



# ISAV2024

چهاردهمین کنفرانس بین المللی آکوستیک و ارتعاشات  
۲۱ و ۲۲ آذر ماه ۱۴۰۳ کرج - ایران



## مدلسازی ضریب جذب صدا برای پانل‌های میکرومتخلخل طبیعی چوب کاج یک لایه و دو لایه

فرشته توکلی<sup>۱\*</sup>، روح اله حاجی زاده<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>ایران، تهران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده ایمنی و بهداشت، کارشناس ارشد

<sup>۲</sup>استادیار مهندسی بهداشت حرفه‌ای، گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [fereshtehavakoli1996@gmail.com](mailto:fereshtehavakoli1996@gmail.com)

### چکیده

**مقدمه:** جاذب‌های میکرومتخلخل<sup>۱</sup> (MPP) به عنوان جاذب سبب به طور گسترده در طراحی آکوستیک و کنترل صدا استفاده می‌شود. هدف از مطالعه حاضر مدلسازی ضریب جذب صدا در پانل‌های میکرومتخلخل طبیعی چوب کاج یک لایه و دو لایه می‌باشد. در این پژوهش، طراحی آزمایش بر اساس فول فاکتور انجام گرفت. پانل‌های میکرومتخلخل تک لایه و دولایه از جنس درخت کاج ساخته شد. در ادامه اثر کاربرد کامپوزیت‌های ساخته شده از الیاف و براده‌های چوب کاج با دانسیته‌های ۲۰۰ تا ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ضخامت متغیر ۰/۵ تا ۲/۵ سانتیمتر بر میزان جذب صوت پانل‌های میکرومتخلخل ساخته شده در مراحل قبلی بررسی گردید. برای اندازه‌گیری ضریب جذب صدا از دستگاه امپدانس تیوب ساخت بر اساس استاندارد ISO ۱۰۵۳۴-۲ استفاده شد از آزمون‌های آماری ناپارامتریک همچون کروسکال-والیس و من ویتنی استفاده شد. تمامی آنالیزها توسط نرم افزار آماری SPSS ورژن ۲۷ IBM SPSS STATISTIC، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای مدلسازی از الگوریتم‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و یادگیری ماشین استفاده شد. نتایج نشان داد که پانل‌های دولایه ضریب جذب صدای بیشتری نسبت به پانل‌های تک لایه دارند. آزمون کروسکال والیس جهت بررسی میانه و میانگین ضریب جذب در سه ضخامت مختلف معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). در پانل‌های تک لایه تغییر فاصله هوایی باعث افزایش معنی دار ضریب جذب صدا شد ( $p < 0.05$ ). در پانل‌های دولایه تغییر فاصله هوایی باعث تغییر معنادار در میانه ضریب جذب پانل‌ها شد. نتیجه آزمون در پانل‌های دولایه معنی دار است ( $p < 0.05$ ) بنابراین فرض صفر رد و فرض مقابل در مورد این چوب‌ها پذیرفته می‌شود. استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین نسبت به مدل رگرسیون باعث تخمین دقیق‌تر ضریب جذب پانل می‌شود. همچنین ضخامت پانل در ضریب جذب تاثیرگذار است. میتوان با انتخاب ضخامت، قطر تخلخل و تعداد لایه و دیگر ویژگی‌ها و همچنین انتخاب چوب مناسب به

<sup>1</sup> Micro Perforated Panel

صورت قابل قبولی ضریب جذب را پیش‌بینی کرد. در مجموع، با توجه میزان خطای مدل‌های یادگیری ماشین میتوان گفت این مدل‌ها از توانایی بهتری در تخمین ضریب جذب صدا برخوردارند و تخمین ضریب جذب را با خطای کمتری نسبت به مدل رگرسیون انجام می‌دهند.

**کلمات کلیدی:** مدل‌سازی، ضریب جذب صدا، پانل‌های میکرومتخلخل طبیعی، پانل یک لایه، پانل دو لایه، چوب کاج

## ۱- مقدمه

صدا از رایج‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی در جهان، به ویژه در زمینه‌های شغلی بوده و آلودگی صوتی را می‌توان به عنوان صدای محیطی در نظر گرفت که انتشار آن ممکن است اثرات سوء بر فعالیت زندگی انسان داشته باشد (۱، ۲). جدا از اثراتی مانند کاهش شنوایی یا اختلال، شواهدی مبنی بر چندین پیامد نامطلوب غیر شنوایی، از جمله بیماری‌های قلبی عروقی، مرتبط با مواجهه طولانی مدت با صداهای محیطی وجود دارد (۴). صداهای شغلی معمولاً از طریق مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت جسمانی افراد تأثیر می‌گذارند (۱). اثرات روی سیستم شنوایی و خواب ناشی از اختلال در مکانیزم مستقیم صدا بر گیرنده‌های عصبی است و اثرات غیرمستقیم صدا از طریق پاسخ‌های عاطفی و شناختی باعث ایجاد آزرده‌گی می‌شوند (۵). مواجهه با صدای بالاتر از حد استاندارد یکی از بزرگترین و رایج‌ترین خطرات شغلی به ویژه در محیط‌های صنعتی است (۶). بر اساس تخمین سازمان بهداشت جهانی<sup>۲</sup> (WHO)، صدا دلیل ۳ درصد از مرگ و میر و ۱۰ تا ۱۵ درصد از بیماری‌های جهان در سال ۲۰۲۰ بوده است و همچنین صدای شغلی عامل ۱۶ درصد از کاهش شنوایی ناتوان‌کننده در بزرگسالان است (۷). موسسه ملی ناشنوایی گزارش می‌دهد که حدود ۱۵٪ از آمریکایی‌های بین ۲۰ تا ۶۹ سال از کم شنوایی در فرکانس‌های بالا رنج می‌برند که این امر ممکن است به دلیل مواجهه با صدای بلند در محل کار ایجاد شود (۹). طبق آمار مرکز بهداشت محیط و بهداشت حرفه‌ای وزارت بهداشت، بیش از دو میلیون کارگر با صداهای بالاتر از حد مجاز مواجه هستند (۱۰). موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی حداکثر سطح صدای استاندارد قابل مواجهه برای محیط‌های صنعتی را ۸۵ دسی بل (A) گزارش کرده است (۵).

