



اصلاح چسبندگی تخته ساخته شده با پوسته برنج و سدیم سیلیکات با استفاده از دی ایزوسیانات

جواد ترکمن^{۱*}، سیدمهدی 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: ۸۵/۸/۲۳، پذیرش: ۸۶/۱۰/۹

چکیده

در این بررسی، از پوسته برنج و سدیم سیلیکات برای ساخت تخته خرده (نئوپان) استفاده شده است. سدیم سیلیکات به عنوان ماده اتصال دهنده در مقادیر ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد براساس وزن خشک پوسته برنج استفاده شده است. به منظور اصلاح چسبندگی به ازای هر ۵ درصد کاهش در سدیم سیلیکات یک درصد ۴،۴- دی فنیل متان دی ایزوسیانات (MDI) بر اساس وزن خشک پوسته برنج اضافه شده است. با اندازه گیری خواص مکانیکی (استحکام خمشی و چسبندگی داخلی) و خواص فیزیکی (تورم در ضخامت و مقدار جذب آب پس از ۲ و ۲۴ h غوطه ورسازی نمونه ها در آب) اثر دی ایزوسیانات بر چسبندگی ارزیابی شد. تجزیه واریانس نتایج به وسیله نرم افزار SPSS و مقایسه میانگین ها داده ها به کمک آزمون دانکن انجام شد. به طور کلی نتایج نشان می دهد، با افزایش جایگزینی سدیم سیلیکات با دی ایزوسیانات در تمام خواص مکانیکی و فیزیکی تخته ها بهبود حاصل شده است. در این بررسی اقتصادی ترین حالت برای ساخت تخته با پوسته برنج استفاده از ۱۵ درصد سدیم سیلیکات به همراه ۲ درصد دی ایزوسیانات است.

واژه های کلیدی

سدیم سیلیکات، استحکام خمشی، پوسته برنج، دی ایزوسیانات، چسبندگی داخلی

* مسئول مکاتبات، پیام نگار:

j_torkaman@yahoo.com

Modifying the Bondability of Rice Husk/Sodium Silicate Particleboard by Using Diisocyanate

J. Torkaman^{1*} and S.M. Fatehmy²

1. Faculty of Natural Resources, University of Guilan, P.O. Box: 114, Sowmehsara, Iran

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

Received 14 November 2006; accepted 30 December 2007

Abstract

In this study, rice husk and sodium silicate solution were used to produce particleboards. Sodium silicate was used as bonding aid by 25, 20, 15, 10, 5 and zero percent (based on rice husk dry weight). To modify the mechanism of bondability, one percent of 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (MDI) was added for every five percent less sodium silicate solution. The effect of diisocyanate on bondability was evaluated by measuring the bending strength, internal bond, thickness swelling and water absorption. Data were statistically analyzed with SPSS software and comparison was made on the data obtained employing Duncan test. Generally the results have shown that increase in sodium silicate replacement with diisocyanate improves the mechanical and physical properties of particleboard. Economically, the best condition obtained in this study was to use 15% sodium silicate solution with 2% diisocyanate to produce rice husk particleboard.

Key Words

sodium silicate, bending strength, rice husk, diisocyanate, internal bond

(*) To whom correspondence should be addressed.

E-mail: j_torkaman@yahoo.com

مقدمه

اتصال خوب بین سطوح پوسته برنج می‌شود. بنابراین، هدف از این پژوهش، ساخت تخته از پوسته برنج با چسب معدنی سدیم سیلیکات (Na_2CO_3) است. برای بهبود چسبندگی، دی‌ایزوسیانات جایگزین آن شده است. همچنین، خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌های ساخته شده با هم مقایسه شده است.

تجربی

مواد

در این بررسی، از پوسته برنج تهیه شده از کارخانه برنج کوبی روستای فشتام رشت و سدیم سیلیکات و Na_2CO_3 - ۴،۴ - دی‌فنیل‌متان‌دی‌ایزوسیانات (MDI) محصول شرکت Merck آلمان استفاده شد.

