اثر اصلاح کننده ضربه روي مقاومت به ضربه چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي- آرد چوب

سامان قهري[١]، سعيد کاظمي‌نجفي*[٢] و بهبود محبي[٢]
[١] دانش‌آموخته کارشناسي‌ارشد، دانشگاه تربيت مدرس، ايران
[٢] دانشيار دانشگاه تربيت مدرس، ايران
(تاريخ دريافت: ٨٩/٤/١٣، تاريخ تصويب: ٩٠/٨/٢)

چکيده

در اين پژوهش، اثر دو نوع اصلاح کننده ضربه بر مقاومت به ضربه چندسازه چوب پلاستيک ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي و آرد چوب مورد بررسي قرار گرفت. تحت شرايط کنترل شده پنج مرحله تخريب ترمومکانيکي پلي‌پروپيلن بکر توسط دستگاه اکسترودر دو ماريپچ با سرعت ١٠٠rpm و دماي ١٩٠ ºC انجام گرفت. پلي‌پروپيلن (بکر و بازيافتي) و آرد چوب با نسبت ٥٠ درصد (وزني) در حضور دو نوع اصلاح کننده ضربه اتيلن وينيل استات (EVA) و اتيلن پروپيلن دي‌ان مونومر (EPDM) به وسيله دستگاه اکسترودر دو ماريپچ با يکديگر مخلوط شدند. نتايج نشان دادند که مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي و آرد چوب کمتر از چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بکر است. همچنين، استفاده از هر دو نوع اصلاح کننده ضربه سبب افزايش مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي و آرد چوب گرديد، ولي EVA عملکرد بهتري در افزايش مقاومت به ضربه چندسازه نشان داد. نتايج مطالعات مقاومت به ضربه نشان دادند که مقاومت به ضربه چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي- آرد چوب اصلاح شده با اصلاح کننده ضربه EVA به‌طور قابل ملاحظه‌اي کمتر از چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بکر- آرد چوب مي‌باشد.

واژه‌هاي کليدي: تخريب ترمومکانيکي، مقاومت به ضربه، اصلاح کننده ضربه، چندسازه پلي‌پروپيلن بازيافتي- آرد چوب

* نويسنده مسئول: تلفن: ٠٩١١-١٢١٢١٤٨ فاکس: ٠١٢٢-٦٢٥٣٤٩٩ E-mail: skazemi@modares.ac.ir

مقدمه

مصرف روزافزون مواد پلاستيكي و كاربردهاي وسيع آنها در زمينه‌هاي مختلف سبب افزايش مداوم ضايعات پلاستيكی و اثرات نامطلوب آنها بر محيط زيست شده است. در يک دهه اخير استفاده از پلاستيك‌هاي ضايعاتي در ساخت چندسازه‌هاي چوب- پلاستيك به عنوان يكي از مناسب‌ترين راه‌كارهاي استفاده مجدد پلاستيک‌هاي ضايعاتي به‌طور قابل ملاحظه‌اي مورد توجه محققان و صنايع قرار گرفته است. ساخت چندسازه چوب- پلاستيک از پلاستيک‌های ضايعاتی هم به لحاظ زيست‌محيطی و هم به لحاظ اقتصادی حائز اهميت می‌باشد. در اين زمينه پلاستيك‌هايي كه نقطه ذوب آنها كمتر از ۲۰۰ درجه سانتي‌گراد (كمتر از دماي تجزيه حرارتي چوب) باشد قابل استفاده در ساخت چندسازه چوب- پلاستيک مي‌باشند(Mali et al., 2003). نتايج تحقيقات مختلف نشان مي‌دهد كه ويژگي‌هاي فيزيكي نظير گرانروی مذاب، وزن مولكولي، بلورينگی و نقطه ذوب و همچنين ويژگي‌هاي مكانيكي پلاستيك‌هاي ضايعاتي با پلاستيك‌هاي بكر متفاوت است و ميزان تفاوت به نوع و شدت فرآوري پلاستيک‌ها، نحوه مصرف و نحوه بازيافت آنها بستگي دارد. اين تغييرپذيري ويژگی‌های پلاستيک‌هاي ضايعاتي خواص چندسازه چوب- پلاستيك را نيز تحت تاثير قرار مي‌دهد.

امكان‌سنجی استفاده از پلاستيك‌هاي بازيافتي در ساخت چندسازه‌هاي چوب- پلاستيك به طور وسيعی مورد مطالعه قرار گرفته و نتايج متفاوتي ارائه شده است (Kamdem et al., 2004; Kazemi-najafi et al., 2006; Kazemi-Najafi et al. 2009; Prachayawarakorn &Yaembunying, 2005; Youngquist et al., 1994). Kazemi-Najafi et al(2006) نشان دادند كه مقاومت خمشي چندسازه چوب-پلاستيک ساخته شده از پلي‌اتيلن ضايعاتي با چندسازه چوب- پلاستيک ساخته شده از پلي‌اتيلن بكر قابل مقايسه است و فقط مدول الاستيسيته چندسازه چوب- پلاستيک ساخته شده از پلي‌اتيلن ضايعاتي به‌طور معني‌داري كمتر از چندسازه چوب-پلاستيک ساخته شده از پلي‌اتيلن بكر مي‌باشد. Prachayawarakorn &Yaembunying(2005) بيان داشتند كه افزايش دفعات بازيافت چندسازه چوب- پلاستيک باعث كاهش مدول الاستيسيته و مقاومت خمشي آن مي‌گردد. Youngquist et al (1994) نيز اظهار نمودند كه مدول الاستيسيته و مقاومت خمشي چندسازه چوب- پلاستيک ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي نسبت به چندسازه چوب-پلاستيک ساخته شده از پلاستيک بكر كمتر مي‌باشد.

عليرغم نتايج متفاوت، تمام منابع پژوهشی بر مقاومت به ضربه كمتر چندسازه‌هاي ساخته شده از پلاستيک‌هاي ضايعاتي اتفاق نظر دارند و ميزان اين كاهش به شدت بازيافت بستگي دارد. Kazemi-Najafi et al(2009) نشان دادند كه مقاومت به ضربه چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي نسبت به چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بكر بطور معني‌دار و قابل ملاحظه‌اي كمتر است.

لذا با توجه به اهميت قابل ملاحظه زيست محيطي و اقتصادي بازيافت پلاستيک‌ها و استفاده موثر از آنها براي توليد چندسازه‌هاي چوب-پلاستيك با خواص مناسب، بهبود مقاومت به ضربه چندسازه ساخته شده از پلاستيک‌هاي بازيافتی ضروري به نظر مي‌رسد. اگرچه مانند چندسازه‌هاي چوب-پلاستيك ساخته شده از پلاستيک‌هاي بكر، استفاده از سازگار كننده‌ها سبب افزايش مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي حاصل از پلاستيک‌هاي ضايعاتي مي‌شود، اين افزايش قابل توجه نيست (به ويژه براي چندسازه‌هاي حاصل از پلاستيک-هاي چند بار بازيافتي) و ضروري است با استفاده از روش‌هاي ديگر نسبت به افزايش مقاومت به ضربه اقدام گردد.

