جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۲، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۸
ص ۱۵۹-۱۷۰

دانشکده منابع طبیعی
دانشگاه تهران

DOI: 10.22059/jfwp.2019.267562.969

بررسی عوامل مؤثر بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته فیبرهای سخت مناسب برای کفپوش با روش سطح پاسخ (RSM)

ناهید رستگارفر[1*]، سجاد اکبری[2]، فرزین بشرخواه[3]

۱. دکترای فراورده‌های چندسازهٔ چوبی، شرکت تولیدکنندهٔ صنعتی، آرین مریم، رشت
۲. کارشناس ارشد فراورده‌های چندسازهٔ چوبی ، شرکت تولیدکنندهٔ صنعتی، آرین مریم، رشت
۳. کارشناس برق الکترونیک، شرکت تولیدکنندهٔ صنعتی، آرین مریم، رشت

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۷

چکیده

هدف این پژوهش، بررسی اثر متغیرهای فرایندی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته فیبر با چگالی زیاد و بهبود این ویژگی‌ها به‌منظور استفاده از آن در کفپوش ساختمان‌هاست. اثر فاکتور پرس در سه سطح (۷/۶، ۸/۳ و ۹/۱ ثانیه بر میلی‌متر)، مقدار پارافین در سه سطح (۰، ۰/۵ و ۱ درصد) و مقدار چسب در سه سطح (۹، ۹/۵ و ۱۰ درصد) بر ویژگی‌های مکانیکی تخته مانند مقاومت چسبندگی داخلی، مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی و ویژگی فیزیکی مانند درصد واکشیدگی ضخامت تخته‌های حاصل آزمایش شد. نتایج نشان داد که افزایش فاکتور پرس سبب بهبود مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت چسبندگی داخلی و کاهش درصد واکشیدگی ضخامت تخته‌ها شده است. با افزودن پارافین، درصد واکشیدگی ضخامت تخته‌ها کاهش پیدا کرد، درحالی که استفاده از مقادیر بیشتر پارافین، تأثیر منفی بر مقاومت‌های مکانیکی به‌ویژه مقاومت چسبندگی داخلی داشت. همچنین، ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی تخته‌ها با افزایش مصرف چسب بهبود یافت. در این بررسی از روش آماری سطح پاسخ برای تعیین حد بهینهٔ کیفیت تخته استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل از اثر متغیرهای مختلف، تخته‌های حاصل با فاکتور پرس ۸/۹ ثانیه بر میلی‌متر، با مقدار پارافین و چسب مصرفی به‌ترتیب ۰/۵ و ۹ درصد، ضمن حفظ مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی در محدودهٔ استاندارد ملی، با روش سطح پاسخ به‌عنوان حد بهینه برای کاربرد کفپوش انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: پارافین، تخته فیبر با چگالی زیاد، روش سطح پاسخ، کفپوش.

مقدمه

کفپوش در بیشتر کشورهای اروپایی و آمریکای شمالی بازار وسیعی دارد. این روزها در ایران نیز استفاده از چندسازه‌های چوبی برای این کاربرد توجه زیادی را به خود جلب کرده است. تخته فیبر با چگالی زیاد (HDF) نوعی فراوردهٔ مرکب چوبی است که از الیاف پهن‌برگان، سوزنی‌برگان و دیگر مواد لیگنوسلولزی از راه ترکیب با چسب، تحت حرارت و فشار زیاد ساخته می‌شود. این فراورده همانند تخته فیبر با چگالی متوسط (MDF) است، اما بسیار سخت‌تر از آن و دارای چگالی بیش از ۰/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب است [۱]. تخته فیبر با چگالی زیاد، اغلب به‌عنوان کفپوش ساختمان‌ها استفاده می‌شود. امتیاز اصلی این کفپوش‌ها در مقایسه با چوب ماسیو، هزینهٔ کمتر و نصب راحت‌تر آنها در ساختمان‌هاست [۲]. بادوام

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۱۳۳۴۸۱۰۰۰۰
Email: nrastegarfar@gmail.com

بودن در مقابل رطوبت از مهم‌ترین ویژگی‌های چندسازه‌های چوبی برای این کاربرد محسوب می‌شود [۱]. رطوبت بر مقاومت اتصالات بین الیاف تأثیر منفی دارد و موجب تغییر ابعاد و افت کیفیت سطح تخته و نیز کاهش مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی آن می‌شود [۳]. در واقع مشکل اصلی استفاده از چندسازه‌های چوبی به‌عنوان مادهٔ ساختمانی، تغییرات ابعادی آنها در شرایط مرطوب در اثر پدیدهٔ هم‌کشیدگی و واکشیدگی است. واکشیدگی ضخامت تخته در واقع واکشیدگی الیاف چوبی و آزاد شدن تنش‌های فشاری حاصل در طول پرس گرم است [۴]. این ویژگی توسط گروه‌های هیدروکسیل پلیمرهای دیوارهٔ سلولی تحت تأثیر قرار می‌گیرد که با جایگزینی یا پوشش گروه‌های هیدروکسیل با ماده‌ای با قابلیت جذب آب کمتر مانند عامل آهار می‌توان موجب بهبود ثبات ابعادی تخته شد [۵]. اگرچه این ماده به‌طور منفی ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزودن عوامل بازدارندهٔ آب به‌شکل واکس‌های پارافینی، روشی مؤثر برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی چندسازه‌هاست [۴]. پارافین از گذشته در صنعت فراورده‌های چوبی کاربرد داشته است. پوشش سطوح الیاف با پارافین، انرژی سطحی الیاف را کاهش می‌دهد و سبب خاصیت آب‌گریزی بیشتر و حساسیت کمتر به رطوبت در شرایط رطوبت شدید می‌شود [۶]. قابلیت پارافین به بازدارندگی از جذب آب، به مواد تشکیل‌دهندهٔ شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی (نقطهٔ ذوب، گرانروی و مقدار روغن) آن بستگی دارد [۷، ۸]. افزایش مقدار روغن در مواد تشکیل‌دهندهٔ پارافین، واکشیدگی ضخامت را (بعد از ۲۴ ساعت) افزایش می‌دهد. ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته فیبر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر متغیرهای مختلفی مانند مقدار چسب، چگالی تخته، مدت زمان و دمای پرس، نوع مادهٔ افزودنی و آهار است [۳]. پژوهش‌های زیادی برای برطرف کردن اثر منفی رطوبت یا کاهش آن صورت گرفته است. سوزوکی و همکاران (۱۹۷۶)، اثر شش نوع چسب و دو سطح پارافین بر قابلیت جذب آب تخته فیبر با چگالی متوسط را بررسی کردند. نتایج نشان داد که جذب آب و واکشیدگی ضخامت با افزایش چسب، چگالی و افزایش سطح پارافین، تمایل به کاهش داشته است [۹]. در تحقیقی دیگر در زمینهٔ بررسی اثر مقدار پارافین بر ویژگی‌های تخته، سو و همکاران (۱۹۹۰) گزارش کردند که افزودن پارافین، واکشیدگی ضخامت تخته را کاهش خواهد داد [۷]. همچنین یانگویست و همکاران (۱۹۹۰) بیان کردند که افزایش مقدار چسب و پارافین به‌تدریج بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری نمونه در آب، جذب آب و واکشیدگی ضخامت را کاهش داد، اگرچه افزودن بیشتر پارافین موجب کاهش ویژگی‌های چسبندگی شد [۱۰]. وینیستورفر و همکاران (۱۹۹۲) اثر ۱۰ نوع پارافین را در سه سطح (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) بر ویژگی‌های تخته تراشه بررسی کردند و دریافتند که افزودن هر نوع پارافینی در هر سه سطح، جذب آب و واکشیدگی ضخامت را کاهش داد [۱۱]. هدف پژوهش حاضر، ساخت تخته فیبر با چگالی زیاد در مقیاس صنعتی بود تا با بررسی اثر متغیرهای فرایندی، ضمن حفظ مصرف چسب در حد بهینه و برخورداری از ظرفیت زیاد تولید، تخته‌ای با ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی مناسب کاربرد مشخص در محدودهٔ استاندارد ملی تولید شود. در این پژوهش، پس از آزمون‌های مکانیکی، نتایج در قالب طرح کاملاً تصادفی تحت آزمایش فاکتوریل و با کمک روش آماری سطح پاسخ (RSM) برای تعیین حد بهینه ارزیابی شد. از این روش برای توسعه مدل ریاضی به‌صورت معادلات رگرسیون چندمتغیره برای مدول گسیختگی (MOR)، مدول الاستیسیته (MOR)، مقاومت چسبندگی داخلی (IB) و درصد واکشیدگی ضخامت (TS) تخته‌های ساخته‌شده استفاده شد.

مواد و روش‌ها

مواد

برای ساخت تخته فیبر از مخلوط گونه‌های چوبی ذخیره‌شده در یارد شرکت آرین مریم استفاده شد. گونه‌های چوبی استفاده‌شده، اغلب بید و صنوبر و تا حد کمتری، گردو و اوجا بود. مخلوط گونه‌های چوبی به‌صورت کاتین ذخیره‌سازی شد که در ابتدا به واحد خردکن و سپس به واحد ریفاینر انتقال داده شدند. در این کارخانه پوست‌کنی صورت نمی‌گیرد. به‌منظور کاهش نشر فرمالدئید و به‌تبع آن کاهش آثار زیست‌محیطی، از چسب اوره‌فرمالدئید با نسبت مولی کم استفاده شد. چسب مورد نظر با نسبت مولی اوره به فرمالدئید (۱ به ۱/۱۲) از شرکت آرین جلارنگ خریداری شد. مشخصات فنی این چسب در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات فنی چسب اوره‌فرمالدئید (E_1)

ویژگی	مشخصات	واحد
شکل ظاهری	شفاف	
چگالی	۱/۲۳۳	g/cm^3
گرانروی	۱۱۰	cps
مواد جامد	۵۷	(%)
زمان ژله‌ای شدن	۵۴	s

سولفات آمونیوم با غلظت ۲۰ درصد به‌عنوان هاردنر از شرکت پتروشیمی خلیج فارس تهیه و پارافین جامد به‌عنوان عامل بازدارندهٔ آب نیز از شرکت شیمی خاکسار خریداری شد. چگالی و مقدار روغن پارافین مورد نظر به‌ترتیب ۰/۸۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۳-۱ درصد وزنی بوده است.

روش ساخت

متغیرهای مورد نظر در سطوح مختلف مانند فاکتور پرس ۷/۶ تا ۹ ثانیه بر میلی‌متر، مقدار چسب ۸/۵ تا ۱۰ درصد و مقدار پارافین ۰ تا ۱ درصد برپایهٔ وزن خشک الیاف بررسی شد. تعداد کل آزمون مورد نیاز برای سه متغیر مستقل براساس معادلهٔ $2^n+(n\times2)+k$ محاسبه شد که n تعداد متغیرها و k تعداد تکرار در مرکز مکعب بوده که در واقع $2^3+(3\times2)+6=20$ است. به‌منظور برآورد ضرایب رگرسیون، از روش طراحی با نقاط دایره‌شکل در (CCRD)[1] مرکب مرکزی چرخش‌پذیر مرکز هر محور از فضای فاکتوریل استفاده شد. این گوناگونی به پنج سطح از هر متغیر نیاز دارد. حد بالا از سطوح هر فاکتور به‌عنوان ۱/۶۸ و حد پایین ۱/۶۸- کدگذاری شد. جدول ۲ تعیین سطوح متغیرها به‌همراه نتایج حاصل براساس روش سطح پاسخ را نشان می‌دهد.

در همهٔ تخته‌ها از هاردنر با غلظت ۱ درصد برپایهٔ درصد وزنی چسب استفاده شد. رطوبت کیک الیاف در حدود ۹ درصد، چگالی در محدودهٔ ۸۶۰-۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ضخامت تخته‌ها ۸ میلی‌متر تعیین شد. دستگاه پرس از نوع پیوسته ساخت شرکت Siempelkamp Group آلمان بود که محدودهٔ دمایی آن در پنج ناحیه از ۱۷۵ تا ۲۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد تنظیم شد. طول و عرض پرس به‌ترتیب ۲۷۵۰۰ و ۲۵۰۰ میلی‌متر بود. تخته‌های تولیدی به‌صورت نمونهٔ آزمایشی برش داده شدند و سپس به‌منظور رسیدن رطوبت آنها به رطوبت تعادل محیط در شرایط کلیما قرار گرفتند. در مرحلهٔ بعد نمونه‌ها برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی به آزمایشگاه شرکت مذکور انتقال داده شده و براساس استاندارد ملی ایران اندازه‌گیری شدند. مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته براساس شمارهٔ استاندارد ملی ۲۴۲۲ [۱۲]، درصد واکشیدگی ضخامت براساس شمارهٔ استاندارد ملی ۲۴۸۹ [۱۳] و مقاومت چسبندگی داخلی براساس شمارهٔ استاندارد ملی ۲۳۳۲ [۱۴] تعیین شد.

1. Central Composite Rotatable Design

جدول ۲. سطح تعیین‌شدهٔ متغیرها براساس روش سطح پاسخ

متغیر مستقل				متغیر وابسته			
شمارهٔ نمونه	فاکتور پرس (s/mm)	چسب (٪)	پارافین (٪)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	TS (%)
۱	۷/۸۰	۹	۱	۳۷	۳۶۰۰	۱/۰۱	۱۶
۲	۸/۳۰	۹/۵	۱	۳۹	۳۸۴۰	۱/۰۴	۱۴
۳	۸/۹۰	۹	۰	۴۳	۴۱۵۰	۱/۳	۲۲
۴	۸/۳۰	۹/۵	۰	۳۸/۵	۳۹۰۰	۱/۲	۲۳
۵	۷/۸۰	۹	۰	۳۷/۵	۳۶۵۰	۱/۱	۲۸
۶	۸/۹۰	۹	۱	۴۰/۵	۳۸۹۰	۱/۳۵	۱۳
۷	۸/۳۰	۹/۵	۰/۵	۳۸	۳۸۵۰	۱/۱۵	۱۶
۸	۸/۳۰	۸/۵	۰/۵	۳۷/۵	۳۷۰۰	۰/۸۵	۱۷
۹	۹/۱۳	۹/۵	۰/۵	۴۱	۴۰۵۰	۱/۴	۱۲
۱۰	۸/۹۰	۱۰	۰	۴۳	۴۲۰۰	۱/۵	۱۸
۱۱	۸/۳۰	۹/۵	۰/۵	۳۸	۳۸۵۰	۱/۲	۱۶
۱۲	۸/۳۰	۹/۵	۰/۵	۳۸	۳۸۵۰	۱/۲	۱۵/۵
۱۳	۸/۳۰	۹/۵	۰/۵	۳۸	۳۸۰۰	۱/۱۸	۱۵/۵
۱۴	۷/۸۰	۱۰	۱	۳۶	۳۵۵۰	۱/۲	۱۴
۱۵	۸/۳۰	۹/۵	۰/۵	۳۸	۳۸۰۰	۱/۱۵	۱۵
۱۶	۷/۸۰	۱۰	۰	۳۹	۳۸۰۰	۱/۳	۲۳
۱۷	۸/۳۰	۹/۵	۰/۵	۳۸	۳۸۰۰	۱/۲	۱۵
۱۸	۷/۸۰	۹/۵	۰/۵	۳۵	۳۴۵۰	۱/۰۸	۱۶
۱۹	۸/۳۰	۱۰	۱	۴۱	۳۹۴۰	۱/۴	۱۰
۲۰	۷/۶۰	۱۰	۰/۵	۳۹	۳۷۵۰	۱/۳	۱۳

نتایج و بحث

در این پژوهش، رابطهٔ بین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی (MOR، MOE، IB و TS) و متغیرهای مستقل مورد بررسی به‌صورت کدگذاری‌شده در معادله‌های ۱ تا ۴ نشان داده شده است. تأثیر متغیرهای مستقل مانند فاکتور پرس، مقدار چسب و مقدار پارافین با کد به‌ترتیب (A)، (B) و (C) با استفاده از معادلهٔ درجه دوم روش سطح پاسخ برآورد شد.

(۱) مدل برای مدول گسیختگی $MOR= ۳۷/۷۲ + ۲/۳۸A + ۰/۴۲B- ۰/۳۱C+ ۰/۱۳BC ۰- /۰۲۸A^2$

(۲) مدل برای مدول الاستیسیته $MOE= ۳۸۱۶/۷۲ + ۲۱۸/۷۳A + ۴۳/۴۸B- ۳۶/۵C + ۱۲/۰۳BC- ۳/۸۱A^2$

(۳) مدل برای چسبندگی داخلی $IB= ۱/۳۲ + ۰/۱۳A + ۰/۰۸۱B- ۰/۰۴۳C +۱/۰۳BC- ۰/۰۸۱A^2$

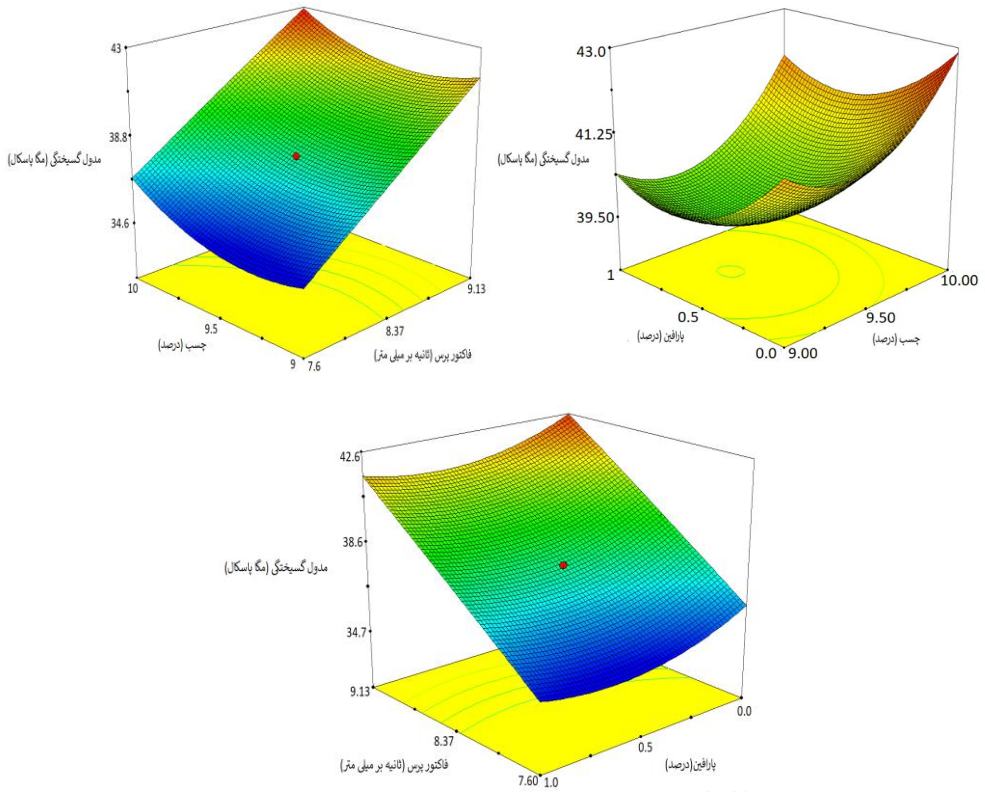
(۴) مدل برای واکشیدگی ضخامت $TS= ۱۳/۴۰ - ۲/۳۷A - ۱/۲۱B- ۲/۵C +۱/۲۵BC -۰/۵۱A^2$

رابطه‌های ۱ و ۲ اثر متغیرهای فاکتور پرس، مقدار چسب و مقدار پارافین را بر مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی بیان می‌کند. همچنین در رابطهٔ ۳ اثر متغیرها بر مقاومت چسبندگی داخلی نشان داده شده است. با توجه به رابطه‌های ۱ تا ۳، ضرایب خطی (α_1، α_3) برای MOR، MOE و IB مقادیر منفی را نشان می‌دهد که بیان‌کنندهٔ این است که با کاهش فاکتور پرس و افزایش پارافین، مقاومت مکانیکی کاهش یافته است. از طرفی ضریب مثبت (α_2) بیان می‌کند که افزایش چسب، سبب بهبود مقاومت‌ها شده است. رابطهٔ ۴ اثر متغیرها را بر میزان واکشیدگی ضخامت بیان می‌کند. براساس رابطهٔ ۴، ضرایب منفی (α_2، α_3) نشان‌دهندهٔ کاهش واکشیدگی ضخامت با افزایش مقدار چسب و پارافین مصرفی بوده است.

مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی

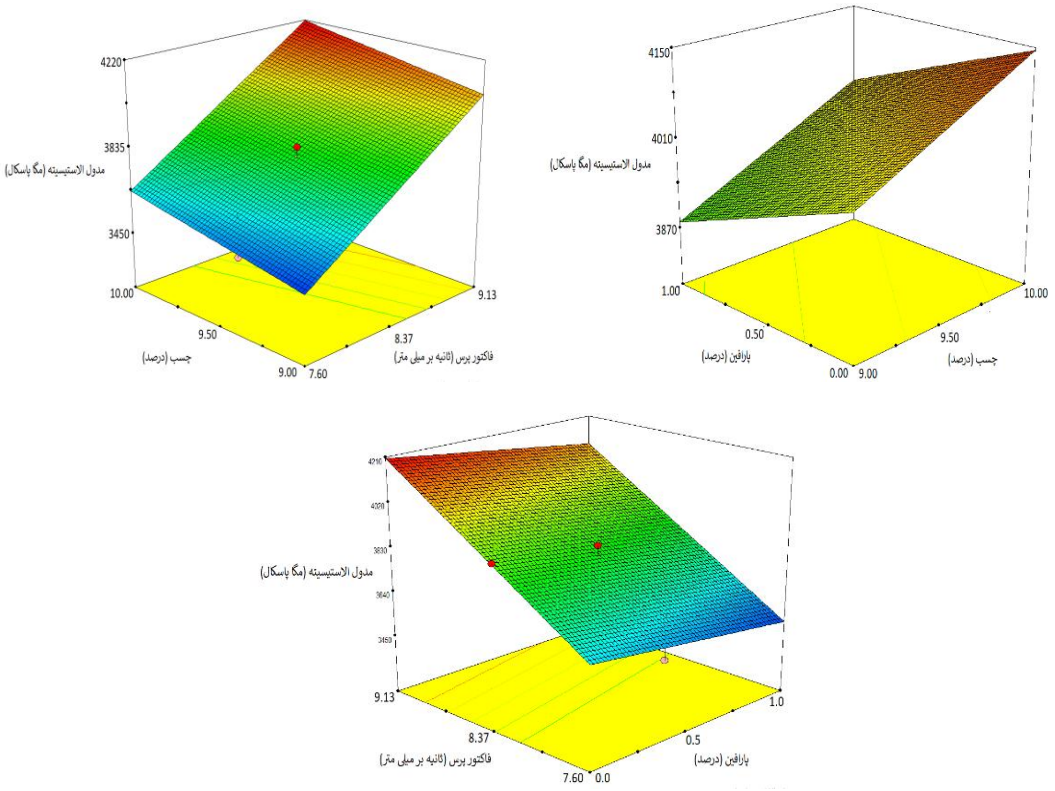
شکل‌های ۱ و ۲ اثر متغیرها بر مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی تخته را نشان می‌دهد. مطابق شکل، اثر مستقل

افزایش مقدار چسب مصرفی و فاکتور پرس، سبب افزایش مقاومت خمشی و مدول الاستیسیتهٔ تخته‌های حاصل شده است. درحالی که با کاهش فاکتور پرس از ۹/۱۳ به ۸/۳۰ ثانیه بر میلی‌متر و با ثابت نگه داشتن مقدار چسب و پارافین مصرفی، MOR تخته‌ها از ۴۱ به ۳۸ مگاپاسکال و MOE از ۴۰۵۰ به ۳۸۰۰ مگا پاسکال کاهش یافت. حداکثر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته در فاکتور پرس برابر ۸/۹۰ ثانیه بر میلی‌متر و مصرف چسب ۱۰ درصد برابر ۴۳ و ۴۲۰۰ مگاپاسکال به دست آمد که فراتر از محدودهٔ استاندارد ملی است. همچنین حداقل MOR و MOE در فاکتور پرس ۷/۸ ثانیه بر میلی‌متر و مقدار چسب ۹/۵ درصد، به‌ترتیب ۳۵ و ۳۴۵۰ مگاپاسکال به‌دست آمد که کمتر از حد استاندارد در شرایط مرطوب است. با توجه به استاندارد ملی ایران، حداقل MOR و MOE در مصارف عمومی و مقاوم به رطوبت برای تخته‌ای با ضخامت ۸ میلی‌متر، ۴۲ و ۳۶۰۰ مگا پاسکال تعیین شده است. مطابق شکل، افزایش مقدار پارافین سبب کاهش مقاومت‌ها شد، به‌طوری که با افزایش مقدار پارافین از نمونهٔ شاهد به ۱ درصد پارافین و ثابت نگه داشتن متغیرهای دیگر، در فاکتور پرس ۸/۹۰ ثانیه بر میلی‌متر و مقدار چسب (۹ درصد) میزان MOR از ۴۳ به ۴۱ مگا پاسکال و میزان MOE از ۴۱۵۰ به ۳۸۹۰ مگاپاسکال کاهش یافت. افزایش همزمان سرعت پرس (کاهش فاکتور پرس) و درصد پارافین، موجب کاهش بیشتر MOR و MOE نمونه‌ها شد؛ به‌طوری که با مصرف چسب ۹ درصد و مقدار پارافین ۱ درصد با کاهش فاکتور پرس از ۸/۹ به ۷/۸ ثانیه بر میلی‌متر، MOR از ۴۳ به ۳۷ مگاپاسکال و MOE از ۴۱۵۰ به ۳۶۰۰ مگاپاسکال کاهش پیدا کرد. همچنین مطابق شکل، با افزایش همزمان مصرف چسب و پارافین، MOR و MOE نمونه‌ها افزایش یافت. بنابراین برای حفظ مقاومت خمشی در محدودهٔ استاندارد، لازم بود که با افزایش پارافین مقدار چسب مصرفی افزایش یابد. اثر متقابل افزایش مقدار پارافین و کاهش فاکتور پرس نیز سبب افت مقاومت‌های مکانیکی شد.



شکل ۱. اثر متغیرها بر مقدار MOR تخته فیبر

نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس ANOVA مربوط به معادلات رگرسیون در Design Expert برای MOR و MOE در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است. مقدار p<۰/۰۵ نشان داد که مدل پیشنهادی برای داده‌های مشاهده شده معنی‌دار است. همچنین ضریب همبستگی (R^2=۰/۹۱۸۷) برای MOR و ضریب همبستگی (R^2=۰/۹۵۹۱) برای MOE بیان کرد که میزان بسیار اندکی از کل متغیرها با مدل مطابقت ندارد و تطابق قابل قبولی بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و داده‌های حاصل وجود دارد.



شکل ۲. اثر متغیرها بر مقدار MOE تخته

جدول ۳. نتایج آنالیز واریانس ANOVA برای اثر متغیرها بر مقدار MOR (رابطهٔ معنی‌دار)

مؤلفه	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F Value	p-value Prob>F
مدل	۷۳/۰۸	۸/۱۲	۱۲/۵۵	<۰/۰۰۰۲
A	۵۸/۰۸	۵۸/۰۸	۸۸/۲۴	<۰/۰۰۰۱
B	۱/۳۸	۱/۳۸	۲/۱۳	<۰/۰۰۰۲
C	۲/۶۵	۲/۶۵	۴/۰۹	<۰/۰۰۰۱
A^2	۱/۵۸	۱/۵۸	۲/۴۴	<۰/۰۲۲۰
B^2	۰/۷۸	۰/۷۸	۱/۲۰	<۰/۰۰۰۱
C^2	۵/۱۸	۵/۱۸	۸/۰۱	<۰/۰۰۰۳
AB	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۹	<۰/۰۰۰۱
AC	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۷۷	<۰/۰۲۴۰
BC	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۹	<۰/۰۲۳۵
نبود تناسب	۶/۴۷	۱/۲۹	۴/۳۰	۰/۵۶۰
انحراف معیار	ضریب تغییرات	میانگین	ضریب پیش‌بینی	ضریب همبستگی
۰/۸	۲/۰۷	۳۸/۸۵	۰/۸۴۵۵	۰/۹۱۸۷

جدول ۴. نتایج آنالیز واریانس ANOVA برای اثر متغیرها بر مقدار MOE (رابطهٔ معنی‌دار)

مؤلفه	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F Value	p-value Prob>F
مدل	۴۹۲۲۰	۵۴۶۶۵	۲۶/۰۵	<۰/۰۰۰۱
A	۳۹۴۶۹	۳۹۴۶۹	۱۸۹	<۰/۰۰۰۱
B	۲۳۹۸۰	۲۳۹۸۰	۱/۱۴	<۰/۰۰۰۲
C	۶۶۵۴۸	۶۶۵۴۸	۳۱/۷۱	<۰/۰۰۰۱
A^2	۹۷/۸۷	۹۷/۸۷	۰/۰۴۷	<۰/۰۲۲۰
B^2	۱۴۹۷۹	۱۴۹۷۹	۷/۱۴	<۰/۰۰۰۱
C^2	۲۲۶۵۱	۲۲۶۵۱	۱۰/۷۹	<۰/۰۰۰۳
AB	۱۲۵۰	۱۲۵۰	۰/۶	<۰/۰۰۰۱
AC	۱۸۰۰	۱۸۰۰	۰/۸۶	<۰/۰۲۴۰
BC	۱۲۵۰	۱۲۵۰	۰/۶	<۰/۰۲۳۵
فقدان تناسب	۱۷۲۳۷	۳۴۴۷	۴/۶۰	۰/۰۵۹۸
انحراف معیار	ضریب تغییرات	میانگین	ضریب پیش‌بینی	ضریب همبستگی
۴۵/۸۱	۱/۲۰	۳۵۲۱	۰/۹۲۲۳	۰/۹۵۹۱

مقاومت چسبندگی داخلی (IB)

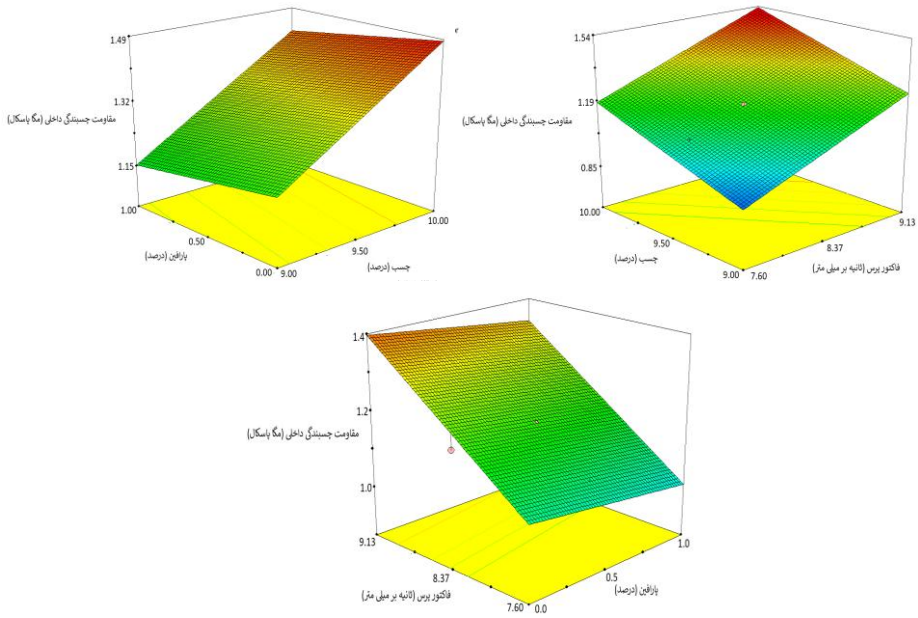
با توجه به شکل ۴ و اثر مستقل متغیرها می‌توان دریافت که کاهش فاکتور پرس، سبب کاهش مقاومت چسبندگی داخلی شده است. با کاهش فاکتور پرس از ۹/۱۳ به ۷/۶ ثانیه بر میلی‌متر با مقدار چسب ۹/۵ درصد مقاومت چسبندگی داخلی از ۱/۴ به ۱/۰۱ مگا پاسکال رسید. همچنین کاهش مصرف چسب موجب افت کیفیت تخته شد، به‌طوری که حداقل مقاومت چسبندگی داخلی برای نمونه‌های تولیدشده با مقدار چسب ۸/۸۴ درصد و فاکتور پرس ۸/۳۰ ثانیه بر میلی‌متر برابر ۰/۸۵ مگا پاسکال به دست آمد که کمتر از محدودهٔ استاندارد ملی برای کاربرد مشخص‌شده بود. حداکثر IB (۱/۵ مگا پاسکال) به تخته‌های حاصل با فاکتور پرس ۸/۹۰ ثانیه بر میلی‌متر و مقدار چسب ۱۰ درصد نسبت داده شد که این مقدار، فراتر از حد استاندارد بود. در واقع بیشترین مقدار این مقاومت مربوط به تخته‌های ساخته‌شده بدون پارافین بود که نسبت به تخته‌های ساخته‌شده با ۱ درصد پارافین مقاومت بیشتری داشتند. بنابراین افزودن پارافین در سطوح بالا سبب کاهش مقاومت‌ها خواهد شد. براساس استاندارد ملی ایران، مقاومت چسبندگی داخلی تخته‌های با ضخامت ۸ میلی‌متر مناسب شرایط مرطوب برابر ۱/۲ مگا پاسکال است. افزایش سرعت پرس و در واقع کاهش دورهٔ حرارت‌دهی و فشار، سبب کاهش مقاومت‌ها و افزایش واکشیدگی ضخامت تخته‌های حاصل شد. این پدیده را می‌توان چنین توجیه کرد که بخار آب فرصت کمتری برای نفوذ به لایهٔ میانی تخته و پلیمریزاسیون کامل‌تر چسب دارد. همچنین به‌دلیل وجود مواد استخراجی محلول در آب که با کاهش زمان پرس، فرصت کمتری برای تبخیر و خروج از تخته دارند، احتمال برآمدن تخته وجود دارد. در این زمینه، ناظریان و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی اثر مدت زمان پرس بر مقاومت خمشی و مقاومت چسبندگی داخلی به این نتیجه رسیدند که افزایش دورهٔ پرس سبب بهبود ویژگی‌های مقاومتی تخته خواهد شد [۱۵]. کارگر فرد (۲۰۱۳) نیز با بررسی اثر زمان پرس بر ویژگی‌های مکانیکی تخته فیبر با چگالی متوسط به این نتیجه رسید که با افزایش زمان پرس، چسبندگی داخلی تخته‌ها بهبود یافته و از ۰/۳۹۰ به ۰/۴۷۱ مگاپاسکال افزایش پیدا کرد [۱۶]. با افزایش زمان پرس، اثر دما بیشتر می‌شود و تراکم و فشردگی ذرات در لایه‌های سطحی افزایش می‌یابد و با پلیمر شدن بهتر رزین و بهبود کیفیت اتصالات بین الیاف، مقاومت خمشی تخته‌ها نیز افزایش می‌یابد [۱۷]. لمان و همکاران (۱۹۷۳) نیز بیان کردند که با افزایش مدت پرس، درجهٔ حرارت وسط تخته افزایش می‌یابد و چسب کامل‌تر منعقد می‌شود. نظر به محدود بودن افزایش درجهٔ حرارت پرس، برای افزایش دمای لایهٔ میانی کیک باید زمان پرس افزایش یابد [۱۸]. افزایش زمان پرس و در واقع کاهش سرعت پرس،

همچنین سبب بهبـــود کیفیـــت ســـطح و افـزایش مـدول الاستیسیته تخته‌ها شد. از طرفی افزایش مدت پـرس بـه‌دلیـل تماس مستقیم صفحهٔ پرس با لایهٔ رویی، ممکن اسـت سـبب تخریب پیوندهای سخت‌شدهٔ چسب و افزایش لایهٔ سسـت و افت کیفیت سطحی شود که این عمل، سنباده‌زنـی را افـزایش خواهد داد. افزایش مقدار چسب مصرفی و نفوذ بیشتر آن بـه داخل نیز پیوندهای قوی‌تری بین الیاف ایجاد کـرد و موجـب افزایش مقاومت چسبندگی شد.

نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس در جدول ۵ نشان داد که با مقدار p<۰/۰۵ مدل و تـأثیر مسـتقل متغیرهـای فـاکتور پرس، مقدار پارافین و چسب و نیز تـأثیر متقابـل آنهـا بـر مقاومت چسبندگی معنی‌دارند.

واکشیدگی ضخامت

با توجه به جدول ۶ و نتایج تجزیه‌وتحلیل واریـانس، اثـر پارافین بر درصد واکشیدگی ضخامت پس از ۲۴ ساعت در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. شـکل ۴ اثـر مسـتقل و متقابـل

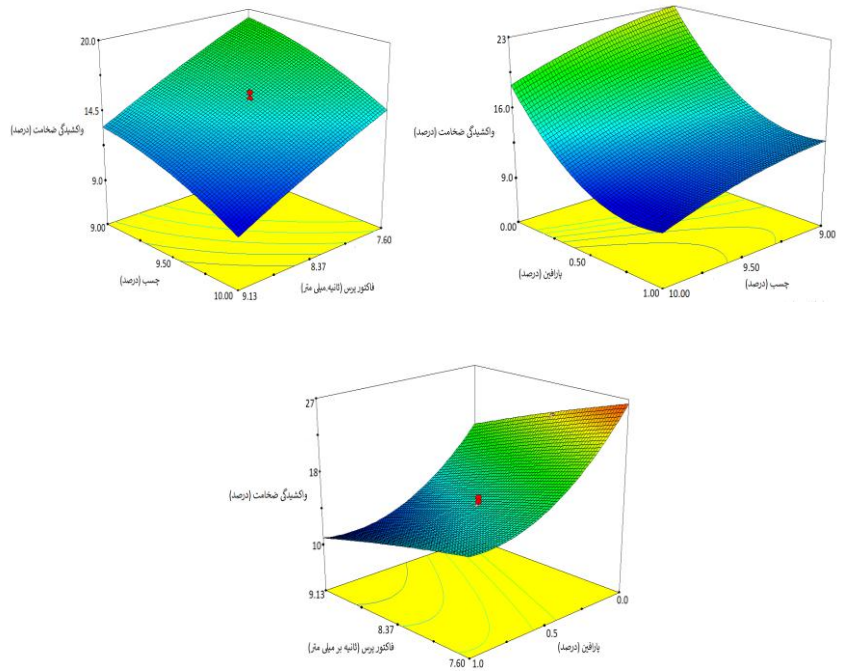


شکل ۳. اثر متغیرها بر چسبندگی داخلی

جدول۵. نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس ANOVA برای اثر متغیرها بر مقاومت چسبندگی داخلی (رابطهٔ معنی‌دار)

مؤلفه	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F Value	p-value Prob>F
مدل	۰/۳۸	۰/۰۴۲	۷/۲۴	<۰/۰۰۰۱
A	۰/۱۶	۰/۱۶	۲۷/۸۶	<۰/۰۰۰۴
B	۰/۱۳	۰/۱۳	۲۲/۸۳	<۰/۰۰۰۵
C	۰/۰۲	۰/۰۲	۳/۴۱	<۰/۰۰۰۴
A^2	۰/۰۴۵	۹۷/۸۷	۷/۶۹	<۰/۰۰۲۰
B^2	۱۳۱۸۰	۱۳۱۸۰	۰/۲۳	<۰/۰۰۰۱
C^2	۲۹۸۹۰	۲۹۸۹۰	۰/۵۲	<۰/۰۰۰۲
AB	۲۴۵۰۰	۲۴۵۰۰	۰/۴۲	<۰/۰۰۰۱
AC	۲۴۵۰۰	۲۴۵۰۰	۰/۴۲	<۰/۰۰۰۱
BC	۳۲۵۰۰	۳۲۵۰۰	۰/۵۵	<۰/۰۲۰۵
نبود تناسب	۳/۲	۰/۰۱۱	۱۸/۳۴	۰/۰۳۱
انحراف معیار	ضریب تغییرات	میانگین	ضریب پیش‌بینی	ضریب همبستگی
۰/۰۷۶	۶/۳۲	۱/۲۱	۰/۸۴۲۳	۰/۹۵۶۹

فاکتور پرس، مقدار چسب و مقدار پارافین را بر درصد واکشیدگی ضخامت نشان می‌دهد. با توجه به شکل، با افزایش مقدار پارافین، درصد واکشیدگی ضخامت کاهش می‌یابد و بین تخته‌های ساخته‌شدهٔ بدون پارافین و تخته‌های ساخته‌شده با ۰/۵ و ۱ درصد پارافین تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود. به‌طوری که برای تخته‌های ساخته‌شده با ۹ درصد چسب و در فاکتور پرس ۸/۹۰ ثانیه بر میلی‌متر، واکشیدگی ضخامت نمونهٔ شاهد از ۲۲ درصد به ۱۳ درصد در نمونهٔ با ۱ درصد پارافین رسید. بنابراین کمترین درصد واکشیدگی ضخامت مربوط به تخته‌هایی است که دارای بیشترین فاکتور پرس و بیشترین مقدار چسب و با ۱ درصد پارافین ساخته‌شده‌اند که نسبت به تخته‌های شاهد، پس از ۲۴ ساعت ۵۰ درصد واکشیدگی ضخامت کمتری را نشان داده‌اند. کاهش فاکتور پرس سبب افزایش واکشیدگی ضخامت و افزایش مصرف چسب سبب کاهش آن شد. به‌طوری که در فاکتور پرس ثابت برابر ۸/۳۰ ثانیه بر میلی‌متر، چسب از ۹/۵ به ۱۰ درصد افزایش و با مصرف ۰/۵ درصد پارافین، واکشیدگی ضخامت از ۱۶ به ۱۳ درصد کاهش یافت. پارافین با داشتن خاصیت آب‌گریزی و با کاهش جذب آب توسط الیاف، موجب کاهش درصد واکشیدگی ضخامت و افزایش ثبات ابعادی تخته شد. همچنین هرچه سطح وسیع‌تری از الیاف با لایهٔ نازکی از پارافین پوشیده شوند، آهار مؤثرتری به وجود می‌آید. یانگویست و همکاران (۱۹۹۰) در این زمینه به نتایج مشابهی دست یافتند و بیان کردند که استفاده از پارافین، واکشیدگی ضخامت تخته فیبر را کاهش می‌دهد [۱۰]. از طرفی افزودن پارافین در سطوح بالاتر به‌دلیل مخالفت با پدیدهٔ چسبندگی بین الیاف سبب تضعیف این مقاومت داخلی شده است. به‌طوری که میعان پارافین در طول زمان پرس با آغشته کردن سطح الیاف موجب شد که سطح مشترک و نقطهٔ اتصال الیاف با چسب کاهش یابد و در نهایت، مقاومت‌ها تضعیف شود. در پژوهش اکرمی و همکاران (۲۰۱۱) مشخص شد که استفاده از پارافین، تأثیر معنی‌داری بر مدول گسیختگی و مدول الاستیسیتهٔ تخته‌های تحت مطالعه نداشت، اما افزایش آن سبب کاهش مقاومت برشی این تخته‌ها شد. در زمینهٔ تأثیر استفاده از پارافین بر خواص فیزیکی نیز مشخص شد که افزایش مصرف پارافین سبب کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته حاصل شد [۱۹]. مطابق شکل ۴ کاهش همزمان پارافین و فاکتور پرس نیز موجب افزایش واکشیدگی ضخامت شد.



شکل ۴. اثر متغیرها بر درصد واکشیدگی ضخامت

جدول ۶. نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس ANOVA برای اثر متغیرها بر واکشیدگی ضخامت (رابطهٔ معنی‌دار)

مؤلفه	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F Value	p-value Prob>F
مدل	۳۶۰	۴۰/۰۷	۷۹/۱۲	<۰/۰۰۰۱
A	۳۹/۴۴	۳۹/۴۴	۷۷/۸۸	<۰/۰۰۰۴
B	۲۶/۰۰	۲۶/۰۰	۵۱/۳۴	<۰/۰۰۰۵
C	۲۶۱/۰۲	۲۶۱/۰۲	۵۱۵/۵۱	<۰/۰۰۰۴
A^2	۱/۹۴	۱/۹۴	۳/۶۹	<۰/۰۰۲۰
B^2	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۲۳	<۰/۰۰۰۱
C^2	۵۷/۵۰	۵۷/۵۰	۱۱۳/۵۲	<۰/۰۰۰۲
AB	۰/۵	۰/۵	۰/۹۹	<۰/۰۰۰۱
AC	۰/۵	۰/۵	۰/۹۹	<۰/۰۰۰۱
BC	۰/۵	۰/۵	۰/۹۹	<۰/۰۲۰۵
نود تناسب	۴/۰۶	۰/۸۱	۴/۰۶	۰/۰۷۵
انحراف معیار	ضریب تغییرات	میانگین	ضریب پیش‌بینی	ضریب همبستگی
۰/۷۱	۴/۲۶	۱۶/۷۰	۰/۹۷۳۷	۰/۹۸۶۲

نتیجه‌گیری

در این بررسی از مخلوط گونه‌های چوبی به‌همراه چسب اوره‌فرمالدئید با نسبت مولی فرمالدئید به اورهٔ کم برای تولید تخته فیبر با چگالی زیاد مناسب کفپوش ساختمان‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که برای ساخت تخته فیبر متراکم با قابلیت جذب آب کم و مناسب مکان‌های مرطوب، باید از درصد مشخصی از مادهٔ آهار (پارافین) استفاده شود. ازآنجا که مصرف زیاد پارافین سبب افت مقاومت‌های مکانیکی به‌خصوص مقاومت چسبندگی داخلی می‌شود، با توجه به وجود متغیرهای مختلف در زمان تولید، برای حفظ مقاومت‌ها در محدودهٔ استاندارد ملی، حد بهینهٔ آن باید تعیین شود. با توجه به نتایج، بهترین تیمار از نظر خواص مکانیکی و فیزیکی برای تخته فیبر ساخته‌شده در فاکتور پرس برابر ۸/۹ ثانیه بر میلی‌متر، مقدار چسب ۹ درصد و مقدار پارافین ۰/۵ درصد با روش سطح پاسخ به‌عنوان حد بهینه انتخاب شد. در این شرایط تولید، تختهٔ حاصل به‌ترتیب دارای MOR و MOE ۴۲ و ۳۹۶۰ مگاپاسکال، مقاومت چسبندگی داخلی ۱/۲۶ مگاپاسکال و درصد واکشیدگی ضخامت ۱۱/۸ درصد بود که با توجه به استاندارد ملی ایران، این تخته، مناسب کفپوش در مکان‌های مرطوب است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از زحمات بی‌دریغ جناب آقای مهندس سعیدی (مدیر کل گروه صنعتی آرین سعید) که همواره حامی ارتباط پیوسته علم با صنعت بوده‌اند بی‌نهایت سپاسگزارند. از واحد تولید و واحد کنترل کیفیت شرکت آرین مریم نیز به‌دلیل همکاری در این پژوهش قدردانی می‌شود.

