نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲
۴۶۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۸

استفاده از مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی اثر دانسیتهٔ گونهٔ چوبی و دانسیتهٔ تخته بر ویژگی‌های تختهٔ خرده‌چوب همسان

❖ **علی‌اکبر عنایتی:** استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **فرناز اصلاح*:** دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **الهام فرهید:** کارشناس ارشد رشتهٔ صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

به‌منظور پیش‌بینی اثر دانسیتهٔ گونهٔ چوبی و دانسیتهٔ تخته بر ویژگی‌های تختهٔ خرده‌چوب همسان از طریق به‌کارگیری معادلات رگرسیونی، با در نظر گرفتن دو متغیر دانسیتهٔ خشک گونهٔ چوبی در سه سطح ٤٦٠،٦٣٠، و ۷۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب و دانسیتهٔ تختهٔ ۵۲۰، ٦٢٠، و ۷۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب، تختهٔ خرده‌چوب همسان (یک‌لایه) ساخته شد. خواص تخته‌ها شامل مقاومت، مدول خمشی، مقاومت برشی، جذب آب، و واکشیدگی ضخامت، بعد از ٢٤ ساعت غوطه‌وری، اندازه‌گیری شد. با استفاده از مدل‌های رگرسیونی چندگانهٔ خطی به‌روش گام‌به‌گام، نتایج تحلیل و ارزیابی شد. متغیرهای دانسیتهٔ گونه و دانسیتهٔ تخته براساس میزان اثرگذاری در مدل‌های مقاومت خمشی، مقاومت برشی، جذب آب، و واکشیدگی ضخامت وارد شدند. اثر این دو عامل بر مدول الاستیسیتهٔ تخته‌ها معنی‌دار نبود. با توجه به مقدار کم ضرایب تبیین مدل‌های مقاومت برشی و جذب آب، این مدل‌ها برای پیش‌بینی ویژگی‌های اشاره‌شده دقت کافی نداشتند. نتایج حاصل از نقشه‌های اثرگذاری متقابل با استفاده از نرم‌افزار Minitab نشان داد که هرچند با افزایش دانسیتهٔ تختهٔ خرده‌چوب همسان عموماً خواص مکانیکی تخته‌ها افزایش می‌یابد، تخته‌های با دانسیتهٔ ۵۲۰ـ٦٢٠ کیلوگرم بر متر مکعب نیز دارای حد نصاب مقادیر تعیین‌شده توسط استاندارد مربوط به این گونه تخته‌ها هستند. در این میان، واکشیدگی ضخامت تخته‌ها بیشتر از مقدار تعیین‌شده در استاندارد است که برای بهبود آن می‌توان از تیمارهای اضافی مانند به‌کارگیری مواد مقاوم به آب استفاده کرد.

واژگان کلیدی: تختهٔ خرده‌چوب همسان، دانسیتهٔ تخته، دانسیتهٔ گونهٔ چوبی، مدل رگرسیونی، نقشهٔ اثرگذاری متقابل.

* نویسندهٔ مسئول تلفن: ۰۹۳۵۹۷۶۹۰۲۰، فاکس: ۰۲۶۳۲۲۴۹۳۱۱
Email: farnaz.eslah@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

