



بررسی خواص تخته خرده ساخته شده با پوسته برنج و رزین اوره - فرمالدهید با استفاده از دی ایزوسیانات

جواد ترکمن^۱، سید مهدی فاطمی^۲

۱- صومعه سرا، دانشگاه گیلان، دانشکده منابع طبیعی، صندوق پستی ۱۱۴۴

۲- رشت، پارک علم و فناوری گیلان، صندوق پستی ۴۱۶۳۵/۱۷۱۹

دریافت: ۸۵/۱۷۷، پذیرش: ۸۶/۱۷۳

چکیده

در این بررسی، با استفاده از پوسته برنج و رزین اوره - فرمالدهید در مقادیر ۸.۷، ۹ و ۱۰ درصد (براساس وزن خشک پوسته برنج) تخته خرده ساخته شده است. برای بهبود چسبندگی از ۴، ۴ - دی فنیل دی ایزوسیانات به مقدار ۱ و ۲ درصد به جای رزین اوره - فرمالدهید استفاده شده است. با اندازه گیری خواص مکانیکی (استحکام خمشی و چسبندگی داخلی) و فیزیکی (جذب آب و تورم در ضخامت پس از ۲ و ۲۴ h غوطه ورسازی) اثر مقدار رزین اوره - فرمالدهید و دی ایزوسیانات بر چسبندگی ارزیابی شده است. تجزیه واریانس نتایج به وسیله نرم افزار SPSS و مقایسه میانگین داده ها به کمک آزمون دانکن انجام شده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش مقدار رزین اوره - فرمالدهید و جایگزینی بخشی از آن با دی ایزوسیانات تمام خواص مکانیکی و فیزیکی تخته ها بهبود می یابد. به طور کلی، بهترین خواص فیزیکی و مکانیکی در تخته ساخته شده با ۱۰ درصد رزین (۸ درصد اوره - فرمالدهید و ۲ درصد دی ایزوسیانات) به دست آمده است.

واژه های کلیدی

رزین اوره - فرمالدهید،
دی ایزوسیانات،
پوسته برنج، استحکام خمشی،
چسبندگی داخلی

* مسئول مکاتبات، پیام نگار:

j_torkaman@yahoo.com

Investigating the Properties of Rice Husk/Urea Formaldehyde Resin Particleboard by Using Diisocyanate

J. Torkaman^{1*} and S.M. Fatehmy²

1. Faculty of Natural Resources, University of Guilan, P.O. Box: 1144, Sowmehsara, Iran

2. Guilan Science and Technology Park, P.O. Box: 41635/1719, Guilan, Iran

Received 27 January 2007; accepted 2 February 2008

Abstract

In this study, the particleboard was made with rice husk and urea formaldehyde resin of 7, 8, 9 and 10 percent (based on dry weight of rice husk). To improve mechanism of bondability a definite amount of isocyanate resin is introduced to replace the same amount of urea formaldehyde resin. The effect of urea formaldehyde resin and diisocyanate content on bondability was evaluated by studying the mechanical properties (bending strength, internal bond strength) and physical properties (thickness swelling and water absorption). Data were statistically analyzed with SPSS software and comparison was made on the mean values employing a Duncan test to identify which groups were significantly different from the rest. Generally the results have shown that all mechanical and physical properties of particleboards improve with increasing urea formaldehyde resin content and its partial replacement with diisocyanate as well. In this study the best mechanical and physical properties of particleboard were obtained with 10 percent resin (the sum of 8 percent urea formaldehyde resin and 2 percent diisocyanate).

Key Words

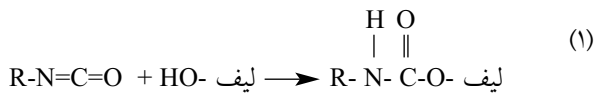
urea formaldehyde resin,
diisocyanate,
rice husk, bending strength,
internal bond

(*) To whom correspondence should
be addressed.

