

بررسی کاهش انتشار گاز فرمالدئید از تخته‌های ساخته‌شده با رزین اوره فرمالدئید با استفاده از افزودنی اوره

ملیحه آصفی هدایت‌آباد^۱، حمیدرضا منصوری^{۲*}، بابک نصرتی^۳، علیرضا سام‌زاده^۴، سکینه شیرزائی^۵

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فرآورده‌های چندسازه چوب، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل، زابل

۲. دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل، زابل

۳. استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل، زابل

۴. دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم دانشگاه زابل، زابل

۵. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فرآورده‌های چندسازه چوب، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل، زابل

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۱

چکیده

هدف این تحقیق، ساخت تخته خرده‌چوب با استفاده از افزودنی پودر اوره و بررسی کاهش انتشار فرمالدئید و چسبندگی داخلی تخته ساخته‌شده در شرایط مختلف است. فشار پرس ۲۶/۲۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، دمای پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان قرارگیری تخته در پرس ۷ دقیقه به‌عنوان عامل ثابت در نظر گرفته شدند. خرده‌چوب‌ها با رزین اوره فرمالدئید در سه سطح (۸، ۹ و ۱۰ درصد) و ماده افزودنی پودر اوره در پنج سطح (۰، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ درصد) پرس شدند. همچنین نحوه افزودن پودر اوره به خرده‌چوب (افزودن پودر اوره به چسب مصرفی در تخته خرده‌چوب و افزودن پودر اوره به خرده‌چوب مصرفی در تخته) متفاوت در نظر گرفته شد. نمونه‌ها به‌منظور آزمایش‌های انتشار فرمالدئید و چسبندگی داخلی براساس استانداردهای مربوط تهیه شدند. آزمون اندازه‌گیری مقدار غلظت انتشار گاز فرمالدئید برای تخته خرده‌چوب به روش دسیکاتور استاندارد ژاپنی صورت گرفت. در این تحقیق، غلظت گاز فرمالدئید به محدوده کلاس E2 رسید. نتایج نشان داد که کاهش رزین اوره فرمالدئید، سبب کاهش انتشار فرمالدئید از تخته خرده‌چوب می‌شود. مقدار درصد افزودنی اوره در تخته خرده‌چوب بر کاهش انتشار فرمالدئید از تخته معنی‌دار است و سبب کاهش انتشار فرمالدئید می‌شود. همچنین مقاومت چسبندگی داخلی (بیشتر از حد استاندارد) با افزودن پودر اوره به چسب افزایش یافت. وجود اوره در سطح خرده‌چوب‌ها، مانع ایجاد اتصالات خوب بین چسب و خرده‌چوب‌ها می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلاینده، افزودنی اوره، رزین اوره فرمالدئید، فرآورده‌های چوبی، کاهش انتشار فرمالدئید.

مقدمه

بیرونی (مانند رطوبت هوا، درجه حرارت و تغییرات هوا) و همچنین عوامل درونی مانند گونه چوبی، نوع رزین مورد استفاده و شرایط تولید قرار دارد [۱]. منابع انتشار فرمالدئید به‌طور عمده به دو دسته تقسیم می‌شوند. اولین منبع، انتشار از ساختمان مواد، اثاثیه و مبلمان و محصولات حاصل از صفحات فشرده چوبی است که با

یکی از چالش‌های مهم صنایع فرآورده‌های چوبی به‌ویژه صنعت تخته خرده‌چوب و تخته فیبر استفاده از رزین‌های برپایه فرمالدئید است. انتشار فرمالدئید تحت تأثیر عوامل

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۸۹۲۰۲۰۲۱

رطوبت، کاهش یافت. بیشترین مقاومت برشی، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته مربوط به تخته سه‌لا با رطوبت ۴-۶ درصد بود و کمترین مقدار آن را تخته با رطوبت ۱۶-۱۸ درصد دارا بود [۷]. در تحقیق دوست‌حسینی و همکاران (۱۳۹۱)، اثر افزایش مقدار اوره به چسب فرمالدئید بر خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده‌چوب ساخته‌شده با این چسب را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش اوره به چسب اوره‌فرمالدئید سبب بهبود مقاومت‌های مکانیکی تخته می‌شود و مقدار جذب آب، واکنشیدگی و انتشار فرمالدئید را کاهش می‌دهد [۸]. همت‌آبادی و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی درباره تأثیر تیمار اوره بر انتشار فرمالدئید، خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده‌چوب تولیدشده از کاه گندم را بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اولیه، مقدار انتشار فرمالدئید کاهش می‌یابد و تخته خرده‌چوب‌های تیمار شده با اوره نسبت به تخته شاهد، خواص فیزیکی و مکانیکی بیشتری دارند [۹]. He و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که می‌توان با استفاده از جذب‌کننده‌های قوی مانند کلسیم به‌عنوان جاذب، در سطح تخته خرده‌چوب حدود ۷۰ درصد انتشار فرمالدئید را کاهش داد و اگر این ماده در لایه بالایی تخته به‌کار رود، نتیجه بهتری در کاهش فرمالدئید دارد [۱۰]. در پژوهش Liang و همکاران (۲۰۱۳)، مقدار غلظت گاز فرمالدئید در محیط داخل بررسی شد و نتایج نشان داد که تعداد پنجره‌ها در محیط داخلی با مقدار انتشار فرمالدئید رابطه مستقیم دارد. افزایش تعداد پنجره و افزایش ارتباط محیط داخل با بیرون از طریق باز بودن پنجره سبب افزایش خروج گاز فرمالدئید از محیط داخل می‌شود [۱۱]. با توجه به قیمت مناسب پودر اوره و وفور آن در کشور، استفاده از پودر اوره به‌منظور جلوگیری از انتشار فرمالدئید از مصنوعات چوبی به‌خصوص در ایران از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه و حائز اهمیت است. در این تحقیق به بررسی مقدار