در بین صنایع فرآورده‌های مرکب چوبی، صنعت تختهٔ خرده‌چوب به‌سبب استفاده از چوب‌های کم‌ارزش، ضایعات چوبی، و لیگنوسلولزی برای تولید محصولی با خواص کاربردی متنوع و مطلوب، رشد و توسعهٔ چشمگیری داشته است. عوامل مختلفی از قبیل نوع و مقدار چسب مصرفی، درصد رطوبت خرده‌های چوب، نوع گونهٔ مصرفی، شرایط پرس، دانسیتهٔ تخته، و غیره بر ویژگی‌های تختهٔ خرده‌چوب تأثیرگذارند [۱]. جرم ویژه، به‌طور عام (چوب و فرآورده‌های آن)، به‌عنوان یک عامل مهم تأثیرگذار بر تمام ویژگی‌های چوب و فرآورده‌های چوبی مطرح است؛ به‌گونه‌ای که با افزایش آن مقاومت‌های مکانیکی نیز افزایش می‌یابد [۲]. به همین علت ساده‌ترین راه برای افزایش مقاومت‌های تخته، بالابردن دانسیتهٔ آن است. از آنجا که هنگام افزایش دانسیتهٔ پانل‌های چوبی، فشردگی و تماس بین خرده‌های چوب بیشتر می‌شود و اتصالات قوی‌تری بین آن‌ها ایجاد می‌شود، بدون نیاز به مصرف بیشتر چسب، استفادهٔ مؤثرتری از رزین می‌شود [۳]. با زیادشدن دانسیتهٔ تختهٔ خرده‌چوب مقاومت خمشی آن افزایش می‌یابد و برعکس، با زیادشدن جرم ویژهٔ مادهٔ اولیه، مقاومت خمشی تخته کاهش می‌یابد. همچنین، در ساخت پانل‌های چوبی، برای ایجاد اتصال مناسب بین خرده‌های چوب لازم است ذرات چوب به‌اندازهٔ کافی در پرسِ گرم فشرده و متراکم شود. این فشردگی که با نسبت دانسیتهٔ تخته به دانسیتهٔ گونهٔ چوبی ارتباط دارد، ضریب فشردگی نامیده می‌شود [۱]. از آنجا که دستیابی به اطلاعات تجربی لازم برای شناخت و تحلیل عوامل مؤثر بر ویژگی‌های تخته اهمیت دارد، طراحی یک مدل ریاضی که قادر به پیش‌بینی و بهینه‌سازی این عامل‌ها باشد، داده‌ها و اطلاعات متنوع و ارزشمندی را فراهم می‌کند. اهداف نهایی بعضی از پژوهش‌های انجام‌شده بر توسعهٔ چنین مدل‌هایی استوار است. در این پژوهش‌ها، طرح آزمایش‌ها به‌منظور درک آماری از متغیرهای تولید، نظیر نوع و دانسیتهٔ مواد اولیه، فرم هندسی خرده‌های چوب، رطوبت کیک، متغیرهای پرس، و غیره ابداع شده است. و هرچند با توجه به آزمایش‌های تجربی و آثار پیچیدهٔ عوامل ساخت بر ویژگی‌های محصول نهایی، ارائهٔ مدل بسیار مشکل است و به تحلیل‌های جامع آماری نیاز دارد، به‌سبب اینکه مدل‌ها در پیش‌بینی خواص نهایی محصول و کاهش هزینه‌های تولید، توانایی بالایی دارند، در سال‌های اخیر، تحقیقات وسیعی در این زمینه انجام شده یا در حال انجام است. اصلاح و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که استفاده از معادلات خطی رگرسیونی برای توصیف خواص مکانیکی تختهٔ خرده‌چوب براساس دانسیتهٔ تخته و مقدار مصرف چسب اورهٔ فرم‌آلدهید مناسب است [۴]. عربی و همکاران (۲۰۱۲) رابطهٔ بین ضریب لاغری و مقدار چسب مصرفی را بر ویژگی‌های مکانیکی تختهٔ خرده‌چوب بررسی و گزارش کردند که توابع نمایی در مقایسه با توابع خطی، رابطهٔ این دو عامل را با خواص تخته بهتر بیان می‌کنند [۵]. دیا و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که با افزایش دانسیتهٔ فرآوردهٔ نهایی، مقدار چسب مصرفی و ضخامت خرده‌چوب‌ها، مقاومت چسبندگی داخلی تخته‌ها افزایش می‌یابد [۶]. هیزیروگلو و همکاران (۲۰۰۵) اثر دانسیتهٔ تخته (۰/۴، ۰/۵، ۰/۶۵، و ۰/۷۵ گرم بر

Archive of SID

www.SID.ir

سانتی‌متر مکعب)، نوع کیک خرده‌چوب (یک‌لایه و سه‌لایه)، و نوع خرده‌چوب (تهیه‌شده از چوب با و بدون پوست) بر خصوصیات تختهٔ خرده‌چوبِ ساخته‌شده از سدر قرمز را بررسی و گزارش کردند که دانسیته مهم‌ترین عامل اثرگذار بر کلیهٔ خواص فیزیکی ـ مکانیکی تختهٔ خرده‌چوب است و تهیهٔ تختهٔ سه‌لایه این خواص را بهبود می‌بخشد، اما نوع چیپس اثر معنی‌داری بر خواص تختهٔ خرده‌چوب ندارد [۷]. دیاس و همکاران (۲۰۰۵) رابطهٔ بین دو عامل ضریب فشردگی و دانسیتهٔ تخته را با خواص فیزیکی ـ مکانیکی تختهٔ خرده‌چوب کاج را به‌کمک مدل‌های رگرسیونی ارزیابی و گزارش کردند که این دو عامل بر همهٔ ویژگی‌های تخته تأثیر معنی‌دار دارد[۲]. باربوتیس و فیلیپو (۲۰۰۷) از پنج گونهٔ پهن‌برگ مدیترانه‌ای در ساخت تختهٔ خرده‌چوب استفاده و گزارش کردند که همهٔ ویژگی‌های تخته تحت تأثیر دانسیتهٔ گونه و دانسیتهٔ تخته قرار می‌گیرد [۸]. نتایج تحقیق لین و همکاران (۲۰۰۳) حاکی از آن بود که ساخت تختهٔ خرده‌چوب دمبرگ خرما با ویژگی‌های فیزیکی ـ مکانیکی استاندارد با دانسیتهٔ ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۶ درصد چسب اورهٔ فرم‌آلدهید و بدون استفاده از پارافین ممکن است [۹]. هایاشی و همکاران (۲۰۰۳) اثر دانسیتهٔ تخته بر ثبات ابعادی و خواص خمشی تختهٔ خرده‌چوب کنگره‌ای تقویت‌شده با MDF را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که افزایش دانسیتهٔ تخته‌ها به افزایش خواص خمشی منجر می‌شود و واکشیدگی خطی (LE) تخته‌ها را نیز کاهش می‌دهد [۱۰].

این تحقیق، با هدف دستیابی به مدل‌های رگرسیونی که توانایی پیش‌بینی اثر متغیرهای اشاره‌شده بر خواص تختهٔ خرده‌چوب همسان تولیدی را داشته باشند انجام شده است تا با توجه به محدودیت منابع اولیهٔ چوبی کشور و لزوم استفادهٔ بهینه از آن‌ها، با ایجاد توازن بین دانسیتهٔ گونهٔ چوبی و دانسیتهٔ تخته (برای کاهش آن) و حفظ خواص و کیفیت مورد نظر استاندارد برای این گونه تخته‌ها، بتوان قدمی در جهت کاهش مصرف مواد خام چوبی برداشت.

