Archive of SID

JARC

مطالعه اثر عامل جفت کننده ایزوسیانات بر ویژگی های فیزیکی و مکانیکی چندسازه پلی اتیلن سنگین – الیاف کارتن کهنه

آرش رشنو*[۱و]، سید محمدجواد سپیده دم[۲]، شروین احمدی[۳]، احمد جهان لتیباری[۴] و روح اله محبی[۵]

۱– کارشناس ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، البرز، ایران
۲– استادیار علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، البرز، ایران
۳– استادیار پلاستیک، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران
۴– دانشیار علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، البرز، ایران
۵– کارشناس ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، البرز، ایران

دریافت: اسفند ۱۳۹۰، بازنگری: اردیبهشت ۱۳۹۱، پذیرش: خرداد ۱۳۹۱

چکیده: در این پژوهش اثر افزودن جفت‌کننده ایزوسیانات (هگزا متیلن دی ایزوسیانات) بر روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چند سازه الیاف به‌دست آمده از کارتن کهنه / پلی‌اتیلن سنگین بررسی شده است. مخلوط شدن مواد، در اکسترودر دو مارپیچه ناهمسوگرد انجام گرفت؛ سپس از دستگاه قالب‌گیری تزریقی برای ساخت نمونه‌های آزمونی استفاده شد. ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های آزمونی چند سازه شامل مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مدول یانگ، مدول خمشی، مقاومت به ضربه، درصد ازدیاد طول، سختی و جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمون‌های مکانیکی نشان دادند که با افزودن جفت‌کننده بر پایه ایزوسیانات، تمام ویژگی‌های مکانیکی به جز مقاومت به ضربه افزایش می‌یابند. همچنین در اثر افزودن جفت‌کننده، جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت کاهش یافت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی نشان داد که افزودن جفت‌کننده هگزا متیلن دی ایزوسیانات سبب بهبود چسبندگی بین پلیمر و الیاف حاصل از کارتن کهنه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: چند سازه، الیاف کارتن کهنه، پلی‌اتیلن سنگین، جفت‌کننده ایزوسیانات، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

مقدمه

در سال‌های اخیر، استفاده از الیاف سلولزی به عنوان پرکننده در ساخت چندسازه چوب پلاستیک مورد توجه پژوهشگران و صاحبان صنایع قرار گرفته است [۱]. یکی از مواد فیبری قابل دسترس برای ساخت چند سازه چوب پلاستیک، کارتن‌های مورد استفاده در بخش بسته‌بندی هستند که از پرمصرف‌ترین انواع کاغذها به شمار می‌آیند. میزان تولید و مصرف این نوع مقوا در جهان با توجه به انعطاف پذیری مناسب آن در کاربردهای روزمره مثل ساخت جعبه‌های حمل و نقل مواد غذایی، به سرعت افزایش یافته است. تولید کارتن کهنه در جهان از ۳۶ هزار تن در سال ۱۹۷۰ به طور صعودی به یک میلیون و هفتصد هزار تن در سال ۱۹۹۸ رسیده است [۲]. الیاف سلولزی دارای مزایایی مانند چگالی پایین، ارزان بودن و زیست سازگاری هستند، با این حال پلاستیک‌ها به دلیل ماهیت غیرقطبی خود با مواد سلولزی که

*عهده‌دار مکاتبات: arashrashno@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

