extraction of basil seed mucilage using ionic liquid and preparation of AuNps/mucilage nanocomposite for catalytic degradation of dye. International Journal of Biological Macromolecules, 164: 1847-1857.
- [4] Allafchian, A., Jalali, S. A. H., Hosseini, F., & Massoud, M. 2017. *Ocimum basilicum* mucilage as a new green polymer support for silver in magnetic nanocomposites: production and characterization. Journal of environmental chemical engineering, 5(6): 5912-5920.
- [5] Zahedi, Y. 2019. Edible/Biodegradable Films and Coatings from Natural Hydrocolloids (chapter 23), In: Emerging Natural Hydrocolloids: Rheology and

BSM و کاهش حجم آزاد برای تاخوردگی زنجیره‌های پلیمر، باعث افزایش پایداری حرارتی می‌شوند [۴۲]. مکانیسم غالب تجزیه حرارتی فیلم کامپوزیتی CMC-BSM شکست زنجیری آن است [۴۳]. شکست زنجیری، نتیجه‌ی انتشار رادیکال‌های آزاد و محصولات فرار حاصل از تجزیه حرارتی از میان زنجیره‌های پلیمری است [۴۴]. بنابراین رفتار نانوکامپوزیت‌ها در شروع تجزیه حرارتی را می‌توان از نظر توانایی انتشار رادیکال‌های آزاد در ماتریکس پلیمری توصیف کرد. زنجیره‌های پلیمری دارای تحرک کم، یک مانع فیزیکی برای انتشار رادیکال‌های آزاد ایجاد کرده و بدین ترتیب تجزیه پلیمر را به تعویق می‌اندازند [۴۳]. از سوی دیگر لایه‌های سیلیکات با اندازه نانو و پخش شده به طور مناسب در پلیمر نیز مانند سپری در برابر اکسیژن عمل کرده و همچنین باعث ممانعت و بازدارندگی در برابر نفوذ محصولات فرار تولید شده در طول تجزیه در ماتریکس و خروج از ساختار نانوکامپوزیت می‌گردند [۴۵]. بدین ترتیب حضور سیلیکات در سطح نمونه با ایجاد پوشش محافظ در پلیمر و عمل آن به عنوان عایق حرارتی و مانع انتقال جرم، پایداری حرارتی نانوکامپوزیت‌ها را افزایش می‌دهد. نحوه پخش نانوذرات و مورفولوژی نانوکامپوزیت‌ها در کاهش سرعت تجزیه حرارتی ماتریکس پلیمر

- Functions, First Edition. Ed. by S. M.A. Razavi., John Wiley & Sons Ltd.
- [6] Hashemi, S. M. B., Khaneghah, A. M., Ghahfarrokhi, M. G., & Eş, I. 2017. Basil-seed gum containing *Origanum vulgare subsp. viride* essential oil as edible coating for fresh cut apricots. Postharvest Biology and Technology, 125: 26-34.
 - [7] Azzaoui, K., Mejdoubi, E., Lamhamdi, A., Jodeh, S., Hamed, O., Berrabah, M. & Zougagh, M. 2017. Preparation and characterization of biodegradable nanocomposites derived from carboxymethyl cellulose and hydroxyapatite. Carbohydrate polymers, 167: 59-69.
 - [8] Torabi, A., Mohebbi, M., Tabatabaei-Yazdi, F., Shahidi, F., Khalilian-Movahhed, M. & Zahedi Y. 2020. Application of different carbohydrates to produce squash puree based edible sheet. Journal of Food Science and Technology, 57(2):673-682.
 - [9] Oun, A. A., & Rhim, J. W. 2015. Preparation and characterization of sodium carboxymethyl cellulose/cotton linter cellulose nanofibril composite films. Carbohydrate polymers, 127: 101-109.

