

# تهیه و بررسی ویژگی‌های آمیخته‌های پلی‌اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم؛ قسمت دوم: رفتار جذب آب

مریم ثابت‌زاده\*<sup>+</sup>، روح‌اله باقری، محمود معصومی

اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی شیمی، گروه مهندسی پلیمر، کد پستی ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱

مصطفی رنجبر

عسلویه، شرکت پلیمر آریاساسول، واحد کنترل کیفیت، صندوق پستی ۳۶۹-۷۵۳۹۱

**چکیده:** در این پژوهش، رفتار جذب آب آمیخته‌های زیست تخریب پذیر پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم بررسی شده است. نشاسته گرمانرم از اختلاط نشاسته خالص با ۳۵٪ وزنی گلیسرول با استفاده از مخلوط کن داخلی در دمای ۱۴۰°C، دور ۶۰ rpm و به مدت ۸ دقیقه به صورت مذاب به دست آمد. آمیخته‌های پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم دارای درصد‌های گوناگون نشاسته (۱۰ تا ۴۰٪ وزنی) با (۳٪ وزنی) و بدون PE-g-MA، با استفاده از اکسترودر تک ماریچه تهیه شدند. آزمون جذب آب در دمای محیط و با استفاده از روش استاندارد مربوطه انجام گرفت. نتیجه‌ها نشان داد که با افزایش مقدار نشاسته گرمانرم و نیز افزایش زمان غوطه ور کردن نمونه‌ها، جذب آب آنها افزایش می‌یابد تا اینکه به مقدار ثابتی می‌رسد. پس از گذشت ۲۱ روز از غوطه ور کردن نمونه‌ها، افزایش در جذب آب به میزان ۱۰/۵٪ برای نمونه دارای ۴۰٪ نشاسته و بدون سازگارکننده، و ۱۶/۳٪ برای نمونه سازگار شده دارای ۴۰٪ نشاسته به دست آمد. نتیجه‌ها همچنین نشان داد که ویژگی‌های کششی از قبیل استحکام کششی نهایی و مدول یانگ پس از غوطه ور کردن نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** پلی اتیلن سبک، نشاسته، آمیخته، جذب آب، ضریب نفوذ، زیست تخریب پذیر.

**KEY WORDS:** LDPE, Starch, Blend, Water absorption, Diffusion coefficient, Biodegradable.

## مقدمه

در سال‌های اخیر، توجه زیادی در استفاده از پلیمرهای زیست تخریب پذیر در ترکیب با پلی اتیلن با هدف اصلی جایگزین کردن پلاستیک‌های زیست تخریب ناپذیر به وجود آمده است [۱، ۲]. نشاسته، پلیمری ارزان و تجدیدپذیر است و از آنجا که می‌تواند به وسیله میکروارگانیزم‌ها مصرف شود، استفاده از آن در ترکیب با پلیمر سنتزی، زیست تخریب پذیری آن را افزایش می‌دهد [۳، ۴]. با این وجود باعث کاهش شدید استحکام کششی و ازدیاد طول

پلی اتیلن یکی از مهمترین پلیمرها در کاربرد و نیز حجم تولید می‌باشد. انواع گوناگون پلی اتیلن و از میان آنها پلی اتیلن سبک (LDPE) به طور گسترده در صنعت بسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. علت آن در دسترس بودن، فرایندپذیری آسان و ویژگی‌های مکانیکی خوب می‌باشد. با این وجود، مشکل اصلی استفاده از مواد پلی اتیلنی، از بین بردن مواد زائد جامد آنهاست، زیرا تجمع آنها باعث مشکلات زیست محیطی فراوانی می‌شود.

+E-mail: m.sabetzadeh@ce.iut.ac.ir

\*عهدہ دار مکاتبات

(۳) گلیسیرول از شرکت Hansa آلمان،  
(۴) PE-g-MA (دارای ۲٪ وزنی MA) به عنوان سازگار کننده  
که در آزمایشگاه تهیه شد.

#### دستگاه‌ها

در این پژوهش، از مخلوط کن داخلی هکه<sup>(۱)</sup> (مدل System ۹۰) برای تهیه نشاسته گرمانرم و اکسترودر تک ماریچه Brabender برای تهیه آمیخته‌ها استفاده شد. همچنین دستگاه کشش سنج (مدل ۶۰-۱۴۴۶ Zwick) برای اندازه گیری ویژگی‌های کششی نمونه‌های تهیه شده مورد استفاده قرار گرفت.