ماهیت قطبی دارند سازگاری نداشته و چسبندگی ضعیفی بین آن‌ها برقرار می‌شود. از این‌رو با افزایش درصد مواد سلولزی، مقاومت‌های مکانیکی به شدت افت می‌کند. عوامل جفت‌کننده، افزودنی‌هایی هستند که با مواد سلولزی و همچنین پلاستیک‌ها سازگاری داشته و قابلیت واکنش با سطح چوب را دارا هستند این امر سبب می‌شود تا سطح مشترک بستر پلیمر و ماده سلولزی افزایش یافته و ویژگی‌های مکانیکی بهبود یابند [۳]. نتیجه پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهند که استفاده از جفت‌کننده پلی‌پروپیلن گرافت شده با مالئیک انیدرید باعث بهبود قابل توجه اتصال بین الیاف سلولزی و بستر پلیمر می‌شود [۴ و ۵]. نتیجه‌های Keener و همکاران نشان می‌دهد که افزودن مقدار ۳ درصدی جفت‌کننده پلی‌اتیلن گرافت شده با مالئیک انیدرید باعث بهبود مقاومت کششی و مقاومت به ضربه می‌شود [۶]. ایزوسیانات‌ها یکی از جفت‌کننده‌های مورد استفاده در ساخت چندسازه چوب پلاستیک است. ایزوسیانات‌ها چندین گروه هستند که شامل: اتیل ایزوسیانات (EIC)، هگزا متیلن دی ایزوسیانات (HMDI)، پلی‌اتیلن پلی‌فنیل ایزوسیانات (PEPPI)، پلی‌متیلن پلی‌فنیل ایزوسیانات (PMPPIC)، تولوئن دی ایزوسیانات (TDI) هستند [۷]. پژوهش‌هایی در زمینه استفاده از جفت‌کننده‌های ایزوسیاناتی بر چندسازه چوب پلاستیک انجام گرفته است. اثر جفت‌کننده‌های ایزوسیاناتی مانند PBNCO، ODI، TDI، MDI بر چندسازه چوب پلاستیک نشان می‌دهند که افزودن این جفت‌کننده‌ها باعث بهبود ویژگی‌های مکانیکی می‌شود [۳ و ۸ تا ۱۱]. اما به نظر می‌رسد که در زمینه اثر جفت‌کننده هگزا متیلن دی ایزوسیانات (HMDI) بر ویژگی‌های چندسازه چوب پلاستیک پژوهشی صورت نگرفته است.

در این پژوهش با انتخاب الیاف کارتن کهنه به عنوان پرکننده سلولزی و تاثیر افزودن مقادیر متفاوت جفت‌کننده هگزا متیلن دی ایزوسیانات بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک بررسی شده است.

بخش تجربی

در این پژوهش از گرانول پلی‌اتیلن سنگین با چگالی ۰٫۹۵ g/cm^3 و شاخص جریان مذاب ۱۰ min / ۱۸ g و کد HD-5218 UA ساخت مجتمع پتروشیمی تبریز استفاده شد. ماده جفت‌کننده مورد استفاده، هگزا متیلن دی ایزوسیانات (HMDI) ساخت شرکت Rodia با نام تجاری Tolonate 75N بوده است. به منظور رقیق کردن جفت‌کننده از استون با درجه خلوص ۹۹٪ ساخت شرکت Merck استفاده شد. همچنین از کارتن کهنه به عنوان الیاف سلولزی (با طول الیاف ۱٫۰۶ میلی‌متر) استفاده شد.

دستگاه‌ها

در این پژوهش، اکسترودر دومارپیچه ناهمسوگرد Collin مدل ZK5O با قطر مارپیچ ۵۰ میلیمتر، دستگاه تزریق ساخت شرکت ایمن ماشین، دستگاه Instron 4486 برای آزمون کشش و خمش، دستگاه آزمون ضربه ایزود Santam مدل SILT20D، دستگاه‌اندازه‌گیری سختی Santam و میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل XL30 ساخت شرکت Philips مورد استفاده قرار گرفتند.

طرز تهیه نمونه‌ها

جدول ۱ مقدار مواد (براساس درصد وزنی) مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها را نشان می‌دهد. کارتن کهنه از سطح شهر کرج جمع آوری و مراحل تمیزسازی، آماده سازی و جداسازی الیاف بر روی آن انجام شد. سپس برای رسیدن رطوبت آن‌ها به زیر ۳ درصد در دمای ۱۰۳±۲ °C الیاف به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار داده شدند. الیاف به دست آمده تا زمان مصرف جهت جلوگیری از جذب رطوبت، درون کیسه‌های پلاستیکی نگهداری شدند. برای رقیق کردن جفت‌کننده از استون استفاده شد. برای هر نمونه در مجموع ۱۵۰گرم محلول جفت‌کننده و استون در نظر گرفته شد که برای نمونه‌های با ۴٪ جفت‌کننده ۱۶ گرم جفت‌کننده و ۱۳۴ گرم استون در نظر گرفته شد و برای نمونه‌های با ۲ درصد جفت‌کننده ۸ گرم جفت‌کننده و ۱۴۲ گرم استون استفاده شد و سپس محلول تهیه شده به کیسه پلاستیکی حاوی الیاف هر نمونه افزوده شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه، تمام الیاف به محلول جفت‌کننده و استون آغشته شدند و پس از مخلوط شدن جفت‌کننده و الیاف، نمونه‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

در دمای ۸۰ °C به مدت ۲ ساعت در آون خلا قرار داده شدند.