يكي از روش‌هاي بهبود مقاومت به ضربه‌مواد پلاستيكي و همچنين چندسازه چوب- پلاستيك، استفاده از اصلاح‌كننده ضربه و افزودن ذرات لاستيكي به پلاستيك است. كوپليمر اتيلن-پروپيلن دي‌ان مونومر (EPDM)، استيرن اتيلن- بوتيلن استيرن (SEBS)، لاستيك اتيلن پروپيلن (EPR)، اتيلن وينيل استات (EVA) و لاستيک

استيرن- بوتا دي‌ان (SBR)، معمولترين اصلاح‌كننده‌هاي ضربه براي بهبود مقاومت به ضربه آميخته‌هاي پليمري و همچنين چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن- الياف طبيعي مي‌باشند (Hristov & Vasileva, 2004; Jafari & Gupta, 2000; Maciel et al., 2009; Oksman & Clemons, 1998;Oksuz &Eroglu, 2005;Tjong et al., 2003; Yazdani et al., 2006).

نتايج مطالعات اخير نشان مي‌دهد كه اصلاح‌كننده‌هاي ضربه اگرچه باعث افزايش مقاومت به ضربه چندسازه آرد چوب- پلي‌پروپيلن مي‌شوند، ساير ويژگي‌ها به خصوص خواص خمشي چندسازه مذكور را نيز تحت تاثير قرار مي‌دهند، طوري كه مدول الاستيسيته و مقاومت خمشي چندسازه اصلاح شده با انواع اصلاح‌كننده‌هاي ضربه كاهش مي‌يابد. Ghahri et al(2011) بهبود مقاومت به ضربه مواد مركب پلي‌پروپيلن بازيافتي- آرد چوب با استفاده از ٣، ٦ و ٩ درصد اصلاح كننده ضربه EVA را مورد مطالعه قرار دادند. نتايج نشان دادند كه در سطح ٦ درصد اصلاح كننده خواص مكانيكي بهينه‌اي حاصل مي‌شود ودر سطح ٩ درصد عليرغم افزايش مقاومت به ضربه، مدول الاستيسيته و مقاومت خمشي چندسازه اصلاح شده به شدت كاهش مي‌يابند. Oksman & Clemons (1998) خواص چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بكر و آرد چوب اصلاح شده با اصلاح كننده ضربه را مورد مطالعه قرار دادند. نتايج نشان دادند كه SEBS پيوند خورده با مالئيک انيدريد (MA) به همراه ٢ درصد سازگار كننده (MAPP) تنش حداكثر، كرنش، مقاومت به ضربه فاق‌دار و مقاومت به ضربه بدون فاق را افزايش و مدول الاستيسيته را كاهش مي‌دهد و همچنين EPDM همراه ٢درصد MAPP روي تنش و كرنش اثري نداشته ولی مقاومت به ضربه فاق‌دار و مقاومت به ضربه بدون فاق را افزايش مي دهد. نتايج تحقيق Shakeri et al (2005) نيز نشان دهنده كاهش مقاومت خمشي و مدول الاستيسيته چندسازه‌هاي الياف سلولزي- پليمر گرمانرم اصلاح شده با EVA و EPDM مي‌باشد.

در تحقيقات اخير تاثير اصلاح‌كننده ضربه بر مقاومت به ضربه چندسازه چوب-پلاستيک ساخته شده از پلاستيك بكر مورد مطالعه قرار گرفته است ولی تحقيقي در مورد پلاستيک‌هاي بازيافتي مشاهده نشده‌است. بنابراين هدف از اين تحقيق مقايسه اثر اصلاح‌كنندگي دو نوع اصلاح‌كننده ضربه يعني اتيلن وينيل استات(EVA) و اتيلن پروپيلن دي‌ان مونومر (EPDM) روي چندسازه پلي‌پروپيلن-آرد چوب ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي مي‌باشد. براي اين منظور پلي‌پروپيلن به‌طور مصنوعي تحت شرايط كنترل شده پنج بار بازيافت شد تا اثر بازيافت و اصلاح كننده‌ها بر مقاومت به ضربه چندسازه‌ها مورد مطالعه قرار گيرد.

مواد و روش‌ها

در اين پژوهش از پلي‌پروپيلن با شاخص جريان مذاب ٥/٨ g/١٠min ساخت شركت پلي‌نار استفاده شد. از اتيلن وينيل استات با ١٨درصد وزني مقدار وينيل استات(VA) ساخت شركت LG و اتيلن پروپيلن دي‌ان مونومر ساخت شركت بايرا با ٥٠ درصد وزني اتيلن به عنوان مواد اصلاح‌كننده ضربه استفاده شد. به منظور بهبود چسبندگي بين دو فاز ناهمگن(پلاستيک و آرد چوب) از پلي‌پروپيلن پيوند خورده با مالئيک انيدريد (MAPP) ساخت شركت كيميا جاويد با شاخص جريان مذاب ١٠٠g/١٠min و ١/١ درصد مالئيک انيدريد پيوند خورده به عنوان سازگار كننده استفاده گرديد. آرد چوب مورد استفاده در اين تحقيق از خاک اره چوب گونه راش (*Fagus orientalis*) پس از غربال كردن با الک چشمه ٤٠-/٦٠+ تهيه شد.

آماده سازي مواد اوليه

پنج مرحله تخريب ترمومكانيكي روي پلي‌پروپيلن خام به عنوان شاخصي از دفعات بازيافت در دستگاه اكسترودر دوماريچ نا همسوگرد (مدل٤٨١٥ -WPC ساخت شركت برنا پارس مهر) در دماي ١٩٠°C و سرعت١٠٠ rpm انجام گرفت. پلي‌پروپيلن خام در دستگاه اكسترودر ريخته شد و پس از خروج از دستگاه به‌وسيله دستگاه آسياب آزمايشگاهي به گرانول تبديل شد. اين عمل تا پنج بار تكرار گرديد و گرانول‌هاي حاصل از مراحل دوم و پنجم

جهت ساخت چندسازه انتخاب شدند. شاخص جريان مذاب تمام پلاستيک‌ها در هر مرحله طبق آيين نامه ۹۸-ASTM D ۱۲۳۸ در دماي ۲۳۰°C و با وزنه kg ۲/۱۶۴ به‌وسيله ماشين اندازه‌گيري شاخص جريان مذاب مدل SIT ۲۰-D تعيين گرديد. آرد چوب نيز در گرم‌خانه با دماي ۸۰°C به مدت h ۲۴ خشک و براي جلوگيري ازجذب رطوبت در کيسه‌هاي پلاستيکي نگهداري شد.

