Archive of SID

بررسی مقاومت به ضربه تخته‌لایه ساخته‌شده با چسب تقویت‌شده با نانو الیاف سلولز

مصطفی سفیدروح[۱]
ابوالقاسم خزاعیان[۲*]
محمدحسین پل[۳]
غلامحسین لیاقت[۴]
حسین یوسفی[۵]

[۱] دانشجوی دکتری چندسازه چوبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

[۲] دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

[۳] استادیار گروه مکانیک دانشگاه تفرش، ایران

[۴] استاد گروه مکانیک دانشگاه تربیت مدرس، ایران

[۵] استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:
khazaeian@gau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۳

چکیده

در این پژوهش از نانو فیبر سلولز به‌عنوان پرکننده چسب، در ساخت تخته لایه از چوب ملج (Ulmus globra) استفاده شد و سپس مقاومت به ضربه نمونه‌های تخته لایه موردبررسی قرار گرفت. بدین منظور نانو الیاف سلولز در چهار سطح ۰، ۰/۵ و ۱ و ۱/۵ درصد نسبت به وزن خشک چسب اوره فرمالدهید، به چسب اضافه گردید و تخته ۴ لایه با این چسب‌ها ساخته شدند که جهت الیاف لایه رو و زیر یا هم موازی بودند و جهت الیاف دولایه مغزی، عمود بر آن‌ها قرار گرفت. به‌منظور بررسی خواص ضربه‌ای، نمونه‌هایی از این تخته لایه‌ها با دستگاه ضربه سقوط آزاد آزمایش شد و نیروی بیشینه وارد به نمونه، جابه‌جایی در نیروی بیشینه، انرژی صرف شده برای نیروی بیشینه و انرژی جذب‌شده کل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نمونه دارای ۰/۵ درصد نانو الیاف سلولز، بهترین خاصیت ضربه‌پذیری را داشت و با افزایش نانو، تمامی خواص ضربه‌ای به‌طور معنی‌داری با افت مواجه شدند. همچنین در اکثر خواص ضربه‌ای، نمونه‌های دارای نانوسلولز بهتر از نمونه‌های بدون نانوسلولز (شاهد) بود.

واژگان کلیدی: مقاومت مکانیکی، آزمون ضربه سقوط آزاد، تخته لایه، چسب، نانو الیاف سلولز، ملج.

مقدمه

با نگاهی به تاریخچه تولید اوراق فشرده چوبی، تولید این محصول همواره تغییراتی داشته است و محصولات جدید تخته چندلایه یا تخته خرده چوب با ویژگی‌های گوناگونی به وجود آمده است. چسب نقش مهمی را در خواص مکانیکی اوراق فشرده چوبی دارد و ساده‌ترین راه برای افزایش نسبی مقاومت‌های اوراق فشرده چوبی، افزایش مقدار چسب مصرفی است [۱].

چسب اوره فرمالدهید بیشترین مصرف را در صنایع اوراق فشرده چوبی دارد که دلیل آن ناشی از عملکرد خوب رزین، واکنش‌پذیری بالا و قیمت پایین آن است. درنتیجه با توجه به فراوانی مصرف این رزین در صنایع

www.SID.ir

Archive of SID

تخته لایه و تخته خرده چوب در مصارف داخلی، مطالعات زیادی بر روی بهبود خواص این چسب صورت گرفته است. البته این رزین دارای معایبی ازجمله مقاومت کم در مقابل رطوبت و نیز انتشار گاز فرمالدهید است. لذا بهبود خواص تخته با افزایش مقدار چسب مصرفی روش چندان مناسبی نیست و باعث خطرات زیست‌محیطی می‌گردد. به‌منظور غلبه کردن بر این مشکل می‌توان از اکستندرها یا اصلاح‌کننده‌های چسب استفاده نمود. همچنین افزودن پرکننده‌های فیبری به چسب مایع یک فرصت بالقوه برای کاهش مقدار مصرف و افزایش مقاومت آن است. [۲].

اندازه ذرات پرکننده اثر قابل‌توجهی بر عملکرد و کارایی چسب دارد و معمولاً کاهش اندازه ذرات پرکننده در جهت بهبود عملکرد آن‌ها در چسب مؤثر است [۳].

نانو ذرات موادی هستند که حداقل اندازه یک بعد آن‌ها زیر ۱۰۰ نانومتر است و به دلیل مزایایی که نسبت به ذرات با ابعاد بزرگ‌تر دارند امروزه موردتوجه قرارگرفته‌اند. این ذرات اغلب به دلیل سطح ویژه بالا واکنش‌پذیری شیمیایی بسیار بالایی دارند و علاوه بر پرکنندگی با توجه به ویژگی‌های مطلوبشان، نقش تقویت‌کنندگی و بهبود خواص مکانیکی را نیز بازی می‌کنند [۴].

Modeli و Sefidrouh (۲۰۱۵) مروری بر روش‌های بهبود ویژگی‌های چسب‌ها با نانو تقویت‌کننده‌ها انجام دادند و اشاره نمودند که تقویت چسب با نانو تقویت‌کننده‌ها به دلیل سطح ویژه بالا و نسبت منظر زیاد باعث تقویت چسب می‌گردد [۵].

نانوسلولز یکی از این نانو مواد است. استفاده از نانوسلولز در کنار رفع نگرانی‌های زیست‌محیطی، به‌عنوان تقویت‌کننده در رزین‌ها مزایای قابل‌توجه زیادی نسبت به دیگر مواد دارند که از این قبیل مزایا می‌توان به زیست تجزیه‌پذیر بودن، در دسترس بودن، فراوانی زیاد، سطح ویژه وسیع، ضریب ظاهری بالا، انعطاف‌پذیری بالا، خواص مکانیکی/دینامیکی بالا، مقاومت و سختی بالا، شفافیت، خواص حرارتی و الکتریکی بهتر، دانسیته پایین، مصرف انرژی پایین و سطح نسبتاً فعال برای ایجاد پیوندزنی گروه‌های ویژه [۶ و ۷].

Barzali و همکاران (۲۰۱۵)، خواص فیزیکی و مکانیکی تخته لایه ساخته‌شده از چوب صنوبر با چسب اوره فرمالدهید تقویت‌شده با نانو الیاف سلولزی را موردبررسی قراردادند و بدین منظور نانو الیاف سلولز را در پنج سطح صفر، ۱، ۳، ۵ و ۷ درصد به چسب اوره اضافه نمودند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش نانوسلولز، پایداری ابعادی، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و مقاومت برشی تخته‌ها افزایش پیداکرده است ولی اختلاف معنی‌داری بین سطوح نمونه‌ها مشاهده نشد [۸].