جدول ۱ مقدارهای تشکیل دهنده نمونه‌ها براساس درصد وزنی (مبناء وزن خشک)

کد نمونه	HMDI (٪)	HDPE (٪)	الیاف کارتن کهنه (٪)
H0	۰	۷۰	۳۰
H2	۲	۶۸	۳۰
H4	۴	۶۶	۳۰
HDPE	۰	۱۰۰	۰

برای مخلوط شدن مواد از دستگاه اکسترودر دو مارپیچه ناهمسوگرد با پروفیل دمای ۱۵۲ °C–۱۵۰–۱۶۲–۱۶۰–۱۶۵–۱۷۰ و سرعت چرخش ۸۰ rpm استفاده شد. مخلوط گرانول‌های تولید شده در دستگاه اکسترودر دو مارپیچه به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۸۰ °C نگهداری و پس از آن برای جلوگیری از جذب رطوبت در کیسه‌های پلاستیکی نگهداری شدند. برای تهیه نمونه‌های آزمونی، از دستگاه قالب‌گیری تزریقی با دمای ۱۶۰ °C استفاده شد.

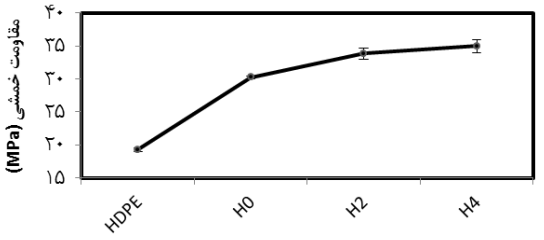
اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی

برای بررسی کیفیت نمونه‌های تولیدی آزمایشگاهی و ارزیابی تأثیر جفت‌کننده، آزمون‌های مقاومت به کشش براساس دستورالعمل ASTM D638، مقاومت خمشی براساس دستورالعمل ASTM D790 با سرعت بارگذاری ۵ mm/min انجام شدند. همچنین مقاومت به ضربه فاق‌دار به روش ایزود براساس دستورالعمل ASTM D256، سختی طبق دستورالعمل ASTM D2240 و جذب آب طبق دستورالعمل ASTM D570 پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب انجام شد.

نتیجه‌ها و بحث

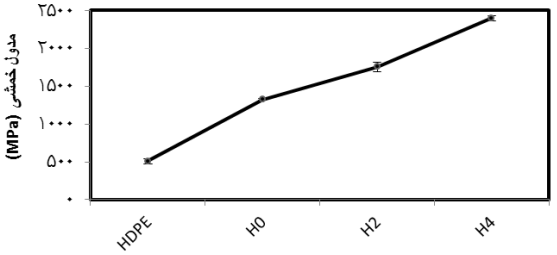
ویژگی‌های خمشی

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود افزودن جفت‌کننده هگزا متیلن دی ایزوسیانات باعث افزایش مقاومت خمشی شده است. افزودن الیاف کارتن کهنه نیز باعث افزایش مقاومت خمشی شده است. افزودن الیاف سلولزی به بستر سبب تقویت پلیمر و در نتیجه افزایش سفتی چندسازه می‌شود [۱۲].



شکل ۱ تأثیر مقدار جفت‌کننده بر مقاومت خمشی

نتیجه‌های به دست آمده نشان می‌دهند که افزودن مقدار ۴ درصد جفت‌کننده به ترکیب چندسازه باعث افزایش مقاومت خمشی به میزان ۱۳ درصد شده است. افزودن جفت‌کننده سبب افزایش سازگاری بین پلیمر و الیاف کارتن کهنه و توزیع بهتر الیاف در بستر پلیمر می‌شود. مشاهده‌های مشابهی به‌وسیله Girone`s و همکاران گزارش شده است [۸ و ۹]. همچنین مدول خمشی چندسازه در اثر افزودن جفت‌کننده، افزایش یافته است (شکل ۲). نتیجه‌ها نشان می‌دهد که افزودن ۴ درصد جفت کننده، باعث افزایش مدول خمشی به میزان ۴۵ درصد شده است. افزایش چسبندگی بین الیاف سلولزی و بستر پلیمر سبب افزایش انتقال تنش از بستر پلیمر به الیاف سلولزی می‌شود که باعث افزایش تنش در هنگام شکست و افزایش ویژگی‌های خمشی چندسازه می‌شود [۳]. افزودن الیاف کارتن کهنه نیز باعث افزایش مدول خمشی شده است.