ساخت نمونه‌هاي آزموني

ابتدا آرد چوب، پلي‌پروپيلن و اصلاح کننده ضربه با نسبت مشخص (جدول ۱) توسط دستگاه مخلوط‌کن آزمايشگاهی (ساخت شرکت ايران خودساز) با سرعت rpm ۱۵۰۰ در دماي اتاق مخلوط شدند. سپس اختلاط حاصل وارد قسمت تغذيه دستگاه اکسترودر دومارپيچ نا-همسوگرد با شش منطقه گرمايي براي اختلاط و دو منطقه قالب گرديد. دماي اکسترودر براي هريک از مناطق گرمائی به ترتيب ۱٦٥°C، ۱۸۰°C، ۱۸۰°C ، ۱۷٥ °C، ۱٧٧°C،۱٦٥°Cبراي مناطق ۱ تا ٦ و ۱٤٥°C و۱۱٥°C براي قالب‌ها تنظيم گرديد و سرعت چرخش ماردون‌ها rpm ۱۲۰ در نظر گرفته شد و در نهايت باريکه‌هاي با سطح مقطع mm^2 ۱۰*۷۰ ساخته شدند. نمونه‌ها در دماي °C ۲ ±۲۳ و رطوبت نسبي ٦٥% ±۳% به مدت دوهفته قبل از انجام آزمون‌ها مشروط‌سازی شدند و سپس براي تهيه نمونه‌هاي آزمونی براي آزمون‌هاي پيش‌بيني شده طبق استانداردها برش داده شدند.

اندازه‌گيري خواص مکانيکي

آزمون خمش سه نقطه‌اي مطابق با آيين نامه D ۷۰۳۱-۰٤ استاندارد ASTM و با استفاده از ماشين آزمون مکانيکي Dartec و آزمون مقاومت به ضربه (بدون فاق) مطابق آيين‌نامه D ۲٥٦-۹۰ استاندارد ASTM و با استفاده از دستگاه ضربه نوع ايزود ساخت شرکت سنتام ايران اندازه‌گيري شدند.

نتايج

ويژگي‌هاي فيزيکی و مکانيکي پلي‌پروپيلن

مقدار شاخص جريان مذاب پلي‌پروپيلن‌هاي بکر و بازيافتي و همچنين درصد افزايش اين شاخص مهم نسبت به پلي‌پروپيلن بکر طي دوره بازيافت در جدول۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده مي‌شود با افزايش دفعات بازيافت، شاخص جريان مذاب افزايش مي-يابد. به‌طوري‌که شاخص جريان مذاب پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي و پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي به ترتيب ۱۶۷ درصد و ۴۴۱ درصد نسبت به پلي‌پروپيلن بکر افزايش نشان مي‌دهند. همچنين جدول ۲ ويژگي‌هاي مکانيکي پلي‌پروپيلن بکر و بازيافتي را نيز نشان مي‌دهد. با افزايش دفعات بازيافت پلي‌پروپيلن به دوبار و پنج‌بار مدول الاستيسيته خمشي، مقاومت خمشي و مقاومت به ضربه به‌طور معني‌دار نسبت به پلي‌پروپيلن بکر کاهش مي‌يابند. فقط مقدار کاهش مدول الاستيسيته خمشي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي نسبت به پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي معني‌دار نيست.

جدول ١- درصد اجزاي تشكيل دهنده تركيبات مختلف چندسازه چوب-پلاستيک

پلي پروپيلن		آرد چوب (%)	MAPP (%)	اصلاح كننده ضربه *
نوع	مقدار(%)			
پلي‌پروپيلن بكر	٥٠	٥٠	٠	-
پلي‌پروپيلن بكر	٤٨	٥٠	٢	-
پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي	٥٠	٥٠	٠	-
پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي	٤٨	٥٠	٢	-
پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي	٤٤	٥٠	٠	EVA
پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي	٤٢	٥٠	٢	EVA
پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي	٤٤	٥٠	٠	EPDM
پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي	٤٢	٥٠	٢	EPDM
پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي	٥٠	٥٠	٠	-
پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي	٤٨	٥٠	٢	-
پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي	٤٤	٥٠	٠	EVA
پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي	٤٢	٥٠	٢	EVA
پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي	٤٤	٥٠	٠	EPDM
پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي	٤٢	٥٠	٢	EPDM

* هريک از اصلاح كننده‌هاي ضربه به مقدار ۶ درصد وزني مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ٢ - ويژگي‌هاي فيزيكي و مكانيكي پلي‌پروپيلن بكر و بازيافتي

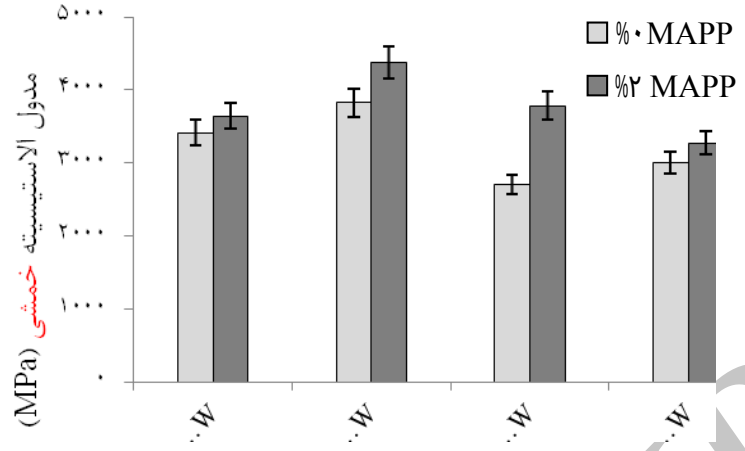
پلي‌پروپيلن	شاخص جريان مذاب ($g/_{10min}$)	مدول الاستيسيته خمشي (MPa)	مقاومت خمشي (MPa)	مقاومت به ضربه (J/m^2)
پلي‌پروپيلن بكر	٥/٨	* ١٩٩٩ (٣٨٩)	٣١ (٠/٨)	بدون شكست
پلي پروپيلن دوبار بازيافتي	١٥/٥	١١١٢ (٩٠)	١٤ (٠/٩)	٣٦٨٣(١٧١)
پلي پروپيلن پنج‌بار بازيافتي	٣١/٤	١٠٧١ (٦١)	١٠/٧ (١)	٢٥٥٨ (٢٥٠)

* اعداد داخل پرانتز معرف انحراف معيار مي‌باشد.

ويژگي‌هاي مكانيكي چندسازه پلي‌پروپيلن بازيافتي-آرد چوب

مدول الاستيسيته

شكل ١ مدول الاستيسيته چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي-آرد چوب را نشان مي‌دهد. افزايش دفعات بازيافت پلي‌پروپيلن به دوبار باعث افزايش مدول الاستيسيته چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب گرديد كه اين افزايش معني‌دار نبود. همچنين شكل١ نشان مي‌دهد كه افزودن اصلاح‌كننده‌هاي ضربه به چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي سبب كاهش مدول الاستيسيته آن شد. EVA و EPDM به‌طور معني‌داري به ترتيب ٣٠ و ٢٢ درصد مدول الاستيسيته را در چندسازه‌ها كاهش دادند.



