Archive of SID

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و سوم، ویژه‌نامه ۲، ۱۳۹۵
http://jwfst.gau.ac.ir

بررسی استفاده از لیکور سیاه تقویت شده با نانو لیف لیگنوسلولز جهت بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب

*مصطفی یحیوی دیزج[۱]، ابوالقاسم خزاعیان[۲] و علیرضا شاکری[۳]
[۱]دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]دانشیار دانشکده شیمی، دانشگاه تهران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۲

چکیده

سابقه و هدف: هدف از انجام این پژوهش تهیه چسب ترکیبی از اوره فرمالدهید و لیکورسیاه؛ همچنین تقویت خواص آن با نانولیف لیگنوسلولز برای ساخت تخته خرده چوب می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق درصد اختلاط لیکور سیاه با چسب اوره فرمالدهید به‌ترتیب در چهار سطح ۱۰۰:۰، ۹۰:۱۰، ۷۰:۳۰ و ۵۰:۵۰ تعیین گردید، دمای پرس در دو سطح ۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و درصد نانولیف لیگنوسلولز ۰ و ۲ درصد بر اساس وزن خشک چسب به‌عنوان عوامل متغیر انتخاب شد. خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها شامل مقاومت‌خمشی، چسبندگی‌داخلی، جذب‌آب و واکشیدگی ضخامت در طی ۲ و ۲٤ ساعت غوطه‌وری در آب اندازه‌گیری شد.

نتایج: نتایج نشان داد که با افزایش درصد لیکور سیاه در ترکیب چسب خواص مکانیکی و فیزیکی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش درصد نانوفیبر لیگنوسلولز و دمای پرس خواص فیزیکی و مکانیکی بهبود یافت.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج این تحقیق، لیکورسیاه موجب کاهش، دمای پرس و درصد نانو باعث بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی شد.

واژه‌های کلیدی: اوره فرمالدهید، لیکور سیاه، نانولیف لیگنوسلولز، تخته خرده چوب

*مسئول مکاتبه: Yahyavi@gau.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

لیگنین پلیمری شبکه‌ای و بی‌شکل از واحدهای فنیل پروپان است که از اتصالات اتری و کربن-کربن تشکیل شده و دارای سه مونومر گوایاسیل، سیرینجیل و پارا هیدروکسی فنیل پروپان می‌باشد. مولکول‌های لیگنین شامل تعدادی از گروه‌های هیدروکسیل فنلی، کربوکسیل و کربونیل است (۱۳). لیگنین ۱۵ تا ۳۰ درصد دیواره سلولی گیاهان را تشکیل می‌دهد (۱۲). سالانه مقدار زیادی لیگنین از فرایندهای پخت از جمله برای کاغذسازی به‌دست می‌آید (۵). یکی از منابع مهم لیگنین مایع سیاه یا لیکور سیاه[1] موجود در کارخانه‌های کاغذسازی می‌باشد. که به‌عنوان یک ماده فرعی استخراج می‌شود. در طی مرحله خمیرسازی فقط ۵۰ درصد مواد لیگنوسلولزی به محصول نهایی تبدیل شده و باقی در لیکور سیاه می‌ماند (۱۱). تولید سالانه جهانی لیکور سیاه تقریباً ۵۰۰ میلیون تن است (۱۰). لذا بازیافت آن از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی دارای اهمیت می‌باشد. ماده جامد لیکور سیاه حاوی حدود ۷۰ درصد ماده آلی و ۳۰ درصد ماده غیر آلی است که بخش عمده ماده آلی آن را لیگنین تشکیل می‌دهد (۱۰). بخش مهمی از لیگنین تولید شده به‌عنوان سوخت مصرف شده و تنها کمتر از ۲ درصد آن به مصارف صنعتی می‌رسد (۳ و ۱۳). تخلیه لیکور سیاه تنها یک منبع ضایعاتی نیست بلکه باعث آلودگی‌های زیست‌محیطی نیز می‌شود. بنابراین استخراج لیگنین از لیکور سیاه علاوه‌بر استفاده از پسماند، آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز کاهش می‌دهد (۱۳). لیگنین استخراج شده از لیکور سیاه می‌تواند در تولید پلی‌اورتان، رزین‌های فنلی و اپوکسی (۳)، مواد سوختی، حشره‌کش‌ها و تثبیت‌کننده‌های آلی استفاده شود (۷). لذا لیکور سیاه منبع مناسبی جهت تولید چسب نیز به‌شمار می‌رود. نکته‌ای که وجود دارد هسته آروماتیک در لیگنین به‌دلیل تعداد کمتر موقعیت‌های آزاد، به‌طور قابل‌توجهی واکنش‌پذیری کمتری دارد. برای حل این مشکل و استفاده بهینه از لیگنین تلاش‌های زیادی انجام شده است از جمله پیوند گروه‌های عاملی و افزایش نقاط واکش‌پذیر موردنظر پژوهشگران می‌باشد (۱). همچنین بسیاری از محققان دما و زمان بالاتر پرس یا غلظت اسید بالاتر را برای پلیمر شدن این چسب در پرس ضروری می‌دانند. یکی از راه‌حل‌های غلبه بر واکنش‌پذیری کمتر لیگنین و تقویت اتصال آن در پانل‌های چوبی استفاده از نانوذرات می‌باشد. از آنجایی که نانولیف

1- Black Liquor

www.SID.ir

Archive of SID

لیگنوسلولز ماده‌ای زیست‌سازگار و زیست‌تخریب‌پذیر است و در مقایسه با بسیاری از انواع نانو ذرات قابل مقایسه، با فرایند آسان‌تر و از منابع ارزان‌تر و فراونتر به‌دست می‌آید.

نظرنژاد و همکاران (۱۳۹۰) امکان ساخت تخته خرده چوب به‌وسیله فعال‌سازی سطوح ذرات چوب و استفاده از اتصال دهنده جهت ایجاد اتصال بین ذرات چوب را بررسی کردند. نتایج نشان داد که شرایط بهینه مصرف اکسیدکننده و اتصال دهنده مربوط به تیمار ٦ درصد اسید نیتریک و ۷ درصد لیکورسیاه می‌باشد (۹). ساکسینا و شارما (۱۹۹۳) با جایگزینی لیکور سیاه بجای چسب فنل‌فرمالدهید برای تخته خرده‌چوب نشان داند که تأثیر افزودن همزمان فسفات و اوره موجب افزایش مقاومت خمشی و کاهش جذب آب شده است. همچنین جایگیزینی چسب فنل فرمالدهید تا ٦۰ درصد با لیکور سیاه برای مواد ارزان قیمت موجب بهبود مقاومت به آتش و مقاومت فیزیکی می‌شود (۱۱). تن و ورمریس (۲۰۱۵) تحقیقی در مورد تحولات اخیر در زمینه پلیمرهای مشتق شده از لیگین انجام دادند و گزارش کردند که لیگنین ماده‌ای بسیار مناسب برای تولید کامپوزیت‌های پیشرفته می‌باشد که مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی بسیار زیادی دارد (۱۲). براساس مطالعات کتابخانه‌ای تحقیقات زیادی بر روی چسب‌های مورد استفاده در ساخت تخته خرده چوب انجام شده است. اما تاکنون گزارش کاملی در زمینه استفاده از نانو لیف لیگنوسلولز بهمراه لیکور سیاه در چسب اوره فرمالدهید انجام نشده است. هدف از انجام این تحقیق استفاده از نانولیف لیگنوسلولز جهت تقویت چسب اوره فرمالدهید در ترکیب با لیکور سیاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق، خرده چوب صنعتی از کارخانه نئوپان شموشک تهیه و به کارگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شد. خرده چوب‌ها پس از الک شدن (۲۰ و ٤۰ مش) و حذف خرده‌های بسیار درشت و بسیار ریز که مناسب ساخت تخته‌خرده چوب نبودند؛ توسط آون تحت دمای ۲±۱۰۳ خشک و جهت جلوگیری از جذب رطوبت تا زمان ساخت تخته‌های آزمونی در کیسه‌های پلاستیکی مقاوم و عایق رطوبتی نگهداری شدند. در این بررسی از چسب اوره فرمالدهید شرکت شیمیایی فارس و لیکور سیاه تهیه شده از کارخانه چوب و کاغذ مازندران استفاده شد (جدول ۱). همچنین ماده سخت‌کننده مورد استفاده از نوع کلریدآمونیوم (NH_4CL) یک درصد به میزان ۱ درصد بر حسب ماده خشک چسب توزین و به چسب افزوده شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- مشخصات چسب اوره فرمالدهید.

Table 1. Urea Formaldehyde Adhesive characteristics.

