

تهیه و مطالعه پلی اتیلن تخریب پذیر بر پایه نشاسته

Preparation and Study of Degradable Polyethylene Based on Starch

هنگامه هنرکار^{۱*}، مهدی باریکانی^۱، جلیل مرشدیان^۲

تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، ۱- پژوهشکده علوم، گروه پلی یورتان، ایاف و نانوپلیمرها

۲- پژوهشکده فرایند، گروه پلاستیک، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت: ۸۳۷/۲۹، پذیرش: ۸۴/۷/۲۱

چکیده

پلاستیکهای سنتزی بطور گسترده در زندگی روزمره مصرف می‌شوند. از جمله این پلیمرها می‌توان به پلی‌استیرن، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن اشاره کرد که به دلیل سهولت روش تولید و کاربرد، ارزانی، زیبایی شکل ظاهری و همچنین بی‌خطر بودن در تماس با مواد غذایی در صنعت بسته‌بندی از آنها استفاده می‌شود. این وضعیت موجب افزایش آلودگی محیط زیست می‌شود. بنابراین، تلاشهای زیادی برای حل مشکل ضایعات پلاستیکی با افزودن مواد زیست تخریب پذیر به آنها انجام شده است. از آنجا که پلی‌اتیلن یکی از پر مصرف ترین مواد بسته بندی است، پژوهشهای گسترده‌ای برای تخریب پذیر کردن آن انجام گرفته است که یکی از این موارد، استفاده از نشاسته به عنوان پرکننده طبیعی در پلی‌اتیلن است. در این پژوهش، از نشاسته ذرت برای تخریب پذیر کردن پلی‌اتیلن سبک استفاده شده است. بدین منظور درصدهای مختلف نشاسته به پلی‌اتیلن افزوده و با آزمایشهای گرمایی، مکانیکی، مطالعات میکروسکوپی، تابش فرابنفش و طیفسنجی زیر قرمز تبدیل فوریه اثر مقدار نشاسته بر خواص آمیزه‌های پلی‌اتیلن و تخریب پذیری آنها بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقدار نشاسته در نمونه‌ها، استحکام کششی و ازدیاد طول تا پارگی کاهش و مدول افزایش می‌یابد. قرار دادن نمونه‌ها در معرض تابش فرابنفش سبب کاهش تنش و کرنش شکست و ازدیاد طول تا پارگی می‌شود. هرچه مدت زمان تابش پرتو فرابنفش و نیز مقدار نشاسته بیشتر باشد کاهش بیشتری در خواص یاد شده مشاهده می‌شود. نتایج طیفسنجی زیر قرمز نیز مؤید تخریب نمونه‌هاست.

واژه‌های کلیدی

پلی‌اتیلن، نشاسته، تخریب‌پذیر، تابش فرابنفش، شکل‌شناسی

مقدمه

ضایعات جامد شهری توجه همگان را به پلیمرهای تخریب‌پذیر معطوف کرده است. تخریب‌پذیری در موارد ویژه امتیاز محسوب می‌شود. برای مثال در صنعت کشاورزی فیلمهای تخریب‌پذیر به عنوان پوشاننده گیاه عاملی برای رساندن مواد غذایی و کودهای

امروزه صنعت پلاستیک سریعترین رشد را در بین صنایع مواد دارد. انواع مختلفی از پلیمرها ساخته می‌شود، ولی در این میان نکته‌ای بدون توجه باقی مانده است که عاقبت میلیونها ظرف، پاکت، بسته و بطری که غالباً از مواد پلی‌اولفینی ساخته می‌شوند چیست؟ بحران رایج در انهدام

Key Words

polyethylene, starch, degradable, UV radiation, morphology

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: h.honarkar@ippi.ac.ir

کربونیل و وینیل مشاهده می شود و فیلم به عنوان سامانه ای ناهمگن در نظر گرفته می شود که مربوط به توزیع مکانهای اکسیژن فعال و احتمالاً شکل شناسی پلیمر است [۶]. تخریب پلی اتیلن با تابش فرابنفش آغاز می شود، عوامل دیگری مثل وزن مولکولی، افزودنیها و مساحت سطح روی این پدیده اثر می گذارند و حمله میکروارگانیسمها فرایند بعدی است [۷]. هنگامی که افزودنی زیست تخریب پذیر در ماتریس پلیمری بکار می رود به دلیل حمله میکروارگانیسمها تخلخل و مساحت سطح افزایش می یابد و به این ترتیب پلیمر تضعیف می شود [۸].

پلیمرهای طبیعی در سامانه های زیستی (biological) به وسیله آبکافت و به دنبال آن اکسایش تخریب می شوند. بنابراین، در طراحی مواد مصنوعی زیست تخریب پذیر آنچه که باید ابتدا مد نظر قرار گیرد وجود پیوندهای قابل آبکافت در آنهاست [۹].

اثر شکل شناسی بر نور تخریب فیلمهای پلی اتیلن سبک مطالعه شده است. در این بررسی فیلمهایی با درجات مختلف بلورینگی و آرایش یافتگی تهیه شدند و تمام نمونه ها به مدت ۱۲ روز در شرایط تخریب نوری قرار گرفتند. قبل از تخریب یا شکست زنجیر دوره القا وجود دارد، این زمان برای فیلمهای کشیده شده طولانی تر از فیلمهای کشیده نشده است. همچنین، سرعت تخریب فیلمهای کشیده شده آهسته تر است. هم دوره القا و هم سرعت تخریب با شرایط عملیات گرمایی تغییر می کند. بررسیهای رئولوژیکی و کروماتوگرافی ژل تراوی (GPC) نشان داده است که نور تخریب سبب کاهش وزن مولکولی می شود که به دلیل شکست زنجیر است [۱۰].

