نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیستم و یکم، شماره چهارم، ۱۳۹۳
http://jwfst.gau.ac.ir

پروفیل دانسیته عمودی: شاخصی برای ارزیابی کیفیت تخته خرده‌چوب

زهرا جهانی‌لمر[۱] و سعیدرضا فرخ‌پیام[۲]

[۱]کارشناسی‌ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل،
[۲]استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۲۳

چکیده

این پژوهش جهت بررسی کیفیت تخته خرده‌چوب بر اساس پروفیل دانسیته و با توجه به تأثیرپذیری آن از ۳ عامل درصد رطوبت کیک (۸، ۱۰، ۱۲ و ۱٤) درصد، دمای پرس در ٤ سطح (۱۵۰، ۱٦۰، ۱۷۰ و ۱۸۰) درجه سانتی‌گراد و زمان بسته شدن دهانه پرس در سه سطح (۱۰، ۲۰ و ۳۰) ثانیه تدوین شده است. پروفیل دانسیته تخته‌خرده‌چوب‌های آزمایشی با روش لایه‌گیری از ضخامت و اندازه‌گیری دانسیته هر لایه انجام شد. نتایج نشان داد که در حالت بسته شدن سریع پرس، پروفیل دانسیته تخته افزایش یافته و اختلاف دانسیته لایه‌های سطحی با میانی آن زیاد می‌شود. با افزایش دانسیته و کاهش رطوبت کیک خرده‌چوب، مقدار چسبندگی داخلی افزایش یافته است. با توجه به شرایط ساخت هر کدام از نمونه‌ها با زیاد شدن رطوبت کیک، میزان فشردگی لایه‌های سطحی آن در مرحله بسته شدن پرس افزایش یافته و باعث زیاد شدن دانسیته لایه سطحی تخته و بهبود مقاومت خمشی آن شده است. همچنین بر اساس نتایج استخراج شده با کنترل پروفیل دانسیته توسط فاکتورهای مؤثر این پژوهش، اکثر مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی تخته به‌ترتیب در حد استانداردهای EN-317، EN-310 و EN-319 اندازه‌گیری شدند و یا بالاتر از آن قرار گرفته‌اند. دو عامل رطوبت کیک و دمای پرس به‌ترتیب تأثیر بیش‌تری بر روی پروفیل دانسیته تخته خرده‌چوب داشتند.

واژه‌های کلیدی: تخته خرده‌چوب، پروفیل دانسیته، خواص فیزیکی و مکانیکی

---

*مسئول مکاتبه: zahrajahani12@yahoo.com

مقدمه

توسعه فرآیندهای تولید فرآورده‌های مرکب چوبی بر اساس آزمایش‌های گسترده‌ای که طی بیش از چندین سال انجام شده است، نشان داد که رابطه قوی بین پروفیل دانسیته و مشخصات فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها وجود دارد (اندریوسل، ۱۹۹۸؛ کلی، ۱۹۷۷؛ کاوایی و ساساکی، ۱۹۸٦). پروفیل دانسیته یک پارامتر کلیدی و تأثیرگذار در مقاومت‌های مکانیکی تخته خرده‌چوب است که تحت تأثیر متغیرهای تولید، شامل ماشین‌های خط تولید خصوصا پرس و شکل‌گیری کیک خرده‌چوب قرار دارد. پروفیل دانسیته در ضخامت تخته خرده‌چوب عمدتا متأثر از سه عامل زمان بسته شدن پرس، حرارت پرس، پراکنش رطوبت در کیک خرده‌چوب و تأثیر متقابل این عوامل هنگام پرس داغ می‌باشد. بسیاری از خصوصیات مکانیکی تخته نیز تحت تأثیر توزیع دانسیته در طول و عرض و ضخامت تخته متغیر است. زمان بسته شدن پرس، مدت زمانی است که از لحظه تماس صفحه بالایی پرس با سطح کیک شروع شده و تا رسیدن به ضخامت نهایی تخته ادامه می‌یابد. بسته‌شدن سریع دهانه پرس یا زمان کوتاه بسته شدن، لایه‌های سطحی کیک را سریعا در معرض حرارت و فشار قرار داده و قبل از آن‌که لایه میانی به اندازه کافی گرم و فشرده گردد، آن‌ها را کاملا متراکم می‌سازد. در این حالت پروفیل دانسیته افزایش می‌یابد. اما در شرایطی که زمان بسته شدن پرس طولانی است، فشار کمتری به لایه‌های سطحی تخته اعمال شده و دانسیته این لایه‌ها کاهش می‌یابد. در این حالت چون فشار آرامی به کیک وارد می‌شود فرصت کافی جهت نفوذ بخار آب حاصل از لایه‌های سطحی به مغز تخته وجود داشته و سبب فشردگی بیش‌تر ذرات چوب در لایه میانی می‌شود و در نتیجه دانسیته لایه مغزی افزایش یافته و پروفیل دانسیته تخته‌های حاصل یکنواخت‌تر می‌گردد. برای کاهش سرعت بسته شدن دهانه پرس، لازم است کیک خرده‌چوب قبل از پرس نهایی در پرس سرد کاملا فشرده شده و متراکم شود تا خطرگیرایی زود هنگام رزین در پرس گرم برطرف گردد (دوست‌حسینی، ۲۰۰۲). تأثیر سرعت بسته شدن پرس و رطوبت کیک بر پروفیل دانسیته تخته به‌وسیله دوست حسینی و خادمی (۱۹۹٤) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نقش تعیین کننده این فاکتورها را بر روی پروفیل دانسیته تخته دلالت داشته است را نشان می‌دهند که زیاد شدن سرعت بسته شدن پرس و رطوبت ماده اولیه باعث افزایش پروفیل دانسیته عمودی تخته‌های مورد مطالعه می‌گردد. مقدار رطوبت کیک، دما، فشار پرس، زمان بسته شدن دهانه پرس، فرم هندسی و ابعاد خرده‌چوب‌ها و جهت قرارگیری آن‌ها از عوامل مؤثر و تأثیرگذار بر تشکیل پروفیل دانسیته عمودی تخته خرده‌چوب می‌باشد (استریکلر، ۱۹۵۹؛ ساچسلند،

