



University of Tehran

Feasibility study of manufacturing chairs from modified date palm laminated timber

Mostafa Maleki Golandouz^{1*} | Ali Bayat Kashkuli² | Hadi Gholamiyan³ |
Hamid Zare Hosseinabadi⁴

1. Corresponding Author, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: maleky.mostafa@gmail.com
2. Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: ali.bayatkashkoli@uoz.ac.ir
3. Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: hadi_gholamiyan@ut.ac.ir
4. Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: hzareah@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 22 February 2025
Revised: 17 April 2025
Accepted: 14 May 2025
Published online: 17 June 2025

Keywords:
Chair,
Date palm,
Laminated plywood,
Thermal modification.

ABSTRACT

Date palm is considered a lignocellulosic material resource in Iran, but due to its unique anatomy and non-woody structure, its properties differ from conventional wood. This study investigated the feasibility of manufacturing an innovative chair using multilayer laminated timber made from date palm trunks. The trunks were processed following ISO 24294 standards, cut into four pieces with a band saw, and sliced into 3.5 mm-thick layers. These layers were thermally modified in an oven at 160 °C for 2 hours. After alignment and gluing, they were pressed at 135 °C with 35 kg/cm² pressure and a target density of 0.8 g/cm³ to produce laminated timber. This material was used to fabricate components such as bases, support brackets, edge and size cuts, chamfers, and tongue-and-groove joints. The finished chair was tested according to EN 12520 (ISIRI 18688), EN 1022 (ISIRI 9184), and EN 1728 (ISIRI 11527) standards using a mechanical testing device. Impacts were applied with a pneumatic jack, and displacement of chair parts was recorded using linear potentiometer sensors. Data collected via data logger indicated that the chair met national and international requirements for strength, durability, and safety. In all nine standardized tests, performance thresholds were properly recorded, and critical stress points were identified, enabling preventive design improvements. This innovative approach demonstrates the potential of modified date palm laminated timber for producing various chair designs.

Cite this article: Maleki Golandouz, M., Bayat Kashkuli, A., Gholamiyan, H., Zare Hosseinabadi, H. (2025). Feasibility study of manufacturing chairs from modified date palm laminated timber. *Journal of Forest and Wood Products*, 78 (1), 77-88.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2025.390591.1339>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2025.390591.1339>



دانشگاه تهران

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۰۵۳۰

سایت نشریه: <https://jfwf.ut.ac.ir>

امکان‌سنجی ساخت صندلی

از الوار لایه‌ای چندسازه نخل خرماي اصلاح شده

مصطفی ملکی گلندوز^{۱*} | علی بیات کشکولی^۲ | هادی غلامیان^۳ | حمید زارع حسین آبادی^۴

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: maleky.mostafa@gmail.com

۲. گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: ali.bayatkashkoli@uozac.ir

۳. گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: hadi_gholamiyan@ut.ac.ir

۴. گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: hzareah@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نخل خرما در ایران جزء منابع مواد لیگنوسلولزی محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر، برای امکان‌سنجی و ساخت صندلی نوآورانه با الوار لایه‌ای چندسازه از نخل خرما استفاده شد. تنه‌های نخل مطابق استاندارد (ISO-۲۴۲۹۴) قطع‌زنی و با اَره نواری به چهار تراش و سپس به لایه‌های با ضخامت ۳/۵ میلی‌متری تبدیل شد. لایه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد با زمان و دمای یکسان در محفظه حرارتی (آون) اصلاح شدند. لایه‌ها جور و چسب‌زنی شدند. برای ساخت الوار لایه‌ای چندسازه از دمای پرس (۱۳۵ درجه سانتی‌گراد)، فشار (۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب)، دانسیته (۰/۸ کیلوگرم بر متر مکعب) استفاده شد. از الوار لایه‌ای چندسازه ساخته شده؛ پایه‌ها، قیده‌های حمایتی، کناره‌بری، اندازه‌بری، کم‌کنی، ساخت اتصال کام و زیانه برای ساخت صندلی انجام شد. صندلی ساخته شده با دستگاه آزمون و براساس استانداردهای EN۱۲۵۲۰ (استاندارد ملی ایران ۱۸۶۸۸)، EN۱۰۲۲ (استاندارد ملی ایران ۹۱۸۴) و EN۱۷۲۸ (استاندارد ملی ایران ۱۱۵۲۷) تست شد و از طریق ضربات با چک پنوماتیکی و ثبت جابجایی عضوهای صندلی با سنسور (پتانسیومتر) خطی انجام شد. نتایج مقایسه داده‌های کمی و کیفی نشان داد، پارامترهای آزمون و الزامات استحکام، دوام و ایمنی صندلی ساخته شده مطابق استانداردهای ملی و بین‌المللی مورد تأیید است. تجزیه و تحلیل داده‌های دیتالاگر، شروع یک ضربه شدید به پشتی صندلی و سیگنال از آستانه در جهت مثبت یا منفی زیاد ثبت شده بود. تمام آزمون‌های نه‌گانه استاندارد ملی ایران بر محل مورد نظر در صندلی و با اعمال نیروی مشخص انجام شد. از این روش نوآورانه جهت ساخت انواع الگوهای صندلی می‌توان استفاده کرد.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲۷

کلیدواژه:

اصلاح حرارتی،

الوار لایه‌ای چندسازه،

صندلی،

نخل خرما.

استناد: ملکی گلندوز؛ مصطفی، بیات کشکولی؛ علی، غلامیان؛ هادی، زارع حسین‌آبادی؛ حمید (۱۴۰۴). امکان‌سنجی ساخت صندلی از الوار لایه‌ای چندسازه نخل خرماي اصلاح شده.

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۷۸ (۱)، ۷۸-۸۸. DOI: <https://10.22059/jfwf.2025.390591.1339>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

