



## بررسی تخریب نوری، تجزیه زیستی، جذب آب و خاصیت‌های مکانیکی پلاستیک‌های تخریب پذیر برای استفاده در صنعت‌های بسته بندی

شهرزاد خرم نژادیان\* و شیرین خرم نژادیان

<sup>۱</sup> گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دماوند، دماوند، ایران

<sup>۲</sup> تاربان زیست سپهر دماوند، مرکز رشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، دماوند، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۷

**خرم نژادیان، ش. و ش. خرم نژادیان. ۱۳۹۷. بررسی تخریب نوری، تجزیه زیستی، جذب آب و خواص مکانیکی پلاستیک‌های تخریب پذیر جهت استفاده در صنایع بسته بندی. فصلنامه علوم محیطی. ۱۶ (۳): ۲۰۱-۲۱۴.**

**سابقه و هدف:** پسماندهای شامل مواد پلاستیکی، تبدیل به مشکل‌هایی در سراسر جهان شده‌اند. زیرا مدت زمان تجزیه مواد پلیمری پایه نفتی در محیط زیست طولانی می‌باشد. بسته بندی پلاستیکی یکی از معمول‌ترین منابع‌های تولید این پسماندها می‌باشد. یکی از راهکارهای مقابله با این مشکل، استفاده از پلاستیک‌های تخریب پذیر است. یکی از روش‌های تولید پلاستیک‌های زیست تخریب پذیر، آمیزه سازی این مواد با پلیمرهای طبیعی است. تخریب نوری نیز یکی از انواع روش‌های تجزیه این مواد در طبیعت می‌باشد که به نظر می‌رسد برای پلاستیک‌های قابل استفاده در صنعت‌های بسته بندی که در بیشتر موارد دانسته یا ندانسته توسط شهروندان در طبیعت رها می‌شود، راهکار مناسبی است.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش آمیزه قابل تخریب نوری و زیست تخریب پذیری از نشاسته و پلی اتیلن سبک خطی، برای استفاده در صنعت‌های بسته بندی مورد بررسی قرار گرفته است. میزان‌های مختلفی از نشاسته (۷،۴٪، ۳،۷٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪) در آمیزه‌ها تهیه شده است. از پلی اتیلن مالئیک انهدرید به‌عنوان کوبلینگ ایجنت استفاده شده است. جذب آب و رشد قارچ روی نمونه‌ها انجام گرفته و خاصیت‌های مکانیکی آن‌ها بررسی شده است. نمونه‌ها به مدت ۳ ماه در نور مستقیم خورشید قرار داده شده‌اند. آزمون مقاومت کششی قبل و بعد از قرارگیری نمونه‌ها در معرض نور خورشید انجام گرفته است و آن‌ها به مدت ۱۱ ماه درون خاک قرار داده شدند تا تخریب زیستی شان بررسی شود. همچنین آن‌ها به مدت ۸۴ روز در معرض اسپرژیلوس نیجر قرار داده شدند.

**نتایج و بحث:** بنابر بررسی‌های انجام شده با افزایش میزان نشاسته، مقاومت کششی آمیزه و مدول یانگ کاهش می‌یابد، پس از ۳ ماه در معرض نور قرار گرفتن، مقاومت مکانیکی و مدول یانگ به مراتب کاهش یافت. نتایج آزمون جذب آب نشان داد که با افزایش میزان نشاسته بر جذب آب نمونه‌ها افزوده شده است. جذب آب به وزن ملکولی و تعداد گروه‌های هیدروکسیل موجود بستگی دارد. مقایسه وزن نمونه‌ها قبل و بعد از دفن در خاک نشانگر تخریب زیستی آن‌هاست، نمونه‌های شامل نشاسته پس از ۱۱ ماه قرارگیری در خاک دچار کاهش وزن شدند و افت در خاصیت‌های مکانیکی بر اثر آزاد شدن و خروج نشاسته رخ داده است. هر چه میزان نشاسته در آمیزه‌ها کمتر باشد، آمیزه

\* Corresponding Author. E-mail Address: khoramnejad@damavandiau.ac.ir

تحت تأثیر ماتریس پلی اتیلن سبک قرار گرفته و در دسترس میکروارگانیسم‌ها قرار نمی‌گیرد. ذرات نشاسته‌ای که در سطح نمونه قرار دارند زودتر در معرض تخریب زیستی قرار می‌گیرند. با افزایش زمان ماند، نمونه‌ها در خاک میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌های آن‌ها به قسمت‌های درونی ماتریس پلیمری نفوذ کرده و سبب تجزیه کل پلیمر می‌شوند.

رشد قارچ روی نمونه‌ها شامل میزان مختلف نشاسته، نشانگر قابلیت تجزیه زیستی نمونه‌های پلیمری توسط میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. زیست تخریب‌پذیری میکروبی به ظرفیت میکروارگانیسم و متابولیسم میکروبی وابسته است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج به‌دست آمده پلیمر تولیدی زیست تخریب پذیر و قابل تخریب نوری می‌باشد. و قابلیت استفاده در صنعت‌های بسته بندی را دارد. دفن در خاک شبیه سازی محل دفن زباله می‌باشد. در صورتی که اگر این نمونه‌ها در محیط تجزیه مناسب قرار گیرند کمتر دچار افت خاصیت‌ها می‌شوند و شروع به تخریب می‌نمایند. شایان توجه است که نمونه‌های تولید شده برای بسته بندی مواد غیر خوراکی مناسب می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** پلیمر زیست تخریب پذیر، نشاسته، پلی اتیلن، خاصیت‌های مکانیکی، جذب آب، بسته بندی.

## مقدمه

صنعت‌های غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد ارزان، سازگار و انعطاف پذیر هستند.

از دهه ۱۹۳۰ که بسته بندی با مواد پلاستیکی آغاز شده است، این صنعت با دو مقوله دست به گریبان بوده است یکی وابستگی به مواد نفتی و دیگری مشکل دفع مواد زاید. بیشترین پلیمرهای سنتزی از مواد نفتی ساخته شده‌اند و زیست تخریب پذیر نمی‌باشند. این پلیمرهای ماندگار، سبب آلودگی محیط زیست شده و به محیط جاندار آسیب می‌رساند (Dukalska et al., 2008). سالانه ۱۳۰ میلیون تن پلاستیک سنتزی در جهان تولید می‌گردد که حدود ۳۰٪ آن در بسته بندی استفاده می‌شود (Gomez et al., 2014).