۱۹۶۲؛ ولکات، ۱۹۹۰؛ وینیستروفر و ونگ، ۱۹۹۹). در مورد تأثیر دانسیته و پروفیل آن بر خواص کاربردی پانل‌های چوبی، تحقیقاتی زیادی صورت گرفته است. نتایج این تحقیقات ارتباط مستقیم دانسیته تخته با مدول گسیختگی و مدول‌الاستیسیته را نشان می‌دهد. مطالعه‌ای که ریس و کاری (۱۹۷۸) بر روی تخته‌های فلیک ساخته شده از گونه‌های سخت چوب انجام دادند، مشاهده کردند که افزایش دانسیته باعث افزایش مدول‌الاستیسیته و مدول خمشی نمونه‌ها شده است. با توجه به این‌که مدول خمشی در سطح تخته حداکثر است لذا دانسیته لایه سطحی پانل‌های چوبی می‌تواند تأثیر زیادی بر مدول گسیختگی و مدول‌الاستیسیته آن‌ها داشته باشد. بنابراین پروفیل دانسیته که تغییرات جرم ویژه در ضخامت تخته را نشان می‌دهد، با ویژگی‌های مدول‌الاستیسیته و مدول‌گسیختگی ارتباط تنگاتنگی دارد. هیبینک (۱۹۷۲) شرایط پرس در ساخت تخته خرده‌چوب را با رزین اوره‌فرمالید بررسی نمود و گزارش کرد که ۳۰ تا ۳۵ ثانیه بعد از رسیدن دمای لایه میانی تخته به ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد جهت‌گیرایی کامل رزین و ایجاد پیوندهای مقاوم بین خرده‌چوب‌ها کافی است. همچنین وی به‌این نتیجه رسید که با افزایش دمای صفحات پرس از ۱۸۰ به ۲۳۵ درجه سانتی‌گراد، زمان پرس را می‌توان ۱ تا ۲ دقیقه کاهش داد. قابل ذکر است که افزایش دمای پرس، انتقال سریع‌تر گرما به مغز تخته را امکان‌پذیر ساخته و خط دانسیته ماکزیمم را از سطح تخته به سمت داخل آن جابه‌جا می‌کند. در نتیجه مدول‌گسیختگی و مدول‌الاستیسیته تخته‌های حاصل کمتر و چسبندگی داخلی آن‌ها بیش‌تر از تخته‌هایی است که دارای پروفیل دانسیته ماکزیمم می‌باشند. هیبینک و همکاران (۱۹۹۶) در یک مطالعه گسترده دیگر به بررسی اثرات مختلف پارامترهای پرس بر روی تشکیل پروفیل دانسیته در تخته تراشه جهت‌دار پرداختند. متغیرهای مورد بررسی، گونه چوبی، شکل هندسی ذرات، دانسیته تخته، ضخامت تخته، مقدار رطوبت و توزیع رطوبت در کیک، زمان بسته شدن پرس، دمای پرس و دمای صفحه بودند. آن‌ها دریافتند که مقدار رطوبت، زمان بسته شدن پرس و دمای صفحه پرس مهم‌ترین متغیر برای شکل‌گیری پروفیل دانسیته عمودی تخته می‌باشد. پژوهشگر دیگری پروفیل عمودی دانسیته تخته خرده‌چوب را بررسی نموده و گزارش کرد که زیاد شدن سرعت بسته شدن پرس، سبب تراکم بیش‌تر خرده‌های لایه‌های سطحی و افزایش پروفیل دانسیته می‌گردد. ساچسلند (۱۹۹۸) مدلی را برای پیش‌بینی مدول‌الاستیسیته در تخته خرده‌چوب با پروفیل دانسیته یکنواخت پیشنهاد داد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش درصد فشردگی، مقدار مدول‌الاستیسیته افزایش پیدا می‌کند و این نتایج

با یافته‌های محققین گذشته توافق خوبی داشته است (استوارت و لحمن، ۱۹۷۳؛ ساچسلند و وادسون، ۱۹۷٤؛ ویتال و همکاران، ۱۹۷٤؛ شو، ۱۹۷۵).

همچنین زو و ساچسلند (۱۹۹۹) مدلی را برای پیش‌بینی مدول الاستیسیته تخته سه لایه توسعه دادند و به‌این نتیجه رسیدند که سختی لایه‌های میانی تأثیر کمی بر روی مدول‌الاستیسیته دارد و لایه‌های سطحی مقدار مدول‌الاستیسیته را کنترل می‌کند که با افزایش پیک دانسیته سطح به اندازه ۱/٤ میلی‌متر، مدول‌الاستیسیته نیز از خود افزایش نشان می‌دهد. درک خوبی ازجرم ویژه و ارتباط چگونگی توزیع آن با خصوصیات تخته، اجازه می‌دهد تا سازنده، کنترل مناسبی بر روی کیفیت نهایی و ویژگی‌های پانل‌های تولیدی داشته باشد. هدف از این تحقیق آشکار نمودن تأثیر متغیرهای مهم پرس از جمله زمان بسته شدن دهانه پرس، دمای پرس و رطوبت کیک‌خرده‌چوب بر روی پروفیل دانسیته تخته‌هایی با شرایط صنعتی بوده است. این پروژه با تمرکز بر پروفیل دانسیته عمودی، آن را به‌عنوان یک عامل تأثیرپذیر از شرایط ساخت و تأثیرگذار بر کیفیت تخته مانند یک ابزار مهم کنترل، مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها

جهت ارزیابی هر چه بهتر توزیع دانسیته در ضخامت نمونه‌های آزمایشی، ۳ فاکتوری که گمان می‌رفت بیش‌ترین سهم تأثیرگذاری بر این خصوصیت را داشته باشند، مورد بررسی قرار گرفت. این عوامل متغیر شامل ٤ سطح دما (۱۵۰، ۱٦۰، ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد)، ٤ سطح رطوبت (۸، ۱۰، ۱۲ و ۱٤ درصد) و ۳ سطح زمان بسته شدن دهانه پرس (۱۰، ۲۰ و ۳۰ ثانیه) می‌باشد. عوامل ثابت شامل گونه‌چوبی، نوع چسب مصرفی (اوره فرمالدهید)، مقدار چسب مصرفی ۱۰ درصد بر مبنای جرم خشک خرده‌چوب‌ها، نوع هاردنر مصرفی به‌صورت محلول ۳۰ درصد، فشار پرس ۳۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و زمان پرس ۳٦۰ ثانیه بوده است. برای چسب‌زنی خرده‌چوب‌ها از یک دستگاه چسب‌زن آزمایشگاهی استفاده گردید. عمل چسب‌زنی در استوانه با حالت افقی با سرعت چرخشی ۲۰ دور در دقیقه انجام گردید. محلول چسب همراه با کاتالیزور کلرید آمونیوم به‌وسیله یک نازل با استفاده از هوای فشرده ۳ الی ٤ اتمسفری در داخل استوانه پاشیده شده و با خرده‌چوب داخل آن مخلوط گردید. تخته‌های نهایی با ابعاد ۱٦× ۳۵ ×۳۵ سانتی‌متر و دانسیته اسمی ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب در پرس گرم تخت ساخته شدند. دستگاه پرس هیدرولیکی روغنی با مدل S.W.P 125 و با

قطر پیستون ۲۰/۰٦ سانتی‌متر و ابعاد صفحات ٦۳×۷۲ سانتی‌متر، دارای کنترل دستی دمای صفحات، فشار پیستون و زمان عملیات پرس و اتمام خودکار زمان پرس مورد استفاده قرار گرفت. ساخت تخته‌های آزمونی با خرده‌چوب‌های درشته و نرمه صنعتی انجام شد. خرده‌چوب‌ها از مخلوط گونه‌های پهن برگ جنگلی و گونه صنوبر دست کاشت بودند. خرده‌چوب موردنیاز از کارخانه صنعت چوب شمال (نئوپان گنبد) تهیه شد و برای جلوگیری از جذب رطوبت در کیسه‌های پلاستیکی به محل آزمایشگاه حمل و نگهداری شدند.

تهیه نمونه‌های آزمونی: پس از ساخت تخته‌های آزمایشگاهی، برای رسیدن به رطوبت تعادل، آن‌ها را به‌مدت ۲ هفته در محیط آزمایشگاه قرار داده و سپس نمونه‌های آزمونی برای خواص فیزیکی شامل جذب آب (WA)[1] و واکشیدگی ضخامت (TS)۳ در ۲٤ ساعت طبق استاندارد EN-317 و خواص مکانیکی شامل مقاومت خمشی (MOR)[2] و چسبندگی داخلی (IB)[3] به‌ترتیب طبق استانداردهای EN-310 و EN-319 برش و اندازه‌گیری شدند.

1- Water absorption
2- Modulus of rupture
3- Internal bond

جدول ۱- تعداد نمونه‌های آزمایشی در هر تکرار و تیمار و معرفی کل تیمارها.