استفاده از چسب‌های حاوی فرمالدئید ساطع می‌شود؛ دومین منبع، از سوختن موادی مانند سیگار حاصل می‌شود [۲]. امروزه در صنعت چوب، تولیدکنندگان در پی چسب‌ها و فرآورده‌هایی با کمترین آلاینده‌گی و انتشار فرمالدئید هستند. انتشار فرمالدئید عامل مهمی در ارزیابی اثرهای زیست‌محیطی است و برای کاهش آن، می‌توان از مواد مرکب طبیعی مانند اوره و وانیلین استفاده کرد که می‌توان گفت روش ساده و مؤثری برای کاهش انتشار فرمالدئید از تخته خرده‌چوب است [۳]. در تحقیق Hwang و همکاران (۲۰۱۱) در یکی از مدارس شهر سئول در کره جنوبی به‌منظور بررسی اثر انتشار فرمالدئید بر کودکان و ایجاد بیماری آسم، نتایج نشان داد که غلظت فرمالدئید از دیگر آلاینده‌ها در محیط داخل ساختمان و خطر ابتلا به بیماری آسم در کودکان بیشتر است [۴]. Jin-shu و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که با استفاده از زباله‌های برگ چای در تخته خرده‌چوب، انتشار گاز فرمالدئید کاهش می‌یابد. زباله‌های برگ چای به‌دلیل وجود ماده استخراجی فنل در برگ چای و واکنش آن با رزین اوره‌فرمالدئید، سبب کاهش انتشار فرمالدئید می‌شود و نیز خواص مکانیکی تخته مانند مدول خمشی، مدول کششی و چسبندگی داخلی را بهبود می‌دهد [۵]. در تحقیق Wang و همکاران (۱۹۹۷) با هدف افزایش مقاومت چسب اوره‌فرمالدئید (UF) در آب، با افزودن سوکسین‌دی‌آلدئید، به رزین اوره‌فرمالدئید و ساخت تخته سه‌لا با این رزین، نتایج نشان داد که مقاومت تخته حاصل در برابر آب بسیار زیاد است و انتشار فرمالدئید از این تخته به‌شدت کاهش یافته است [۶]. Aydin و همکاران (۲۰۰۶) اثر رطوبت بر مقدار انتشار فرمالدئید و خواص مکانیکی تخته سه‌لا از جنس چوب صنوبر را با روش فلاسک بررسی کردند. بهترین نتایج مربوط به تخته سه‌لا با رطوبت ۴-۶ درصد بود. مقدار انتشار با افزایش

سانتی متر مکعب ساخته شد. در این بررسی از ترکیب سه متغیر مقدار درصد چسب‌زنی و درصد ماده افزودنی اوره (تخته با صفر درصد افزودنی اوره به‌عنوان تخته شاهد) و نحوه افزودن پودر اوره ۳۰ تیمار حاصل شد (جدول ۲) که برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته شد و در مجموع ۹۰ تخته آزمایشگاهی ساخته شد. تخته‌ها بعد از ساخت به‌منظور متعادل‌سازی رطوبت و کاهش تنش‌های داخلی به‌مدت یک ساعت در شرایط استاندارد شامل دمای 20 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد قرار گرفتند. سپس به‌منظور اندازه‌گیری گاز فرمالدئید، تخته درون کیسه نایلونی قرار داده شد. حداکثر مدت قرارگیری تخته در شرایط اتاق، به‌منظور اندازه‌گیری گاز فرمالدئید موجود در تخته، یک هفته است. تخته‌ها پس از کناره‌بری، به‌ترتیب براساس استانداردهای (2004) AS/NZS 4266.16 [۱۲] و (1993) EN 326-1 [۱۳] به نمونه‌ها به‌منظور تعیین اندازه‌گیری مقدار غلظت فرمالدئید و چسبندگی داخلی برش داده شدند.

ساخت تخته خرده‌چوب‌های آزمایشگاهی با افزودن

نمک اوره به چسب

شرایط ساخت این نوع تخته همانند شرایط ساخت تخته‌هایی است که افزودنی نمک اوره به خرده‌چوب‌ها اضافه شد، با این تفاوت که افزودنی نمک اوره به‌طور مستقیم به رزین اوره فرمالدئید اضافه شد. پودر رزین اوره فرمالدئید با آب به‌صورت محلول ۵۰ درصد تهیه و با درصدهای مختلف نمک اوره در یک همزن برقی به‌مدت ۱۵ دقیقه با هم مخلوط شد. در نهایت مخلوط رزین و نمک اوره آماده‌شده به‌منظور تهیه کیک و ساخت تخته با خرده‌چوب‌ها در دستگاه همزن مکانیکی مخلوط شد.

