

## کاهش زمان پرس در فرایند تولید چند سازه‌های چوب-پلاستیک

### چکیده

در این پژوهش، کاهش زمان پرس با استفاده از پرکننده‌هایی با ضریب هدایت حرارتی بالا و همچنین تاثیر این پرکننده‌ها بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های به دست آمده بررسی شده است. عامل‌های متغیر در این تیمارها، نوع و میزان پرکننده و زمان پرس بودند و دیگر عامل‌ها از جمله میزان آرد چوب، چگالی (دانسیته) تخته و دیگر شرایط پرس ثابت بودند. مواد مورد استفاده آرد چوب راش، پلی پروپیلن، سازگارکننده MAPP و پرکننده هادی حرارت بودند. انواع پرکننده‌ها شامل گرافیت پولکی و پودری (پرکننده‌های کربنی) و آلومینا (پرکننده‌های سرامیکی) می‌باشد. پرکننده‌ها به میزان ۵ و ۱۰٪ در زمان‌های پرس ۱۵ و ۲۰ دقیقه ساخته شدند. در حین ساخت تخته در پرس گرم از ترموکوپل برای اندازه‌گیری دمای مغز تخته و بررسی زمان رسیدن دمای پرس به مغز تخته استفاده شد. آزمون‌های مکانیکی کشش، خمش، ضربه و سختی و آزمون‌های فیزیکی جذب آب و واكشیدگی ضخامت و همچنین اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی انجام شد. نتایج نشان داد که پرکننده‌ها به میزان ۲ تا ۴ دقیقه زمان پرس را کاهش دادند. به‌غیر از گرافیت پولکی هیچ‌یک از پرکننده‌ها محدودیتی در خواص مکانیکی ایجاد نکردند. همچنین به‌لحاظ خواص فیزیکی جذب آب و واكشیدگی ضخامت نیز هیچ‌گونه محدودیتی در استفاده از پرکننده‌ها برای کاهش زمان پرس دیده نشد. هدایت حرارتی تخته‌های به دست آمده از پرکننده‌های هادی، افزایش یافته؛ در نمونه‌های دارای گرافیت پولکی و پودری افزایش بیشتری نسبت به نمونه‌های دارای آلومینا دیده شد.

**واژگان کلیدی:** زمان پرس، هدایت حرارتی، گرافیت، آلومینا، چندسازه

نازنین مطیع<sup>۱\*</sup>  
قنبر ابراهیمی<sup>۲</sup>  
مهدی تجویدی<sup>۳</sup>  
محمد لایقی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناس ارشد<sup>۲</sup>، استاد،

<sup>۳</sup> استادیار علوم و صنایع چوب و کاغذ،

دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

<sup>۳</sup> استادیار دانشگاه مین، دانشکده منابع جنگلی، کانادا

مسئول مکاتبات:

nazaninmotie@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۲۵

### مقدمه

[۱]. این مواد برای برطرف کردن نیاز به یک ماده بادوام بر پایه چوب به‌وجود آمده‌اند [۲]. یک ماده چندسازه، از اختلاط پلیمرهایی مانند پلی پروپیلن، پلی اتیلن و پلی وینیل کلراید و... با پرکننده‌های سلولزی شامل آرد و الیاف چوب، کتان، کنف، بامبو، کاه، کلش و... ساخته

اصطلاح «چند سازه‌های چوب پلاستیک» (WPCs<sup>۱</sup>) به رده جدیدی از مواد مهندسی که در اصل شامل یک ترکیب لیگنوسلولزی و پلاستیک است؛ مربوط می‌باشد

<sup>۱</sup> Wood-plastic composites

می‌شود. ماده پلیمری را می‌توان از مواد دست اول یا بازیافتی تهیه نمود. گسترش کاربرد مواد لیگنوسلولزی در ساخت این محصولات به دلیل قیمت کم، تجدیدپذیری، قابلیت تجزیه زیستی (بیولوژیکی)، وزن مخصوص کم و مقاومت و سفتی بالای آن‌ها می‌باشد [۳]. این چندسازه جدید در حالی که برتری‌های چوب، مانند چگالی کم، قیمت پایین و ویژگی‌های ماشین‌کاری را دارا می‌باشد، جزء ترموپلاستیک آن به‌عنوان لایه‌ای محافظ در برابر نفوذ رطوبت و مخرب‌های زیستی (بیولوژیکی) عمل می‌کند [۲]. استفاده از پرس گرم یکی از روش‌های متداول برای ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک می‌باشد. یکی از نارسایی‌های تولید محصول به این روش، طولانی بودن زمان پرس گرم می‌باشد. زمان پرس به لحاظ اقتصادی بسیار دارای اهمیت بوده و تأثیر مستقیم بر روی بازده تولید واحد تولیدی و قیمت تمام شده محصول دارد. طولانی بودن زمان پرس گرم ناشی از پایین بودن ضریب هدایت حرارتی پرکننده‌های لیگنوسلولزی می‌باشد. هدایت حرارتی نمایانگر توانایی مواد برای انتقال گرما است [۴]. مدت زمان پرس گرم بستگی شدیدی به سرعت انتقال حرارت در یک چندسازه دارد. سرعت انتقال حرارت در یک چند سازه، سرعت ذوب ماتریس ترموپلاستیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌علت پایین بودن ضریب هدایت حرارتی پرکننده‌های لیگنوسلولزی، انتقال گرما از صفحه‌های پرس گرم به مرکز یک چندسازه به‌کندی صورت می‌گیرد. در نتیجه درحالی‌که ماتریس ترموپلاستیک در سطح یک چندسازه در حال ذوب شدن می‌باشد، مرکز یک چندسازه هنوز سرد است. امکان استفاده از دماهای بالاتر برای افزایش سرعت پرس در مورد چندسازه‌های چوب پلاستیک عملی نمی‌باشد. زیرا استفاده از دماهای بالای پرس موجب تخریب گرمایی پرکننده‌های لیگنوسلولزی خواهد شد. دمای فرآورش چندسازه‌های چوب پلاستیک محدود به  $200^{\circ}\text{C}$  می‌باشد زیرا تخریب گرمایی مواد لیگنوسلولزی در دمای نزدیک به  $230^{\circ}\text{C}$  آغاز می‌شود [۵]. یکی از راه‌های افزایش سرعت انتقال گرما به پرس گرم، افزایش ضریب هدایت حرارتی یک چندسازه با افزودن پرکننده‌های با ضریب هدایت حرارتی بالا می‌باشد. ضریب هدایت حرارتی برای چوب  $0.1$ ، کربن سیاه  $1$ ، پلی‌اکریلونیتریل کربونیزه (PAN)  $10$ ،

آلومنیوم  $234$ ، مس  $400$ ، گرافیت  $600$  می‌باشد (همه مقادیر به  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  می‌باشد) [۶]. در دهه‌های گذشته بررسی‌های گسترده‌ای در ارتباط با کاهش زمان پرس در فرآیند ساخت پانل‌های چوبی (تخته‌خرده چوب، تخته‌لایه، تخته فیبر) صورت گرفته است. از آنجاکه در فرآیند ساخت این پانل‌های چوبی از رزین‌های گرماگیر (ترموست) استفاده می‌شود، بیشتر پژوهش‌ها بر روی افزایش سرعت انعقاد رزین‌های گرماگیر با استفاده از انواع مختلف افزودنی‌ها، کاتالیزورها و فرمولاسیون‌های رزین متمرکز شده‌اند [۷-۹]. پژوهشگران دیگری نیز تأثیر رطوبت یک بر روی زمان پرس و تعیین رطوبت بهینه برای کاهش زمان پرس را مورد بررسی قرار دادند [۱۰]. استفاده از پرکننده‌های با ضریب هدایت حرارتی بالا برای افزایش ضریب هدایت حرارتی یک از دیگر روش‌هایی است که مورد بررسی قرار گرفته است. برای افزایش ضریب هدایت حرارتی یک تخته‌خرده چوب، کربن مصنوعی به مقدار  $1\%$  وزنی مورد استفاده قرار گرفت [۱۱].

تأثیر پرکننده‌های با ضریب هدایت حرارتی بالا بر روی خواص فیزیکی تخته‌ویفر توسط Torrey (۲۰۰۱) مورد بررسی قرار گرفت [۶]. پرکننده‌های با ضریب هدایت حرارتی بالا (پرکننده‌های کربنی، فلزی و سرامیکی) به طور گسترده‌ای در ساخت چندسازه‌های ترموپلاستیک به‌کار گرفته شده‌اند [۱۲-۱۵]. هدف استفاده از این پرکننده‌ها طراحی یک محصول جدید با ضریب هدایت حرارتی بالا، برای کاربردهای ویژه مانند اجزای رایانه و ترمز قطار و ... می‌باشد. با وجود بررسی‌های گسترده‌ای که در این زمینه صورت گرفته است، هیچگونه پیشینه‌ای در زمینه استفاده از پرکننده‌های با ضریب هدایت حرارتی بالا برای کاهش زمان پرس در فرآیند ساخت چندسازه‌های ترموپلاستیک یافت نشد.

در این پژوهش سعی شده تأثیر نوع و میزان پرکننده‌های کربنی و سرامیکی بر روی زمان پرس گرم در چندسازه‌های الیاف - پلی‌پروپیلن مورد بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

در این بررسی، خاکاره راش که از کارگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد، به عنوان ماده

بوده و به آسانی با پرکننده‌های پودری و پولکی ریز به صورت مکانیکی اختلاط شد و اختلاط حاصل، همگن و یکدست بود. پلی پروپیلن با شاخص جریان مذاب  $10 \text{ min}/10 \text{ g}$  و چگالی  $0.9 \text{ g/cm}^3$  از شرکت صنایع پتروشیمی بندر امام تهیه شد. مخلوط مواد درون شابلون تحت فشار پرس گرم با دمای  $180^\circ\text{C}$  قرار گرفتند.

پیش از آغاز مرحله تشکیل یکیک به دلیل نیاز به استفاده از ترموکوپل برای تعیین دمای وسط ضخامت (مغز) تخته در طول زمان پرس، تغییراتی در شابلون ایجاد شد. برای جلوگیری از ایجاد نایکخواختی در ضخامت تخته در اثر حضور سیم‌های ترموکوپل بر روی شابلون، شیارهایی به عرض ۴ میلی‌متر (برابر با عرض سیم‌های ترموکوپل) و عمق ۳ میلی‌متر (برابر با قطر سیم‌ها) در شابلون ایجاد شد. فاصله شیاره‌ها از یکدیگر و از لبه شابلون به یک اندازه در نظر گرفته شد.

چوبی مورد استفاده قرار گرفت. از الک ۴۰ مش برای جداسازی خاکاره‌ها با ابعاد مشخص استفاده شد. ذرات درشت‌تر که از الک عبور نکردند، جدا و حذف شدند. به منظور حفظ اختلاط وزنی دقیق و حذف وزن رطوبت چوب، خاکاره به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای  $103 \pm 2$  درجه سلسیوس قرار گرفت.

برای ساخت تخته‌ها از سه نوع پرکننده شامل دو نوع پرکننده کربنی (گرافیت پولکی و گرافیت پودری) و یک نوع پرکننده سرامیکی (آلومینا) استفاده شد.

قالب پرس مورد استفاده دارای ابعاد داخلی  $1 \times 25 \times 25$  سانتیمتر بود. برای رسیدن به چگالی هدف که  $0.8 \text{ g/cm}^3$  می‌باشد، در هر تخته ۵۰۰ گرم مخلوط خاکاره راش، پلیمر پلی پروپیلن (PP)، پرکننده‌های هادی حرارت و سازگار کننده MAPP، که از شرکت کیمیا جاوید تهیه شد، به نسبت وزنی درج شده در جدول ۱ توزین و مخلوط شدند. پلی پروپیلن مورد استفاده به شکل دانه (گرانول) ریز

جدول ۱- تیمارهای مختلف و ترکیبات آن‌ها

کد	نوع پرکننده هادی	میزان پرکننده هادی (%)	میزان پرکننده لیگنوسولوزی (%)	میزان پلی پروپیلن (%)	میزان سازگارکننده (%)
Control	--	--	۶۷/۹	۲۹/۱	۳
Al 5	آلومینا	۵	۶۴/۴	۲۷/۶	۳
Al 10	آلومینا	۱۰	۶۰/۹	۲۶/۱	۳
PG 5	گرافیت پولکی	۵	۶۴/۴	۲۷/۶	۳
PG 10	گرافیت پولکی	۱۰	۶۰/۹	۲۶/۱	۳
FG 5	گرافیت خشک	۵	۶۴/۴	۲۷/۶	۳
FG 10	گرافیت خشک	۱۰	۶۰/۹	۲۶/۱	۳

آزمون خمش استاتیک مطابق با آیین‌نامه D-۷۰۳۱ استاندارد ASTM انجام گرفت. شاخص‌های اندازه‌گیری شده در این آزمون، شامل مدول گسیختگی (MOR) و مدول الاستیسیته (MOE) بود. ۸ نمونه از هر تیمار تحت آزمون خمش قرار گرفتند. در آزمون ضربه از دستگاه ضربه پاندولی استفاده شد. آزمون ضربه مطابق با آیین‌نامه D-۲۵۶ استاندارد ASTM انجام شد و مقاومت به ضربه نمونه‌ها بر حسب  $\text{J/m}^2$  محاسبه شد. در آزمون سختی از نمونه‌های شکسته شده در آزمون ضربه استفاده شد. هر یک از نمونه‌ها در سه ناحیه متفاوت، مطابق با آیین‌نامه D-۲۲۴۰ استاندارد ASTM آزمایش شدند و میانگین آن‌ها به منظور تعیین سختی نمونه‌ها محاسبه شد.

در طول مدت پرس، ترموکوپل دمای مغز تخته را نشان می‌داد و در هر ۳۰ ثانیه این دما یادداشت می‌شد. به این ترتیب مشخص می‌شد که وسط ضخامت (مغز) هر یک از تخته‌ها شامل تخته‌های شاهد و تخته‌های دارای سه نوع پرکننده هادی، در چه زمانی به دمای  $180^\circ\text{C}$  رسیدند.

آزمون کشش استاتیک مطابق با آیین‌نامه D-۶۳۸ استاندارد ASTM انجام گرفت. سرعت بارگذاری دستگاه ۵ میلی‌متر بر دقیقه بود. مقاومت کششی و مدول الاستیسیته نمونه‌ها تعیین شد. دست کم ۵ نمونه از هر تیمار تحت آزمون کشش قرار گرفتند. نمونه‌های خمشی نیز توسط دستگاه اینسترون مورد آزمایش قرار گرفتند.

وسط ضخامت یکی از تخته‌ها دو حفره به قطر ۳/۵ میلیمتر ایجاد شد. مرکز دو حفره از یکدیگر ۵ میلیمتر فاصله داشت. حسگر (سنسور) های دماسنج درون سوراخ‌ها جای گرفتند تا دمای دو نقطه از وسط ضخامت تخته را به فاصله ۵ میلی‌متر از یکدیگر نشان دهند. به طور طبیعی نواحی اطراف حفره نزدیک‌تر به منبع گرما با شتاب بالاتری گرم شده و بسته به میزان هدایت حرارتی نمونه، این گرما با سرعت‌های متفاوت به سمت دورتر از منبع گرما منتقل می‌شود. پایه اندازه‌گیری هدایت حرارتی اختلاف دمای نمونه در محل این دو حفره می‌باشد که اطلاعات این دماها توسط دو حسگر به دماسنج‌ها منتقل می‌شوند. برای افزایش دقت آزمایش، منبع گرما در سه مرحله در ولتاژهای ۱۰۰، ۱۴۰ و ۱۸۰ ولت تنظیم شد. در هر مرحله دمای دو دماسنج زیر نظر بود تا هنگامی که اختلاف دمای دماسنج‌ها ثابت شود. در این زمان دماها یادداشت شده توان ثبت شده و مرحله بعدی با بالا بردن ولتاژ آغاز شد. هدایت حرارتی نمونه‌ها با استفاده از قانون فوریه به کمک فرمول‌های زیر محاسبه شد.

$$Q = V \times I \quad \text{معادله ۳-}$$

Q: توان (W)

V: ولتاژ (v)

I: شدت جریان (A)

$$\frac{Q}{2} = \frac{kA\Delta T}{\Delta X} \quad \text{معادله ۴-}$$

k: ضریب هدایت حرارتی (W/m°C)

A: مساحت نمونه (m<sup>2</sup>)

ΔT: اختلاف دمای دو دماسنج (°C)

ΔX: فاصله مرکز دو سوراخ (m)

### تحلیل آماری

نتایج آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی با استفاده از نرم‌افزار SPSS به روش تجزیه واریانس با استفاده از آزمون F تحلیل شد. از آزمون چنددامنه‌ای دانکن برای گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شد. همه مقایسه‌ها در سطح ۹۵٪ اعتماد انجام شدند.

در این تحقیق، آزمون‌های فیزیکی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت مطابق با آیین‌نامه D-۵۷۰ استاندارد ASTM بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. پس از قرار گرفتن نمونه‌ها در آون با دمای ۱۰۳±۲°C، ضخامت مرکز و ۴ نقطه از لبه‌ها و وزن به طور کامل خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در آب مقطر قرار گرفتند به طوری که با یکدیگر و با کناره و کف ظرف و سطح آب تماس نداشته باشند؛ و پس از گذشت دوره‌های ۲، ۴، ۶، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت و ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ هفته قرارگیری نمونه‌ها در آب مقطر، هر بار وزن نمونه‌ها برای محاسبه جذب آب، و ضخامت مرکز و کناره‌ها برای تعیین واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها اندازه گرفته شد. جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در پایان هفته پنجم متوقف شد. برای اندازه‌گیری وزن از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم و برای اندازه‌گیری ضخامت از ریزسنج با دقت ۰/۰۱ میلیمتر استفاده شد. میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها به ترتیب با فرمول‌های ۱ و ۲ محاسبه شد.

$$WA = \frac{M_x - M_o}{M_o} * 100 \quad \text{معادله ۱-}$$

WA: میزان جذب آب (%)

M<sub>x</sub>: وزن مرطوب آزمون‌ها (g)

M<sub>o</sub>: وزن کاملاً خشک آزمون‌ها (g)

$$TS = \frac{T_x - T_o}{T_o} * 100 \quad \text{معادله ۲-}$$

TS: میزان واکنشیدگی ضخامت (%)

T<sub>x</sub>: ضخامت آزمون‌ها در هر یک از دوره‌های زمانی (mm)

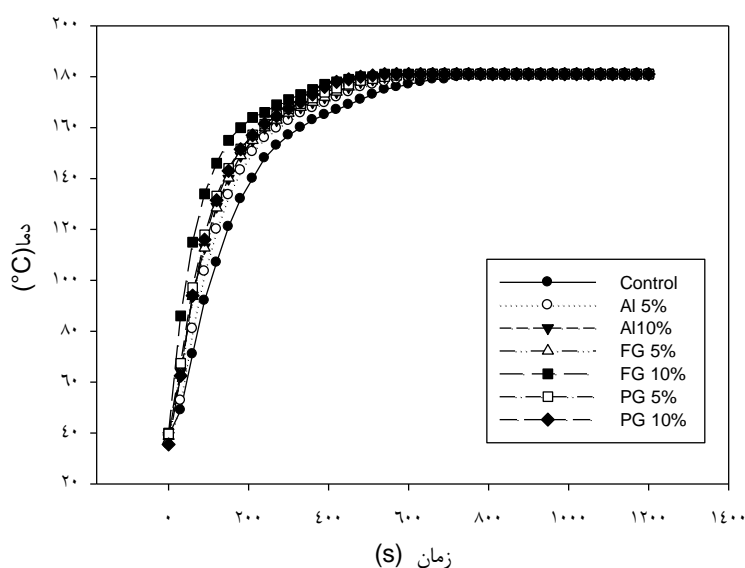
T<sub>o</sub>: ضخامت اولیه آزمون‌ها (mm)

برای انجام آزمون هدایت حرارتی از دستگاه اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی موجود در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران استفاده شد. این دستگاه برابر استاندارد ASTM C177 کار می‌کند و برای استفاده از آن به نمونه‌های با ابعاد ۲۰ در ۲۰ سانتی‌متر نیاز است. نمونه‌ها شامل نمونه شاهد و ۵ و ۱۰٪ از پرکننده‌های گرافیت پولکی و پودری و آلومینا با دو تکرار بودند که در زمان پرس ۲۰ دقیقه ساخته شدند. در هر آزمون دو تخته از هر تیمار در دو طرف منبع گرما (هیتر) قرار گرفت. در

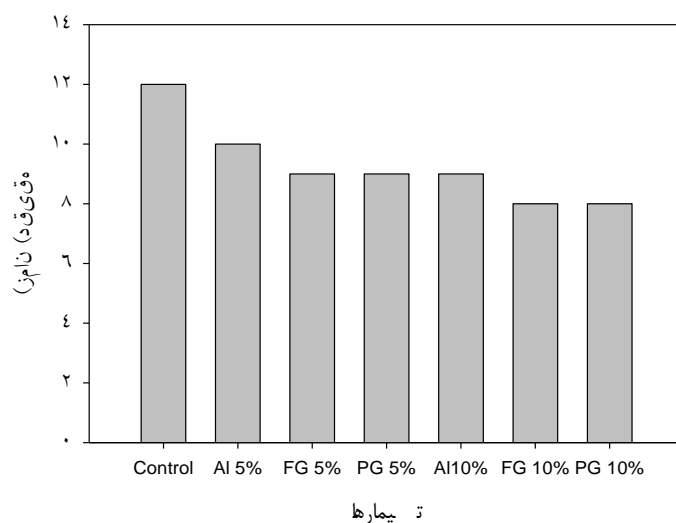
## نتایج و بحث

میزان افزایش دمای مغز تخته برای تیمارهای مختلف در مدت زمانی که تحت فشار پرس گرم بودند در شکل ۱ نشان داده شده است. بر پایه این نتایج افزودن هر سه نوع پرکننده در نرخ افزایش دما تأثیر مثبت داشته و بیشترین نرخ افزایش دما در نمونه‌های دارای ۱۰٪ گرافیت پولکی دیده شده است. مقدار کاهش زمان پرس با افزودن پرکننده‌های هادی حرارت در شکل ۲ نمایان است. برابر این شکل، مغز کیک چندسازه در تیمار شاهد در مدت ۱۲ دقیقه به دمای نهایی پرس ( $180^{\circ}\text{C}$ ) رسید.

درحالی‌که مرکز کیک در دیگر تیمارها در فاصله ۸ تا ۱۰ دقیقه به این دما رسیدند. افزودن پرکننده‌های یاد شده سبب کاهش زمان پرس شد. کمترین کاهش زمان پرس در نمونه‌های حاوی ۵٪ آلومینا و بیشترین کاهش در این زمان در نمونه‌های دارای ۱۰٪ گرافیت پولکی و پودری دیده شد که دلیل آن بالاتر بودن ضریب هدایت حرارتی مواد کربنی (گرافیت) نسبت به مواد سرامیکی (آلومینا) می‌باشد. با افزایش ضریب هدایت حرارتی پرکننده‌ها، گرادیان دما بین سطح و مغز تخته کاهش می‌یابد. نتایج همانندی در دیگر پژوهش‌ها دیده شده است [۱۱ و ۱۲].



شکل ۱- مقایسه روند افزایش دمای مغز تخته برای تیمارهای مختلف در زمان پرس داغ. برای توضیح کدها به جدول ۱ رجوع شود



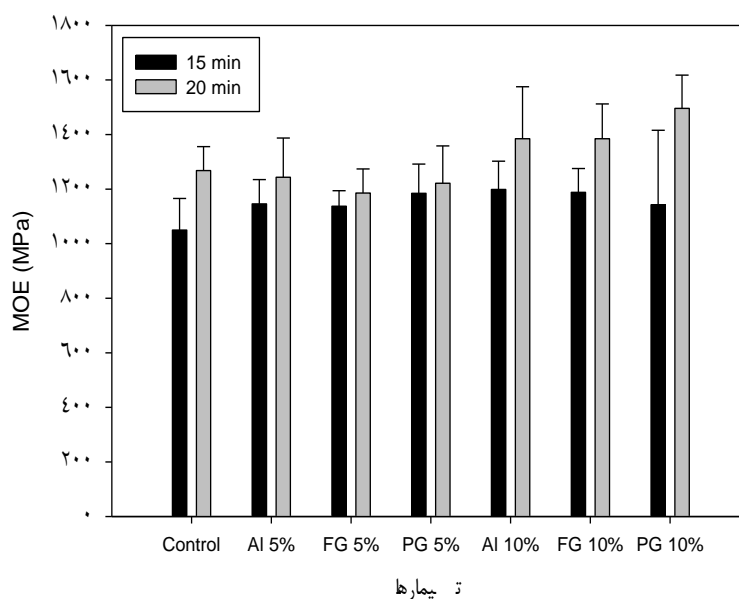
شکل ۲- زمان رسیدن دمای مغز تخته برای تیمارهای مختلف به دمای  $180^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد. برای توضیح کدها به جدول ۱ رجوع شود

### آزمون‌های مکانیکی

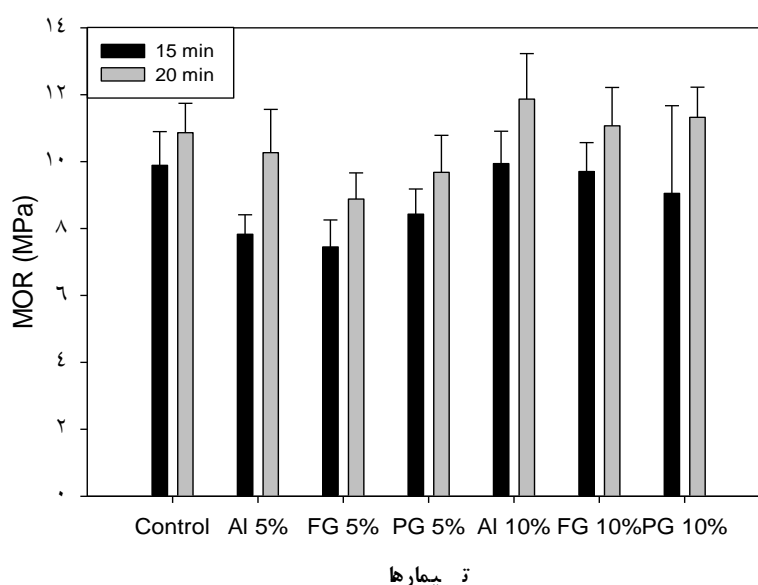
در کلیه آزمون‌های مکانیکی تأثیر متقابل عامل‌های متغیر با آزمون فاکتوریل بررسی شد و در هیچ‌یک از آنها میان نوع پرکننده، میزان پرکننده و زمان پرس اختلاف معنی‌داری دیده نشد. بنابراین اثر هر یک از این عامل‌ها بر روی همه خواص به‌طور مستقل ارزیابی شد. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که نمونه شاهد با هیچ‌یک از نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری در میزان MOE ندارد؛ با این وجود، چندسازه‌های دارای انواع پرکننده

مدول الاستیسیته بیشتری نسبت به شاهد نشان دادند (شکل ۳).

شکل ۴ مدول گسیختگی تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. در میان پرکننده‌ها گرافیت پولکی به دلیل چسبندگی ضعیف بین پلیمر و پرکننده، کاهش معنی‌داری را در میزان MOR نشان داد. زمان پرس نیز تاثیر معنی‌داری بر روی مدول گسیختگی داشت؛ به-طوری‌که پرس ۲۰ دقیقه‌ای مدول گسیختگی بالاتری را نسبت به پرس ۱۵ دقیقه‌ای ایجاد کرد.



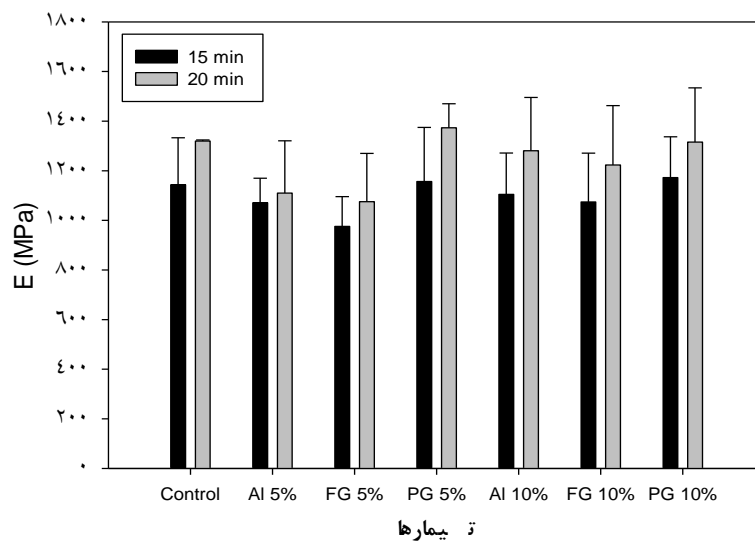
شکل ۳- تاثیر تیمارهای مختلف بر مدول الاستیسیته خمشی. برای توضیح کدها به جدول ۱ رجوع شود



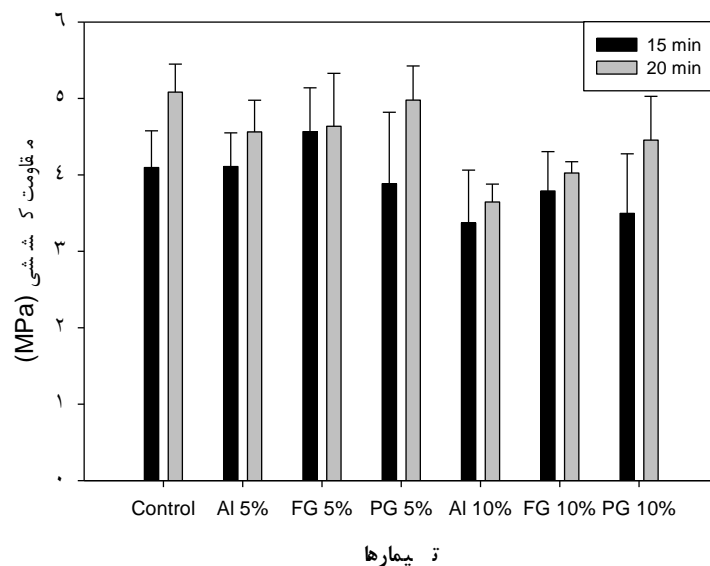
شکل ۴- تاثیر تیمارهای مختلف بر مدول گسیختگی. برای توضیح کدها به جدول ۱ رجوع شود

گرافیت پودری دیده می‌شود (شکل ۵). کمینه مدول الاستیسیته کششی در نمونه‌های دارای گرافیت پولکی قابل دیدن است. کاهش مدول الاستیسیته کششی در این نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری را در سطح اعتماد ۹۹٪ نشان نداد. رفتار کششی چندسازه‌ها (به ویژه تیمار شاهد) در زمان پرس ۲۰ دقیقه نسبت به زمان پرس ۱۵ دقیقه بهبود یافت. در بررسی مقاومت کششی (شکل ۶) هیچ یک از نمونه‌ها نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را در میزان مقاومت کششی نشان ندادند.

در همه تیمارها، در زمان پرس ۲۰ دقیقه، MOE و MOR بیشتری نسبت به زمان پرس ۱۵ دقیقه دیده می‌شود. احتمال دارد این مساله ناشی از شکل‌گیری بهتر مخلوط مواد در بازه زمانی ۲۰ دقیقه‌ای پرس باشد. برابر شکل‌های ۳ و ۴ نمونه‌های دارای ۱۰٪ پرکننده رفتار خمشی بهتری نسبت به نمونه‌های دارای ۵٪ پرکننده نشان دادند. این به دلیل تأثیر مثبت پرکننده‌های هادی حرارت در خواص خمشی چندسازه‌ها می‌باشد. تأثیر تیمارهای مختلف بر مدول الاستیسیته کششی را نشان می‌دهد. بیشینه مدول الاستیسیته کششی در نمونه‌های دارای



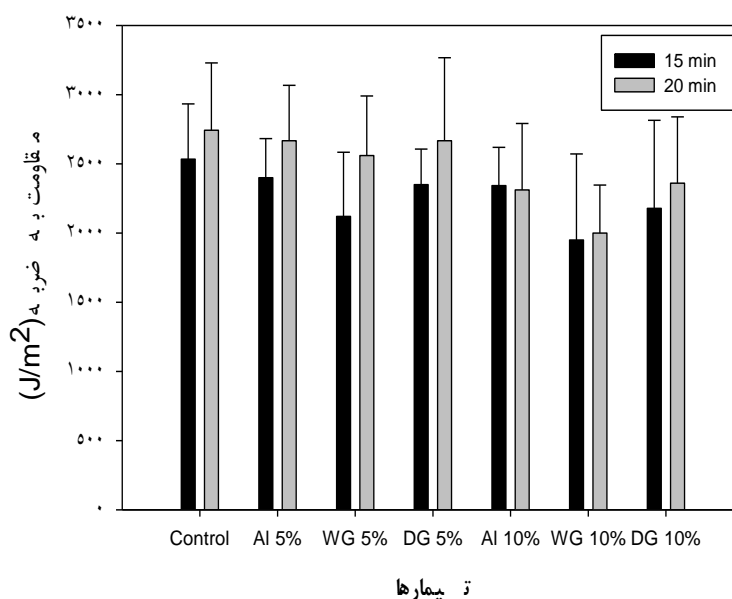
شکل ۵- تأثیر تیمارهای مختلف بر مدول الاستیسیته کششی. برای توضیح کدها به جدول ۱ رجوع شود



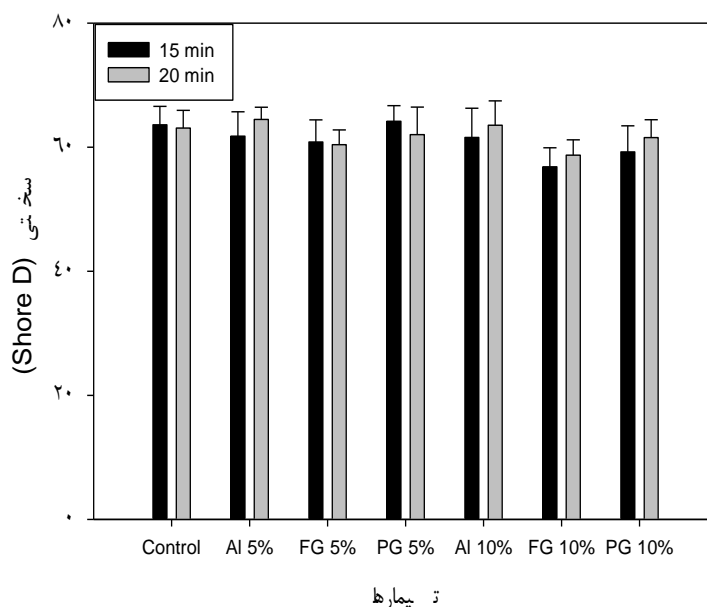
شکل ۶- تأثیر تیمارهای مختلف بر مقاومت کششی. برای توضیح کدها به جدول ۱ رجوع شود

بر این پایه افزودن پرکننده‌ها سبب کاهش مقاومت به ضربه شده ولی این کاهش تنها در نمونه‌های دارای گرافیت پولکی معنی دار می‌باشد. همچنین افزایش زمان پرس از ۱۵ به ۲۰ دقیقه، افزایش مقاومت به ضربه را موجب شده است. تأثیر افزودن پرکننده‌ها بر سختی نمونه‌ها در شکل ۸ دیده می‌شود.

مقاومت به ضربه توانایی چندسازه را در برابر ایجاد و گسترش ترک نشان می‌دهد. افزودن پرکننده‌ها به درون ماتریس پلیمر منجر به افزایش نایکنواختی پلیمر و ایجاد شکاف‌های ریز در سطح آن می‌شود. در نتیجه مقاومت به ضربه چندسازه به دست آمده در مقایسه با پلیمر خالص کاهش می‌یابد. مقاومت به ضربه تیمارهای مختلف در شکل ۷ نمایان است.



شکل ۷- تأثیر تیمارهای مختلف بر مقاومت به ضربه. برای توضیح کدها به جدول ۱ رجوع شود



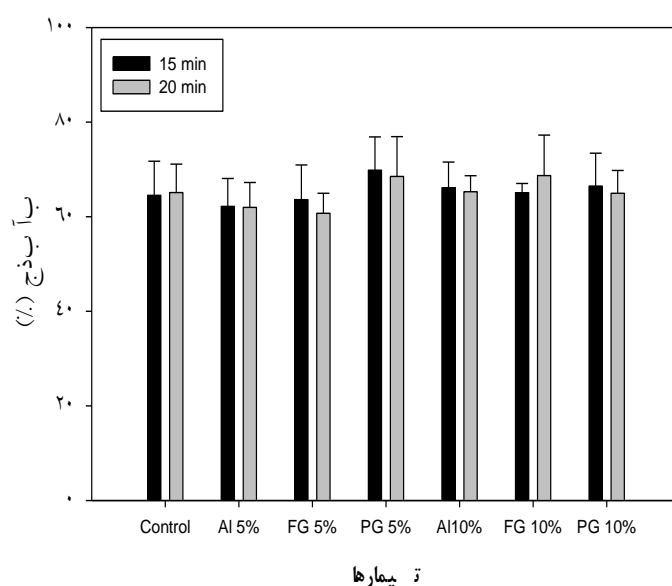
شکل ۸- تأثیر تیمارهای مختلف بر سختی. برای توضیح کدها به جدول ۱ رجوع شود



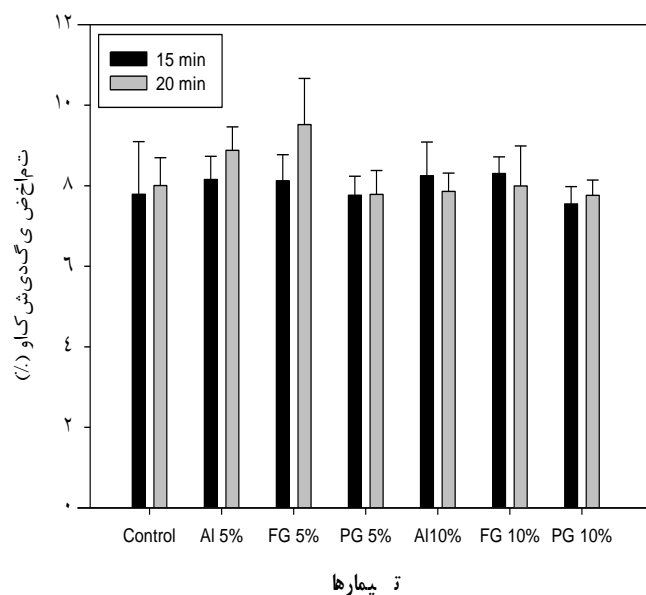
### آزمون‌های فیزیکی

خواص فیزیکی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نیز مستقل از تأثیر متقابل میان عامل‌های متغیر می‌باشد. همان‌طور که در شکل‌های ۹ و ۱۰ دیده می‌شود، در جذب آب طولانی مدت که دارای اهمیت بسیاری است هیچ‌یک از تیمارها با مقادیر مختلف پرکننده تأثیر معنی‌داری بر میزان جذب آب نداشتند.

نمونه‌های دارای پرکننده گرافیت پولکی با کم‌ترین میزان سختی تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد از خود نشان دادند و دیگر نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد نداشته‌اند. در این آزمون افزایش میزان پرکننده سبب کاهش ناچیز سختی نمونه‌ها شده ولی زمان پرس اثر معنی‌داری بر سختی نمونه‌ها ایجاد نکرده است. نتایج آزمون‌های مکانیکی با نتایج دیگر پژوهش‌ها در مورد تأثیر افزودن گرافیت بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه به دست آمده همخوانی دارد [۱۱].



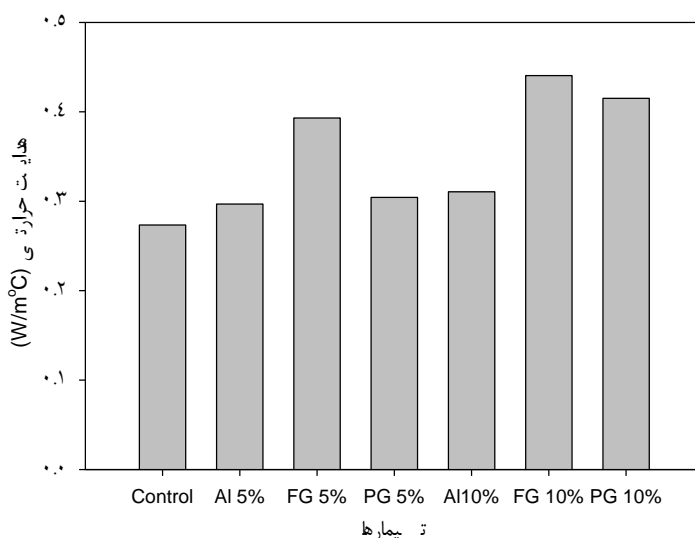
شکل ۹- مقایسه جذب آب طولانی مدت تیمارهای مختلف. برای توضیح کدها به جدول ۱ رجوع شود



شکل ۱۰- مقایسه واکنشیدگی ضخامت تیمارهای مختلف. برای توضیح کدها به جدول ۱ رجوع شود

دارای آلومینا تأثیرناچیزی بر هدایت حرارتی تخته داشتند و این مقدار در نمونه های دارای پرکننده های گرافیت پولکی و پودری بالاتر می باشد. پرکننده های آلومینیومی ضریب هدایت حرارتی پایین تری نسبت به انواع گرافیت دارند. پژوهش های دیگر در رابطه با افزودن پرکننده اکسید آلومینیوم نیز نتایج همانندی را نشان دادند [۱۴].

در آزمون واکنشیدگی ضخامت نیز در درازمدت (پس از ۵ هفته)، میان نمونه شاهد با هیچ یک از نمونه های دارای پرکننده تفاوت معنی داری دیده نشد و مقدار پرکننده نیز بر واکنشیدگی ضخامت بی اثر بوده است. هدایت حرارتی نمونه ها در شکل ۱۱ مشهود است. نمونه های دارای انواع پرکننده، هدایت حرارتی بیشتری نسبت به نمونه شاهد داشتند. با توجه به شکل، نمونه های



شکل ۱۱- میزان هدایت حرارتی تیمارهای مختلف. برای توضیح کدها به جدول ۱ رجوع شود

دارد این مساله ناشی از این حقیقت باشد که گرچه نبود پرکننده های هادی حرارت باعث تاخیر در رسیدن دمای مغز تخته به  $180^{\circ}\text{C}$  شده است؛ ولی پس از رسیدن به این دما، چندسازه های به دست آمده از پرس ۲۰ دقیقه ای نسبت به پرس ۱۵ دقیقه ای مدت زمان بیشتری را برای شکل گیری بهتر مخلوط مواد در اختیار داشتند. به لحاظ خواص فیزیکی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت، هیچ گونه محدودیتی در استفاده از پرکننده ها برای کاهش زمان پرس وجود ندارد. در نهایت پرکننده گرافیت پودری به میزان ۱۰ درصد می تواند زمان پرس را بدون کاهش قابل توجه خواص فیزیکی و مکانیکی کاهش دهد و در مصارفی که ممانعتی به جهت هدایت حرارتی فرآورده نباشد گرافیت پودری ۱۰ درصد بهترین گزینه در میان پرکننده های آزمونی این بررسی می باشد.

## نتیجه گیری

هدف این پژوهش بررسی امکان افزایش کارایی مرحله پرس با افزایش شدت انتقال حرارت از سطح به مغز چندسازه و در پی آن کاهش زمان پرس بود. افزودن هر سه نوع پرکننده در شدت افزایش دما تأثیر مثبت نشان داد. استفاده از پرکننده های هادی حرارت، مدت زمان مورد نیاز برای رسیدن دمای مغز تخته به دمای صفحه های پرس ( $180^{\circ}\text{C}$ ) را به میزان ۲ تا ۴ دقیقه بدون افت چشمگیر خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه کاهش داد. به غیر از پرکننده گرافیت پولکی هیچ یک از پرکننده ها محدودیتی در خواص مکانیکی یاد شده در بالا ایجاد نکردند. نتایج نشان دادند که با وجود تأثیر پرکننده ها در تسریع افزایش دمای مغز تخته، برخی از خواص مکانیکی (کشش، خمش و ضربه) در نمونه های حاصل از پرس ۲۰ دقیقه ای نسبت به پرس ۱۵ دقیقه ای بالاتر بودند. احتمال

## مراجع

- [1] Tajvidi, M., Motie, N., Rassam, Gh., Falk, R.H. and Felton, C., 2010. Mechanical performance of hemp fiber polypropylene composites at different operating temperatures, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(5):664-674.
- [2] Harper, D. and Wolcott, M., 2004. Interaction between coupling agent and lubricants in wood-polypropylene composites, *Composites Part A*, 35: 385-394.
- [3] Kazayawoko, M., Balatinecz, J.J. and Matuana, L.M., 1999. Surface modification and adhesion mechanisms in wood fiber-polypropylene composites, *Material Science*, 34:6189-6199.
- [4] Behzad, T. and Sain, M., 2007. Measurement and prediction of thermal conductivity for hemp fiber reinforced composites, *Polymer Engineering and Science*, 47(7):977-983.
- [5] Azizi, M.A.S., Alloin, F. and Dufresne, A., 2005. Review of recent research into cellulosic whiskers, their properties and their application in nanocomposite field, *Biomacromolecules*, 6: 612-626.
- [6] Torrey, K.S., 2001. Influence of thermally conductive fillers on the physical properties of wafer board, M.Sc. Thesis, Michigan Technological University, Houghton, MI, 298 pages.
- [7] Barry, A.O. and Corneau, D., 1999. Volatile organic chemicals emission from OSB as a function of processing parameters, *Holzforchung*, 53(4):441-446.
- [8] Matuana, L.M. and King, J.A., 2001. Veneer-based product and method of manufacture, U.S. Patent field July 13, 2001. with the U.S. Patent and Trademark Office.
- [9] Matuana, L.M. and King, J.A., 2001. Wood-based composite board and method of manufacture, U.S. Patent field July 13, 2001 with the U.S. Patent and Trademark Office.
- [10] Maloney, T.M., 1993. Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing, Update edition, Miller Freeman Publication, Inc. San Francisco, CA, 681 p.
- [11] Matuana, L.M., 2003. Thermally conductive carbon filler in wood-based composites, *Forest Products Journal*, 53(3): 40-42.
- [12] Finan, J.M., 2000. Thermally conductive thermoplastics. LNP Engineering Plastics, Inc, Exton, Pennsylvania. *Plastics Engineering*. [www.4spe.org](http://www.4spe.org)
- [13] Heiser, J.A. and King, J.A., 2004. Thermally conductive carbon filler Nylon 6,6, *Polymer Composites*, 25(2): 186-193.
- [14] Shojaei, A., Fahimian, M. and Derakhshandeh, B., 2007. Thermally conductive rubber-based composite friction materials for railroad brakes—Thermal conduction characteristics, *Composites Science and Technology*, 67: 2665-2674.
- [15] Zhou, W-Y., Qi, S-H., Zhao, H-Z. and Liu, N-L., 2007. Thermally conductive silicone rubber reinforced with boron nitride particle, *Polymer Composites*, 28(1): 23-28.

## Minimizing hot-press time in the manufacturing process of wood plastic composites

### Abstract

In this study, the reduction in the hot press time using high thermally conductive fillers and the influence of these fillers on physical and mechanical properties of end products was investigated. Variable factors in these treatments were type and content of fillers. Press time and other factors such as the amount of wood flour, board density, and other conditions of press were fixed. Composites were prepared from Beech (*Fagus orientalis*) flour, Polypropylene, MAPP, and conductive fillers such as flake and powder graphite (carbonic fillers), and Alumina (ceramic filler). Fillers with contents of 5 and 10% in 15 and 20 minutes for press time were utilized. A thermocouple was utilized to measure the temperature in the core of composite and to determine the time being panel core as the same temperature as the hot press surface. It showed that fillers reduce press time as 2-4 minutes. Mechanical tests including tension, bending, impact and hardness were performed. Fillers except of flake graphite had no restriction in mechanical properties. Water uptake and swelling as physical properties were also measured and fillers didn't have a significant effect on these tests. To validate the experimental results, thermal conductivity of composites was determined and the increase in this property was evaluated. The increase in samples contain flake and powder graphite was more remarkable than those contain Alumina.

**Key words:** Press Time, Thermal Conductivity, Graphite, Alumina, Composite

**N. Motiee**<sup>1\*</sup>  
**Gh. Ebrahimi**<sup>2</sup>  
**M. Tajvidi**<sup>3</sup>  
**M. Layeghi**<sup>4</sup>

<sup>1</sup>MSc, <sup>2</sup> Professor, <sup>4</sup>Assistance Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, College of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>3</sup>Assistance Professor, University of Maine - School of Forest Resources-Orono, Maine (Bangor, Maine Area)

Corresponding author:  
nazaninmotie@gmail.com

Received: 2012.01.16  
Accepted: 2012.06.14