

خواص فیلم میکروکامپوزیت زئین حاوی مونت موریلونیت اصلاح شده

زهره داورپناه^{۱*}، جواد کرامت^۲، ناصر همدی^۳، محمد شاهدی^۴، طیبه بهزاد^۵

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳. استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۴. استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۵. استادیار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: 93/2/15، تاریخ پذیرش: 93/4/5)

چکیده

تقاضا برای پلیمرهای تجزیه پذیر و زیست سازگار به‌ویژه در بخش بسته‌بندی به سرعت رو به افزایش است که شدیداً به‌وسیله سیاست‌های مدیریت زیست محیطی مورد تشویق است. در این تحقیق، هدف ساخت فیلم میکروکامپوزیت زئین-مونت موریلونیت و بررسی خصوصیات ساختاری، مکانیکی، حرارتی و ممانعتی آن بود. در مرحله اول فیلم زئین حاوی 0، 1، 3، 5 و 10 درصد مونت موریلونیت به روش قالب‌گیری محلول تهیه شد. سپس خصوصیات ساختاری (تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی و طیف پراش پرتو ایکس)، مکانیکی (مقاومت کششی، درصد کشیدگی در نقطه شکست و مدول)، حرارتی و ممانعتی (نفوذ پذیری نسبت به رطوبت) فیلم‌های تهیه‌شده در مرحله اول مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل داده‌ها بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. طبق تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی و الگوهای پراش پرتو ایکس ساختار فیلم زئین-مونت موریلونیت به صورت میکروکامپوزیت گزارش شد. خصوصیات مکانیکی و نفوذپذیری به رطوبت فیلم‌ها ارتباط خطی با درصد مونت موریلونیت نداشت. بیش‌ترین میزان مقاومت کششی و درصد ازدیاد طول به‌ترتیب مربوط به میکروکامپوزیت حاوی 3 و 10٪ مونت موریلونیت و کم‌ترین میزان نفوذ پذیری نسبت به رطوبت مربوط به فیلم 5٪ بود. پایداری حرارتی فیلم‌های حاوی مونت موریلونیت افزایش ناچیزی نشان داد. نتایج نشان داد که افزودن میزان ناچیزی از مونت موریلونیت خواص مکانیکی و ممانعتی فیلم زئین را بهبود می‌دهد. حضور ذرات مونت موریلونیت به‌دلیل مدول الاستیسیته بالا و ایجاد مسیر پیچیده در شبکه پروتئینی به‌ترتیب باعث بهبود خواص مکانیکی و ممانعتی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زئین، مونت موریلونیت، میکروکامپوزیت.

* مسئول مکاتبات: zdavarpanah@gmail.com

1- مقدمه

زئین در فرمولاسیون پوشش‌های خوراکی قرص‌ها، فراورده‌های قنادی و برش‌های میوه به کار می‌رود. فیلم به‌وسیله اسپری محلول آن بر سطح محصول یا غوطه‌ور نمودن محصول در آن تولید می‌شود [7].

مشخص شده که فیلم زئین به تنهایی خیلی شکننده است؛ استفاده از نرم‌کننده، اتصال عرضی شیمیایی و ساخت فیلم چندلایه ای با کمک فیلم‌های پروتئینی دیگر برخی از روش‌هایی هستند که به منظور بهبود خواص فیلم زئین استفاده می‌شوند. با این حال تولید فیلم‌های زئین که به‌طور مکانیکی و فیزیکی مشابه فیلم‌های سنتزی باشند هنوز به عنوان یک فرایند چالش برانگیز باقی مانده است. بنابراین پیدا کردن روش‌های کاربردی برای بهبود خواص فیلم زئین به منظور افزایش استفاده از آن به عنوان ماده بسته‌بندی غذایی ضروری است. یک راه کنترل خواص فیلم‌های بر پایه زیست‌پلیمرها استفاده از پرکننده‌ها با خواص ویژه است. امروزه نانوکامپوزیت‌های پلیمر- رس توجه زیادی را به عنوان جایگزینی برای پلیمرهای پر شده به‌طور سنتی جلب کرده‌اند و بهبود زیادی در خواص مکانیکی و فیزیکی در مقایسه با پلیمر تنها یا کامپوزیت‌های متداول (میکروکامپوزیت‌ها) نشان می‌دهند. این بهبودها شامل افزایش مدول و استحکام کششی، کاهش نفوذپذیری به گاز، افزایش حلالیت و مقاومت حرارتی و کاهش اشتعال پذیری می‌باشد. قابل ذکر است که این ویژگی‌ها در مقادیر کم نانوپرکننده¹ حاصل می‌شود که به دلیل نسبت منظر بالای² آن‌ها و پراکندگی یکنواختشان در پلیمر می‌باشد. از این میان مونت موریلونیت به دلیل اندازه کوچک، نسبت منظر بالا و قابلیت جدا شدن و پراکندگی یکنواخت در شبکه پلیمری استفاده بیش‌تری دارد. [7، 10 و 11].