اندازه‌گیری مقدار انتشار فرمالدئید از تخته‌ها

آزمون اندازه‌گیری مقدار غلظت انتشار گاز فرمالدئید براساس استاندارد مورد توافق سه کشور استرالیا، نیوزیلند و ژاپن با

انتشار فرمالدئید و چسبندگی داخلی فرآورده حاصل با استفاده از افزودنی پودر اوره پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

خرده‌چوب صنعتی از کارخانه صنعت چوب شمال واقع در شهرستان گنبد استان گلستان تهیه شد. برای آماده‌سازی ماده افزودنی اوره، پودر اوره با درصد خلوص ۹۹/۵ درصد در پنج سطح صفر، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ درصد و به دو صورت افزودن اوره به چسب مصرفی و افزودن اوره به خرده‌چوب مصرفی در تخته استفاده شد. رزین از شرکت صامد مشهد تهیه و در سه سطح ۸، ۹ و ۱۰ درصد استفاده شد. حرارت پرس ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، فشار پرس ۲۶/۲۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، زمان پرس ۷ دقیقه و دانسیته ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌عنوان عوامل ثابت در نظر گرفته شدند.

ساخت تخته خرده‌چوب‌های آزمایشگاهی با افزودن

پودر اوره به خرده‌چوب‌ها

۷۰ درصد خرده‌چوب درشت (میانگین ابعاد $5/03 \times 25/62$ میلی‌متر) و ۳۰ درصد خرده‌چوب نرمه (میانگین ابعاد $1/84 \times 12/67$ میلی‌متر) دارای رطوبت ۵/۵ درصد توسط ترازوی دیجیتال توزین شده و با افزودن پودر اوره به خرده‌چوب‌ها (براساس وزن خشک چسب) در چهار سطح و رزین اوره فرمالدئید (براساس وزن خشک خرده‌چوب) در سه سطح و به‌صورت مکانیکی با استفاده از دستگاه چسب‌زن آزمایشگاهی به‌مدت ۳۵ ثانیه به‌طور یکنواخت مخلوط شدند. سپس کیک خرده‌چوب با استفاده از یک قالب به ابعاد 45×45 سانتی‌متر و ضخامت ۱۵ سانتی‌متر به‌صورت دستی تشکیل و با استفاده از پرس هیدرولیک آزمایشگاهی مدل RANJBAR- SWP در دمای ثابت ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، فشار ۲۶/۲۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، به‌مدت ۷ دقیقه پرس شد. در نهایت تخته‌ای با دانسیته ۰/۷ گرم بر

روش آماری

اثر عوامل متغیر بر خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده‌چوب با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط نرم‌افزار SPSS 21 تجزیه و تحلیل شد. همچنین گروه‌بندی میانگین‌ها نیز با آزمون چنددامنه‌ای دانکن (DMRT)^۱ در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر خواص تخته خرده‌چوب‌ها در جدول ۱ آمده است.

عنوان اختصاری (AS/NZS 4266.16:2004) [۱۲] صورت گرفت. این روش به روش دسیکاتور استاندارد ژاپنی برای ساخت تخته خرده‌چوب شهرت دارد.

اندازه‌گیری خواص مکانیکی تخته‌ها

برای اجرای آزمون چسبندگی داخلی، تخته‌ها به ترتیب براساس استاندارد (EN 319 (1993) [۱۴] برش داده شدند و اندازه‌گیری خواص به‌وسیله دستگاه Hounsfield H25ks انجام گرفت. آزمون چسبندگی داخلی روی نمونه‌هایی به ابعاد ۵۰×۵۰ میلی‌متر انجام گرفت.

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر تخته‌های آزمون بر مقدار انتشار گاز فرمالدئید و چسبندگی داخلی

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی (D.F)	میانگین مربعات (M.S)	مقدار F	سطح معنی‌داری (p)
مقدار درصد چسب‌زنی*	۱۹/۹۰۴	۲	۹/۹۵۲	۷۱/۲۰۶	۰/۰۰۰
مقدار درصد افزودنی*	۶۵۲/۹۲۹	۴	۱۶۳/۲۳۲	۱/۱۶۸۳	۰/۰۰۰
نحوه افزودن ماده افزودنی*	۳/۳۹۱	۱	۳/۳۹۱	۲۴/۲۶۴	۰/۰۰۰
درصد چسب‌زنی × درصد افزودنی*	۱۰/۹۴۱	۸	۱/۳۶۸	۹/۷۸۵	۰/۰۰۰
درصد چسب‌زنی × نحوه افزودن ماده افزودنی*	۱/۰۲۲	۲	۰/۵۱۱	۳/۶۵۵	۰/۰۳۲
درصد افزودنی × نحوه افزودن ماده افزودنی*	۳/۴۴۱	۴	۰/۸۶۰	۶/۱۵۵	۰/۰۰۰
درصد چسب‌زنی × درصد افزودنی × نحوه افزودن ماده افزودنی بر انتشار فرمالدئید*	۴/۳۶۱	۸	۰/۵۴۵	۳/۹۰۰	۰/۰۰۱
درصد چسب‌زنی × درصد افزودنی × نحوه افزودن ماده افزودنی بر چسبندگی داخلی ^{ns}	۰/۱۴۳	۸	۰/۰۱۸	۱/۹۸۰	۰/۰۶۴
خطا	۸/۳۸۶	۶۰	۰/۱۴۰		
مجموع	۶۵۴۳/۵۲۳	۹۰			