اسیدیته Acidity	زمان ژله‌ای شدن (S) Gel Time	ویسکوزیته (S) Viscosity	مواد جامد (درصد) Solid Content	دانسیته (gr/cm^3) Density	نوع رزین Resin Type
7.6	55	65	62	1.285	اوره فرمالدئید UF
11	-	150	52	1.21	لیکور سیاه Black Liquor

برای تخته‌های دارای تیمار نانو، ۲ درصد نانو لیف لیگنوسلولز برحسب ماده خشک چسب توزین و به همراه چسب به وسیله همزن مخلوط و جهت پراکنش در چسب به‌مدت ۵ دقیقه اولتراسونیک شد. نسبت لیکورسیاه به چسب اوره فرمالدهید در چهار سطح ۱۰۰/۰، ۹۰/۱۰، ۳۰/۷۰ و ۵۰/۵۰ انتخاب شد. از آنجایی که در این تحقیق، تخته خرده چوب سه لایه ساخته می‌شود؛ بدین منظور ذرات ریز خرده چوب (مش ٤٠) و ذرات درشت خرده چوب (مش ۲۰) به‌طور جداگانه در داخل دستگاه چسب زن استوانه‌ای آزمایشگاهی با سرعت ۲۰ دور در دقیقه ریخته شد. جهت اسپری مناسب فشار نازل چسب‌پاش بین ۳ تا ٤ اتمسفر در نظر گرفته شد. در پایان مرحله چسب‌زنی ذرات خرده چوب چسب‌زنی شده از داخل استوانه خارج و شکل‌دهی کیک خرده چوب به‌صورت دستی انجام گرفت. برای تشکیل کیک از یک قالب چوبی به ابعاد ۳۵ × ۳۵ سانتی‌متر استفاده شد. پس از تشکیل کیک و فشردن اولیه آن، به وسیله پرس گرم آزمایشگاهی مدل OTT ساخت کشور آلمان تا ضخامت اسمی ۱۰ میلی‌متر و دانسیته ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب فشرده شدند. جهت یکنواخت شدن رطوبت و متعادل‌سازی تنش‌های داخلی نمونه‌های ساخته شده به‌مدت یک هفته در شرایط آزمایشگاهی با رطوبت نسبی ٦٥ درصد و درجه حرارت ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برای تهیه نمونه‌های آزمونی از تخته‌های ساخته شده ابتدا تخته‌ها بوسیله دستگاه اره گرد کناره‌بری و سپس نمونه‌های لازم جهت آزمون مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته، چسبندگی داخلی، جذب آب و واکشیدگی ضخامت مطابق استاندارد EN تهیه شدند (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- ابعاد نمونه‌های آزمونی.

Table 2. Dimensions of test samples.

نوع آزمایش Type of test	ابعاد (mm) Dimensions
MOR	250× 50×10
IB	50×50×10
TS و WA	50×50×10

در این تحقیق از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

جدول ۳- میزان ترکیبات تیمارهای مختلف.

Table 3. Experimental design

کد تیمار Code	لیکورسیاه (درصد) Black liquor	دمای پرس (درصد) Press Temperature	نانولیف لیگنوسلولز (درصد) Lignocellulose Nano fiber	تکرار Repeat
1	0	180	0	4
2	10	180	0	4
3	30	180	0	4
4	50	180	0	4
5	0	200	0	4
6	10	200	0	4
7	30	200	0	4
8	50	200	0	4
9	0	180	2	4
10	10	180	2	4
11	30	180	2	4
12	50	180	2	4
13	0	200	2	4
14	10	200	2	4
15	30	200	2	4
16	50	200	2	4

نتایج و بحث

خواص مکانیکی

مقاومت خمشی (MOR): یکی از خواص مهم درکاربرد تخته خرده چوب مقاومت خمشی آن می‌باشد. در تخته خرده چوب مقاومت خمشی بیشتر با کیفیت لایه‌های سطحی مربوط می‌شود

www.SID.ir

Archive of SID

به‌طوری که اگر اتصال بین ذرات لایه‌های سطحی یک تخته بیشتر شده و این لایه متراکم‌تر گردد مقاومت خمشی آن افزایش می‌یابد.

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر عوامل متغیر بر ویژگی‌های مکانیکی.

Table 4. Analysis of variance the effects of variables on mechanical properties.

مقاومت خمشی Bending strength	چسبندگی داخلی Internal bonding	درجه آزادی DF	منبع تغییرات Source changes
٭ 138.09	٭ 1.29	3	لیکور سیاه Black Liquor
٭ 134.74	٭0.39	1	دمای پرس Press temperature
٭100.26	0.031	1	درصد نانولیف لیگنوسلولز Lignocellulose Nano fiber
14.97	0.031	3	لیکور سیاه × دمای پرس Black Liquor/ Press temperature
8.61	0.017	3	لیکور سیاه × نانولیف لیگنوسلولز Black Liquor/ Lignocellulose Nano fiber
21.01	7.311	1	دمای پرس× نانولیف لیگنوسلولز Press temperature/ Lignocellulose Nano fiber
5.26	0.003	3	لیکور سیاه × دمای پرس × نانولیف لیگنوسلولز Black Liquor/ Press temperature/ Lignocellulose Nano fiber

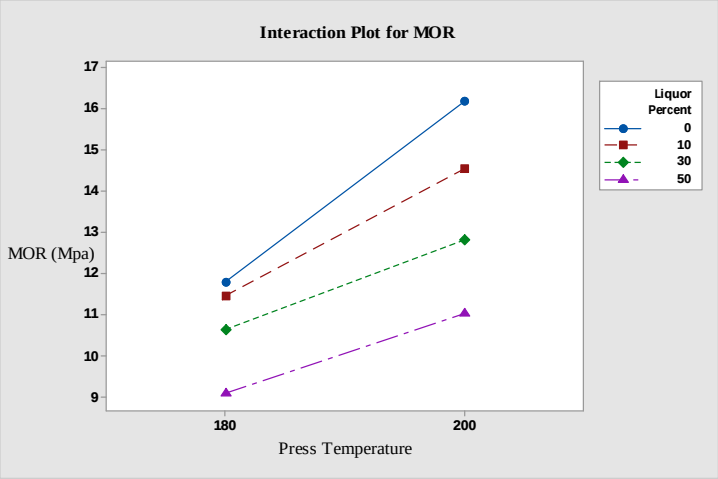
٭ سطح معنی‌داری ۹۵ درصد.

تأثیر ترکیب لیکور سیاه با چسب اوره فرمالدهید بر مقاومت خمشی: نتایج مقاومت خمشی نشان داد با افزایش درصد لیکور سیاه در ترکیب چسب نهائی مقاومت خمشی کاهش یافت به طوری‌که بیشترین مقاومت خمشی مربوط به نمونه حاوی ۱۰۰ درصد چسب اوره فرمالدهید می‌باشد. جدول تجزیه واریانس نشان داد که از لحاظ آماری در سطح ۹۵ درصد این کاهش معنی‌دار است. می‌توان گفت با افزودن لیکور سیاه تا سطح ۳۰ درصد به ترکیب چسب مقاومت خمشی کاهش معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد پیدا نکرده است. نتایج اثر متقابل نشان داد لیکور سیاه در سطح صفر درصد و دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد بهترین مقاومت خمشی را دارد که با افزایش درصد لیکور سیاه و

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش دمای پرس مقاومت خمشی کاهش پیدا می‌کند. قابل ذکر است که اثر متقابل درصد لیکور سیاه و دمای پرس در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.



شکل ۱- تأثیر متقابل لیکور سیاه و دمای پرس بر مقاومت خمشی.

Figure 1. The interaction of black liquor and press temperature on MOR.

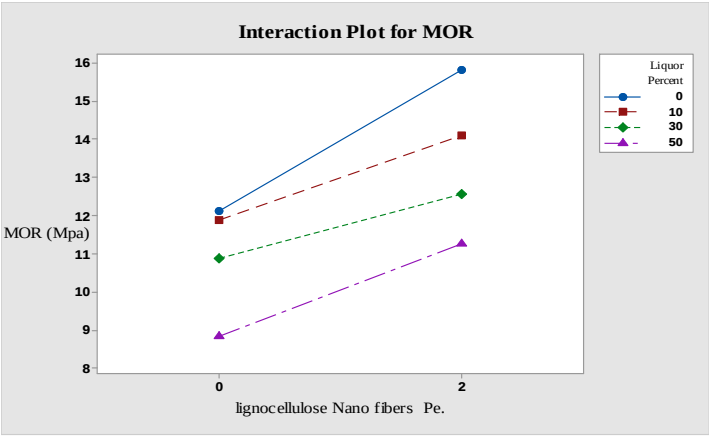
تاثیر دمای پرس بر مقاومت خمشی: همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با افزایش دمای پرس مقاومت خمشی بهبود یافت. تخته‌های ساخته شده با پرس تحت دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد مقاومت بالاتری را نشان دادند. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد افزایش دمای پرس تاثیر معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد بر مقاومت خمشی دارد (جدول ٤). همچنین نتایج اثر متقابل نشان داد که کاهش مقاومت خمشی برای نمونه‌هایی که دارای درصد لیکورسیاه کمتر و دمای پرس بالاتری بودند بیشتر بوده و در واقع اثر درصد لیکور سیاه کمتر در دمای پرس بالا چشم‌گیرتر می‌باشد.