در این تحقیق فیلم میکروکامپوزیت زئین- مونت موریلونیت تهیه و خواص مکانیکی، ممانعتی و حرارتی آن بررسی شدند.

2- مواد و روش‌ها

2-1- مواد

پودر زئین از شرکت Suvchem هند، مونت موریلونیت اصلاح‌شده از شرکت سیگما- آلد ریچ (Milwaukee, WI, USA)؛ گلیسرول و کلرید کلسیم از شرکت مرک آلمان و پلی اتیلن

پلیمرهای سنتزی تهیه‌شده از مواد نفتی به‌طور گسترده در مواد بسته‌بندی متنوع استفاده می‌شوند. اما به دلیل افزایش توجه به آلودگی محیط زیست و کاهش منابع فسیلی، مطالعات زیادی برای جایگزینی پلاستیک‌های سنتزی مشتق شده از منابع نفتی با پلاستیک‌های به‌دست آمده از منابع تجدید پذیر انجام شده است. [1 - 4]. از این میان پلیمرهای زیستی به دلیل فراوانی و زیست‌تخریب‌پذیر بودن مورد توجه بیش‌تری قرار گرفته است. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر بر اساس منابعشان به سه دسته تقسیم می‌شوند:

1- پلیمرهایی که به‌طور مستقیم از زیست توده استخراج می‌شوند.

2- پلیمرهایی که به‌وسیله میکروارگانیزم‌ها یا باکتری‌های تغییر یافته به‌طور ژنتیکی تولید می‌شوند.

3- پلیمرهایی که به‌وسیله سنتزهای شیمیایی کلاسیک با استفاده از مونومرهای با منشأ زنده قابل تجدید یا منابع مخلوط شده‌ی زیست توده و نفت تولید می‌شوند.

مواد بسته‌بندی تهیه‌شده از زیست‌پلیمرها دارای برخی خواص مفید می‌باشند. از طرف دیگر استفاده از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر به عنوان مواد بسته‌بندی غذایی به دلیل عمل کرد پایین نسبت به پلاستیک‌های سنتزی تا کنون محدود شده است. این محدودیت‌ها شامل قدرت مکانیکی ضعیف، نفوذپذیری بالا نسبت به گازها و به خصوص بخار آب، مقاومت حرارتی پایین و مقاومت ضعیف به عملیات فرایندی طولانی می‌باشد [۲، ۱، ۴ و 9].

از میان فیلم‌های تهیه‌شده از زیست‌پلیمرها، مطالعات کمی روی نانوکامپوزیت‌های با منشأ پروتئینی منتشر شده است. اکثر نانوکامپوزیت‌های پروتئینی بهبود قابل ملاحظه‌ای در خواص مکانیکی و ممانعتی در مقایسه با فیلم‌های زیست‌پلیمر نظیرشان نشان داده‌اند. زئین ذرت به‌طور خاص، پتانسیل فوق العاده‌ای برای جایگزینی پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌ناپذیر دارد و استفاده بالقوه از آن به عنوان یک منبع جایگزین پلاستیک‌ها در کاربردهای بسته‌بندی به‌طور گسترده‌ای مطالعه شده است. فیلم زئین به‌وسیله فرایندهای مختلف شامل قالب‌گیری محلول و فرایندهای ترموپلاستیک تشکیل می‌شود.

