

## تأثیر اصلاح شیمیایی آرد چوب بر ویژگی‌های نانوکامپوزیت‌های هیبریدی پلی‌پروپیلن - نانو سیلیس

سعید اسمعیلی مقدم<sup>۱\*</sup>، محمد شمسیان<sup>۲</sup>، علی بیات کشکولی<sup>۲</sup> و بهزاد کرد<sup>۴</sup>

۱- نویسنده و مسئول، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

پست الکترونیک: Saeed.am17358@gmail.com

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل

۴- استادیار، علوم و صنایع چوب و کاغذ، گروه سلولزی و بسته‌بندی، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی، پژوهشگاه استاندارد، کرج

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۴

### چکیده

این تحقیق، با هدف بررسی تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و ریخت‌شناسی نانوکامپوزیت‌های هیبریدی پلی‌پروپیلن- نانو سیلیس انجام شد. برای این منظور، آرد چوب با بنزیل کلرید و هیدروکسید سدیم، تیمار شیمیایی شدند. برای اطمینان از انجام اصلاح شیمیایی، آزمون طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون‌قرمز (FTIR) بر روی آرد چوب اصلاح‌شده و بدون تیمار انجام شد. آرد چوب با نسبت وزنی ۶۰ درصد با پلی‌پروپیلن به همراه ۴ درصد جفت‌کننده انیدرید مالئیک پلی‌پروپیلنی در داخل دستگاه اکسترودر مخلوط شد. همچنین نانو سیلیس با نسبت‌های وزنی ۰، ۱، ۳ و ۵ درصد به‌عنوان پرکننده استفاده شد. نمونه‌های آزمونی با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی ساخته شدند. سپس آزمون‌های مکانیکی شامل مقاومت و مدول خمشی و آزمون‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت بر روی نمونه‌ها مطابق با استاندارد (ASTM) انجام گردید. همچنین به‌منظور بررسی ریخت‌شناسی نانوکامپوزیت‌ها از میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) استفاده شد. نتایج نشان داد که در اثر تیمار شیمیایی، مقاومت خمشی و مدول خمشی افزایش یافتند، درحالی‌که جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت کاهش یافتند. به‌طوری‌که با افزایش نانو ذرات سیلیس تا ۳ درصد مقاومت‌های مکانیکی افزایش یافتند اما افزودن مقادیر بیشتر نانو ذرات مقاومت‌های مکانیکی را کاهش داد. با افزایش نانو ذرات سیلیس تا ۵ درصد جذب آب نانوکامپوزیت‌ها افزایش یافت اما واکنش‌دهی ضخامت کاهش یافت. نتایج میکروسکوپ الکترونی پویشی حکایت از بهبود فصل مشترک بین پرکننده و ماتریس در اثر تیمار شیمیایی و پراکنش مناسب نانو ذرات سیلیس در سطح ۳ درصد داشت.

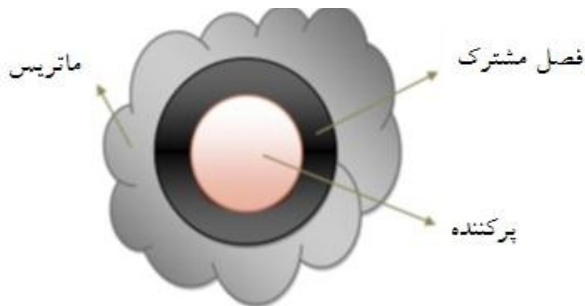
واژه‌های کلیدی: نانوکامپوزیت‌های هیبریدی، اصلاح شیمیایی، نانو سیلیس، ریخت‌شناسی، ثبات ابعاد.

### مقدمه

صنعت پلیمر منجر به تولید گروه جدیدی از مواد مرکب به نام کامپوزیت‌های چوب پلاستیک شده است. دلیل استفاده از الیاف طبیعی در ساخت کامپوزیت‌های چوب پلاستیک، مزایای

در طی سالیان اخیر، پرکننده‌های طبیعی کمک‌های شایانی را به صنعت پلیمر داشته است. استفاده از الیاف طبیعی در

بنزیلاسیون و تیمار پروکسید که باعث بهتر شدن ویژگی‌های الیاف چوبی و کامپوزیت‌های ساخته شده با آن می‌شود. در طی سالیان اخیر پژوهشگران زیادی بر روی تأثیرات تیمار شیمیایی بر خواص کامپوزیت‌های چوب پلاستیک مطالعه کردند.



شکل ۱- نحوه پراکنش فازها در کامپوزیت‌های چوب پلاستیک

Kord و Taghizadeh Haratbar (۲۰۱۴) به بررسی تأثیر اصلاح شیمیایی آرد چوب توسط سازوکارهای استیلاسیون، بنزیلاسیون و مرسیزاسیون پرداختند و از آنها در ساخت نانوکامپوزیت‌های خاک رس استفاده کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که اصلاح شیمیایی آرد چوب باعث افزایش مقاومت‌های مکانیکی شامل مقاومت کششی، مدول کششی و مقاومت به ضربه شد، اما جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب کاهش یافت. نتایج حاصل از طیف‌سنجی مادون قرمز نیز حکایت از کاهش مقدار جذب گروه‌های هیدروکسیل در اثر اصلاح شیمیایی آرد چوب داشت. Wang و همکاران (۲۰۰۵) الیاف کتان را توسط تیمارهای قلیایی، پروکساید و بنزیلاسیون اصلاح کردند و به بررسی اثر این اصلاحات شیمیایی روی ویژگی‌های کامپوزیت پلیمر تقویت شده با الیاف کتان پرداختند، آنان مشاهده کردند که این اصلاحات شیمیایی باعث بهبود در چسبندگی بین سطحی پلیمر و الیاف کتان می‌شود. آنان همچنین الیاف کتان را با بنزیل کلرید تیمار کردند و از آن در ساخت کامپوزیت الیاف کتان- پلی اتیلن استفاده نمودند. نتایج آنان ۶ درصد بهبود در مقاومت کششی و ۳۳ درصد بهبود در جذب رطوبت بود.

این الیاف نسبت به سایر الیاف مصنوعی است. این مزیت‌ها شامل: ارزان بودن، زیست‌تخریب‌پذیری و سبک بودن (Matuana et al., 1998) این مواد می‌باشد. از طرف دیگر مواد پلیمری مثل پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، پلی‌ونیل کلرید و پلی‌استایرن بیشترین مصرف را در ساخت کامپوزیت‌های چوب پلاستیک دارند (Woodhams et al., 1984; Oksman & Sain, 2008). الیاف طبیعی علاوه بر مزایایی که دارند دارای معایبی نظیر تخریب آن در دماهای پایین و ناسازگاری آن با ماتریس پلیمری غیرقطبی نیز هستند. نتیجه این ناسازگاری، چسبندگی ضعیف در سطح مشترک بین الیاف چوب و ماتریس پلیمری است. چسبندگی ضعیف در سطح مشترک چوب و پلاستیک، باعث می‌شود تا تنش از ماتریس پلیمری به الیاف چوبی به خوبی منتقل نشود و در این حالت خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک به شدت کاهش می‌یابد (Oksman & Sain, 2008; Rowell et al., 1997; Albano et al., 2001). از آنجایی که مقاومت چندسازه‌های چوب پلاستیک به مقاومت اتصال اجزا آن در منطقه بین فازی بستگی دارد (شکل ۱)، بنابراین امروزه دو روش برای بهبود چسبندگی وجود دارد: اصلاح فاز زمینه پلیمری و اصلاح فاز زمینه لیگنوسلولزی. عوامل جفت‌کننده متفاوتی برای اصلاح پلیمرها، مقاومت اتصال و خصوصیات مکانیکی کامپوزیت‌های چوب پلاستیک مورد استفاده قرار گرفته است. روش دیگر بهبود خصوصیات اتصال، استفاده از تیمار شیمیایی الیاف چوب قبل از اختلاط با پلیمر است. سازوکار این روش‌ها متفاوت بوده و به ساختار ترکیبات شیمیایی مورد استفاده بستگی دارد (Hill, 2006; Mohebbi, 2003). البته در اثر اصلاح شیمیایی الیاف چوبی چندین ویژگی برتر به طور همزمان با یک تیمار به دست می‌آیند، مانند کاهش جذب آب (Militz & Beckers, 1994; Rowell, 1997)، افزایش دوام زیستی (Evans et al., 2000) و افزایش خواص مکانیکی (Kord & Taghizadeh Haratbar, 2014). بهتر شدن چندین ویژگی در الیاف چوب باعث می‌شود که چوب به قابلیت‌های کاربردی جدیدی برسد. برخی از مهمترین تیمارهای شیمیایی عبارتند از: مرسیزاسیون، تیمار ایزوسیانات، استیلاسیون، تیمار پرمنگنات، تیمار سیلانی،

