

## تاثیر کاربرد گرافیت پودری بر انتقال حرارت و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب ۳ لایه

### چکیده

در این تحقیق، به ارزیابی تاثیر کاربرد گرافیت پودری بر انتقال حرارت در زمان ساخت تخته خرده چوب ۳ لایه ساخته شده از ذرات پوشال رنده (۷۰٪ در لایه میانی) و خرده چوب صنوبر (۳۰٪ در لایه‌های سطحی) در چهار سطح ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد (وزن خشک چسب) پرداخته شد و همچنین ویژگی‌ها فیزیکی و مقاومت‌های مکانیکی اندازه گیری شدند. نتایج به دست آمده از این بررسی نشان داد کاربرد ذرات گرافیت پودری در مجموع میزان انتقال حرارت را در ضخامت تخته به طور معنی داری افزایش می‌دهد. همچنین مشخص شد که مقاومت خمشی و مدول کشسانی (الاستیسته) تخته‌ها به طور معنی داری افزایش یافته و واکنشیدگی ضخامت و جذب آب آنها نیز کاهش می‌یابد، اما بر برش موازی سطح تخته‌ها تاثیر معنی داری نداشت. تخته‌های ساخته شده با ۱۵٪ گرافیت پودری بیشترین میزان مقاومت خمشی (۱۸/۴۲ MPa) و مدول کشسانی (۲۲۹۸ MPa) را داشتند و همچنین کمترین میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت را دارا داشتند.

**واژگان کلیدی:** تخته خرده چوب، پوشال رنده، گرافیت پودری، انتقال حرارت، ویژگی‌ها فیزیکی و مکانیکی

امین ملکانی<sup>۱\*</sup>  
کاظم دوست حسینی<sup>۲</sup>  
مهدی فائزی پور<sup>۳</sup>  
محمد لایقی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، <sup>۲،۳</sup> استاد و  
<sup>۴</sup> استادیار صنایع چوب، دانشکده منابع طبیعی،  
دانشگاه تهران، ایران

مسئول مکاتبات:  
amin\_malakani@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۸  
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۱۱

### مقدمه

در فرآیند ساخت تخته خرده چوب یکی از عوامل اصلی دمای پرس است که با آن می‌توان زمان پرس را نیز مشخص کرد. زمان پرس هنگامی به پایان می‌رسد که دمای مغز کیک به دمای پلیمر شدن رزین برسد. از این رو می‌توان گفت که هرچه انتقال حرارت از سطح کیک به مغز آن پرشتاب‌تر انجام شود رزین موجود در مغز کیک زودتر پلیمر شده و زمان پرس کوتاه‌تر می‌شود. در نتیجه امروزه محققان به فکر راهکارهایی برای افزایش سرعت انتقال حرارت در کیک خرده چوب افتاده‌اند.

یکی از راه‌های افزایش سرعت انتقال حرارت در پرس گرم، افزایش ضریب هدایت حرارتی کیک خرده چوب از راه افزودن پرکننده‌های با ضریب هدایت حرارتی بالا می‌باشد. ضریب هدایت حرارتی برای چوب ۰/۲، کربن سیاه ۱، آلومینیم ۲۳۴، مس ۴۰۰ و گرافیت ۲۵-۴۷۰ می‌باشد (همه مقادیر به Wm-1 K-1 می‌باشد). تصور می‌شود که کاربرد پرکننده‌های با ضریب هدایت حرارتی بالا باعث افزایش ضریب هدایت حرارتی خرده چوب و در نتیجه افزایش سرعت انتقال حرارت از صفحه‌های پرس به مرکز کیک چوب پلاستیک خواهد شد [۱].

و مکانیکی تخته خرده چوب را بررسی کرد. مشخص شد که بین نوع نانو ذرات استفاده شده تأثیر معنی‌داری وجود ندارد ولی افزودن نانو ذرات به کیک تخته خرده چوب علاوه بر زیاد کردن میزان انتقال حرارت، باعث افزایش  $13/73\%$  میزان IB می‌شود. تأثیر این عامل بر مدول الاستیسیته (MOE) و مدول گسیختگی (MOR) معنی‌دار نبود [۳].

Heiser و همکاران (۲۰۰۴) با کاربرد سه پرکننده کربنی شامل کربن سیاه هادی دانسیته، ذرات گرافیت سنتزی و یک پلی اکریلونیتریل با تیمار سطحی بر پایه لیاف کربن موفق به افزایش هدایت حرارتی نایلون ۶/۶ شدند. هدف این بررسی تعیین اثرات هر فیلر و اثر متقابل آنها روی هدایت حرارتی رزین‌ها بود. ذرات گرافیت سنتزی بیشترین افزایش هدایت حرارتی چندسازه را نشان داد. علاوه بر این پرکننده‌ها در هر دو صورت جداگانه و ترکیبی موجب افزایش استاتیکی (در سطح اعتماد  $95\%$ ) در هدایت حرارتی و ویژگی‌ها مقاومتی چندسازه شد [۴].

