



دانشگاه گورگان  
فصلنامه علمی-پژوهشی علوم و فنآوری چوب و جنگل

نشریه پژوهش‌های علوم و فنآوری چوب و جنگل

جلد بیست و چهارم، شماره اول، ۱۳۹۶

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## بررسی اثر رطوبت تراشه و غلظت چسب بر الگوی نفوذ چسب در لایه‌های میانی و بینابینی تخته تراشه جهت‌دار

\* حمیدرضا عدالت<sup>۱</sup>، مهدی فائزی‌پور<sup>۲</sup>، کاظم دوست حسینی<sup>۱</sup> و تقی طبرسا<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

<sup>۲</sup> استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، <sup>۳</sup> استاد گروه تکنولوژی و مهندسی چوب،

دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۲

### چکیده

**سابقه و هدف:** یکی از لازمه‌های تشکیل اتصالات چسبی، نفوذ چسب به داخل بافت بستر چوبی است. این پدیده تحت تأثیر عوامل متعددی همچون ویسکوزیته چسب و درصد رطوبت بستر چوبی قرار دارد. مطالعات زیادی بر روی نفوذ چسب به داخل لایه‌های چوبی و دو تراشه انجام شده است. در این مطالعه الگوی نفوذ چسب تحت تأثیر رطوبت تراشه و غلظت چسب در یک فرآورده خرده‌ای چوب (تخته تراشه جهت‌دار)، مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور تصاویر میکروسکوپی از مقاطع تخته‌های ساخته شده تهیه گردید و پارامترهای الگوی نفوذ چسب، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند.

**مواد و روش‌ها:** برای انجام مطالعه، تخته تراشه جهت‌دار با استفاده از تراشه‌های صنوبر و چسب فنول فرم آلدهید ساخته شد. متغیرهای آزمایش را درصد رطوبت تراشه در سه سطح ۲، ۶ و ۱۰ درصد و همچنین غلظت چسب در سه سطح ۴۵، ۵۰ و ۵۵ درصد تشکیل دادند. پس از تهیه نمونه‌های میکروسکوپی، تصاویری از ریزساختار چسبندگی در لایه‌های میانی و بینابینی تخته‌ها گرفته شد. پارامترهای الگوی نفوذ در هر تصویر محاسبه شدند. پارامتر FFN که بیانگر تعداد فیبرهای پر شده بود و پارامتر FVN که تعداد آوند پر شده توسط چسب را نشان می‌داد. برای مشخص نمودن اثرات معنی‌دار از آنالیز واریانس یک طرفه<sup>۱</sup> استفاده شد و برای گروه‌بندی تیمارها آزمون توکی<sup>۲</sup> به کار گرفته شد.

**یافته‌ها:** اثر رطوبت تراشه، غلظت چسب و موقعیت در ضخامت تخته بر روی پارامترهای الگوی نفوذ معنی‌دار بود. با افزایش رطوبت تراشه مقدار نفوذ چسب به‌خصوص در فیبرها افزایش یافت. افزایش غلظت چسب، نفوذ چسب به درون بافت بستر را کاهش داد. نفوذ چسب در لایه میانی تخته نسبت به لایه بینابینی که به صفحات پرس نزدیک تر بود، به‌طور معنی‌داری کمتر به‌دست آمد.

\*مسئول مکاتبه: [edalat.hr@gmail.com](mailto:edalat.hr@gmail.com)

1- One Way ANOVA

2- Tukey

**نتیجه‌گیری:** وجود رطوبت در تراشه، همان‌طور که در سایر تحقیقات انجام گرفته به آن اشاره شده است، می‌تواند مانع از افزایش گرانروی رزین شده و در نهایت باعث افزایش نفوذ چسب شود. به عبارتی هر چقدر بافت چوب خشک‌تر باشد میزان جذب آب از رزین و متعاقب آن گرانروی رزین افزایش یافته و میزان نفوذ آن در بافت چوب کاهش می‌یابد. به‌طور کلی پارامتری که با شمارش تعداد فیبرها (FFN) محاسبه گردید، نسبت به پارامتر FVN که از شمارش تعداد آوندها به‌دست می‌آید، تغییرات منظم‌تری تحت اثر رطوبت تراشه و غلظت چسب داشت. همچنین مشخص شد که الگوی نفوذ چسب در لایه میانی و بینابینی با یکدیگر متفاوت است.

**واژه‌های کلیدی:** الگوی نفوذ چسب، تخته تراشه جهت‌دار، FFN، FVN، میکروسکوپ فلئوئوسنت، فنول فرم آلدهید، ریزساختار چسبندگی

## مقدمه

امروزه از چسب‌ها در زمینه‌های متعدد صنعت چوب استفاده می‌گردد. یکی از اصول فرآیند تولید فرآورده‌های چند سازه چوبی، تشکیل اتصال چسبی مابین اجزاء چوبی می‌باشد. پیشرفت در صنایع اوراق فشرده چوبی همیشه به پیشرفت چسب‌ها و رزین‌ها مرتبط بوده است. مطالعه بر روی مکانیسم‌های اتصال چوب با چسب همواره یک جنبه مهم در مطالعات علوم چوب در پنجاه سال اخیر بوده است. همیشه باور بر این بوده که پیشرفت دانش نسبت به مکانیسم‌های چسبندگی چوب می‌تواند دسترسی به سیستم‌های چسب بهتر و همچنین روش‌های پرس کردن مؤثر و کافی را برای طیف وسیعی از فرآورده‌های مرکب چوبی به دنبال داشته باشد (۴).

از بین تئوری‌های چسبندگی، آن دسته از برهمکنش‌های چسبندگی که بر اساس درگیری یا محصور شدگی هستند (تئوری مکانیکی و تئوری پخش) می‌توانند در مقیاس طولی بزرگ‌تر ایجاد شوند (۱۰ نانومتر تا ۲ میلی‌متر) (۴). چوب یک ماده ناهمگن محسوب می‌شود که دارای سطوح مختلف حجمی در ساختار خود می‌باشد. به‌همین خاطر نیاز است که اتصال و جداسازی آن در سطوح مختلف حجمی ارزیابی شود. این سطوح به سه دسته ماکروسکوپی، میکرومتری و مقیاس نانو تقسیم می‌شوند. دسته ماکروسکوپی دارای مقیاسی میلی‌متری

است که می‌توان با چشم غیر مسلح آنرا مشاهده نمود. در سطح میکرومتری، تمرکز بر روی ترشوندگی دیواره حفره سلولی و شکست بین چسب و چوب است. سطحی که راجع به تشکیل اتصال در چوب و جداسازی آن می‌بایست بیشتر مورد بحث قرار گیرد، سطح سلولی است. یکی از قسمت‌های مهم یک اتصال ناحیه ایتترفاز<sup>۱</sup> بستر و چسب است. این ناحیه توده‌ای متشکل از هر دو ماده است و مجموع ویژگی‌های بستر (چوب) و ویژگی‌های چسب پس از جامد شدن، ویژگی‌های این ناحیه را تعیین می‌کنند. هندسه ناحیه ایتترفاز چوب-چسب تحت تأثیر فاکتورهای متعددی در تغییر است که عبارتند از: آناتومی چوب، نفوذپذیری، تخلخل، گرانروی چسب، انرژی سطح، فشار در مرحله جامد شدن و غیره (۶). ناحیه ایتترفاز لایه‌ای ناهمگن است و همیشه فرض بر این بوده است که هندسه این ناحیه در عملکرد اتصال مؤثر است. اتصال چسبی هنگام اعمال بار می‌بایست تنش را در ناحیه ایتترفاز جزء به جزء منتقل نماید. ترکیب ساختاری ایتترفاز، حجم و شکل آن تعیین کننده شدت تمرکز تنش خواهد بود و در نهایت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد یک اتصال دارد (۶). همه مکانیسم‌های چسبندگی بالقوه تحت تأثیر نفوذ هستند. مفهوم و تحقق گیر مکانیکی به‌طور مشخصی وابسته به نفوذ فاز چسب در سطح چوب