#### روش آزمایش

##### تهیه نشاسته گرمانرم

قبل از تهیه نشاسته گرمانرم، نشاسته ذرت خالص به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $80^{\circ}\text{C}$  در آون خلأ قرار داده شد تا رطوبت آن کاهش یابد. تهیه نشاسته گرمانرم شامل دو مرحله بود: (۱) پیش اختلاط نشاسته ذرت با ۳۵٪ وزنی گلیسیرول در دمای اتاق. (۲) اختلاط با استفاده از مخلوط کن داخلی با حجم  $300\text{cc}$  و تیغه بنوری در دمای  $140^{\circ}\text{C}$  و سرعت  $60\text{ rpm}$  به مدت ۸ دقیقه به صورت مذاب. در این مرحله مخلوط تهیه شده از محفظه دستگاه خارج شد و تا دمای اتاق سرد شد.

##### تهیه آمیخته‌های پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم

آمیخته‌های پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم دارای مقادیرهای گوناگون (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰٪ وزنی) نشاسته گرمانرم در یک اکسترودر تک ماریچه با قطر  $19\text{ mm}$  و نسبت  $L/D$  برابر  $40/1$  به صورت مذاب تهیه شدند. سرعت پیچ اکسترودر  $60\text{ rpm}$  و بازه‌ی دمایی در طول محفظه اکسترودر به صورت  $180$ ،  $190$ ،  $185$  و  $190^{\circ}\text{C}$  (از ناحیه تغذیه تا قالب) تنظیم شد. در نمونه‌های سازگار شده، PE-g-MA به مقدار ۳٪ وزنی بر اساس وزن کل آمیخته پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم مورد استفاده قرار گرفت. آمیخته‌های تهیه شده سپس در حمام آب سرد شده و به صورت دانه‌های ریز خرد شدند.

برای انجام آزمون‌های گوناگون، ورقه‌هایی با ضخامت  $2\text{ mm}$  با استفاده از پرس داغ تهیه شد. روش تهیه شامل دو مرحله بود: (۱) پیش گرمایش در دمای  $150^{\circ}\text{C}$  به مدت ۶ دقیقه بدون اعمال فشار تا جریان گرمایی یکنواختی در آمیخته‌ها به دست آید و

در نقطه شکست می‌شود. بهبود ویژگی‌های کششی می‌تواند از روش اصلاح سطح نشاسته به دست آید. در این حالت، استفاده از یک نرم کننده می‌تواند برای بهبود پراکنش نشاسته در پلی اتیلن و افزایش چسبندگی بین سطحی بین فازها مؤثر واقع شود. نشاسته تهیه شده در این حالت نشاسته گرمانرم (TPS) نامیده می‌شود که رفتاری شبیه به پلیمرهای سنتزی معمولی دارد [۵]. همچنین آمیخته<sup>(۱)</sup>های پلی اتیلن - نشاسته گرمانرم، زیست تخریب پذیری بالاتری نسبت به نمونه‌های تهیه شده با نشاسته خالص دارند. این اختلاف بر اساس توزیع همگن‌تر نشاسته گرمانرم است که اجازه می‌دهد مقدار بیشتری نشاسته در دسترس میکروارگانیسم‌ها قرار گیرد [۶]. با این وجود، استفاده از نرم‌کننده فقط به طور جزئی پراکندگی نشاسته در پلی اتیلن و ویژگی‌های بین سطحی، به دلیل برهمکنش محدود آنها را بهبود داده است. همچنین، آمیخته‌های پلی اتیلن - نشاسته به دلیل اختلاف در قطیعت، امتزاج ناپذیر هستند. از این رو، مؤثرترین روش برای بهبود ویژگی‌های مکانیکی این آمیخته‌ها، بهبود پراکنش و واکنش بین سطحی بین نشاسته و پلی اتیلن استفاده از سازگارکننده است که قابلیت تشکیل پیوند هیدروژنی با گروه‌های هیدروکسیل نشاسته داشته باشند [۷].

