

تأثیر افزودن اسید سیتریک بر ویژگی‌های تخته خرده چوب

چکیده

در این تحقیق تأثیر افزودن اسید سیتریک بر خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب مورد بررسی قرار گرفت. نسبت وزنی اسید سیتریک به خرده چوب در چهار سطح (۱۰۰/۰، ۹۰/۱۰، ۸۰/۲۰، ۷۰/۳۰) و چسب اوره فرم‌آلدهید در دو سطح (۵ و ۱۰ درصد) به عنوان متغیرهای مستقل این مطالعه انتخاب گردید. برای انجام آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی از استانداردهای اروپایی مجموعه EN استفاده شد. تأثیرات تیمار اسید سیتریک بر روی خرده چوب به وسیله FTIR آنالیز شد. نتایج طیف FTIR نشان داد که گروه‌های کربوکسیل اسید سیتریک با گروه‌های هیدروکسیل خرده چوب واکنش داده و باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته شده است. به دلیل عملکرد خوب اسید سیتریک در بهبود مقاومت‌ها می‌توان مقدار مصرف چسب اوره فرم‌آلدهید در ساخت تخته خرده چوب را کاهش داد. طبق نتایج این تحقیق می‌توان با استفاده از میزان چسب ۵ درصد و اسید سیتریک ۲۰ درصد، حداقل استانداردهای EN312 برای تخته‌هایی برای اهداف عمومی (تیپ ۱) را برآورده نمود. همچنین می‌توان با استفاده از میزان چسب ۱۰ درصد و اسید سیتریک ۲۰ درصد تخته‌هایی بالاتر از حد استاندارد EN 312 برای لوازم داخلی (تیپ ۲) تولید نمود.

واژگان کلیدی: اسید سیتریک، طیف FTIR، گروه‌های کربوکسیل، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی.

عاطفه مصطفی لو^۱

وحید وزیری^{۲*}

فرامرز رستمی چراتی^۳

فرشید فرجی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد فرآورده‌های چند سازه چوبی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران

^۲ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران

^۳ دانشیار گروه شیمی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران

^۴ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران

مسئول مکاتبات:

vahidvaziri@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۹

مقدمه

مصرف فرآورده‌های چند سازه چوبی به دلیل زیاد شدن جمعیت جهان رو به افزایش است [۱]. مواد چوبی، تجدید پذیر و با محیط زیست سازگار هستند. اما با این حال مقادیر زیادی از چسب‌های مصنوعی که از منابع فسیلی گرفته شده‌اند و دارای مواد شیمیایی مضر هستند در این محصولات به کار می‌روند [۱]. در سال‌های اخیر، بازار مصرف اوراق فشرده چوبی گسترش قابل ملاحظه‌ای یافته است و از دلایل عمده آن، مزایای ویژه‌ی پانل‌های چوبی مانند یکنواختی خواص کاربردی در سطح پانل،

امکان تولید در ابعاد بزرگ و سطح صاف با کیفیت مطلوب می‌باشد [۲]. بیش از ۹۰ درصد از فرآورده‌های صفحه‌ای چوبی در جهان با چسب اوره فرم‌آلدهید ساخته می‌شوند. عیب عمده این نوع چسب‌ها تخریب اتصالات آن‌ها در اثر رطوبت، اسید، حرارت و به ویژه حرارت‌های بالا می‌باشد [۳]. مقادیر زیادی از چسب‌های سنتزی از منابع فسیلی مشتق می‌شوند، اما به دلیل وجود مواد شیمیایی مضر در این چسب‌ها و با توجه به مسائل زیست محیطی، استفاده از آن‌ها رو به کاهش است [۴]. همچنین بالا بودن هزینه‌های تولید چسب‌های مورد استفاده در صنایع تخته

خام و چسب طبیعی استفاده کردند. نتایج نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها با افزودن اسید سیتریک تا سطح ۲۰ درصد بهبود پیدا کرد. خصوصیات تخته‌های دارای اسید سیتریک قابل مقایسه با تخته‌های دارای چسب فنل فرم‌آلدهید و چسب پلی متیلن دی فنیل ایزوسیانات بود. [۱۵].

Liao و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی از باگاس به عنوان ماده خام بدون استفاده از هیچگونه چسب سنتزی و با استفاده از مواد افزودنی دوست‌دار محیط زیست (اسید سیتریک و ساکارز) اقدام به ساخت تخته خرده چوب با دانسیته کم نمودند. نتایج نشان داد که تخته‌های دارای دانسیته بیشتر از ۰/۴ گرم بر سانتی متر مکعب و دارای مواد افزودنی در سطح ۱۵ درصد حداقل نیازمندی‌های استاندارد LY/T 1718 چین را برآورده نمود [۱۶].

Zhao و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی تأثیر اسید سیتریک را بر روی چسب ساکارز-تانن و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اضافه کردن اسید سیتریک واکنش میان ساکارز و تانن را در دمای پایین تر بهبود بخشیده و خصوصیات مکانیکی و مقاومت به آب تخته خرده چوب نیز افزایش یافت [۱۷].

