# اثراختلاط پلی‌پروپیلن دست نخورده و تخریب شده بر خواص مواد مرکب آرد چوب - پلی‌پروپیلن

**سعید کاظمی‌نجفی*[1]، مرتضی مصطفی‌زاده‌مرزناکی[2] و مجید چهارمحالی[2،3]**

[1] دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

[2] دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

[3] دانشجوی دکتری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ٨٧/١٠/٢٩، تاریخ تصویب: ٨٨/١٢/١٦)

## چکیده

در این پژوهش تاثیر تخریب ترمومکانیکی (به عنوان شاخصی از بازیافت) پلی‌پروپیلن بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مواد مرکب چوب-پلاستیک بدست آمده از مخلوط پلی‌پروپیلن دست نخورده و تخریب شده مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور پلی‌پروپیلن دست نخورده دو بار با شرایط کنترل شده تحت تنش‌های گرمایی و مکانیکی در دستگاه روزنران (اکسترودر) دو مار پیچ قرار گرفت. مواد هر مرحله با نسبت مساوی با پلی‌پروپیلن دست نخورده مخلوط شده و به همراه خاک اره چوب راش با مش ۴۰-/۶۰+ در حضور سازگارکننده و نبود آن برای تولید مواد مرکب آرد چوب - پلی‌پروپیلن با کاربرد یک دستگاه روزنران دو مارپیچ ناهمسوگرد مورد بهره‌گیری قرار گرفتند. نسبت وزنی خاک اره به پلی‌پروپیلن ٤٠ به ٦٠ در نظر گرفته شد. کاربرد پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده بجای نیمی از پلی‌پروپیلن دست نخورده در تولید مواد مرکب آرد چوب - پلی‌پروپیلن سبب افزایش جذب آب، واکشیدگی ضخامت، مدول کشسانی (الاستیسیته) خمشی و سختی و کاهش مقاومت به ضربه شده است. کاربرد سازگار کننده سبب بهبود کلیه ویژگی‌های مورد بررسی شده است.

**واژه‌های کلیدی:** تخریب ترمومکانیکی، پلی‌پروپیلن ،مواد مرکب چوب- پلاستیک، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، اکستروژن

* نویسنده مسئول: تلفن: ٠١٢٢-٦٢٥٣١٠١ فاکس: ٠١٢٢-٦٢٥٣٤٩٩ E-mail: skazemi@modares.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

## مقدمه

در تولید مواد مرکب چوب-پلاسیتک[1] در آغاز از پلاستیک‌های دست نخورده[2] بهره‌گیری می شده است اما با توجه به کاربردهای روزافزون و گشترده مواد پلاستیکی زمینه‌های مختلف و افزایش پیوسته پسماندهای پلاستیکی و اثرگذاری‌های نامطلوب آنها در محیط زیست و طبیعت از یک سو و افزایش قیمت مواد پتروشیمی از سوی دیگر، از اوایل دهه ۱۹۹۰ کاربرد پلاستیک‌های پسماندی در ساخت مواد مرکب چوب-پلاستیک مورد توجه قرار گرفت (Yam et al., 2006). به طور کلی پلاستیک‌های پسماندی که نقطه ذوب کم تر از ۲۰۰ درجه سلسیوس (دمای تخریب پرکننده لیگنوسلولزی) داشته باشند در ساخت مواد مرکب چوب- پلاستیک قابل بهره‌گیری هستند (Mali et al., 2003). با توجه به افزایش قابل توجه قیمت نفت در سال های اخیر و در نتیجه افزایش قیمت فرآورده‌های پتروشیمی، از چندی پیش کاربرد پلاستیک‌های پسماندی برای تولید مواد مرکب چوب-پلاستیک به شدت مورد توجه قرار گرفته است.

نکته قابل تامل در کاربرد پلاستیک‌های تخریب شده این است که اگرچه در بعضی موارد ویژگی‌های پلاستیک‌های تخریب شده همانند پلیمرهای دست نخورده است (Khattab & El-Zoghby, 1998) ولی در اصل ویژگی‌های پلاستیک‌های تخریب شده تفاوت زیادی با پلیمرهای دست نخورده دارد. پلاستیک‌ها در هنگام فراوری، تبدیل و کاربرد در معرض انواع تخریب‌های گرمایی، شیمیایی، مکانیکی و زیستی قرار می‌گیرند که ممکن است به تنهایی ویا به صورت ترکیبی (گرمایی-مکانیکی، گرمایی_اکسیداسیونی) انجام شود. تخریب سبب تغییر ساختار و برخی ازویژگی‌های مهم و موثر پلاستیک‌ها مانند شاخص جریان مذاب، وزن ملکولی، کریستالیته، نقطه ذوب، قطبیت و پیوند های عرضی می شود (Baquero et al., 200؛ Gnozilez et al., 1998؛ Gugumus, 1998). در ضمن ممکن است پلاستیک‌ها چندین بار بازیافت شده باشند که با توجه به بارهای بازیافت تغییرات بیشتری در ویژگی‌های آنها ایجاد خواهد شد (Da Costa et al., 2005؛ Gnozilez et al.1998).

با توجه به این تغییر ویژگی‌ها، اگر پلاستیک‌های پسماندی یا بازیافت شده به عنوان یک ماده جدید در تولید مواد مرکب چوب پلاستیک درنظر گرفته شوند، بنابراین در آغاز شناخت ساختمان بنیادی و اساسی این مواد ضروری است. با دانستن ویژگی‌های پلاستیک‌های پسماندی فرایند تولید موادمرکب چوب-پلاستیک بخوبی قابل کنترل بوده و درک بهتری از رابطه بین ویژگی‌های این مواد و فرآورده‌ها به دست خواهد آمد.