تاثیر ترکیب نانولیف لیگنوسلولز با چسب اوره فرمالدهید بر مقاومت خمشی: نتایج حاصل نشان می‌دهد با افزایش درصد نانولیف لیگنوسلولز مقاومت خمشی افزایش می‌یابد (شکل ۲ و ۳). بر اساس استاندارد اروپایی نیز تخته‌های ساخته شده با ۲ درصد نانولیف لیگنوسلولز مقاومت خمشی بالاتری از استاندارد را دارا هستند. نتایج جدول تجزیه واریانس نیز نشان می‌دهد که افزودن ۲ درصد نانولیف لیگنوسلولز به چسب تاثیر معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد بر مقاومت خمشی دارد. نتایج اثر متقابل نیز نشان داد بهترین مقاومت خمشی زمانی حاصل می‌شود که درصد لیکور سیاه، درصد نانو فیبر

www.SID.ir

Archive of SID

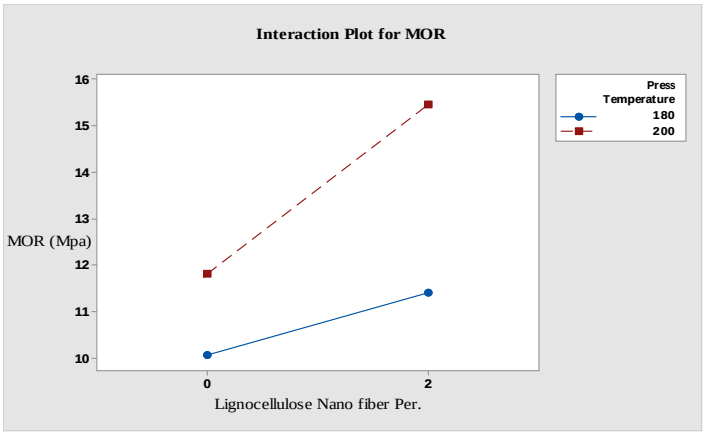
لیگنوسلولز و دمای پرس به‌ترتیب ۰، ۲ و ۲۰۰ باشد. همچنین اثر متقابل لیکور سیاه و نانو فیبرلیگنوسلولز و همچنین اثر متقابل دمای پرس و نانو فیبرلیگنوسلولز بر روی مقاومت خمشی در سطح آماری ۹۵ درصد معنی‌دار نبود.



شکل ۲- تاثیر متقابل لیکور سیاه و نانو فیبرلیگنوسلولز بر مقاومت خمشی.

Figure 2. The interaction of black liquor and lignocellulose Nano fiber on MOR.

نتایج اثر متقابل نشان داد که افزایش مقاومت خمشی برای نمونه‌هایی که دارای درصد نانوفیبر لیگنوسلولز بالاتر و درصد لیکورسیاه کمترتری بودند بیشتر بود.



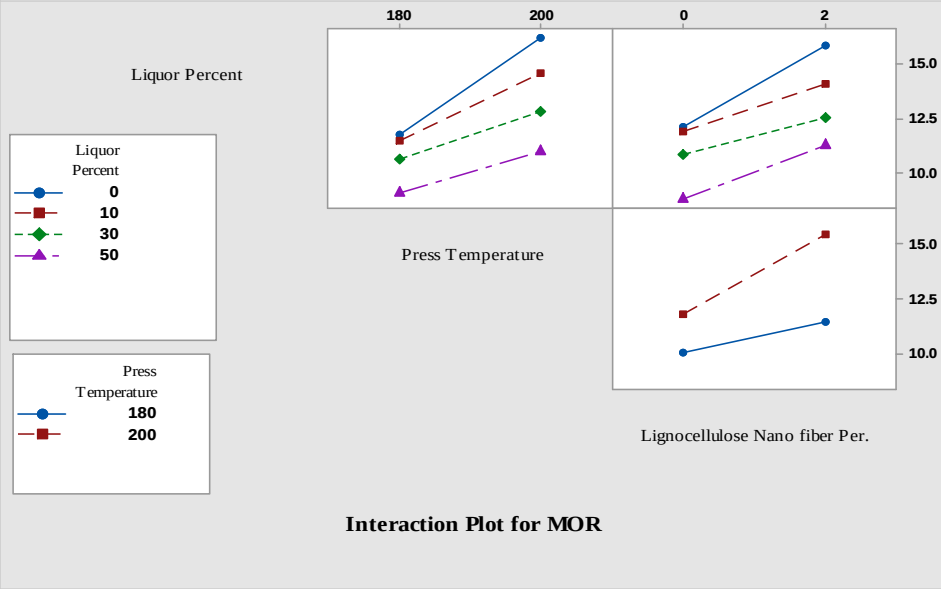
شکل ۳- تاثیر متقابل نانولیف لیگنوسلولز و دمای پرس بر مقاومت خمشی.

Figure 3. The interaction of lignocellulose Nano fiber and press temperature on MOR.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج اثر متقابل درصد لیکور سیاه، دمای پرس و نانوفیبر لیگنوسلولز بر مقاومت خمشی نشان داد اثر هر سه فاکتور بر روی مقاومت خمشی در سطح آماری ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد و مقاومت خمشی با درصد لیکور صفر، دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و نانو فیبرلیگنوسلولز ۲ درصد بهترین است.



شکل ٤- تأثیر متقابل لیکور سیاه، نانولیف لیگنوسلولز و دمای پرس بر مقاومت خمشی.

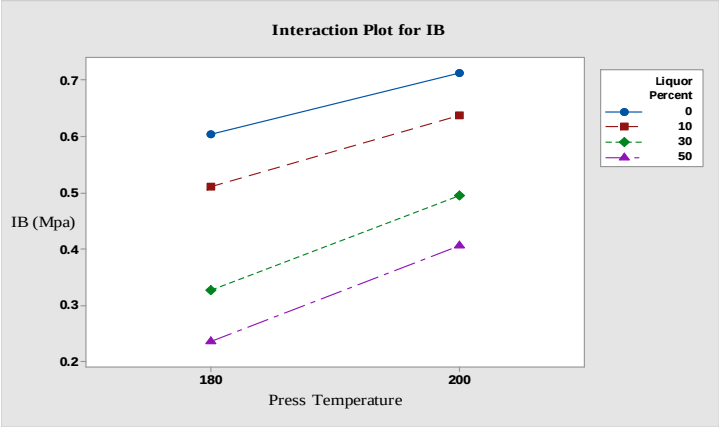
Figure 4. The interaction of black liquor, lignocellulose Nano fiber and press temperature on MOR.

چسبندگی داخلی (**IB**): یکی دیگر از ویژگی‌های اساسی تخته خرده چوب مقاومت چسبندگی داخلی بوده که معرف کیفیت اتصالات موجود در لایه میانی تخته خرده چوب می‌باشد. این مقاومت در صورت فشردگی مناسب ذرات و گیرایی کامل رزین در لایه‌های داخل کیک خرده چوب بهبود می‌یابد. به‌منظور شناخت عملکرد چسب و ارزیابی قدرت اتصال بین خرده چوب‌ها در لایه‌های میانی تخته‌های ساخته شده، چسبندگی داخلی آن‌ها تعیین گردید.

تأثیر ترکیب لیکور سیاه با چسب اوره فرمالدهید بر چسبندگی داخلی: نتایج آماری نشان می‌دهد با افزایش درصد لیکور سیاه در ترکیب چسب نهائی چسبندگی داخلی تخته‌ها کاهش می‌یابد. این کاهش در سطح آماری ۹۵ درصد معنی‌دار است.

www.SID.ir

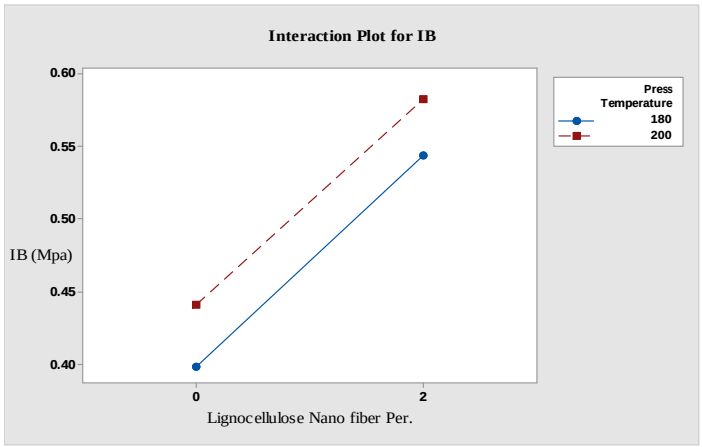
Archive of SID



شکل ۵- تاثیر متقابل دمای پرس و لیکور سیاه بر چسبندگی داخلی.

Figure 5. The interaction of press temperature and black liquor on IB.

تأثیر دمای پرس بر چسبندگی داخلی: نتایج شکل ۵ نشان می‌دهد با افزایش دمای پرس از ۱۸۰ به ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد مقاومت چسبندگی داخلی نمونه‌ها بهبود یافت. جدول آنالیز واریانس نشان داد افزایش دمای پرس تاثیر معنی‌داری بر مقاومت چسبندگی داخلی دارد. نتایج اثر متقابل نیز نشان داد بهترین دمای پرس و لیکور سیاه به ترتیب ۰ و ۲۰۰ می‌باشد. در سطح آماری ۹۵ درصد اثر متقابل این دو عامل معنی‌دار نمی‌باشد.