Dominkovics و همکاران (۲۰۰۷) در اصلاح سطحی الیاف چوب از محلول قلیا و کلرید بنزوئیل استفاده کردند، نتایج حاصل از FTIR نشان داد که پیک مشخصی در باندهای  $\text{cm}^{-1}$  ۳۷۰۰-۳۲۵۰ و  $\text{cm}^{-1}$  ۱۰۰۰-۶۰۰ دیده می‌شود که اولی مربوط به گروه‌های هیدروکسیل و دومی مربوط به گروه‌های بنزنی است. Ozmen و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر اصلاح شیمیایی آرد چوب بر روی خواص مکانیکی چندسازه حاصل از آرد چوب-پلی اتیلن سنگین را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور نمونه‌های آرد چوب با غلظت وینیل استات ۱۹٪ و انیدرید استیک ۲۴٪ تیمار شیمیایی شدند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که مقاومت کششی، مدول الاستیسیته کششی، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته خمشی در اثر اصلاح شیمیایی بهبود یافتند که در این راستا تأثیر وینیل استات در بهبود خواص مکانیکی بیشتر از تأثیر انیدرید استیک بوده است. اخیراً، علوم نانو و نانو تکنولوژی راهکارهای جدیدی را در زمینه کامپوزیت‌های پلیمری ایجاد کرده است (Tjong, 2006). نانو تکنولوژی یک موضوع امیدبخش برای بهبود ویژگی‌های کامپوزیت‌های پلیمری است. در بین نانو ذرات، ذرات نانو سیلیس با اندازه بسیار کوچک و سطح تماس زیاد کاربرد فراوانی در صنایع پلیمری و روکش‌های سطح دارد (Xanthos, 2005). مشخصه اصلی نانو سیلیس، از جمله اندازه ذرات، توزیع، چگالی مخصوص، سطوح ویژه، ساختار متخلخل و واکنش (گروه‌های سیلانول سطح) و قطبیت آن وابسته به روش ساخت است (Quercia et al., 2012). پژوهش‌های زیادی درباره کاربرد ذرات سیلیکا به شکل مخلوط با پلیمرهای مختلف انجام شده است (Chung et al., 2001; Zhang et al., 2008; Zhang et al., 2003; Xu et al., 2008)، ولی تعداد کمی از آنها مربوط به کامپوزیت‌های چوب پلاستیک می‌شود. پژوهشگران دریافتند، ذرات سیلیکا می‌تواند مقدار استحکام، سختی، مدول، بلورینگی، گرانشی، مقاومت در برابر خزش و چسبندگی درون ساختاری را در پلی اتیلن، پلی پروپیلن و الاستومرهای گرمانرم با توجه به خواص سطحی ذرات نانو سیلیس بهبود دهد (Zhang et al., 2003; Rong et al., 2004; Parvinzadeh et al., 2010).

Guyard et al., 2006). در برخی از پژوهش‌های انجام شده درباره نانوکامپوزیت پلی اتیلن ترفتالات و سیلیکا نشان داده شده که ذرات سیلیس به عنوان مواد هسته‌گذار عمل نمی‌کنند و اثر کمی بر درجه بلورینگی پلیمر دارند، درحالی که می‌توانند در تشکیل بلور در پلیمر تأخیر ایجاد کنند (Chae & Kim, 2007; Bikiaris et al., 2006; Tian et al., 2006). اما در برخی دیگر از منابع، به قابلیت هسته‌گذاری نانو سیلیس، اشاره شده است (Liu et al., 2012). Ismaeilimoghadam و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر ذرات سیلیس بر روی خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخت‌شناسی نانوکامپوزیت‌های پلی پروپیلن-آرد چوب پرداختند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که با افزایش نانو ذرات سیلیس تا ۳ درصد ویژگی‌های مکانیکی شامل مقاومت و مدول خمشی و همچنین مقاومت و مدول کششی افزایش یافت و بعد با افزایش نانو ذرات تا ۵ درصد ویژگی‌های مکانیکی شامل مقاومت و مدول خمشی و همچنین مقاومت و مدول کششی افزایش یافت، از سوی دیگر با افزایش نانو ذرات سیلیس تا ۵ درصد جذب آب نانوکامپوزیت‌ها افزایش یافت اما این روند در مورد واکنش‌پذیری ضخامت به صورت کاهش بود. نتایج ریخت-شناسی حاصل از میکروسکوپ الکترونی پویشی حکایت از پراکنش مناسب نانو ذرات سیلیس در سطح ۳ درصد داشت اما در سطح ۵ درصد تجمع ذرات سیلیسی به وجود آمد. Maji و Deka (۲۰۱۲) به بررسی تأثیر نانو ذرات رس و سیلیس بر روی خواص کامپوزیت‌های چوب پلاستیک پرداختند، نتایج مطالعه آنان نشان داد که با افزایش نانو ذرات تا ۳ درصد خواص چوب پلاستیک بهبود یافت اما افزودن مقادیر بیشتر نانو ذرات تا ۵ درصد ویژگی‌های مکانیکی را کاهش داد. همان‌طور که اشاره شد، در طی سالیان اخیر در رابطه با تأثیر اصلاح شیمیایی آرد چوب بر ویژگی‌های کامپوزیت‌های چوب پلاستیک مطالعات زیادی انجام شده است. از طرف دیگر، در رابطه با سازوکار عملکرد نانو ذرات سیلیس نیز در صنعت پلیمر مطالعات زیادی انجام شده است. اما یک تحقیق جامع و کامل که به بررسی تأثیرات متقابل تیمار شیمیایی آرد چوب و سطوح نانو سیلیس بپردازد وجود ندارد، بنابراین انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد.

## مواد و روش‌ها

مذاب ۶۴ g/10 min و میزان انیدرید مالئیک ۰/۱ درصد به عنوان عامل سازگارکننده استفاده گردید. برای تیمار کردن آرد چوب، از هیدروکسید سدیم، با جرم مولی ۴۰ گرم بر مول و بنزیل کلرید، با جرم مولی ۱۲۶/۵۹ گرم بر مول ساخت شرکت تیتراکم (ایران) استفاده شد. همچنین از نانو ذرات سیلیس از محصولات شرکت آمریکایی US Research Nano Materials به عنوان پرکننده استفاده شد که مشخصات آن در جدول ۱ آمده است.

در این پژوهش از پلی پروپیلن درجه Pi 0800 با شاخص جریان مذاب ۸ g/10 min از محصولات شرکت پتروشیمی اراک به عنوان ماتریس پلیمری و از آرد چوب مخلوط پهن برگان شمال ایران با اندازه ابعاد ۶۰ مش (۴۲۵ میکرومتر) تهیه شده از شرکت آریا سلولز ایران به عنوان تقویت کننده استفاده شد. همچنین از انیدرید مالئیک پلی پروپیلنی تهیه شده از شرکت Slovay کشور بلژیک و نام تجاری Priex 20070 با شاخص جریان

جدول ۱- مشخصات نانو ذرات سیلیس

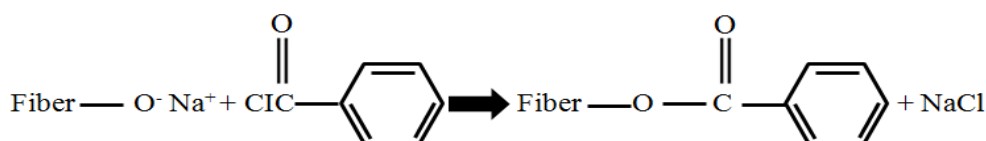
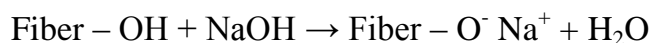
اندازه ذرات (nm)	سطح ویژه (m <sup>2</sup> /g)	بالک دانسیته (g/cm <sup>3</sup> )	دانسیته (g/cm <sup>3</sup> )	درصد خلوص	رنگ
۱۱-۱۴	۱۸۰-۶۰۰	۰/۱	۲/۴	٪۹۹	سفید

## روش‌ها

## اصلاح شیمیایی آرد چوب

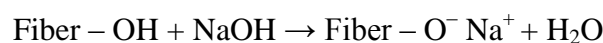
چوب پیش تیمار شد و برای تیمار بنزیلی آماده شد. برای انجام تیمار بنزیلی نیز ابتدا محلولی با غلظت ۵ درصد هیدروکسید سدیم آماده شد، سپس به ازای هریک لیتر محلول ۵۰ میلی لیتر بنزیل کلرید به آرامی به آن اضافه گردید. سپس آرد چوب پیش تیمار شده، به مدت ۳۰ دقیقه در این محلول قرار گرفت و بعد از آن به وسیله آب مقطر شستشو گردید. سپس به مدت یک ساعت در اتانول غوطه ور شد و مجدداً با آب مقطر شستشو داده شد و به مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه (دمای ۲۰±۳ درجه سانتی گراد) و بعد به مدت ۲۴ ساعت در آن با دمای ۱۰۳ درجه سانتی گراد قرار گرفت. فرایند بنزیلاسیون مطابق با واکنش زیر انجام شد (Lu et al., 2000; Susheel et al., 2009).