پلاستیک‌ها در زندگی روزمره نقش مهمی دارند و در سراسر نقاط جهان از منطقه‌های گرم تا نواحی سرد مورد استفاده هستند. زیرا ارزان هستند، خاصیت‌های مکانیکی مناسب و کاربری گسترده‌ای دارند (Abdul Rahman et al., 2006). با همه خوبی‌ها پلاستیک‌ها به مشکل در محیط زیست تبدیل شده اند زیرا زمان باقی ماندن پلاستیک‌ها در محیط بسیار طولانی است (Tharanathan, 2003). بسیاری از این مواد توسط فرآیندهای طبیعی تجزیه نمی‌شوند. عدم تجزیه زیست‌شناختی پلیمرها سبب ماندگاری این مواد در

روش‌های مختلفی برای حفظ کیفیت و سلامت میکروبی مواد غذایی وجود داشته است که بسته بندی مواد غذایی یکی از این روش‌ها می‌باشد. در قرن‌های ۱۲ و ۱۳ میلادی در چین، پرتقال و لیمو را با موم می‌پوشاندند که مانع از کاهش آب در آن‌ها شود (Hardenburg, 1967). اولین مواد بسته بندی بر پایه سلولز در سال ۱۸۵۶ گسترش یافتند و در سال ۱۹۰۷ رزین فنل فرمالدئید ساخته شد. این اختراعات آغاز راهی بود که به مواد بسته بندی گوناگون امروزی ختم می‌شد. هدف کلی بسته بندی مواد غذایی، حفظ کیفیت و سلامت غذا از زمان تولید تا زمان استفاده توسط مصرف کنندگان می‌باشد. و همچنین بسته بندی، مواد غذایی را از آسیب‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی حفظ می‌کند (Dallyn and Shorten, 1998). آلاینده‌های میکروبی می‌توانند سبب فاسد شدن و یا مسموم شدن مواد غذایی شوند. در مواد غذایی مرکب، کیفیت مواد غذایی و نیمه عمر، هنگامی که رطوبت، مواد معطر و یا چربی‌ها از یک ماده غذایی به ترکیب غذایی دیگر مهاجرت می‌کنند، کاهش می‌یابد. معروفترین ماده مورد استفاده در صنعت‌های بسته بندی، پلی اتیلن و یا دیگر مواد پایه پلیمری می‌باشد که بیش از ۵۰ سال است در

باکتری و قارچ در آن صورت نخواهد گرفت و در استحکام فیزیکی آن، تغییری صورت نمی‌گیرد. اما پلیمر قابل تجزیه زیستی اگر به مدت دو ماه در محیط پذیرنده و رطوبت ۵۰٪ قرار گیرد تجزیه شده و از استحکام مکانیکی آن کاسته می‌شود (Nwe et al., 2009).

نشاسته یک ماده آلی گرانول شکل سفید است و گیاهان سبز انرژی خود را به صورت نشاسته ذخیره می‌کنند. نشاسته قابل حل در آب و یا الکل می‌باشد و یکی از ارزان‌ترین پلیمرهای طبیعی می‌باشد و نوعی پلی ساکارید است که از مخلوطی ناهمگن از یک پلی ساکارید خطی به نام آمیلوز و یک پلی ساکارید شاخه‌ای به نام آمیلوپکتین تشکیل شده است. نشاسته در کلروپلاست به شکل گرانول در دانه‌های غلات، برنج، گندم و سیب زمینی ذخیره می‌شود. نشاسته خشک یک ماده ترمو پلاستیک نمی‌باشد و نمی‌تواند به عنوان پلاستیک مورد استفاده قرار گیرد. اما اگر در حضور آب، حرارت و پلاستی سایزر تحت فرایند ژلاتینه شدن قرار گرفته و ساختار کریستالی آن تغییر یابد به یک ماده ترمو پلاستیک تبدیل می‌شود (Raj and Sankar, 2004).

اشعه فرابنفش عامل اصلی در اکسیداسیون نوری می‌باشد که در بسیاری از مواد تجزیه مشخصی ایجاد می‌کند. تجزیه نوری ایجاد شده توسط اشعه فرابنفش، شکستگی در زنجیره پلیمری ایجاد کرده، سبب آزاد سازی رادیکال‌ها و کاهش وزن ملکولی آن‌ها می‌شود (Yusif and Haddad, 2013). پژوهش‌های اخیر در زمینه تخریب نوری پلیمرها نشان داده است که امواج لیزر نیز قادر به تخریب زنجیره پلیمری می‌باشند که در محدوده ۴۰۰ نانومتر بهترین نتیجه به دست آمده است. (Shibata et al., 2016)

مکانیسم‌های مختلفی در تجزیه پلیمرهای قابل تخریب نقش دارند تجزیه میکروبی یک روش می‌باشد که توسط میکروارگانیسم‌ها و قارچ‌ها رخ می‌دهد. بهترین روش برای مشخص کردن تخریب پذیری پلیمری

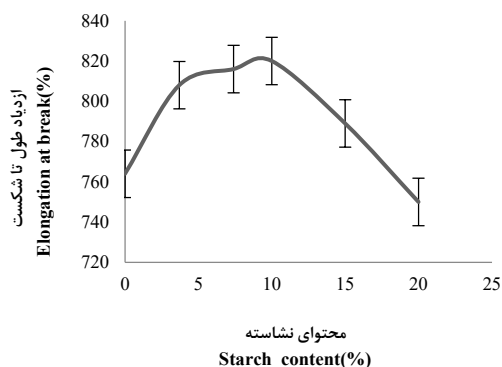
محیط می‌شود. پلاستیک‌ها حجم بیشتر مکان‌های دفن را به خود اختصاص داده اند. بقایای این مواد در جنگل، کنار دریا و ... قابل دیدن است. راههایی برای حل مشکل پلاستیک‌ها در محیط وجود دارد که یکی از آن‌ها بازیافت می‌باشد. اما بازیافت به تنهایی نمی‌تواند این مشکل را حل کند، با این گزینه نمی‌توان حجم کل پلاستیک‌های دفعی را کاهش داد. تخمین می‌زنند که حدود یک درصد پلاستیک‌های تولیدی در جهان بازیافت می‌شوند. زیرا برخی از پلاستیک‌ها از قبیل کامپوزیت‌ها با توجه به حجم گسترده مصرف قابلیت بازیافت ندارند. در برخی موارد نیز بازیافت اقتصادی نمی‌باشد (Nakamura et al., 2005). راه حل دیگر تخریب پذیر کردن پلاستیک‌ها در محیط می‌باشد که به روش‌های مختلف صورت می‌گیرد. یک از این روش‌ها ترکیب پلیمرهای سنتزی پایه نفتی با پلیمرهای طبیعی می‌باشد، به صورتی که هم خاصیت‌های پلیمرهای سنتزی را تا حدی داشته باشند و هم اینکه در محیط زیست قابل تخریب باشند. در این روش پلیمرهای سنتزی با پلیمرهای طبیعی از قبیل نشاسته، سلولوز و ژئین آمیزه می‌شوند، که این امر برای سرعت بخشیدن به تخریب مواد پلیمری می‌باشد (Liu et al., 2003). پلیمرهای طبیعی کاملاً در محیط تجزیه می‌شوند، ارزان قیمت هستند و مشکل محیط زیستی ندارند اما این مواد نسبت به پلیمرهای سنتزی استحکام بسیار کمتری دارند. اولین پژوهش‌ها روی پلیمرهای زیست تخریب پذیر در دهه ۷۰ میلادی انجام شده است. گریفین با آمیزه سازی پلی اتیلن با نشاسته پیشگام این گروه از پژوهش‌ها بوده است (Griffine, 1995). پلیمر زیست تخریب پذیر در مدت استفاده می‌بایست دارای خاصیت‌های فیزیکی و مکانیکی همسانی با پلیمرهای سنتزی پایه نفتی باشد. ماده زیست تخریب پذیر، ماده ای است که پس از استفاده و قرار گرفتن در محیط به عواملی همچون آب، دی اکسید کربن تبدیل شود (Ikada and Tsuji, 2000).