این تحقیق در ایران برای اولین بار مورد بررسی قرار گرفته است و اگر هم در کشورهای خارجی از اسید سیتریک استفاده شده است؛ اولاً همراه با اسید سیتریک از ساکارز استفاده شده است و از هیچگونه رزینی استفاده نشده است؛ ثانیاً هیچگونه تحقیقی در مورد تیمار خرده چوب صنعتی با اسید سیتریک در جهان انجام نشده است؛ ثالثاً از آنجایی که در کشور ایران کمبود مواد اولیه چوبی وجود دارد این تحقیق سعی داشت که هم به نوعی میزان مصرف چسب و همچنین میزان مصرف ماده اولیه چوبی را کاهش دهد که در نهایت با هدف دستیابی به حداقل رعایت استاندارد موردنیاز برای تخته خرده چوب، بتوان این ماده افزودنی را به عنوان یک راهکار به کارخانجات تخته خرده چوب پیشنهاد نماید.

خرده چوب از یک سو و انتشار گازهای سمی در هنگام ساخت از سویی دیگر فکر استفاده از انواع مواد جایگزین را به دنبال داشته است [۵]. مطالعات زیادی در مورد چسب-های طبیعی برای حل این مشکلات انجام شده است. تحقیقات اخیر نشان داده است که اسید سیتریک می‌تواند به عنوان چسب طبیعی در صنعت چوب مورد استفاده قرار گیرد و ساز و کار اصلی آن ایجاد پیوند استری بین گروه-های کربوکسیل اسید سیتریک با گروه‌های هیدروکسیل چوب است [۷، ۸]. اسید سیتریک (۲-هیدروکسی ۱، ۲، ۳-پروپان تری کربوکسیلیک اسید)، یک اسید پلی کربوکسیلیک آلی است که دارای ۳ گروه کربوکسیل است. اسید سیتریک در مرکباتی مانند لیمو وجود داشته و از طریق تخمیر گلوکز یا مواد حاوی گلوکز و ساکارز تولید می‌شود [۹]. اسید سیتریک به صورت گسترده در غذاها، نوشیدنی‌ها و داروها کاربرد دارد [۱۰]. از اسید سیتریک به عنوان یک عامل اتصال برای بهبود خواص و فیزیکی و مکانیکی در چوب [۱۱]، الیاف گیاهی [۱۲] و کاغذ [۱۳] استفاده می‌شود.

Umamura و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی از محلول اسید سیتریک و ساکارز به عنوان چسب طبیعی برای تولید تخته خرده با نسبت اختلاط ۲۵:۷۵ درصد استفاده کردند. با توجه به برقراری چسبندگی و اتصالات مناسب و کافی، به این نتیجه رسیدند که این دو ماده را می‌توان به عنوان چسب طبیعی در تولید تخته خرده چوب به کار برد. تمامی تخته‌های ساخته شده در این تحقیق از نظر مقاومت خمشی، چسبندگی داخلی و واکنشیدگی ضخامت از استانداردهای JIS A 5908 بالاتر بوده‌اند [۵].

Umamura و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی از اسید سیتریک به عنوان چسب طبیعی در ساخت تخته خرده چوب استفاده کردند. نتایج حاصله از طیف^۱ FTIR نشان داد که پیوندهای استری حاصل از واکنش بین اسید سیتریک و چوب باعث چسبندگی بین ذرات شده و در نتیجه خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها بهبود پیدا می‌کند [۱۴]. Kusumah و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی از باگاس نیشکر و اسید سیتریک به ترتیب به عنوان ماده

^۱ Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از خرده‌چوب صنعتی با ضخامت ۰/۶-۰/۸ میلی‌متر از شرکت صنعت چوب شمال (نئوپان گنبد) استفاده شد. خرده‌چوب‌ها تا رطوبت ۴ درصد خشک و سپس در کیسه‌های پلاستیکی مقاوم به نفوذ رطوبت، بسته بندی شدند. برای آماده سازی اسیدسیتريک (جدول ۱)، آن را در آب حل کرده تا به غلظت ۵۰ درصد وزنی برسد. ذرات خرده چوب تیمار شده تا رطوبت ۴ درصد خشک شدند. برای ساخت تخته ابتدا خرده چوب با اسید سیتريک با درصد اختلاط مشخص شده (۰/۱۰۰، ۰/۱۰/۹۰، ۲۰/۸۰، ۳۰/۷۰) و با چسب اوره فرم آلدهید (با نسبت مولکولی ۱ به ۱/۲) در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد وزن خشک ماده اولیه توسط چسبزن آزمایشگاهی چسب زنی شدند (جدول ۲). بدین منظور ابتدا محلول چسب با کاتالیزور کلرید آمونیوم به مقدار ۲ درصد وزن خشک چسب مصرفی مخلوط و سپس بر روی خرده چوب ها اسپری شد. به منظور ساخت تخته‌هایی با دانسیته ۰/۷ گرم بر سانتی متر مکعب، ذرات چسب-خورده توسط قالب چوبی به ابعاد ۴۵×۴۵ سانتی متر مربع، فرم‌دهی شده و پس از تشکیل کیک با استفاده از یک پرس آزمایشگاهی، کیک‌های خرده چوب با استفاده از دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد، فشار ۳۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و زمان ۷ دقیقه پرس شدند. تخته‌های ساخته شده به مدت ۱۵ روز در شرایط آزمایشگاهی با دمای ۲۱ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار داده شدند. سپس برش تخته‌ها جهت تهیه نمونه‌های آزمون بر اساس استاندارد EN326-1 انجام گرفت. پس از تهیه نمونه های آزمون جذب آب و واكشیدگی ضخامت بر اساس استاندارد EN317، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته بر اساس استاندارد EN 310 و همچنین چسبندگی داخلی بر اساس استاندارد EN319 اندازه گیری شد. نتایج حاصل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از آزمون فاکتوریل مورد تجزیه و تحلیل قرار

