



بررسی اثر اصلاح ایزوسیاناتی الیاف چوب بر روی خواص فیزیکی-مکانیکی و نمودار گشتاور سنجی کامپوزیت چوب- پلی اتیلن

فرشته ارجمند^۱، محمد برمر^{۲*} و مهدی باریکانی^۳

^۱ کارشناس ارشد، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

^۲ دانشیار، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

^۳ استاد، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

چکیده

کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک دارای کاربردهای زیادی در صنایع خودرو، ساختمان و مبلمان می‌باشند. اما اغلب پلیمرها بخصوص ترموپلاستیک‌ها موادی غیرقطبی بوده و با الیاف قطبی چوب ناسازگارند. این پدیده منجر به چسبندگی ضعیف در فصل مشترک الیاف و ماتریس می‌گردد. هدف از این تحقیق، بهبود چسبندگی میان الیاف و ماتریس، از طریق اصلاح شیمیایی سطح الیاف می‌باشد. بدین منظور، از تولوئن دی ایزو سیانات جهت فعال‌سازی سطح الیاف استفاده شد و در مرحله بعد جهت تشکیل یک ساختار هسته-پوسته مانند، الیاف فعال شده، با ستیل الکل وارد واکنش گردید. جهت بررسی اثر اصلاح، کامپوزیت‌هایی حاوی ۳۰٪ وزنی الیاف، در سه نوع اصلاح نشده و اصلاح شده با ۱۰٪ و ۲۰٪ وزنی عوامل اصلاح، تهیه شد. نتایج حاصل از آزمون کشش (مدول، استحکام، تنش تسلیم و ازدیاد طول تا تسلیم)، جذب آب و نمودار گشتاور سنجی به صورت تابعی از درصد اصلاح بررسی گردید و بهبود فصل مشترک کامپوزیت‌ها نیز به وسیله تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی دنبال شد. نتایج نشان داد که با افزایش درصد اصلاح مقدار مدول، استحکام و تنش تسلیم افزایش یافته و جذب آب کاهش می‌یابد ولی بر ازدیاد طول تا تسلیم تاثیر چندانی ندارد. تصاویر نیز بیانگر بهبود فصل مشترک کامپوزیت‌ها می‌باشد.

کلمات کلیدی: کامپوزیت؛ چوب؛ تولوئن دی ایزو سیانات؛ ستیل الکل؛ خواص کششی؛ پلی اتیلن.

۱- مقدمه

مواد پلاستیکی، از پلی اولفین‌ها تا پی وی سی^۲ و برای مواد پرکننده از پودر چوب تا الیاف کتان را شامل می‌شود. این کامپوزیت جدید، مفهوم کامپوزیت چوب را از معنای متداول

واژه WPC^۱ به معنای ترکیب چوب و پلاستیک، گستره وسیعی از مواد کامپوزیتی را در بر می‌گیرد. این محدوده برای

^۲ PVC (Polyvinyl chloride)

^۱ Wood Plastic Composite

اشاره نمود [۱۴-۱۶]. همچنین بسیاری از دانشمندان در صدد برآمدند تا سازوکار عملکرد این سازگار کننده‌ها را با استفاده از طیف سنجی زیر قرمز و فرابنفش و نیز تفرق اشعه ایکس مورد بررسی قرار دهند [۱۶ و ۱۷]. از دیگر روش‌های شیمیایی اصلاح الیاف، واکنش با ایزوسیانات‌ها بوده که موثرترین روش در اصلاح الیاف می باشد، در این زمینه ژوزف^۵ و همکاران، اثرات تخریب ناشی از محیط را بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی، در کامپوزیت‌های رزین پلی پروپیلن تقویت شده با الیاف سیسال که با پلی متیلن پلی فنیل ایزو سیانات^۶ اصلاح شده بودند را مورد بررسی قرار دادند [۱۸]. کاردیاس ویلیامز^۷ و همکاران، اثر اصلاح ایزوسیاناتی الیاف کاج را در کاهش میزان آب جذب شده توسط الیاف و در نتیجه جلوگیری از پوسیدگی آن‌ها بررسی کردند [۱۹].

هدف از انجام این تحقیق، اصلاح سطح الیاف چوب به منظور آب گریز کردن آن‌ها و در نهایت، کاربردشان در کامپوزیت‌های چوب-پلی اتیلن می باشد. بر این اساس، در این پژوهش از تولوئن دی ایزو سیانات (TDI) جهت فعال سازی سطح الیاف چوب به منظور واکنش آن با ستیل الکل استفاده گردید. به این ترتیب، به گروه‌های هیدروکسیل سطح الیاف یک زنجیر هیدروکربنی بلند اتصال یافته و الیاف چوب از حالت آب دوست به آب گریز تبدیل می گردد. به منظور بررسی اثر اصلاح الیاف بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت حاصل، از آزمون‌هایی همچون کشش و جذب آب استفاده گردید. در انتها جهت مشاهده سطح شکست، از تصاویر گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. از دیگر اهداف این تحقیق استفاده از ضایعات چوبی غیر قابل اجتناب، در کارخانه ساخت ام دی اف، به منظور مواد اولیه مورد استفاده در تولید کامپوزیت چوب-پلاستیک می باشد که با توجه به بالا بودن میزان تولید چنین ضایعاتی در کارخانه، در صورت استفاده از چنین ماده اولیه‌ای در تولید کامپوزیت چوب-پلاستیک در مقیاس صنعتی، می توان هزینه تمام شده این کامپوزیت را نیز به میزان قابل توجهی کاهش داد. همچنین در مقیاس صنعتی، مواد در

آن که به موادی مانند نئوپان^۱ و ام دی اف^۲ اتلاق می شد به فضایی جدید و مهم تر از آن (ماده ای جدید با کارایی بالا) گسترش داده است [۱ و ۲].

الیاف چوب، الیاف کنف و سبوس برنج، در مقایسه با انواع مصنوعی مانند کربن و شیشه، از مزایایی چون فراوانی منابع، وزن کمتر، هزینه پایین تر، زیست تخریب پذیری و خواص ویژه بالا برخوردارند. همچنین غیرساینده بودن مواد طبیعی، آسیب کمتری به تجهیزات فرآیندی وارد می کند [۳ و ۴]. در حدود ۹۰٪ کامپوزیت چوب-پلاستیک از ترکیب پودر و الیاف چوب با مواد پلیمری تولید شده و الیاف طبیعی از قبیل کنف^۳ و یا کتان^۴، تنها ۱۰٪ را به خود اختصاص می دهند [۵]. امروزه از کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک در صنایع خودرو، ساختمان سازی و تزئینات داخل و خارج ساختمان به مقدار بسیار زیادی استفاده می گردد [۶-۸]. با وجود مزایای گفته شده در مورد الیاف طبیعی، این الیاف دارای معایبی نیز می باشند. از آن جمله می توان به طبیعت قطبی و آب دوست الیاف اشاره کرد که منجر به ناسازگاری با ماتریس پلیمری غیرقطبی و در نتیجه چسبندگی ضعیف در سطح مشترک الیاف و ماتریس می گردد [۹ و ۱۰]. به منظور افزایش چسبندگی می توان از روش‌های فیزیکی و شیمیایی اصلاح الیاف استفاده نمود. روش‌های مختلف اصلاح اثرات متفاوتی را بر میزان چسبندگی بر جای می گذارند [۱۱]. اصلاح سطح از طریق تخلیه الکتریکی همانند کرونا و پلاسمای سرد از جمله روش‌های اصلاح فیزیکی می باشد که بیشترین توجه را نیز به خود جلب کرده است [۱۲ و ۱۳]. مزیت استفاده از روش‌های فیزیکی این است که فرآیندی تمیز و بدون ضایعات شیمیایی بوده و در نتیجه نگرانی‌های محیطی در این باره وجود ندارد ولی اصلاح الیاف با روش‌های شیمیایی سازگاری بیشتر و در نتیجه نتایج بهتری را نسبت به روش‌های فیزیکی نشان می دهد. در روش‌های شیمیایی برای افزایش چسبندگی بین دو سطح، نیاز به استفاده از ماده سومی می باشد که همان عامل جفت کننده است. از متداول ترین آن‌ها می توان به پلی پروپیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید (PP-g-MA)، ارگانوسیلان‌ها و استیله کردن الیاف