مواد و روش‌ها

برای این بررسی، گرده‌بینه‌های صنوبر[1]، راش[2]، و ممرز[3] به‌وسیلهٔ ارهٔ نواری به مکعب‌های کوچکی تبدیل و با استفاده از خردکن حلقوی نوع Pallman[4] در دو مرحله به خرده‌چوب مورد نیاز تبدیل شدند. خرده‌های چوب در خشک‌کن استوانه‌ای در دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد و به‌مدت ۲/۵ ساعت تا رسیدن به رطوبت حدود ۳ درصد خشک شدند. سپس، خرده‌های چوب بسیار ریز و خیلی درشت به‌کمک الک از مخلوط خرده‌های چوب جدا و خرده‌های چوب با ابعاد مناسب (با متوسط طول و ضخامت ۲۱/۲۸ و ۰/۶۴ میلی‌متر) تا زمان ساخت تخته‌های آزمونی در کیسهٔ پلاستیکی نگه‌داری شدند. چسب مورد استفاده از نوع اورهٔ فرم‌آلدهید محلول از شرکت تیران شیمی تهران تهیه شد.

با در نظر گرفتن **عوامل متغیر**: دانسیتهٔ خشک گونهٔ چوبی در سه سطح ۴۶۰ Kg/m^3 (صنوبر)، ۶۳۰ Kg/m^3 (راش)، و ۷۹۰Kg/m^3 (ممرز)، و دانسیتهٔ تخته در سه سطح ۵۲۰، ۶۲۰، و ۷۲۰ کیلوگرم

1.Populus alba
2. Fagus orientaleis
3. Carpinus betolus
4. Knife Ring Flaker (Pallman)

Archive of SID
www.SID.ir

بر متر مکعب؛ و **عوامل ثابت**: نوع و مقدار چسب مصرفی (اورهٔ فرم‌آلدهید به‌میزان ۸ درصد نسبت به جرم خشک خرده‌چوب)، نوع و مقدار هاردنر (کلرور آمونیوم به‌میزان ۲ درصد برمبنای جرم مادهٔ خشک چسب)، زمان پرس (۵ دقیقه)، دمای پرس (۱۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد)، فشار پرس (۳۰Bar)، ضخامت اسمی تخته (۱۶ میلی‌متر)، و نوع تخته (همسان یا یک‌لایه)، تخته‌های آزمونی ساخته شدند.

مقدار خرده‌چوب موردنیاز برای ساخت هر تخته توزین و در یک چسب‌زن آزمایشگاهی چسب حاوی هاردنر با غلظت ۵۰ درصد با پیستوله بر روی خرده‌های چوب پاشیده شد. از یک قالب چوبی با ابعاد ۲۵×۴۰×۴۰ سانتی‌متر برای شکل‌دهی کیک خرده‌چوب استفاده شد. پس از تشکیل کیک خرده‌چوب و فشردن اولیه و در پرس سرد به‌وسیلهٔ پرس گرم آزمایشگاهی از نوع Burkele-La-۱۶۰ تا ضخامت اسمی تعیین‌شده فشرده شدند. تخته‌های ساخته‌شده قبل از انجام آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی به‌مدت ۲ هفته در دمای ۱±۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد مشروط شدند. با در نظر گرفتن عوامل متغیر، ۹ تیمار و برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد. در مجموع، تعداد ۲۷ تختهٔ آزمونی ساخته شد. تخته‌های آزمونی پس از کناره‌بری، طبق استاندارد EN ۳۲۶-۱ به نمونه‌های آزمونی موردنیاز برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی برش داده شدند [۱۱]. جذب آب (WA) و واکشیدگی ضخامت (TS) بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری طبق استاندارد EN۳۱۷ [۱۲] و ویژگی‌های مکانیکی تخته‌ها شامل مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی به‌وسیلهٔ ماشین Instron-۴۴۸۶ و براساس استاندارد EN۳۱۰ [۱۳] و مقاومت برشی موازی با سطح مطابق با آیین‌نامهٔ ASTM D۱۰۳۷ و با ماشین آزمایش ۶.۶۷۰۰ Wolpert Dتعیین شد [۱۴].

برای پیش‌بینی ویژگی‌های تختهٔ خرده‌چوب تحت شرایط اشاره‌شده، از نرم‌افزار SPSS ۱۸ و مدل‌های رگرسیونی چندگانهٔ خطی به‌روش گام‌به‌گام استفاده شد. مدل‌های به‌دست‌آمده در صورت معنی‌دار بودن، بررسی شدند. در این روش، متغیرها به‌ترتیب اهمیت، یک‌به‌یک وارد معادلهٔ رگرسیونی شدند و با واردشدن عامل متغیر بعدی، که تأثیر کمتری در مقایسه با متغیر قبلی داشت، مدل مزبور تکمیل شد. ضرایب استاندارد (که برای هر متغیر مستقل ارائه شدند) در مدل با ضرایب استانداردشده، نشان‌دهندهٔ ضریب تأثیرگذاری آن عامل بر روی ویژگی‌های مورد بررسی در مقایسه با دیگر متغیر مستقل‌اند. ضریب تبیین (R^2) نیز به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری کفایت مدل رگرسیون، برای هر مدل تعیین شد.