گرفت. سپس تاثیر مستقل و متقابل هر یک از عوامل متغیر بر خواص مورد مطالعه در سطح اطمینان ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن مورد بحث واقع شد. به منظور تعیین اثر تیمار ذرات بر روی پیوندپذیری اسید سیتريک با خرده چوب و در نهایت بر روی خواص مکانیکی، از طیف سنجی مادون قرمز (دستگاه طیف سنج PUYCOM مدل SP 1100) استفاده شد. برای این منظور، خرده چوب‌های تیمار شده و تیمار نشده با دستگاه آسیاب به آرد چوب تبدیل شدند. آرد چوب با ماده برمید پتاسیم مخلوط و به وسیله پرس دستی فشرده شد. سپس دیسک تولیدی در سلول دستگاه تحت تابش طیف مادون قرمز در دامنه $4000-400\text{ cm}^{-1}$ با درجه تفکیک 4 cm^{-1} قرار گرفت و با انجام اسکن از هر نمونه طیف مربوطه جدا شد. در نهایت تجزیه و تحلیل طیف سنجی از طریق شدت طیف و جذب در نواحی مختلف انجام شد.

نتایج و بحث

طیف سنجی مادون قرمز

طیف FTIR مربوط به اسید سیتريک در شکل ۱ (الف) نشان داده شده است. مکان‌های گروه کربونیل در اسید سیتريک خالص به طور شاخص در نواحی باند جذبی $1691/59\text{ cm}^{-1}$ و 1744 cm^{-1} دیده می‌شوند که شدت پیک در ناحیه $1691/59\text{ cm}^{-1}$ نسبت به ناحیه 1744 cm^{-1} بیشتر است.

طیف FTIR مربوط به نمونه خرده چوب بدون اسید سیتريک در شکل ۱ (ب) نشان داده شده است. طبق شکل ۱ (ب)، طیف با شدت پایین در ناحیه $1731/78\text{ cm}^{-1}$ بیانگر وجود گروه‌های کربونیل موجود در شاخه‌های جانبی روی زنجیر همی سلولز می‌باشد که تشابهی با الگوی طیفی دو شاخه گروه کربونیل موجود در ساختار اسید سیتريک ندارد [۸].

جدول ۱- مشخصات اسید سیتريک مصرفی

نوع ماده شیمیایی	درجه خلوص (%)	جرم مولی (گرم بر مول)	pH	نقطه ذوب (درجه سانتی گراد)	وزن مخصوص (گرم بر سانتی متر مکعب)
اسید سیتريک	۹۹	۱۹۲/۱۳	۱/۷	۱۵۳	۱/۶۶۵

جدول ۲- ترکیب نمونه‌های آزمونی

کد تیمار	درصد ترکیبی خرده چوب + اسید سیتریک	چسب اوره فرم آلدهید بر اساس وزن خشک ماده اولیه (%)
R _Δ Acid _۱	۱۰+۹۰	۵
R _Δ Acid _۲	۲۰+۸۰	۵
R _Δ Acid _۳	۳۰+۷۰	۵
CS _Δ	۱۰۰	۵
R _۱ Acid _۱	۱۰+۹۰	۱۰
R _۱ Acid _۲	۲۰+۸۰	۱۰
R _۱ Acid _۳	۳۰+۷۰	۱۰
۱-CS	۱۰۰	۱۰

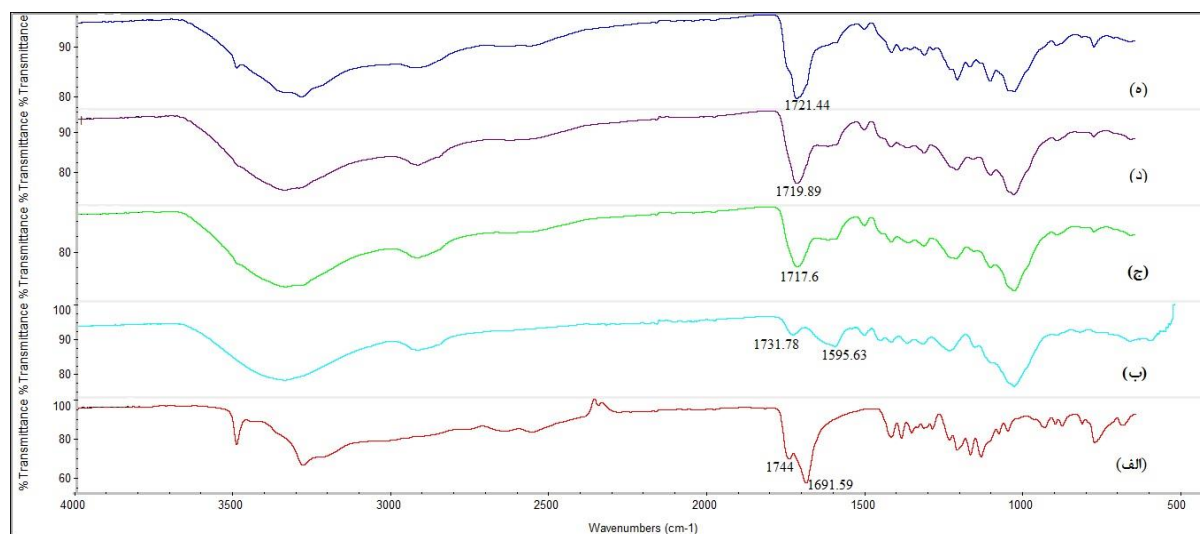
CS₅: نمونه شاهد بدون اسید سیتریک دارای ۵ درصد چسب، CS₁₀: نمونه شاهد بدون اسید سیتریک دارای ۱۰ درصد چسب