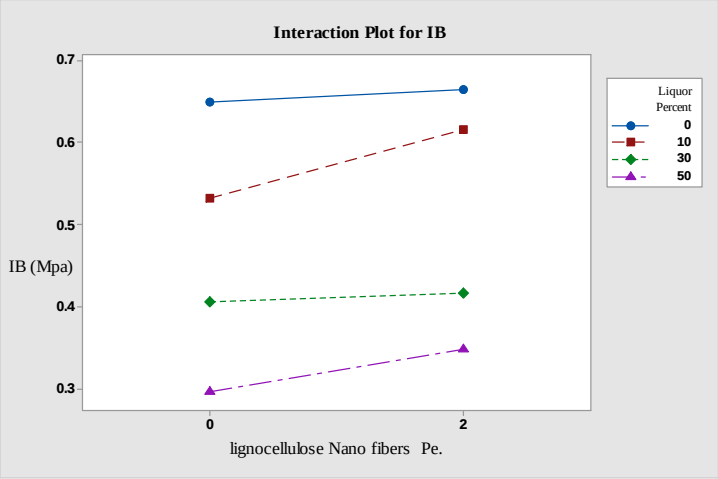
شکل ٦- تاثیر متقابل دمای پرس و نانولیف لیگنوسلولز بر چسبندگی داخلی.

Figure 6. The interaction of lignocellulose Nano fiber and press temperature on IB.

www.SID.ir

Archive of SID

تاثیر ترکیب نانولیف‌لیگنوسلولز با چسب اوره فرمالدهید بر چسبندگی داخلی: با افزودن نانولیف لیگنوسلولز به چسب، مقاومت چسبندگی داخلی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. این افزایش براساس نتایج جدول تجزیه واریانس در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.



شکل ۷- تاثیر متقابل نانولیف لیگنوسلولز و لیکور سیاه بر چسبندگی داخلی.

Figure 7. The interaction of lignocellulose Nano fiber and black liquor on IB.

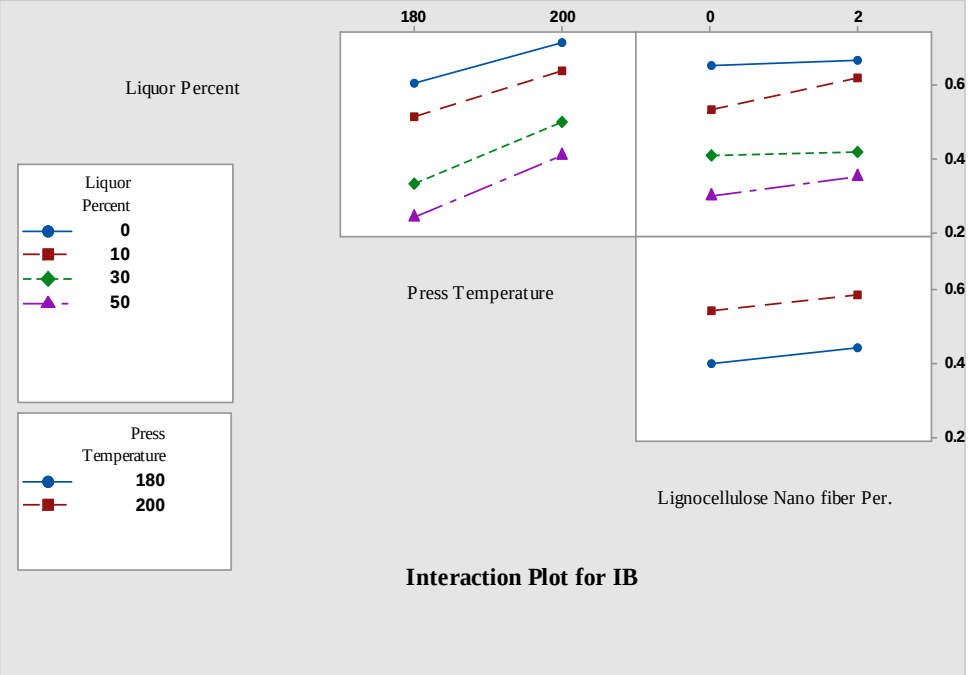
نتایج اثر متقابل لیکور سیاه، دمای پرس و درصد نانو فیبر لیگنوسلولز در سطح آماری ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. نتایج اثر متقابل نشان داد که افزایش چسبندگی داخلی برای نمونه‌هایی که دارای درصد لیکورسیاه کمتر، دمای پرس بالاتر و درصد نانو فیبر لیگنوسلولز بیشتری بودند چشم‌گیرتر می‌باشد.

به‌نظر می‌رسد لیگنین موجود در لیکور در طی مراحل خمیرسازی در اثر فرآیند اکسایشی تخریب شده و به فرآورده‌های کوچک تبدیل شده است. در این لیگنین به جای پیوندهای دوگانه از نوع کونیفریل الکل، که بر اثر پخت به طور کامل از بین می‌روند، پیوندهای دوگانه جدیدی از نوع استیرنی و استیلبنی پدیدار می‌شود (٦ و ۹) بنابراین به دلیل آنکه در لیکور موجود لیگنین تخریب شده است، با افزایش لیکور در ترکیب چسب اوره فرمالدئید مقاومت مکانیکی کاهش پیدا کرده است. برای جلوگیری از این مسئله بایستی لیگنین متراکم شده و اتصالات عرضی در آن شکل گیرد که در این تحقیق از دمای بیشتر پرس استفاده شده است که مشاهده می‌شود با افزایش دمای پرس مقاومت مکانیکی افزایش یافته

www.SID.ir

Archive of SID

است. همچنین افزایش دمای پرس موجب سخت شدن چسب و ایجاد یک اتصال کارآمد در تخته خرده‌چوب می‌شود در نتیجه خواص مکانیکی افزایش یافت. همچنین با افزایش دمای پرس انتقال حرارت خوبی به لایه مغزی صورت می‌گیرد و موجب بهبود چسبندگی داخلی شد (۲ و ٤).



شکل ۸- تاثیر متقابل لیکور سیاه، نانولیف لیگنوسلولز و دمای پرس بر چسبندگی داخلی.

Figure 8. The interaction of black liquor, lignocellulose Nano fiber and press temperature on IB.

نانولیف لیگنوسلولز دارای سطح ویژه زیاد (بیش از ۱۰۰ مترمربع در گرم) مقاومت بالا و وزن کم می‌باشد. همچنین وقتی اندازه ذرات کاهش می‌یابد؛ نسبت سطح مؤثر به حجم ذرات افزایش یافته، اثرات سطحی قویتر شده و خواص کاتالیستی افزایش می‌یابد، از طرفی هنگامی که نانولیف لیگنوسلولز به عنوان تقویت‌کننده چسب UF در تخته‌خرده چوب استفاده می‌شوند با توزیع بهتر تنش‌ها استحکام مناسبی را به وجود می‌آورند (۸). به‌نظر می‌رسد نانولیف لیگنوسلولزی با داشتن سطح زیاد و توانایی پیوندهای شیمیایی با گروه‌های عاملی، لیکور و همچنین سطح تخته می‌تواند سبب تسهیل انتقال نیرو و افزایش مقاومت مکانیکی شود.

www.SID.ir

Archive of SID

خواص فیزیکی

واکشیدگی ضخامت (**TS**): یکی دیگر از خواص تخته خرده چوب واکشیدگی ضخامت می‌باشد. این خاصیت به قدرت اتصال‌های داخلی موجود در تخته و پیوندهای تشکیل شده در مقابل نفوذ آب مربوط است.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر عوامل متغیر بر ویژگی‌های فیزیکی تخته‌های آزمونی.

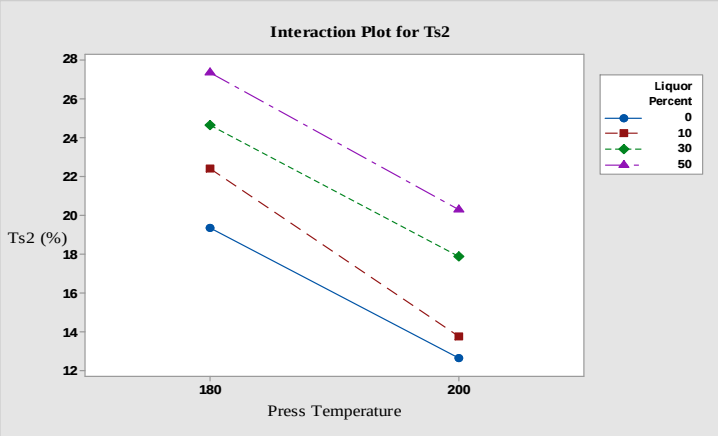
منبع تغییرات Source changes	درجه آزادی DF	جذب آب ۲ ساعت Water Absorption 2h	جذب آب ۲٤ ساعت Water Absorption 24h	واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت Thickness swelling 2h	واکشیدگی ضخامت ۲٤ ساعت Thickness swelling 24h
لیکور سیاه Black Liquor	3	٭8385.38	٭10678.45	٭1049.11	٭1736.00
دمای پرس Press Temperature	1	٭6655.07	٭4762.94	٭1562.45	٭2078.51
نانولیف لیگنوسلولز Lignocellulose Nano fiber	1	٭25043.89	٭11005.72	٭9652.43	٭7935.05
لیکور سیاه × دمای پرس Black Liquor/ Press Temperature	3	1134.19	520.29	19.17	65.60
لیکور سیاه × نانولیف لیگنوسلولز Black Liquor/ Lignocellulose Nano fiber	3	252.59	265.29	80.02	19.08
دمای پرس× نانولیف لیگنوسلولز Press Temperature/Lignocellulose Nano fiber	1	484.64	307.02	٭1340.71	٭1598.53
لیکور سیاه × دمای پرس × نانولیف لیگنوسلولز Black Liquor/ Press Temperature/ Lignocellulose Nano fiber	3	111.02	264.11	13.34	126.39

٭معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد.