Easter و همکاران (۲۰۰۱) با کاربرد نانو سیال خالص مس با ابعاد کمتر از  $10$  نانومتر، افزایش  $40\%$  در انتقال حرارت را در کسر مولی  $0/3$  درصد در اتیلن گلیکول دیده اند. عامل بسیار مهم آن افزایش نسبت سطح به حجم که کاهش اندازه نانو ذرات است می‌باشد [۵].

Matuna و همکاران (۲۰۰۳) برای افزایش ضریب هدایت حرارتی کیک تخته خرده چوب از کربن مصنوعی به میزان  $1\%$  وزنی استفاده کردند و نقش پرکننده کربنی هادی حرارت را در چند سازه‌های چوب پایه، مورد آزمون قرار دادند. نتایج نشان داد که گرافیت مصنوعی به عنوان کاتالیزور عمل نمی‌کند، بلکه گرافیت با افزایش انتقال حرارت به چند سازه چوب، موجب گیرایی سریع رزین می‌شود [۶].

هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر ذرات گرافیت پودری بر انتقال حرارت در مرحله ساخت تخته خرده چوب سه لایه (لایه وسط از پوشال رنده) ساخته شده با چسب اوره فرمالدهید و مقایسه ویژگی‌ها فیزیکی و مقاومت‌های مکانیکی تخته خرده چوب‌ها می‌باشد. همچنین تعیین میزان بهینه مصرف ذرات گرافیت پودری در ساخت تخته خرده چوب برای رسیدن به مقاومت و کیفیت مطلوب در کمترین زمان پرس می‌باشد.

به همین منظور برای انتقال سریع حرارت به مغز کیک می‌توان از ذرات گرافیت پودری استفاده کرد که این ذرات ضریب هدایت الکتریکی و حرارتی بالایی دارند و در زمان ساخت تخته، زمان پرس را کاهش می‌دهند. این کاهش زمان پرس منجر به افزایش راندمان محصول می‌شود و میزان سرانه تولید ملی را افزایش خواهد داد. علاوه بر این، انتقال بهتر حرارت به مغز کیک باعث می‌شود که رزین مصرفی در مغز کیک بهتر پلیمر شود و ذرات محکم تر به هم متصل شوند (چسبندگی حداکثر) که منجر به بهبود ویژگی‌ها فیزیکی و مکانیکی تخته خواهد شد.

با توجه به محدود بودن منابع جنگلی در ایران نیاز به منابعی جایگزین برای مواد اولیه صنایع فرآورده‌های مرکب چوبی می‌باشد تا قادر به تولید محصولات خود باشند. پوشال رنده که پسماندها کارخانه‌های مبلمان و چوب بری می‌باشد ماده ای مناسب برای تولید تخته خرده چوب می‌باشد که اگر به صورت ترکیبی با خرده چوب استفاده شود علاوه بر افزایش مقاومت‌ها و بهبود دیگر ویژگی‌ها باعث پایین آمدن قیمت نهایی محصول نیز می‌شود.

به منظور اصلاح ویژگی‌ها مکانیکی تخته خرده چوب ساخته شده از پوشال رنده که دارای معایبی می‌باشد بهتر است از روش لایه‌ای کردن تخته خرده چوب استفاده کرد. تخته‌های  $3$  لایه که لایه میانی از ذرات ضعیف و لایه‌های سطحی از ذرات خرده چوب ساخته شود تا با این روش از معایب تخته خرده چوب ساخته شده از پوشال رنده خالص کاسته شود [۲].

از جمله پیشینه‌های پژوهشی مربوط به موضوع می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

Motie (۲۰۰۹) میزان کاهش زمان پرس را با کاربرد پرکننده‌های با ضریب هدایت حرارتی بالا را در چند سازه‌های چوب پلاستیک بررسی کرد. عامل‌های متغیر در این تحقیق نوع و میزان پرکننده و زمان پرس بود. پرکننده نقره به میزان  $0/01\%$  و زمان پرس  $20$  دقیقه و دیگر پرکننده‌ها به مقادیر  $5$  و  $10\%$  با زمان‌های  $15$  و  $20$  دقیقه استفاده شد. نتایج نشان داد که پرکننده‌ها به میزان  $2$  تا  $4$  دقیقه زمان پرس را کاهش دادند [۱].

