

### ابوالفضل کارگرفرد<sup>۱\*</sup>، کاظم دوست حسینی<sup>۲</sup> و امیر نوربخش<sup>۱</sup>

\* ۱ - استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، مسئول مکاتبات [kargarfard@rifr-ac.ir](mailto:kargarfard@rifr-ac.ir)

۲ - دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

تاریخ دریافت مقاله: آذرماه ۱۳۸۶ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۸۶

## چکیده

این تحقیق به منظور بررسی امکان پیش‌بینی ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب با استفاده از معادلات و مدل‌های رگرسیونی انجام شده است. ۱۰۸ تخته آزمایشگاهی در قالب ۳۶ تیمار با ترکیب شرایط مختلف گرادیان رطوبت، ابعاد خرده چوب، درجه حرارت و زمان پرس ساخته شد و با استفاده از رگرسیون گام به گام، نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مدل بدست آمده برای مقاومت خمشی نشان داد که ابعاد خرده چوب مهمترین عامل تاثیرگذار بر این ویژگی بوده است و با افزایش ضریب کشیدگی خرده چوب، مقاومت خمشی تخته ها بهبود می یابد. مدل نهایی مدول الاستیسیته نشان داد که دو عامل ابعاد خرده چوب و گرادیان رطوبت به ترتیب شدت تاثیر وارد مدل شده است و هر دو عامل دارای تاثیر مثبت بر این ویژگی بودند. مدل نهایی برای چسبندگی داخلی نشان داد که تمام عوامل متغیر مورد بررسی دارای تاثیر معنی‌داری بر این ویژگی هستند. با این حال، مدل نشان داد که تاثیرگذاری دو عامل گرادیان رطوبت و ابعاد خرده چوب که دارای رابطه معکوس با IB می‌باشد، بیشتر از تاثیر دو عامل زمان و درجه حرارت پرس که دارای رابطه مثبت با چسبندگی داخلی هستند، می‌باشد. نتایج نشان داد که دو عامل گرادیان رطوبت و زمان پرس بترتیب شدت تاثیر در مدل رگرسیون واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت قرار گرفته‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** تخته خرده چوب، رگرسیون، گرادیان رطوبت، ابعاد خرده چوب، درجه حرارت و زمان پرس

## مقدمه

خواص کاربردی مطلوب، لازم است فرایند ساخت به ویژه مرحله پرس به طور دقیق تجزیه و تحلیل شده و فاکتورهای اساسی آن مورد توجه قرار گیرند، زیرا متغیرهای پرس، نقش تعیین کننده‌ای بر فرایند تولید و ویژگیهای تخته خرده چوب دارند. این عوامل پرس گرم باعث می‌گردند تا تماس کافی بین ذرات چوب ایجاد شده و اتصالات مقاومی بر اثر سخت شدن کامل چسب بوجود آیند. این اتصالات باعث می‌شوند تا در انتهای مرحله پرس، کیک اولیه کاملاً سخت و مقاوم گشته و به صورت صفحه سالمی از پرس خارج گردد.

در بین اوراق فشرده چوبی، صنایع تخته خرده چوب به دلیل استفاده از چوبهای کم ارزش و ضایعات چوبی و لیگنوسلولزی جهت تولید محصولی با خواص کاربردی متنوع و مطلوب از رشد و توسعه قابل ملاحظه‌ای برخوردار بوده است. در فرایند تولید تخته خرده چوب، ذرات چوب یا مواد لیگنوسلولزی پس از مخلوط شدن با چسب، به صورت کیک خرده چوب با ضخامت زیاد و دانسیته حجمی کم، آماده می‌شوند و کیک خرده چوب در پرس گرم تا ضخامت نهایی و دانسیته مورد نظر فشرده و متراکم می‌گردد. برای تولید محصولاتی با کیفیت زیاد و

حال انجام می‌باشد. این تحقیق نیز با هدف تلاش برای دستیابی به مدل‌هایی با استفاده از معادلات رگرسیون که توانایی پیش‌بینی خواص تخته خرده چوب تولیدی را با توجه به تغییرات شرایط ساخت داشته باشند، به انجام رسیده است.

بسیاری از پژوهشگران، تحقیقات خود را بر روی تاثیر عوامل ساخت بر پدیده‌هایی که در مرحله پرس گرم در کیک خرده چوب اتفاق می‌افتد متمرکز ساخته‌اند. Anazawa و Namioika (۱۹۸۱) در بررسی‌های خود روی تخته خرده چوب نشان دادند که تاثیر ترکیب رطوبت و گرما در طی مرحله پرس گرم باعث پلاستیکی شدن چوب شده و این امر می‌تواند باعث کاهش واکشیدگی ضخامت تخته خرده چوب گردد. در همین زمینه Chelak و Newman (۱۹۹۱) نشان داده‌اند که ایجاد یک رطوبت زیاد در تخته‌های ساخته شده یا چسب ایزوسیانات باعث کاهش واکشیدگی ضخامت آنها می‌گردد. در فرایند تولید صفحات مرکب چوبی به روش، خشک مانند تخته خرده چوب، اگر کیک خرده چوب دارای رطوبت زیادی باشد تخته‌های تحت پرس گرم ممکن است مانند یک کپسول فشار عمل نموده و درجه حرارت بالا و رطوبت زیاد ممکن است در مغز تخته بوجود آمده که در پرس گرم تحت فشار بخار احتمالاً بعد از باز شدن پرس، تخته‌ها از وسط باز شوند که این پدیده یک عامل محدوده کننده در انتخاب رطوبت اولیه کیک، قبل از وارد شدن به پرس گرم می‌باشد. بنابراین لازم است، رطوبت کیک خرده چوب کمتر از ۱۲ درصد باشد.