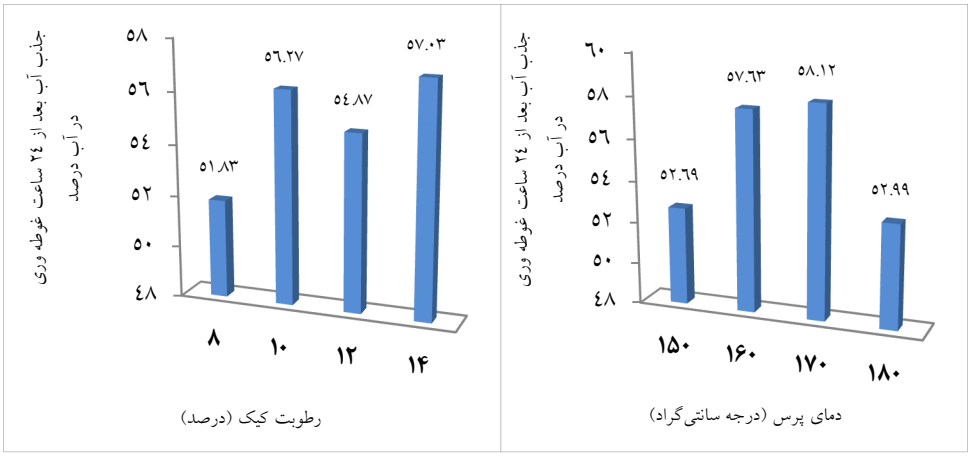
کد	t (s)	T (درجه سانتی‌گراد)	M (درصد)	کد	t (s)	T (درجه سانتی‌گراد)	M (درصد)
A1	۱۰	۱۵۰	۸	I1	۱۰	۱۷۰	۸
A2	۲۰	۱۵۰	۸	I2	۲۰	۱۷۰	۸
A3	۳۰	۱۵۰	۸	I3	۳۰	۱۷۰	۸
B1	۱۰	۱۵۰	۱۰	K1	۱۰	۱۷۰	۱۰
B2	۲۰	۱۵۰	۱۰	K2	۲۰	۱۷۰	۱۰
B3	۳۰	۱۵۰	۱۰	K3	۳۰	۱۷۰	۱۰
C1	۱۰	۱۵۰	۱۲	L1	۱۰	۱۷۰	۱۲
C2	۲۰	۱۵۰	۱۲	L2	۲۰	۱۷۰	۱۲
C3	۳۰	۱۵۰	۱۲	L3	۳۰	۱۷۰	۱۲
D1	۱۰	۱۵۰	۱٤	M1	۱۰	۱۷۰	۱٤
D2	۲۰	۱۵۰	۱٤	M2	۲۰	۱۷۰	۱٤
D3	۳۰	۱۵۰	۱٤	M3	۳۰	۱۷۰	۱٤
E1	۱۰	۱٦۰	۸	N1	۱۰	۱۸۰	۸
E2	۲۰	۱٦۰	۸	N2	۲۰	۱۸۰	۸
E3	۳۰	۱٦۰	۸	N3	۳۰	۱۸۰	۸
F1	۱۰	۱٦۰	۱۰	O1	۱۰	۱۸۰	۱۰
F2	۲۰	۱٦۰	۱۰	O2	۲۰	۱۸۰	۱۰
F3	۳۰	۱٦۰	۱۰	O3	۳۰	۱۸۰	۱۰
G1	۱۰	۱٦۰	۱۲	P1	۱۰	۱۸۰	۱۲
G2	۲۰	۱٦۰	۱۲	P2	۲۰	۱۸۰	۱۲
G3	۳۰	۱٦۰	۱۲	P3	۳۰	۱۸۰	۱۲
H1	۱۰	۱٦۰	۱٤	Q1	۱۰	۱۸۰	۱٤
H2	۲۰	۱٦۰	۱٤	Q2	۲۰	۱۸۰	۱٤
H3	۳۰	۱٦۰	۱٤	Q3	۳۰	۱۸۰	۱٤

t: زمان بسته شدن دهانه پرس (s)، T: دمای پرس (درجه سانتی‌گراد)، M: رطوبت کیک (درصد).

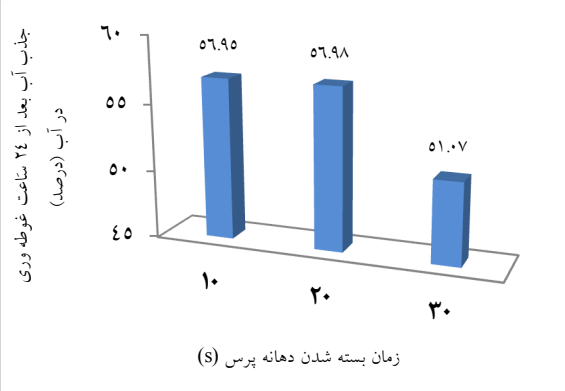
لایه‌گیری نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری پروفیل دانسیته: برای تعیین پروفیل دانسیته هر یک از تخته‌های ساخته شده ابتدا نمونه‌هایی به ابعاد ۵×۳۵ سانتی‌متر با اره گرد برش داده شد. سپس بر روی نمونه‌ها سنباده نرم زده شد و سرانجام با دستگاه کندگی پیشرفته و با دقت بالا بر روی هر یک از نمونه‌ها لایه‌گیری انجام شد در هر مرحله از لایه‌گیری، از هر طرف نمونه‌ها به اندازه یک میلی‌متر توسط دستگاه گندگی برداشته شده است. برای ضخامت ۱۶ میلی‌متری نمونه‌ها ٦ بار لایه‌گیری، یعنی مجموعا ۱۲ میلی‌متر مناسب بود. به‌همین ترتیب این کار در ٦ مرحله انجام شد به‌طوری که ضخامت باقی‌مانده اجازه لایه‌گیری را نمی‌داد. بعد از انجام آزمایش‌های مکانیکی (Testing Machine-HounSFIELD-H25KS) و فیزیکی بر روی نمونه‌های تهیه شده، نتایج به‌دست آمده در قالب طرح کاملا تصادفی آزمون فاکتوریل و با استفاده از آزمون دانکن (DMRT) و با روش تجزیه واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج

جذب آب و واکشیدگی ضخامت بعد از ۲٤ ساعت غوطه‌وری در آب: جذب آب یک عامل محدودکننده در کاربرد تخته خرده‌چوب به‌شمار می‌آید. زیرا کلیه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته خرده‌چوب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مستقل دمای پرس و رطوبت کیک اثر معنی‌داری بر جذب آب تخته‌ها ندارد (شکل ۱). با توجه به شکل ۲ اثر زمان بسته شدن دهانه پرس بر روی مقاومت جذب آب بعد از ۲٤ ساعت غوطه‌وری در آب در معنی‌دار است. به‌طوری که با افزایش زمان بسته شدن دهانه پرس موجب کاهش واکشیدگی ضخامت تخته‌ها شده است.



شکل ۱- اثر مستقل دمای پرس و رطوبت کیک بر روی مقاومت جذب آب بعد از ۲٤ ساعت غوطه‌وری در آب.



شکل ۲- اثر مستقل زمان بسته‌شدن دهانه پرس بر جذب آب بعد از ۲٤ ساعت غوطه‌وری در آب.

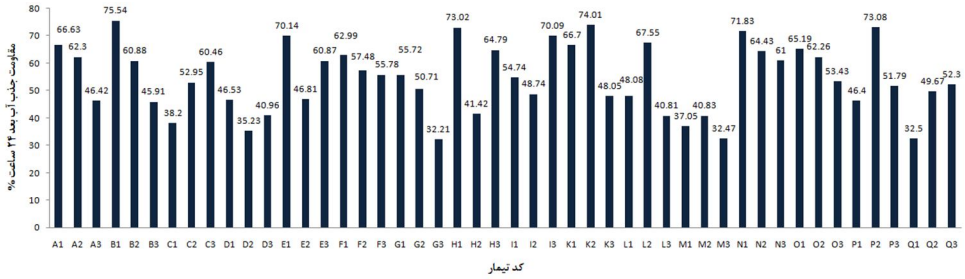
نتایج حاصل از تجزیه واریانس جذب آب بعد از ۲٤ ساعت غوطه‌وری در آب تخته‌ها در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر متقابل زمان بسته شدن دهانه پرس، دمای پرس و رطوبت کیک بر این ویژگی معنی‌دار است.

جدول ۲- تجزیه واریانس ANOVA حاصل از مقایسه داده‌ها.