¹ Particle board

² Middle Density Fiberboard) MDF)

³ Jute

⁴ Flax

⁵ Joseph

⁶ Polymethylene polyphenyl isocyanate (PMPPI)

⁷ Cardias Williams

الیاف در محدوده ۴-۶ میلی متر است. در صورت استفاده از الیافی که مربوط به چوب درختان سخت است، کامپوزیت-های حاصله از استحکام بالاتری برخوردار خواهند بود ولی هدف از این تحقیق، استفاده از الیاف ضایعاتی مربوط به چوب درختان نرم می‌باشد تا جنبه اقتصادی آن نیز در صنعت حفظ شود. مقدار کاتالیزور مورد استفاده بسیار کم بوده (در حد چند قطره) و در نتیجه تاثیر آن قابل اغماض می‌باشد. حلال نیز به عنوان محیطی برای انجام واکنش بوده، لذا تلاش بر این است از حلالی استفاده شود که سمیت کمتری داشته باشد، باقی مانده حلال موجود در سطح الیاف نیز در نتیجه قرار گرفتن در کوره خلاء جدا شده و لذا الیاف حاصله کاملاً خشک خواهند بود به این ترتیب اثرات جانبی مربوط به حضور حلال حذف خواهد شد.

تجهیزات مورد استفاده در این پژوهش شامل اکسترودر دو ماریچج ناهمسوگرد Brabender با مدل Plasti corder ساخت کشور آلمان، دستگاه تزریق Mini Molde ساخت شرکت Dynisco، دستگاه Instron 6025 برای آزمون کشش، میکروسکوپ الکترون پویشی مدل XL 30 ساخت شرکت Philips، همزن مکانیکی مدل RZR 2102 ساخت شرکت Heidolph، دسیکاتور حاوی سیلیکاژل و همچنین وسایل مورد استفاده برای اصلاح الیاف از قبیل راکتور شیشه‌ای، قیف چکاننده و شیرهای رابط می‌باشد.

۳- روش‌ها

۳-۱- اصلاح سطح الیاف

۳-۱-۱- پیش اصلاح سازی الیاف چوب

جهت پیش اصلاح سازی، از محلول سود با غلظت ۵٪ وزنی استفاده شد. بدین منظور، الیاف چوب به مدت ۲۴ ساعت، در حمام سود سوز آور، در دمای ۲۳/۳ درجه سلسیوس غوطه‌ور گردید [۱۸]. سپس با مقدار فراوان آب مقطر و مقدار بسیار اندکی از اسید استیک گلاسیال جهت رسیدن به pH خنثی، شستشو داده شد. الیاف پیش اصلاح شده، برای مدت ۲۴ ساعت درون کوره خلاء در دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفت تا خشک گردد. این کار به منظور حذف ترکیباتی مانند همی سلولز، لیگنین و پکتین که به عنوان مانعی برای

راکتور بوده و پس از انجام هر مرحله از اصلاح، تنها این الیاف هستند که خارج می‌شوند، این در حالی است که باقی مانده مواد واکنش نداده همچنان در داخل راکتور می‌ماند لذا با انجام آزمون محتوای ایزوسیانات^۱ می‌توان مقدار ایزوسیانات واکنش داده با الیاف (یا به عبارتی خارج شده از محیط واکنش) را محاسبه و این مقدار را جهت اصلاح دیگر الیاف به راکتور اضافه نمود، به این ترتیب هم از نظر اقتصادی صرفه جویی کرده و هم اینکه مشکلات زیستی ناشی از دفع ضایعات سمی کاهش می‌یابد.

۲- مواد و دستگاه‌ها

در جدول ۱ مشخصات مواد استفاده شده در این پژوهش آمده است. شایان ذکر است که از دی بوتیل تین دی لورات به عنوان کاتالیزور برای اصلاح سطح الیاف، استفاده گردید.

جدول ۱- مشخصات مواد مورد استفاده

مواد	شرکت سازنده	دانسیته (g/Cm ³)	شاخص جریان مذاب* (gr/10 min)
پلی اتیلن با دانسیته بالا	پتروشیمی اراک	۰/۹۵۱-۰/۹۵۳	۱۷-۱۹
تولوئن دی ایزو سیانات	پتروشیمی کارون	۱/۲۱۴	---
دی بوتیل تین دی لورات	مرک	۱/۰۵	---
ستیل الکل	مرک	۰/۸۱۱	---

* این شاخص در دمای ۱۹۰°C و با وزنه ۲/۱۵ Kg تعیین شد.

از تولوئن صنعتی به عنوان حلال مورد نیاز جهت اصلاح سطح الیاف، استفاده گردید. الیاف چوب مورد استفاده در این تحقیق، متعلق به شرکت صنایع چوب خزر کاسپین می‌باشد که ۷۰٪ این الیاف را درخت صنوبر و ۲۵٪ را درختان بید، ممرز، توسکا، عرعر و انجیر تشکیل می‌دهند و ۵٪ باقیمانده نیز مربوط به درختان آلو، پشمالو و ... می‌باشد. طول این

² Vacuum Oven

¹ NCO Content

خشک حل گردید. در مرحله بعد، محلول ستیل الکل و تولوئن خشک، به وسیله قیف چکاننده قطره قطره به راکتور افزوده شده و به ازاء هر قطره، کمی زمان داده شد تا ستیل الکل به خوبی در مخلوط توزیع گردد. پس از اتمام محلول نیز اجازه داده شد تا اختلاط توسط همزن مکانیکی برای مدت ۴۸ ساعت ادامه یافته و واکنش کامل شود.

براساس واکنش‌های مطرح شده، به گروه‌های هیدروکسیل سطح الیاف یک زنجیر هیدروکربنی بلند اتصال یافته و الیاف از حالت آب دوست به آب گریز تبدیل می‌گردد.

۳-۱-۴- سوکسله کردن الیاف اصلاح شده

در این مرحله، خالص سازی الیاف، از طریق رفلکس با تولوئن، انجام گردید. بدین منظور، الیاف اصلاح شده برای مدت ۲۴ ساعت در دستگاه سوکسله قرار داده شد تا عوامل واکنش نداده، از سطح آن حذف گردد. پس از آن جهت حذف تولوئن از سطح، الیاف اصلاح شده به مدت ۲۴ ساعت در کوره خلا در دمای ۹۰ درجه سلسیوس قرار داده شد.