مشاهده می‌شود که خود دلیلی بر انجام واکنش بین گروه‌های اسیدی در اسید سیتریک و گروه‌های OH موجود در چوب است که منجر به ایجاد یک گروه عاملی استری با شدت بیشتری می‌شود که گروه کربونیل آن به طور متوسط در ناحیه 1719 cm^{-1} نشان داده شده است [۱۶].

ویژگی‌های تخته‌های آزمونی

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر ویژگی‌های تخته‌های آزمونی را نشان می‌دهد.

طیف FTIR مربوط به خرده چوب تیمار شده با اسید سیتریک ۱۰ درصد در شکل ۱ (ج)، خرده چوب تیمار شده با اسید سیتریک ۲۰ درصد در شکل ۱ (د) و خرده چوب تیمار شده با اسید سیتریک ۳۰ درصد نیز در شکل ۱ (ه) نشان داده شده است. در طیف FTIR خرده چوب‌های تیمار شده با اسید سیتریک، پیک‌های مشاهده شده در نواحی 1600 cm^{-1} تا 1700 cm^{-1} دلالت بر حضور گروه عاملی سیترات در نمونه‌های تیمار شده و انجام واکنش‌های استری است. پدیده جالب در شکل‌های ۱ (ج)، ۱ (د) و ۱ (ه)، شدت پیک جذبی ناحیه 1744 cm^{-1} در نمونه‌های تیمار شده کمتر از 1744 cm^{-1}



شکل ۱- طیف های FTIR به دست آمده حاصل از الف) اسید سیتریک ب) نمونه شاهد ج) خرده چوب دارای ۱۰ درصد سیتریک د) خرده چوب دارای ۲۰ درصد سیتریک ه) خرده چوب دارای ۳۰ درصد اسید سیتریک

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر ویژگی های تخته های آزمونی

ویژگی	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی داری
مقاومت خمشی	چسب	۱	۲۱/۵۶۵	۹۸۸/۴۶۹	۰/۰۰۰**
	اسید سیتريک	۳	۴/۱۹۷	۱۹۲/۳۹۲	۰/۰۰۰**
	چسب * اسید سیتريک	۳	۰/۰۳۹	۱/۸۰۰	۰/۰۳*
	خطا	۱۶	۰/۰۲۲		
	کل	۲۳			
مدول الاستیسیته	چسب	۱	۴۴۸۲۰/۱۰۶۹	۲۱۰/۱۷۱	۰/۰۰۰**
	اسید سیتريک	۳	۱۱۱۰۰۵/۲۶۷	۵۲/۰۵۳	۰/۰۰۰**
	چسب * اسید سیتريک	۳	۱۹۷۱۵/۵۷۱	۹/۲۴۵	۰/۰۱*
	خطا	۱۶	۲۱۳۲/۵۵۳		
	کل	۲۳			
چسبندگی داخلی	چسب	۱	۰/۳۲۲	۹۴۲/۴۸۸	۰/۰۰۰**
	اسید سیتريک	۳	۰/۱۱۷	۳۴۲/۳۴۱	۰/۰۰۰**
	چسب * اسید سیتريک	۳	۰/۰۰۱	۴/۲۴۴	۰/۰۲۲*
	خطا	۱۶	۰/۰۰۰۳۴۲		
	کل	۲۳			
جذب آب بعد از ۲ ساعت	چسب	۱	۳۸۰/۱۷۰	۴۸۴/۵۰۹	۰/۰۰۰**
	اسید سیتريک	۳	۴۶۵/۱۸۱	۵۹۲/۸۵۲	۰/۰۰۰**
	چسب * اسید سیتريک	۳	۱۸/۹۰۱	۲۴/۰۸۸	۰/۰۰۰**
	خطا	۱۶	۰/۷۸۵		
	کل	۲۳			
جذب آب بعد از ۲۴ ساعت	چسب	۱	۵۰۰/۶۸۹	۳۳۶/۸۸۷	۰/۰۰۰**
	اسید سیتريک	۳	۲۸۱/۶۵۰	۱۸۹/۵۰۷	۰/۰۰۰**
	چسب * اسید سیتريک	۳	۷/۰۲۴	۴/۷۲۶	۰/۰۱۵**
	خطا	۱۶	۱/۴۸۶		
	کل	۲۳			
واکشی دگی ضخامت بعد از ۲ ساعت	چسب	۱	۱۷۸/۱۰۶	۴۷۸/۶۴۰	۰/۰۰۰**
	اسید سیتريک	۳	۷۵/۰۲۰	۲۰۱/۶۰۸	۰/۰۰۰**
	چسب * اسید سیتريک	۳	۶/۰۹۹	۱۶/۳۹۰	۰/۰۰۰**
	خطا	۱۶	۰/۳۷۲		
	کل	۲۳			
واکشی دگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت	چسب	۱	۱۸۵/۵۳۷	۲۶۵/۴۸۵	۰/۰۰۰**
	اسید سیتريک	۳	۱۰۳/۱۴۳	۱۴۷/۵۸۶	۰/۰۰۰**
	چسب * اسید سیتريک	۳	۰/۶۹۲	۰/۹۹۱	۰/۰۳*
	خطا	۱۶	۰/۶۹۹		
	کل	۲۳			