شاخص	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	معنی‌داری
MOR	۲۵/۵۹۳	۲۱۱۰/۸۹٤	۱٤۳	**
IB	۰/۰٤۵	۲/۳۷۷	۱٤۳	**
TS_{24h}	۲٤/۰۸۹	۱۲۰۸/٦۱۵	۱٤۳	**
WA_{24h}	۷۰۳/۷۸۷	۱۵۳٤۹/۳۹۱	۱٤۳	**

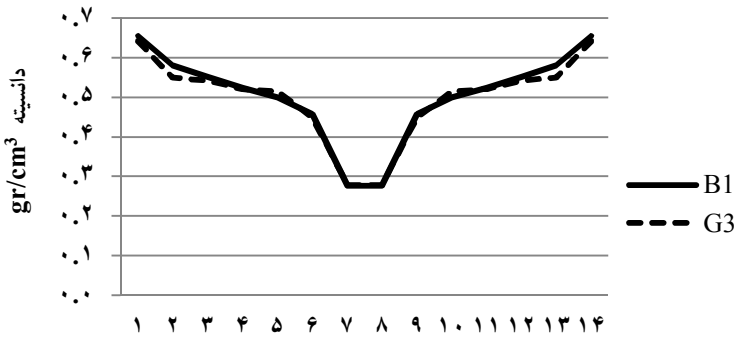
همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌کنید. بیش‌ترین مقدار جذب آب بعد از ۲٤ ساعت غوطه‌وری مربوط به تخته تیمار B_1 (زمان بسته شدن ۱۰ ثانیه، دمای پرس ۱۵۰ درجه و رطوبت کیک ۱۰ درصد) بود و کمترین مقدار این ویژگی در تخته تیمار G_3 (زمان بسته شدن دهانه پرس ۳۰ ثانیه، دمای پرس ۱٦۰ درجه و رطوبت کیک ۱۲ درصد) دیده شد. جذب آب آن‌ها به‌ترتیب برابر ۷۵/۵٤ و ۳۲/۲۱ درصد می‌باشد. تخته G_3 به‌دلیل داشتن رطوبت کیک زیاد سبب بهبود خواص تخته به‌ویژه پایداری ابعادی آن در برابر رطوبت شده است. کلی (۱۹۷۷) حد رطوبت اپتیمم برای رطوبت کیک ۱۲-۱۰ درصد را حد مطلوب برای بهبود خواص کاربردی تخته گزارش نموده است در رطوبت کمتر فشار بیش‌تری در مرحله

پرس برای متراکم کردن کیک نیاز بوده و اتصالات بین خردچوب‌ها در تخته نیز ضعیف می‌گردد. دوست حسینی و همکاران (۱۹۹۷) در طی تحقیاتی که انجام دادند حد اپتیمم رطوبت کیک برای افزایش مقاومت خمشی و چسبندگی‌داخلی و پایداری تخته را ١٤ درصد گزارش نمودند.



شکل ۳- مقایسه مقادیر جذب آب بعد از ٢٤ ساعت غوطه‌وری در آب.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری پروفیل دانسیته تخته‌های B_1، G_3 بیانگرآن است که با افزایش رطوبت کیک ذرات خرده‌چوب تحت حرارت به اندازه کافی نرم و قابل انعطاف گشته و به تدریج نقاط حداکثر دانسیته به سطوح منتقل می‌شوند از شکل ٤ مشهود است که با افزایش وزن مخصوص تخته‌ها جذب آب افزایش می‌یابد. این امر به‌این صورت قابل توصیف است که در تخته‌های با وزن مخصوص میزان ماده چوبی زیاد باعث افزایش جذب آب می‌شود.



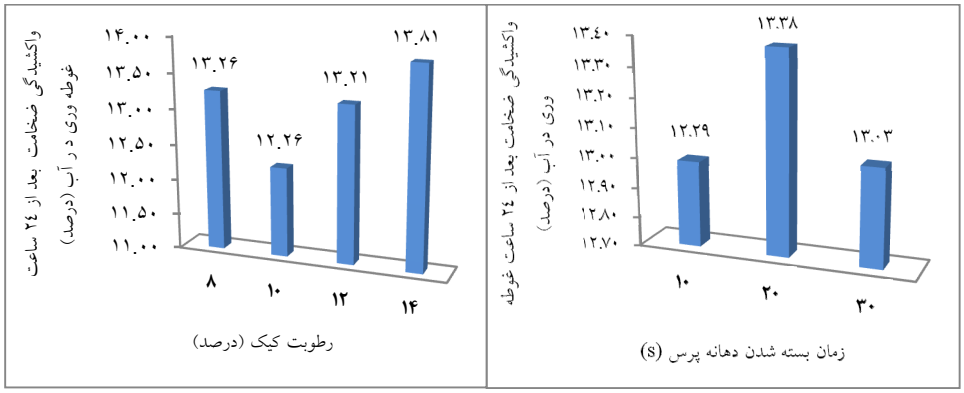
شکل ٤- مقایسه پروفیل دانسیته.

B_1 (رطوبت کیک ۱۰ درصد، زمان بسته شدن دهانه پرس ۱۰ ثانیه و دمای پرس ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد)

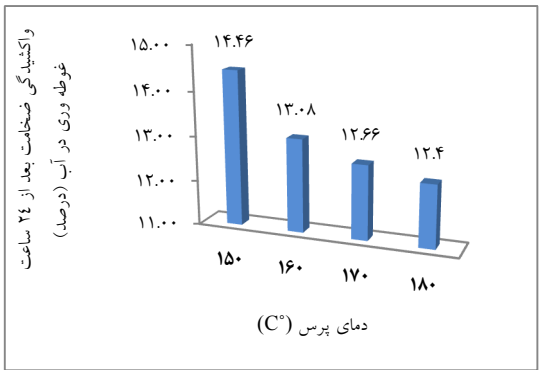
G_3 (رطوبت کیک ۱۲ درصد، زمان بسته شدن دهانه پرس ۳۰ ثانیه و دمای پرس ۱٦۰ درجه سانتی‌گراد)

واکشیدگی ضخامت یک خاصیت منفی برای فرآورده‌های چوبی است که می‌تواند مشکلاتی را در کاربرد آن‌ها پدید آورد.

نتایج تجزیه واریانس حکایت از آن دارد که اثر استفاده از زمان بسته شدن دهانه پرس بر این ویژگی معنی‌دار نمی‌باشد شکل (٦). گروه‌بندی میانگین مقاومت واکشیدگی ضخامت تیمارهای مختلف نیز نشان می‌دهد که تمامی آن‌ها در یک گروه قرار دارند و اثر مستقل رطوبت کیک در سطح ۵ درصد و دمای پرس در سطح ۱ درصد بر روی واکشیدگی ضخامت تخته‌ها معنی‌دار بوده است به‌طوری که با افزایش دمای پرس مقاومت واکشیدگی ضخامت تیمارها افزایش می‌یابد شکل (۵). با توجه به آزمون تجزیه واریانس میانگین واکشیدگی ضخامت تیمارهای مختلف نشان داد که اثر متقابل زمان بسته شدن دهانه پرس، دمای پرس و رطوبت کیک بر این ویژگی اثر معنی‌دار می‌گذارد.