^{ns}: معنی‌دار نبودن در سطح اعتماد ۹۵ درصد

*: معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد

نتایج و بحث

مقدار انتشار گاز فرمالدئید از تخته‌های آزمون بر بررسی شد. نتایج نشان داد که مقدار انتشار گاز فرمالدئید در مقادیر مستقل درصد چسب‌زنی، درصد ماده افزودنی و نحوه افزودن آن به چسب یا خرده‌چوب، در سطح اطمینان ۹۵ درصد، اختلاف معنی‌داری دارد.

تأثیر مستقل مقدار درصد چسب زنی بر انتشار گاز فرمالدئید از تخته

شکل ۱ میانگین مقدار انتشار فرمالدئید تخته‌های آزمون با درصد چسب‌زنی مختلف را نشان می‌دهد. در

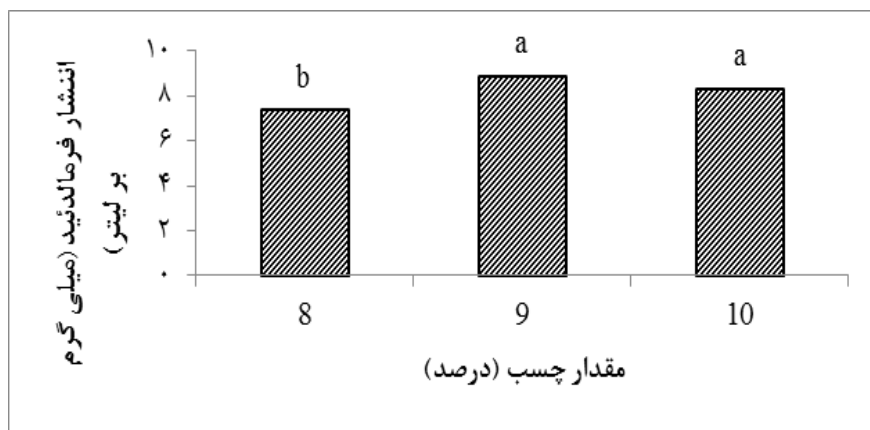
گروه‌بندی دانکن، سطوح مختلف مقادیر میانگین‌ها در دو گروه مختلف قرار گرفت. گروه B با ۸ درصد رزین، کمترین مقدار انتشار فرمالدئید را داراست و گروه A با ۹ و ۱۰ درصد رزین، بیشترین مقدار انتشار فرمالدئید را نشان می‌دهد. براساس تجزیه واریانس، تأثیر مستقل درصد چسب‌زنی بر مقدار انتشار گاز فرمالدئید در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری است (جدول ۱)، به طوری که بیشترین کاهش انتشار فرمالدئید در تخته خرده‌چوب با ۸ درصد رزین است. با افزایش

بیشترین مقدار فرمالدئید و کمترین مقدار کاهش انتشار گاز فرمالدئید است. با افزایش درصد افزودنی اوره، انتشار فرمالدئید کاهش می‌یابد. با توجه به افزایش اوره در تخته، امکان تشکیل گروه‌های متیلول اوره در حضور فرمالدئید آزاد در تخته بیشتر است که سبب جذب فرمالدئید آزاد و در نتیجه کاهش انتشار فرمالدئید در تخته می‌شود [۹]. همچنین، وجود پل‌های متیلن اتری (-CH₂-O-CH₂-) و پل‌های متیلنی (-CH₂-) در هر مولکول اوره، واکنش این پل‌ها با مولکول فرمالدئید سبب ایجاد پیوندهای باثباتی در واکنش می‌شود. پل‌های متیلن اتری در اوره برای واکنش به دو مولکول فرمالدئید نیاز دارند که نسبت به پل متیلنی در واکنش‌های اوره با فرمالدئید باثبات‌ترند و فرمالدئید بیشتری جذب می‌کنند که سبب کاهش مقدار فرمالدئید آزاد در تخته می‌شود [۱۷]. انتشار فرمالدئید با افزایش اوره در تخته‌های مورد استفاده به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. این کاهش مربوط به واکنش فرمالدئید آزاد و نفوذ اوره است. فرمالدئید با اوره دارای واکنش‌پذیری زیادی است و گروه‌های متیلول در شرایط اسیدی ضعیف فراهم می‌شود [۱۸].