مطالعات برای ساخت موادی که در طبیعت دستخوش تخریب می شوند ادامه دارد. اصل اساسی در ساخت این آمیزه ها حفظ خواص است، بطوری که با حفظ ویژگی محصول تخریب پذیر هم باشد [۱۱].

در این پژوهش، ابتدا آمیزه های مختلفی از پلی اتیلن و نشاسته ذرت با درصدهای متفاوت تهیه و خواص مکانیکی و شکل شناسی آمیزه ها بررسی شد. سپس، نمونه های تهیه شده به مدت ۴، ۸ و ۱۲ هفته در معرض تابش فرابنفش و رطوبت قرار گرفت و خواص مکانیکی آنها پس از زمانمندی بررسی و مقایسه شد.

تجربی

مواد

برای تهیه آمیزه ها از نشاسته ذرت (از نظر خلوص بین نوع آزمایشگاهی و صنعتی) با چگالی ظاهری 1.056 g/cm^3 و پلی اتیلن سبک (LDPE) ساخت بندر امام نوع ۰۲۰۰ مورد مصرف در صنایع بسته بندی استفاده شد.

شیمیایی و سموم علف کش اند [۱].
پلیمرهای تخریب پذیر درشت مولکولهایی هستند که در تماس با شرایط محیطی دستخوش اصلاح شیمیایی می شوند، در نتیجه اجزایی با وزن مولکولی کمتر تشکیل و امکان تخریب بعدی آنها به وسیله میکروارگانیسمهایی که در طبیعت وجود دارد فراهم شده، در نهایت به کربن دیوکسید و آب تبدیل می شوند [۲].

برای حفظ محیط زیست در حال حاضر دو راه مدفون کردن و استفاده مجدد از ضایعات بنظر می رسد. دفن کردن زباله ها راه حل مناسبی نیست بلکه به معنای قرار دادن مشکلات بر شانه های نسل جدید است. بازیافت اگر چه مشکل را بطور وسیعتری حل می کند، ولی مراحل آن شامل جمع آوری پلاستیکها از زباله های شهری، تفکیک و جدا کردن آنها، شستشو، خشک کردن، آسیاب کردن و بالاخره باز فرورش، نیاز به صرف کار و انرژی زیاد دارد. بنابراین، راه حل بنیادی برای حل مشکل زباله های پلیمری ساخت پلیمرهایی است که در محیط تخریب و به اجزایی قابل برگشت به چرخه طبیعت تجزیه می شوند [۳].
مواد تخریب پذیر را می توان به دو گروه نور تخریب پذیر و زیست تخریب پذیر دسته بندی کرد. نکته مهم این است که قبل از زیست تخریب پذیری، نور تخریب پذیری ضروری است. یکی از ساده ترین روشها برای بهبود و اصلاح پلیمرهای موجود برای افزایش تخریب پذیری، سرعت بخشیدن به فرایندهای تخریب است. بیشتر پلیمرها هنگامی که در معرض نور خورشید قرار می گیرند دستخوش تخریب نور اکسایشی می شوند. نور تخریب طبیعی فرایندی است که به وسیله نور خورشید و از راه نور اکسایش انجام می گیرد و وزن مولکولی پلیمر کاهش می یابد. بنابراین، اشیای پلاستیکی شکننده و متلاشی می شوند [۳].

استفاده از نشاسته به عنوان ماده افزودنی مؤثر به منظور تخریب پذیر کردن مواد از سال ۱۹۷۰ توسعه یافت. نشاسته از زنجیرهای آمیلوز و آمیلوپکتین تشکیل شده است و خواص ساختاری ندارد و نسبت به آب مقاوم نیست. Griffin در سال ۱۹۷۳ استفاده از نشاسته را به عنوان افزودنی قابل تخریب و ارزان در پلیمرهای خنثی مطرح کرد [۴].
مطالعات بعدی او نشان داد که استفاده از نشاسته روشی قابل قبول برای افزایش تخریب پذیری پلاستیکهاست. عوامل مختلفی از جمله ساختار شیمیایی، شکل شناسی، عمل آوری شیمیایی و وزن مولکولی روی زیست تخریب پذیری مؤثرند [۵].

تخریب محیطی فیلم پلی اتیلن سبک در معرض تابش فرابنفش به مدت ۱۲۵۰۰ h بررسی شده است. در محدوده ۱۰۵۰۰-۸۰۰۰ h پس از قرار گرفتن در معرض تابش پرتو فرابنفش بیشترین مقدار گروههای

دستگاهها

در این پژوهش، مخلوط کن داخلی هکه مدل HBI System ۹۰ برای اختلاط مواد، دستگاه DSC-TG مدل STA۶۲۵ ساخت شرکت انگلیسی پلیمر لاب برای بررسی رفتار گرمایی آمیزه‌ها، دستگاه کشش اینسترون مدل ۶۰۲۵ برای اندازه گیری استحکام کششی نمونه‌ها مطابق استاندارد ASTM D ۶۳۸، میکروسکوپ الکترون پویشی (SEM) مدل S ۳۶۰ ساخت شرکت انگلیسی کمبریج برای بررسی شکل شناسی و سطح شکست آمیزه‌ها، دستگاه پرس Minitest مدل Toyo-seike با حداکثر فشار ۳۵ MPa ساخت ژاپن برای تهیه ورقه‌های با ضخامت ۱ mm از آمیزه‌ها، دستگاه تابش فرابنفش ساخت شرکت Q-Panel آمریکا برای بررسی تخریب نمونه‌ها در اثر تابش UV مطابق استاندارد G۵۳ و طیف سنج FTIR بروکر مدل Equinox ۵۵ برای برداشت طیف زیر قرمز تبدیل فوریه از نمونه‌ها بکار گرفته شد. همچنین، برای الک کردن نشاسته از الک با مش ۱۰۰ و برای خشک کردن آن از آون خلأ استفاده شد.