در این پژوهش، آمیخته‌های پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم دارای گلیسیرول و نیز درصد‌های گوناگون نشاسته گرمانرم با و بدون سازگارکننده (پلی اتیلن پیوند خورده با مالتیک انیدرید، PE-g-MA) با استفاده از اکسترودر تک ماریچه تهیه شد. از آنجا که این آمیخته‌های زیست تخریب‌پذیر می‌توانند برای بسته بندی مورد استفاده قرار گیرند، مهم است که اثر جذب آب بر ویژگی‌های مکانیکی و نیز نرخ جذب آب آنها در نظر گرفته شود. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی رفتار جذب آمیخته‌های تهیه شده می‌باشد. ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌ها پس از جذب آب نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

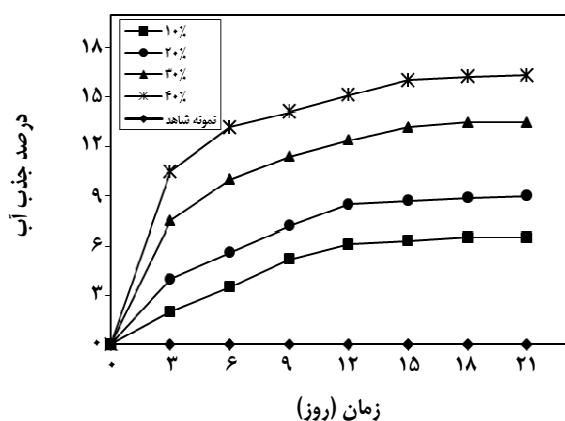
#### بخش تجربی

##### مواد

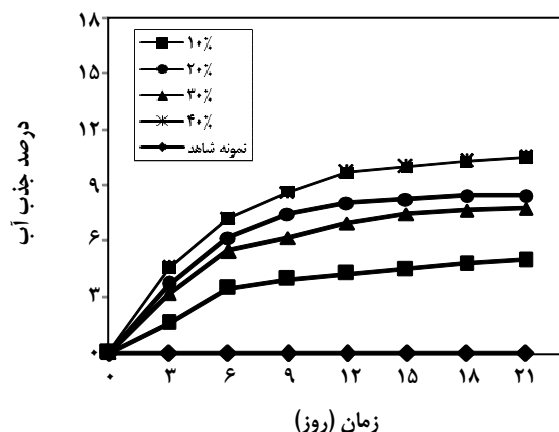
در این پژوهش مواد زیر مورد استفاده قرار گرفتند:  
(۱) LDPE با شاخص جریان مذاب  $4/7\text{ g}/10\text{ min}$  ( $190^{\circ}\text{C}$ ) و  $2/16\text{ kg}$  بار و چگالی  $0.923\text{ g}/\text{cm}^3$  تولید شده در شرکت پتروشیمی آریاساسول عسلویه،  
(۲) نشاسته ذرت فراورده‌ی شرکت گلوکوزان قزوین،

(۱) Blend

(۲) Haake



شکل ۲- جذب آب آمیخته‌های سازگار شده پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم با افزایش مقدار نشاسته و با گذشت زمان.



شکل ۱- جذب آب آمیخته‌های های بدون سازگار کننده پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم با افزایش مقدار نشاسته و با گذشت زمان.

قالبگیری شده بریده شد و با سرعت کشش ۲۰ mm/min در دمای اتاق مورد کشش قرار گرفتند. برای هر فرمولاسیون، ۵ نمونه تحت کشش قرار گرفت و مقدارهای متوسط آنها گزارش شد.

(۲) اعمال فشار ۱۰۰ bar به مدت ۳ دقیقه در همان دما. سرانجام، همه ورقه‌ها با نرخ ۲۵ °C/min تا دمای محیط سرد شدند.