E-mail: j_torkaman@yahoo.com

مقدمه

ساخت صفحات با استفاده از اسفنج پلی یورتان به عنوان ماده اتصال دهنده نشان می دهد که با این روش می توان تخته هایی با ثبات ابعادی زیاد و خواص مقاومتی مناسب تولید کرد. اسفنج پلی یورتان در نتیجه واکنش بین یک مولکول ایزوسیانات (R-NCO) و یک ماده مرکب دارای اتم های هیدروژن و واکنش پذیر حاصل می شود. در تولید اسفنج پلی یورتان این احتمال وجود دارد که ترکیبات سلولوزی با در اختیار گذاشتن گروه های هیدروکسیل موجود در زنجیر سلولوزی در واکنش شرکت کنند. احتمالاً گروه های OH- با NCO- ایزوسیانات ترکیب شده و تشکیل پلی یورتان را تسریع می کنند [۱۵، ۱۶]. گزارش شده است که ایزوسیانات در ساخت کامپوزیت های الیافی مقاوم به آب به کار می رود. واکنش بین لیف و ایزوسیانات در زیر نشان داده شده است [۱۷]:



طارمیان و کاظم دوست حسینی در یک بررسی با استفاده از خرده چوب و الیاف پسماند کارخانه چوب و کاغذ مازندران به عنوان ماده اولیه و رزین ایزوسیانات در دو سطح ۳ و ۴ درصد دو نوع تخته هم سان و سه لایه ساختند. نتایج نشان می دهد، با افزایش مقدار رزین ایزوسیانات از ۳ به ۴ درصد، تمام خواص فیزیکی و مکانیکی تخته ها بهبود یافته است. الیاف پسماند استحکام خمشی و برشی تخته ها را به طور جزئی کاهش می دهد [۱۸]. بنابراین، ممکن است آثار مفید مشابهی نیز در اتصال ذرات پوسته برنج داشته باشد. بنابراین، هدف این بررسی بهبود چسبندگی رزین اوره - فرمالدهید با دی ایزوسیانات در ساخت تخته خرده از پوسته برنج است.

تجربی

مواد

در این بررسی از پوسته برنج تهیه شده از کارخانه برنج کوبی روستای فشتام رشت و رزین اوره - فرمالدهید گرگان و آمونیوم کلرید به عنوان سخت کننده و ۴، ۴' - دی فنیل دی ایزوسیانات (MDI) شرکت Merck آلمان استفاده شد.

دستگاه ها

برای ساخت تخته، دستگاه پرس هیدرولیک Burkle مدل LA-160،

رزین های اوره - فرمالدهید در سال های ۱۹۳۰ رشد و توسعه یافتند و اندکی پس از آن در سراسر جهان به طور گسترده در ساخت صفحات چوبی مورد استفاده قرار گرفتند. رزین های اوره - فرمالدهید در شرایط اسیدی بر اثر کاهش pH پلیمر می شوند. در فرایند پلیمر شدن رزین اوره - فرمالدهید دو مجموعه واکنش تراکمی روی می دهد و یک شبکه سه بعدی با پیوندهای عرضی محکم از درشت مولکول ها تشکیل می شود [۳-۱]. رزین های اوره - فرمالدهید به علت واکنش سریع، قیمت کم و چسبندگی خوب کاربرد زیادی دارند. همچنین، ترکیبات مزبور محدودیت هایی نظیر انتشار فرمالدهید و مقاومت کم نسبت به رطوبت دارند که می توان با بهبود فرمول بندی بر این محدودیت ها فایز شد [۴].

