



بررسی اثر روکش رویه و جرم مخصوص مغزی بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل ساندویچی چوبی

پانته آ عمرانی^{1*}، حسین رنگ‌آور¹، افشین رحمتی طولارود پائین²

1- دانشیار، مهندسی صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
2- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
تهران، صندوق پستی 163-16785، pantea.omrani@sru.ac.ir

چکیده

پانل‌های ساندویچی به‌عنوان سازه‌های سبک و مقاوم، اهمیت ویژه‌ای در صنایع چوب و ساختمان دارند. از آنجایی‌که استفاده از روکش‌های تزئینی در رویه برخی از این پانل‌ها رو به افزایش است، بررسی اثر این روکش‌ها بر خصوصیات فیزیکی-مکانیکی آن‌ها نیز ضروری است. از طرف دیگر استفاده از فوم‌های پلیمری به‌عنوان مغزی این پانل‌ها می‌تواند مشکل نیاز به مواد اولیه چوبی را کاهش داده و برای حفظ جنگلها و محیط‌زیست مفید باشد. لذا این پژوهش، با هدف بررسی اثر روکش رویه و جرم مخصوص مغزی بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل ساندویچی چوبی انجام شده است. برای ساخت پانل‌های ساندویچی از تخته فیبر با ضخامت 3 میلی‌متر (روکش طبیعی راش، روکش مصنوعی ملامینه و بدون روکش) به‌عنوان رویه و از فوم پلی‌استایرن منبسط‌شده (جرم مخصوص‌های 8، 12 و 20 کیلوگرم بر مترمکعب) به‌عنوان مغزی و از چسب پلی‌وینیل استات به‌عنوان اتصال‌دهنده استفاده شد. پس از ساخت نمونه‌ها با پرس گرم، مقاومت‌های خمشی، فشاری، ضربه و مدول الاستیسیته و نیز جذب آب 2 و 24 ساعت غوطه‌وری در آب آن‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد بیشترین مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت به فشار و ضربه با مقدار 2.363، 77.867، 0.056 مگاپاسکال و 72.667 کیلوژول بر مترمربع مربوط به پانل ساندویچی ساخته شده با رویه دارای روکش راش و مغزی پلی‌استایرن با جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب است. نتایج نشان داد نوع روکش رویه می‌تواند بر بهبود برخی خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته‌شده مؤثر باشد. همچنین افزایش جرم مخصوص پلی‌استایرن مغزی، باعث افزایش مقاومت‌های مکانیکی و کاهش جذب آب پانل‌ها می‌گردد.

اطلاعات مقاله:

دریافت: 1404/09/12

پذیرش: 1404/12/02

کلیدواژگان

پانل ساندویچی،
فوم پلی‌استایرن،
روکش طبیعی و مصنوعی،
خواص فیزیکی و مکانیکی،
چندسازه‌ها

Investigating the effects of skin veneer and core density on the physical and mechanical properties of wooden sandwich panels

Pantea Omrani^{1*}, Hosein Rangavar¹, Afshin Rahmati Tula Rud-e Pain¹

1- Department of Wood Industry Engineering, The faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
* P.O.B. 16785-163, Tehran, Iran, pantea.omrani@sru.ac.ir

Keywords

Sandwich panel,
Polystyrene foam,
Natural and synthetic veneer,
Physical and mechanical properties,
Composites

Abstract

Sandwich panels, as lightweight and strong structures, hold particular importance in the wood and construction industries. As the use of decorative veneers on these panels increases, evaluating their impact on physical and mechanical properties is essential. Furthermore, utilizing polymer foams as cores in these panels can mitigate the demand for raw wood materials, contributing to forest conservation and environmental sustainability. Therefore, this study aimed to investigate the effects of skin veneer and core density on the physical and mechanical properties of wooden sandwich panels. The panels were fabricated using 3 mm thick fiberboard (natural beech veneer, synthetic melamine veneer, and without veneer) as skin, expanded polystyrene (EPS) foam (densities of 8, 12, and 20 kg/m³) as the core, and polyvinyl acetate (PVA) as the adhesive. After making the samples by hot pressing, they were tested for bending strength, compressive strength, impact resistance, modulus of elasticity, and water absorption after 2 and 24 hours of immersion. The results indicated that the highest bending strength, modulus of elasticity, compressive strength, and impact resistance (2.363 MPa, 77.867 MPa, 0.056 MPa, and 72.667 kJ/m², respectively) were achieved in sandwich panels featuring skin including beech veneer and a polystyrene core with a density of 20 kg/m³. The results indicate that the veneer type can influence some physical and mechanical properties of the made sandwich panels. Moreover, increasing the core density of core polystyrene led to improved mechanical strength and reduced water absorption in panels.

Please cite this article using:

برای ارجاع به مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Omrani, P., Rangavar, H., Rahmati Tula Rud-e Pain, A., "Investigating the effects of skin veneer and core density on the physical and mechanical properties of wooden sandwich panels," In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 12, No. 2, pp. 2778-2787, 2026.
https://doi.org/10.22068/jstc.2026.2079813.1944

1- مقدمه

سازه‌های ساندویچی از مهم‌ترین مباحث تحقیقاتی روز است. استفاده از چوب ماسیو و یا پانل‌های چوبی در سطوح میزها، مبلمان، قفسه‌ها و غیره علاوه بر سنگینی وسایل چوبی و مشکل حمل‌ونقل و جابه‌جایی و هزینه بالای مواد اولیه ما را با مشکل کمبود منابع اولیه چوبی نیز روبه‌رو می‌کند. محدودیت منابع جنگلی ایران و شرایط نامناسب کیفی جنگل‌های کشور، باعث می‌شود حفظ و حراست از این منابع از اهمیت بسزایی برخوردار گردد. به همین منظور اتخاذ تدابیر و یا راهکارهایی عملی به‌منظور حفاظت از جنگل‌ها و کاهش فشار بهره‌برداری از منابع در جای خود بسیار با ارزش خواهد بود [10].

در لایه‌های رویی یا پوسته پانل ساندویچی چوبی می‌توان از انواع فراورده‌های مرکب چوبی مانند تخته فیبر، تخته خرده‌چوب، تخته لایه، تخته تراشه جهت‌دار و غیره با ضخامت‌های مختلف و در لایه‌های مغزی یا هسته از چوب (مثل بالزا)، چوب‌های مهندسی‌شده، انواع کاغذهای لانه زنبوری، انواع فوم‌های پلیمری مانند پلی‌اورتان، پلی‌استایرن، پلی‌اتیلن، پلی‌وینیل کلراید و غیره استفاده کرد. البته روی سطوح برخی از این فراورده‌های مرکب چوبی که به‌صورت خام نیز تولید می‌شوند، نیاز است به لحاظ ظاهری (جنبه تزئینی و زیبایی) با انواع روکش‌های طبیعی یا مصنوعی پوشیده شود. روکش‌های طبیعی چوبی که بیشتر از گونه‌های پهن‌برگمانند راش، گردو، ملج، افرا، بلوط و غیره هستند، از گذشته وجود داشته‌اند؛ اما در سال‌های اخیر تنوع روکش‌های مصنوعی در حال گسترش هستند که از روکش کاغذی لترون شروع شد و امروزه با روکش‌های ملامینه، اچ پی ال¹، پی وی سی²، اکریلیک، هایگلاس، پلی‌گلاس و غیره ادامه دارد. به نظر می‌رسد این روکش‌ها با توجه به نوع ماده مصرفی یا تعداد لایه و نوع رزین مصرفی در برخی از آن‌ها، می‌توانند علاوه بر جنبه ظاهری، بر خواص فیزیکی و مکانیکی فراورده مرکب چوبی و نیز پانل ساندویچی تأثیرگذار باشند. آگاهی و شناخت بهتر و بیشتر از این امر مهم، مستلزم انجام تحقیقات بیشتر است، زیرا به نظر می‌تواند به بهبود خواص پانل‌های ساندویچی چوبی و افزایش کاربرد یا کاربردی‌تر شدن آن‌ها کمک شایانی کند. تحقیقات مختلفی در زمینه ساخت و بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی سبک‌وزن انجام شده است از جمله:

خطیبی و رحیمی [11] خواص فیزیکی و مکانیکی پانل ساندویچی ساخته شده از مغزی پلی‌پروپیلن و پوسته‌هایی از جنس کامپوزیت‌های چوبی را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که این ساختارها در مقابل فشار همانند فتر عمل می‌کنند و برای تغییر شکل آن‌ها انرژی به‌نسبت زیادی لازم است. براساس نتایج این تحقیق، افزایش ضخامت لایه میانی اثر چندانی بر خواص فشاری ندارد، اما خواص خمشی با افزایش ضخامت تاحدزیادی افزایش می‌یابد. چن و همکاران [12] نیز به بررسی مدول الاستیسیته پانل ساندویچی ساخته شده از مغزی لانه زنبوری کاغذ کرافت و پوسته از جنس تخته فیبر با دانسیته متوسط³ پرداختند. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که کاهش نسبت ضخامت مغزی به پوسته در این پانل‌ها موجب افزایش مدول الاستیسیته می‌شود و نمونه‌های ساخته شده با ضخامت مغزی کمتر و ضخامت پوسته‌ی بیشتر، مدول الاستیسیته بیشتری دارند. وانگ و همکاران [13] در مطالعه‌ای به بررسی پاسخ ضربه پانل‌های ساندویچی با مغزی‌های مختلف پرداختند. در این مطالعه از پنج هسته مختلف (چوب بالزا با دانسیته کم، چوب بالزا با دانسیته زیاد، چوب‌پنبه، لانه زنبوری پلی‌پروپیلن و فوم