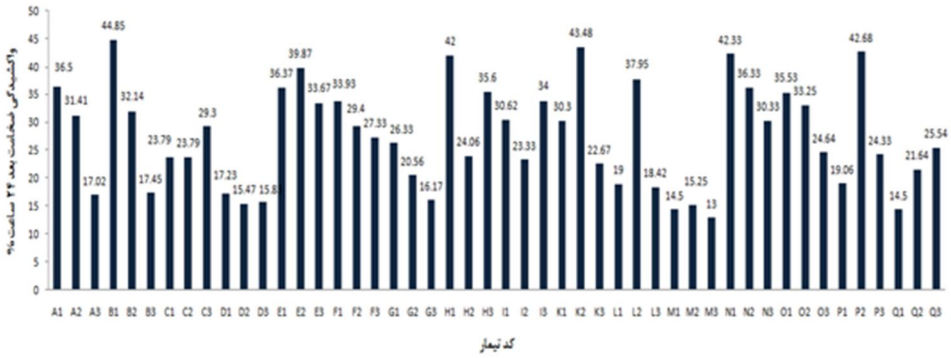


شکل ۵- اثر مستقل زمان بسته شدن دهانه پرس و درصد رطوبت کیک بر روی مقاومت واکشیدگی ضخامت بعد از ۲٤ ساعت غوطه‌وری در آب.



شکل ٦- اثر مستقل دمای پرس بر مقاومت واکشیدگی ضخامت بعد از ۲٤ ساعت غوطه‌وری در آب.

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده از واکشیدگی ضخامت (TS_{24h}) به‌طور معنی‌داری ($p<0/01$) تحت تأثیر متغیرهای ساخت قرار گرفته‌اند. بیش‌ترین و کمترین مقدار واکشیدگی ضخامت به‌ترتیب مربوط به نمونه B_1 با مقدار ٤٤/٨٥ درصد و M_3 با مقدار ۱۳ درصد است. تیمار B_1 در شرایط رطوبت کیک ۱۰ درصد، زمان بسته شدن ۱۰ ثانیه و دمای پرس ۱۵۰ درجه و تیمار M_3 در شرایط رطوبت کیک ١٤ درصد، زمان بسته شدن ۳۰ ثانیه و دمای پرس ۱۷۰ درجه ساخته شده‌اند. نمونه M_3 به‌دلیل داشتن رطوبت زیاد کیک از پایداری ابعادی بیش‌تری برخوردار می‌باشد. دانسیته تخته یکی از فاکتورهایی مهمی است که بر نفوذپذیری آن در جهات مختلف تأثیر می‌گذارد. هر چه میزان فشردگی و دانسیته صفحات فشرده چوبی افزایش یابد. خواص کاربردی آن‌ها به‌جز پایداری ابعاد بهبود خواهد یافت. دلیل این امر وجود ماده چوبی بیش‌تر در دانسیته بالاست که موجب افزایش واکشیدگی ضخامت و واکشیدگی خطی این فرآورده می‌شود (دای، ۲۰۰۰).



شکل ۷- مقایسه مقادیر واکشیدگی ضخامت بعد از ٢٤ ساعت غوطه‌وری در آب.

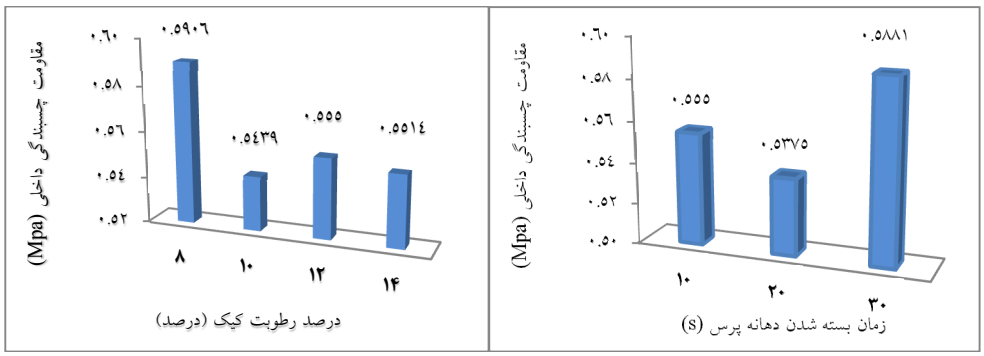
با افزایش تراکم جرم تخته‌ها به‌دلیل افزایش فشردگی خرده‌های چوب تنش‌های ناشی از جذب آب زیاد شده و واکشیدگی ضخامت تخته‌ها پس از ٢٤ ساعت غوطه‌وری افزایش یافت. در تأیید این مطلب می‌توان عنوان نمود که سطوح تخته B_1 با دانسیته بیش‌تر نسبت به قسمت میانی تخته با شدت بیش‌تری فشرده شده است (شکل ۸). در فرآیند پرس در تخته‌هایی با وزن مخصوص بالا تغییر شکل تخته خرده‌چوب بیش از تخته‌هایی با دانسیته پایین است و تحت تأثیر آب جذب شده توسط تخته، فرم خرده‌چوب‌ها و برگشت ضخامتی آن‌ها نیز تغییر می‌یابد.

شکل ۸- مقایسه پروفیل دانسیته.

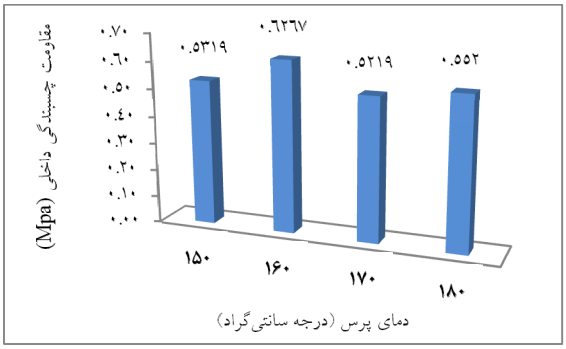
B_1 (رطوبت کیک ۱۰ درصد، زمان بسته شدن دهانه پرس ۱۰ ثانیه و دمای پرس ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد)

M_3 (رطوبت کیک ١٤ درصد، زمان بسته شدن دهانه پرس ۳۰ ثانیه و دمای پرس ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد)

چسبندگی داخلی: تأثیر مستقل و متقابل متغیرهای ساخت شامل زمان بسته شدن دهانه پرس، دمای پرس و رطوبت کیک بر کیفیت تخته‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مقدار رطوبت کیک و زمان بسته شدن دهانه پرس تأثیر تعیین‌کننده و معنی‌داری بر چسبندگی داخلی نداشته است (شکل ۹) و اثر دمای پرس بر این مقاومت با توجه به نتایج تجزیه واریانس تخته‌های مختلف در دو گروه گروه‌بندی شد که نشان داد که اثر مستقل دمای پرس بر این ویژگی معنی‌دار بوده است (شکل ۱۰).



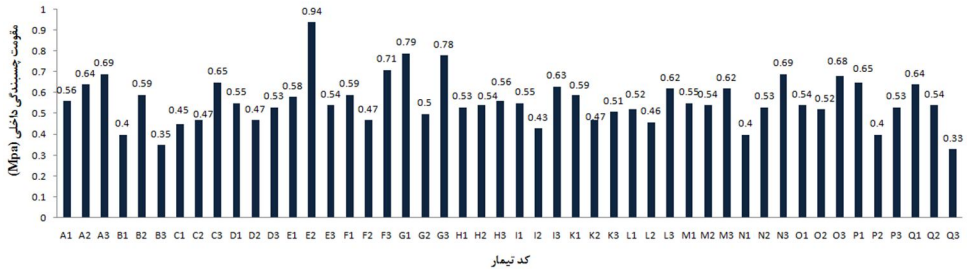
شکل ۹- اثر مستقل زمان بسته شدن دهانه پرس و درصد رطوبت کیک بر روی مقاومت چسبندگی داخلی.



شکل ۱۰- اثر مستقل دمای پرس بر مقاومت چسبندگی داخلی.