اگر چه کاربرد پلاستیک‌های پسماندی در تولید مواد مرکب چوب – پلاستیک با شماری از محققان مورد توجه قرار گرفته است (Adhikary et al., 2008؛ Jayerman & Bhattacharyya, 2004؛ Kazemi-Najafi et al. 2006؛ Kamdem et al. 2004؛ Kazemi-Najafi et al. 2009؛ La Manita & Morreale, 2006؛ Yam et al., 1990؛ Youngquist et al., 1994)، اما در باره جزییات چگونگی اثرگذاری اثر پلاستیک‌های پسماندی و نوع تخریب آنها بر ویژگی‌های مواد مرکب چوب-پلاستیک اطلاعاتی وجود ندارد. از سوی دیگر مانند دیگر صنایع مربوط به پلاستیک، کاربرد مخلوط پلاستیک‌های دست نخورده و پسماندی، از دوجنبه مورد توجه می‌باشد:

۱-افزودن پلاستیک‌های تخریب شده به پلاستیک‌های دست نخورده برای کاهش هزینه‌ها با توجه به ارزانتر بودن پلاستیک‌های پسماندی

۲- افزودن پلاستیک‌های دست نخورده به پلاستیک‌های پسماندی برای بهبود ویژگی‌های مواد مرکب بدست آمده از پلاستیک‌های پسماندی

نظر به اینکه در ایران نیز پسماندهای پلاستیک حجم زیادی از زباله‌های شهری، روستایی و صنعتی کشور را تشکیل می دهد (بنا به گزارش سازمان باز یافت و تبدیل مواد شهرداری تهران، حدود ۲ /۱۱٪ (وزنی) از ۸۲ هزار تن

---

۱- Wood plastic composites

۲- virgin

Archive of SID

www.SID.ir

پسماندهای جامد خشک شهر تهران در سال ۲۰۰۶ را پسماندهای پلاستیک تشکیل می‌دهد که حجم قابل توجهی می‌باشد (Kazemi-Najafi et al., 2009) در این پژوهش بررسی چگونگی فراوری پلاستیک‌ها بر ویژگی‌های مواد مرکب چوب-پلاستیک ساخته شده از مخلوط پلاستیک‌های دست نخورده و تخریب شده مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور پلی‌پروپیلن دست نخورده(به عنوان یکی از پلاستیک‌های پر مصرف) طی دو مرحله تحت معرض تنش های گرمایی - مکانیکی در دستگاه دستگاه روزنران (به دلیل بهره‌گیری گسترده از روش اکستروژن در ساخت مصنوعات پلاستیکی دارای پلی‌پروپیلن) قرار گرفته است(به عنوان شاخصی از بارهای مختلف بازیافت) و نقش بارهای بازیافت و تخریب ترمومکانیکی ایجاد شده بر ویژگی‌های پلی‌پروپیلن بازیافت شده و مواد مرکب چوب پلاستیک تولیدی از مخلوط این مواد و پلی‌پروپیلن دست نخورده مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### مواد

#### پلی‌پروپیلن (PP)

پلی‌پروپیلن دست نخورده (VPP) از شرکت پتروشیمی بندر امام با درجه (گرید) PI0800 تهیه شد.

#### خاک اره

خاک اره چوب راش از کارگاه نجاری شرکت صنایع چوب پلی‌فرم تهیه شده است. خاک اره تهیه شده الک شده و آرد چوب با مش ۴۰-/۶۰+ بدست امد که به عنوان آرد چوب مصرفی مورد بهره‌گیری قرار گرفت.

#### سازگارکننده

پلی‌پروپیلن پیوند شده با انیدرید مالئیک (MAPP) ساخت شرکت کیمیا جاوید با شاخص جریان مذاب ۱۰۰ gr/۱۰min و با ۱/۱ درصد انیدرید پیوندخورده به عنوان سازگار کننده بهره‌گیری شده است.

#### روان‌ساز

از اسید استئاریک به عنوان روان‌کننده به میزان معین (حدود ۳ ٪) در همه تیمارها بهره‌گیری شد.

## روش‌ها

### تخریب ترمومکانیکی پلی‌پروپیلن

دو مرحله تخریب ترمو مکانیکی روی پلی‌پروپیلن دست نخورده به عنوان شاخصی از بارهای بازیافت در دستگاه روزنران انجام شد. پلی‌پروپیلن دست نخورده در دستگاه روزنران دو مارپیچ ناهمسوگرد مدل WPC-۴۸۱۵ ساخت شرکت برنا پارس مهر تحت شرایط فرآیندی خاص(دمای ۱۹۰ $^{o}C$و سرعت مارپیچ ۱۰۰ rpm) ریخته شد و پس از خروج از دستگاه روزنران با دستگاه آسیاب به دانه تبدیل شد (پلی‌پروپیلن یک بار تخریب شده(R1PP)). دانه‌های تولید شده از مرحله نخست با دیگر در دستگاه روزنران و با همان شرایط فرآیندی ریخته شدند و پس از خروج از دستگاه بار دیگر به دانه تبدیل شد (پلی‌پروپیلن دو بار تخریب شده (R2PP)). شاخص جریان مذاب و ویژگی‌های مکانیکی پلی‌پروپیلن‌های دست نخورده و تخریب شده در جدول ۳ ارایه شده است.

### تهیه و ساخت نمونه‌های آزمونی

آرد چوب در آون با دمای° C ۳±۱۰۰ و به مدت ۲۴ ساعت خشک و برای جلوگیری از جذب رطوبت درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد. آرد چوب خشک شده، پلی‌پروپیلن(دست نخورده و تخریب شده) وMAPP به میزان مورد نیاز وبا نسبت درصد وزنی مورد نظر (برابر جدول ۱) توزین شده و به منظور تهیه مخلوط به نسبت همگن، توسط یک مخلوط‌کن آزمایشگاهی با سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۵ دقیقه با هم مخلوط شدند.

مواد مخلوط شده مورد نیاز برای هر ترکیب (برابر جدول ۱) با دستگاه روزنران به باریکه‌های به ضخامت۱ سانتی متر و پهنای ۷ سانتی متر تبدیل شدند. سرعت و دمای دستگاه روزنران در مناطق مختلف برای تولید باریکه‌ها برابر جدول

Archive of SID

www.SID.ir

۲ تنظیم شد. لازم به یادآوری است دمای ارایه شده در جدول دمای تنظیم شده است و دمای واقعی دستگاه حدود ±۵ سلسیوس نوسان داشته است. مواد مرکب ساخته شده پس از کلیماتیزه شدن در آزمایشگاه به مدت دو هفته، به منظور تهیه نمونه‌های آزمونی با توجه به آزمایش‌های پیش‌بینی شده (فیزیکی و مکانیکی) برش داده شدند. به منظور تحلیل بهتر نتایج مربوط به جذب آب، نمونه‌هایی از پلیمرهای دست نخورده، یک و دو بارتخریب شده نیز ساخته شدند.