در همین رابطه، Myers (۱۹۸۶) نشان داد که در ساخت تخته فیبر سخت در فرایند نیمه خشک، میزان رطوبت کیک زیادتر از نقطه اشباع الیاف تاثیر سودمندی در کم کردن واکشیدگی ضخامت تخته‌ها نخواهد داشت زیرا دوره‌های رطوبت زیاد و حرارت به طور توأم اتفاق نمی‌افتد و تاثیر مثبت وقوع هم‌زمان این دو عامل از بین می‌رود. Hawke و همکاران (۱۹۹۳) در تحقیقات خود

از آنجائی که دستیابی به اطلاعات تجربی مورد نیاز برای شناخت و تجزیه و تحلیل فرایند پرس بسیار دشوار است، بنابراین طراحی یک مدل ریاضی که قادر به بهینه‌سازی دوره پرس باشد، داده‌ها و اطلاعات بسیار متنوع و با ارزشی را برای ما فراهم می‌سازد. اهداف نهایی بعضی از پژوهش‌های انجام شده بر توسعه چنین مدل‌هایی استوار بوده است. در این پژوهش‌ها، طرح آزمایش‌هایی به منظور درک آماری از متغیرهای تولید نظیر نوع و دانسیته ماده اولیه، فرم هندسی خرده چوب‌ها، رطوبت کیک، دمای صفحات و زمان پرس ابداع گردیده است. به هر حال، تاکنون با وجود انجام چنین تحقیقاتی، کاملاً روشن نشده است که چه تفاوتی بین نتایج حاصل از پژوهش‌های آزمایشگاهی و رفتاری که در طی عملیات پرس گرم در خط تولید اتفاق می‌افتد، وجود دارد. این مسئله یکی از دلایل طراحی و توسعه مدل‌های ریاضی می‌باشد، زیرا تنظیم و بهینه‌سازی نتایج آزمایشگاهی که با سهولت و هزینه کمتری فراهم می‌گردند و مقایسه و تطابق آنها با عملیاتی که به طور واقعی در فرایند تولید به انجام می‌رسد ضروری است. یک مدل جامع برای شناخت و تحلیل فرایند پرس باید قادر به پیش‌بینی تغییرات دما و رفتار مربوط به آن در لحظات مختلف دوره پرس باشد. افزون بر این، مدل مورد نظر باید بتواند تغییرات حاصل از پارامترهای موثر در فرایند تولید را محاسبه و تحلیل نماید. در همین راستا، در سال‌های اخیر، تلاش‌های فراوانی به منظور ارائه مدل‌های مختلف ریاضی در جهت پیش‌بینی خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب تولید شده، انجام گردیده است. هر چند با توجه به آزمایش‌های تجربی و اثرات پیچیده عوامل ساخت بر ویژگی‌های محصول نهایی ارائه مدل بسیار مشکل و نیاز به تحلیل‌های جامع آماری دارد، ولی به دلیل اینکه مدل‌ها در پیش‌بینی خواص نهایی محصول و کاهش هزینه‌های تولید از توانایی بالایی برخوردار هستند، در سال‌های اخیر تحقیقات وسیعی در این زمینه به انجام رسیده و یا در

حاصل از متراکم شدن کیک اقدام به ساخت محصولات مرکب کردند. آنان در این بررسی مدلی را بدست آوردند که با استفاده از آن امکان پیش بینی چگونگی متراکم شدن کیک خرده چوبها در طی دوره پرس گرم وجود دارد. آنها همچنین دریافتند که بطور اساسی در طی بسته شدن پرس وقتی که کیک خرده چوب تحت فشردگی تک محوری در جهت عمود بر سطح قرار می گیرد، متراکم شدن کیک اتفاق می افتد. مدل تنش و کرنش فشرده شدن برای ساختمانهای مختلف کیک شکل داده شده با استفاده از خرده چوبهای نظم یافته و تصادفی به کار رفت و اگر چه مقادیر محاسبه شده توسط مدل کمی بالاتر از مقادیر حاصل از نتایج آزمایشگاهی بود، ولی مدل، هماهنگی خوبی با اطلاعات تجربی حاصل نشان داد. آنها نتیجه گرفتند این مدلها می توانند بطور معنی داری در متعادل سازی تولید صفحات مرکب چوبی از نظر شکل گیری کیکهای خرده چوب در طی دوره پرس با توجه به تنش های فشردگی عمل نمایند.

در تحقیقات انجام شده توسط Geimer و Kwon (۱۹۹۹) به منظور بررسی واکنشهای ویژگیهای تخته تراشه به روش تزریق بخار و مقایسه آن با روش پرس معمولی، آنان دریافتند که کاهش در واکنشیدگی ضخامت با زمان و فشار بخار زنی متناسب بوده، به نحوی که میزان واکنشیدگی ضخامت در تخته های پرس شده با روش معمولی که در حدود ۴۰ درصد اندازه گیری گردید. در تخته هایی که در معرض زمان بخار زنی ۲۰ ثانیه و فشار بخار ۶۰۰ کیلو پاسکال قرار گرفتند به ۲۵ درصد کاهش یافت و در شرایط زمان بخار زنی ۴۰ ثانیه و فشار بخار زنی ۱۹۰۰ کیلو پاسکال به حدود ۶ درصد رسید. اعتقاد آنها در مورد این کاهش، این است که این کاهش به دلیل پلاستیکی شدن تراشه ها تحت پدیده «جریان یافتن لیگنین» و اصلاح شیمیایی چوب می باشد. آنها همچنین دریافتند که خواص خمشی تخته های پرس شده با روش تزریق بخار بطور قابل توجهی پائین تر از تخته های پرس

توانستند با استفاده از چسبهای ایزوسیانات بدون اینکه فشار بخار بدست آمده در پرس گرم باعث ورقه شدن و باز شدن تخته ها بعد از خروج از پرس شوند، اقدام به ساخت تخته خرده چوب و تخته تراشه با رطوبت کیک ۲۰ درصد نمایند. آنها عنوان می کنند تخته های تولید شده با این روش پایداری بهتر در مقابل واکنشیدگی ضخامت و جذب آب دارند.