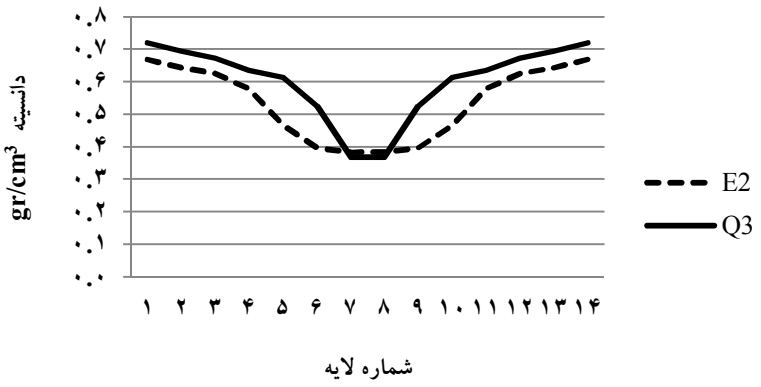
نتایج حاصل از تجزیه واریانس تخته‌ها نشان داد که اثر متقابل هر سه عامل رطوبت کیک، زمان بسته شدن دهانه پرس و دمای پرس تأثیر تعیین کننده و معنی‌داری برچسبندگی داخلی تخته‌های ساخته شده داشته است (جدول ۲). طبق گروه‌بندی آزمون دانکن بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار چسبندگی داخلی به‌ترتیب برای تیمارهای Q_3 و E_2 ثبت شده است (شکل ۱۱).

طیف وسیعی از داده‌های چسبندگی داخلی میان ۰/۳۳ تا ۰/۹۲ مگاپاسگال قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱). مقدار حد استاندارد برای چسبندگی داخلی تخته‌های ساخته شده ۰/۳۵ مگاپاسگال طبق استاندارد EN ۳۱۲-۲ (۲۰۰۳) می‌باشد. افزایش دانسیته و کاهش رطوبت کیک خرده‌چوب تأثیر مثبتی بر روی چسبندگی داخلی داشته است. به‌طور کلی چسبندگی داخلی تخته‌ها به‌جز نمونه Q_3 برابر و یا بیش‌تر از حداقل مقدار استاندارد موردنیاز بوده است. البته مقدار تفاوتی هم که نمونه Q_3 با مقدار حداقل استاندارد دارد قابل چشم‌پوشی می‌باشد. نمونه Q_3 تحت شرایط رطوبت کیک ۱٤ درصد، زمان بسته شدن ۳۰ ثانیه و دمای پرس ۱۸۰ درجه ساخته شده و با داشتن زمان بسته شدن و رطوبت زیاد کیک فرصت کافی برای انتقال رطوبت به قسمت مغز تخته را دارا می‌باشد و با عث افزایش پروفیل دانسیته در تخته شده است (شکل ۱۲).



شکل ۱۱- مقایسه مقادیر چسبندگی داخلی تیمارهای مورد آزمون.

رطوبت زیاد کیک باعث کاهش دانسیته لایه میانی تخته و کاهش مقاومت چسبندگی داخلی شده است. رطوبت زیاد کیک باعث تراکم و تجمع بخار آب و نیز رقیق شدن چسب در این نقاط گشته و مقاومت اتصال بین خرده‌چوب‌ها را کاهش داده است. تیمار E_2 در شرایط زمان بسته شدن دهانه پرس ۲۰ ثانیه، دمای پرس ۱٦۰ درجه سلسیوس و رطوبت کیک ۸ درصد ساخته شد است. این نمونه از پروفیل دانسیته یکنواخت برخوردار می‌باشد (شکل ۱۲). افزایش تراکم جرم در لایه میانی منجربه فشردگی و تقویت اتصالات بین خرده‌های چوب و چسب شده و به‌این ترتیب از مقاومت چسبندگی بالایی برخوردار است (سدانو- مندازا و همکاران، ۲۰۱۰؛ پیچلین و همکاران، ۲۰۰۱).

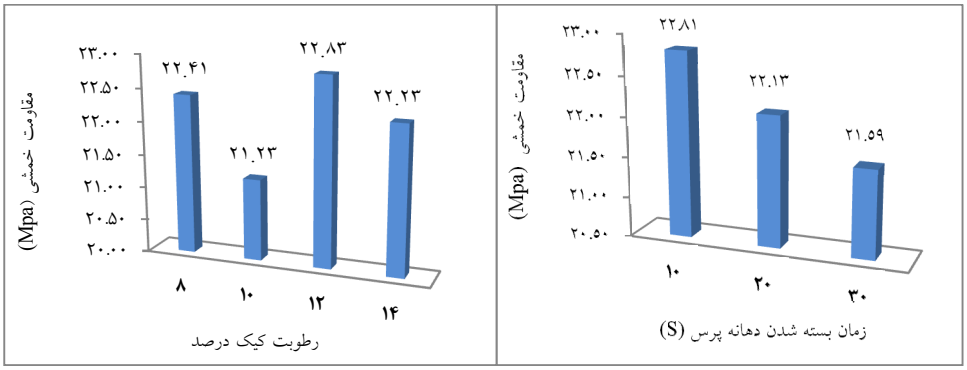


شکل ۱۲- مقایسه پروفیل دانسیته.

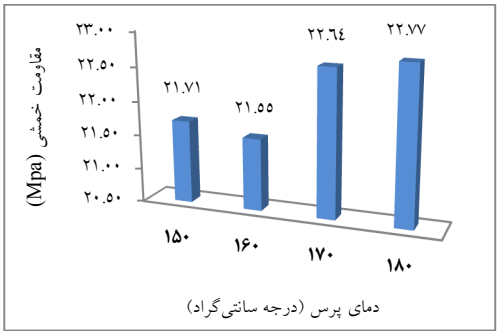
E_2 (رطوبت کیک ۸ درصد، زمان بسته شدن دهانه پرس ۲۰ ثانیه و دمای پرس ۱٦۰ درجه سانتی‌گراد)

Q_3 (رطوبت کیک ۱٤ درصد، زمان بسته شدن دهانه پرس ۳۰ ثانیه و دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد)

مقاومت خمشی: مقاومت خمشی یکی از ویژگی‌های مهم و کاربردی می‌باشد که نشان‌دهنده کیفیت لایه‌های سطحی مواد مرکب چوبی است. با استفاده از آزمون تجزیه واریانس تأثیر شرایط مختلف ساخت مورد بررسی قرارگرفت. سپس اختلاف میان میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تأثیر مستقل هر یک از تیمارهای زمان بسته شدن دهانه پرس، رطوبت کیک و دمای پرس بر روی مقاومت خمشی معنی‌دار نیست (شکل‌های ۱۳ و ۱٤).



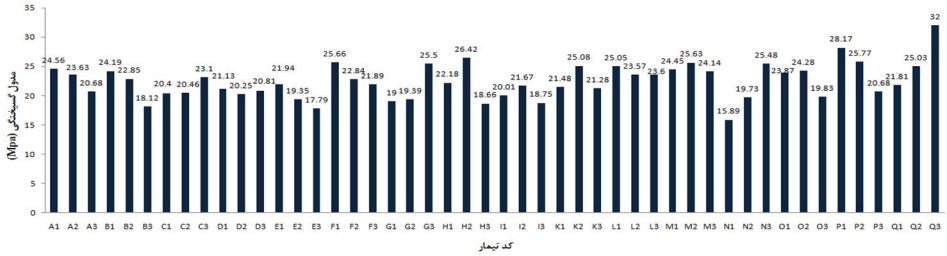
شکل ۱۳- اثر مستقل زمان بسته شدن دهانه پرس و درصد رطوبت کیک بر روی مقاومت خمشی.



شکل ١٤- اثر مستقل دمای پرس بر مقاومت چسبندگی داخلی.