**جدول ۱- درصد وزنی اجزاء تشکیل دهنده ترکیب های مختلف مواد مرکب آرد چوب-پلی‌پروپیلن**

| کد | خاک اره | PP دست نخورده | PP یک بار تخریب شده | PP دو بار تخریب شده | MAPP |
|---|---|---|---|---|---|
| VPP | ٪۶۰ | ٪۴۰ | - | - | - |
| VPPM | ٪۶۰ | ٪۴۰ | - | - | ٪۲ |
| VR1PP | ٪۶۰ | ٪۲۰ | ٪۲۰ | - | - |
| VR1PPM | ٪۶۰ | ٪۱۹ | ٪۱۹ | - | ٪۲ |
| VR2PP | ٪۶۰ | - | ٪۲۰ | ٪۲۰ | - |
| VR2PPM | ٪۶۰ | - | ٪۱۹ | ٪۱۹ | ٪۲ |

**جدول ۲- شرایط مورد بهره‌گیری برای ساخت مواد مرکب آرد چوب-پلی‌پروپیلن**

| دما (°C) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سرعت rpm | دمای غالب منطقه۲ | دمای غالب منطقه ۱ | منطقه ۶ | منطقه ۵ | منطقه ۴ | منطقه ۳ | منطقه ۲ | منطقه ۱ | فرآیند اکستروژن |
| ۲۹ | ۱۰۵ | ۱۳۷ | ۱۵۹ | ۱۵۴ | ۱۵۷ | ۱۷۲ | ۱۶۷ | ۱۶۷ | |

**جدول ۳- ویژگی‌های پلی‌پروپیلن‌های دست نخورده و تخریب شده (۱۵)**

| ویژگی‌ها | پلی‌پروپیلن | | |
|---|---|---|---|
| | دست نخورده | یک بار تخریب شده | دو بار تخریب شده |
| MFI (g/10 min) | ۳/۱ | ۳/۸ | ۱۱/۰ |
| مدول کشسانی خمشی (MPa) | ۱۲۲۹ | ۱۵۱۸ | ۱۷۶۳ |
| مقاومت خمشی (MPa) | ۳۳ | ۴۱ | ۴۷ |
| مقاومت به ضربه ($kJ/m^2$) | نبود شکست | ۱۷/۷ | ۵/۹ |
| سختی (Shore D) | ۶۱/۷ | ۶۴/۹ | ۶۸/۴ |

**اندازه‌گیری جذب آب و واکشیدگی کوتاه مدت**

جذب آب و واکشیدگی ضخامت کوتاه مدت (۲ و ۲۴ ساعت) برابر آیین نامه ASTM استاندارد D 570- 98 انجام شد. وزن و ابعاد نمونه‌ها به ترتیب با دقت ۰/۰۰۱ گرم و ۰/۰۰۱ mm اندازه‌گیری شدند. نمونه‌ها در درون آب مقطر غوطه‌ور شدند و پس از زمان ۲ و ۲۴ ساعت، وزن و ضخامت نمونه‌ها بار دیگر اندازه‌گیری و با مقادیر

Archive of SID

www.SID.ir

اندازه‌گیری شده میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت در ۲ و ۲۴ ساعت به ترتیب با روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند:

$$TS_{۲,۲۴} = \frac{T_{۲,۲۴} - T_O}{T_O} \times ۱۰۰$$ رابطه (۱)

$WA_{2,24}$ میزان جذب آب در زمان غوطه‌وری ۲ و ۲۴ ساعت (٪) ، $W_{o.}$ وزن خشک نمونه پیش از غوطه‌وری(gr)، $W_{2,24}$ وزن نمونه‌ها در زمان غوطه‌وری ۲ و ۲۴ ساعت (gr)

$$TS_{۲,۲۴} = \frac{T_{۲,۲۴} - T_O}{T_O} \times ۱۰۰$$ رابطه (۲)

$TS_{2,24}$ میزان واکشیدگی ضخامت در زمان غوطه‌وری ۲ و ۲۴ ساعت (٪) ، $T_{o.}$ ضخامت نمونه خشک پیش از غوطه‌وری(mm)، $T_{2,24}$ ضخامت نمونه در زمان غوطه‌وری ۲ و ۲۴ ساعت (mm)

### اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی

آزمون خمش سه نقطه‌ای با طول دهانه ۲۰ cm و سرعت راس بارگذاری ۵ mm/min برابر با آیین نامه D 790-90 استاندارد ASTM به وسیله ماشین آزمون مکانیکی DARTEC با ظرفیت سلول ۵۰ KN و برای اندازه‌گیری مدول کشسانی و مقاومت خمشی انجام شد. آزمون ضربه برابر آیین‌نامه D256 استاندارد ASTM و با بهره‌گیری از ماشین آزمون INSTRON W5 انجام شد و مقاومت به ضربه (بدون شکاف[۱]) نمونه‌ها بر حسب $J/m^2$ اندازه‌گیری شد. سختی (نوع shore D ) نمونه‌ها با بهره‌گیری از آیین‌نامه D 2240-02 استاندارد ASTM و به وسیله دستگاه سختی‌سنج نوع shore D ساخت شرکت Zwick، اندازه‌گیری شد.

### تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه تحلیل نتایج مربوط به ویژگی‌های مکانیکی در غالب طرح آماری کاملا تصادفی انجام شده است. از تجزیه واریانس یک سویه برای بررسی اختلاف معنی‌دار بین میانگین داده‌ها در تیمارهای مختلف بهره‌گیری شد و در صورت وجود معنی‌داری از ازمون دانکن برای گروه بندی میانگین ها بهره‌گیری شد.

## نتایج

### جذب آب و واکشیدگی ضخامت

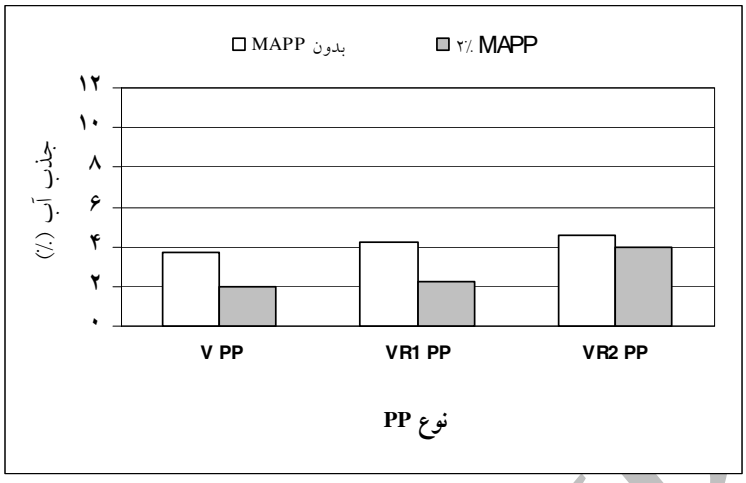
شکل‌های ۱ و ۲ جذب آب مواد مرکب مورد بررسی را به ترتیب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری نشان می دهند. همان طور که ملاحظه می شود با افزودن پلی‌پروپیلن تخریب شده به پلی‌پروپیلن دست نخورده و افزایش شدت تخریب(بارهای بازیافت) جذب آب مواد مرکب افزایش می یابد.