Farajolah Pour (۲۰۱۰) تأثیر کاربرد نانو ذرات نقره و مس بر هدایت حرارت در چرخه پرس و ویژگی‌ها فیزیکی

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق که در مقیاس آزمایشگاهی انجام گرفت، اقدام به ساخت تخته خرده چوب ۳ لایه با ۳۰٪ خرده چوب در لایه‌های سطحی و ۷۰٪ پوشال رنده در لایه میانی شد که آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای در نظر گرفته در این تحقیق ۴ سطح از ذرات گرافیت پودری است شامل ۰٪ (تیمار شاهد)، ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ (وزن خشک چسب) می‌باشند. عوامل ثابت در این تحقیق عبارت بود از: دمای پرس (۱۷۵ درجه سلسیوس) و فشار پرس ( $20 \text{ kg/cm}^2$ ) و زمان پرس (۵ دقیقه) نوع و میزان مصرف چسب (اوره فرمالدئید: ۱۰٪ بر مبنای وزن خشک خرده چوب)، نوع و میزان هاردنر (کلرید آمونیوم: ۱٪ بر پایه وزن خشک چسب)، با رطوبت کیک خرده چوب ( $10 \pm 0.5$ ٪)، چگالی تخته خرده چوب ( $0.7 \text{ gr/cm}^3$ ) و ضخامت تخته خرده چوب که ۱۴ میلی متر در نظر گرفته شد.

در این تحقیق از ترموکوپل حرارتی و ترمومتر الکتریکی برای اندازه گیری دما در زمان پرس استفاده شد که با این تجهیزات هر ۳۰ ثانیه میزان دمای مغز کیک خرده چوب ثبت شد.

خرده چوب مورد کاربرد چوب صنوبر بود که از قطعه‌های کناره بری کارخانه چوب بری تهیه شد. پیش از آسیاب کردن در آغاز قطعه‌های کوچک چوب به یک رطوبت یکسان حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد رسانده شده سپس با آسیاب پره ای پالمن به ذرات کوچکتر تبدیل شدند. پس از آسیاب کردن، خرده چوب‌ها در خشک کن آزمایشگاهی قرار داده تا رطوبت آنها به حدود ۲ درصد برسد. از آنجا که خاکه‌ها عمل چسب زنی را با مشکل روبه‌رو می‌کنند خرده چوب‌های خشک شده با یک الک آزمایشگاهی با حفره‌های ۱ میلی متر مربع الک شدند تا ذرات نرمه جدا شود. خرده چوب‌های خشک شده (حدود ۲٪ رطوبت) به منظور جلوگیری از تبادل حرارتی با محیط در کیسه پلاستیکی و غیر قابل نفوذ قرار داده شده و در نهایت از هر کیسه ۳ نمونه برای کنترل رطوبت گرفته شد. پوشال رنده مورد استفاده نیز از گونه صنوبر بود که از پسماندهای رنده کارخانه‌های چوب بری تهیه شد. در آغاز پوشال‌ها با آسیاب پره ای پالمن آسیاب شد و به ذرات کوچکتر تبدیل شد تا مشکل هلالی شکل بودن ذرات

بزرگ پوشال برطرف شده و در زمان چسب زنی همه سطح آنها چسب زنی شود. پوشال آسیاب شده با الک ریز (حفره ۱ میلی متر مربع) الک شد تا ذرات خاکه از پوشال جدا شود. پوشال مناسب به‌دست آمده در خشک کن آزمایشگاهی قرار داده شد تا رطوبت آنها به حد ۲٪ رسیده و به منظور جلوگیری از تبادل رطوبتی با محیط در کیسه غیر قابل نفوذ قرار داده شد.

در این تحقیق ذرات گرافیت پودری به محلول چسب آماده شده اضافه شد و پس از آن به روی خرده چوب‌ها و پوشال‌ها پاشش شد.

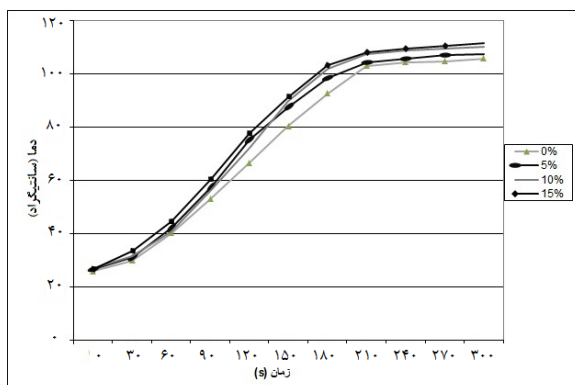
عملیات چسب زنی در یک چسب زن دوار آزمایشگاهی (یک استوانه افقی به قطر ۴۰ cm و طول ۸۰ cm) با سرعت چرخش ۲۰ دور در دقیقه انجام گرفت. محلول چسب همراه با هاردنر و آب (به منظور رساندن رطوبت کیک به حد ۱۰ درصد استفاده شد) و گرافیت پودری (در تیمارهای دارای گرافیت پودری) به وسیله یک پیستوله با کاربرد هوای فشرده داخل استوانه پاشیده شده و با ذرات خرده چوب و پوشال مخلوط شد.

