Karafan
Quarterly Scientific Journal of National University of Skill
Winter 2026, Vol. 22, No. 4, p.531- 553
Journal Homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en
: 10.48301/kssa.2025.502873.3134

Utilization of Lignocellulosic Wastes from Grape and Elaeagnus angustifolia for the Production of Eco-Friendly Particleboard: Evaluation of Physical and Mechanical Properties

Saeed Kamrani[1], Mozhdeh Kakavand[3], Peyman Ahmadi[1], Shadman Pourmosa[4]

[1]Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
[2]Payam Noor University of Qazvin - Expert in the Conservation Department of Qazvin Regional Water Administration, Qazvin, Iran.
[3]Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Research

Received: 10.14.2024
Revised: 11.20.2024
Accepted: 12.09.2024

Keyword:
Grape branches
Elaeagnus angustifolia
Particleboard
Physical and mechanical properties
Urea formaldehyde resin

***Corresponding Author:**
Saeed Kamrani
Email: *mmsd_22@yahoo.com*

ABSTRACT

In order to investigate the effect of the characteristics of grape branches and Elaeagnus angustifolia on the quality of particleboard, in this study, boards with grape branches at a ratio of 0, 15, 30 and 50% with Elaeagnus angustifolia were produced. In this study, urea formaldehyde resin was used in the manufacture of boards under alkaline, acidic and alkaline environmental conditions with an initial molecular ratio of formaldehyde to urea of 1.9 to 1 and a final molecular ratio of 1.3 to 1 and a resin consumption coefficient per board of 11, 9 and 13% and a pressing time of 5 and 7 minutes. The amount of wood chips consumed, resin consumption and pressing time were considered as variable factors in this study and other factors were considered as fixed conditions. The results of this study showed that increasing the grape branch to elder branch ratio by up to 15% increased the bending strength, elastic modulus and internal adhesion compared to boards made from elder branches. In this research, the optimal conditions for producing boards are the use of 15% grape branches, 11% urea formaldehyde glue, and a pressing time of 7 minutes.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The growing limitation of forest resources and the increasing demand for wood-based products have encouraged researchers to explore alternative lignocellulosic materials for the wood industry. Agricultural and orchard residues are among the most promising substitutes because of their abundance, renewability, and low cost. Pruning residues from grapevine and Elaeagnus angustifolia trees are widely available in many orchard regions and often remain underutilized. Utilizing these residues in particleboard production can reduce pressure on forest resources while simultaneously contributing to sustainable waste management in agricultural systems. Therefore, the present study aimed to evaluate the feasibility of using grapevine and Elaeagnus angustifolia pruning residues as raw materials in particleboard manufacturing and to investigate their effects on the physical and mechanical properties of the produced boards.

Materials and Methods

The raw materials used in this study consisted of pruning residues of grapevine and Elaeagnus angustifolia, collected from orchards in the Soli-Dareh region of Ziaabad, Qazvin, Iran. The branches were cut into pieces of approximately 5 cm and then processed into particles using a Pallmann chipper. The particles were dried to about 3% moisture content and stored in sealed containers before board manufacturing. For particle characterization, 100 particles from each group were randomly selected and measured. Urea-formaldehyde (UF) resin was synthesized using an alkaline acid alkaline process with an initial molar ratio of 1.9:1 and a final molar ratio of 1.3:1. The resin was prepared using urea (98%), formalin (42%), sodium hydroxide (98%), and phosphoric acid (85%). Resin properties such as viscosity and gel time were also evaluated. Particleboards were produced using different mixing ratios of grapevine particles (0, 15, 30, and 50%) combined with Elaeagnus angustifolia particles. The resin content was applied at three levels (9%, 11%, and 13%), and hot-pressing time was set at two levels (5 and 7 minutes). The manufactured boards were then tested to evaluate their physical and mechanical properties.

Results and Discussion

The results demonstrated that pruning residues of grapevine and Elaeagnus angustifolia can be effectively utilized as raw materials for particleboard production. The combination of these two lignocellulosic resources showed promising performance in terms of board quality and structural integrity. Among the tested treatments, the boards manufactured with 15% grapevine particles, 11% UF resin, and a pressing time of 7 minutes showed the best overall performance. This treatment provided an optimal balance between mechanical strength and physical stability. The results indicate that a moderate proportion of grapevine particles improves board performance, whereas higher proportions may negatively affect structural characteristics. Additionally, resin content and pressing time were found to play significant roles in determining the bonding quality and overall performance of the particleboards.

Conclusion

The findings of this study confirm that grapevine and Elaeagnus angustifolia pruning residues have significant potential as alternative raw materials for particleboard production. Utilizing these agricultural wastes can reduce reliance on forest wood resources while supporting environmentally sustainable production practices. The optimal manufacturing condition identified in this study was a mixture containing 15% grapevine particles, 11% UF resin, and a pressing time of 7 minutes. Under these conditions, the produced particleboards exhibited desirable physical and mechanical properties. Therefore, incorporating orchard pruning residues into particleboard manufacturing could be a practical and sustainable solution for both the wood industry and agricultural waste management.

کارافن
فصلنامه علمی دانشگاه ملی مهارت
زمستان ۱۴۰۴، دوره ۲۲، شماره ۴، ۵۵۳-۵۳۱
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en
doi: 10.48301/kssa.2025.502873.3134

کاربرد ضایعات لیگنوسلولزی انگور و سنجد در تولید تخته خرده‌چوب سازگار با محیط‌زیست: بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

سعید کامرانی[۱]، مژده کاکاوند[۲]، پیمان احمدی[۱]، شادمان پورموسی[۳]

۱- گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲- کارشناس بخش حفاظت اداره آب منطقه ای قزوین، دانشگاه پیام نور قزوین، قزوین، ایران.
۳- گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج ،ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۲۳
بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰
پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹

کلید واژگان:
سرشاخه‌های انگور
سرشاخه‌های سنجد
تخته خرده چوب
ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی
رزین اوره فرمالدهید.

***نویسنده مسئول:** سعید کامرانی
پست الکترونیکی:
mmsd_22@yahoo.com

چکیده

کمبود منابع چوبی و افزایش تقاضا برای مواد اولیه در صنعت تخته خرده چوب، باعث استفاده از سرشاخه‌های باغی و هرس درختان به‌عنوان یک جایگزین‌های پایدار، شده است. به منظور بررسی تأثیر ویژگی‌های سرشاخه‌های هرس شده درخت انگور و سنجد در کیفیت تخته خرده چوب در این تحقیق تخته‌هایی با سرشاخه‌های انگور با نسبت ۰، ۱۵، ۳۰ و ۵۰ درصد با سرشاخه‌های سنجد تولید گردید. در این تحقیق در ساخت تخته‌ها از رزین اوره فرمالدهید تحت شرایط محیط قلیایی، اسیدی، قلیایی با نسبت مولکولی اولیه فرمالدهید به اوره ۱/۹ به ۱ و نسبت مولکولی پایانی ۱/۳ به ۱ و ضریب مصرف رزین در تخته با میزان ۱۱،۹ و ۱۳ درصد و زمان پرس ۵ و ۷ دقیقه استفاده گردید. میزان مصرف خرده چوب‌ها، مصرف رزین و زمان پرس عوامل متغیر این تحقیق و سایر عوامل به‌عنوان شرایط ثابت در نظر گرفته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش سرشاخه انگور به سرشاخه سنجد تا ۱۵ درصد موجب افزایش مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی در مقایسه با تخته‌های ساخته شده از سرشاخه سنجد می‌گردد. همچنین ترکیب شیمیایی متفاوت انگور و سنجد بر استحکام مکانیکی و پایداری ابعادی تخته‌ها اثرگذار است. در این تحقیق شرایط بهینه برای تولید تخته، استفاده از ۱۵ درصد سرشاخه انگور، ۱۱ درصد چسب اوره فرمالدئید و زمان پرس ۷ دقیقه می باشد.