روشها

تعیین چگالی نشاسته ذرت

از آنجا که نشاسته مصرفی به شکل پودر بود و به دلیل عدم امکان تعیین چگالی آن به روش ستون آبی با استفاده از استاندارد ASTM D۸۹۵-۶۹ چگالی ظاهری آن اندازه گیری شد.

تهیه آمیزه‌ها

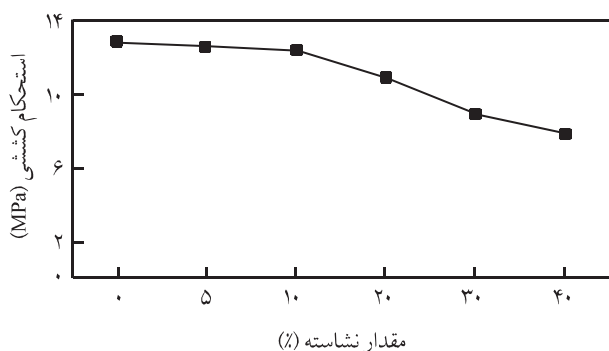
برای تهیه آمیزه‌ها، نشاسته دوبار به کمک الک با مش ۱۰۰ الک شد تا ناخالصی و پوسته‌های اضافی ذرت جدا شود. سپس، به مدت ۲۴ h در آون خلأ و دمای ۶۰°C خشک شد تا رطوبت اضافی آن گرفته شود. ۶ آمیزه با نسبت‌های ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد نشاسته در مخلوط کن داخلی هکه با حجم ۳۰۰cc و تیغه بنبوری در دمای ۱۲۰°C و سرعت ۶۰ rpm تهیه شد. لازم به ذکر است که در تمام آمیزه‌ها ابتدا پلی اتیلن به مدت ۵ min داخل مخلوط کن قرار داده شد و هنگامی که گشتاور به مقدار ثابتی رسید نشاسته اضافه شد. کل زمان اختلاط ۱۰ تا ۱۵ min بود. پس از گذشت این زمان گشتاور دوباره ثابت و آمیزه از مخلوط کن خارج شد.

پس از آمیزه کاری، نمونه‌ها در دستگاه تابش فرابنفش (در محدوده طول موج UV) در شرایط ۸ h در دمای ۶۰°C (تابش UV) و ۴ h در دمای ۵۰°C (رطوبت دهی) مطابق با استاندارد ASTM D ۴۵۸۷-۹۱ به مدت ۴، ۸ و ۱۲ هفته قرار داده شد.

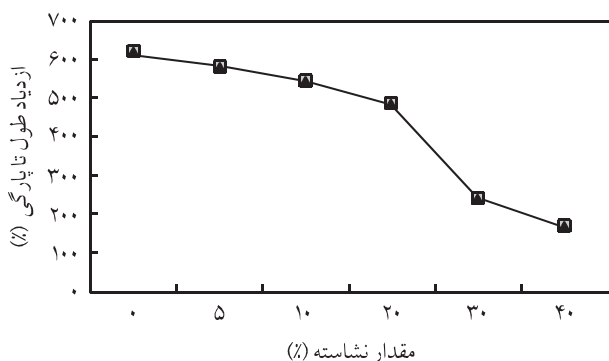
نتایج و بحث

خواص مکانیکی

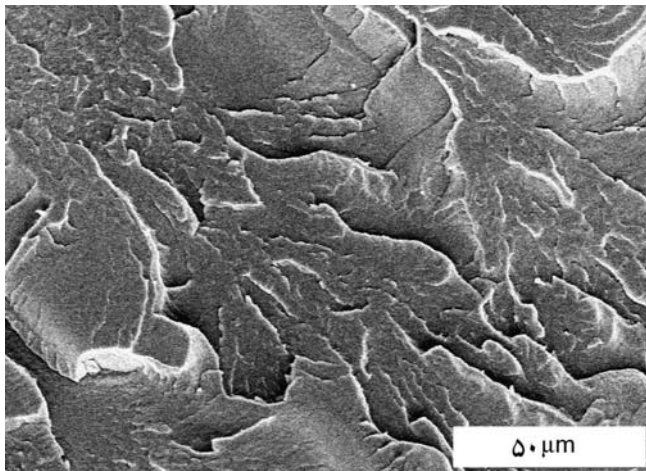
از آمیزه‌های تهیه شده به کمک دستگاه پرس در فشار ۲۰ MPa و دمای ۱۹۰°C ورقه‌هایی با ضخامت ۱ mm تهیه شد. سپس، از آنها نمونه‌های دمبلی شکل کوچک برای آزمایش کشش بدست آمد. در هر آزمایش ۵ نمونه با سرعت ۵۰ mm/min تحت کشش قرار گرفت. همان‌طور که در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود با افزودن نشاسته استحکام کششی و درصد ازدیاد طول تا پارگی آمیزه‌ها کاهش و مدول افزایش می‌یابد (شکل ۳). کاهش استحکام کششی و ازدیاد طول تا پارگی به دلیل عدم سازگاری دو فاز آبدوست و آبگریز نشاسته - پلی اتیلن است. در آمیزه‌های تهیه شده، نشاسته به عنوان پرکننده بکار رفته است که با افزایش مقدار آن مدول نیز زیاد می‌شود. همچنین، بررسی خواص مکانیکی نشان می‌دهد که تغییر و کاهش خواص تا مقدار ۱۰ درصد نشاسته چندان زیاد نیست. بنابراین، بنظر می‌رسد که مقدار ۱۰ درصد



شکل ۱ نمودار تغییر استحکام کششی آمیزه‌ها با افزایش مقدار نشاسته.