تأثیر ترکیب لیکور سیاه با چسب اوره فرمالدهید بر واکشیدگی ضخامت: نتایج حاصل نشان داد با افزایش درصد لیکور سیاه از ۰ تا ۵۰ درصد در ترکیب چسب اوره فرمالدهید باعث افزایش واکشیدگی ضخامت نمونه‌ها می‌شود (شکل‌های ۹ و ۱۰). همچنین نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد تأثیر لیکورسیاه بر واکشیدگی ضخامت در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۵).

www.SID.ir

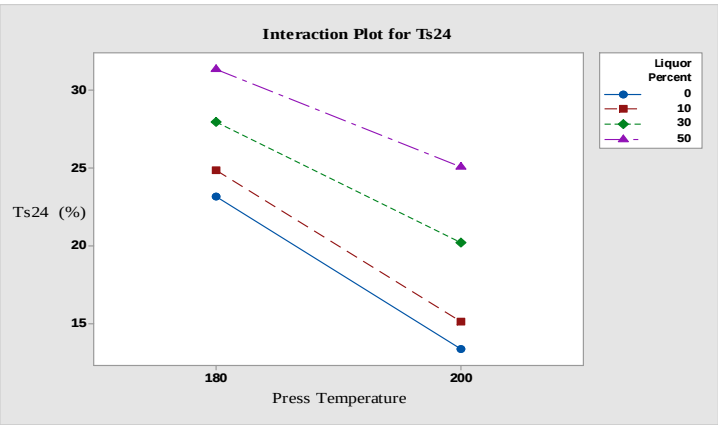
Archive of SID



شکل ۹- تأثیر دمای پرس لیکور سیاه بر واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت.

Figure 9. The interaction of press temperature and black liquor on 2h. TS.

نتایج اثر متقابل نشان داد که اثر متقابل لیکور سیاه و دمای پرس بر واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ ساعت در سطح آماری ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.



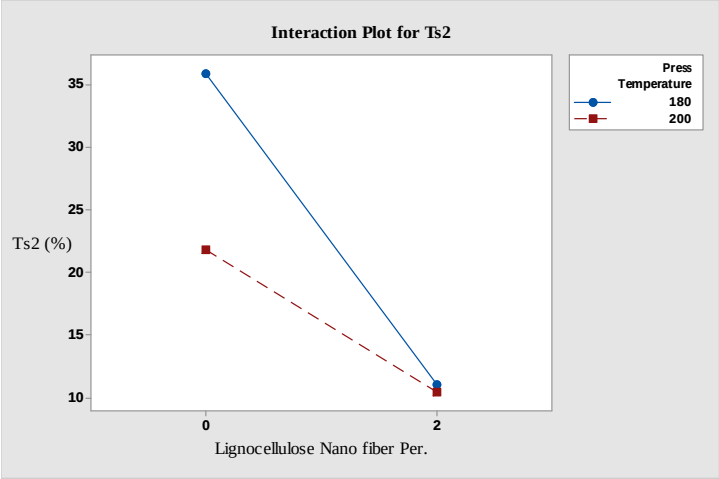
شکل ۱۰- تأثیر دمای پرس لیکور سیاه بر واکشیدگی ضخامت ۲٤ ساعت.

Figure 10. The interaction of press temperature and black liquor on 24h. TS.

تاثیر دمای پرس بر واکشیدگی ضخامت: شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان می‌دهد با افزایش دمای پرس درصد واکشیدگی ضخامت تخته‌ها کاهش می‌یابد. تاثیر دمای پرس بر واکشیدگی ضخامت در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

www.SID.ir

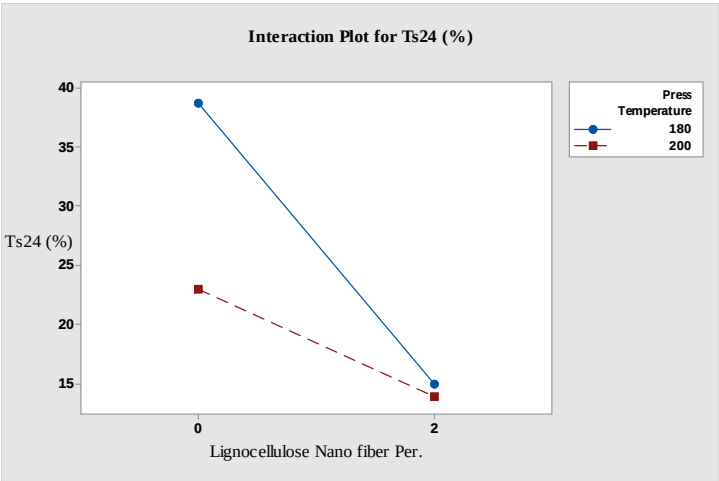
Archive of SID



شکل ۱۱- تاثیر متقابل دمای پرس و نانولیف لیگنوسلولز بر واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت.

Figure 11. The interaction of lignocellulose Nano fiber and press temperature on 2h. TS.

نتایج اثر متقابل نشان داد تاثیر دمای پرس و نانو فیبر لیگنوسلولز بر واکشیدگی ضخامت ۲٤ ساعت در سطح احتمال آماری ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. نتایج اثر متقابل نشان داد که کاهش واکشیدگی ضخامت برای نمونه‌هایی که دارای دمای پرس و درصد نانوفیبر لیگنوسلولزی کمتر بودند بیشتر بود.



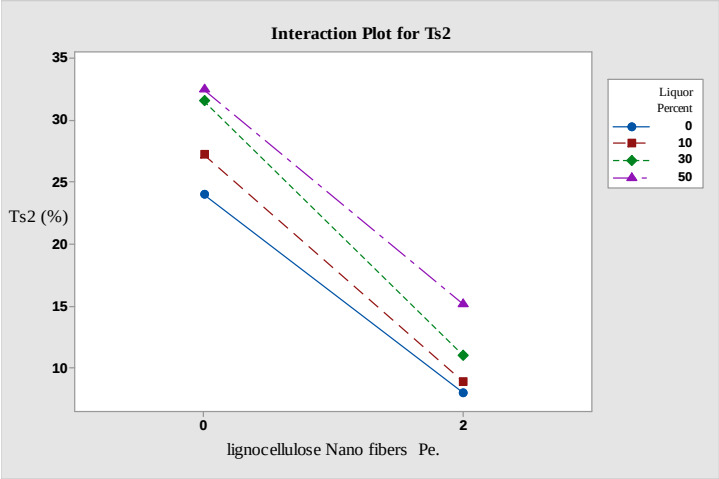
شکل ۱۲- تاثیر متقابل دمای پرس و نانولیف لیگنوسلولز بر واکشیدگی ضخامت ۲٤ ساعت.

Figure 12. The interaction of lignocellulose Nano fiber and press temperature on 24h. TS.

www.SID.ir

Archive of SID

تاثیر ترکیب نانولیف لیگنوسلولز با چسب اوره فرمالدهید بر واکشیدگی ضخامت: افزودن نانولیف لیگنوسلولز به ترکیب چسب باعث کاهش واکشیدگی ضخامت نمونه‌ها شد (شکل‌های ۱۳ و ۱٤). همچنین نتایج حاصل از جدول ۵ نشان داد که تاثیر نانولیف لیگنوسلولز در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.



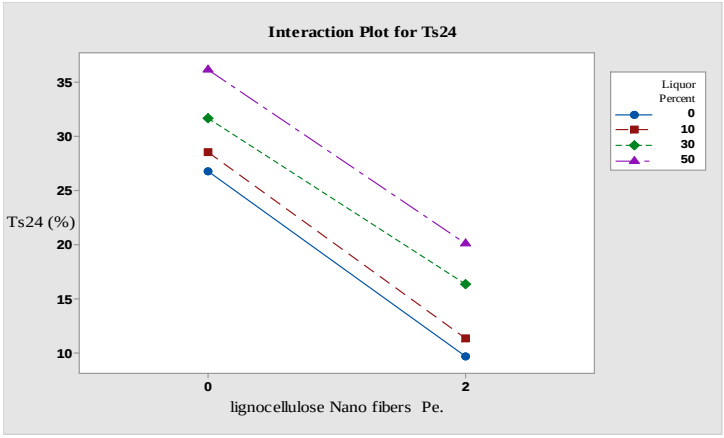
شکل ۱۳- تاثیر متقابل نانوفیبر لیگنوسلولز و لیکور سیاه بر واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت

Figure 13. The interaction of lignocellulose Nano fiber and black liquor on 2h. TS.