مقدمه

با توجه به کاهش روزافزون سطح جنگل‌های جهـان، بـه ویژه در کشورهای توسعه نیافته، مواد اولیه صـنایع مختلف سلولزی با چالش‌های از قبیل تأمین و نحوه بهره‌وری مواد همراه می‌باشند. با توجه به آمار، سالانه ۱۲ تا ۱۳ میلیون مترمکعب چوب مورد نیاز صنایع چوب و کاغذسازی است که ۵ تا ۵,۵ میلیون مترمکعب از محل تولید داخل و مابقی با واردات تأمین می‌شود [۱]. از این‌رو تهیه یک برنامه منظم در تهیه و بهره‌وری مناسب از منابع چوبی در اولویت هر سازمان تولیدی قرارگرفته است. این مسئله در کشور ایران با توجه به طرح‌های مختلف و به‌خصوص طرح تنفس جنگل در سال‌های اخیر از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد. این بدان معناست که با توجه به کمبود مواد اولیه بحث توسعه پایدار از جایگاه ویژه‌ای در این مقوله برخوردار می باشد. در بحث توسعه پایدار جهت‌دهی استفاده از منابع، بایستی از دیدگاه بهره‌وری مناسب بدون تخریب و ایجاد مضرات زیست‌محیطی و احیا مجدد منابع صورت پذیرد. بر اساس این اصل مهم صنایع سلولزی در ایران نیز بایستی از این خط مشی تبعیت کنند. یکی از محصولات تولیدی صنایع سلولزی ایران صنعت تخته خرده چوب می باشد که طی آمارها سالیانه معادل ۶۰۰۰۰۰ مترمکعب تخته خرده چوب در کشور ایران تولید می‌گردد که طبق آمارها مصرف این فراورده صفحه‌ای در سال‌های اخیر روند صعودی داشته است [۲]. تأمین مواد چوبی صنعت تخته خرده چوب در ایران همانند سایر صنایع سلولزی ایران سالیانه با معضل مواجه است و صاحبان شرکت‌ها در مواقعی از سال مجبور به متوقف کردن خط تولید و حتی تعطیلی کارخانه می‌باشند، از این‌رو وجود ایده‌های جدید در تأمین مواد اولیه این کارخانه‌ها می تواند کمک شایانی در امر تولید و بهینه سازی فرایندهای تولیدی داشته باشد. بر اساس مطالب عنوان شده در توسعه پایدار حل چنین معضلی نیاز به انجام طرح‌های پژوهشی گسترده دارد. از یک طرف برخی محققین برآنند که از موادی غیر از مواد چوبی همانند مواد معدنی با میزان مصرف درصد پایین به‌عنوان جایگزین چوب در صنعت تخته خرده چوب استفاده نمایند [۳]؛ اما از طرف دیگر سایر محققین منابع سلولزی برای جبران این کمبود پیشنهادات دیگری را عنوان نموده‌اند. در این رابطه در برخی تحقیقات از گونه‌های سریع‌الرشد مانند صنوبر و اکالیپتوس برای رفع این مشکل استفاده شده است [۴].

اما با توجه به وضعیت کم آبی سال‌های اخیر در کشور این امر نمی‌تواند به‌صورت یک طرح زود بازده عمل نماید این در حالی است که بر اساس گزارش مؤسسه منابع جهانی(WRI) ، ایران در میان کشورهایی با بالاترین میزان تنش آبی قرار دارد [۵]. در واقع با موضوع معضل آب نظریه محققانی که بر این باورند که استفاده از پسماندهای کشاورزی می تواند جایگزین مناسبی برای تأمین مواد صنعت تخته خرده چوب می باشد نیز تحت چالش قرار خواهد گرفت [۶-۸]؛ اما در این میان برخی از محققین نیز موضوع استفاده از سرشاخه‌های باغی را به‌عنوان بخشی از مواد تأمین‌کننده صنعت تخته خرده چوب معرفی کرده اند که این موضوع توانسته است تا حدودی از مواد اولیه صنعت تخته خرده چوب را تأمین نماید [۹, ۱۰].

نکته قابل توجه در این موضوع این می باشد که برخی شرکت های تولید کننده تخته خرده چوب مانند شرکت نوین شرق مشهد از چوب های باغی در تولید تخته خرده چوب استفاده می نماید که این می تواند نقطه قوتی بر انجام تحقیقات بر روی گونه‌های باغی داشته باشد. بر اساس نتایج محققین و صاحبان صنایع دانستن ویژگی‌های خرده چوب مصرفی در تخته خرده چوب می تواند کمک شایانی در استفاده بهینه از این محصولات بنماید. در ایران محصولات باغی متنوعی وجود دارد که محققین بر روی آنها تحقیقاتی انجام داده اند. دو محصول باغی انگور (*Vitis sp.*) و سنجد (*Elaeagnus sp.*) جزو محصولاتی هستند که سطح زیر کشت بسزایی را در ایران به خود اختصاص داده اند. در ایران در حال حاضر سطح زیر کشت انگور ۳۱۵ هزار هکتار است که در آن ۳ میلیون و ۱۵۱ هزار تن انگور تولید و برداشت می‌شود [۱۱]. هم‌چنین همان‌طورکه گفته شد یکی دیگر از گونه‌های باغی که دارای مزایای فراوانی از لحاظ تولید محصول می‌باشد درخت سنجد است که سطح زیر کشت فراوانی را در کشور ایران به خود اختصاص داده است. به‌عنوان مثال سطح زیرکشت باغات سنجد آذربایجان شرقی بیش از ۵۱۱ هکتار می باشد که از این میزان ۴۵۷ هکتار بارور و ۳۶ هکتار نیز غیربارور است [۱۲]. از لحاظ صنعت چوب از چوب درخت سنجد در صنایع چوب ائم از صنایع خاتم سازی، تهیه روکش‌های نقش دار و حتی تهیه عصا و چوب دستی و مجسمه‌های چوبی استفاده می‌شود؛ اما معمولا از تنه و چوب های قطور این گونه گیاهی برای این امر استفاده می‌گردد. مطالعات میکروسکوپی چوب نزدیک به پوست درخت سنجد نشان داد که این گونه، جزو پهن‌برگان بخش روزنه‌ای، مرز حلقه رویش مشخص، دارای تیل، دریچه آوندی ساده و دارای منافذ بین دیواره آوندی [۱۳]. از طرف دیگر همانند سایر محصولات باغی سالیانه به‌عنوان هرس سرشاخه‌های این گونه گیاهی قطع و بلا استفاده در طبیعت رها می‌گردد و یا در نهایت امر به‌عنوان سوخت از آن استفاده می‌گردد. در واقع با توجه به پتانسیل بسیار بالای این سرشاخه ها همانند سایر سرشاخه‌های باغی استفاده شده در صنعت چوب و کاغذ می توان از سرشاخه انگور و سنجد در تولید استفاده نمود. معمولا از ترکیب ضایعات سرشاخه انگور در کنار خرده چوب های جنگلی و صنعتی در یکسری تحقیقات استفاده شده است [۱۴]؛ اما در این تحقیق برای اولین بار از ترکیب سرشاخه‌های انگور و سنجد در ساخت تخته خرده چوب استفاده گردید. همچنین با توجه به اینکه رزین مصرفی در این صنعت رزین اوره فرمالدهید می باشد و شرکت های تولید کننده رزین بر اساس نوع خط تولید کارخانه‌ها رزین اوره فرمالدهید را تولید می نمایند در این تحقیق رزین اوره فرمالدهید نیز بطور کاملا تخصصی در شرایط نیمه صنعتی شرکت آفتاب شمال (شهرک صنعتی بشل-قائمشهر) برای این خرده چوب‌ها تولید و سنتز گردید. همچنین در این تحقیق برای بررسی مناسب تر کیفی تخته ساخته شده از خرده چوب های انگور و سنجد مقادیری خرده چوب صنعتی از شرکت تخته ممتاز گلستان نیزبه عنوان شاهد جهت مقایسه بررسی وضعیت خرده چوب و نوع تخته تولیدی تهیه گردید.

مواد و روش ها

مواد

خرده چوبهای مورد نیاز برای این بررسی از مخلوط خرده چوب تهیه شده از سرشاخه‌های انگور وسنجد از منطقه سولی دره ضیاء آباد قزوین فراهم گردید. سرشاخه‌های حاصل از هرس درختان انگور و سنجد که از منطقه مذکور جمع آوری شده بودند پس از انتقال به آزمایشگاه به قطعاتی به طول ۵ سانتیمتر برش خورده و برای رسیدن به حداقل رطوبت مورد نیاز (۵۰ درصد) در آب غوطه ورگردیدند. قطعات ۵ سانتی متری سرشاخه ها به وسیله خردکن حلقوی (Pallman) به خرده چوبهایی با اندازه مورد نظر تبدیل شدند. خرده چوبها در دمای ۱۰۳ درجه سانتیگراد تا رسیدن به رطوبت ۳ درصد خشک و تا زمان ساخت تخته‌های آزمونی در کیسه های پلاستیکی سر بسته نگهداری شدند. پارامترهای موثر در کیفیت تخته شامل ضریب کشیدگی(L/T) ، ضریب ظاهری (L/W)، درصد ریزی و درشتی خرده چوب‌ها در این تحقیق مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای اندازه‌گیری ابعاد خرده‌چوب‌های سرشاخه انگور و سرشاخه سنجد از هر دو گروه خرده چوب تعداد ۱۰۰ عدد خرده چوب به صورت تصادفی انتخاب و طول، عرض و ضخامت آنها به وسیله کولیس با دقت ۰/۰۲ میلیمتر اندازه گیری شد. به‌منظور تعیین پراکنش درصد ریزی و درشتی خرده‌چوب‌ها از روش Bison استفاده گردید.

برای ساخت رزین اوره فرمالدهید، اوره با درصد خلوص ۹۸٪ از شرکت پتروشیمی کرمانشاه تهیه گردید. فرمالین ۴۲٪ از شرکت صنایع شیمیایی سامد مشهد فراهم گردید. برای سنتز رزین از سود سوزآور ۹۸٪ شرکت آراکس استفاده گردید. مرحله اسیدی شدن رزین به‌وسیله‌ی اسید فسفریک ۸۵٪ شرکت مرک آلمان صورت پذیرفت. برای سنتز رزین از تجهیزات آزمایشگاهی شرکت آفتاب شمال (شهرک صنعتی بشل- قائمشهر) و برای ساخت تخته از پرس آزمایشگاهی شرکت آفتاب آسیا (آمل) استفاده شد. بر اساس داده‌های تیمارها تخته‌ها با پرس تولید و کلیه خواص فیزیکی و مکانیکی آن مورد آزمون قرار گرفت.