شکل‌های ۳ و ۴ واکشیدگی ضخامت مواد مرکب آرد چوب-پلی‌پروپیلن را به ترتیب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری نشان می‌دهند. مانند جذب آب با افزودن پلی‌پروپیلن تخریب شده به پلی‌پروپیلن دست نخورده و افزایش شدت تخریب واکشیدگی ضخامت نیز افزایش می یابد. شکل‌های ۱ تا ۴ همچنین نشان می‌دهند با بهره‌گیری از ۲ درصد MAPP جذب آب و واکشیدگی ضخامت به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد اما مطلب قابل توجه این است که با بهره‌گیری از سازگارکننده، جذب آب و واکشیدگی ضخامت مواد مرکب دارای دوبار پلی‌پروپیلن تخریب شده به میزان کم تری کاهش می یابد. به نظر می رسد MAPP مورد مصرف به عنوان سازگارکننده عملکرد ضعیف‌تری برای پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده نسبت به پلی‌پروپیلن دست نخورده در کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت دارد.

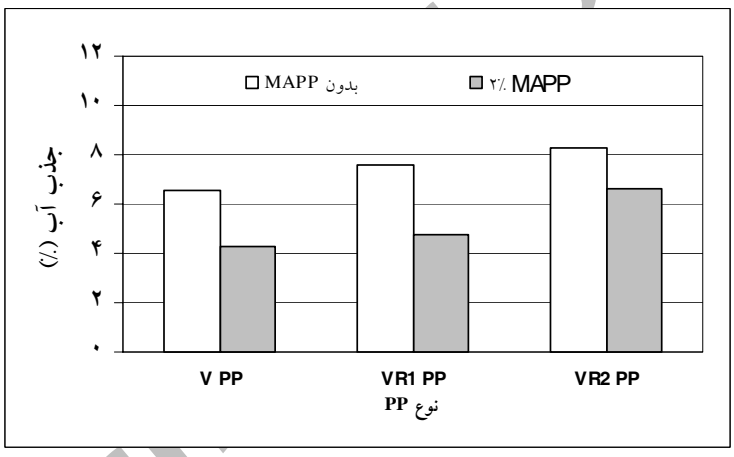
۱- Un-notched

Archive of SID

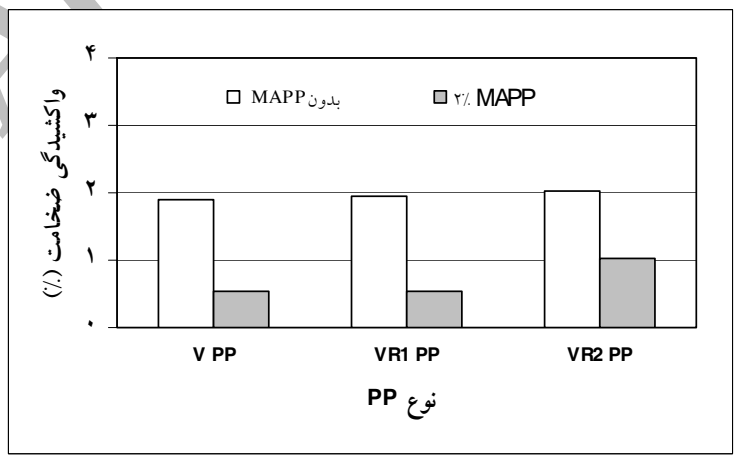
www.SID.ir




**شکل ۱- اثر افزودن پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده بر جذب آب مواد مرکب آرد چوب-پلی‌پروپیلن در مدت ۲ ساعت غوطه‌وری در آب**

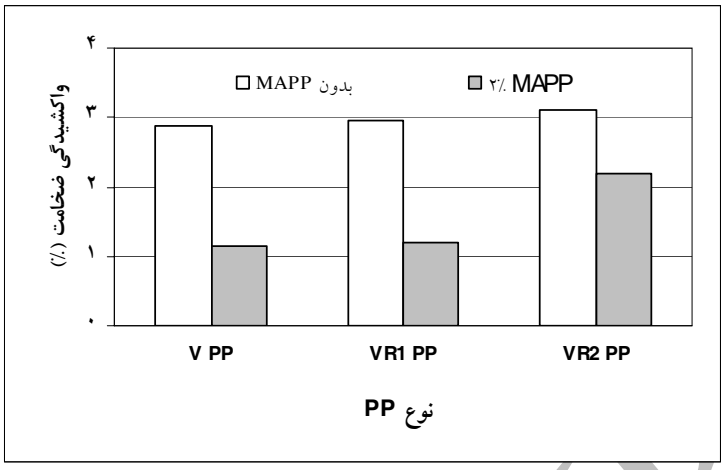



**شکل ۲- اثر افزودن پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده بر جذب آب مواد مرکب آرد چوب-پلی‌پروپیلن در مدت ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب**




**شکل ۳- اثر افزودن پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده بر واکشیدگی ضخامت مواد مرکب آرد چوب-پلی‌پروپیلن در مدت ۲ ساعت غوطه‌وری در آب**

www.SID.ir




**شکل ۴- اثر افزودن پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده بر واکشیدگی ضخامت مواد مرکب آرد چوب-پلی‌پروپیلن در مدت ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب**

با توجه به ثابت بودن میزان آرد چوب افزایش جذب آب و واکشیدگی ضخامت مواد مرکب دارای پلی‌پروپیلن تخریب شده را می توان به تاثیر تخریب ترمومکانیکی پلی‌پروپیلن نسبت داد. به طور کلی جذب آب و واکشیدگی ضخامت پلی‌پروپیلن (دست نخورده وتخریب شده) حتی در ۲۴ ساعت بسیار کم و ناچیز است (کمتر از ۰/۵ درصد) (جدول ۴). در عین حال با افزایش بارهای تخریب میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت پلی‌پروپیلن افزایش می‌یابد. بیشترین و کمترین میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت نمونه‌های پلی‌پروپیلن پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب به ترتیب به نمونه‌های ساخته شده از پلی‌پروپیلن دو بار تخریب شده و پلی‌پروپیلن دست نخورده مربوط می‌باشد. کاهش جزئی بلوری شدن پلی‌پروپیلن در طی فرایند اکستروژن (Kazemi-Najafi et al., 2009) و افزایش احتمالی حفره‌های ناشی از فرایند اکستروژن در پلیمر های تخریب شده می تواند دلیل احتمالی افزایس جذب آب باشد. بنابراین افزایش جذب آب و واکشیدگی ضخامت مواد مرکب دارای پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده را می توان تا حدودی به افزایش جذب آب در پلی‌پروپیلن تخریب شده در اثر تخریب ترمومکانیکی نسبت داد.

