



MECHANICS OF SMART STRUCTURES

Available Online at: <http://jmss.qut.ac.ir/>



Investigation of mechanical properties and biodegradability of thermoplastic starch/frankincense gum/nanoclay films

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

A. Melika Moghadam

B. Alireza Azizi*

Department of Polymer Engineering,
Faculty of Engineering, Qom
University of Technology, Qom, Iran.

* Correspondence

Address: Department of Polymer
Engineering, Faculty of Engineering,
Qom University of Technology,
Khodakaram Boulevard,
Qom, Iran. Postal Code: 3718146645.
azizi@qut.ac.ir

Article History

Received:

Accepted:

ePublished:

ABSTRACT

Research subject: In the past years, many advances have been made in the field of producing different products from thermoplastic starches. In recent years using nanofillers and production of nanocomposites have been considered to improve the properties of these polymers. This research was carried out to investigate the effect of the simultaneous presence of frankincense gum and nanoclay on the mechanical, thermal, and biodegradability behavior of films based on thermoplastic starch.

Research approach: Thermoplastic starch films containing different amounts of frankincense gum (1, 3, 5, and 7% by weight) and nanoclay (3 and 5% by weight) were prepared using an internal mixer. The mechanical properties of the films were investigated using tensile tests, thermal stability of the samples was evaluated by TGA. To evaluate the behavior of biodegradability, the amount of weight loss was measured by burying the samples in the soil.

Main results: The mechanical properties of the films were improved by adding frankincense gum. The tensile modulus increased and the thermal stability improved by increasing the amount of nanoclay. Nanoclay is a mineral material and has high resistance to heat. Adding nanoclay to the films reduced the weight loss of the samples.

Keywords: Thermoplastic starch, Frankincense gum, Nanoclay, Mechanical properties.

بررسی خواص مکانیکی و زیست تخریب پذیری فیلم‌های نشاسته گرمانرم / صمغ کندر / نانورس

ملیکا مقدم

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

علیرضا عزیزی*

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

چکیده

موضوع تحقیق: امروزه با توجه به معایبی که در انواع مختلف پلیمرهای سنتزی دیده می‌شود، گرایش به سمت استفاده از پلیمرهای تخریب پذیر بیشتر شده است. در سال‌های گذشته پیشرفت‌های بسیاری در زمینه تولید محصولات مختلف از نشاسته‌های گرمانرم^۱ صورت گرفته است. یکی از روشهایی که برای بهبود خواص این پلیمرها در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از نانوذرات و تولید نانوکامپوزیت‌ها است. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر حضور همزمان صمغ کندر^۲ و نانورس^۳ بر رفتار مکانیکی، حرارتی و زیست تخریب پذیری فیلم‌های بر پایه نشاسته گرمانرم انجام شد.

روش تحقیق: فیلم‌های نشاسته گرمانرم حاوی مقادیر مختلف صمغ کندر (۱، ۳، ۵ و ۷ درصد وزنی) و نانورس (۳ و ۵ درصد وزنی) با استفاده از مخلوط کن داخلی^۴ تهیه شد. خواص مکانیکی

فیلم‌ها با استفاده از آزمون کشش مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی پایداری و تخریب حرارتی نمونه‌ها توسط دستگاه TGA انجام شد. برای ارزیابی رفتار زیست تخریب پذیری، میزان کاهش وزن نمونه‌ها با دفن در خاک، اندازه گیری شد.

نتایج اصلی: خواص مکانیکی فیلم‌ها با افزودن صمغ کندر بهبود یافت. با افزایش مقدار نانورس مدول کششی افزایش یافت و پایداری حرارتی بهبود یافت. نانورس یک ماده معدنی است و مقاومت بالایی در برابر حرارت دارد. با افزودن نانورس به فیلم‌ها، افت وزن نمونه‌ها کاهش یافت. کاهش تخریب پذیری نمونه‌ها در اثر حضور نانورس را می‌توان به بروز واکنش‌های قوی با مواد معدنی در سطح خاک نسبت داد.