بنزیلاسیون. قبل از تیمار بنزیلی، ابتدا آرد چوب توسط هیدروکسید سدیم پیش تیمار قلیایی شد. آنگاه برای این منظور، ابتدا محلولی با غلظت ۱۵٪ هیدروکسید سدیم تهیه گردید. نسبت وزنی محلول به الیاف ۱:۲۰ بود. سپس آرد چوب به مدت ۲۴ ساعت در این محلول غوطه ور شد و در پایان ۲۴ ساعت برای خارج کردن هیدروکسید سدیم اضافی، آرد چوب با آب مقطر شستشو داده شد. آرد چوب شستشو داده شده به مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه (دمای ۲۰±۳ درجه سانتی گراد) و بعد در آن در دمای ۱۰۳ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا خشک شود. به این ترتیب آرد



اختلاط مواد مطابق با جدول ۲ توسط دستگاه اکسترودر دو ماردرانه ناهمسوگرد واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران انجام شد. مواد داغ شکل پذیر به دست آمده از فرایند اختلاط پس از خارج شدن از اکسترودر جمع آوری شد و پس از سرد شدن به منظور تهیه گرانول وارد دستگاه خردکن نیمه صنعتی شرکت Wieser مدل WG-LS 200/200 ساخت کشور آلمان شد. به منظور حذف رطوبت، گرانول‌ها به مدت ۴ ساعت در خشک‌کن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و نمونه‌های مربوط به آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی توسط دستگاه تزریق نیمه صنعتی ساخت شرکت ایمن ماشین تهران با دمای ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۳ مگاپاسکال، مطابق با استاندارد ASTM D3641-12 ساخته شدند. در نهایت نمونه‌ها قبل از انجام هر گونه آزمون، در دمای آزمایشگاه (۲۳ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی ۵۰ درصد به مدت ۴۰ ساعت مطابق با استاندارد D618-13 ASTM قرار داده شدند.

مرسریزاسیون. در این مرحله، ابتدا محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۴ درصد آماده شد. آرد چوب، به مدت ۳۰ دقیقه در این محلول غوطه‌ور شد و در پایان ۳۰ دقیقه برای خارج کردن هیدروکسید سدیم اضافی، آرد چوب با آب مقطر شستشو داده شد. آرد چوب شستشو داده شده به مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه (دمای  $20 \pm 3$  درجه سانتی‌گراد) و بعد در آون در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا خشک شود. فرایند مرسریزاسیون مطابق با واکنش زیر انجام شد (Lu et al., 2000; Susheel et al., 2009).



فرایند اختلاط و ساخت کامپوزیت

قبل از اختلاط مواد، آرد چوب تیمار شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $65 \pm 2$  سانتی‌گراد قرار گرفت. فرایند

جدول ۲- طرح اختلاط مواد

اصلاح شیمیایی	سطوح نانو سیلیس* (phc)	جفت‌کننده (phc)	پلی پروپیلن (%)	آرد چوب (%)
بدون تیمار	۰	۴	۴۰	۶۰
	۱	۴	۴۰	۶۰
	۳	۴	۴۰	۶۰
	۵	۴	۴۰	۶۰
بنزیلاسیون	۰	۴	۴۰	۶۰
	۱	۴	۴۰	۶۰
	۳	۴	۴۰	۶۰
	۵	۴	۴۰	۶۰
مرسریزاسیون	۰	۴	۴۰	۶۰
	۱	۴	۴۰	۶۰
	۳	۴	۴۰	۶۰
	۵	۴	۴۰	۶۰

\*- Per hundred compound

## اندازه‌گیری خواص

آزمون خمش مطابق با استاندارد ASTM D790-10 و با سرعت بارگذاری ۵ mm/min بر روی نمونه‌ها انجام شد. برای این منظور از دستگاه HOUNS مدل H 25 KS با ظرفیت سلول N25000 استفاده شد. رایانه متصل به دستگاه پس از انجام آزمون مربوط به هر تیمار اطلاعاتی نظیر مقاومت حداکثر، تغییر طول نمونه، مقاومت در حد تناسب و مدول الاستیسیته را ارائه کرد. برای هر تیمار ۵ تکرار در نظر گرفته شد.

جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت کوتاه مدت (۲۴ ساعت) مطابق با استاندارد ASTM D7031-11 انجام شد. از هر تیمار ۵ نمونه انتخاب شد و در آون با دمای  $103 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. وزن و ضخامت نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت  $0.001$  گرم و کولیس دیجیتال با دقت  $0.001$  میلی‌متر تعیین گردیدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب (دمای آزمایشگاه) قرار گرفتند و در نهایت مقدار جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت با استفاده از روابط مربوط محاسبه شدند.

برای بررسی تغییرات تیمارهای شیمیایی بر روی آرد چوب از طیف‌سنجی FTIR (دستگاه طیف‌سنج PUYCOM مدل SP 1100) استفاده گردید. برای این منظور، ابتدا آرد چوب به صورت پودر با ماده برمید پتاسیم مخلوط و به وسیله پرس دستی فشرده شد، سپس دیسک تولید شده در سلول دستگاه تحت تابش طیف مادون‌قرمز در دامنه  $\text{Cm}^{-1}$  ۴۲۰۰-۶۰۰ با درجه تفکیک  $\text{Cm}^{-1}$  ۴ قرار گرفت و با انجام اسکن از هر نمونه طیف مربوط جدا شد. در نهایت تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی از طریق شدت طیف و جذب در نواحی مختلف انجام شد.

برای بررسی فصل مشترک چوب و پلیمر و همچنین نحوه پراکنش و توزیع نانو ذرات سیلیس در ماتریس پلیمری، توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی عکس‌های میکروسکوپی تهیه گردید. در این روش، ابتدا از سطح شکست نمونه‌های آزمون خمش، مقطع‌گیری شد و مقاطع

توسط لایه نازکی از طلا پوشیده شدند. مدل این دستگاه EM3200، مونتاژ شده توسط شرکت KYKY کشور چین می‌باشد که دارای ولتاژ ۲۵ کیلوولت و محدوده بزرگ‌نمایی ۰ تا ۷۵۰۰۰ برابر می‌باشد.

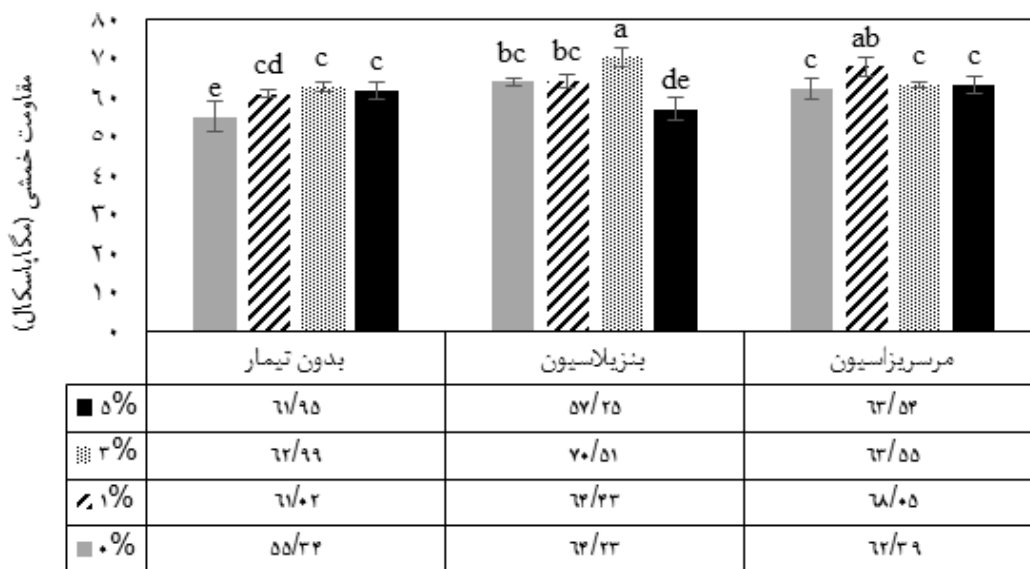
تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS در قالب طرح فاکتوریل انجام شد و در صورت وجود تفاوت معنی‌دار بین سطوح از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