امروزه در بسیاری از کاربردهای مهندسی، به تلفیق خواص موردنیاز است و امکان استفاده از یک نوع ماده که همه خواص موردنیاز را برآورده سازد، وجود ندارد. بسیاری از نیازهای صنعتی صنایعی مانند صنایع فضایی، دریایی، راکتورسازی، الکترونیک و غیره نمی‌تواند با استفاده از مواد معمولی شناخته‌شده برآورده شود. به‌عنوان مثال در صنایع هوافضا به محصولاتی نیاز است که ضمن داشتن استحکام زیاد سبک باشند، مقاومت به سایش و مقاومت در برابر نور ماورای بنفش خوبی داشته باشند و در دماهای بالا استحکام خود را از دست ندهند و یا در صنایع دریایی، به‌طور معمول ترکیبی از خواص فیزیکی جرم مخصوص کم و مقاومت به رطوبت بالا موردنیاز است. بنابراین از آنجاکه نمی‌توان ماده‌ای یافت که همه خواص فوق را دارا باشد، باید به دنبال روشی برای ترکیب خواص مواد بود، این راه حل همان مواد چندسازه (مرکب) است. چندسازه ماده‌ای چند جزئی است که خواص آن در مجموع از هر کدام از اجزاء تشکیل‌دهنده‌ی خود بیشتر است [1]. از طرف دیگر امروزه تقاضا برای چندسازه‌های چوبی افزایش یافته و تلاش‌ها برای پیدا کردن منابع جدید به‌جای چوب در حال بررسی است. این افزایش تقاضا بر واقعیت روند افزایش جمعیت جهان همزمان با روند کاهش منابع جنگلی، استوار است. همچنین با توجه به محدودیت‌های موجود در زمینه تأمین مواد اولیه چوبی به‌منظور استفاده در ساختمان‌سازی و سازه‌های چوبی، نظرها به‌سوی استفاده از مواد سازه‌ای سبک با هدف مصرف هرچه کمتر چوب و منابع چوبی جلب شده است. در طی چندین سال اخیر تولیدکنندگان و صنعتگران صنعت چوب به ساخت پانل‌هایی با جرم مخصوص کم و خواص مقاومتی بالا توجه دارند [2]. به‌طور کلی، با کاربرد این صفحات وزن سازه کاهش یافته و در نتیجه مواد اولیه کمتری مصرف می‌شود. این در حالی است که مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی را می‌توان در حد مطلوبی حفظ نمود [3]. یکی از مهم‌ترین صفحات چندسازه، صفحات چندسازه‌ای سبک وزن با استحکام بالا یعنی پانل‌های ساندویچی است.

پانل‌های ساندویچی از دو صفحه‌ی نازک، سخت و قوی از جنس مواد متراکم ساخته می‌شوند که یک لایه‌ی ضخیم از موادی با چگالی کم را که ممکن است ضعیف و نرم باشد در بر گرفته‌اند [4]. دراصل یک سازه ساندویچی از ترکیب دو رویه محکم و نازک، یک مغزی سبک و ضخیم و یک لایه چسب تشکیل یافته است. پانل‌های ساندویچی از پیشرفته‌ترین اشکال سازه‌های کامپوزیتی هستند که در مقیاس وسیعی مصرف دارند. درواقع اکثر هواپیماها و شناورهای با تکنولوژی پیشرفته از این سازه‌ها بهره‌مندند [5]. مواد سبک وزن با عملکرد سازه‌ای بالا از ویژگی‌های کلیدی هستند که صنایع مختلف به دنبال آن هستند. از آنجایی که سازه‌های ساندویچی با هسته دارای جرم مخصوص کم یا هندسه‌های پروفیلی مانند شکل‌های موج‌دار [کنگرهای] و لانه زنبوری توانسته‌اند این دو عامل مهم را برآورده سازند، کاربردهای گسترده‌ای در صنایع هوافضا، خودروسازی و دریایی پیدا کرده‌اند. [6-9]. همچنین در صنایع چوب و مبلمان، سازه‌های چوبی و ساختمان‌های چوبی کاربردهای بسیاری دارند.

ویژگی منحصربه‌فرد ساختارهای ساندویچی و کاربردهای ویژه آن‌ها در صنایع پیشرفته نظیر هوافضا، دلیل اصلی انجام مطالعات وسیع و فراگیر در این شاخه از صنعت چندسازه (کامپوزیت) است. کاربردهای بسیار متنوع این ساختارها از اجزای سفینه‌های فضایی تا درب منازل حوزه مطالعاتی گسترده‌ای را در این زمینه فراهم کرده و از سوی دیگر نشان‌دهنده توجه روزافزون به استفاده از این سازه‌ها در صنایع مختلف است. طراحی بهینه

¹ High Pressure Laminate (HPL)

² Polyvinyl Chloride (PVC)

³ Medium density fibreboard (MDF)

بر خواص مکانیکی پانل‌های ساندویچی را بررسی نمودند. عوامل متغیر در این پژوهش شامل، نوع رویه (رویه راش و رویه صنوبر با ضخامت 3، 4 و 5 میلی‌متر و چسب مصرفی ایزوسیانات بوده است. پس از ساخت نمونه‌های آزمایشی یا پانل‌ها، خواص مکانیکی پانل‌ها شامل مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی و مقاومت به ضربه پانل‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد ضخامت رویه‌ها تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مقاومتی داشته است. با افزایش ضخامت رویه‌ها از 3 به 8 میلی‌متر مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و مقاومت به ضربه افزایش یافته است. با توجه به اثر متقابل بین گونه و ضخامت مشخص شده است که استفاده از رویه گونه راش در ضخامت 8 میلی‌متر باعث حداکثر شدن مقاومت‌های مکانیکی در پانل‌های ساندویچی شده است.

برخی تحقیقات اخیر در زمینه سازه‌های کامپوزیتی پیشرفته نیز به‌طور گسترده بر پاسخ مکانیکی و حالت‌های شکست پانل‌های ساندویچی و لمینت‌ها تحت شرایط مختلف بارگذاری، از فرورفتگی شبه‌استاتیکی گرفته تا ضربه با سرعت پایین و ضربه‌پذیری با انرژی بالا، تمرکز کرده‌اند. این مطالعات بر اثربخشی ادغام الیاف طبیعی، مانند کنف خردشده و بررسی طراحی‌های جدید هسته - از جمله ساختارهای چاپ سه‌بعدی - برای افزایش جذب انرژی و مقاومت در برابر آسیب تأکید دارند. این تحقیقات با بهره‌گیری از هر دو رویکرد آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی، درک جامعی از خواص ویسکوالاستیک، مکانیسم‌های آسیب و یکپارچگی ساختاری سیستم‌های کامپوزیتی در کاربردهای با عملکرد بالا مانند گاردیل‌ها و پانل‌های ساندویچی ارائه می‌دهند [19-23].

این تحقیقات و بررسی‌های دیگر نشان می‌دهد در ساخت پانل‌های ساندویچی که خواص و کاربردهای بسیاری در صنایع مختلف به‌خصوص صنایع چوب و ساختمان دارند و خواهند داشت، هنوز نیاز به توسعه تحقیقات مختلف است تا بتوان فرآورده‌های چندسازه با کاربردهای مختلف جدید را تولید کرد، به‌خصوص در کشور ما که با توجه به کمبود منابع طبیعی، نیاز به مواد مهندسی‌شده جدید در صنعت چوب و ساختمان و غیره است. از طرف دیگر بررسی اثر روکش‌های تزئینی مورد استفاده بر رویه و تعامل آن‌ها با مغزی‌های مختلف برای بهینه‌سازی خواص پانل‌های ساندویچی بسیار مهم است. این کار می‌تواند به انتخاب ترکیب روکش رویه، نوع و جرم مخصوص مغزی با هدف‌های عملکردی مشخص کمک کند. بنابراین در این تحقیق اثر روکش رویه و جرم مخصوص مغزی بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل ساندویچی مورد بررسی قرار گرفته است.