در سال‌های اخیر، فراهم کردن محیطی آرام و بدون صداهای مزاحم به یک نیاز تبدیل گردیده که متعاقباً منجر به رشد چشمگیر تکنیک‌های کنترل صدا شده است (۱۲). از جمله روش‌های کنترلی مواجهه با صداهای بلند، کنترل مسیر انتشار صدا با استفاده از عایق و جاذب می‌باشد که رایج‌ترین آنها شامل مواد متخلخل از جنس الیاف طبیعی<sup>۳</sup> و مصنوعی<sup>۴</sup> با ضریب جذب صدای مناسب می‌باشند (۹، ۱۳). MPP پانل‌های نازک با منافذ متعددی هستند تا بتوانند ویسکوزیته و اتلاف انرژی حرارتی داخل منافذ را افزایش دهند و اساس کار آنها ارائه دادن یک مقاومت صوتی بالا و جرم آکوستیکی اندک برای تنظیم جذب صدا می‌باشد (۱۸). جذب آکوستیک در طیف وسیعی از فرکانس‌ها در کنار ویژگی‌های قابل توجه دیگری مانند هزینه کم، شکل‌پذیری مناسب و وزن سبک، این جاذب‌های صدا را به ماده‌ای ایده‌آل برای کنترل صدا در صنایع ساختمانی و حمل و نقل تبدیل کرده است (۱۵). علاوه بر عملکرد آکوستیکی، عواملی مانند محدودیت فضا، مقاومت در برابر خوردگی و آتش سوزی و غیره که در کاربردهای مهندسی این جاذب‌ها از اهمیت بالایی برخوردار هستند، همزمان با خاصیت بازتاب و انتقال صدای کم از دلایل کارایی بالای این گونه جاذب‌ها می‌باشد (۱۹).

<sup>2</sup> The World Health Organization

<sup>3</sup> Natural fibers

<sup>4</sup> artificial fiber

با این وجود، اکثر جاذب‌های صدا که در حال حاضر تولید انبوه می‌شوند مانند فایبرگلاس<sup>۵</sup>، پلی استر<sup>۶</sup>، پشم معدنی، پلی یورتان<sup>۷</sup> و غیره، منشأ مصنوعی دارند و استفاده گسترده از آنها باعث نگرانی‌های مهم زیست‌محیطی، بهداشتی و همچنین مسائل ایمنی برای انسان شده است و از طرفی افزایش این نگرانی‌ها در مورد اثرات نامطلوب استفاده از مواد جاذب صدا مصنوعی بر سلامت افراد، زمینه مساعدی را برای توسعه تحقیقات در مورد استفاده از الیاف طبیعی به عنوان عایق و جاذب صدا فراهم کرده است (۸، ۲۰).

در سال‌های اخیر، محققان انواع مواد طبیعی و پایدار را به عنوان جایگزینی برای مواد مصنوعی در ساخت جاذب‌های صدا مورد بررسی قرار داده‌اند که عمدتاً به دلیل ویژگی‌های خاص آنها مانند دوام بالا، تخریب‌پذیری، انعطاف، مقاومت الکتریکی بالاتر، هزینه کم، مصرف انرژی کمتر، اثرات اندک زیست محیطی و غیر سمی بودن حائز اهمیت شده‌اند (۱۵). امروزه مواد طبیعی به دلیل هزینه کم و ملاحظات زیست‌محیطی به طور گسترده برای ساخت جاذب‌های صدا استفاده می‌شود. با توجه به اینکه مطالعات نشان داده‌است که مواد طبیعی می‌توانند جایگزین مناسبی برای مواد مصنوعی باشند (۲۱). الیاف طبیعی اغلب دارای خاصیت جذب صدا و عایق حرارتی خوبی می‌باشند، سلامت انسان را تهدید نمی‌کنند، در بسیاری از کشورها ارزان قیمت هستند و اغلب به عنوان ضایعات سایر فرآیندهای تولیدی ساخته می‌شوند (۲۲). بسیاری از مواد طبیعی مانند بامبو<sup>۸</sup>، کناف<sup>۹</sup>، سیزال<sup>۱۰</sup>، کتان<sup>۱۱</sup>، کنف<sup>۱۲</sup>، پشم گوسفند<sup>۱۳</sup>، چوب پنبه<sup>۱۴</sup> یا الیاف نارگیل<sup>۱۵</sup> عملکرد جذب صدا خوبی دارند و بنابراین می‌توانند به عنوان جاذب صدا در اتاق‌های آکوستیک و موانع صوتی استفاده شوند (۲۳).

جاذب‌های میکرومتخلخل در اکثر مطالعات به عنوان یک روش جدید کنترل صدا معرفی شده است. همچنین مطالعات انجام شده در زمینه پنل‌های میکرومتخلخل نشان داده‌اند که استفاده از الیاف طبیعی عملکرد جذب صدا را افزایش می‌دهند. در نتیجه با در دست داشتن متغیرهای متفاوت و تاثیرگذار در بحث ضریب جذب، از طریق مدلسازی ریاضی می‌توان به مدلی بهینه دست یافت که با داشتن متغیرهای در نظر گرفته شده، میزان ضریب جذب را تخمین زد. برای بهینه‌سازی ویژگی‌های صوتی مواد متخلخل، باید رابطه بین پارامترهای ساختاری و رفتار آکوستیک بررسی شود. برای این منظور، مدل‌های مختلف مانند ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم برای بررسی اثر ساختار محیط متخلخل بر رفتار آکوستیک ارائه شده است (۲۵). ماشین بردار پشتیبانی یکی از تکنیک‌های کلاسیک یادگیری ماشینی در مدل‌سازی است که می‌تواند به حل مشکلات طبقه‌بندی کلان داده کمک کند. به خصوص، می‌تواند به برنامه‌های چند دامنه‌ای در یک محیط داده بزرگ کمک کند. (۲۶). همچنین هدف الگوریتم درخت تصمیم ایجاد مدلی است که مقدار یک متغیر هدف را پیش‌بینی می‌کند، که برای آن از نمایش درختی برای بهینه‌سازی اطلاعات استفاده می‌کند (۲۸).

هدف از انجام این مطالعه، مدلسازی ریاضی ضریب جذب صوت پانل‌های میکرومتخلخل طبیعی یک لایه و دولایه بر اساس سازه متخلخل، درصد تخلخل و ضخامت پانل می‌باشد تا بتوان با استفاده از یک مدل بهینه و متعبر اثر متغیرهای موردنظر بر ضریب

<sup>۵</sup> Fiberglass

<sup>۶</sup> polyester

<sup>۷</sup> polyurethane

<sup>۸</sup> bamboo

<sup>۹</sup> Kenaf

<sup>۱۰</sup> Sisal

<sup>۱۱</sup> linen

<sup>۱۲</sup> hemp

<sup>۱۳</sup> wool

<sup>۱۴</sup> Cork

<sup>۱۵</sup> Coconut fiber

جذب را مورد مطالعه قرار داد همچنین با استفاده از مدل معتبر و بهینه به دست آمده می‌توان جاذب‌هایی طراحی کرد که عملکرد بهینه در جذب صوت در فرکانس‌های مختلف داشته باشند.