با توجه به افزایش جمعیت و افزایش مصرف چوب و فرآورده های کاغذ در کشورهای توسعه یافته، تمایلات جدیدی در تولید و پژوهش روی ساخت تخته با الیاف کشاورزی به وجود آمده است. پوسته برنج به طور طبیعی دارای ساختار فیبری است که برای تهیه آن به انرژی کمی نیاز است. بنابراین، مناسب بودن آن برای ساخت تخته خرده چوب به کمک مطالعات زیادی بررسی شده است [۵]. اما، تخته خرده ساخته شده با پوسته برنج جنبه تجارتي به خود نگرفته است. برای ساخت تخته خرده با پوسته برنج به منظور دست یابی به خواص مناسب نسبت به تخته خرده چوب به مقدار رزین بیشتری نیاز است [۶]. دلیل نیاز زیاد به رزین برای اتصال ذرات پوسته برنج کاملاً مشخص نشده است. اما، مقایسه بین چوب و پوسته برنج نشان می دهد که پوسته برنج دارای هولوسلولوز کمتر و مقدار خاکستر بیشتری نسبت به چوب است [۷]. سیلیس ترکیب عمده خاکستر پوسته برنج است [۸]. سیلیس تقریباً سطح خارجی پوسته برنج را پوشانده است که باعث ایجاد خاصیت آب گریزی در آن می شود [۹]. لایه سیلیس و به طور کلی سطح آب گریز پوسته برنج با رزین اوره - فرمالدهید سازگاری ندارد و مانع از تشکیل اتصال خوب بین سطوح پوسته برنج می شود. برای استفاده از مواد اولیه ای که چسب پذیری مطلوبی ندارند، نظیر پسماندهای کشاورزی (کاه و کلس غلات، نی و شلتوک برنج) کاربرد ایزوسیانات برای تولید صفحاتی با خواص کاربردی مطلوب توصیه شده است [۱۰]. بنابراین، برای تولید صفحات با کیفیت مطلوب از پوسته برنج، نیاز به بهبود چسبندگی است. اغلب برای تقویت صفحات از رزین اوره - فرمالدهید و برای افزایش مقاومت اتصال و مقاومت به آب آن از ملامین استفاده می شود. اخیراً از ایزوسیانات با واکنش پذیری زیاد برای اصلاح رزین اوره - فرمالدهید استفاده شده است. استفاده از رزین های اصلاح شده با ایزوسیانات در ساخت صفحات چوبی باعث بهبود خواص مقاومتی آنها می شوند [۱۱-۱۴].

جدول ۱- ابعاد ذرات پوسته برنج.

ماده اولیه	طول (mm)	عرض (mm)	ضخامت (mm)	نسبت منظر (%)	ضریب پهنی	ضریب ظاهری
پوسته برنج	۹/۷	۱/۶	۰/۱۶	۶۰/۶	۱۰	۶

تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد که در مجموع با ۹ نمونه و سه تکرار ۲۷ تخته ساخته شده است. برای دست‌یابی به اندازه‌های مورد نظر، خواص مکانیکی (استحکام خمشی و چسبندگی داخلی) با استفاده از دستگاه Instron و خواص فیزیکی (جذب آب و تورم در ضخامت پس از ۲ و ۲۴ h غوطه‌ورسازی) با استفاده از کولیس و ترازو مطابق استاندارد DIN-68761 اندازه‌گیری شد (جدول ۴). تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری خواص مکانیکی و فیزیکی به وسیله نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین داده‌ها نیز به کمک آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری خواص مکانیکی (استحکام خمشی و چسبندگی داخلی) و خواص فیزیکی (جذب آب و تورم در ضخامت پس از ۲ و ۲۴ h غوطه‌ورسازی) در شکل‌های ۱ تا ۸ نشان داده شده است. نتایج حاصل از نمونه‌ها با نتایج نمونه شاهد (control) که با ۱۰

جدول ۳- عوامل ثابت و متغیر مورد مطالعه.

شماره تخته	نوع رزین	دمای پرس (°C)	زمان پرس (min)	رطوبت کیک (%)
۱	UF ۱۰٪ (شاهد)	۱۷۰	۶	۱۲
۲	ISO ۱٪ + UF ۹٪	"	"	"
۳	ISO ۲٪ + UF ۸٪	"	"	"
۴	ISO ۱٪ + UF ۸٪	"	"	"
۵	ISO ۲٪ + UF ۷٪	"	"	"
۶	ISO ۱٪ + UF ۷٪	"	"	"
۷	ISO ۲٪ + UF ۶٪	"	"	"
۸	ISO ۱٪ + UF ۶٪	"	"	"
۹	ISO ۱٪ + UF ۵٪	"	"	"

برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی دستگاه Instron و برای بررسی خواص فیزیکی کولیس و ترازو به کار گرفته شد.