2- مواد و روش‌ها

2-1- مواد مصرفی

در این پژوهش از سه نوع تخته فیبر با جرم مخصوص متوسط با ضخامت‌های یکسان 3 میلی‌متری و دارای روکش‌های مختلف (تخته فیبر با روکش طبیعی راش، تخته فیبر با روکش مصنوعی ملامینه و تخته فیبر بدون روکش (خام)، با میانگین جرم مخصوص 700 کیلوگرم بر مترمکعب (0.7 گرم بر سانتی‌مترمکعب) برای هر کدام) به ابعاد 244×122 سانتی‌متر به‌عنوان رویه و همچنین از فوم پلی‌استایرن منبسط‌شده² سفید رنگ به شکل ورق یا صفحات با ابعاد 200×100 سانتی‌متر، ضخامت یکسان 30 میلی‌متر و جرم مخصوص‌های مختلف 8، 12 و 20 کیلوگرم بر مترمکعب (0.008، 0.012 و

پلی‌استایرن) جهت ساخت پانل‌های ساندویچی استفاده گردید. با مقایسه نتایج حاصل از برخورد پرتابه با مغزی‌های مختلف مشخص گردید که پانل‌های ساخته شده از مغزی فوم پلی‌استایرن بیشترین جذب انرژی و مقاومت در برابر نفوذ را دارند. همچنین پانل‌های ساخته شده از مغزی لانه زنبوری پلی‌پروپیلن، حداقل تغییر شکل رویه پشتی را داشتند. موشن و همکاران [14] برای بررسی قابلیت جذب انرژی پانل‌های ساندویچی هسته فوم، آزمایش ضربه‌ی سرعت پایین بر روی پانل‌هایی با هسته فوم پلی‌اورتان یا پلی‌استایرن و صفحات رویه آلومینیومی انجام شد. نتایج نشان داد که پانل‌های ساندویچی با هسته فوم پلی‌استایرن به دلیل قابلیت جذب بالا و حداقل نیروی پاسخ منتقل‌شده از پانل ساندویچی، به‌طور بالقوه یک انتخاب مناسب برای کاربردهای جذب انرژی هستند.

جعفرنژاد و همکاران [15] در پژوهشی به بررسی تأثیر نوع و مقدار گرانول‌های پلی‌استایرنی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های سبک‌وزن چوبی پرداختند. در واقع هدف از این پژوهش، تولید و ارزیابی چندسازه‌های سبک چوبی متشکل از لایه‌های سطحی الیاف و لایه میانی از مخلوط خرده‌چوب و گرانول‌های پلی‌استایرنی بوده است. برای ساخت تخته‌ها، از گرانول‌های پلی‌استایرنی در دو نوع از پیش منبسط‌شده و قابل‌انقباض و هر کدام در درصد‌های مختلف (5، 10 و 15 درصد وزن خشک خرده‌چوب‌های لایه میانی) استفاده شد. در این پژوهش، ویژگی‌های مکانیکی (مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی و مقاومت به پیچ) و فیزیکی (درصد واکنشیدگی ضخامت و جذب آب) نمونه‌های ساخته‌شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند استفاده از گرانول‌های پلی‌استایرنی در لایه میانی باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد (بدون گرانول) شد. افزایش درصد گرانول تا 15 درصد نیز تأثیر مثبتی بر چسبندگی داخلی، مقاومت به پیچ و ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها داشته است. درصد واکنشیدگی ضخامت و جذب آب نمونه‌ها در صورت استفاده از گرانول‌های پلی‌استایرنی به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است.

در پژوهشی دیگر رنگاور و همکاران [16] تأثیر نوع چسب و روکش پوشش داده شده در روی تخته خرده‌چوب بر خواص فیزیکی و مکانیکی آن صفحات را مورد بررسی قرار دادند. در این خصوص دو نوع روکش شامل: روکش طبیعی راش و روکش مصنوعی فرمیکا و سه نوع ترکیب چسب شامل: 100 درصد اوره فرمالدئید، 15 درصد پلی‌وینیل استات¹ و 85 درصد اوره، 25 درصد پلی‌وینیل استات و 75 درصد اوره برای چسباندن روکش‌ها بر روی تخته خرده‌چوب استفاده گردید. خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها طبق استانداردهای مربوطه بررسی گردیدند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که افزایش چسب پلی‌وینیل استات در مخلوط با چسب اوره‌فرمالدئید در پوشش روکش‌های طبیعی و مصنوعی سبب بهبود کلیه خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها می‌شود. تخته‌های روکش‌شده با روکش راش چسبندگی عمود بر سطح بیشتری از روکش فرمیکا داشتند. همچنین میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در تخته‌های با روکش مصنوعی فرمیکا کمتر از روکش راش بودند. نجفی و همکاران [17] در بررسی و ارزیابی مشخصه‌های خزش خمشی تخته خرده‌چوب با روکش طبیعی و ملامینه به این نتیجه دست یافتند که مقدار مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی تخته‌های دارای روکش طبیعی بیشتر از تخته‌های دارای روکش ملامینه و تخته‌های بدون روکش است. همچنین جباری و همکاران [18] در پژوهشی تأثیر نوع و ضخامت رویه

² Expanded polystyrene (EPS)

¹ Polyvinyl acetate (PVAc)

جدول 1 مشخصات چسب مورد استفاده در ساخت پانل ساندویچی

Table 1. Specifications of the adhesive used in the manufacture of sandwich panels

مشخصات	عنوان
سفید شیری	رنگ
PVAc	نوع چسب (پلیمر پایه)
نیمه شفاف	ظاهر فیلم
40000-45000	گرانروی در 21 °C (cP)
1.05	جرم مخصوص در 20 °C (g/cm ³)
4-5	PH
به تقریب 150-250	میزان مصرف (g/m ²)
15	مدت زمان امکان استفاده در دمای اتاق (زمان مونتاژ باز) (min)

سانتی متر مربع و زمان: 12 دقیقه). برای جلوگیری از فشردگی بیش از حد پانل‌های ساندویچی در دستگاه پرس، از شابلون‌هایی به ضخامت 35 میلی‌متر استفاده شد. شکل 2 چسب‌زنی، مونتاژ و پرس‌کاری برای ساخت پانل‌های ساندویچی را نشان می‌دهد. دلیل انتخاب پرس گرم به جای پرس سرد (صرف زمان 24 ساعت برای سخت شدن چسب مصرفی)، کاهش زمان تولید و بهبود خواص پانل ساندویچی طی بررسی‌های اولیه بود. پس از اتمام فرایند پرس‌کاری، پانل‌های ساخته شده جهت متعادل‌سازی به مدت دو هفته در شرایط آزمایشگاهی (رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد و دمای 20 ± 1 °C) نگهداری شدند.

با توجه به متغیرهای نوع روکش رویه و جرم خصوص مغزی و سطوح مختلف آن‌ها و نیز 3 تکرار، 27 پانل ساندویچی ساخته شد.

سپس نمونه‌های ساخته شده با دستگاه اره گرد میزی کناره‌بری شدند. بعد از این مرحله، نمونه‌های آزمایشی مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته طبق استاندارد [24] ASTM C-393-00، مقاومت به فشار عمود بر سطح طبق استاندارد [25] ASTM C-365-03، مقاومت به ضربه طبق استاندارد DIN [26] 52189-1 و درصد جذب آب و 24 ساعت طبق استاندارد ASTM C- [27] 272-01، تهیه شده و مورد آزمایش قرار گرفتند. شکل 3 روش‌های انجام آزمایش‌های مکانیکی را نشان می‌دهد. برای انجام آزمایش‌های مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و مقاومت به فشار عمود بر سطح از دستگاه آزمایش مکانیکی مدل STT-5T و برای آزمایش ضربه از دستگاه آزمایش ضربه پاندولی استفاده شد. برای اندازه‌گیری مقدار جذب آب نمونه‌ها، ابتدا وزن آن‌ها با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی با دقت 0.001 گرم اندازه‌گیری شده و بعد نمونه‌ها به مدت 2 و 24 ساعت به صورت افقی و در حالت غوطه‌ور در ظرف حاوی آب قرار داده شدند. بعد از هر مرحله یعنی 2 و 24 ساعت، نمونه‌ها به ترتیب از آب خارج شده و پس از خشک کردن سریع آب روی سطوح آن‌ها با پارچه خشک، بلافاصله وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شدند. با استفاده از اعداد اندازه‌گیری شده‌ی قبل و بعد از غوطه‌وری در آب، طبق رابطه مربوطه درصد جذب آب نمونه‌ها محاسبه شد. پس از انجام آزمایش‌ها، نتایج حاصله در نرم‌افزار SAS 9.1.3، با آزمایش تجزیه و تحلیل واریانس دوطرفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش دانکن و معناداری در سطح احتمال 5 درصد بررسی شد.

0.02 گرم بر سانتی‌متر مکعب) به عنوان لایه مغزی برای ساخت پانل‌های ساندویچی استفاده شد (شکل 1). در این پژوهش برای اتصال رویه‌ها به مغزی پانل ساندویچی نیز از چسب پلی‌وینیل استات ساخت شرکت تولیدی صنایع شیمیایی ممتاز بل گستر (دلتا) استفاده شد (جدول 1).