Harless و همکاران (۱۹۸۷) مدلهای ریاضی برای پیش بینی درجه حرارت درون کیک و مقدار رطوبت در تخته خرده چوب در طی فرایند پرس گرم را مورد ارزیابی و توسعه قرار داده و بیان می کنند که معادلات ترمودینامیک در یک کیک خرده چوب به صورت موضعی و محلی فرض شده است. بنابراین هر گونه مقاومتی در مقابل انتقال حرارت و جرم بین فاز گاز و ترکیبات چوب ناچیز می باشد. در تحقیقی مشابه Kamke و همکاران (۱۹۹۱) روشی را برای برآورد فشار نسبی بخار، مقدار رطوبت تعادل، میانگین درجه حرارت خرده چوب و میانگین رطوبت خرده چوب در یک کیک تخته تراشه در طی پرس گرم را معرفی کردند. آنها یک مدل انتقال جرم و حرارت را برای پیش بینی مقدار رطوبت و درجه حرارت داخل یک تراشه در طی پرس گرم ارائه داده و نتیجه گرفتند که معادله های ترمودینامیک بین فاز گاز و ترکیبات چوب در طی پرس گرم برقرار نمی شود.

تحقیقات انجام شده توسط Rauch (۱۹۸۴) بر روی تاثیر درجه حرارت بر خواص تخته خرده چوب مشخص کرد که درجه حرارت بین ۱۰۰ تا ۱۸۰ درجه سانتیگراد، چسبندگی داخلی تخته و خواص خمشی آن با افزایش یافتن درجه حرارت پرس، افزایش می یابد و در بالاتر از ۱۸۰ درجه سانتیگراد در همه خواص مقاومتی تخته ها، کاهش مشاهده می گردد.

Oudjehane و همکاران (۱۹۹۸) به منظور ارائه یک مدل برای پیش بینی واکنش بین متغیرهای تولید و فشرده شدن کیکهای خرده چوب و نحوه شکل گیری تنشهای

سانتی‌متر مربع و سرعت بسته شدن پرس ۱/۵ میلی‌متر بر ثانیه ثابت در نظر گرفته شد.

برای تهیه خرده چوب از چوب‌های کاتین با قطر بین ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر استفاده گردید. چوبها با استفاده از یک خردکن غلطکی آزمایشگاهی از نوع Pallman PHT 430 120- به خرده چوب درشت تبدیل شدند. سپس با استفاده از یک آسیاب حلقوی از نوع Pallman PZ8 به خرده چوب قابل استفاده در ساخت تخته خرده چوب تبدیل شدند. برای بدست آوردن خرده چوب‌های با ابعاد مناسب، از دو الک با منافذ درشت و ریز به ترتیب برای جدا کردن خرده چوب‌های بسیار درشت و بسیار ریز که خارج از درجه‌بندی مناسب هستند، استفاده گردید. سپس خرده چوب‌های مناسب ساخت تخته با استفاده از یک الک با منافذ متوسط در گروه ریز و درشت طبقه‌بندی شدند. سپس خرده چوبها با استفاده از یک خشک‌کن گردان با درجه حرارت ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و رطوبت آنها به سطح ۱ درصد کاهش یافت که پس از تخلیه در کیسه‌های مقاوم و عایق رطوبت بسته بندی گردید. تعیین ریزی و درشتی خرده چوبها برای هر دو گروه ریز و درشت بر اساس استاندارد Bison Quality Control 44011 و به کمک یک دستگاه الک الکتریکی آزمایشگاهی انجام گرفت. نتایج حاصل به صورت هیستوگرام در شکل ۱ قابل مشاهده است.

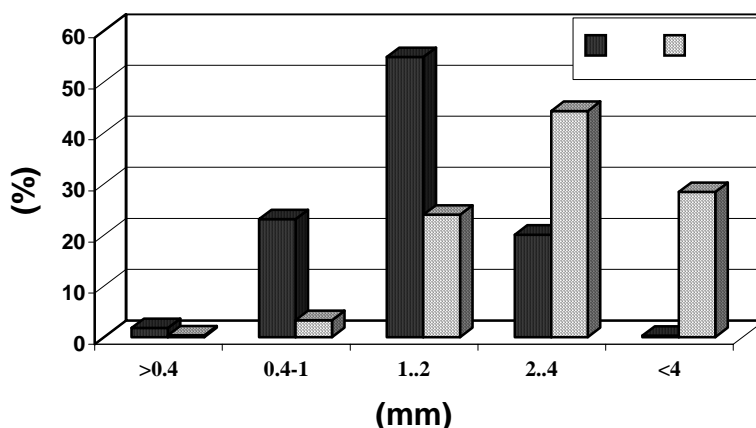
برای چسب‌زنی از یک دستگاه چسب زن استوانه‌ای آزمایشگاهی استفاده شد و خرده چوبها در داخل استوانه در حال چرخش توسط پیستوله چسب پاشی شدند. با توجه به اینکه گرادیان رطوبت در ضخامت یک خرده چوب یکی از عوامل متغیر این تحقیق بود، خرده چوب‌های لایه سطحی و مغزی بطور جداگانه چسب‌زنی گردید.