نتایج اثر متقابل نشان داد در سطح احتمال آماری ۹۵ درصد تاثیر لیکور سیاه و نانوفیبر لیگنوسلولز و همچنین نانوفیبر لیگنوسلولز و لیکور سیاه بر واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲٤ ساعت معنی‌دار نمی‌باشد.

www.SID.ir

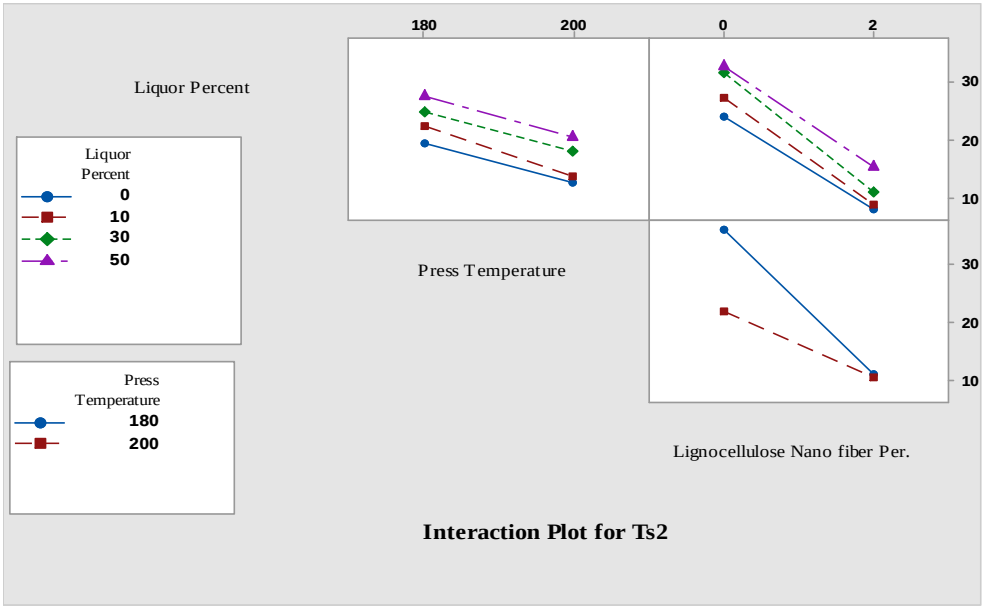
Archive of SID



شکل ١٤- تاثیر متقابل نانوفیبر لیگنوسلولز و لیکور سیاه بر واکشیدگی ضخامت ٢٤ ساعت.

Figure 14. The interaction of lignocellulose Nano fiber and black liquor on 24h. TS.

شکل‌های ١٥ و ١٦ اثر متقابل سه فاکتور لیکور سیاه، نانولیف لیگنوسلولز و دمای پرس بر واکشیدگی ضخامت ٢ و ٢٤ ساعت را نشان می‌دهد. کمترین مقدار واکشیدگی ضخامت با صفر درصد لیکور سیاه، ٢٠٠ درجه سانتی‌گراد دمای پرس و ٢ درصد نانوفیبر لیگنوسلولز به‌دست آمد.

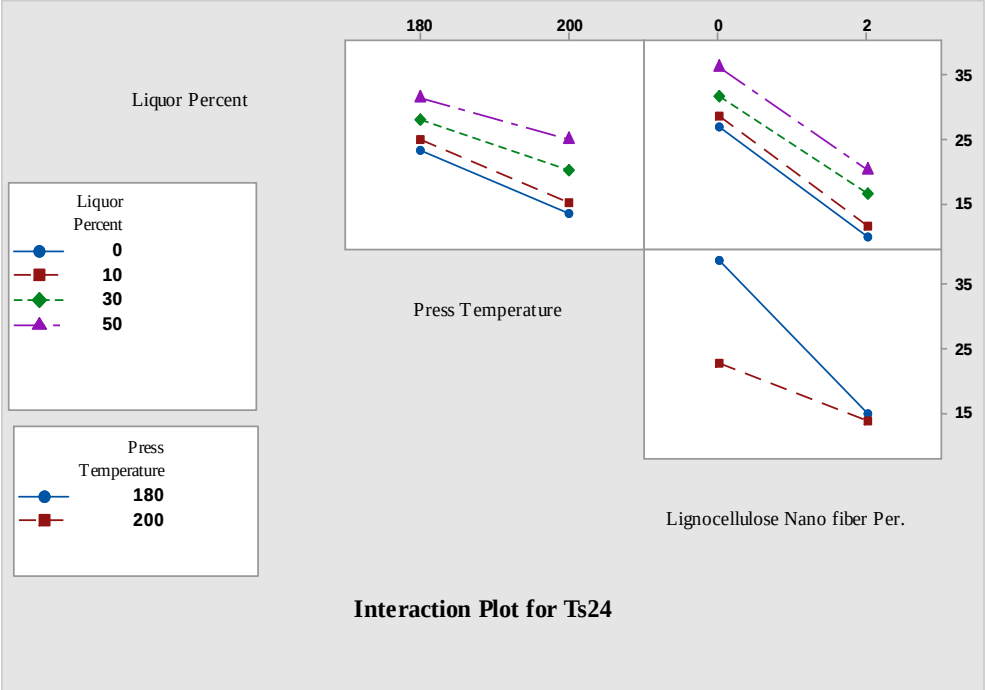


شکل ١٥- تاثیر متقابل لیکور سیاه، نانولیف لیگنوسلولز و دمای پرس بر واکشیدگی ضخامت ٢ ساعت.

Figure 15. The interaction of black liquor, lignocellulose Nano fiber and press temperature on 2h. TS.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۶- تاثیر متقابل لیکور سیاه، نانولیف لیگنوسلولز و دمای پرس بر واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت.

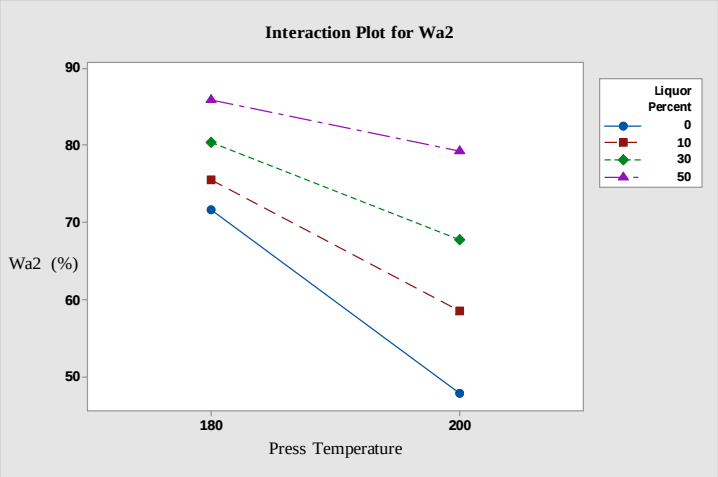
Figure 16. The interaction of black liquor, lignocellulose Nano fiber and press temperature on 24h. TS.

جذب آب (**WA**): میزان جذب آب یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفیت تخته ساخته شده می‌باشد. زیرا تخته چوب فرآورده‌ای است که قابلیت جذب و دفع آب بالایی دارد. به‌همین منظور میزان جذب آب تخته‌ها پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب اندازه‌گیری شد.

تأثیر ترکیب لیکور سیاه با چسب اوره فرمالدهید بر جذب آب: نتایج نشان داد با افزایش درصد لیکور سیاه درصد جذب آب نمونه‌ها افزایش پیدا کرد. نتایج جدول تجزیه واریانس نیز نشان داد که تاثیر لیکور سیاه بر درصد جذب آب معنی‌دار است.

www.SID.ir

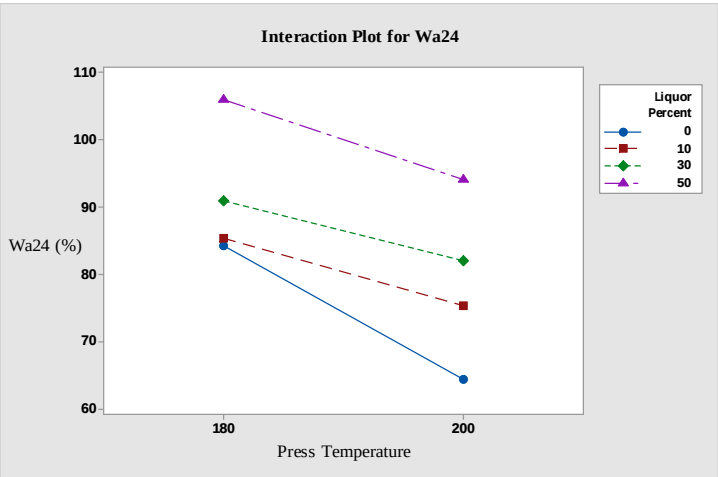
Archive of SID



شکل ۱۷- تاثیر متقابل دما پرس و لیکور سیاه بر جذب آب ۲ ساعت.

Figure 17. The interaction of press temperature and black liquor on 2h. WA.

نتایج نشان داد اثر متقابل دمای پرس و لیکور سیاه بر جذب آب ۲ و ۲٤ ساعت معنی‌دار نمی‌باشد. کمترین مقدار جذب آب مربوط به زمانی است که درصد لیکور سیاه ۰ و دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد بود.