Fig. 1 Polystyrene foam and types of 3 mm fiberboard used in the manufacture of sandwich panel

شکل 1 فوم پلی‌استایرن و انواع تخته فیبر 3 میلی‌متری مورد استفاده در ساخت پانل ساندویچی

2-2- روش ساخت نمونه‌ها و انجام آزمایش‌ها

پس از تهیه مواد اولیه لازم برای ساخت پانل‌های ساندویچی، ابتدا رویه‌ها با دستگاه اره گرد میزی و مغزی‌ها با دستگاه برش حرارتی به ابعاد 40×40 سانتی‌متر برش داده شدند. بعد از آن برای ساخت هر نمونه پانل ساندویچی آزمایشی، یک سمت رویه بالا و پایینی و هر دو سمت مغزی با چسب پلی‌وینیل استات (به مقدار 200 گرم در هر مترمربع) به‌طور یکنواخت با کمک کاردک دستی ساده و شانه‌ای چسب‌زنی شد. سپس مغزی بین دو رویه بالا و پایینی قرار گرفته و پانل ساندویچی به پرس گرم آزمایشگاهی با شرایط یکسان منتقل شد (دما: 80 درجه سانتی‌گراد، فشار: 30 کیلوگرم بر

3- نتایج و بحث

جدول 2 نتایج تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل متغیرها بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته شده را نشان می‌دهد. جدول 2 نشان می‌دهد اثر مستقل عوامل متغیر بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته شده در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار است. همچنین جدول 2 نشان می‌دهد اثر متقابل عوامل متغیر بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار است؛ ولی اثر متقابل عوامل متغیر بر مقاومت فشاری (عمود بر سطح)، مقاومت به ضربه و جذب آب پس از 2 و 24 ساعت غوطه‌وری در آب پانل ساندویچی معنی‌دار نیست. مقادیر F در اثر مستقل جرم مخصوص مغزی بر مقاومت خمشی ($F: 735.81$) و مدول الاستیسیته ($F: 80.32$) بیشتر از مقادیر اثر مستقل نوع روکش رویه بر مقاومت خمشی ($F: 227.93$) و مدول الاستیسیته ($F: 23.98$) است (یعنی به ترتیب 3.22 و 3.35 برابر بیشتر است).

جدول 3 نتایج اثر مستقل متغیرها بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی با گروه‌بندی دانکن آن‌ها را نشان می‌دهد. طبق این جدول اثر مستقل نوع روکش رویه بر خواص مکانیکی مورد بررسی نشان می‌دهد تخته فیبر 3 میلی‌متری با روکش طبیعی دارای بیشترین مقدار نسبت به دیگر رویه‌ها بوده و طبق گروه‌بندی دانکن در گروه A قرار گرفته است؛ همچنین جدول 3 نشان می‌دهد تخته فیبر 3 میلی‌متری با روکش طبیعی دارای بیشترین جذب آب 2 و 24 ساعت و تخته فیبر 3 میلی‌متری با روکش مصنوعی دارای کمترین جذب آب 2 و 24 ساعت است. علاوه بر این اثر مستقل جرم مخصوص مغزی بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته شده نشان می‌دهد که مغزی پلی‌استایرن با جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب، در همه خواص مکانیکی مورد بررسی، دارای بیشترین مقادیر بوده و طبق گروه‌بندی دانکن در گروه A قرار گرفته است؛ همچنین دارای کمترین جذب آب 2 و 24 ساعت نسبت به مغزی‌های پلی‌استایرن با جرم مخصوص 8 و 12 کیلوگرم بر مترمکعب است.

جدول 4 نتایج اثر متقابل متغیرها بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته شده را نشان می‌دهد. این جدول نشان می‌دهد در اثر متقابل نوع روکش رویه بر جرم مخصوص مغزی از جنس پلی‌استایرن، تخته فیبر 3 میلی‌متری با روکش طبیعی و پلی‌استایرن منبسط‌شده با جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب، دارای مقادیر بیشتری در مقاومت خمشی (2.363 مگاپاسکال)، مدول الاستیسیته (77.867 مگاپاسکال)، مقاومت فشاری (0.056 مگاپاسکال) و مقاومت به ضربه (72.667 کیلوژول بر مترمربع) نسبت به دیگر نمونه‌ها است. همچنین جدول 4 نشان می‌دهد در اثر متقابل نوع روکش رویه بر جرم مخصوص مغزی از جنس پلی‌استایرن، تخته فیبر 3 میلی‌متری با روکش مصنوعی و پلی‌استایرن منبسط‌شده با جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب، دارای کمترین مقدار جذب آب 2 و 24 ساعت است. جدول 4 نشان می‌دهد در پانل‌های ساندویچی ساخته شده با روکش‌های مختلف رویه، با افزایش جرم مخصوص پلی‌استایرن مغزی، خواص مکانیکی افزایش و جذب آب 2 و 24 ساعت کاهش یافته است.



Fig. 2 Gluing, assembly and pressing for the manufacture of sandwich panels

شکل 2 چسب‌زنی، مونتاژ و پرس کاری برای ساخت پانل‌های ساندویچی



Fig. 3 Methods of performing mechanical tests (mechanical testing machine, bending strength test, compressive strength test, and impact strength test)

شکل 3 روش‌های انجام آزمایش‌های مکانیکی (دستگاه آزمایش‌های مکانیکی، آزمایش مقاومت خمشی، آزمایش مقاومت فشاری و آزمایش مقاومت به ضربه)

جدول 2 نتایج تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل متغیرها بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی

Table 2. Results of variance analysis of independent and interaction effects of variables on physical and mechanical properties of sandwich panels

منابع تغییرات	مقاومت خمشی	مدول الاستیسیته	مقاومت فشاری	مقاومت به ضربه	جذب آب 2 ساعت	جذب آب 24 ساعت
sig	*0.0001	*0.0001	*0.0001	*0.0230	*0.0001	*0.0099
F Value	227.93	23.98	59.69	4.82	26.00	6.25
Mean Square	1.07877037	1181.359633	0.00025609	480.7037037	1467.270988	336.749546
Anova SS	2.15754074	2362.719267	0.00051218	961.4074074	2934.541977	673.499093
sig	*0.0001	*0.0001	*0.0001	*0.0344	*0.0024	*0.0013
F Value	735.81	80.32	212.52	4.19	9.04	10.40
Mean Square	3.48250370	3957.119633	0.00091181	418.0370370	510.269596	560.393331
Anova SS	6.96500741	7914.239267	0.00182361	836.0740741	1020.539192	1120.786662
sig	*0.0001	*0.0007	n.s 0.1009	n.s 0.6564	n.s 0.0701	n.s 0.0728
F Value	47.14	8.45	2.32	0.62	2.67	2.64
Mean Square	0.22312037	416.065967	0.00000997	61.5925926	150.781060	141.979161
Anova SS	0.89248148	1664.263867	0.00003989	246.3703704	603.124242	567.916642

* معنی‌داری در سطح احتمال 5 درصد
n.s عدم معنی‌داری در سطح احتمال 5 درصد

جدول 3 نتایج اثر مستقل متغیرها بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی با گروه‌بندی دانکن

Table 3. Results of the independent effect of variables on the physical and mechanical properties of sandwich panels with Duncan grouping

عوامل متغیر	سطوح عوامل متغیر	مقاومت خمشی (MPa)	مدول الاستیسیته (MPa)	مقاومت فشاری (MPa)	مقاومت به ضربه (kJ/m ²)	جذب آب 2 ساعت (%)	جذب آب 24 ساعت (%)
نوع روکش رویه	تخته فیبر 3 میلی متری با روکش طبیعی	1.3 A	38.833 A	0.0419 A	59.333 A	68.859 A	85.623 A
	تخته فیبر 3 میلی متری با روکش مصنوعی	0.751 B	22.1 B	0.0315 C	45.444 B	41.636 C	73.622 B
	تخته فیبر 3 میلی متری بدون روکش	0.66 C	16.910 B	0.035 B	48.444 B	57.703 B	77.564 B
جرم مخصوص مغزی	پلی‌استایرن منبسط شده با جرم مخصوص 8	0.424 C	10.733 B	0.029 C	45.000 B	62.473 A	84.583 A
	پلی‌استایرن منبسط شده با جرم مخصوص 12	0.68 B	17.243 B	0.032 B	49.778 AB	56.240 A	82.306 A
	پلی‌استایرن منبسط شده با جرم مخصوص 20	1.607 A	49.867 A	0.048 A	58.444 A	47.484 B	69.920 B