دستگاه‌ها

برای ساخت تخته دستگاه پرس هیدرولیک Burkle مدل LA-۱۶۰ و برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی نظیر استحکام خمشی و چسبندگی داخلی مطابق استاندارد DIN 68761 دستگاه Instron 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 یکنواخت و تقریباً هم اندازه هستند. با استفاده از کولیس با دقت 0.02 mm ابعاد پنجاه عدد پوسته به طور تصادفی اندازه‌گیری شد که ویژگی‌های آن در جدول ۲ آورده شده است.

به کمک معادله‌های زیر نسبت منظر (ضریب کشیدگی)، ضریب پهنی و ضریب ظاهری نمونه‌ها محاسبه شد:

سدیم سیلیکات محلولی شامل SiO_2 و Na_2CO_3 به نسبت‌های بین ۲/۸-۳/۹ در آب است. سدیم سیلیکات به علت ارزانی و غیرسمی بودن کاربردهای زیادی دارد. یکی از مصارف این ماده به عنوان چسب است. چسب‌های سدیم سیلیکات اشتعال‌ناپذیر و بدون بو هستند و برای اتصال سطوح متخلخل و موادی نظیر کاغذ، پشم‌های مصنوعی (در عایق کاری)، پرلیت، میکا و چوب، تخته، فیبر، مقوا و فلزات کاربرد دارند [۱]. مصرف سالانه محلول سدیم سیلیکات با مقدار ماده جامد ۳۲ تا ۴۷ درصد برای ساخت مقوای کنگره دار در حدود ۴۰۰ هزار تن است. سدیم سیلیکات روی طعم و مزه غذا و داروها اثری ندارد. بنابراین، در تولید مواد بسته‌بندی غذا نظیر کاغذ و مقوا کاربرد زیادی دارد. سدیم سیلیکات باعث افزایش مقاومت نسبت به روغن، گریس و آفات مخرب می‌شود [۲]. برخی از خواص و کاربردهای سدیم سیلیکات به عنوان چسب در جدول ۱ خلاصه شده است.

معمولاً تخته‌های مرکب از ترکیب مناسب مواد فیبری نظیر خرده چوب و ضایعات کشاورزی با رزین‌هایی نظیر اوره - فرمالدهید زیر فشار و با گرمادهی ساخته می‌شوند. از سایر رزین‌ها نظیر فنول - فرمالدهید و ملامین - فرمالدهید برای به دست آوردن تخته‌های مقاوم به رطوبت نیز استفاده می‌شود. مقدار رزین‌های مصنوعی مصرفی معمولاً بین ۲ تا ۱۰ درصد براساس وزن تخته متغیر است [۳،۴].

پوسته برنج محصول کارخانه فراورش برنج است که به مقدار زیادی در کشورهای دارای شالیزار وجود دارد. مقایسه بین چوب و پوسته برنج نشان می‌دهد که پوسته برنج دارای سلولوز و همی سلولوز کمتر و مقدار خاکستر بیشتری نسبت به چوب است [۵]. سیلیکات ترکیب عمده خاکستر پوسته برنج است [۶]. سیلیکات تقریباً سطح خارجی پوسته برنج را می‌پوشاند که موجب ایجاد خاصیت آب‌گریزی در آن می‌شود [۷]. لایه سیلیکات و به طور کلی سطوح آب‌گریز پوسته برنج با رزین اوره - فرمالدهید و فنول - فرمالدهید سازگاری ندارد و مانع تشکیل

جدول ۱ - خواص و کاربردهای سدیم سیلیکات به عنوان چسب [۲].