شکل ۲ تأثیر مقدار جفت‌کننده بر مدول خمشی

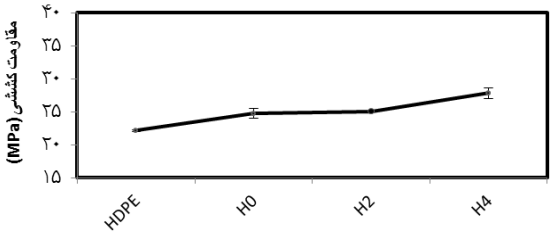
ویژگی‌های کششی

نتیجه‌ها نشان می‌دهند که افزودن جفت‌کننده هگزا متیلن دی ایزوسیانات باعث افزایش مقاومت کششی شده است

www.SID.ir

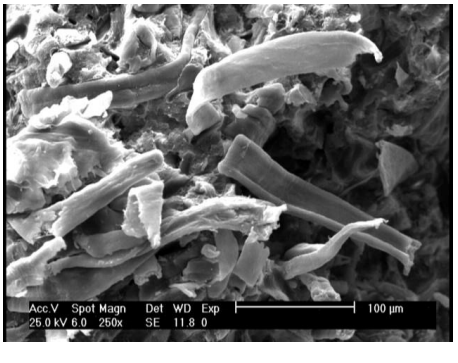
Archive of SID

(شکل ۳). افزایش مقدار جفت‌کننده هگزا متیلن دی ایزوسیانات باعث بهبود چسبندگی بستر پلیمری– الیاف و درنتیجه افزایش مقاومت کششی چندسازه شده است. به نظر می‌رسد با توجه به نتایج گزارشات سایر پژوهشگران افزایش بلورینگی در اثر افزایش مقدار جفت‌کننده نیز منجر به افزایش مقاومت کششی می‌شود [۱۳ و ۱۴].



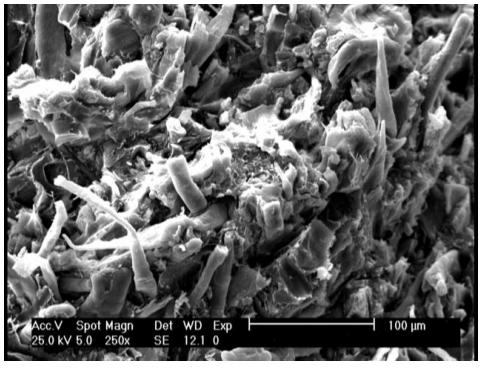
شکل ۳ تأثیر مقدار جفت‌کننده بر مقاومت کششی نمونه‌ها

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود پس از شکست نمونه بدون جفت‌کننده فواصل و حفره‌هایی در نمونه ایجاد شده است که بیانگر خروج الیاف کارتن کهنه از سطح بستر پلی اتیلن سنگین است. این رفتار به واسطه اتصال ضعیف بین بستر پلیمر و الیاف کارتن کهنه است.



شکل ۴ تصویر شکست سطح نمونه‌های کششی (نمونه بدون جفت‌کننده)

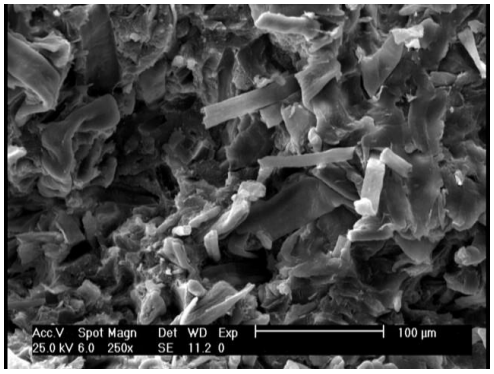
همچنین شکل ۵، نمایی از سطح شکست نمونه حاوی ۲ درصد جفت‌کننده را نشان می‌دهد. الیاف تا حدودی به‌وسیله‌ی بستر پلیمر احاطه شده‌اند و چسبندگی بین فازی تا حدودی بهبود یافته است و در نتیجه خروج الیاف از سطح بستر پلیمری کمتر مشاهده می شود. البته در این تصویر نیز حفره‌هایی دیده می‌شود.