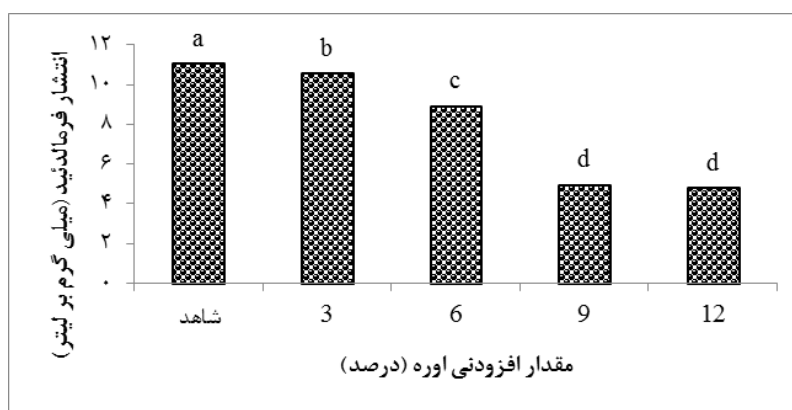
درصد چسب‌زنی، انتشار فرمالدئید بیشتر می‌شود. کاهش مقدار رزین، سبب کاهش انتشار فرمالدئید از تخته خرده‌چوب حاصل می‌شود [۱۵]. همچنین گروه‌های بیشتری از متیلول اوره در تخته‌های ساخته‌شده با افزایش رزین تشکیل می‌شود. اوره با فرمالدئید آزاد موجود در چسب ترکیب می‌شود و در نتیجه انتشار فرمالدئید را کاهش می‌دهد [۱۶].

- تأثیر مستقل مقدار درصد ماده افزودنی اوره بر انتشار فرمالدئید از تخته

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر مستقل مقدار درصد ماده افزودنی اوره بر مقدار انتشار فرمالدئید در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری است. همچنین گروه‌بندی دانکن سطوح مختلف مقادیر میانگین‌ها را در چهار گروه مختلف قرار می‌دهد (شکل ۲). تخته با مقدار درصد افزودنی ۹ و ۱۲ درصد اوره در گروه D قرار دارد که بیشترین مقدار کاهش انتشار فرمالدئید را داراست. پس از آن به ترتیب تخته با ۶ درصد افزودنی اوره در گروه C، تخته با ۳ درصد افزودنی در گروه B و تخته شاهد نیز در گروه A قرار دارند که حاوی



شکل ۱. مقدار میانگین مقدار انتشار فرمالدئید تخته‌های آزمونی با درصد چسب‌زنی مختلف حروف انگلیسی نشان‌دهنده گروه‌بندی دانکن است



شکل ۲. مقدار میانگین مقدار انتشار فرمالدئید تخته‌های آزمونی با درصد افزودنی مختلف حروف انگلیسی نشان‌دهنده گروه‌بندی دانکن است

همی سلولز و لیگنین) منابع بالقوه فرمالدئید هستند، البته بعضی از مواد استخراجی چوب با فرمالدئید واکنش می‌دهند و سبب کاهش انتشار فرمالدئید می‌شوند [۵]. فرمالدئید آزادی که در طی مراحل واکنش رزین با خرده‌چوب‌ها وجود دارد، مربوط به گروه‌های متیلول در رزین اوره فرمالدئید است. مقدار فرمالدئید آزاد حتی پس از ساخت محصولات چوبی روی قطعات چوب جذب شده و به تدریج منتشر می‌شود و ممکن است به‌طور مستقیم تحت تأثیر پیوندهای رزین اوره فرمالدئید قرار گیرد [۱۹]. در نتیجه کاهش مقدار انتشار فرمالدئید در اثر افزودن اوره به خرده‌چوب‌ها نسبت به کاهش فرمالدئید در اثر افزودن اوره به چسب، مشهودتر و بیشتر است.

تأثیر مستقل نحوه افزودن ماده افزودنی اوره بر انتشار فرمالدئید از تخته

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر مستقل نحوه افزودن پودر اوره به تخته به‌منظور کاهش مقدار انتشار فرمالدئید در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری است و در گروه‌بندی دانکن به دو گروه متفاوت تقسیم می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، نحوه افزودن پودر اوره به تخته به‌عنوان ماده افزودنی و جذب فرمالدئید در کاهش مقدار انتشار گاز فرمالدئید مؤثر و معنی‌دار است. افزودن پودر اوره به خرده‌چوب، سبب کاهش انتشار فرمالدئید بیشتری نسبت به افزودن پودر اوره به چسب اوره فرمالدئید می‌شود. اجزای اصلی چوب (سلولز،



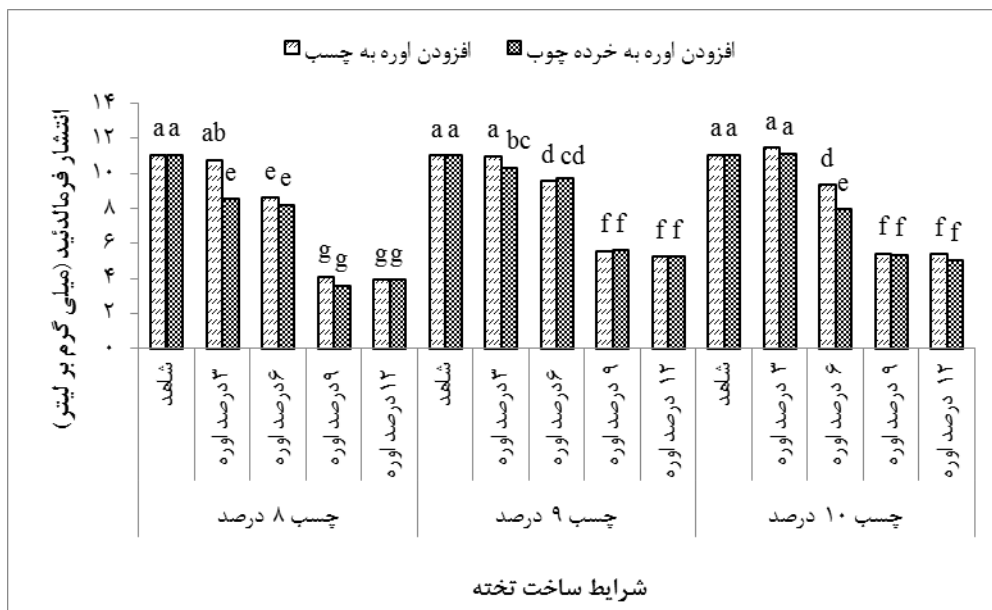
شکل ۳. مقدار میانگین مقدار انتشار فرمالدئید تخته‌های آزمونی با روش‌های مختلف افزودن پودر اوره به تخته. حروف انگلیسی نشان‌دهنده گروه‌بندی دانکن است

