

Evaluation of lightweight fiberboard using recycled polystyrene as a part of binder

Somayeh Jamalpour¹ | Ali Shalbafan^{*2} | Saeed Kazemi-Najafi³

1. M.Sc. Student, Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: somayeh.jamalpourdezaki@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: ali.shalbafan@modares.ac.ir
3. Professor, Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: skazemi@modares.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 01.09.2022
Revised: 03.12.2022
Accepted: 04.11.2022

Keywords:
Fiberboard,
Foam,
Isocyanate,
Lightweight,
Polystyrene resin

ABSTRACT

Background and Objectives: Nowadays, the production of lightweight fiberboard with a density lower than 500 kg/m^3 gained much interest for both non-structural and insulation applications in buildings. Environmental friendliness, lower price, recyclability, superior thermal and sound insulation, and desirable mechanical properties are some of the advantages of lightweight fiberboard compared to polymeric (polystyrene and polyurethane foams), mineral-based (glass and mineral wool) insulation boards. Replacement of isocyanate and improving the board flexibility are significant focuses for such panel producers. Hence, the aim of this study was to evaluate the production capability of lightweight fiberboard by replacing the isocyanate with polystyrene resin obtained from foam dissolution in methylene chloride solution. To this end, the effect of press temperature, solvent to foam weight ratio, different percentages of isocyanate replacement with polystyrene adhesive and board density on the physical and mechanical properties of lightweight fiberboard were investigated.

Materials and Methods: Lightweight fiberboard (10 mm thick) with a density from $200\text{-}300 \text{ kg/m}^3$ was produced using wood fiber with a combination of isocyanate and polystyrene as adhesive. In this study, mechanical (bending strength, modulus of elasticity, compression strength, and tensile strength perpendicular to panel surface (internal bond)) and physical properties (thickness swelling and water absorption) of the panels.

Results: The best modulus of elasticity, tensile and compressive strength was observed in boards made at $160 \text{ }^\circ\text{C}$. Increasing the weight ratio of solvent (methylene chloride) to polystyrene foam had a negative effect on these properties. In addition, changing the solvent to foam ratio did not have a significant effect on the physical properties (thickness swelling and water absorption) of lightweight fiberboard. Increasing the percentages of isocyanate replaced with polystyrene adhesive (from 15 to 45% (based on the amount of isocyanate used)) improved the bending and physical properties and weakened the compressive and tensile strengths perpendicular to the panel's surface. Mechanical properties (bending strength, modulus of elasticity, compressive and tensile strength) of the lightweight fiberboard, as well as the swelling thickness of samples, have increased significantly with increasing the board's density.

Conclusion: In this study, lightweight fiberboard was developed using isocyanate as an expensive and toxic adhesive replaced with adhesive made from recycled polystyrene foams. The results showed good performance of boards made with 45% isocyanate replaced with polystyrene adhesive. Generally, a promising alternative for recycling polystyrene foams (used as adhesives for wood-based panels industries) was presented in this research, while lightweight fiberboard was also produced as non-structural and insulating applications having less isocyanate consumption.

Cite this article: Jamalpour, Somayeh, Shalbafan, Ali, Kazemi-Najafi, Saeed. 2022. Evaluation of lightweight fiberboard using recycled polystyrene as a part of binder. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 29 (1), 1-24.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JWFST.2022.19822.1953

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی تخته فیبرهای سبک‌وزن با استفاده از پلی‌استایرن بازیافتی به‌عنوان بخشی از چسب

سمیه جمالپور^۱ | علی شالباغان^{۲*} | سعید کاظمی نجفی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: somayeh.jamalpourdezaki@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: ali.shalbafan@modares.ac.ir
۳. استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: skazemi@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: امروزه تولید و کاربرد تخته فیبرهای سبک‌وزن با دانسیته کم‌تر از 500 kg/m^3 برای مصارف غیرسازه‌ای و همچنین به‌عنوان عایق حرارتی در ساختمان موردتوجه است. دوستدار محیط‌زیست بودن، قیمت پایین‌تر، قابلیت بازیافت، خواص گرمایی عالی، قابلیت جذب بالای صدا و ویژگی‌های مکانیکی مطلوب از جمله مزایای عمده پانل‌های فیبری نسبت به سایر پانل‌های عایق پلیمری (فوم‌های پلی‌استایرن و پلی‌یورتان) و عایق‌های معدنی (پشم شیشه و پشم سنگ) است. امروزه، جایگزینی چسب ایزوسیانات و بهبود انعطاف‌پذیری تخته فیبرهای سبک موردتوجه تولیدکنندگان این پانل‌ها قرار گرفته است. از این‌رو، هدف از پژوهش حاضر ارزیابی قابلیت ساخت پانل‌های فیبری سبک از طریق جایگزینی بخشی از چسب ایزوسیانات با چسب گرمانرم حاصل از انحلال فوم‌های پلی‌استایرن در حلال دی‌کلرومتان می‌باشد. برای این منظور، تأثیر درجه حرارت پرس، نسبت وزنی حلال به فوم، درصدهای مختلف جایگزینی ایزوسیانات با چسب پلی‌استایرن و دانسیته تخته بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته فیبرهای سبک‌وزن بررسی شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲	
واژه‌های کلیدی: ایزوسیانات، تخته فیبر سبک، چسب پلی‌استایرن، فوم	
	مواد و روش‌ها: تخته فیبر سبک‌وزن با ضخامت ۱۰ میلی‌متر و دانسیته در محدوده ۲۰۰ - ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب با الیاف چوبی و ترکیب ایزوسیانات و چسب گرمانرم حاصل از انحلال فوم‌های پلی‌استایرن در حلال متیلن کلراید، ساخته شد. در این پژوهش، ویژگی‌های مکانیکی (مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت فشاری و مقاومت کششی عمود بر سطح تخته (چسبندگی داخلی)) و فیزیکی (درصد واکشیدگی ضخامت و جذب آب) نمونه‌های آزمونی مورد بررسی قرار گرفت.
	یافته‌ها: بهترین مدول الاستیسیته، مقاومت کششی و فشاری در تخته‌های ساخته‌شده در دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. افزایش نسبت وزنی حلال (متیلن کلراید) به فوم

پلی‌استایرن تأثیر منفی بر ویژگی‌های ذکر شده داشت. هم‌چنین این تغییر نسبت حلال به فوم تأثیر مشخصی بر ویژگی‌های فیزیکی (واکشدگی ضخامت و جذب آب) تخته فیبرهای سبک ایجاد نکرد. افزایش درصدهای جایگزینی ایزوسیانات با چسب پلی‌استایرن از ۱۵ تا ۴۵ درصد (بر مبنای میزان ایزوسیانات مصرفی) باعث بهبود ویژگی‌های خمشی و فیزیکی (واکشدگی ضخامت و جذب آب) و تضعیف مقاومت‌های فشاری و کششی عمود بر سطح نمونه‌ها شد. با افزایش دانسیته تخته‌ها، ویژگی‌های مکانیکی (مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت فشاری و کششی) و هم‌چنین درصد واکشدگی ضخامت نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش تخته فیبرهای سبک‌وزن با استفاده از جایگزینی بخشی از ایزوسیانات به‌عنوان چسبی بسیار گران و سمی با چسب حاصل از فوم‌های پلی‌استایرن بازیافتی ساخته شد. نتایج بیانگر عملکرد مناسب تخته‌های ساخته‌شده با ۴۵ درصد چسب پلی‌استایرن جایگزین شده با ایزوسیانات بود. به‌طورکلی در پژوهش حاضر ضمن ارائه قابلیت جدیدی برای بازیافت فوم‌های پلی‌استایرن (به‌عنوان چسب در صنایع اوراق فشرده چوبی)، تخته فیبرهای سبک برای کاربردهای غیرسازه‌ای و عایق با میزان مصرف کم‌تر ایزوسیانات ساخته شد.

استناد: جمالپور، سمیه، شالبافان، علی، کاظمی نجفی، سعید (۱۴۰۱). ارزیابی تخته فیبرهای سبک‌وزن با استفاده از پلی‌استایرن بازیافتی به‌عنوان بخشی از چسب. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۲۹ (۱)، ۱-۲۴.

DOI: 10.22069/JWFST.2022.19822.1953



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

تخته فیبر مطابق با استاندارد اروپایی EN316 و از نظر دانسیته به سه دسته سبک/عایق (۱۶۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب)، متوسط (۵۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و سنگین (بیش‌تر از ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب) تقسیم‌بندی شده است. در سال ۲۰۲۰ حدود ۱۱۸ میلیون مترمکعب از انواع مختلف تخته فیبر با دانسیته‌های مختلف در دنیا تولید شده است که سهم پانل‌های فیبری سبک‌وزن (برای مصارف غیرسازه‌ای و همچنین به‌عنوان عایق حرارتی در ساختمان) حدود ۷/۵ میلیون مترمکعب بوده است (۷). دوستدار محیط‌زیست بودن، قیمت پایین‌تر، قابلیت بازیافت، خواص گرمایی عالی، قابلیت جذب بالای صدا و ویژگی‌های مکانیکی مطلوب‌تر از جمله مزایای عمده عایق‌های فیبری نسبت به سایر پانل‌های عایق پلیمری (فوم‌های پلی‌استایرن و پلی‌یورتان) و عایق‌های معدنی (پشم شیشه و پشم سنگ) است.

تحولات مربوط به فرآیند تولید تخته فیبرهای سبک در دهه‌های گذشته بیش‌تر معطوف به دو بخش اساسی بوده است؛ تغییر تکنولوژی تولید از فرآیند تر به فرآیند خشک و همچنین تحول‌های مربوط به نوع چسب مورد استفاده در فرآیند خشک (۱۳). چسب غالب مورد استفاده در ساخت این تخته‌ها ایزوسیانات است. عدم انتشار فرمالدهید، گیرایی سریع‌تر، استحکام بالاتر و عدم وجود آب در ساختار چسب از جمله مزایای عمده ایزوسیانات نسبت به سایر چسب‌های سنتزی برای تولید تخته فیبرهای سبک است. استفاده از ایزوسیانات اگرچه مشکلات مربوط به چسب‌های آمینی را ندارد، اما خود نیز چالش‌هایی مانند سمی بودن در حالت مایع و قیمت بالا را به همراه دارد (۱۷). در این ارتباط، پژوهش‌گران استفاده از سایر رزین‌ها بر پایه پلی‌استر غیراشباع و پلی‌یورتان و همچنین استفاده از الیاف پلیمری (به‌صورت رشته‌ای)

و بهبود قابلیت اتصال آن‌ها با الیاف چوبی را پیشنهاد نمودند (۶، ۹ و ۱۵). از طرفی، توسعه پانل‌های فیبری با قابلیت انعطاف‌پذیری (ساختارهای سه‌بعدی) امروزه به دلیل افزایش دامنه کاربرد پانل‌های فیبری سبک مورد توجه تولیدکنندگان است (۱۲).