شکل ۵ تصویر شکست سطح نمونه‌های کششی

(نمونه حاوی ۲٪ جفت‌کننده)

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود نمونه حاوی ۴٪ جفت‌کننده دارای حفرات کمتر و بیرون زدگی کمتر الیاف، از سطح پلیمر است.



شکل ۶ تصویر شکست سطح نمونه‌های کششی

(نمونه حاوی ۴٪ جفت‌کننده)

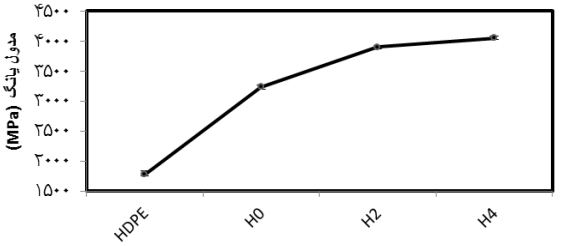
شکل‌های ۴ الی ۶ نشان دهنده این نکته است که افزایش جفت‌کننده هگزا متیلن دی ایزوسیانات سبب بهبود چسبندگی بستر– الیاف شده و در فرایند شکست به جای خروج الیاف از بستر که در نمونه بدون جفت‌کننده (شکل ۴) مشخص بود به شکست الیاف تغییر یافته است.

همچنین افزودن جفت‌کننده باعث افزایش مقدار مدول یانگ شد (شکل ۷) این روند در گزارش‌های Girone`s و همکارانش نیز دیده شده است [۸ و ۹]. جفت‌کننده می‌تواند ضمن تقویت چسبندگی بستر به پرکننده، سبب تغییر ریخت زنجیرهای پلیمر

www.SID.ir

Archive of SID

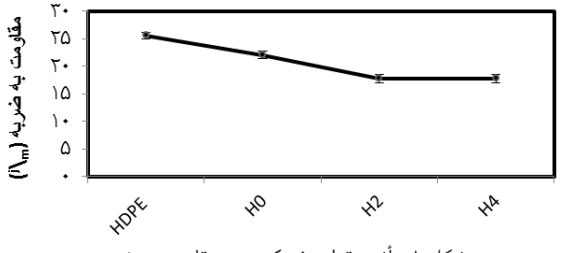
در فصل مشترک پلیمر- الیاف شود. نتیجه‌های Mueller و همکارانش نشان می‌دهد که افزودن ۲ درصد جفت‌کننده باعث تغییر چشمگیری در بلورینگی پلیمر و در نتیجه افزایش مدول چندسازه می‌شود [۱۵].



شکل ۷ تأثیر مقدار جفت‌کننده بر مدول یانگ

مقاومت به ضربه

افزودن الیاف کارتن کهنه به پلی‌اتیلن سنگین باعث کاهش مقاومت به ضربه چندسازه شده است. تردی و شکنندگی الیاف سلولزی و کاهش چقرمگی باعث کاهش مقاومت به ضربه چندسازه شده است (شکل ۸). افزودن جفت‌کننده ایزوسیانات نیز سبب کاهش مقاومت به ضربه چندسازه شده است.