1- Adherent- Adhesive interphase region

است. علاوه بر آن، نیروهای ترکیبی چسبندگی که ناشی از پیوندهای کووالانسی و پیوندهای شیمیایی ثانویه است، به طور مستقیم به مقدار مساحت سطح تماس بین چسب و دیواره سلول وابسته است. جریان بیشتر چسب بر روی سطوح حفره سلولی به معنی پتانسیل بیشتر برای تشکیل پیوندهای شیمیایی است (۶). نفوذ چسبها به درون چوب در اغلب موارد در سطح سلولی بررسی می شود.

جریان رزین، توانایی روان ماندن آن در دما و فشار پرس، قدرت مرطوب ساختن سطوح جدید و حرکت خرده چوبها قبل از ثابت شدن در اثر پلیمریزاسیون چسب می باشد (۲). چسب نیز مانند سایر مایعات یک جریان ویژه دارد که بستگی به چند فاکتور دارد که نفوذ چسب را هم تحت تأثیر قرار می دهند. اغلب چسبهایی که برای چسباندن چوب استفاده می شوند، محلول در آب هستند و در نتیجه نفوذ آنها نیز تحت تأثیر ویژگی های حرکتی آب است. برخی فاکتورهای مؤثر بر جریان چسب عبارتند از آناتومی چوب، انرژی سطحی، توزیع وزن مولکولی رزین، گرانیوی چسب، درصد پرکننده و اکستندر، مقدار pH، گرادانهای دما و فشار بخار و رطوبت چوب (۵ و ۷). این متغیرها همگی در پرس گرم با یکدیگر برهمکنش دارند، شرایطی که هم چوب و هم چسب در دمای بالا بوده و در نتیجه یک محیط دینامیک در اثر بخار داغ به وجود می آورد. چسب می بایست در این شرایط جریان یابد، به درون چوب نفوذ کند و جامد شود (۵). ایجاد اتصال چوب و چسب تحت تأثیر عوامل زیادی قرار دارد و تغییر یکی از آنها می تواند اثرات شدیدی بر فرآورده نهایی داشته باشد. روانی زیاد چسب سبب کاهش مقاومت تخته در اثر نفوذ بیش از حد رزین به درون خلل و فرج چوب و کاهش مقدار رزین در سطح تماس خرده چوبها خواهد شد. بنابراین، جریان زیاد چسب می تواند مصرف گونه هایی مانند بلوط و صنوبر را با

مشکلاتی مواجه سازد (۲). گرانیوی به شدت جریان را تحت تأثیر قرار می دهد و مایعی با گرانیوی پایین تر سطح را بهتر خیس نموده و جریان بهتری روی آن دارد. اگر رطوبت چوب کم باشد، آب به سرعت در چوب پخش می شود و یک فیلم خشک از چسب بر روی سطح باقی می گذارد که تحرک کافی برای انتقال، خیس نمودن و نفوذ به سطح چوب را ندارد (۷). زمانی که آب زیادی در چوب وجود دارد، گرانیوی چسب را پایین نگاه می دارد و در نتیجه نفوذ بیش از حد<sup>۱</sup> که گاهی شسته شدن اتصال<sup>۲</sup> هم نامید می شود، رخ می دهد (۱ و ۷).

قدیمی ترین روش آنالیز نفوذ چسب و خط اتصال میکروسکوپ نوری است (۶). اتصالات چسبی در چوب به وسیله نور بازتابش و نور عبوری مورد مطالعه قرار می گیرند. برای دستیابی به بهترین چسب و بستر، میکروسکوپ فلوئورسنت به عنوان بهترین روش مطالعه اینترفاز معرفی شده است (۶). در این مطالعه به منظور بررسی الگوی نفوذ از روش آنالیز کمی ECM به کمک میکروسکوپ فلوئورسنت استفاده شد (۳).

هدف از انجام این تحقیق تعیین نحوه اثرگذاری درصد رطوبت تراشه و میزان غلظت رزین در الگوی نفوذ چسب در تخته تراشه جهت دار است. این اثرات در دولایه میانی تخته و لایه بینابینی مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روشها

این مطالعه در مرکز تحقیقات چوب فرانوفر کشور آلمان<sup>۳</sup> انجام گردید. برای انجام این پروژه، تراشه های هم شکل<sup>۴</sup> با عرض ۲۰ میلی متر، طول ۱۷۰ میلی متر و ضخامت متوسط ۰/۴ میلی متر از گونه صنوبر (*Populus nigra*) تولید گردید. برای تهیه

- 1- Over penetration
- 2- Wash-out
- 3- WKI Fraunhofer
- 4- Uniform size strands

پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد انتخاب شد. زمان پرس برابر با ۲۱۰ ثانیه تنظیم گردید. برای هر تیمار سه عدد تخته ساخته شد. تخته‌ها پس از خروج از پرس در طبقه‌های مجزا خنک شده و سپس با ابعاد  $290 \times 290$  میلی‌متر کناره بری شدند.

به منظور انجام مطالعات میکروسکوپی دو نمونه با طول ۱۰ میلی‌متر، عرض ۵۰ میلی‌متر و ضخامت ۱۲ میلی‌متر از نیمه بالا و پایین تخته تهیه شد. در واقع برش به گونه‌ای بود که طول نمونه در راستای طول تراشه‌ها و پهنای آن در راستای عرض آن‌ها قرار داشت. برای انجام بررسی میکروسکوپی، سطح مقطع نمونه‌ها با رعایت توالی زبر تا نرم با استفاده از کاغذهای سنباده صیقل داده شد. از یک میکروسکوپ فلئوئورسنت Zeiss در حالت بازتابش و از مجموعه فیلترهای برانگیختگی با طول موج ۳۶۵ نانومتر و انتشار با طول موج ۳۹۷ نانومتر استفاده شد. به منظور انجام آنالیز کمی الگوی نفوذ با استفاده از روش ECM، تصاویر میکروسکوپی از خطوط چسب توسط یک دوربین C14 Jenoptic با به‌کارگیری نرم‌افزار Olympus Analysis docu 5.1 گرفته شد. عکس‌برداری از لایه میانی، در وسط ضخامت تخته و با فواصل افقی ۵ میلی‌متری انجام گردید. تصاویر مربوط به لایه بینابینی هم با تعداد و فواصل افقی مذکور گرفته شد ولی خط افقی مفروض با فاصله ۳ میلی‌متر از لایه میانی در نظر گرفته شد. بر این اساس از هر لایه در هر نمونه میکروسکوپی، ۱۰ عدد تصویر میکروسکوپی گرفته شد که مساحت هر یک از آن‌ها معادل سطحی با عرض ۱۳۸۲ میکرومتر و ارتفاع ۱۰۹۸ میکرومتر از نمونه واقعی بود.