استایرن یکی از مهم‌ترین مشتقات نفتی و پلیمری گرمانرم است که ماده اصلی تشکیل‌دهنده فوم‌های پلی‌استایرن برای عایق‌کاری و بسته‌بندی می‌باشد. مشکل و معضل اساسی فوم‌های پلی‌استایرن عدم توسعه مناسب صنایع بازیافت این فوم‌ها علی‌رغم تلاش‌های گسترده است. توسعه فرآیند بازیافت فوم‌ها با توجه به افزایش میزان تولید و مصرف آن‌ها، علاوه بر اثرات مثبت زیست‌محیطی، می‌تواند ارزش افزوده بالایی نیز به همراه داشته باشد (۱۰). در بین روش‌های پیشنهاد شده برای بازیافت فوم‌های پلی‌استایرن، انحلال آن در حلال‌های هیدروکربنی با استقبال بیش‌تری همراه بوده است (۱۴). پرکاربردترین حلال‌ها که قابلیت انحلال پلی‌استایرن را دارا می‌باشند عبارت‌اند از تولوئن، بنزین، متیلن کلراید، اتیل استات، کلروفرم، کربن دی‌سولفاید، بنزین و غیره (۱ و ۲). لازم به ذکر است که بیش‌تر حلال‌های ذکر شده ویژگی‌ها و تأثیرات منفی مختلفی دارند؛ مثلاً بوی بسیار بد، سمیت بسیار زیاد و درجه انحلال‌پذیری پایین. در این بین حلال متیلن کلراید (دی‌کلرومتان) به دلیل بوی خوب و درجه انحلال بالاتر می‌تواند حلال مناسب‌تری برای انحلال فوم‌های پلی‌استایرن باشد (۱). از متیلن کلراید به‌عنوان حلال در دفع‌کننده‌ها و حذف‌کننده‌های رنگ، تمیزکننده و براق‌کننده فلزات در صنایع الکترونیک، به‌عنوان عامل فوم‌زا در تولید فوم‌های پلی‌یورتان و همچنین حلال در فرآیند ساخت داروها و پوشش‌های فیلمی نیز استفاده می‌شود.

انحلال فوم نیز از حلال دی‌کلرومتان (متیلن کلراید) با گرید صنعتی تهیه‌شده از شرکت مبتکران شیمی استفاده گردید.

فرآیند آماده‌سازی چسب و تخته فیبرهای سبک‌وزن: ابتدا فوم‌های پلی‌استایرن به قطعات کوچک (تقریبی در حدود $3 \times 3 \times 3$ سانتی‌متر) تبدیل شدند (شکل ۱ الف). سپس مقدار معینی از فوم در مقدار مشخصی از حلال دی‌کلرومتان (بسته به نسبت وزنی حلال به فوم مطابق با مقدارهای ذکر شده در جدول ۱) حل‌شده و از همزن الکتریکی با سرعت حدود 500 rpm و به مدت ۳ دقیقه استفاده شد (شکل ۱ ب). در نهایت مقدار مشخصی از فوم حل‌شده را مطابق با تیمارهای پژوهش با چسب ایزوسیانات مخلوط کرده و از همزن الکتریکی به مدت یک دقیقه برای ترکیب کردن استفاده شد (شکل ۱ پ). میزان مصرف چسب نهایی (شامل مجموع ایزوسیانات و پلی‌استایرن) در همه تخته‌ها ثابت و برابر ۶ درصد وزن خشک الیاف بود.

تخته فیبرهای سبک‌وزن با ضخامت نهایی ۱۰ میلی‌متر از کیک الیاف تشکیل شد. برای این منظور ابتدا مخلوط چسب آماده‌شده با استفاده از سیستم باد و پیستوله بر روی الیاف اسپری شد (شکل ۱ ج). بعد از چسب‌زنی، مقدار مشخصی از الیاف، مطابق با دانسیته مورد نیاز، برای تشکیل کیک به صورت دستی درون قالب چوبی با ابعاد 400×400 میلی‌متر ریخته شد (شکل ۱ د). سپس کیک تشکیل‌شده درون پرس گرم با استفاده از شابلون‌های فلزی برای کنترل ضخامت و به مدت ۲۰۰ ثانیه قرار داده شد (شکل ۱ ذ). درجه حرارت پرس و دانسیته نهایی تخته‌ها نیز مطابق با جدول ۱ تنظیم گردید. بعد از خروج تخته از پرس به مدت نیم ساعت در محیط کارگاه قرار گرفته و سپس برای مشروط‌سازی به آزمایشگاه منتقل گردیدند (شکل ۱ ر). فرآیند آماده‌سازی چسب و ساخت تخته فیبرهای سبک‌وزن در شکل ۱ نشان داده شده است.

عبدالکریم و همکاران (۲۰۱۷) و عبدالکریم و آدنی (۲۰۱۷) در پژوهش‌های خویش توانستند با استفاده از خرده‌های بامبو و چسب حاصل از انحلال فوم پلی‌استایرن (۲۰ تا ۴۰ درصد وزن نهایی کامپوزیت) در بنزین، با فرآیند پرس سرد، تخته‌خرده‌چوب تولید نمایند (۱ و ۲). مصری و همکاران (۲۰۱۸) کامپوزیت‌های چوب پلاستیک با استفاده از الیاف نخل و فوم پلی‌استایرن حل‌شده در گازوئیل تولید نمودند (۱۴). ایشان بیان نمودند که استفاده از فوم حل‌شده قابلیت پوشش‌دهی بهتر الیاف نخل را نسبت به حالت حل‌نشده دارند. همچنین اوسمیون و دیماس (۲۰۱۴) اوره فرمالدهید را با چسب حل‌شده پلی‌استایرن در بنزین ترکیب نمودند. آن‌ها استفاده از ترکیب حاصل را به‌عنوان پوشش برای مصارف ساختمانی پیشنهاد نمودند (۱۶).

با توجه به مجموع مطالب ذکر شده در بالا، هدف از پژوهش حاضر ارزیابی قابلیت تولید پانل‌های فیبری سبک‌وزن از طریق جایگزینی بخشی از چسب ایزوسیانات با چسب گرم‌انرم حاصل از انحلال فوم‌های پلی‌استایرن در حلال دی‌کلرومتان می‌باشد. برای این منظور، تأثیر درجه حرارت پرس، نسبت وزنی حلال به فوم، درصدهای مختلف جایگزینی ایزوسیانات با چسب پلی‌استایرن و دانسیته تخته بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته فیبرهای سبک بررسی شد.

مواد و روش‌ها

مواد: الیاف چوبی چسب نخورده از مخلوط پهن‌برگان با رطوبت ۸ درصد از کارخانه کیمیا چوب گلستان (گرگان)، چسب ایزوسیانات (متیل دی فنیل دی ایزوسیانات) با ایزومر MDI-۴،۲ از کارخانه پتروشیمی کارون (خوزستان) تهیه و برای ساخت تخته فیبرهای سبک مورد استفاده قرار گرفت. فوم پلی‌استایرن نیز از شرکت پترومل آمل تهیه شد. برای



شکل ۱- فرآیند آماده‌سازی چسب و ساخت تخته فیبرهای سبک‌وزن؛ الف) قطعات خرد شده پلی استایرن، ب) فوم پلی استایرن حل شده در حلال، پ) ایزوسیانات ترکیب شده با محلول فوم، ج) اسپری چسب بروی الیاف، د) کیک الیاف، ذ) پرس گرم، ر) تخته فیبرهای سبک‌وزن.

Figure 1. Adhesive and lightweight fiberboards preparation process, a) shredded polystyrene foam, b) dissolved polystyrene foam in solvent, c) isocyanate combined with foam solution, d) resin spraying, e) mat fiber, f) hot-press, g) lightweight fiberboard.

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تعیین و برای ساخت سایر تخته‌ها به‌عنوان مبنا قرار گرفت. با توجه به عوامل متغیر در این پژوهش و در نظر گرفتن ۳ تکرار برای هر تیمار و تیمار شاهد، در مجموع ۲۷ تخته آزمایشگاهی ساخته شد.

جزئیات مربوط به تیمارهای مختلف پژوهش برای ساخت تخته فیبرهای سبک‌وزن در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین نمونه با چسب ایزوسیانات و دانسیته ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب به‌عنوان شاهد ساخته شد. در مورد هر یک از تیمارها، سطح منتخب با توجه به کیفیت نهایی تخته‌ها از لحاظ

جدول ۱- تیمارهای مورد استفاده در پژوهش.

Table 1. Treatments used in the research.

تیمار Treatment	درجه حرارت پرس (سانتی‌گراد) Temperature (°C)	نسبت حلال به فوم Solution to foam ratio	جایگزینی ایزوسیانات با پلی‌استایرن (درصد) Replacement of isocyanate with polystyrene (%)	دانسیتته تخته (kg/m ³) Board density (kg/m ³)
A	140			
B	160	2 to 1	30	300
C	180			
D	160	2 to 1	30	300
E		3 to 1		
F			15	
G	160	2 to 1	30	300
H			45	
I				200
J	160	2 to 1	45	250
K				300
R	160			Reference board with isocyanate and density of 300 kg/m ³

* میزان مصرف چسب نهایی در همه تخته‌ها ثابت و برابر ۸ درصد وزن خشک لیاف بود.

* Resin content was kept constant (8% based on oven dry mass of wood fiber) in all treatments.

دمای ۳ ± ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در نهایت نمونه‌ها مطابق جدول ۲ و با توجه به استانداردهای اروپایی آزمایش شدند.

تخته‌های ساخته شده طبق آیین‌نامه EN 326-1 برای انجام آزمون‌های مکانیکی و فیزیکی برش داده شدند. نمونه‌های آزمون برای یکنواخت‌سازی رطوبت در شرایط رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد و

جدول ۲- ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته فیبرهای سبک‌وزن تولید شده.

Table 2. Evaluation of physical and mechanical properties of lightweight fiberboards.