درون‌گروهی، در گروه g، تخته با ۸ درصد رزین اوره‌فرمالدئید همراه با ۹ درصد افزودنی پودر اوره که به خرده‌چوب افزوده شده است، نسبت به تخته‌های همان گروه دارای کاهش انتشار فرمالدئید بیشتری است. نتایج نشان می‌دهد که با کاهش درصد افزودن رزین اوره‌فرمالدئید به تخته آزمونی، انتشار فرمالدئید کاهش می‌یابد [۱۵] و نیز با افزایش درصد ماده افزودنی اوره به تخته انتشار فرمالدئید کاهش پیدا می‌کند [۹]. همچنین نحوه افزودن پودر اوره اثر معنی‌داری بر کاهش انتشار فرمالدئید دارد. افزودن اوره به خرده‌چوب، سبب کاهش بیشتر انتشار فرمالدئید نسبت به افزودن اوره به رزین اوره فرمالدئید می‌شود. این امر به دلیل وجود گروه‌های استیل در چوب و جذب فرمالدئید توسط این گروه‌هاست [۲۰].

- تأثیر متقابل مقدار درصد چسب‌زنی رزین اوره‌فرمالدئید و مقدار درصد افزودنی ماده افزودنی پودر اوره و نحوه افزودن ماده افزودنی بر مقدار انتشار گاز فرمالدئید و چسبندگی داخلی

- مقدار انتشار گاز فرمالدئید

مقدار درصد چسب‌زنی رزین اوره فرمالدئید و درصد افزودنی ماده افزودنی پودر اوره و نحوه افزودن اوره، بر کاهش انتشار فرمالدئید از تخته، در سطح اطمینان ۹۵ درصد اثر معنی‌داری دارد. همچنین گروه‌بندی دانکن، سطوح مختلف مقادیر میانگین‌ها را در هفت گروه متفاوت قرار داد. شکل ۴ نشان می‌دهد که گروه g بیشترین کاهش انتشار فرمالدئید را در بین گروه‌های مذکور داراست که شامل تخته با ۸ درصد رزین اوره‌فرمالدئید همراه با ۹ و ۱۲ درصد افزودنی است. همچنین در مقایسه



شکل ۴. مقدار میانگین مقدار انتشار فرمالدئید تخته‌های آزمونی با مقدار درصد مختلف چسب‌زنی رزین اوره‌فرمالدئید و مقدار درصد مختلف افزودنی و نحوه افزودن ماده افزودنی به تخته‌ها. حروف انگلیسی نشان‌دهنده گروه‌بندی دانکن است

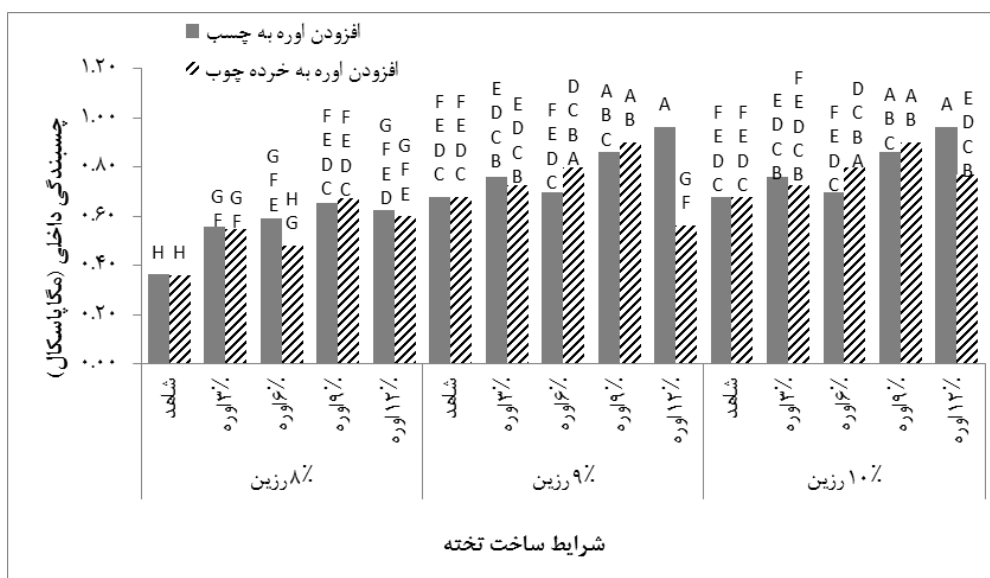
است. آزمایش کشش در سمت ضخامت، شاخص اتصال بین الیاف و نشان‌دهنده چسبندگی داخلی است. از مشاهدات این آزمایش افزون‌بر تعیین کیفیت اتصال داخلی