برای ساخت تخته میزان خرده چوب و پوشال رنده (به ترتیب ۳۰٪ و ۷۰٪) مورد نیاز به طور جداگانه توزین و داخل چسب زن ریخته شد. پس از هر بار چسب زنی و قبل از تشکیل کیک خرده چوب، خرده چوب‌ها و پوشال‌ها وزن شدند تا از نظر وزنی نصف آنها جدا شود تا بتوانیم کیک لایه ای تشکیل دهیم و در ضخامت کیک خرده چوب ترموکوپل را قرار دهیم. سپس در قالبی به ابعاد  $40 \times 40$  سانتی متر در آغاز نصف خرده چوب‌های چسب‌زنی شده (وزنی) و بعد نصف پوشال چسب زنی شده ریخته شد بعد ترموکوپل گذاشته شد و بعد نصف دیگر کیک پاشیده شد. با کاربرد عمل پیش پرس کیک خرده چوب تا حدی فشرده و سپس داخل پرس هیدرولیکی از نوع Buerkle - LA 160 قرار داده شد. لازم به ذکر است که تعداد ۳ نمونه برای تعیین رطوبت خرده‌های چوب چسب زنی شده توزین و در آون با درجه حرارت  $103 \pm 2$  درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد.

برای هر تیمار ۳ تخته و در مجموع ۱۲ تخته ساخته شد. تخته‌های ساخته شده پس از خروج از پرس شماره‌گذاری و برای یکسان سازی رطوبت به مدت ۲ هفته در محیط آزمایشگاهی نگهداری شدند.

گرافیت پودری در زمان ۱۸۰ ثانیه به این دما رسیدند. مشاهده می‌شود که با کم شدن میزان ذرات گرافیت پودری در تخته زمان رسیدن به این دما بیشتر می‌شود. در همه تیمارها پس از دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس تغییرات افزایش دما ناچیز می‌شود ولی باز هم در آن زمان‌ها بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد که تخته خرده چوب‌های با ذرات گرافیت پودری بیشتر دمای مغز تخته بیشتری دارند.

علاوه بر تأثیر گرافیت بر میزان انتقال حرارت، در این تحقیق به تأثیر این متغیر بر ویژگی‌ها فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها نیز پرداخته شد. نتایج مشخص کرد که کاربرد ذرات گرافیت پودری اختلاف معنی‌داری در ویژگی‌ها فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها به جز میزان برش موازی سطح ایجاد کردند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ آورده شده است. میزان رطوبت میانگین تخته‌ها  $0.7/22\%$  و دانسیته میانگین تخته‌ها  $0.69\text{ g/cm}^3$  است.



شکل ۱- نمودار تأثیر ذرات گرافیت پودری بر انتقال حرارت در زمان پرس تخته خرده چوب

بررسی داده‌های حاصل از نرم افزار SPSS مشخص کرد که کاربرد ذرات گرافیت پودری تأثیر معنی‌داری بر میزان برش موازی سطح نمونه‌ها ندارد، به همین منظور از ارائه داده‌های آن صرفه نظر می‌شود.

بررسی میانگین مقاومت خمشی تیمارها نشان داد کاربرد ذرات گرافیت پودری تأثیر معنی‌داری با اطمینان ۹۵٪ دارد. افزایش میزان ذرات گرافیت پودری باعث افزایش میزان مقاومت خمشی می‌شود. شکل ۲ نشان می‌دهد که تیمار شماره ۴ با (۱۵٪ گرافیت پودری)  $18/42$  مگاپاسکال بیشترین مقاومت خمشی را دارا می‌باشد.