روش‌ها

برای سنتز رزین اوره فرمالدهید روش قلیایی، اسیدی، قلیایی استفاده گردید [۱۵]. با توجه به اینکه در شرکت‌ها بر اساس نوع خط تولید و نحوه فرآیند تخته خرده چوب، چسب اوره فرمالدهید ساخته می‌شود در این تحقیق بر اساس شرایط ساخت تخته در آزمایشگاه بدون در نظر گرفتن میزان تک رزین[1] (سازگارشده با طول خط تولید) رزین اوره فرمالدهید تولید گردید. نسبت مولکولی برای سنتز رزین‌های دو مرحله‌ای برای مرحله پایانی نسبت فرمالدهید به اوره ۱,۳ به ۱ و برای مرحله ابتدایی این نسبت ۱,۹ به ۱ بود. آزمایش‌های انجام شده بر روی رزین به ترتیب ذیل و بر اساس استانداردهای مخصوص به خود صورت پذیرفت.

ویسکوزیته

[1] Resin Tack

برای تعیین ویسکوزیته رزین اوره فرمالدهید، از دستگاه فورد کاپ شماره ۴ در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. در این روش، ابتدا سوراخ خروجی فورد کاپ مسدود شده و ظرف تا لب‌پر از رزین پر می‌شود. سپس با باز کردن سوراخ خروجی، زمان لازم برای خروج کامل رزین از فورد کاپ در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری می‌شود. این زمان (بر حسب ثانیه) به‌عنوان شاخص ویسکوزیته یا غلظت رزین ثبت و مورد استفاده قرار گرفت. و به‌عنوان شاخصی برای غلظت رزین مورد استفاده قرار گرفت.

ژل تایم

ژل تایم بر اساس استاندارد DIN 16945- 89-03 آلمان صورت پذیرفت [۱۶]. در این روش، مقدار مشخصی از رزین (حدود ۳ میلی‌لیتر) درون لوله آزمایش ریخته شد و سپس در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (در حمام روغن یا بن‌ماری روغنی) قرار گرفت. با استفاده از یک میله شیشه‌ای همزن، رزین به‌صورت مداوم هم زده شد تا زمانی که به حالت ژل (نیمه‌جامد چسبناک) درآید. زمان سپری‌شده تا رسیدن به این حالت، به‌عنوان ژل تایم ثبت گردید.

مواد جامد رزین

درصد مواد جامد رزین‌ها طبق استاندارد ASTM D4426 اندازه‌گیری شد. ابتدا یک ظرف شیشه‌ای توزین شد. سپس مقدار ۲ گرم رزین در هریک از ظرف‌ها ریخته شد، سپس نمونه‌ها داخل اون ۲±۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس نمونه‌ها از آون خارج شده و توزین شدند. در پایان درصد مواد جامد با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

رابطه ۱ درصد مواد جامد رزین = (وزن مرطوب رزین - وزن خشک رزین)/ (وزن خشک رزین) ×۱۰۰

تعیین مقدار فرمالدهید آزاد

فرمالدهید آزاد رزین طبق استاندارد اروپا DIN EN ISO 11402 اندازه گیری شد [۱۷]. ۱۰ گرم چسب اوره فرمالدهید وزن شده و در یک ارلن مایر ۲۵۰ میلی لیتر لیتری ریخته شده و ۵۰ میلی لیتر محلول دی متیل سولفوکسید به آن اضافه می شود. بعد از ۵ ثانیه در حین هم زدن ۳۰ میلی لیتر HCI ۰/۱ مولار و Na2SO3 اضافه شد. سپس برای اطمینان از واکنش کامل فرمالدهید با سولفیت محلول مخلوط به مدت ۳ دقیقه در ظرف حاوی یخ خنک شد. سپس ۱ میلی لیتر محلول تیمول فتالی ۰/۱ درصد اضافه شد. اسید اضافی بلافاصله با محلول ۰/۱ مولار NaOH تیتر شد تا به رنگ آبی تغییر کند. حجم NaOH ۰/۱ مولار مورد استفاده به عنوان V1 ثبت شد. آزمایش بلانک در شرایط مشابه اما بدون چسب اوره فرمالدهید نیز انجام شد و حجم NaOH مولار به عنوان V2 ثبت شد. مقدار فرمالدهید آزاد با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$\text{Free Formaldehyde}(\%) = (V_1 - V_2) \times 3.002/W \quad \text{رابطه (۲)}$$

V_1 = حجم ۱/ مولار محلول NaOH برای رزین (میلی لیتر) V_2 = حجم ۰/۱ مولار محلول NaOH برای بلانک (میلی لیتر)، M= مولاریته محلول NaOH، W= وزن رزین (گرم) آزمایش برای چسب اوره فرمالدهید حاوی عصاره گندمی ۵ و ۱۰ درصد تکرار شد.

بررسی ترکیبات شیمیایی باگاس

برای بررسی ویژگی‌های شیمیایی مواد اولیه استفاده‌شده در این پژوهش (باگاس، سرشاخه‌های انگور و سنجد)، نمونه‌ها در سه تکرار آزمایش شدند. ابتدا کلیه نمونه‌ها در دمای محیط خشک و سپس با استفاده از آسیاب چکشی مدل RT-N04 ساخت شرکتRahetazeh ، ایران خرد گردیدند. ذرات حاصل با الک استاندارد مش ۶۰ (اندازه عبوری حدود ۲۵۰ میکرون) غربال شدند تا پودر یکنواخت حاصل گردد. آزمایش‌ها به‌منظور تعیین درصد لیگنین، سلولز، همی‌سلولز، هولوسلولز و خاکستر مطابق استانداردهای معتبر انجام گرفت که در دو زیربخش زیر شرح داده شده‌اند.

تعیین میزان لیگنین و کربوهیدرات‌ها

لیگنین: برای اندازه‌گیری محتوای لیگنین، از روش استاندارد TAPPI T222 cm-88 استفاده شد. در این روش، نمونه پودرشده تحت واکنش شیمیایی با اسید سولفوریک قرار گرفت و پس از جداسازی، بخش اسیدی غیرمحلول به‌عنوان لیگنین اندازه‌گیری گردید.

هولوسلولز: برای تعیین محتوای هولوسلولز، یک گرم از پودر نمونه با یک گرم کلرید سدیم (خلوص ۸۰٪) و ۰٫۵ میلی‌لیتر استیک اسید در بشر شیشه‌ای مخلوط و در حمام آب گرم با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت نگهداری شد. پس از پایان واکنش، مخلوط از کاغذ صافی واتمن شماره یک (Whatman No.1) عبور داده شد. باقیمانده روی کاغذ صافی در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد خشک و وزن شد. وزن خشک‌شده منهای وزن کاغذ صافی، به‌عنوان محتوای هولوسلولز محاسبه گردید.

سلولز: برای استخراج سلولز از هولوسلولز، باقیمانده خشک‌شده در معرض محلول سدیم هیدروکسید ۱۷٫۵ درصد قرار گرفت و پس از فیلتراسیون و خشک‌کردن، وزن سلولز به‌دست آمد.

همی‌سلولز: اختلاف بین مقادیر هولوسلولز و سلولز، به‌عنوان میزان همی‌سلولز محاسبه شد.

تعیین میزان مواد معدنی (خاکستر)

برای اندازه‌گیری خاکستر، از روش استاندارد TAPPI T211 cm-93 استفاده شد. حدود ۲ گرم از پودر هر نمونه در بوته چینی ریخته شده و در کوره الکتریکی با دمای ۵۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفت. پس از خنک‌سازی در دسیکاتور، باقیمانده خاکستری وزن شد و به‌صورت درصد وزنی نسبت به نمونه اولیه گزارش گردید.

ساخت تخته خرده چوب

شرایط تیمار ساخت تخته‌ها در این تحقیق بر اساس جدول شماره ۱ می باشد. نسبت انگور به سنجد از ۰ درصد، ۱۵: ۸۵، ۳۰: ۷۰ و ۵۰: ۵۰ در نظر گرفته شد. جهت ساخت تخته‌ها پس از سنتز رزین اوره فرمالدهید، ابتدا خرده چوب‌ها چسب زنی و پس از تشکیل کیک خرده چوب، تحت پیش پرس قرار گرفتند. پیش پرس باعث کاهش ضخامت و افزایش تراکم اولیه کیک تخته خرده‌ها شد. بعد از پیش پرس، کیک تشکیل شده زیر پرس قرار

داده شد، و از میله‌ای به ضخامت ۱۰ میلی‌متری برای کنترل ضخامت تخته در طی فرایند پرس گرم استفاده شد. شرایط پرس به طوری بود که با استفاده از پرس آزمایشگاهی تحت شرایط فشار bar ۷۰ و دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و صرف مدت زمان ۵ و ۷ دقیقه تخته‌هایی به ابعاد cm ۳۰ ×۳۰ تولید گردید. تخته‌ها پس از کناره بری، به نمونه‌های به ابعاد ۵۰ × ۵۰× ۱۶ و ۱۶ × ۵۰ ×۳۰۰ میلی‌متر به ترتیب برای انجام آزمون چسبندگی داخلی طبق استاندارد ۱۰۸۷[۱۳D ASTM] و مقاومت خمشی بر اساس ۳۱۰ EN برش داده و مورد آزمون قرار گرفتند.