## ۲- روش کار

### ۱-۲ تهیه مواد و آماده‌سازی ابزار و تجهیزات

برای اجرای این پروژه ابتدا مواد مورد نیاز برای ساخت پانل میکرومتخلخل تهیه گردید. براده‌های باقی مانده از الیاف چوب درخت کاج از شرکت عایق‌های الکتریکی پارس واقع در استان زنجان تهیه شد. برای ساخت پانل و همبند کردن اجزای آن، از چسب پلی وینیل الکل استفاده شد که پودر آن با آب مقطر و به نسبت یک به بیست مخلوط شد. سپس تا انحلال کامل پودر، ترکیب هم زده شد. سپس در قالب‌هایی که مطابق با ابعاد لوله‌امپدانس بود، ریخته شد. در ادامه آن‌ها، به مدت یک ساعت در دستگاه پرس تحت فشار قرار داده شد.

در مطالعات مختلف اثر قطر منافذ، ضخامت و دانسیته مواد جاذب صوت در کارایی جاذب مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه در مطالعات مختلف ضخامت ۱ میلی‌متر و قطر منافذ ۵۰۰ میکرومتر به عنوان قطر بهینه پانل‌های میکرو متخلخل معرفی شده است؛ در این مطالعه قطر منافذ پانل‌های میکرو متخلخل ثابت و برابر با ۵۰۰ میکرومتر و همچنین ضخامت پانل‌های میکرو متخلخل نیز ثابت و برابر ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شد. برای متخلخل کردن صفحه‌ها از دستگاه لیزر CO2 مدل RT6040 استفاده شد.

در مطالعه حاضر، اثر کاربرد کامپوزیت‌های ساخته شده از پلی پروپیلن با دانسیته‌های ۲۰۰ تا ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ضخامت متغیر ۰/۵ تا ۲/۵ سانتی‌متر بر میزان جذب صوت پانل‌های میکرو متخلخل ساخته شده در مراحل قبلی بررسی شد. طرح شماتیک یک پانل میکرو متخلخل تک لایه حاوی مواد جاذب صوت در شکل ۵ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در پانل‌های میکرو متخلخل دولایه، ضخامت جاذب‌ها به دو نیمه تقسیم شد و هر نیمه پشت هر یک از پانل‌های میکرو متخلخل قرار گرفت. همانطور که اشاره شد در زمینه جاذب‌های صوتی قرار دادن مواد جاذب همراه با پنل‌های میکرو متخلخل باعث افزایش ضریب جذب می‌گردد؛ در این تحقیق نیز پنل‌های میکرو متخلخل همراه با مواد جاذب مورد بررسی قرار گرفت و ضرایب جذب آن‌ها اندازه‌گیری شد. بنابراین، کامپوزیت‌های تهیه شده از الیاف چوب کاج با ضخامت‌های ۰/۵ تا ۲/۵ سانتی‌متر و دانسیته‌های ۲۰۰ تا ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب در ناحیه پشت پانل‌های میکرو متخلخل استفاده شد و از نظر خصوصیات آکوستیکی مورد ارزیابی قرار گرفت.

### ۲-۲ اندازه‌گیری ضریب جذب صدا

برای اندازه‌گیری ضریب جذب صدا از دستگاه امپدانس تیوب ساخت بر اساس استاندارد ISO10534\_2 استفاده شد. در یک انتهای این لوله‌ی استوانه‌ای شکل و غیر متخلخل محل قرارگیری نمونه‌ها و در انتهای دیگر آن بلندگوی تولید صدا قرار دارد. پس از اندازه‌گیری ضرایب جذب صوت، دانسیته سطحی نمونه‌ها نیز به وسیله اندازه‌گیری سطح نمونه‌ها و همچنین جرم آن‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\frac{\text{جرم}(kg)}{\text{سطح}(m^2)} = DA \quad (\text{فرمول 1})$$

### ۳- یافته‌ها

جهت تخمین ضریب جذب صدای پانل‌های میکرومتخلخل طبیعی بوسیله مدل سازی ریاضی، از سه روش یادگیری با نظارت ماشین بردار پشتیبان، درخت تصمیم و شبکه عصبی استفاده شد. میزان خطای هر یک از مدل‌ها مطابق (جدول ۱) بوده است. در این جدول میزان متوسط خطای مطلق هر یک از روش‌های مدلسازی در تخمین ضریب جذب مشخص شده است.

جدول ۱: مقایسه میزان خطای متوسط به سه روش مدل‌سازی

میزان خطا			چوب
ماشین بردار پشتیبان	شبکه عصبی	درخت تصمیم	کاج
۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۴	

میزان اهمیت متغیرها در هر یک از مدل‌ها در (جدول ۲) مشخص شده است. اعداد روبروی نام متغیرها میزان اهمیت آن را نشان می‌دهد. هر چه عدد بزرگتر باشد اهمیت آن در پیش بینی ضریب جذب در آن مدل بیشتر است.

جدول ۲: جدول اهمیت متغیرها به تفکیک در چوب‌های کاج

کاج		
قطر تخلخل (۰/۰۵۳۱)	قطر تخلخل (۰/۰۲۵)	قطر تخلخل (۰/۰۲۶۴)
فاصله تخلخل (۰/۰۵۶)	فاصله تخلخل (۰/۱۸۷)	فاصله تخلخل (۰/۰۲۶۴)
درصد (۰/۰۵۲۶)	درصد (۰/۰۴)	درصد (۰/۰۴۲۲)
تعداد لایه‌ها (۰/۱۸۷۵)	تعداد لایه‌ها (۰/۲۳)	تعداد لایه‌ها (۰/۰۴۹۲)
ضخامت (۰/۰۰۱۸)	ضخامت (۰/۰۱۱۵)	ضخامت (۰/۰۲۶۴)
فرکانس (۰/۶۴۹)	فرکانس (۷)	فرکانس (۰/۸۲۹۵)

همچنین مدلسازی رگرسیون انجام شد که نتایج زیر به دست آمد که طبق (جدول ۳) زیر ضرایب همبستگی متغیرها را نشان می‌دهد که هر چه اعداد به یک نزدیکتر باشد همبستگی شدیدتر بین دو متغیر را نشان می‌دهد. مقادیر مثبت همبستگی مثبت و مقادیر منفی همبستگی منفی را نشان می‌دهند.

جدول ۳: ضرایب همبستگی

تعداد لایه ها	ضخامت پنل	درصد تخلخل	فرکانس	فاصله تخلخل	قطر تخلخل
۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۸۹	-۰/۰۰۱	-۰/۰۶۱	۰/۰۰۱
-۰/۰۰۲	۱	۰/۱۱۰	-۰/۰۰۱	-۰/۰۷۴	۰/۰۰۲
۰/۰۸۹	۰/۱۱۰	۱	-۰/۰۰۱	-۰/۷۵۹	-۰/۰۵۴
-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
-۰/۰۶۱	-۰/۰۷۴	-۰/۷۵۹	۰/۰۰۲	۱	۰/۶۴۹
۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	-۰/۰۵۴	۰/۰۰۳	۰/۶۴۹	۱
بعد، ابعاد، اندازه	۱	۲	۳	۴	۵
مقدار خاص	۲/۰۴۵	۱/۰۵۸	۱/۰۰۲	۱	۰/۸۶۸

ضرایب معادله رگرسیون و مقدار p-value در (جدول ۴) زیر نشان داده شده است. سطح معنی‌داری برابر ۰/۰۵ می‌باشد.