<https://doi.org/10.22059/jfwf.2025.390591.1339>



۱. مقدمه

درختان نخل^۱ یک خانواده از گیاهان با صدها گونه است. از لحاظ اقتصادی بیشتر گونه‌های مهم عبارتند از نخل نارگیل^۲، نخل روغن^۳ و نخل خرما^۴ است. نخل خرما یک درخت گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است که در آسیای غربی به‌طور وسیع کشت می‌شود [۱] و یکی از فراوان‌ترین درخت‌ها در سطح کره زمین محسوب می‌شود [۲]. این درختان به‌دلیل فراوانی در مناطق جنوب و جنوب شرقی ایران به‌عنوان یکی از منابع مواد لیگنوسلولزی در تأمین ماده اولیه شناخته می‌شود [۳]. ساختار تنه نخل‌ها از گیاهان تک‌لپه‌ای است و بسیار متمایز از چوب درختان دولپه‌ای است. از طرف دیگر، کیفیت محصولات تولیدی از تنه درختان نخل به‌دلیل ساختار آناتومی و شیمیایی بافت غیرچوبی آن همانند مواد اولیه چوبی نیست [۴]. به‌دلیل این موضوع مهم، جایگزین مناسبی برای چوب تعریف نشده است. با این حال، استفاده از تنه نخل دارای سه چالش اصلی می‌باشد: (۱) تراکم آن از مرز به مرکز و از پایه تا بالای تنه کاهش می‌یابد، (۲) رطوبت بالا (اغلب بیش از حد، ۱۸۰ درصد)، آن‌را بسیار مستعد به حمله قارچ‌ها و حشرات کرده است و (۳) کیفیت ماشین کاری آن مناسب نیست [۵]. با توجه به محدودیت ماده اولیه در کشور جهت تولید مبلمان چوبی، از تنه نخل خرما با رعایت نکات خشک‌کردن و استفاده از اتصالات مناسب می‌توان استفاده نمود. بافت تنه نخل خرما به‌عنوان ماده طبیعی جهت افزایش استحکام این ماده در راستای کاربرد وسیع‌تر در مبلمان منزل مورد بررسی قرار می‌گیرد [۶]. در پژوهشی، امکان طراحی و ساخت میز و صندلی خراطی شده استاندارد با استفاده از تنه نخل خرما جهت استفاده در صنعت مبلمان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مطالعات زبری‌سنج نشان داد، قابلیت پرداخت سطح بافت تنه نخل وجود دارد و با افزایش شماره سنباده، میزان زبری سطح کاهش می‌یابد، بنابراین می‌توان گفت، از تنه نخل خرما می‌توان در ساخت مبلمان استفاده نمود. براساس این نتایج، از قابلیت ابزارخوری و پرداخت بافت تنه نخل می‌توان نتیجه‌گیری نمود که با وجود الیاف درهم تنیده و فیبری بودن سطح نخل، قابلیت تغییر شکل در آن وجود دارد و امکان ایجاد طرح‌ها و پروفیل‌های مختلفی بر سطح آن عملیاتی می‌باشد [۶]. مقایسه مطالعات انجام‌شده محققان بر روی خصوصیات مهندسی و کاربردهای نخل‌خرما، بیانگر ظرفیت و پتانسیل این ماده ارزشمند است. از طرفی محققین با روش‌های مختلف و بکارگیری مواد اولیه چوبی، فرآورده‌های مهندسی شده می‌سازند. در یکی از این روش‌ها گزارش شده است که اصلاح حرارتی چوب نخل باعث بهبود خصوصیات کاربردی آن شده و می‌تواند از آن به‌عنوان یک روش اصلاحی سازگار با محیط‌زیست برای قابل استفاده نمودن نخل خرما در صنعت مبلمان، بهره برد [۷]. بنابراین عملیات حرارتی بر روی خصوصیات چوب مانند ثبات رنگ، ثبات ابعادی، مکانیکی استحکام و دوام در برابر موریانه‌ها و قارچ‌ها و همچنین پتانسیل آن برای استفاده در ساخت و مصالح ساختمانی، جوانب مثبت و منفی مورد بحث قرار گرفته است و یک فناوری تجاری برای بهبود پایداری و دوام چوب است [۸]. در پژوهشی دیگر، با استفاده از رشته‌های بلند و چسب و پرس، تخته‌هایی با خواص بهبود یافته نسبت به چوب خام اولیه تولید شده است و بدین طریق، ارزش افزوده محصول، کاربرد و کارایی آن را افزایش داده‌اند [۹]. از ضایعات روکش و لایه‌های چوبی می‌توان فرآورده مهندسی شده با خواص فیزیکی و مکانیکی در حد استاندارد تولید نمود و از آن در ساخت صندلی چوبی استاندارد استفاده کرد [۱۰]. صندلی یکی از پرکاربردترین فرآورده‌های صنعت مبلمان در زندگی روزمره است که استفاده از آن‌را می‌توان در بخش‌های مختلف اعم از منازل، محیط‌های اداری، مدارس و دیگر اماکن مشاهده نمود. در طراحی فیزیکی صندلی از علم ارگونومی و برای پیش‌بینی استحکام اجزاء و اتصالات آن از اصول طراحی مهندسی استفاده می‌گردد [۱۱]. مصرف‌کنندگان مبلمان ترجیح می‌دهند ضمن توجه به زیبایی از محکم‌ترین و با دوام‌ترین نوع مبلمان استفاده نمایند. در این راستا، توجه به استحکام و دوام مبلمان در کنار زیبایی و کارایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱۲]. بنابراین براساس نوع مصرف و برای رفع عیب و افزایش کارایی مواد مصرفی، می‌توان از روش‌های اصلاحی کمک گرفت [۱۳]. بنابراین می‌توان از الوار لایه‌ای چندسازه، یک ماده ایده‌آل برای سازه‌های چوبی استفاده مفید کرد [۱۴]. این روش، یکی از برترین‌ها و پیشرفت‌های فنی مهم در تولید محصولات چوبی مهندسی شده است [۱۵]. به بیان دیگر، رشد روز افزون نیازها باعث شده است، محصولات ساخته شده با ارزش افزوده بالا، افزایش یابد. با این وضعیت، نخل خرما در آینده به‌دلیل ظرفیت بازیافت،

^۱ Arecaceae^۲ *Cocos nucifera*^۳ *Elaeis guineensis*^۴ *Phoenix dactylifera*

فراوانی و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاص، مورد توجه علاقمندان خواهد بود. برای این منظور، نویسندگان برای دستیابی به طراحی و ساخت صندلی از الوار لایه‌ای چندسازه تنه نخل خرما اصلاح شده، استفاده کردند. این صندلی ساخته شده از الوار لایه‌ای چندسازه نخل خرما اصلاح شده سرآغازی نوآورانه در صنعت چوب محسوب می‌شود. بنابراین تحقیق و توسعه برای اشاعه و معرفی چشم‌انداز صنعت چوب، امروزه در درجه اول با پردازش و ارزیابی سریع و مؤثر داده‌ها هدایت می‌شود [۱۶]. از این‌رو، دسترسی به داده‌های مناسب نیازمند تکنیک‌های جدیدی برای تجزیه و تحلیل در قالب برنامه‌های مفید نوآورانه و موفق در صنعت چوب است. به‌طور کلی، این روش مسیر امیدوارکننده‌ای برای تصمیم‌گیری آگاهانه در حوزه صنعت چوب پیشنهاد می‌کند.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. مواد

چهار قطعه نخل خرماي خشک شده از استان سیستان و بلوچستان شهر زابل تهیه و قطع شد. مطابق استاندارد (ISO-۲۴۲۹۴)، تنه‌ها در امتداد تنه به چهار قسمت بریده شدند. تنه‌های نخل به طول‌های دو متری قطع‌زنی شدند. سپس، به طول ۶۰ سانتی‌متر قطع‌زنی و به تخته‌های کوچک به ابعاد $۶۰ \times ۲۰ \times ۱۵$ سانتی‌متر اهر شدند. علاوه بر این، نمونه‌ها از موقعیت‌های مختلف در امتداد مقاطع عرضی (نزدیک پوست و قسمت مغز تنه به‌صورت تصادفی) و در ارتفاعات مختلف درون تنه (ارتفاع برابر سینه $۱/۲$ تا ۳ متر) و قطر حدود ۴۵ سانتی‌متر با سن حدود ۲۵ ساله تهیه شد. دانسیته نمونه نخل خرما، $۰/۶۳$ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین گردید. تخته‌های برش داده شده جهت رسیدن به رطوبت متعادل محیط در فضای سربسته کارگاه برش چوب، نگهداری شد.