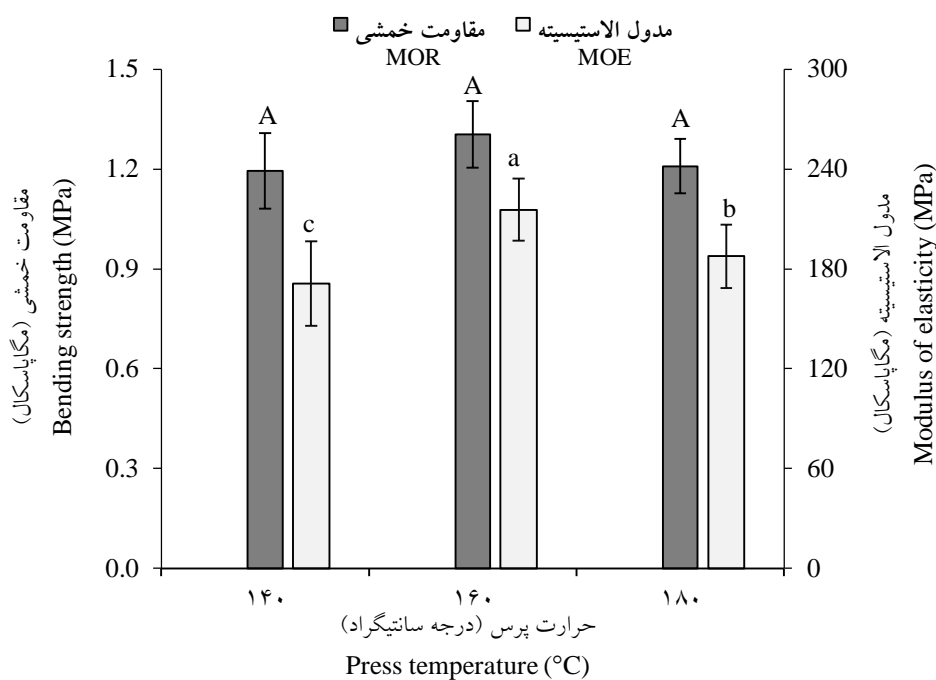
تعداد آزمایش Number of experiments	تکرار تیمارها Treatment repeat	ابعاد نمونه (میلی‌متر) Sample size (mm)	شماره استاندارد Standard No.	ویژگی‌ها Properties
63	9	250 × 50 × 10	EN 310	ویژگی‌های خمشی Bending properties
63	9	50 × 50 × 10	EN 319	چسبندگی داخلی (مقاومت کششی) Internal bond (Tensile strength)
63	9	50 × 50 × 10	EN 826	مقاومت فشاری Compression strength
63	9	50 × 50 × 16	EN 317	واکشیدگی ضخامت Thickness swelling
63	9	50 × 50 × 16	-	جذب آب Water absorption

می‌شود، درجه حرارت پرس تأثیر معنی‌داری بر مقاومت خمشی تخته فیبرهای سبک‌وزن نداشته است، اما تغییرات مدول الاستیسیته در درجه حرارت‌های مختلف پرس از لحاظ آماری معنی‌دار بوده است. مدول الاستیسیته در نمونه ساخته‌شده با درجه حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد بیش‌ترین میزان بوده است؛ درحالی‌که با افزایش حدود ۲۶ درصدی (نسبت به حرارت ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد) به ۲۱۶ مگاپاسکال رسیده است. کم‌ترین میزان مدول الاستیسیته نیز مربوط به نمونه‌های ساخته‌شده با حرارت ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد است که حدود ۱۷۰ مگاپاسکال بوده است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار Statistical Package for Social Science (SPSS) انجام شد. برای تحلیل بررسی اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از آزمون تی جفتی و تکنیک تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن، از آزمون چند دامنه دانکن برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج

تأثیر درجه حرارت پرس بر ویژگی‌های تخته فیبرهای سبک‌وزن: تأثیر درجه حرارت پرس بر ویژگی‌های خمشی تخته فیبرهای سبک‌وزن در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه



شکل ۲- ویژگی‌های خمشی تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته‌شده با حرارت‌های مختلف پرس.

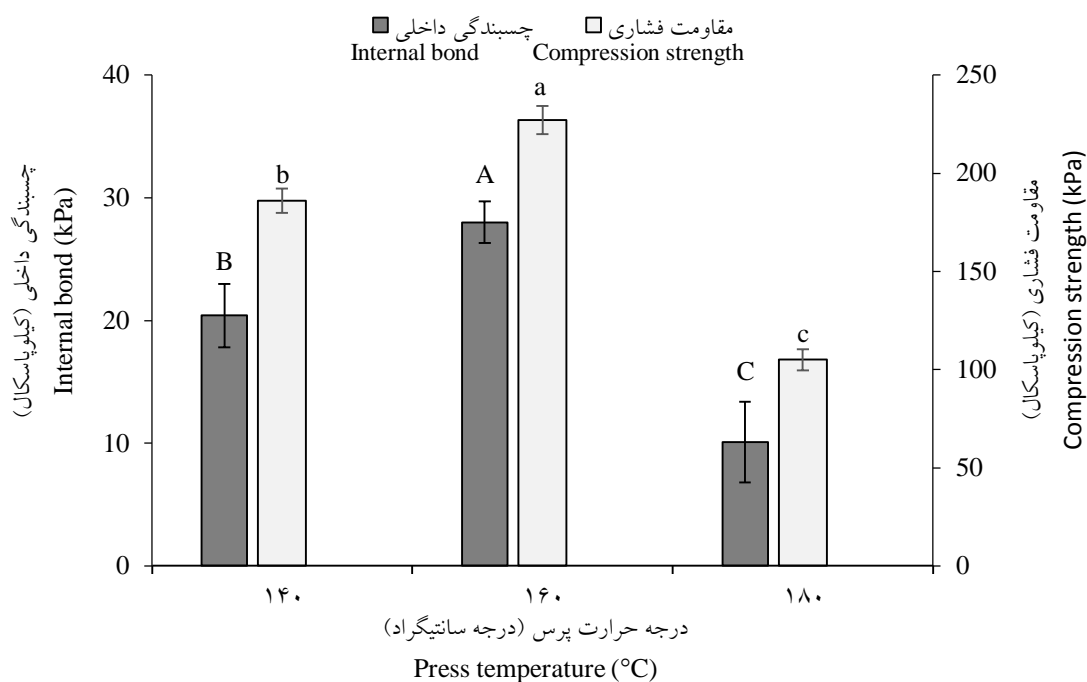
Figure 2. Bending properties of lightweight fiberboards produced with various press temperature.

چسب و در نتیجه کاهش ویسکوزیته چسب پلی‌استایرن بوده باشد. پلی‌استایرن از جمله پلیمرهای گرم‌انرم می‌باشد که در نتیجه افزایش حرارت تا ۱۶۰

به نظر می‌رسد که دلیل افزایش و یا بهبود مدول الاستیسیته با افزایش درجه حرارت پرس از ۱۴۰ تا ۱۶۰ سانتی‌گراد بیش‌تر مربوط به ذوب‌شدگی بیش‌تر

تأثیر درجه حرارت پرس بر میزان چسبندگی داخلی (مقاومت کشش عمود بر سطح تخته) و مقاومت فشاری تخته فیبرهای سبک‌وزن در شکل ۳ نشان داده شده است. نمونه‌های ساخته شده با حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد بیش‌ترین میزان چسبندگی داخلی (در حدود ۳۰ کیلوپاسکال) و مقاومت فشاری (۲۲۷ کیلوپاسکال) را داشته است. تخته فیبرهای ساخته شده با دماهای بیش‌تر و یا کم‌تر از ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد میزان چسبندگی داخلی و مقاومت فشاری کم‌تری نسبت به این نمونه داشته‌اند. کم‌ترین مقاومت فشاری و کشش عمود بر سطح تخته در نمونه با حرارت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شده است که به ترتیب حدود ۱۰ و ۱۰۵ کیلوپاسکال بوده است.

درجه سانتی‌گراد گرانیروی آن کاهش می‌یابد (۳). در نتیجه چسب پوشش‌دهی بهتری روی الیاف چوبی داشته و موجب برقراری پیوندهای بیش‌تر و بهتر بین الیاف چوبی و انتقال تنش‌های خمشی شده است (۵ و ۱۸)؛ اما افزایش بیش‌ازحد درجه حرارت (از ۱۶۰ به ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) تأثیر منفی بر ویژگی‌های خمشی نمونه‌ها داشت. دلیل این موضوع می‌تواند هم مربوط به کاهش بیش‌ازحد گرانیروی چسب پلی‌استایرن و هم احتمالاً تخریب زنجیره‌های پلیمری پلی‌استایرن در حرارت خیلی بالا باشد. در صنایع اوراق فشرده چوبی، گرانیروی خیلی پایین چسب می‌تواند باعث نفوذ بیش‌ازحد چسب درون سلول‌ها/آوندهای چوبی شده و در نتیجه تضعیف خط چسب را به همراه داشته باشد (۱۷).



شکل ۳- چسبندگی داخلی (مقاومت کشش عمود بر سطح) و مقاومت فشاری تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته شده با حرارت‌های مختلف پرس.

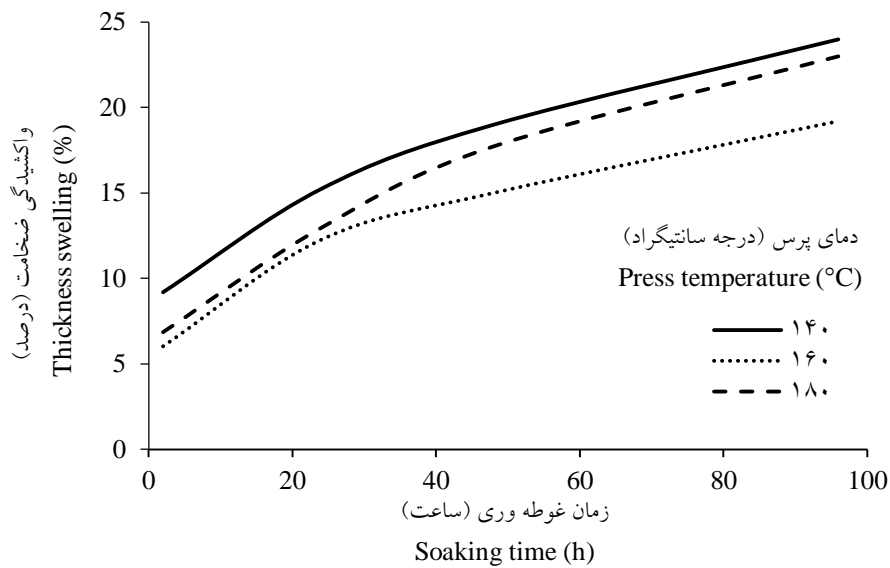
Figure 3. Internal bond (tensile strength perpendicular to the face) and compression strength of lightweight fiberboards fabricated at various press temperature.

سانتی‌گراد جریان‌پذیری پلی‌استایرن بیش‌تر شده و توانسته است گروه‌های هیدروکسیل بیش‌تری از چوب را پوشش داده و در نتیجه درصد واکنشیدگی ضخامت به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است (۱۸). بالاتر بودن درصد واکنشیدگی ضخامت در نمونه‌های ساخته‌شده در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به نمونه ساخته‌شده در حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند احتمالاً مربوط به تخریب زنجیره‌های پلیمری پلی‌استایرن و یا نفوذ بیش‌تر چسب درون حفرات سلولی چوب در این حرارت باشد (۲ و ۸). البته بررسی‌های دقیق‌تر با میکروسکوپ الکترونی برای این موضوع نیاز می‌باشد.