جدول ۴: جدول ضرایب معادله رگرسیون

ضریب بتا	خطای استاندارد	درجه آزادی	p-value (سطح معناداری)
۰/۳۲۶	۰/۰۱۱	۱	۰/۰۰۰
۰/۰۹۴	۰/۰۱۱	۲	۰/۰۰۰
۰/۳۹۳	۰/۰۴۹	۲	۰/۰۰۰
۰/۷۱۳	۰/۰۰۹	۷	۰/۰۰۰
۰/۴۷۹	۰/۰۶۰	۴	۰/۰۰۰
-۰/۲۷۰	۰/۰۳۲	۲	۰/۰۰۰

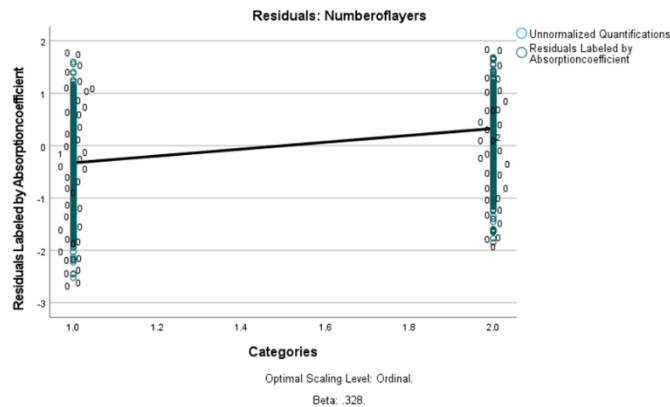
معادله پیش بینی ضریب جذب برابر زیر است:

$$\text{Absorptioncoefficient} = 0.713 * \text{frequency} + 0.332 * \text{numberoflayers} + 0.103 * \text{thickness} + 0.076 * \text{percentage} - 0.015 * \text{porositydistance} - 0.007 * \text{porositydiameter}$$

تمام ضرایب بر اساس معادله زیر استاندارد شده‌اند:

$$(x - \text{Mean}(x)) / \text{SD}(x)$$

نمودار (۱) خطای بین مقدار واقعی و مقدار پیش بینی شده را نشان می‌دهند. این نمودار مقادیر شامل مقادیر باقیمانده می‌باشد که فاصله بین مقدار مشاهده شده و خط رگرسیون را نشان می‌دهند.



نمودار ۱: خطای بین مقدار واقعی و مقدار پیش بینی شده رگرسیون

ضرایب مدل رگرسیون و همچنین p-value، خطای استاندارد برای هر یک از متغیرها و درجه آزادی برای چوب کاج در (جدول ۵) نشان داده شده است. همچنین سطح معنی داری نیز برابر ۰.۰۵ است.

جدول ۵: خطای استاندارد متغیرها و درجه آزادی در چوب کاج

ضریب بتا	خطای استاندارد	درجه آزادی	p-value
۰/۱۴۱	۰/۰۲۰	۲	۰/۰۰۰
۰/۳۲۳	۰/۰۱۸	۱	۰/۰۰۰
-۰/۲۹۳	۰/۰۵۸	۲	۰/۰۰۰
۰/۶۹۶	۰/۰۱۵	۷	۰/۰۰۰
۰/۴۳۷	۰/۰۸۴	۲	۰/۰۰۰
۰/۵۹۲	۰/۱۰۷	۴	۰/۰۰۰

معادله تخمین ضریب جذب برای چوب کاج بر اساس جدول فوق به صورت زیر خواهد بود.

$$\text{Absorptioncoefficient} = 0.696 * \text{frequency} + 0.323 * \text{numberoflayers} + 0.141 * \text{thickness} + 0.437 * \text{percentage} + 0.592 * \text{prositydistance} - 0.293 * \text{porositydiameter}$$

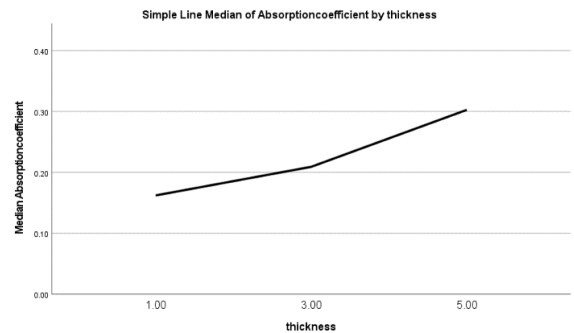
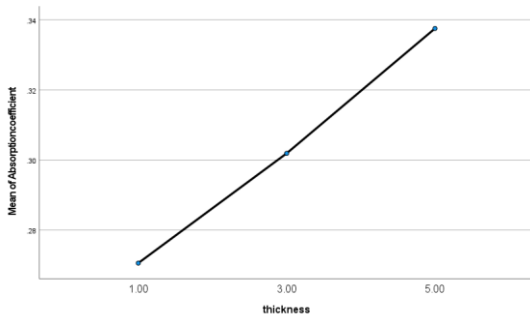
مقادیر متغیرها در این معادله بر اساس فرمول زیر استاندارد شده اند.

$$(x - \text{Mean}(x)) / \text{SD}(x)$$

در ادامه، تعیین تاثیر ضخامت بر ضریب جذب صدای پانلهای متخلخل طبیعی و به صورت دقیق تر، کاهش ضریب جذب صدای پانلهای میکرومتخلخل طبیعی با افزایش ضخامت پنل، بررسی گشت.