برای آنالیز نفوذ چسب پارامترهای FFN<sup>۱</sup> و FVN<sup>۲</sup> برای اندازه‌گیری کمی هندسه ناحیه ایتترفاز یا الگوی نفوذ چسب مورد بررسی قرار گرفتند. FFN معادل تعداد فیبرهای پر شده توسط چسب و FVN تعداد آوندهای پر شده توسط چسب می‌باشد (۳).

تراشه، از یک فلیکر دیسکی<sup>۱</sup> با قطر ۲۸۰۰ میلی‌متر مجهز به سیستم تغذیه و تخلیه خودکار استفاده گردید. تراشه‌ها به مدت ۵۰ ساعت در معرض هوای محیط گسترده شده و سپس به وسیله یک الک لرزان افقی، جداسازی ذرات ریز و شکسته شده آن‌ها انجام شد. تراشه‌ها پس از این مرحله در خشک کن محفظه‌ای قرار داده شده و رطوبت نهایی آن‌ها به ۲، ۶ و ۱۰ درصد رسانده شد. رطوبت تراشه به‌عنوان یکی از متغیرهای آزمایش انتخاب گردید که در سه سطح مذکور تنظیم گردید.

از رزین فنول فرم آلدهید ساخت شرکت Dynea با شناسه ۴۹۷۶ به‌عنوان اتصال دهنده استفاده گردید. برای آماده‌سازی رزین، پودر فنول فرم آلدهید برای دستیابی به غلظت‌های ۴۵، ۵۰ و ۵۵ درصد، با نسبت‌های مشخص با آب مخلوط گردید. متغیر دوم آزمایش همان‌گونه که ذکر گردید، غلظت رزین بود که در سه سطح تنظیم شد. به‌عنوان هاردنر از محلول کربنات پتاسیم ۴۰ درصد و به میزان ۲ درصد وزن خشک رزین استفاده گردید. به‌منظور چسب زنی تراشه‌ها از یک مخزن دوار و یک تفنگ پاشش استفاده گردید.

پس از چسب زنی، تراشه‌ها به مقدار موردنیاز برای ساخت تخته توزین شده و سپس تشکیل کیک انجام گرفت. فرمینگ تراشه‌ها با استفاده از دست و درون یک قالب چوبی با ابعاد داخلی  $360 \times 360$  میلی‌متر انجام شد. پس از تکمیل فرمینگ، با استفاده از درب قالب حرکت‌های تراشه‌ها کنترل گردید و قالب از اطراف کیک برداشته شد.

به‌منظور ساخت فرآورده، از یک پرس گرم ساخت کمپانی Siempelkamp و مجهز به سیستم برنامه‌ریزی کامپیوتری و سیستم تغذیه و تخلیه اتوماتیک استفاده گردید. مقدار فشار حداکثر برابر با ۶۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تنظیم گردید. دمای

پارامترهای نفوذ برای هر خط چسب محاسبه و میانگین آن‌ها برای هر تصویر و سپس برای هر تخته به دست آمد. برای مشخص نمودن اثرات معنی‌دار از آنالیز واریانس یک طرفه<sup>۳</sup> استفاده شد و برای گروه‌بندی تیمارها آزمون توکی<sup>۴</sup> به کار گرفته شد.

جدول ۱۰- محیط آماری مطالعه شامل تیمارهای آزمایش.

Table 1. Statistical space of study includes experiment treatments.

کد تیمار	شماره تیمار	رطوبت تراشه (درصد)	درصد مواد جامد چسب (درصد)
Treat Code	Treat run	Strand MC (%)	Resin solid content (%)
a-1	12	2	45
a-2	1	2	50
a-3	14	2	55
a-4	4	6	45
a-5	2	6	50
a-6	5	6	55
a-7	13	10	45
a-8	3	10	50
a-9	15	10	55

## نتایج و بحث

متقابل درصد رطوبت تراشه با غلظت چسب و نیز اثر متقابل درصد رطوبت تراشه و موقعیت در ضخامت بر این ویژگی معنی‌دار گردید.

پارامتر FFN: جدول آنالیز واریانس این ویژگی به شرح زیر بوده که با توجه به آن اثر درصد رطوبت تراشه، غلظت چسب و موقعیت در ضخامت تخته به‌عنوان اثرات مستقل معنی‌دار شده‌اند. همچنین اثرات

جدول ۲۰- آنالیز واریانس مقادیر پارامترهای الگوی نفوذ.

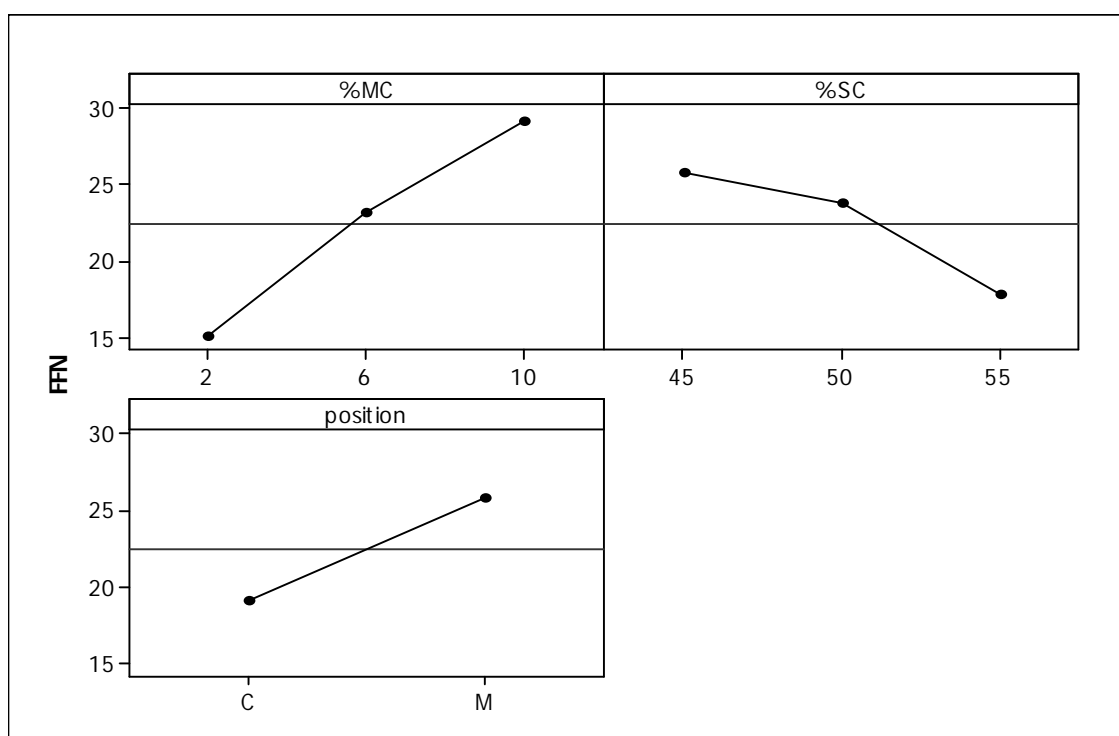
Table 2. Analysis of variances of the penetration pattern parameters amount.