کلید واژه‌ها

نشاسته گرمانرم، صمغ کندر، نانورس، خواص مکانیکی.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۵

* نویسنده مسئول: azizi@qut.ac.irAlireza.azizi.edu@gmail.com

مقدمه

بسته بندی به معنی ساخت یا تهیه ظرف یا محافظی است که کالای تولیدی سلامتی درون خود را در فاصله زمانی بعد از برداشت، تولید، حمل و نقل، انبارداری و توزیع تا مصرف نهایی حفظ کرده و از خطرات احتمالی فیزیکی و شیمیایی در امان بماند. علاوه بر این بسته بندی باید ارزان و سبک باشد. هدف از بسته بندی مواد غذایی حفظ محصول، جلوگیری از فساد باکتری‌ها، افزایش مدت زمان نگهداری، جلوگیری از آسیب در حمل و نقل و ذخیره سازی است [۱-۳].

^۳ Nano clay

^۴ Internal mixer

^۱ Thermoplastic starch

^۲ Frankincense gum

مواد متداول استفاده شده در بسته‌بندی مواد غذایی فلز، شیشه و کاغذ می‌باشد. در طول دهه‌های گذشته، استفاده از پلیمرها و پلاستیک‌ها به دلیل قیمت پایین، شکل‌پذیری و تنوع در خواص فیزیکی جایگزین انواع دیگر بسته‌بندی مواد غذایی شده و تحولات زیادی در صنایع غذایی ایجاد کرده است [۴، ۵].

به دلیل معایب متعدد مواد بسته‌بندی سنتزی از قبیل مهاجرت ترکیبات پلیمری به محتوای مواد غذایی، ایجاد آلودگی زیست‌محیطی، عدم بازیافت آسان، گران بودن مواد اولیه و بالا بودن هزینه تولید و غیره، در سال‌های اخیر پلیمرهای طبیعی به عنوان جایگزین‌هایی ایمن و زیست‌تخریب‌پذیر برای پلاستیک‌های حاصل از مشتقات نفتی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند [۶].

برای اولین بار در سال ۱۹۷۳، Griffin استفاده از نشاسته را به‌عنوان افزودنی مؤثر در زیست‌تخریب‌پذیر کردن پلاستیک‌ها مطرح کرد. وی در پژوهش‌های بعدی نشان داد استفاده از نشاسته می‌تواند روش قابل قبولی برای افزایش زیست‌تخریب‌پذیری پلاستیک‌ها باشد [۷، ۸]. نشاسته به عنوان ماده‌ای طبیعی، ارزان، تجدیدپذیر و زیست‌تخریب‌پذیر، نوعی کربوهیدرات طبیعی است که از مولکول‌های پلی‌ساکارید خطی به نام آمیلوز و مولکول‌های شاخه‌ای آمیلوپکتین تشکیل شده است. زمانی که آمیزه‌های پلیمری حاوی نشاسته در معرض خاک قرار می‌گیرند، ترکیبات نشاسته به عنوان جزء تجزیه‌پذیر، به‌سادگی به وسیله ریزجاندارها^۵ تجزیه شده و منجر به افزایش خلل و فرج در آمیزه‌ها می‌شوند. از این‌رو، مقاومت ماتریس پلاستیکی هم کم شده و به‌تدریج به ذرات کوچک‌تر شکسته می‌شود [۹-۱۱].

نشاسته در محیط‌های مختلف آبی و خاکی کاملاً زیست‌تخریب‌پذیر است و از تجزیه طبیعی نشاسته، آب و کربن‌دی‌اکسید تولید می‌شود. بنابراین، نشاسته نه تنها آلودگی زیست‌محیطی برجای نمی‌گذارد، بلکه با تولید کربن‌دی‌اکسید می‌تواند دوباره وارد چرخه طبیعت شود و در فتوسنتز گیاهان شرکت کند [۱۲]. نشاسته در بافت‌های گیاهی (گندم، جو، ذرت

و سیب‌زمینی) به شکل دانه‌های جدا از هم یا گرانول وجود دارد که قطر آنها از ۲ تا ۱۰۰ میکرومتر متغیر است [۱۳]. خواص این گرانول‌ها در گیاهان مختلف متفاوت است. این گرانول‌ها از لحاظ شکل ممکن است، کروی، بیضی یا چندوجهی باشند. بزرگترین گرانول‌ها مربوط به سیب‌زمینی و کوچکترین آنها مربوط به برنج است [۱۴-۱۶]. در صنایع پلیمری نشاسته را معمولاً در ترکیب با سایر پلیمرها استفاده می‌کنند. به دلیل تخریب این ماده پیش از ذوب و نرم‌شدن، استفاده مستقیم و به تنهایی از نشاسته در دستگاه‌های مرسوم صنایع پلیمری مقدور نیست. برای بهبود جریان‌پذیری در دستگاه‌های فرایند، معمولاً نشاسته با نرم‌کننده‌ای مانند گلیسرول^۶ ترکیب می‌شود و به‌کمک گرما و اعمال برش پیوندهای قوی هیدروژنی بین مولکول‌های نشاسته از بین می‌رود [۱۷-۱۹]. ماده حاصل به نشاسته گرمانرم موسوم است که جریان‌پذیری خوبی دارد و به‌راحتی با سایر پلیمرها مخلوط می‌شود. به‌طور کلی می‌توان گفت اگر نشاسته به شکل گرمانرم با سایر پلیمرها آمیخته‌سازی شود، به شکل آلیاژ در نظر گرفته شده و اگر به شکل خام به پلیمر دیگر اضافه شود، نقش پرکننده و تقویت‌کننده را دارد [۲۰].