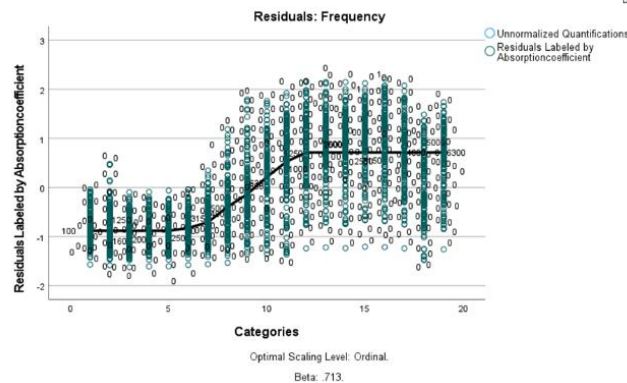
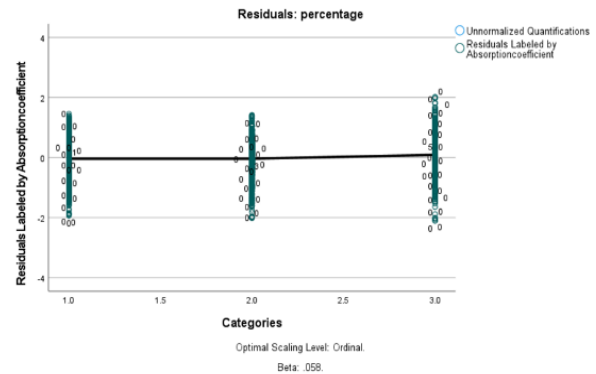
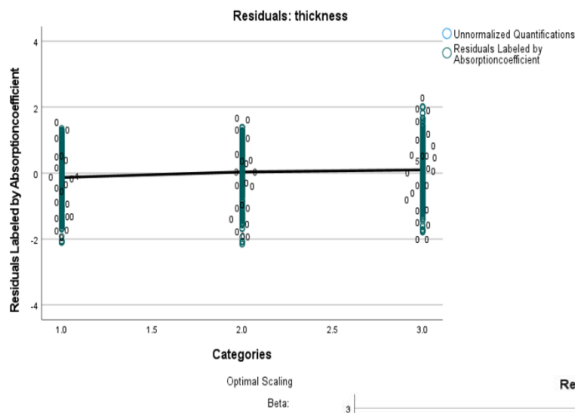
جدول ۶: ضریب جذب صدای پانل های متخلخل

چوب	میانگین ضریب جذب بین گروه ها	سطح معناداری	p-value
کاج	میانگین ضریب جذب بین گروه ها	سطح معناداری	p-value
		۰/۰۵	۰/۰۰۰



نمودار ۲: میانگین ضریب جذب در ضخامت های مختلف چوب کاج

نمودار ۳: میانگین ضریب جذب در ضخامت های مختلف چوب کاج



نمودار ۴: نمودارهای باقی مانده

ضرایب مدل رگرسیون و همچنین p-value، خطای استاندارد برای هر یک از متغیرها و درجه آزادی برای چوب کاج در



(جدول ۷) نشان داده شده است. همچنین سطح معنی داری نیز برابر ۰.۰۵ است.

جدول ۷: خطای استاندارد متغیرها و درجه آزادی در چوب کاج

ضریب بتا	خطای استاندارد	درجه آزادی	p-value
۰/۱۴۱	۰/۰۲۰	۲	۰/۰۰۰
۰/۳۲۳	۰/۰۱۸	۱	۰/۰۰۰
-۰/۲۹۳	۰/۰۵۸	۲	۰/۰۰۰
۰/۶۹۶	۰/۰۱۵	۷	۰/۰۰۰
۰/۴۳۷	۰/۰۸۴	۲	۰/۰۰۰
۰/۵۹۲	۰/۱۰۷	۴	۰/۰۰۰

معادله تخمین ضریب جذب برای چوب کاج بر اساس جدول فوق به صورت زیر خواهد بود.

$$\text{Absorptioncoefficient} = 0.696 * \text{frequency} + 0.323 * \text{numberoflayers} + 0.141 * \text{thickness} + 0.437 * \text{percentage} + 0.592 * \text{prositydistance} - 0.293 * \text{porositydiameter}$$

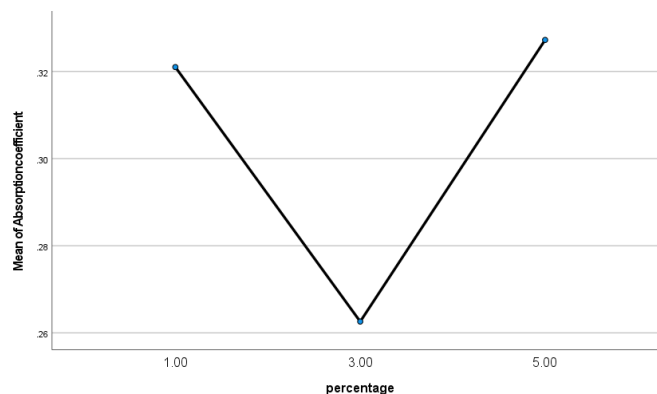
مقادیر متغیرها در این معادله بر اساس فرمول زیر استاندارد شده اند.

$$(x - \text{Mean}(x)) / \text{SD}(x)$$

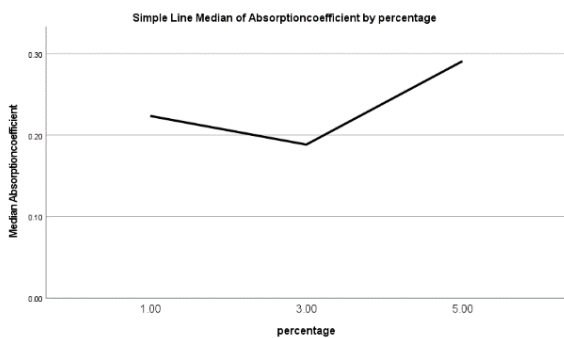
در قدم بعدی، تعیین تاثیر درصد تخلخل بر ضریب جذب صدای پانل‌های میکرومتخلخل طبیعی ساخته شده بررسی شد.

جدول ۸: تغییرات میانگین ضریب جذب در چوب سرو با درصد‌های مختلف تخلخل

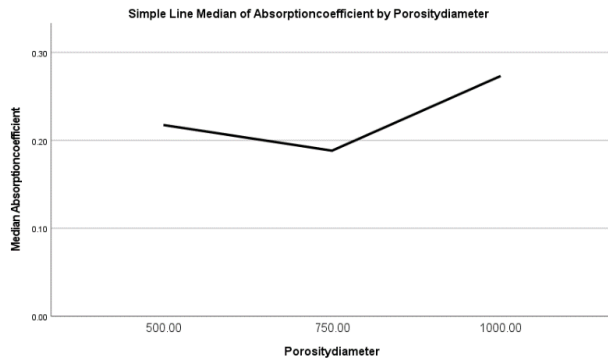
میانگین ضریب جذب بین گروه‌ها		میانگین ضریب جذب بین گروه‌ها		چوب
p-value	سطح معناداری	p-value	سطح معناداری	
۰/۰۱۶	۰/۰۵	۰/۱۰۵	۰/۰۵	کاج



نمودار ۵: تغییرات میانگین ضریب جذب در پانل‌های با درصد تخلخل متفاوت

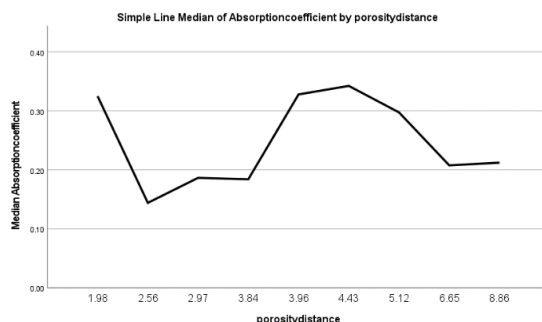
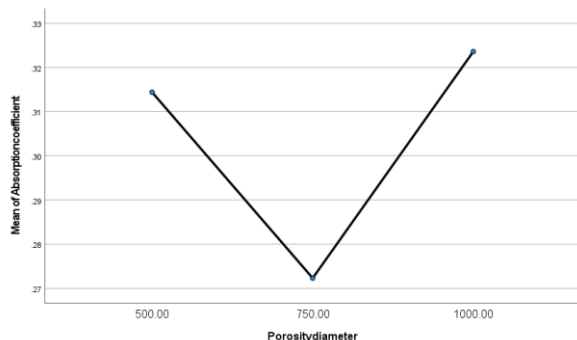


۲۱ و ۲۲ آذ



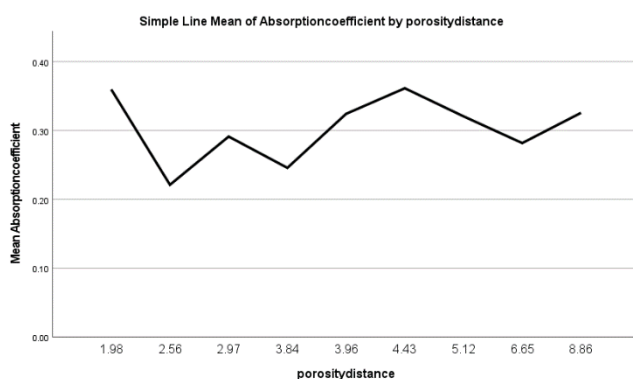
نمودار ۶: تغییرات میانه ضریب جذب در پانل های با درصد تخلخل متفاوت در چوب کاج

نمودار ۷: تغییرات میانه جذب در قطرهای تخلخل متفاوت در چوب کاج



نمودار ۸: تغییرات میانگین ضریب جذب در قطرهای تخلخل متفاوت در چوب کاج

نمودار ۹: میانه توزیع ضریب جذب در پانل های با فواصل متفاوت در چوب کاج



نمودار ۱۰: میانگین توزیع ضریب جذب در پانل های با فواصل متفاوت در چوب کاج

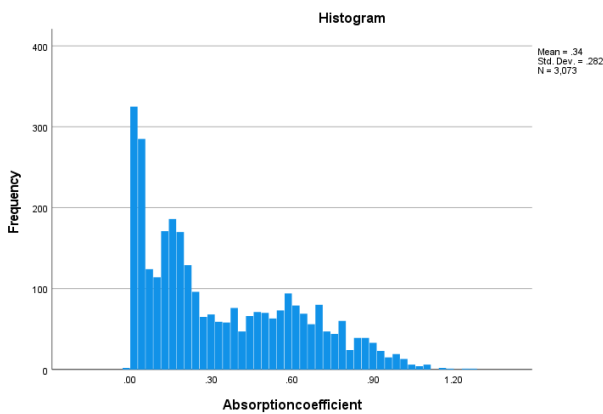
جدول ۹: توزیع میانه ضریب جذب با فواصل مختلف در پانل تکلابه چوب کاج

میانگین ضریب جذب بین گروه ها		میانه ضریب جذب بین گروه ها		چوب
p-value	سطح معناداری	p-value	سطح معناداری	
۰/۰۰۱	۰/۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۵	کاج

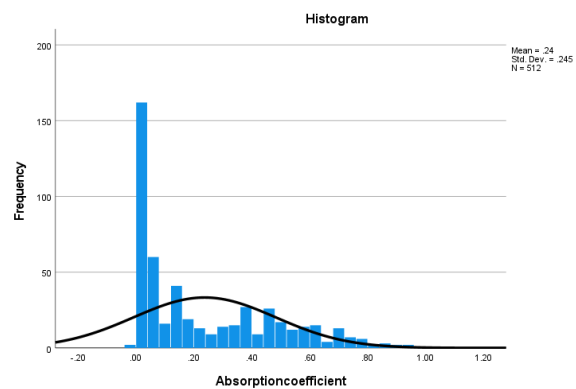
جدول ۱۰: توزیع میانه ضریب جذب با فواصل مختلف در پانل دولایه چوب کاج

میانگین ضریب جذب بین گروه ها		میانه ضریب جذب بین گروه ها		چوب
p-value	سطح معناداری	p-value	سطح معناداری	
۰/۰۰۱	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۵	کاج

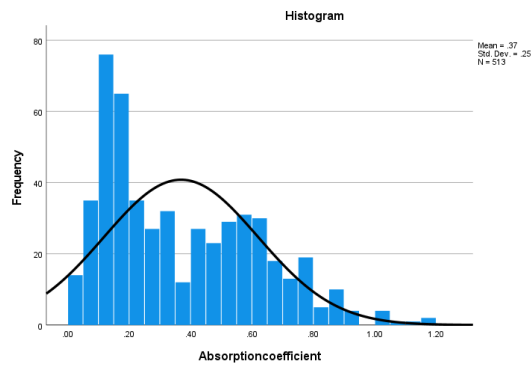
در نهایت، ضریب جذب پانل‌های میکرومتخلخل طبیعی ساخته شده تک لایه و دولایه بررسی شد.



نمودار ۱۱: ضریب جذب بدون در نظر گرفتن نوع چوب



نمودار ۱۲: ضریب جذب در چوب کاج پانل تک لایه



نمودار ۱۳: ضریب جذب در چوب کاج پانل دولایه

#### ۴- بحث

تعیین ضریب جذب برای سه نوع چوب سرو، راش و کاج به صورت پانل های تک لایه و دولایه به طور مجزا محاسبه شد. ضرایب جذب در تمام انواع چوب دارای چولگی مثبت است. میانگین ضریب جذب در پانل های دولایه بیش از پانل های تک لایه است. همچنین میانه ضریب جذب در پانل های دولایه در هر سه نوع چوب موجود همواره بیش از ۲ برابر ضریب جذب همان نوع چوب در نوع پانل های تک لایه است. میانه ضریب جذب چوب راش تک لایه از میانه ضریب جذب در چوب کاج تک لایه کمتر است و آن نیز از چوب سرو تک لایه کمتر است. در پانل های دو لایه نیز همین ترتیب بر قرار است گرچه این اختلاف زیاد نیست. نتایج نشان می دهد به طور کلی پانل های دولایه ضریب جذب صدای بیشتری نسبت به پانل های تک لایه دارند لذا برای جذب بیشتر صدا بهتر است

از پانل‌های دولایه استفاده کرد. در ادامه به بررسی هر یک از ویژگی‌های پانل‌ها پرداخته شده تا مشخصات بهینه برای ضریب جذب را به دست بیاوریم. این نتایج با نتایج مقاله یونگ و دیگران [۱] هم خوانی دارد.

به منظور مدل‌سازی ریاضی جهت تخمین ضریب جذب صدای پانل‌های میکرومتخلخل طبیعی از سه الگوریتم یادگیری ماشین برای مدل‌سازی استفاده شده است. همچنین از مدل رگرسیون نیز بدین منظور استفاده و فرمول تعیین ضریب جذب به دست آمده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی با استفاده از سه الگوریتم یادگیری ماشین نشان می‌دهد که مدلی که با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان ساخته شده است برای تخمین ضریب جذب در چوب‌های سرو و کاج از خطای کمتری نسبت به مدل‌های شبکه عصبی و درخت تصمیم برخوردار است. در چوب راش نیز درخت تصمیم با اختلاف بسیار ناچیزی در میزان خطای پیش‌بینی ضریب جذب صدا عملکرد بهتری داشته‌گرچه این اختلاف قابل چشم‌پوشی است (اختلاف در حد ۰.۰۰۳ است). بدون در نظر گرفتن نوع چوب نیز ماشین بردار پشتیبان بهترین عملکرد را داشته است (دارای کمترین میزان خطا در تخمین بوده است). لذا می‌توانیم بگوییم از میان این سه روش بهترین الگوریتم جهت تخمین ضریب جذب با استفاده از متغیرهای موجود ماشین بردار پشتیبان است که کمترین میزان خطا را در حد ۰.۱۳ دارا می‌باشد. بررسی میزان اهمیت متغیرها در تخمین ضریب جذب نشان می‌دهد فرکانس بیشترین اهمیت را در تخمین ضریب جذب در هر سه مدل و برای تمام چوب‌ها بازی می‌کند. متغیر با اهمیت بعدی تعداد لایه‌ها است که تنها در یک مورد در چوب راش در الگوریتم ماشین بردار پشتیبان اهمیت آن از ضخامت پانل کمتر بوده است.

مدل رگرسیون در چوب راش با ۵ متغیر انجام شده است که قطر تخلخل در این مدل معنی‌دار نبوده است. متغیر ششم یعنی فاصله هوایی در این نوع چوب به دلیل توالرانس کم و بدتر شدن نتیجه مدل حذف شده است. مدل رگرسیون در چوب سرو نیز به دلیل هم‌خطی متغیرها با ۵ متغیر مدل‌سازی انجام شده است که از این میان قطر تخلخل در این نوع چوب نیز در معادله رگرسیون معنی‌دار نبوده است. در چوب کاج و در حالت کلی، مدل‌سازی با هر ۶ متغیر انجام شده و هر ۶ متغیر در مدل معنی‌دار بوده‌اند. مدل رگرسیون در تمام انواع چوب توانسته به صورت معتبر معادله‌ای برای تخمین ضریب جذب به دست بیاورد. هر چهار مدل توانسته‌اند بیش از ۶۳ درصد داده‌ها را پشتیبانی کنند و میزان خطای آن‌ها برابر ۰.۳ بوده است که از هر سه روش یادگیری ماشین انجام شده، خطای بیشتری دارند. تفاوت مدل رگرسیون با مدل‌های قبلی در این است که مدل‌های یادگیری ماشین معادله‌ای جهت تخمین ضریب جذب به دست نمی‌دهند در صورتی که مدل رگرسیون معادله‌ای خطی را در این مورد پیشنهاد می‌دهد. لذا در صورتی که به معادله‌ای برای تخمین ضریب جذب نیاز است می‌توان از مدل رگرسیون استفاده کرد اما این مدل به دلیل سادگی نسبت به مدل‌های یادگیری ماشین دارای میزان خطای بسیار بیشتری است. خطای مدل‌های یادگیری ماشین در بدترین حالت از ۰.۱۹ بیشتر نبوده است و این نشان از برتری مدل‌های یادگیری ماشین دارد، گرچه این مدل‌ها پیچیده‌تر از مدل رگرسیون هستند و معادله‌ی ریاضی نیز از آنها قابل استخراج نیست. نکته بعدی آن است که در مدل رگرسیون نیز بررسی اهمیت متغیرها نشان می‌دهد فرکانس بیشترین میزان اهمیت را در مدل تخمین ضریب صدا دارد و بعد از آن تعداد لایه‌ها از بیشترین اهمیت برخوردار است. این نتایج با نتایج تحقیق Gino Iannace و همکاران در سال ۲۰۲۰ مبنی بر عملکرد ضعیفتر مدل رگرسیون نسبت به دیگر مدل‌های یادگیری ماشین از جمله شبکه عصبی همخوان است.

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که چهار مدل رگرسیون به دست آمده دارای ضرایب مختلفی برای متغیرها هستند که ناشی از تاثیر نوع چوب در تخمین ضریب جذب است. در تمام چهار مدل رگرسیون ترتیب اهمیت متغیرها یکسان است گرچه میزان تاثیرگذاری آن‌ها برای تخمین ضریب جذب متفاوت است. با توجه به میزان خطای مدل‌های یادگیری ماشین می‌توان گفت این مدل‌ها از توانایی بهتری در تخمین ضریب جذب برخوردارند و تخمین ضریب جذب را با خطای کمتری نسبت به مدل رگرسیون انجام می‌دهند.

تعیین تاثیر ضخامت بر ضریب جذب صدای پانل‌های متخلخل طبیعی با آزمون کروسکال والیس جهت بررسی میانه و میانگین ضریب جذب در سه ضخامت مختلف در چوب‌های سرو، کاج، راش و همچنین بدون در نظر گرفتن نوع چوب انجام شده و در سطح معنی داری ۰.۰۵ معنی دار بوده است ( $pvalue < 0.05$ ). بنابراین با اطمینان ۹۵ درصد می‌توان گفت در همه انواع چوب ضریب جذب صدای پانل حداقل در دو ضخامت مختلف با یکدیگر اختلاف معنی دار آماری داشته و نتیجه بدون در نظر گرفتن نوع چوب نیز معتبر است ( $0.05 > 0.00$ ). نتایج نشان می‌دهد میانه و میانگین ضریب جذب در تمام انواع چوب از ضخامت ۱ به ۳ افزایش پیدا می‌کند. در چوب سرو اما میانه و میانگین ضریب جذب در ضخامت ۵ از ضخامت ۳ کمتر و روند کاهشی دارد. در بقیه چوب‌ها با افزایش ضخامت ضریب جذب نیز افزایش می‌یابد. بدون در نظر گرفتن نوع چوب نیز افزایش ضریب جذب صدا با افزایش ضخامت پانل افزایش مشهودی دارد. نتایج آزمون‌های دو به دو نشان می‌دهد همواره اختلاف ضریب جذب در ضخامت ۱ و ۵ معنی دار و افزایشی است. گرچه همواره اختلاف معنی داری بین ضریب جذب در ضخامت‌های ۱-۳ و ۳-۵ وجود ندارد. لذا می‌توانیم بگوییم با اطمینان ۹۵ درصد با افزایش ضخامت پانل از ۱ به ۵ اختلاف معنی دار آماری بین ضریب جذب پانل وجود خواهد داشت. لذا فرض اولیه ما مبنی اینکه افزایش ضخامت باعث کاهش ضریب جذب پانل خواهد شد اشتباه بوده و رد می‌شود. چرا که نتایج نشان می‌دهد عکس این فرضیه صادق است. نتایج تحقیق ما با نتایج تحقیق یه سان و همکاران [۱] در سال ۲۰۲۱ مبنی بر تاثیر ضخامت بر ضریب جذب پانل میکرومتخلخل سازگار است.