امروزه مواد دو یا چندلایه غیرفلزی به‌طور وسیعی به‌عنوان محافظ در بسته‌بندی به کار می‌روند. چوب به علت ارزان بودن نسبی، فراوانی، داشتن وزن مخصوص کم، انعطاف‌پذیری مناسب، قیمت نسبتاً پایین، در دسترس بودن و استحکام بالا به‌عنوان ماده پشتیبان ضربه استفاده می‌شود.

همچنین فرآورده‌های چوبی صفحه‌ای مانند تخته خرده چوب، تخته فیبر و تخته چندلایه به‌صورت گسترده‌ای در ساخت مصنوعات چوبی محافظ ضربه استفاده می‌شوند [۹].

هدف از این پژوهش استفاده از نانوسلولز به‌عنوان تقویت‌کننده چسب اوره فرمالدهید در ساخت تخته لایه و بررسی ویژگی‌های مقاومت به ضربه نمونه‌ها برای استفاده آن‌ها در صنعت بسته‌بندی و مواد محافظ ضربه است.

مواد و روش‌ها

لایه

برای ساخت تخته لایه، از لایه درجه‌یک چوب ملچ *(Ulmus glabra)* با ضخامت ۱/۵ میلی‌متر استفاده گردید. لایه‌ها در کوره با دمای ۷۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و به مدت دو هفته در شرایط محیط قرار گرفتند.

چسب و سخت‌کننده[1]

چسب مورداستفاده برای ساخت تخته لایه از نوع اوره فرمالدهید بود که به همراه نمک کلرید آمونیوم به‌عنوان سخت‌کننده از شرکت صنایع شیمیایی فارس تهیه گردید که مشخصات چسب در جدول ۱ نشان داده‌شده است.

[1] hardener

www.SID.ir

Archive of SID

پرکننده

از آرد گندم شرکت زاهدی گرگان به‌عنوان پرکننده استفاده گردید. میزان مصرف سخت‌کننده ۲ درصد و پرکننده ۱۰ درصد نسبت به وزن خشک چسب بود.

جدول ۱ - مشخصات چسب اوره فرمالدهید مایع (اطلاعات کارخانه سازنده)

توضیحات	مشخصات
شکل ظاهری	مایع
درصد جامدات، وزنی	۶۳ درصد
گرانروی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد	۲۵۰ - ۴۵۰
فرمالدهید آزاد (حداکثر)	۰/۶ درصد
pH در ۲۵ درجه سانتی‌گراد (حداقل)	۷/۵ تا ۹
چگالی نسبی در ۲۰ درجه سانتی‌گراد (گرم بر سانتیمتر مکعب)	۱/۲۷۵
عمر مفید در ظرف سرباز در ۲۵ درجه سانتی‌گراد با سخت‌کننده (حداقل)	۶ ساعت
زمان ژل شدن در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد با سخت‌کننده (حداکثر)	۴۵ ثانیه
نسبت رقیق‌سازی با آب	۲

نانوسلولز

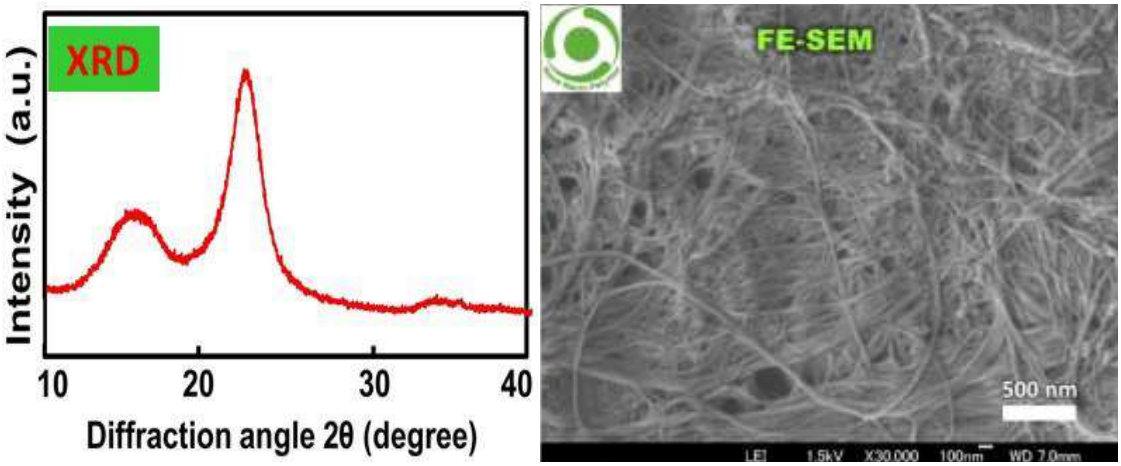
نانو مواد استفاده‌شده در این تحقیق، نانو الیاف سلولز تولیدشده به روش مکانیکی بود که از شرکت دانش بیان نانو نوین پلیمر ایران تهیه شد. ویژگی‌های این نانو الیاف سلولز در جدول ۲ خلاصه‌شده است. همچنین شکل ۱ تصویر FESEM و نمودار XRD آن را نشان می‌دهد که به‌وسیله شرکت سازنده تهیه‌شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های نانو الیاف سلولز مورداستفاده (اطلاعات شرکت سازنده)

نام	نانو الیاف سلولز
فرمول	$[c_5H_{10}H_5]_n$
حالت ماده	ژل با غلظت ۲/۵ درصد
درصد مواد جامد	۲/۵ درصد
رنگ	سفید
درصد نانو مواد	۹۸
قطر الیاف (نانومتر)	۳۲
روش تولید	مکانیکی
منبع	باگاس

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ – تصویر FESEM و نمودار XRD نانو الیاف سلولز

آماده‌سازی چسب

برای آماده‌سازی چسب برای نمونه‌هایی که دارای نانوسلولز بودند ابتدا چسب و پرکننده و نانوسلولز به نسبت مشخص طبق جدول ۳ توزین شدند و سپس به مدت ۱ ساعت توسط همزن با دور ۱۶۰۰ هم زده شدند و در انتها سخت‌کننده به این مخلوط اضافه گردید و به مدت ۱۰ دقیقه با همین دور، چسب نهایی آماده گردید. میزان مصرف چسب نهایی آماده مصرف ۲۰۰ گرم بر مترمربع است و به‌صورت خط چسب دوطرفه اضافه گردید.