روش‌ها

رطوبت پوسته برنج مورد نیاز با خشک کردن به ۳-۴ درصد کاهش داده شد. برخلاف چوب در استفاده از پوسته برنج نیازی به دستگاه خردکن نیست و تمام ذرات پوسته برنج یک دست و تقریباً هم اندازه‌اند. ابعاد پنجاه عدد پوسته با استفاده از کولیس با دقت 0.2 mm به طور تصادفی اندازه‌گیری شد که مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است. مشخصات رزین اوره - فرمالدهید و دی‌ایزوسیانات مورد استفاده نیز در جدول ۲ آورده شده است.

ساخت تخته

برای ساخت تخته با پوسته برنج، ابتدا رزین اوره - فرمالدهید در مقادیر ۷، ۸، ۹ و ۱۰ درصد وزن خشک پوسته روی ذرات افشانده شد. به منظور بهبود اتصال ذرات، از دی‌ایزوسیانات به مقدار ۱ و ۲ درصد به جای رزین اوره - فرمالدهید استفاده شد. در رزین‌های اوره - فرمالدهید برای ایجاد اتصالات عرضی و شبکه‌ای شدن نیاز به سخت‌کننده است که در این بررسی به مقدار ۳ درصد وزن ماده جامد رزین از آمونیوم کلرید استفاده شده است. با استفاده از قالب چوبی کیک تشکیل شد و برای رسیدن به تخته‌های با ضخامت ۱۵ mm نمونه‌ها داخل پرس زیر بار 30 kPa/cm^3 و دمای 170°C به مدت ۶ min قرار گرفتند (جدول ۳). از هر نمونه سه تخته با چگالی 0.7 g/cm^3 و ابعاد $12 \times 40 \times 40 \text{ mm}$ به دست آمده است.

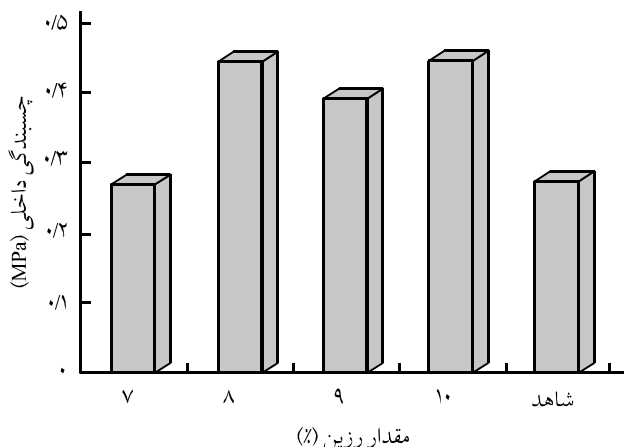
جدول ۲- خواص رزین‌های اوره - فرمالدهید و ایزوسیانات.

نوع چسب	چگالی (g/cm^3)	مقدار ماده جامد (%)	pH	گرانروی (cp)
اوره - فرمالدهید*	۱.۲	۵۶	۶/۸	۱۷۰
دی‌ایزوسیانات	۱.۲۷	۱۰۰	-	۳۰۰

* در این رزین نسبت فرمالدهید به اوره ۷/۸ به یک است

جدول ۴- ابعاد و تعداد نمونه های آزمون.

تعداد نمونه در هر آزمون	تعداد نمونه در هر تکرار	ابعاد (mm)			نوع آزمایش
		ضخامت اسمی	عرض	طول	
۱۲	۴	۱۵	۵۰	۲۵۰	استحکام خمشی
۱۲	۴	۱۵	۵۰	۵۰	چسبندگی داخلی
۱۲	۴	۱۵	۲۵	۲۵	جذب آب و تورم در ضخامت



شکل ۲- اثر مقدار رزین بر چسبندگی داخلی تخته.