جدول ۱. شرایط تیمار ساخت تخته‌ها

شماره نمونه	نسبت سرشاخه سنجد/سرشاخه انگور	زمان پرس (دقیقه)	مصرف چسب (درصد)
A1	۰۰/۱۰۰	۵	۹
A2	۱۵/۸۵	۵	۹
A3	۳۰/۷۰	۵	۹
A4	۵۰/۵۰	۵	۹
A5	۰۰/۱۰۰	۷	۹
A6	۱۵/۸۵	۷	۹
A7	۳۰/۷۰	۷	۹
A8	۵۰/۵۰	۷	۹
A9	۰۰/۱۰۰	۵	۱۱
A10	۱۵/۸۵	۵	۱۱
A11	۳۰/۷۰	۵	۱۱
A12	۵۰/۵۰	۵	۱۱
A13	۰۰/۱۰۰	۷	۱۱
A14	۱۵/۸۵	۷	۱۱
A15	۳۰/۷۰	۷	۱۱
A16	۵۰/۵۰	۷	۱۱
A17	۰۰/۱۰۰	۵	۱۳
A18	۱۵/۸۵	۵	۱۳
A19	۳۰/۷۰	۵	۱۳
A20	۵۰/۵۰	۵	۱۳
A21	۰۰/۱۰۰	۷	۱۳
A22	۱۵/۸۵	۷	۱۳
A23	۳۰/۷۰	۷	۱۳
A24	۵۰/۵۰	۷	۱۳

خواص فیزیکی

در این قسمت برخی ویژگی های فیزیکی شامل واکشیدگی ضخامت و میزان جذب آب اندازه گیری شدند. برای انجام آزمون ها فیزیکی، نمونه ها به مدت چند هفته در شرایط مشروط سازی (رطوبت نسبی ۶۵٪، دمای ۳±۲۰ درجه سانتیگراد) قرار داده شدند.

آزمون جذب آب و واکشیدگی ضخامت

تأثیر آب بر خواصی مکانیکی به‌ویژه مقاومت خمشی بسیار زیاد است. احتمال کاهش استحکام تخته‌ها به دلیل آب وجود دارد. جهت انجام آزمایش جذب آب و واکشیدگی ضخامت، نمونه‌های آزمونی طبق استاندارد EN 317به ابعاد استاندارد ۵۰ × ۵۰ میلی‌متر تهیه شده و بلافاصله وزن و ابعاد آن‌ها اندازه‌گیری شد، سپس در فاصله‌های زمانی ۲ و ۲۴ ساعت در آب مقطر در دمای ۳±۲۰ درجه سانتیگراد غوطه‌ور شدند. در پایان هر فاصله زمانی نمونه‌ها را از آب خارج کرده و توسط یک پارچه خشک سطح خیس آن‌ها را پاک و بلافاصله وزن و ضخامت آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت با استفاده از رابطه‌های ۳ و ۴ در فاصله‌های زمانی ۲ و ۲۴ ساعت محاسبه شدند.

$$WA=(W_t-W_1)/W_1 \times 100$$ رابطه (۳)

$$TS=(T_t-T_1)/T_1 \times 100$$ رابطه (۴)

که در آنها:

WA = مقدار جذب آب در زمانt ،

Wt =وزن نمونه در زمان غوطه‌وریt ،

W1 = وزن خشک نمونه قبل از غوطه‌وری است.

TS = واکشیدگی ضخامت در زمان غوطه‌وری t،

Tt = ضخامت در زمان t،

T1 = ضخامت اولیه نمونه‌ها است.

مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته

مدول گسیختگی که معرف مقاومت خمشی تخته می‌باشد و همچنین مدول الاستیسیته تخته‌ها، طبق استاندارد EN 310 توسط دستگاه آزمون مکانیکی Zwick/Roell مدل Z100 تعیین شد. در این آزمون، سرعت بارگذاری ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه بود.

روش انجام آزمون طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)

برای بررسی تغییر ساختار رزین‌ها از تکنیک طیف‌سنجی مادون قرمز مطابق با استاندارد ۲۰۱۳-۱۲۵۲ ASTMاستفاده شد. بدین منظور ابتدا حدود ۵ تا ۱۵ میلی‌گرم نمونه از رزین فنل با حدود ۴۰۰ میلی‌گرم برمیدپتاسیم(KBr) خالص و خشک مخلوط شد، به‌صورت پودر نرم و یکنواخت آماده و با فشار به‌صورت یک قرص نازک و شفاف در آورده شد. این قرص در دستگاه TENSOR ۲۷ با مارک تجاری BRUKER قرار داده شد و طیف مربوط ثبت گردید. طیف‌سنجی در دامنه عدد موجی 4000-400 cm-1 و ۶۵ اسکن در هر ثانیه انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها:

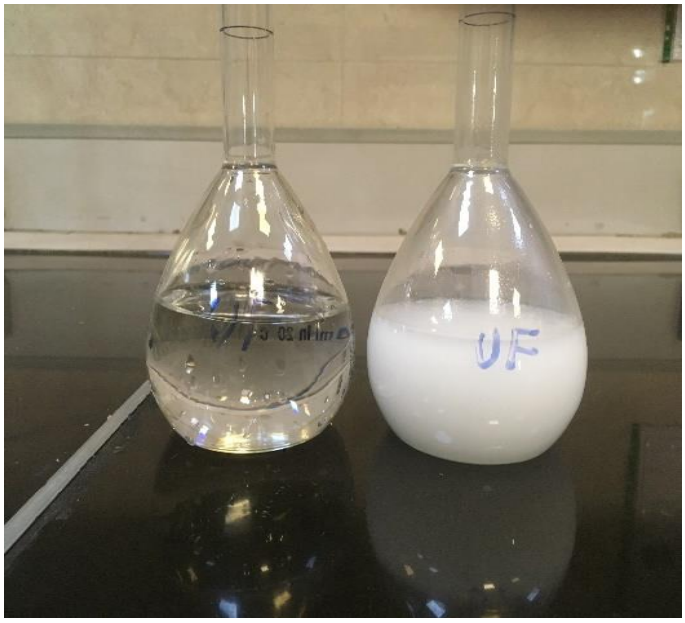
نتایج به دست آمده از اندازه گیـری ویژگی‌های فیزیکـی و مکانیکی تخته‌ها با استفاده از طـرح کاملاً تـصادفی و آزمـون فاکتوریل و تکنیک تجزیه واریانس بررسی گردید. هر یک از آزمون ها با ۳ تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. اثر مستقل و متقابل هر یک از عوامل متغیر بر این ویژگی‌ها در سـطح ۵ درصد تجزیه و تحلیل و در صـورت معنی‌دار بـودن بـا استفاده از آزمون دانکن گروه‌بندی شدند. کلیه تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 انجام شد.

نتایج

رزین و خرده چوب

رزین

شکل شماره ۱ نشان دهنده رزین اوره فرمالدهید ساخته شده قبل از آبگیری (الف) و بعد از آبگیری (ب) می باشد. با توجه به اینکه رزین اوره فرمالدهید در شرایط عادی تا ویسکوزیته ۲۵ ثانیه غلظت می‌گیرد لازمه آن است که در محیط خلأ از آن آبگیری شده و غلظت آن تا حدود ۶۰ الی ۷۰ ثانیه افزایش یابد. براساس شکل شماره ۲- و جدول شماره ۲ وجود طیف‌های متنوع در این رزین براساس سایر تحقیقات قابل استناد می باشد، همچنین در جدول شماره ۳ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رزین اوره فرمالدهید به طور واضح نشان داده شده است. نکته قابل توجه در این جدول میزان ویسکوزیته رزین می باشد که همان‌گونه که در بالا اشاره گردید این میزان در شرایط خلأ به دست آمده است. سایر موارد رزین مناسب یک رزین قابل مصرف در صنعت تخته خرده چوب می باشد.



شکل ۱. الف-چسب اوره فرمالدهید بدون آبگیری، ب- چسب اوره فرمالدهید با آبگیری

خرده چوب

میانگین ابعاد و ضریب ظاهری و ضریب کشیدگی خرده چوب‌های جنگلی، سرشاخه انگور و سرشاخه سنجد در جدول شماره ۴ نشان می‌دهد که در مقایسه با خرده چوب جنگلی سرشاخه انگور از طول بالاتر و سرشاخه‌های سنجد از طول پایین‌تری برخوردار می باشد که این موضوع را می‌توان به بافت فیزیولوژی این گونه‌ها نسبت داد. از آنجایی که درخت انگور بافت اسفنجی دارد به نظر می‌آید در هنگام برش این چوب در مقابل برش انعطاف‌پذیرتر بوده و در حین برش مقاومت بیشتری از خود نشان داده، در نتیجه خرده چوب‌هایی با طول بلندتر تولید نموده‌اند که این موضوع در مورد خرده چوب سنجد کاملاً معکوس بوده و این خرده چوب‌ها حتی از خرده چوب‌های جنگلی دارای متوسط طول کمتری می‌باشند. از لحاظ عرضی بین خرده چوب انگور و سنجد اختلاف محسوسی مشاهده نمی‌گردد اما به‌طور کل

ویژگی	خرده چوب جنگلی	سرشاخه انگور	سرشاخه سنجد
طول (میلی‌متر)	۱۲	۱۵/۸	۸
عرض (میلی‌متر)	۲/۸	۱/۸	۱/۷
ضخامت (میلی‌متر)	۱/۴	۰/۴۹	۰/۴۳
ضریب کشیدگی	۱۱	۳۲/۲۴	۱۸/۶۰
ضریب ظاهری	۵/۴	۸/۷۷	۴/۷۰