جدول ۳ – کدبندی تخته لایه‌ها و مشخصات چسب آماده مصرف در آن‌ها

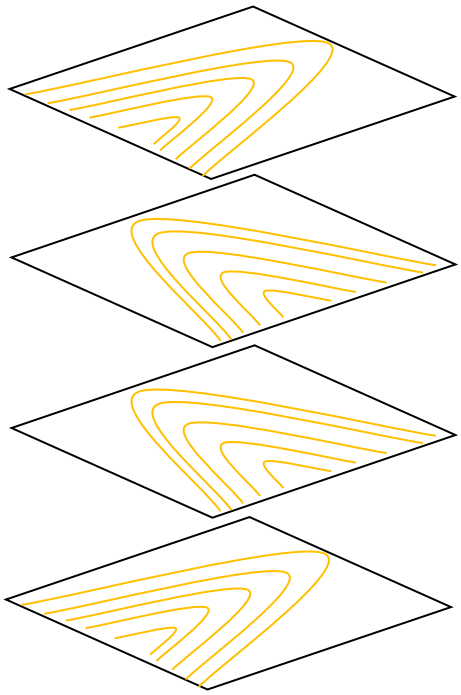
کد تخته لایه	چسب (گرم بر مترمربع)	درصد سخت‌کننده (نسبت به وزن خشک چسب)	درصد پرکننده (نسبت به وزن خشک چسب)	درصد نانوسلولز (نسبت به وزن خشک چسب)
P0 (شاهد)	۲۰۰	۲	۱۰	۰
P0.5	۲۰۰	۲	۱۰	۰/۵
P1	۲۰۰	۲	۱۰	۱
P1.5	۲۰۰	۲	۱۰	۱/۵

ساخت تخته لایه

تخته لایه با ۴ لایه ساخته شد. پس از چسب زنی لایه‌ها، مونتاژ لایه‌ها بدین‌صورت انجام گرفت که جهت الیاف لایه رو و زیر موازی هم و عمود بر دولایه مغزی قرار گرفتند (شکل ۲) و در پرس گرم ساخت شرکت OTT آلمان مستقر در آزمایشگاه صنایع چوب دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به مدت ۴ دقیقه با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۲ کیلوگرم بر سانتی مترمربع پرس شدند. تخته لایه‌ها پس از ساخت به مدت دو هفته در شرایط کلیماتیزه با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد نگهداری شدند و برای انجام آزمون‌ها برش داده شدند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- چیدمان لایه‌های تخته لایه بر روی‌هم

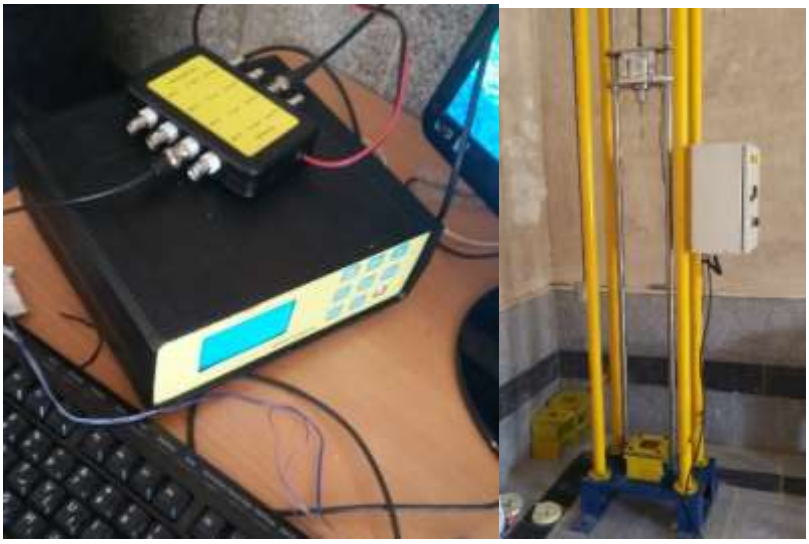
آزمون ضربه

از هر ترکیب، ۳ نمونه برای آزمون ضربه ساخته شد. نمونه‌های ساخته‌شده به ابعاد ۱۲ در ۱۲ سانتیمتر بریده شدند و سپس در دستگاه ضربه سقوط آزاد (شکل ۳) واقع در گروه مکانیک دانشگاه تفرش که مجهز به حسگر شتاب سنج بود مورد آزمون قرار گرفتند. قالب فلزی نگه‌دارنده نمونه‌ها، دارای حفره داخلی (پنجره) به شکل مربعی با ابعاد ۱۰ در ۱۰ سانتیمتر بود و از ۴ طرف با پیچ نمونه‌ها را احاطه می‌کرد. همچنین نفوذکننده میله استوانه‌ای با سر کاملاً تخت به قطر ۱۰ میلی‌متر و طول ۲۱ سانتیمتر بود. ارتفاع سقوط وزنه ۲۵ سانتیمتر تعیین گردید و نفوذکننده (وزنه) با جرم ۸۱۵۰ گرم بر روی نمونه‌ها سقوط کرد.

این دستگاه میزان تغییرات شتاب وزنه برحسب زمان را در حین نفوذ در هر نمونه اندازه‌گیری می‌کند با استفاده از دو روش محاسبات عددی و محاسبه با نرم‌افزار Matlab از نمودار شتاب برحسب زمان انتگرال‌گیری انجام گرفت تا سرعت لحظه‌ای وزنه به دست آید و با انتگرال‌گیری مجدد جابجایی وزنه برحسب زمان برآورد گردید. در هر دو روش محاسبه‌شده مقادیر با تقریب بالایی یکسان به دست آمد که صحت روش انجام کار را تائید نمود. سپس نمودار نیرو برحسب جابجایی ترسیم گردید که برای محاسبه نیرو از رابطه معروف جرم در شتاب استفاده شد. درنهایت با انتگرال‌گیری از این نمودار، انرژی کل واردشده به نمونه‌ها محاسبه گردید.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ - دستگاه ضربه سقوط آزاد دانشگاه تفرش

تجزیه‌وتحلیل آماری

برای تجزیه‌وتحلیل نتایج آزمون ضربه از نرم‌افزار Minitab استفاده گردید و معنی‌داری نمونه‌ها در سطح ۹۹ درصد با آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) موردبررسی قرار گرفت و برای جداسازی میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد.