پلیمر غیر قابل تجزیه اگر در محیط پذیرنده و رطوبت ۵۰٪ به مدت دو ماه نگهداری شود هیچ‌گونه رشد

استریل ریخته شد و نمونه‌های پلیمر در این محلول غوطه‌ور شد. سپس به یک پتری دیش استریل دیگر منتقل و به مدت ۸۴ روز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد با رطوبت بیش از ۹۰٪ در انکوباتور نگهداری شد.

## نتایج و بحث

مقاومت کششی، افزونی طول تا پارگی و مدول یانگ تحت تاثیر میزان افزونی زیست تخریب پذیر قرار دارند. چنانچه در شکل ۱ نشان داده شده است، با زیاد شدن میزان نشاسته تا ۱۰٪ افزونی طول تا پارگی می‌یابد اما در میزان بالاتر از ۱۰٪ افزونی طول تا پارگی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر نشاسته در میزان کمتر از ۱۰٪ بر فزونی طول تا پارگی اثر مثبت دارد. این وضعیت در پژوهش‌های پیشین نیز مشاهده شده است (Saleh *et al.*, 2007). افزون پلی اتیلن مالئیک آنهیدرید سبب بهبود فزونی طول تا پارگی و مقاومت کششی می‌شود. پلی اتیلن مالئیک آنهیدرید سبب افزایش چسبندگی میان ماتریس پلیمر و نشاسته می‌شود (Griffine, 1995). ساختار نشاسته نیز می‌تواند سبب افزایش مقاومت کششی شود. می‌توان گفت پیوند میان پلی اتیلن مالئیک آنهیدرید و نشاسته اثری مثبت بر خاصیت‌های مکانیکی آمیزه دارد (Shelma *et al.*, 2008).



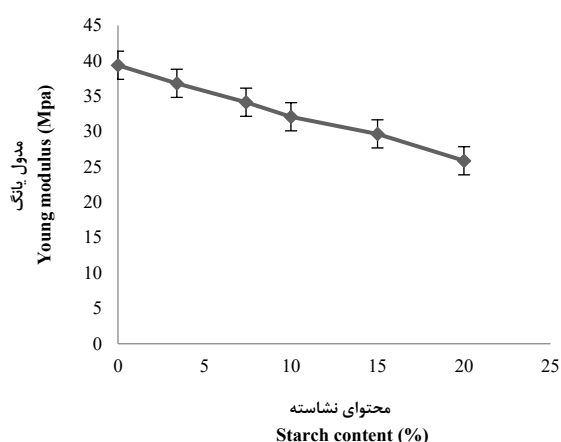
شکل ۱- فزونی طول تا شکست در آمیزه‌ها

Fig. 1- Elongation at break of the samples

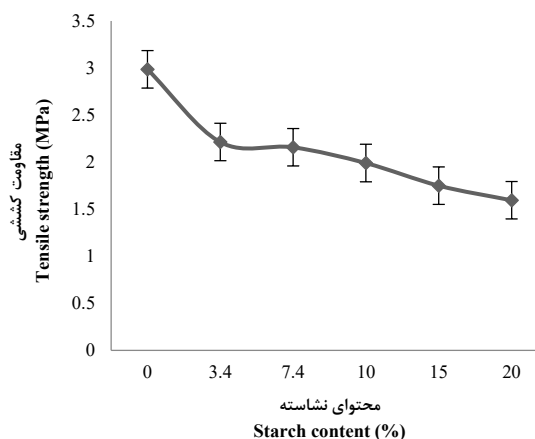
استفاده از محیط‌هایی است که پلاستیک‌ها پس از دور ریز به آنها وارد می‌شوند. در این پژوهش از نشاسته برای زیست تخریب پذیر کردن پلی اتیلن سبک خطی استفاده شده است و خاصیت‌های مکانیکی، تخریب پذیری نوری و زیستی و جذب آب نمونه‌ها بررسی شده است.

## مواد و روش‌ها

از پلی اتیلن سبک خطی با گرید ۰۲۰۹، محصول‌های پتروشیمی تبریز و نشاسته با وزن ملکولی پایین استفاده شده است. و پلی اتیلن مالئیکه از تولیدهای شرکت کرانکین می‌باشد. نشاسته در میزان‌های ۳/۷٪، ۷/۴٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ استفاده شده است. پلی اتیلن سبک خطی با نشاسته در دستگاه‌ها که رثومیکسر ۳۰۰۰ متعلق آمیزه شده است. آمیزه‌ها به صورت ورقه‌هایی به ضخامت ۰٫۴ میلی‌متر پرس شده‌اند. خاصیت‌های مکانیکی نمونه‌های پلیمری با استفاده از دستگاه سانتام انجام شده است. برای اندازه گیری میزان جذب آب، نمونه‌ها، توزین و در آب مقطر قرار داده شدند. نمونه‌ها ۲۴ ساعت یک-بار از آب خارج شده و وزن می‌شدند تا زمانی که هیچ-گونه افزایش وزنی در نمونه‌ها دیده نشد. برای بررسی تخریب زیستی در خاک، نمونه‌ها وزن شده و درون خاک قرار داده شدند و در فاصله‌های زمانی ۲، ۴، ۸ و ۱۱ ماه از خاک خارج شده و وزن آن‌ها، اندازه گیری شده است. نمونه‌ها در معرض نور مستقیم خورشید در هوای آزاد قرار داده شدند. زمان آزمایش در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور و محل انجام آزمایش، شهر تهران بود. آن‌ها روی یک شبکه تور مانند به صورت افقی قرار گرفته‌اند. برای بررسی میزان رشد قارچ روی نمونه‌های پلیمری، آن‌ها در ابعاد ۵×۵ سانتیمتر در محیط کشت جامد آگار در معرض اسپرژیلوس نیجر قرار داده شدند. محلول اسپورها در یک پتری دیش