نسبت به خرده چوب جنگلی دارای طول کوتاه‌تری می‌باشند. همچنین این موضوع در مورد ضخامت خرده چوب‌ها صادق می باشد. با توجه به مطالب بالا ضریب لاغری و ظاهری تحت تأثیر موارد مذکور بوده که نتیجه آن بالاتر بودن این مقادیر در خرده چوب انگور و سنجد نسبت به خرده چوب جنگلی می باشد. برای بررسی خصوصیات خرده‌چوب‌های حاصل از سرشاخه‌های انگور و سنجد، ابعاد فیزیکی شامل طول، عرض و ضخامت ۱۰۰ نمونه به‌صورت تصادفی اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت ۰،۰۲ میلی‌متر انجام گرفت. بر اساس این داده‌ها، ضریب لاغری تعریف شد که عبارت است از نسبت طول به ضخامت خرده‌چوب‌ها. این شاخص که در برخی منابع از آن با عنوان "ضریب کشیدگی" نیز یاد می‌شود، به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر بر کیفیت چسبندگی و خواص مکانیکی تخته‌های ساخته‌شده مورد بررسی قرار گرفت. در مورد درصد وزنی پراکنش اندازه خرده چوب‌های جنگلی، سرشاخه انگور و سرشاخه سنجد همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است با توجه به اینکه گونه انگور در مرحله اول و گونه سنجد در مرحله دوم جزو گونه باغی محسوب می‌شوند نسبت به گونه‌های جنگلی دارای درصد بالاتری از ذرات ریز نزدیک به گردوغبار می‌باشند که این موضوع بایستی در ساخت تخته خرده چوب و بخصوص در شرایط تولید صنعتی مورد دقت و ارزیابی قرار گیرد.

جدول ۱- میانگین ابعاد و ضریب ظاهری و ضریب کشیدگی خرده چوب‌های جنگلی، سرشاخه انگور و سرشاخه سنجد

ترکیبات شیمیایی سر شاخه انگور و سنجد

نتایج حاصل از بررسی ترکیبات شیمیایی سرشاخه‌های انگور و سنجد نشان می‌دهد که این دو ماده خام از لحاظ محتوای سلولز، همی‌سلولز، لیگنین و خاکستر تفاوت‌های قابل‌توجهی دارند (جدول ۲). مقدار سلولز در سرشاخه‌های سنجد (۴۶٫۶۵٪) بیشتر از سرشاخه‌های انگور (۴۰٫۸۲٪) است، که نشان‌دهنده ساختار مستحکم‌تر و قابلیت بالاتر آن برای تولید فرآورده‌های چوبی با استحکام مکانیکی بیشتر است. یلدیریم (۲۰۱۵) به این موضوع اشاره کردند که افزایش در محتوای سلولزی ممکن است به پایداری بالاتر تخته‌های تولیدی از سنجد در مقایسه با انگور منجر شود .چوب سنجد دارای محتوای بیوشیمیایی غنی از جمله سلولز است، اگرچه درصدهای خاصی ارائه نشده است [۱۸].

در مقابل، میزان همی‌سلولز در سرشاخه‌های انگور (۲۸٫۷۴٪) کمی بیشتر از سنجد (۲۷٫۸۲٪) است. همی‌سلولزها به عنوان پلی‌ساکاریدهای آمورف، نقش کلیدی در جذب رطوبت و تورم مواد چوبی ایفا می‌کنند. بنابراین، درصد بالاتر همی‌سلولز در انگور می‌تواند بر رفتار رطوبتی و پایداری ابعادی تخته‌های حاصله تأثیر بگذارد [۱۹].

محتوای لیگنین در سنجد (۱۸٫۴۵٪) نسبت به انگور (۲۴٫۴۲٪) کمتر است. لیگنین به عنوان عامل چسبندگی طبیعی، نقش مهمی در افزایش مقاومت زیستی و دوام مواد چوبی ایفا می‌کند. مقدار بیشتر لیگنین در انگور می‌تواند تخته‌های تولید شده از آن را در برابر تجزیه بیولوژیکی مقاوم‌تر سازد [۲۰]، اما در عین حال باعث کاهش انعطاف‌پذیری آن می‌شود [۲۱]. در نهایت، میزان خاکستر سرشاخه‌های سنجد (۳٫۰۲٪) به طور قابل‌توجهی بیشتر از انگور (۱٫۷۲٪) است. درصد بالاتر خاکستر معمولاً نشان‌دهنده مقدار بیشتر مواد معدنی مانند کلسیم، پتاسیم و سیلیکا است که می‌تواند بر عملکرد حرارتی و خواص احتراقی مواد تأثیر بگذارد.

به طور کلی، این تفاوت‌ها نشان می‌دهند که ترکیب چوب سنجد برای تولید تخته‌هایی با استحکام مکانیکی بیشتر و پایداری بالاتر مناسب‌تر است، در حالی که چوب انگور ممکن است خواص زیست‌تخریب‌پذیری بهتری داشته باشد. انتخاب ماده اولیه برای تولید تخته‌های چوبی باید بر اساس نیازهای مکانیکی و زیست‌محیطی انجام شود.

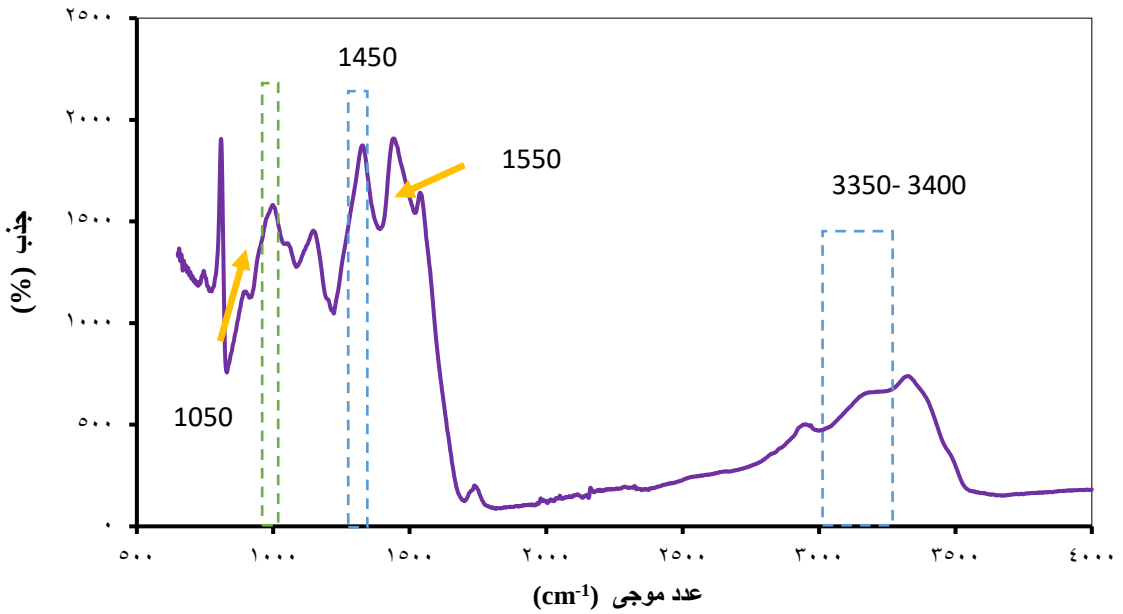
جدول ۲. اجزای شیمیایی ذرات انگور و سنجد

ترکیب شیمیایی	سرشاخه‌های انگور	سرشاخه‌های سنجد
سلولز	۴۰/۸۲ (۴/۱۶)	۴۶/۶۵ (۲/۴۶)
همی سلولز	۲۸/۷۴ (۳/۰۱)	۲۷/۸۲ (۵/۶۱)
لیگنین	۲۴/۴۲ (۱/۳۵)	۱۸/۴۵ (۱/۴۵)
خاکستر	۱/۷۲ (۰/۵۶)	۳/۰۲ (۰/۱۲)

طیف سنجی FTIR

در طیف FTIR مربوط به رزین اوره فرمالدهید سنتز شده، ناحیه اثر انگشت (۱۵۰۰ تا ۵۰۰ cm^{-1}) به‌عنوان بخش کلیدی برای شناسایی ساختار مولکولی مورد توجه قرار گرفت. در این ناحیه، حضور باند جذبی در حوالی

۱۴۵۰ cm^{-1} مربوط به ارتعاش خمشی گروه CH_2، و نیز پیک‌های مشخص در بازه ۱۲۵۰–۱۱۵۰ cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی پیوند C–N گروه‌های آمین و آمید، بیانگر شکل‌گیری پیوندهای آمیدی در ساختار شبکه‌ای رزین است. همچنین در حوالی ۱۰۵۰–۱۰۰۰ cm^{-1} ارتعاش کششی پیوند C–O که ناشی از گروه‌های اتری حاصل از تراکم فرمالدهید با اوره است، مشاهده می‌شود. در بخش پایین‌تر طیف، باندهای جذبی در محدوده ۸۱۰–۷۵۰ cm^{-1} نشان‌دهنده ساختارهای شاخه‌دار یا جایگزین‌شده هستند. این شواهد طیفی به‌خوبی مؤید پلیمریزاسیون موفق و ایجاد شبکه سه‌بعدی در رزین اوره فرمالدهید بوده و ارتباط مستقیمی با خواص مکانیکی مطلوب و عملکرد چسبندگی مناسب در ساخت تخته خرده چوب دارد.