به‌منظور تحلیل و ارزیابی بهتر اثر دامنهٔ عوامل متغیر بر ویژگی‌های تختهٔ خرده‌چوب و نیز تعیین مقدار بهینهٔ دانسیتهٔ تخته و دانسیتهٔ چوب با حفظ خواص تخته در محدودهٔ تعیین‌شده در استاندارد مربوط به این گونه تخته‌ها، نقشهٔ اثرگذاری متقابل برای هر ویژگی، با نرم‌افزار Minitab ۱۳ رسم شد.

نتایج

میانگین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌های آزمونی در جدول ۱ ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. میانگین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌های آزمونی

دانسیتهٔ خشک چوب (kg/m^3)	دانسیتهٔ تخته (kg/m^3)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	مقاومت برشی (MPa)	WA (24h) (%)	TS (24h) (%)
۴۶۰	۵۲۰	۱۱/۸	۱۴۸۴	۵/۴	۷۶/۵	۱۷/۶
	۶۲۰	۱۶/۸	۱۷۳۵	۵/۷	۸۷/۷	۱۷/۳
	۷۲۰	۲۳/۶	۲۱۵۳	۴/۹	۷۸/۷	۲۳/۱
۶۳۰	۵۲۰	۱۰/۰	۲۱۸۹	۵/۱	۱۰۲/۱	۱۸/۰
	۶۲۰	۱۱/۹	۱۳۳۰	۸/۱	۸۸/۱	۱۹/۸
	۷۲۰	۱۳/۹	۱۹۳۶	۸/۸	۸۵/۵	۲۵/۲
۷۹۰	۵۲۰	۹/۲	۲۲۴۹	۵/۳	۱۰۵/۷	۱۹/۹
	۶۲۰	۱۳/۱	۱۵۷۰	۸/۱	۹۹/۴	۲۵/۲
	۷۲۰	۱۷/۹	۱۹۶۰	۹/۶	۸۶/۹	۲۹/۴

ویژگی‌های مکانیکی

مقاومت خمشی

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که دانسیتهٔ گونهٔ چوبی (W) و دانسیتهٔ تخته (D) در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌داری بر مقاومت خمشی (MOR) تخته‌ها دارند. مدل رگرسیونی پیش‌بینی مقاومت خمشی تخته‌ها در دو گام تشکیل شد. مدل‌ها با ضرایب استانداردنشده (US) و استانداردشده (S) به شرح زیرند:

$$MOR=-۳/۰۵۹+۰/۰۴۷\ D-۰/۰۲۰W\ (US) \quad (۱)$$

$$MOR=۰/۷۱۵\ D-\ ۰/۵۰۸\ W\ (S) \quad (۲)$$

$R^۲=۰/۷۷,\ F=۱۳۰/۴۶۱^{**}$ معنی‌دار در سطح ۱ درصد

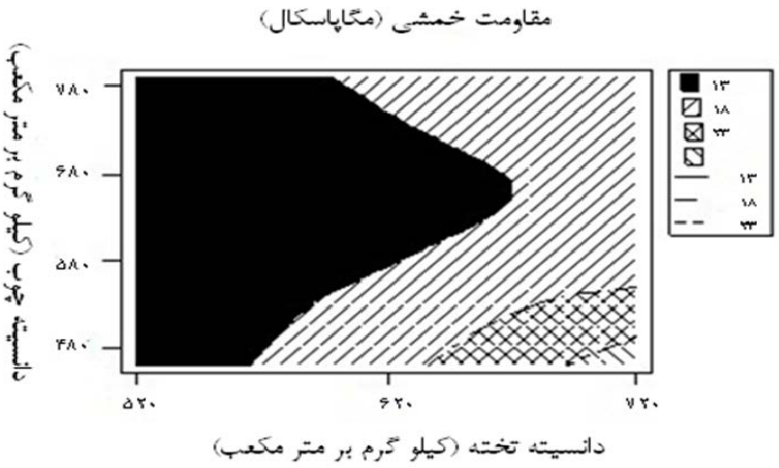
مدل در گام دوم، که کامل‌ترین مدل برای پیش‌بینی مقاومت خمشی است، دارای ضریب تبیین نسبتاً بالایی (۰/۷۷) است. با نگاهی به معادلهٔ مدل با ضرایب استانداردشده می‌توان دریافت که ۵۸/۵ درصد از تغییرات مقاومت خمشی تحت تأثیر دانسیتهٔ تخته بوده و این عامل تأثیر مثبتی بر افزایش مقاومت خمشی تخته‌ها داشته است. حدود ۴۱/۵ درصد تغییرات مقاومت خمشی تحت تأثیر دانسیتهٔ گونه است که تأثیر کاهش‌دهنده و منفی بر مقاومت خمشی تخته‌ها دارد. باربوتیس و فیلیپو (۲۰۰۷) از پنج گونهٔ پهن‌برگ مدیترانه‌ای در ساخت تختهٔ خرده‌چوب استفاده و گزارش کردند که افزایش دانسیتهٔ تخته‌ها بر روی مقاومت خمشی تأثیر مثبت داشت، ولی با افزایش دانسیتهٔ گونه از ۵۵۰ به ۹۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، این ویژگی به‌شدت کاهش یافت [۸]. اصلاح و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که با افزایش دانسیتهٔ تختهٔ خرده‌چوب به ۷۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب و با افزایش مصرف چسب، مقاومت و مدول خمشی تخته‌ها افزایش می‌یابد [۳].