* معنی داری در سطح اطمینان ۵ درصد، ** معنی داری در سطح اطمینان ۱ درصد

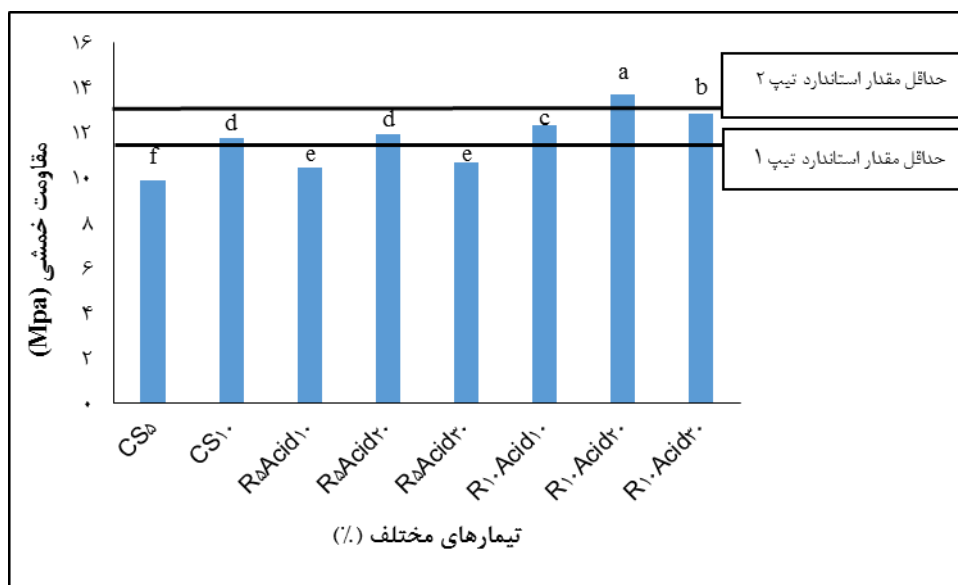
مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات مستقل و متقابل عوامل متغیر تأثیر معنی داری را در سطح اطمینان

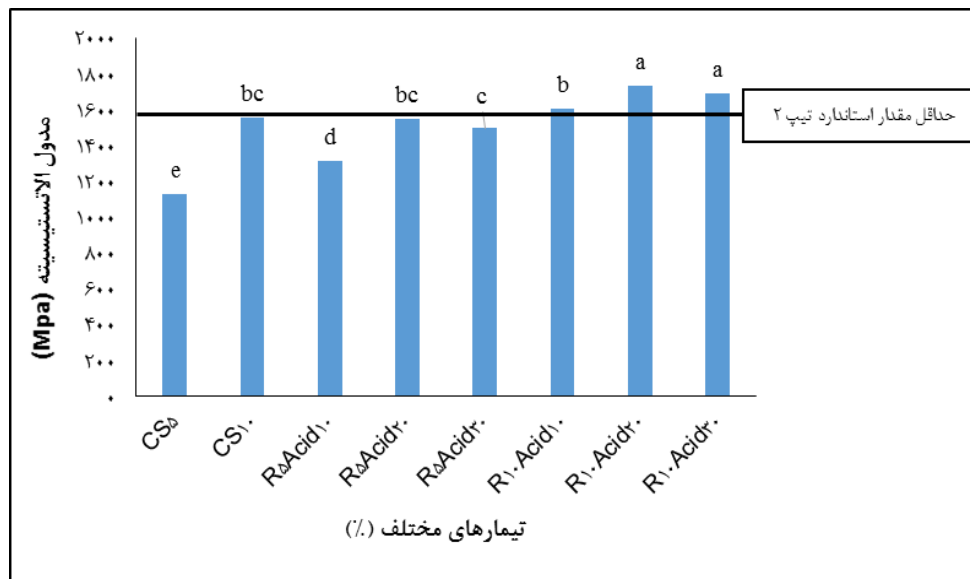
۵ درصد بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته داشته است (جدول ۳). همانطور که در شکل های ۲ و ۳ مشاهده می شود با افزایش مقدار اسید سیتريک، مقاومت