شکل ۲. نمودار FTIR رزین اوره فرمالدهید سنتز شده با نسبت‌های مولی متفاوت

جدول ۲. طیف‌های تشکیل‌دهنده رزین اوره فرمالدهید

عامل شیمیایی	پیک طیف
گروه اتری O-H	۱۰۵۰
ارتعاش کششی C-O	۱۱۵۰
گروه آمیدهای ثانویه	۱۴۵۰
آمیدهای اولیه C=O	۱۵۵۰
ارتعاش کششی گروه هیدروکسیل	۳۴۰۰-۳۳۵۰

جدول ۳-درصد وزنی پراکنش اندازه خرده چوب‌های جنگلی، سرشاخه انگور و سرشاخه سنجد

اندازه الک (میلی‌متر)	درصد وزنی ذرات	سرشاخه سنجد	سرشاخه انگور
≤۰/۳	۰/۸	۲/۷	۴/۸
≥۰/۳	۶	۲۳/۴	۳۶/۲

≥۱	۲۷	۳۸	۳۱
≥۲	۶۸	۳۱	۲۴
≥۴	۰/۹	۶	۲

جدول ۴. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چسب اوره فرمالدهید تولیدشده

ویژگی چسب	چسب دو مرحله‌ای با فرمالین
مواد جامد	۶۳
میزان گرانروی (فورد کاپ)	۷۴
دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۲۷۵
فرمالدهید آزاد	۰/۲۷
زمان انعقاد	۵۲ ثانیه
اسیدیته	۸

تخته و عوامل متغیر مؤثر بر ویژگی‌های تخته

در جداول ۵ و ۶ نتایج فیزیکی و مکانیکی و آماری تخته‌های ساخته شده از سرشاخه انگور و سنجد ارائه شده است.

تأثیر متقابل متغیرهای مورد بررسی بر مقاومت خمشی تخته‌ها

بررسی اثر متقابل سرشاخه انگور در مخلوط سرشاخه سنجدها و زمان پرس در شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش زمان پرس و در نسبت اختلاط ۱۵/۸۵ سرشاخه سنجد به سرشاخه انگور، میزان مقاومت خمشی افزایش می‌یابد. همچنین اثر متقابل نسبت اختلاط سرشاخه انگور با سرشاخه سنجد و مقدار مصرف چسب روی مقاومت خمشی در شکل ۳ نشان می‌دهد که افزایش مقدار چسب مصرفی تا سطح ۱۱ درصد تأثیر منفی افزایش مقدار سرشاخه انگور به سرشاخه سنجد را کاهش داد. به طوری که بیشترین مقاومت خمشی زمانی حاصل می‌گردد که مصرف چسب به ۱۱ درصد افزایش یابد و سرشاخه انگور به مقدار ۱۵ درصد به سرشاخه‌های سنجد اضافه شود.

تأثیر متقابل متغیرهای مورد بررسی بر مدول الاستیسیته تخته‌ها

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد افزایش مقدار مصرف چسب باعث کاهش آثار منفی افزایش سرشاخه انگور به سرشاخه سنجد شده است. همچنین این نتیجه در مورد افزایش زمان پرس نیز صادق می باشد (شکل ۳). اثر متقابل مصرف چسب و مقدار سرشاخه انگور در مخلوط سرشاخه سنجد جنگلی روی مدول الاستیسیته در شکل ۴ نشان داده شده است

تأثیر متقابل متغیرهای مورد بررسی بر چسبندگی داخلی تخته‌ها

اثر متقابل مقدار چسب و مقدار سرشاخه انگور در مخلوط سرشاخه سنجد بر چسبندگی داخلی تخته‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود افزایش مقدار چسب در کنار افزایش سرشاخه انگور به سرشاخه سنجد سبب کاهش چسبندگی داخلی تخته گردیده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش زمان پرس چسبندگی داخلی افزایش می‌یابد. در مطالعات قبلی نیز نتایج اثر مواد اولیه و پرس بر میزان چسبندگی داخلی اثر معنی‌داری دارند [۲۲].

تأثیر متقابل نسبت اختلاط، زمان پرس و مقدار چسب بر خواص تخته‌ها

در بررسی اثر متقابل متغیرهای مورد مطالعه بر اساس جدول ۳ و ۴ مشاهده می‌گردد که افزودن سرشاخه انگور به مقدار ۱۵ درصد به سرشاخه سنجد باعث افزایش مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی تخته‌های ساخته شده می‌گردد. این میزان با افزایش مقدار چسب مصرفی به ۱۱ درصد و زمان پرس ۷ دقیقه افزایش می‌یابد.

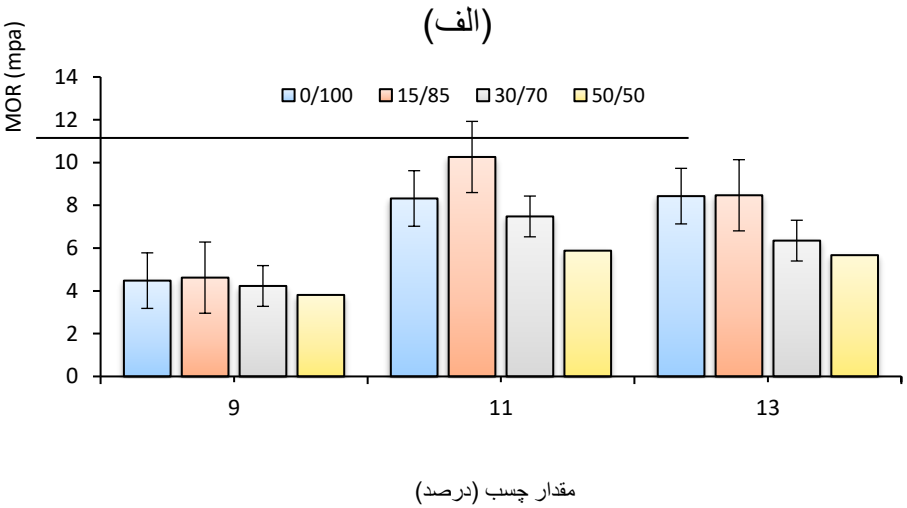
جدول ۵. نتایج فیزیکی و مکانیکی تخته‌های ساخته شده از سرشاخه انگور و سنجد

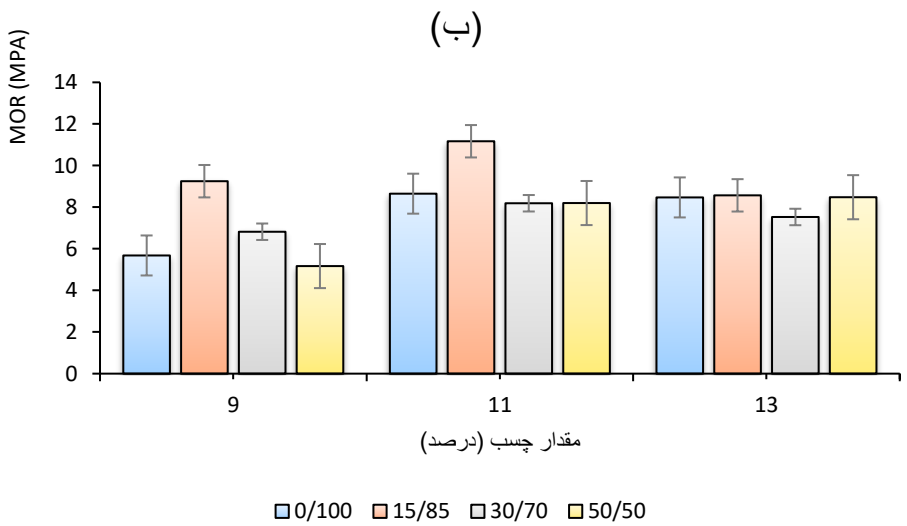
شماره نمونه	مقاومت خمشی (MPA)	مدول الاستیسیته (MPA)	چسبندگی داخلی (MPA)	واکشیدگی ضخامت (درصد)
A1	۴/۴۸	۱۲۸۶/۷	۰/۲۳۱	۲۹/۴۸
A2	۴/۶۲	۱۲۵۸/۳	۰/۳۸۷	۳۳/۸۷
A3	۴/۲۳	۸۹۹/۳	۰/۲۲۱	۳۱/۶۷
A4	۳/۸۱	۱۰۳۸/۱	۰/۱۲	۴۴/۱۳
A5	۵/۶۸	۸۷۴/۶۸	۰/۴۳	۲۸/۲۸
A6	۹/۲۵	۱۸۵۱/۸	۰/۳۲	۳۱/۵۲
A7	۶/۸۲	۱۰۸۷/۳	۰/۲۷	۳۲/۴۳
A8	۵/۱۷	۹۵۲	۰/۱۳	۵۰/۶۳
A9	۸/۳۲	۱۶۳۲/۳	۰/۴۸	۲۴/۳۸
A10	۱۰/۲۶	۱۶۵۱/۱۷	۰/۴۷۵	۲۹/۳۵
A11	۷/۴۸	۱۶۶۸/۹	۰/۲۸	۲۸/۷۶
A12	۵/۸۸	۱۸۱۲	۰/۴۵۳	۵۳/۹۵
A13	۸/۶۵	۲۰۲۸/۳	۰/۵۴۳	۲۳/۴۵
A14	۱۱/۱۷	۱۹۸۸	۰/۴۲۱	۲۹/۹۸
A15	۸/۱۹	۱۲۴۵	۰/۲۸۸	۲۶/۶۷
A16	۸/۲۰۲	۱۴۳۹	۰/۲۵۶	۵۱/۶۸
A17	۸/۴۳	۱۹۳۸	۰/۴۷۵	۲۱/۲۷
A18	۸/۴۷	۲۴۸۷	۰/۲۷۱	۲۱/۶۵
A19	۶/۳۵	۸۵۳	۰/۳۵۳	۳۱/۵۳
A20	۵/۶۷	۱۱۸۲	۰/۱۸۷	۳۶/۸۸
A21	۸/۴۷	۱۷۶۷/۳	۰/۳۴۱	۱۷/۶۴
A22	۸/۵۷	۱۶۴۸	۰/۴۷۸	۲۰/۱۱
A23	۷/۵۳	۲۳۱۴	۰/۳۶۲	۱۹/۳۸
A24	۸/۴۸	۱۶۵۷/۵	۰/۱۴۷	۳۲/۶۳