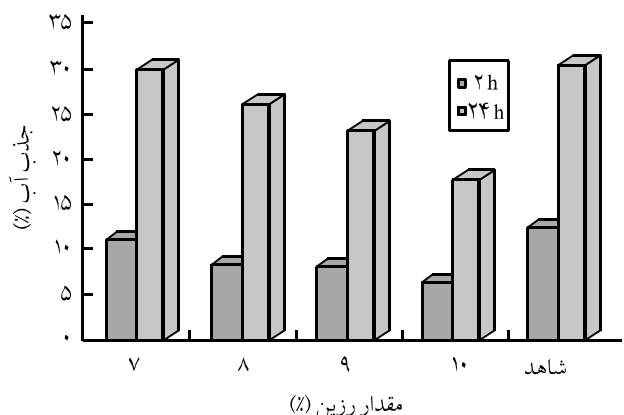
درصد رزین اوره - فرمالدهید ساخته شده است، مورد مقایسه قرار گرفت.

در ساخت تخته خرده چوب استفاده از ۱۰ درصد رزین اوره - فرمالدهید متداول است. کاربرد رزین بیش از این مقدار باعث افزایش هزینه تولید و کمتر از این مقدار نیز باعث کاهش خواص مقاومتی تخته می شود. با بهبود فرمول بندی چسب در مقادیر کمتر آن همان طور که این بررسی نشان داده است، می توان به خواص فیزیکی و مکانیکی مشابهی دست یافت.

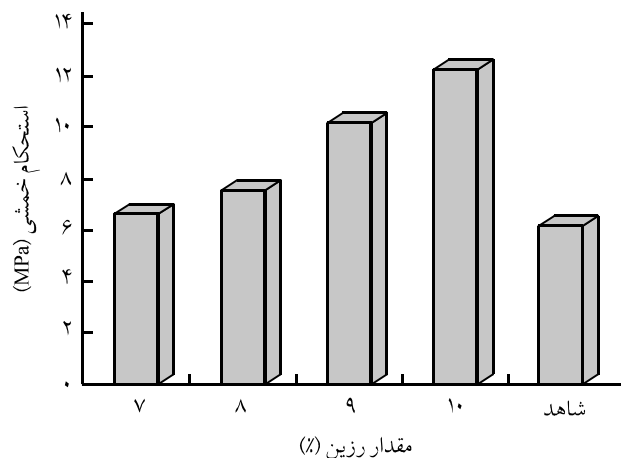
با توجه به شکل های ۱ و ۲، خواص مکانیکی (چسبندگی داخلی، 0.27 MPa و خمشی، $6/08 \text{ MPa}$) تخته های ساخته شده با ۱۰ درصد اوره - فرمالدهید به عنوان شاهد کمترین مقدار را دارند. استحکام خمشی به نوع و ساختار ذرات ارتباط دارد و چسبندگی داخلی ذرات نیز به اتصال ذرات به یک دیگر از طریق رزین بستگی دارد. هرچه ذرات محکم تر به هم متصل شده باشند، چسبندگی داخلی بیشتر است. با مقایسه ساختار ذرات پوسته برنج با ذرات چوب می توان به این اختلاف پی برد. طول فیبر پوسته برنج در حدود 0.3 mm است که در مقایسه با

ذرات چوب ($6-7 \text{ mm}$) طول آن خیلی کمتر است. پوسته برنج دارای حدود ۲۰ درصد سیلیس است که بخش عمده آن در سطوح بیرونی پوسته متمرکز است. این امر باعث ناسازگاری آن با رزین اوره - فرمالدهید می شود. با توجه به شکل های ۵ و ۶ جایگزین کردن رزین اوره - فرمالدهید با دی ایزوسیانات به مقدار ۱ و ۲ درصد باعث افزایش استحکام خمشی و چسبندگی داخلی شده است. بین دو مقدار جایگزینی نیز در سطوح ۱ و ۵ درصد اختلاف معنی داری وجود دارد. خواص مکانیکی تخته خرده تهیه شده از ساقه گندم با رزین ایزوسیانات ۳-۱۰ برابر بیشتر از تخته ای است که از ساقه گندم با رزین اوره - فرمالدهید تهیه شده است [۱۹].