۳-۲- روش تهیه نمونه

الیاف اصلاح شده در مراحل قبل، به منظور تهیه کامپوزیت چوب-پلاستیک حاوی ۳۰٪ وزنی الیاف، مورد استفاده قرار گرفت. این کار به وسیله اکسترودر دو ماریچچه Brabender، انجام شد. به این صورت که ابتدا اکسترودر روی دور ۶۰ و دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس تنظیم و پس از رسیدن به دمای مورد نظر، پلی اتیلن از ناحیه خوراک دهی وارد دستگاه گردید سپس حدود ۲-۳ دقیقه زمان صرف شد تا پلیمر ذوب گردد. پس از آن الیاف وارد اکسترودر شده و به مدت ۱۰ دقیقه با پلی اتیلن مخلوط گردید. به این ترتیب کامپوزیت چوب-پلاستیک، تهیه و از دستگاه خارج شد. کامپوزیت به دست آمده در آن خلا در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و سپس به وسیله دستگاه تزریق به نمونه‌های مناسب برای آزمون کشش تبدیل شد. نتایج آزمون بر اساس میانگین ۵ قطعه، تهیه و گزارش شده است.

نام اختصاری و فرمولاسیون کامپوزیت‌های حاوی ۳۰ درصد وزنی الیاف چوب اصلاح نشده و اصلاح شده با درصدهای مختلف، در جدول ۲ نشان داده شده است.

گروه‌های هیدروکسیل الیاف چوب می‌باشند، انجام می‌گیرد. به این ترتیب گروه‌های OH سلولز آزاد شده و واکنش‌های بعدی جهت اصلاح الیاف، راحت‌تر انجام می‌شود.

۳-۱-۲- واکنش الیاف با TDI جهت فعال کردن سطح ۱۲۰ میلی لیتر

۱۲۰ میلی لیتر تولوئن خشک به همراه چند قطره کاتالیزور دی بوتیل تین دی لورات و ۳ گرم از الیاف پیش اصلاح شده، در یک راکتور ۲۵۰ میلی لیتری مجهز به کندانسور، قیف چکاننده، ورودی گاز نیتروژن و ترمومتر، ریخته شد. راکتور در حمام روغن در دمای ۹۰-۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و الیاف به وسیله دستگاه همزن مکانیکی، با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه، در حلال توزیع گردید. سپس TDI با مقادیر ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی الیاف، به مقداری تولوئن خشک اضافه شده و به وسیله قیف چکاننده، قطره قطره به راکتور افزوده گردید. به ازاء هر قطره حدود ۱ دقیقه زمان داده شد تا TDI به خوبی در مخلوط توزیع گردد. پس از اتمام TDI نیز اجازه داده شد تا هم زدن مخلوط برای مدت ۴۸ ساعت ادامه یافته و واکنش کامل گردد. در انتهای واکنش، راکتور به منظور خنک شدن، از حمام روغن خارج گردید. سپس TDI باقی مانده، با چندین مرتبه دکانته کردن توسط تولوئن خشک، کاملاً از محیط واکنش خارج شد.

۳-۱-۳- آب گریز کردن الیاف اصلاح شده با TDI، توسط ستیل الکل

الیاف اصلاح شده با TDI، طبق روند گفته شده در قبل، در راکتور قرار داده شد و در حمام روغن در دمای ۹۰-۱۰۰ درجه سلسیوس ثابت گردید. پس از آن، مقدار مورد نیاز ستیل الکل محاسبه و به میزان کمی بیشتر توزین گردید. محاسبه این مقدار، با توجه به میزان TDI استفاده شده در مرحله فعال سازی سطح الیاف صورت پذیرفت. دلیل استفاده کمی بیشتر ستیل الکل، حصول اطمینان از واکنش ستیل الکل با تمام گروه‌های آزاد ایزوسیانات استخلافی بر روی الیاف می‌باشد. ستیل الکل توزین شده به همراه مقداری تولوئن خشک در یک بشر حاوی مگنت، ریخته و دهانه آن نیز با فویل آلومینیمی پوشیده شد تا مانع از جذب رطوبت گردد سپس با استفاده از همزن، ستیل الکل در تولوئن

دستمال کاغذی خشک شده و بلافاصله توزین گردید. نسبت اختلاف وزن به وزن اولیه بر حسب درصد، بیانگر میزان آب جذب شده توسط ماده می‌باشد.

۳-۳-۴- بررسی مورفولوژی کامپوزیت‌ها

به منظور انجام بررسی‌های مورفولوژیکی بر روی نمونه‌های تهیه شده، از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (VEGA II TESCAN) واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران استفاده شد. به این ترتیب که ابتدا نمونه‌ها در نیتروژن مایع شکسته و به مدت ۱۲ ساعت در کوره خلا در دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار داده شد سپس آماده‌سازی جهت مشاهده سطح شکست کامپوزیت‌ها صورت پذیرفت. در میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) الکترون‌ها به سطح نمونه ای که قبلا توسط لایه نازکی از طلا به ضخامت حدود ۵۰۰-۱۰۰ آنگستروم پوشش داده شده اند برخورد کرده، و تصویری از سطح نمونه و پستی بلندی‌های آن مشخص می‌کنند.

۴- نتایج

۴-۱- نتایج آزمون گشتاور سنجی

شکل ۱ نشان دهنده منحنی‌های گشتاورسنجی مربوط به الیاف چوب اصلاح شده با غلظت‌های مختلفی از TDI، نسبت به الیاف اصلاح نشده می‌باشد که در تهیه کامپوزیت چوب-پلاستیک مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

پیک اول مربوط به ورود پلی اتیلن به دستگاه بوده و چون در این قسمت، هدف تنها ذوب پلی اتیلن می‌باشد لذا نیازی نیست که ورود با سرعت ثابت و یکسانی انجام گردد ولی پیک دوم مربوط به توزیع الیاف در پلی اتیلن بوده و چون هدف مقایسه مقدار گشتاور مورد نیاز جهت توزیع الیاف اصلاح نشده و اصلاح شده با درصد‌های مختلف، در ماتریس پلیمری می‌باشد لذا ورود الیاف به دستگاه باید با سرعت کاملا ثابت و یکسانی انجام گردد. همان طور که ملاحظه می‌گردد، ماکسیمم گشتاور مورد نیاز جهت توزیع الیاف در ماتریس پلی اتیلن، مربوط به کامپوزیت حاصل از الیاف اصلاح نشده می‌باشد که برابر با ۱۸/۵ Nm است. در صورتی که با اصلاح الیاف مقدار این گشتاور تا حدود ۱۴/۷ Nm کاهش می‌یابد. علاوه بر آن تصاویر نشان می‌دهد که مقدار گشتاور در حالت پایدار، چه در مورد نمونه‌های حاوی الیاف

جدول ۲- نام اختصاری و فرمولاسیون کامپوزیت‌های حاوی ۳۰ درصد وزنی الیاف چوب که از مخلوط الیاف اصلاح شده و

الیاف اصلاح نشده تهیه شده اند

کامپوزیت	کامپوزیت حاوی	کامپوزیت حاوی	فرمولاسیون
کامپوزیت حاصل از الیاف اصلاح نشده	الیاف اصلاح شده با ۱۰ درصد وزنی TDI	الیاف اصلاح شده با ۲۰ درصد وزنی TDI	نام اختصاری (کد نمونه)
PEUMF	10T	20T	

۳-۳-۳- آزمون‌ها

۳-۳-۳-۱- آزمون گشتاورسنجی

از دستگاه برابندر جهت توزیع الیاف چوب در ماتریس پلی اتیلن استفاده گردید و مقدار گشتاور مورد نیاز جهت این اختلاط نیز اندازه گیری شد. از نتایج حاصل از منحنی گشتاور نسبت به زمان، به منظور تعیین میزان اختلاط پذیری الیاف در ماتریس پلیمری استفاده گردید.