جدول ۶. نتایج آماری عوامل متغیر بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌های ساخته شده از سرشاخه انگور و سنجد

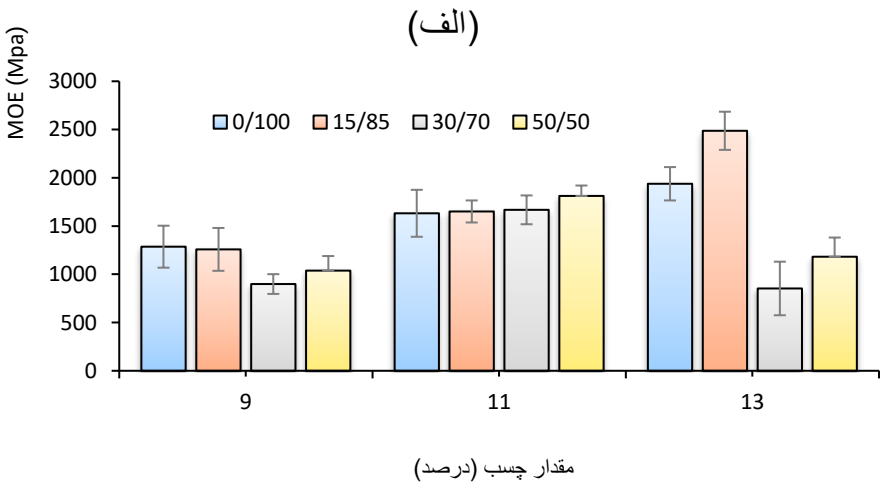
منبع تغییرات	درجه آزادی	مقدار F و معنی‌دار بودن				
		مقاومت خمشی	مدول الاستیسیته	چسبندگی داخلی	جذب آب	واکشیدگی ضخامت
۱-نسبت اختلاط	۴	۲۱/۹۷۵**	۱۹/۶۶۲**	۹/۱۸۴**	۱۲۷/۹۳**	۲۳/۲۶۵**
۲-مقدار چسب	۱	۱۴۶/۲۸۳ n.s	۳۳/۲۴۷ n.s	۱۹۴/۶۲۵ n.s	۳۹۷/۵۵**	۱۴۵/۸۸**
۳-زمان پرس	۱	۰/۰۳۵**	۲/۵۸**	۰/۱۳۵ n.s	۳۹۳/۵۹**	۱۵۹/۸۵**

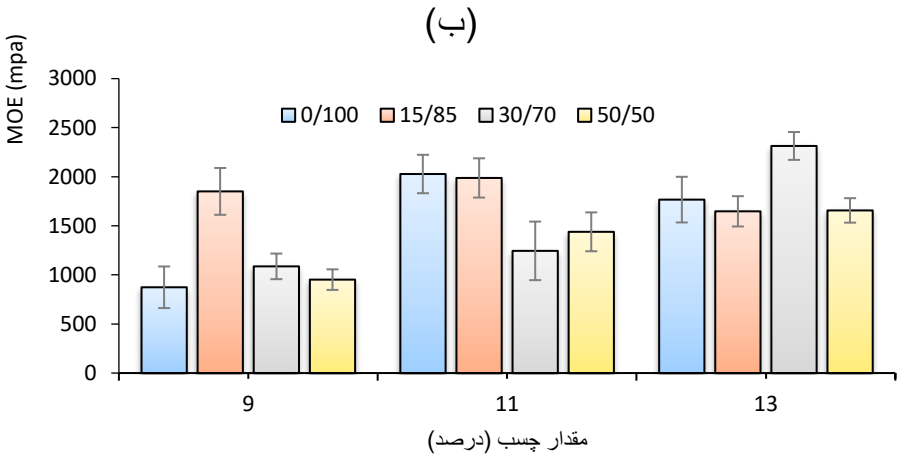
اثر متقابل ۱ و ۲	۱	۱۷/۸۲۵**	۲۵/۳۱۵**	۱/۴۲۵**	۲۸۲/۴۵**	۱۸/۷۷**
اثر متقابل ۱ و ۳	۴	۷/۵۴۵**	۱/۴۲۷**	۱۳/۴۷۳**	۳۰/۴۸**	۱۹/۶۲**
اثر متقابل ۲ و ۳	۴	۱۰/۲۵۸**	۳/۲۴۳**	۱۴/۷۴۷**	۱۶/۹۸**	۵۰/۳۳**
اثر متقابل ۱ و ۲ و ۳	۴	۶/۱۴۳**	۳/۴۱۸**	۹/۹۵۹**	۸۱/۱۷**	۲۹/۸۹**





شکل ۳. اثر متقابل نسبت اختلاط سرشاخه سنجد/سرشاخه انگور با مقدار چسب مصرفی بر مقاومت خمشی تخته‌ها الف) زمان پرس ۵ دقیقه ب) زمان پرس ۷ دقیقه





شکل ۴. اثر متقابل نسبت اختلاط سرشاخه سنجد/سرشاخه انگور با مقدار چسب مصرفی بر مدول الاستیسیته تخته‌ها الف) زمان پرس ۵ دقیقه ب) زمان پرس ۷ دقیقه

نتیجه‌گیری

با توجه به بالاتر بودن ضریب کشیدگی خرده چوب سرشاخه انگور که میتواند بر مقاومت خمشی اثرگذار باشد در مقایسه با خرده چوب سرشاخه سنجد، هنگامی که سرشاخه انگور با نسبت ۱۵درصد با خرده چوب سرشاخه سنجد مخلوط می‌گردد با قرار گرفتن در فضاهای بین خرده چوب سرشاخه‌های سنجد نقش فیلر را بازی می‌نماید و در مجموع باعث استحکام بیشتر تخته از جمله افزایش مقاومت خمشی آن در مقایسه با سایر نسبت‌های اختلاط می‌شود. با توجه به ضریب کشیدگی بالاتر خرده چوب‌های سرشاخه انگور نسبت به سرشاخه سنجد، حضور آن‌ها در ترکیب، موجب جهت‌گیری بهتر ذرات در راستای نیروهای خمشی و در نتیجه افزایش مقاومت خمشی در تخته‌های تولید شده گردید. این پدیده در سایر پژوهش‌ها نیز به عنوان یکی از عوامل مؤثر در بهبود خواص مکانیکی از جمله مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته گزارش شده است [۲۳]. بیشترین چسبندگی داخلی مربوط به تخته‌هایی است که سرشاخه انگور به مقدار ۱۵ درصد به سرشاخه سنجد اضافه‌شده است. افزایش بیشتر سرشاخه انگور سبب کاهش چسبندگی داخلی تخته می‌گردد. اگرچه افزایش حجم کیک خرده‌چوب در نسبت‌های بالاتر مصرف سرشاخه انگور، از نظر تئوریک می‌تواند موجب دنسیفیکیشن بیشتر و در نتیجه افزایش خواص مکانیکی شود، اما در این تحقیق مشاهده شد که به‌دلیل بافت اسفنجی، جرم مخصوص پایین و درصد بالای ذرات ریز و چوب‌پنبه‌ای در خرده‌چوب انگور، تراکم یکنواخت در حین پرس به‌خوبی شکل نگرفت. این موضوع باعث افزایش تخلخل داخلی و کاهش مؤثر در چسبندگی و مقاومت خمشی تخته‌ها در نسبت‌های بالای انگور گردید. در واقع، اثر منفی ساختار فیزیکی خرده‌چوب انگور بر پتانسیل فشردگی برتری یافته و موجب افت ویژگی‌های