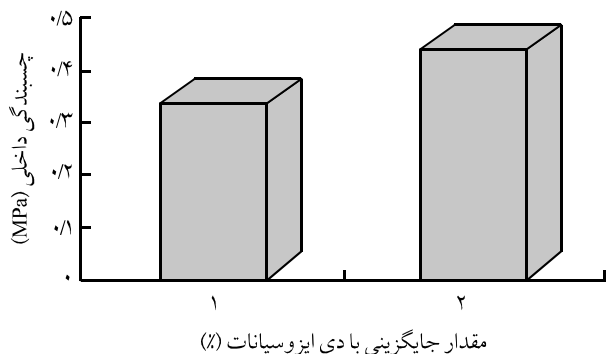
با توجه به شکل های ۷ و ۸ با افزایش جایگزینی رزین اوره - فرمالدهید با دی ایزوسیانات مقدار جذب آب و تورم در ضخامت پس از ۲ و ۲۴ h غوطه ورسازی کاهش می یابد که این اختلاف برای تورم در ضخامت



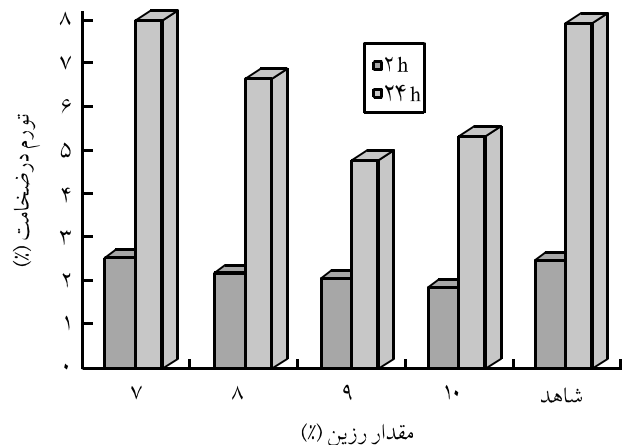
شکل ۳- اثر مقدار رزین بر مقدار جذب آب تخته.



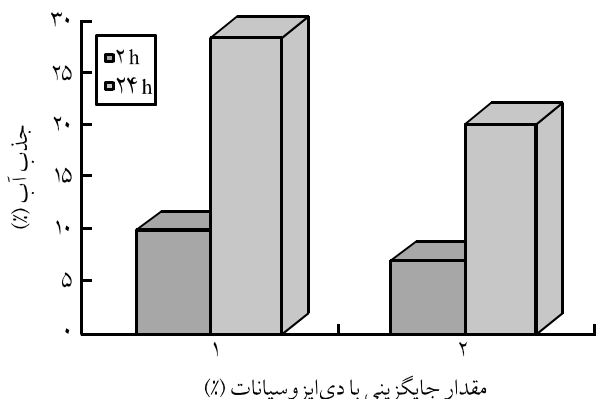
شکل ۱- اثر مقدار رزین بر استحکام خمشی.



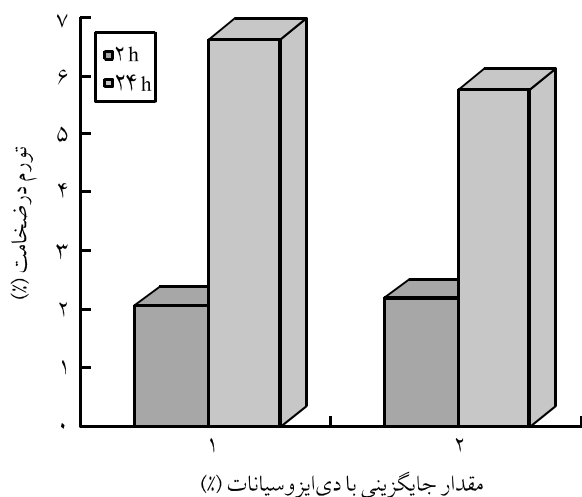
شکل ۶- اثر مقدار جایگزینی بادی ایزوسیانات بر چسبندگی داخلی تخته ها.