شکل ۲ نمودار تغییر درصد ازدیاد طول تا پارگی آمیزه‌ها با افزایش مقدار نشاسته.



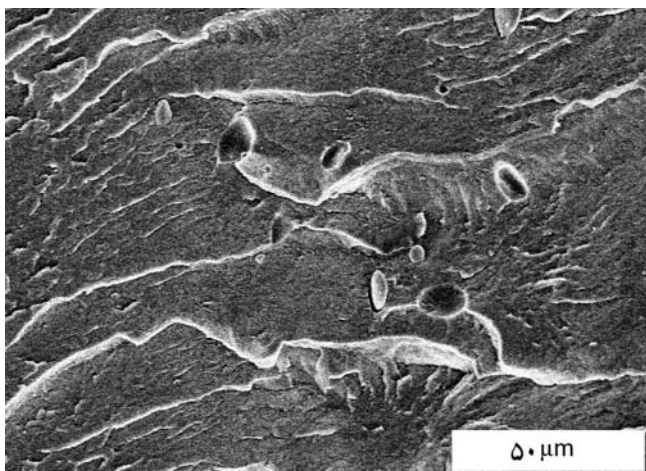
شکل ۴ تصویر SEM پلی اتیلن با بزرگنمایی ۵۰۰.

به وسیله میکروسکوپ الکترونی بررسی شد. همان طور که در شکل‌های ۴ تا ۹ مشاهده می شود پراکندگی نشاسته در نمونه‌ها خوب است و این نشان می دهد اختلاط نشاسته و پلی اتیلن بخوبی انجام شده است. این نتایج در شرایط بهینه دما و اختلاط بدست آمده است. یکی از عوامل مهم در اختلاط، توزیع و پراکندگی مناسب دانه‌های نشاسته در ماتریس پلی اتیلن است که در ابعاد میکروسکوپی و میکروسکوپی نمونه‌ها مشاهده شد. در شرایط آزمایش، سعی بر این بود که از کلوخه شدن و تجمع دانه‌های نشاسته در آمیزه‌ها جلوگیری شود.

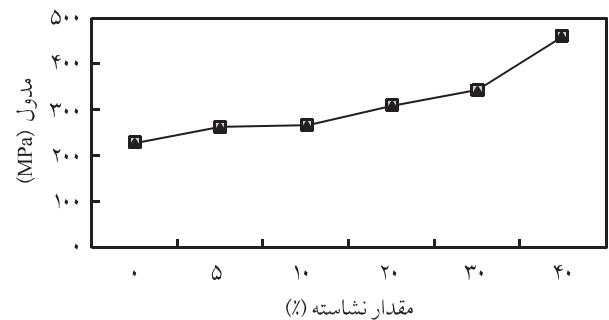
بررسی اثر UV بر آمیزه‌ها

خواص مکانیکی

پس از آنکه نمونه‌ها در معرض تابش فرابنفش قرار داده شد، از هر آمیزه سه نمونه دمبلی شکل با سرعت ۵۰ mm/min در آزمایش کشش قرار گرفت و مقدار کاهش تنش شکست (شکل ۱۰)، ازدیاد طول تا پارگی



شکل ۵ تصویر SEM آمیزه ۹۵/۵ از پلی اتیلن و نشاسته با بزرگنمایی ۵۰۰.



شکل ۳ نمودار تغییر مدول آمیزه‌ها با افزایش مقدار نشاسته.

نشاسته مقدار قابل قبول و بهینه‌ای برای تهیه آمیزه‌هاست تا ضمن تخریب پذیر کردن پلی اتیلن کاهش خواص قابل اغماض باشد.

بررسی رفتار گرمایی

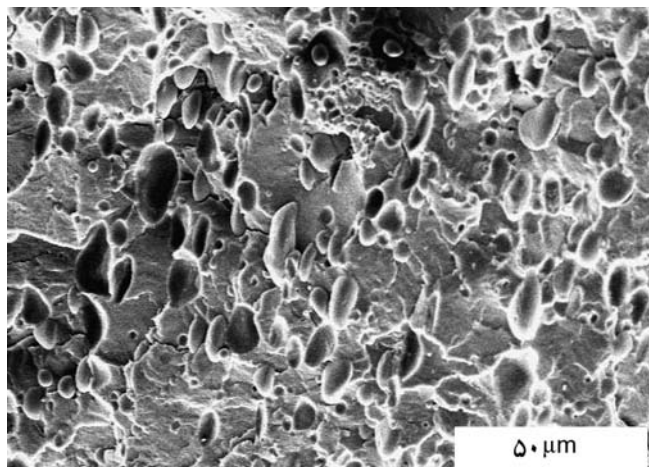
برای بررسی رفتار گرمایی نمونه‌ها، دمانگاشت آمیزه‌های ساخته شده با سرعت ۱۰°C/min در اتمسفر نیتروژن تهیه شد. بررسی دمانگشت‌های بدست آمده نشان می دهد که با افزودن نشاسته به پلی اتیلن دمای ذوب آمیزه‌ها (T_m) تغییر چندانی نمی کند. نتایج در جدول ۱ آمده است. همان طور که در این جدول مشاهده می شود با افزایش نشاسته در آمیزه‌ها تغییر محسوسی در T_m دیده نمی شود. نشاسته از زنجیرهای خطی آمیلوز (۲۵ درصد) و زنجیرهای بشدت شاخه‌ای آمیلوپکتین (۷۵ درصد) تشکیل شده است. پیوندهای موجود بین آنها در دمای بیشتر از ۵۰°C شروع به باز شدن و در دمای بیشتر از ۲۵۰°C تخریب می شوند [۵]. بنابراین، در دمای ذوب پلی اتیلن، نشاسته دچار هیچ نوع تغییری نمی شود.