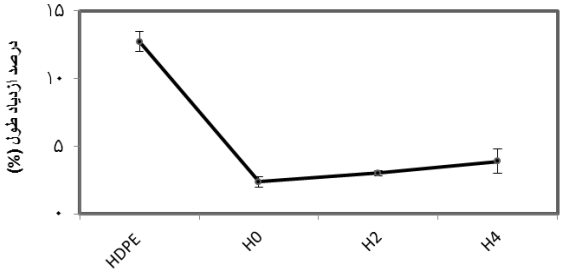


شکل ۸ تأثیر مقدار جفت‌کننده بر مقاومت به ضربه

کاهش مقاومت به ضربه با افزودن جفت‌کننده هگزا متیلن دی ایزوسیانات، به دلیل کاهش میزان ترک‌های ایجاد شده در حین اعمال ضربه و در نتیجه کاهش اتلاف انرژی ضربه از طریق مکانیزم ایجاد ترک و همچنین افزایش سطح تماس پرکننده- بستر به واسطه بهبود چسبندگی پرکننده- بستر بوده است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، نمونه بدون جفت‌کننده دارای مقاومت به ضربه بالاتری نسبت به نمونه‌های دارای جفت‌کننده است که این امر ناشی از پیوند ضعیف بین الیاف کارتن کهنه و بستر پلی‌اتیلن سنگین است که باعث مقاومت به ضربه بیشتر شده است. در واقع چسبندگی تا حدودی ضعیف تر برای رسیدن به مقاومت به ضربه بالاتر مطلوب تر است. چسبندگی مناسب باعث شکست ناگهانی الیاف در حین اعمال نیرو و جذب مقدار کمتر انرژی به‌وسیله‌ی چندسازه شده است [۱۵]. نتیجه‌های Karmarkar و همکارانش نشان می‌دهند که افزودن جفت‌کننده ایزوسیاناتی m-TMI، باعث کاهش مقاومت به ضربه می‌شود [۳]. در نگاهی کلی کم بودن مقاومت به ضربه چندسازه‌های چوب پلاستیک نقص به شمار می‌آیند و افزودن به تنهایی جفت‌کننده ایزوسیاناتی نیز باعث افزایش مقاومت به ضربه در چندسازه نشده است. برای رفع این مشکل می‌توان از اصلاح کننده‌های ضربه استفاده کرد [۱۰].

درصد ازدیاد طول

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود افزودن الیاف کارتن کهنه به پلی‌اتیلن سنگین باعث کاهش چشمگیر درصد ازدیاد طولی شده است. این رفتار توسط بسیاری از پژوهشگران گزارش شده است [۳]. به طور کلی با افزودن الیاف سلولزی به عنوان پرکننده به پلی‌اتیلن سنگین، درصد ازدیاد طول کاهش می‌یابد. ماهیت الیاف سلولزی به نحوی است که رفتار تنش-کرنش پلی‌اتیلن سنگین را از حالت چقرمه به حالت شکننده تبدیل می‌کند. افزودن جفت‌کننده هگزا متیلن دی ایزوسیانات نیز باعث افزایش درصد ازدیاد طول شده که ناشی از بهبود چسبندگی الیاف و بستر پلیمر است.



شکل ۹ تأثیر مقدار جفت‌کننده بر درصد ازدیاد طول

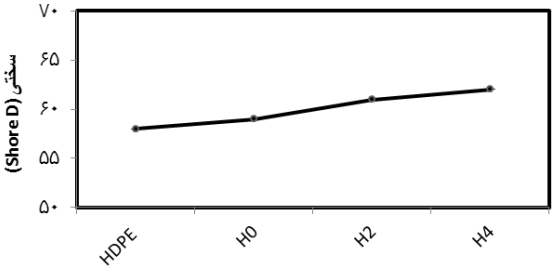
سختی

سختی معیاری از مهاجرت الیاف سلولزی به سطح نمونه یا

www.SID.ir

Archive of SID

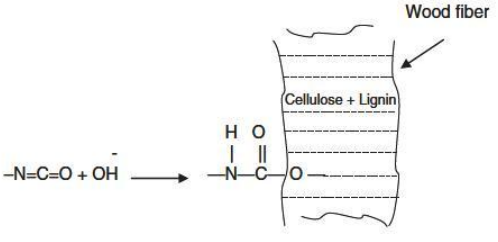
افزایش نسبت حجم به سطح الیاف سلولزی است. افزودن جفت‌کننده هگزا متیلن دی ایزوسیانات باعث افزایش سختی چندسازه شده است (شکل ۱۰) که ناشی از بهبود اتصال در سطح مشترک بستر پلیمر و الیاف کارتن کهنه و در نتیجه توزیع مناسب تر الیاف در بستر پلیمری است. بهبود سختی می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های نهایی چندسازه مثل خش پذیری شود.



شکل ۱۰ تأثیر مقدار جفت‌کننده بر سختی

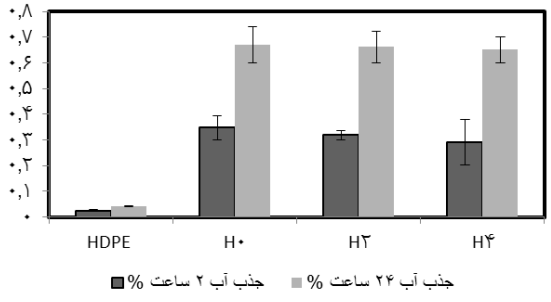
جذب آب

با افزودن مقدار جفت‌کننده هگزا متیلن دی ایزوسیانات، جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت نمونه‌ها کاهش یافته است. افزودن جفت‌کننده باعث پوشش فضاهای خالی و سطح الیاف که دارای عوامل قطبی هستند، شده است و در نتیجه از میزان جذب آب چندسازه کاسته شده است. همچنین واکنش گروه‌های هیدروکسیل سطح الیاف با گروه‌های NCO– جفت‌کننده، باعث کاهش گروه‌های هیدروکسیل و کاهش آب‌دوستی سطح الیاف می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱ واکنش بین الیاف سلولزی با جفت‌کننده ایزوسیانات [۱۰].