شده با روش معمول است که مربوط به زمانهای پرس خیلی کوتاه و کاهش گرادیان عمودی دانسیته در تخته‌های ساخته شده با این روش است، اگر چه این تخته‌ها دارای خواص برشی مطلوبی هستند.

Hata و همکاران (۱۹۹۰) با استفاده از مدل‌سازی به روش عناصر محدود (Finite Element)، پراکنش حرارت در ذرات کیک خرده چوب در طی فرایند پرس معمولی و پرس کردن با تزریق بخار تحت شرایط مختلف را مورد آنالیز عددی قرار دادند. نتایج حاصل از این آنالیز عددی، هماهنگی خوبی با نتایج حاصل از آزمایشهای تجربی داشته است و در هر دو روش پرس کردن برای پیش‌بینی رفتار حرارتی ذرات کیک در طی پرس این تئوری تحلیلی مفید بوده است. آنها نتیجه گرفتند که در فرایند پرس معمولی، درجه حرارت مغز متناسب با درجه حرارت صفحات گرم پرس افزایش یافته است و با مربع ضخامت کیک نسبت عکس دارد.

## مواد و روشها

در این تحقیق با استفاده از چوب راش و کاربرد عوامل متغیر گرادیان رطوبت کیک خرده چوب در ۳ سطح صفر، ۳ و ۶ درصد بین لایه‌های سطحی و میانی، خرده چوب در دو نوع ریز و درشت، درجه حرارت پرس ۱۶۵ و ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد و ۳ زمان پرس ۳، ۴ و ۵ دقیقه اقدام به ساخت تخته‌های آزمایشگاهی شد. دیگر شرایط ساخت، شامل وزن مخصوص تخته در حد ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، رطوبت کیک خرده چوب ۱۰ درصد، مقدار مصرف چسب ۱۰ درصد (بر اساس وزن خشک خرده چوب)، فشار پرس ۳۰ کیلو گرم بر



شکل ۱ - درصد پراکنش ریزی و درشتی خرده چوبهای مورد استفاده

جدول ۱- میانگین طول، عرض، ضخامت و ضریب کشیدگی دو نوع خرده چوب ریز و درشت

(m.m)	
/	/
/	/
/	/
/	/

تنشهای داخلی، تخته‌های ساخته شده به مدت ۱۵ روز در شرایط آزمایشگاهی نگهداری گردیدند. نمونه‌های آزمونی برای تعیین ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها مطابق استاندارد DIN تهیه گردیدند. مقاومت خمشی (MOR)، مدول الاستیسیته (MOE)، چسبندگی داخلی (IB) و واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب تخته‌ها (T.S<sub>24</sub> و T.S<sub>2</sub>) تعیین گردید.

چون هدف این تحقیق، ارائه مدل‌های رگرسیونی که توانایی پیش بینی ویژگیهای تخته خرده چوب تولید شده را تحت شرایط مختلف ساخت داشته باشد، بوده است. بنابراین در این بررسی از مدل‌سازی رگرسیون به روش گام به گام استفاده شده است که مدل‌های بدست آمده برای ویژگیهای مکانیکی و فیزیکی اندازه‌گیری شده در صورتی

به منظور تشکیل کیک خرده چوب از یک قالب چوبی به ابعاد ۴۰×۴۰ سانتی متر استفاده شد و خرده چوبهای چسب‌زنی شده که به وسیله ترازوی آزمایشگاهی وزن شده بود، به صورت لایه‌های یکنواخت در داخل قالب پاشیده شدند. پس از تشکیل کیک خرده چوب، با استفاده از یک پرس آزمایشگاهی از نوع BURKLE L100 اقدام به فشردن کیک خرده چوب و ساخت تخته‌های آزمایشگاهی گردید. با توجه به شرایط در نظر گرفته شده از ترکیب ۴ متغیر در سطوح مختلف، ۳۶ تیمار حاصل شد که برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد که در مجموع ۱۰۸ تخته آزمایشگاهی ساخته شد.

بعد از پایان مرحله پرس، به منظور مشروط‌سازی و یکنواخت سازی رطوبت تخته‌ها و همچنین متعادل‌سازی

معیاری برای اندازه‌گیری کفایت مدل رگرسیون برای هر مدل حاصل شده تعیین و درج گردیده است.

### نتایج

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مقاومت خمشی تخته‌ها برای تعیین مدل رگرسیون نشان داد که از میان عوامل متغیر مورد بررسی ابعاد خرده چوب (P.S)<sup>1</sup> تاثیر معنی‌داری در مدل داشته است و مدل رگرسیون پیش‌بینی مقاومت خمشی تخته‌ها تنها شامل یک گام بوده است. مدل رگرسیون حاصل، نشان داده است که تنها تاثیر ابعاد خرده چوب در سطح اعتماد ۹۹ درصد بر مقاومت خمشی معنی‌دار می‌باشد و عامل ابعاد خرده چوب به عنوان متغیری که بیشترین تاثیر را در تغییرات مقاومت خمشی دارد، وارد مدل شده است. تاثیر این عامل بر مقاومت خمشی، مستقیم و مثبت بوده و افزایش ابعاد خرده چوب باعث زیاد شدن مقاومت خمشی تخته‌ها می‌شود. مدل رگرسیون مقاومت خمشی در گام اول که تنها مدل بدست آمده با توجه به تاثیر معنی‌دار عوامل متغیر مورد بررسی می‌باشد در دو حالت مدل با ضرایب استاندارد نشده و مدل با ضرایب استاندارد به شرح زیر می‌باشد:

مدل با ضرایب استاندارد نشده (US)  $MOR = ۱۴/۴۳ + ۴/۲۳ (P.S)$

مدل با ضرایب استاندارد شده (S)  $MOR = ۰/۹۲۶ (P.S)$

ضریب تبیین  $R^2 = ۰/۸۵۸$

مدل نهایی برای مدول الاستیسیته در گام دوم حاصل شده است و ابعاد خرده چوب و گرادیان رطوبت<sup>2</sup> (M.G) دارای بیشترین تاثیر معنی‌دار بر MOE بوده و به همین دلیل در مدل وارد شده‌اند. تاثیر این دو عامل بر این

که از نظر آماری در سطح معنی‌داری قرار داشته است، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. مدل‌های ریاضی ارائه شده با توجه به بیشترین تاثیر هر کدام از عوامل متغیر مورد بررسی، در هر گام وارد مدل شده و با وارد کردن عامل متغیر بعدی که تاثیر کمتری نسبت به عامل متغیر قبلی داشته است، مدل مزبور تکمیل گردیده است. در صورتی که تاثیر هر عامل متغیر بر ویژگی‌اندازه‌گیری شده از نظر آماری در سطح معنی‌داری نبوده است، از وارد کردن آن عامل در مدل فوق صرف نظر گردیده و مدل رگرسیون در آن گام به منزله کامل‌ترین مدل تلقی گردیده است. همچنین مدل‌های حاصل در دو حالت که شامل مدل با ضرایب استاندارد نشده و مدل با ضرایب استاندارد شده می‌باشند ارائه گردیده است. در حالتی که مدل با ضرایب استاندارد نشده ارائه شده است، با قرار دادن و تغییرات مقادیر مشخصی از متغیرهای مستقل وارد شده در مدل، می‌توان میزان ویژگی مورد بررسی و یا به عبارتی مقدار متغیر وابسته را پیش‌بینی نمود. درحالی که در مدل ارائه شده با ضرایب استاندارد، مدل فوق فاقد توانایی پیش‌بینی مقدار متغیر وابسته می‌باشد و ضرایب موجود در این مدل که برای هر متغیر مستقل ارائه شده است، نشان دهنده ضریب تاثیرگذاری آن عامل بر روی ویژگی مورد بررسی در مقام مقایسه با دیگر عوامل متغیر مستقل موجود در آن مدل می‌باشد. همچنین ضریب تبیین ( $R^2$ ) به عنوان

با توجه به ضریب تبیین ( $R^2$ ) مدل فوق مشخص می‌شود که تاثیر ابعاد خرده چوب بر مقاومت خمشی تخته‌ها بسیار زیاد می‌باشد و با تغییر دادن ابعاد خرده چوب مصرفی در ساخت تخته‌ها می‌توان با حدود ۸۶ درصد اعتماد تغییرات مقاومت خمشی را پیش‌بینی نمود.

1- Particle Size

2 - Moisture Gradient

در حدود ۲ برابر تاثیر گرادیان رطوبت (۰/۴۲۸) می‌باشد. به عبارت بهتر، این ضرایب نشان می‌دهند که از ۱۰۰ درصد تغییرات مدول الاستیسیته در حدود ۶۷ درصد تحت تاثیر تغییرات ابعاد خرده چوب و ۳۳ درصد تحت تاثیر تغییرات گرادیان رطوبت می‌باشد.

مدلهایی که برای پیش بینی تاثیر عوامل متغیر بر چسبندگی داخلی بدست آمد، نشان داد که کلیه عاملهای متغیر شامل گرادیان رطوبت، ابعاد خرده چوب، درجه حرارت<sup>۱</sup> (P.Temp) و زمان پرس<sup>۲</sup> (P.T) با شدت تاثیرهای مختلف بر این ویژگی تاثیر معنی‌داری دارند. به عبارت دیگر، مدل‌های حاصل برای چسبندگی داخلی طی گامهای مختلف تکامل یافته و به دلیل اینکه کلیه عوامل متغیر تاثیر معنی‌داری بر IB داشته‌اند، مدل دارای چهار گام بوده که با توجه به مقدار و شدت تاثیر هر عامل بر چسبندگی داخلی در طی گامهای مختلف وارد مدل شده‌اند. مدل بدست آمده درگام چهارم با ضرایبهای استاندارد نشده و استاندارد شده و همچنین ضریب تبیین این مدل در زیر مشاهده می‌شود:

$$IB = 0/904 - 0/318 (M.G) - 0/132 (P.S) + 0/0735 (P.T) + 0/033 (P.Temp) \quad (US)$$

$$IB = -0/525 (M.G) - 0/446 (P.S) + 0/404 (P.T) + 0/224 (P.Temp) \quad (S)$$

$$R^2 = 0/688 \quad \text{ضریب تبیین}$$

عامل ابعاد خرده چوب به عنوان دومین متغیری که بیشترین تاثیر را بعد از گرادیان رطوبت بر IB داشته است وارد مدل شده است. ابعاد خرده چوب مانند گرادیان رطوبت تاثیر منفی بر چسبندگی داخلی داشته و با افزایش ابعاد خرده چوب از مقدار IB کاسته می‌شود. زمان پرس در گام سوم وارد مدل رگرسیون شده است، ولی تاثیر این عامل بر IB مثبت بوده است.