FVN		FFN		درجه آزادی Degree of freedom	منبع تغییرات Source of variation
شاخص P P value	مجموع مربعات Sum of squares	شاخص P P value	مجموع مربعات Sum of squares		
0.000	0.084	0.000	1806.74	2	درصد رطوبت (MC) Moisture Content
0.000	0.142	0.000	606.02	2	غلظت چسب (SC) Resin Solid Content
0.000	0.806	0.000	598.48	1	موقعیت (P) Position
0.002	0.471	0.002	195.86	4	اثر متقابل MC*SC MC*SC Interaction
0.000	0.086	0.035	70.11	2	اثر متقابل MC*P MC*P Interaction
0.101	0.065	0.447	15.70	2	اثر متقابل SC*P SC*P Interaction
0.129	0.342	0.209	59.14	4	اثر متقابل MC*SC*P MC*SC*P Interaction
-	0.869	-	343.63	36	خطا Error
-	2.868	-	3695.68	53	مجموع Total

- 1- Filled Fibers Number
- 2- Filled Vessels Number
- 3- One Way ANOVA
- 4- Tukey

میزان ۸ درصد و ۳۱ درصد کاهش یافت. گروه‌بندی میانگین‌ها مشخص نمود که بین مقادیر پارامتر FFN در تیمار با غلظت ۵۵ درصد با دو سطح دیگر اختلاف معنی‌دار بوده و در دو گروه مجزا طبقه‌بندی می‌شوند. مقدار پارامتر FFN در لایه بینابینی به میزان ۳۵ درصد نسبت به لایه میانی بیشتر بود و مقادیر مربوط به آن‌ها در دو گروه مجزا از یکدیگر قرار گرفتند (شکل ۱۰).

افزایش درصد رطوبت تراشه موجب افزایش معنی‌دار در مقدار پارامتر FFN شد و مقادیر مربوط به سه سطح رطوبت تراشه، طبق آزمون توکی در سه گروه مجزا طبقه‌بندی شدند. افزایش رطوبت تراشه از ۲ به ۶ و ۱۰ درصد، مقدار این پارامتر را به ترتیب به میزان ۵۴ درصد و ۹۴ درصد افزایش داد. بررسی نتایج نشان داد که با افزایش غلظت چسب مقدار پارامتر مذکور کاهش می‌یابد. مقدار این پارامتر با افزایش غلظت از ۴۵ به ۵۰ و ۵۵ درصد، به ترتیب به

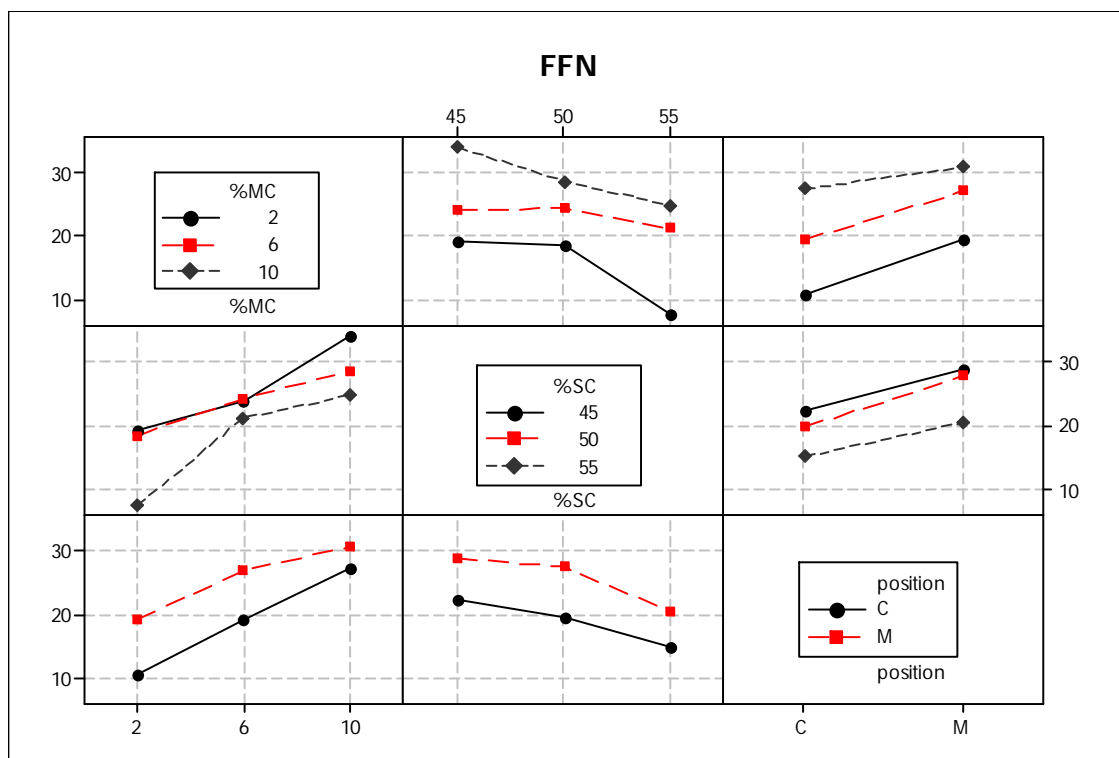


شکل ۱۰- اثرات مستقل درصد رطوبت تراشه (MC)، غلظت چسب (SC) و موقعیت در ضخامت (position) بر پارامتر FFN (M: لایه بینابینی، C: لایه میانی)

Figure 1. The effect of strand moisture content (MC), Resin solid content (SC) and position at the thickness (P) on the FFN parameter (M: Middle layer, C: Core layer).

رفته است. روند تغییرات این پارامتر در اثر تغییر غلظت از ۴۵ به ۵۰ درصد، در تیمار با رطوبت تراشه ۱۰ درصد با دو سطح دیگر متفاوت بود و نسبت به آن‌ها با شدت بیشتری کاهش یافت. این روند با تغییر غلظت از ۵۰ به ۵۵ درصد در تیمار با رطوبت تراشه ۲ درصد نیز تکرار گردید.

در بررسی اثرات متقابل درصد رطوبت تراشه و غلظت چسب مشخص گردید که در سطح رطوبتی ۱۰ درصد، تنها بین مقادیر FFN در تیمار با غلظت چسب ۵۵ درصد و ۴۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین در سطح رطوبتی ۶ درصد، معنی‌داری اثر غلظت چسب بر مقدار این ویژگی از بین



شکل ۲- اثرات متقابل دو گانه متغیرها با یکدیگر بر پارامتر FFN.

Figure 2. The twin interaction effects of variables on the FFN parameter.

پارامتر مذکور در سطح رطوبتی ۱۰ درصد و ۶ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

بررسی اثر متقابل غلظت چسب و موقعیت در ضخامت تخته نشان داد با این‌که مقدار پارامتر FFN در لایه بینابینی بیشتر از لایه میانی است ولی هنگامی که غلظت چسب کم باشد مقدار این پارامتر در لایه میانی بیشتر از مقدار آن در لایه بینابینی تخته‌ای است که با غلظت چسب بالا ساخته شده است. عامل رطوبت تراشه نیز می‌تواند در این اثر متقابل تأثیرگذار باشد به عبارتی وجود درصد رطوبت تراشه بالا و غلظت چسب کم، مقدار پارامتر نفوذ در لایه میانی را نسبت به مقدار آن در لایه بینابینی در شرایط استفاده از رطوبت تراشه کمتر و یا غلظت چسب بیشتر، افزایش می‌دهد (شکل ۲).