مقایسه شکل‌های ۱ تا ۴ و جدول ۴ نشان می دهد که جذب آب مواد مرکب مورد بررسی به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از پلی‌پروپیلن دست نخورده وتخریب شده است که این امر ناشی از ویژگی آبدوستی آرد چوب موجود در مواد مرکب است.

**جدول ۴- جذب آب و واکشیدگی ضخامت پلی‌پروپیلن‌های دست نخورده و تخریب شده**

| ویژگی‌ها | | پلی‌پروپیلن | | |
|---|---|---|---|---|
| | | بکر | یک بار تخریب شده | دو بار تخریب شده |
| جذب آب (٪) | ۲ ساعت | ۰/۱۶ | ۰/۱۹ | ۰/۲۵ |
| | ۲۴ ساعت | ۰/۳۵ | ۰/۳۷ | ۰/۴۴ |
| واکشیدگی ضخامت (٪) | ۲ ساعت | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ۰/۱۳ |
| | ۲۴ ساعت | ۰/۱۲ | ۰/۲۲ | ۰/۲۷ |

Archive of SID

www.SID.ir

**مدول کشسانی و مقاومت خمشی**

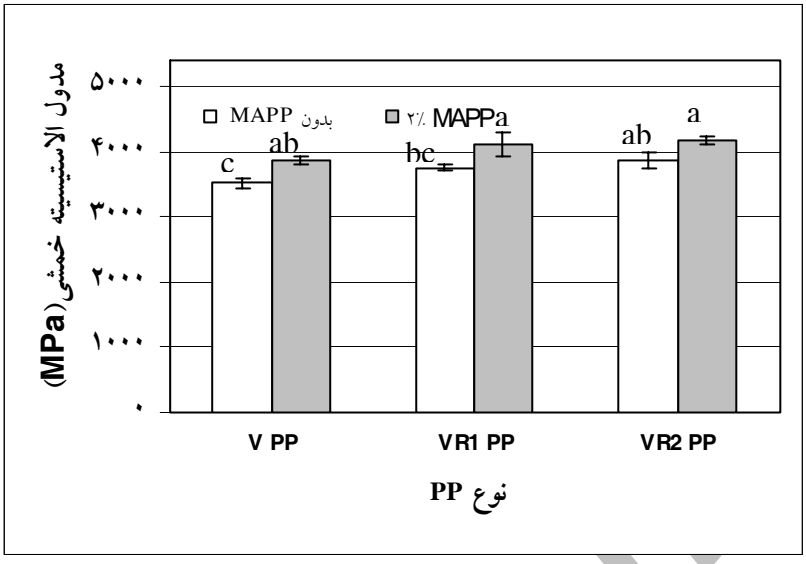
شکل ۵ نشان می‌دهد که باجایگزینی ۵۰٪ پلی‌پروپیلن‌های دست نخورده با پلی‌پروپیلن تخریب شده، مدول کشسانی خمشی مواد مرکب چوب-پلاستیک افزایش می‌یابد که این افزایش در هنگام کاربرد پلی‌پروپیلن دو بار تخریب شده از نظر آماری معنی‌دار است. نظربه اینکه مدول کشسانی مواد مرکب متاثر از مدول کشسانی مواد تشکیل دهنده آن می‌باشد بنابراین دیدن این تغییرات با توجه به بالاتر بودن مدول کشسانی خمشی پلی‌پروپیلن یک و دو بار تخریب شده نسبت به پلی‌پروپیلن دست نخورده (جدول ۳) قابل انتظار می‌باشد. همان طور که جدول ۳ نشان می‌دهد تخریب ترمو مکانیکی باعث افزایش شاخص جریان مذاب پلی‌پروپیلن (به ویژه درمرحله دوم تخریب) می‌شود. افزایش شاخص جریان مذاب بیانگر شکست در زنجیرهای پلیمری پلی‌پروپیلن در طی چرخه‌های شدید گرما و تنش در فرآیند اکستروژن می‌باشد که منجر به کاهش وزن مولکولی پلیمر می شود(Canevarolo, 2000). به طور کلی ویژگی‌های خمشی پلی‌پروپیلن با کاهش وزن ملکولی افزایش می یابد (Ogawa, 1992) که این امر به ایجاد پیوند های عرضی در اثر شکست زنجیر پلیمری نسبت داده شده است (NarasimhaMurthy, 2005). نتایج Kazemi Najafi و همکاران (۲۰۰۶) نشان می دهد با جایگزین کردن نیمی از پلی‌پروپیلن دست نخورده با پلی‌پروپیلن پسماندی تغییر معنی‌داری در مدول کشسانی مواد مرکب پلی‌پروپیلن- چوب ایجاد نخواهد شد اما در مواد مرکب تولیدی از پلی اتیلن با افزودن پلی اتیلن پسماندی مدول کشسانی به طور معنی‌داری افزایش یافت.

شکل ۶ نشان می‌دهد که باجایگزینی ۵۰٪ پلی‌پروپیلن دست نخورده با پلی‌پروپیلن تخریب شده ، مقاومت خمشی مواد مرکب چوب-پلاستیک به طور جزئی کاهش (نبود اختلاف معنی‌دار) می‌یابد. اگر چه بارهای تخریب ترمومکانیکی باعث افزایش مقاومت خمشی پلی‌پروپیلن شده است(جدول ۳) اما همان طور که دیده می شود این تغییر باعث افزایش مقاومت خمشی مواد مرکب بدست آمده نشده است؛ چون در مواد مرکب مقاومت خمشی بیشتر متاثر از ویژگی‌های حد فاصل‌ها و چگونگی چسبندگی بین اجزای تشکیل دهنده ماده مرکب است تا مقاومت خمشی تک تک اجزاء. این امر نشان می دهد که تخریب ترمومکانیکی سبب بهبود چسبندگی بین پلی‌پروپیلن و آرد چوب نشده است. Kazemi Najafi و همکاران (۲۰۰۶) کاهش معنی‌دار مقاومت خمشی مواد مرکب چوب-پلاستیک با افزایش پلی‌پروپیلن پسماندی به عنوان ۵۰ درصد از میزان وزنی پلی‌پروپیلن دست نخورده راگزارش کردند.