D8, D12, D20: جرم مخصوص 8، 12 و 20 کیلوگرم بر مترمکعب

در نهایت می‌توان گفت نتایج نشان می‌دهد کاربرد تخته فیبر 3 میلی متری دارای روکش طبیعی راش به‌عنوان رویه پانل ساندویچی، مقاومت‌های مکانیکی بیشتری نسبت به کاربرد دیگر رویه‌های مصرفی در ساخت پانل‌های ساندویچی ایجاد کرده است. این نتایج مطابق نتایج پژوهش نجفی و همکاران [17] است که نشان دادند مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی تخته‌های دارای روکش طبیعی راش بیشتر از تخته‌های دارای روکش ملامینه و تخته‌های بدون روکش بوده است. آپرلمیش و همکاران [28] نیز گزارش کرده‌اند که استفاده از روکش در سطح پانل ساخته شده از ضایعات کارتن مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی، موجب افزایش مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی می‌گردد. یکی از دلایل برتری روکش راش زبری سطح بیشتر آن است، که سبب اتصالات قوی‌تر سطح چسب‌خورده [16] با تخته‌فیبر نسبت به اتصال روکش مصنوعی شده است. از طرف دیگر ساختار سلولی چوب متفاوت از مواد دیگر است، یعنی قابلیت نفوذ سطحی چسب در منافذ و حفرات سلولی روکش و نیز تخته‌فیبر می‌تواند سبب ایجاد اتصال بهتر و چسبندگی بیشتر شود. همچنین دلیل دیگر آن مقاومت کششی بیشتر الیاف چوب نسبت به روکش مصنوعی ملامینه است، زیرا در کل چوب‌ها مقاومت به کشش بیشتری نسبت به فشار دارند. در آزمایش مقاومت خمشی، قسمت بالایی پانل ساندویچی تحت تنش فشاری و قسمت پایینی آن تحت تنش کششی قرار می‌گیرد و در اینجا مقاومت بیشتر روکش راش در مقابل کشش است که سبب مقاومت مکانیکی بهتر آن‌ها نسبت به پانل‌های با روکش مصنوعی و بدون روکش شده است. دلیل این امر نیز به ساختار سلولی چوب و آن هم به ترکیبات شیمیایی چوب باز می‌گردد، زیرا خواص چوب از اجزای جدار سلول یا اعضای ساختمانی سلول چوب یعنی سلولز (پلیمر خطی طولی)، همی سلولز (پلیمر خطی شاخه‌دار) و لیگنین (ماده اتصال‌دهنده بین سلولی) نشأت می‌گیرد [29].

در نهایت می‌توان گفت نتایج نشان می‌دهد کاربرد تخته فیبر 3 میلی متری دارای روکش طبیعی راش به‌عنوان رویه پانل ساندویچی، مقاومت‌های مکانیکی بیشتری نسبت به کاربرد دیگر رویه‌های مصرفی در ساخت پانل‌های ساندویچی ایجاد کرده است. این نتایج مطابق نتایج پژوهش نجفی و همکاران [17] است که نشان دادند مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی تخته‌های دارای روکش طبیعی راش بیشتر از تخته‌های دارای روکش ملامینه و تخته‌های بدون روکش بوده است. آپرلمیش و همکاران [28] نیز گزارش کرده‌اند که استفاده از روکش در سطح پانل ساخته شده از ضایعات کارتن مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی، موجب افزایش مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی می‌گردد. یکی از دلایل برتری روکش راش زبری سطح بیشتر آن است، که سبب اتصالات قوی‌تر سطح چسب‌خورده [16] با تخته‌فیبر نسبت به اتصال روکش مصنوعی شده است. از طرف دیگر ساختار سلولی چوب متفاوت از مواد دیگر است، یعنی قابلیت نفوذ سطحی چسب در

جدول 4 نتایج اثر متقابل متغیرها بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی با گروه‌بندی دانکن

Table 4. Results of the interaction of variables on the physical and mechanical properties of sandwich panels with Duncan grouping

نوع روکش رویه	جرم مخصوص مغزی	مقاومت خمشی (MPa)	مدول الاستیسیته (MPa)	مقاومت فشاری (MPa)	مقاومت به ضربه (kJ/m ²)	جذب آب 2 ساعت (%)	جذب آب 24 ساعت (%)
پلی‌استایرن منبسط‌شده با جرم مخصوص 8*	0.627 (0.083)**	15.667 (1.986)	0.034 (0.003)	50.333 (16.166)	70.96 (15.361)	88.418 (11.258)	
تخته فیبر 3 میلی‌متری با روکش طبیعی	0.91 (0.017)	22.967 (0.115)	0.036 (0.004)	55 (9.165)	67.282 (6.730)	86.328 (3.550)	
پلی‌استایرن منبسط‌شده با جرم مخصوص 20	2.363 (0.084)	77.867 (11.937)	0.056 (0.002)	72.667 (6.807)	62.335 (4.389)	82.122 (6.408)	
پلی‌استایرن منبسط‌شده با جرم مخصوص 8	0.33 (0.035)	8.367 (0.896)	0.025 (0.002)	41.333 (3.786)	56.981 (5.129)	84.924 (3.690)	
تخته فیبر 3 میلی‌متری با روکش مصنوعی	0.623 (0.023)	15.9 (0.656)	0.028 (0.002)	46 (6.245)	42.13 (11.902)	80.308 (2.175)	
پلی‌استایرن منبسط‌شده با جرم مخصوص 20	1.3 (0.145)	42.033 (18.617)	0.042 (0.001)	49 (9.644)	25.797 (3.065)	55.636 (11.136)	
پلی‌استایرن منبسط‌شده با جرم مخصوص 8	0.317 (0.012)	8.167 (0.153)	0.028 (0.002)	43.333 (11.719)	59.479 (3.381)	80.409 (0.512)	
تخته فیبر 3 میلی‌متری بدون روکش	0.507 (0.015)	12.863 (1.082)	0.032 (0.001)	48.333 (5.033)	59.307 (1.976)	80.28 (9.101)	
پلی‌استایرن منبسط‌شده با جرم مخصوص 20	1.157 (0.042)	29.7 (0.878)	0.045 (0.001)	53.667 (12.097)	54.322 (3.632)	72.003 (5.681)	

* جرم مخصوص پلی‌استایرن منبسط‌شده بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب است.

** اعداد داخل پرانتز، انحراف معیار هستند.

نعمتی و همکاران [34] با بررسی اثر جرم مخصوص لایه میانی اسفنج پلی‌یورتان سخت بر خواص خمشی و فشاری دیواره‌های ساندویچی با جداره‌های اپوکسی - شیشه به این نتیجه دست یافتند که خواص مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته شده تابعی از خواص جداره‌ها، جرم مخصوص اسفنج میانی و استحکام چسبندگی اسفنج به جداره‌ها هستند و افزایش جرم مخصوص اسفنج لایه میانی تا حد معینی موجب ارتقای خواص مکانیکی دیواره ساندویچی می‌شود.

برای تحلیل دقیق‌تر می‌توان گفت افزایش خواص مکانیکی با افزایش جرم مخصوص مغزی پلی‌استایرن منبسط‌شده، نتیجه هم‌افزایی بین دو عامل افزایش جرم مخصوص مغزی در سطح کلی و تغییر مورفولوژی سلولی در سطح بنیادی یا جزئی است:

1- تأثیر جرم مخصوص مغزی (8، 12 و 20 کیلوگرم بر مترمکعب): با افزایش جرم مخصوص مغزی پلی‌استایرن منبسط‌شده از 8 به 20 کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت مکانیکی طبق رابطه قانون توان که در مدل گیبسون و اشبی [35] برای جامدات سلولی بیان شده، افزایش می‌یابد. الف) مقاومت فشاری: در پلی‌استایرن منبسط‌شده، جرم مخصوص بالاتر به معنای فشرده شدن مقدار مواد پلیمری بیشتر در همان حجم ثابت است. در جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب، دیواره‌های سلولی ضخیم‌تر و مقاوم‌تر از جرم مخصوص 8 کیلوگرم بر مترمکعب هستند، که به‌طور مستقیم باعث افزایش تنش موردنیاز برای کم‌انرژی یا فروپاشی سلول‌ها می‌شود. ب) مدول الاستیسیته: سختی پانل افزایش می‌یابد؛ زیرا بخش جامد فوم بیشتر شده

نتایج نشان داد افزایش جرم مخصوص پلی‌استایرن به‌عنوان مغزی پانل‌های ساندویچی ساخته شده باعث افزایش خواص مکانیکی پانل‌ها شده است. به‌طورکلی یک پانل ساندویچی از سه قسمت تشکیل شده است: دو رویه نازک و محکم، یک مغزی سبک و ضخیم که به‌وسیله لایه‌ای از چسب به هم متصل شده‌اند. در بین قسمت‌های مختلف این پانل، مغزی مهم‌ترین بخش است و تغییرات در این بخش (اعم از شکل، جنس، ضخامت و جرم مخصوص) تأثیر زیادی بر خواص نهایی محصول می‌گذارد. جرم مخصوص به‌عنوان یک عامل بسیار تأثیرگذار بر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی پانل‌های چوبی مختلف است، به گونه‌ای که افزایش آن موجب افزایش قابل‌توجه مقاومت‌های مکانیکی می‌گردد [30]. مغزی پانل ساندویچی، تأثیر قابل‌توجهی بر مقاومت در برابر ضربه دارد [31]. پانل‌های ساندویچی که مغزی مترکم‌تری دارند انرژی بیشتری را جذب می‌کنند [32]. خصوصیات مکانیکی فوم‌های پلی‌استایرنی به‌شدت با افزایش جرم مخصوص بهبود پیدا می‌کند. اگرچه رفتار ورق‌های پلی‌استایرنی همانند سایر مواد مرکب نیست [33]. نتایج دیگر تحقیقات، نتایج این تحقیق را نیز تصدیق می‌کند، چنانچه بهرامی و همکاران [30] در پژوهش خود خصوصیات مکانیکی پانل ساندویچی سبک با مغزی کاغذ بازیافت‌شده به شکل حفره‌دار و رویه‌هایی از جنس تخته فیبر دانسیته متوسط (با ضخامت 3 میلی‌متر و آغشته به رزین پلی‌وینیل استات) را بررسی کرده و گزارش کردند که جرم مخصوص مغزی کاغذی در بهبود مقاومت‌های خمشی به‌طورکامل اثر معنی‌دار دارد، به‌طوری‌که با افزودن جرم مخصوص، این مقاومت نیز افزایش یافت. همچنین

در مقایسه‌ی دیگر از نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات دیگر مانند تحقیق عمرانی و همکاران [38] که بر روی پانل ساندویچی با رویه‌های مشابه ولی مغزی فوم پلی‌اتیلن شبکه‌ای¹ دارای ضخامت 3 سانتی‌متر و جرم مخصوص 30 کیلوگرم بر مترمکعب انجام شده است نشان می‌دهد که در هر دو نوع مغزی (پلی‌اتیلن و پلی‌استایرن)، پانل‌های دارای روکش طبیعی بالاترین مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته را دارند. اما مقادیر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته پانل ساندویچی دارای روکش طبیعی و مغزی پلی‌اتیلن به ترتیب با 0.52 و 13.26 مگاپاسکال از پانل‌های دارای روکش راش و جرم مخصوص‌های 8، 12 و 20 کیلوگرم بر مترمکعب کمتر است. به عبارتی مقادیر آن کمتر ولی نزدیک جرم مخصوص 8 کیلوگرم بر مترمکعب است. پانل‌های ساندویچی با مغزی پلی‌استایرن (جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب) در مقایسه با پلی‌اتیلن، عملکرد مکانیکی به مراتب بالاتری را نشان می‌دهند. مقاومت فشاری در پلی‌استایرن (جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب) با روکش طبیعی 0.056 مگاپاسکال است که نسبت به مقدار مشابه در پلی‌اتیلن (0.051 مگاپاسکال) برتری نسبی دارد. مقایسه نتایج نشان می‌دهد مغزی پلی‌اتیلن به‌طور کلی جذب انرژی ضربه بهتری نسبت به نمونه‌های سبک پلی‌استایرن دارد. بالاترین میزان مقاومت به ضربه در پانل‌های ساندویچی با مغزی پلی‌اتیلن برابر با 63.5 کیلوژول بر مترمربع (روکش طبیعی) است. در مقابل، طبق نتایج تحقیق حاضر، تنها با رسیدن به جرم مخصوص بالای پلی‌استایرن (20 کیلوگرم بر مترمکعب) است که مقاومت به ضربه به عدد 72.667 کیلوژول بر مترمربع (روکش طبیعی) می‌رسد که نشان‌دهنده حساسیت بالای مقاومت ضربه‌ای پلی‌استایرن به جرم مخصوص مغزی است. همچنین مقایسه نتایج نشان می‌دهد پانل‌های با مغزی پلی‌اتیلن به شکل چشم‌گیری جذب آب کمتری نسبت به پلی‌استایرن دارند. دلیل آن تنها جرم مخصوص بیشتر پلی‌اتیلن نمی‌تواند باشد بلکه نوع مواد و ساختار شیمیایی آن نیز مؤثر است. بیشترین جذب آب 24 ساعت در پانل با مغزی پلی‌اتیلن مربوط به روکش طبیعی با مقدار 6.62 درصد است، در حالی که در مغزی پلی‌استایرن، کمترین میزان جذب آب 24 ساعت (در جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب با روکش مصنوعی) 55.636 درصد است. در نهایت در مقایسه کلی می‌توان گفت اگر اولویت سازه مقاومت مکانیکی و صلیبیت باشد، استفاده از پانل با مغزی پلی‌استایرن جرم مخصوص بالا و روکش طبیعی توصیه می‌شود. اما در محیط‌های با رطوبت بالا، پانل‌های با مغزی پلی‌اتیلن به دلیل مقاومت بسیار عالی در برابر نفوذ آب، انتخاب مهندسی مناسب‌تری هستند.

طبق نتایج تحقیق حاضر، از نظر مهندسی، افزایش مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته به ترتیب از 0.627 و 15.667 مگاپاسکال (در جرم مخصوص 8 کیلوگرم بر مترمکعب) به 2.363 و 77.867 مگاپاسکال (در جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب) برای روکش طبیعی راش، یک بهبود 3.77 و 4.9 برابری (حدود 277 و 397 درصدی) را نشان می‌دهد. این مقادیر در مقیاس مهندسی بسیار فراتر از یک تغییر آماری صرف است و نشان‌دهنده کارایی بالای ترکیب روکش طبیعی و مغزی پلی‌استایرن با جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب برای کاربردهای ساختمانی سبک است.

طبق جدول 2، اثر متقابل نوع روکش و جرم مخصوص مغزی بر مقاومت فشاری، ضربه و جذب آب از نظر آماری غیرمعنادار شده است. این موضوع به این معناست که تغییر در نوع روکش (برای مثال از ملامینه به راش)، روند

است. مطالعات علمی مانند میه‌لایانلار و همکاران [36] تأیید می‌کنند که جرم مخصوص، متغیر اصلی کنترل‌کننده مدول یانگ در پلی‌استایرن منبسط‌شده است. ج) مقاومت به ضربه: فوم متراکم‌تر ظرفیت جذب انرژی بالاتری دارد. در طول ضربه، دیواره‌های ضخیم‌تر در مغزی 20 کیلوگرم بر مترمکعب نسبت به فوم‌های بسیار سبک که دچار شکست ترد می‌شوند، تغییر شکل پلاستیک و کار مکانیکی بیشتری را قبل از شکست نهایی تحمل می‌کنند.

2- نقش مورفولوژی سلولی (ساختار سلول‌ها): افزایش مقاومت پانل تنها به دلیل داشتن جرم بیشتر نیست؛ بلکه به نحوه سازماندهی این جرم مربوط می‌شود. الف) اندازه سلول و ضخامت دیواره: تحقیقات نشان می‌دهد که در جرم مخصوص‌های بالاتر، دانه‌های پلی‌استایرن منبسط‌شده در طول فرایند قالب‌گیری به‌شدت فشرده می‌شوند. این امر منجر به کاهش میانگین اندازه سلول‌ها و افزایش ضخامت دیواره‌ها می‌شود. سلول‌های کوچک‌تر تنش را به‌طور یکنواخت‌تر توزیع کرده و احتمال ایجاد نقاط تمرکز تنش (که باعث شروع ترک می‌شوند) را کاهش می‌دهند. ب) همجوشی دانه‌ها: در مغزی پلی‌استایرن منبسط‌شده، کیفیت جوش خوردن دانه به دانه با افزایش جرم مخصوص بهبود می‌یابد. جرم مخصوص بالاتر اغلب مستلزم فشار بخار بیشتر در هنگام تولید است که باعث می‌شود دانه‌های منبسط‌شده بهتر به‌هم متصل یا ذوب شوند. این امر برای مقاومت خمشی بسیار مهم است، زیرا از لغزش برشی دانه‌ها روی هم تحت بار خمشی جلوگیری می‌کند.

نتایج نشان داد کاربرد تخته فیبر 3 میلی‌متری دارای روکش مصنوعی ملامینه، درصد جذب آب به‌خصوص در 2 ساعت را کاهش می‌دهد که این روند با افزایش جرم مخصوص پلی‌استایرن مغزی به‌خصوص در پلی‌استایرن با جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافته است. طبق نتایج پژوهش رنگاور و همکاران [16] روکش مصنوعی از کاغذ تزئینی آغشته به رزین‌های آمینوپلاستیک مانند ملامین‌فرمالدئید و تحت فشار بالا تولید می‌شود، از این رو جذب آب را به تأخیر انداخته، باعث کاهش جذب آب پانل‌ها شده است. همچنین کاهش جذب آب با افزایش جرم مخصوص پلی‌استایرن مغزی‌ها نیز می‌تواند به دلیل جذب آب پایین پلی‌استایرن و تراکم و فشرده‌گی بیشتر مواد تشکیل‌دهنده و کاهش فضای خالی در آن‌ها باشد که باعث کاهش بیشتر جذب آب به‌خصوص در پلی‌استایرن با جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب شده است. دلیل جذب آب بیشتر پانل‌های با روکش طبیعی نیز به ساختار سلولی روکش چوب بازمی‌گردد. چوب در مفهوم فیزیکی اش ماده‌ای است غیرفشرده، شامل منافذی که به‌صورت منظم و نامنظم مرتب شده است و خلاصه اینکه ماده‌ای است متخلخل. این منافذ یا در دیواره‌های سلول‌های چوبی قرار دارند یا به‌صورت حفره‌های سلولی وجود دارند [37]. بنابراین به دلیل نفوذ آب در منافذ دیواره سلولی و حفرات سلولی روکش چوبی راش، جذب آب پانل‌های ساندویچی با روکش طبیعی راش بیشتر است. در کل چوب خاصیت دفع و جذب رطوبت دارد. چوب در محیط مصرف، بسته به شرایط رطوبت و دما، رطوبت را جذب یا دفع می‌کند تا به رطوبت تعادل با محیط برسد. تأثیرپذیری چوب یا روکش چوب در مقابل رطوبت است که سبب می‌شود هنگام کاربرد در محیط‌های مختلف، سطوح چوب یا فرآورده‌ی مرکب چوبی دارای روکش چوبی، از پوشش‌های رنگی مرسوم یا مقاومت به رطوبت استفاده شود. دلیل دیگر جذب آب بیشتر روکش طبیعی راش می‌تواند زبری سطح، انرژی سطحی بالاتر و گروه‌های سطحی فعال باشد که با آب پیوند مولکولی ایجاد می‌کنند و در نتیجه جذب آب را افزایش می‌دهند.

¹ Cross-linked polyethylene (XPE)

مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته شده نشان می‌دهد که پلی‌استایرن مغزی با جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب، در همه خواص مکانیکی مورد بررسی، دارای بیشترین مقادیر و همچنین دارای کمترین جذب آب 2 و 24 ساعت نسبت به مغزی‌های پلی‌استایرن با جرم مخصوص 8 و 12 کیلوگرم بر مترمکعب است.

نتایج نشان داد در اثر متقابل نوع روکش رویه بر جرم مخصوص پلی‌استایرن مغزی، پانل ساندویچی ساخته شده با تخته فیبر 3 میلی‌متری دارای روکش طبیعی و پلی‌استایرن منبسط‌شده با جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب، دارای مقادیر بیشتری در مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت فشاری و مقاومت به ضربه نسبت به دیگر نمونه‌ها است. همچنین در اثر متقابل مذکور نشان داد پانل ساندویچی ساخته شده با تخته فیبر 3 میلی‌متری دارای روکش مصنوعی و پلی‌استایرن منبسط‌شده با جرم مخصوص 20 کیلوگرم بر مترمکعب، دارای کمترین مقدار جذب آب 2 و 24 ساعت است.

نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده اهمیت نوع روکش مصرفی به‌عنوان رویه پانل‌های ساندویچی چوبی است. این رویه‌ها علاوه بر جنبه ظاهری (زیبایی و تزئینی) به لحاظ تأثیر بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل ساندوچی هم مهم هستند. چنانچه نتایج تحقیقات نشان داده است که تفاوت روکش‌های طبیعی و مصنوعی می‌تواند در کاربرد پانل‌ها ساندویچی چوبی تعیین‌کننده باشند. مانند کاربرد پانل ساندویچی با رویه دارای روکش مصنوعی طرح چوب در فضاهای مرطوب مانند سرویس بهداشتی و یا صفحه کابینت آشپزخانه و روکش‌های طبیعی چوبی برای فضاهای داخلی ساختمان مانند درهای اتاق‌ها، دیواره‌های جداکننده و پیش‌ساخته و کمدهای دیواری و غیره.

همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده اهمیت مغزی در پانل ساندویچی است که امروزه تحقیقات در مورد قابلیت استفاده از مواد مختلف به‌عنوان مغزی و ایجاد کاربردهای بیشتر و ویژه درحال‌افزایش است. نتایج نشان داد در پانل‌های ساندویچی ساخته شده، با افزایش جرم مخصوص پلی‌استایرن مغزی، خواص مکانیکی افزایش و جذب آب 2 و 24 ساعت کاهش یافته است. این نتایج و خواص مکانیکی و فیزیکی ذاتی پلی‌استایرن مغزی (عایق صوت و حرارت و غیره) نشان می‌دهد که این پانل‌های ساندویچی می‌توانند به‌عنوان مواد یا مصالح ساختمانی برای ساخت درهای داخلی، دیواره‌های جداکننده (پارتیشن‌بندی)، دیواره‌های ساندویچی پیش‌ساخته، پوشش دیواره‌های مشترک و غیره در کاربردهای داخلی ساختمان‌ها (مسکونی، اداری و تجاری) استفاده شوند. طبق نتایج این پژوهش، پانل‌های ساندویچی ساخته‌شده می‌توانند برای پانل‌های دکوراتیو داخلی و مبلمان سبک قابل‌استفاده باشند.

همچنین نتایج نشان داد استفاده از فوم پلی‌استایرن به‌عنوان مغزی غیرچوبی در ساخت پانل‌های ساندویچی چوبی، می‌تواند به حفظ منابع طبیعی و محیط‌زیست و همچنین به تأمین مواد اولیه صنایع چوب و مبلمان کمک کند.

5- مراجع

- [1] Anderson, E., Lux, B., "Potential Applications of Composite Materials and Associated Technology in Developing Countries," Translated to Persian by Dorodiani, S., Technology and Application of Multi-structure Materials (Composites), Academic Publication Center, Tehran, p.126, 1994.
- [2] Saffari, M., Jabbari, M., Najafi, A., Tatari, A., Ghaffari, M., "The Effect of Face and Adhesive Types on Mechanical Properties of Sandwich Panels Made from Honeycomb Paper," In Persian,

تأثیرگذاری جرم مخصوص مغزی بر این خواص را تغییر نمی‌دهد و هر دو عامل به صورت مستقل عمل می‌کنند. همچنین در آزمایش فشاری عمود بر سطح، به دلیل ضخامت بالای مغزی (30 میلی‌متر) نسبت به رویه (3 میلی‌متر)، رفتار فشاری پانل به‌طور عمده توسط صلبیت فوم تعیین می‌شود و نوع روکش نازک رویه 3 میلی‌متری نمی‌تواند خیلی تغییر شگرفی در اثر متقابل ایجاد کند.

این پانل‌های ساندویچی ساخته شده دارای مزایا و کاربردهای مختلفی در صنایع چوب و ساختمان هستند. از نظر هزینه نیز، رویه‌ها، فوم‌های پلی‌استایرن و چسب مصرفی قیمت مناسبی دارند، اما استفاده از روکش طبیعی راش و فرابند پرس گرم می‌تواند هزینه تولید را افزایش دهد که آن هم می‌تواند به دلیل کاهش زمان تولید و کاهش مصرف مواد چوبی بسیار زیاد و گران‌قیمت، جبران شده و حتی مقرون‌به‌صرفه نیز باشد. مزیت سبک‌سازی پانل ساندویچی و همچنین کاهش و جایگزینی مواد چوبی در این پانل‌ها، برای صنایع چوب و ساختمان نیز با توجه به منابع جنگلی محدود کشور و از طرف‌دیگر مشکلات و هزینه‌ی بالای واردات چوب و فرآورده‌های چوبی بسیار مهم است. همچنین با بررسی اثر انواع روکش‌های طبیعی و مصنوعی جدید می‌توان ترکیب مناسب را انتخاب کرده و از این پانل‌ها به‌طور کاربردی‌تر استفاده کرد.

با این حال، در هنگام کاربردهای بیرونی یا محیط‌های مرطوب برخی محدودیت‌های عملی برای این نوع پانل‌های ساندویچی وجود دارد: اول اینکه جذب آب بالا در روکش طبیعی راش یک نقطه ضعف اساسی برای محیط‌های مرطوب است. به همین دلیل بیشتر از آن در محیط‌های داخلی استفاده می‌شود و در صورت استفاده از آن در محیط‌های مرطوب نیاز به پوشش‌ها یا رنگ‌های مقاوم به رطوبت به‌جای پوشش‌ها و رنگ‌های مرسوم دارد. البته می‌توان از پانل ساندویچی با رویه دارای روکش مصنوعی نیز استفاده کرد. دوم، استفاده از چسب پلی‌وینیل استات که یک چسب ترموپلاستیک است، پانل را در برابر رطوبت (با تأثیر بر فصل مشترک رویه و مغزی) و بارهای مداوم (خزش) ضعیف می‌کند. البته با توجه به نوع کاربرد پانل ساندویچی می‌توان در ساخت آن از چسب‌های قوی‌تر و مقاوم به رطوبت و غیره استفاده کرد. سوم تخریب حرارتی پلی‌استایرن در دمای پایین و اشتعال‌پذیری بالای آن است.

4- نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف بررسی اثر روکش رویه و جرم مخصوص مغزی پانل ساندویچی چوبی بر خواص فیزیکی و مکانیکی آن انجام شد. نتایج نشان داد اثر مستقل عوامل متغیر بر خواص فیزیکی و مکانیکی پانل‌های ساندویچی ساخته شده در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار است. همچنین نتایج نشان داد اثر متقابل عوامل متغیر بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار است؛ ولی اثر متقابل عوامل متغیر بر مقاومت فشاری (عمود بر سطح)، مقاومت به ضربه و جذب آب 2 و 24 ساعت غوطه‌وری در آب پانل ساندویچی معنی‌دار نیست.