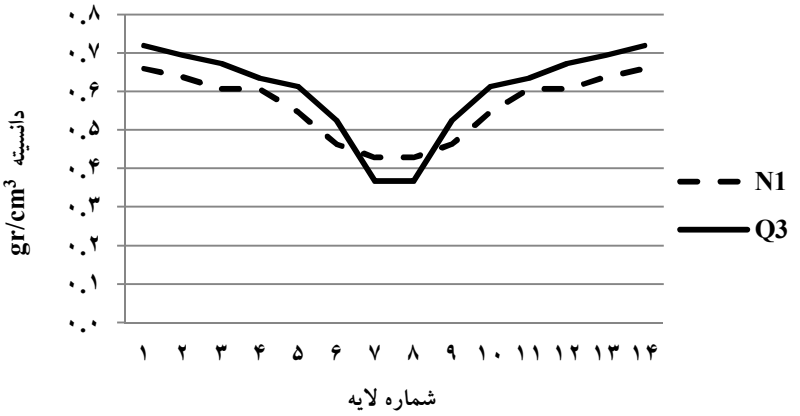
نتایج حاصل از تجزیه واریانس MOR تخته‌ها نشان داد که هر سه عامل زمان بسته شدن دهانه پرس، دمای پرس و رطوبت تأثیر تعیین کننده و معنی‌داری بر این خصوصیات داشته‌اند (جدول ۲).

گروه‌بندی میانگین MOR تخته‌های تیمارهای مختلف نیز نشان داد که تمامی آن‌ها در ۹ گروه قرار دارند. باتوجه به شکل ١٤، دیده می‌شود MOR در حدود ۱۷/۷۹ تا ۳۲ مگاپاسکال به‌دست آمده است این مقادیر برای MOR به‌ترتیب در نمونه‌ها Q_3، N_1 مشاهده شد.



شکل ١٤- مقایسه مقادیر مدول خمشی تیمارهای مورد آزمون.

تخته N_1 تحت شرایط زمان بسته شدن ۱۰ ثانیه، دمای ۱۸۰ درجه و رطوبت کیک ۸ درصد و نمونه Q_3 در زمان بسته شدن دهانه پرس ۳۰ ثانیه، دمای پرس ۱۸۰ و رطوبت کیک ١٤ درصد ساخته شدند. تیمار Q_3 دارای دانسیته لایه سطحی بیش‌تر و دانسیته لایه میانی کمتری نسبت به دیگر تیمارها است که در واقع دارای بیش‌ترین پروفیل دانسیته می‌باشد (شکل ۱۵). با توجه به این‌که تنش‌های خمشی در سطح تخته حداکثر است. لذا دانسیته لایه سطحی پانل‌های چوبی می‌تواند تأثیر زیادی بر MOR داشته باشد. با توجه به شرایط ساخت هر کدام از نمونه‌ها با زیاد شدن رطوبت کیک میزان فشردگی لایه‌های سطحی آن در مرحله بسته شدن پرس افزایش یافته و باعث زیاد شدن دانسیته لایه سطحی تخته و بهبود مقاومت خمشی آن می‌گردد. هیبینک (۱۹۷۲) در طی تحقیقی که انجام داده بود به‌این نتیجه رسید که با افزایش رطوبت از ۹ درصد به ۱۵ درصد موفق گردید مدول گسیختگی تخته را به‌میزان ۱۸ درصد بهبود بخشد. کهر و همکاران (١٩٦٨) در تحقیقی با ساخت تخته‌هایی با رطوبت کیک یکنواخت طی مه افشانی ۱۰۰ گرم آب را در هر مترمربع از سطح کیک، به‌این نتیجه رسیدند چنان‌چه رطوبت کیک خرده چوب را بین ۱۱ تا ۱۳/۵ درصد تنظیم کنند. تخته‌های حاصل به بالاترین حد مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی خود می‌رسند. دوست حسینی و خادمی اسلامی (١٩٩٤) در یک بررسی به‌این نتیجه رسیدند که رطوبت بهینه کیک خرده چوب جهت بهبود مقاومت خمشی تخته ١٦ درصد و برای مقاومت برشی موازی با سطح آن ١٤ درصد می‌باشد.



شکل ۱۵- مقایسه پروفیل دانسیته.

N_1 (رطوبت کیک ۸ درصد، زمان بسته شدن دهانه پرس ۱۰ ثانیه و دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد)

Q_3 (رطوبت کیک ١٤ درصد، زمان بسته شدن دهانه پرس ۳۰ ثانیه و دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد)

نتایج به‌دست آمده از این بررسی نشان می‌دهند که مقاومت خمشی تیمارهای مختلف بالاتر از حد تعیین شده در دو استاندارد اشاره شده می‌باشد. مقدار مقاومت خمشی برای تخته‌های با ضخامت ۱۶ میلی‌متر طبق استاندارد DIN۶۸۷۶ بیش‌تر از ۱۸ مگاپاسگال می‌باشد (کیی و همکاران، ۲۰۰۷) و این مقدار تقریبا در اکثر تیمارها ذکر شده صدق می‌کند.

بحث

بررسی بالا نشان داد که ۳ عاملی که گمان می‌رفت بیش‌ترین تأثیر در شکل‌گیری پروفیل دانسیته عمودی را داشته باشند به درستی انتخاب شده بودند. نتایج نشان داد که اکثر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته با کنترل پروفیل دانسیته تخته خرده‌چوب تحت تأثیر سه عامل رطوبت کیک، زمان بسته شدن دهانه پرس و دمای پرس، در حد استاندارد و بالاتر از آن بوده‌اند. همچنین نتایج نشان داد که دو عامل رطوبت کیک و دمای پرس به‌ترتیب شدت تأثیر بیش‌تری بر روی پروفیل دانسیته تخته خرده‌چوب داشته است. با افزایش رطوبت در ساخت تخته خرده‌چوب، ثبات ابعادی افزایش می‌یابد. اگرچه با افزایش جرم مخصوص مقاومت تخته‌ها سریعا زیاد می‌شود اما مقدار واکشیدگی ضخامت و جذب آب نیز از خود افزایش نشان می‌دهند (ایستک وسیراتج، ۲۰۱۳). این امر به‌این صورت قابل شرح است که در تخته‌هایی با وزن مخصوص بالا میزان ماده چوبی نیز فزونی یافته که متعاقبا واکشیدگی ضخامت و جذب آب در تخته‌های با وزن مخصوص نیز روند صعودی به خود می‌گیرد. بالا رفتن میزان رطوبت کیک باعث افزایش پروفیل دانسیته تخته و همچنین پایین آمدن دانسیته لایه میانی و کاهش مقاومت چسبندگی داخلی می‌گردد. دانسیته و چسب از فاکتورهای فنی و اصلی هستند که بر روی مدول مقاومت تخته خرده‌چوب در طی کشش عمود بر سطح تأثیر می‌گذارند (دای، ۲۰۰۸). این نتایج در تحقیقات دیگری که توسط مالونی (۱۹۹۳) و نصیری (۱۳۸۰) انجام شده است نیز مورد تأیید قرار گرفته است. مطابق استاندارد ۱۹۹۶، EN۳۱۲-۲ و ۱۹۹۶ EN۳۱۲-۳ حداقل مقدار چسبندگی داخلی موردنیاز برای تخته خرده‌چوب برای کاربردهای عمومی و کاربردهای درونی به‌ترتیب ۰/۲۴ و ۰/۳۵ مگاپاسگال است. با توجه به نتایج آزمایش مقادیر چسبندگی داخلی تمام تیمارها بالاتر از این مقادیر هستند. همچنین با افزایش دانسیته در لایه سطحی و با توجه به این‌که تنش خمشی در سطح حداکثر می‌باشد مدول‌گسیختگی با افزایش دانسیته افزایش می‌یابد (انورا و اننبراستیت، ۲۰۱۱). مقاومت خمشی در تیمارهای مختلف بالای حد استاندارد بوده است و مطابق

استانداردهای ANSIA۲۰۸-۱ و EN۳۱۲-۲ حداقل مقاومت خمشی موردنیاز برای تخته‌خرده‌چوب در مصارف معمول به‌ترتیب ۱۱ و ۱۱/۵ مگاپاسگال است. به‌این ترتیب و در راستای نتایج سایر پژوهش‌های انجام شده در این خصوص آشکار می‌شود که با تنظیم دانسیته تخته و پروفیل عمودی آن و نیز با تعیین ارتباط آن‌ها با مدول گسیختگی پانل‌های چوبی، می‌توان شرایط را به سمت تولید تخته‌هایی با کیفیت بهتر و با استحکام بیش‌تر پیش برد.