کاربرد	گرانروی در 20°C (P)	جرم ویژه نسبی در 20°C	جزء سیال $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	ردیف
کارتن‌های براق، کانتینرهای کشتی، فویل‌های فلزی، تخته‌های دیواری، کف‌پوش و ساخت چمدان	۹/۶	۴۷	۲/۹	۱
مقوای کنگره دار، کاغذ و تخته فیبر	۱/۸	۴۱	۳/۲	۲
تخته‌های کابینت، تخته لایه و تخته‌های استفاده شده در دیوار	۴	۴۲	۳/۲	۳
مقوای کنگره دار	۳/۳	۳۹/۷	۳/۴	۴
کاربردهای خاص	۲/۲	۳۵	۳/۷	۵

جدول ۲- ابعاد ذرات پوسته برنج.

مواد 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

اندازه گیری استحکام خمشی

برای تعیین استحکام خمشی براساس استاندارد DIN 52363 نمونه هایی به ابعاد $20 \times 50 \times 2/5$ mm تهیه و روی دو تکیه گاه به طول $14 \times H$ در دستگاه Universal Testing قرار داده و خمش (سه نقطه ای) با توجه به معادله (۴) محاسبه شد:

$$BS = \frac{3PL}{2BH^2} \quad (4)$$

در این معادله P نیرو بر حسب نیوتن، L طول دهانه، B عرض تخته و H ضخامت تخته بر حسب میلی متر است.

اندازه گیری چسبندگی داخلی

به منظور تعیین چسبندگی داخلی تخته ها، نمونه هایی با ابعاد 50×50 mm تهیه شد و آزمایش با دستگاه Universal Testing با سرعت بارگذاری 10 mm/min انجام شد. با استفاده از معادله (۵) چسبندگی داخلی نمونه ها محاسبه شد:

$$IB = \frac{P}{A} \quad (5)$$

در این معادله IB چسبندگی داخلی (MPa)، P حداکثر بار (نیوتن) و A سطح نمونه (میلی متر مربع) است.

اندازه گیری مقدار تورم در ضخامت و جذب آب

برای تعیین تورم در ضخامت و جذب آب طبق استاندارد DIN 68763 از هر مجموعه سه نمونه به ابعاد $25 \times 25 \times 2/5$ mm انتخاب و به مدت 24 h داخل آب با دمای 20°C غوطه ور شدند. با اندازه گیری وزن و ضخامت نمونه ها قبل و بعد از غوطه ورسازی، درصد تورم در ضخامت و جذب آب نمونه ها با استفاده از معادله (۶) محاسبه شد:

$$T_s = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \quad (6)$$

در این معادله T_s تورم در ضخامت (%)، T_1 و T_2 به ترتیب ضخامت نمونه قبل و بعد از غوطه ورسازی در آب (mm) است. مقدار جذب آب نمونه ها از معادله (۷) محاسبه شد:

$$Wa = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (7)$$

در این معادله Wa مقدار جذب آب (%، W_1 و W_2 به ترتیب وزن نمونه

$$S = \frac{L}{t} \quad (1)$$

$$J = \frac{w}{t} \quad (2)$$

$$a = \frac{L}{w} \quad (3)$$

در این معادله ها t ضخامت، L طول ذرات و w پهنای ذرات پوسته برنج بر حسب میلی متر است.