نقشهٔ اثرگذاری متقابل دانسیتهٔ تخته و دانسیتهٔ چوب بر مقاومت خمشی در شکل ۱ نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۱، در تخته‌های با دانسیتهٔ بین ۶۳۰ـ۷۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب، که با چوب‌های با دانسیتهٔ ۴۶۰ـ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب ساخته شده‌اند، مقاومت خمشی به حداکثر میزان خود (بیش از ۲۳ مگاپاسکال) رسیده است. برابر استاندارد EN ۳۱۲، مقدار MOR پانل‌های تختهٔ خرده‌چوب برای مصارف عام و کاربردهای داخلی به‌ترتیب ۱۲/۵ و ۱۴ مگاپاسکال است [۱۵].

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. نقشهٔ اثرگذاری متقابل دانسیتهٔ تخته و دانسیتهٔ چوب بر مقاومت خمشی

بنابراین، با توجه به این نکته که یکی از اهداف پژوهش کاهش دانسیتهٔ تخته به حداقل میزان ممکن با حفظ خواص و کیفیت تخته‌ها در محدودهٔ استاندارد بوده است، با ساخت تخته‌هایی با دانسیتهٔ حدود ۵۲۰ـ۶۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب از چوب‌های با دانسیتهٔ خشک ۴۶۰ـ۷۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب نیز می‌توان مقاومت خمشی تخته‌ها را در سطح اعلام‌شده در این استاندارد نگه داشت.

مدول الاستیسیته

دانسیتهٔ چوب و دانسیتهٔ تخته تأثیر معنی‌داری بر مدول الاستیسیتهٔ (MOE) تخته‌ها نداشتند؛ از این رو، برای این ویژگی مدلی ارائه نشد.

مقاومت برشی موازی با سطح

دانسیتهٔ گونهٔ چوبی و دانسیتهٔ تخته در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌داری بر مقاومت برشی موازی با سطح تخته‌ها دارند. مدل‌ها با ضرایب استانداردنشده و استانداردشده برای این ویژگی به شرح زیرند:

(۳)

$$\text{Shear strength} = -۵/۹۳۱ + ۰/۰۱۳\ D + ۰/۰۰۷\ W\ (US)$$

(۴)

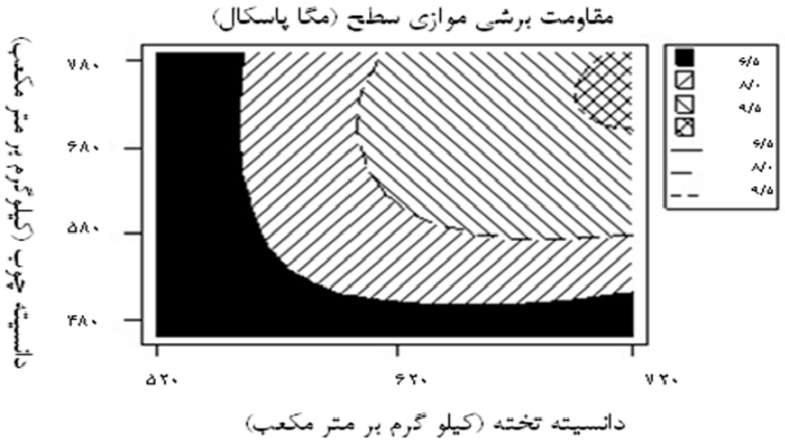
$$\text{Shear strength} = ۰/۵۰۳\ D + ۰/۴۹۸\ W\ (S)$$

R^2=۰/۵۰۲, F=۳۹/۲۳۷ ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

با توجه به ضریب تبیین نسبتاً پایین (۵۰/۲ درصد)، مدل ارائه‌شده برای پیش‌بینی تغییرات مقاومت برشی تخته‌ها چندان دقیق نیست. مدل با ضرایب استانداردشده نشان می‌دهد هر دو عامل دانسیتهٔ گونه و دانسیتهٔ تخته تأثیر مثبتی بر افزایش مقاومت برشی تخته‌ها دارند. همچنین، از ۱۰۰ درصد تغییرات مربوط به مقاومت برشی، حدود ۵۰ درصد تحت تأثیر دانسیتهٔ تخته و ۴۹/۸ درصد تحت تأثیر دانسیتهٔ گونهٔ چوبی قرار دارد. باربوتیس و فیلیپو (۲۰۰۷) افزایش هم‌زمان دانسیتهٔ گونهٔ چوبی و دانسیتهٔ تخته را در بهبود مقاومت چسبندگی داخلی تخته‌ها مؤثر می‌دانند [۸]. کای و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که با افزایش دانسیتهٔ تختهٔ خرده‌چوب سدر قرمز از ۰/۴ به ۰/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، مقاومت چسبندگی داخلی تخته‌ها به بالاترین میزان خود می‌رسد [۱۶].