References

[1]. Blanchet, P., Beauregard, R., Cloudier, A., Gendron, G., and Lefebvre, M. (2002). Evaluation of various engineered wood flooring constructions. Forest Product Journal, 53(5): 30-37.

[2]. Hiziroglu, S. (2008). Internal bond strength of laminated flooring as function of water exposure, Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology, Department of Natural Resources Ecology and Management Oklahoma State University Stillwater, Oklahoma, USA.

[3]. Dousthosseini, K. (2012). Wood Composite Materials, Manufacturing, Applications, University of Tehran Press, Volume III, Tehran.

[4]. Chow, P., Bao, Z., Youngquist, J.A., Rowell, R.M., Muehl, J.H., and Krzysik, A.M. (1996). Properties of hardboards made from acetylated aspen and southern pine. Wood and Fiber Science Journal, 28(2): 252-258.

[5]. Baharoglu, M., Nemli, G., Sari, B., Ayrilmis, N., Bardak, S., and Zekovic, E. (2014). Effect of paraffin application technique on the physical and mechanical properties of particleboard. Science and Engineering of Composite Materials, 21(2): 191-195.

[6]. Muehl, J. H., and Krzysik, A. M. (1997). Effect of resin and wax on mechanical and physical properties of hardboard from air-laid mats. Drvna Industrija, 48(1): 3-9.

[7]. Hsu, W. E., Melanson, R. J., and Kozak, P. J. (1990). The effect of wax type and content on wafer board properties. In: Proceedings, 24th Washington State University international particleboard/composite materials symposium, T. Maloney, ed., Washington State University.

[8]. Clad, D. W. (1985). Trial manufacture of lightweight particleboard with improved swelling properties. Holz-Zentralblatt, 111(32): 514.

[9]. Suzuki, H., Takahashi, H., and Endoh, K., (1976). On water absorbability of dry process fiberboard, Mokuzai Gakkaishi, 22(10): 557-63.

[10]. Youngquist J. A., Rowell, R., Ross, N., Krzysik, A. M., and Chow, P. (1990). Effect of steam and acetylated fiber treatment, resin content, and wax on the properties of dry-process hemlock hardboards. In: Proceeding, 1990 joint international of low-grade hardboards and international trade of forest-related products. National Taiwan University, pp. 253-257.

[11]. Winistorfer, P. M., Farland D. L., and Slover, R. C. (1992). Evaluating the performance of ten wax formulations of oriented strand board. In: Proceedings, 26th Washington State University international particleboard/composite material symposium, T. Maloney, ed., Washington State University, Pullman, Washington.

[12]. Iran National Standard, 2422. (2012). Wood–Wood based composites-Determination of elastic modulus in bending and bending strength.

[13]. Iran National Standard, 2489. (2012). Wood-Wood based composites-A method of determining the thickness swelling after full immersion in water.

[14]. Iran National Standard, 2332. (2012). Method for determining the resistance of particleboard to perpendicular tension to the surface.

[15]. Nazerian, M., Dalirzadeh, A., and Farrokhpayam, S. R. (2015). Use of almond shell powder in modification of the physical and mechanical properties of medium density fiberboard. Bio Resources, 10(1): 169-181.

[16]. Kargarfard, A. (2013). Effect of temperature and pressure time on physical and mechanical properties of medium density fiberboard made of corn stalk. Iranian Journal of Research in Wood and Paper Sciences, 28(1): 108-97.

[17]. Tabarsa, T. (1988). Investigation on the effect of wood moisture content of cake, temperature and press time on the quality of beech particleboard and polymerization of urea-formaldehyde resin, Master thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.

[18]. Lehmann, W. F., and Hefty, F. V. (1973). Resin efficiency and dimensional stability of flakeboards. U.S. Department of Agricultural Forest Service, Forest Products laboratory, Madison.

[19]. 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. Iranian Journal of Natural Resources, 63(4): 343-353.

Investigation of the Effective Factors on Physical and Mechanical Properties of High-Density Fiberboard for Flooring by Response Surface Method (RSM)

N. Rastegarfar*; Ph.D., Wood Composite, Industrial Manufacturer Company, Arian Maryam, Rasht, I.R. Iran

S. Akbari; M.Sc., Wood Composite, Industrial Manufacturer Company, Arian Maryam, Rasht, I.R. Iran

F. Basharkhah; B.Sc., Electronic Eng., Industrial Manufacturer Company, Arian Maryam, Rasht, I.R. Iran

(Received: 21 October 2018, Accepted: 18 March 2019)

ABSTRACT

The purpose of the present study was to investigate the effect of process variables on the physical and mechanical properties of high-density fiberboard (HDF) and to improve these properties in order to use it in the flooring of buildings. The effect of press factor on three levels (7.6, 8.3 and 9.1 s / mm), the paraffin content in three levels (0, 0.5 and 1%) and the amount of adhesive in three levels (9, 9.5 and 10%) were tested on the mechanical properties of the board, such as internal bonding strength (IB), elastic modulus (MOE) and rupture modulus (MOR), and physical properties, such as the percentage of thickness swelling of the resulting boards. The results showed that increasing of press factor improved the flexural strength, modulus of elasticity, internal bonding strength and decreased the thickness swelling of the boards. By adding paraffin, the percentage of the thickness swelling of the boards decreased, while the use of paraffin at higher levels had a negative effect on mechanical strength, in particular internal bonding strength. Also, according to the results, the mechanical and physical properties of the boards improved with increasing adhesive utilization. In this study, the RSM method was used to determine the optimal limit of the board. According to the results of the RSM method and the effect of different variables, the resulting boards with a press factor of 8.9 s/mm, paraffin and adhesive content of 0.5 and 9 percent respectively, while maintaining the resistance Mechanical and physical properties in the national standard range, were determined as the optimal level for flooring.

Keywords: Dimensional stability, Flooring, High-density fiberboard, Paraffin, RSM.

* Corresponding Author, Email: nrastegarfar@gmail.com, Tel: +981334810000