شکل ۳- مدول یانگ آمیزه‌ها  
Fig. 3- Young modulus of the samples



شکل ۲- مقاومت کششی آمیزه‌ها  
Fig. 2- Tensile strength of samples

وزن شده و به مدت ۱۱ ماه در خاک قرار داده شدند. در مدت آزمون، رطوبت خاک ثابت نگهداشته شد. پس از گذشت ۱۱ ماه نمونه‌های دمبل شکل از خاک خارج شده و پس از شستشو و خشک شدن وزن شدند. همچنین مقاومت کششی و فزونی طول تا پارگی نمونه‌ها پس از خروج از خاک مورد بررسی قرار گرفت. میزان زیست تخریب پذیری نمونه‌ها در خاک از معادله زیر به دست آمده است:

(۱)

$$\text{زیست تخریب پذیری} = \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100 (\%)$$

شکل ۴ کاهش وزن نمونه‌ها پس از خروج از خاک را نشان می‌دهد. نمونه‌ها در خاک در معرض میکروارگانیسم‌های خاک قرار می‌گیرند. کاهش وزن نمونه‌ها نشانگر مصرف آن‌ها توسط میکروارگانیسم‌ها در خاک می‌باشد. آن‌ها به نشاسته موجود در نمونه‌ها حمله می‌کنند، آنزیم‌هایی که توسط میکروارگانیسم‌های موجود در خاک تولید می‌شوند سبب تجزیه نشاسته و در نتیجه شکاف در زنجیره پلیمری می‌گردد. تخریب نمونه‌ها در خاک تحت تاثیر عوامل زیادی مانند دما، رطوبت، ظرفیت نگهداشت آب در خاک، ترکیب شیمیایی خاک و اسیدیته می‌باشد (Bastioli, 2005). بیشترین میزان کاهش وزن

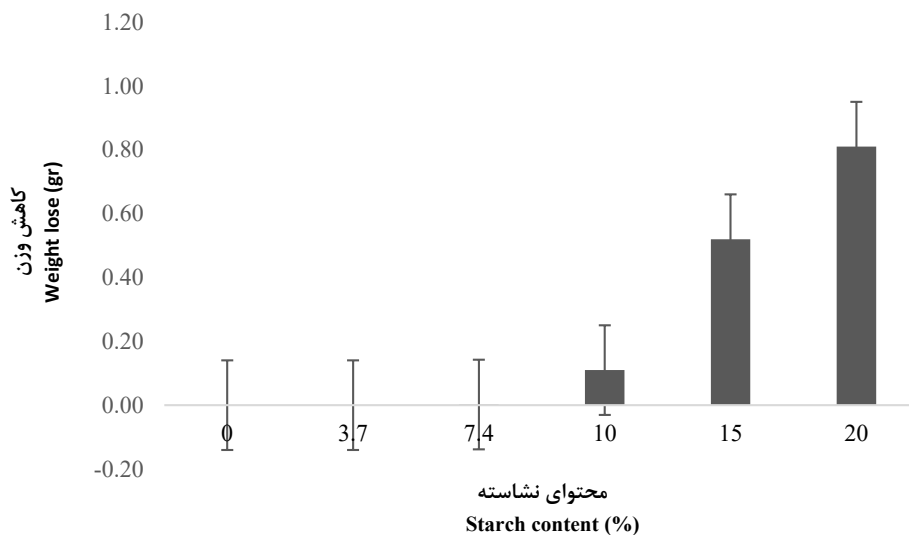
چنانکه در شکل ۲ مشهود می‌باشد با افزودن نشاسته مقاومت کششی کاهش می‌یابد. نشاسته در ماتریس پلیمری ناپیوستگی ایجاد می‌کند که موجب کاهش مقاومت کششی می‌شود. به عبارت دیگر کنش و واکنش ضعیف میان ماده زیست تخریب پذیر با ماتریس پلیمری سبب کاهش مقاومت کششی آمیزه با افزایش میزان نشاسته می‌شود. چسبندگی ضعیف بین ذره نشاسته و ماتریس پلیمری نقش مهمی در کاهش مقاومت کششی نمونه‌ها دارد و مقاومت کششی نشاسته خالص کم می‌باشد (Arvanitoyannis *et al.*, 1997).

شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش میزان نشاسته در آمیزه، مدول یانگ کاهش می‌یابد. بیشتر مواد تخریب پذیر بر مدول یانگ تاثیر می‌گذارند که این تاثیر با سختی و کشسانی ماده در ارتباط می‌باشد. اگر ماده زیست تخریب پذیر سخت باشد میزان مدول یانگ افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه نشاسته، ماده‌ای الاستیک می‌باشد و سختی کمی دارد با افزوده شدن به ماتریس پلیمری سبب کاهش مدول الاستیک می‌شود.

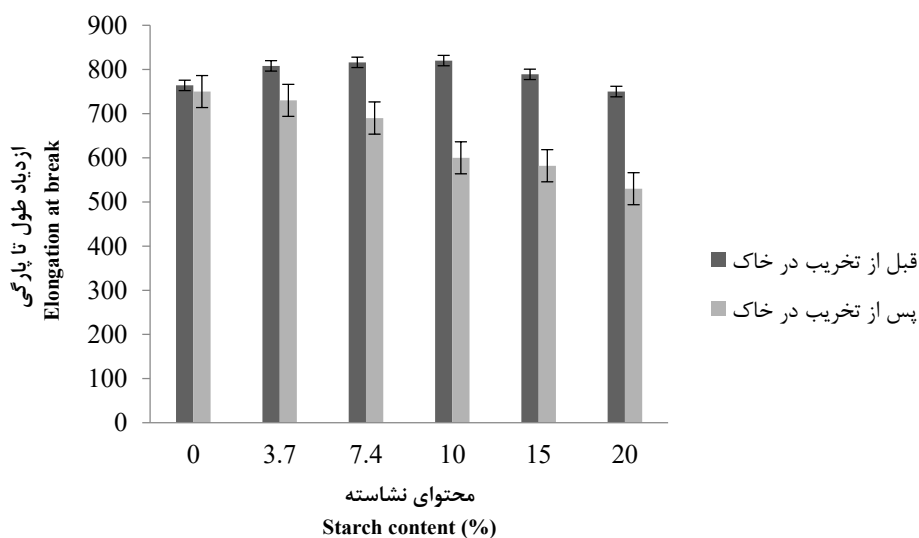
زیست تخریب پذیری آمیزه‌ها در خاک با استفاده از تغییرپذیری‌های وزن نمونه‌ها سنجیده شده است. کاهش وزن نمونه‌ها در خاک نشانگر تخریب زیستی نمونه‌ها در محیط طبیعی می‌باشد. نمونه‌های دمبل شکل

۳٪/۷ و ۷٪/۴ نشاسته تغییر وزن بسیار جزئی داشتند. شکل شماره ۵ فزونی طول تا پارگی نمونه‌ها را قبل و بعد از تخریب در خاک نشان می‌دهد.