1. Nanofillers
2. Aspect ratio

گلايکول 4000 و اتانول 96 درصد از شرکت‌های ایرانی در 2-2-2- ضخامت فیلم
اصفهان خریداری شدند.

ضخامت فیلم‌های تهیه‌شده با استفاده از میکرومتر

(Electronic digital micrometer, DC-516, sensitivity 0.001 mm) اندازه‌گیری شد. حداقل 10 نقطه متفاوت فیلم اندازه‌گیری شده و میانگین اعداد به دست آمده گزارش گردید.

2-2- ساخت فیلم

در مرحله اول فیلم زئین-مونت موریلونیت به روش قالب‌گیری محلول تهیه شد. در این روش فیلم‌های میکرو کامپوزیتی زئین-مونت موریلونیت با میزان 0، 1، 3، 5 و 10٪ وزنی مونت موریلونیت آماده شدند. در این فرایند، 8g زئین، 0/12 پلی اتیلن گلايکول و 0/12 گلیسرول در 40 میلی‌لیتر محلول آبی اتانول 75٪ گرم (50-45 °C) حل شد. میزان معینی مونت موریلونیت جداگانه در 12 میلی‌لیتر محلول اتانول 75٪ حل و به مدت 5 دقیقه در حمام مافوق صوت قرار گرفت. سپس دو مخلوط با هم ترکیب و تا دمای 60 °C حرارت داده شدند. نسبت زئین به محلول اتانول 6/5: 1 (w/v) بود. سپس مخلوط زئین-مونت موریلونیت قبل از قالب‌گیری به مدت 2 دقیقه در حمام مافوق صوت قرار گرفت. محلول آماده‌شده روی یک قالب تفلون ریخته و به مدت 24 ساعت در آن با دمای 30 درجه سانتی‌گراد خشک شد [10 و 11].

2-2-3- خصوصیات مکانیکی

استحکام کششی (TS) و درصد کشیدگی در نقطه شکست (E) فیلم‌ها با استفاده از تست‌های کششی توسط دستگاه تحلیل بافت (SANTAM STM-20 Iran)¹ و طبق استاندارد ASTM به شماره D882-02 انجام شد [7].

2-2-4- خصوصیات حرارتی

پایداری حرارتی فیلم‌های میکرو کامپوزیت با استفاده از دستگاه گرم‌ماوژی سنج (Rheometric Scientific USA) بررسی شد [7، 10 و 11].

2-2-5- نفوذ پذیری نسبت به بخار آب

نفوذ پذیری فیلم نسبت به بخار آب با روش ASTM E96 اندازه‌گیری شد [4 و 7]. برای این کار، ظروف شیشه‌ای ویژه‌ای با قطر 2 سانتی‌متر و ارتفاع 4/5 سانتی‌متر استفاده شد. روی درپوش این ظروف منفذی به قطر 8 میلی‌متر قرار دارد که قطعه‌ای از فیلم مورد آزمون در این بخش قرار می‌گیرد. 3 گرم کلرید کلسیم که Rh معادل صفر ایجاد می‌کند در داخل ظرف‌ها قرار گرفت. ابتدا فیلم‌ها در رطوبت نسبی 55٪ که با استفاده از نیتريت کلسیم ایجاد می‌شود، به مدت 24 ساعت شرایط دهی شدند. سپس قطعه‌ای از فیلم در داخل درپوش ظرف شیشه‌ای قرار داده شد. ظروف شیشه‌ای همراه با محتویات آن توزین شد و درون خشکانه حاوی آب مقطر قرار گرفت. آب مقطر در دمای 25 درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی 100٪ ایجاد می‌کند. خشکانه درون انکوباتور با دمای 25 ± 1 درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و به مدت یک هفته هر 24 ساعت یک‌بار ظروف توزین شدند. مقدار بخار آب انتقال یافته از روی افزایش وزن ظرف‌ها معین شد. منحنی افزایش وزن ظرف‌ها با گذشت زمان رسم و پس از محاسبه برگشت خطی، شیب خط