۲-۲. روش‌ها

۲-۲-۱. برش و آماده‌سازی لایه‌ها از تنه نخل خرما

تنه نخل خرما بر اساس استاندارد ISO-۴۴۷۱ قطع و به چهار تراش تبدیل شد. با توجه به تأثیر ویژگی‌های زبری سطحی (آرایش نسبتاً نامنظم دسته‌های آوندی در توده پارانشیم) و چسبندگی لایه‌ها، از اره نواری (قطر فلکه ۸۰ سانتی‌متر) برای برش کاری استفاده شد. آزمایش و مراحل اجرای تحقیقات و نحوه لایه‌گیری از تنه نخل خرما در کارگاه فرآورده‌های مرکب گروه صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران انجام شد. برای تبدیل تنه نخل خرما به لایه‌های نازک از دستگاه اره نواری همان‌طور که در (شکل ۱- بخش ۴) مشاهده می‌شود، با حداکثر دقت صورت گرفت. جهت بررسی بیشتر لایه‌ها ابتدا ضخامت لایه‌ها در دو انتها و وسط آنها اندازه‌گیری شد. نوساناتی در ضخامت لایه‌ها مشاهده شد، که تا مقدار $۰/۰۵$ میلی‌متر قابل قبول است. تنه نخل خرما بعد از خشک کردن و تبدیل به چهار تراش، به لایه‌های $۳/۵$ میلی‌متر تبدیل شد و سپس به مدت یک ماه در محیط کارگاه و آزمایشگاه دسته‌بندی و نگهداری شد. این مرحله به‌منظور کاهش رطوبت لایه‌ها تا حد رطوبت تعادل با محیط آزمایشگاه بود. قبل از تیمار حرارتی، در اتاق کلیما (رطوبت ۶۵ ± ۳ درصد و دمای ۲۰ ± ۲ سانتی‌گراد) به مدت دو هفته نگهداری شدند.

۲-۲-۲. اصلاح حرارتی

لایه نخل خرما، قبل از اصلاح حرارتی در اتاق کلیما (رطوبت ۶۵ ± ۳ درصد و دمای ۲۰ ± ۲ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شد. اصلاح حرارتی در دو مرحله انجام شد: (۱) خشک کردن نخل خرما در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت طبق استاندارد (ISO ۱۳۰۶۱-۱) و (ISO ۱۳۰۶۱-۲). انجام شد و (۲) اصلاح حرارتی از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تا دمای نهایی با سرعت $۱/۳$ درجه سانتی‌گراد در دقیقه، انجام شد. لایه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد در محفظه حرارتی (آون) اصلاح شدند [۷]. این وضعیت با حفظ دما و زمان یکسان در آزمایشگاه انجام شد. مرحله نهایی، کاستن حرارت بود. پس از آن، زمانی که دمای آون به ۴۰ درجه سانتی‌گراد رسید، نمونه‌ها خارج شد. تغییرات دانسیته به دلیل اصلاح حرارتی نخل خرما در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، با میانگین $۰/۶۸$ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. پس از اصلاح حرارتی، تمام نمونه‌های تنه نخل خرما در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد، آماده شد.

۲-۲-۳. پرس و ساخت الوار لایه‌ای چندسازه

لایه نخل خرما با ضخامت یکسان و به موازات جهت دسته‌های آوندی به صورت مجموعه‌ای، بر روی هم، توسط قلم‌مو، با چسب اوره فرم الدهید، کاتالیزور مصرفی (نمک آمونیوم کلراید) به یک طرف لایه‌ها اعمال شد. تنظیم ضخامت الوار لایه‌ای چندسازه با استفاده از شابلون آهنی به ضخامت ۲/۴ میلی‌متر انتخاب شد. مشخصات ساخت الوار لایه‌ای چند سازه در جدول یک مشاهده می‌شود. الوار لایه‌ای چند سازه حاصله بعد از پرس به رطوبت تعادل محیط رسید. رطوبت نهایی محصول (۵ الی ۸ درصد) تعیین و انجام شد. همان‌طور که در (شکل ۱ بخش ۵) مشاهده می‌شود، لایه نخل خرما، الوار لایه‌ای چندسازه بعد از پرس گرم (شکل ۱ بخش ۶) و قطعات اندازه بری (شکل ۱ بخش ۷) برای ساخت صندلی تهیه و آماده شد.

جدول ۱. مشخصات ساخت الوار لایه‌ای چندسازه

پارامتر	واحد	مقدار
دمای پرس	(درجه سانتی‌گراد)	۱۳۵
زمان پرس	(دقیقه)	۱۰
چسب مصرفی اوره فرم‌آلدهید	گرم بر متر مربع	۲۴۰
حداکثر فشار پرس	(کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	۳۵
ضخامت هر لایه	میلی‌متر	۳/۵
ضخامت الوار لایه‌ای	سانتی‌متر	۲/۴
تعداد لایه برای هر تخته	لایه	۷
دانسیته تخته لایه	گرم بر سانتی‌متر مکعب	۰/۸



شکل ۱. قطع نخل خرما خشک (۱)، اندازه بری با اهر زنجیری (۲)، تبدیل نخل خرما به چهار تراش (۳)، لایه‌گیری به اهر نواری (۴)، لایه‌های آماده جهت اصلاح حرارتی (۵)، ساخت الوار لایه‌ای چند سازه از نخل خرما با پرس گرم (۶)، اندازه بری و آماده‌سازی قطعات صندلی (۷)، ساخت اتصالات (۸).