کمترین میزان جذب آب مربوط به نمونه پلی‌اتیلن سنگین خالص و بیشترین میزان جذب آب مربوط به نمونه بدون جفت‌کننده بوده است. شکل ۱۲ جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت نمونه‌های متفاوت را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲ تأثیر جفت‌کننده بر جذب آب

نتیجه‌گیری

با افزودن جفت‌کننده هگزا متیلن دی ایزوسیانات ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مانند مدول یانگ، مدول خمشی، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، درصد ازدیاد طول، سختی و جذب آب بهبود یافته است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش مقدار جفت‌کننده باعث پراکندگی بهتر الیاف در سطح بستر پلیمر و بهبود چسبندگی بین الیاف کارتن کهنه و بستر پلیمر می‌شود. جفت‌کننده می‌تواند ضمن تقویت چسبندگی بستر به پرکننده، سبب تغییر ریخت زنجیرهای پلیمر در فصل مشترک پلیمر– الیاف شود. همچنین افزودن جفت‌کننده سبب کاهش مقاومت به ضربه شده است. نمونه بدون جفت‌کننده دارای مقاومت به ضربه بالاتری نسبت به نمونه‌های دارای جفت‌کننده است. در واقع چسبندگی تا حدودی ضعیف تر برای رسیدن به مقاومت به ضربه بالاتر مطلوب تر است. تصاویر سطح شکست نمونه‌های کششی نشان می‌دهد که اتصال بین الیاف کارتن کهنه و بستر پلیمر بهبود یافته است.

مراجع

[1] Basiji, F., Safdari, V., Nourbakhsh, A. and Pilla, S.; J. Turk Agric For, 34, 191-196, 2010.

[2] Anonymous; New Developments in molded pulp processes and packaging, IMPEPA Report; Chicago, Illinois USA, 20-24 Jun, 2001.

[3] Karmarkar, A., Chauhan, S.S., Modak, J.M., Chanda, M.; Composites Part A, 38, 227-233, 2007.

[4] Mahalberg, R., Paajanen, L., Nurmi, A.,

www.SID.ir

Archive of SID
آرش رشنو و همکاران

Kivisto, A., Koskela, K., Rowell, R.M.; Holz als Roh- und Werkstoff, 59,319–26, 2001.

[5] Li, H., Law, S., Sain, M.; J Reinforced Plastics Compos; 23(11), 1153–8, 2004.

[6] Keener, T.J., Stuart, R.K., Brown, T.K.; Composites: Part A, 35, 357–62, 2004.

[7] Gacitua, W. and Wolcott, M.; A method for studying the wood-plastic interaction. Part I; Mechanical interlocking 8th International Conference on woodfiber-plastic composites (and other natural fiber); Madison; Wisconsin USA; May, 23-25, 2005.

[8] Girone`s, J., Pimenta, M. T. B., Vilaseca, F., Carvalho, A. J. F., Mutje, P. and Curvelo; Carbohydrate Polymers, 68, 537–543, 2007.

[9] Girone`s, J., Vilaseca, F., Carvalho, A.J.F.; Carbohydrate Polymers, 74, 106–113, 2008.

[10] Nourbakhsh, A., Kokta, B., Ashori, A., Jahan-Latibari, A.; Journal of Reinforced Plastics and Composites, 27, 16-17, 2008.

[11] Xu, Min, LI, Shuai; Higher Education Press and Springer-Verlag, 2, 347–349, 2007.

[12] Stark, N.M., Rowlands, R.E.; Wood Fiber Sci. 35(2), 167–74, 2003.

[13] Sirisinha, K., Meksawat, D.; J Appl Polym Sci. 93(3), 1179–85, 2004.

[14] Jiao, C., Wang, Z., Liang, X., Hu, Y.; Polym Test, 24(1), 71–80, 2005.

[15] Mueller, D.H., Krobjilowski, A.; J Industrial Text, 33(2), 111–30, 2003.

www.SID.ir