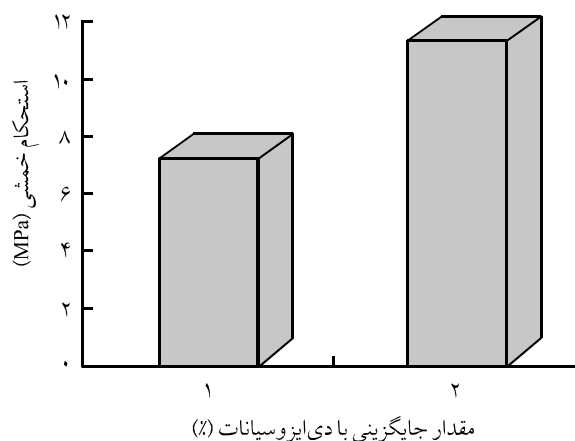
شکل ۴- اثر مقدار رزین بر تورم در ضخامت تخته ها پس از ۲ و ۲۴ h غوطه ورسازی.



شکل ۷- اثر مقدار جایگزینی بادی ایزوسیانات بر جذب آب تخته ها.



شکل ۸- اثر مقدار جایگزینی بادی ایزوسیانات بر تورم در ضخامت تخته ها.



شکل ۵- اثر مقدار جایگزینی بادی ایزوسیانات بر استحکام خمشی.

پس از ۲ و ۲۴ h غوطه ورسازی بین دو مقدار جایگزینی در سطوح ۱ و ۵ درصد معنی دار نیست. کم بودن جذب آب و تورم در ضخامت تخته های ساخته شده با پوسته برنج نسبت به ذرات خرده چوب، بیشتر به دلیل کم بودن هولوسلولوز (سلولوز و همی سلولوز) و بیشتر بودن خاکستر پوسته برنج در مقایسه با چوب است. با توجه به شکل های ۱ تا ۴ افزایش مقدار رزین اوره - فرمالدهید در ساخت تخته با پوسته برنج باعث افزایش استحکام خمشی و چسبندگی داخلی می شود و در کاهش جذب آب و تورم در ضخامت پس از ۲ و ۲۴ h غوطه ورسازی مؤثر است. به طور کلی، بهترین خواص مکانیکی (استحکام خمشی، ۱۶/۳۴ MPa و چسبندگی داخلی، ۰/۵۳ MPa) و فیزیکی (جذب آب و تورم در ضخامت پس از ۲۴ h غوطه ورسازی) به ترتیب ۱۵/۱۷ و ۴/۳ درصد به دست آمده است که مربوط به استفاده از ۱۰ درصد رزین شامل

پوسته برنج به دست آمده است، در استفاده از ۱۰ درصد رزین (۸ درصد اوره - فرمالدهید و ۲ درصد دی ایزوسیانات) است. تمام خواص فیزیکی (جذب آب و تورم در ضخامت پس از ۲ و ۲۴h) به دست آمده بهتر از شرایط استاندارد بین المللی آمریکا (ASTM) و استاندارد ملی ایران است [۲۰، ۲۱].

اما در باره خواص مکانیکی (استحکام خمشی و چسبندگی داخلی) مقدار استحکام خمشی $16/34 \text{ MPa}$ به دست آمده است که شرایط استاندارد آمریکا ($16/5 \text{ MPa}$) را داراست، اما کمتر از مقدار استاندارد ملی ایران برای تخته خرده چوب (18 MPa) است. مقدار چسبندگی داخلی به دست آمده ($0/53 \text{ MPa}$) نیز شرایط استاندارد ملی ایران برای تخته خرده چوب ($0/4 \text{ MPa}$) را داراست. اما کمتر از مقدار استاندارد آمریکا ($0/89 \text{ MPa}$) است که به علت اختلاف در ساختار ذرات پوسته برنج و چوب است.