۳-۳-۳-۲- آزمون کشش

آزمون کشش مطابق با استاندارد ASTM 1708-02a به وسیله دستگاه Instron با سرعت کشش ۱ میلی متر بر دقیقه انجام شد. با توجه به نتایج حاصل از منحنی تنش-کرنش به دست آمده برای هر یک از نمونه‌ها می‌توان مقادیر زیر را محاسبه و گزارش نمود:

- ۱- مدول الاستیک نمونه‌ها (توسط محاسبه شیب شکل در ناحیه خطی شروع منحنی)
- ۲- محاسبه تنش تسلیم نمونه
- ۳- محاسبه ازدیاد طول در نقطه تسلیم نمونه
- ۴- محاسبه استحکام کششی نمونه

۳-۳-۳-۳- آزمون جذب آب

جهت انجام این آزمون، از باقیمانده نمونه‌های آزمون کشش استفاده گردید. بدین منظور، نمونه‌هایی با ابعاد ۱۵×۵×۲ میلی متر مکعب جهت ۵ مرتبه تکرار، تهیه شد. روش انجام آزمون به این صورت بود که ابتدا، نمونه‌ها در دمای ۵۲ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شده و پس از رسیدن به دمای محیط توزین گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۶۸ ساعت (یک هفته) در آب مقطر، در دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شد و پس از خروج از آب، سطح آن با

جدول ۳- خواص کششی نمونه‌ها

نمونه	استحکام کششی (MPa)	مدول کششی (GPa)	ازدیاد طول در نقطه تسلیم (%)	تنش تسلیم (MPa)
HDPE	۱۹/۸۴±	۰/۹۸±	۹/۲۸±	۱۹/۸۵±
	۰/۶۹	۰/۰۴۱	۰/۴	۰/۶۴
PEUMF	۱۸/۳۰±	۱/۳۹±	۴/۰۱±	۱۸/۷۲±
	۱/۴۸	۰/۰۹۴	۰/۱۱	۰/۵۶
10T	۲۱/۹۴±	۱/۶۰±	۴/۳±	۲۱/۸۸±
	۰/۳۵	۰/۰۶۸	۰/۱۶	۰/۳۸
20T	۲۵/۳۲±	۱/۸۵±	۷/۸±	۲۳/۲±
	۰/۴۹	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۳۲

همانطور که مشاهده می‌شود، با اضافه شدن الیاف چوب اصلاح نشده به ماتریس پلی اتیلن مقدار استحکام کششی ۷/۷۵٪ کاهش یافته و این خود بیانگر این موضوع می‌باشد که فازهای موجود در کامپوزیت کاملاً ناسازگارند.

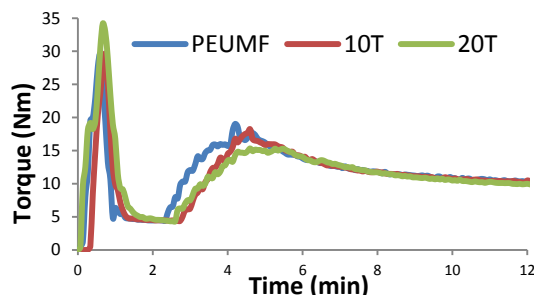
کاهش استحکام کششی می‌تواند به دلایل زیر باشد [۲۰]:

۱- توزیع بد ذرات چوب در ماتریس که منجر به پیوستن ذرات به هم می‌شود، اتصالات هیدروژنی بین ذره‌ای، عامل اصلی در به هم پیوستن ذرات است و مانع توزیع یکنواخت الیاف چوب در ماتریس می‌گردد.

۲- جذب رطوبت که در افت خواص مکانیکی تاثیر بسزایی دارد. چوب خود جاذب رطوبت می‌باشد؛ وقتی که اصلاحی نیز در ساختار وجود نداشته باشد، هم در حین فرآیند و هم در حین آزمون، امکان جذب رطوبت بیشتر می‌گردد.

۳- افزایش نقص‌های بین سطحی و یا جدایی اتصالات پلی اتیلن و الیاف چوب توزیع شده در آن به دلیل عدم اصلاح فضای بین سطحی ماتریس و الیاف پرکننده، دلیل دیگری مبنی بر این پدیده می‌باشد. وجود همین نقص‌ها و حفره‌ها به جذب رطوبت نیز کمک می‌کند. در حقیقت با اضافه شدن الیاف چوب به عنوان پرکننده لیفی به پلی اتیلن، حجم سطح مشترک ضعیف در سیستم زیاد شده و تحمل بار موثر در ماتریس کاهش می‌یابد. به طور کلی الیاف چوب به علت درشتی، خیلی راحت از ماتریس جدا شده و با ایجاد حفره-های درشت سبب شکست نمونه می‌گردند. افت استحکام کششی با اضافه شدن الیاف چوب به پلیمر توسط بسیاری از

اصلاح شده و چه در مورد نمونه‌های حاوی الیاف اصلاح نشده یکسان و برابر با حدود ۱۰/۱Nm می‌باشد. این داده‌ها بیانگر این مطلب می‌باشد که اصلاح الیاف عموماً باعث کاهش میزان گشتاور مورد نیاز جهت اختلاط الیاف با ماتریس پلی اتیلن می‌گردد که این پدیده می‌تواند به دلیل بهبود توزیع پذیری الیاف در ماتریس باشد.



شکل ۱- نتایج آزمون گشتاورسنجی مربوط به نمونه حاوی الیاف اصلاح نشده و نمونه‌های حاوی الیاف اصلاح شده با درصد‌های مختلف TDI

به بیان بهتر، اصلاح سطح الیاف چوب باعث افزایش خاصیت آب‌گریزی و در نتیجه افزایش سازگاری این الیاف با ماتریس پلیمری غیرقطبی می‌گردد. از طرفی با اعمال اصلاح، تعدادی از گروه‌های هیدروکسیل سطح الیاف توسط عامل اصلاح اشغال شده و به این ترتیب تمایل برای تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین الیاف و در نهایت تشکیل توده، کاهش می‌یابد. این مسئله منجر به سهولت توزیع پذیری الیاف در ماتریس و در نتیجه کاهش مقدار گشتاور مورد نیاز جهت فرآیند توزیع گردیده است.

۴-۲- نتایج آزمون کشش

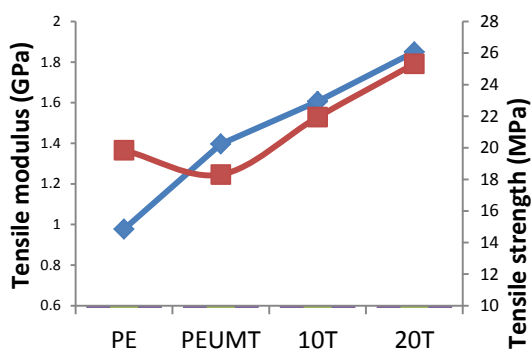
۴-۲-۱- استحکام کششی

در جدول ۳ نتایج کششی مربوط به پلی اتیلن با دانسیته بالا و همچنین کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف چوب اصلاح نشده و اصلاح شده با درصد‌های مختلف، نشان داده شده است. نمونه‌های تهیه شده مربوط به کامپوزیت‌های حاصل از الیاف کوتاه و فاقد جهت گیری می‌باشند، در نتیجه خواص حاصله بستگی به جهت انجام آزمون ندارد.