۲-۲-۴. ساخت صندلی با الوار لایه‌ای چندسازه

تمام قطعات استفاده شده برای صندلی از لایه‌های چوب نخل خرما اصلاح حرارتی شده تهیه شد. الوار لایه‌ای چندسازه کناره بری، اندازه بری، کم کنی و ساختن اتصال کام و زبانه [۱۷]. برای ابعاد پایه‌ها و قیده‌های صندلی، استاندارد (۱۰ و ۹۶۹۷) انجام شد. ضخامت الوار لایه‌ای ۲۴، عرض ۶۰ و ارتفاع ۱۱۰ میلی‌متر از الوار لایه‌ای چندسازه آماده شد. اتصالات و قیده‌های عقبی، جلویی و جانبی زیرین (حمایتی)، ۲۵×۳۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین، ابعاد کف صندلی، ۴۵۰×۴۵۰×۱۰ میلی‌متر از الوار لایه‌ای چندسازه اصلاحی ساخته شد. در شکل ۲، قطعات همراه با اتصالات مورد استفاده و پرسپکتیو صندلی اصلاح شده نهایی قابل

مشاهده است. برای چسباندن قطعات اتصال ساخته شده، از چسب سفید نجاری (پلی‌وینیل استات، PVA) استفاده شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود صندلی مونتاژ شد (شکل ۲ ب). بر روی صندلی نهایی، مراحل رنگ‌کاری کامل، نظیر سنباده زنی (زبر و نرم) با رنگ‌های پوششی شفاف، سیلر، کیلر و از نیم پلی‌استر به‌عنوان رنگ نهایی (شکل ۲ الف) پاشیده شد.



شکل ۲. الف) صندلی نهایی، ب) صندلی مونتاژ شده و ج) قطعات صندلی قبل از مونتاژ

۲-۲-۵. دستگاه (دیتالاگر) و سنسور خطی

جهت ثبت میزان ضربه و جابجایی عضوهای صندلی، از یک سنسور (پتانسیومتر) جابجایی خطی (شکل ۳) و برخی از مشخصات فنی آن طبق (جدول ۲) استفاده شد. از این سنسور برای ثبت داده‌های کمی جهت مقایسه با داده‌های کیفی آزمون صندلی انتخاب شد. همچنین برای ثبت داده‌ها، از دیتا لاگر (مدل SDL-16) دارای ۱۶ کانال ورودی متصل به کامپیوتر، با تعداد ۱۰۰ نمونه در ثانیه، دقت اندازه‌گیری ۰/۰۰۵ درصد و درجه تفکیک ($F.S \pm 1/32000$) استفاده شد. همان‌طور که در (شکل ۳) مشاهده می‌شود، سیستم ترکیبی طراحی شده نویسندگان در محل، مورد آزمون و کنار دستگاه تست صندلی در اتاق آزمون مستقر و آماده شد. برای نمونه‌برداری، روش شروع کار، مدت زمان نمونه‌برداری، روش متوقف کردن دیتالاگر و واحد اندازه‌گیری، سنسور ورودی، صفر کردن (Zero)، کالیبره نرم‌افزاری دقیق قسمت مانیتور مشاهده می‌شود (شکل ۳). اعمال ضربه جک به عضوهای صندلی و سنسور برای ثبت داده‌ها انجام و توسط دستگاه دیتالاگر خوانده و سپس به حافظه کامپیوتر منتقل شد.



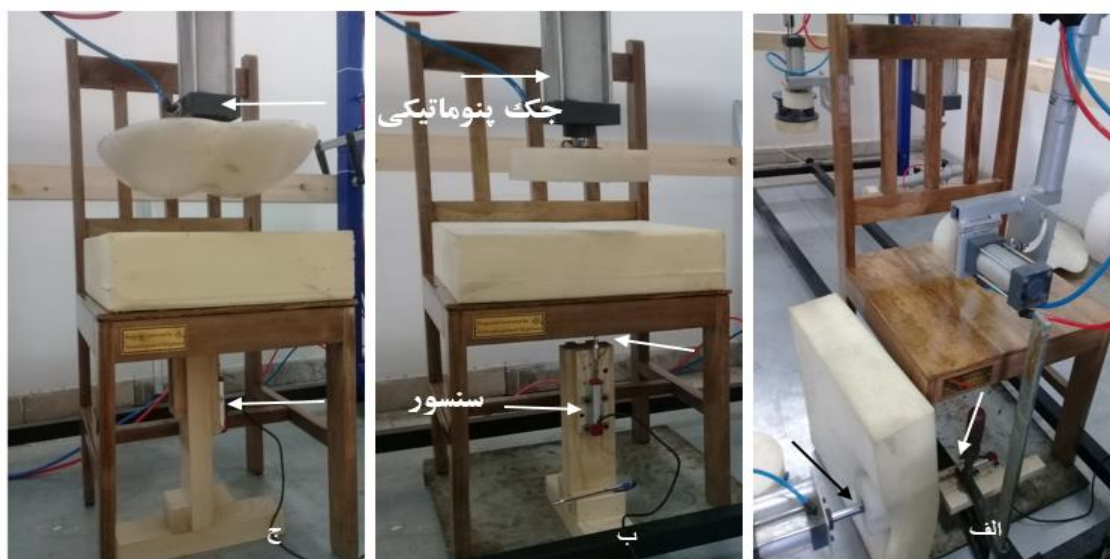
شکل ۳. دستگاه دیتا لاگر و دستگاه تست صندلی در اتاق تست و سنسور خطی (پتانسیومتر)

جدول ۲. مشخصات فنی سنسور خطی (پتانسیومتر)

مدل	کابل	خروجی مقاومت (کیلو اهم)	میزان خطی بودن (درصد)	کورس اندازه گیری	قطر بدنه (میلی متر)
SPLS	کابل ۱/۵ متری	۱۰ کیلو اهم	$\pm 0.05\%$ D: (استاندارد)	۱۰ الی ۱۰۰ میلی متر	۱۸

۲-۲-۶. نحوه بارگذاری آزمون‌های کیفی

جهت بررسی و آنالیز مقاومت‌های صندلی ساخته‌شده الوار لایه‌ای چندسازه از تنه نخل خرما اصلاح شده، از دستگاه آزمون میلمان (ساخت شرکت نیکان اندیش) براساس استانداردهای EN۱۲۵۲۰ (استاندارد ملی ۱۸۶۸۸)، EN۱۰۲۲ (استاندارد ملی ۹۱۸۴) و EN۱۷۲۸ (استاندارد ملی ۱۱۵۲۷) استفاده شد. این مطالعه، به بررسی مقاومت عضوهای صندلی و تحلیل داده‌های کمی فشار و جابجایی با استفاده از سنسور مطابق شکل ۴ انجام شد. آزمون‌های کیفی الزامی استحکام، دوام و ایمنی، مطابق آنچه در (جدول ۳) ذکر شده در بخش‌های مختلف صندلی ساخته شده با الوار لایه‌ای چند سازه، طبق استاندارد ۹۱۸۴ انجام شد. این آزمون‌ها شامل، پایداری صندلی نسبت به نیروی به سمت جلو، سمت طرفین و سمت عقب، دوام نشیمنگاه و پشتی صندلی، دوام لبه جلوی، نشیمنگاه صندلی، بارگذاری و ضربه به قسمت‌های تعیین شده در این استاندارد بر روی صندلی انجام شد (جدول ۳). در هر قسمت از آزمون، عضوهای مورد نظر صندلی با طراحی و نصب سنسور (پتانسیومتر خطی)، انجام شد (شکل ۴ الف). در طول آزمون، میزان ضربه و اعمال نیرو به وسیله جک‌های پنوماتیکی دستگاه آزمون به هر یک از عضوهای صندلی، ده مرتبه تکرار با فاصله‌های حدود هر یک دقیقه انجام شد (جدول ۳). این حالت، در محل برخورد سنسور در نقطه صفر (نوک سنسور با عضو) صندلی ثابت جهت انتقال صحیح داده‌ها محکم نصب شد. نیروهای اعمال شده به صندلی از طریق کابل سیگنال به واحد پردازش سیگنال (دیتا لاگر) منتقل و در کامپیوتر ثبت شد (شکل ۴).