## نتیجه‌ها و بحث

### رفتار جذب آب

پلی اتیلن سبک، پلیمری غیر قطبی است که تمایلی به جذب آب ندارد. اما نشاسته گرمانرم در آمیخته‌های پلی اتیلن سبک - نشاسته رفتار جذب آب آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. جذب آب همچنین متأثر از زمان غوطه ور کردن نمونه‌ها در آب است. رفتار جذب آب با گذشت زمان و نیز افزایش مقدار نشاسته برای آمیخته‌های سازگار نشده و آمیخته‌های دارای سازگارکننده به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، جذب آب آمیخته‌ها به شدت متأثر از مقدار نشاسته است، به طوری که نمونه‌های با مقدارهای بیشتری از نشاسته، جذب آب بالاتری نشان می‌دهند. همچنین با افزایش زمان غوطه‌ور کردن نمونه‌ها جذب آب آنها افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که جذب آب سریع در همه نمونه‌ها و به ویژه آمیخته‌های با مقدارهای نشاسته زیاد، در طول ۱۰ - ۵ روز اولیه آزمون دیده شده است. با این وجود، در ادامه روند افزایش تدریجی بوده و پس از ۲۱ روز اشباع شدن نمونه‌ها رخ داده و جذب آب آمیخته‌ها به مقدار ثابتی می‌رسد. این نتیجه‌ها نشان می‌دهد که پس از ۲۱ روز مقدار جذب آب در مورد نمونه‌های بدون سازگار کننده به میزان ۸/۵، ۷/۸،

### اندازه گیری جذب آب نمونه‌ها

برای اندازه گیری جذب آب آمیخته‌های تهیه شده، نوارهایی به اندازه‌های ۷۶/۲×۲۵/۴ mm<sup>۲</sup> و ضخامت ۲mm، از ورقه‌های قالبگیری شده بریده شدند و میزان جذب آب آنها مطابق با استاندارد ASTM D ۵۷۰-۰۴ انجام گرفت. قبل از انجام آزمون، نمونه‌ها در دمای ۸۰ °C به مدت ۲۴ در آون خلأ خشک شدند تا وزن ثابتی به دست آید. سپس نمونه‌ها از آون بیرون آورده شده و وزن شدند. اندازه گیری جذب آب با غوطه‌ور کردن نمونه‌ها در آب انجام گرفت. جذب آب نمونه‌ها با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد.

$$\text{درصد جذب آب} = [(W_p - W_1) / W_1] \times 100 \quad (1)$$

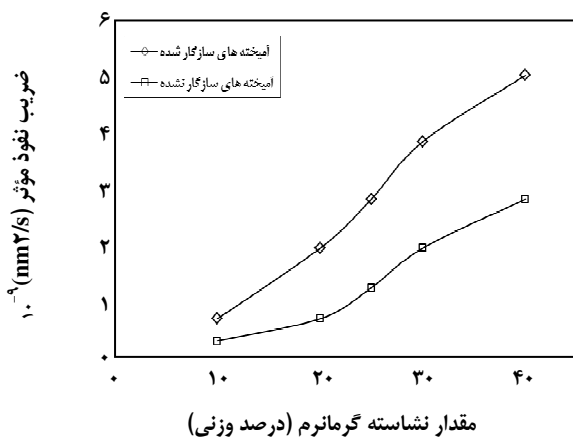
که در آن  $W_1$  و  $W_2$  به ترتیب وزن نمونه خشک و وزن نمونه پس از غوطه‌ور کردن در آب است. درصد جذب آب پس از اشباع شدن نمونه‌ها گزارش شد.

### اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌ها

ویژگی‌های کششی مانند استحکام کششی نهایی و افزایش طول در نقطه شکست آمیخته‌ها پس از آزمون جذب آب، مطابق با استاندارد ASTM D ۶۳۸-۰۳ و با استفاده از دستگاه کشش سنج مجهز به سل بار ۱۰ kN و سامانه اکتساب داده‌ها اندازه‌گیری شدند. نمونه‌های دمبلی شکل با ضخامت ۲mm از ورقه‌های

(۱) Amylopectin

(۲) Mani



شکل ۳- ضریب نفوذ مؤثر آمیخته‌های پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم به صورت تابعی از مقدار نشاسته.

استخراج مواد قابل حل، و (۵) اندازه نمونه می‌تواند در طول فرایند جذب تغییر کند. در نتیجه، قانون دوم فیک می‌تواند بدون در نظر گرفتن شرایط قبل و با این فرض به کار گرفته شود که فقط افزایش وزن نمونه وجود دارد و هیچ ماده‌ای در طول زمان آزمون استخراج نمی‌شود. همچنین بیشترین افزایش وزن نمونه به جای مقدار تعادلی تعریف شود. بر این اساس، ضریب نفوذ مؤثر ( $D_{eff}$ ) تعریف می‌شود [۱۰، ۱۱].