نقشهٔ اثرگذاری‌های متقابل دانسیتهٔ تخته و دانسیتهٔ گونه بر مقاومت برشی در شکل ۲ نشان داده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲. نقشهٔ اثرگذاری‌های متقابل دانسیتهٔ تخته و دانسیتهٔ چوب بر مقاومت برشی موازی سطح

در تخته‌های با دانسیتهٔ بین ۶۲۰ ـ ۷۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب، که با چوب‌های با دانسیتهٔ ۶۳۰ ـ ۷۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب ساخته شده‌اند، مقاومت برشی به حداکثر میزان خود (۹/۵ مگاپاسکال) رسیده است. طبق استاندارد EN ۳۱۲، مقدار مقاومت چسبندگی داخلی پانل‌های تختهٔ خرده‌چوب برای مصارف عام و کاربردهای داخلی به‌ترتیب ۰/۲۸و ۰/۴ مگاپاسکال است [۱۵]. با توجه به فرمول تبدیل خطی معادلهٔ رگرسیونی وانگ می‌توان دریافت که حداقل مقدار مقاومت برشی لازم برای تختهٔ خرده‌چوب ۱/۲۲ ــ ۳ مگاپاسکال است [۱۷]. نتایج نشان می‌دهند تمام تخته‌های ساخته‌شده دارای مقاومت برشی بالاتر از این مقادیرند. بنابراین، با ساخت تخته‌هایی با دانسیتهٔ حدود ۵۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب از چوب‌های با دانسیتهٔ ۴۶۰ـ۷۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب نیز می‌توان مقاومت برشی تخته‌ها را در سطح اعلام‌شده در این استانداردها نگه داشت.

جذب آب و واکشیدگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری

نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس جذب آب تخته‌ها نشان داد که دانسیتهٔ گونهٔ چوبی و دانسیتهٔ تخته در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌داری بر این ویژگی دارند. مدل پیش‌بینی جذب آب در دو گام تشکیل شد. مدل‌ها با ضرایب استانداردنشده و استانداردشده به شرح زیرند:

(۵)

$$WA\ 24h = 91/912 - 0/055D + 0/049\ W\ (US)$$

(۶)

$$WA\ 24\ h = -0/298D + 0/401\ W\ (S)$$

$R^2 = 0/491$, $F = 37/556^{**}$ معنی‌دار در سطح ۱ درصد

ضریب تبیین رگرسیون نشان می‌دهد که این مدل توانایی پیش‌بینی مقدار جذب آب را در حدود ۴۹/۱ درصد دارد که این مقدار نسبتاً پایین است و برای پیش‌بینی جذب آب دقت کمی دارد. میزان تأثیرگذاری متغیرها بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در مدل با ضرایب استانداردشده مشهود است. این ضرایب نشان می‌دهند که از ۱۰۰ درصد تغییرات مربوط به جذب آب، حدود ۴۲/۶ درصد تحت تأثیر دانسیتهٔ تخته و ۵۷/۴ درصد تحت تأثیر دانسیتهٔ گونه قرار دارد. دوست‌حسینی (۲۰۰۸) گزارش کرد با افزایش دانسیتهٔ مواد اولیه، جذب آب و واکشیدگی ضخامت پانل‌های چوبی افزایش می‌یابد [۱].

Archive of SID

www.SID.ir

دانسیتهٔ گونهٔ چوبی و دانسیتهٔ تخته، در سطح ۱ درصد، تأثیر معنی‌داری بر واکشیدگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری دارند. مدل پیش‌بینی واکشیدگی ضخامت در گام دوم تشکیل شد. مدل‌ها با ضرایب استانداردنشده و استانداردشده به شرح زیرند:

(۷)

$$TS\ 24\ h=-8/828+0/037\ D+0/012\ W\ \ (US)$$

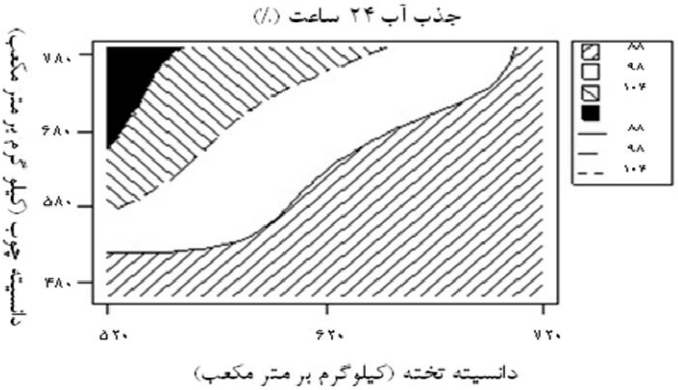
$$TS\ 24\ h=0/759D+0/507\ W\ \ (S) \qquad (8)$$

$R^2=0/833,\ F=14/994^{**}$ معنی‌دار در سطح ۱ درصد

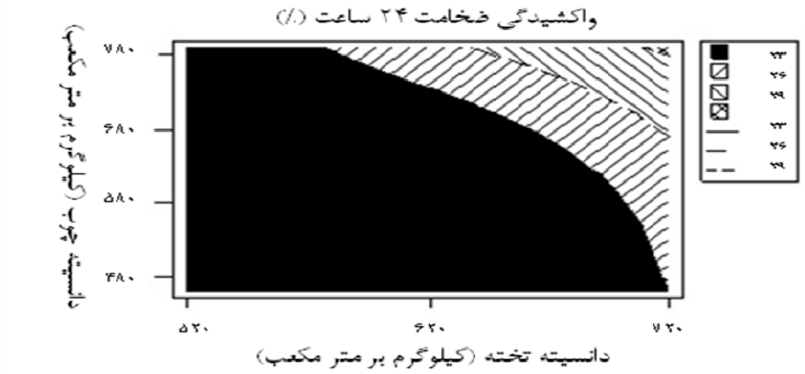
مدل در گام دوم که کامل‌ترین مدل برای واکشیدگی ضخامت است ضریب تبیین نسبتاً بالایی (۰/۸۳۳) دارد. با نگاهی به معادلهٔ مدل با ضرایب استانداردشده می‌توان دریافت که ۵۲/۶ درصد از تغییرات این ویژگی تحت تأثیر دانسیتهٔ تخته و حدود ۴۷/۴ درصد تغییرات واکشیدگی ضخامت تحت تأثیر دانسیتهٔ گونه است. طبق این معادلات، افزایش دانسیتهٔ تخته و دانسیتهٔ چوب، تأثیر مثبتی بر افزایش واکشیدگی ضخامت دارد. اصلاح و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش دانسیتهٔ تخته‌ها، واکشیدگی ضخامت افزایش می‌یابد [۳].