پارامتر FFN: نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر موقعیت در ضخامت، اثر متقابل

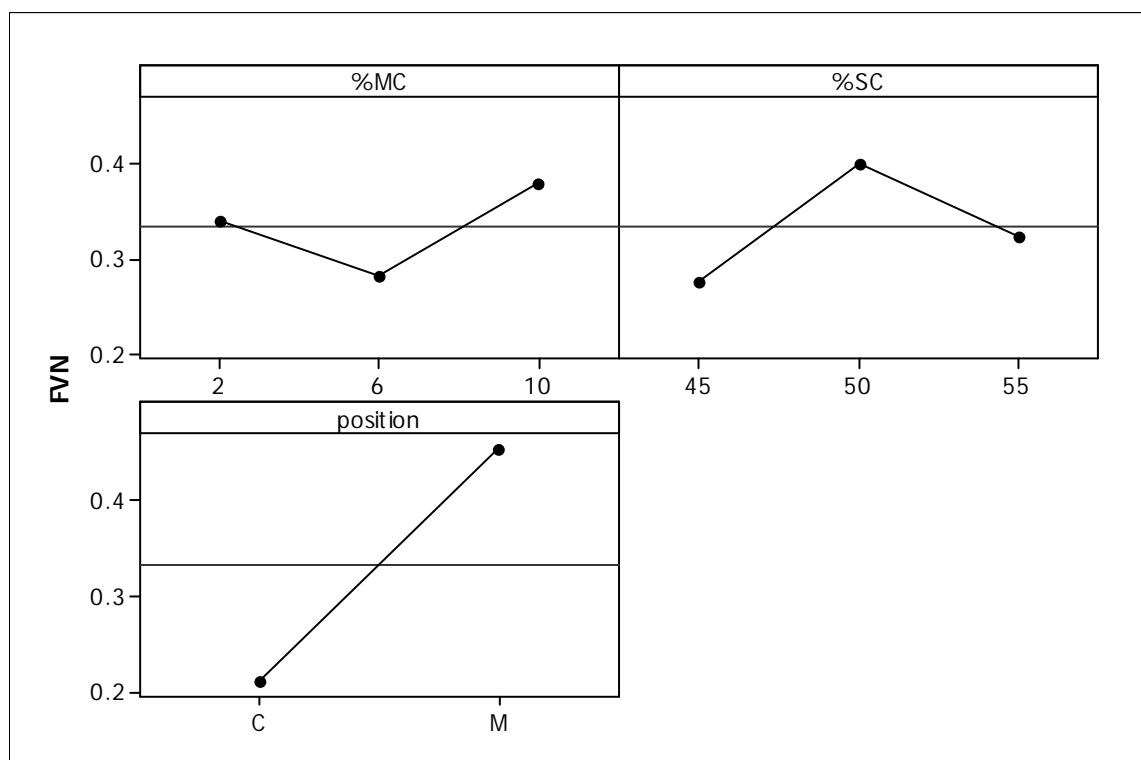
در غلظت ۴۵ درصد، اختلاف معنی‌دار در اثر تغییر رطوبت تراشه را بین تیمار با رطوبت ۱۰ درصد و دو سطح دیگر می‌بینیم. این در حالیست که در غلظت‌های ۵۰ و ۵۵ درصد، تنها بین مقادیر پارامتر نفوذ در سطح رطوبت ۲ درصد با دو سطح دیگر اختلاف معنی‌دار به چشم می‌خورد. مقادیر پارامتر نفوذ مربوط به سطوح مختلف غلظت چسب، در رطوبت تراشه ۶ درصد به یکدیگر نزدیکتر بوده و در ۱۰ درصد فاصله بیشتری از یکدیگر پیدا می‌کنند. در سطح ۲ درصد نیز تنها مقادیر مربوط به غلظت ۴۵ و ۵۰ درصد با یکدیگر منطبق هستند (شکل ۲۰).

بررسی اثر متقابل درصد رطوبت تراشه و موقعیت در ضخامت تخته نشان داد که در سطح رطوبتی ۱۰ درصد، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر پارامتر نفوذ در لایه میانی و بینابینی وجود ندارد. همچنین مشخص گردید که در لایه بینابینی اختلاف بین مقادیر

تیمار با رطوبت تراشه ۱۰ درصد، مقدار پارامتر مذکور ۱۲ درصد افزایش نشان داد هر چند تغییرات اشاره شده معنی‌دار نبودند. تغییر غلظت چسب از ۴۵ درصد به ۵۰ و ۵۵ درصد به ترتیب موجب افزایش ۴۵ درصدی و ۱۸ درصدی مقدار پارامتر FVN گردید. مقدار پارامتر نفوذ در لایه بینابینی ۱۱۶ درصد نسبت به مقدار آن در لایه میانی بیشتر بود که مقادیر میانگین‌های آن‌ها در دو گروه مجزا قرار گرفت (شکل ۳).

درصد رطوبت تراشه و غلظت چسب و اثر متقابل درصد رطوبت تراشه و غلظت چسب و موقعیت در ضخامت بر تعداد آوند پر شده توسط نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر موقعیت در ضخامت، اثر متقابل درصد رطوبت تراشه و غلظت چسب و اثر متقابل درصد رطوبت تراشه و غلظت چسب و موقعیت در ضخامت بر تعداد آوند پر شده توسط چسب معنی‌دار بوده‌اند (جدول ۲).

افزایش رطوبت تراشه از ۲ به ۶ درصد موجب کاهش ۱۷ درصدی در مقدار پارامتر FVN شد و در



شکل ۳- اثر درصد رطوبت تراشه (MC)، غلظت چسب (SC) و موقعیت در ضخامت (position) بر پارامتر FVN.

Figure 3. The effect of strand moisture content (MC), Resin solid content (SC) and position at the thickness (P) on the FVN parameter (M: Middle layer, C: Core layer).