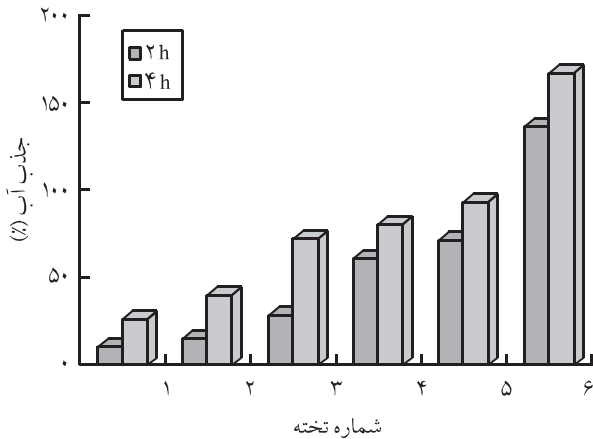
ویژگی ذرات از نظر نسبت منظر، ضریب پهنی و ضریب ظاهری روی خواص مکانیکی و فیزیکی، سطح ویژه ذرات و چسب خوری آنها مؤثر است. به عنوان مثال هر چه نسبت منظر بیشتر باشد، مقدار استحکام خمشی تخته نیز بیشتر است. ضریب ظاهری سبب روانی جریان مواد در خط تولید می شود [۸]. ویژگی چسب سدیم سیلیکات مورد استفاده در ردیف ۳ جدول ۱ نشان داده شده است. از دی ایزوسیانات با مقدار ماده جامد 100 درصد و گرانیوی 300 cp به عنوان جایگزین سدیم سیلیکات استفاده شده است.

ساخت تخته

برای ساخت تخته با پوسته برنج، ابتدا چسب سدیم سیلیکات به مقدار 25 درصد وزن خشک پوسته روی ذرات افشانده شد. به منظور بهبود اتصال ذرات به ازای 5 درصد کاهش در چسب سدیم سیلیکات 1 درصد دی ایزوسیانات جایگزین آن شد. با استفاده از قالب چوبی کیک تشکیل و برای به دست آوردن تخته های به ضخامت 12 mm، داخل پرس زیر بار 30 kPa/cm² و دمای 170°C به مدت 6 min قرار داده شد. از هر نمونه سه تخته با چگالی 0.7 g/cm³ و ابعاد $40 \times 40 \times 12$ mm به دست آمد که در مجموع با 6 نمونه و سه تکرار 18 تخته ساخته شد.

تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی تخته

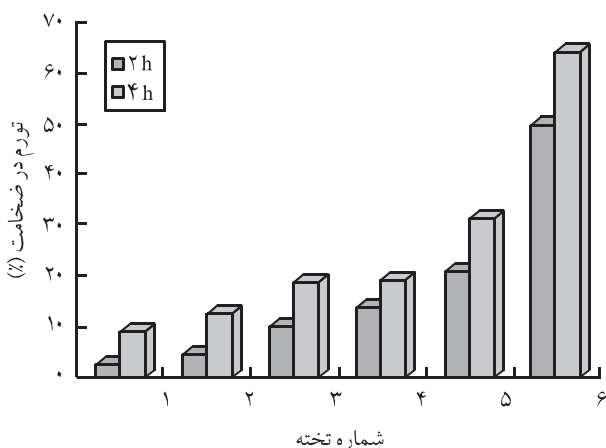
خواص مکانیکی (استحکام خمشی و چسبندگی داخلی) و خواص فیزیکی (تورم در ضخامت و جذب آب پس از 2 و 24 h غوطه ورسازی) نمونه ها بعد از 14 روز از زمان ساخت و پس از برش تخته ها مطابق استاندارد DIN 68763 اندازه گیری شد.



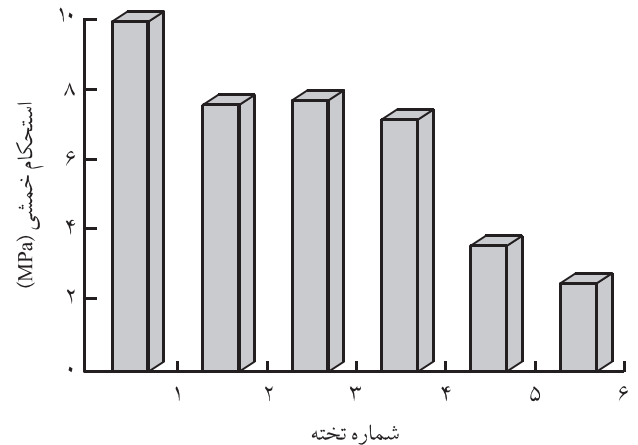
شکل ۳- اثر سدیم سیلیکات و دی ایزوسیانات بر مقدار جذب آب تخته ساخته شده با پوسته برنج.