منابع

1. Andrews, C.K. 1998. The influence of furnish moisture content and press closure rate on theformation of the vertical density profile in oriented strand board: Relating the verticaldensity profile to bending properties, dimensional stability and bond performance. MS. Thesis University of Tennessee, Knoxwille, TN, USA.
2. Dai, C., Yu, C., and Jin, J. 2008. Theoretical modeling of bonding characteristics and performance of wood composites: Part IV. Internal bond strength. Wood Fiber and Sci. 40(2): 146–160.
3. Dai, C., Yu, C., and Hubert, P. 2000. Modeling vertical density profile in wood composite boards. In: Proceedings of the 5th pacific rim bio-based composites symposium. Canberra, Australia. Pp: 220–226.
4. DIN standard (No 68763). 1990. Flat pressed particleboard foruse in building construction.
5. Doosthoseini, K. 2002. Wood Composite Materials Manufacturing Applications Tehran University Press, Tehran, 648p. (In Persian)
6. Doosthoseini, K., and Khademi, Vh. 1994. Investigate Industrial Utilization of Lignocellulosic ResourcesIran 1- The use twig softrees fruit particleboard industry. Journal of Iran Natural Resources, 46: 77-63.
7. Doosthoseini, K., and Roshani, A.A. 1997. In vestigate possibility of using *Haloxylon* wood in manufacture of particleboard Journal of Iran Natural Resources, 49: 87-96.
8. Estoloan, L.G. 2009. Artificial neural networks in variable process control: application in particleboard manufacture InvestigacionAgraria: Sistemasy Recursos Forestales, 18(1): 92-100.
9. European Standard, EN 312-2. 1996. Particleboard Specifications part 2: requirements for general purpose boards for use in dry conditions. CEN European Committee for Standardization. Brussels. Belgium.
10. European Standard, EN 312-3. 1996. Particleboard Specifications part3: requirements for boards for interior fitments (including furniture) for use in dry conditions. CEN European Committee for Standardization. Brussels. Belgium.

11. European Standard, EN 312-4. 1996. Particleboards Specifications part 4: requirements for loadbearing boards for use in dry conditions. CEN European Committee for Standardization. Brussels. Belgium.
12. European Standard EN 317. 1993. Particleboard and fiberboards.Determination of swelling in thickness after immersion in water. European Committee for Standardization. Brussels. Belgium.
13. European Standard, EN. 319. 1993, Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. CEN European Committee for Standardization. Brussels. Belgium.
14. European Standard, EN 326-1. 1993. Wood based panels. Sampling, cutting and inspection Sampling and cutting of test pieces and expression of test result.
15. Heebink, B.G. 1972. Irreversible dimensional changes in panel materials. Forest Products Journal, 22(5): 44-48.
16. Hsu, W.E., Schwald, W., Schwald, J., Shields, J.A. 1988. Chemical and physical changes required for producing dimensionally stable wood-based composites. Part I: Steam pretreatment. Wood Science and Technology, 22: 281-289.
17. Istek, A., and Sıradag, H. 2013. The Effect of Density on Particleboard Properties International Caucasian Forestry Symposium. 932-938.
18. Kawai, S., Sasaki, H. 1986. Production technology for low density particle board. Part 1. Forming density gradient and its effect on board properties. Makkuzai Gakkaishi, 32(5): 324-330.
19. Kelley, M.W. 1977. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. U.S.D.A. Forest Service, For. Prod. Lab., General Technical Report FPL-10.
20. Onuoraha, E.O., Nambrastate, OYI, L.G.A. 2011. The effects of some manufacturing variables on the properties of particleboard nigerian journal of technology: Vol. 20, No. 1, March.
21. Pichelin, F., Pizzi., A., Frühwald., A., and Triboulot, P. 2001. Exterior OSB preparation technology at high moisture content, part 1: transfer mechanisms and pressing parameters. Holz Roh- Werkst. 59(4): 256–265.
22. Rice, J.T., and Carey R.H. 1978. Wood density and board composition effects on phenolic resin-bonded flakeboard. Forest Products Journal. 28(4): 21-28.
23. Sanchez, E., Shibata, T., Zadeh, L.A. 1997. Genetic algorithms and fuzzy logic systems. Williams: World Scientific.
24. Sedano-Mendoza, M., Navarrete., P., and Pizzi, A. 2010. Effect of layers relative moisture content on the IB strength of pine tannin bonded particleboard, Eur. J. Wood Prod. 2010. 68: 355-357.
25. Strickler, M.D. 1959. Properties of Douglas-fir flakeboard. Forest Products Journal. 9(7): 203-215.

26. Suchsland, O. 1959. An analysis of the particle board process. Quarterly Bulletin. Michigan Agricultural Experimental Station, Michigan State University, East Lansing, Michigan. Vol. 42(2): 350-372.
27. Suchsland, O. 1962. The density distribution in flake boards. Michigan Quarterly Bulletin. 45(1): 104-121.
28. Xu, H., and Suchsland, O. 1989. A simulation of the horizontal density distribution in a flakeboard. Forest Products Journal, 39(5): 29-33.
29. Suchsland, O., Hong, X. 1989. Model analysis of flakeboard variables. Forest Prod. J. 41(11/12): 55-60.
30. Suchsland, O., and Woodson, G.E. 1987. Fiberboard manufacturing practices in the United States. U.S.D.A. Forest Service. Agriculture Handbook No. 640. U.S. Government publishing office, Washington, Pp: 34-76.
31. Vital, B.R., Lehmann, W.F., and Boone, R.S. 1974. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. Forest Products Journal. 24(12): 37-45.
32. Winistorfer, P.M., and Wang, S. 1999. Densification of wood composite mats during pressing: implications of mat structure and pressing schedules on density profile formation and panel properties. Proceedings of the 4th International Conference on the Development of Wood Science, Wood Technology, and Forestry. Missenden Abbey, UK. 375-382.
33. Wolcott, M.P., Kamke, F.A., Dillard, D.A. 1990. Fundamentals of flakeboard manufacture: viscoelastic behavior of the wood component. Wood and Fiber Science, 22(4): 345-361.
34. Wong, E.D., Zhang, M., Wang, Q., and Kawai, S. 1999. Effects of mat moisture content and press closing speed on the formation of density profile and properties of particleboard. Journal of Wood Science. 44: 287-295.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 21 (4), 2015
http://jwfst.gau.ac.ir

Vertical density profile, a keyparameter for evaluating of particleboard quality

***Z. Jahanilomer[1] and S.R. FarrokhPayam[2]**
[1]M.Sc., Dept. of Science and Wood and Paper Technology, University of Zabol,
[2]Assistant Prof., Dept. of Science and Wood and Paper Technology, University of Zabol
Received: 02/09/2014 ; Accepted: 10/15/2014

Abstract

To study thequality particleboardwood-based of density profileand due tothe influenceof mat moisture (8,10,12 and 14) %, press temperature(150, 160, 170 and 180) °C and time of press closing (10, 20 and 30) s on the density profile. An accurate thicknesses was used to get layers from the experimental panels and consequently, determine the density of each layer. The results showed the density gradient was increased with decreasing of press closing time and density differences increased between outer and inner layers. As density was increased and mat moisture was reduced, internal bonding was increased. According the manufacturing condition of each treatment, increasing mat moisture caused to compression of outer layers, density and improvement of modulus of rupture. According tothe results obtainedby thefactorscontrolling thedensity profilein thisstudy, most ofthe physicaland mechanicalstrength oftheboardattheEN-317, EN-310 and EN-319 were measured atorhigher than ithas been. Mat moisture and press temperature was affected more on density profile than other factors.

Keywords: Particleboard, Density profile, Physical and mechanical properties

*Corresponding author: zahrajahani12@yahoo.com