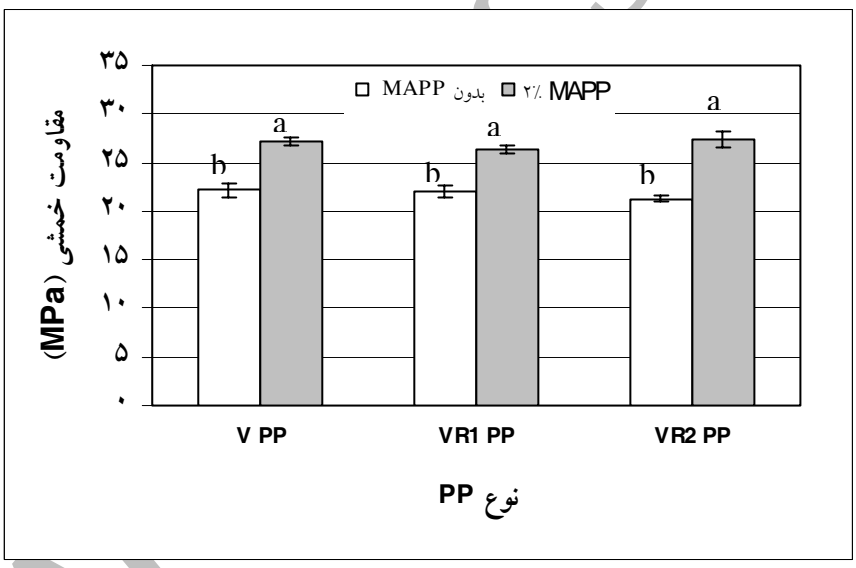
همچنین شکل ۵ و ۶ نشان می دهند با افزودن سازگارکننده (MAPP) مدول کشسانی و مقاومت خمشی مواد مرکب مورد بررسی افزایش می یابد. نتیجه تجزیه آماری نشان می دهد که تاثیر سازگارکننده تنها بر مدول کشسانی مواد مرکب ساخته شده از پلی‌پروپیلن دست نخورده معنی‌دار است ولی تاثیر معنی‌داری بر افزایش مدول کشسانی مواد مرکب دارای پلی‌پروپیلن تخریب شده ندارد در حالی که باعث افزایش معنی‌دار مقاومت خمشی در کلیه نمونه‌ها شده است. MAPP به عنوان یک عامل اتصال دهنده فعال، باعث پراکنش بهتر و یکنواخت تر آرد چوب در ماتریس پلی‌پروپیلن و همچنین بهبود چسبندگی سطح مشترک بین الیاف قطبی و پلی‌پروپیلن غیرقطبی می شود که به احتمال از راه تشکیل پیوندهای کواالانسی بین انیدرید مالئیک و گروه‌های هیدروگسیل الیاف (یا آرد) انجام می پذیرد (Filex & Gatenholm, 1991؛ Lu et al., 2005) بنابراین با ایجاد یک ناحیه حدفاصل موثر ، انتقال تنش از ماتریس به مواد لیگنوسلوزی تحت بار خمشی به صورت موثرتری انجام خواهد شد. در نتیجه مدول کشسانی و مقاومت خمشی با افزدون میزان کمی سازگار کننده به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. بهبود ویژگی‌های خمشی مواد مرکب چوب پلاستیک با محققان دیگری نیز گزارش شده است (Qiao et al., 2004؛ Sanadi & Gaufield, 1999؛ Sombatsomopop et al., 2005).

Archive of SID

www.SID.ir




**شکل ۵- اثر افزودن پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده بر مدول کشسانی مواد مرکب آرد چوب-پلی‌پروپیلن**




**شکل ۶- اثر افزودن پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده برمقاومت خمشی مواد مرکب آرد چوب-پلی‌پروپیلن**

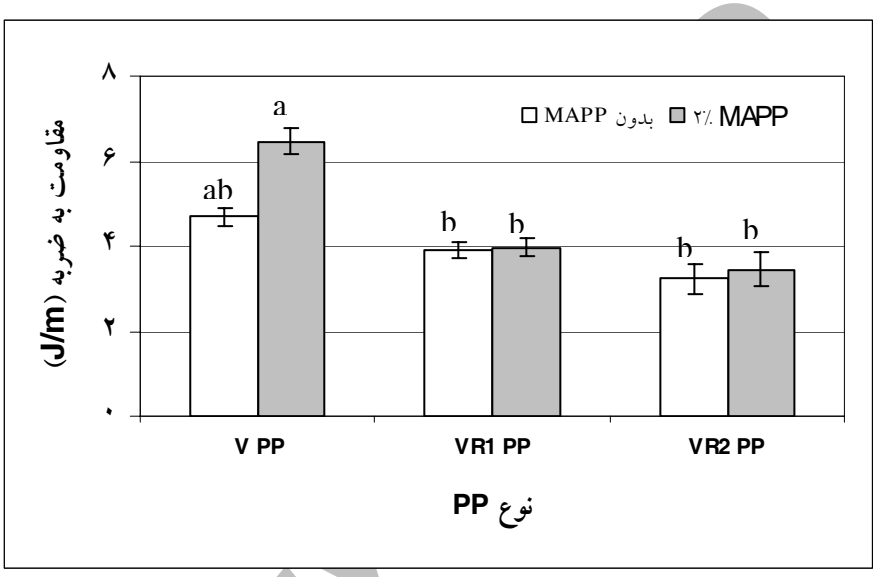
### مقاومت به ضربه

شکل ۷ اثر افزودن پلی‌پروپیلن تخریب شده برمقاومت به ضربه مواد مرکب های مورد بررسی را نشان می دهد. با افزودن پلی‌پروپیلن تخریب شده و افزایش شدت تخریب مقاومت به ضربه مواد مرکب کاهش می یابد که این کاهش در نبود سازگارکننده از نظر اماری معنی‌دار نیست. با توجه به میزان ثابت آرد چوب در همه مواد مرکب، کاهش مقاومت به ضربه مواد مرکب با افزودن پلی‌پروپیلن تخریب شده را می توان به کمتر بودن مقاومت به ضربه پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده نسبت به دست نخورده(جدول ۳) نسبت داد. نتایج تحقیقات نشان می دهد که در پلی‌پروپیلن با کاهش وزن ملکولی، مقاومت به ضربه کاهش می‌یابد (Baquero e al., 2002).