شده است.

با توجه به شکل ۱ با افزایش مقدار جایگزینی سدیم سیلیکات دی ایزوسیانات استحکام خمشی افزایش می یابد. با توجه به تخته های ۱ و ۶، مقایسه استحکام خمشی سدیم سیلیکات و دی ایزوسیانات نشان می دهد که استحکام خمشی تخته ساخته شده با ۵ درصد دی ایزوسیانات (۹/۸۵ MPa) چهار برابر استحکام خمشی تخته ساخته شده با سدیم سیلیکات (۲/۴۳ MPa) است. با توجه به شکل های ۱ تا ۴ تخته های ساخته شده با دی ایزوسیانات (تخته ۱) استحکام خمشی و چسبندگی داخلی زیاد و تورم در ضخامت و جذب آب کمی دارند. دی ایزوسیانات سمی و گران قیمت است. در مقایسه سدیم سیلیکات نوعی چسب معدنی است که ارزان قیمت، اشتعال ناپذیر و به سهولت



شکل ۴ - اثر سدیم سیلیکات و دی ایزوسیانات بر مقدار تورم در ضخامت تخته ساخته شده با پوسته برنج.



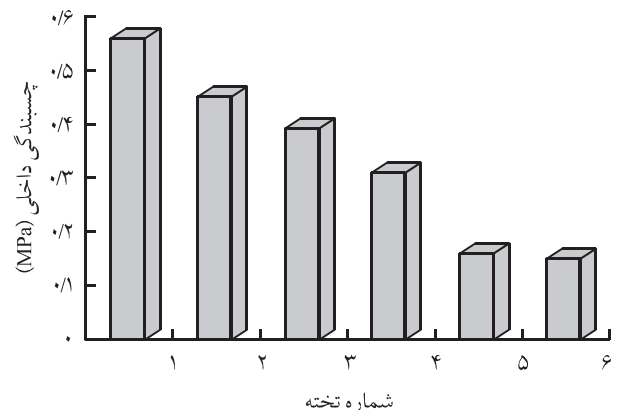
شکل ۱- اثر سدیم سیلیکات و دی ایزوسیانات بر استحکام خمشی تخته ساخته شده با پوسته برنج.

قبل و بعد از غوطه ورسازی در آب است.

تجزیه واریانس داده های به دست آمده از اندازه گیری خواص مکانیکی و فیزیکی به وسیله نرم افزار SPSS و مقایسه میانگین داده ها به کمک آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه گیری خواص مکانیکی (استحکام خمشی و چسبندگی داخلی) و خواص فیزیکی (تورم در ضخامت و جذب آب پس از ۲ و ۲۴ h غوطه ورسازی نمونه ها) در شکل های ۱ تا ۴ نشان داده



شکل ۲ - اثر سدیم سیلیکات و دی ایزوسیانات بر مقدار چسبندگی داخلی تخته ساخته شده با پوسته برنج.

در ضخامت را ۳۰ درصد کاهش داد. از نظر آماری بین تورم در ضخامت تخته های ۳ و ۴ اختلاف معنی داری وجود ندارد و هر دو در یک گروه قرار می گیرند.