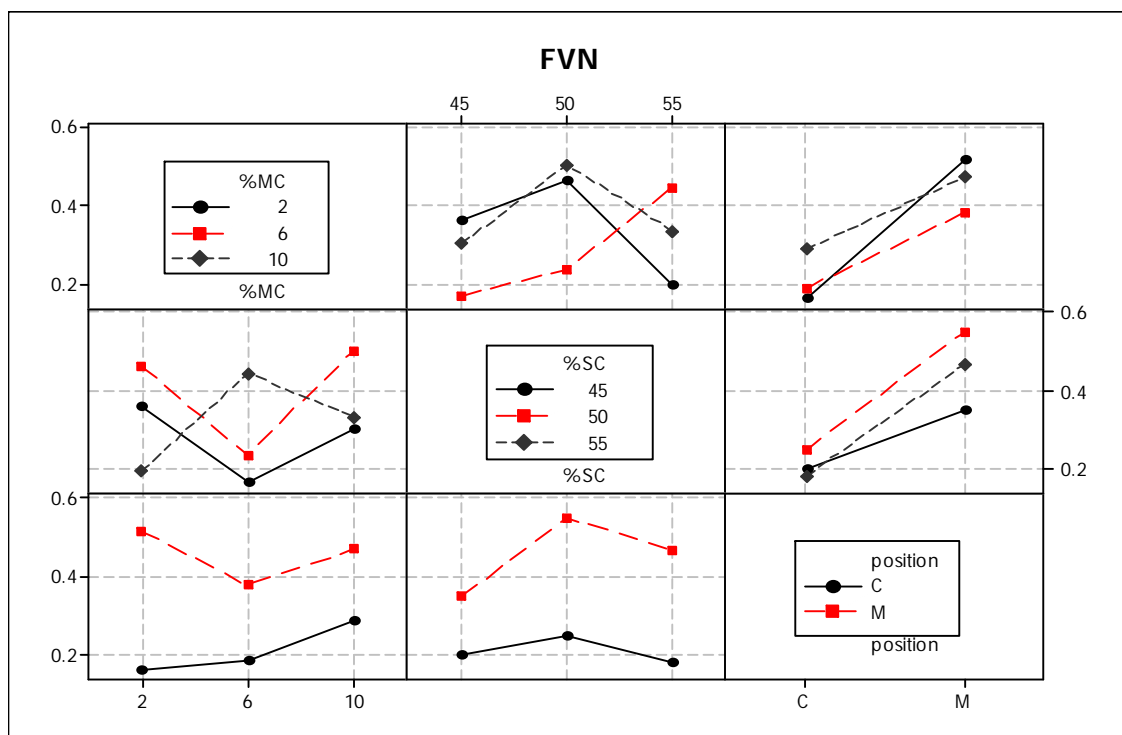
رطوبت تراشه از ۲ به ۶، مقدار FVN ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد ولی در تیمار با غلظت ۵۵ درصد، روند عکس می‌باشد (شکل ۴). همچنین مشاهده شد که مقدار پارامتر نفوذ در لایه میانی، با افزایش درصد رطوبت تراشه افزایش می‌یابد ولی در

بررسی اثرات متقابل مشخص نمود که روند تغییرات مقدار پارامتر نفوذ تحت تأثیر افزایش درصد رطوبت تراشه، در تیمارهای با غلظت چسب مختلف با یکدیگر متفاوت است. به عبارتی، در تیمارهای با غلظت چسب ۴۵ و ۵۰ درصد، با افزایش درصد



بینابینی در تیمار با رطوبت تراشه ۱۰ درصد به حداقل و در تیمار با رطوبت تراشه ۲ درصد به حداکثر رسید.

لایه بینابینی ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. به‌طور کلی اختلاف بین مقادیر نفوذ در لایه میانی و



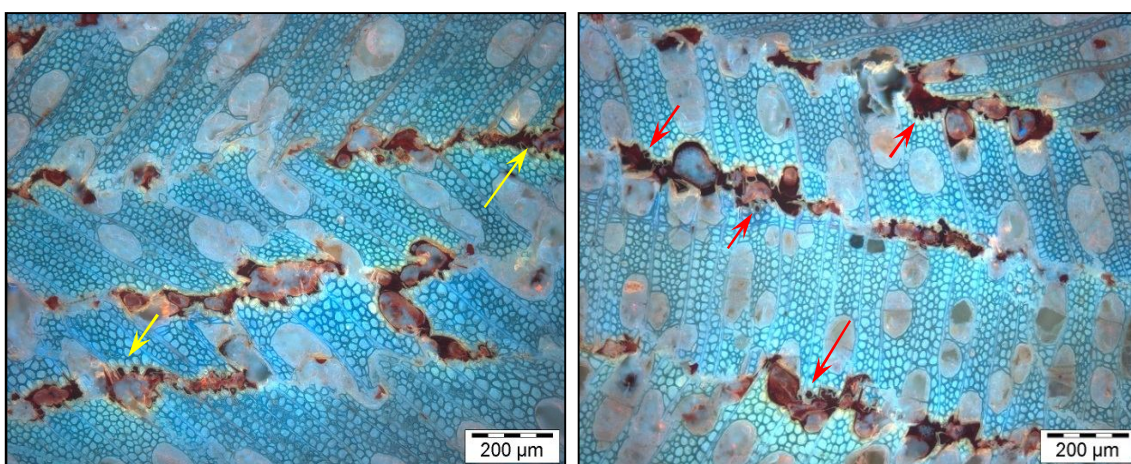
شکل ۴- اثرات متقابل دوگانه متغیرها بر پارامتر FFN.

Figure 4. The twin interaction effects of variables on the FFN parameter.

اثر متقابل سه متغیر بر پارامتر FFN نشان داد که عامل موقعیت در ضخامت می‌تواند اثر دو متغیر درصد رطوبت تراشه و غلظت چسب را تحت تأثیر قرار دهد و در مواردی آن‌ها را معنی‌دار نماید (شکل ۴).

**تصاویر میکروسکوپی:** بررسی تصاویر میکروسکوپی نشان داد که در تیمار A3 با کمترین درصد رطوبت تراشه و بیشترین غلظت چسب، نفوذ رزین به بافت سلولی تراشه‌ها به شکل واضحی محدود شده است. به‌دلیل اثر محدودکننده ناشی از ویسکوزیته چسب، جریان رزین که اولین مرحله ایجاد اتصال است، محدود شده و نفوذ به عناصر سلولی چوب همان‌طور که نتایج آنالیز کمی نشان داد، بسیار جزئی بوده است.

اثر متقابل درصد رطوبت تراشه با غلظت چسب مشخص نمود که بین مقادیر پارامتر نفوذ در تیمار با رطوبت تراشه ۱۰ درصد و غلظت چسب ۵۰ درصد با تیمار مربوط به رطوبت تراشه ۶ درصد و غلظت چسب ۴۵ درصد و تیمار با رطوبت تراشه ۲ درصد و غلظت چسب ۵۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در بررسی اثر غلظت چسب مشخص گردید که میزان اختلاف در مقدار پارامتر نفوذ بین لایه میانی و بینابینی در تیمار با غلظت چسب ۴۵ درصد به حداقل می‌رسد. در مورد روند تغییر این پارامتر در اثر افزایش غلظت چسب، رفتارهای متفاوتی در تیمار با رطوبت ۶ درصد مشاهده شده به این صورت که با افزایش غلظت چسب، مقدار پارامتر نفوذ افزایش یافت ولی در تیمارهای مربوط به سطوح ۲ و ۱۰ درصد، ابتدا افزایش و سپس کاهش نشان داد.

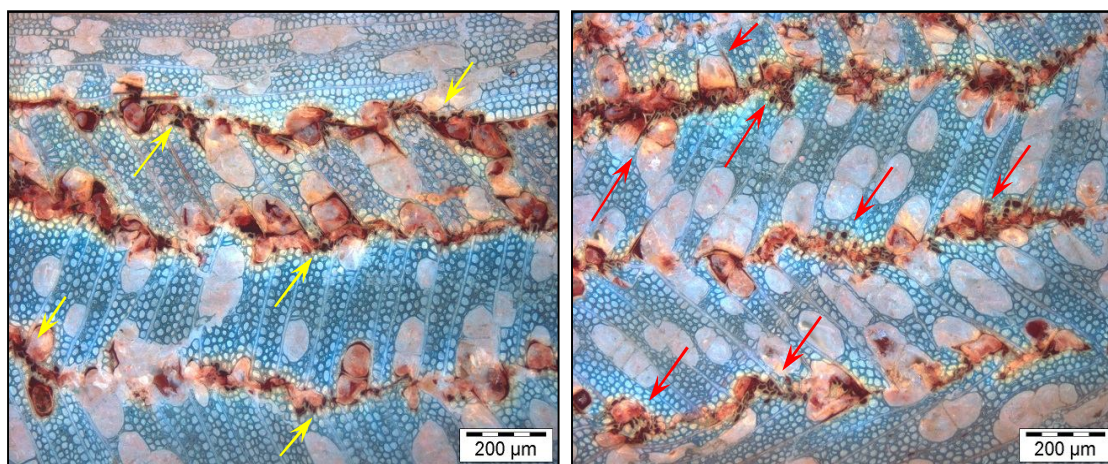


شکل ۵ و ۶- تصاویر میکروسکوپی از الگوی نفوذ چسب فنول فرم آلدهید در تخته تراشه ساخته شده تحت شرایط تیمار A3. سمت راست لایه بینایی، سمت چپ لایه میانی.