در حضور سازگارکننده، افزودن پلی‌پروپیلن یک و دو بار تخریب شده به ترتیب باعث کاهش معنی‌دار و قابل ملاحظه ۳۹ و ۴۶ درصد مقاومت به ضربه می‌شود در حالی

www.SID.ir

که در نبود سازگارکننده ۱۷ و ۳۱ درصد کاهش دیده شده است. نتایج تحقیقات Kazemi Najafi و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد با جایگزینی نیمی از پلی‌پروپیلن دست نخورده با پلی‌پروپیلن پسماندی و در نبود سازگارکننده در مقاومت به ضربه مواد مرکب چوب-پلاستیک تغییر معنی-داری دیده نشده است. شکل ۷ همچنین نشان می‌دهد افزودن ۲ درصد MAPP سبب افزایش قابل توجه (۳۷٪) مقاومت به ضربه مواد مرکب ساخته شده از پلی‌پروپیلن دست نخورده می شود اما با جایگزینی نیمی از پلی‌پروپیلن دست نخورده با پلی‌پروپیلن تخریب شده، افزودن MAPP باعث افزایش جزئی (کمتر از ۶ درصد) مقاومت به ضربه شده است. به نظر می رسد به مانند جذب آب و واکشیدگی ضخامت، MAPP به عنوان سازگارکننده عملکرد ضعیف تری برای پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده نسبت به پلی‌پروپیلن دست نخورده در بهبود مقاومت به ضربه دارد.




**شکل ۷- اثر افزودن پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده برمقاومت به ضربه مواد مرکب آرد چوب-پلی‌پروپیلن**

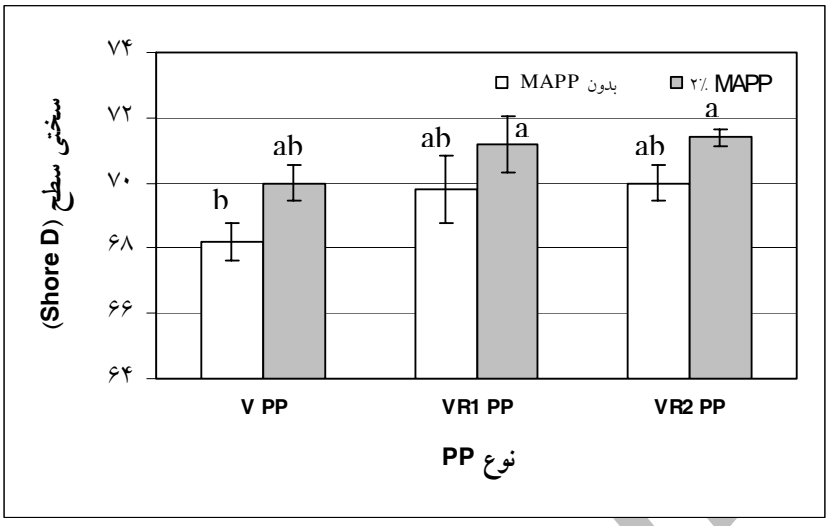
### سختی سطح

شکل ۸ نشان می‌دهد که باجایگزینی نیمی از پلی-پروپیلن‌های دست نخورده با پلی‌پروپیلن تخریب شده ، سختی مواد مرکب چوب- پلاستیک به طور جزئی افزایش می‌یابد که اختلاف های دیده شده از نظر آماری معنی‌دار نیست. سختی مواد مرکب متاثر از سختی و سفتی مواد تشکیل‌دهنده آنها می‌باشد. با توجه به ثابت بودن میزان آرد چوب افزایش جزئی سختی مواد مرکب دارای پلی‌پروپیلن تخریب شده را می‌توان به سختی و سفتی بالاتر پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده نسبت به پلی‌پروپیلن دست نخورده (جدول ۳) نسبت داد. با افزایش سفتی و پیوند های عرضی در اثر تخریب ترمومکانیکی سختی پلیمر تخریب شده افزایش می یابد.

شکل ۸ همچنین نشان می دهد که با افزودن ۲ درصد MAPP سختی مواد مرکب حدود ۲ درصد افزایش می‌یابد که این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نیست. سازگارکننده سبب ایجادپیوندهای قوی‌تر بین پلیمر و خاک اره می‌شود، در نتیجه ماده سخت‌تر می‌گردد. نتایج Qiao و همکاران (۲۰۰۴) نیز نشان می دهد سختی مواد مرکب ساخته شده از پلی‌پروپیلن و آرد لجن کاغذ باطله جوهرزدایی شده با افزودن سازگارکننده افزایش می یابد اما Sombatsompop و همکاران (۲۰۰۵) اثرمیزان سازگارکننده MAPP را بر سختی مواد مرکب بدست آمده از پلی‌پروپیلن و خاک اره معنی‌دار گزارش نکردند.

Archive

www.SID.ir




**شکل ۸- اثر افزودن پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده برسختی مواد مرکب آرد چوب-پلی‌پروپیلن**

## بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش تاثیر تخریب ترمومکامیکی به عنوان شاخصی از بازیافت بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی پلی‌پروپیلن و مواد مرکب چوب-پلاستیک بدست آمده از مخلوط پلی‌پروپیلن دست نخورده و تخریب شده) مورد بررسی قرار گرفت و بر پایه نتایج بدست آمده نتیجه گیری‌های زیر بدست آمده شده است:

- کاربرد پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده بجای نیمی از پلی‌پروپیلن دست نخورده در تولید مواد مرکب پلی‌پروپیلن- آردچوب سبب افزایش جذب آب و اکشیدگی ضخامت، افزایش مدول خمشی و سختی و کاهش مقاومت به ضربه می شود.
- سازگار کننده (MAPP) همه ویژگی‌های مورد بررسی را در مواد مرکب دارای پلی‌پروپیلن دست نخورده و تخریب شده بهبود داده است اما به نظر می رسد عملکرد ضعیف تری برای پلی‌پروپیلن‌های تخریب شده نسبت به پلی‌پروپیلن دست نخورده در بهبود جذب آب، واکشیدگی ضخامت و مقاومت به ضربه داشته است.

## منابع


- Adhikary K.B., Pang S. and Staiger M.P., 2008. Dimensional stability and mechanical behaviour of wood–plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE), *Compos. Part B,* 39, 807–815.
- American Society for Testing and Materials, ASTM D1238 - 98, 2002. West Conshohocken, PA.
- American Society for Testing and Material., ASTM D 790-96a, 1998. West Conshohocken, Pa. USA.
- American Society for Testing and Material., ASTM D256- 90b, 1998. West Conshohocken, Pa. USA.
- American Society for Testing and Material. ASTM D 2240-02, 2002. West Conshohocken, Pa. USA.
- Baquero I., Moreno N., Ichazo M. and Sabino A.M., 2002. Thermal and mechanical studies of recycled HDPE, PP and PET from blow-extruded and blow-injected bottles, *Proceeding of The 2002 Annual Technical Conference on the Society of Plastics Engineers( ANTEC_2002)*, San Francisco, 1-5.