مطالعات میکروسکوپی

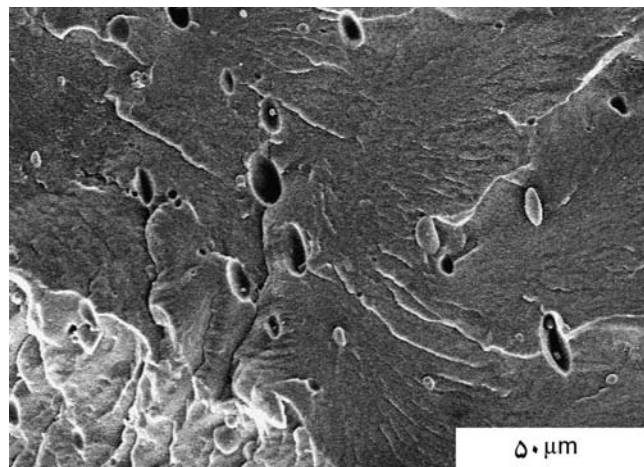
برای مطالعه پراکندگی و توزیع نشاسته در نمونه‌های پلی اتیلن، ورقه‌های تهیه شده از آنها در نیتروژن مایع شکسته شد و سطح شکست

جدول ۱ تغییر دمای ذوب (T_m) آمیزه‌ها نسبت به مقدار نشاسته.

T_m (°C)	آمیزه (نشاسته/پلی اتیلن)
۱۱۳/۷۳	۱۰۰/۰
۱۱۴/۲۶	۹۵/۵
۱۱۴/۳۶	۹۰/۱۰
۱۱۴/۰۱	۸۰/۲۰
۱۱۳/۱۷	۷۰/۳۰
۱۱۳/۱۳	۶۰/۴۰



شکل ۹ تصویر SEM آمیزه ۶۰/۴۰ از پلی اتیلن و نشاسته با بزرگنمایی ۵۰۰.

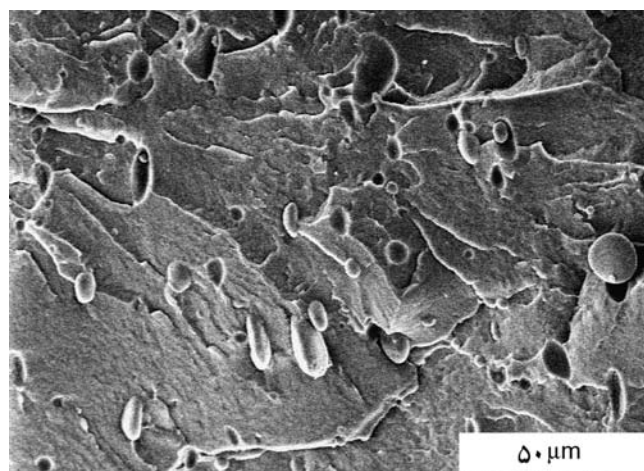


شکل ۶ تصویر SEM آمیزه ۹۰/۱۰ از پلی اتیلن و نشاسته با بزرگنمایی ۵۰۰.

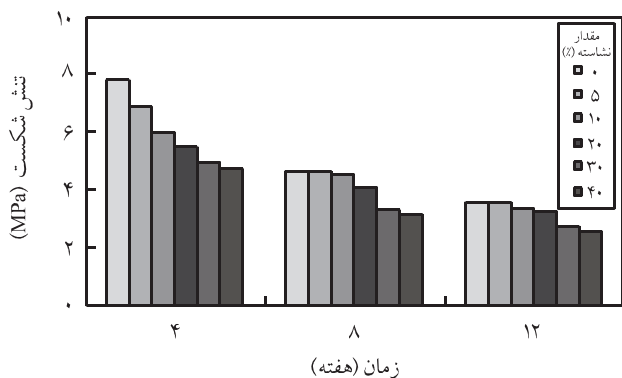
(شکل ۱۱) و کرنش شکست (شکل ۱۲) بررسی شد. با توجه به شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ با افزایش مدت زمان قرارگیری نمونه‌ها در معرض تابش فرابنفش کاهش بیشتری در خواص مشاهده می‌شود و تنش شکست، ازدیاد طول تا پارگی و کرنش شکست کاهش می‌یابد. کاهش مشاهده شده در خواص به دلیل تخریب نمونه‌ها در اثر تابش فرابنفش است و همان‌طور که از شکل‌ها پیداست هر چه مقدار درصد نشاسته در آمیزه افزایش یابد، تخریب و کاهش خواص آمیزه‌ها بیشتر می‌شود.