مراجع

- Graves G., Urea-Formaldehyde Resins: A Primary Binder, In Wood Adhesives, Status and Need, *For. Prod. Res. Soc.*, 27-33, 1986.
- Kumar A. and Sood A., Modelling of Polymerization of Urea and Formaldehyde Using Functional Group Approach, *J. Appl. Polym. Sci.*, **40**, 1473-1486, 1990.
- Price A.F., Cooper A.R. and Meskin A.S., Urea-Formaldehyde Reaction System, An Experimental Investigation, *J. Appl. Polym. Sci.*, **25**, 2597-, 1980.
- Ferra J., Mendes A.M. and Costa M.R., Study of the Morphology of Urea-Formaldehyde Resins, *Proceedings of the International Panel Products Symposium*, Cardiff, Wales, UK, 17-19 October 2007.
- Viswanathan T., Smith M. and Palmer H., Rice Hull Reinforced Building Boards Using Formaldehyde-free Adhesive Resin Derived from Whey, *J. Elast. Plast.*, **19**, 99-108, 1987.
- Chen T.Y., Studies on the Manufacture of Particleboard from Rice Hulls, *National Science Council Monthly(China)*, **8**, 456-462, 1979.
- Houston D.F., *Rice Chemistry and Technology*, American Association of Cereal Chemists, USA, 301-340, 1972.
- Luh B.S., *Rice Utilization*, Van Nostrand Reinhold, New York, 2nd ed., 75-86, 1991.
- Juliano B.O., *Rice Hull and Rice Straw*, American Association of Cereal Chemists, USA, 689-695, 1985.
- Ball G.W., New Opportunities in Manufacturing Conventional for Reconstituted Panelboard Using Isocyanate Binders, *Proceedings of 15th Washington State University International Symposium on Particleboard*, Washington, 265-285, 1981.
- Mansouri H.R., Pizzi A. and Leban J.M., Improved Water Resistance of UF Adhesives for Plywood by Small PMDI Additions, *Holz als Roh-Und Werkstoff*, **64**, 218-220, 2006.
- Osman Z., Pizzi A., Kanter W. and Triboulot M.C., PUF Panel Adhesives Doped with Additional Urea and Reinforced by Isocyanates, *Holz Roh Werkst*, **63**, 53-56, 2005.
- Liu Z. and Bingley H., Technology of Rice Straw Particleboard Bonded by Urea-Formaldehyde Resin Modified by Isocyanate, Forest Research Institute, New Zealand Forest Service, *FRI Bulletin*, **177**, 295-302, 1992.
- Pizzi A.A., Universal Formulation for Tannin Adhesives for Exterior Particle Board, *J. Macromolecul. Sci.*, **A16**, 1243-1250, 1981.
- Mohammad Mizanur R. and Han-Do K., Characterization of Waterborne Polyurethan Adhesives Containing Different Soft Segments, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **21**, 81-96, 2007.
- Sreiner P.R., Chow S. and Vadja S., Interaction of Polyiso-

نتیجه گیری

به طور کلی بهترین نتیجه ای که در این بررسی از ساخت تخته خرده از

- cyanate Adhesives with Wood, *For. Prod. J.*, **30**, 21-27, 1980.
17. Xue L. and Lope G.T., Satyanarayan P., Chemical Treatmenta of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites:A Review, *J. Polym. Environ.*, **15**, 25-33, 2007.
18. Tarmian A. and Doosthoseini K., An Investigation of Practical Properties of Particleboard Produced with Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI), *Iran. J. Natural Resource*, **58**, 671-678, 2005.
19. Compak H.G., Ten Years of Experience with Commercial Straw Particleboard Production, Wolcott M.P., Miklosk I.C. and Lentz M.T.(Eds.), *31th International Particleboard/Composite Materials Symposium Proceeding*, Washington State University, 109-113, 8-10 April, 1997.
20. ISIRI, Specification for Medium Density-wood Particle Board, ISIRI Number 2492, Karaj, Iran, 1981.
21. Standard Test Methods of Evaluating the Properties of Wood-based Fiber and Particle Panel Materials, Annal Book of ASTM Standard, D 1037-99, 1999.

Archive of SID