جذب آب با استفاده از قانون دوم فیک مدل‌سازی شده است:

$$\frac{dc}{dt} = D_{eff} \frac{d^2c}{dx^2} \quad (2)$$

که  $c$  غلظت آب،  $t$  زمان غوطه ور کردن و  $x$  جهت جریان<sup>(۲)</sup> است. از نظر تجربی، ضریب نفوذ مؤثر می‌تواند از شیب منحنی  $\frac{W_t - W_0}{W_{max}}$  بر حسب  $t^{1/2}$  (جذر زمان غوطه ور کردن) به صورت زیر به دست آید:

$$\frac{W_t - W_0}{W_{max}} = \frac{4}{h} \left( \frac{D_{eff}}{\pi} \right)^{1/2} t^{1/2} \quad (3)$$

که  $h$  ضخامت نمونه و  $W_{max}$  بیشترین مقدار جذب آب می‌باشد [۱۲]. بر این اساس، ضریب نفوذ مؤثر ( $D_{eff}$ ) محاسبه شده برای آمیخته‌های سازگار شده و سازگار نشده پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم به صورت تابعی از مقدار نشاسته در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، ضریب نفوذ مؤثر با افزایش

و ۱۰/۵٪ به ترتیب برای نمونه‌های دارای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰٪ نشاسته و برای نمونه‌های سازگار شده به ترتیب به میزان ۹، ۶/۵، ۱۳/۵ و ۱۶/۳٪ رسیده و با افزایش بیشتر زمان غوطه ور کردن، این مقادارها ثابت مانده است.

این مسئله می‌تواند به این دلیل باشد که با غوطه ور کردن نمونه‌ها، آب به درون آنها نفوذ کرده و با گروه‌های هیدروکسیل نشاسته پیوند هیدروژنی برقرار می‌کند. بنابراین باعث می‌شود دانه‌های نشاسته متورم شده و فضای خالی بین مولکول‌های آنها و مولکول‌های پلی اتیلن کاهش یابد. با گذشت زمان و نیز افزایش مقدار نشاسته، این فضای خالی کوچکتر می‌شود. بنابراین، آب به سختی نفوذ کرده و نرخ جذب آب نمونه‌ها ثابت می‌ماند [۸].

افزایش جذب آب به دلیل حضور ذره‌های نشاسته، آمیخته‌های پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم را مستعد زیست تخریب‌پذیری می‌کند. مقدار زیاد آمیلوپکتین<sup>(۱)</sup> در نشاسته ذرت (۷۰٪) نیز جذب آب نمونه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مانی<sup>(۲)</sup> و همکاران گزارش کردند که آمیخته‌های برپایه نشاسته و دارای مقادارهای بالای آمیلوپکتین، به دلیل ژلاتینه شدن و تخریب نمونه‌های نشاسته در مقایسه با نمونه‌های با مقادارهای آمیلوپکتین کمتر، آب بیشتری جذب کرده‌اند [۹].

از مقایسه شکل‌های ۱ و ۲ می‌توان نتیجه گرفت که افزایش میزان جذب آب در نمونه‌های سازگار شده می‌تواند به تولید گروه‌های آب‌دوست کربوکسیلیک مربوط باشد که از واکنش گروه‌های انیدرید سازگارکننده و گروه‌های هیدروکسیل نشاسته تشکیل شده است. این گروه‌ها می‌توانند با مولکول‌های آب پیوند هیدروژنی تشکیل دهند و نرخ جذب آب آمیخته‌ها را افزایش دهند [۸].

جذب آب نمونه‌ها می‌تواند به نرخ نفوذ آب به درون آنها نیز مربوط باشد. برای استفاده از قانون فیک در محاسبه ضریب نفوذ شرایط گوناگونی باید در نظر گرفته شود: ماده همگن باشد، هیچ واکنش شیمیایی بین ماده و آب وجود نداشته باشد، نفوذ فقط مکانیسمی برای جذب بوده و تغییر ساختار ماده ناچیز باشد. آمیخته‌های پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم این شرایط را ندارند زیرا (۱) ماده غیرهمگن است، (۲) برهمکنش شیمیایی بین جزء آب‌دوست نمونه و آب وجود دارد، (۳) آب می‌تواند از طریق سطح مشترک فازها نفوذ کند و در نتیجه موئینگی<sup>(۳)</sup> می‌تواند مکانیسم دیگر باشد، (۴) برخی مواد قابل حل می‌توانند از نمونه‌ها استخراج شده و وزن هر نمونه در نتیجه دو اثر باشد، جذب آب و