## نتایج و بحث

تأثیر متقابل تیمار شیمیایی آرد چوب و سطوح نانو سیلیس بر روی مقاومت و مدول خمشی نانوکامپوزیت ساخته شده در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقاومت و مدول خمشی در اثر تیمار شیمیایی بهبود یافتند. به طوری که بیشترین میزان آنها مربوط به تیمار قلیایی و کمترین آنها مربوط به نمونه بدون تیمار می‌باشد. به طور کلی، تیمار شیمیایی الیاف لیگنوسولوزی باعث بهتر شدن چسبندگی در فصل مشترک الیاف و ماتریس شده و در این حالت انتقال بار از ماتریس به الیاف بهتر انجام می‌شود (Ghasemi & Farsi, 2010; Raj & Kokta, 1989; Nourbakhsh *et al.*, 2010). استفاده از تیمار قلیایی، سبب تشکیل و ایجاد ریز لیفچه‌ها می‌شود و موجب می‌گردد تا دسته‌های بزرگ و به هم چسبیده الیاف به سمت شکل‌گیری الیاف ریز مجزا از هم پیش بروند. تیمار با ماده قلیایی باعث کاهش قطر الیاف و در نتیجه افزایش ضریب ظاهری الیاف می‌شود و این امر سبب توسعه سطوح زبر در الیاف و در نتیجه بهتر شدن چسبندگی در سطح مشترک الیاف و ماتریس شده و ویژگی‌های مکانیکی چندسازه را نیز افزایش می‌دهد. البته این نوع تیمار تعداد جایگاه‌های واکنش‌پذیر ممکن در سطح الیاف را افزایش می‌دهد (Li *et al.*, 2007; Kord & Taghizadeh, 2009; Haratbar, 2014; Kalia *et al.*, 2009). از طرف دیگر بنزویلی کردن الیاف به دلیل اضافه شدن عامل بنزویلی

الیاف لیگنوسلولوزی که نقش تقویت‌کننده را در کامپوزیت دارد، بهتر منتقل شده، در نتیجه افزایش قابل توجهی در مقاومت‌های چندسازه حاصل بوجود می‌آید (Ismaeilimoghadam, 2014; Kalia et al., 2009).

(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>C=O)، آنها را فعال کرده و موجب تشکیل اتصالات محکم با مکان‌های فعال روی ماده زمینه می‌شود. در تیمار بنزیلاسیون چسبندگی میان الیاف و ماتریس در چندسازه حاصل بهبود پیدا می‌کند و در این حالت نیرو از ماتریس به



تیمار شیمیایی

شکل ۲- تأثیر متقابل تیمار شیمیایی آرد چوب و نانو سیلیس بر روی مقاومت خمشی

بلورها افزایش می‌یابد. از طرف دیگر نانو ذرات سیلیس به علت انرژی سطحی زیاد، تمایل به تجمع و جذب یکدیگر به علت وجود گروه‌های آب دوست هیدروکسیل و نیروهای جاذبه سیلیس را دارند. این گروه‌ها می‌توانند با ایجاد پیوند هیدروژنی باعث ایجاد تجمع در سطح پلیمر شوند. از این رو کاهش مقاومت خمشی در اثر استفاده از ۵ درصد نانو سیلیس، به دلیل تجمع ذرات نانو و پراکنش ناپخت آنها و ایجاد پدیده کلوخینگی ذرات در بستر نانوکامپوزیت می‌باشد (Zhang et al., 2008; Chae & Kim, 2007; Liu et al., 2012). موضوع دیگر مربوط به کاهش خاصیت تر کنندگی پلیمر در اثر استفاده از مقادیر بالای نانو سیلیس است که منجر به اتصال نامناسب الیاف لیگنوسلولوزی و ماتریس می‌شود (Deka & Maji, 2012).

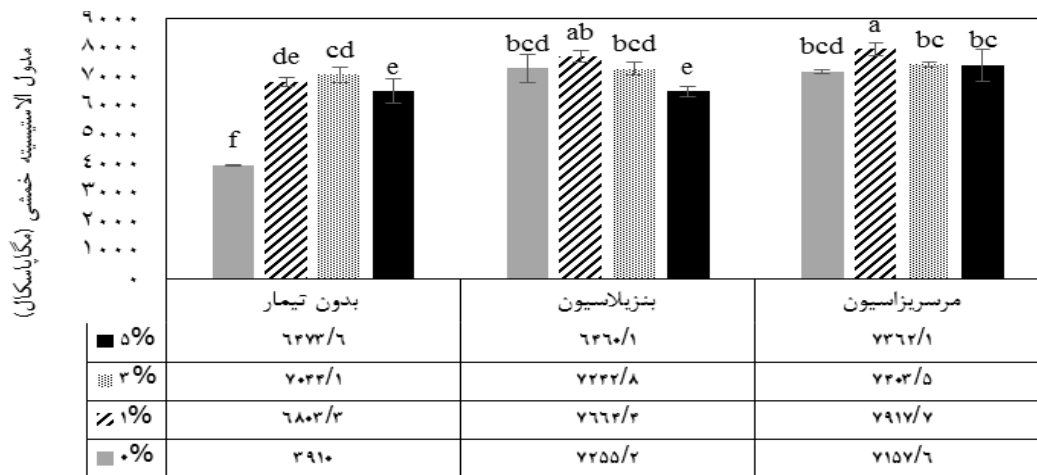
تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر روی جذب

همچنین در شکل ۲ و ۳ مشاهده می‌شود که با افزایش نانو ذرات سیلیس تا سطح ۳ درصد مقاومت خمشی افزایش می‌یابد و بعد با افزودن مقادیر بیشتر نانو ذرات تا سطح ۵ درصد کاهش می‌یابد. از طرف دیگر مدول خمشی تا سطح ۱ درصد افزایش می‌یابد و بعد با افزودن مقادیر بیشتر نانو ذرات تا سطح ۵ درصد کاهش می‌یابد. از این رو برای افزایش مقاومت‌ها در اثر افزودن نانو سیلیس دو سازوکار وجود دارد (Ismaeilimoghadam et al., 2015; Ismaeilimoghadam, 2014): سازوکار اول مرتبط با این موضوع است که نانو سیلیس از طریق تحمل تنش، تنش بین الیاف و ماتریس را بالا می‌برد (Deka & Maji, 2012). سازوکار دوم نیز بر این موضوع دلالت دارد که نانو ذرات سیلیس به عنوان عامل هسته‌گذار در رشد بلورها عمل می‌کند، از این رو در اثر ورود این نانو ذرات تعداد



شده است. بر اساس این شکل، جذب آب و واکنش پذیری ضخامت در اثر تیمار شیمیایی آرد چوب کاهش یافتند.

آب و واکنش پذیری ضخامت نانوکامپوزیت هیبریدی پلی پروپیلن- نانو سیلیس در شکل های ۴ و ۵ نشان داده

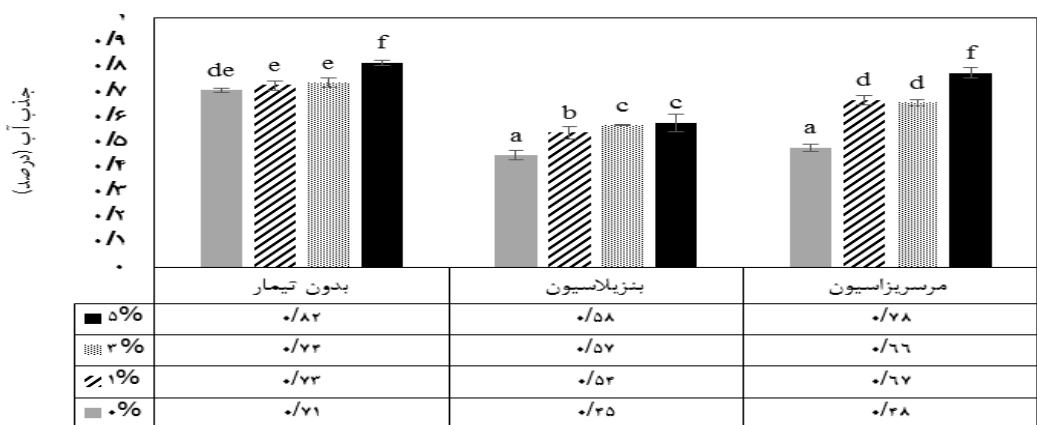


تیمار شیمیایی

شکل ۳- تأثیر متقابل تیمار شیمیایی آرد چوب و نانو سیلیس بر روی مدول خمشی

چوب و پلاستیک وجود دارد ( Mishra et al., 2001; Liu et al., 2004; Kord & Taghizadeh Haratbar, 2014; Ismaeilimoghadam, 2014).