مقایسه درصد جذب آب نمونه‌ها (شکل ۵) بیانگر بیش‌تر بودن آن در نمونه‌های ساخته‌شده با دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به سایر دماها می‌باشد. هم‌چنین کم‌ترین میزان جذب آب (حدود ۲۱۷ درصد بعد از ۹۶ ساعت غوطه‌وری) در نمونه‌های ساخته‌شده با بیش‌ترین درجه حرارت (۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، به‌نظر چسب پلی‌استایرن در حرارت‌های بالاتر ضمن پوشش‌دهی بهتر روی عوامل جاذب آب الیاف چوبی (گروه‌های هیدروکسیل) نفوذ بیش‌تری درون سلول‌های چوب داشته و در نتیجه کاهش معنی‌دار درصد جذب آب را به همراه داشت (۸). هم‌چنین لازم به ذکر است که بیش‌ترین مقدار آب جذب‌شده در ۲۴ ساعت اولیه غوطه‌وری در آب اتفاق افتاده است و با گذشت زمان تقریباً روند ثابتی در جذب آب مشاهده شد.

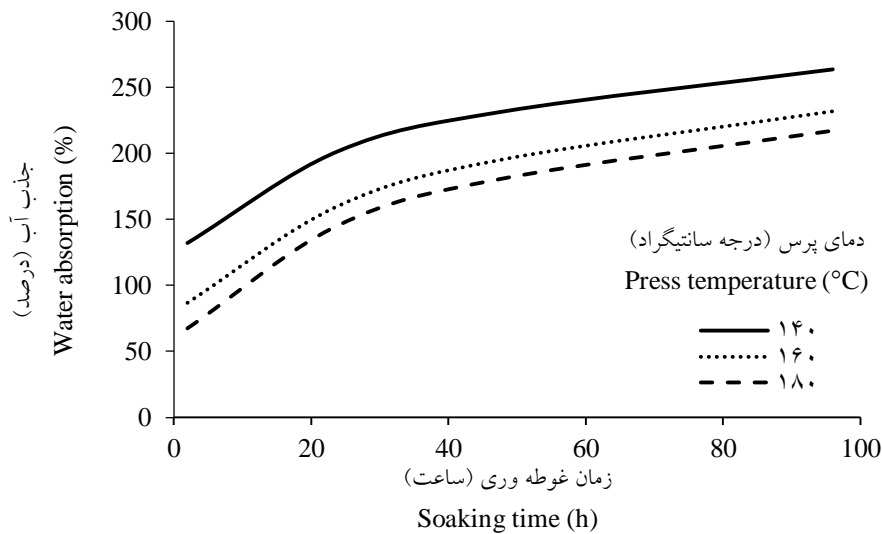
همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد به نظر بهترین حالت پراکنش چسب بروی الیاف در حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد و در نتیجه پیوندهای بیش‌تر و قوی‌تری بین الیاف ایجاد شد. در دماهای پایین پلیمر پلی‌استایرن نمی‌تواند به‌خوبی جریان پیدا کند، اما در دماهای بالاتر تا ۱۶۰ درجه به‌خوبی جریان پیدا کرده و در نتیجه پلیمر پراکنش بهتری پیدا می‌کند (۲ و ۱۴). افزایش بیش‌ازحد درجه حرارت به‌نظر علاوه بر تخریب زنجیره پلیمری پلی‌استایرن باعث نفوذ بیش‌ازحد چسب درون آوندها/سلول‌های چوبی نیز گردیده است و در نتیجه چسب کافی برای اتصال بین الیاف وجود نداشته و احتمالاً باعث ایجاد شدن اتصال گرسنه گردیده است (۳).

مطابق با نتایج ارائه‌شده در شکل ۴، درصد واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها (بعد از ۲، ۲۴، ۴۸ و ۹۶ ساعت غوطه‌وری در آب) با افزایش حرارت پرس از ۱۴۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌عبارت‌دیگر، بیش‌ترین درصد واکنشیدگی ضخامت مربوط به نمونه‌های ساخته‌شده با حرارت ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد است که بعد از ۹۶ ساعت غوطه‌وری به حدود ۲۴ درصد رسیده است. هم‌چنین کم‌ترین میزان واکنشیدگی ضخامت بعد از ۹۶ ساعت غوطه‌وری حدود ۱۹ درصد و مربوط به نمونه‌های ساخته‌شده با ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد است. در دماهای پایین چسب پلی‌استایرن پوشش‌دهی مناسبی روی الیاف چوبی نداشته است و بیش‌تر به‌صورت ذرات درشت و متمرکز در بخش‌هایی از تخته وجود داشته است. با افزایش درجه حرارت از ۱۴۰ تا ۱۶۰ درجه



شکل ۴- درصد واکنشیدگی ضخامت تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته‌شده در حرارت‌های مختلف پرس.

Figure 4. Thickness swelling of lightweight fiberboards fabricated at various press temperature.



شکل ۵- درصد جذب آب تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته‌شده با درجه حرارت‌های مختلف پرس.

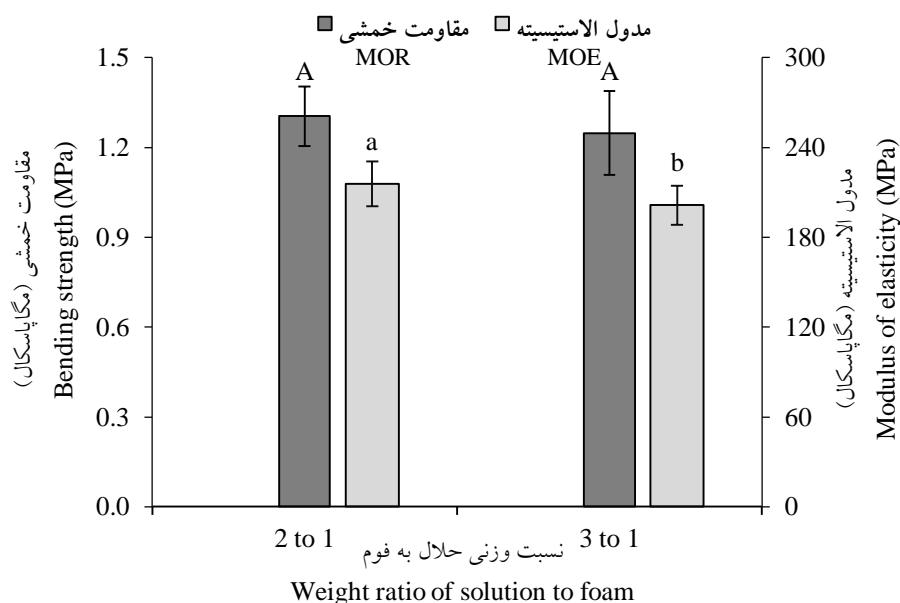
Figure 5. Water absorption of lightweight fiberboards fabricated at various press temperature.

تأثیر نسبت وزنی حلال به فوم بر ویژگی‌های تخته فیبرهای سبک‌وزن: میزان مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته‌شده با دو نسبت حلال به فوم در شکل ۶ نشان داده شده است. با افزایش نسبت وزنی حلال به فوم از ۲ به ۱ به ۳ به

درمجموع و با توجه به روند مشاهده شده در ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و با توجه به اهمیت بالای ویژگی‌های مکانیکی، حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان سطح منتخب برای ارزیابی سایر تیمارهای پژوهش انتخاب گردید.

دیگر، با رقیق‌تر شدن چسب و افزایش درجه انحلال آن، کیفیت چسب کاهش یافته و باعث تأثیرگذاری منفی بر مدول الاستیسیته شده است. استفاده از میزان حلال بیش‌تر باعث کاهش طول بیش‌ازحد زنجیره‌های پلیمر پلی‌استایرن گردیده است. طول زنجیره‌های پلیمری تأثیر بسیار مهمی بر ویژگی‌های نهایی کامپوزیت‌های ساخته‌شده از آن‌ها دارند (۴ و ۱۰).

۱، هرچند میزان مقاومت خمشی کاهش یافت، اما این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. البته میزان مدول الاستیسیته نمونه‌ها با افزایش نسبت حلال به فوم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مدول الاستیسیته نمونه‌های ساخته‌شده با نسبت حلال به فوم ۲ به ۱ حدود ۲۱۶ مگاپاسکال بوده است که با کاهش ۸ درصدی به حدود ۲۰۰ مگاپاسکال رسید. به‌عبارت

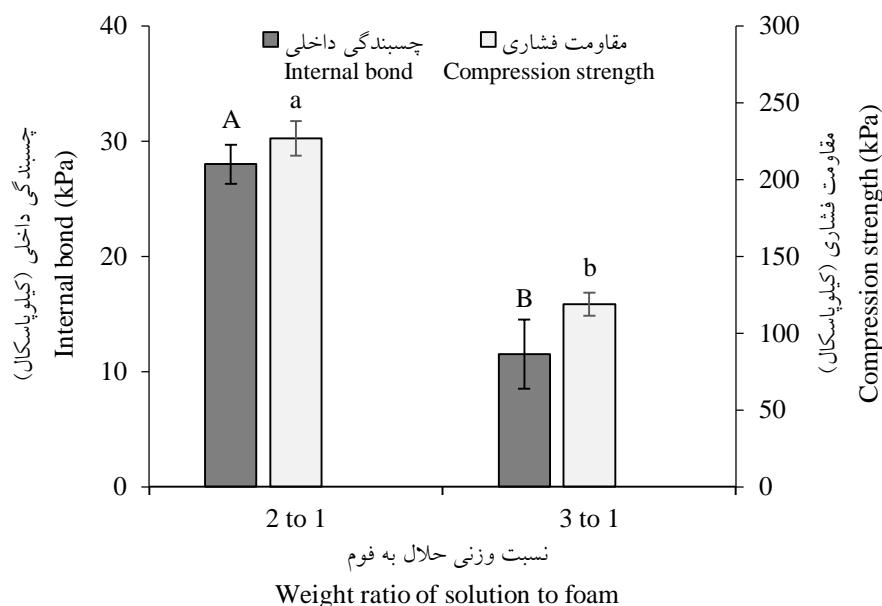


شکل ۶- ویژگی‌های خمشی تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته‌شده با نسبت‌های مختلف وزنی حلال به فوم.

Figure 6. Bending properties of lightweight fiberboard produced by various weight ratio of solution to foam.

فشاری عمود بر سطح با کاهش حدود ۶۰ و ۵۳ درصدی همراه بوده است. استفاده از میزان حلال بیش‌تر هرچند جریان‌پذیری بیش‌تر و پراکنش بهتر چسب را به همراه داشت، اما به دلیل تخریب زنجیره‌های پلیمری باعث تأثیرگذاری منفی بر مقاومت‌های مکانیکی گردید (۴).

میزان مقاومت کششی و مقاومت فشاری عمود بر سطح نمونه‌ها با نسبت‌های مختلف وزنی حلال به فوم در شکل ۷ ارائه شده است. بیش‌ترین مقاومت کششی و فشاری عمود بر سطح در تخته ساخته‌شده با نسبت وزنی حلال به فوم ۲ به ۱ و به ترتیب حدود ۲۸ و ۲۲۷ کیلو پاسکال بوده است. با افزایش نسبت حلال به فوم به سطح ۳ به ۱، میزان مقاومت کششی و



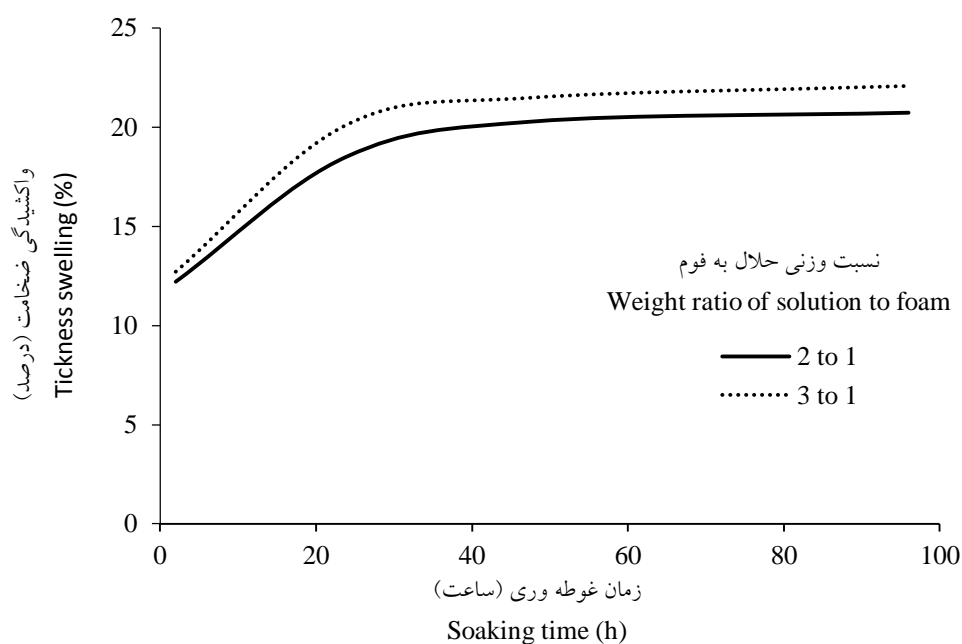
شکل ۷- چسبندگی داخلی (مقاومت کشش عمود بر سطح) و مقاومت فشاری تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته شده با نسبت‌های مختلف حلال به فوم.

Figure 7. Internal bond (tensile strength perpendicular to the face) and compression strength of lightweight fiberboard produced by various weight ratio of solution to foam.

است، بنابراین ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها نیز تغییر چندانی نشان نداد. لازم به ذکر است که بیش‌ترین واکنشیدگی ضخامت و جذب آب در ۲۴ ساعت اول غوطه‌وری بود و با گذشت زمان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تقریباً ثابت شد.

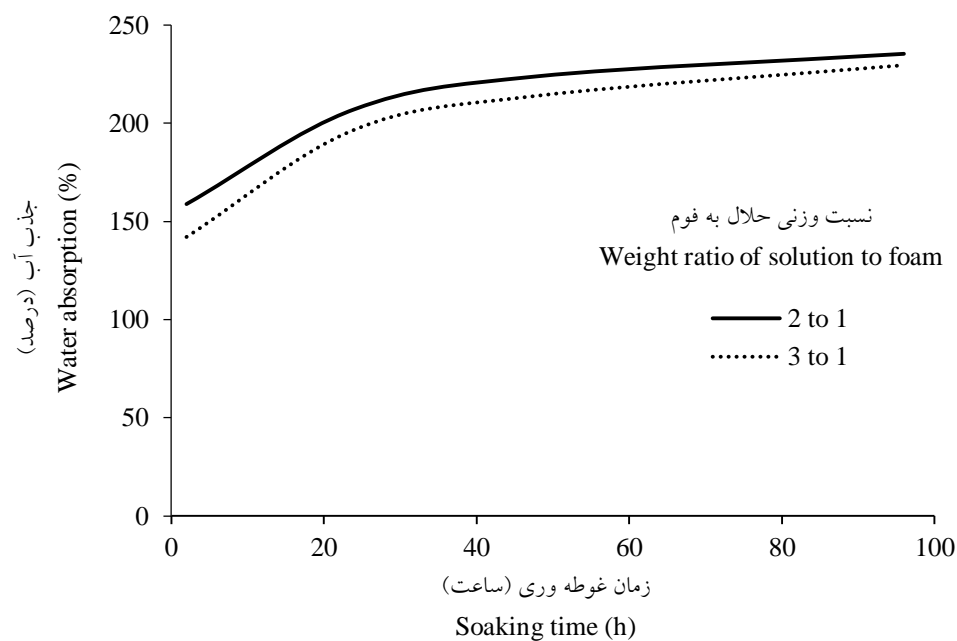
در مجموع و با توجه به روند مشاهده شده در ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، نسبت وزنی حلال به فوم ۲ به ۱ به‌عنوان سطح منتخب برای ارزیابی سایر تیمارهای پژوهش انتخاب گردید. باید توجه داشت که نسبت پایین‌تر حلال به فوم از نقطه‌نظر اقتصادی و کاهش هزینه‌های تولید نیز بسیار اثرگذار است.

درصد واکنشیدگی ضخامت و جذب آب تخته فیبرهای سبک‌وزن بعد از زمان‌های مختلف غوطه‌وری در آب (۲، ۲۴، ۴۸ و ۹۶ ساعت) به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. تغییر نسبت وزنی حلال به فوم تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های فیزیکی (واکنشیدگی ضخامت و جذب آب) نمونه‌ها بعد از زمان‌های مختلف غوطه‌وری در آب نداشت. درصد واکنشیدگی ضخامت و جذب آب نمونه‌ها بعد از ۹۶ ساعت غوطه‌وری به ترتیب در حدود ۲۲ درصد و ۲۳۰ درصد بوده است. از آنجاکه میزان استفاده از فوم پلی‌استایرن به‌عنوان چسب در دو نسبت مورد استفاده برای ساخت تخته‌ها یکسان بوده



شکل ۸- درصد واکشیدگی ضخامت تخته فیبرهای سبک وزن ساخته شده با نسبت های مختلف حلال به فوم.

Figure 8. Thickness swelling of lightweight fiberboard produced by various weight ratio of solution to foam.



شکل ۹- درصد جذب آب تخته فیبرهای سبک وزن ساخته شده با نسبت های مختلف حلال به فوم.

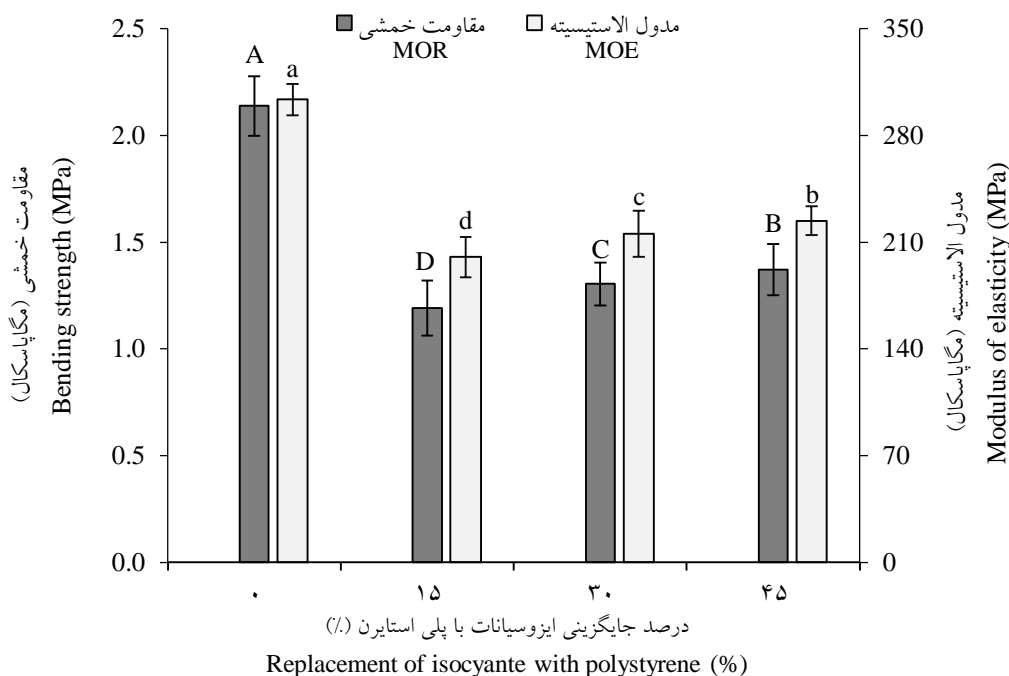
Figure 9. Water absorption of lightweight fiberboard produced by various weight ratio of solution to foam.

الاستیسیته) تخته فیبرهای سبک وزن ساخته شده با نسبت های مختلف جایگزینی ایزوسیانات با پلی استایرن در شکل ۱۰ نشان داده شده است. مطابق

تأثیر درصد جایگزینی ایزوسیانات با چسب پلی استایرن بر ویژگی های تخته فیبرهای سبک وزن: ویژگی های خمشی (مقاومت خمشی و مدول

ایزوسیانات یکی از قوی‌ترین و گران‌ترین چسب‌های مورد استفاده در صنایع اوراق فشرده چوبی است که حتی در مقادیر پایین نیز مقاومت چسبندگی بالایی از خود نشان می‌دهد (۱۷). به نظر می‌رسد با افزایش درصد جایگزینی ایزوسیانات با چسب پلی‌استایرن ویژگی‌های خمشی به‌طور منفی تحت‌تأثیر قرار گیرد، اما مطابق نتایج مشاهده شده افزایش معنی‌دار مشاهده شد. دلیل این موضوع هرچند نامشخص است اما شاید پراکنش بهتر ترکیب چسب ایزوسیانات- پلی‌استایرن روی الیاف و عملکرد بهتر در انتقال تنش‌های خمشی بوده است. هرچند مطالعات پیش‌تر در ارتباط با شناسایی ساختارهای شیمیایی چسب ترکیب‌شده مانند طیف‌سنجی مادون‌قرمز (FTIR) و آنالیز مکانیکی- دینامیکی (DMTA) ترکیب چسب برای ادامه پژوهش‌ها پیشنهاد می‌شود.

با نتایج، نمونه شاهد (ساخته‌شده با چسب ایزوسیانات) میزان مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته به ترتیب در حدود ۲/۱ و ۳۰۰ مگاپاسکال داشته است. جایگزینی ایزوسیانات با چسب پلی‌استایرن در سطح ۱۵ درصد، تأثیر کاهشی بر ویژگی‌های خمشی نمونه‌ها داشته است. البته با افزایش درصد استفاده از چسب پلی‌استایرن میزان مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. کم‌ترین میزان مقاومت خمشی مربوط به نمونه ساخته‌شده با نسبت جایگزینی ۱۵ درصد و حدود ۱/۲ مگاپاسکال بوده است و بیش‌ترین مقدار مقاومت خمشی در تخته‌های ساخته‌شده با نسبت جایگزینی ۴۵ درصد در حدود ۱/۴ مگاپاسکال بوده است. میزان مدول الاستیسیته در نمونه‌ها با ۱۵ درصد جایگزینی پلی‌استایرن حدود ۲۰۰ مگاپاسکال بوده است که با افزایش ۱۲ درصدی به حدود ۲۲۴ مگاپاسکال در نمونه با ۴۵ درصد جایگزینی ایزوسیانات با چسب پلی‌استایرن رسیده است.

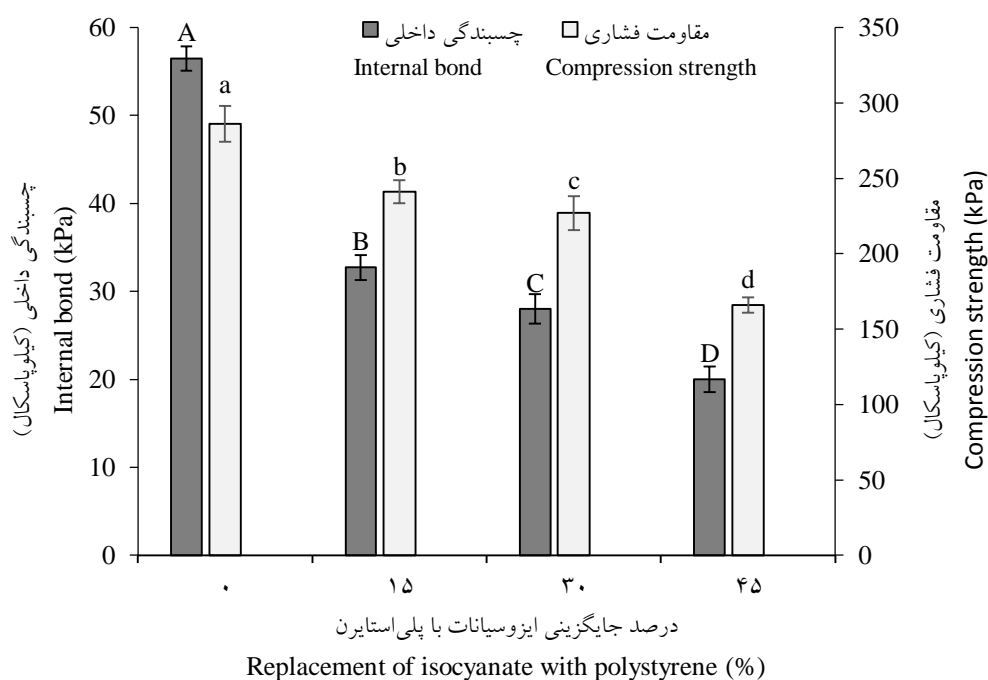


شکل ۱۰- ویژگی‌های خمشی تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته‌شده با درصد‌های مختلف جایگزینی ایزوسیانات با چسب پلی‌استایرن.

Figure 10. Bending properties of lightweight fiberboard produced by various weight ratio of isocyanate replaced by polystyrene resin.

شد، ایزوسیانات از قدرت و استحکام بسیار بالایی در برقراری پیوند بین الیاف چوبی برخوردار است (۹). با افزایش درصد استفاده از چسب پلی استایرن در واقع میزان مصرف چسب ایزوسیانات کاهش پیدا کرده است و در نتیجه تأثیر منفی روی چسبندگی داخلی نمونه‌ها داشته است. همچنین به نظر انتقال حرارت درون تخته با افزایش مقدار چسب پلی استایرن با کندی همراه بوده است و بنابراین باعث تفاوت در شدت گیرایی نهایی چسب درون تخته و در نتیجه کاهش کیفیت چسبندگی الیاف شده است.

تأثیر جایگزینی ایزوسیانات با چسب پلی استایرن بر مقاومت کششی (چسبندگی داخلی) و فشاری عمود بر سطح تخته فیبرهای سبک‌وزن نیز بررسی و نتایج در شکل ۱۱ نشان داده شده است. با افزایش استفاده از چسب پلی استایرن در ترکیب نهایی چسب برای ساخت تخته‌ها، مقاومت کششی و فشاری به طور معنی‌داری کاهش یافته است. بیش‌ترین مقاومت کششی و فشاری در نمونه شاهد به ترتیب در حدود ۵۶ و ۲۸۶ کیلو پاسکال مشاهده شده است و کم‌ترین آن در نمونه با ۴۵ درصد چسب پلی استایرن در حدود ۲۰ و ۱۶۶ کیلو پاسکال بوده است. همان‌طور که ذکر



شکل ۱۱- چسبندگی داخلی (مقاومت کشش عمود بر سطح) و مقاومت فشاری تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته شده با درصدهای مختلف جایگزینی ایزوسیانات با چسب پلی استایرن.

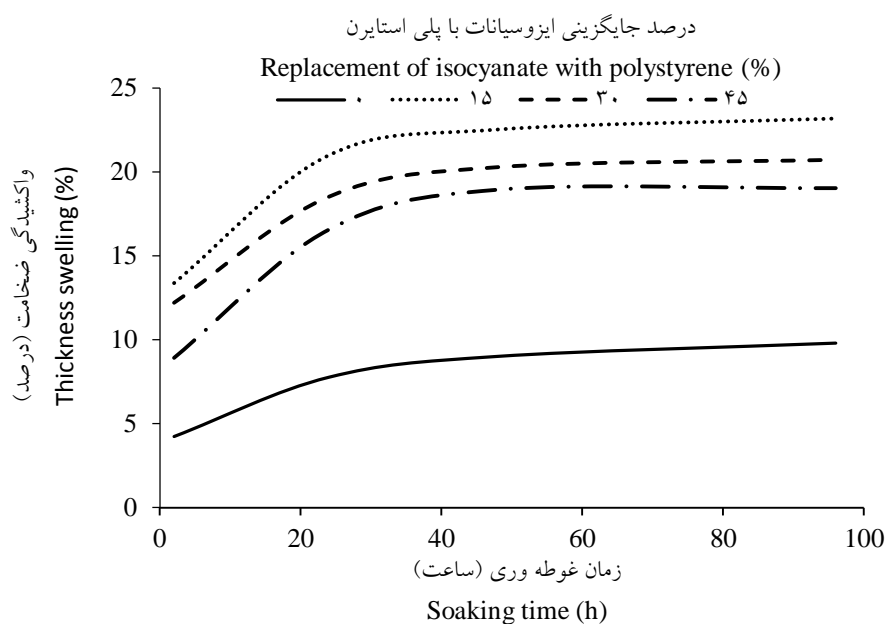
Figure 11. Internal bond (tensile strength perpendicular to the face) and compression strength of lightweight fiberboard produced by various weight ratio of isocyanate replaced by polystyrene resin.

باشد (۱۷). جایگزینی ۱۵ درصد از ایزوسیانات با پلی‌استایرن تأثیر منفی بر رفتار فیزیکی نمونه‌ها داشته است. دلیل این موضوع شاید به خاطر مقدار بسیار اندک پلی‌استایرن در ترکیب چسب است که نتوانسته یک شبکه پیوسته‌ای بروی الیاف چوبی برقرار نماید و از طرف دیگر باعث تضعیف در عملکرد چسب ایزوسیانات نیز شده است؛ اما افزایش درصد پلی‌استایرن در ترکیب چسب توانسته ضمن رفع نواقص ذکر شده، پوشش مناسبی بروی الیاف چوبی نیز ایجاد نماید.

تأثیر جایگزینی ایزوسیانات با پلی‌استایرن بر درصد جذب آب نمونه‌ها در شکل ۱۳ نشان داده شده است. روند درصد جذب آب تقریباً مشابه درصد واکنش‌دهی ضخامت نمونه‌ها است. کم‌ترین درصد جذب آب مربوط به نمونه شاهد حاوی ایزوسیانات بوده است که استفاده از ۱۵ درصد پلی‌استایرن تأثیر منفی شدیدی بر درصد جذب آب نمونه‌ها داشته است. هم‌چنین افزایش درصد استفاده از پلی‌استایرن توانسته است پوشش بهتری بروی الیاف ایجاد و کاهش معنی‌دار درصد جذب آب را به همراه داشته باشد.

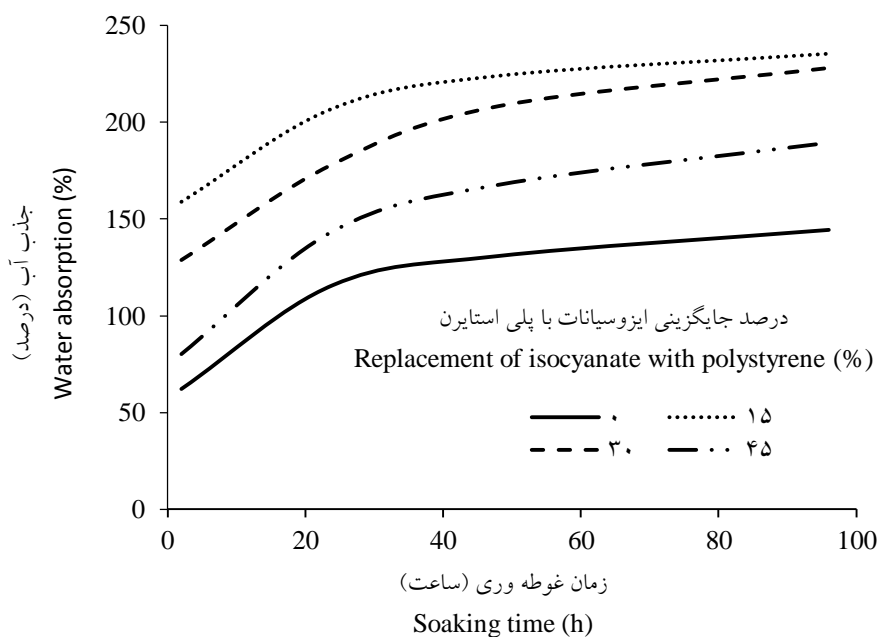
درصد واکنش‌دهی ضخامت تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته شده با نسبت‌های مختلف جایگزینی ایزوسیانات با پلی‌استایرن بعد از زمان‌های مختلف غوطه‌وری در آب در شکل ۱۲ نشان داده شده است. با افزایش درصد استفاده از چسب پلی‌استایرن (از ۱۵ به ۴۵ درصد) به‌جای ایزوسیانات، درصد واکنش‌دهی ضخامت نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. بیش‌ترین درصد واکنش‌دهی ضخامت در نمونه‌ها حاوی ۱۵ درصد چسب پلی‌استایرن و در حدود ۲۳ درصد بعد از ۹۶ ساعت غوطه‌وری بوده است. درحالی‌که درصد واکنش‌دهی ضخامت با کاهش حدود ۱۸ درصدی در نمونه‌های حاوی ۴۵ درصد پلی‌استایرن همراه بوده است. پلی‌استایرن پلیمری آب‌گریز است که افزایش میزان استفاده از آن باعث کاهش بیشتر درصد واکنش‌دهی ضخامت نمونه‌ها شده است (۱۸).

البته کم‌ترین درصد واکنش‌دهی ضخامت مربوط به نمونه شاهد بوده است که با حدود ۱۰ درصد واکنش‌دهی بعد از ۹۶ ساعت غوطه‌وری همراه بوده است. ایزوسیانات توانسته است با برقراری پیوندهای قوی با گروه‌های هیدروکسیل چوب تأثیر به‌سزایی در کم‌تر واکنش‌دهی شدن الیاف و هم‌چنین نمونه‌ها داشته



شکل ۱۲- درصد واکنش‌پذیری ضخامت تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته شده با درصد‌های مختلف جایگزینی ایزوسیانات با چسب پلی استایرن.

Figure 12. Thickness swelling of lightweight fiberboard produced by various weight ratio of isocyanate replaced by polystyrene resin.



شکل ۱۳- درصد جذب آب تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته شده با درصد‌های مختلف جایگزینی ایزوسیانات با چسب پلی استایرن.

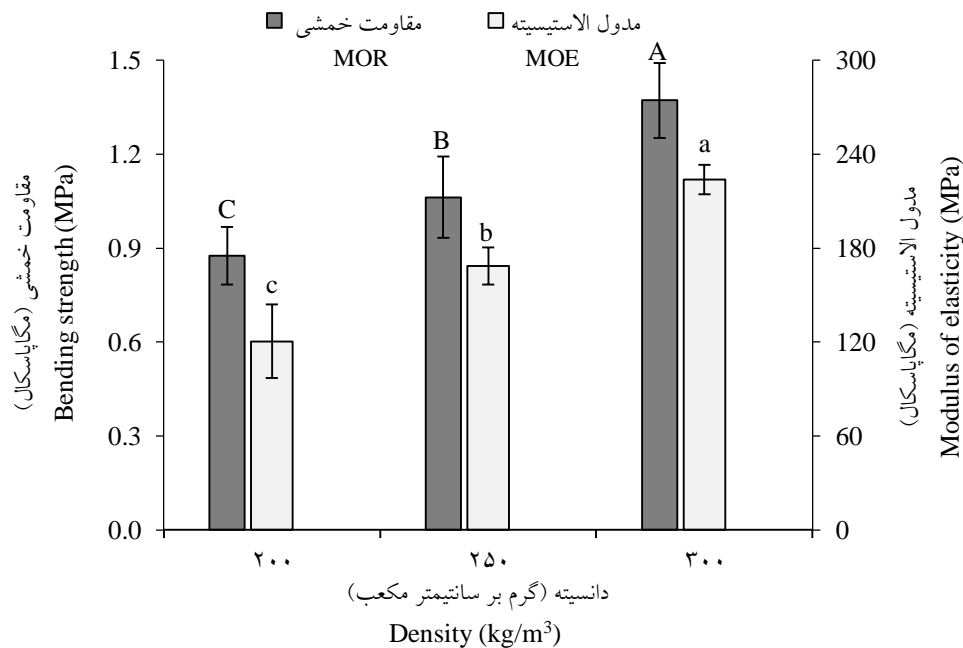
Figure 13. Water absorption of lightweight fiberboard produced by various weight ratio of isocyanate replaced by polystyrene resin.

مقاومت خمشی با افزایش حدود ۵۵ درصدی به ۱/۴ مگاپاسکال رسیده است. همین روند نیز برای مدول الاستیسیته نمونه‌ها مشاهده شد؛ به طوری که نمونه با دانسیته ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب با افزایش حدود ۸۵ درصدی مدول الاستیسیته نسبت به نمونه با دانسیته ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب همراه بوده است. پر واضح است که دلیل افزایش و بهبود ویژگی‌های خمشی نمونه‌ها با افزایش دانسیته، مربوط به افزایش میزان مواد چوبی و چسب در حجم ثابت می‌باشد. ویژگی‌های مکانیکی اوراق فشرده چوبی به شدت وابسته به دانسیته نهایی آن‌ها است؛ به نحوی که با افزایش دانسیته، ویژگی‌های خمشی به طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابند (۱۹).

در مجموع و با توجه به روندهای مشاهده شده در ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، جایگزینی ۴۵ درصد از ایزوسیانات با چسب پلی‌استایرن به عنوان سطح منتخب برای ارزیابی سایر تیمارهای پژوهش انتخاب گردید.

تأثیر دانسیته بر ویژگی‌های تخته فیبرهای سبک‌وزن:

تأثیر دانسیته‌های مختلف تخته بر ویژگی‌های خمشی تخته فیبرهای سبک‌وزن (شکل ۱۴) نشان داد که دانسیته تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های خمشی تخته فیبرهای سبک‌وزن داشته است. کم‌ترین میزان مقاومت خمشی در نمونه ساخته شده با دانسیته ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و حدود ۰/۹ مگاپاسکال بوده است که با افزایش دانسیته تا ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب میزان

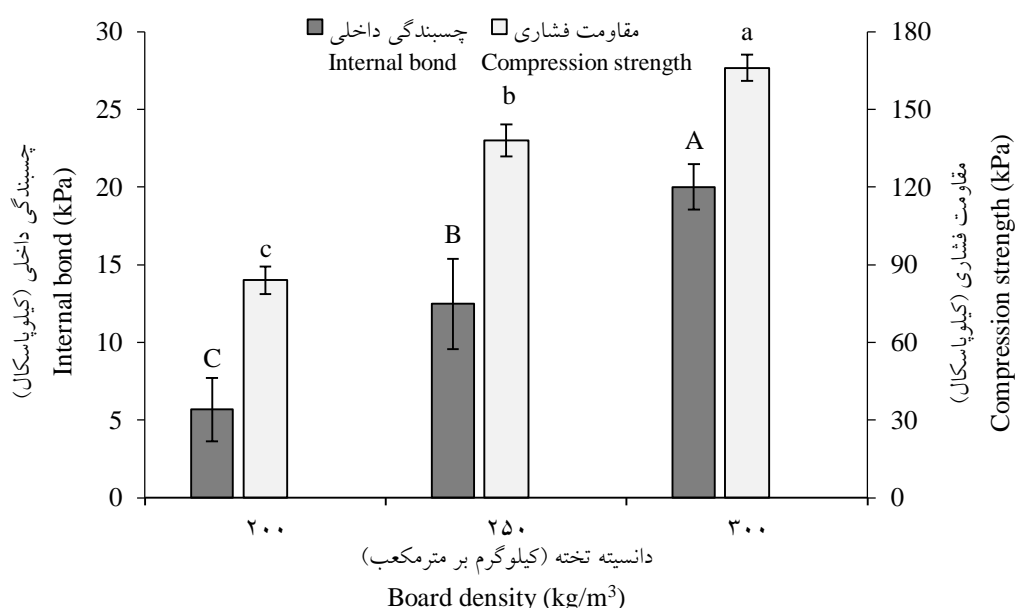


شکل ۱۴- ویژگی‌های خمشی تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته شده با دانسیته‌های مختلف.

Figure 14. Bending properties of lightweight fiberboard with various density.

در نتیجه تماس‌های بیش‌تر و قوی‌تری بین الیاف برقرار می‌شود که تأثیر مثبتی بر بهبود چسبندگی داخلی نمونه‌ها دارد. خاکزاد و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان نمودند که در یک حجم ثابت میزان چسبندگی داخلی اوراق فشرده چوبی به‌شدت وابسته به دانسیته نهایی تخته و وضعیت پراکنش آن در مقطع عرضی تخته است (۱۱).

دانسیته هم‌چنین تأثیر معنی‌داری بر میزان مقاومت کششی و فشاری عمود بر سطح تخته فیبرهای سبک‌وزن تخته‌ها داشته است (شکل ۱۵). بیش‌ترین میزان چسبندگی داخلی در تخته‌های ساخته‌شده با دانسیته ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کم‌ترین میزان چسبندگی داخلی در تخته‌ها با دانسیته ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد. با افزایش دانسیته در حقیقت تراکم مواد در حجم ثابت بیش‌تر شده و



شکل ۱۵- چسبندگی داخلی و مقاومت فشاری تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته‌شده با دانسیته‌های مختلف.

Figure 15. Internal bond and compression strength of lightweight fiberboard with various density.

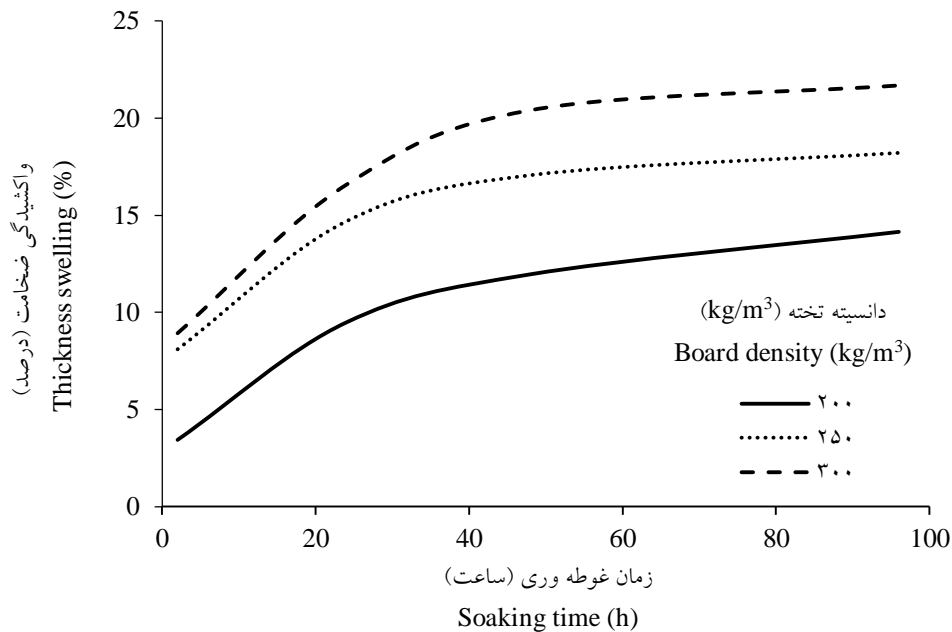
ضخامت نیز افزایش حدود ۵۳ درصدی داشته است. واکنشیدگی ضخامت در اوراق فشرده‌های چوبی تحت تأثیر میزان و قابلیت دسترسی مولکول‌های آب به گروه‌های هیدروکسیل موجود در ساختار ماده چوبی است (۱۹). با افزایش دانسیته تخته‌ها در حقیقت مقدار ماده چوبی بیش‌تری در واحد حجم یکسان استفاده شده است. ماده چوبی بیش‌تر یعنی گروه‌های هیدروکسیل (جاذب آب) بیش‌تر که