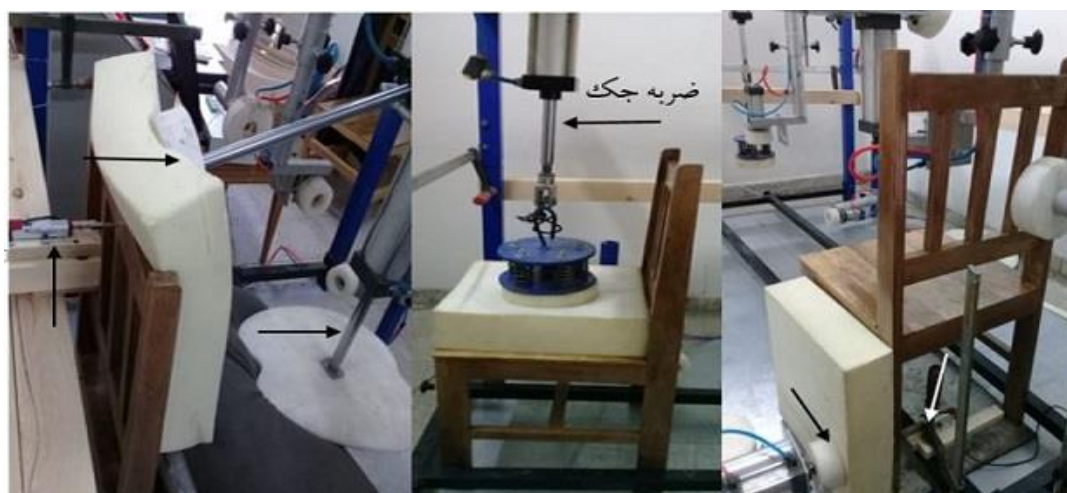
شکل ۴. نحوه طراحی سنسور برای ثبت با دیتالاگر جهت آزمون بارگذاری صندلی

صندلی مورد نظر از ۲۴ ساعت قبل در محیط و اتاق آزمون میلمان قرار گرفت. ارزیابی استاندارد به صورت کیفی، مشاهده ظاهری محل اتصالات، دوام و ایستایی سازه (صندلی) صورت پذیرفت. از استاندارد ۱۱۵۲۷ برای آزمون صندلی‌ها براساس مدل بارگذاری مرحله‌ای انجام شد (شکل ۵). تمامی آزمون‌ها، در شرایط محیطی فضاهای سر بسته و در دمای ۲۳ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. مطابق جدول ۲، دوام بارگذاری به مدت حداقل 2 ± 1 ثانیه و فاصله هر بارگذاری ایستایی، حداقل 2 ± 10 ثانیه تعیین شد. تمام زوایا، با دقت ± 2 درجه و موقعیت صفحه بارگذاری و صفحه ضربه با دقت ۵ میلی متر انجام شد. اعمال نیروها به آرامی و بدون ایجاد گرما با استفاده از بالشک‌های اسفنجی ۱۰ سانتی متری کمکی مخصوص هر آزمون انجام شد (شکل ۴ الف).

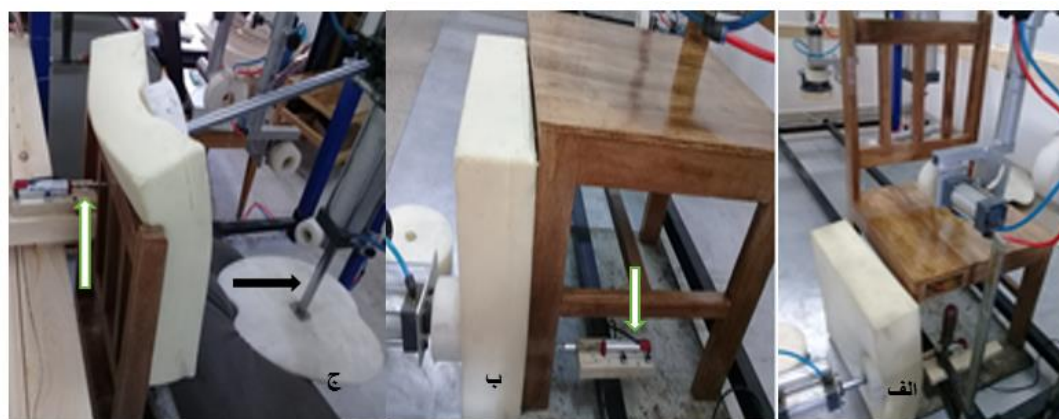
جدول ۳. آزمون‌های استاندارد ارزیابی آزمون صندلی از الوار لایه‌ای چندسازه (بر اساس استاندارد EN ۱۸۶۸۸ و ۹۱۸۴ و ۱۱۵۲۷)

آزمون	مرجع	شاخص‌های آزمون		
		محل اعمال نیرو	نیرو-N	تعداد
آزمون بارگذاری ایستایی نشیمنگاه و پشتی	بند ۶-۲ و ۶-۳ استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۵۲۷	وسط نشیمنگاه	۱۳۰۰	
		پشتی	۴۵۰	۱۰
آزمون بارگذاری ایستایی لبه جلویی نشیمنگاه	بند ۶-۲ استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۵۲۷	لبه جلویی نشیمنگاه	۱۳۰۰	۱۰
آزمون خستگی نشیمنگاه و پشتی	بند ۶-۷ و ۶-۹ استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۵۲۷	نشیمنگاه	۱۰۰۰	۲۵۰۰۰
		پشتی	۳۰۰	
آزمون خستگی لبه جلویی نشیمنگاه	بند ۶-۸ استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۵۲۷	لبه جلویی نشیمنگاه	۸۰۰	۲۰۰۰۰
آزمون بارگذاری ایستایی به سمت جلو برای پایه	بند ۶-۱۲ استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۵۲۷	نیرو به سمت پایین	۴۰۰	
		نیرو به سمت جلو	۱۰۰۰	۱۰
آزمون بارگذاری ایستایی به طرفین برای پایه	بند ۶-۱۲ استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۵۲۷	نیرو به سمت پایین	۳۰۰	
		نیرو به سمت جلو	۱۰۰۰	۱۰
آزمون ضربه به نشیمنگاه	بند ۶-۱۵ استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۵۲۷	ارتفاع سقوط (میلیمتر)	۱۸۰	۱۰
آزمون افتادن به سمت پشت a	پیوست الف ۱- استاندارد ملی ایران به شماره ۱۸۶۸۸	ضربه به پشتی در اثر افتادن		۵
آزمون ضربه به پشتی	بند ۶-۱۶ استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۵۲۷	ارتفاع و زاویه ضربه (میلی/متر/درجه)	۱۲۰/۲۸	۱۰
		میلیمتر		