ویژگی مثبت بوده است. مدل رگرسیون MOE با ضرایب استاندارد نشده و استاندارد شده به صورت زیر می‌باشد

$$MOE = 1717/722 + 468 (P.S) + 67/722 (M.G) \quad (US)$$

$$MOE = 0/876 (P.S) + 0/428 (M.G) \quad (S)$$

ضریب تبیین  $R^2 = 0/951$

مدل در گام دوم که کاملترین مدل برای پیش‌بینی مدول الاستیسیته به شمار می‌آید دارای ضریب تبیین ( $R^2$ ) بسیار بالایی می‌باشد و این ضریب نشان می‌دهد که با حدود اعتماد ۹۵ درصد تغییرات مدول الاستیسیته تحت تاثیر دو عامل ابعاد خرده چوب و گرادیان رطوبت می‌باشد. مدل در این گام با ضرایب استاندارد نشده نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد خرده چوب و گرادیان رطوبت، مدول الاستیسیته افزایش قابل توجهی می‌باید به طوری که با افزایش هر یک درصد گرادیان رطوبت در حدود ۴۷ مگاپاسکال بر مقدار مدول الاستیسیته افزوده می‌گردد. ولی میزان ضریب تاثیر گذاری دو عامل ابعاد خرده چوب و گرادیان رطوبت بر (MOE) در مدل، با ضرایب استاندارد مشهود می‌باشد. با نگاهی به این معادله متوجه می‌شویم که میزان اثر ابعاد خرده چوب بر مدول الاستیسیته (۰/۸۷۶)

مدل ارائه شده با ضرایب استاندارد نشده نشان می‌دهد که گرادیان رطوبت دارای تاثیر کاهش دهنده و منفی بر چسبندگی داخلی می‌باشد به طوری که افزایش گرادیان رطوبت، کاهش IB را در پی خواهد داشت و این بدین معنا است که اگرچه افزایش رطوبت لایه سطحی تاثیر مثبتی در بالا بردن مدول الاستیسیته دارد، ولی کاهش مقاومت اتصال بین خرده چوبها در لایه میانی را در پی داشته است.

1- Press Temperature

2- Press Time

بهره‌مند بوده است. با نگاهی به جدول شماره ۱، ملاحظه می‌شود که ضریب کشیدگی خرده چوب درشت (۲۱/۸۸) زیادتر از خرده چوب ریز (۱۶/۰۶) می‌باشد و بدیهی است استفاده از خرده چوب‌هایی با ضریب کشیدگی بیشتر به ویژه در لایه سطحی که تغییرات مقاومت خمشی به مقدار زیادی تحت تاثیر کیفیت آن می‌باشد بواسطه دارا بودن نسبت طول به ضخامت بیشتر، میزان درهم رفتگی آنها را افزایش می‌دهد که در افزایش مقاومت خمشی موثر می‌باشد. همچنین افزایش ابعاد خرده چوبها باعث می‌گردد که سطح ویژه آنها کاهش یابد. بنابراین با افزایش یافتن ابعاد خرده چوب و ضریب کشیدگی، سطح مقطع و سطوح جانبی خرده چوبها که درصد قابل ملاحظه‌ای چسب دریافت می‌کنند ولی عملاً تاثیر زیادی بر فرایند اتصال بین خرده چوبها ندارند، کاهش مییابد و در نتیجه مقدار چسب بیشتری در ایجاد اتصال بین خرده چوبها شرکت کرده و می‌توانند نقش بهتری را در بوجود آوردن مقاومت خمشی داشته باشند. این دو عامل به همراه افزایش درهم رفتگی و فشردگی خرده چوبها در لایه سطحی، افزایش مقاومت خمشی تخته‌ها را به همراه خواهد داشت. مدول الاستیسیته نیز مانند مقاومت خمشی رابطه بسیار نزدیکی با کیفیت سطح تخته دارد و بنا به دلایلی که برای مدل پیش‌بینی کننده مقاومت خمشی تحت تغییرات ابعاد خرده چوب بیان گردید. افزایش ضریب کشیدگی خرده چوب باعث افزایش درهم رفتگی و تعداد نقاط اتصال بین خرده چوبها به دلیل افزایش مقدار چسب در واحد سطح خرده چوبها می‌گردد که در افزایش کیفیت سطح تخته موثر است. مدل پیش‌بینی کننده تغییرات مدول الاستیسیته در گام دوم تکمیل گردیده است و گرادیان رطوبت (M.G) به عنوان دومین متغیری که بیشترین تاثیر را بعد از ابعاد خرده چوب، بر مدول الاستیسیته، داشته است، وارد مدل شده است. تاثیر گرادیان رطوبت مانند ابعاد خرده چوب بر مدول

درجه حرارت پرس به عنوان آخرین عامل دارای تاثیر بر چسبندگی داخلی، وارد مدل شده است و در واقع می‌توان گفت که مدل رگرسیون چسبندگی داخلی در گام چهارم، کاملترین مدلی است که دارای بالاترین قابلیت پیش‌بینی تغییرات IB می‌باشد. ضریب تبیین ( $R^2$ ) رگرسیون نشان می‌دهد که مدل فوق توانایی پیش‌بینی تغییرات مقاومت چسبندگی داخلی را در حد ۶۹ درصد دارد. همچنین مدل در گام چهارم با ضرایب استاندارد شده نشان می‌دهد که میزان ضریب تاثیر درجه حرارت پرس بر چسبندگی داخلی در کمترین مقدار نسبت به دیگر عوامل موجود در مدل می‌باشد. به طوری که این ضریب در حدود نصف ضریب زمان پرس و ابعاد خرده چوب و ۴۰٪ ضریب گرادیان رطوبت می‌باشد.