دانسیته تخته‌ها تأثیر معنی‌داری بر درصد واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها بعد از زمان‌های مختلف غوطه‌وری در آب (۲، ۲۴، ۴۸ و ۹۶ ساعت) داشته است (شکل ۱۶). کم‌ترین درصد واکنشیدگی ضخامت مربوط به نمونه‌های ساخته‌شده با دانسیته ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب با حدود ۱۴ درصد بعد از ۹۶ ساعت غوطه‌وری می‌باشد. با افزایش دانسیته تخته‌ها تا سطح ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، درصد واکنشیدگی

مترمکعب) مشاهده شد. درصد جذب آب در اوراق فشرده چوبی و به‌ویژه پانل‌های سبک‌وزن به‌شدت به قابلیت دسترسی مولکول‌های آب به ساختار لیفی مواد چوبی (گروه‌های هیدروکسیل و حفرات) و هم‌چنین تراکم مواد بستگی دارد (۱۷ و ۱۹). با افزایش دانسیته تخته‌ها، هرچند گروه‌های جاذب آب بیشتر شده است، اما قابلیت دسترسی مولکول‌های آب به حفرات درون سلولی کاهش می‌یابد. هم‌چنین خلل و فرج موجود در ساختار تخته نیز به‌شدت با افزایش دانسیته تخته کاهش می‌یابد، یا به‌عبارت‌دیگر تراکم تخته بیشتر شده است که تأثیر به‌سزایی در کاهش درصد جذب آب نمونه‌ها دارد (۱۱).

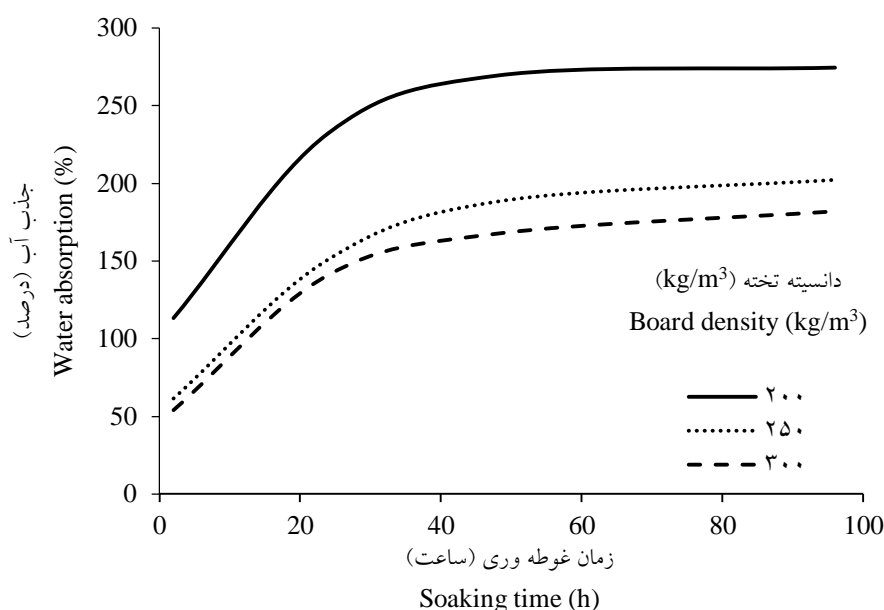
در نتیجه واکنش‌پذیری ضخامت بیشتر در تخته‌ها با دانسیته بیشتر وجود خواهد داشت. روند واکنش‌پذیری ضخامت بعد از ۲۴ ساعت اولیه غوطه‌وری تقریباً کند شده که دلیل آن مربوط به اشباع نمونه‌ها (واکنش گروه‌های هیدروکسیل با آب) می‌باشد (۱۸).

مطابق با شکل ۱۷، دانسیته تخته‌ها تأثیر معنی‌داری بر درصد جذب آب نمونه‌ها داشته است. روند مشاهده شده در درصد جذب آب برخلاف درصد واکنش‌پذیری ضخامت آن‌ها بوده است؛ بیش‌ترین درصد جذب آب در نمونه با کم‌ترین سطح دانسیته (۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و کم‌ترین درصد جذب آب در نمونه با بیش‌ترین سطح دانسیته (۳۰۰ کیلوگرم بر



شکل ۱۶- درصد واکنش‌پذیری ضخامت تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته‌شده با دانسیته‌های مختلف.

Figure 16. Thickness swelling of lightweight fiberboard with various density.



شکل ۱۷- درصد جذب آب تخته فیبرهای سبک‌وزن ساخته شده با دانسیته‌های مختلف.

Figure 17. Water absorption of lightweight fiberboard with various density.

قرار گرفته است. جایگزینی ایزوسیانات با چسب پلی‌استایرن نسبت به نمونه شاهد تأثیر منفی بر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی نمونه‌ها داشته است؛ اما افزایش درصدهای جایگزینی ایزوسیانات با پلی‌استایرن از ۱۵ تا ۴۵ درصد (بر مبنای میزان ایزوسیانات مصرفی) باعث بهبود ویژگی‌های خمشی (مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته) و فیزیکی (واکسیدگی ضخامت و جذب آب) شده است؛ اما این افزایش نسبت جایگزینی باعث کاهش شدید در مقاومت کششی و فشاری نمونه‌ها گردیده است. با افزایش دانسیته تخته‌ها ویژگی‌های مکانیکی تخته فیبرهای سبک‌وزن و درصد جذب آب آن‌ها به‌طور معنی‌داری بهبود یافته است، اما درصد واکسیدگی ضخامت نمونه‌ها با افزایش دانسیته تخته‌ها به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری

بیش‌ترین مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی در تخته‌های ساخته شده با حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. افزایش و یا کاهش حرارت از ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد عملکرد منفی بر مقاومت کششی و فشاری عمود بر سطح نشان داده است. همچنین افزایش درجه حرارت پرس باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی (واکسیدگی ضخامت و جذب آب) تخته فیبرهای سبک‌وزن شده است که دلیل آن پوشش بهتر پلی‌استایرن بر روی الیاف چوبی بوده است. نسبت وزنی حلال به فوم پلی‌استایرن در سطوح مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر مقاومت خمشی نمونه‌ها نداشته است، اما مدول الاستیسیته، مقاومت‌های کششی و فشاری و درصد واکسیدگی ضخامت نمونه‌ها به دلیل آسیب‌پذیری زنجیره‌های پلیمری با افزایش نسبت حلال به فوم به‌طور منفی تحت‌تأثیر

منابع

1. Abdulkareem, S.A., and Adeniyi, A.G. 2017. Production of particle boards using polystyrene and bamboo wastes. *Nigerian J. of Technology*. 36: 3. 788-793.
2. Abdulkareem, S.A., and Adeniyi, A.G. 2017. Development of particleboard from waste styrofoam and sawdust. *Nigerian J. of Technological Development*. 14: 1. 18-22.
3. Bekhta, P., and Sedliačik, J. 2019. Environmentally-friendly high-density polyethylene-bonded plywood panels. *Polymers*. 11: 7. 1166.
4. Chantawansri, T.L., Sirk, T.W., Mrozek, R., Lenhart, J.L., Kroger, M., and Sliozberg, Y.L. 2014. The effect of polymer chain length on the mechanical properties of triblock copolymer gels. *Chemical Physics Letters*. 612: 157-161.
5. Qin, R., Ren, X., Fifield, L.S., Simmons, K.L., and Li, K. 2011. Hemp-fiber-reinforced unsaturated polyester composites: Optimization of processing and improvement of interfacial adhesion. *J. of Applied Polymer Science*. 121: 2. 862-868.
6. Edalat, H.R., Amiri, A.N., Tabarsa, T., and Madhoushi, M. 2020. Investigation on the influence of raw material type on properties of ligno-cellulosic green insulation composite. *J. of Wood and Forest Science and Technology*. 27: 3. 73-91.
7. FAO. 2021. Statistical yearbook. World food and agriculture. Food and agriculture organization of the United Nations. 365p.
8. Follrich, J., Müller, U., and Gindl, W. 2006. Effects of thermal modification on the adhesion between spruce wood (*Picea Abies* Karst.) and a thermoplastic polymer. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 64: 5. 373-376.
9. Kawasaki, T., Zhang, M., and Kawai, S. 1998. Manufacture and properties of ultra-low-density fiberboard. *J. of Wood Science*. 44: 354-360.
10. Kazemi-Najafi, S. 2013. Use of recycled plastics in wood plastic composites - A review. *Waste Management*. 33: 9. 1898-1905.
11. Khakzad, J., Shalbafan, A., and Kazemi-Najafi, S. 2020. Lightweight tubular fiberboard: effect of hole diameters and number on panel properties. *Maderas. Ciencia y Tecnologia*. 22: 3. 311-324.
12. Kirsch, A., Ostendorf, K., and Euring, M. 2018. Improvement in the production of wood fiber insulation boards using hot-air hot-steam process. *European J. of Wood and Wood Products*. 76: 1233-1240.
13. Lempfer, K. 2016. Insulation board production according to Siempelkamp's dry-process: new process technology with great benefits for the environment. *Siempelkamp Bulletin*, pp. 14-19.
14. Masri, T., Ounis, H., Sedira, L., Kaci, A., and Benchabane A. 2018. Characterization of new composite material based on date palm leaflets and expanded polystyrene wastes. *Construction and Building Materials*. 164: 410-418.
15. Niu, M., Wu, Z., Lin, X., Liu, Z., Xie, Y., Bhuiyan, I.U., and Wang, X. 2018. Manufacturing and properties of ultra-low-density fiberboards with an unsaturated polyester resin by a dry process. *European J. of Wood and Wood Products*. 76: 3. 853-859.
16. Osemeahon, S.A., and Dimas, B.J. 2014. Development of urea formaldehyde and polystyrene waste as copolymer binder for emulsion paint formulation. *J. of Toxicology and Environmental Health Sciences*. 6: 3. 75-88.
17. Pizzi, A., and Mittal, K.L. 2018. *Handbook of Adhesive Technology*. 3rd Edition, Taylor and Francis Group, Marcel Dekker AG, Switzerland. 999p.
18. Shalbafan, A., Benthien, J.T., and Lerche, H. 2016. Biological characterization of panels manufactured from recycled particleboards using different adhesives. *Bioresources*. 11: 2. 4935-4946.
19. Thoemen, H., Irlle, M., and Sernek, M. 2010. *Wood-Based Panels: An Introduction for Specialists*, Brunel University Press. 283p.