بطور مشخص با بهتر شدن چسبندگی بین ماتریس پلیمری و الیاف در کامپوزیت های چوب پلاستیک، فرایندهای انتشار رطوبت به داخل کامپوزیت بسیار آهسته تر انجام می شود، زیرا در این حالت شکاف های کمتری در فصل مشترک



تیمار شیمیایی

شکل ۴- تأثیر متقابل تیمار شیمیایی آرد چوب و نانو سیلیس بر روی جذب آب

هیدروکسیل با استفاده از واکنش بنزیل کلرید با پلیمرهای دیواره های سلولی الیاف چوب (سلولز، همی سلولز، لیگنین) می توان قابلیت تر شوندگی سطح الیاف را نسبت به پلاستیک افزایش داد و زمینه پیوند بهتر بین چوب و

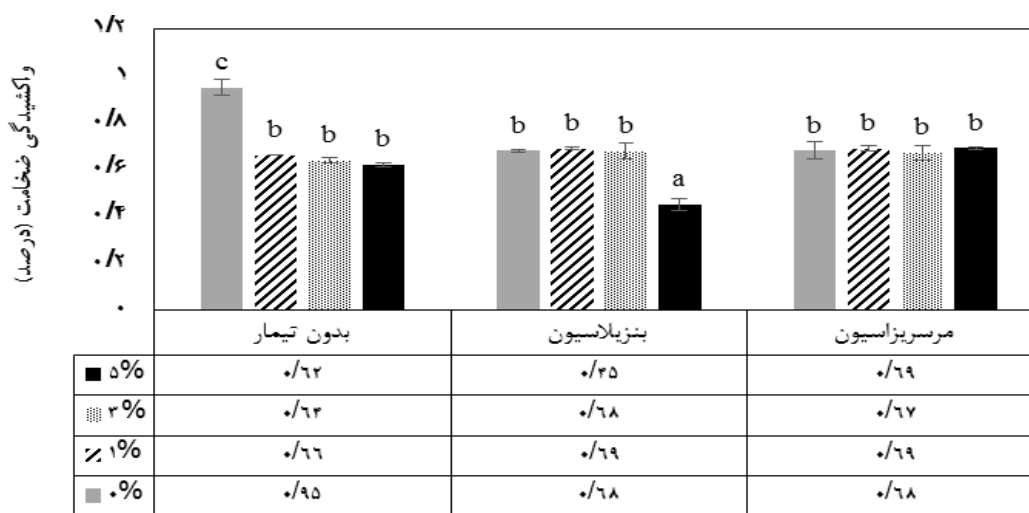
قطبیت گروه های هیدروکسیل مواد لیگنوسولوزی سدی در برابر تشکیل پیوند با پلیمر است؛ بنابراین با کاهش پیوند هیدروژنی بین الیاف می توان به پیوند بهتری با پلیمر دست یافت. به طوری که با کاهش تعداد گروه های



گروه شیمیایی هیدروکسی، هیدروژن متصل به گروه‌های هیدروکسی و گروه‌های سیلوکسان است، بنابراین ذرات مزبور آب‌دوست هستند ( Xanthos, 2005). زمانی که نمونه‌ها در آب قرار می‌گیرند، نانو ذرات سیلیس با سطوح جانبی فوق‌العاده زیاد مولکول‌های آب را جذب کرده، بنابراین افزایش درصد جذب آب در هنگام استفاده از ۵ درصد نانو سیلیس را می‌توان به سطح ویژه بسیار بالای این ذرات و آب‌دوست بودن سطح آنها نسبت داد. از طرف دیگر، با افزایش نانو ذرات سیلیس، اشغال شدن بخشی از فضاهای خالی و لوله‌های موئین، باعث کاهش شدید این روزه‌ها شده و دسترسی مولکول‌های آب را به الیاف لیگنوسلولزی با مشکل مواجه می‌کند. از این رو افزایش میزان نانو سیلیس باعث جذب کمتر مولکول‌های آب توسط الیاف لیگنوسلولزی می‌شود، در نتیجه واکنش‌پذیری ضخامت کاهش می‌یابد ( Ismaeilimoghadam et al., 2015; Ismaeilimoghadam, 2014).

پلاستیک را مهیا کرد و در نهایت ویژگی جذب آب و ثبات ابعاد را تقویت کرد. اصلاح آرد چوب با بنزین کلرید باعث جایگزین شدن گروه‌های بنزینی به جای گروه‌های هیدروکسیل می‌شود. گروه‌های بنزینی باعث کاهش گروه‌های هیدروکسیل و به تبع آن کاهش کشش سطحی الیاف می‌شوند و این عامل باعث کاهش جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت می‌باشد ( Dominkovics et al., 2007). از سوی دیگر، تیمار قلیایی نیز به دلیل حذف چربی‌ها، موم‌ها، لیگنین و پکتین باعث کاهش جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت در کامپوزیت می‌شود (Li et al., 2007).

همچنین با مراجعه به شکل‌های ۴ و ۵ در می‌یابیم که با افزایش میزان نانو ذرات سیلیس تا سطح ۵ درصد جذب آب نانوکامپوزیت‌های هیبریدی ساخته شده افزایش یافت، در صورتی که واکنش‌پذیری ضخامت کاهش یافت. ذرات نانو سیلیس با اندازه بسیار کوچک و سطح تماس زیاد کاربرد فراوانی در صنایع پلیمری و روکش‌های سطح دارند. سطح این ذرات دارای سه



شکل ۵- تأثیر متقابل تیمار شیمیایی آرد چوب و نانو سیلیس بر روی واکنش‌پذیری ضخامت

می‌توان دید، وجود پیک در باند جذبی  $3463/5 \text{ cm}^{-1}$  ارتعاش کششی اتصال بین هیدروژن و گروه‌های

شکل (a ۶)، طیف‌سنجی FTIR مربوط به آرد چوب بدون تیمار را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل

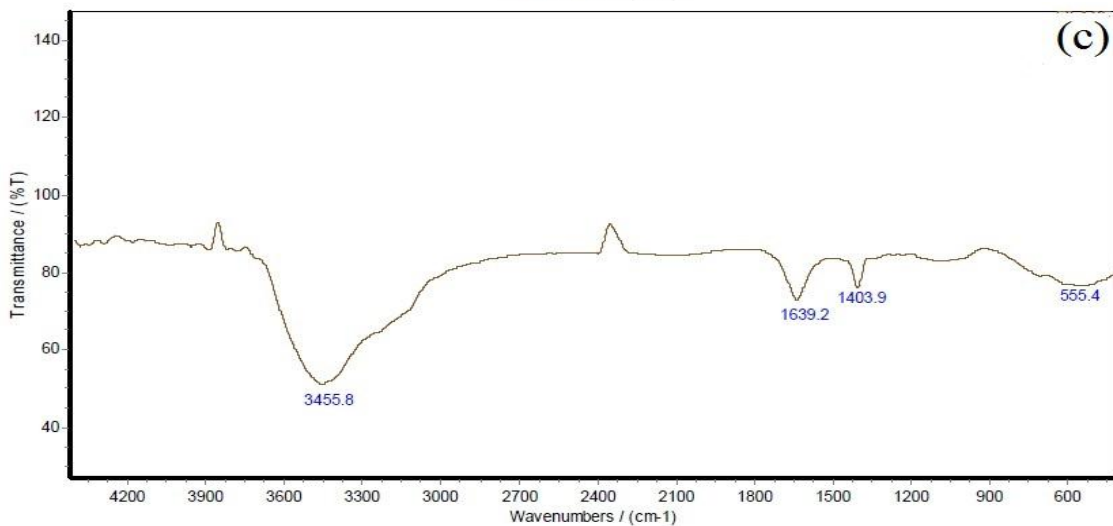
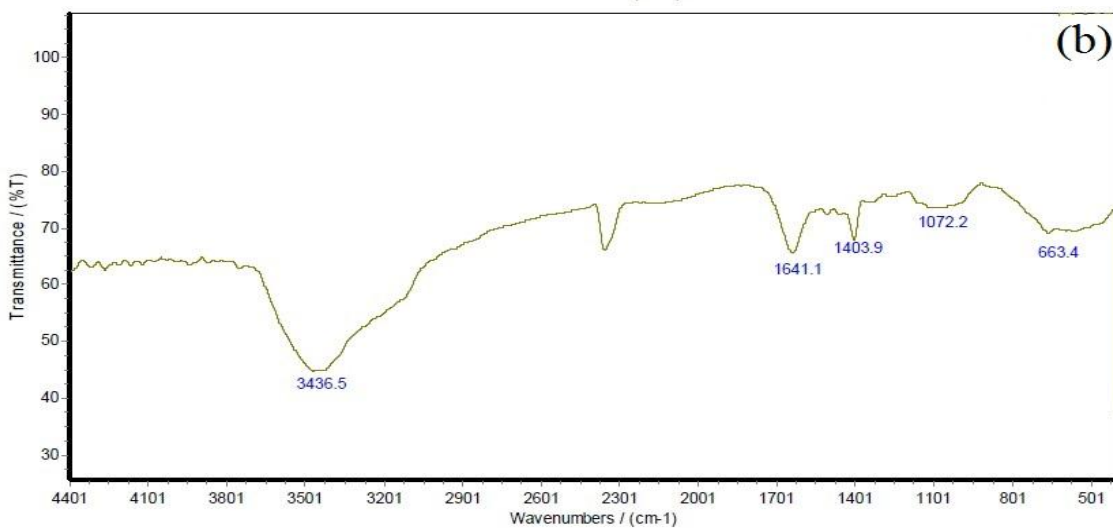
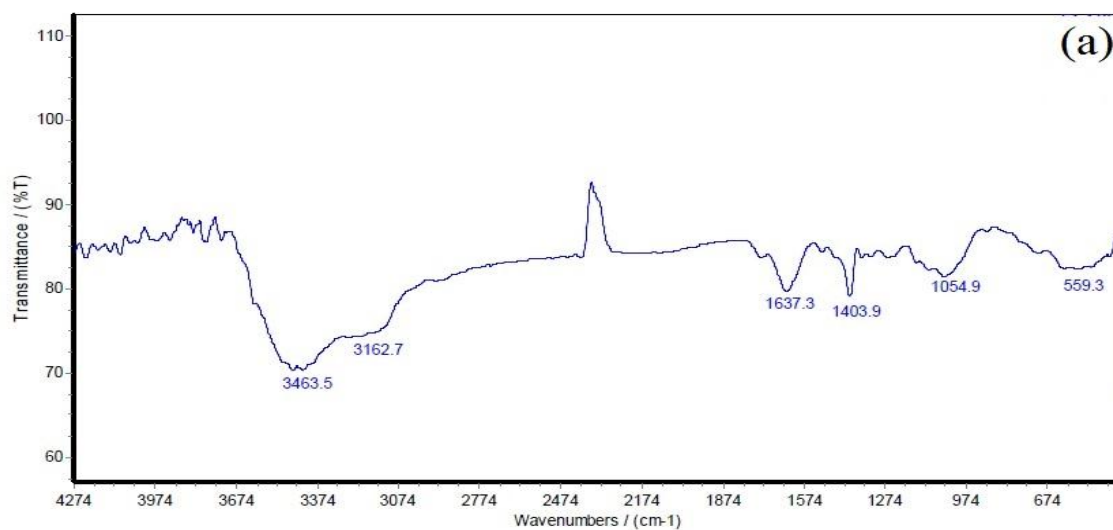
همچنین زنجیره‌های OH در باند  $3643/5 \text{ cm}^{-1}$  تحت تأثیر تیمار قلیایی قرار گرفته و کاهش یافته است. دلیل اصلی برای این اتفاق این است که تیمار قلیایی باعث وسعت دادن منطقه آمورف سلولزی در اثر حذف گروه‌های OH شده است.