2-2-1- خصوصیات ساختاری فیلم

ساختار فیلم زئین-مونت موریلونیت توسط آزمون پراش پرتو ایکس¹ (D8ADVANCE Bruker Germany- XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی² (Hitachi S4160- cold emission- FE-SEM) توصیف شد. به منظور مطالعه ریزساختار فیلم‌های میکرو کامپوزیت و برای تعیین پراکنش خاک رس در ساختار بیوپلیمر از آزمون پراش پرتو ایکس استفاده شد [5 و 12-15]. برای انجام آزمون، مولد پرتو X در 40 کیلو ولت و 40 میلی آمپر تنظیم شد. پرتوهای بازتابشی از نمونه، در دمای محیط و در محدوده زاویه 10-2θ=1 جمع‌آوری و الگوهای مربوط رسم شد. برای تعیین فاصله بین لایه‌ها از قانون براگ³ استفاده شد:

$$\lambda = 2d \sin \theta$$

d: فاصله بین لایه‌های بلوری (nm): λ : طول موج دستگاه و 2θ: زاویه ای که قله پراش مشاهده می‌شود.

1. X- Ray Diffraction

2. Field Emission-Scanning Electron Microscopy

3. Bragg's law

1. Texture Analyzer

فضای بین لایه‌ای¹ ذرات رس شده و لایه‌ها را از هم دور کرده و باعث افزایش فضای d و در نتیجه جابه‌جایی در زاویه پراش (2θ) به زوایای کوچک‌تر می‌شود (قانون براگ: $\lambda = 2d \sin \theta$) [6 و 15]. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج لوچا² و همکاران و کومار³ و همکاران هم‌خوانی نداشت. در الگوهای XRD مربوط به فیلم‌های حاوی مونت موریلونیت که توسط این محققان تهیه شده بود قله مربوط به مونت موریلونیت در زاویه کوچک‌تر تشکیل و یا حذف شده بود که نشان دهنده جداسدن صفحات رس از هم و از بین رفتن ساختار بلوری مونت موریلونیت و در نتیجه ایجاد ساختار نانوکامپوزیت بود [7، 10، 16 و 17].

3-3- خصوصیات مکانیکی

خواص مکانیکی فیلم‌های تهیه شده مطابق با شکل 3 می‌باشند. در مورد خواص مکانیکی میزان مقاومت به کشش، درصد ازدیاد طول و مدول مربوط به همه تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ داشتند. بیش‌ترین میزان مقاومت کششی و درصد ازدیاد طول به ترتیب مربوط به میکروکامپوزیت‌های حاوی 3 و 10٪ مونت موریلونیت و بیش‌ترین میزان مدول الاستیسته مربوط به فیلم 10٪ بود. مدول الاستیسته بالای مونت موریلونیت باعث بهبود خواص مکانیکی میکروکامپوزیت می‌شود. افزایش فاصله لایه‌های مونت موریلونیت و وارد شدن زنجیره پلیمری به داخل لایه‌های مونت موریلونیت به صورت بین لایه‌ای⁴ و پوسته‌ای⁵ نیز باعث بهبود خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌ها می‌شود که در نتایج بسیاری از محققان هم آورده شده است. هم‌چنین دلیل بهبود خصوصیات مکانیکی این فیلم‌ها را می‌توان به وجود رس با نسبت منظر بالا و در نتیجه افزایش ناحیه بین سطحی پلیمر و پرکننده و برقراری پیوندهای هیدروژنی قوی بین دو فاز عنوان نمود [18]. نتایج لوچا و همکاران نشان داد که افزودن 5٪ مونت موریلونیت به فیلم زئین باعث بهبود حدود 2/5 برابری مقاومت به کشش فیلم و 1/5 برابری مدول شد [10]. کومار و همکاران نیز نتایج مشابهی را در مورد افزودن مونت موریلونیت به فیلم ایزوله پروتئین سویا گزارش کردند [7].