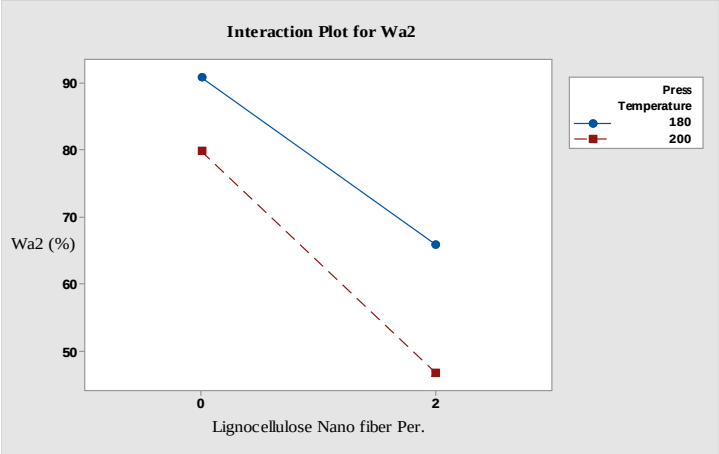
شکل ۱۸- تاثیر متقابل دما پرس و لیکور سیاه بر جذب آب ۲٤ ساعت.

Figure 18. The interaction of press temperature and black liquor on 24h. WA.

www.SID.ir

Archive of SID

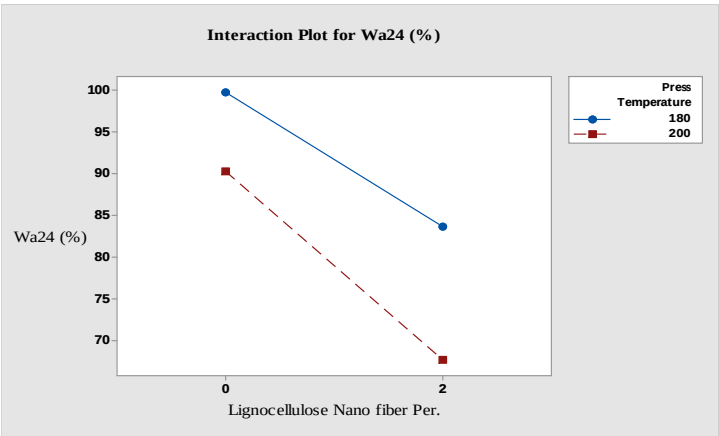
تأثیر دمای پرس بر جذب آب: با افزایش دمای پرس از ۱۸۰ به ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد درصد جذب آب نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند (شکل‌های ۱۹ و ۲۰).



شکل ۱۹- تاثیر متقابل دمای پرس و نانولیف لیگنوسلولز بر جذب آب ۲ ساعت.

Figure 19. The interaction of lignocellulose Nano fiber and press temperature on 2h. WA.

نتایج نشان داد اثر متقابل دمای پرس و نانولیف لیگنوسلولز بر جذب آب ۲ و ۲٤ ساعت در سطح آماری ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. نتایج اثر متقابل نشان داد که کاهش جذب آب برای نمونه‌هایی که دارای دمای پرس و درصد نانوفیبر لیگنوسلولزی کمتر بودند بیشتر بود.



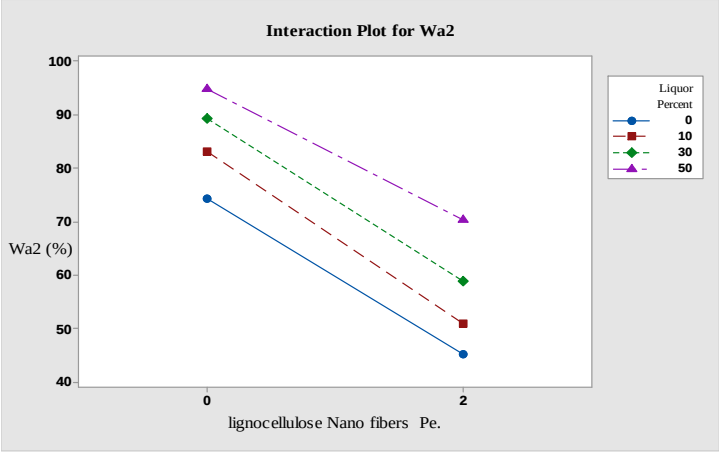
شکل ۲۰- تاثیر متقابل دمای پرس و نانولیف لیگنوسلولز بر جذب آب ۲٤ ساعت.

Figure 20. The interaction of lignocellulose Nano fiber and press temperature on 24h. WA.

www.SID.ir

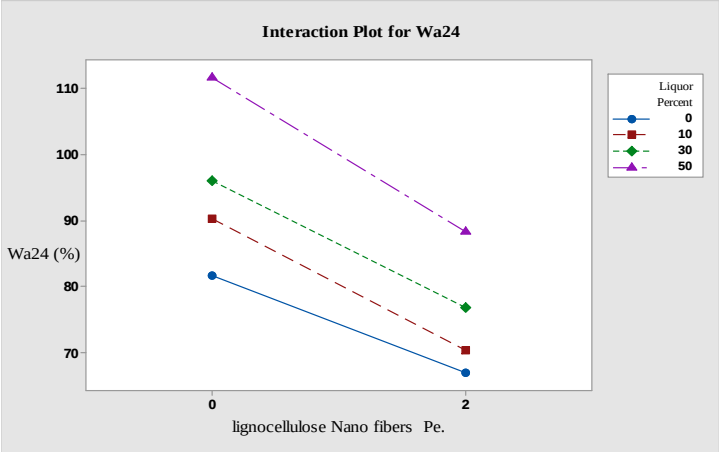
Archive of SID

تاثیر ترکیب نانولیف لیگنوسلولز با چسب اوره فرمالدهید بر جذب آب: نتایج نشان داد با افزودن نانولیف لیگنوسلولز به ترکیب چسب درصد جذب آب نمونه‌ها کاهش پیدا کرد. بطوری که نمونه‌های حاوی ۲ درصد نانولیف لیگنوسلولز آب کمتری را جذب کردند. نتایج جدول تجزیه واریانس نیز حاکی از آن است که تاثیر نانوفیبرلیگنوسلولز بر درصد جذب آب در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.



شکل ۲۱- تاثیر متقابل نانو فیبر لیگنوسلولز و لیکور سیاه بر جذب آب ۲ ساعت.

Figure 21. The interaction of lignocellulose Nano fiber and black liquor on 2h. WA.



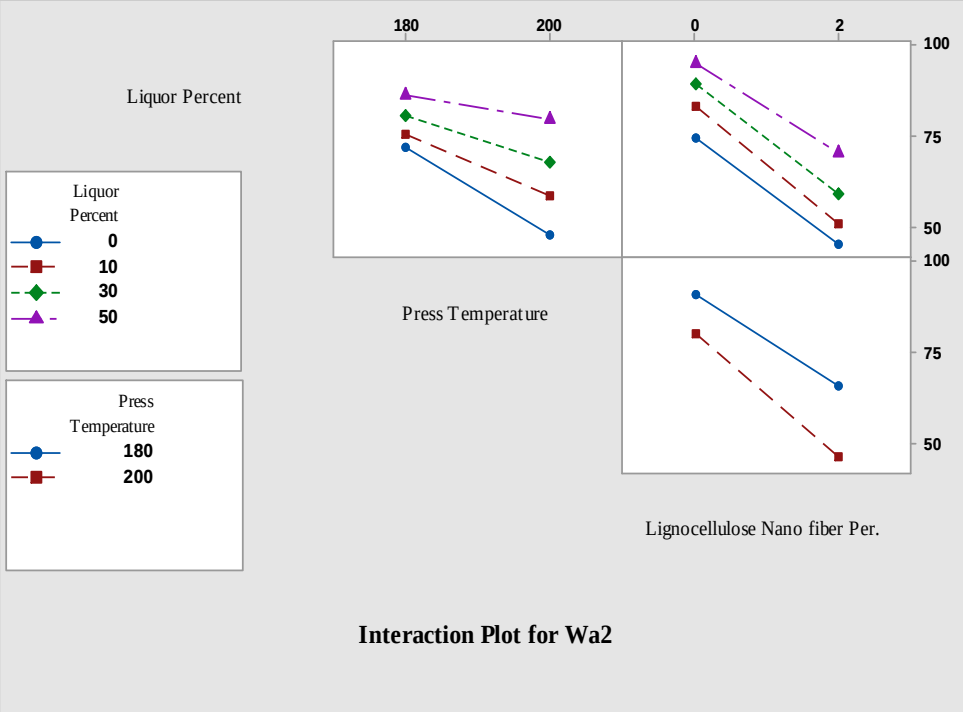
شکل ۲۲- تاثیر متقابل لیکور سیاه و نانولیف لیگنوسلولز بر جذب آب ۲۴ ساعت.

Figure 22. The interaction of lignocellulose Nano fiber and black liquor on 24h. WA.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج اثر متقابل نشان داد تاثیر متقابل لیکور سیاه، نانولیف لیگنوسلولز و دمای پرس بر جذب آب ۲ و ۲٤ ساعت در سطح آماری ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین بهترین مقدار جذب آب ۲ و ۲٤ ساعت مربوط به زمانی که دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، نانو فیبر لیگنوسلولز ۲ درصد و لیکور سیاه ۰ درصد بود.