واکسیدگی سلولز باعث تخریب ناحیه کریستالی سلولز و در نتیجه کاهش درجه بلورینگی سلولز می‌شود که با نتایج Liao و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد [۱۶]. بر اساس استاندارد EN 312 حداقل مقاومت خمشی تخته خرده چوب برای اهداف عمومی (تیپ ۱) ۱۱/۵ مگاپاسکال است؛ بنابراین حتی می‌توان با مصرف چسب ۵ درصد و اسید سیتریک ۲۰ درصد تخته‌هایی با مقاومت خمشی بالاتر از حد استاندارد را تولید نمود و با این عمل به نحوی در مصرف چسب صرفه جویی نمود. بر اساس استاندارد EN 312 حداقل مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته تخته خرده چوب برای لوازم داخلی (تیپ ۲) به ترتیب ۱۳ و ۱۶۰۰ مگاپاسکال است؛ بر این اساس تخته‌های دارای ۱۰ درصد چسب و ۲۰ درصد اسید سیتریک دارای مقاومت‌های بالاتر از حد استاندارد هستند. در صورتی که تخته‌های شاهد دارای چسب ۱۰ درصد را فقط می‌توان برای تخته‌های تیپ ۱ استفاده نمود اما با افزودن ۲۰ درصد اسید سیتریک تخته‌های ساخته شده برای تیپ ۲ مناسب می‌باشند.

خمشی و مدول الاستیسیته تخته‌ها بهبود داشته است. از سوی دیگر افزایش مقدار چسب از ۵ به ۱۰ درصد سبب بهبود مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته می‌گردد. نتایج نشان داد که در اثر افزایش مقدار اسید سیتریک تا سطح ۲۰ درصد، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته تخته زیاد شده اما در سطح ۳۰ درصد مقاومت خمشی کاهش جزئی داشته است. بیشترین مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته مربوط به استفاده از چسب ۱۰ درصد و اسید سیتریک ۲۰ درصد است و کمترین مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته مربوط به نمونه شاهد استفاده از چسب ۵ درصد و بدون اسید سیتریک بوده است. از آنجایی که اسید سیتریک در دمای ۱۵۳ درجه سانتیگراد ذوب می‌شود به همین دلیل با افزودن اسید سیتریک اتصالات بین الیاف بهبود پیدا کرده و درواقع همانند یک چسب عمل می‌کند [۱۴]. دلیل کاهش مقاومت‌های فوق در مقادیر زیاد اسید سیتریک (۳۰ درصد) شاید به این دلیل باشد که در مقادیر بیشتر، غلظت اسید سیتریک زیاد شده که منجر به متورم شدن بیشتر سلولز می‌گردد که این افزایش



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت خمشی



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف بر مدول الاستیسیته

ایجاد پیوندهای استری میان گروه‌های کربوکسیل مشتق شده از اسید سیتریک و گروه‌های هیدروکسیل موجود در چوب، چسبندگی بین الیاف از طریق ایجاد پیوندهای شیمیایی بیشتر می‌شود [۷]. نتایج نشان داد چسبندگی داخلی تمامی تخته‌های ساخته شده بالاتر از حد استاندارد EN 312 (۰/۳۵ مگاپاسکال) هستند.

چسبندگی داخلی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات مستقل و متقابل عوامل متغیر تأثیر معنی‌داری را در سطح اطمینان ۵ درصد بر چسبندگی داخلی داشته است (جدول ۳). همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار چسب و اسید سیتریک، چسبندگی داخلی تخته‌ها افزایش پیدا می‌کند زیرا با ذوب شدن اسید سیتریک و