تهیه نمونه‌های آزمون با کاربرد یک دستگاه اره گرد 698 - PANHANS انجام گرفته است. تخته‌ها در آغاز کناره بری شده و بعد مطابق استاندارد DIN و طبق آیین نامه استاندارد برش  $68763$  نمونه‌ها تهیه شد. در زمان برش از قسمتی از تخته که ترموکوپل در آنجا است نمونه ای گرفته نشد. سپس مقاومت خمشی (MOR)، مدول الاستیسیته (MOE)، برش موازی سطح (چسبندگی داخلی)، جذب آب (در دو زمان ۲ ساعت و ۲۴ ساعت) و واکنشیدگی ضخامت (در دو زمان ۲ ساعت و ۲۴ ساعت) تعیین شد. پس از انجام آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی بر روی نمونه‌ها، نتایج حاصل از تأثیر مستقل هر یک از عوامل متغیر بر ویژگی‌ها مورد مطالعه با کاربرد آزمون تجزیه واریانس در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و در صورت معنی‌دار شدن اختلاف، گروه‌بندی میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه ای دانکن انجام شد.

## نتایج

نتایج حاصل از این بررسی مشخص کرد کاربرد گرافیت پودری در ساخت تخته خرده چوب به طور کلی تأثیر معنی‌داری بر میزان انتقال حرارت دارد. مقایسه تیمارها نشان داد که افزایش درصد گرافیت پودری در زمان ساخت تخته‌ها باعث افزایش میزان انتقال حرارت در ضخامت تخته‌ها می‌شود. این میزان افزایش در زمان‌های مختلف دوره ی پرس متفاوت است به‌طوری‌که در شکل ۱ نشان داده شده است در دوره میانی زمان پرس (۹۰ تا ۱۸۰ ثانیه) میزان انتقال حرارت به طور چشم گیری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است و اختلاف آن معنی‌دار می‌باشد. تجزیه داده‌ها با آزمون دانکن مشخص کرد که در زمان‌های ۰، ۳۰، ۶۰ و ۲۱۰ ثانیه ذرات گرافیت پودری اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ولی در بقیه زمان‌ها میزان اختلاف در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. میزان کم اختلاف در زمان‌های ۰ و ۳۰ ثانیه احتمالاً به خاطر این است که فرآیند انتقال گرما از سطح به مغز تخته تازه آغاز شده است.

مشاهده می‌شود که در تیمار شاهد که بدون ذرات گرافیت پودری است در زمان ۲۱۰ ثانیه مغز تخته به دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس رسید ولی تخته‌ها با ۱۵٪

ساعت غوطه وری در آب است و میزان اختلاف تیمارها را که از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴، میزان واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ ساعت و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب در تیمار شماره ۵ کمترین میزان (۲۹/۱۳٪ در ۲۴ ساعت) را دارا بود. تیمار بدون گرافیت پودری بیشترین میزان جذب آب (۳۲/۷۶٪ در ۲۴ ساعت) را به خود اختصاص داده است. نتایج موجود در شکل ۵ نشان می‌دهد که کاربرد گرافیت پودری اختلاف معنی‌داری را در واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ ساعت و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب بوجود می‌آورد بطوریکه تخته‌های دارای گرافیت پودری به طور معنی‌داری جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کمتری دارند.

همچنین مشخص شد که داده‌ها در ۲ گروه مجزا توسط آزمون دانکن دسته بندی شدند.

بررسی داده‌های مدول کشسانی نیز مشخص کرد که کاربرد گرافیت پودری با اطمینان ۹۹٪ تاثیر معنی‌داری بر این ویژگی دارد که در شکل ۳ به صورت نمودار نشان داده شده است، به طوری که تیمار شماره ۱ که بدون گرافیت پودری است کمترین میزان مدول خمشی (۱۸۸۳ MPa) را دارد و تیمار شماره ۴ با ۱۵٪ گرافیت پودری بیشترین میزان MOE (۲۲۹۸ MPa) را دارد. پس مشخص می‌شود که افزایش میزان گرافیت پودری باعث افزایش مدول کشسانی می‌شود. در این صفت نیز میانگین تیمارها در ۲ گروه مجزا دسته بندی شدند.

شکل ۴ بیانگر میزان جذب آب در ۲ ساعت و ۲۴

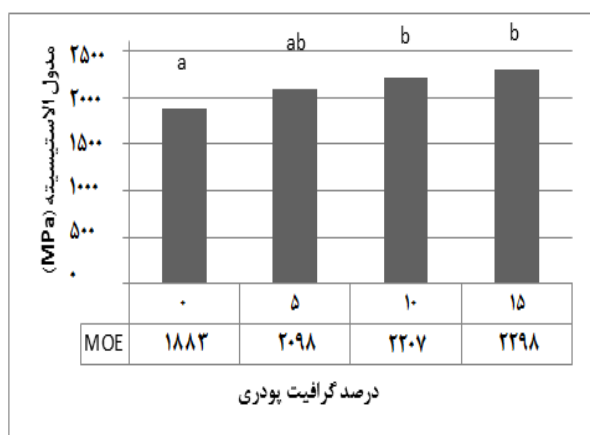
جدول شماره ۱- جدول تجزیه واریانس حاصل از مقایسه داده‌ها