حاصل محاسبه شد. از تقسیم شیب خط مربوط به هر ظرف به سطح کل فیلم که در معرض انتقال بخار آب قرار دارد، سرعت انتقال بخار آب (water vapor transmission rate, WVTR) محاسبه و سپس با استفاده از معادله 1، نفوذپذیری نسبت به بخار آب (water vapor permeability, WVP) محاسبه شد:

$$WVP = \frac{WVTR}{P(R1 - R2)} \times X \quad (1)$$

در این معادله X ضخامت فیلم، P فشار بخار آب خالص در 25 درجه سانتی‌گراد (Pa) ، $R1$ رطوبت نسبی در خشکانه (100٪) و $R2$ درصد رطوبت نسبی در داخل ظرف شیشه‌ای است. این آزمون برای هر یک از نمونه‌ها سه بار تکرار شد [5، 7، 10، 11، 13-15].

2-2-6- تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمایشات با سه تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش در بخش تأثیر میزان مونت موریلونیت بر خصوصیات مکانیکی و نفوذپذیری نسبت به بخار آب در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم افزار SAS (9.1) انجام گرفت.

3- نتایج و بحث

3-1- ضخامت

فیلم‌های تهیه شده پس از خشک شدن به آسانی از ظرف جدا شده و ضخامت آن‌ها پس از مشروط شدن در نقاط مختلف ارزیابی شد. میانگین اعداد به دست آمده در $0/170 \pm 0/1$ میلی‌متر به دست آمد.

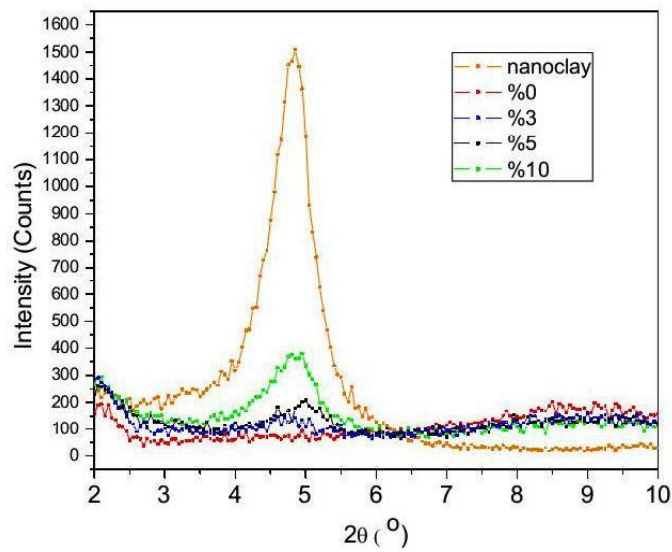
3-2- خصوصیات ساختاری

طبق تصاویر FE-SEM و الگوهای XRD ساختار فیلم زئین-مونت موریلونیت به صورت میکروکامپوزیت گزارش شد (شکل 1 و 2). حضور قله مربوط به مونت موریلونیت در الگوهای XRD مربوط به فیلم‌های حاوی مونت موریلونیت نشان دهنده عدم جداسدن لایه‌های مونت موریلونیت و حفظ ساختار بلوری آن است. حین فرایند ساخت، پلیمر وارد

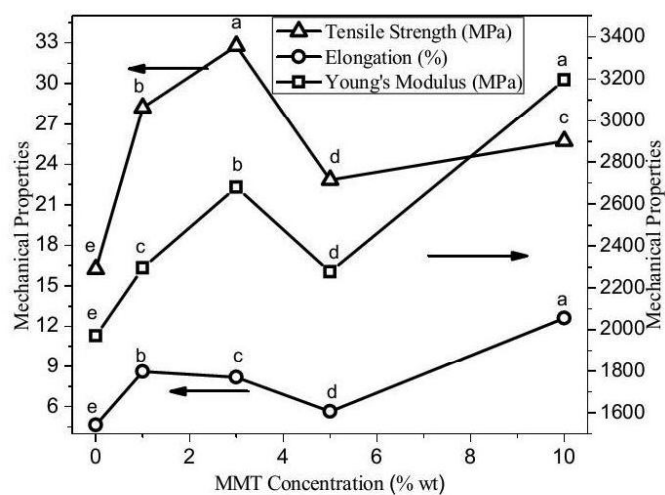
1. Gallery
2. Luecha
3. Kumar
4. Intercalated
5. Exfoliated