نتایج و بحث

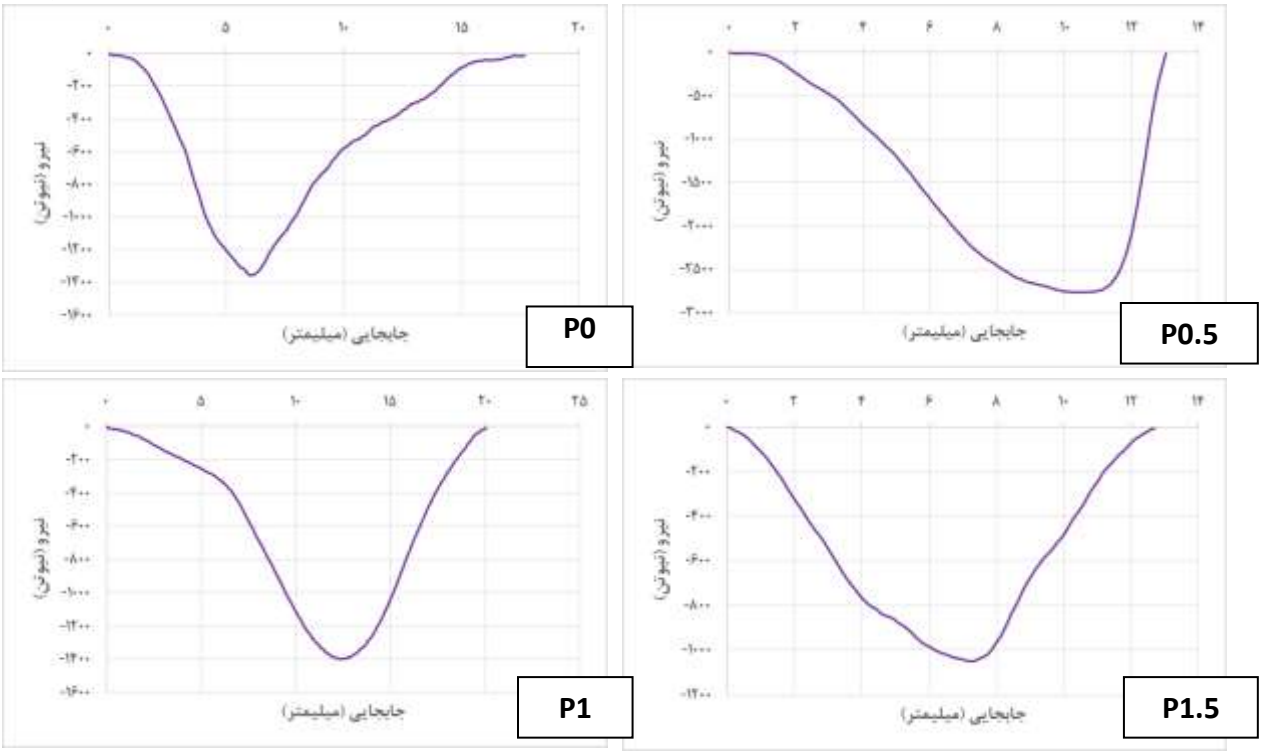
یک پرتابه بلندتر و سنگین مقدار انرژی جنبشی بیشتری در برخورد باهدف دارد و آن‌قدر خوب نفوذ می‌کند که پس از خروج از هدف، مقدار زیادی از انرژی آن باقی می‌ماند. حتی پرتابه‌هایی باانرژی جنبشی کم که تمام انرژی جنبشی خود را به هدف منتقل می‌کنند، می‌توانند تخریب زیادی را ایجاد کنند [۱۰]؛ بنابراین میزان جرم و ارتفاع سقوط وزنه در دستگاه مقاومت به ضربه اهمیت دارد.

با بررسی نمودارهای شکل ۵ می‌توان نیروی بیشینه لازم برای شکست تخته لایه و میزان جابه‌جایی در نیروی بیشینه را استخراج نمود مثلاً بیشترین نیروی لازم برای شکست تخته لایه، در نمونه p0.5 است (نمونه‌ای که چسب آن با ۰/۵ درصد نانوسلولز تقویت‌شده است) که در جابه‌جایی ۱۰/۵۹ میلی‌متر اتفاق افتاده است. همچنین نیروی لازم برای شکست نمونه شاهد و P1.0 تقریباً به یک‌میزان است و نمونه P1.5 کمترین نیرو را برای شکست لازم دارد.

با انتگرال‌گیری از نمودارها، انرژی جذب‌شده در نیروی بیشینه و انرژی جذب‌شده کل برای شکست نمونه‌ها را به دست آورد که در جدول ۴ کل اطلاعات گردآوری‌شده است و در شکل ۶ و ۷ و ۸ به‌صورت نمودار ترسیم‌شده است. جدول شماره ۵ نتایج تجزیه واریانس افزودن نانوسلولز بر روی خواص ضربه‌ای را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵ – نمودار نیرو به جابجایی نمونه‌ها

جدول ۴- جدول مشخصات نمونه‌های آزمون شده به همراه اطلاعات به‌دست‌آمده از نمودار نیرو –جابجایی

نام نمونه	درصد نانو	نیرو بیشینه وارد به نمونه (N)	جابجایی در نیروی بیشینه (mm)	انرژی اولیه (J)	انرژی جذب‌شده در نیروی بیشینه (J)	انرژی جذب‌شده کل (J)	درصد انرژی جذب‌شده به انرژی اولیه
۰P (شاهد)	۰	۱۳۵۴/۳	۶/۱۳	۱۹/۹۹	۳/۹۶	۹/۳۸	۴۷
۰/۵P	۰/۵	۲۶۱۷/۸	۱۱/۴۷	۱۹/۹۹	۱۴/۶۰	۱۹/۶۹	۹۹
۱P	۱	۱۴۰۷/۲	۱۰/۹۴	۱۹/۹۹	۷/۰۲	۱۱/۹۸	۶۰
۱/۵P	۱/۵	۱۱۰۴/۹	۷/۳۱	۱۹/۹۹	۴/۳۵	۷/۵۶	۳۸

جدول ۵ –جدول تجزیه واریانس تأثیر نانوسلولز بر روی خواص ضربه‌ای

خواص موردبررسی	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P-value
نیروی بیشینه	۳	۴۱۳/۴۲	۱۳۷۶/۸۱	۱۴۱/۹۲	۰/۰۰۰**
انرژی جذب‌شده در نیروی بیشینه	۳	۲۱۹/۳۶	۷۳/۱۲	۴۳۰/۷۱	۰/۰۰۰**
انرژی جذب‌شده کل	۳	۲۵۶/۸۶	۸۵/۶۲	۲۲۸/۷۰	۰/۰۰۰**