رفتار گرمایی

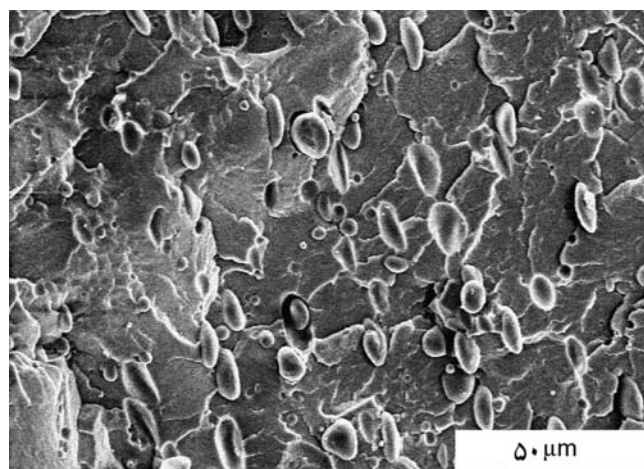
برای بررسی رفتار گرمایی نمونه‌های مورد آزمایش در آون UV، ترکیب درصد ۸۰/۲۰ از آمیزه در نظر گرفته شد. همان‌طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، دمانگاشتهای نمونه مرجع و نمونه‌های در معرض تابش فرابنفش به مدت ۴، ۸ و ۱۲ هفته با یکدیگر مقایسه شده است.



شکل ۷ تصویر SEM آمیزه ۸۰/۲۰ از پلی اتیلن و نشاسته با بزرگنمایی ۵۰۰.



شکل ۱۰ نمودار تغییر تنش شکست آمیزه‌ها با گذشت زمان.

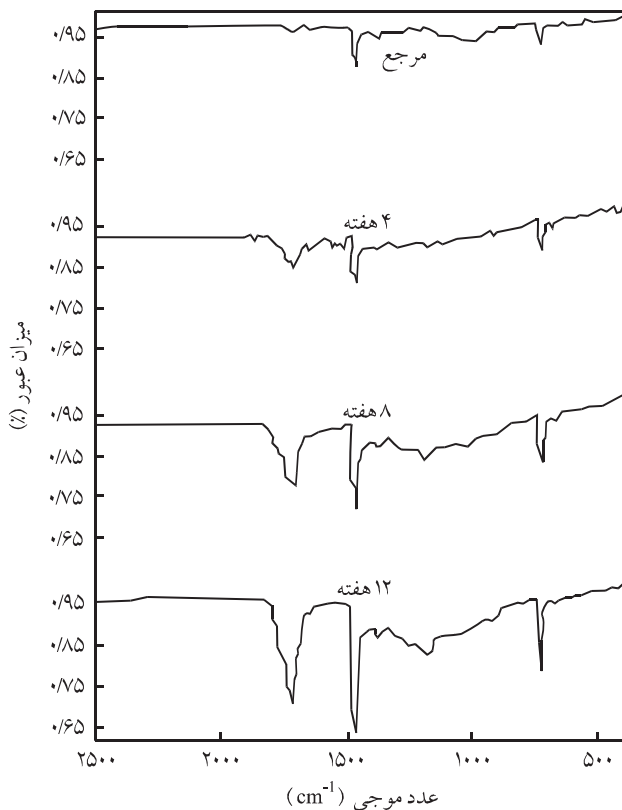


شکل ۸ تصویر SEM آمیزه ۷۰/۳۰ از پلی اتیلن و نشاسته با بزرگنمایی ۵۰۰.

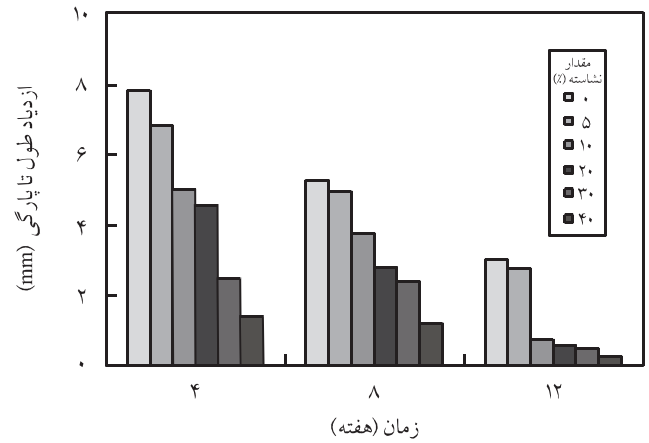
بلورینگی با افزایش مدت زمان قرار گرفتن آنها در معرض تابش فرابنفش افزایش می‌یابد. همچنین، دمای ذوب نیز به مقدار چند درجه افزایش می‌یابد که به دلیل استهلاک تنشهای موضعی است [۱۲]. بنابراین، تابش فرابنفش روی اندازه بلورها و تکمیل آنها اثر می‌گذارد.