شکل ۷ تصویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی پویشی نمونه‌های بدون تیمار و تیمار شده را نشان می‌دهد. بر اساس شکل (a ۷)، بیرون زدگی آرد چوب از ماتریس پلیمری مشاهده می‌شود. در واقع هنگام شکست نمونه، آرد چوب به صورت سالم از داخل پلیمر خارج شده و با خارج شدن آرد چوب از داخل ماتریس فضاهای خالی در داخل آن ایجاد می‌شود که نتیجه برهم کنش ضعیف بین دو فاز چوب و پلیمر است. همچنین پرزدار شدن سطوح شکست در شکل (b ۷) نشان‌دهنده وجود تمرکز تنش در ماتریس و عدم انتقال تنش از آن به الیاف چوبی است. شکل‌های (c ۷) و (d ۷) به ترتیب تصاویر مربوط به آرد چوب تیمار شده با بنزیل کلرید و هیدروکسید سدیم را نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصاویر مشخص است، در بعضی از مناطق که فعل و انفعال بین چوب و پلیمر بیشتر است، بیرون زدگی الیاف کمتر مشاهده می‌شود. همچنین به هم پیوستگی بیشتری بین تقویت کننده و ماتریس مشاهده می‌شود. در این شکلها، شکست آرد چوب به همراه پلیمر نشان‌دهنده اتصال قوی تر در فصل مشترک چوب و پلیمر است.

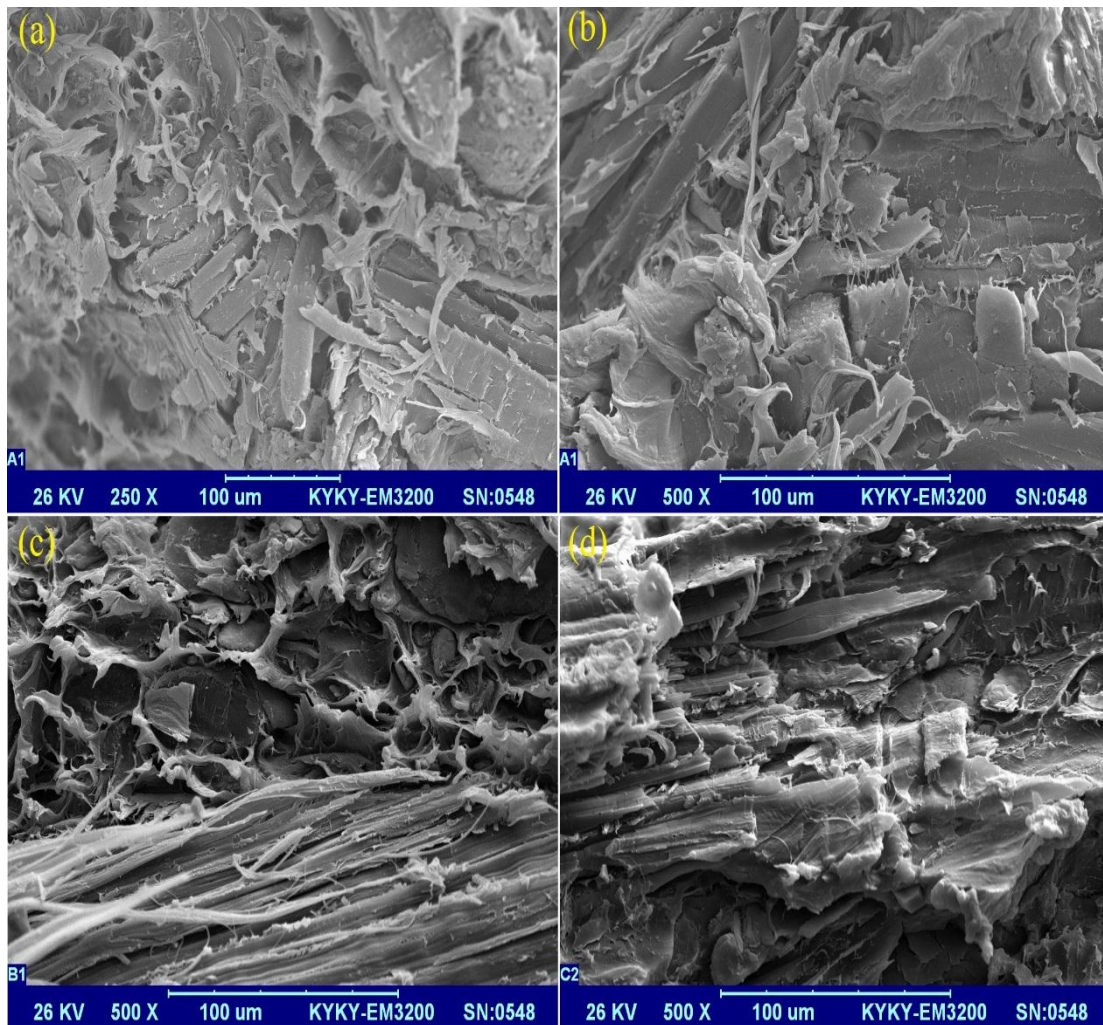
هیدروکسیل را نشان می‌دهد. پیک موجود در دامنه  $3162/7 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از ارتعاش کششی C-H در هیدروکربن‌های موجود در الیاف است و پیکی که در باند  $1637/3 \text{ cm}^{-1}$  شانه انداخته است بیانگر جذب آب مربوط به CH است. پیک ظاهر شده در باند  $1403/9 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به وجود  $\text{CH}_2$  خمشی در لیگنین است. پیک موجود در محدوده  $1054/9 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به کشش C-O در سلولز و همی سلولز است.

شکل (b ۶) طیف‌سنجی FTIR مربوط به آرد چوب تیمار شده با بنزیل کلرید را نشان می‌دهد. در این شکل شدت پیک در باند  $3463/5 \text{ cm}^{-1}$  به شدت کاهش یافته است که نشان‌دهنده مصرف گروه‌های هیدروکسیل در واکنش با بنزیل کلرید است. در این شکل پیک  $\text{cm}^{-1}$   $3162/7$  به طور کامل حذف شده است که دلیل آن حذف مواد اضافی از آرد چوب در اثر تیمار بنزیلی است. وجود پیک جدید در دامنه  $663/4 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه‌های بنزنی است که در اثر تیمار بنزیل کلرید به آرد چوب اضافه شده است (Dominkovics *et al.*, 2007; Ghasemi & Farsi, 2010).