کلیه مواد بسته‌بندی تهیه شده از پلیمرهای زیستی می‌توانند سدی در برابر رطوبت، بخار آب، گازها و مواد محلول باشند و باعث افزایش کیفیت و ماندگاری غذاها شوند و نیز وسیله‌ای مناسب برای افزودن طیف گسترده‌ای از افزودنی‌ها مانند عناصر ضد قارچ، آنتی‌اکسیدان‌ها، ضد میکروبه‌ها، رنگ‌ها و سایر ترکیبات غذایی هستند [۲۱].

بسته‌بندی‌های مبتنی بر نانوتکنولوژی تحول بزرگی در صنعت بسته‌بندی پدید آورده است. با انتخاب صحیح مواد و فناوری مناسب در بسته‌بندی می‌توان کیفیت و طراوت محصولات را تا زمان مورد نیاز حفظ کرد. دانشمندان پتانسیل استفاده از فناوری نانو را تقریباً در همه بخش‌های صنایع غذایی شناسایی کرده‌اند. دو مورد از مهم‌ترین بخش‌ها، فرآوری مواد غذایی و بسته‌بندی مواد

^۶ Glycerol

^۵ Microorganism

شبهه، باعث افزایش میزان مقاومت به کشش فیلم‌های پلیمری می‌شوند [۲۶-۲۵].

در این تحقیق صمغ کندر و نانورُس به فیلم‌های مبتنی بر نشاسته گرمانرم (TPS) افزوده شد و در ادامه خواص مکانیکی، حرارتی و زیست تخریب‌پذیری فیلم‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

فعالیت‌های تجربی

مواد

نشاسته ذرت تجاری به رنگ سفید با دانسیته $1/5 \text{ g/cm}^3$ از شرکت گلوکزان قزوین خریداری شد. نانورُس به رنگ سفید و با دانسیته $1/98 \text{ g/cm}^3$ از شرکت پارسا پلیمر شریف تهیه گردید. گلیسرول با دانسیته $1/26 \text{ g/cm}^3$ از پژوهشگاه پلیمر و صمغ کندر از مراکز فروش داروهای گیاهی تهیه شد.

دستگاه‌ها

آزمون کشش مطابق با استاندارد ASTM D882 با استفاده از دستگاه کشش مدل STM 20 ساخت شرکت سنتم انجام شد. فیلم‌ها به شکل دمبلی به ابعاد 10×5 سانتی متر مربع بین دو فک دستگاه با فاصله اولیه 50 mm و سرعت بارگذاری 5 mm/min قرار گرفتند که برای هر نمونه ۳ تکرار انجام گرفت. پایداری و تخریب حرارتی نمونه‌ها در محدوده دمایی 50 تا 600°C و شدت حرارتی 10°C/min توسط دستگاه TGA TMA 1000 (صنایف-ایران) مورد ارزیابی قرار گرفت.

تهیه فیلم‌ها

ابتدا نشاسته را با ۴۵ درصد وزنی گلیسرول در بشر مخلوط کرده و سپس توسط مخلوط‌کن داخلی نشاسته گرمانرم (TPS) را تهیه کردیم. سپس مطابق جدول ۱ اختلاط TPS با مقادیر مختلف صمغ کندر (۱، ۳، ۵ و ۷ درصد وزنی) و نانورُس (۳ و ۵ درصد وزنی) را در مخلوط‌کن داخلی انجام داده و مخلوط به دست آمده را با استفاده از دستگاه پرس گرم در دمای 110°C به فیلم‌هایی با ضخامت ۱ میلی‌متر تبدیل کردیم. به منظور حذف رطوبت موجود

غذایی می‌باشد. در بین این دو مورد نانوتکنولوژی بیشترین کاربرد را در بسته‌بندی مواد غذایی دارد زیرا آن‌ها به صورت مستقیم به مواد غذایی استفاده نمی‌شوند و ساختار طبیعی ماده غذایی حفظ می‌شود. استفاده از نانوتکنولوژی در بسته‌بندی مواد غذایی سبب محافظت از مواد غذایی در مقابل عوامل بیماری‌زا و گازهای مضر خواهد بود [۵].