زوو (۱۹۹۰) خواص مکانیکی OSB را در سه دانسیتهٔ مختلف بررسی کرد و نشان داد که افزایش دانسیتهٔ تخته اثر مثبت بر خواص مکانیکی آن مانند MOR، MOE، IB و همچنین قدرت نگه‌داری پیچ و میخ دارد، اما واکشیدگی ضخامت آن‌ها را زیاد می‌کند [۱۸].

نقشهٔ اثرگذاری‌های متقابل دانسیتهٔ تخته و دانسیتهٔ چوب بر جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته‌ها در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳. نقشهٔ اثرگذاری متقابل دانسیتهٔ تخته و دانسیتهٔ چوب بر جذب آب بعد از ۲٤ ساعت غوطه‌وری



شکل ٤. نقشهٔ اثرگذاری متقابل دانسیتهٔ تخته و دانسیتهٔ چوب بر واکشیدگی ضخامت بعد از ۲٤ ساعت غوطه‌وری

Archive of SID
www.SID.ir

با توجه به شکل ۴، در تخته‌های سنگین‌تر ساخته‌شده از چوب‌های با دانسیتهٔ بیشتر (دانسیتهٔ تختهٔ Kg/m^3 ۶۴۰ ـ ۷۲۰ و دانسیتهٔ چوب حدود Kg/m^3 ۷۵۰ ـ ۷۹۰) حداکثر میزان واکشیدگی ضخامت دیده می‌شود (۲۹ درصد و بیشتر). گفتنی است واکشیدگی ضخامت تخته‌های همهٔ تیمارها بیشتر از میزان تعیین‌شده در استاندارد EN ۳۱۲ است. کالایچیگلو و همکاران (۲۰۰۵) معتقدند برگشت ضخامت تخته‌ها در زمان غوطه‌وری در آب باعث ثبات ابعادی کمی می‌شود که رفتار رایج چندسازه‌های چوبی است [۱۹]. نملی (۲۰۰۲) تیمارهایی مانند پوشاندن سطح تختهٔ خرده‌چوب با کاغذهای ملامینه یا لامینه‌شده یا استفاده از دمای بالای پرس را در افزایش ثبات ابعادی مؤثر می‌داند [۲۰].

بحث و نتیجه‌گیری

امکان پیش‌بینی اثر دانسیتهٔ گونه و دانسیتهٔ تخته بر ویژگی‌های تختهٔ خرده‌چوب همسان به‌وسیلهٔ معادلات رگرسیونی بررسی شد. با نگاهی به مدل‌های مقاومت خمشی ـ که در گام دوم تشکیل شدند ـ می‌توان دریافت افزایش دانسیتهٔ تخته و کاهش دانسیتهٔ چوب مقاومت خمشی تخته‌ها را افزایش می‌دهد (مدل‌های ۱ و ۲). با توجه به ضریب تبیین نسبتاً کم معادلات مقاومت برشی موازی سطح (۵۰/۲ درصد)، این مدل دقت چندان بالایی در پیش‌بینی این ویژگی ندارد. مدل با ضرایب استانداردشدهٔ مقاومت برشی موازی با سطح نشان داد هر دو متغیر دانسیتهٔ تخته و دانسیتهٔ گونه تأثیر تقریباً برابری بر افزایش این مقاومت دارند (مدل ۴). از آنجا که هنگام افزایش دانسیتهٔ پانل‌های چوبی، فشردگی و تماس بین خرده‌های چوب بیشتر می‌شود و اتصالات قوی‌تری بین آن‌ها ایجاد می‌گردد، بنابراین، بدون نیاز به چسب بیشتر، از رزین استفادهٔ مؤثرتری می‌شود و عموماً مقاومت‌های مکانیکی پانل‌های چوبی افزایش می‌یابد [۴]. با مصرف مادهٔ اولیه با دانسیتهٔ کمتر، در تخته‌هایی با دانسیتهٔ پایین و متوسط نیز ضریب فشردگی در سطح مقبولی بوده و مقاومت‌های تخته در حد مطلوبی حفظ می‌شود. برای مدول الاستیسیته مدلی ارائه نشد، زیرا تأثیر دانسیتهٔ گونهٔ چوبی و دانسیتهٔ تخته بر این ویژگی معنی‌دار نبود. مدل جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در دو گام تشکیل شد. با توجه به اینکه ضریب تبیین آن اندکی کمتر از ۵۰ درصد بود، این مدل برای پیش‌بینی جذب آب دقت کافی ندارد و قابل استناد نیست. با توجه به مدل‌های ۷ و ۸، افزایش دانسیتهٔ تخته و دانسیتهٔ گونهٔ چوبی منجر به افزایش واکشیدگی ضخامت می‌شود. در دانسیتهٔ بالا وجود مادهٔ چوبیِ بیشتر، موجب کاهش پایداری ابعادی تخته‌ها می‌شود [۹].