طیف‌سنجی FTIR

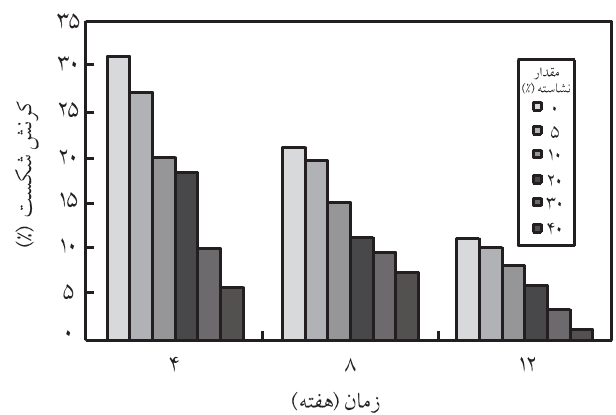
برای بررسی تخریب نمونه‌ها در آون UV، از طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه (FTIR) استفاده شد. به عنوان نمونه، آمیزه با مقدار ۲۰ درصد نشاسته انتخاب شد. همان‌طور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود طیف FTIR آمیزه ۸۰/۲۰ نمونه مرجع و نمونه‌های در معرض تابش فرابنفش به مدت ۴، ۸ و ۱۲ هفته با یکدیگر مقایسه شده است. هنگامی که نمونه‌ها در معرض تابش فرابنفش قرار می‌گیرند رادیکالهای تولید شده با ماتریس پلی اتیلن وارد واکنش می‌شوند. ظاهر شدن پیک جذبی گروههای کربونیل در ناحیه 1708 cm^{-1} مؤید اکسایش نمونه‌هاست. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان قرار گرفتن نمونه‌ها در معرض تابش فرابنفش مقدار تخریب و در نتیجه شدت پیکهای



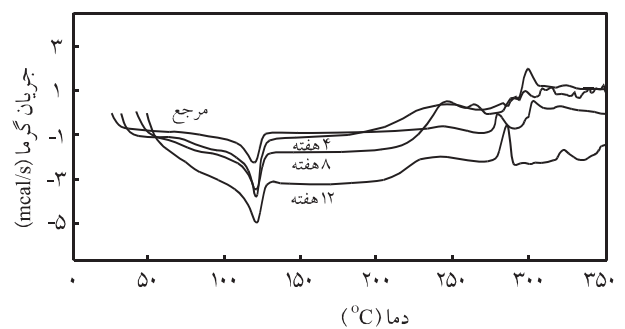
شکل ۱۴ طیف FTIR آمیزه‌های ۸۰/۲۰ از پلی اتیلن و نشاسته برای نمونه مرجع (بدون تابش) و نمونه‌های در معرض تابش فرابنفش به مدت ۴، ۸ و ۱۲ هفته.



شکل ۱۱ نمودار تغییر ازدیاد طول تا پارگی آمیزه‌ها با گذشت زمان.



شکل ۱۲ نمودار تغییر کرنش شکست آمیزه‌ها با گذشت زمان.



شکل ۱۳ دمانگاشتهای آمیزه‌های ۸۰/۲۰ از پلی اتیلن و نشاسته برای نمونه مرجع (بدون تابش) و نمونه‌های در معرض تابش فرابنفش به مدت ۴، ۸ و ۱۲ هفته.

گرماگیر ذوب در تمام نمونه‌ها از نظر شکل یکسان است. به دلیل پارگی زنجیرها در اثر تخریب، تبلور انجام می‌گیرد و در تمام نمونه‌ها مقدار

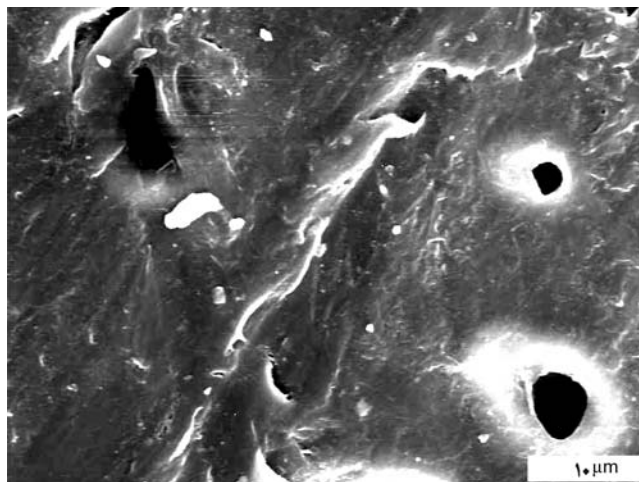
بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر به ترتیب پس از هشت ماه و یک سال ماندگاری در خاک نشان داده شده است. با توجه به تصاویر SEM در اثر حمله میکروارگانیسمهای موجود در خاک، ماتریس پلی اتیلن متخلخل شده و به این ترتیب آمیزه بیشتر به سمت تخریب پیش می‌رود. هنگامی که میکروارگانیسمها به ماتریس پلیمری حمله می‌کنند سطح تماس و تخلخل افزایش یافته، به این ترتیب پلیمر تضعیف می‌شود. نکته مهم این است که سرعت تخریب به نوع میکروارگانیسم، pH، مقدار رطوبت خاک و گرما بستگی دارد.