Figures 5 and 6. Microphotographs taken from PF resin penetration pattern in OSB made with A3 treatment condition. Right: Middle layer, Left: Core layer.

تأثیر نزدیکی به منبع حرارتی یا به عبارتی اثر موقعیت در ضخامت نیز در تصاویر مربوط به این تیمار مشهودتر است. در شکل سمت راست که مربوط به لایه بینایی است، نفوذ چسب با عمق بیشتری حاصل شده و حتی افزایش نفوذ چسب به داخل اشعه‌های چوبی را می‌توان مشاهده نمود.

در تیمار A5 رطوبت تراشه و آب موجود در ترکیب چسب در با مقدار متوسط تنظیم شد و نسبت به تیمار A3 محیط مرطوب‌تر بوده است. نتیجه این شرایط حفظ ویسکوزیته چسب و روانی آن جهت نفوذ به بافت چوب می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۷ و ۸ مشاهده می‌شود، تعداد عناصر سلولی پر شده توسط رزین به شکل چشمگیری افزایش یافته است.

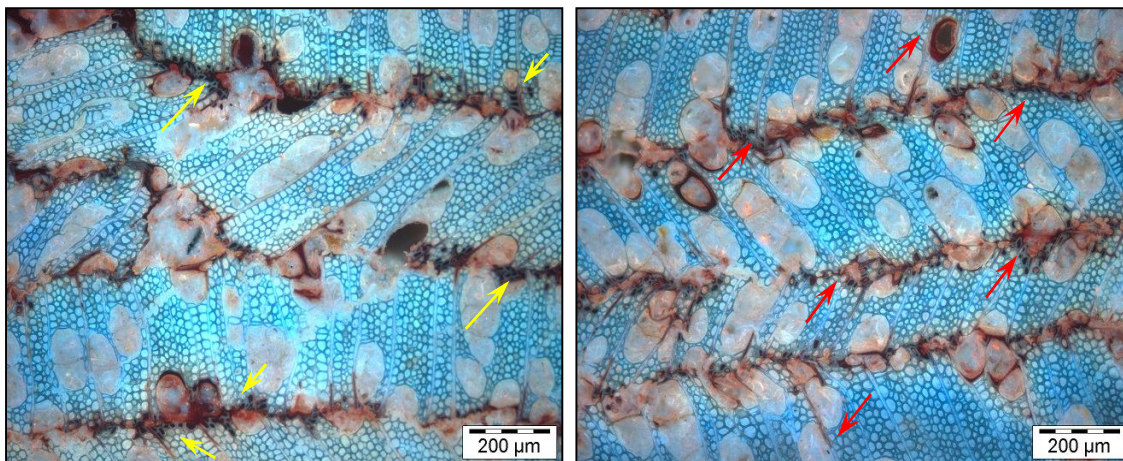


شکل ۷ و ۸- تصاویر میکروسکوپی از الگوی نفوذ چسب فنول فرم آلدهید در تخته تراشه ساخته شده تحت شرایط تیمار A5. سمت راست لایه بینایی، سمت چپ لایه میانی.

Figures 7 and 8. Microphotographs taken from PF resin penetration pattern in OSB made with A5 treatment condition. Right: Middle layer, Left: Core layer.

نفوذ را به‌خصوص در فیبرها افزایش داد (شکل ۹ و ۱۰).

بیشترین درصد رطوبت و کمترین غلظت چسب در تیمار A7 وجود داشت که به‌طور معنی‌داری مقدار



شکل ۹ و ۱۰- تصاویر میکروسکوپی از الگوی نفوذ چسب فنول فرم آلدهید در تخته تراشه ساخته شده تحت شرایط تیمار A7. سمت راست لایه بینابینی، سمت چپ لایه میانی.

Figures 9 and 10. Microphotographs taken from PF resin penetration pattern in OSB made with A7 treatment condition. Right: Middle layer, Left: Core layer.

نمی‌آید و از ۵۰ درصد تا ۵۵ درصد غلظت نیز، میزان کاهش نفوذ چسب معنی‌دار نمی‌باشد. تغییرات نفوذ در اثر افزایش غلظت چسب در رطوبت تراشه ۱۰ درصد به‌طور پیوسته نزولی بود ولی در رطوبت ۲ درصد، با افزایش غلظت چسب از ۵۰ به ۵۵ درصد، با شدت بیشتری اتفاق افتاد که نشان می‌دهد کاهش رطوبت چوب میزان اثرگذاری غلظت چسب بر مقدار نفوذ را تشدید می‌کند. عامل دیگری که می‌توان به آن اشاره نمود اثر رطوبت بر تأثیرگذاری دما بر گرانشی رزین است. وجود رطوبت می‌تواند عاملی برای تأخیراندازی افزایش گرانشی در اثر درجه حرارت باشد و بدین طریق می‌تواند نفوذ را افزایش دهد. مقدار پارامتر FFN در لایه بینابینی بیش‌تر از لایه میانی بود که این موضوع را می‌توان ناشی از بیشتر بودن فشار هیدرودینامیکی در موقعیت‌های نزدیک به منبع حرارتی که صفحات پرس می‌باشند، دانست. عامل مهمی دیگری هم وجود دارد که اثر آن با عامل

### نتیجه‌گیری کلی

افزایش رطوبت تراشه مقدار پارامتر FFN را به‌طور معنی‌داری افزایش داد که در هر دو لایه میانی و بینابینی این روند مشاهده شد. وجود رطوبت در تراشه همان‌طور که در سایر تحقیقات انجام گرفته به آن اشاره شده است، می‌تواند مانع از افزایش گرانشی رزین شده و در نهایت باعث افزایش نفوذ چسب شود. به‌عبارتی هر چقدر بافت چوب خشک‌تر باشد میزان جذب آب از رزین و متعاقب آن گرانشی رزین افزایش یافته و میزان نفوذ آن در بافت چوب کاهش می‌یابد (۷). همین اثر در خصوص افزایش غلظت چسب نیز مشاهده گردید که در تیمار با رطوبت تراشه ۶ درصد تغییرات شدت کمتری داشت. به نظر می‌رسد در سطح رطوبت تراشه ۶ درصد، یک حالت تعادل رطوبتی بین چوب و رزین بوجود می‌آید به طوری که با افزایش غلظت از ۴۵ به ۵۰ درصد، تغییری در مقدار نفوذ چسب به درون فیبرها وجود