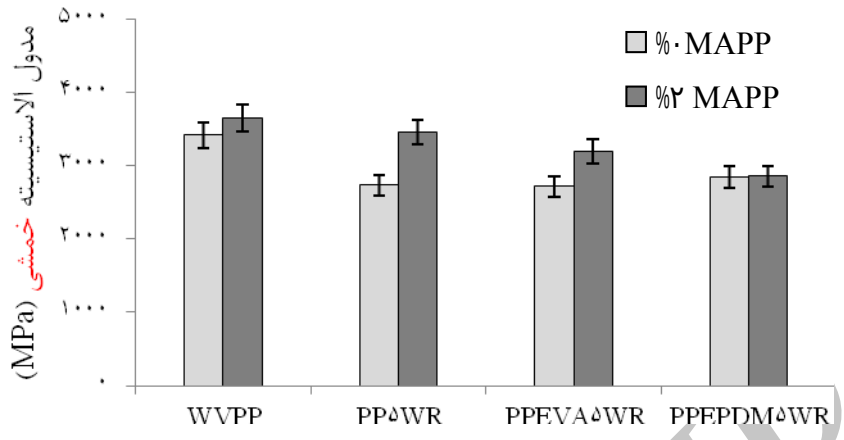
شكل ١- مدول الاستيسيته چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي-آرد چوب.
(آرد چوب W؛ پلي‌پروپيلن بكر**VPP**؛ پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي **R2PP**؛ اتيلن ونيل استات **EVA**؛ اتيلن پروپيلن ديان مونومر **EPDM**)؛

اثر سازگاركننده MAPP بر مدول الاستيسيته چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب در شكل ١ نشان داده شده است. سازگاركننده سبب افزايش ١۴ درصدي مدول الاستيسيته چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي بدون اصلاح‌كننده ضربه گرديد.

در صورت استفاده توام MAPP و اصلاح‌كننده‌هاي ضربه EVA و EPDM نيز مدول الاستيسيته در چندسازه‌هاي اصلاح شده نسبت به چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب بدون اصلاح كننده ضربه و سازگار كننده كاهش نشان مي‌دهد ولي مقدار اين كاهش معني‌دار نيست. سازگاركننده تا حدي مقدار افت مدول الاستيسيته ناشي از حضور اصلاح كننده ضربه در تركيب چندسازه پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب اصلاح شده را جبران مي‌كند.

شكل ٢ مدول الاستيسيته چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب را نشان مي دهد. افزايش دفعات بازيافت پلي‌پروپيلن به پنج‌بار باعث كاهش معني‌داري (٢١ درصد) در مدول الاستيسيته خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي-آرد چوب نسبت به چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بكر گرديد. همچنين شكل ٢ اثر انواع اصلاح‌كننده ضربه بر مدول الاستيسيته چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي-آرد چوب را نشان مي‌دهد. همانطور كه مشاهده مي‌شود تغييرات مدول الاستيسيته چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب اصلاح شده با EVA و EPDM معني‌دار نيست.

اثر سازگار كننده MAPP بر مدول الاستيسيته چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب نيز در شكل ٢ نشان داده شده است. همان طور كه اين شكل نشان مي‌دهد افزودن سازگاركننده MAPP سبب افزايش معني‌دار (٢۶ درصد) مدول الاستيسيته اين چندسازه‌ها مي‌گردد. در حضور توأم سازگار كننده و اصلاح‌كننده ضربه، مدول الاستيسيته چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي نسبت به چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب بدون اصلاح كننده ضربه و سازگار كننده تغييرات معني‌داری نشان نمي‌دهد.



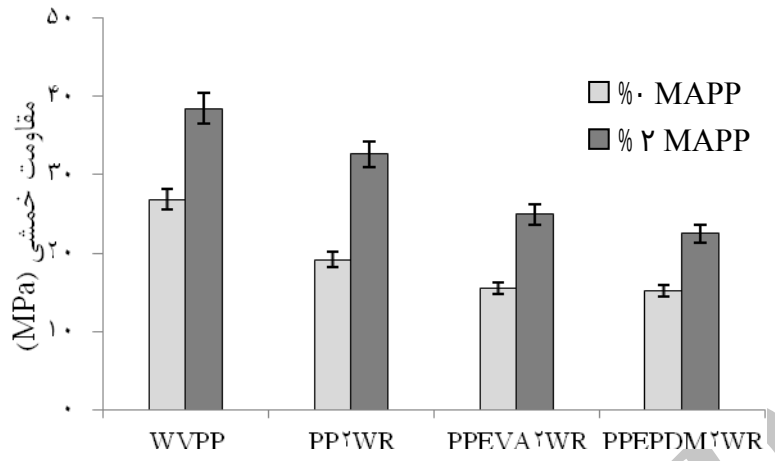
شكل ٢- مدول الاستيسيته خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج بار بازيافتي- آرد چوب
(كدها مطابق شكل ١)

مقاومت خمشي

شكل ٣ مقاومت خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب را نشان مي‌دهد. همچنين تجزيه واريانس مقاومت خمشی چند سازه چوب پلاستيک در جدول ٣ نشان داده شده است. افزايش دفعات بازيافت پلي‌پروپيلن به پنج‌بار باعث كاهش معني‌داري (٢٩ درصد) در مقاومت خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي نسبت به چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بكر می‌شود. نتايج مشابهي مبني بر كاهش مقاومت خمشي چند سازه‌هاي ساخته شده از پلي پروپيلن ضايعاتي و آرد چوب گزارش شده است (Kamdem et al. 2004).