a- این آزمون فقط برای نشیمنگاه یک نفره‌ای انجام می‌گیرد که در آن پشتی اولین قسمت سازه در برخورد با سطح زمین است و نیروی استفاده‌شده برای واژگونی به سمت عقب کمتر از ۳۹ نیوتن است.



شکل ۵. نحوه طراحی اعمال نیرو از طریق جک‌های پنوماتیکی و ثبت میزان جابجایی با سنسور



شکل ۶. نحوه طراحی اعمال نیرو از طریق جک‌های پنوماتیکی

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳-۱. آزمون کیفی صندلی از الوار لایه‌ای چند سازه

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، نتایج آزمون‌های استاندارد کیفی ارزیابی صندلی از الوار لایه‌ای چندسازه نشان داده شده است. نتایج نشان داد، اصلاح حرارتی قطعه‌های نخل خرما و استفاده از آن به‌صورت الوار لایه‌ای چندسازه به‌عنوان اجزای تشکیل‌دهنده صندلی مدرن صنعت چوب امکان‌پذیر است. یکی از بخش‌های اصلی و مهم هر سازه چوبی، مقاومت مصالح هر کدام از عضوهای هر سازه است [۱۸]. در شکل‌های ۵ و ۶ آزمون‌های بارگذاری به‌صورت ایستایی نشیمنگاه و پشتی، بارگذاری ایستایی لبه جلویی نشیمنگاه، خستگی لبه جلویی نشیمنگاه، بارگذاری ایستایی به‌سمت جلو برای پایه، بارگذاری ایستایی به‌طرفین برای پایه، ضربه به نشیمنگاه، آزمون ضربه به پشتی و افتادن به‌سمت پشت نشان داده شده است. تفسیر نتایج آزمون‌های کیفی صندلی نشان می‌دهد که فرآیند طراحی و ساخت صندلی از الوار لایه‌ای چند سازه نخل خرما دارای کیفیت لازم می‌باشد (جدول ۳). بر این اساس، بیشتر این آزمون‌ها برای مشخص کردن ویژگی‌های مقاومتی و کارایی مبلمان با توجه به انتظار مصرف‌کننده انجام می‌شود. با انجام این آزمون‌ها و مشخص کردن قسمت ضعیف عضو، می‌توان در طراحی و ساخت تجدید نظر کرد. در نتیجه مبلمان با کارایی بهتری تولید کرد [۱۹].

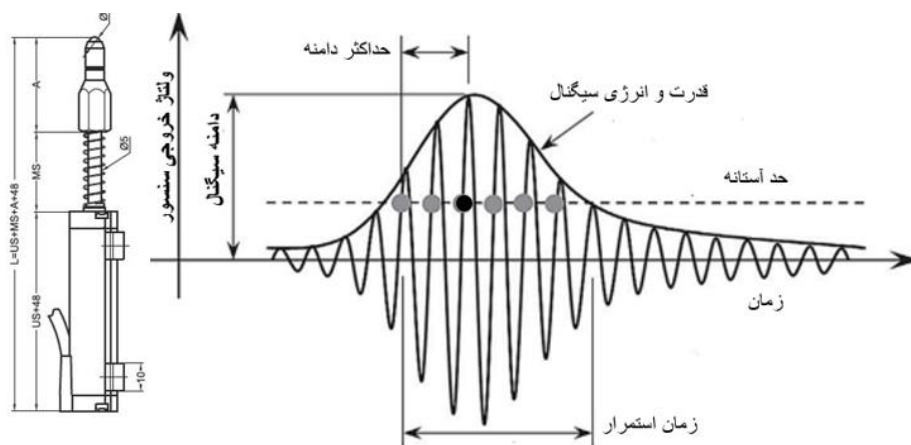
نتایج ارزیابی تجزیه و تحلیل سیگنال شناسایی شده در آزمون‌های ۹ گانه نشان داد، مقادیر بحرانی در آزمون‌های کمی صندلی مشاهده نشد (جدول ۳). بنابراین داده‌های کمی آزمون‌ها و پارامترهای سیگنال، معمولی بود. برای هر نوع تجزیه و تحلیل سیگنال، شناسایی آن و اطلاعات قابل توجهی که می‌توان از آن سیگنال استخراج کرد، بسیار مهم است [۲۰]. بنابراین با این روش می‌توان مقاومت و دوام مصرف صندلی را محاسبه و تجزیه و تحلیل نمود. ویژگی‌ها و طبقه‌بندی سیگنال‌های دریافتی (AE) تجزیه و تحلیل [۲۱] و نتایج این آزمون مکانیکی در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که در نمودار آزمون ضربه به پشتی تکیه‌گاه صندلی مشاهده می‌شود، سیگنال (AE) از آستانه در جهت مثبت یا منفی طول موج زیاد ثبت شده است (شکل ۶). این به معنای شروع یک ضربه شدید بود. اولین جابجایی تولید شده نشان‌دهنده آغاز پدیده (ضربه) است. این پالس برای فعال کردن فرآیند اندازه‌گیری سیگنال استفاده می‌شود [۲۲]. محققان با استفاده از این روش پیشرفته (AE)، نظارت بر کارایی چوب و سازه‌های چوبی را در شش گروه سازماندهی کرده‌اند: (۱) نظارت بر ماشین‌کاری چوب (۲) خشک کردن چوب (۳) شکستگی چوب (۴) نظارت بر سلامت ساختار چوب (۵) نظارت بر آلودگی موریانه و (۶) کنترل کیفیت است. برای هر کاربرد، فرصت‌هایی که روش (AE) برای نظارت در محل یا ارزیابی هوشمند مواد مبتنی بر چوب ارائه می‌دهد، مورد بحث قرار می‌گیرد و چالش‌ها و جهت‌گیری برای تحقیقات آینده به‌طور انتقادی ترسیم می‌شوند [۲۳].