۴-۲-۲- مدول کششی

مدول یک مخلوط، به وسیله مدول هریک از اجزایش تعیین می‌شود و تابع عواملی چون وزن مولکولی، آلیاژ کردن، حضور نرم کننده، تبلور و گرہ خوردگی است [۲۴]. هر آنچه که بر امکان تحرک زنجیرها موثر باشد، مدول را نیز تغییر می‌دهد. افزایش درصد تبلور نیز سبب بالا رفتن مدول می‌شود؛ زیرا نواحی بلوری مثل یک ذره سخت عمل می‌کنند.

مدول کامپوزیت‌های پر شده توسط الیاف چوب، نسبت به ماتریس خالص افزایش می‌یابد و این افزایش به عوامل زیادی از قبیل درصد الیاف، اندازه و همچنین توزیع اندازه الیاف بستگی دارد.



شکل ۲- نتایج استحکام و مدول کششی HDPE، کامپوزیت حاصل از الیاف اصلاح نشده (PEUMF) و کامپوزیت‌های حاوی ۱۰٪ و ۲۰٪ عامل اصلاح

همانطور که در شکل ۲ نیز مشاهده می‌شود، ماتریس پلیمری در هر صورت توسط فاز دوم مصرفی یعنی الیاف چوب که از مدول بسیار بالایی برخوردارند، محکم تر می‌شود و در هر حالتی افزایش مدول نسبت به پلیمر خالص به چشم می‌خورد. البته ذکر این نکته هم مهم به نظر می‌رسد که الیاف چوب موجود در ماتریس پلیمری، مانعی برای حرکت و تغییر شکل زنجیرهای پلیمر ایجاد می‌کند. این مانع از طریق ایجاد یک محدودیت مکانیکی در میان زنجیرهای فاز پلیمر، به وجود می‌آیند و درجه و قدرت آن به خواص پلیمر، خواص الیاف پر کننده و همچنین فضای اشغال شده توسط الیاف بستگی دارد. به این ترتیب حرکت زنجیرهای پلیمری با مشکل مواجه شده و این محدودیت در تحرک زنجیرها نیز خود عامل دیگری جهت افزایش مدول می‌باشد. در کامپوزیت‌های پلی اتیلن پر شده با الیاف چوب اصلاح نشده،

محققین از جمله بلدزکی^۱ و همکاران [۲۱]، نونز^۲ و همکاران [۲۲] گزارش شده است.

ولیکن همانطور که در شکل ۲ نیز نشان مشاهده می‌شود، اصلاح الیاف با عامل ایزوسیاناتی منجر به بهبود خواص کششی نمونه‌ها در محدوده ۱۹/۸۲ تا ۳۸/۲۸ درصد نسبت به کامپوزیت حاوی الیاف اصلاح نشده، گردیده است که دلیل این امر را می‌توان به بهبود فصل مشترک ایجاد شده بین الیاف و ماتریس و در نهایت، انتقال بهتر تنش از ماتریس به الیاف تقویت کننده نسبت داد [۲۳]. استحکام کششی کامپوزیت به اجزا اصلی سازنده و همچنین فصل مشترک الیاف و ماتریس وابسته است. اصلاح الیاف منجر به ایجاد برهم‌کنش شیمیایی بین الیاف و ماتریس آلی شده و به این ترتیب چسبندگی بهبود می‌یابد؛ در نهایت بهبود چسبندگی نیز منجر به انتقال بهتر تنش از ماتریس به الیاف می‌گردد. گروه ایزوسیاناتی مولکول TDI با تعدادی از گروه‌های هیدروکسیل موجود در سطح الیاف، از طریق تشکیل باند یورتان، واکنش می‌دهد. به دنبال آن گروه هیدروکسیل ستیل الکل با گروه دیگر ایزوسیاناتی آزاد موجود در TDI واکنش داده که در نتیجه، این فرآیند موجب اتصال یک زنجیر بلند آلکانی به الیاف می‌گردد.

این فعالیت دوسویه با الیاف و ماتریس از طریق پیوندهای کووالانسی و واندروالسی، منجر به ایجاد فصل مشترک سراسر مولکولی شده که در نهایت، باعث سازگاری الیاف با ماتریس پلیمری می‌گردد. این روند بیان کننده بهبود چسبندگی، توسط اصلاح شیمیایی می‌باشد که منجر به بهبود استحکام کششی کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف اصلاح شده، گردیده است. به بیان بهتر می‌توان گفت، قبل از اعمال اصلاح، رزین به دلیل وجود گروه‌های آب دوست در سطح الیاف، تمایلی به نفوذ در بین رشته‌های الیاف نداشته و فقط به صورت فیزیکی بر روی آن‌ها قرار می‌گیرد و در نتیجه اتصال چندان مناسبی بین آن‌ها به وجود نمی‌آید. اما پس از اصلاح سطح الیاف، با بسته شدن سر آب دوست الیاف، تمایل رزین برای نفوذ به درون الیاف افزایش یافته که منجر به بهبود خواص خواهد شد.

¹ Bledzki

² Nunez

الیاف چوب برای تحرک زنجیره‌های پلیمری و همچنین افزایش ناهمگونی و مکان‌های ضعیف در کامپوزیت دانست که سبب تمرکز تنش در مکان‌های ضعیف و تشکیل حفره در اطراف الیاف چوب می‌شود. علاوه بر آن الیاف سخت چوب به دلیل سازگاری کم با پلی اتیلن و تمایل زیاد به تجمع و تشکیل توده‌های درشت، قابلیت تغییر فرم در زنجیره‌های پلی اتیلن را کم کرده و با شکننده کردن رفتار، جدایی فازی را تسهیل می‌کنند. رفتار کیفی مشابه توسط سمبات^۱ و همکاران گزارش شده است [۲۰].

به طور کلی، درصد ازدیاد طول الیاف چوب نسبت به پلی اتیلن بسیار کمتر است. بنابراین حضور جزئی که تحت تنش، کمتر دچار تغییر شکل می‌شود، تحرک زنجیره‌های پلی اتیلن و قابلیت تغییر شکل آن‌ها را کم می‌کند. عدم سازگاری دو فاز که سبب شکنندگی رفتار و جدایی فازی می‌گردد نیز، همانگونه که در قسمت مربوط به استحکام کششی توضیح داده شد، به افت بیشتر درصد ازدیاد طول کمک می‌کند. همچنین وجود کلوخه‌های درشت الیاف چوب که به خوبی در پلی اتیلن پراکنده نشده اند و توزیعی غیریکنواخت دارند، می‌تواند سبب افت شدید در ازدیاد طول شود. همانگونه که در شکل نیز مشخص است، ازدیاد طول در نقطه تسلیم در کامپوزیت‌های حاوی سازگار کننده، نسبت به همان سیستم بدون سازگار کننده، افزایش قابل توجهی نشان نمی‌دهد. با این حال شاید بتوان افزایش اندک در ازدیاد طول در حضور سازگار کننده را به سبب بهبود خیسی پذیری بین سطحی پلی اتیلن و الیاف چوب و بهبود فصل مشترک میان ماتریس و الیاف دانست که باعث شده حفره‌ها و مکان‌های ضعیف موجود در اطراف الیاف کاهش یافته و این خود منجر به توزیع بهتر تنش و عدم تمرکز آن در مکان‌هایی خاص در کامپوزیت می‌شود که در نتیجه، سبب افزایش در مقدار ازدیاد طول می‌گردد زیرا تمرکز تنش همانطور که گفته شد با شکننده کردن رفتار، جدایی فازی را تسهیل می‌کند و در واقع قبل از کشش، شکست نمونه را خواهیم داشت.