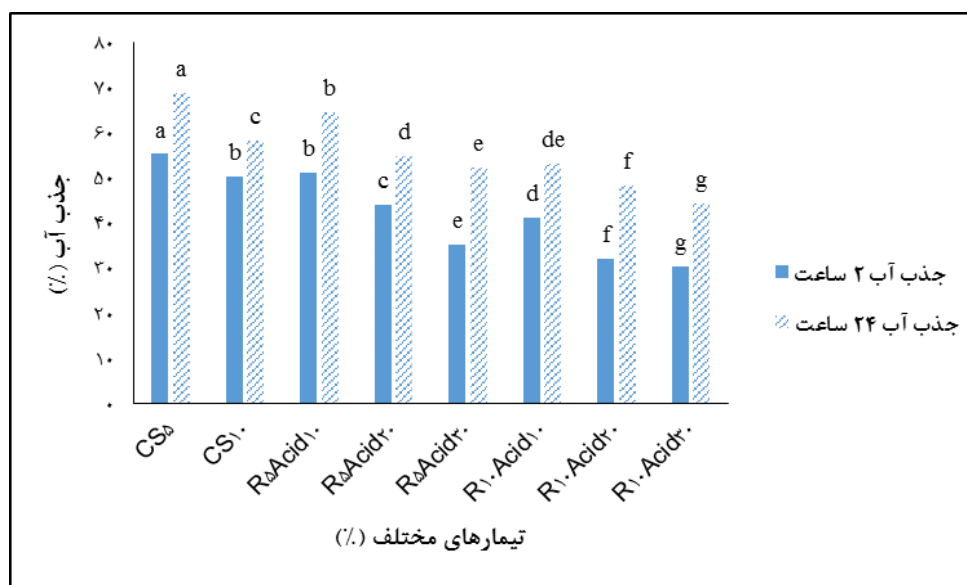


شکل ۴- اثر تیمارهای مختلف بر چسبندگی داخلی

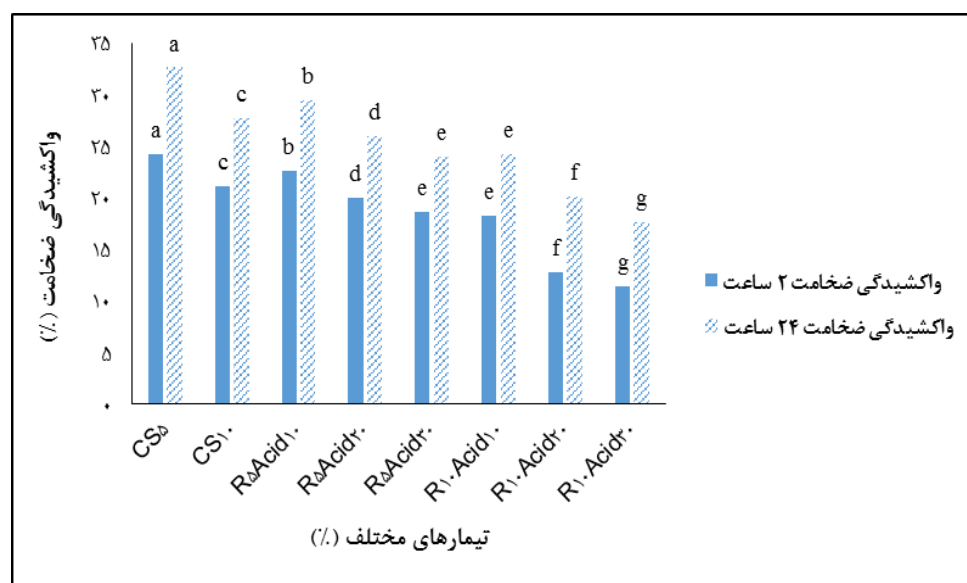
جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات مستقل و متقابل عوامل متغیر تأثیر معنی‌داری را در سطح اطمینان ۵ درصد بر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت داشته است (جدول ۳). با افزایش میزان اسید سیتریک و چسب، میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاهش یافت. تخته های دارای ۱۰ درصد چسب و ۳۰ درصد اسید سیتریک (30 Acid R10) دارای کمترین میزان جذب آب و

واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب بوده است (شکل‌های ۵ و ۶). از آنجایی که در این تحقیق دانسیته تخته‌ها ثابت بوده است در نتیجه با افزایش مقدار اسید سیتریک، از مقدار ذرات خرده چوب کاسته شده و از طرفی دیگر با افزودن اسید سیتریک و افزایش مقدار چسب، درهم رفتگی و اتصال بین الیاف افزایش یافته که این عمل باعث کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته‌ها گردید [۱۵].



شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف بر جذب آب بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب



شکل ۶- اثر تیمارهای مختلف بر واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

نتیجه گیری

مکانیسم پیوند تخته‌های دارای اسید اسیتریک با استفاده از طیف FTIR نشان داد که شدت پیک در در ناحیه جذبی تقریباً 1719 cm^{-1} با افزایش مقدار اسید سیتریک زیاد می‌شود. این پیک مربوط به ارتعاشات کششی $\text{C}=\text{O}$ غیر مزدوج و مرتبط با گروه‌های کربونیل می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج حاصله، اسید سیتریک با گروه‌های هیدروکسیل خرده چوب واکنش داده و تشکیل پیوند استری می‌دهد که این عمل باعث افزایش خصوصیات مکانیکی و پایداری ابعادی تخته شده است [۱۶]. زیرا اسید سیتریک وارد ناحیه آمورف سلولز شده و با گروه‌های هیدروکسیل سلولز تشکیل پیوند استری می‌دهد که این عمل باعث منظم شدن ناحیه آمورف سلولز شده و در نتیجه درجه کریستالیت سلولز افزایش پیدا می‌کند [۱۶]. واکنش‌های شیمیایی صورت گرفته با توجه به

روند تغییرات پیک جذبی کربونیل از شاخص اصلی چسبندگی بیشتر در نمونه‌های تیمار شده است که این اثر در درصدهای بالاتر اسید سیتریک نمایان‌تر است. خصوصیات مکانیکی و پایداری ابعادی تخته‌ها با افزایش مقدار چسب بهبود پیدا کرد. زیرا افزایش مقدار مصرف چسب باعث چسبندگی بهتر بین خرده چوب‌ها و بهبود پایداری ابعادی تخته‌ها می‌شود [۴]. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که حتی می‌توان با مصرف چسب ۵ درصد و اسید سیتریک ۲۰ درصد تخته‌هایی تولید نمود که حداقل استاندارد EN 312 برای اهداف عمومی (تیپ ۱) را برآورده نماید. همچنین با مصرف چسب ۱۰ درصد و اسید سیتریک ۲۰ درصد امکان تولید تخته‌هایی بالاتر از حد استاندارد EN 312 برای لوازم داخلی (تیپ ۲) فراهم می‌شود.