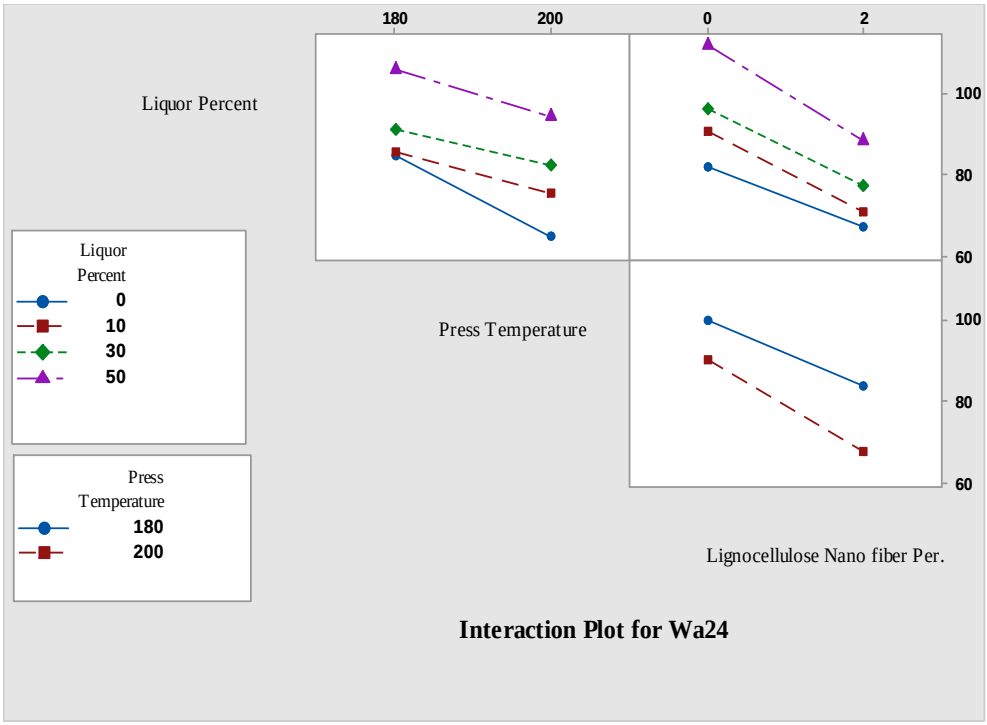
شکل ۲۳- تاثیر متقابل لیکور سیاه، نانولیف لیگنوسلولز و دمای پرس بر جذب آب ۲ ساعت.

Figure 23. The interaction of black liquor, lignocellulose Nano fiber and press temperature on 2h. WA.

نتایج اثر متقابل نشان داد که کاهش واکشیدگی ضخامت برای نمونه‌هایی که دارای دمای پرس، درصد لیکورسیاه و درصد نانوفیبر لیگنوسلولزی کمتر بودند شدیدتر بود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٢٤- تاثیر متقابل لیکور سیاه، نانولیف لیگنوسلولز و دمای پرس بر جذب آب ٢٤ ساعت.

Figure 24. The interaction of black liquor, lignocellulose Nano fiber and press temperature on 24h. WA.

با توجه به این که لیکور مورد استفاده از روش خمیرسازی سولفیت تهیه شده است لیگنین موجود در آن تخریب جزئی و تبدیل به لیگنین با اجزای کوچکتر و حاوی گروه‌های سولفونیک اسیدی شده است بنابراین لیگنین موجود محلول در آب می‌باشد و باعث افزایش خواص فیزیکی شده است. نظرنژاد (۲۰۱۱) تغییر ساختار لیکور و افزایش رطوبت‌پذیری آن در نتیجه تغییر pH محیط، گرما و یا فشار پرس را دلیل افزایش خواص فیزیکی دانسته و بیان می‌کند که احتمالا اتصالات داخلی در لیکور و یا اتصالات ایجاد شده بین لیکور و ذرات چوب از نوع اتصالات غیر مقاوم به آب می‌باشد (۹). همچنین نتایج نشان داد که افزایش دمای پرس خواص فیزیکی تخته‌ها را بهبود بخشیده است. این بهبود خواص به طور عمده مربوط به افزایش چسبندگی داخلی تخته‌ها در اثر انتقال بهتر حرارت و افزایش مقاومت اتصال بین خرده چوب می‌باشد که در اثر افزایش دمای پرس حاصل می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

نانولیف لیگنوسلولز به دلیل ایجاد سطح تماس بالایی را با چسب، لیکور و خرده‌چوب می‌تواند همانند یک پل بواسطه اتصالات شیمیایی و فیزیکی این مواد و ذرات را بهم متصل و از فضای خالی بین اجزاء کاسته و خود بعنوان یک حائل در مسیر نفوذ و حرکت آب باشد. لذا مقدار جذب فیزیکی تخته‌ها بهبود یافت. بنابراین وجود نانوذره مانع بزرگی برای جذب آب و واکشیدگی ضخامت در نمونه‌ها می‌شود و با افزایش درصد نانولیف لیگنوسلولز در ترکیب تخته‌های ساخته شده، مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت کاهش یافت.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که از لحاظ خواص مکانیکی و فیزیکی تخته خرده چوب ساخته شده با ۱۰ درصد ترکیب لیکور سیاه با چسب اوره فرمالدهید، ۲ درصد نانولیف لیگنوسلولز و دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتیگراد مقاومت‌های بهتری را از خود نشان دادند. نتایج نشان داد که استفاده از نانوذرات دوستدار محیط زیست و زیست تخریب‌پذیر به همراه به‌کارگیری لیکورسیاه بعنوان پسماند صنایع خمیر و کاغذ جهت تولید چسب UF اصلاح شده برای ساخت تخته خرده چوب می‌تواند دارای مطلوبیت باشد.

منابع

1. Chauhan, M., Gupta, M., Singh, B., Singh, A.K., and Gupta, V.K. 2014. Effect of functionalized lignin on the properties of lignin–isocyanate prepolymer blends and composites. European Polymer Journal. 52: 32-43.
2. Emam, M. 1997. Effect of rush particle board mat and press on heat transfer. Master thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)
3. Feng, P., and Chen, F. 2012. Prepration and characterization of acetic acid lignin-based epoxy blend. Bioresources. 7: 3. 2860-2870.
4. Krgarfard, A. 2012. Influence of rose flower stem residues on the properties of poplar wood particleboard, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 27: 3. 483-494. (In Persian)
5. Laurichesse, S., and Averous, L. 2014. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. Progress in Polymer Science. 9: 3. 1266-1290.
6. Maghsodlou Rad, S., and Shakeri, A. 2013. Vanillin Production from kraft Liquor of Pinus eldarica. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 4: 1. 143-150. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

7. Mansouri, N.-E. E., Yuan, Q., and Huang, F. 2011. Synthesis and characterization of kraft lignin-based epoxy resins. Bioresources. 6: 3. 2492-2503.
8. Mousavi, M.J. Faezipour, M., and Yousefi, H. 2012. Effect of nanoclay on the properties of medium density fiberboard (MDF). Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 26: 4. 699-707. (In Persian)
9. Nazarnezhad, N. 2011. Study of particleboard manufacture by nonconventional bonding. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 26: 1. 1-9. (In Persian)
10. Rastegarfar, N., Behrooz, R., and Bahramifar, N. 2011. Elimination of Phenol and Color from Pulping Black Liquor Using Electrocoagulation Process. J. Water and Wastewater. 2. 45-52. (In Persian)
11. Saxena, N.K., and Sharma, S.K. 1993. Black liquor substituted phenolic adhesive for fire retardant particle board. Polymer master. 10. 137-144.
12. Ten, E., and Vermerris, W. 2015. Recent developments in polymers derived from industrial lignin. Applied Polymer. 132: 24.
13. Wang, K.-q., Chen, J.-p., Chen, L., Wu, X.-f., Su, X.-j., Amartey, S., and Qin, W. 2014. Isolation and irradiation-modification of lignin specimens from black liquor and evaluation of their effects on wastewater purification. Bio resources. 9: 4. 6476-6489.

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 23 (2), 2016
http://jwfst.gau.ac.ir

The use of black liquor reinforced with lignocellulose Nano fibers to improve the mechanical and physical properties of particleboard

***M. Yahyavi Dizaj[1], A. Khazaeian[2] and A.R. Shakeri[3]**
[1]Ph.D. Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
[2]Associate Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
[3]Associate Prof., Faculty of Chemistry, Tehran University
Received: 04/29/2016 ; Accepted: 10/03/2016

Abstract
Background and aims: The aim of this research is provided a combination of urea-formaldehyde adhesive and black liquor and its properties were reinforced with lignocellulose Nano fiber to use in particle boards manufacturing.
Method and materials: In this study, the ratio of black liquor to urea-formaldehyde adhesive was as 0:100, 10:90, 30:70, and 50:50 percent, respectively. Press temperature was used at two levels of 180, and 200^0C and lignocellulose Nano fiber at two levels 0 and 2 percent based on oven dried weight of urea-formaldehyde adhesive.
Results: Mechanical and physical properties (modulus of rupture, internal bonding, water absorption and thickness swelling after 2 and 24h soaking in water) of the produced boards were measured. The results showed that increasing black liquor resulted in decreasing the mechanical and physical properties boards. The results also indicated that mechanical and physical properties improved with increased press temperature and lignocellulose Nano fiber percent.
Conclusions: The results show that increasing black liquor decreasing the mechanical and physical properties. As well, press temperature and lignocellulose Nano fiber percent improved the mechanical and physical properties.

Keywords: Urea-formaldehyde adhesive, Black liquor, Lignocellulose Nano fiber, Particle board

*Corresponding author: Yahyavi@Gau.ac.ir

www.SID.ir