شکل (1) تصویر FE-SEM الف: فیلم فاقد مونت موریلونیت و ب: فیلم حاوی 5٪ مونت موریلونیت



شکل (2) طیف XRD میکرو کامپوزیت زئین - مونت موریلونیت



شکل (3) خواص مکانیکی فیلم زئین - مونت موریلونیت
در هر نمودار تفاوت میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک با آزمون LSD در سطح 5 درصد معنی‌دار است

3-4- نفوذپذیری نسبت به بخار آب

که نشان دهنده توزیع مناسب لایه‌های مونت موریلونیت (که به عنوان سد حرارتی مناسب عمل می‌کند) در شبکه پروتئینی می‌باشد. همچنین ایجاد مسیر پر پیچ و خم در شبکه پلیمری توسط مونت موریلونیت باعث می‌شود که خروج ترکیبات فرار در دمای بالاتری رخ دهد. طبق نتایج کومار و همکاران با افزایش میزان مونت موریلونیت از 0٪ به 5٪ دمای مربوط به افت وزن 50٪ از 355/5 به 377/3 درجه سانتی‌گراد افزایش یافت [7]. لوچا و همکاران و ویتوریا و همکاران نیز نتایج مشابهی گزارش کردند [9، 10، 16 و 17].

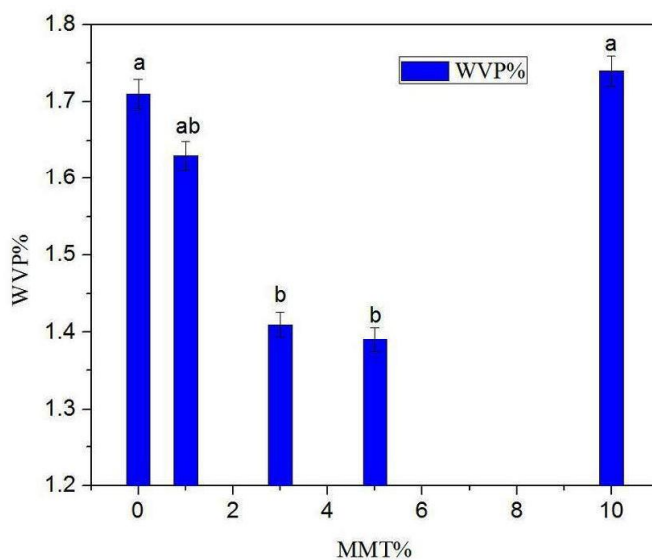
4- نتیجه گیری

طبق الگوهای پراش پرتو ایکس مربوط به فیلم‌های حاوی مونت موریلونیت، حضور قله مربوط به مونت موریلونیت در این الگوها نشان دهنده عدم جداسدن لایه‌های مونت موریلونیت و حفظ ساختار بلوری آن و در نتیجه ایجاد یک ساختار میکروکامپوزیت است. همچنین بررسی خواص میکروکامپوزیت‌های ساخته شده نشان داد که حضور مونت موریلونیت در ساختار فیلم زئین باعث بهبود نسبی خواص مکانیکی، ممانعتی و حرارتی آن شد که این امر به دلیل مدول الاستیسیته بالای مونت موریلونیت و پراکنده شدن لایه‌های آن در شبکه پروتئینی می‌باشد. زئین ذرت علاوه بر این که به عنوان پوشش و فیلم به صورت مسقل در بسته‌بندی مواد غذایی به کار می‌رود، برای تهیه فیلم‌های چند لایه با فیلم‌های زیست تخریب پذیر دیگر به خصوص انواع پروتئینی و پلی ساکاریدی نیز استفاده می‌شود. از آن جا که فیلم‌های تهیه شده از زیست پلیمرها مثل سایر فیلم‌های پروتئینی و پلی ساکاریدی از نظر خواص مکانیکی و ممانعت در برابر بخار آب عملکرد ضعیفی دارند، تحقیقات نشان داده است که ترکیب آن‌ها با فیلم زئین به دلیل خواص مکانیکی مناسب (مقاومت کششی بالا و کشش پذیری کم) و نفوذپذیری ناچیز در برابر بخار آب، راه حل مناسبی برای بهبود خواص این فیلم‌ها باشد.

نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها ارتباط مستقیمی با درصد مونت موریلونیت نداشت (شکل 4). میزان نفوذپذیری به بخار آب مربوط به فیلم‌های حاوی 0 و 10٪ مونت موریلونیت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ با فیلم‌های حاوی 3 و 5٪ مونت موریلونیت داشت؛ ولی فیلم حاوی 1٪ مونت موریلونیت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ با هر دو گروه نداشت. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان نفوذپذیری به رطوبت به ترتیب مربوط به فیلم‌های حاوی 5 و 10٪ مونت موریلونیت بود. میزان نفوذپذیری به بخار آب با افزودن 5٪ مونت موریلونیت 30٪ کاهش داشت. این کاهش با نتایج ذکر شده در منابع (کیتوزان-مونت موریلونیت: 25/4٪، نشاسته-مونت موریلونیت: 34/2 v و ایزوله پروتئین سویا-مونت موریلونیت: 22/1٪) قابل مقایسه بود [7]. لوچا و همکاران و رایم¹ و همکاران نیز نتایج مشابهی گزارش کردند که کاهش نفوذپذیری به رطوبت در حضور ذرات مونت موریلونیت به دلیل نسبت منظر بالای صفحات رس و بنابراین افزایش طول مسیر عبور مولکول‌های بخار آب از درون پلیمر و به تأخیر انداختن فرایند انتشار در شبکه پروتئینی است [2 و 10].

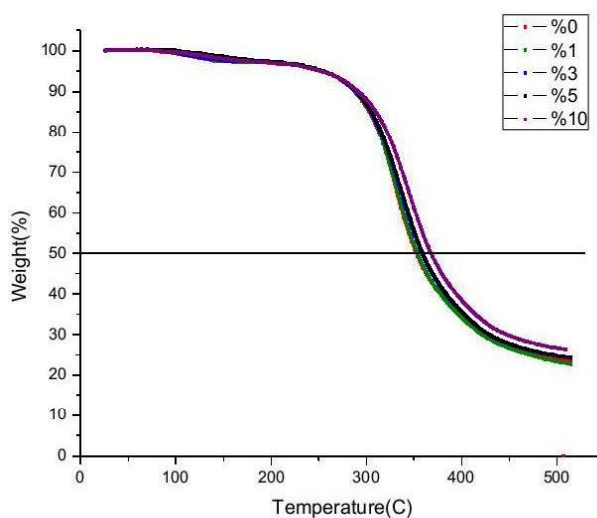
3-5- خصوصیات حرارتی

نمودار TGA به منظور شرح پایداری حرارتی فیلم میکروکامپوزیت با اندازه‌گیری کاهش وزن ناشی از تشکیل مواد فرار استفاده می‌شود. شکل 5 دو مرحله تخریب حرارتی را نشان می‌دهد. مرحله اول مربوط به کاهش وزن ترکیبات با وزن مولکولی کم مانند نرم‌کننده و حلال از دمای 70 تا 200 °C و مرحله دوم (250 تا 300 °C) مربوط به تخریب پروتئین است. با افزایش میزان مونت موریلونیت از 0 به 10٪، دما در نقطه مربوط به افت وزن 50٪ از 425/55 به 447/2 درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. طبق این شکل با افزایش میزان مونت موریلونیت دمای تخریب حرارتی افزایش یافت



شكل (4) نفوذ پذيرى نسبت به بخار آب فيلم زئين- مونت موريلونيت

در هر ستون، تفاوت ميانگين‌هاى داراى حروف غير مشترك با آزمون LSD در سطح 5 درصد معنى‌دار است



شكل (5) اثر ميزان مونت موريلونيت بر نمودار TGA فيلم‌هاى ميكرو كامپوزيت زئين- مونت موريلونيت