با افزودن الیاف چوب به کامپوزیت، مدول افزایش می‌یابد. البته با توجه به مدول بسیار بالای الیاف چوب، افزایش مدول بسیار بیشتری مورد انتظار است ولی با توجه به این که هیچگونه پیوند و برهم کنش شیمیایی بین الیاف قطبی و پلی اتیلن غیرقطبی وجود ندارد و هر جاذبه ای که در سیستم کامپوزیت وجود داشته باشد از نوع جذب سطحی و فیزیکی است، می‌توان نتایج را منطقی و قابل قبول دانست. در واقع می‌توان گفت که ضعیف بودن سطح مشترک الیاف و ماتریس، جلوی افزایش مدول را گرفته است. اما در مورد کامپوزیت‌های پلی اتیلن پر شده با الیاف چوب اصلاح شده، نتایج نشان می‌دهد که در صورت استفاده از عوامل جفت کننده و اصلاح سطح الیاف چوب، چسبندگی در سطح مشترک کامپوزیت افزایش یافته و این خود موجب می‌شود که افزایش خواص بیشتری نیز مشاهده گردد. به عنوان مثال، همان طور که در جدول ۳ نیز نشان داده شده است، استفاده از الیاف اصلاح شده منجر به افزایش مدول تا ۳۲/۱۴٪ بیشتر از کامپوزیت‌های حاوی الیاف اصلاح نشده می‌گردد.

۴-۲-۳- ازدیاد طول در نقطه تسلیم

میزان ازدیاد طول نیز همانند استحکام کششی، شدیداً تابع چسبندگی بین سطحی فازها می‌باشد. وقتی بین ذرات و ماتریس چسبندگی وجود نداشته باشد تمام بار توسط ماتریس تحمل می‌شود اما در واقع چسبندگی بین دو فاز هرگز صفر نیست چرا که نیروهای ثانویه روی این فاز مشترک اثر می‌گذارند [۲۵]. این نیروها شامل انرژی سطحی بالایی هستند که توسط سطح فیلرها به وجود آمده و باعث ایجاد تداخل می‌شوند. بنابراین زنجیره‌هایی از پلیمر به سطح فیلر چسبیده و باعث افزایش استحکام و کاهش ازدیاد طول می‌گردد، تمامی این اثرات به سطح مشترک و تداخل آن‌ها بستگی پیدا می‌کند.

حال با دانستن این مطالب به بررسی و تفسیر نتایج حاصل از آزمون بر روی نمونه‌های تهیه شده می‌پردازیم. با توجه به شکل ۳، علت کاهش شدید در میزان ازدیاد طول (۵۶/۷۸٪) در کامپوزیت حاوی الیاف اصلاح نشده نسبت به پلی اتیلن، را می‌توان محدودیت مکانیکی ایجاد شده توسط

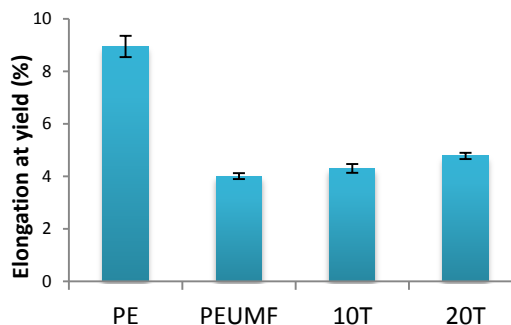
^۱ Sambatsompop

ماندگار در ساختمان کامپوزیت می‌شود. در واقع در مورد نمونه‌های حاوی الیاف اصلاح نشده، حضور الیاف چوب در کامپوزیت مانند یک ناهمگونی نسبت به پلی اتیلن خالص عمل می‌کند، در نتیجه در اثر اعمال تنش، تمرکز تنش متوجه اطراف این الیاف می‌شود و در اثر آن تغییر شکل‌های موضعی در اطراف الیاف به وقوع می‌پیوندد.

حضور الیاف چوب در ماتریس پلی اتیلن، دو اثر می‌تواند داشته باشد؛ اول اینکه حضور الیاف منجر به افزایش سفتی کامپوزیت شده [۲۴] و در نتیجه به منظور ایجاد تغییر شکل ماندگار، نیاز به انرژی بیشتر می‌باشد، این پدیده باعث افزایش تنش تسلیم می‌گردد. از طرفی دیگر، حضور الیاف چوب باعث عدم تحرک زنجیرها شده که این اثر در جهت مخالف عامل قبل عمل کرده و منجر به کاهش تنش تسلیم می‌شود زیرا توانایی زنجیرها جهت حرکت و در نتیجه اتلاف انرژی ناشی از تنش وارده به کامپوزیت کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که در مورد نمونه حاوی الیاف اصلاح نشده، دومین اثر حضور الیاف چوب در کامپوزیت به همراه نقص‌ها و حفره‌های موجود در ساختمان آن، نسبت به اولین اثر حضور الیاف، غلبه داشته و منجر به کاهش تنش تسلیم تا ۶٪ شده است. ولیکن در نمونه‌های حاوی الیاف اصلاح شده، نقص‌ها و حفره‌ها کاهش یافته و چسبندگی خوب الیاف و ماتریس منجر به افزایش استحکام در ساختمان کامپوزیت می‌شود. این پدیده موجب می‌گردد که اولین اثر حضور الیاف در ماتریس پلی اتیلن که مربوط به افزایش سفتی و در نتیجه افزایش تنش تسلیم بود [۲۴]، به اثر دوم غلبه داشته و تنش تسلیم در نمونه‌های حاوی الیاف اصلاح شده نسبت به کامپوزیت حاوی الیاف اصلاح نشده، تا مقدار ۲۳/۹۳٪ افزایش یابد.