Archive of SID

www.SID.ir

- Canevarolo S.V., 2000. Chain scission distribution function for polypropylene degradation during multiple extrusions, *Polym. Degrad. Stab.,* 709, 71-76.
- Da Costa H.M., Ramos V.D. and Rocha M.C.G., 2005. Rheological properties of polypropylene during multiple extrusion. *Polym. Test.,* 24, 86-93.
- Filex, J. M., and P. Gatenholm. 1991. The nature of adhesion in composites of modified cellulose fibers and polypropylene*, J. Appl. Polym. Sci.* 42, 609-620.
- Gonzilez-Gonzilez V.A., Neira-Velizquez G. and Angulo-SBnchezl J.L., 1998. Polypropylene chain scissions and molecular weight changes in multiple extrusion, *Polym. Degrad. Stab*., 60, 33-42.
- Gugumus F., 1998. Thermooxidative degradation of polyolefins in the solid state—6. Kinetics of thermal oxidation of polypropylene. *Polym. Degrad. Stab*., 62, 235-243.
- Jayaraman K. and Bhattacharyya D., 2004. Mechanical performance of wood fiber-waste plastic composites material,. *Resour. Conservat. Rec*., 41, 307-319.
- Lu J. Z., Negulescu, I. and Wu, Q. 2005.Maleated wood-fiber/high-density-polyethylene composites: Coupling mechanisms and interfacial characterization, *Compos Interface* 12, 125–140
- Kamdem D.P., Jiang H., Cui W., Freed J. and Matuana L.M., 2004 .Properties of wood plastic composites made of recycled HDPE and wood flour from CCA-treated wood removed from service, *Compos. Part A*, 35, 347-355.
- Kazemi-Najafi S., Hamidinia E. and Tajvidi M., 2006. Mechanical properties of composites from sawdust and recycled plastics, *J. Appl. Polym. Sci.,*100, 3641-3645.
- Kazemi-Najafi S., Mostafazadeh-Marznaki, M., Tajvidi M. and Chaharmahali M. 2009. Effect of Thermo-Mechanical Degradation of Polypropylene on Mechanical Properties of Wood Polypropylene Composites, Journal of Composite Materials. 43(22): 2543-255423.
- Khattab A.A. and El-Zoghby A.A., 1998. Effect of recycling on the mechanical properties of low density polyethylene, *J. Eng. Appl. Sci*., 45, 533–47.
- La Mantia, F.P. and Morreale, M., 2006. Mechanical properties of recycled polyethylene ecocomposites filled with natural organic fillers, *Polym. Eng. Sc.,* 46, 1131–1139.
- Mali J., Sarsama P., Lindberg L.S., Peltonen J., Vilkki M., Koto T. and Tiisala S., 2003 .Wood fiber –plastic composites, A research report published 31.12.2003 by VTT Technical Research Centre of Finland, 2003. available on http://www.vtt.fi/rte/uutta/wpc_final_report.pdf.
- Michaud, F., Riedl, B. and Cast´era P. 2005 Improving wood/polypropylene fiberboards properties with an original MAPP coating process. *Holz als Roh- und Werkstoff* 63, 380-387
- NarasimhaMurthy N., 2005 .Development of commercial application for recycled plastics using finite element analysis, Master Degree Thesis, Brigham Young University.
- Ogawa T., 1992. Effects of molecular weight on mechanical properties of polypropylene, *J. Appl. Polym. Sci.*, 44, 1869 – 1871.
- Qiao X., Zhang Y. and Zhang Y., 2004. Maleic anhydride grafted polypropylene as a coupling agent for polypropylene composites filled with Ink-Eliminated waste paper sludge flour, *J. Appl. Polym. Sci.,* 91: 2320-2325.
- Sanadi A.R. and Caufield D.F., 1999. Interphase effects on the mechanical and physical behavior of natural fiber composites, *Second International Wood and Natural Fibre Composites Symposium*, Kassel, Germany, 9.1–9.18.
- Sombatsompop N., Yotinwattanakumtorn C. and Thongsang S., 2005. Influence of type and concentration of maleic anhydride grafted polypropylene and impact modifiers on mechanical properties of PP/wood sawdust composites, *J. Appl. Polym. Sci*., 97, 475-484.
- Yam K.L., Gogai B.K., Lai C.C. and Selke S.E., 1990. Composites from compounding wood fibers with recycled high density polyethylene, *Polym. Eng. Sci*., 30, 693–699.
- Youngquist J.A., Myers G.E., Muehl J.H., Krzysik A.M., Clemens C.M. and Padella F., 1994. Composites from recycled wood and plastics: a project summary, US Environ. Protect. Agency.

Archive of SID

www.SID.ir

# Effect of Virgin and Degraded Polypropylene Blends on Properties of Wood Flour -Polypropylene Composites

**S. Kazemi Najafi[*1], M. Mostafazadeh Marzenaki[2] and M. Chaharmahali[2, 3]**
[1] Associate Prof, Faculty of Natural Resource and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran
[2] MSc. Graduate, Faculty of Natural Resource and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran
[3] Ph.D. Student, Faculty of Natural Resource, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
(Received: 18 January 2009, Accepted: 7 March 2010)

## Abstract
In this research, influence of thermo-mechanical degradation of polypropylene (PP) on physical and mechanical properties of wood- PP composites made from virgin and degraded PP blends was studied. For this purpose, a virgin PP was thermo-mechanically degraded by twice extrusion under controlled conditions with a twin-screw extruder. Virgin PP and degraded PP in each stage were mixed and the blends and beech sawdust (-40/+60 mesh) were compounded (at 60% weight sawdust loading) in a counter-rotating twin-screw extruder in presence and absence of compatibilizer to produce the sawdust-PP composites. The results showed that replacing 50% of virgin PP by degraded PP, impact strength of wood-PP composites decreases but water absorption, thickness swelling, flexural modulus and hardness increase. Compatibilizer improved the mentioned properties.

**Keywords:** Thermo-mechanical degradation, Polypropylene, Wood plastic composites, Physical and mechanical properties, Extrusion

*Corresponding author: Tel: +98 122 6253101 , Fax: +98 122 6253499 , E-mail: skazemi@modares.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir