



دانشگاه گیلان، دانشکده مهندسی چوب و فناوری چوب و جنگل

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

## تحلیل اثر کاربرد پارافین، پرکننده، حرارت و زمان پرس بر روی خواص مکانیکی تخته فیبر با دانسیته متوسط با روش سطح پاسخ (RSM)

\*مرتضی ناظریان<sup>۱</sup>، امین دلیرزاده<sup>۲</sup> و سعیدرضا فرخ‌پیما<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>استادیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه زابل، <sup>۲</sup>کارشناس ارشد دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه زابل  
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲۶

### چکیده

در این پژوهش تأثیر پودر پوست بادام به‌عنوان اکستندر رزین اوره فرم‌آلدئید، بر روی خواص مکانیکی تخته فیبر با دانسیته متوسط (MDF) ساخته شده از الیاف باگاس مورد مطالعه قرار گرفت. نسبت پودر پوست بادام به رزین اوره فرم‌آلدئید در ۵ سطح (۱۰۰:۰، ۹۵:۵، ۹۰:۱۰، ۸۵:۱۵ و ۸۰:۲۰)، پارافین در ۵ سطح (۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲) درصد، دمای پرس در ۵ سطح (۱۴۰، ۱۵۰، ۱۶۰، ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان پرس در ۵ سطح (۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ دقیقه) به‌عنوان متغیرهای این مطالعه استفاده گردید. خواص مکانیکی (چسبندگی داخلی (IB)، مدول گسیختگی (MOE) و مدول الاستیسیته (MOR)) تخته‌ها مورد آزمون قرار گرفت و نتایج با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که پودر پوست بادام اثر معنی‌داری بر خواص مکانیکی تخته‌ها دارد به‌نحوی که افزایش پودر پوست بادام باعث افت مقاومت‌های مکانیکی شد. چسبندگی داخلی با افزایش پودر پوست بادام کاهش یافت، با این وجود چسبندگی داخلی همه تخته‌ها بالاتر از حد استاندارد EN بود. پارافین به‌طور کلی باعث بهبود خواص فیزیکی شد و تأثیر منفی ناچیزی بر مقاومت‌های مکانیکی داشت. دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۶ دقیقه به‌عنوان بهترین شرایط پرس توسط روش سطح پاسخ (RSM) تعیین شد. همچنین نتایج نشان داد که پودر پوست بادام در دماهای بالا عملکرد بهتری دارد.

واژه‌های کلیدی: تخته فیبر با دانسیته متوسط، باگاس، پودر پوست بادام، روش سطح پاسخ، خواص مکانیکی

\*مسئول مکاتبه: [morteza17172000@yahoo.com](mailto:morteza17172000@yahoo.com)

## مقدمه

تخته فیبر با دانسیته متوسط (MDF)<sup>۱</sup> از فرآورده‌های مرکب چوبی می‌باشد که از الیاف پهن‌برگان و سوزنی‌برگان و دیگر مواد لیگنوسلولوزی از ترکیب شدن با چسب و پارافین تحت حرارت و فشار بالا ساخته می‌شود. امروزه به‌خاطر محدود بودن منابع چوبی در کشور استفاده بهینه از ضایعات کشاورزی یک امر بسیار ضروری است که باید بیش‌تر مورد توجه قرار گیرد. یکی از ضایعات کشاورزی که به فراوانی در کشور ما تولید می‌شود باگاس یا تغاله نیشکر می‌باشد. خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌های ساخته شده از این پسماند با برطرف کردن عیب‌های آن از طریق تغییر شرایط مختلف ساخت می‌تواند بهبود یابد. این تغییرات می‌تواند با کمک اصلاح شرایط پرس، افزودن مواد افزودنی و آهارزنی عملی شود.

پرکننده‌ها (اکستندر) می‌توانند به‌عنوان یک افزودنی برای بهبود خواص فیزیکی و کاهش مصرف رزین و هزینه تولید مورد استفاده قرار گیرند. این مواد معمولاً به ذرات ریز آسیاب می‌شوند. ریزی ذرات فیبر نه تنها باعث یکنواخت شدن مخلوط رزین- فیبر می‌گردند، بلکه سطوح تماس فیبر با چسب را نیز بیش‌تر نموده و باعث افزایش برهم‌کنش سطحی بین رزین و فیبر می‌گردد. آرد پوسته بادام نمونه‌ای از این دسته از مواد است. بررسی‌های زیادی در مورد اثر مواد افزودنی بر خواص تخته‌ها انجام گرفته است. سلر و همکاران (۲۰۰۵) استفاده از ۵ نوع پرکننده را در ساخت تخته‌لایه مورد بررسی قرار دادند و در نهایت دریافتند که استفاده از ۶۵ درصد آرد پوست گردو و ۳۵ درصد باقی‌مانده فورفورال پوسته جوی دو سر می‌تواند مقدار بهینه مصرف باشد.

حاجیلا- اوانجلیستا و بین (۲۰۱۱) اثر آرد ذرت را به‌عنوان اکستندر در تولید تخته‌لایه‌ای مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که رزین شامل آرد ذرت به‌عنوان اکستندر پروتئینی دارای خواص کاربردی بهتر از آردهای مرسوم بر پایه آرد گندم مورد مصرف در تخته‌لایه‌سازی است. به‌واسطه کاربرد اکستندر، ویسکوزیته رزین در نتیجه محتوای پروتئینی آرد افزایش می‌یابد. ثابت شده است که وجود پروتئین بیش‌تر می‌تواند گروه‌های فعال اضافی برای واکنش‌های پلی‌مریزاسیون و پیوندهای عرض را با رزین و چوب توسعه دهد (فریهارت و وسکات، ۲۰۰۴).

به‌منظور بهبود خواص ثبات ابعادی تخته از مواد متنوعی تحت عنوان مواد آهارزنی استفاده می‌شود که رایج‌ترین این مواد آهار پارافین می‌باشد. سام و گریگسبی (۲۰۱۲) به بررسی اثر متقابل بین پارافین

و چسب اوهره فرم‌آلدئید در جریان کاربرد پارافین با روش‌های مختلف در تخته فیبر با دانسیته متوسط پرداختند. نتایج نشان داد که افزودن رزین در قبل از چسب‌زنی باعث کلوخه شدن قطرات ریز پارافین بر روی الیاف شد و توزیع یکنواخت پارافین بر روی الیاف در حداقل میزان ممکن قرار می‌گیرد. روش افزودن پارافین به همراه رزین و یا بعد از چسب‌زنی پوشش کامل‌تری از پارافین بر روی الیاف ایجاد می‌شود که علت آن توزیع مناسب و باقی ماندن بهتر پارافین بر روی الیاف آغشته به رزین می‌باشد.

گارسیا و همکاران (۲۰۰۵)، نشان دادند که کاربرد پارافین باعث کاهش قابل توجه در واکنشیدگی ضخامت و جذب آب تخته‌ها می‌شود. همچنین الیاف فرآوری شده تأثیر منفی بر خواص مکانیکی و پروفیل دانسیته تخته فیبر با دانسیته متوسط نداشتند. همچنین چسبندگی داخلی با اضافه کردن ۵ درصد واکس افزایش یافته است. موئل و رزیسک (۱۹۹۷) بیان نمودند که هنگام اضافه کردن پارافین به الیاف می‌باید به سطح رزین مصرف شده نیز توجه کرد. افزایش سطح رزین از ۱۱-۶/۵ درصد و پارافین از صفر به ۱/۶ درصد تأثیر کمی بر خواص مکانیکی داشته، ولی خواص فیزیکی مانند پایداری ابعاد و جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته‌ها بعد از ۲۴ ساعت را بهبود می‌بخشد.

اکرمی و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند که استفاده از پارافین تأثیر معنی‌داری بر مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته و مقاومت برشی تخته‌ها نداشت. مشخص شد که افزایش مصرف پارافین باعث کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت MDF می‌شود. به‌علاوه استفاده از پارافین تأثیر معنی‌داری بر زبری سطح تخته‌ها نداشت. همچنین آن‌ها نشان دادند که دمای پرس بر جذب آب MDF اثر گذاشته و باعث افزایش آن شده است اما بر سایر ویژگی‌های تخته اثر معنی‌داری نداشت. افزایش زمان پرس نیز باعث کاهش جذب آب MDF شد، ولی تأثیر معنی‌داری بر سایر خواص تخته نداشت. حرارت و مدت زمان پرس پتانسیل ویژه‌ای به افزایش مقاومت تخته در برابر جذب آب و افزایش ضخامت دارند. این بهبود می‌تواند در نتیجه اصلاح خاصیت آب‌دوستی الیاف چوب از طریق تخریب همی سلولز، لیگنین و سلولز باشد (ویناندی و رزیسک، ۲۰۰۷؛ ویدیورینی و همکاران، ۲۰۰۵). اثر حرارت و زمان پرس بر روی خواص تخته فیبر با دانسیته متوسط توسط کارگرفرد و همکاران (۲۰۰۹) بررسی شد. معلوم شد که مدول گسیختگی تخته‌ها با افزایش حرارت پرس افزایش می‌یابد. همچنین اثر حرارت پرس بر روی مدول الاستیسیته معنی‌دار بوده و باعث افزایش این مشخصه می‌شود. نتایج

نشان داد که افزایش زمان بخارزنی و حرارت پرس اثر منفی بر روی چسبندگی داخلی داشته است، در حالی که زمان پرس اثر معنی‌داری بر روی ثبات ابعادی داشته و مدت زمان لازم برای حداقل میزان واكشیدگی زمان ۳ دقیقه تعیین شد.

تاکنون بررسی‌های بسیار متنوعی بر روی فاکتورهای مؤثر بر روی خواص تخته فیبر صورت گرفته است، اما به نظر می‌رسد که تأثیر هم‌زمان ۴ متغیر بسیار تأثیرگذار بر روی خواص مکانیکی که بتوان نقطه اپتیمم از کاربرد این متغیرها را برای رسیدن به حداکثر مقاومت تعیین نمود، انجام نگرفته است. بنابراین، در این بررسی سعی گردیده است تا اثرات هم‌زمان این متغیرها را بر روی خواص مکانیکی (مقاومت گسیختگی و چسبندگی داخلی) و نیز تعیین نقطه اپتیمم برای تولید تخته فیبر با دانسیته متوسط را تعیین نمود.

## مواد و روش‌ها

### مواد

**الیاف باگاس:** الیاف باگاس از کارخانه MDF لوح سبز شوستر واقع در استان خوزستان تهیه شد. پس از انتقال به آزمایشگاه دانشگاه زابل به دلیل رطوبت بالا ابتدا در محیط باز قرار گرفتند تا به حالت تعادل به رطوبت محیط برسد. سپس توسط خشک‌کن به میزان رطوبت ۴-۳ درصد خشک گردید و در نهایت به منظور ثابت ماندن رطوبت، الیاف درون کیسه‌های پلاستیکی قرار گرفتند.

**رزین و پرکننده (آرد پوست بادام):** از اوره فرم‌آلدئید که از شرکت چسب سامد مشهد استفاده شد. مشخصات آن در جدول ۱ ارایه شده است. پوست بادام از شهرستان بیرجند تهیه شد. به منظور آسانی در تبدیل آن به صورت آرد ابتدا توسط خشک‌کن به رطوبت صفر درصد رسید و توسط یک آسیاب آزمایشگاهی به پودر تبدیل شد.

جدول ۱- ویژگی‌های چسب مورد استفاده.

نوع رزین	دانسیته (گرم بر سانتی متر مکعب)	مواد جامد (درصد)	ویسکوزیته (CP)	زمان ژله‌ای شدن (S)	اسیدیته
اوره فرم‌آلدئید	۱/۲۷۵	۵۰	۲۰۰-۴۰۰	۵۵	۷/۶

## روش‌ها

عوامل ثابت و متغیر در طی فرآیند ساخت MDF: اثر عوامل متغیر مستقل شامل: نسبت وزنی آرد پوست بادام به پودر چسب اوره فرم‌آلدئید در ۵ سطح (۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد)، دما در ۵ سطح (۱۴۰، ۱۵۰، ۱۶۰، ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان پرس در ۵ سطح (۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ دقیقه). متغیرهای وابسته اندازه‌گیری شده شامل: مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی. ابعاد تخته‌های نهایی ۳۰×۳۰×۱ سانتی‌متر و وزن مخصوص ۰/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود.

طرح آماری: از روش سطح پاسخ (RSM) برای توسعه مدل ریاضی در شکل معادله‌های رگرسیونی چندمتغیره برای متغیرهای وابسته (MOE، MOR) استفاده شد. با توجه به تعداد متغیرها (پارافین ۰، ۱/۵، ۲ درصد)، پرکننده (۰، ۱۰، ۵، ۱۵ و ۲۰ درصد)، دمای پرس (۱۴۰، ۱۵۰، ۱۶۰، ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان پرس (۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ دقیقه)، تعداد ۳۰ تخته با ترکیب شرایطی که در جدول ۲ آمده است، ساخته شد. با استفاده از این روش، معادله چندجمله‌ای درجه دوم (رگرسیون) استفاده شده برای پاسخ سطح  $y$  (رابطه ۱) نشان داده شده است (بالاسوبرامانیان و همکاران، ۲۰۰۸).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \varepsilon \quad (1)$$

پس از تجزیه و تحلیل رگرسیون، تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) سطوح خطاهای پاسخ داده شده با استفاده از نرم‌افزار طراحی شده (Stat-Ease, version 6.0.6) از کمپانی (Minneapolis, MN, USA) به‌دست آمد. بهینه‌سازی پارامترهای تکنولوژیکی برای حصول حداکثر خواص مکانیکی از طریق عملکرد بهینه‌سازی عددی نرم‌افزار به‌دست می‌آید.

فرآیند ساخت تخته: مهم‌ترین متغیرهای ثابت ساخت تخته شامل نوع و مقدار رزین مصرفی (اوره فرم‌آلدئید و به‌میزان ۱۲ درصد وزن خشک الیاف باگاس)، فشار پرس (۱۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)، ضخامت اسمی تخته (۱۰ میلی‌متر) و دانسیته تخته (۰/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) رطوبت کیک (۱۲ درصد) بودند. ساخت MDF در این پژوهش به روش خشک انجام شد. تعداد ترکیب شرایط ساخت و سطوح مورد استفاده شده در جدول ۲ به همراه فرآیند کدگذاری هر کدام از سطوح متغیرها

نشان داده شده است. پس از انجام محاسبه‌ها، ابتدا الیاف باگاس خشک شده دارای رطوبت ۳ درصد با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۵ گرم موجود در آزمایشگاه وزن شدند، برای چسب‌زنی الیاف از چسب‌زن آزمایشگاهی استفاده شد. چون پودر پوست بادام باعث زلزله‌ای شدن شدید رزین UF می‌شد، ابتدا پودر پوست بادم و پودر خشک رزین به همراه پارافین جامد داخل هم‌زن آزمایشگاهی ریخته شد و با سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه کاملاً باهم مخلوط شدند. سپس بعد از این‌که آب به روی الیاف اسپری شد، پودر مخلوط به‌دست آمده (پودر پوست بادام + پودر UF + پارافین جامد) به روی الیاف پاشیده شد و توسط دستگاه چسب‌زن الیاف چسب خورده را به مدت ۲ دقیقه باهم مخلوط شدند. پس از چسب‌زنی الیاف، تشکیل کیک و پیش‌پرس آن در داخل یک قالب چوبی انجام شد.

پرس کردن: برای ساخت تخته‌ها از پرس هیدرولیکی آزمایشگاهی دانشگاه زابل استفاده گردید. فشار ۱۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع و سرعت بسته شدن ۴/۵ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم گردید. ضخامت تخته‌ها نیز با استفاده از شابلون فلزی در حد ۱۰ میلی‌متر ثابت شد. پس از ساخت، تخته‌ها به مدت ۱ هفته در دمای ۲۰ درجه و رطوبت ۶۵ درصد در اتاق آزمون مکانیکی متعادل‌سازی شدند. پس از آن، از تخته‌ها نمونه‌هایی طبق استاندارد EN برای انجام آزمون‌های مکانیکی بریده شدند.

جدول ۲- ترکیب شرایط ساخت MDF با کمک روش سطح پاسخ (RSM) به همراه نتایج.

نوع تخته	کدگذاری متغیرها				مقدار متغیرها			خواص مکانیکی			
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	پارافین (درصد)	اکستندر (درصد)	دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان (دقیقه)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)
۱	۰	-۲	۰	۰	۱	۱۰	۱۴۰	۷	۱۸/۶	۱۹۰۰	۰/۶۱
۲	۰	۲	۰	۰	۱	۱۰	۱۸۰	۷	۱۹	۱۹۴۵	۰/۷
۳	-۱	-۱	-۱	۱	۰/۵	۵	۱۵۰	۸	۲۵/۲	۲۶۴۴	۰/۷۷
۴	۰	۰	۰	۲	۱	۱۰	۱۶۰	۹	۲۲	۲۰۲۰	۰/۸۲
۵	۱	-۱	-۱	-۱	۱/۵	۵	۱۷۰	۶	۲۱/۵	۲۱۷۵	۰/۷۵
۶	-۱	۱	۱	۱	۰/۵	۱۵	۱۵۰	۸	۲۰	۲۰۹۶	۰/۷۷
۷	۰	۰	۰	۰	۱	۱۰	۱۶۰	۷	۲۳/۷	۲۵۳۳	۰/۷۸
۸	۱	-۱	۱	-۱	۱/۵	۱۵	۱۵۰	۶	۲۱	۲۰۱۲	۰/۶
۹	۰	۰	۰	۰	۱	۱۰	۱۶۰	۷	۲۳	۲۵۵۰	۰/۷۹
۱۰	-۱	-۱	-۱	-۱	۰/۵	۵	۱۷۰	۶	۲۱/۸	۲۲۹۵	۰/۸۷

مرتضی ناظریان و همکاران

ادامه جدول ۲-

IB (MPa)	خواص مکانیکی			مقدار متغیرها			کدگذاری متغیرها				نوع تخته
	MOE (MPa)	MOR (MPa)	زمان (دقیقه)	دما (درجه سانتی‌گراد)	اکستندر (درصد)	پارافین (درصد)	$X_4$	$X_3$	$X_2$	$X_1$	
۰/۷۲	۲۲۸۵	۲۳	۷	۱۶۰	۲۰	۱	۰	۰	۲	۰	۱۱
۰/۷۵	۲۴۰۵	۲۲/۸	۶	۱۷۰	۱۵	۰/۵	-۱	۱	۱	-۱	۱۲
۰/۷۹	۲۶۰۰	۲۳/۴	۷	۱۶۰	۱۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱۳
۰/۸۳	۲۸۹۵	۲۶	۷	۱۶۰	۰	۱	۰	۰	-۲	۰	۱۴
۰/۹	۲۲۳۶	۲۳	۸	۱۷۰	۱۵	۰/۵	۱	۱	-۱	-۱	۱۵
۰/۷	۱۹۹۵	۲۱	۸	۱۵۰	۱۵	۱/۵	۱	-۱	۱	۱	۱۶
۰/۶۸	۲۲۷۴	۲۳	۶	۱۷۰	۱۵	۱/۵	-۱	۱	۱	۱	۱۷
۰/۸	۲۴۹۰	۲۳/۵	۷	۱۶۰	۱۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱۸
۰/۷۷	۲۰۱۰	۲۲	۷	۱۶۰	۱۰	۲	۰	۰	۰	-۲	۱۹
۰/۷۳	۲۴۱۰	۲۰/۵	۵	۱۶۰	۱۰	۱	-۲	۰	۰	۰	۲۰
۰/۹۹	۲۶۹۰	۲۴	۷	۱۶۰	۱۰	۰	۰	۰	۰	۲	۲۱
۰/۸	۲۱۵۵	۲۰/۴	۸	۱۷۰	۵	۱/۵	۱	۱	-۱	۱	۲۲
۰/۸۳	۲۶۰۰	۲۳/۳	۷	۱۶۰	۱۰	۱	۰	۰	۰	۰	۲۳
۰/۷	۲۲۵۵	۲۰	۶	۱۵۰	۱۵	۰/۵	-۱	-۱	۱	-۱	۲۴
۰/۸۲	۲۲۹۰	۲۲	۸	۱۷۰	۵	۰/۵	۱	۱	-۱	-۱	۲۵
۰/۷۴	۲۴۵۰	۲۲	۶	۱۵۰	۵	۰/۵	-۱	-۱	-۱	-۱	۲۶
۰/۷۸	۱۹۷۵	۱۹/۸	۸	۱۷۰	۱۵	۱/۵	۱	۱	۱	۱	۲۷
۰/۷۹	۲۶۵۰	۲۴	۷	۱۶۰	۱۰	۱	۰	۰	۰	۰	۲۸
۰/۶۹	۲۰۰۰	۲۲	۶	۱۵۰	۵	۱/۵	-۱	-۱	-۱	۱	۲۹
۰/۷۴	۲۵۷۱	۲۴	۸	۱۵۰	۵	۱/۵	۱	-۱	-۱	۱	۳۰

نتایج و بحث

حد گسیختگی و الاستیک: در این مطالعه تأثیر متغیرهای پارافین ( $X_1$ )، اکستندر ( $X_2$ )، دمای پرس ( $X_3$ ) و زمان پرس ( $X_4$ ) هر کدام در ۵ سطح، بر خواص مکانیکی تخته فیبر با دانسیته متوسط با استفاده از معادله درجه دوم روش سطح پاسخ برآورد شد (رابطه ۱).

مقادیر آزمایشی به‌دست آمده MOR, MOE و IB را می‌توان به‌عنوان یک تابع از متغیرهای ساخت MDF بیان نمود (رابطه‌های ۲، ۳ و ۴). مدل معادله‌های بین مقادیر MOR, MOE و IB و متغیرهای ساخت برای واحدهای کدگذاری شده به‌شرح زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} \text{MOR} = & 23/34 - 3X_1 - 0/6X_2 - 4/167X_3 + 0/18X_4 + 0/27X_5 - 1/16X_6 \\ & - 0/55X_7 - 0/36X_1X_2 - 0/37X_1X_3 + 0/88X_2X_3 - 0/46X_2X_4 - 0/57X_3X_4 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{MOE} = & 2570/33 - 119/75X_1 - 106/33X_2 - 5/33X_3 - 28/5X_4 - 60/12X_5 \\ & - 167X_6 - 93/87X_7 + 80/13X_1X_2 - 86/5X_2X_3 - 67/62X_3X_4 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{IB} = 0/78 - 0/42X_1 - 0/22X_2 + 0/34X_3 + 0/28X_4 + 0/2X_5 - 0/36X_6 + 0/21X_7X_4 \quad (4)$$

از مدل توسعه‌یافته (ANOVA) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و تعیین نتایج استفاده شد. رابطه‌های معنی‌داری نتایج به‌دست آمده تحت‌تأثیر متغیرهای پارافین، پودر پوست بادام، دما و زمان پرس در ساخت MDF برای مقادیر MOR و MOE به‌ترتیب در جدول‌های ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است. ضریب همبستگی ( $R^2$ ) نشان‌دهنده معنی‌داری یا بی‌معنی بودن مدل است. همان‌طور که دیده می‌شود (جدول‌های ۳، ۴ و ۵)، یک تطابق ایده‌آلی بین مقادیر پیش‌بینی شده و داده‌های مشاهده شده ( $R^2=0/93$  برای MOR،  $R^2=0/90$  برای MOE و  $R^2=0/90$  برای IB) وجود دارد. میزان درصد احتمال F مدل در جدول‌های ۳، ۴ و ۵ برای مدل RSM کم‌تر از ۰/۰۵ است، که نشان می‌دهد این مدل از نظر آماری معنی‌دار است.

اثر متقابل پارافین، پودر پوست بادام، دما و زمان پرس بر روی MOR و MOE به‌ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. با توجه به رابطه ۲ می‌توان دریافت که ضریب خطی ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ) برای MOR مقادیر منفی و ضریب خطی ( $\alpha_4$ ) مقدار مثبتی را نشان می‌دهد. مقادیر منفی و مثبت به‌ترتیب نشان‌دهنده اثر کاهشی و افزایشی هر کدام از متغیرهای مستقل تحت بررسی بر روی خواص مکانیکی تخته‌ها می‌باشد.



مرتضی ناظریان و همکاران

جدول ۳- نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس ANOVA برای MOR (رابطه‌های معنی داری).

P-Value Probability >F	F Value	Mean Square	DF	Sum of square	Source
<۰/۰۰۰۱	۲۰/۹۷	۷/۱۲	۱۲	۸۵/۳۹	Model
۰/۰۱۱۴	۸/۰۵	۲/۷۳	۱	۲/۷۳	X <sub>۱</sub>
۰/۰۰۰۱	۲۵/۱۰	۸/۵۲	۱	۸/۵۲	X <sub>۲</sub>
۰/۰۲۷۶	۵/۸۰	۱/۹۷	۱	۱/۹۷	X <sub>۲</sub> <sup>۲</sup>
<۰/۰۰۰۱	۱۱۰/۹۷	۳۷/۶۷	۱	۳۷/۶۷	X <sub>۲</sub> <sup>۲</sup>
۰/۰۰۰۱	۲۴/۷۱	۸/۳۹	۱	۸/۳۹	X <sub>۳</sub> <sup>۲</sup>
۰/۰۲۵۶	۵/۹۸	۲/۰۳	۱	۲/۰۳	X <sub>۱</sub> X <sub>۲</sub>
۰/۰۲۱۵	۶/۴۱	۲/۱۸	۱	۲/۱۸	X <sub>۱</sub> X <sub>۳</sub>
<۰/۰۰۰۱	۳۶/۶۱	۱۲/۴۳	۱	۱۲/۴۳	X <sub>۲</sub> X <sub>۳</sub>
۰/۰۰۶۱	۹/۸۱	۳/۳۳	۱	۳/۳۳	X <sub>۲</sub> X <sub>۳</sub>
۰/۰۰۱۱	۱۵/۲۵	۵/۱۸	۱	۵/۱۸	X <sub>۲</sub> X <sub>۳</sub>
		۰/۳۴	۱۷	۵/۷۷	Residual
۰/۰۸۰۵	۳/۶۷	۰/۴۳	۱۲	۵/۱۸	Lack of Fit
		۰/۱۲	۵	۰/۵۹	Pure Error
			۲۹	۹۱/۱۶	Cor. Total
				۰/۵۸	انحراف معیار
				۲۲/۱۸	میانگین
				۲/۶۳	ضریب تغییرات
				۲۲/۳۷	Press
					Adequate precision= ۱۷/۹۹۲

جدول ۴- نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس ANOVA برای MOE (رابطه‌های معنی داری).

P-Value Probability >F	F Value	Mean Square	DF	Sum of square	Source
<۰/۰۰۰۱	۱۷/۳۴	۱/۸۹۲	۱۰	۱/۶۹۲	Model
<۰/۰۰۰۱	۳۱/۵۵	۳/۴۴۲	۱	۳/۴۴۲	X <sub>۱</sub>
<۰/۰۰۰۱	۲۴/۸۸	۲/۷۱۴	۱	۲/۷۱۴	X <sub>۲</sub>
۰/۰۰۶۶	۹/۲۸	۱/۰۱۲	۱	۱/۰۱۲	X <sub>۱</sub> <sup>۲</sup>
<۰/۰۰۰۱	۷۱/۵۹	۷/۸۰۹	۱	۷/۸۰۹	X <sub>۲</sub> <sup>۲</sup>
<۰/۰۰۰۱	۲۲/۶۲	۲/۴۶۸	۱	۲/۴۶۸	X <sub>۳</sub> <sup>۲</sup>
۰/۰۰۶۳	۹/۴۲	۱/۰۲۷	۱	۱/۰۲۷	X <sub>۲</sub> X <sub>۳</sub>
۰/۰۰۳۷	۱۰/۹۸	۱/۱۹۷	۱	۱/۱۹۷	X <sub>۲</sub> X <sub>۴</sub>
۰/۰۱۸۰	۶/۷۱	۳/۴۴۲	۱	۷۳۱۷۰/۲۵	X <sub>۲</sub> X <sub>۴</sub>
		۱۰۹۰۷/۸۱	۱۹	۲/۰۷۲	Residual
۰/۰۶۲۰	۴/۱۷	۱۳۶۳۴/۳۵	۱۴	۱/۹۰۹	Lack of Fit
		۳۲۷۳/۵۰	۵	۱۶۳۶۷/۵۰	Pure Error
			۲۹	۲/۰۹۹	Cor. Total
				۱۰۴/۴۴	انحراف معیار
				۲۳۱۳/۵۳	میانگین
				۴/۵۱	ضریب تغییرات
				۰۰۵E+۷۹۷۴	Press
					Adequate precision= ۱۴/۰۹۴

مرتضی ناظریان و همکاران

جدول ۵- نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس ANOVA برای IB (رابطه‌های معنی داری).

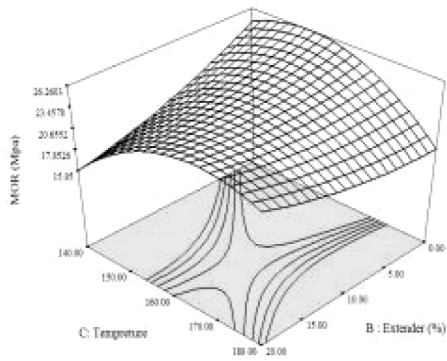
P-Value Probability >F	F Value	Mean Square	DF	Sum of square	Source
<۰/۰۰۰۱	۲۸/۹۷	۰/۰۲۳	۷	۰/۱۶	Model
<۰/۰۰۰۱	۵۳/۸۸	۰/۰۴۳	۱	۰/۰۴۳	X <sub>۱</sub>
۰/۰۰۱۱	۱۴	۰/۰۱۱	۱	۰/۰۱۱	X <sub>۲</sub>
<۰/۰۰۰۱	۳۴/۸۲	۰/۰۲۸	۱	۰/۰۲۸	X <sub>۳</sub>
<۰/۰۰۰۱	۲۳/۹۵	۰/۰۱۹	۱	۰/۰۱۹	X <sub>۴</sub>
۰/۰۰۱۱	۱۴/۱۴	۰/۰۱۱	۱	۰/۰۱۱	X <sub>۱</sub> <sup>۲</sup>
<۰/۰۰۰۱	۴۶/۴۶	۰/۰۳۷	۱	۰/۰۳۷	X <sub>۳</sub> <sup>۲</sup>
۰/۰۰۶۶	۸/۹۸	۷/۲۲۵	۱	۷/۲۲۵	X <sub>۲</sub> X <sub>۴</sub>
		۸/۰۴۵	۲۲	۰/۰۱۸	Residual
۰/۱۰۷۵	۳/۱۰	۹/۵۱۰	۱۷	۰/۰۱۶	Lack of Fit
		۳/۰۶۷	۵	۱/۵۳۳	Pure Error
			۲۹	۰/۱۸	Cor. Total
				۰/۰۲۸	انحراف معیار
				۰/۷۷	میانگین
				۳/۷۰	ضریب تغییرات
				۰/۰۴۴	Press

بر اساس رابطه ۲ اثر متغیرها بر روی MOR بیان می‌شود. بیش‌ترین میزان MOR مربوط به تخته ۱۴ با ۲۶ مگاپاسکال و کم‌ترین آن مربوط به تخته ۱ با ۱۸/۶ مگاپاسکال می‌باشد. طبق استاندارد EN، حداقل MOR لازم برای MDF ۲۰ مگاپاسکال می‌باشد. رابطه ۳ اثر متغیرها را بر MOE بیان می‌کند. کم‌ترین میزان MOE مربوط به تخته ۱ با ۱۹۰۰ مگاپاسکال و بیش‌ترین آن مربوط به تخته ۱۴ با ۲۸۹۵ مگاپاسکال است. حداقل استاندارد لازم برای MOE ۲۲۰۰ مگاپاسکال می‌باشد. افزایش پارافین تا محدوده ۱ درصد تأثیر منفی ناچیزی بر MOR و MOE داشته است، ولی به‌طور کلی باعث کاهش مقاومت خمشی شده است. پارافین در هنگام پرس گرم تبخیر شده و بر روی سطح الیاف انتشار می‌یابد سپس میعان پارافین باعث آغشته شدن سطح الیاف می‌شود این امر باعث شده که سطح

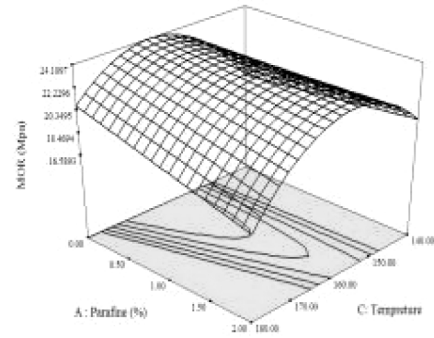
مشترک بین چسب UF و الیاف کاهش یابد و باعث افت مقاومت‌ها گردد (دوست‌حسینی، ۲۰۰۰). اما نوع پارافین و مرحله اضافه کردن آن به الیاف در طول فرآیند تولید می‌تواند از شدت کاهش مقاومت‌ها بکاهد و حتی در مواردی باعث بهبود ویژگی‌های مکانیکی گردد (ژو و همکاران، ۲۰۰۹). پارافین می‌تواند در ۳ مرحله به الیاف اضافه گردد: ۱- قبل از چسب‌زنی، ۲- بعد از چسب‌زنی و ۳- مخلوط با چسب. پژوهش‌ها اثبات کرده که اضافه کردن پارافین بعد از چسب‌زنی و مخلوط با چسب باعث یکنواختی و هم‌پوشانی بیش‌تر سطح الیاف توسط چسب می‌شود (گریگسبی و سام، ۲۰۱۲). در این پژوهش نیز پارافین به همراه چسب به الیاف افزوده شد. بنابراین این احتمال وجود دارد که با افزایش پارافین افت کم‌تر در خواص مکانیکی رخ دهد.

پودر پوست بادام که به‌عنوان پرکننده چسب UF در ساخت تخته مورد استفاده قرار گرفت باعث کاهش مقاومت شده است. این ماده دارای مقادیر زیاد مواد استخراجی محلول در آب می‌باشد که بر روی زمان ژله‌ای شدن چسب UF تأثیر منفی دارد (بویوکساری و همکاران، ۲۰۱۰). البته شایان ذکر است که در این مرحله چسب‌زنی به‌صورت پودری انجام شد تا پدیده ژله‌ای شدن نتواند اثر منفی خود را اعمال کند، اما باز هم باعث افت مقاومت‌ها شده است. بعد از بسته شدن دهانه پرس در مدت چند ثانیه ویسکوزیته چسب کم می‌شود و چسب می‌تواند بر روی سطح الیاف یا خرده‌چوب‌ها پخش شود، سپس مرحله ژله‌ای شدن و در نهایت پلیمریزاسیون اتفاق می‌افتد. گمان می‌رود مواد استخراجی پودر پوست بادام بعد از بسته شدن دهانه پرس فرصت کم‌تری به چسب می‌دهد و باعث جذب بیش‌تر آن شده تا رزین نتواند به خوبی در سطح الیاف پخش شود و از این‌رو زودتر به مرحله ژله‌ای شدن می‌رسد.

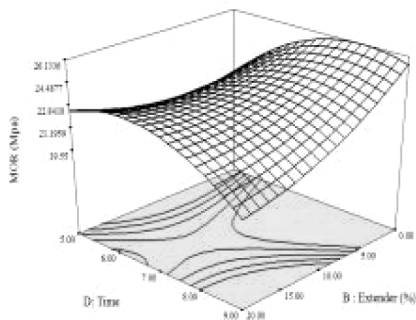
دما و زمان پرس دو متغیر انکارناپذیر هستند که همواره در ساخت فرآورده‌های مرکب چوبی نقش به‌سزایی داشته‌اند. اثر متقابل این دو متغیر در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل در می‌یابیم هر دو متغیر تأثیر یکسانی نسبت به هم داشته‌اند. افزایش دما تا محدوده ۱۶۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، باعث افزایش MOR و MOE شده است، ولی از این نقطه به بعد کاهش مقاومت‌ها صورت گرفته است. زمان پرس نیز هم‌چون دما تأثیرات مشابهی دارد.



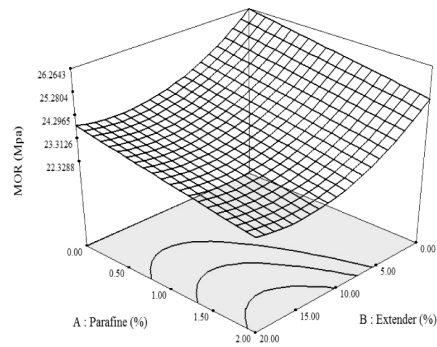
(ب) دما - اکستندر



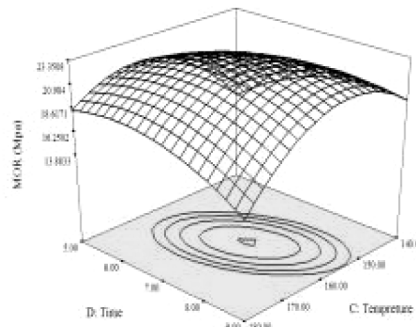
(الف) دما - پارافین



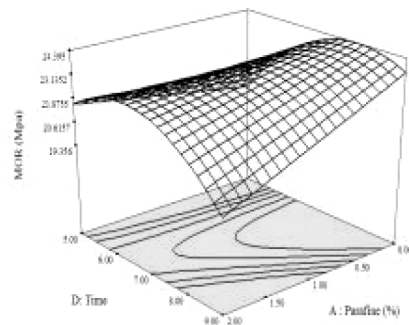
(د) زمان - اکستندر



(ج) اکستندر - پارافین

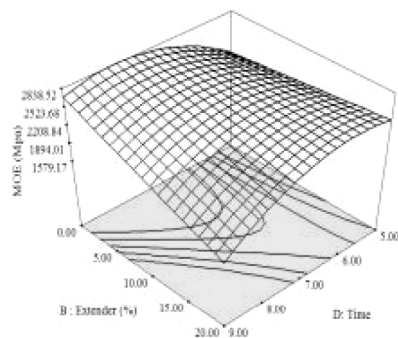


(و) دما - زمان

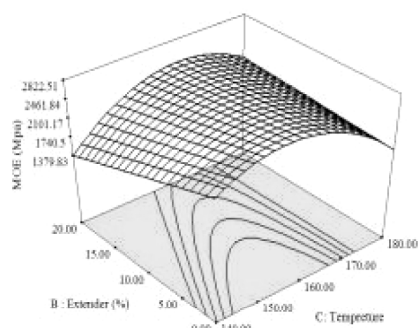


(ه) دما - پارافین

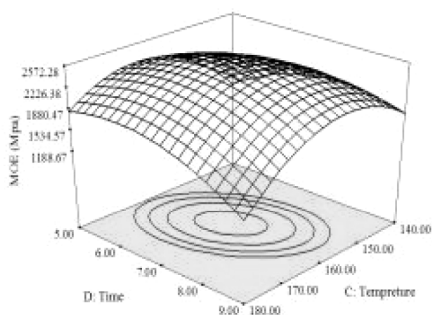
شکل ۱- اثر متغیرهای مورد استفاده بر مقاومت خمشی (MOR) تخته‌های ساخته شده از مدل معادله.



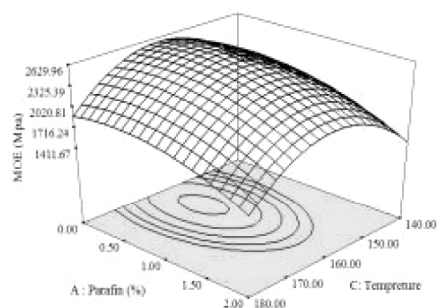
(ب) اکستندر - زمان



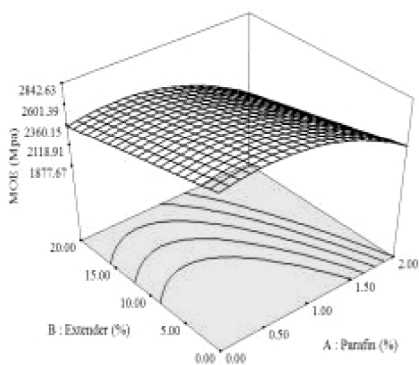
(الف) دما - اکستندر



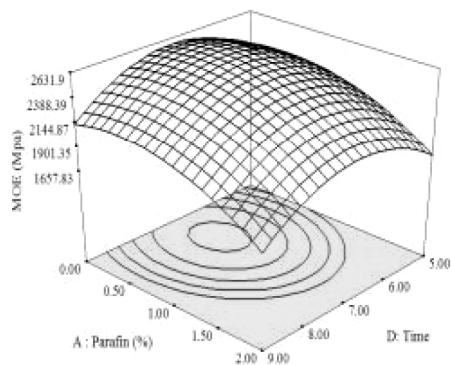
(د) دما - زمان



(ج) دما - پارافین



(و) اکستندر - پارافین



(ه) زمان - پارافین

شکل ۲- اثر متغیرهای مورد استفاده بر مدول الاستیسیته (MOE) تخته‌های ساخته شده از مدل معادله.

چسبندگی داخلی: نتایج به دست آمده از آزمون چسبندگی داخلی به طور معنی داری تحت تأثیر متغیرهای مستقل مورد استفاده در ساخت MDF قرار گرفت (جدول ۵). اثر متقابل پارافین و پودر پوست بادام، دما و زما پرس بر مقدار IB در شکل ۳ نشان داده شده است. براساس رابطه ۴، افزایش درصد پارافین و و پودر پوست بادام باعث کاهش IB شده است. در شکل ۳ که اثر متقابل دما و زمان پرس و اثر متقابل دما و پارافین را نشان می دهد، افزایش دمای پرس تا حدود ۱۷۰ درجه سانتی گراد باعث افزایش و از آن به بعد باعث کاهش IB است. اما افزایش زمان پرس به طور کلی موجب افزایش IB شده است. حداقل مقدار IB را تخته ۱ با ۰/۶۱ مگاپاسکال و بیشترین آن را تخته ۲۱ با ۰/۹۹ مگاپاسکال به خود اختصاص داده است اما با این وجود، تمامی تخته های ساخته شده بالاتر از حد استاندارد بوده اند. استاندارد EN حداقل IB برای MDF را ۰/۵۵ مگاپاسکال مشخص کرده است.

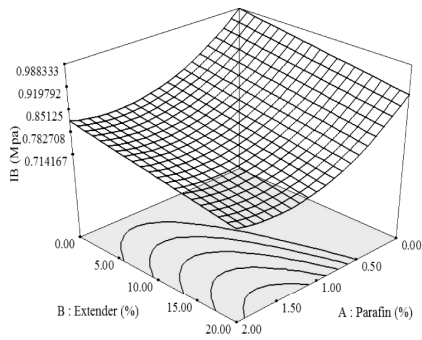
چسبندگی داخلی نشان دهنده همگنی و کیفیت اتصال بین الیاف و چسب است، به عبارتی دیگر IB نشان دهنده مقاومت تک تک الیاف در برابر نیروی وارد شده در طول آزمایش است. اگر الیاف به طور کامل توسط چسب پوشانده نشوند، به طور مسلم IB کاهش خواهد یافت (محبی و همکاران، ۲۰۰۸). رابطه ۴ نشان می دهد که ضریب خطی ( $\alpha_1$ ) منفی است و با افزایش پارافین IB کاهش می یابد. اما همان طور که از نتایج پیدا است، هیچ یک از تخته ها کم تر از حد استاندارد نبود، بنابراین می توان گفت که پارافین می تواند به عنوان یک عامل بهبوددهنده فیزیکی غیر منفی در ساخت MDF مشارکت داشته باشد (ژو و همکاران، ۲۰۰۹). یکی دیگر از متغیرهایی که باعث کاهش IB شده است، پودر پوست بادام است. مواد استخراجی حل شدنی در آب در پوست بادام زیاد است و اثر قابل توجهی بر روی زمان ژله ای شدن چسب UF دارد و این فاکتور در تعیین چسبندگی مهم است (بویوکساری و همکاران، ۲۰۱۰). مواد استخراجی می تواند اثرات مضر روی چسبندگی مقاومت چسبیدن فیبر به فیبر داشته باشد و باعث آسیب شود و به شدت IB را کاهش دهد (دانک و پیزی، ۲۰۰۲؛ آیریلیمیس و همکاران، ۲۰۰۹). به علاوه پوست مغز بادام شامل مقدار زیادی خاکستر است (پیرایش و خزاعیان، ۲۰۱۲). این می تواند باعث اتصالات ضعیف بین ذرات و همچنین مقاومت چسبندگی داخلی کم تخته ها شود (طبرسا و همکاران، ۲۰۱۰؛ لی و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج به دست آمده از پژوهش بلینی و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که افزایش نسبت وزنی الیاف باگاس به الیاف اکالیپتوس باعث کاهش IB

شده است، اما با وجود افت این مقاومت، باز هم IB (MDF ساخته شده از ۱۰۰ درصد الیاف باگاس) بالاتر از استاندارد EN 622-5 به مقدار ۰/۵۵ مگاپاسکال بود. دمای پرس یکی از عوامل مهم در تعیین مقاومت اتصال چسب است. با توجه به این‌که چسبندگی داخلی مقاومت اتصال بین الیاف در ناحیه مرکزی تخته را نشان می‌دهد، بنابراین لازم است حرارت به‌طور کامل به لایه میانی تخته برسد تا اتصالات چسب کارآمد باشد. شکل ۳ نشان می‌دهد که از دمای ۱۶۰-۱۴۰ سانتی‌گراد، IB افزایش یافته اما از دمای ۱۶۰-۱۸۰ سانتی‌گراد سیر نزولی پیدا کرده است. در واقع، دماهای بالاتر باعث شکستگی و تخریب اتصالات بین الیاف و چسب شده است. اما زمان پرس به‌طور کلی باعث بهبود IB شده است، چرا که فرصت بیشتری را به بخار آب می‌دهد تا به لایه میانی تخته نفوذ کرده و باعث پلیمریزاسیون کامل‌تر رزین گردد. همچنین زمان بیش‌تر این امکان را به مواد استخراجی محلول در آب می‌دهد تا از تخته تبخیر و خارج شود.

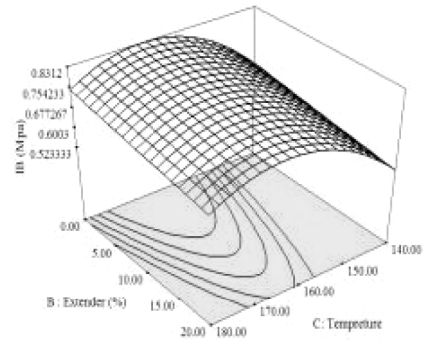
**نقطه اپتیمم ساخت MDF:** محدوده بهینه سطوح متغیرها برای MDF ساخته شده با استفاده از رابطه‌های ۲، ۳ و ۴ با روش RSM از برنامه Minitab به‌دست آمد. محدوده استفاده از پارافین ۲-۰ درصد و اکستندر ۲۰-۰ درصد بود. همچنین دما بین ۱۴۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس بین ۵-۹ دقیقه بود. مقادیر خواص مکانیکی اپتیمم پیش‌بینی شده در جدول ۶ خلاصه شده است. در این جدول نقطه اپتیممی که به‌صورت تجربی و با آزمون و ساخت تخته‌های MDF به‌دست آمد.

در جدول ۶ سه تخته به‌ترتیب به‌عنوان بهترین شرایط بهینه برای ساخت MDF مشخص شده است. همچنین در شکل ۴ مناسب‌ترین محدوده کاربرد کمی مقادیر متغیرهای ثابت برای حصول بهترین مشخصه‌های کیفی تخته ارایه شده است. در بین متغیرها تنها اکستندر است که مقدار حداکثر آن یعنی ۲۰ درصد توسط نرم‌افزار معرفی شده است، که در شکل ۴ نیز کاملاً مشخص است. مناسب‌ترین مقدار استفاده بهینه از پارافین با توجه به در نظر گرفتن حداکثر مقاومت‌های مکانیکی ۰/۷۹ درصد تعیین شده است، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان استفاده از پارافین در این پژوهش ۲ درصد می‌باشد. دمای ۱۶۲/۷۵ درجه سانتی‌گراد از بین محدوده ۱۴۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان بهینه‌ترین دما توسط روش سطح پاسخ (RSM) مشخص شده است. همچنین مناسب‌ترین زمان پرس ۶/۴۱ دقیقه توسط روش سطح پاسخ (RSM) معرفی شده است.

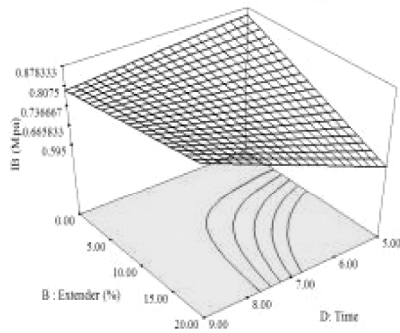




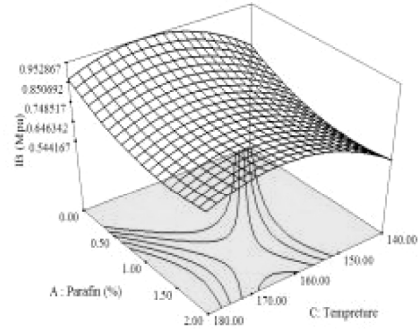
(ب) اکستندر - پارافین



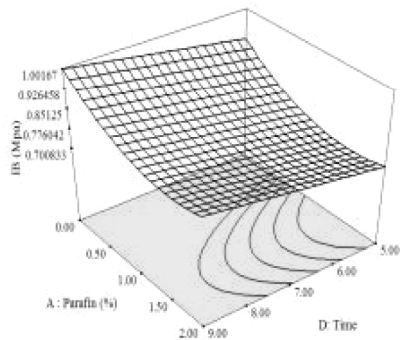
(الف) اکستندر - دما



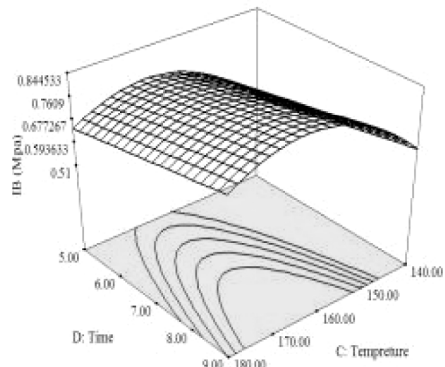
(د) زمان - اکستندر



(ج) دما - پارافین



(و) زمان - پارافین

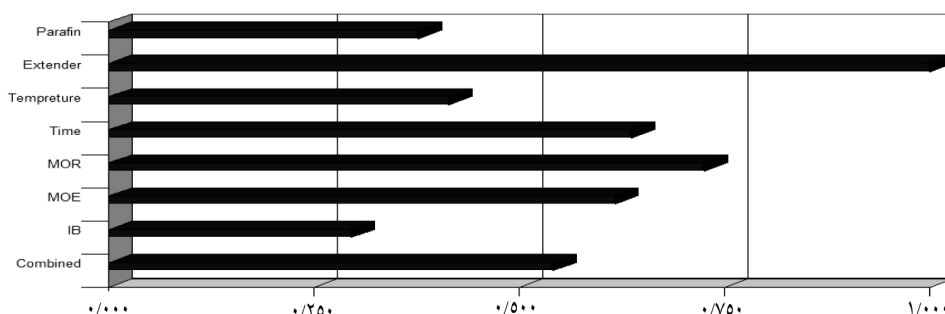


(هـ) دما - زمان

شکل ۳- اثر متغیرهای مورد استفاده بر چسبندگی داخلی (IB) تخته‌های ساخته شده از مدل معادله.

جدول ۶- مناسب‌ترین تیمارهای انتخاب شده برای ساخت تخته به منظور حصول حداکثر مدول خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی MDF توسط روش سطح پاسخ (RSM).

ردیف	پارافین (درصد)	اکستندر (درصد)	دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان (دقیقه)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)
۱	۰/۷۹	۲۰	۱۶۲/۷۵	۶/۴۱	۲۴/۰۲۸۱	۲۵۲۴/۵۷	۰/۷۲۳
۲	۰/۷۹	۲۰	۱۶۲/۷۷	۶/۴۱	۲۴/۰۳۰۹	۲۵۲۴/۸۸	۰/۷۲۲
۳	۰/۷۸	۲۰	۱۶۲/۷۵	۶/۴۰	۲۴/۰۳۱۳	۲۵۲۶/۴۲	۰/۷۲۳



شکل ۴- مناسب‌ترین محدوده کاربرد کمی مقادیر متغیرهای ثابت برای حصول بهترین مشخصه‌های کیفی تخته.

### نتیجه‌گیری

با افزایش میزان پارافین مدول گسیختگی کاهش می‌یابد. با افزایش حرارت از ۱۶۰-۱۴۰ درجه سانتی‌گراد مقاومت‌های خمش تخته‌ها بهبود می‌یابد اما از ۱۸۹-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد این مقاومت‌ها کاهش می‌یابد. با افزایش اکستندر و کاهش حرارت پرس اثر کاهشی بر روی مقاومت‌های خمشی تخته مشاهده می‌شود. افزایش زمان پرس باعث بهبود مقاومت خمشی تخته می‌شود.

چسبندگی داخلی تخته در حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد در حد حداکثر قرار دارد. افزایش زمان پرس باعث بهبود چسبندگی داخلی تخته شده است. افزایش میزان پارافین سبب کاهش میزان چسبندگی داخلی شده است. تأثیر افزایش هم‌زمان زمان-اکستندر بر روی چسبندگی داخلی تخته مثبت بوده است. تأثیر هم‌زمان افزایش میزان اکستندر-پارافین بر روی چسبندگی داخلی منفی بوده است.

## منابع

1. Akrami, A., Doost Hoseini, K., Faezipour, M.M. and Jahan Latibari, A. 2011. The Effect of Paraffin Addition and Pressing Conditions on some Properties of Medium Density Fiberboard (MDF) with Emphasis on Surface Roughness Journal of Forest and Wood Products (JFWP), Iran. J. Natur. Resour. 63: 4. 343-353.
2. Ayrilmis, N., Buyuksari, U., Avci, E. and Koc, E. 2009 Utilization of pine (*Pinus pinea* L.) cone in manufacture of wood based composite. For Ecol Manage. 259: 65-70.
3. Balasubramanian, M., Jayabalan, V. and Balasubramanian, V. 2008. A mathematical model to predict impact toughness of pulsed current gas tungsten arc welded titanium alloy. J. Adv. Manufac. Technol. 35: 9/10. 852-858.
4. Belini, U.L., Filho, M.T., Louzada, J.L.P.C., Rodrigues, J.C.D.C. and Astolphi, J.R.S. 2012. Pilot study for MDF manufacture from sugarcane bagasse and eucalyptus fibers. Eur. J. Wood Prod. 70: 537-539.
5. Buyuksari, U., Ayrilmis, N., Avci, E. and Koc, E. 2010. Evaluation of the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard manufactured from waste stone pine (*Pinus pinea* L.) cones. Bioresour. Technol. 101: 255-259.
6. Doosthosseini, K. 2000. Production and applied technology of wood compressed sheets, Tehran Publications. 648p.
7. Dunky, M. and Pizzi, A. 2002. Wood adhesives. In: Chaudhury, M., Pocius, AV, editors. Adhesive science and engineering- 2: surfaces, chemistry and applications. Amsterdam: Elsevier. 10: 39-103. [Chapter 23]
8. Frihart, C.R. and Wescott, J.M. 2004. Improved water resistance of bio-based adhesives for wood bonding. In: Jorge, F.E. (Ed.), Proceedings of ICECFOP1 - 1st International Conference on Environmentally-Compatible Forest Products. September 22-24, Oporto, Portugal, Pp: 293-302.
9. Garcia, A., Cloutier, A. and Riedl, B. 2005. Dimensional stability of MDF panels produced from fibers treated with maleated polypropylene wax. J. Wood Sci. Technol. 39: 8. 630-650.
10. Grigsby, W. and Thumm, A. 2012. The interactions between wax and UF resin in medium density fibreboard. Eur. J. Wood Prod. 70: 507-517.
11. Hojilla-Evangelista, M.P. and Bean, S.R. 2004. Evaluation of sorghum flour as extender in plywood adhesives for spray line coaters or foam extrusion. Industrial Crops and Products, 34: 1168-1172.
12. Kargarfard, A.A.F., Nourbakhsh, A. and Hajihassani, R. 2009. The effect of press temperature and press time on medium density fiberboard (MDF) properties produced from Eucalyptus intertexta fibers. Iran. J. Wood Paper Sci. Res. 24: 1/30. 26-35.

13. Li, X., Cai, Z., Winandy, J.E. and Basta, A.H. 2010. Selected properties of particleboard panels manufactured from rice straws of different geometries. *Bioresour Technol.* 101: 4662-4666.
14. Mohebbi, B., Ilbeighi, F. and Kazemi-Najafi, S. 2008. Influence of hydrothermal modification of fibers on some physical and mechanical properties of medium density fiberboard (MDF). *Holz Roh Werkst.* 66: 213-218.
15. Muehl, J.H. and Krzysik, A.M. 1997. Effect of resin and wax on mechanical and physical properties of hardboard from air-laid mats, [www.fpl.fs.fed.us](http://www.fpl.fs.fed.us).
16. Pirayesh, H. and Khazaeian, A. 2012. Using almond (*Prunus amygdalus* L.) shell as a bio-waste resource in wood based composite. *Composites: Part B.* 43: 1475-14759.
17. Sellar, T., George, D. and Smith, W. 2005. Tool wear properties of five extender fillers in adhesive mixes for plywood. *Forest Adhesive Technology. Liberary of Congress.*
18. Tabarsa, T., Jahanshahi, S. and Ashori, A. 2010. Mechanical and physical properties of wheatstraw boards bonded with a tannin modified phenol-formaldehyde adhesive. *Composites: Part B* 2010. 4110.1016/j.compositesb.09.01.
19. Widyorini, R., Xu, J., Watanabe, T. and Kawai, S. 2005. Chemical changes in steam-pressed kenaf core binder less particleboard. *J. Wood Sci.* 51: 1. 26-32.
20. Winandy, J.E. and Krzysik, A.M. 2007. Thermal degradation of wood fibers during hot-pressing of MDF composites: Part 1. Relative effects and benefits of thermal exposure. *Wood and Fiber Science.* 39: 3. 450-461.
21. Xu, X., Yao, F., Wu, Q. and Zhou, D. 2009. The influence of wax-sizing on dimension stability and mechanical properties of bagasse particleboard. *Industrial Crops and Products.* 29: 80-85.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 21 (3), 2014*  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## **A study of the response surface methodology (RSM) to analyze the effects of wax, extender content, pressing time and temperature during MDF manufacturing**

**\*M. Nazerian<sup>1</sup>, A. Dalirzadeh<sup>2</sup> and S.R. Farokhpayam<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Faculty of Wood and Paper Engineering, University of Zabol,

<sup>2</sup>M.Sc., Faculty of Wood and Paper Engineering, University of Zabol

Received: 01/04/2014; Accepted: 10/18/2014

### **Abstract**

The objective of this work was to study the effect of almond shell powder as Urea formaldehyde (UF) resin extender, paraffin content, press temperature and time on properties of medium density fiberboard (MDF) made from Bagasse fibers. The mixed resins were tried in different ratios of 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 and 80:20 for UF resin and almond shell powder respectively and also 0, 0.5, 1, 1.5 and 2% for paraffin, 140, 150, 160, 170 and 180 °C for press temperature and 5, 6, 7, 8 and 9 min for pressing time. The examination of mechanical properties was carried out by means of rupture modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) and internal bonding (IB). The results were analyzed based on Response surface methodology (RSM). In general, wax had a negligible reducer effect on mechanical properties. Results showed almond shell powder significantly influenced the mechanical properties of panels. They in general decreased with increasing almond shell powder content. Although internal bonding of all panels were more than recommended standards (EN), but it showed a decrease with increasing the extender. According to RSM analyses, the best results were found on the panels that have been made at 160 °C press temperature and 6 min pressing time. Besides, results of this analysis showed during high press temperature, the extender was better efficiency.

**Keywords:** Medium density fiberboard, Bagasse, Almond shell powder, RSM, Mechanical properties

---

\* Corresponding Authors; Email: [morteza17172000@yahoo.com](mailto:morteza17172000@yahoo.com)