۳-۳- نتایج آزمون جذب آب

جذب آب در کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف طبیعی و اثر اصلاح الیاف چوب توسط اتصال دهنده و همچنین اثر درصد سازگارکننده مورد استفاده در کامپوزیت‌ها، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳- نتایج تغییرات ازدیاد طول در نقطه تسلیم مربوط به HDPE، کامپوزیت حاصل از الیاف اصلاح نشده (PEUMF) و کامپوزیت‌های حاوی ۱۰٪ و ۲۰٪ عامل اصلاح

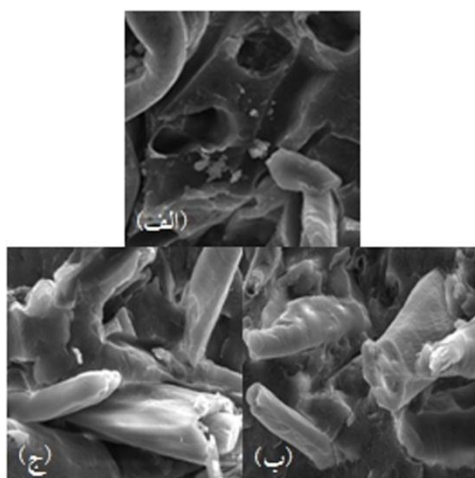
۴-۲-۴- تنش تسلیم

پلیمری که دارای تنش تسلیم می‌باشد، در این نقطه بدون افزوده شدن نیرو تغییر شکل می‌دهد و پس از این نقطه نیز با نیروی کمتری تغییر شکل ادامه پیدا می‌کند. بنابر این در این نقطه از منحنی تنش-کرنش، یک پیک به صورت ماکزیمم مشاهده می‌شود. از این نقطه به بعد تغییر شکل ایجاد شده در پلیمر به صورت ماندگار می‌باشد و پلیمر شکل نهایی را حفظ می‌کند. حال اگر عاملی بین زنجیرها اضافه شود که سبب شود زنجیرهای پلیمری در مقابل تغییر شکل ماندگار مقاومت کمتری داشته باشند، تنش تسلیم مقادیر کمتری را به خود اختصاص می‌دهد و از طرفی اگر عاملی سبب افزایش مقاومت زنجیرهای پلیمری در مقابل تغییر شکل ماندگار شود، تنش تسلیم مقادیر بالاتری خواهد داشت. بر اساس آنچه که در جدول ۳ نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که در کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف چوب اصلاح نشده، تنش تسلیم کاهش پیدا کرده است. زیرا افزودن الیاف چوب به پلی اتیلن، سبب ایجاد نقایص ساختمانی در ساختار کامپوزیت شده که در نهایت منجر به کاهش مقاومت زنجیرهای پلیمر در مقابل تغییر شکل‌های ماندگار می‌شود. در مورد نمونه‌های حاوی الیاف اصلاح شده، به دلیل افزایش چسبندگی و بهبود سطح مشترک الیاف و ماتریس، استحکام ساختمانی کامپوزیت افزایش یافته و میزان نقایص و تمرکز تنش در فصل مشترک کامپوزیت کاهش می‌یابد که در نهایت منجر به مقاومت در برابر تغییر شکل

سرانجام، ماهیت سطح الیاف نیز نقش مهمی در جذب آب الیاف برعهده دارد. الیاف چوب به دلیل دارا بودن سطح بسیار زیاد حاوی گروه‌های هیدروکسیل (OH)، جذب آب بسیار بالایی از خود نشان می‌دهند. با اصلاح سطح الیاف این مناطق سطحی مستعد جذب آب، اشغال شده یا به اصطلاح کور می‌شوند و به این ترتیب کاهش جذب آب را در الیاف آب دوست به دنبال خواهند داشت.

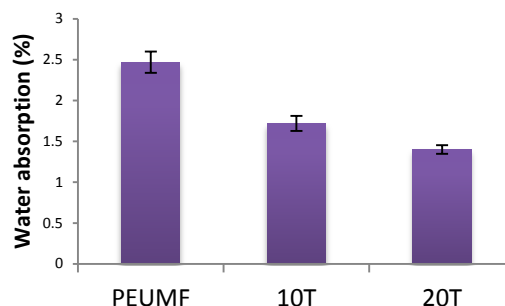
۳-۴- بررسی مورفولوژی کامپوزیت‌ها

به منظور بررسی مورفولوژی کامپوزیت‌ها، از سطح مقطع محل شکست نمونه‌های مورد استفاده در آزمون کشش، نمونه‌های دیگری تهیه و به وسیله دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی تصاویری از آن‌ها گرفته شد که در زیر آمده است. این تصاویر جزئیات بیان شده در مورد اثر اصلاح الیاف بر خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک را تایید می‌کند. در کامپوزیت چوب-پلی اتیلن که در شکل ۵-الف نشان داده شده چند نکته قابل تشخیص است.



شکل ۵- ریزنگار میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه کامپوزیت الف) PEUMF، ب) 10T و ج) 20T با بزرگ‌نمایی ۲۰۰۰ برابر

در این شکل به نظر می‌رسد که وجود حفره‌ها و فضاهای خالی نشان دهنده خروج الیاف چوب از بستر ماتریس تحت تنش بوده که ناشی از اختلاف در انرژی سطح آن‌ها می‌باشد و در نهایت منجر به توزیع نامناسب ذرات در بستر ماتریس پلی اتیلن می‌شود. در واقع به دلیل عدم وجود چسبندگی در



شکل ۴- تغییرات جذب آب در کامپوزیت حاصل از الیاف اصلاح نشده و اصلاح شده با درصد‌های مختلفی از TDI

همانطور که مشاهده می‌شود با اصلاح الیاف توسط عامل اصلاح، جذب آب کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف چوب به مقدار قابل توجهی کاهش یافته (۲۸/۷۴٪ در کامپوزیت‌هایی که با ۲۰٪ TDI اصلاح شده است). در توجیه مشاهدات مذکور می‌توان ماهیت آب دوست الیاف طبیعی را به جهت دارا بودن سطح فعال و مستعد، جهت جذب آب مورد بررسی قرار داد که اعمال اصلاح کننده بر روی سطح الیاف، با مکانیسم خاص خود منجر به کاهش جذب آب در کامپوزیت‌ها می‌شود. اصلاح الیاف با ایزوسیانات و در مرحله پس از آن با استفاده از ستیل الکل، از طریق کاهش مقدار گروه‌های هیدروکسیل آزاد در سطح الیاف، منجر به کاهش میزان آب دوستی الیاف چوب و در نتیجه کاهش جذب آب در کامپوزیت‌های تهیه شده از آن می‌شود.

در واقع سه عامل مهم در خواص جذب آب در کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف چوب نقش دارند. به این ترتیب که مولکول‌های آب در ابتدا می‌بایست از ماتریس رزینی عبور کرده و پس از عبور از فصل مشترک، کامپوزیت خود را به سطح الیاف تقویت کننده برسانند. هر عاملی که موجب طولانی تر شدن مسیر عبور مولکول‌های آب از درون ماتریس رزینی و یا تقویت فصل مشترک اجزا کامپوزیت (اصلاح سطح الیاف) شود می‌تواند کاهش جذب آب را در الیاف به دنبال داشته باشد. ماتریس پوشاننده سطح الیاف به عنوان اولین مانع جهت جذب آب توسط الیاف وارد عمل می‌شود. از طرفی فصل مشترک الیاف و ماتریس نیز نقش بسزایی را در این جذب آب ایفا کرده و با وارد نمودن اتصال دهنده به منزله تقویت فصل مشترک اجزا کامپوزیت، سطح در دسترس جهت جذب آب در کامپوزیت کاهش می‌یابد.

اصلاح الیاف نیز تاثیر قابل توجهی بر روی این روند نداشته است.

- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی کامپوزیت‌های اصلاح شده، نشان دهنده بهبود فصل مشترک رزین و الیاف و ایجاد چسبندگی قوی میان دو فاز، در مقایسه با کامپوزیت‌های اصلاح نشده می‌باشد.

- با اصلاح الیاف، جذب آب کامپوزیت‌ها به مقدار قابل ملاحظه ای (۲۸/۷۴٪) کاهش می‌یابد.