عامل متغیر	ویژگی	مجموع میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F محاسبه شده
مقاومت خمشی (MOR)	۲۵/۴۸	۳	۸/۴۹۵	۲/۹۲*	
مدول کشسانی (MOE)	۸۶۱۰۹۲/۳۰	۳	۲۸۷۰۳۰/۷۶۹	۵/۰۹**	
برش موازی سطح	۰/۱۲۲	۳	۰/۰۴۱	۰/۴۳۷ n.s	
میزان درصد گرافیت جذب آب ۲ ساعت	۴۲۴/۵۲	۳	۱۴۱/۵۰۹	۵/۵۸**	
جذب آب ۲۴ ساعت	۳۴۸/۳۰	۳	۱۱۶/۱۰۳	۶/۳۶**	
واکنشیدگی ضخامت ۲ ساعت	۸۱/۷۰۹	۳	۲۷/۲۳۶	۳/۵۴*	
واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت	۶۱/۴۷۸	۳	۲۰/۴۹۳	۳/۰۸*	

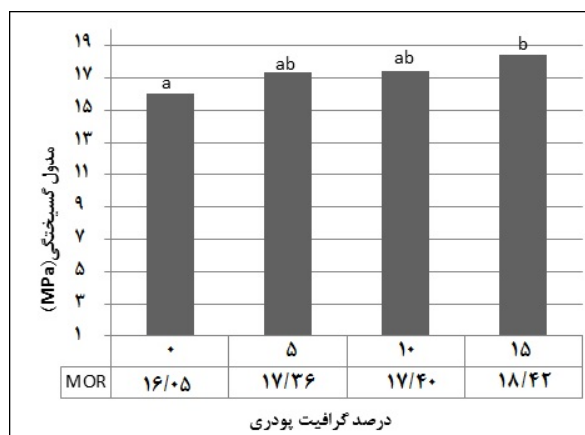
n.s: معنی‌دار نشده است.

\*: در سطح ۰/۰۵٪ معنی‌دار شده است.

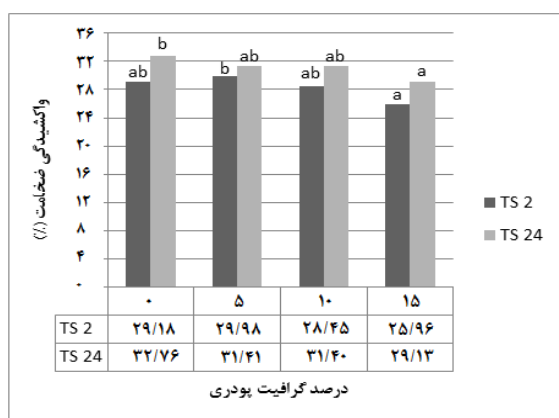
\*\* : در سطح ۰/۰۱٪ معنی‌دار شده است.



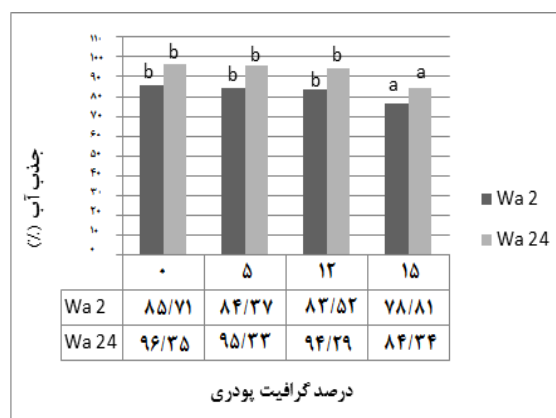
شکل ۳- تاثیر گرافیت پودری بر مدول کشسانی تخته خرده چوب



شکل ۲- تاثیر گرافیت پودری بر مقاومت خمشی تخته خرده چوب



شکل ۵- تأثیر گرافیت پودری بر واکنش پذیری ضخامت تخته‌ها



شکل ۴- تأثیر میزان گرافیت بر جذب آب تخته‌ها

نتایج به دست آمده مشخص کرد که کاربرد ذرات گرافیت پودری باعث می‌شود که در زمان کمتری مغز تخته خرده چوب به دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس (دمای انعقاد چسب) برسد و این را میتوان به ضریب انتقال حرارت بالای ذرات گرافیت پودری نسبت داد. مقایسه نتایج این تحقیق با کار انجام گرفته با ذرات نانو مس و نانو نقره نشان می‌دهد که ذرات گرافیت پودری تأثیری در حد این نانو ذرات دارند [۳]، حال اینکه هزینه ذرات گرافیت پودری با نانو ذرات مس و نقره قابل مقایسه نیست و کاربرد آنها در ساخت تخته خرده چوب اقتصادی می‌باشد.