- [10] Abulyazied, D. E., & Ene, A. 2021. An investigative study on the progress of nanoclay-reinforced polymers: Preparation, properties, and applications: A review. *Polymers*, 13(24): 4401-4409.
- [11] Oliver-Ortega, H., Tresserras, J., Julian, F., Alcalà, M., Bala, A., Espinach, F. X., & Méndez, J. A. 2021a. Nanocomposites materials of PLA Reinforced with nanoclays using a masterbatch technology: A study of the mechanical performance and its sustainability. *Polymers*, 13(13): 2133-2140.
- [12] Oliver-Ortega, H., Vandemoortele, V., Bala, A., Julian, F., Méndez, J. A., & Espinach, F. X. 2021b. Nanoclay effect into the biodegradation and processability of poly (lactic acid) nanocomposites for food packaging. *Polymers*, 13(16), 2741-2749.
- [13] Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., & Entezami, A. A. 2010. Physicochemical properties of starch–CMC–nanoclay biodegradable films. *International journal of biological macromolecules*, 46(1): 1-5.
- [14] Shin, S. H., Kim, S. J., Lee, S. H., Park, K. M., & Han, J. 2014. Apple peel and carboxymethylcellulose-based nanocomposite films containing different nanoclays. *Journal of food science*, 79(3): E342-E353.
- [15] Razavi, S. M., Mortazavi, S. A., Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S. H., Motamedzadegan, A., & Khanipour, E. 2009. Optimisation study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum L.*). *International journal of food Science & Technology*, 44(9): 1755-1762.
- [16] Zahedi, Y., Fathi-Achachlouei, B., & Yousefi, A. R. 2018. Physical and mechanical properties of hybrid montmorillonite/zinc oxide reinforced carboxymethyl cellulose nanocomposites. *International journal of biological macromolecules*, 108: 863-873.
- [17] Khazaei, N., Esmaili, M., & Emam-Djomeh, Z. 2017. Application of active edible coatings made from basil seed gum and thymol for quality maintenance of shrimp during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(6): 1837-1845.
- [18] Lin, L., Peng, S., Shi, C., Li, C., Hua, Z., & Cui, H. 2022. Preparation and characterization of cassava starch/sodium carboxymethyl cellulose edible film incorporating apple polyphenols. *International Journal of Biological Macromolecules*, 212: 155-164.
- [19] Hashemi-Gahruie, H., Eskandari, M. H., Van der Meeren, P., & Hosseini, S. M. H. 2019. Study on hydrophobic modification of basil seed gum-based (BSG) films by octenyl succinate anhydride (OSA). *Carbohydrate polymers*, 219: 155-161.
- [20] Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., & Entezami, A. A. 2010. Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. *Innovative food science & emerging technologies*, 11(4): 697-702.
- [21] Rezaie, A., Rezaei, M., & Alboofetileh, M. 2021. Preparation of biodegradable carboxymethyl cellulose-Arabic gum composite film and evaluation of its physical, mechanical and thermal properties. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 17(2): 287-297 (In Persian).
- [22] Tongdeesoontorn, W., Mauer, L. J., Wongruong, S., & Rachtanapun, P. 2009. Water vapour permeability and sorption isotherms of cassava starch based films blended with gelatin and carboxymethyl cellulose. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 2(4): 501-514.
- [23] Ballesteros, L. F., Cerqueira, M. A., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. 2018. Production and physicochemical properties of carboxymethyl cellulose films enriched with spent coffee grounds polysaccharides. *International journal of biological macromolecules*, 106: 647-655.
- [24] Hazirah, M. N., Isa, M. I. N., & Sarbon, N. M. 2016. Effect of xanthan gum on the physical and mechanical properties of gelatin-carboxymethyl cellulose film blends. *Food Packaging and Shelf Life*, 9:55-63.
- [25] Wang, R., Li, X., Ren, Z., Xie, S., Wu, Y., Chen, W. & Liu, X. 2020. Characterization and antibacterial properties of biodegradable films based on CMC, mucilage from *Dioscorea opposita Thunb.* and Ag nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163: 2189-2198.
- [26] Fathi-Achachlouei, B. & Zahedi, Y. 2018. Fabrication and evaluation of properties of carboxymethyl cellulose-based hybrid nanocomposites reinforced with titanium dioxide and montmorillonite. *Food Science and Technology*. 15(81): 35-47 (In Persian).
- [27] Gutiérrez, M. Q., Echeverría, I., Ihl, M., Bifani, V., & Mauri, A. N. 2012. Carboxymethylcellulose–montmorillonite nanocomposite films activated with murta (*Ugni molinae Turcz*) leaves extract. *Carbohydrate polymers*, 87(2): 1495-1502.