شکل (c ۶) طیف‌سنجی FTIR مربوط به آرد چوب تیمار شده با هیدروکسید سدیم را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، پیک  $\text{cm}^{-1}$   $3162/7$  و  $1054/9 \text{ cm}^{-1}$  به طور کامل حذف شده است که می‌توان دلیل آن را حذف مواد غیر سلولزی مانند چربی، موم، پکتین و همی سلولز از الیاف دانست (Ghasemi & Farsi, 2010; Raj & Kokta, 1989; Li )



شکل ۶- طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز، آرد چوب بدون تیمار (a)، بنزیلاسیون (b) و مرسریزاسیون (c)

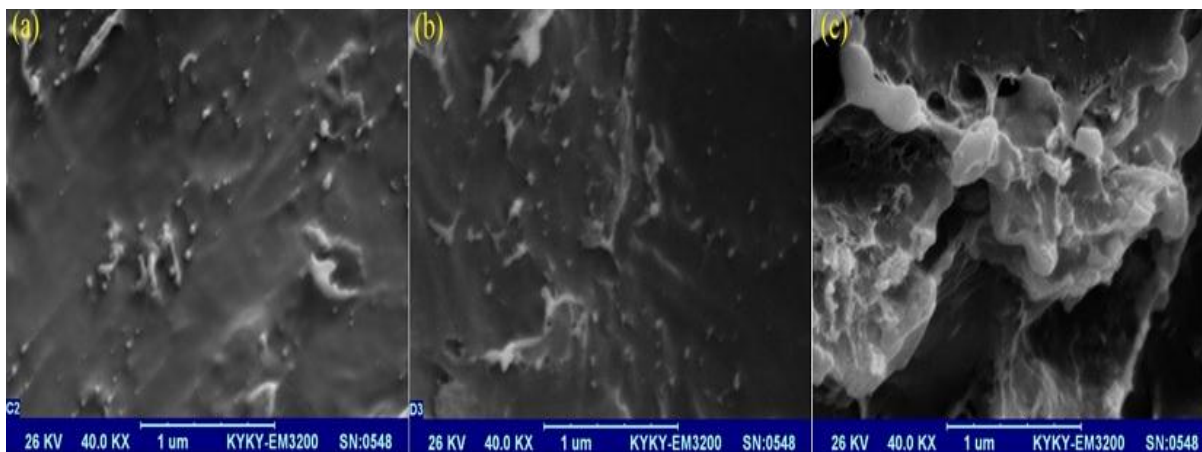


شکل ۷- میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)، نمونه بدون تیمار (a, b)، بنزیلاسیون (c) و مرسیزاسیون (d)

هنگام استفاده از ۳ درصد نانو سیلیس شکل (b, a)، فاصله بین ذرات نسبت به سطح ۱ درصد کاهش یافته، اما نحوه پراکنش آنها در ماتریس مناسب است. همان طور که در شکل (c) مشاهده می شود، در هنگام استفاده از ۵ درصد نانو سیلیس تجمع ذرات سیلیسی (کلوخینگی) اتفاق افتاده است. اندازه ذرات اندازه گیری شده در این تصویر بسیار بالاتر از ادعای کارخانه سازنده می باشد، این بدان معنی است که نانو ذرات سیلیس به دلیل دارا بودن انرژی سطحی بسیار بالا و نیروهای جاذبه، تمایل به جذب یکدیگر از طریق پیوندهای هیدروژنی دارند.

شکل ۸، تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی مربوط به سطوح مختلف نانو سیلیس در بستر نانوکامپوزیت را نشان می دهد. همان طور که در تصاویر مشاهده می شود، در هنگام استفاده از ۱ درصد نانو سیلیس، شکل (a) توزیع و پراکنش آنها به خوبی در ماتریس پلیمری شکل گرفته است. اندازه ذرات اندازه گیری شده در تصاویر کمتر از ۲۰ نانومتر است که تا حدودی با ادعای کارخانه سازنده در خصوص قطر ذرات (۱۱-۱۴ نانومتر) مطابقت دارد. این بدان معنی است که نانو ذرات در سطح ۱ درصد، بدون ایجاد برهم کنش و به صورت مجزا از هم در ماتریس پلیمری پخش شده اند. در





شکل ۸- میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)، ۱ درصد نانو سیلیس (a)، ۳ درصد نانو سیلیس (b) و ۵ درصد نانو سیلیس (c)

### منابع مورد استفاده

- Albano, C., Ichazo, M., Gonzalez, J., Delgado, M., and Poleo, R. 2001. Effects of filler treatments on the mechanical and morphological behavior of PP+wood flour and PP+sisal fiber. *Journal of Material Research Innovate*, 4(5-6): 284-293.
- American Society for Testing and Materials. ASTM. 2011. Standard guide for evaluating mechanical and physical properties of wood-plastic composite products. Annual book of ASTM standards. Philadelphia. ASTM D7031-11.
- American Society for Testing and Materials. ASTM. 2012. Standard practice for injection molding test specimens of thermoplastic molding and materials. ASTM D3641-12. Annual book of ASTM standards. Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials. ASTM. 2013. Standard practice for conditioning plastics for testing. ASTM D618-13. For testing. ASTM D618-13. Annual book of ASTM standards. Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials. ASTM. 2013. Standard test method for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. ASTM D790-10. Annual book of ASTM standards. Philadelphia.
- Bikiaris, D., Karavelidis, V., and Karayannidis, G. 2006. A new approach to prepare poly (ethylene terephthalate)/silica Nano composites with increased molecular weight and fully adjustable branching or crosslinking by SSP. *Macromol. Rapid Commun*, 27(15): 1199-1205.
- Chae, D.W. and Kim, B.C. 2007. Effects of introducing silica particles on the rheological properties and crystallization behavior of poly (ethylene terephthalate). *J. Mater. Sci*, 42(4): 1238-

### نتیجه گیری

نتایج حاصل از این بررسی نشان داد:

- ۱- ویژگی‌های مکانیکی شامل مقاومت خمشی و مدول خمشی در اثر تیمار شیمیایی افزایش یافتند اما ویژگی‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در اثر تیمار شیمیایی کاهش یافتند.
- ۲- با افزایش نانو ذرات سیلیس تا ۳ درصد مقاومت‌های مکانیکی افزایش یافتند اما افزودن مقادیر بیشتر نانو ذرات مقاومت‌های مکانیکی را کاهش داد. همچنین با افزایش نانو ذرات سیلیس تا ۵ درصد جذب آب نانو کامپوزیت‌ها افزایش یافت اما واکنشیدگی ضخامت کاهش یافت.
- ۳- طیف‌سنجی (FTIR) تیمار شیمیایی آرد چوب را تأیید کرد. به طوری که پیک موجود در دامنه  $3162/7 \text{ cm}^{-1}$  در اثر تیمار شیمیایی کاملاً حذف شد و پیک موجود در دامنه  $3463/5 \text{ cm}^{-1}$  در اثر تیمار شیمیایی کاهش یافت. همچنین نتایج میکروسکوپ (SEM) حکایت از بهبود فصل مشترک آرد چوب و پلاستیک در اثر تیمار شیمیایی داشت. از طرف دیگر، با افزایش نانو ذرات سیلیس تا ۳ درصد پراکنش ذرات در داخل ماتریس پلیمری مناسب بود اما استفاده از ۵ درصد نانو سیلیس باعث تجمع توده‌های سیلیسی شد، و ابعاد بلورها افزایش یافت و پراکنش ذرات غیرمنظم شد.