سطح مشترک دو فاز الیاف و ماتریس، الیاف چوب در لحظه اعمال تنش به راحتی بر روی زنجیرهای پلیمری لغزیده و از جای خود بیرون کشیده می‌شوند. در تصاویر گرفته شده نشانه ای که دلیل بر، برهم کنش میان پلی اتیلن و الیاف چوب باشد مشاهده نشده و نواحی پلی اتیلن و الیاف چوب به صورت کاملاً مجزا و مشخص در کامپوزیت دیده می‌شوند. ولیکن با اضافه شدن سازگارکننده به کامپوزیت چوب-پلاستیک، مورفولوژی تغییر می‌کند.

شکل ۵-ب و ۵-ج تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی کامپوزیت چوب-پلی اتیلن تقویت شده با الیاف اصلاح شده را نشان می‌دهد. این تصاویر بیانگر این است که در حضور سازگارکننده، اطراف الیاف چوب را لایه ای از پلیمر احاطه کرده و با این ترتیب بین الیاف چوب و پلی اتیلن از طریق سطح مشترک درگیری به وجود می‌آید؛ در نتیجه حفره‌ها و تجمع‌ها کاهش یافته و توزیع ذرات نیز بهبود می‌یابد. این مشاهده تاییدی بر افزایش خواص مکانیکی کامپوزیت حاصل می‌باشد.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، اثر اصلاح سطح الیاف چوب توسط تولوئن دی ایزوسیانات و ستیل الکل جهت بهبود چسبندگی میان الیاف و ماتریس و در نهایت تاثیر این اصلاح بر نمودار گشتاورسنجی، آزمون کشش و جذب آب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اصلاح الیاف عاملی موثر بر خواص فیزیکی-مکانیکی کامپوزیت‌های چوب-پلی اتیلن است. هرچند باید به این نکته توجه داشت که اندازه درصد اصلاح نیز موثر می‌باشد. اثر اصلاح را می‌توان به موارد زیر خلاصه کرد:

- با اصلاح الیاف با عامل ایزوسیاناتی و ستیل الکل، خاصیت آب گریزی افزایش یافته، میزان گشتاور مورد نیاز جهت اختلاط الیاف با ماتریس پی اتیلن تا حدود ۱۴/۷ Nm کاهش می‌یابد.

- در کامپوزیت‌های حاوی الیاف اصلاح شده، استحکام و مدول کششی نمونه‌ها بهبود یافته و در نتیجه تنش تسلیم به مقادیر حتی بالاتر از پلی اتیلن خالص نیز رسیده است.

- در صد ازدیاد طول در نقطه تسلیم کامپوزیت‌های اصلاح نشده نسبت به پلی اتیلن خالص شدیداً کاهش می‌یابد و

مراجع

- [1] Wu J, Yu D, Chan CM, Kim J, Mai YW (2005) Effect of fiber pretreatment condition on the interfacial strength and mechanical properties of wood fiber/PP composites. *J Appl Polym Sc* 76(7): 1000-1010.
- [2] Jafarian Jam N, Behraves AH (2009) Challenge to the Production of Fine Wood-Plastic Injection Molded Composites. *Reinf Plast Compos* 28(1): 73-82.
- [3] Clemons C (2002) Wood-plastic composites in the United States: The interfacing of two industries. *Forest Prod J* 52(6): 10-18.
- [4] Saheb DN, Jog J (1999) Natural fiber polymer composites: a review *Adv Polym Technol* 18(4): 351-363.
- [5] Markarian J (2002) Additive developments aid growth in wood-plastic composites. *J Plast Add Compd* 4(11): 18-2.
- [6] Pritchard G (2004) Two technologies merge: wood plastic composites. *J Reinf Plast* 48(6): 26-29.
- [7] Sercer M, Raos P, Rujni -Sokele M (2009) Processing of wood-thermoplastic composites. *Int J Mate Form* 2(1): 721-724.
- [8] Markarian J (2003) Material and processing developments drive wood-plastic composites forward. *J Plast Add Compd* 5(4): 24-28.
- [9] Dhakal H, Zhang Z, Richardson M (2007) Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites. *Compos Sci Technol* 67(7): 1674-1683.
- [10] Selke SE, Wichman I (2004) Wood fiber/polyolefin composites. *Composites Part A* 35(3): 321-326.
- [11] Sgriccia N, Hawley M, Misra M (2008) Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites. *Composites Part A* 39(10): 1632-1637.

- [20] Sombatsompop N, Yotinwattanakumtorn C, Thongpin C (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(2): 475–484.
- [21] Bledzki AK, Faruk O, Specht K (2007) Influence of separation and processing systems on morphology and mechanical properties of hemp and wood fibre reinforced polypropylene composites. *J Nat Fiber* 4(3): 37–56.
- [22] Nunez AJ, Sturm PC, Kenny JM, Aranguren M, Marcovich NE, Reboredo MM (2003) Mechanical characterization of polypropylene–wood flour composites. *J Appl Polym Sci* 88(6): 1420–1428.
- [23] Girones J, Pimenta M, Vilaseca F, Carvalho A, Mutje P, Curvelo A (2008) Blocked diisocyanates as reactive coupling agents: Application to pine fiber-polypropylene composites. *Carbohydr Polym* 74(1): 106–113.
- [24] Li X, Tabil LG, Panigrahi S (2007) Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites :A review. *J Polym Environ* 15(1): 25–33.
- [25] Colom X, Carrasco F, Pages P, Canavate J (2003) Effects of different treatments on the interface of HDPE/lignocellulosic fiber composites. *Compos Sci Technol* 63(2): 161–169.
- [4] Powell MJD (1979) Variable metric methods for constrained optimization. In: Glowinski R, Lions JL (eds) *Computing methods in applied sciences and engineerig*.
- [12] Jamali A, Evans P (2011) Etching of wood surfaces by glow discharge plasma. *Wood Sci Technol* 45(1): 169–182
- [13] Gupta BS, Reiniati I, Laborie MPG (2007) Surface properties and adhesion of wood fiber reinforced thermoplastic composites. *Colloids Surf A* 302(2): 388–395.
- [14] Felix JM, Gatenholm P (1991) The nature of adhesion in composites of modified cellulose fibers and polypropylene. *J Appl Polym Sci* 42(3): 609–620.
- [15] Bledzki A, Gassan J (1999) Composites reinforced with cellulose based fibres. *Prog Polym Sci* 24(2): 221–274.
- [16] Rong MZ, Zhang M Q, Liu Y, Yang GC, Zeng HM (2001) The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. *Compos Sci Technol* 61(10): 1437–1447.
- [17] Karmarkar A, Chauhan S, Modak JM, Chanda M (2007) Mechanical properties of wood-fiber reinforced polypropylene composites: Effect of a novel compatibilizer with isocyanate functional group. *Composites Part A* 38(2): 227–233.
- [18] Joseph PV, Rabello MS, Mattoso LHC, Joseph K, Thomas S (2002) Environmental effects on the degradation behaviour of sisal fibre reinforced polypropylene composites. *Combust Sci Technol* 62(10): 1357–1372.
- [19] Cardias Williams F, Hale M (2003) The resistance of wood chemically modified with isocyanates: the role of moisture content in decay suppression. *Int Biodeterior Biodegrad* 52(4): 215–221.