تأثیر ذرات گرافیت پودری در آغاز فرآیند از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ولی از زمان ۹۰ ثانیه به بعد میزان تأثیر ذرات گرافیت پودری زیاد شد به طوری که در تیمارهای با درصد بیشتر ذرات گرافیت پودری انتقال حرارت بیشتر شده و در زمان کمتری به دمای انعقاد چسب رسیده‌اند. این امر سبب می‌شود که چسب موجود در مغز کیک در زمان کمتری منعقد شود و ساختار آن سفت شود، پس در زمان‌های باقی‌مانده پرس این چسب سفت شده به حداکثر چسبندگی و سفتی خود می‌رسد و میزان اندک آبی که در اثر پلیمر شدن چسب ایجاد می‌شود در زمان‌های که چسب در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس است از آن حذف می‌شود و اتصال‌های قوی‌تر ایجاد می‌کند. از این رو همین طور که دیده شد باعث افزایش مقاومت خمشی و مدول کشسانی تخته خرده چوب‌ها شد و بیشترین مقاومت هم در تخته با درصد بیشتر ذرات گرافیت پودری دیده شد که این تخته بیشترین انتقال حرارت را دارد و زودتر به دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس رسیده و اتصال‌های قوی‌تری ایجاد کرده است.

## بحث و نتیجه گیری

همان‌طور که گفته شد هدف از انجام این بررسی تأثیر ذرات گرافیت پودری بر انتقال حرارت در زمان ساخت تخته خرده چوب ۳ لایه است و همچنین تعیین میزان کاربرد بهینه گرافیت پودری می‌باشد، علاوه بر این به تأثیر گرافیت پودری بر ویژگی‌ها فیزیکی و مقاومت‌های مکانیکی نیز توجه شد. در این بررسی همه‌ی عامل‌های ساخت تخته خرده چوب به جز درصد گرافیت پودری ثابت می‌باشد. بررسی نتایج نشان داد کاربرد ذرات گرافیت پودری در تخته خرده چوب در سطح معنی‌داری باعث افزایش میزان انتقال حرارت در زمان ساخت تخته می‌شود و همچنین منجر به بهبود کیفیت و افزایش مقاومت‌های تخته خرده چوب می‌شود، به طوری که که تخته‌های با کاربرد ۱۵ درصد گرافیت پودری در کمترین زمان به دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس رسیدند و بیشترین میزان مقاومت خمشی و مدول کشسانی را داشته و همچنین کمترین میزان جذب آب و واکنش پذیری ضخامت را داشتند. در تحقیق دیگری که در این راستا انجام شده بود نشان داده شده است که کاربرد ۱۰٪ گرافیت پودری به عنوان پرکننده باعث کاهش زمان پرس می‌شود بدون اینکه کاهش قابل توجهی در ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی داشته باشد [۱].

همچنین نتایج به دست آمده از تحقیق Heiser و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که ذرات گرافیت سنتزی بیشترین افزایش هدایت حرارتی را بر روی چندسازه دارد. علاوه بر این همه‌ی پرکننده‌ها در هر دو صورت جداگانه و ترکیبی موجب افزایش ایستایی (در سطح اعتماد ۰/۹۵) در هدایت حرارتی و ویژگی‌ها مقاومتی چندسازه شد [۴].

داد که با افزایش درصد مصرف گرافیت پودری در تخته‌ها میزان جذب آب در تخته‌ها کاهش یافت و بر پایه آن میزان واکسیدگی ضخامت تخته‌ها کاهش یافت. پس می‌توان گفت که ذرات گرافیت پودری باعث مقاوم و پایدارتر شدن تخته‌ها می‌شود.

همچنین اتصالات‌های قوی‌تر که در اثر افزایش دمای تخته در آن ایجاد می‌شود هم در کاهش میزان جذب آب و واکسیدگی ضخامت تخته‌ها تاثیر دارد.

پس در کل می‌توان گفت که کاربرد ذرات گرافیت پودری در فرآیند ساخت تخته خرده چوب علاوه بر افزایش انتقال حرارت در مرحله ساخت تخته باعث افزایش مقاومت خمشی و مدول کشسانی تخته‌ها شود، همچنین باعث ایجاد تخته‌های با ثبات‌تر می‌شود که میزان جذب آب و واکسیدگی ضخامت کمتری دارند.