جدول ۴. نتایج آزمون‌های استاندارد کیفی ارزیابی صندلی

ردیف	نوع آزمون	نتایج آزمون
۱	آزمون بارگذاری ایستایی نشیمنگاه و پشتی	مطابق استاندارد کیفی تأیید شد.
۲	آزمون بارگذاری ایستایی لبه جلویی نشیمنگاه	مطابق استاندارد کیفی تأیید شد.
۳	آزمون خستگی نشیمنگاه و پشتی	مطابق استاندارد کیفی تأیید شد.
۴	آزمون خستگی لبه جلویی نشیمنگاه	مطابق استاندارد کیفی تأیید شد.
۵	آزمون بارگذاری ایستایی به‌سمت جلو برای پایه	مطابق استاندارد کیفی تأیید شد.
۶	آزمون بارگذاری ایستایی به‌سمت طرفین برای پایه	مطابق استاندارد کیفی تأیید شد.
۷	آزمون ضربه به نشیمنگاه	مطابق استاندارد کیفی تأیید شد.
۸	آزمون افتادن به سمت پشت a	مطابق استاندارد کیفی تأیید شد.
۹	آزمون ضربه به پشتی	مطابق استاندارد کیفی تأیید شد.

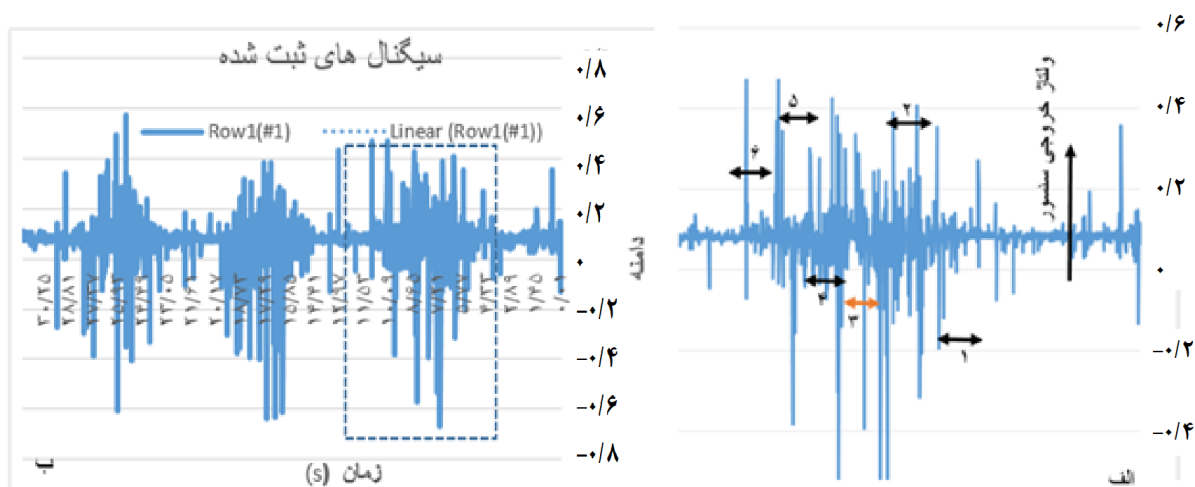
در آزمون ضربه به پشتی، اولین ضربه به سنسور و آخرین مرتبه ضربه به سنسور تفاوت وجود دارد که توسط سنسور تشخیص داده می‌شود [۲۱]. بر این اساس، سیگنال ثبت شده توسط سنسور، پارامتر و ویژگی‌هایی دارد. برخی از پارامترهای آن همان‌طور که در شکل ۷ ترسیم شده، مشاهده می‌شود. در استاندارد ASTM E610-89، حد آستانه همان سطحی از ولتاژ مشاهده می‌شود که

به‌عنوان مرزی جهت دریافت سیگنال با حد پایین مشخص از سطح ولتاژ بیان شده است. زمان سیگنال هم از فاصله زمانی بین اولین گذر از حد آستانه و آخرین گذر، رخ داده است و دامنه سیگنال، بیشینه ولتاژ سیگنال دریافتی است.



شکل ۷. پارامترها و ویژگی‌های یک سیگنال (الف) ثبت شده با سنسور خطی (پتانسیومتر) (ب). [۱۶].

مراحل آزمون با پارامترهای شکل موج مبتنی بر ضربه ثبت شده مشابه است [۲۴]. همان‌طور که در شکل ۸ الف مشاهده می‌شود، در اثر یک ضربه شدید به عضو صندلی و در نتیجه برخورد به نوک سنسور، از قسمت ۱ ثبت شروع شده و در قسمت ۲ افزایش یافته و در قسمت ۳ تشدید می‌شود. با ادامه نوسان سیگنال در بالا و پایین سطح آستانه، مقایسه‌کننده، پالس‌های اضافی تولید می‌کند و مدارهای الکترونیکی به‌طور فعال ویژگی‌های کلیدی سیگنال را اندازه‌گیری می‌کنند [۲۲]. با گذشت زمان، دامنه سیگنال به سطحی کاهش می‌یابد که دیگر از آستانه عبور نمی‌کند. پس از یک زمان از پیش تعیین شده، که زمان تعریف ضربه نامیده می‌شود، هر ضربه بیشتر از مقایسه‌کننده، پایان رویداد را تعیین می‌کند. بنابراین تغییرات دامنه و فرکانس ضربه‌های مختلف جک به عضو مورد نظر صندلی را می‌توان مشاهده نمود. از این‌رو بیشترین کشش را می‌توان در پایه‌های عقب صندلی پیدا کرد. چشم‌انداز صنعت چوب، امروز در نگاه اول با پردازش و ارزیابی مؤثر داده‌ها هدایت می‌شود [۱۶]. بنابراین عضو تکیه‌گاه پشتی صندلی را می‌توان یکی از عوامل کلیدی استحکام و دوام مصرفی صندلی تعریف کرد. در نتیجه در این حالت ممکن است به‌نحوی از احتمال شکست عضو (۳) جلوگیری کرد. همان‌طور که در شکل ۸ ب مشاهده می‌شود، آزمون‌های صندلی و تمام اعضا از جمله، پایه‌ها که دارای اتصال کام و زبانه بودند، نیروی وارد شده جک‌های پنوماتیکی توسط دستگاه، را تحمل کردند.