جدول ٣- تجزيه واريانس مقاومت خمشی چندسازه چوب-پلاستيک

منبع تغييرات	مجموع مربعات	درجه آزادي	ميانگين مربعات	F	مقدار P
دفعات بازيافت	١٤٨٦/٠٥٣	٢	٧٤٣/٠٢٧	٢٨/٥٨٦	٠/٠٠٠
اصلاح كننده ضربه	٣٤٦/٤٩٥	٢	١٧٣/٢٤٧	٦/٦٦٥	٠/٠٠٢
دفعات بازيافت * اصلاح كننده ضربه	٢٦/١٥٤	٢	١٣/٠٧٧	٠/٥٠٣	٠/٦٠٧



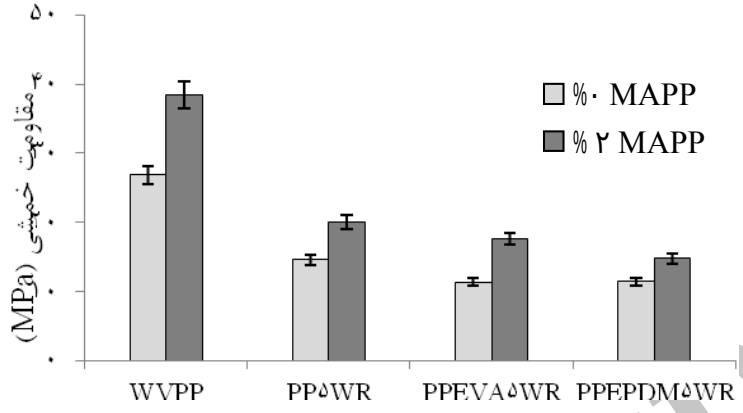
شکل ۳- مقاومت خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب
(کدها مطابق شکل ۱)

اثر انواع اصلاح‌کننده ضربه بر مقاومت خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي-آرد چوب در شکل ۳ نشان داده شده است. با افزودن اصلاح‌کننده‌هاي ضربه به چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي مقاومت خمشي اين چندسازه‌ها کاهش مي يابد. هر دو نوع اصلاح کننده ضربه EVA و EPDM به طور معني‌داري به ترتيب ۱۹ و ۲۱ درصد مقاومت خمشي اين چندسازه‌ها را نسبت به چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب بدون اصلاح کننده ضربه کاهش مي‌دهند.

اثر سازگار کننده MAPP بر مقاومت خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود سازگارکننده سبب افزايش معني‌داري(۷۰ درصد) در مقاومت خمشي چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي بدون اصلاح کننده ضربه می‌گردد.

با استفاده از سازگارکننده مي‌توان افت مقاومت خمشي ناشي از اصلاح کننده ضربه را در چندسازه‌هاي مورد مطالعه کاهش داد. استفاده همزمان سازگارکننده MAPP و اصلاح کننده‌هاي ضربه باعث افزايش مقاومت خمشي در چندسازه‌هاي اصلاح شده مي‌شود. در حضور سازگار کننده MAPP در ترکيب چندسازه پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب اصلاح شده با هر دو نوع اصلاح کننده ضربه EVA و EPDM، مقاومت خمشي افزايش معني‌داري نسبت به چندسازه‌هاي بدون اصلاح کننده ضربه و سازگار کننده MAPP، به ترتيب ۳۰ و ۱۷ درصد، نشان مي‌دهد.

شکل ۴ مقاومت خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج بار بازيافتي-آرد چوب را نشان مي‌دهد. افزايش دفعات بازيافت پلي‌پروپيلن به پنج‌بار باعث کاهش معني‌داري (۴۶ درصد) در مقاومت خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي نسبت به چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بکر می‌شود.



شكل ۴- مقاومت خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي-آرد چوب
(كدها مطابق شكل ۱)

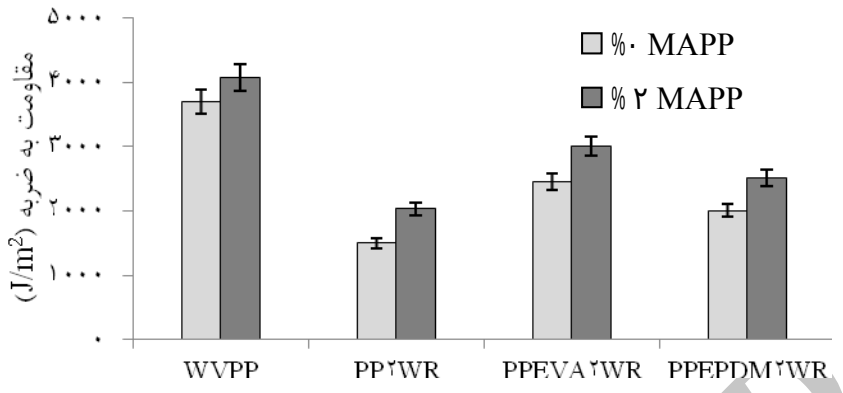
اثر انواع اصلاح كننده ضربه بر مقاومت خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب نيز در شكل ۴ نشان داده شده است. هر دو نوع اصلاح كننده ضربه EVA و EPDM به ترتيب به‌طور معني‌داري ۲۳ و ۲۲ درصد مقاومت خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب را كاهش مي‌دهند.

اثر سازگار كننده MAPP بر مقاومت خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب نيز در شكل ۴ نشان داده شده است. همانطور كه اين شكل نشان مي‌دهد افزودن MAPP باعث افزايش معني‌داري (۳۶ درصد) در مقاومت خمشي چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي-آرد چوب مي‌شود. همچنين در حضور توام MAPP و اصلاح كننده ضربه مقاومت خمشي چندسازه افزايش نشان مي‌دهد. نتايج نشان مي‌دهند كه تغييرات مقاومت خمشي چندسازه پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب اصلاح شده با EVA و EPDM در حضور MAPP نسبت به چندسازه پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب بدون اصلاح كننده ضربه و سازگار كننده معني‌دار نيست.

اطلاعات شكل‌هاى ۳ و ۴ و همچنين آناليز آماري داده‌ها نشان مي‌دهد كه مقاومت خمشي چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب به‌طور معني‌داري كمتر از چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب مي‌باشد.

مقاومت به ضربه

شكل ۵ مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب را نشان مي‌دهد. افزايش دفعات بازيافت پلي‌پروپيلن به دوبار باعث كاهش معني‌داري (۶۰ درصد) در مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي-آرد چوب نسبت به چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بكر گرديد.



شکل ۵- مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي-آرد چوب
(کدها مطابق شکل۱)

اثر انواع اصلاح‌کننده ضربه بر مقاومت به ضربه چندسازه پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب در شکل۵ نشان داده شده است. هر دو نوع اصلاح کننده ضربه باعث افزايش مقاومت به ضربه چندسازه پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب شدند. اصلاح کننده‌هاي EVA و EPDM به‌طور معني‌داري به ترتيب ۶۳ و ۳۳ درصد مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي را نسبت به چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي بدون اصلاح کننده ضربه افزايش مي‌دهند.