- چسبندگی داخلی

مقاومت چسبندگی داخلی (کشش عمود بر سطح تخته) نشان‌دهنده کیفیت اتصالات داخلی ماده مرکب چوبی

رزین اوره فرمالدئید و ۱۲ درصد اوره است. با نفوذ اوره به چسب، فرمالدئید آزاد در چسب با اوره واکنش داده و اتصالات قوی‌تری ایجاد شده است که سبب افزایش چسبندگی داخلی تخته می‌شود و با افزودن اوره به چسب، نسبت به افزودن اوره به خرده‌چوب چسبندگی داخلی بیشتر است. دلیل این امر را می‌توان کاهش مقاومت تخته با مقدار اوره بیشتر و وجود اوره در سطح خرده‌چوب‌ها دانست که اوره اضافی مانع ایجاد اتصالات خوب بین چسب و خرده‌چوب‌ها می‌شود؛ نتیجه آن کاهش استحکام اتصالات در تخته خرده‌چوب است [۱۹].

بین مواد، برای مقایسه تخته‌ها تحت بار کششی عمود بر سطح نیز استفاده می‌شود. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر متقابل مقدار درصد چسب‌زنی و مقدار درصد افزودنی ماده افزودنی اوره و نحوه افزودن اوره به تخته خرده‌چوب بر چسبندگی داخلی هرچند بالاتر از سطح استاندارد است، در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، نتایج به‌دست‌آمده از چسبندگی داخلی بیش از حد استاندارد EN ۳۱۲ است. براساس استاندارد EN ۳۱۲ حداقل چسبندگی داخلی برای تخته خرده‌چوب باید ۰/۳۵ باشد. بیشترین چسبندگی داخلی، در تخته حاوی ۹ درصد



شکل ۵. مقادیر میانگین مقدار درصد چسب‌زنی و مقدار درصد افزودنی و نحوه افزودن اوره بر چسبندگی داخلی. حروف انگلیسی نشان‌دهنده گروه‌بندی دانکن است

متیلول اوره در حضور فرمالدئید آزاد در تخته بیشتر است که سبب جذب فرمالدئید آزاد و در نتیجه کاهش انتشار فرمالدئید در تخته می‌شود. همچنین گروه‌های استیل در اثر فشار و گرمای پرس از چوب آزاد می‌شوند و اسید استیک تشکیل می‌دهند که خود اسید استیک جاذب فرمالدئید است. در نتیجه کاهش انتشار فرمالدئید در اثر افزودن اوره به خرده‌چوب‌ها نسبت به کاهش فرمالدئید در اثر افزودن اوره به چسب، مشهودتر و بیشتر است. در مقدار ثابت رزین

نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثرهای مستقل و متقابل مقدار انتشار فرمالدئید و چسبندگی داخلی بر ویژگی‌های تخته خرده‌چوب‌های ساخته‌شده در سطح اعتماد ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار است. با کاهش درصد افزودن رزین اوره فرمالدئید و افزایش درصد ماده افزودنی پودر اوره به تخته، انتشار فرمالدئید کاهش می‌یابد؛ زیرا با توجه به افزایش اوره در تخته، امکان تشکیل گروه‌های

- [7]. Aydin, I., Colakoglu, G., Colak, S., and Demirkir, C. (2006). Effects of moisture content on formaldehyde emission and mechanical properties of plywood. *Building and Environment*, 41(10): 1311–1316.
- [8]. Doosthosseini, K., and Ghaffari, R. (2012). Investigation on the influence of urea addition to urea-formaldehyde adhesive on physical and mechanical properties of poplar particleboard. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 27(4): 646-654.
- [9]. Hematabadi, H., and Behrooz, R. (2012). The effect of urea pretreatment on the formaldehyde emission and properties of straw particleboard. *Journal of Forestry Research*, 23(3): 497-502.
- [10]. He, Z., and Zhang, Y. (2013). Control of formaldehyde emission from wood-based panels by doping adsorbents: optimization and application. *Heat and Mass Transfer*, 49(6): 879-886.
- [11]. Liang, W., and Yang, X. (2013). Indoor formaldehyde in real buildings: Emission source identification, overall emission rate estimation, concentration increase and decay patterns. *Building and Environment*, 69(7): 114-120.
- [12]. Reconstituted Wood- based Panels- Methods of test. Method 16: Formaldehyde emission-Desiccator method. (2004). Australian/New Zealand Standard. Standard. AS/NZS 4266.16
- [13]. Wood based panels. (1993). Sampling, cutting and inspection. Sampling and cutting of test pieces and expression of test results. European Standard EN 326-1.
- [14]. Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. (1993). CEN European Committee for Standardization. Brussels. Belgium. European Standard EN 319.
- [15]. Arabi, M., Faezipour, M., and Gholizadeh, H. (2011). Reducing resin content and board density without adversely affecting the mechanical properties of particleboard through controlling particle size. *Journal of Forestry Research*, 22(4): 659-664.
- [16]. Dunky M. (1998). Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 18(2): 95–107.
- [17]. Zorba, T., Papadopoulou, E., Hatjiissaak, A., Paraskevopoulos, K. M., and Chrissafis, K. (2008). Urea-Formaldehyde Resins Characterized By Thermal Analysis and FTIR Method. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 92(1): 29-33.