مربوط به نمونه شامل ۲۰٪ نشاسته می‌باشد. نمونه خالص پلی اتیلن سبک خطی هیچ‌گونه تغییر وزنی از خود نشان نداد که قابل پیش بینی بود. تغییر وزن نمونه‌های شامل



شکل ۴- تخریب زیستی و کاهش وزن در خاک  
Fig. 4- Biodegradation and weight loss in the soil



شکل ۵- مقایسه فزونی طول تا پارگی قبل و بعد از تخریب در خاک  
Fig. 5- Comparison of elongation at break before and after soil burial

خالص می‌باشد و بیشترین میزان کاهش در نمونه شامل ۲۰٪ نشاسته مشاهده شده است. این وضعیت در مورد مقاومت کششی آمیزه‌ها نیز صدق می‌کند که در شکل

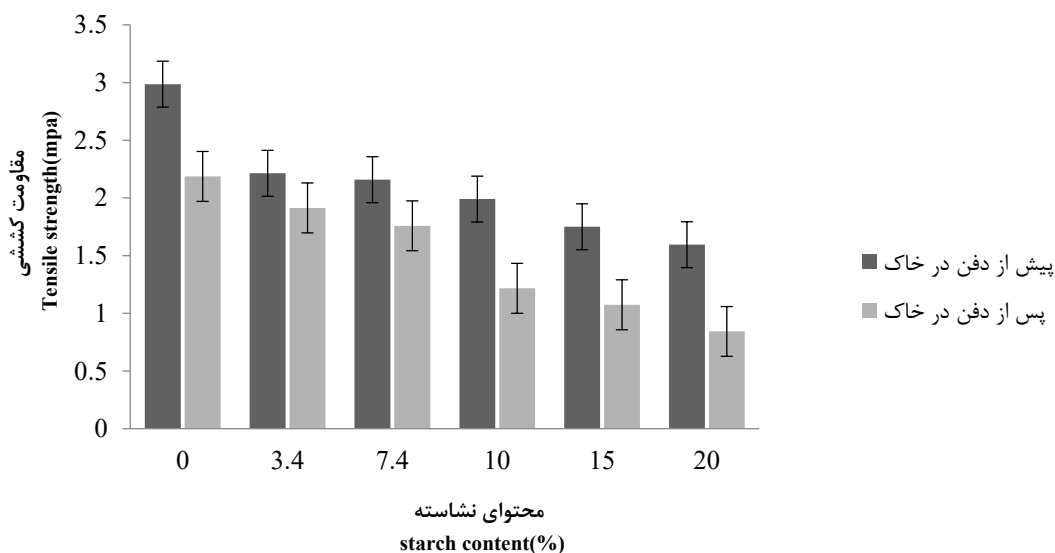
آنچنان که در شکل ۵ آمده است فزونی طول تا پارگی در نمونه‌ها پس از خروج از خاک کاهش یافته است. کمترین میزان کاهش فزونی طول تا پارگی مربوط به نمونه

می‌تواند به سبب حمله میکروارگانیسم‌ها به پلیمر و یا تاثیر مواد شیمیایی موجود در خاک که توسط موجودات زنده ترشح شده‌اند رخ دهد. همه این فعالیت‌ها سبب آزادسازی دی‌اکسیدکربن می‌شوند (Orhan *et al.*, 2003).

با افزایش زمان ماند نمونه‌ها در خاک، کاهش وزن بیشتر می‌شود این مورد به میزان نشاسته موجود در نمونه‌ها نیز بستگی دارد، پس نمونه‌های شامل میزان بالای نشاسته هر چه بیشتر در خاک باقی بمانند کاهش وزن بیشتری را نشان می‌دهند. هر چه میزان نشاسته در آمیزه‌ها کمتر باشد، آمیزه تحت تاثیر ماتریس پلی‌اتیلن سبک قرار گرفته و در دسترس میکروارگانیسم‌ها قرار نمی‌گیرد. ذرات نشاسته‌ای که در سطح نمونه قرار دارند زودتر در معرض تخریب زیستی قرار می‌گیرند با افزایش زمان ماند نمونه‌ها در خاک میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌های آن‌ها به قسمت‌های درونی ماتریس پلیمری نفوذ کرده و سبب تجزیه کل پلیمر می‌شوند.

شماره ۶ آمده است. می‌توان این‌گونه توجیه کرد که میکروارگانیسم‌ها نشاسته موجود در آمیزه‌ها را مصرف کرده‌اند، بنابراین حفره‌هایی در سطح ورقه‌های پلیمری ایجاد شده که سبب ناهمگون شدن ماتریس پلیمری می‌گردد و در نتیجه شکست در ماتریس را سرعت می‌بخشد. نتایج با یافته‌های دیگر پژوهشگران همخوانی دارد (Bikiaris, 1998).

ضعف پلیمر و کاهش خاصیت‌های مکانیکی به سبب به وجود آمدن حفره‌هایی است که در اثر خروج نشاسته ذرت ایجاد شده است (Rutkowska *et al.*, 2002). آبگریزی پلی‌اتیلن عامل جلوگیری از خوردگی توسط میکروارگانیسم‌ها می‌باشد، که با ورود نشاسته و مالئیک آنهیدرید به عنوان عوامل هیدروفیل جذب آب توسط نمونه‌ها، رخ می‌دهد و فضا مناسب رشد کلنی‌های میکروبی می‌شود و تجزیه نشاسته و استرها سبب از هم-پاشیده شدن فازها و کاهش خاصیت‌های مکانیکی می‌گردد. کاهش خاصیت‌های مکانیکی نمونه پلیمری



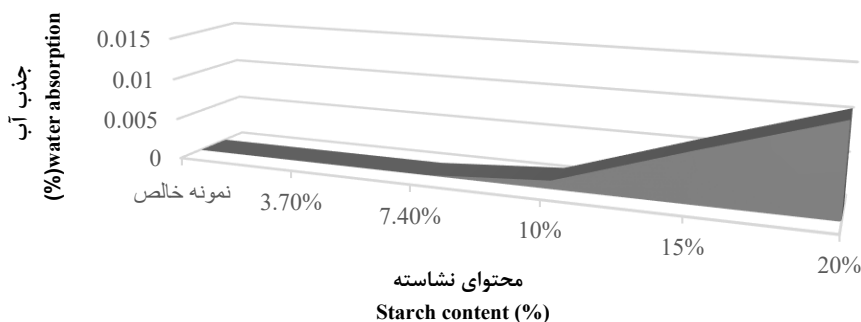
شکل ۶- مقایسه مقاومت کششی آمیزه‌ها قبل و بعد از تخریب در خاک  
Fig. 6- Comparison of tensile strength before and after soil burial