مدل‌های بدست آمده برای واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب با استفاده از رگرسیون گام به گام شامل دو مدل می‌باشد که دو عامل متغیر گرادیان رطوبت و زمان پرس به ترتیب شدت تاثیر در گامهای مختلف وارد مدل شده‌اند. مدل رگرسیون در گام دوم برای واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب به صورت زیر می‌باشد:

$$T.S_{24} = 31/499 + 1/416 (M.G) - 1/406 (P.T) \quad (US)$$

$$T.S_{24} = 0/831 (M.G) - 0/275 (P.T) \quad (S)$$

$$R^2 = 0/766 \quad \text{ضریب تبیین}$$

مدل رگرسیونی حاصل برای واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت نشان می‌دهد که با افزایش گرادیان رطوبت یک خرده چوب، میزان واکنشیدگی ضخامت تخته‌ها نیز زیاد می‌گردد. در حالی که با زیاد شدن زمان پرس، این ویژگی تخته با کاهش روبرو می‌گردد.

### بحث و نتیجه‌گیری

از میان عوامل متغیر مورد بررسی، ابعاد خرده چوب از توانایی منحصر به فردی در تاثیرگذاری بر مقاومت خمشی



بیشتر این نوع خرده چوب نسبت به فشار پرس به خصوص در محیط گرم و مرطوب، میزان تخریب مکانیکی و لهیدگی آنها کاهش می‌یابد. در نتیجه کارایی ذرات چسب قرار گرفته بر روی این ذرات در لایه میانی افزایش یافته و مقاومت اتصال بهبود می‌یابد. در تحقیقی مشابه که توسط Stewart و Lehmann (۱۹۷۳) انجام گرفته است آنها بیان داشتند که یک رابطه نزدیک بین مقاومت چسبندگی بالاتر و ذرات خرده چوبی که دارای ابعاد ریزتری هستند وجود دارد که ناشی از انتقال حرارت بهتر توسط بخار آب از لایه های سطحی به مغز کیک خرده چوب می‌باشد. از طرف دیگر، افزایش درجه حرارت و زمان پرس به خروج بخار و کاهش فشار آن در لایه میانی کمک کرده و به بهبود کیفیت چسبندگی داخلی منجر می‌شود.

همانطوری که گفته شد در زمان غوطه‌وری ۲۴ ساعت تخته‌ها، مهمترین عاملی که در کاهش واکشیدگی موثر واقع می‌شود، مقاومت اتصال بین خرده چوبها و یا IB می‌باشد و افزایش گرادیان رطوبت با تاثیرات منفی خود بر جریان سخت شدن چسب در لایه میانی از مقاومت چسبندگی داخلی می‌کاهد و موجبات افزایش  $T.S_{24}$  را فراهم می‌آورد. ولی در این راستا، با زیاد شدن زمان پرس، در واقع فرصتی در اختیار بخار جمع شده در لایه میانی قرار می‌گیرد تا از این ناحیه به کناره‌های تخته منتقل شده و سپس خارج گردد. در نتیجه در زمانهای طولانی تر پرس هنگام باز شدن آن، فشار بخار در لایه میانی به حداقل کاهش یافته و موجب افزایش مقاومت چسبندگی داخلی می‌گردد که در کاهش واکشیدگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب تخته‌ها موثر می‌باشد. Chelak و Newman (۱۹۹۱) نیز در بررسیهای خود به این نتیجه رسیده‌اند که در فرآیند تولید صفحات مرکب چوبی به روش خشک مانند تخته خرده چوب، اگر کیک خرده چوب دارای رطوبت زیادی باشد تخته‌های تحت پرس گرم ممکن است مانند یک کپسول فشار عمل نموده

الاستیسیته مستقیم و مثبت بوده است. رطوبت عامل مهمی در کاهش درجه حرارت انتقال شیشه لیگنین و همی سلولز چوب می‌باشد و با افزایش رطوبت به ویژه در لایه سطحی، قابلیت نرم شوندگی و پلاستیکی شدن ذرات تحت دما و فشار پرس افزایش یافته و حداکثر کاهش ضخامت خرده چوبها بوجود می‌آید و در نتیجه افزایش دانسیته لایه سطحی را ایجاد می‌نماید که یکی از مهمترین عوامل افزایش دهنده ویژگیهای خمشی تخته به خصوص مدول الاستیسیته می‌باشد. Strickler (۱۹۵۹) نیز اثر دوره پرس و رطوبت بر خواص تخته تراشه ساخته شده از داگلاس فر را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفته است که رطوبت زیادتر سطح کیک (در یک محدوده مشخص) به طور معنی‌داری MOE را بهبود می‌بخشد. بنابر این مدل در گام دوم نشان می‌دهد که افزایش دو عامل ضریب کشیدگی خرده چوب و گرادیان رطوبت مهمترین عوامل مؤثر در بهبود مدول الاستیسیته تخته خرده چوبها می‌باشند.

از طرف دیگر، ملاحظه گردید که افزایش گرادیان رطوبت تاثیر منفی بر چسبندگی داخلی تخته‌ها داشته است. افزایش گرادیان رطوبت هر چند باعث بهبود کیفیت سطح تخته می‌گردد. ولی هنگامی که رطوبت لایه‌های سطحی کیک خرده چوب افزایش می‌یابد، در طی مرحله پرس گرم به حجم بخار آب انتقال یافته به مغز کیک افزوده می‌گردد که تجمع بخار آب در لایه میانی موجب بوجود آمدن یک فشار بخار داخلی می‌گردد و هر قدر گرادیان رطوبت زیادتر باشد، فشار بخار ایجاد شده نیز شدیدتر خواهد بود. نیرویی که این فشار بخار در لایه میانی بوجود می‌آورد به عنوان یک نیروی بازدارنده و کاهش دهنده در برابر پیوندهای در حال ایجاد بین خرده چوبهای لایه میانی توسط چسب عمل می‌نماید. همچنین، مشاهده گردید که چسبندگی داخلی تخته‌ها با ابعاد خرده چوب رابطه عکس دارد. در شرایطی که کیک حاوی خرده چوب ریز می‌باشد. به دلیل قابلیت انعطاف‌پذیری