خواص فیزیکی و مکانیکی تخته ها با توجه به نوع و مقدار ماده اولیه و چسب مصرفی متفاوت است. درباره استفاده از چسب های معدنی مانند سدیم سیلیکات استاندارد تاکنون اعلام نشده است، اما برای کاربرد چسب های مصنوعی به مقدار ۸ درصد در ساخت تخته با پوسته برنج استاندارد موجود نشان می دهد که استحکام خمشی باید حداقل 1400 psi ($9/6 \text{ MPa}$) و چسبندگی داخلی 70 psi ($0/48 \text{ MPa}$) باشد [۱۴]. براساس استاندارد هند استحکام خمشی تخته های ساخته شده با حداکثر ۲۰ درصد چسب نباید کمتر از 15 kgf/cm^2 باشد [۱۵]. در یک بررسی shukla با استفاده از پوسته برنج و ۶۰ درصد سدیم سیلیکات تخته هایی را ساخت که استحکام خمشی آنها در محدوده $213-312 \text{ kgf/cm}^2$ به دست آمد. اما، کاربری این تخته ها در برابر رطوبت ضعیف ارزیابی شده است [۱۶].

نتیجه گیری

به طور کلی خواص مکانیکی و فیزیکی تخته های ساخته شده با دی ایزوسیانات بهتر از خواص مکانیکی و فیزیکی تخته های ساخته شده با سدیم سیلیکات است. اما، با توجه به گرانی و سمی بودن ایزوسیانات می توان آن را جایگزین بخشی از سدیم سیلیکات کرد. بهترین نتیجه ای که در این بررسی به دست آمده است و تمام جنبه های اقتصادی و زیست محیطی را نیز در بر می گیرد، ساخت تخته با ۱۵ درصد سدیم سیلیکات و ۲ درصد دی ایزوسیانات است که خواص فیزیکی و مکانیکی قابل قبولی برای تخته های ساخته شده با پوسته برنج دارد.

قدردانی

بدین وسیله از ریاست محترم پارک علم و فناوری استان گیلان آقای دکتر متقی طلب و معاونت محترم پارک خانم مهندس بلالایی که در فراهم کردن امکانات آزمایشگاهی کمال همکاری را داشته اند، تشکر و قدردانی می شود.

مراجع

1. Sodium Silicates: Versatile Inorganic Adhesives, Industrial Chemicals Division the PQ Corporation, www.pqcorp.com,

قابل دسترس است. به تازگی ایزوسیانات برای بهبود رزین های اوره - فرمالدهید [۹] و فنول - فرمالدهید [۱۰] برای ساخت تخته مورد استفاده قرار گرفته است. براساس گروه بندی دانکن استحکام خمشی تخته های ۲ تا ۴ در یک گروه قرار می گیرند و از نظر آماری در سطوح ۱ و ۵ درصد اختلاف معنی داری بین آنها وجود ندارد. بین تخته های ۴ و ۵ از نظر استحکام خمشی اختلاف معنی داری وجود دارد. استحکام خمشی تخته ۴ با ۲ درصد جایگزینی ($7/07 \text{ MPa}$) دو برابر استحکام خمشی تخته ۵ با ۱ درصد جایگزینی ($3/53 \text{ MPa}$) است.

با توجه به شکل ۲ با افزایش مقدار جایگزینی سدیم سیلیکات با دی ایزوسیانات مقاومت چسبندگی داخلی تخته ها نیز افزایش یافته است. مقایسه تخته های ۱ و ۶ از نظر مقاومت چسبندگی داخلی همانند استحکام خمشی نشان می دهد که چسبندگی داخلی تخته ساخته شده با دی ایزوسیانات ($0/56 \text{ MPa}$) تقریباً چهار برابر چسبندگی داخلی تخته ساخته شده با سدیم سیلیکات ($0/15 \text{ MPa}$) است. نتایج مشابهی نیز برای استفاده از مقادیر کم ایزوسیانات در بهبود چسبندگی داخلی تخته های ساخته شده با رزین های اوره و فنول - فرمالدهید به دست آمده است [۱۱]. استفاده از سیلیکات در ساخت نانوکامپوزیت ها خواص مکانیکی آنها را نظیر چسبندگی بهبود داده است [۱۲، ۱۳]. چسبندگی داخلی تخته ۳ با تخته های ۲ و ۴ از نظر گروه بندی دانکن در یک گروه قرار می گیرند و در سطوح ۱ و ۵ درصد بین آنها از نظر آماری اختلاف معنی داری وجود ندارد. بین تخته های ۴ و ۵ از نظر چسبندگی داخلی اختلاف معنی دار وجود دارد. چسبندگی داخلی تخته ۴ با ۲ درصد جایگزینی ($0/31 \text{ MPa}$) دو برابر چسبندگی داخلی تخته ۵ با ۱ درصد جایگزینی ($0/16 \text{ MPa}$) است.