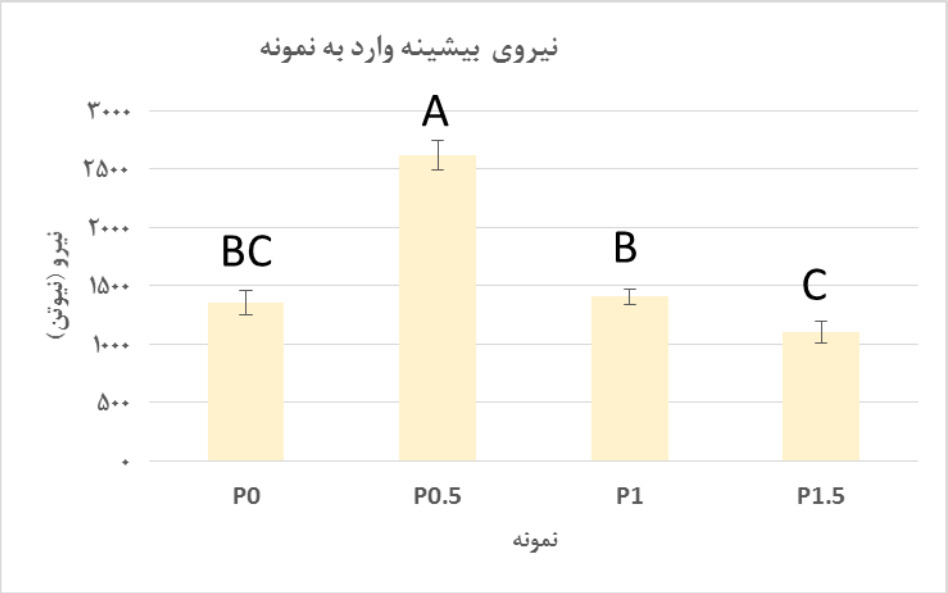
*: معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

**: معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

نتایج این جدول نشان داد که افزودن نانوسلولز به چسب اوره فرمالدهید باعث تغییر معنی‌دار خواص ضربه‌ای تا سطح اطمینان ۹۹ درصد شده است. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده گردید که در نمودارها به‌صورت حروف درج گردید.

www.SID.ir

Archive of SID



شکشکل ۶ – نمودار بیشینه نیروی لازم برای شکست نمونه‌ها

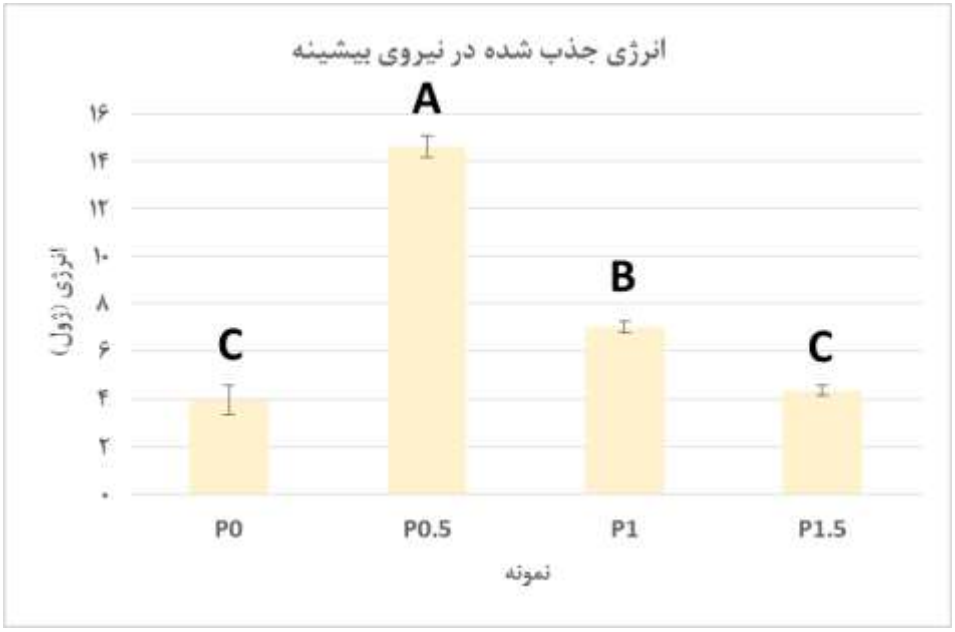
بیشترین نیروی لازم برای شکست در نمونه P0.5 مشاهده می‌شود که ۱۹۳ درصد نسبت به نمونه شاهد (P0) بیشتر است. با افزایش درصد نانوسلولز در چسب، نیروی ماکزیمم برای شکست نمونه، کاهش می‌یابد و طبق جدول تجزیه واریانس این تفاوت‌ها معنی‌دار است. گروه‌بندی میانگین‌ها نیز توسط آزمون توکی انجام‌گرفته است که بر روی هر نمونه با حروف مشخص‌شده است. بین نتایج میانگین نمونه‌های دارای نانوسلولز تفاوت معنی‌داری وجود دارد و نمونه شاهد نیز خواصی بین نمونه‌هایی با ۱ و ۱۵ درصد نانوسلولز داشت.

ازآنجایی‌که در مواد در حد نانو، نسبت سطح مؤثر به حجم ذرات افزایش قابل‌توجهی می‌یابد این امکان به وجود می‌آید که توزیع بهتر و یکنواختی در لایه چسب اتفاق افتد و با ایجاد یک شبکه سه‌بعدی، باعث تشکیل اتصالات عرضی و بهبود خواص چسب و درنتیجه بهبود خواص تخته گردد [۸،۱۱،۱۲،۱۳،۱۴،۱۵].

همچنین در بین نمونه‌های دارای نانو الیاف سلولز با افزایش نانوسلولز، شاهد کاهش نیروی بیشینه شکست هستیم، علت کاهش میزان جذب انرژی و نیروی بیشینه شکست در اثر افزایش درصد نانو الیاف سلولز را می‌توان براثر دلمه شدن و تشکیل کلوخه‌های نانو الیاف سلولز در چسب قلمداد کرد که به خاطر طبیعت آب‌دوست نانوسلولز و تمایل برای ایجاد پیوند هیدروژنی بین ذرات نانوسلولز صورت می‌گیرد. تا سطح ۰/۵ درصد، اختلاط و پراکنش مناسبی از ذرات نانوسلولز در بستر چسب صورت گرفته است که موجب ایجاد یک شبکه سه‌بعدی و تقویت چسب گردیده است ولی در سطوح ۱ و ۱/۵ درصد افزایش کلوخه شدن ذرات نانو الیاف سلولز باعث کاهش خواص مقاومتی چسب گردیده است. Ziaei و همکاران (۲۰۱۶) به نتایج مشابهی برای کلوخه شدن در اثر افزایش مصرف نانو الیاف سلولز دست یافتند [۱۵]. انرژی جذب‌شده در نیروی بیشینه در شکل ۷ قابل‌مشاهده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷ – نمودار انرژی جذب‌شده در نیروی بیشینه