افزایش و در غلظت ۵۵ درصد کاهش داد. در لایه میانی همواره با افزایش رطوبت تراشه مقدار این پارامتر هم بیشتر شد ولی در لایه بینابینی روند شبیه تیمارهای با غلظت چسب کم بود. همچنین مشاهده شد که در شرایط با رطوبت کمتر، (رطوبت تراشه حداقل و یا غلظت زیاد چسب) اختلاف مقدار نفوذ در آوندها بین لایه میانی و بینابینی بیشتر است که می‌تواند به دلیل انتقال حرارت سریع تر و همچنین قابلیت فشردگی بالاتر لایه‌های مختلف تحت اثر رطوبت بیشتر باشد. در لایه میانی اختلاف مقدار FVN در اثر تغییرات غلظت چسب کمتر از لایه بینابینی بود. به‌طور کلی تغییرات پارامتر FVN تحت تاثیر رطوبت تراشه و غلظت چسب در مقایسه با پارامتر FFN، روند منظمی نداشت و به همین دلیل توجیه رفتار آن مشکل می‌باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد که به‌طور کلی در مطالعه ریزساختار چسبندگی یک فرآورده چندسازه چوب، پارامترهایی که با شمارش تعداد فیبرها محاسبه می‌شوند، نسبت به پارامتر FVN که از شمارش تعداد آوندها به‌دست می‌آید، تغییرات منظم‌تری تحت اثر رطوبت تراشه و غلظت چسب دارند. همچنین مشخص شد که الگوی نفوذ چسب در لایه میانی و بینابینی با یکدیگر متفاوت است و این یافته احتمال عنوان شده توسط کمکی و لی (۲۰۰۷) را اثبات نمود (۶).

فشار تکمیل می‌شود و آن کاهش گرانیوی رزین در اثر حرارت است. همان‌طور که می‌دانیم با افزایش دما، گرانیوی رزین‌های گرماسخت ابتدا کاهش یافته و سپس با شدت زیادی افزایش می‌یابد (۶). وجود عامل فشار هیدرودینامیکی در زمان کاهش گرانیوی باعث افزایش نفوذ رزین در بافت چوب می‌شود. لایه‌های نزدیک‌تر به صفحات پرس به واسطه دریافت سریع‌تر و بیشتر حرارت، پتانسیل بیشتری برای نفوذ بیشتر رزین دارند. ولی هر چقدر به لایه میانی کیک نزدیک‌تر می‌شویم، حرارت کمتر و دیرتر به بافت چوب و رزین رسیده و همچنین به واسطه فشردگی بیشتر لایه‌های سطحی، فشار هیدرودینامیکی کمتری نیز به این لایه‌ها منتقل شده که در مجموع نفوذ چسب را در چوب کاهش می‌دهد. افزایش رطوبت تراشه، اختلاف بین مقدار نفوذ در لایه میانی و بینابینی را کمی کاهش داد که علت آن را می‌توان انتقال حرارت سریع تر از سطح به مغز کیک دانست.

پارامتر FVN معادل تعداد آوندهای پر شده توسط چسب بود. افزایش درصد رطوبت تراشه اثرات متفاوتی را با توجه به غلظت چسب بر مقدار FVN داشت. در غلظت‌های پایتتر، افزایش درصد رطوبت تراشه تا ۶ درصد، مقدار FVN را کاهش داد ولی در غلظت ۵۵ درصد مقدار این پارامتر افزایش نشان داد. افزایش رطوبت تراشه از ۶ به ۱۰ درصد، مقادیر پارامتر FVN را در غلظت‌های ۴۵ و ۵۵ درصد

#### منابع

1. Brady, D.E., and F.A. 1998. Kamke. Effects of Hot-Pressing Parameters on Resin Penetration. Forest products J. 38: 11/12. 63-68.
2. Dousthosseini, D. 2007. Technology of application and production of wood-based panels. Tehran Univ press, 705p. (In Persian)
3. Edalat. Hamidreza., Faezipour. Mehdi., Thole. Volker., Kamke. Frederick. A. 2014. A new quantitative method for evaluation of adhesive penetration pattern in particulate wood-based composite: Elemental Counting Method. Journal of wood sciences and technology. 48: 703-712.

4. Gardner, Douglass J. 2006. Adhesion mechanism of durable wood adhesive bonds. Stokke. Douglas D., and Groom. Leslie H., Characterization of cellulosic cell wall, Blackwell. USA. 289p.
5. Johnson, Stephen E., and Frederick A. Kamke. 1992. Quantitative Analysis of Gross Adhesive Penetration in Wood Using Fluorescence Microscopy. The Journal of Adhesion. 40: 1: 47-61.
6. Kamke, Frederick, and Jong Lee. 2007. Adhesive Penetration in Wood—a Review. Wood and Fiber Science J. 39: 2. 205-20.
7. Sernek, Milan, Joze Resnik, and Frederick Kamke. 1999. Penetration of Liquid Urea-Formaldehyde Adhesive into Beech Wood. Wood and Fiber Science J. 31: 1. 41-48.



## The effect of adhesive concentration and strand moisture on adhesive penetration pattern in core and middle layers of Oriented Strand Board (OSB)

\*H.R. Edalat<sup>1</sup>, M. Faezipour<sup>2</sup>, K. Doosthoseini<sup>2</sup> and Taghi Tabarsa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept., of Wood Technology and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,

<sup>2</sup>Professor Dept., of Wood Sciences and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, <sup>3</sup>Professor, Dept., of Wood Technology and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 06/24/2016 ; Accepted: 11/22/2016

### Abstract

**Background and objectives:** One of the requirements of adhesive joints formation is penetration into the wooden substrate. This phenomenon is influenced by multiple factors such as resin viscosity and wooden substrate moisture. There are many studies which were done on adhesive penetration in wood veneers and two strands. In this study, adhesive penetration pattern due to strand moisture and resin concentration in a particulate wood-based composite; OSB, was investigated. For this purpose, micro photographs of cross-section of the produced boards were prepared and parameters of the adhesive penetration pattern were evaluated and compared between treatments.

**Materials and methods:** for this research, oriented strand boards were made with poplar strand and phenol formaldehyde resin. The variables consisted of strand moisture content with three levels; 2%, 6% and 10% and resin concentration with 45%, 50% and 55% levels. After preparation microscopy samples, micro photographs of core layer and middle layer were taken. FFN and FVN as penetration pattern parameters were measured. In order to determine significant effects, one-way ANOVA was used. For grouping the mean amounts, Tukey test was applied.

**Results:** the effects of strand moisture content, resin concentration and position in the board thickness on penetration parameters were significant. Higher strand moisture content increased the penetration especially in fibers. Application of lower resin concentration improved the penetration. The penetration of resin was higher in middle layer that was near to the hot platen of press.

**Conclusion:** As mentioned in previous studies, the existence of moisture in the strand prevents increasing of resin viscosity and causes more penetration. In other words, the more dryness in wooden substrate, the more increasing in resin viscosity and could limit the resin penetration. Generally, the parameter take from fiber counting showed more organized changes with compare to FVN parameter that was taken from vessel counting due to strand moisture and resin concentration effects. Also it was determined that, the penetration patterns in core and middle layers of the board are different.

**Keywords:** Resin penetration pattern, Oriented strand board, FFN, FVN, Fluorescent microscopy, PF, Adhesion microstructure

---

\*Corresponding author: [edalat.hr@gmail.com](mailto:edalat.hr@gmail.com)