نتیجه‌گیری

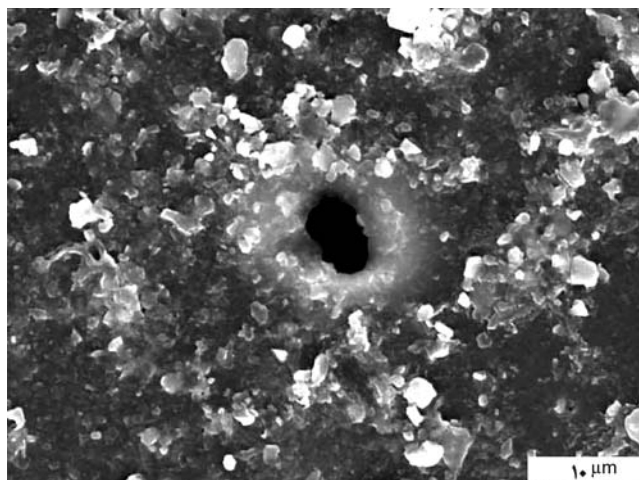
از آنجا که حجم زیادی پلی اتیلن در کشور تولید و مصرف می‌شود، انهدام ضایعات آن برای حفظ محیط زیست از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از راههای رهایی از این ضایعات افزایش سرعت تخریب پلی اتیلن است که با وارد کردن پلیمرهای طبیعی مثل نشاسته در ساختار آن انجام می‌گیرد. بنابراین در این پژوهش، بررسی تخریب‌پذیری پلی اتیلن سبک مد نظر قرار گرفته، از نشاسته ذرت برای این منظور استفاده شد. آمیزه‌هایی با درصدهای مختلف وزنی نشاسته (۴۰-۰) تهیه و آزمایشهای گرمایی، مکانیکی، میکروسکوپی، طیف‌سنجی FTIR و تابش فرابنفش برای بررسی اثر مقدار نشاسته بر خواص پلیمر نهایی انجام شد. بررسیهای انجام شده نشان می‌دهد که پراکندگی نشاسته در نمونه‌ها مورد قبول است و با افزایش مقدار نشاسته در آمیزه‌ها مقدار استحکام کششی و درصد ازدیاد طول تا پارگی کاهش و مقدار مدول افزایش می‌یابد. همچنین، T_m آمیزه‌ها تغییر چندانی نمی‌کند. بررسی اثر تابش فرابنفش بر آمیزه‌ها نشان می‌دهد که با افزایش مدت زمان در معرض تابش قرار گرفتن نمونه‌ها کاهش بیشتری در خواص مشاهده می‌شود و تنش شکست، ازدیاد طول تا پارگی و کرنش شکست کاهش می‌یابد. این کاهش با افزایش مقدار درصد نشاسته بیشتر می‌شود. به کمک طیف‌سنجی زیر قرمز نیز تخریب نمونه‌ها بخوبی تأیید می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مدت زمان قرار گرفتن نمونه‌ها در آون UV اکسایش آنها و در نتیجه تشکیل گروههای کربونیل بیشتر می‌شود.

مراجع

1. Klemchuk P., Degradable Plastics: A Critical Review, *Polym. Deg. Stab.*, 27, 183-202, 1990.
2. Bastoili C. and Floridi G., Starch-based Biodegradable Materials, *Proceeding of Environmentally Degradable Polymers: Envi-*



شکل ۱۵ تصویر SEM آمیزه ۸۰/۲۰ از پلی اتیلن و نشاسته پس از ۸ ماه ماندگاری در خاک با بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر.



شکل ۱۶ تصویر SEM آمیزه ۸۰/۲۰ از پلی اتیلن و نشاسته پس از ۱ سال ماندگاری در خاک با بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر.

جذبی بیشتر می‌شود.

تخریب زیستی

پس از آمیزه‌کاری، ورقه‌هایی از نمونه‌ها در دستگاه پرس تهیه شد و به مدت هشت ماه و یک سال در خاک قرار گرفتند. سپس، شکل‌شناسی سطح آنها بررسی شد. در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ شکل‌شناسی آمیزه ۸۰/۲۰ با

- ronmental & Biomedical Aspects*, Antalya (Turkey), September 12-19, 1998.
3. Hocking P.J., The Classification, Preparation, and Utility of Degradable Polymers, *Macromol. Chem. Phys.*, **C 32(1)**, 35-54, 1992.
 4. Griffin G.J.L., Particulate Starch Based Products, In: *Chemistry and Technology of Biodegradable Polymers*, Griffin G.J.L. (Ed.), 1st ed., Blackie Academic & Professional, London, Chap.3, 1994.
 5. Chandra R. and Rustgi R., Biodegradable Polymers, *Prog. Polym. Sci.*, **23**, 1273-1335, 1998.
 6. Severini F., Gallo R., Ipsale S. and Del Fanti N., Environmental Degradation of Stabilized LDPE. Later Stages, *Polym. Deg. Stab.*, **17**, 57-64, 1987.
 7. Davis G., Read A., Bulson H., Harrison D. and Billett E., Open Windrow Composting of Polymers: an Investigation into the Rate of Degradation of Polyethylene, *Resour. Conserv. Recy.*, **40**, 343-357, 2004.
 8. Albertsson A.C., Griffin G.J.L., Karlsson S., Nishimoto K. and Watanabe Y., Spectroscopic and Mechanical Changes in Irradiated Starch-filled LDPE, *Polym. Deg. Stab.*, **45**, 173-178, 1994.
 9. Maddever W.J. and Chapman G.M., Modified Starch Based Biodegradable Plastics, *ANTEC'89*, 1351-1355, 1989.
 10. Tanaka A., Miyagawa E., Uno H., Kitamura M. and Nitta K.H., Influence of Morphology on Photo-Degradation of Low Density Polyethylene Films, *Polym. Eng. Sci.*, **40**, 2007-2013, 2000.
 11. Fomin V.A. and Guzeev V.V., Biodegradable Polymers, Their Present State and Future Prospects, *Prog. Rubber. Plast. Technol.*, **17**, 186-204, 2001.
 12. Albertsson A.C., Barenstedt C. and Karlsson S., Susceptibility of Enhanced Environmentally Degradable Polyethylene to Thermal and Photo-oxidation, *Polym. Deg. Stab.*, **37**, 163-171, 1992.