نتایج تحلیل آماری نشان داد که افزودن نانو بر روی این خاصیت تأثیر معنی‌داری دارد به‌طوری‌که بیشترین انرژی جذب در نیروی بیشینه در نمونه P0.5 حاصل‌شده است که ۳۶۹ درصد نسبت به نمونه شاهد (P0) بیشتر است. با افزودن نانو به میزان ۰/۵ درصد بیشترین انرژی جذب‌شده را شاهد بودیم و سپس با افزایش نانو تا ۱/۵ درصد میزان انرژی جذب‌شده کاهش پیدا می‌کند ولی باز از نمونه شاهد بیشتر می‌باشند و کمترین مقدار مربوط به نمونه شاهد (P0) است.

با توجه به اینکه انرژی جذب‌شده در نیروی بیشینه ارتباط مستقیمی با نیروی بیشینه دارد درنتیجه موارد و دلایل اشاره‌شده برای نیروی بیشینه در اینجا نیز مصداق دارد و افزایش انرژی جذب‌شده در اثر افزودن نانو به رزین را می‌توان ایجاد شبکه سه‌بعدی در رزین دانست که متعاقباً باعث بهبود تخته لایه گردیده است.

شکل ۸، نمودار میزان انرژی جذب‌شده در اثر سقوط وزنه در تخته‌ها است که این فاکتور معیار خوبی برای سنجش خواص ضربه‌ای است و بالاتر بودن اعداد نشان‌دهنده مقاومت به ضربه بالا و چقرمه بودن ماده است [۹]. برای تمامی نمونه‌ها، وزنه ۸۱۵۰ جرم داشت و از ارتفاع ۲۵ سانتیمتری سقوط کرده است و با توجه به فرمول زیر میزان انرژی اولیه (انرژی لحظه ورود وزنه به تخته) به دست می‌آید که برابر با ۱۹/۹۹ ژول شده است.

$$E=MHG \qquad (۱)$$

E: انرژی برحسب ژول

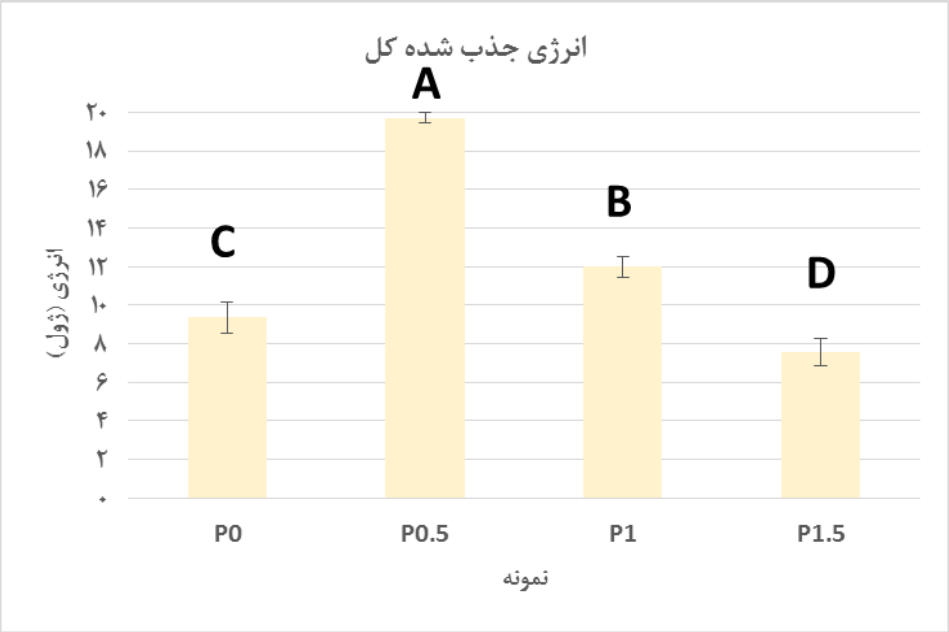
M: جرم برحسب کیلوگ

H: ارتفاع برحسب متر

G: شتاب گرانشی برحسب متر بر مجذور ثانیه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸ – نمودار انرژی جذب‌شده کل

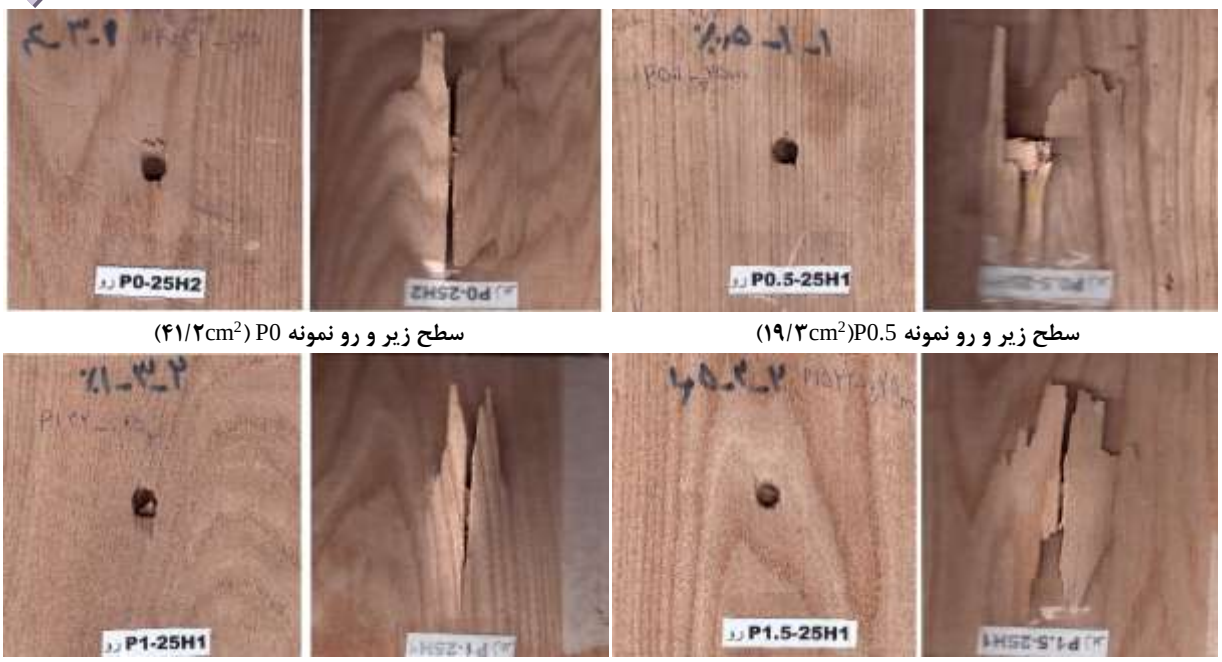
انرژی اولیه در لحظه برخورد وزنه ۱۹/۹۹ ژول است و نمونه P0.5 نشان می‌دهد که تقریباً ۱۰۰ درصد این انرژی را جذب کرده است یعنی برای شکست کامل این نمونه انرژی بیشتری لازم است و برخلاف بقیه نمونه‌ها که انرژی باقیمانده دارند این ترکیب تقریباً تمامی انرژی اولیه را جذب کرده است و بیشترین انرژی جذب‌شده کل بین نمونه‌ها است و حدوداً ۲۱۰ درصد بیشتر از نمونه شاهد است. همچنین کمترین مقدار این آزمون مربوط به نمونه P1.5 بود که حدود ۳۸ درصد انرژی را جذب کرده است. بازهم به‌مانند روند خواص قبلی با افزایش نانو از ۰/۵ به ۱/۵ درصد شاهد کاهش خواص ضربه‌ای هستیم که این کاهش نیز معنی‌داری است و آزمون توکی نشان از تفاوت، بین تمام میانگین‌های ترکیبات مختلف داشت.