- Influence of fiber surface treatment on properties of Indian grass fiber reinforced soy protein based bio composites. *Journal Polymer Science*, 45(22): 7589–7596.
- Liu, X.Q., Wang, Y., Yang, W., Liu, Z.Y., Luo, Y., Xie, B.H., and Yang, M.B. 2012. Control of morphology and properties by the selective distribution of Nano-silica particles with different surface characteristics in PA6/ABS blends. *Journal of Materials Science*, 47(11): 4620-4631.
  - Lu, Z., Wu, Q., and Mc Nabb, S. 2000. Chemical coupling in wood fiber and polymer composites: A review of coupling agents and treatments. *Wood and Fiber Science*, 32(1): 88-104.
  - Matuana, L.M., Balatinec, J., and Park, C.B. 2001. Surface characteristics of esterified cellulosic fiber by XPS and spectroscopy. *Wood Science and Technology*, 35(3): 191–201.
  - Matuana, L.M., Park, C.B., and Balatinecz, J.J. 1998. Cell morphology and property relationships of microcellular foamed PVC/wood fiber composites. *Polymer Engineering & Science*, 38(11): 1862-1872.
  - Militz, H., and Beckers, E.P.J. 1994. Process for acetylating solid wood. *European Patent Application*, 85850268.5.
  - Mishra, S., Tripathy, S.K and Mohanty, A.K. 2001. Graft copolymerization of acrylonitrile on chemically modified sisal fibers. *Macromol Mater Eng*, 286(2): 107–113.
  - Mohebbi, B. 2003. Biological attack of acetylated wood. Ph.D. Thesis, Gottingen University, Gottingen, p. 147.
  - Nourbakhsh, A., Karegarfard, A., and Ashori, A. 2010. Effects of particle size and coupling agent concentration on mechanical properties of particulate-filled polymer composites. *J Thermoplastic Compos Mater*, 23(2): 169–174.
  - Oksman, K., and Sain, M. 2008. *Wood-polymer composites*. Cambridge: Wood head Publishing Ltd, p. 366.
  - Ozmen, N., Cetin, N.S., Mengeloglu, F., Birinci, E., and Karakus, K. 2013. Effect of wood acetylation with vinyl acetate and acetic anhydride on the properties of wood plastic composite. *Journal of bio resources*, 8(1): 753-767.
  - Parvinzadeh, M., Moradian, S., Rashidi, A., and Yazdanshenas, M.E. 2010. Surface characterization of polyethylene terephthalate/silica Nano composites. *Applied Surface Science*, 256(9): 2792-2802.
  - Quercia, G., Spiesz, P., Husken, G., and Brouwers, J. 2012. Effects of Amorphous Nano silica addition on mechanical and durability performance of scc 1244.
  - Chung, S.C., Hahm, W.G., and Im, S.S. 2002. Poly ethylene terephthalate (PET) Nano composites filled with fumed silicas by melt compounding. *Macromol. Res*, 10(4): 221-229.
  - Deka, B.K., and Maji, T.K. 2012. Effect of SiO<sub>2</sub> and Nano clay on the properties of wood polymer Nano composite. *Polymer. Bull*, DOI 10.1007/s00289-012-0799-6.
  - Dominkovics, Z., Danyadi, L., and puka'nszky, B. 2007. Surface modification of wood flour and its effect on the properties of PP/wood composites. *Composites Part A*, 38(8): 1893-1901.
  - Evans, P.D., Wallis, A.F.A., and Owen, N.L. 2000. Weathering of chemically modified of scote pine acetylated to different weight gains. *Wood science and technology*, 34(2): 151-165.
  - Ghasemi, I., and Farsi, M. 2010. Interfacial behavior of wood plastic composite: effect of chemical treatment on wood fibers. *Iran Polymer Journal*, 19(10): 811–818.
  - Guyard, A., Persello, J., Boisvert, J.P., and Cabane, B. 2006. Relationship between the polymer/silica interaction and properties of silica composite materials. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 44(7): 1134–1146.
  - Hill, C. 2006. *Wood modification chemical. Thermal and other process* John Wiley and Sons Ltd, 88-109.
  - Ismaeilimoghadam, S. 2014. Effect of Chemical Modification of Wood Flour on the Properties of Polypropylene- Nano SiO<sub>2</sub> Hybrid Nano Composite. Master thesis Wood and Paper Science and Technology, Zabol University, pp 201.
  - Ismaeilimoghadam, S. Shamsian, M. Bayat Kashkoli, A. Kord, B. 2015. Evaluation of effect of Nano SiO<sub>2</sub> on the physical, mechanical and morphological properties of hybrid Nano composite from polypropylene-wood flour. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 30(2): 266-277
  - Kalia, S., Kaith, B.S., and Kaur, I. 2009. Pretreatment of natural fiber and their application as reinforcing material in polymer composites. *A review polymer Engineering and science*, 49(7): 1253-1272.
  - Kord, B., and Taghizadeh Haratbar, D. 2014. Influence of fiber surface treatment on the physical and mechanical properties of wood flour-reinforced polypropylene bionanocomposites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 1–14.
  - Li, X, Tabil, L.G., and Panigrahi, S. 2007. Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber reinforced composites: a review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1): 25–33.
  - Liu, W., Mohanty, M., and Askeland, A.K. 2004.

- Engineering: R: Reports, 53(3-4): 73–197.
- Wang, L.K., Wang, L., Chen, Y., and Zhang, C.H. 2005. Preparation, morphology and thermal/mechanical properties of epoxy/Nano clay composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(11): 1890–1896.
  - Woodhams, R.T., Thomas, G., and Rodgers, D.K. 1984. Wood fibers as reinforcing fillers for polyolefin. *Polymer Engineering & Science*, 24(15): 1166–1171.
  - Xanthos, M. 2005. *Functional fillers for plastics*. Wiley, Weinheim.
  - Xu, X., Li, B., Lu, H., Zhang, Z., and Wang, H. 2008. The effect of the interface structure of different surface-modified Nano-SiO<sub>2</sub> on the mechanical properties of nylon 66 composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 107(3): 2007–2014.
  - Zhang, M.Q., Rong, M.Z., Zhang, H.B., and Rich, K.F. 2003. Mechanical properties of low Nano-silica filled high density polyethylene composites. *Polymer Engineering & Science*, 43(2): 490-500.
  - Zhang, X., Tian, X., Zheng, J., Yao, X., Liu, W., Cui, P., and Li, Y. 2008. Relationship between microstructure and tensile properties of PET/Silica Nano composite fibers. *Journal of Macromolecular Science*, 47(2): 368–377.
  - mixture. International congress on durability of concrete, 8-12.
  - Raj, R.G., and Kokta, B.V. 1989. Effect of chemical treatment of fiber composites. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 3(1): 55–64.
  - Rong, M.Z., Zhang, M.Q., Pan, S.L., Lehmann, B., and Friedrich, K. 2004. Analysis of the interfacial interactions in polypropylene/silica Nano composites. *Polymer International*, 53(2): 176–183.
  - Rowell, R.M. 1997. Chemical modification of wood: Advantages and disadvantages *Proceedings Am. Wood Preservers, Association*: 1-10.
  - Rowell, R.M., Sandi, A.R., and Gatenholm, D.F. 1997. Utilization of natural fibers in plastic composites problem and opportunities in lignocellulose composites. *J Compos*, 18: 23–51.
  - Susheel, K., Kaith, B.S., and Inderjeet, K. 2009. Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites: a review. *Polymer Engineering & Science*, 49(7): 1253–1272.
  - Tian, X., Zhang, X., Liu, W., Zheng, J., Ruan, C., and Cui, P. 2006. Preparation and properties of poly (ethylene terephthalate)–silica Nano composites. *Journal of Macromolecular Science*, 45(4): 507-513.
  - Tjong, S.C. 2006. Structural and mechanical properties of polymer Nano composites. *Materials Science and*



## Effect of chemical modification of wood flour on properties of polypropylene-nano SiO<sub>2</sub> hybrid nanocomposite

Ismailimoghadam, S.<sup>1\*</sup>, Shamsian, M.<sup>2</sup>, Bayat Kashkoli, A.<sup>3</sup> and Kord, B.<sup>4</sup>

1\*- Corresponding author, Young Researchers and Elite Club, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran  
E-mail: Saeed.am17358@gmail.com

2- Assistant professor in Science & Wood Industry & Paper Group, Zabol University, Zabol, Iran

3- Associate professor, in Science & Wood Industry & Paper Group, Zabol University, zabol, Iran

4- Department of Paper and Packaging Technology, Faculty of Chemistry and Petrochemical Engineering, Standard Research Institute (SRI), Karaj, Iran

Received: Feb., 2015

Accepted: Oct., 2015

### Abstract

This research was conducted to evaluate the effect of chemical treatment of wood flour on physical, mechanical and morphological properties of polypropylene-nano SiO<sub>2</sub> hybrid nanocomposite. For this purpose, wood flour was treated with sodium hydroxide and benzyl chloride and to ensure the chemical treatment, Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy tests was done on the treated and untreated wood flour. Wood flour (40%) with 60% weight ratio with polypropylene and 4% maleic anhydride grafted polypropylene coupling agent was compounded in extrusion mixture. Also Nano SiO<sub>2</sub> at 0, 1, 3 and 5% as filler was used. The specimens were manufactured using injection molding technique. Then mechanical tests such as bending resistance and modulus and physical tests such as water absorption and thickness swelling were measured according to the ASTM standard. Also morphological features of the Nano composites were determined using Scanning Electron Microscopy (SEM). Results showed that the bending resistance and modulus increased with by chemical treatment but water absorption and thickness swelling were decreased. With increasing the Nano SiO<sub>2</sub> to 3% the mechanical properties increased but adding further amount reduced the mechanical properties. With increase of SiO<sub>2</sub> Nano particles to 5% the water absorption of Nano composites were increased, but thickness swelling was decreased. The results of SEM showed an improvement in interface between filler and matrix by chemical treatment Adding 3% can be considered suitable.

**Keywords:** Hybrid nanocomposite, chemical modification, Nano SiO<sub>2</sub>, morphology, dimensional stability.