نتایج نقشه‌های اثرگذاری متقابل عوامل متغیر (برگرفته از نرم‌افزار minitab) حاکی از این بود که با افزایش دانسیتهٔ تختهٔ خرده‌چوب همسان، عموماً خواص مکانیکی تخته‌ها به بیشترین میزان افزایش می‌یابد، ولی با توجه به اهمیت کمبود منابع اولیهٔ چوبی در ایران و لزوم حفظ و نگه‌داری آن برای نسل‌های آینده و همچنین مقایسه با استانداردهای EN، تخته‌های با دانسیتهٔ کمتر (۵۲۰ ـ ۶۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب) نیز دارای حد نصاب مقاومت‌های مکانیکی تعیین‌شده توسط استاندارد مربوطه‌اند. ضمن اینکه واکشیدگی ضخامت آن‌ها را نیز می‌توان با استفاده از مقادیر معمول مواد ضد آب کاهش داد.

در نتیجه‌گیری کلی، می‌توان گفت مدل‌هایی که با هدف پیش‌بینی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تختهٔ خرده‌چوب همسان در شرایط اشاره‌شده به‌دست آمدند، فقط در سطوح متغیرهای درنظرگرفته‌شده و در شرایط آزمایشگاهی اشاره‌شده معتبرند و با توجه به اینکه در واحدهای صنعتی عموماً تختهٔ خرده‌چوب سه‌لایه یا تدریجی ساخته می‌شود (نه همسان)، اصولاً باید نتایج آزمایشگاهی را ابتدا در مقیاس پایلوت (نیمه‌صنعتی) و بعد از آن در مقیاس صنعتی مطالعه و مقایسه کرد.

Archive of SID

www.SID.ir

References

[1]. Doosthoseini, K. (2008). Wood Composite Materials, Manufacturing, Applications, Vol 1, Tehran University Press, Iran, 647 pp.

[2]. Dias, F. M., Nascimento, M. F., Martinez-Espinosa, M., Lahr, F. A. R., and Domenico Valarelli, I. (2005). Relation between the compaction rate and physical and mechanical properties of particleboard. Materials Research, 8(3):329-333.

[3]. Eslah, F., Enayati, A. A., Faezipour, M., and Tajvidi, M. (2011). Investigation the effect of increasing board density and amount of UF resin on particleboard properties. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 2(1): 103-113.

[4]. Eslah, F., Enayaty A.A, Tajvidi, M., and Faezipour, M.M. (2012). Regression models for the prediction of poplar particleboard properties based on urea formaldehyde resin content and board density. Journal of Agricultural Science and Technology, 14(6): 1321-1329

[5]. Arabi, M., Faezipour, M., Layeghi, M., and Enayati, A.A. (2011). Interaction analysis between slenderness ratio and resin content on mechanical properties of particleboard. Journal of Forestry Research, 22(3):461–464.

[6]. Dai, C., Yu, C., and Jin, J. (2008). Theoretical modeling of bonding characteristics and performance of wood composites. Part IV. Internal bond strength. Wood and Fiber Science, 40(2): 146–160.

[7]. Hiziroglu, S., Jarusombuti, S., and Fuengvivat, V. (2005). Surface characteristics of wood composites manufactured in Thailand. Journal of Building and Environment, 39:1359-64.

[8]. Barboutis, J. A., and Philippou, J. L. (2007). Evergreen mediterranean hardwoods as particleboard raw material. Journal of Building and Environment, 42:1183-1187.

[9]. Lin, C. J., Hiziroglu, S., Kan, S. M., and Lai, H. U. (2008). Manufacturing particleboard panels from Betel Palm (Area catechulinn). Journal of Materials Processing, 97:445-448.

[10]. Hayashi, K., Ohmi, M., Tominaga, H., and Fukada, K. (2003). Effect of board density on bending properties and dimensional stabilities of MDF-reinforced corrugated particleboard. Wood Science and Technology, 49:398-404.

[11]. EN 326. (1993). Wood Based Panels. Sampling, Cutting and Inspection. Sampling and cutting of test pieces and expression of test results. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium.

[12]. EN 317. (1993), Particleboard and fiberboards. Determination of swelling in thickness after immersion in water. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium.

[13]. EN 310. (1993). Wood Based Panel. Department of modulus of elasticity in bending and bending strength. European Committee for Standardization, Brussels. Belgium.

[14]. American Society for Testing Materials (ASTM). (1999). Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials static tests of timbers. D 1037-93, ASTM, Philadelphia, PA.

[15]. EN 312. (2003). Particleboards-Specifications. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

[16]. Cai, Z., Wu, Q., Lee, J. N., and Hiziroglu, S. (2004). Influence of Board density, Mat construction, and chip type on performance of particleboard made from eastern redcedar. Forest Products Journal and Index, 54(12), 226-232.

[17]. Wang, S.Y., Chen, T.Y., and Fann, J.D., (1999). Comparison of internal bond strength and compression shear strength of wood-based materials. Journal of Wood Science, 45: 396–401.

[18]. Zhou, D. 1990. A Study of oriented strand board made from hybrid poplar. Holz als Roh-und werk stoff, 48:293-296.

[19]. Kalaycioglu, H., Deniz, I., and Hiziroglu, S. (2005). Some of properties of particleboard from paulownia. Journal of Wood Science, 51(4):410-414.

[20]. Nemli, G. (2002). Factors Affecting the Production of E 1 type Particleboard. Turkish journal of Agriculture and. Forestry, 6 (1): 31-36.

Archive of SID

www.SID.ir