پلیمری خالص که فاقد نشاسته می‌باشد هیچ‌گونه تغییر وزنی نشان نداد که از قبل قابل پیش بینی بود. نشاسته بر خلاف پلی‌اتیلن سبک خطی ماده‌ای آبدوست می‌باشد و تمایل

چنانکه در شکل ۷ آمده است با افزایش میزان نشاسته، جذب آب در نمونه افزایش می‌یابد. بیشترین میزان جذب مربوط به نمونه شامل ۲۰٪ نشاسته می‌باشد. نمونه

با افزایش گروه‌های آنهیدرید که به سازگار کننده تعلق دارند، نرخ جذب آب افزایش می‌یابد. این رفتار را می‌توان به تولید گروه‌های کربوکسیلیک نسبت داد که حالت آبدوست دارند که نتیجه آن افزایش جذب آب در آمیزه‌ها می‌باشد. هر چه گروه‌های کربوکسیلیک بیشتری تولید شوند میزان بیشتری از جذب آب دیده می‌شود.

زیادی به جذب آب دارد، زیرا گروه‌های هیدروکسیل نشاسته با ملکول‌های آب پیوند هیدروژنی تشکیل می‌دهند (Devlieghere *et al.*, 2004). پلیمرهای زیستی آبدوست هستند و معمولاً با کربوهیدرات‌هایی که وزن ملکولی کمی دارند و آبدوست هستند ژلاتینه می‌شوند. جذب آب به وزن ملکولی و تعداد گروه‌های هیدروکسیل موجود بستگی دارد.



شکل ۷- جذب آب توسط آمیزه‌های پلی اتیلن سبک خطی / نشاسته  
Fig. 7- Water absorption of the samples

در این روش به صورت دیداری میزان رشد طبقه بندی می‌شود. نمونه شامل پلی اتیلن خالص هیچ‌گونه رشدی را حتی زیر میکروسکوپ نشان نمی‌دهد. نمونه شامل ۳/۷٪ نشاسته نیز رشدی را نشان نمی‌دهد. نمونه شامل ۷/۴٪ نشاسته رشدی را توسط چشم غیر مسلح نشان نمی‌دهد اما در زیر میکروسکوپ رشد مشخصی است. در نمونه‌های شامل ۱۰٪ و ۲۰٪ نشاسته رشد قارچ دیده می‌شود اما میزان رشد کمتر از ۲۵٪ سطح نمونه را پوشانده است. نمونه شامل ۲۰٪ نشاسته رشد را به خوبی نشان می‌دهد که بیش از ۲۵٪ سطح نمونه توسط قارچ پوشانده شده است. در تمام مدت آزمون نمونه شامل پلی اتیلن خالص هیچ‌گونه رشد قارچی را نشان نداد. در مورد نمونه‌های شامل میزان کم نشاسته تا انتهای ماه اول رشد مشخصی در نمونه‌ها دیده نشد که این عدم رشد قارچی را می‌توان به غلبه ماتریس پلیمری نسبت داد. رشد قارچ روی نمونه‌های پلیمری نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌ها از پلیمر بعنوان منبع اصلی کربن مورد مصرف قرار داده‌اند. نشاسته به عنوان منبع کربن برای میکروارگانیسم‌ها مورد

مطابق شکل ۷ جذب آب توسط آمیزه‌های شامل نشاسته تا اواخر هفته دوم ادامه می‌یابد، اما پس از این مدت آمیزه‌های شامل نشاسته اشباع شده و هیچ‌گونه جذب آبی تا پایان هفته پنجم دیده نمی‌شود. با افزایش میزان نشاسته در آمیزه‌ها شدت جذب آب افزایش یافته و منحنی ثابت شده است. بر طبق استاندارد میزان رشد میکروارگانیسم‌ها روی نمونه‌های پلیمری در جدول ۱ بیان شده است.

جدول ۱- رشد قارچ بر نمونه‌های پلی اتیلن سبک خطی / نشاسته

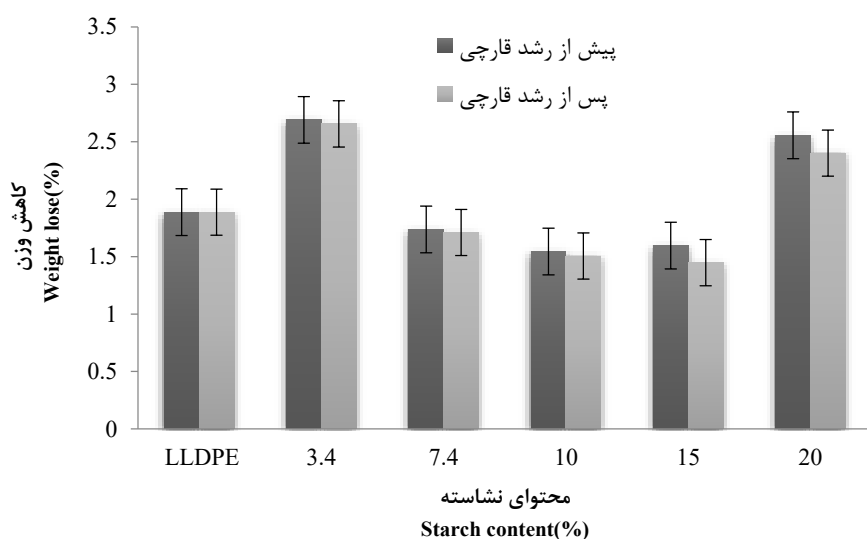
Table 1. Mold growth on samples

نمونه Sample	مقدار رشد Growth
نمونه خالص Pure sample	0
نمونه با ۳٫۷٪ نشاسته Sample with 3.7% starch	0
نمونه با ۷٫۴٪ نشاسته Sample with 7.4% starch	1
نمونه با ۱۰٪ نشاسته Sample with 10% starch	2
نمونه با ۱۵٪ نشاسته Sample with 15% starch	2
نمونه با ۲۰٪ نشاسته Sample with 20% starch	3