- [28] Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., & Oleyaei, S. A. 2014. A novel modified starch/carboxymethyl cellulose/montmorillonite bionanocomposite film: structural and physical properties. *International Journal of Food Engineering*, 10(1): 121-130.
- [29] Taghizadeh, M. T., Sabouri, N., & Ghanbarzadeh, B. 2013. Polyvinyl alcohol: starch: carboxymethyl cellulose containing sodium montmorillonite clay blends; mechanical properties and biodegradation behavior. *SpringerPlus*, 2(1): 1-8.
- [30] Moghimi, R., Aliahmadi, A., & Rafati, H. 2017. Antibacterial hydroxypropyl methyl cellulose edible films containing nanoemulsions of *Thymus daenensis* essential oil for food packaging. *Carbohydrate polymers*, 175: 241-248.
- [32] Ma, X., Chang, P. R., & Yu, J. (2008). Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. *Carbohydrate Polymers*, 72(3), 369-375.
- [31] Donhowe, I. G., & Fennema, O. (1993). The effects of solution composition and drying temperature on crystallinity, permeability and mechanical properties of methylcellulose films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 17(4), 231-246.
- [32] Ma, X., Chang, P. R., & Yu, J. 2008. Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. *Carbohydrate Polymers*, 72(3): 369-375.
- [33] Slavutsky A. M., María A. Bertuzzi, Margarita A., María G., Nelio A. 2014. Preparation and characterization of montmorillonite/brea gum nanocomposites films. *Food Hydrocolloids*, 35: 27-278.
- [34] Rohini, B., Padma Ishwarya, S., Ram, R. & Arun Kuma, V. 2020. *Ocimum basilicum* seed mucilage reinforced with montmorillonite for preparation of bionanocomposite film for food packaging applications. *Polymer Testing*, 87: 48-55.
- [35] Kang, J., Cui, S. W., Chen, J., Phillips, G. O., Wu, Y., & Wang, Q. 2011. New studies on gum ghatti (*Anogeissus latifolia*) part I. Fractionation, chemical and physical characterization of the gum. *Food hydrocolloids*, 25(8): 1984-1990.
- [36] Thessrimuang, N., & Prachayawarakorn, J. 2019. Development, modification and characterization of new biodegradable film from basil seed (*Ocimum basilicum* L.) mucilage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(12): 5508-5515.
- [37] Tantiwatcharothai, S., & Prachayawarakorn, J. 2019. Characterization of an antibacterial wound dressing from basil seed (*Ocimum basilicum* L.) mucilage-ZnO nanocomposite. *International journal of biological macromolecules*, 135: 133-140.
- [38] Azwa, Z.N., Yousif, A. C., & Karunasena M. W. 2013. A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibre. *Materials & Design*, 47: 424-442.
- [39] De Dicastillo, C. L., Bustos, F., Guarda, A., & Galotto, M. J. 2016. Cross-linked methyl cellulose films with murta fruit extract for antioxidant and antimicrobial active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 60: 335-344.
- [40] Haque M. M. & Alsareii S. A. 2015. A review of the therapeutic effects of using miswak (*Salvadora Persica*) on oral health. *Saudi medical journal*, 36 (5): 530-543.
- [41] Ma, C. C. M., Chen, Y. J., & Kuan, H. C. 2006. Polystyrene nanocomposite materials preparation, mechanical, electrical and thermal properties, and morphology. *Journal of applied polymer science*, 100(1): 508-515.
- [42] Mohanty, S., & Nayak, S. K. 2007. Melt blended polystyrene/layered silicate nanocomposites: effect of clay modification on the mechanical, thermal, morphological and viscoelastic behavior. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 20(2): 175-193.
- [43] Pandey, J. K., Reddy, K. R., Kumar, A. P., & Singh, R. P. 2005. An overview on the degradability of polymer nanocomposites. *Polymer degradation and stability*, 88(2), 234-250
- [44] Lee, J. Y., Liao, Y., Nagahata, R., & Horiuchi, S. 2006. Effect of metal nanoparticles on thermal stabilization of polymer/metal nanocomposites prepared by a one-step dry process. *Polymer*, 47(23): 7970-7979.
- [45] Zanetti, M., & Costa, L. 2004. Preparation and combustion behaviour of polymer/layered silicate nanocomposites based upon PE and EVA. *Polymer*, 45(13): 4367-4373.
- [46] Vaziri, H. S., Omaraei, I. A., Abadyan, M., Mortezaei, M., & Yousefi, N. 2011. Thermophysical and rheological behavior of polystyrene/silica nanocomposites: Investigation of nanoparticle content. *Materials & Design*, 32(8-9): 4537-4542.

**Effect of carboxymethyl cellulose and montmorillonite addition on the physicochemical and thermal properties of basil seed mucilage-based biodegradable film**Marzieh Qomi-Marzdashti¹, Younes Zahedi^{2*}

1- MSc graduated, Department of Food Science & Technology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2- Associate professor, Department of Food Science & Technology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

ABSTRACT

The aim of this study was optimization and improvement of the physicochemical characteristics films based on basil seed mucilage (BSM) and carboxymethyl cellulose (CMC) (100, 162.5 and 225% w/w the mucilage) using montmorillonite (MMT) (0 and 8% w/w the mucilage) by casting method. The produced films properties were evaluated for thickness, moisture content, density, mechanical properties, Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR), and thermogravimetric analysis (TGA). Results indicated that thickness and density of the films were not significantly influenced by CMC and MMT addition ($p > 0.05$), but the moisture content of nanocomposites decreased with increasing CMC content ($p < 0.05$). Presence of CMC and MMT in the film matrix caused to enhancement of ultimate tensile strength (UTS) and elongation at break (EB) in nanocomposites; the maximum of UTS and EB with the values of 27.9 MPa and 41%, respectively, were obtained for the nanocomposite made by 225% CMC and 8% MMT. FTIR spectra revealed no new compounds resultant from the chemical interactions, and only some shifts were observed for some peaks, and also slightly weakening or intensifying in several peaks. TGA plots showed that incorporation of CMC and MMT led to improvement of thermal properties. In conclusion, simultaneous loading of nanoclay and CMC generated the improved nanocomposites, and the treatment loaded with both MMT and the maximum level of CMC (T7) is advised as the best film for employing in the food packaging.

ARTICLE INFO**Article History:**Received: 2023/6/20
Accepted: 2023/11/25**Keywords:**Biodegradability;
Food Packaging;
Nanocomposite.**DOI:** 10.22034/FSC.20.145.74*Corresponding Author E-Mail:
younes.zahedi@gmail.com,
Y_zahedi@uma.ac.ir