شکل های ۳ و ۴ نشان می دهند که با افزایش مقدار جایگزینی سدیم سیلیکات با دی ایزوسیانات مقدار تورم در ضخامت و جذب آب نمونه ها پس از ۲ و ۲۴ h غوطه ورسازی در آب کاهش می یابد. با مقایسه تخته های ۱ و ۶ از نظر تورم در ضخامت و جذب آب مشخص شد که مقدار تورم در ضخامت و جذب آب تخته ساخته شده با سدیم سیلیکات خیلی بیشتر از تخته ساخته شده با دی ایزوسیانات است. علت این امر ضعیف بودن سدیم سیلیکات در برابر آب است. بنابراین، با افزایش مقدار جایگزینی با دی ایزوسیانات می توان این مشکل را کاهش داد. به طوری که با ۲ درصد جایگزینی می توان جذب آب را ۴۸ درصد و تورم

Bulletin1, 2-30, 2006.

2. Merrill R.C., *Industrial Applications of the Sodium Silicates*,

- Some Recent Developments*, Quartz Company, Philadelphia, Chap. 3, 337, 2005.
3. George J. and Ramakrishnan V., Rice Husk Particle Board, *Asia Pacific Tech. Monitor*, **6**, 4, 1996.
 4. Zoolagud S.S and Rangaraju T.S., Rice Husk Particle Board Technology with Special Reference to Adhesives and Future Research Needs, *Wood News*, **3**, 15-19, 1994.
 5. Mishra S. and Naik J.B., Absorption of Steam and Water at Ambient Temperature in Wood Polymer Composites Prepared from Agro-waste and Novolac, *J. Appl. Polym. Sci.*, **68**, 1417-1421, 1998.
 6. Luh B.S., *Rice Utilization*, 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 75-86, 1991.
 7. Juliano B.O., *Rice Hull and Rice Straw*, American Association of Cereal Chemists, USA, 689-695, 1985.
 8. Doosthoseini K., *Wood Composite Materials, Manufacturing, Applications*, Tehran University, Iran, 648, 2000.
 9. Liu Z. and Binglye H., Technology of Rice Straw Particleboard Bonded by Urea-Formaldehyde Resin Modified by Isocyanate, *FRI Bulletin*, **177**, 295-302, 1992.
 10. Osman Z., Pizzi A., Kanter W. and Triboulot M.C., PUF Panel Adhesives Doped with Additional Urea and Reinforced by Iso-cyanates, *Holz Roh Werks*, **63**, 53-56, 2005.
 11. 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.
 12. Ray S.S., Okamoto M., Polymer/Layered Silicate Nanocomposites: a Review from Preparation to Processing, *Prog. Polym. Sci.*, **28**, 1539-1641, 2003.
 13. Schmidt D.F., Clement F. and Giannelis E.P., On the Origins of Silicate Dispersion in Polysiloxane/Layered-Silicate Nanocomposites, *Adv. Funct. Mater.*, **16**, 417-425, 2006.
 14. A Recorded Voluntary Standard of the Trade, US Department of Commerce, Commercial Standard CS236-66, 1996.
 15. Methods of Test for Wood Particleboards and Boards from other Lignocellulosic Materials, IS 2380, Part 4, 1977.
 16. Shukla B.D., Ojha T.P. and Gupta C.P., Engineering Properties of Rice Husk Boards, *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, **14**, 52-58, 1983.