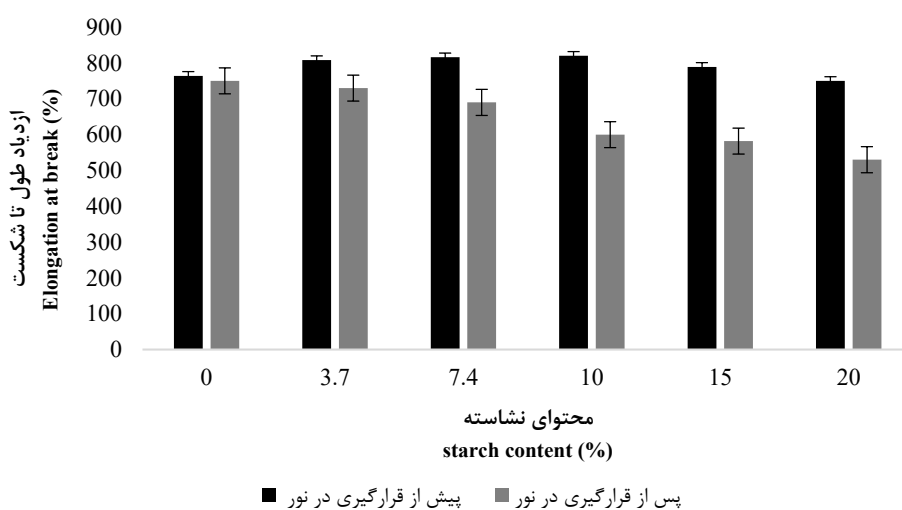
است. نمونه شامل ۱۰٪ نشاسته تغییر وزن قابل گزارشی را نشان نداده و بیشترین میزان کاهش وزن مربوط به نمونه های شامل ۲۰٪ نشاسته بوده است. اختلاف بین وزن اولیه و ثانویه نشانگر مصرف نشاسته توسط میکروارگانیسمها و در نتیجه تخریب زیستی نمونه های پلیمری می باشد. با افزایش درصد نشاسته تعداد کلنی قارچها افزایش پیدا می کند.

مصرف قرار گرفته است. برای تایید تخریب زیستی نمونه های پلیمری، از تغییر وزن این نمونه ها قبل و بعد از آزمون استفاده شده است. شکل ۸ تغییر وزن نمونه های پلیمری را قبل و بعد از کشت قارچ نشان می دهد. نمونه ها قبل از آزمون وزن شده اند، پس از ۸۴ روز گرمخانه گذاری شسته شده و پس از خشک شدن توزین شده اند. چنانچه در نمودار مشهود است نمونه شامل پلی اتیلن سبک خطی هیچ گونه تغییر وزنی را نشان نداده



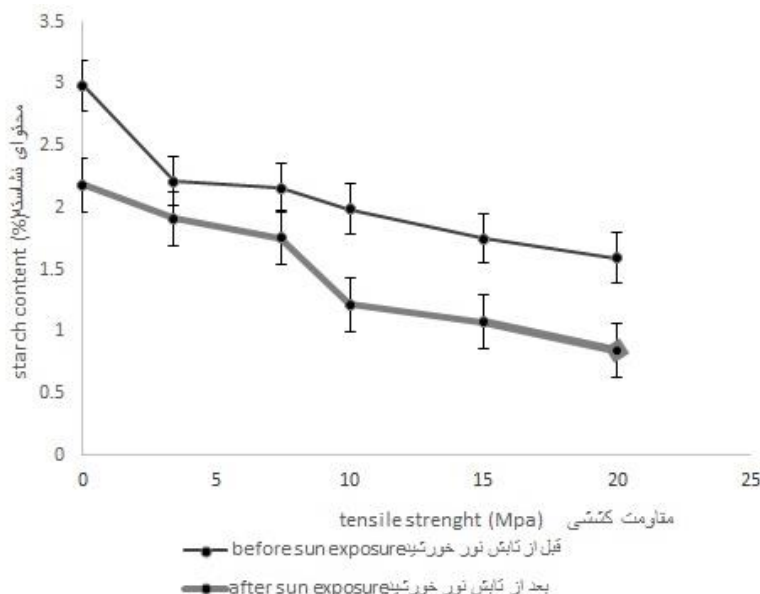
شکل ۸- تغییر وزن نمونه های پلی اتیلن سبک خطی / نشاسته بعد از ۸۴ روز گرمخانه گذاری

Fig. 8- Weight changes after 84 days of incubation



شکل ۹- فزونی طول تا شکست در نمونه ها قبل و بعد از در معرض نور قرار گرفتن

Fig. 9- Elongation at break of the samples before and after exposure to the sun



شکل ۱۰- مقاومت کششی نمونه‌ها قبل و بعد از در معرض نور قرار گرفتن  
 Fig.10- Tensile strength of the samples before and after exposure to the sun

نمونه‌ها در خاک قابلیت تخریب را دارا می‌باشند. تخریب نوری نمونه‌ها در محیط آزاد صورت گرفته است و تاثیر نور بر نمونه‌ها به صورت خشک شدن، زبر شدن و شکنندگی مشهود بود. انجام تست‌های مکانیکی روی نمونه‌ها نشان از کاهش خاصیت‌های مکانیکی که ناشی از شکست زنجیره‌های پلیمری است می‌باشد.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند بابت حمایت از این پژوهش قدردانی می‌نماییم. مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی می‌باشد.

### پی‌نوشت‌ها

1 IEC (68-2-10)

اندازه گیری خاصیت‌های مکانیکی قبل و بعد از در معرض نور قرار گرفتن، کاهش در خاصیت‌ها که نشانگر تاثیر نور بر نمونه‌ها می‌باشد را نشان می‌دهد. در تخریب نوری، گروه‌های کربونیل اشعه فرابنفش خورشید را جذب می‌کنند و یکسری رادیکال آزاد ایجاد می‌گردد که سبب شکست در زنجیره پلیمری می‌شود. نمونه‌ها در معرض نور شکننده و خشک می‌شوند.

### نتیجه گیری

در این پژوهش برای زیست تخریب نمودن پلی اتیلن سبک خطی از نشاسته با وزن ملکولی پایین استفاده شده است. نتایج نشان داده‌اند که با افزایش میزان نشاسته، تخریب زیستی آمیزه‌ها و همچنین جذب آب افزایش یافته است. تغییر میزان محتوای نشاسته بر فزونی طول تا شکست، مقاومت کششی و مدول یانگ تاثیر داشته است. دفن نمونه‌ها در خاک نشان داده است که

### منابع

Abdul Rahman, W., Rasit Ali, R. and Zakaria, N., 2006. Studies on Biodegradability, Morphology

and Mechanical Properties of Low Density Polyethylene/Sago Based Blends, In proceeding