با افزودن نانوسلولز نسبت به نمونه شاهد تا سطح ۱ درصد، انرژی جذب‌شده کل افزایش پیداکرده است که باز به دلیل تأثیر مثبت نانو مواد (نانو الیاف سلولز) است که باعث ایجاد ساختار سه‌بعدی و ایجاد اتصالات عرضی در چسب می‌گردد و نشان می‌دهد برای تخریب در اثر ضربه، انرژی بیشتری لازم است ولی علت کاهش در سطح ۱/۵ درصد نانو، نسبت به نمونه شاهد (با توجه به اینکه فقط ۱۹ درصد کاهش را شاهد هستیم ولی این تفاوت معنی‌دار است) به دلیل اجتماع ذرات نانوسلولز به همدیگر در اثر پیوند هیدروژنی (کلوخه شدن) است که باعث تمرکز تنش در نواحی اجتماع می‌گردد که این تمرکز تنش باعث ایجاد شکست در نقاط و درنتیجه آسیب‌پذیری بیشتر نمونه در برابر ضربه واردشده می‌گردد و درنتیجه مقدار کار لازم برای شکست کمتر از نمونه شاهد شده است. در بررسی نتایج سایر محققین مانند Barzali و همکاران و Ziaei و همکاران [۸ و ۱۵] نیز چنین استدلالی مطرح‌شده است.

تصاویر نمونه‌ها پس از برخورد در اثر سقوط وزنه در شکل ۹ نشان داده‌شده است که اثر شکست در رو و زیر نمونه‌ها نمایان است.

www.SID.ir

Archive of SID



سطح زیر و رو نمونه P0 (۴۱/۲cm^2)　　سطح زیر و رو نمونه P0.5(۱۹/۳cm^2)

سطح زیر و رو نمونه P1 (۲۹/۳cm^2)　　سطح زیر و رو نمونه P1.5(۴۳/۷cm^2)

شکل ۹ – تصاویر سطح‌رو و زیر نمونه‌ها در اثر سقوط وزنه (مساحت سطح تخریب در پرانتز نوشته‌شده است.)

اگر به نحوی این مشاهدات را کمی نماییم، می‌توان از کنار هم قرار دادن این نتایج با نتایج قبلی به‌دست‌آمده تجزیه‌وتحلیل دقیق‌تری ارائه دهیم. بهترین کار برای کمی نمودن مشاهدات سطح شکست، برآورد مساحت ناحیه شکست و مقایسه آن‌ها باهم است. بدین منظور از سطح زیری نمونه‌ها اسکن گرفته شد و با نرم‌افزار اتوکد مساحت ناحیه تخریب نمونه‌ها به دست آمد. بیشترین مساحت تخریب مربوط به نمونه P1.5 است و کمترین تخریب نیز در نمونه p0.5 مشاهده گردید. این مشاهدات را می‌توان این‌گونه تفسیر نمود که در نمونه P1.5 از کل انرژی واردشده به نمونه که ۱۹/۹۹ ژول است فقط ۳۸ درصد آن (۷/۵۶ ژول) توسط نمونه جذب‌شده که باعث تخریب نسبتاً زیاد سطح پشتی نمونه شده و ۶۲ درصد انرژی باقیمانده است که در هنگام خروج وزنه از نمونه باقیمانده است. همچنین در نمونه P0، تقریباً ۱۰۰ درصد (۱۹/۶۹ ژول) انرژی اولیه، برای تخریب نمونه صرف شده و این نشان می‌دهد که انرژی اولیه کافی نبوده و باید انرژی بیشتری برای تخریب کامل این نمونه وارد گردد و به همین دلیل سطح تخریب نمونه کمتر شده است.

برای تخته لایه‌های آزمون شده در این تحقیق، هرچه سطح تخریب نمونه در اثر سقوط وزنه با جرم و ارتفاع ثابت، کمتر باشد می‌توان نتیجه گرفت که نمونه از استحکام ضربه‌ای بالاتری برخوردار است و توانسته انرژی بیشتری جذب نماید.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق استفاده از نانو الیاف سلولز به‌عنوان ماده‌ای طبیعی و زیست‌تخریب‌پذیر و دوستدار محیط‌زیست در قالب تقویت‌کننده چسب اوره فرم آلدئید در ساخت تخته لایه موردبررسی قرار گرفت. نتایج آزمون ضربه سقوط آزاد نشان می‌دهد:

۱- با افزودن نانوسلولز به چسب تخته لایه، خواص ضربه‌ای نمونه‌ها (نیروی بیشینه، انرژی جذب‌شده در نیروی بیشینه، انرژی جذب‌شده کل) نسبت به نمونه بدون نانوسلولز (P0) بهتر شده است و در همه خواص، نمونه‌های دارای ۰/۵ و ۱ و ۱/۵ درصد نانوسلولز عملکرد بهتری داشتند فقط نیروی بیشینه و انرژی کل جذب‌شده نمونه دارای ۱/۵ درصد نانوسلولز (P1.5)، کمتر از نمونه شاهد برآورد گردید