(۱) Capillarity

(۲) Flux direction

جدول ۱- استحکام کششی و ازدیاد طول تا نقطه شکست آمیخته‌های پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم پس از جذب آب به مدت ۲۱ روز.

| آمیخته‌های سازگار نشده      |                    | آمیخته‌های سازگار شده       |                    | مقدار نشاسته گرمانرم (درصد وزنی) |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------------------|
| ازدیاد طول تا نقطه شکست (%) | استحکام کششی (MPa) | ازدیاد طول تا نقطه شکست (%) | استحکام کششی (MPa) |                                  |
| ۱۸۰                         | ۱۲٫۰               | ۱۸۰                         | ۱۲٫۰               | ۰                                |
| ۸۱                          | ۸٫۹                | ۱۱۰                         | ۱۰٫۰               | ۱۰                               |
| ۶۲                          | ۷٫۷                | ۱۰۵                         | ۸٫۷                | ۲۰                               |
| ۴۰                          | ۵٫۳                | ۸۰                          | ۷٫۱                | ۳۰                               |
| ۲۴                          | ۴٫۲                | ۶۹                          | ۶٫۳                | ۴۰                               |

در این پژوهش زیست تخریب پذیر بوده و با ورود به طبیعت مورد حمله میکروارگانیسم‌ها قرار گرفته و تخریب می‌شوند.

مقدار نشاسته افزایش یافته است. بنابراین، افزایش مقدار نشاسته در نمونه‌ها جذب آب نمونه‌ها را افزایش می‌دهد.

### نتیجه گیری

در این پژوهش رفتار جذب آب آمیخته‌های پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم مورد مطالعه قرار گرفت. آمیخته‌های پلی اتیلن - نشاسته دارای درصدهای گوناگون نشاسته گرمانرم با و بدون PE-g-MA به عنوان سازگارکننده با استفاده از اکسترودر تک مارپیچه تهیه شد. نتیجه‌ها نشان داد که با افزایش مقدار نشاسته گرمانرم و نیز افزایش زمان غوطه ور کردن نمونه‌ها، جذب آب و نیز ضربه نفوذ آنها افزایش می‌یابد. جذب آب آمیخته‌ها متأثر از وجود نشاسته بوده و با افزایش مقدار آن تشدید می‌شود. همچنین آمیخته‌های سازگار شده به دلیل تشکیل گروه‌های آب‌دوست کربوکسیلیک ناشی از واکنش شیمیایی بین گروه‌های انیدرید موجود در PE-g-MA و گروه‌های هیدروکسیل نشاسته، جذب آب بیشتری نسبت به آمیخته‌های بدون سازگارکننده نشان می‌دهند. رفتار جذب آب آمیخته‌ها ویژگی‌های کششی آنها را نیز تحت تأثیر قرار داده و باعث افت استحکام کششی و ازدیاد طول تا نقطه شکست شد که این مسئله زیست تخریب پذیری آمیخته‌های پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم تهیه شده در این پژوهش را تأیید می‌کند.

### ویژگی‌های کششی

پس از آنکه آمیخته‌ها تحت آزمون جذب آب قرار گرفتند، از هر ترکیب سه نمونه دمبلی شکل با سرعت ۵۰ mm/min تحت آزمایش کشش قرار گرفت و مقدار استحکام کششی نهایی و ازدیاد طول تا نقطه شکست آنها اندازه گیری شد. مقدارهای به‌دست آمده برای آمیخته‌های سازگار شده و نیز آمیخته‌های بدون سازگارکننده در جدول ۱ آورده شده است.

با توجه به این جدول با قرار گیری نمونه‌ها در آب استحکام کششی نهایی و ازدیاد طول تا نقطه شکست آنها نسبت به حالت قبل از قرارگیری در آب (در اینجا نشان داده نشده) کاهش می‌یابد. کاهش دیده شده در ویژگی‌های کششی به دلیل تخریب نمونه‌ها در اثر قرار گیری در آب می‌باشد و همان‌گونه که از جدول دیده می‌شود با افزایش مقدار نشاسته گرمانرم در نمونه‌ها، تخریب و کاهش ویژگی‌های آمیخته‌ها بیشتر می‌شود. حفره‌ها و ترک‌های احتمالی ایجاد شده در اثر قرار گیری در آب می‌توانند به عنوان نقاط تمرکز تنش عمل کرده و باعث افت ویژگی‌های کششی آمیخته‌ها شوند. این مسئله می‌تواند با افزایش مقدار نشاسته تشدید شود [۱۳، ۸].