نانورُس از مهم‌ترین سیلیکات‌های لایه‌ای است که در ترکیب با مواد پلیمری برای تولید نانوکامپوزیت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سال‌های اخیر مطالعاتی چند روی ویژگی‌های نانوکامپوزیت‌های بر پایه پلیمرهای زیستی زیست‌تخریب‌پذیر دارای نانورُس در بستر پلیمری نشاسته انجام شده است. نتایج مطالعات مذکور اغلب حاکی از بهبود مشخص در ویژگی‌های مکانیکی، بازدارندگی، حرارتی و فیزیکی-شیمیایی در مقایسه با پلیمرهای خالص، حتی در مقادیر بسیار کم پرکننده بوده است [۲۲، ۲۳].

صمغ‌ها یکی از انواع هیدروکلوئیدها بوده و دارای ترکیب پلی‌ساکاریدی هستند که باعث افزایش گرانبوی محلول و در نتیجه بهبود خواص مکانیکی فیلم‌ها می‌شوند و به دلیل جذب آب بالایی که دارند، میزان رطوبت فیلم‌های نشاسته را افزایش می‌دهند و چون این رطوبت باعث تضعیف ویژگی‌های مکانیکی و افزایش میزان کشش‌پذیری می‌شود، نوع و شدت تغییرات به نوع و مقدار صمغ بستگی دارد [۲۴].

کندر یک نوع صمغ است که به فرانکینس یا اولیبانوم^۷ نیز معروف است و از درختی به نام بوسویلاتورینفرا^۸ به دست می‌آید. کندر دارای طبیعت گرم و خشک بوده و بومی نواحی مختلف خاورمیانه از جمله ایران، شمال آفریقا و هند می‌باشد. معمولاً به صورت قطعات کروی، بیضوی و یا بدون شکل به رنگ قرمز یا زرد تیره تا زرد متمایل به سفید یافت می‌شود. امروزه از کندر به عنوان تثبیت‌کننده در آدامس، تولید مواد طعم‌دهنده، نوشیدنی‌ها و غیره استفاده می‌شود. طبق تحقیقات انجام شده صمغ‌ها به دلیل ایجاد

^۸ Boswellia thurifera

^۷ Oli banum

نتایج مربوط به آزمون مکانیکی فیلم‌های TPS حاوی نسبت‌های مختلف صمغ کندر و نانورُس در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: خواص مکانیکی فیلم‌های TPS

نمونه‌ها	مدول الاستیک (MPa)	استحکام کششی (MPa)	ازدیاد طول در نقطه شکست (%)
TPS	4/10±1/61	0/63±0/23	94/1±5/1
TPS+5F	6/38±1/43	1/15±0/18	125/0±4/6
TPS+7F	7/66±2/12	1/17±0/15	123/8±5/4
TPS+5F+3N	10/3±1/91	1/23±0/09	34/8±6/2
TPS+5F+5N	17/47±2/31	1/96±0/21	30/1±4/3
TPS+7F+3N	19/86±3/11	0/33±0/25	3/8±2/1
TPS+7F+5N	23/14±3/56	0/52±0/31	2/4±1/8

ارومیه‌ای و همکاران از صمغ کندر به عنوان یک عامل توزیع‌کننده یکنواخت در کامپوزیت استفاده کردند. طبق بررسی‌های انجام شده، بهبود خواص مکانیکی به دلیل به وجود آمدن نظم درون‌ساختاری و ایجاد یک شبکه در فیلم و افزایش میزان مقاومت کششی می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود با افزودن کندر به TPS خواص مکانیکی فیلم‌ها بهبود یافت که نشان‌دهنده تقویت فیلم‌های TPS می‌باشد. ارومیه‌ای و همکاران با بررسی انواع صمغ برای بهبود خواص کامپوزیت نشاسته ذرت/گلیسرول نتایج مشابهی به دست آوردند. با افزودن صمغ‌های کندر و سفز خواص مکانیکی فیلم نشاسته بهبود یافت در حالی که با افزودن صمغ‌های زرد، فارسی و کنیرا کاهش چشمگیر استحکام کششی و مدول یانگ را نسبت به فیلم شاهد مشاهده کردند [۶]. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود مدول کششی با افزایش مقدار نانورُس افزایش یافته است. دلیل این مسئله احتمالاً ناشی از تشکیل شبکه درون ماده و کاهش تحرک‌پذیری زنجیره‌های پلیمری می‌باشد. با افزایش مقدار نانورُس بیش از پنج درصد، به