۲- در بین نمونه‌های دارای نانوسلولز با افزایش درصد ناتو سلولز از ۰/۵ به ۱/۵ درصد خواص ضربه‌ای به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳- با ارزیابی‌های انجام‌گرفته، نمونه دارای ۰/۵ درصد نانوسلولز (P0.5) بالاترین خواص ضربه‌ای را نشان داد به‌طوری‌که نیروی بیشینه واردشده ۱۹۳ درصد، انرژی جذب‌شده در نیروی بیشینه ۳۶۹ درصد و انرژی جذب‌شده کل ۲۱۰ درصد بالاتر از نمونه شاهد برآورد گردید و نشان داد که تنها با افزودن نانوسلولز در حد ۰/۵ درصد به چسب اوره فرم آلدهید، خواص ضربه و چقرمگی چسب و درنتیجه تخته لایه در حد بسیار بالایی بهبود پیدا می‌کند.

۴- درجاهایی که نیاز است که مقاومت به ضربه تخته لایه را بهبود دهیم، افزودن نانوسلولز در حد ۰/۵ درصد نسبت به جرم خشک چسب راهکار مناسبی است.

منابع

[1] Doosthoseini, K., 2008. Wood Composite Materials, Manufacturing, Applications, Vol 1, Tehran University Press. Iran. 647 pp.

[2] Veigel, S., Müller, U., Keekes, J., Oberstriebnig, M. and Gindl-Altmutter, W., 2011. Cellulose nanofibrils as filler for adhesives: effect on specific fracture energy of solid wood-adhesive bonds. Cellulose, 18:1227-1237.

[3] Lie, H., Pizzi, G. and Celzard, A., 2008. Influence of nanoclay on urea-formaldehyde resins for wood Adhesives and its model. Journal of applied polymer science, 109:2442–2451.

[4] Qiaojia, L., Guidi, Y., Jinghong, L. and Jiuping, R., 2006. Property of nano-SiO2 / urea formaldehyde resin. Journal of Fujian Agriculture and Forestry, 2: 230-237.

[5] Model, O. and Sefidrouh, M., 2015. Improving adhesive characteristics with Nano-Reinforcement: A review. Journal of Polymerization, 5 (4): 43-53.

[6] Xu, Sh., Girouard, N., Schueneman, G., Shofner, M.L. and Meredith, J.C., 2013. Mechanical and thermal properties of waterborne epoxy composites containing cellulose nanocrystals. Polymer Journal, 54 (24) 6589- 6598.

[7] Lopez-Suevos, F., Eyholzer, C., Bordeanu, N.and Richter, K., 2010. DMA analysis and wood bonding of PVAc latex reinforced with cellulose nanofibrils. Cellulose, 17 (2) 387-398.

[8] Barzali, S., Jamalirad, L., Faraji, F. and Hedjazi, S., 2015. Using cellulose nanofiber as filler and reinforcing agent of urea formaldehyde. Iranian Journal of Wood and Paper Industries. 6 (2): 227-237. (In Persian).

[9] Zike, S.and Kalnins, K., 2011. Enhanced Impact Absorption Properties of Plywood. In Civil Engineering. International Scientific Conference. Proceedings (Latvia). Latvia University of Agriculture.

[10] Jandial, R., Reichwage, B., Levy, M., Duenas, V. and Sturdivan, L., 2008. Ballistics for the neurosurgeon. Neurosurgery, 62: 472-480.

[11] Dashti, H., Salehpur, Sh., Taghiyari, H.R., Akbarifar, F. and Heshmati, S., 2012. The effect of nano clay on the mass transfer properties of plywood. Digest journal of nanomaterial and biostructures, 7(3):853–860.

[12] Dong, H.K. and Arthur, J., 2004. Enhanced composite board curing and performance via nano clays (Conference). Paper summit Spring Technical and International Environmental Conference. Atlanta, GA, United States, 5: 387-391.

[13] Hong, L., Guanben, D., Pizzi, A.and Celzard, A., 2008. Influence of nanoclay on urea-formaldehyde resins for wood adhesives and its model. Journal of Applied Polymer Science, 109(4): 2442-245.

[14] Jinshu, S., Jianzhang, L., Wenrui, Z. and Derong, Z., 2007. Improvement of wood properties by urea Formaldehyde resin and nano-SiO2. Frontiers of Forestry, 2(1): 104-109.

[15] Ziaei-tabari, H., Khademieslam. H., Bazyar, B.and Hemmasi, A.H., 2016. Investigation on the possibility of making a nano composite containing pebax and nanocellulose. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 31(1): 92-104. (In Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Investigation of the impact resistance of the plywood made with adhesive enhanced with cellulose nanofibrils

Abstract

In this research, nanocellulose fibers were used as adhesive filler in the manufacture of plywood from wych elm (Ulmus globra). Then, the drop-weight impact of the plywood samples was investigated. For this purpose, the nanocellulose fibers were added to dry weight of urea formaldehyde adhesive at four levels of 0, 0.5, 1 and 1.5%. The "4-ply" plywoods were made with these adhesives that the layers in top and bottom were parallel and had two core layers perpendicular with top. In order to investigate the impact properties, plywood samples were tested in the drop-weight impact device. The maximum force on the samples, the displacement in maximum force, the energy consumed in the maximum force and the total absorbed energy were evaluated. The results showed that the sample containing 0.5% of the nanocellulose fibers had the best impact property and with increasing nanocellulose fibers, the impact properties were significantly reduced. Also, the impact resistances in the most of samples with nanocellulose fibers were better than the without nanocellulose (control) samples.

Keywords: mechanical strength, drop-weight impact test, plywood, adhesive, nanocellulose fibers, Elm (Ulmus globra).

M. Sefidrouh[1]
A. Khazaian[2*]
M. H. Pol[3]
Gh.H. Liaghat[4]
H. Yousefi[5]

[1] Ph.D. student, Faculty of wood and paper engineering, Gorgan university of agriculture and natural resources, Iran

[2] Associate Prof., Faculty of wood and paper engineering, Gorgan university of agriculture and natural resources, Iran

[3] Assistant Prof., Faculty of mechanical engineering, Tarbiat Modares university, Iran

[4] Professor, Department of mechanical engineering, Tafresh university, Iran

[5] Assistant Prof., Faculty of wood and paper engineering, Gorgan university of agriculture and natural resources, Iran

Corresponding author:
khazaeian@gau.ac.ir

Received: 2017/07/31
Accepted: 2018/01/23

www.SID.ir