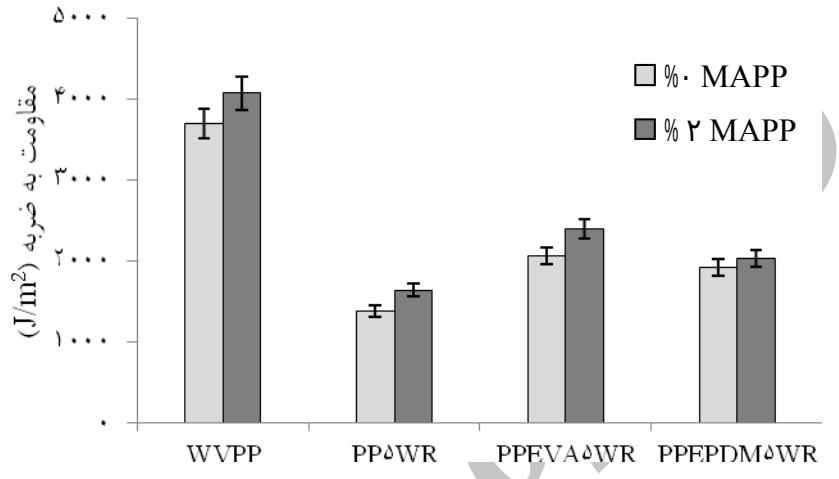
اثر سازگار کننده MAPP بر مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب در شکل۵ نشان داده شده است. افزودن سازگارکننده باعث افزايش معني‌دار (۳۵ درصد) مقاومت به ضربه چندسازه پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب مي‌گردد. در حضور توام MAPP و اصلاح کننده ضربه مقاومت به ضربه چندسازه بيشتر افزايش نشان مي‌دهد. مقاومت به ضربه چندسازه پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب اصلاح شده با EVA و EPDM در حضور MAPP به ترتيب افزايش معني‌داري برابر ۹۵ و ۶۶ درصد نسبت به چندسازه پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب بدون اصلاح کننده ضربه و سازگار کننده نشان مي‌دهد.

مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب در شکل ۶ قابل مشاهده است. افزايش دفعات بازيافت پلي‌پروپيلن به پنج‌بار باعث کاهش معني‌داري (۶۴ درصد) در مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي-آرد چوب نسبت به چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بکر مي‌گردد. همچنين شکل ۶ اثر انواع اصلاح‌کننده ضربه بر مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب را نشان مي‌دهد. اصلاح کننده‌هاي EVA و EPDM به‌طور معني‌داري به ترتيب ۴۸ و ۳۸ درصد مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب را نسبت به چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي بدون اصلاح کننده ضربه و سازگار کننده افزايش مي‌دهند.

همچنين اثر سازگارکننده MAPP بر مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب نيز در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که اين شکل نشان مي‌دهد افزودن MAPP باعث افزايش معني‌داري (۲۰ درصد) در مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب مي‌شود. همچنين در حضور توام MAPP و اصلاح‌کننده ضربه مقاومت به ضربه چندسازه بيشتر افزايش نشان مي‌دهد. مقاومت به

ضربه چندسازه پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب اصلاح شده با EVA و EPDM در حضور MAPP افزايش معني‌داري به ترتيب ٧٢ و ۴۶ درصد نسبت به چندسازه پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب بدون اصلاح‌كننده ضربه و سازگاركننده نشان مي‌دهد.

اطلاعات شكل‌هاى ۵ و ۶ و همچنين آناليز آماري داده‌ها نشان مي‌دهند كه مقاومت به ضربه چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي كمتر از چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي مي‌باشد.



شكل ۶- مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي پلي‌پروپيلن پنج‌بار بازيافتي- آرد چوب
(كدها مطابق شكل ١)

بحث و نتيجه‌گيري

در اين پژوهش اثر اصلاح‌كننده ضربه بر مقاومت به ضربه چندسازه پلي‌پروپيلن بازيافتي- آرد چوب مورد مطالعه قرار گرفت. براي اين منظور پلي‌پروپيلن به‌طور مصنوعي تحت شرايط كنترل شده پنج بار بازيافت شد. نتايج نشان دادند كه افزايش شدت تخريب ترمومكانيكي باعث افزايش شاخص جريان مذاب پلي‌پروپيلن مي‌شود. افزايش شاخص جريان مذاب نشان دهنده كاهش در وزن مولكولي و گرانروى مذاب پليمر در نتيجه تخريب زنجيرهاي پليمري پلي‌پروپيلن طي چرخه‌هاي شديد گرمادهى و تنش بوسيله فرآيند اكستروژن مي‌باشد (Canevarolo, 2000; Rust et al., 2006). كاهش در وزن مولكولي و كاهش طول زنجيره پليمري نيز باعث كاهش مقاومت به ضربه، مدول الاستيسيته و مقاومت خمشي پلي‌پروپيلن بازيافتي مي‌گردد (Rust et al., 2006). نتايج تحقيق Torres et al (2000) نيز نشان داد كه مدول الاستيسيته و مقاومت به ضربه پلي‌اتيلن ترفتالات بازيافتي نسبت به پلي‌اتيلن ترفتالات بكر كمتر است. در صورتي كه نتايج تحقيق Pedroso & Rosa (2005) نشان داد كه بازيافت پلي‌اتيلن سبک باعث افزايش مدول الاستيسيته و سختي آن نسبت به پلي‌اتيلن سبک بكر مي‌گردد. با توجه به اين نكته كه خواص چندسازه (مواد مركب) تحت تأثير اجزاي سازنده آن است، افزايش شدت بازيافت باعث كاهش مقاومت به ضربه، مدول الاستيسيته و مقاومت خمشي پلي‌پروپيلن شده است و در نتيجه آن، خواص مكانيكي چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي نسبت به چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بكر به‌طور معني‌داري كمتر است. اثر بازيافت هم به صورت بهبود و هم به صورت تضعيف كيفيت سطح مشترک و خواص مكانيكى گزارش شده است. شكل ١ نشان مي‌دهد كه مدول الاستيسيته چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي بيشتر

از چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن بكر مي‌باشد كه مقدار اين افزايش معني‌دار نيست. توضيح اينكه افزايش شاخص جريان مذاب می‌تواند سبب دربرگيري بهتر آرد چوب به‌وسيله درشت ملكول پليمر پلي‌پروپيلن گردد (Kazemi-Najafi et al., 2009) و اين پديده باعث افزايش مدول الاستيسيته چندسازه پلي‌پروپيلن دوبار بازيافتي- آرد چوب مي‌شود. نتايج تحقيق Moran و همكاران(۲۰۰۷) نيز نشان داد كه اختلاط بهتر پلي‌پروپيلن بازيافتي و پركننده دليل افزايش مدول الاستيسيته چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي و الياف كتان مي‌باشد.

به‌طور كلي مقاومت به ضربه پلي‌پروپيلن به متوسط وزن مولكولي آن بستگي دارد (Rust et al., 2006). افزايش شاخص جريان مذاب پلي‌پروپيلن طي چند مرحله فرآيند اكستروژن نشان دهنده كاهش در وزن مولكولي پلي‌پروپيلن بازيافتي مي‌باشد. كاهش وزن مولكولي ميزان انتقال تنش در راستاي پيوندهاي كووالانسي را كاهش مي‌دهد و درنتيجه‌ي تشكيل حفره‌هاي ريز در پليمر و افزايش سرعت گسترش و به هم پيوستگي آنها ترک تشكيل مي‌شود (Moran et al., 2007). تشكيل ترک و افزايش سرعت انتشار آن باعث كاهش مقاومت به ضربه در چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي- آرد چوب مي‌گردد.