منابع

- base for zein nanoclay nanocomposite films” NSTI-Nanotech, www.nsti.org, IBSN 978-1-4398-3401-5: 1, 788-791.
- [12] Chang, P.R., Jian, R., Yu, J. and Ma, X., 2010 “Starch-based composites reinforced with novel chitin nanoparticles” *Carbohydr. Polym.*, 80: 420-425.
- [13] Ma, X., Chang, P.R., Yang, J. and Yu, J., 2009 “Preparation and properties of glycerol plasticized-pea starch/zinc oxide-starch bionanocomposites” *Carbohydr. Polym.*, 75: 472-478.
- [14] Moura, M.R. and Aouada, F.A., 2009 “Improved barrier and mechanical properties of novel hydroxypropyl methylcellulose edible films with chitosan/tripolyphosphate nanoparticles” *J. Food. Eng.*, 92: 448-453.
- [15] Schmidt, B., Katiyar, V., Plackett, D., Larsen, E.H., Gerds, N., Bender Koch, C and Petersen, J.H., 2011 “Migration of nanosized layered double hydroxide platelets from polylactide nanocomposite films” *Food Addit. Contam.*, 28(7): 956-966.
- [16] Farhoodi, M., Mousavi, S.M., Sotudeh-Gharebagh, R., Emam-Djomeh, Z., and Oromiehie, A., 2012, “Migration of aluminum and silicon from PET/clay nanocomposite bottles into acidic food stimulant” *Packag. Technol. Sci.*, DOI: 10.1002/pts.
- [17] Mallakpour, S., Dinari, M., 2012, “Polymer/organosilica nanocomposites based on polyimide with benzimidazole linkages and reactive organoclay containing isoleucine amino acid: Synthesis, characterization and morphology properties” *Mater. Res. Bull.*, 47: 2336-2343.
- [18] Majdzadeh, K., Nazari, B., 2010, “Improving the mechanical properties of thermoplastic starch/poly (vinyl alcohol)/clay nanocomposites.” *Compos. Sci. Technol.*, 70: 1557-1563.
- [1] قنبرزاده، ب.؛ الماسی، ه. زاهدی، ی. (1388) بیوپلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر و خوراکی در بسته‌بندی مواد غذایی و دارویی. چاپ اول، انتشارات امیر کبیر، ص 86-81.
- [2] Ray, S. et al, 2006 “The potential use of polymer-clay nanocomposites in food packaging”, *Int. J. Food. Eng.*, 2(4): 1-13.
- [3] Rhim, J.W., 2007 “Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications”, *Crit. Rev. Food Sci.*, 47:411-433.
- [4] Rhim, J.W., Hong, S.I. and Park, H.M., 2006 “Preparation and characterization of chitosan-based nanocomposite films with antimicrobial activity”, *J. Agric. Food Chem.*, 54: 5814-5822.
- [5] Almasi, H., Ghanbarzadeh, B. and Entezami, A.A., 2010 “Physicochemical properties of starch-CMC-nanoclay biodegradable films”, *Int. J. Biol. Macromol.* 46: 1-5.
- [6] Avella, M., De Vlieger, J. and Fischer, S., 2004 “Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications”, *Food Chem.*, 93: 467-474.
- [7] Kumar, P., 2009 “Development of bio-nanocomposite films with enhanced mechanical and barrier properties using extrusion processing”, PhD Thesis, Graduate faculty of North Carolina State University,.
- [8] Lagaron, L.M. and Lopez-Rubio, A., 2011 “Nanotechnology for bioplastics: opportunities, challenges and strategies” *Trends Food Sci. Tech.*, xx: 1-7.
- [9] Sorrentino, A. Gorrasi, G. and Vittoria, V., 2007 “Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications” *Trends Food Sci. Tech.* 18: 84-95.
- [10] Luecha, J., Sozer, N. and Kokini, J.L., 2010 “Synthesis and properties of corn zein/montmorillonite nanocomposite films” *J. Mater.*, 45:3529-3537.
- [11] Luecha, J., Sozer, N. and Kokini, J.L., 2010 “the physical properties of zein nanoclay hybrid as resin