اوره‌فرمالدئید و افزایش مقدار اوره و نحوه افزودن اوره چسبندگی داخلی نیز افزایش می‌یابد. به‌طور کلی با توجه به نتایج، می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به وفور پودر اوره در کشور، استفاده از افزودنی اوره و افزودن آن به تخته به نسبت وزن خشک رزین مصرفی و رسیدن به کلاس انتشار E2، از نظر استاندارد و نیز از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه و بسیار حائز اهمیت است. همچنین مقاومت چسبندگی داخلی (بیشتر از حد استاندارد) با افزودن پودر اوره به چسب افزایش یافته است. وجود اوره در سطح خرده‌چوب‌ها، مانع ایجاد اتصالات خوب بین چسب و خرده‌چوب‌ها می‌شود.

References

- [1]. Saffari, M., Sajedi, K., Veysi, R., and Hoseynzadeh, A. (2010). Effects of Hardener Type and Particles size on Formaldehyde Emission of UF Bonded Particleboard. In: *Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee October 11-14*.
- [2]. Xiao, G., Zhang, Z., Weber, J., Ding, H., McIntosh, H., Desrosiers, D., Nong, G., Won, D., Dunford, J., Tunney, J., Darcovich, K., and Diaz-Quijada, G. (2011). Trace Amount Formaldehyde Gas Detection for Indoor Air Quality Monitoring. *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 54484(11): 1-4.
- [3]. Ozalp, M. (2011). Study of the effect of adding the powder of waste PET bottles and borax pentahydrate to the urea formaldehyde adhesive applied on plywood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 69(3): 369–374.
- [4]. Hwang, G., Yoon, C., and Choi, J. (2011). A Case-Control Study: Exposure Assessment of VOCs and Formaldehyde for Asthma in Children. *Aerosol and Air Quality Research*, 11(7): 908–914.
- [5]. Jin-shu, S., Jian-zhang, L., Yong-ming, F., and Hong-xia, M. (2006). Preparation and properties of waste tea leaves particleboard. *Forestry Studies in China*, 8(1): 41–45.
- [6]. Wang, S., and Pizzi, A. (1997). Succinaldehyde induced water resistance improvements of UF wood adhesives. *Holz als Roh-und werkstoff*, 55(1): 9-12.

- [18]. Pizzi, A. (1983). Wood Adhesives Chemistry and Technology. New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
- [19]. Tohmura, S.I., Hse, C.Y., and Higuchi, M. (2000). Formaldehyde emission and high-temperature stability of cured urea-formaldehyde resins. Journal of wood science, 46(4): 303-309.
- [20]. Colak, S., Colakoglu, G., Kalaycioglu, H., and Aydin, I. (2009). Effects of log storage conditions and steaming process on the formaldehyde emissions of particleboard manufactured from eucalyptus (*E. camaldulensis*) wood. European Journal of Wood and Wood Products, 67(4): 379-382.

Reduction of Emissions of Formaldehyde from Urea-Formaldehyde (UF) Resins Using Boards Made with Urea Additive

M. Asefi Hedayat Abad; Graduate M.Sc. Student, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, I.R. Iran

H.R. Mansouri*; Assoc. Prof., Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, I.R. Iran

B. Nosrati; Assoc. Prof., Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, I.R. Iran

A. Samzadeh; Assoc. Prof., Faculty of Science, University of Zabol, Zabol, I.R. Iran

S. Shirzaei; Graduate M.Sc. Student, Faculty of Natural Resources University of Zabol, Zabol, I.R. Iran

(Received: 27 May 2018, Accepted: 02 November 2018)

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of urea as additive on reduction of formaldehyde emission and internal bonding strength (IB) improvement. Experimental boards were made using wood particles and urea formaldehyde adhesive. Pressure (25.26 kg/cm²), temperature (200 °C) and press time (7 minutes) were considered as constant factors. The wood particles with urea formaldehyde resin were pressed in three levels (8, 9 and 10 wt%) and urea additive at five levels (0, 3, 6, 9 and 12 wt%). Urea powder as additive was added in the two forms: to the particles and to resin solution. Test specimens for formaldehyde emission and IB were prepared from experimental boards following standards AS/NZS 4266.16 and EN 326-1, respectively. Formaldehyde emission was determined according to the Japanese standard desiccator method. In this study, the concentration of the formaldehyde gas reached the E2 class. The results showed that the reduction of urea formaldehyde resin decreases the release of formaldehyde from particleboard. In addition, the results illustrated that by decreasing the percentage of the urea additive in particleboard, both formaldehyde releasing also the formaldehyde emission are reduced. Furthermore, IB was increased (higher than standard) by adding urea powder to resin solution. The presence of urea at the surface of the wood chips prevents the formation of good connections between adhesive and wood particles.

Keywords: Decreasing of formaldehyde emission, Pollutant, Urea additive, Urea formaldehyde resin, Wooden products.

* Corresponding author, Email: hamidreza.mansouri@gmail.com, Tel: +989389202021