- Pullman, W.A., Washington State University: 205-229
- DIN Standard (No. 68763) . 1990. Flat pressed particleboard for use in building Construction.
- Geimer, R.L.; Kwon, J.H. 1999. Flakeboard thickness swelling. Part II : Fundamental response of board properties to steam injection pressing. Wood and Fiber Sci. 31(1) :15-27.
- Harless, P.E. ; Wagner, F.G. ; Short, P.H. ; Seale, R.D. ; Mitchell, P.H. ; Ladd, D.S.1987. A model to predict the density profile of particleboard. Wood and Fiber Sci. 19 : 81-92.
- Hata, T.; Kawai, S.; Sasaki, H. 1990. part 2 : Computer Simulation of temperature behavior in particle mat during hot - pressing and steam - injection pressing. Wood Sci. Technol. 24:65-78.
- Hawke, R. ; Sun, B.; Gale, M. 1993. Effect of fiber mat moisture Content on physical properties of polyisocyanate - bonded hardboard. Forest Prod. J. 43(1) : 15-20
- Kamke, F.A.; Wolcott, M.P. 1991. Fundamentals of flakeboard manufacture: wood-moisture relationships. Wood Sci. Technol. 25 : 57-71.
- Myers, G. 1986. A comparison of hardboard manufacturing by semi-dry and wet processes. Forest Prod. J. 36(7/8) : 49-56.
- Namioka, Y.; Anazawa, T. 1981. Conditions of hot pressing of particleboard bonded with urea resin: The effects of the moisture content of a mat before hot pressing upon the thickness swelling and strength properties of the boards. Journal of the Hokkaido Forest Product Research Institute. No. 351: 1-3.
- Oudjehane, A.; Lam, F. ; Avramidis, S. 1998. A continuum model of the interaction between manufacturing variables and consolidation of Wood composite mats. Wood Sci. and Technol. 32: 381-391.17 ref.
- Rauch, W. 1984. Temperature and vapor pressure courses during particleboard production and their influence on board properties. Holz-als-roh-und-werkstoff 42 : 281-286(German).
- Stewart H.A. ; Lehmann, W.F. 1973. High quality particleboard from cross- grain, Knife - planed hard wood flakes. Forest Prod. J. 29(3) : 52-60
- Strickler, M.D. 1959. Effect of press cycle and moisture content on properties of Douglas -fir flakeboard. Forest Prod. J. 9(7): 203-215.

و درجه حرارت بالا و رطوبت زیاد ممکن است در مغز تخته بوجود آمده که در پرس گرم تحت فشار بخار احتمالاً بعد از باز شدن پرس، تخته‌ها از وسط باز شوند که این پدیده یک عامل محدوده کننده در انتخاب رطوبت اولیه کیک، قبل از وارد شدن به پرس گرم می‌باشد

در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان داشت، مدل‌هایی که با هدف کنترل و پیش‌بینی خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب‌های حاصل در شرایط مختلف ساخت بدست آمده‌اند می‌توانند برای تعیین حد بهینه استفاده از عوامل متغیر به ویژه گرادیان رطوبت به منظور افزایش سرعت انتقال حرارت و به تبع آن کاهش زمان پرس که همراه با بدست آمدن ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مطلوب برای تخته‌های تولیدی باشد، مورد استفاده قرار گیرند. هر چند مدل‌های رگرسیونی حاصل تنها در سطوح متغیرهای در نظر گرفته شده دارای اعتبار بوده و نمی‌توانند به صورت فرگیر مورد استفاده قرار گیرند. با این حال پیشنهاد می‌شود که مدل‌های ریاضی، پیش‌بینی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب در شرایط ساخت مورد استفاده در واحدهای صنعتی نیز مشخص شده و یا مدل‌های حاصل شده در این بررسی مورد مقایسه قرار گیرند.

### منابع مورد استفاده

- Chelak, W.; Newman, W.H.1991. MDI high moisture content bonding mechanism, parameters and benefits using MDI in Composite wood products. In :Maloney, Thomas M., Proceedings, 25th International Particleboard/Composite materials Symposium, 1991. April 9-11, pullman, W.A.

## The prediction of particleboard properties with regression models application in different condition production

Kargarfard, A.<sup>1</sup>, Doosthosseini, K.<sup>2</sup> and Nourbakhsh<sup>1</sup>, A.

1- Asst. Prof. Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands,  
E.mail: kargarfard @ rifr-ac.ir.

2 - Ph. D. professor of wood and paper Dept., Tehran university , Faculty of Natural Resources.

### Abstract

The application of regressions models for predicting physical and mechanical properties of laboratory produced particleboard was studied. In order to study the influence of mat moisture content gradient, particle geometry, press time and temperature, 108 boards were produced. Regressions model indicated that particle geometry significantly influenced board MOR, increasing the slender ratio of particles, improved MOR. Regressions models of MOE indicated that both particle geometry and mat moisture content gradient significantly influenced board MOE, and increasing the slender ratio of particles and mat moisture content gradient, increased MOE. regression model of IB indicated that all of the variables have significantly affected IB. However, in this case, increasing mat moisture content gradient, particle geometry reduced IB and press time and temperature increased IB, moisture content gradient and particle geometry had more effective. The results indicated that moisture content gradient and press time significantly influenced the regression model of thickness swelling after 24 hours soaking in cold water.

**Key words:** Particleboard, Regression, Mat Moisture Content Gradient, Particle Geometry, Press Temperature and Press Time

Archive of SID