هر دو نوع اصلاح‌كننده ضربه باعث افزايش مقاومت به ضربه و كاهش خواص خمشي چندسازه پلي‌پروپيلن بازيافتي- آرد چوب شدند. به‌طور كلي ذرات اصلاح‌كننده ضربه در ساختار چندسازه چوب پلاستيک بازيافتي پراكنده شده و انرژي ايجاد شده تحت بار ضربه در چندسازه را با تشكيل و گسترش ترک‌هاي ريز كنترل شده در ساختار خود جذب مي‌كند و باعث افزايش مقاومت به ضربه مي‌گردد (Shakeri et al., 2005). در بين دو نوع اصلاح كننده ضربه، EVA باعث افزايش بيشتر مقاومت به ضربه و كاهش كمتر خواص خمشي چند سازه‌ها شده است. انعطاف پذيري زياد گروه وينيل استات (VA) از يك طرف و ويژگی‌های ساختاری EVA (وجود گروه عاملي استات) كه باعث چسبندگي بهينه آن با زمينه‌هاي قطبي(مانند مواد ليگنوسلولزي) مي‌شود(Dick, 1987) از طرف ديگر؛ سبب مي‌شوند كه مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي اصلاح‌شده با EVA بيشتر از چندسازه‌های اصلاح‌شده با EPDM باشد(Oksuz & Eroglu, 2005). همچنين نتيجه يك تحقيق نشان مي‌دهد كه EVA باعث بهبود سازگاري آرد چوب و ماتريس پليمري مي شود(Fang et al, 2010).

اما همانطور كه مشاهده گرديد استفاده از اصلاح‌كننده‌های ضربه باعث كاهش معني‌داري در مدول الاستيسيته و مقاومت خمشي چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي- آرد چوب اصلاح شده مي‌شود. اصلاح‌كننده‌هاي ضربه به دليل پايين بودن مدول الاستيسيته و مقاومت خمشي باعث كاهش مدول الاستيسيته و مقاومت خمشي در چندسازه‌هاي اصلاح شده مي‌شوند (Oksuz & Eroglu, 2005; Sombatsompop et al., 2005).

براي جبران افت خواص خمشي و بهبود مدول الاستيسيته و مقاومت خمشي چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي- آرد چوب اصلاح شده با EVA و EPDM استفاده از سازگاركننده MAPP مورد توجه قرار گرفت. استفاده از سازگاركننده سبب افزايش مدول الاستيسيته، مقاومت خمشي و مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي بدون اصلاح كننده ضربه گرديد. سازگاركننده MAPP به عنوان يک عامل اتصال دهنده مناسب با ايجاد پيوندهاي كووالانسي و اتصالات هيدروژني بين انيدريدمالئيک و گروه‌هاي عاملي فعال سطح آرد چوب يعني گروه‌هاي هيدروكسيل، سبب بهبود اتصال پلاستيک و ماده ليگنوسلولوزي مي‌شود و سطح مشترک بين پليمر و پركننده را بهبود مي‌بخشد و در نتيجه به ميزان بسيار زيادي از تشكيل ترک‌ها و گسيختگي‌ها در سطح اتصال بين آرد چوب و پلاستيک جلوگيري مي‌كند(Lu et al., 2005; Filex & Gatenholm, 1991; Bledzki & Faruk, 2003). همچنين استفاده از سازگاركننده به‌دليل

افزايش سازگاري بين دو فاز و اصلاح سطح مشترک بين پرکننده و ماده زمينه، باعث کاهش تمرکز تنش در ناحيه سطح مشترک شده و ميزان انرژي لازم جهت ايجاد، شروع و توسعه ترک و در نهايت شکست چندسازه چوب-پلاستيک را افزايش مي‌دهد و تشکيل ترک را به تأخير مي‌اندازد (Chowdhury & Wolcotte, 2007; Hristov & Vasileva, 2004).

استفاده توام اصلاح‌کننده ضربه با سازگارکننده MAPP علاوه بر بهبود مقاومت به ضربه، باعث افزايش و جبران افت مدول الاستيسيته و مقاومت خمشي ناشي از استفاده از اصلاح‌کننده ضربه در چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي-آرد چوب مي‌گردد. تاثير MAPP در بهبود مقاومت به ضربه و خواص خمشي در پلي‌پروپيلن‌هاي دوبار بازيافتي بيشتر از پنج بار بازيافتي بوده است. همچنين با دقت در نتايج مي توان نتيجه گرفت که MAPP در حضور EPDM عملکرد ضعيف‌تري نسبت به EVA در بهبود خواص مورد مطالعه دارد. Oksman & Clemons (1998) ضمن بيان شماتيکي عملکرد اصلاح کننده ضربه در چند سازه پلي پروپيلن آرد چوب، نشان دادند که در حضور EPDM، MAPP باعث بهبود چسبندگي در سطح مشترک آرد چوب و پلي پروپيلن مي شود اما EPDM به‌صورت يک فاز غير پيوسته در داخل ماده زمينه پلي‌پروپيلن باقي مي‌ماند. قابل ذکر است که مقدار افزايش مقاومت به ضربه در چندسازه‌های اصلاح شده با EVA و EPDM به‌طور معني‌داري کمتر از مقاومت به ضربه چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بکر- آرد چوب است.

با توجه به نتايج، به‌طور کلي مي‌توان بيان کرد که اگرچه استفاده از اصلاح کننده ضربه باعث بهبود مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي چوب-پلاستيک ساخته شده از پلي‌پروپيلن‌هاي بازيافتي مي‌شود، در بهترين حالت (استفاده از EVA و MAPP به صورت توام)، مقاومت به ضربه چندسازه‌هاي ساخته شده از پلي‌پروپيلن بازيافتي به‌طور قابل ملاحظه و معني‌داري کمتر از چندسازه ساخته شده از پلي‌پروپيلن بکر مي‌باشد. علاوه براين نبايد تاثير منفي اصلاح‌کننده ضربه بر ساير خواص را از نظر دور داشت. انتخاب اصلاح‌کننده مناسب و استفاده از سازگارکننده‌ها مي‌تواند ضمن بهبود بيشتر مقاومت به ضربه، از کاهش ساير خواص بکاهد.