در نمونه‌ها، فیلم‌های تهیه شده را به مدت دو ساعت در آون با دمای ۵۰ °C قرار دادیم.

آزمون زیست‌تخریب‌پذیری

برای اندازه‌گیری میزان زیست‌تخریب‌پذیری نمونه‌ها، ابتدا فیلم‌های تولیدی را در آون با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد خشک نموده و وزن کردیم. سپس نمونه‌ها را در عمق ۵ سانتی‌متری زیر سطح خاک دفن نمودیم (جعبه‌های پلاستیکی در آزمایشگاه). در طول زمان آزمایش، خاک داخل جعبه‌ها با اضافه کردن آب مقطر مرطوب نگه داشته شد. برای اندازه‌گیری میزان تخریب، نمونه‌ها در فواصل زمانی ۱۰ روز از زیر خاک خارج شده، خاک موجود در سطح را با آب مقطر شستشو داده، سپس برای رسیدن به وزن خشک به مدت ۱۲ ساعت در آون خشک نموده و درصد کاهش وزن در طول زمان را برای ارزیابی میزان زیست‌تخریب‌پذیری در نظر گرفتیم. درصد کاهش وزن با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

$$\text{معادله ۱} \quad \text{کاهش وزن} = \frac{W_0 - W_d}{W_0} \times 100$$

که W و W_d به ترتیب بیانگر وزن خشک اولیه و وزن خشک پس از دفن در خاک می‌باشد.

جدول ۱: اجزای تشکیل دهنده نمونه‌ها

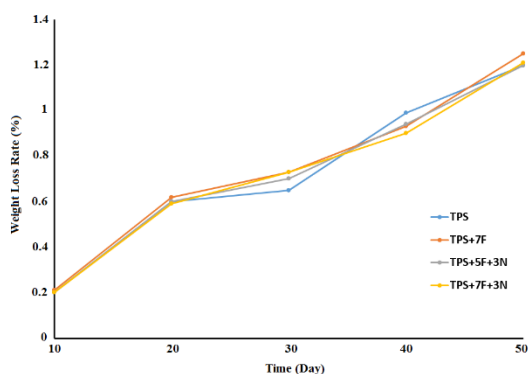
نمونه‌ها	نشاسته گرمانرم (گرم)	کندر (گرم)	نانورُس (گرم)
TPS	۶۳	-	-
TPS+5F	۶۰/۱۷	۳	-
TPS+7F	۵۸/۲۸	۴/۰۷	-
TPS+5F+3N	۵۹/۳۹	۲/۰۴	۱/۲۳
TPS+5F+5N	۵۸/۸۷	۲/۰۳	۲/۰۳
TPS+7F+3N	۵۸/۰۷	۲/۸	۱/۲
TPS+7F+5N	۵۷/۵۶	۲/۷۷	۱/۹۸

نتایج و بحث

آزمون مکانیکی

ذرات معدنی در برابر حرارت پایداری زیادی دارند و ترکیب آنها با نشاسته به بهبود پایداری حرارتی این پلیمر کمک می‌کند [۲۹]. میزان کاهش وزن فیلم‌های نشاسته گرمانرم حاوی نسبت‌های مختلف صمغ کندر و نانورُس در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزودن نانورُس به فیلم‌ها، افت وزن نمونه‌ها کاهش یافته است. میزان کاهش وزن نمونه‌ها در طی زمان، از یک روند خطی پیروی می‌کند و با افزایش زمان دفن در خاک افزایش می‌یابد. ریزجاندارها برای رشد به شرایط مناسب فیزیکی و شیمیایی مانند رطوبت، دما و اکسیژن کافی نیاز دارند. بنابراین فرایند تخریب کامپوزیت به فراهم کردن شرایط لازم برای رشد و حمله ریزجاندارها بستگی دارد [۳۰]. کاهش تخریب پذیری نمونه‌ها در اثر حضور نانورُس را می‌توان به بروز واکنش‌های قوی با مواد معدنی در سطح خاک نسبت داد که قابلیت دسترسی گروه‌های عاملی را محدود کرده و باعث کاهش زیست تخریب پذیری نمونه‌ها می‌شود [۳۱].