جذب آب معیاری برای زیست تخریب پذیری می‌باشد. همچنین کاهش ویژگی‌های کششی پس از جذب آب برای زیست تخریب پذیری مطلوب بوده و این رفتارها تأیید می‌کنند که آمیخته‌های پلی اتیلن سبک - نشاسته گرمانرم تهیه شده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۳۰

## مراجع

- [1] Ammala A., Bateman S., Dean K., Petinakis S., Sangwan P., Wong S., Yuan Q., Yu L., An Overview of Degradable and Biodegradable Polyolefins, *Prog. Polym. Sci.*, **36** (8), p.1015 (2011).
- [۲] هنرکار، ه.، باریکانی، م.، مرشدیان، ج.، تهیه و مطالعه پلی اتیلنی تخریب پذیر برپایه نشاسته، *مجله علوم و تکنولوژی پلیمر*، **۱۸**(۲)، ص. ۱۰۷ (۱۳۸۴).
- [3] Vieyra Ruiz H., Martínez E.S.M., Méndez M.Á.A., Biodegradability of Polyethylene-Starch Blends Prepared by Extrusion and Molded by Injection: Evaluated by Response Surface Methodology, *Starch - Stärke*, **63**, p. 42 (2011).
- [4] Shi B., Shlepr M., Palfery D., Effect of Blend Composition and Structure on Biodegradation of Starch/Ecoflex-Filled Polyethylene Films, *J. Appl. Polym. Sci.*, **120**, p.1808 (2011).
- [5] Sabetzadeh M., Bagheri R., Masoomi M., Effect of Corn Starch Content in Thermoplastic Starch/Low-Density Polyethylene Blends on Their Mechanical and Flow Properties, *J. Appl. Polym. Sci.*, **126**, p.E63 (2012).
- [6] Tena-Salcido C., Rodríguez-González F., Méndez-Hernández M., Contreras-Esquivel J., Effect of Morphology on the Biodegradation of Thermoplastic Starch in LDPE/TPS Blends, *Polym. Bull*, **60**, p.677 (2008).
- [7] Kahar A.W.M., Ismail H., Othman N., Effects of Polyethylene-Grafted Maleic Anhydride as a Compatibilizer on the Morphology and Tensile Properties of (Thermoplastic Tapioca Starch)/(High-Density Polyethylene)/(Natural Rubber) Blends, *J. Vinyl. Add. Technol*, **18**, p.65 (2012).
- [8] Majid R.A., Ismail H., Taib R.M., Effects of PE-g-MA on Tensile Properties, Morphology and Water Absorption of LDPE/Thermoplastic Sago Starch Blends, *Polym. Plast Technol. Eng*, **48**, p.919 (2009).
- [9] Mani R. , Bhattacharya M., Properties of Injection Moulded Starch/Synthetic Polymer Blends-- III. Effect of Amylopectin to Amylose Ratio in Starch, *Eur. Polym. J.*, **34**, p.1467 (1998).
- [10] Cyras V.P., Manfredi L.B., Ton-That M.-T., Vázquez A., Physical, Mechanical Properties of Thermoplastic Starch/Montmorillonite Nanocomposite Films, *Carbohydr. Polym.*, **73**, p.55 (2008).
- [11] Pérez C.J., Alvarez V.A., Mondragón I., Vázquez A., Water Uptake Behavior of Layered Silicate/Starch-Polycaprolactone Blend Nanocomposites, *Polym. Int*, **57**, p.247 (2008).
- [12] Dufresne A., Dupeyre D., Vignon M.R., Cellulose Microfibrils from Potato Tuber Cells: Processing and Characterization of Starch-Cellulose Microfibril Composites, *J. Appl. Polym. Sci*, **76**, p. 2080 (2000).
- [13] Danjaji I.D., Nawang R., Ishiaku U.S., Ismail H., Mohd Ishak Z.A.M., Degradation Studies and Moisture Uptake of Sago-Starch-Filled Linear Low-Density Polyethylene Composites, *Polym. Test.*, **21**, p.75 (2002).