منابع

- [1] Umemura, K., Ueda, T., Munawar, S. S. and Kawai, S., 2012. Application of citric acid as natural adhesive for wood. *Journal of Applied Polymer Science*, 123(4): 1991-1996.
- [2] Ghorbani Kokandeh, M., Akhtari, M. and Movagharneshad, N., 2012. Influence of artificial weathering on acetylated beech solid wood and particleboard by spectroscopy and electron microscopy. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 18(4): 1-14. (In Persian).
- [3] Akbari, S., Nazerian, M., Farokhpayam, S. and Nosrati Sheshkal, B., 2015. Investigation of mechanical properties particleboard produced using canola stalks and poplar wood by response surface method (RSM). *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30(2):230-242. (In Persian).
- [4] Yousefi, H., Enayati, A., Faezipour, M. and Sadatnejad, H., 2008. The effect of steaming and resin content on MDF made from canola straw. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 23:149-156. (In Persian).
- [5] Umemura, K., Sugihara, O. and Kawai, S., 2013. Investigation of a new natural adhesive composed of citric acid and sucrose for particleboard. *Journal of Wood Science*, 59(3): 203-208.
- [6] Pizzi, A., 2006. Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: Opportunities and issues. *Journal Adhesive Science Technology*, 20: 829-846.
- [7] Umemura, K., Ueda, T. and Kawai, S., 2012. Effects of molding temperature on the physical properties of wood-based molding bonded with citric acid. *Forest Product Journal*, 62: 63-68.
- [8] Moosavi, M., Madhoushi, M., Vakili, M. and Rasouli, D., 2016. Evaluation and identify the chemical structure of the main polymer of softwoods and hardwoods by FTIR spectroscopy. *Journal of Quantum Chemistry and Spectroscopy*, 6(18): 49-61.
- [9] Abou-Zeid, A. and Ashy, M., 1984. Production of citric acid: A Review. *Agricultural Wastes*, 9(5): 23-30.

- [10] Tsao, G., Cao, N., Du, J. and Gong, C., 1999. Production of multifunctional organic acids from renewable resources. *Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology*, 65: 243-278.
- [11] Vukusic, S., Katovic, D., Schramm, C., Trajkovic, J. and Sefc, B., 2006. Polycarboxylic acids as non-formaldehyde anti-swelling agents for wood. *Holzforschung*, 60(4): 439-444.
- [12] Ghosh, P., Das, D. and Samanta, A., 1995. Modification of jute with citric acid. *Journal of Polymer Materials*, 12: 297-305.
- [13] Yang, C. and Wang, X., 1996. Formation of cyclic anhydride intermediates and esterification of cotton cellulose by multifunctional carboxylic acids: An infrared spectroscopy study. *Textile Research Journal*, 66(9): 595-603.
- [14] Umemura, K., Sugihara, O. and Kawai, S., 2015. Investigation of a new natural adhesive composed of citric acid and sucrose for particleboard: Effect of board density and pressing temperature. *Journal of Wood Science*, 61(1): 40-44.
- [15] Kusumah, S. S., Umemura, K., Yoshioka, K., Miyafuji, H. and Kanayama, K., 2016. Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid for manufacturing of particleboard: Effects of pre-drying treatment and citric acid content on the board properties. *Industrial Crops and Products*, 84: 34-42.
- [16] Liao, R., Xu, J. and Umemura, K., 2016. Low density sugarcane bagasse particleboard bonded with citric acid and sucrose: Effect of board density and additive content. *Bioresources*, 11(1): 2174-2185.
- [17] Zhao, Z., Umemura, K. and Kanayama, K., 2016. Effects of the addition of citric acid on tannin- sucrose adhesive and physical properties of the particleboard. *Bioresources*, 1(1): 1319-1333.

Effect of the addition of citric acid on particleboard properties

Abstract

In this study, the effect of the addition of citric acid on physical and mechanical properties of particleboard was investigated. The variables in this research were the ratio of citric acid to wood chips (at four levels; 0:100, 10:90, 20:80, 30:70) and urea - formaldehyde resin (in two levels of 5 and 10 percent). The physical and mechanical properties were evaluated according to European standards set of EN. The effect of citric acid treatment on the wood particles was analyzed by Fourier transform infrared spectra analysis (FTIR). FTIR analysis suggested that the carboxyl groups of citric acid had reacted with the hydroxyl groups of the wood particles to give the boards good physical and mechanical properties. The urea-formaldehyde resin content can be reduced in the particleboard as a result of good function of citric acid in improving strengths. On the basis of results of this study, it can be concluded that particleboard containing urea-formaldehyde resin in the level of 5 percent and citric acid in the level of 20 percent can be used for general purpose board (Type P₁) for use in dry conditions. Also, there was usability of urea-formaldehyde resin in the level of 10 percent and citric acid in the level of 20 percent for interior fitments (Type P₂) for use in dry conditions.

Keywords: citric acid, Fourier transform infrared spectra, carboxyl groups, physical and mechanical properties.

A. Mostafalo¹
V. Vaziri^{2*}
F. Rostami Charati³
F. Faraji⁴

¹ M.Sc. Student, Wood composite products, Gonbad Kavous university, Gonbad, Iran

² Assistant Prof., Wood and paper science and technology, Gonbad Kavous university, Gonbad, Iran

³ Associate Prof., Department of chemistry, Gonbad Kavous university, Gonbad, Iran

⁴ Assistant Prof., Wood and paper science and technology, Gonbad Kavous university, Gonbad, Iran

Corresponding author:
vahidvaziri@gmail.com

Received: 2018/07/26
Accepted: 2018/11/20