نانورُس باعث ایجاد مسیرهای پر پیچ و خم در بستر پلیمر می‌شود و راه انتشار مولکول‌های آب و اکسیژن را طولانی‌تر می‌کند که شرایط لازم برای رشد ریزجاندارها را به تاخیر می‌اندازد. از این رو با افزودن نانورُس از میزان زیست تخریب پذیری فیلم کاسته می‌شود اما صمغ کندر ۷ درصد باعث افزایش سرعت زیست تخریب پذیری فیلم نشاسته گرمانرم شده است.



شکل ۱: کاهش وزن فیلم‌های نشاسته گرمانرم

علت تجمع و تراکم ذرات و تشکیل کلوخه، خواص مکانیکی نانوکامپوزیت کاهش یافته است.

نمونه حاوی پنج درصد نانورُس و پنج درصد کندر (TPS+5F+5N) خواص مکانیکی بهتری را نسبت به سایر نمونه‌ها از خود نشان می‌دهد. بر اساس نتایج نوشیروانی و همکاران در نمونه‌های نانوکامپوزیت، نانوذرات در غلظت‌های کم نقش ناخالصی را بازی می‌کنند. در این حالت توزیع ذرات ضعیف است و تمرکز تنش را در فیلم ایجاد می‌کند [۲۷]. اسلامی و همکاران پس از تهیه نانوکامپوزیت نشاسته گرمانرم/نانوسلولز حاوی مقادیر مختلف گلیسرول، اسید سیتریک، صمغ کندر و نانوسلولز و انجام آزمون مکانیکی دریافتند که ۵ درصد نانوالیاف و ۴ درصد صمغ کندر خواص مکانیکی بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد [۲۸].

آزمون وزن‌سنجی گرمایی

یکی از اهداف ترکیب نانوذرات در TPS، افزایش ناحیه دمایی است که در آن پلیمر می‌تواند پردازش شود و مورد استفاده قرار بگیرد. به همین دلیل خواص گرمایی فیلم‌ها نیز با استفاده از روش گرمایزن‌سنجی مورد ارزیابی قرار گرفتند. جدول ۳ مقایسه پایداری حرارتی فیلم‌های نمونه‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج آزمون وزن‌سنجی حرارتی، بازه دمایی ۲۸۰-۸۵ درجه سانتیگراد مربوط به تخریب حرارتی مولکول‌های سبک مانند آب می‌باشد.

جدول ۳: مقایسه پایداری حرارتی فیلم‌های TPS

نمونه‌ها	T5wt % (°C)	T20wt % (°C)	T50wt % (°C)	T70wt % (°C)	T90wt % (°C)
TPS	۳۶	۸۲	۲۴۵	۳۱۷	۳۳۸
TPS+7F	۴۵	۱۲۰	۲۴۰	۲۹۷	۳۹۰
TPS+5F+3N	۸۷	۱۱۵	۲۸۸	۲۹۵	۳۴۹

افزودن صمغ کندر اندکی پایداری حرارتی را بهبود بخشید. با افزودن نانوذرات، پایداری حرارتی بهبود یافت که باعث گسترش کاربرد آن می‌گردد. دلیل افزایش پایداری حرارتی نانوکامپوزیت‌ها در اثر افزایش نانوکلی به ماهیت این ذرات مرتبط است که این

نتیجه‌گیری

در بررسی حاضر از نشاسته گرمانرم جهت ساخت فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر استفاده گردید و به منظور بهبود ویژگی‌های کاربردی فیلم‌ها صمغ کندر و نانورس به کار گرفته شد. آزمون‌های مختلفی برای سنجش خواص فیلم‌ها انجام شد که نتایج به دست آمده به شرح ذیل می‌باشد:

افزودن صمغ کندر به TPS منجر به بهبود خواص مکانیکی در مقایسه با فیلم TPS خالص شد. که دلیل آن به وجود آمدن نظم درون‌ساختاری و ایجاد یک شبکه در فیلم TPS می‌باشد. همچنین به دلیل تشکیل شبکه درون ماده و کاهش تحرک پذیری زنجیره‌های پلیمری، افزودن نانورس باعث افزایش مدول کششی فیلم‌ها شد. طبق بررسی‌های انجام شده نمونه حاوی پنج درصد نانورس و پنج درصد کندر (TPS+5F+5N) بهترین خواص مکانیکی را از خود نشان داد.