References

- American Society for Testing and Materials, ASTM D1238 - 98, West Conshohocken, PA USA (2002).
- American Society for Testing and Material, ASTM D 7031-04, West Conshohocken, Pa. 2004.
- American Society for Testing and Material, ASTM D256- 90b, West Conshohocken, Pa. USA. (1990).
- Bledzki, A. K. and Faruk, O. 2003.Wood Fiber Reinforced Polypropylene Composites: Effect of Fiber Geometry and Coupling Agent on Physico-Mechanical Properties, Applied Composite Materials Vol. 10**.** 15pp.
- Canevarolo, S.V. 2000. Chain scission distribution function for polypropylene degradation during multiple extrusions. Polymer Degradation and Stability, Vol. 70(1). 6pp.
- Chowdhury A. and Wolcott P. 2007. Compatibilizer selection to improve mechanical and moisture properties of extruded wood-HDPE composites, Forest Products Journal, Vol. 57(9). 8pp.
- Dick J. S., Compounding Materials for the Polymer Industries, 1987 (Translated by Amirkhizi M. H., Persian, 1-417, Isfahan University of Technology, 2001.
- Fang, L. D., Li, L., and , Zhang L. J., 2010 Preliminary study of the effects of EVA coupling agents on properties of wood-plastic composites, Forestry Studies in China, Vol. 12(2). 5pp.
- Ghahri, S., Kazemi Najafi, S., Mohebby, B., and Tajvidi, M. 2011. Impact strength improvement of wood flour-recycled polypropylene composites, Journal of Applied Polymer Science, DOI: 10.1002/app.34015
- Hristov V. N. and Vasileva S. T. 2004. Deformation Mechanisms and Mechanical Properties of Modified Polypropylene/Wood Fiber Composites, Polymer composite, Vol. 25(5), 6pp.
-Filex, J. M., and P. Gatenholm. 1991. The nature of adhesion in composites of modified cellulose fibers and polypropylene, Journal of Applied Polymer Science Vol. 42. 12pp.

- Jafari S.H. and Gupta A. 2000. Impact strength and Dynamic Mechanical Properties Correlation in Elastomer-Modified Polypropylene, Applied Polymer Science Journal, Vol. 78: 10pp.
- Kamdem D. P., Jiang H, Cui W, Freed J. and Matuana LM. 2004. Properties of wood plastic composites made of recycled HDPE and wood flour from CCA-treated wood removed from service. Composites. Part A Vol. 35. 9pp.
- Kazemi Najafi S., Hamidinia E. and Tajvidi M. 2006. Mechanical properties of composites from sawdust and recycled plastics, Journal of Applied Polymer Science 100:3641–3645.
- Kazemi Najafi S, Mostafazadeh-Marznaaki, M., Chaharmahali M. and Tajvidi M. 2009. Effect of Thermomehcanical Degradation of Polypropylene on Mechanical properties of Wood-Polypropylene Composites., Journal of Composite Material, Vol. 43. 12pp.
- Lu J. Z., Negulescu, I. and Wu, Q. 2005.Maleated wood-fiber/high-density-polyethylene composites: Coupling mechanisms and interfacial characterization, *Composites Interface* Vol.12. 16pp.
- 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.
- Maciel A., Del Real A., Garcia Garduño M. V., Oliva E., Manero O. and Castaño V. M. 1996. Morphology and Elastic Properties of PP/EVA Polymer Blends, Polymer International, Vol. 41(3). 10pp.
- Moran, J., Alvarez, V., Petrucci, R. Kenny, J. and Vazquez, A. 2007. Mechanical Properties of Polypropylene Composites Based on Natural Fibers Subjected to Multiple Extrusion Cycles, Journal of Applied Polymer Science, Vol.103. 10pp.
- Oksman K. and Clemons C. 1998. Mechanical Properties and Morphology of Impact Modified Polypropylene-Wood Flour Composites, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 67. 11pp.
- Oksuz M. and Eroglu M. 2005. Effect of the Elastomer Type on the Microstructure and Mechanical Properties of Polypropylene, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 98. 6pp.
- Pedroso, A. G. and Rosa D. S. 2005. Mechanical, thermal and morphological characterization of recycled LDPE/corn starch blends, Carbohydrate Polymers, Vol. 59. 9pp.
- Prachayawarakorn J. and Yaembunying N. 2005. Effect of recycling on properties of Rice husk-filled-polypropylene, Journal of Science and Technology, Vol. 27 (2). 10pp.
- Rust N., Ferg E, E. and Masalova I. 2006. A degradation study of isotactic virgin and recycled polypropylene used in lead acid battery casings, Polymer Testing Vol. 25. 10pp.
- Shakeri, A., Hoseini, S.K., Ebrahimi Gh., 2005. Improvement in Mechanical Properties of Cellulose Fibers- Thermoplastic Polymer Composites, Iranian Polymer Journal, Vol. 3. 8pp.
- Sombatsompop N., Yotinwattanakumtorn C. and Thong pin C. 2005. Influence of Type and Concentration of Maleic Anhydride Grafted Polypropylene and Impact Modifiers on Mechanical Properties of PP/Wood Sawdust Composites, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 97. 10pp.
- Tjong S.C., Xu S.A. and Mai Y.W. 2003. Process-Structure-Property Relationship in Ternary Short-Glass-Fiber/Elastomer/Polypropylene Composites, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 88. 9pp.
- Torres, N., Robin, J. J. and Boutevin, B. 2000. Study of thermal and mechanical properties of virgin and recycled poly (ethylene terephthalate) before and after injection molding, European Polymer Journal, Vol. 36(10). 6pp.
- Yazdani H., Morshedian J. and Khonakdar H.A. 2006. Effect of Maleated Polypropylene and Impact Modifiers on the Morphology and Mechanical Properties of PP/Mica Composites, Polymer Composites Journal, Vol. 27(6). 7 pp.
- Youngquist J. A., Myers G. E., Muehl J. H., Krzysik A. M. 1994. Clemens C. M., Composites from recycled wood and plastics. USDA Forest Service, Forest Product Laboratory, Madison, W53705–2398.

The Effect of Impact Modifier on Impact Strength of Recycled Polypropylene- Wood Flour Composites

S. Ghahri[1], S. Kazemi-Najafi[*2] and B. Mohebby[2]
M.Sc. Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran
[2] Associate Prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran
(Received: 04 July 2010, Accepted: 24 October 2011)

Abstract

In this study, the influence of two types of impact modifier on impact strength of recycled polypropylene (PP) - wood flour composites was evaluated. For this purpose, a virgin PP was thermo-mechanically degraded by five extrusion cycles under controlled conditions in a twin-screw extruder at the rotor speed of 100 rpm and temperature of 190°C. The PP (virgin and recycled polypropylene after 2nd and 5th cycles) and wood flour were compounded at 50% ($w/_w$) wood flour loading in a counter-rotating twin-screw extruder in the presence of different impact modifiers to produce wood flour-PP composites. Ethylene vinyl acetate (EVA) and ethylene-propylene-diene monomer (EPDM) were used as impact modifiers. The results showed that composites containing recycled PP exhibited significantly lower impact strengths. Both impact modifiers increased the impact strength of the PP/WF composites but the addition of EVA resulted in the greatest improvements in impact strength. The composites containing virgin PP exhibited higher impact strengths than those containing recycled PP and EVA.

Keywords: Thermo-mechanical degradation; impact modifier; recycled polypropylene- wood flour composites

*Corresponding author: Tel: +98 911 1212148 Fax: +98 122 6253499 E-mail: skazemi@modares.ac.ir