لازم به یادآوری است که ذرات گرافیت پودری از کربن خالص ساخته شده اند و میزانی جزئی حالت چرب بودن را دارند به طوری که در زمان لمس کردن، آنها ذرات ریز آن روی هم می‌لغزند و حالت چرب از خود نشان می‌دهند. این خاصیت ذرات گرافیت پودری باعث می‌شود که در اتصال بین ذرات خرده چوب مشکل ایجاد کند و ویژگی چسبندگی بیشینه ذرات را تحت شعاع قرار دهد که تاثیر آن را می‌توان در برش موازی سطح نمونه‌های تخته خرده چوب ساخته شده دید. مشخص شد که بین میزان برش موازی سطح تخته‌ها در تیمارهای مختلف هیچ اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری وجود ندارد.

همچنین از آنجا که در ساختار گرافیت پودری هیچ جز آب دوستی وجود ندارد (کربن خالص) پس این ذرات می‌توانند باعث کاهش میزان جذب آب تخته‌ها شوند. نتایج این تحقیق نیز تایید کننده این موضوع است و نشان

## مراجع

- [1] Motie, N., 2008. Minimizing hot-press time in the manufacturing process of wood plastic composites using thermally conductive fillers, M. Sc. Thesis, dept. of Wood and Paper, University of Tehran. 60 pages. (In Persian).
- [2] Raeisi, M., Enayati, A.A., Doosthoseini, K. and Pourtahmasi, K., 2012. Effect evaluation of layering technique effect with poplar on surface roughness of particleboard, Journal of Wood and Forest Science and Technology, 19 (2): 59-74. (In Persian).
- [3] Farajallahpour, M., 2010. Investigation of Ag & Cu nanoparticle effects on thermal conductivity in press cycle and physical and mechanical properties of particleboard, M. Sc. Thesis, dept. of Wood and Paper, University of Tehran. 65 pages. (In Persian),
- [4] Heiser, L., King, A., 2004. Thermally conductive carbon filler Nylon 6.6, Polymer composites, 25(2): 186-193.
- [5] Easter, J., Chio, S. and Li, S., 2001. Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylenglycon-based ano fluidcontaning Cu Nano particles, Applied physics letter, 78(6):7-20.
- [6] Matuana, L.M., 2003. Thermally conductive carbon filler in wood-based composites, Forest products Journal, 53,3. ABI/INFORM Global.
- [7] Doosthoseini K. 2007. Wood composite materials Manufacturing Applications, 2<sup>th</sup>., University of Tehran, 708 pages. (In Persian).
- [8] Doosthoseini, K., Mohammadkazemi, F., 2011. Investigating of the effect of using bagasse and isocyanate adhesive on the 3-layer particleboard manufacturing, Wood and Paper Science Research 26 (2):300-313. (In Persian).
- [9] Lin, H.C., Fujimoto, Y. and Murase, Y., 2002. Influences of particle size and moisture content on Ultrasonic wave transmission characteristics in thickness direction particleboard, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 46(2): 433 – 444.
- [10] Nasiri, N. 2001. Utilization of particle wood's shape in particleboard production, M.sc. Thesis, Department of Wood and Paper, University of Tehran. 146 pp. (In Persian).

## Effect of Graphite powder on thermal conductivity, physical and mechanical properties of 3-layer particleboard

### Abstract

This study, has investigated effect of using graphite powder on thermal conductivity during the time of production in three-layer boards made of planer shaving particles (70% in the middle layer) and the particles poplar (30% of the surface) at 4 levels of 0, 5, 10 and 15% (oven dry adhesive). After that physical properties and mechanical strength measured. Overall, results have shown that use of graphite powder, increases amount of thermal conductivity significantly. Also found that modulus of rupture and modulus of elasticity had significantly increased and the thickness swelling and water absorption decreased, but they had no significant effect on shear strength parallel to surface. So the boards produced by 15% graphite powder had maximum amount of modulus of rupture (18.42 MPa) and modulus of elasticity (2298MPa) and also had minimum amount of water absorption and thickness swelling.

**Keyword:** Particleboard, Planer shaving, Graphite powder, Physical and mechanical properties

**A. Malakani**<sup>1\*</sup>  
**K. Doosthoseini**<sup>2</sup>  
**M. Faezipour**<sup>3</sup>  
**M. Layeghi**<sup>4</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. Student, <sup>2,3</sup> Professor and  
<sup>4</sup>Assistant Professor of Wood and Paper  
Science & Technology, Faculty of  
Natural Resources, University of  
Tehran, Iran

Corresponding author:  
amin\_malakani@yahoo.com

Received: 2013.02.06  
Accepted: 2013.07.02