یکی از اهداف ترکیب نانوذرات در TPS، افزایش ناحیه دمایی است که در آن پلیمر می‌تواند پردازش شود و مورد استفاده قرار بگیرد. به همین دلیل خواص گرمایی فیلم‌ها، با استفاده از روش گرمایزسنجی مورد ارزیابی قرار گرفتند. با افزودن نانوذرات، پایداری حرارتی بهبود یافت.

در آزمون زیست‌تخریب‌پذیری با افزودن نانورس به فیلم‌ها، افت وزن نمونه‌ها کاهش یافت. کاهش تخریب‌پذیری نمونه‌ها در اثر حضور نانورس را می‌توان به بروز واکنش‌های قوی با مواد معدنی در سطح خاک نسبت داد که قابلیت دسترسی گروه‌های عاملی را محدود کرده و باعث کاهش زیست‌تخریب‌پذیری نمونه‌ها می‌شود.

منابع

- [3] H. Wang, R. Zhang, H. Zhang, S. Jiang, H. Liu, M. Sun, S. Jiang, *Carbohydrate Polymers*, 127, 2015, 64
- [4] H. EA, *MICROBIAL BIOSYSTEMS JOURNAL*, 1 (1), 2016, 50.
- [5] صمد حسینی صدر، صدیقه سیلان‌وند، رقیه ولیزاده، کاربرد نانوتکنولوژی در بسته‌بندی مواد غذایی، پویش در آموزش علوم پایه، دوره ۳ (شماره ۳)، ۱۳۹۶، ۵۱-۴۱.
- [6] فرشته حسینی، محمدباقر حبیبی نجفی، عبدالرسول ارومیه‌ای، مهدی نصیری محلاتی، مسعود یاورمنش، تولید فیلم‌های خوراکی زیست‌تخریب‌پذیر از محصولات بر پایه ذرت و بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آنها، پژوهش‌های صنایع غذایی (دانش کشاورزی)، دوره ۲۳ (شماره ۲)، ۱۳۹۲، ۲۳۵-۲۲۳.
- [7] G.J.L. Griffin, *Particulate Starch Based Products in Chemistry and Technology of Biodegradable Polymers*, Springer Blackie, London, Chap. 3, 1994.
- [8] R. Chandra, R. Rustgi, *Progress in Polymer Science*, 23, 1998, 1273.
- [9] D. Rosa, C.G.F. Guedes, C. Carvalho, *Journal of Materials Science*, 42, 2007, 551.
- [10] G.M. Chapman, W.J. Maddever, *Plastics Engineering*, 45, 1989, 31.
- [۱۱] سعید حنیفی، شروین احمدی، عبدالرسول ارومیه‌ای، خواص مکانیکی و زیست‌تخریب‌پذیری آمیخته‌های پلی‌پروپیلن-نشاسته تقویت شده با نانوخاک‌رس، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال ۲۶ (شماره ۲)، ۱۳۹۲، ۱۴۸-۱۳۹.
- [۱۲] مهدی حاجی‌باقریان، محمد کرابی، فرود عباسی سورکی، حامد عزیز، ارتباط زیست‌تخریب‌پذیری با شکل‌شناسی و خواص مکانیکی آمیخته‌های پلی‌اولفین‌الاستومر-نشاسته، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال ۳۱ (شماره ۱)، ۱۳۹۷، ۷۹-۶۹.
- [13] D. Thompson, *Carbohydrate Polymers*, 43, 2000, 223.
- [14] J. Blanshard, *Critical Reports on Applied Chemistry*, 13, 1989, 16.
- [15] A. Buléon, P. Colonna, V. Planchot, S. Ball, *International Journal of Biological Macromolecules*, 23, 1998, 85.
- [16] Q. Fang, M.A. Hanna, *Bioresource Technology*, 78, 2001, 115.
- [17] S. Mortazavi, I. Ghasemi, A.R. Oromiyeh, *Polymer Testing*, 32, 2013, 482.
- [18] S. Mortazavi, I. Ghasemi, A.R. Oromiyeh, *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 20, 2014, 250.
- [1] Y. Wyser, M. Adams, M. Avella, D. Carlander, L. Garcia, G. Pieper, et al., *Packaging Technology & Science*, 29 (12), 2016, 615.
- [2] M.C. Gómez-Guillén, M. Pérez-Mateos, J. Gómez Estaca, E. López-Caballero, B. Giménez, P. Montero, *Trends in Food Science and Technology*, 20, 2009, 3.

- علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی زنجان، دوره ۱۶ (شماره ۶۵)، ۱۳۸۷، ۳۰-۲۳.
- [۲۶] سلیمان عباسی، سودابه محمدی، سمیه رحیمی، جایگزینی بخشی از ژلاتین با صمغ فارسی و استفاده از کندر برای تولید پاستیل فراسودمند، مجله مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۲ (شماره ۱)، ۱۳۹۰، ۱۳۱-۱۲۱.
- [۲۷] نوشین نوشیروانی، بابک قنبرزاده، علی اکبر انتظامی، مقایسه خواص کششی، نفوذپذیری و رنگی زیست نانوکامپوزیت های بر پایه نشاسته حاوی دو نوع پرکننده: سدیم مونت موریلونیت و نانوبلور سلولوز، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال ۲۴ (شماره ۵)، ۱۳۹۰، ۴۰۲-۳۹۱.
- [28] R. Eslami, A. Azizi, M. Najafi, *Polymers & Polymer Composites*, 29, 2021, 436.
- [۲۹] سید مهدی میرابوالقاسمی، محسن نجفی، علیرضا عزیزی، مهدی حاجی باقریان، تهیه و مطالعه رفتار فیزیکی و مکانیکی بیونانوکامپوزیت های پلی لاکتیک اسید تقویت شده با نانوکریستال سلولز و نانو ذرات نقره، پژوهش های کاربردی مهندسی شیمی- پلیمر، دوره ۵ (شماره 3)، 1400، 25-13.
- [30] J.W. Rhim, S.I. Hong, C.S. Ha, *LWT - Food Science and Technology*, 42 (2), 2009, 612.
- [۳۱] B. Kord, E. Jari, A. Najafi, V. Tazakorrezaie, *The Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27, 2014, 1085.
- [19] S. Mortazavi, I. Ghasemi, A.R. Oromiyeh, *Iranian Polymer Journal*, 22, 2013, 437.
- [۲۰] سعید رحیمی بندرآبادی، پروین احسانی نمین، اسماعیل قاسمی، حامد عزیزی، محمد کرابی، سازگاری، شکل شناسی، خواص مکانیکی و زیست تخریب پذیری آمیزه های پلی (استیرن-اتیلن-پروپیلن-استیرن)-نشاسته گرمانرم اصلاح شده، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال ۲۹ (شماره ۴)، ۱۳۹۵، ۳۲۱-۳۱۱.
- [21] J.W. Rhim, P.K. Ng, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47, 2007, 411.
- [22] H.M. Park, X. Li, C.Z. Un, C.Y. Park, W.J. Cho, C.S. Ha, *Macromolecule Material Engineering*, 287, 2002, 553.
- [۲۳] طاهر استادعلی، بابک قنبرزاده، فرزانه دریکوند، سید علی مرتضوی، لیلا ابوالقاسمی فخری، نانوکامپوزیت های بر پایه نشاسته ترموپلاستیک-نانوذرات نقره-نانورس: بررسی اثرات ضدباکتریایی روی اشرشیاکلی، ویژگی های مکانیکی و نفوذپذیری، نشریه پژوهش های صنایع غذایی، جلد ۲۶ (شماره ۱)، ۱۳۹۵، ۱۷۵-۱۶۱.
- [۲۴] حمیده السادات عقیلی مقدم، باقر عمادی، فرشته حسینی، حسن صدرنیا، تولید فیلم خوراکی زیست تخریب پذیر از صمغ کنیرا و تعیین ویژگی های فیزیکی و مکانیکی آن، پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، دوره ۵ (شماره ۲)، ۱۳۹۵، ۱۳۰-۱۱۹.
- [۲۵] رحمت الله پرندین، حمیدرضا صادقی پور رودسری، سیروس شمیلی، حمیدرضا قاسمپور، ارزیابی اثرات صمغ رزینی عصاره آبی کندر بر برخی شاخص های باروری در موش صحرائی نر، مجله