مکانیکی شده است. درصد بالاتر وجود ذرات ریز در سرشاخه انگور (جدول شماره ۴) و عدم تجانس آنها با سرشاخه سنجد عامل این علت می باشد. همچنین افزایش سرشاخه انگور سبب افزایش واکشیدگی ضخامت گردید. دلیل این امر نیز عدم تجانس ذرات سرشاخه انگور و نحوه چسبندگی این ذرات با ذرات سرشاخه سنجد می باشد. محققانی مانند کامرانی و همکاران (۲۰۱۶) و لی و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقات خود نیز به این عامل در مورد ایجاد ویژگی‌های به دست آمده در تخته اشاره نموده‌اند [۹, ۲۴]. در مورد مصرف چسب، افزایش اولیه مقاومت‌های مکانیکی تا سطح مصرف ۱۱ درصد قابل توجه بود؛ اما در مصرف ۱۳ درصد، کاهش نسبی خواص مکانیکی مشاهده شد. برخلاف فرض اولیه مبنی بر تشکیل لایه ضخیم چسب، به نظر می‌رسد علت این کاهش، توزیع نامناسب چسب در ماتریس چوبی و افزایش سهم ذرات سبک و چوب‌پنبه‌ای انگور بوده باشد، که منجر به ایجاد فضاهای خالی و اتصال‌های ناقص بین ذرات شده است. این مسئله در سایر تحقیقات نیز تحت عنوان "ناهمگنی اختلاط در درصدهای بالای مواد سبک" مورد اشاره قرار گرفته است. باراگارین و همکاران (۲۰۱۹) در موضوع اثر مصرف رزین و شرایط پرس نتایج حاصل از این تحقیق را تایید نموده است [۲۵]. در مورد افزایش زمان پرس بایستی بیان نمود که افزایش زمان پرس در کنار دما سبب فشردگی بیشتر ذرات و درنتیجه افزایش مقاومت‌های مکانیکی تخته‌ها شده و در کنار آن کاهش واکشیدگی ضخامت را به همراه داشته است. به نظر می‌رسد افزایش زمان پرس فرصت کافی برای انتقال حرارت به قسمت‌های میانی و در نتیجه مساعد شدن شرایط برای کامل شدن پلیمریزاسیون اوره فرمالدهید و ایجاد اتصال قوی‌تر بین خرده چوب سرشاخه‌ها را فراهم نموده است. فراهم شدن فرصت کافی برای انتقال حرارت به لایه‌های مغزی شاید دلیل این امر باشد. عشوری و همکاران (۲۰۰۸) و ایسوانتو (۲۰۱۳) در تحقیق خود اثر مثبت افزایش زمان پرس و دمای پرس را بر روی افزایش مقاومت اتصال چسب اوره فرمالدهید و مقاومت تخته را تائید نمودند [۲۶, ۲۷]. به‌طور کل از نتایج یاد شده می‌توان نتیجه گرفت افزودن سرشاخه انگور به مقدار ۱۵ درصد به سرشاخه‌های سنجد باعث افزایش مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی تخته‌های ساخته شده می‌گردد. اگر چه افزایش سرشاخه انگور تا سطح ۱۵ درصد روی خاصیت واکشیدگی ضخامت تا حدودی اثر منفی دارد اما به لحاظ آثار مثبت روی خواص مکانیکی و معنی‌دار نبودن آماری، این اثر منفی قابل اغماض می باشد. افزایش مقدار چسب مصرفی به ۱۱ درصد و زمان پرس به ۷ دقیقه باعث افزایش بیشتر مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی می‌شود. بر اساس یافته‌های این تحقیق ساخت تخته سرشاخه سنجد از مخلوط سرشاخه سنجد صنعتی و سرشاخه انگور با نسبت ۸۵ درصد (سرشاخه سنجد) و ۱۵ درصد (سرشاخه انگور) از نظر عملی قابل توصیه است. نکته قابل توجه این است که با توجه به اندازه ذرات سرشاخه انگور و نزدیک بودن ابعاد طولی آن به ذرات بار درشت تخته خرده چوب در صنعت بایستی این نکته مورد توجه قرار گیرد که در استفاده از سرشاخه انگور در صنعت تخته خرده چوب مباحث مربوط به نگهداری این ماده نیز مدنظر و مورد بررسی قرار گیرد.

References

[1] Khosravi, S., Maleknia, R., Adeli, K., Mohseni, R., & Hodges, D. G. (2018). The future of wood products' trade and industry in Iran. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, *9*(1), 1-14.

[2] Enayati, A. A., Raeisi, M., & Adalat, H. (2009). Investigation of physical and mechanical properties of particleboard made from Apricot pruning and industrial wood particles. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 24(2), 244-253.

[3] Abed, M. M., Sepahvand, S., Jonoobi, M., Moradpour, P., & Blouri, B. (2024). The effect of using the additive CZ100 to reduce the amount of consumable wood in manufacturing particleboard. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 15(1), 67-77.

[4] Ĭosifov, N., V"lcheva, L., & Ganev, S. (1991). The effect of the wood species on the physical and mechanical properties of particleboards.

[5] Qureshi, A. S., Qadir, M., Heydari, N., Turral, H., & Javadi, A. (2007). A review of management strategies for salt-prone land and water resources in Iran.

[6] Ghofrani, M., & Fazeli, A. (2019). The effect of lignocellulosic material and resin content on physical and mechanical properties of particleboard. Karafan Journal, 16(1), 195-210.

[7] Okeke, F., Ahmed, A., & Hassanin, H. (2024, August). Study on agricultural waste utilization in sustainable particleboard production. In E3S Web of Conferences (Vol. 563). EDP Sciences.

[8] Behravavn, S., Aminian, H., Jamalirad, L., & Vaziri, V. (2021). The effect of alkali treatment of wheat straw powder on particle board properties made from mixing wheat straw and industrial wood chips. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 12(1), 57-71.

[9] Lee, S. H., Lum, W. C., Boon, J. G., Kristak, L., Antov, P., Pędzik, M., ... & Pizzi, A. (2022). Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: A review. Journal of Materials Research and Technology, 20, 4630-4658.

[10] Astari, L., & Akbar, F. (2019, October). Characteristics of particleboards made from agricultural wastes. In Iop Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 359, No. 1, p. 012014). IOP Publishing.

[11] Magiran. (2024). Vineyard cultivation area in Iran, . In Magiran. [Online]. Available:.

[12] IRNA. (2024). 33% of the country's Elaeagnus angustifolia (Russian olive) is produced in East AzerbaijanIn.

[13] Hassanpoor Tichi, A., Rezanezhad Divekolae, M., Khatiri, A., & Kazemian, M. M. (2022). Comparing the Anatomical and Biometrical Characteristics of Heartwood and Sapwood of Elaeagnus Angustifolia (Case Study: Khorasan Province). Karafan Journal, 18(4), 237-250, (in Persian).

[14] Hoseinzadeh, A., Jamalirad, L., Aminian, H., & Sedghi, M. (2023). Particles from grapevine pruning residue as a bio-based substitute for wood in hybrid particleboard production. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 13(4), 509-518.

[15] Nuryawan, A., Risnasari, I., Sucipto, T., Iswanto, A. H., & Dewi, R. R. (2017, July). Urea-formaldehyde resins: production, application, and testing. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 223, No. 1, p. 012053). IOP Publishing.

[16] Standards German for Testing of resins, hardeners and accelerators, and catalyzed resins. DIN German Standards, DIN 16945- 89-03, 1989. In.
[17] ISO, E. 11402. (2004) Phenolic, amino and condensation resins-Determination of free-formaldehyde content.
[18] Yıldırım, I. (2015). The investigation of biochemical content of Elaeagnus angustifolia. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, *2*(1), 38-45.
[19] Dias, M. C., Zidanes, U. L., Martins, C. C. N., de Oliveira, A. L. M., Damásio, R. A. P., de Resende, J. V., ... & Ferreira, S. R. (2022). Influence of hemicellulose content and cellulose crystal change on cellulose nanofibers properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, *213*, 780-790.
[20] Richard, T. (1996). The effect of lignin on biodegradability. Cornell composting.
[21] Jiang, Y., Simonsen, J., & Zhao, Y. (2011). Compression-molded biocomposite boards from red and white wine grape pomaces. Journal of Applied Polymer Science, 119(5), 2834-2846.
[22] Ghofrani, M., & Fazeli, A. (2019). The effect of lignocellulosic material and resin content on physical and mechanical properties of particleboard. Karafan Journal, 16(1), 195-210, (in Persian).
[23] Ghofrani, M., & Fazeli, A. (2019). The effect of lignocellulosic material and resin content on physical and mechanical properties of particleboard. Karafan Journal, 16(1), 195-210.
[24] KAMRANI, S., Yadollahi, S., Kamrani, M., Saraian, A. R., & LOTFI, A. (2016). The investigation on feasibility of using rice husk in particleboard industry.
[25] Barragàn-Lucas, A. D., Llerena-Miranda, C., Quijano-Aviles, M. F., Chóez-Guaranda, I. A., Maldonado-Guerrero, L. C., & Manzano-Santana, P. I. (2019). Effect of resin content and pressing temperature on banana pseudo-stem particle boards properties using full factorial design. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 91, e20180302.
[26] Ashori, A., & Nourbakhsh, A. (2008). Effect of press cycle time and resin content on physical and mechanical properties of particleboard panels made from the underutilized low-quality raw materials. Industrial crops and products, 28(2), 225-230.
[27] Iswanto, A. H., Febrianto, F., Hadi, Y. S., Ruhendi, S., & Hermawan, D. (2013). The effect of pressing temperature and time on the quality of particle board made from jatropha fruit hulls treated in acidic condition. Makara Journal of Technology, 17(3), 8.