طبق نتایج حاصله، اثر مستقل نوع روکش رویه بر خواص مکانیکی مورد بررسی نشان می‌دهد، تخته فیبر 3 میلی‌متری با روکش طبیعی دارای بیشترین مقادیر نسبت به دیگر رویه‌ها است؛ همچنین تخته فیبر 3 میلی‌متری با روکش طبیعی، دارای بیشترین جذب آب 2 و 24 ساعت و تخته فیبر 3 میلی‌متری با روکش مصنوعی دارای کمترین جذب آب 2 و 24 ساعت است. علاوه‌براین اثر مستقل جرم مخصوص مغزی بر خواص فیزیکی و

- Penetration,” *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. 45, No. 5, p. 256, 2023.
- [21] Mohammadi, I., Haghghi-Yazdi, M., Safarabadi, M., Yousefi, A., “Crashworthiness Analysis of A Composite Guardrail Under Impact Loading,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, Vol. 237, No. 7 pp. 1651-1664, 2023.
- [22] Hosseinkhani, M., Ghavami, H., Haghghi-Yazdi, M., Mosavi Mashhadi, M., Safarabadi, M., “Investigation of Viscoelastic Properties in Composite Sandwich Panels Subjected to Low-velocity Impact: Experimental and Numerical Approaches,” *Journal of Sandwich Structures & Materials*, Vol. 25, No. 4, pp. 478-498, 2023.
- [23] Karami, S., Haghghi-Yazdi, M., Safarabadi, M., “Low-Velocity Impact Behavior of 3D-Printed Sandwich Panels with Integrated Composite Face Sheets,” *Advanced Engineering Materials*, Vol. 27, No. 4, pp. 2401923, 2025.
- [24] Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions, Annual Book of ASTM Standard, ASTM C 393-00, 2000.
- [25] Standard Test Method for Flatwise Compressive Properties of Sandwich Cores, Annual Book of ASTM Standard, ASTM C 365-03, 2003.
- [26] Testing of Wood; Determination of Impact Bending Strength (Schlagbiegeversuch; Bestimmung der Bruchschlagarbeit), European Committee for Standardization. DIN 52189-1, 1981.
- [27] Standard Test Method for Water Absorption of Core Materials for Structural Sandwich Constructions, Annual Book of ASTM Standard, ASTM C 272-01, 2001.
- [28] Ayrlimis, N., Candan, Z., Hiziroglu, S., “Physical and Mechanical Properties of Cardboard Panels Made from Used Beverage Carton with Veneer Overlay,” *Materials and Design*, Vol. 29, No.10, pp. 1897-1903, 2008.
- [29] Omrani, P., “Wood Understanding: Structure, Chemistry, Physics and Mechanics of Wood,” In Persian, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, 2017.
- [30] Bahrami, M., Farrokhpayam, S.R., Mansouri, H.R., shamsian, M., saneci, E., karimi, A., “Mechanical Properties of Light Weight Sandwich Panel With Recycled Paper Core,” In Persian, *Forest and Wood Products*, Vol. 73, No. 1, pp. 39-49, 2020.
- [31] Paulius, G. Daiva, L., Marian, O., “Experimental and Numerical Study of Impact Energy Absorption of Safety Important Honeycomb Core Sandwich Structures,” *Materials Science*, Vol. 16, No. 2, pp. 119-123, 2010.
- [32] Wang, D., “Impact Behavior and Energy Absorption of Paper Honeycomb Sandwich Panels,” *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 36, No. 1, pp. 110-114, 2009.
- [33] Vinson, J., “The behavior of Sandwich Structures of Isotropic and Composite Materials,” First ed., Technomic Publishing Company, In. Lancaster, 1999.
- [34] Nemati, S., Eskandari Jam, J., beheshty, M. H., “Effect of Rigid Polyurethane Foam Core Density on Flexural and Compressive Properties of Sandwich Panels with Glass/Epoxy Faces,” In Persian, *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, Vol. 23, No. 1, pp. 3-16, 2010.
- [35] Gibson, L. J., Ashby M. F., “Cellular Solids: Structure and Properties,” 2nd ed., Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [36] Mıhlıyanlar, E., Dilmaç, Ş., Güner, A., “Analysis of the Effect of Production Process Parameters and Density of Expanded Polystyrene Insulation Boards on Mechanical Properties and thermal conductivity.” *Materials & Design*, Vol. 29, No. 2, pp. 344-352, 2008.
- [37] Enayati, A. A., “Wood Physics,” 2nd Edition, In Persian, Tehran University Press, 317 p, 2010.
- [38] Omrani, P., Rangavar, H., Rahmati Tula Rud-e Pain, A., “Evaluating the Possibility of Replacing Non-Wood Core in the Make of Wooden Sandwich Panel to Reduce the Consumption of Wood Resources, Preserve the Environment and Human Health,” In Persian, *Environment and Interdisciplinary Development*, Vol. 10, No. 87, pp. 114-126, 2025.
- Iranian Journal of Wood and Paper Industries, Vol. 4, No. 2, pp. 141-152, 2013.
- [3] Nazerian, M., Moazami, V., Mohebbi Gargari, R., “The effect of Core Layer Treatment and Almond Shell Powder Content in The glue Line on The pull off Adhesion of Sandwich Panel,” In Persian, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, Vol. 31, No. 1, pp. 141-153, 2016.
- [4] Mirzapour, N., Yarmohammad-Toski, M., “Experimental Investigation of Dynamic Behavior of Composite Sandwich Panel Using Self-healing Materials under CHARPY Impact and 3-point Bending Destruction,” *Journal of Science and Technology of Composites*, Vol. 4, No. 4, pp. 434-442, 2018.
- [5] Mazinani, M., Rezaei, H., Nikfarjam, M., “Comparison between Theory and Experiment and Balsa Sheet Honeycomb Sandwich Construction with Cerebral Vessels Extremist,” In Persian, 9th Conference on Maritime, Noor Mazandaran Province, p. 13, 2007.
- [6] Castanié, B., Bouvet, C., Ginot, M., “Review of Composite Sandwich Structure in Aeronautic Applications,” *Composites Part C: Open Access I*, article 100004, 2020.
- [7] Chen, Y., Das, R., “A review on Manufacture of Polymeric Foam Cores for Sandwich Structures of Complex Shape in Automotive Applications,” *Journal of Sandwich Structures & Materials*, Vol. 24, No. 1, pp. 789-819, 2022.
- [8] Palomba, G., Epasto, G., Crupi, V., “Lightweight Sandwich Structures for Marine Applications: A review,” *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, Vol. 29, No. 26, pp. 4839-4864, 2022.
- [9] Mohammadabadi, M., Miller, J., Street, J., Kim, Y., Ragon, K., “Wood-based Corrugated Core Sandwich Panels Manufactured Using a Wooden Mold,” *BioResources*, Vol. 18, No. 2, p. 3033-3043, 2023
- [10] Bahrami, M., “Fabrication of lightweight sandwich panel with compressed Porous core layer of newspaper,” MSc thesis, Zabol University, Iran, 2015.
- [11] Khatibi, M.A., Rahimi, H., “Fabrication Process and an Investigation of Properties of Thermoplastic Honeycomb Sandwich Panels,” In Persian, *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, Vol. 17, N.6, pp. 345-351, 2004.
- [12] Chen, Z., Yan, N., Deng, J., Smith, G., “Flexural Creep Behavior of Sandwich Panels Containing Kraft Paper Honeycomb Core and Wood Composite Skins,” *Materials Science and Engineering*, Vol. 528, N. 16, pp. 5621-5626, 2011.
- [13] Wang, H., Ramakrishnan, K., Shankar, K., “Experimental Study of The medium Velocity Impact Response of Sandwich Panels with Different Cores,” *Materials and Design*, Vol. 99, pp. 68-82, 2016.
- [14] Mocian, O.A., Constantinescu, D.M., Indreş, A., “Assessment on Energy Absorption of Foam Core Sandwich Panels Under Low Velocity Impact,” *Macromolecular Symposia*, Vol. 396, No. 1, p. 2000300, 2021.
- [15] Jafarnezhad, S., Shalbafan, A., Luedtke, J., “Effect of The polystyrene Granules Type and Content on The physical and Mechanical Properties of The lightweight Wood-based Panels,” In Persian, *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, Vol. 27, No. 1, pp. 111-125, 2020.
- [16] Rangavar, H., Kargarfard, A., Hamedbazzi, M., “The Effect of Decorative Coatings by mixing of Poly Vinyl Acetate and Urea-Formaldehyde on Physical and Mechanical Properties Particleboard,” In Persian, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, Vol. 30, No. 2, pp. 194-206, 2015.
- [17] Najafi, A., Mosavi mirkolaei, S.T., Kord, B., Besharati far, K., “Study on Flexural Creep Parameters of Overlaid Particleboard by Natural and Melaminated Veneers,” In Persian, *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, Vol. 2, pp. 119-128, 2012.
- [18] Jabbari, M., Tatari, A., Ghafari, M., “Effect of Faces Type and Thickness on Mechanical Properties of Sandwich Panels,” In Persian, *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, Vol. 5, No. 1, pp. 85-92, 2014.
- [19] Montazeri, A., Safarabadi, M., “A Comparative Study on Adding Chopped Kenaf Fibers to the Core of Glass/epoxy Laminates Under Quasi-static Indentation: Experimental and Numerical Approaches,” *Journal of Composite Materials*, Vol. 56, No. 25, pp. 3821-3833, 2022.
- [20] Montazeri, A., Rahmani, A., Safarabadi, M., “Performance and Damage Mechanism Assessment of Sandwich Composites with Glass/kenaf/epoxy Skins and A Novel Core Using Quasi-static