شکل ۸. پارامترهای شکل موج مبتنی بر هر ضربه به عضو تفکیک شده صندلی

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش، روشی نوآورانه و ساده برای تشخیص میزان جابجایی عضوهای صندلی، تحت بارهای فشاری و ضربه‌های چک پنوماتیکی انجام شده است. ثبت داده‌های کمی با استفاده از سنسور و دیتالاگر صورت گرفته است. نتایج نشان داد، آزمون‌های استاندارد در فرآیند طراحی و ساخت صندلی، به‌طور بالقوه می‌تواند آسیب‌پذیری احتمالی را در عضوهای شناسایی و هرگونه اقداماتی را برای جلوگیری از خرابی انجام دهند و بدین طریق بتوان راه‌حل‌های مناسب پیشنهاد داد. به این ترتیب، می‌توان نقاط ضعف سازه‌های صندلی در معرض نیروهای خارجی فعال را شناسایی و عمل پیشگیرانه مناسب اتخاذ کرد. از طرفی، با رعایت الزامات استحکام، دوام و ایمنی صندلی، مطابق استانداردهای ملی و بین‌المللی، می‌توان عناصر سازه‌های واقعی و عمر مصرفی صندلی را افزایش داد. بنابراین در چشمانداز صنعت چوب و مبلمان، با تحلیل داده‌های کیفی و کمی می‌توان راهکار مفید و نوآورانه و موفق جهت ساخت انواع الگوهای صندلی از الوار لایه‌ای چندسازه چوب نخل خرماي اصلاح شده را توسعه داد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند، از گروه صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران به سبب در اختیار گذاشتن امکانات کارگاه و آزمایشگاه تست مبلمان تشکر و قدردانی نمایند.

۵. منابع

- [1] Adel, A., El-Shafei, A., Ibrahim, A. & Al-Shemy, M. (2018). Extraction of oxidized nanocellulose from date palm (*Phoenix dactylifera* L.) sheath fibers: Influence of CI and CII polymorphs on the properties of chitosan/bionanocomposite films. *Industrial Crops and Products*, 124, 155-165.
- [2] Awad, S., Zhou, Y., Katsou, E., Li, Y. & Fan, M. (2021). A critical review on date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.) fibres and their uses in bio-composites. *Waste and Biomass Valorization*, 12(6), 2853-2887.
- [3] Tengberg, M. (2012). Beginnings and early history of date palm garden cultivation in the Middle East. *Journal of Arid Environments*, 86, 139-147.
- [4] Fathi, L., Bahmani, M., Saadat Nia, M.A., Poursertip, L. & Poursartip, L. (2017). A study on the biometric and mechanical structure of palm tree vascular groups (Case study: Ahvaz city). *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 8(1), 109-118. (In Persian)
- [5] Ratnasingam, J. & Mutthiah, N. (2017). Fatigue life of oil palm wood (OPW) for furniture applications. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75, 473-476.
- [6] Gholamian, H. (2020). Investigating the feasibility of designing and manufacturing standard tables and chairs with palm trunks. *Journal of Iranian Wood and Paper Industries*, 10(4), 575-587. (In Persian)
- [7] Maleki-Galandouz, M., Bayatkashkoli, A., FarrokhPayam, S.R., Hosseini Tabatabai, M.R. & Gholamiyan, H. (2023). The effect of heat treatment on the physical, chemical and anatomical characteristics of date palm wood. *Journal of Wood and Paper Industries of Iran*, 14(2), 1-11. (In Persian)
- [8] He, Z., Wang, Z., Qu, L., Qian, J. & Yi, S. (2019). Modeling and simulation of heat-mass transfer and its application in wood thermal modification. *Results in Physics*, 13, 102213.
- [9] He, M.J., Zhang, J., Li, Z. & Li, M.L. (2016). Production and mechanical performance of Scrimber composite manufactured from poplar wood for structural applications. *Journal of Wood Science*, 62(6), 429-440.
- [10] Arefkhani, M., Zareh Hosseinabadi, H., Akhtari, M. & Mohammadabadi, M. (2024). Investigating the possibility of making a standard chair from scrimber composite obtained from wood veneer waste. *Journal of Forestry and Wood Products*, 77(3), 333-220. (In Persian)
- [11] Singh, D.P., Barani, L.Z., Woodruff, M.A., Parker, T.J., Steck, R. & Peake, J.M. (2017). Design and fabrication of stair case climber for physically challenged person. *Materials and Design Engineering*, 9(2), 175-188.

- [12] Mousavi Hoseyni, S.M.J., Zarea Hosseinabadi, H., Dalvand, M. & Moradpour, P. (2022). Numerical and experimental investigation of stress carrying capacity of reinforced L-shaped corner joints with corner block in wooden chair under diagonal tension. *Journal of Forest and Wood Products*, 75(3), 295-307. (In Persian)
- [13] Hill, C., Altgen, M. & Rautkari, L. (2021). Thermal modification of wood—A review: Chemical changes and hygroscopicity. *Journal of Materials Science*, 56, 6581-6614.
- [14] Chen, G., Yu, Y., Li X. & He, B. (2020). Mechanical behavior of laminated bamboo lumber for structural application: an experimental investigation. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78, 53-63.
- [15] Viguiier, J., Bourgeay, C., Rohumaa, A., Pot, G. & Denaud, L. (2018). An innovative method based on grain angle measurement to sort veneer and predict mechanical properties of beech laminated veneer lumber. *Construction and Building Materials*, 181, 146-155.
- [16] Jeong, H. & Park, W. (2021). Developing and Evaluating a Mixed Sensor Smart Chair System for Real-time Posture Classification: Combining Pressure and Distance sensors. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25(5), 1805-1813.
- [17] Bayatkashkoli, A. & Jamshidzadeh, M. (2014). Comparison of mechanical resistance of wooden chairs made with two types of tongue-and-groove and double-joint designs. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 29(1), 67-78. (In Persian)
- [18] Ebrahimi, Gh. (2009). Engineering Design of Wooden Structures. Tehran University Press.
- [19] Eckelman, C. (1999). Performance testing of side chairs. *Springer-verlag Journal*, 57, 227-234.
- [20] Sandak, J., Sandak, A. & Riggio, M. (2015). Characterization and monitoring of surface weathering on exposed timber structures with multi-sensor approach. *International Journal Architect Herit*, 9(6), 674-688.
- [21] Hiremath, S. & Kim, TW. (2024). Detection of physical signal and time-frequency analysis owing to the impact on rubber material using a piezoelectric sensor. *Journal Mechanical Science Technology*, 38, 2455-2463.
- [22] Mizutani, Y., Inaba, H., Enoki, M., Nakano, M., Shigeishi, M., Yuyama, S., Takeda, S., Shiotani, T. & Mizutani, Y. (2016). Practical Acoustic Emission Testing, Springer: Tokyo, Japan.
- [23] Nasir, V., Ayanleye, S., Kazemirad, S., Sassani, F. & Adamopoulos, S. (2022). Acoustic emission monitoring of wood materials and timber structures: a critical review. *Construction Building Material*, 350, 128877.
- [24] Zhou, Y., Li, L. & Liu, Y. (2023). Clustering analysis of acoustic emission signals in the monitoring of stone monuments: case of the freeze-thaw deterioration of tuffs. *Herit Sciences*, 11, 119.