- 1st Int Conferences Natural Resource Engineering & Technology ,Malaysia, 24-25th July.putrajaya, p.434.
- Raj, B. and Sankar, U., 2004. LLDPE/Starch Blend Films for Food Packaging Applications. *Advances in Polymer Technology*. 23, 32-45.
- Bastioli, C., 2005. *Handbook of Biodegradable Polymers*, Rapra Technology Limited, UK.
- Bikiaris, D. and Panayiotou, C., 1998. LDPE/Starch blends compatibilized with PE-g-MA Copolymers. *Journal of Applied Polymer Science*. 70, 1503–1521.
- Shibata, A., Yada, S. and Terakava, M., 2016. Biodegradability of poly (lactic-co-glycolic acid) after femtosecond laser irradiation. *A Natureresearh Journal, Scientific Reports*. 6(1), 27884.
- Dallyn, H. and Shorten, D., 1998. Hygiene aspects of packaging in the food industry. *International Biodeterioration*. 24(4-5), 387-392.
- Dukalska, L., Muizniece-Brasava, S., Kampuse, S., Deglina, D., Straumite, E., Galoburda, R. and Levkane, V., 2008. Studies of biodegradable psandra olymer material suitability for food packaging applications. In *proceeding 3rd Baltic Conference on Food Science and Technology FOODBALT-2008*. Jelgava, Latvia.p.64.
- Nakamura, E.M., Cordi, L., Almeida, G.S.G., Duran, N. and Mei, L.H.I., 2005. Study and development of LDPE/starch partially biodegradable compounds. *Journal of materials processing technology*. 162, 236-241.
- Salleh, E. and Mutramad, I., 2007. Mechanical properties and antimicrobial analysis of antibacterial starch based films, *International Conference on Advancement of Materials and Nanotechnology*, The City Bayview Hotel, Langkawi, Kedah, Malaysia, 29th May-1st June.
- Yusif, E. and Haddad, R., 2013. Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: review. *Springerplus*. 2(1), 398.
- Devlieghere, F., Vermeulen, A. and Debevere, J., 2004. Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food microbiology*. 21, 703-714.
- Griffine j. l. *chemistry and technology of biodegradable polymer*, chapman and hall. 1995, London.
- Hardenburg, R.E. 1967. Wax and related coatings for horticultural products. *A bibliography. Agricultural Research Service Bulletin* 51-15.
- Arvanitoyannis, I., Psomiadou, E., Biliaderis, C.G., Ogawa, H., Kawasaki, N. and Nakayama, A., 1997. Biodegradable films made from low density polyethylene, ethylene acrylic acid, polycaprolactone and wheat starch for food packaging applications. *Starch Journal*. 49, 306-322.
- Gomes, L.B., Klein, J.M., Brandalise, R.N., Zeni, M., Zoppas, B.C. and Coulon grisa, A.M., 2014. Study of oxo-biodegradable polyethylene degradation in simulated soil. *Materials Research*. 17, 121-126.
- Rutkowska, M. Heimowska, A. Krasowska, K. and Janik, H., 2002. Biodegradability of polyethylene starch blends in sea water. *Polish Journal of Environmental Studies*. 11, 267-274.
- Nwe, N., Furuike, T. and Tamura, H., 2009. The Mechanical and Biological Properties of Chitosan Scaffolds for Tissue Regeneration Templates Are Significantly Enhanced by Chitosan from

Gongronella butleri. *Materials*. 2(2), 374-398.

Shelma, R., Willy, P. and Sharma, C.P., 2008. Chitin nanofiber reinforced thin chitosan films for wound healing application. *Trends Biomater Artif Organs*. 22, 111-115.

Tharanathan, R.N., 2003. Biodegradable Films and Composite Coatings: Past, Present and Future. *Trends in Food Science & Technology*. 14, 71-78.

Bartniki-Garcia, S., 1968. Cell wall chemistry. *Annual review of microbiology*. 22, 87-108.

Liu, W., Wang, Y. and Sun, Z., 2003. Effects of Polyethylene-Grafted Maleic Anhydride (PE-g-MA) on Thermal Properties, Morphology, and

Tensile Properties of Low-Density Polyethylene (LDPE) and Corn Starch Blends. *Journal of Applied Polymer Science*. 88, 2904.

Ikada, Y. and Tsuji, H., 2000. Biodegradable polyesters for medical and ecological Applications. *Macromolecular Rapid Communications*. 21, 117-132.





Environmental Sciences Vol.16 / No.3 / Autumn 2018

203-216

## **Study of photodegradation, biodegradability, water absorption, and mechanical properties of biodegradable plastics for using in packaging industries**

**Shahrzad Khoramnejadian<sup>1\*</sup> and Shirin Khoramnejadian<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Department of Environment, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran

<sup>2</sup> Tarian zist Sepehr Damavand, Roshd Center, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran

Received: 2017.06.23

Accepted: 2018.07.08

**Khoramnejadian, Sh. and Khoramnejadian, Sh., 2018.** Study of photodegradation, biodegradability, water absorption, and mechanical properties of biodegradable plastics for using in packaging industries. *Environmental Sciences*. 16 (3), 201-214.

**Introduction:** Plastic wastes are becoming a major problem all around the world. Degradation of synthetic polymers takes a long time, and so they remain in the environment for many years. Plastic packagings are one of the main sources of solid wastes. Using biodegradable plastic may be a solution to this problem. Mixing synthetic polymers with biopolymers is one way to produce biodegradable plastics. Another way to degraded plastic materials is photodegradation. Photodegradable plastics could be used in packaging industries because a huge amount of packaging plastics are being thrown away in nature.

**Materials and methods:** In this research, photodegradable and biodegradable compounds of starch and linear low-density polyethylene were prepared. Samples with different levels of starch (i.e., 3.7, 7.4, 10, 15, and 20 %wt) with a constant amount of 5% PE-g-MA were prepared. PE-g-MA used as coupling agent. The mechanical properties of polymer sample were done by santam instrument. Water absorpton of starch base polymer were evaluated. Soil burial tests shown the biodegradability of samples in the nature. starch-based polymer was exposed to mold growth to simulate biotic degradation. Photodegradability of samples were measured by exposure them to sunlight for 3 months. In order to determine bacterial degradability, samples were exposed to aspergillus niger for 84 days.

**Results and discussion:** The tensile strength and Young's modulus were decreased by the increase in starch content of the samples. The results of water absorption of the samples showed that when the starch percentage was higher, the water absorption was significantly increased. After being buried in soil for 11 months, the weight of the blends was decreased by increasing the starch level, which is an indication of biodegradation. The weight loss after removal of starch was probably caused by soil microorganisms. If the amount of starch

---

\* Corresponding Author. *E-mail Address:* khoramnejad@damavandiau.ac.ir

is low, the compound would be affected by the low-density polymer matrix and unavailable to soil microorganisms. The more the samples remained in the soil, the more consumption of polymer chain by microorganism happened. Mold growth on polymeric samples confirmed the biodegradability of LLDPE/starch sheets. Mould biodegradation depends on microorganisms and their metabolism.

**Conclusion:** According to the results, the blends are biodegradable and photodegradable and so are applicable in packaging industries. Soil burial is a simple simulation of the landfill. These blends are suitable for packaging goods.

**Keywords:** Biodegradable polymer, Starch, Mechanical property, Water absorption, Packaging.