نتیجه آزمون کروسکال والیس در سطح معنی داری ۰.۰۵ جهت تعیین تاثیر درصد تخلخل بر ضریب جذب صدای پانل‌های میکرومتخلخل طبیعی ساخته شده برای چوب‌های راش، سرو و بدون در نظر گرفتن نوع چوب معنی دار بوده است. بر این اساس حداقل دو درصد تخلخل مختلف در این چوب‌ها دارای میانه متفاوت معنی داری از لحاظ آماری بوده‌اند. گرچه بررسی اختلاف میانگین گروه‌ها برای تمام چوب‌ها معنی دار بوده است. اما به دلیل چولگی ضریب جذب در چوب‌های با درصد تخلخل متفاوت، در نظر گرفتن اختلاف میانه‌ها موجه‌تر از در نظر گرفتن اختلاف میانگین‌ها است. میانه ضریب جذب با افزایش ضریب تخلخل افزایش می‌یابد. بیشترین افزایش ضریب جذب صدا با افزایش درصد تخلخل از ۳ به ۵ مشاهده می‌شود. در چوب کاج با اطمینان ۹۵ درصد می‌توانیم بگوییم میانه ضریب جذب پانل با تغییر درصد تخلخل تغییر معنی دار آماری نمی‌کند. اما میانگین ضریب جذب با تغییر درصد تخلخل تغییر می‌کند (به دلیل چولگی بهتر است نتیجه آزمون بر روی میانه را در نظر بگیریم). نتایج نشان می‌دهد با اطمینان ۹۵ درصد فرضیه ما مبنی بر افزایش ضریب جذب با افزایش درصد تخلخل به جز چوب کاج برای دیگر چوب‌ها صحیح است. این نتایج نشان می‌دهد هم نوع چوب بر ضریب جذب صدا تاثیر می‌گذارد و هم درصد تخلخل می‌تواند بر ضریب جذب صدا تاثیر بگذارد و در چوب‌های راش و سرو درصد تخلخل بالاتر منجر به افزایش ضریب جذب صدای پانل می‌گردد.

آزمون کروسکال والیس جهت تعیین تاثیر قطر تخلخل بر ضریب جذب صدای پانل‌های میکرومتخلخل طبیعی ساخته شده برای تفاوت میانه ضریب جذب در قطرهای تخلخل متفاوت در هیچ کدام از چوب‌ها معنی دار نیست ( $pvalue > 0.05$ ) یعنی با افزایش قطر تخلخل تغییر معنی داری در ضریب جذب صدای پانل به وجود نمی‌آید. اما بررسی میانگین ضریب جذب صدا در پانل‌ها نشان می‌دهد در چوب کاج حداقل بین دو گروه تفاوت معنی داری در میانگین ضریب جذب صدا وجود دارد. همچنین بدون در نظر گرفتن نوع چوب نیز آزمون آماری برای تغییرات میانگین ضریب جذب صدا در قطرهای تخلخل متفاوت معنی دار است. می‌توانیم بگوییم در ۹۵ درصد موارد میانگین ضریب جذب صدا با تغییرات قطر تخلخل در چوب کاج و بدون در نظر گرفتن نوع چوب (حالت کلی) تغییر می‌کند. در چوب سرو با افزایش قطر تخلخل از ۵۰۰ به هزار با افزایش ضریب جذب صدا مواجه هستیم اما این تغییرات از لحاظ آماری معنی دار نیست. در چوب کاج افزایش قطر تخلخل از ۵۰۰ به ۷۵۰ منجر به کاهش ضریب جذب صدا و از ۷۵۰ به ۱۰۰۰ منجر به افزایش ضریب جذب صدا می‌شود. اما تغییر از ۵۰۰ به ۱۰۰۰ تغییر معنی داری در ضریب جذب صدای پانل به وجود نمی‌آورد. این تغییرات به اینصورت است که با تغییر قطر تخلخل از ۵۰۰ به هزار باعث کاهش ضریب جذب می‌شود و فرض ما مبنی بر افزایش ضریب جذب با افزایش قطر تخلخل به طور کلی درست نیست.

علاوه بر این نتایج نشان از تاثیر افزایش فاصله هوایی بر ضریب جذب صدا در پانل های میکرو متخلخل طبیعی دارد. با اطمینان ۹۵ درصد می توانیم بگوییم افزایش فاصله هوایی باعث تغییرات معنی داری در ضریب جذب پانل در سه نوع مختلف چوب حاضر در این مطالعه دارد. نتایج نشان می دهد افزایش فاصله هوایی از ۱.۹۸ یه ۶.۶۵ یا ۸.۸۶ باعث کاهش ضریب جذب صدا در همه انواع چوب می شود. این کاهش در ۹۵ درصد موارد از لحاظ آماری معنا دار است. اما تغییرات فاصله هوایی بین ۱.۹۸ تا ۵.۱۲ هواره با عت کاهش ضریب جذب نمی شود. افزایش فاصله هوایی در بعضی مقادیر منجر به افزایش معنی دار ضریب جذب شده است.

تاثیر فاصله هوایی بر ضریب جذب با جدا کردن پانل های تک لایه و دولایه بررسی گشت. براساس نتایج به دست آمده در پانل های تک لایه فاصله هوایی در چوب های راش ( $p\text{-value}=0.053 > 0.05$ ) و سرو ( $p\text{-value}=0.096 > 0.05$ ) به دلیل غیر معنادار بودن نتیجه آزمون نشان ازین دارد که فرض صفر در مورد این دو چوب مبنی بر بی تاثیر بودن فاصله هوایی در پانل تک لایه بر ضریب جذب صدا قابل قبول است. در چوب کاج در پانل های تک لایه تغییرفاصله هوایی باعث تغییر معنادار ( $p\text{-value}=0.006 < 0.05$ ) در ضریب جذب پانل می شود. همچنین بدون در نظر گرفتن نوع چوب و در داده های کلی نیز تغییر فاصله هوایی باعث تغییر معنادار ( $p\text{-value}=0.001 < 0.05$ ) ضریب جذب در پانل های تک لایه می شود. در پانل های دولایه تغییر فاصله هوایی باعث تغییر معنادار در میانه صریب جذب پانل ها در تمام انواع چوب می شود. نتیجه آزمون در تمام انواع چوب در پانل های دولایه معنی دار است ( $p\text{value} < 0.05$ ) بنابراین فرض صفر رد و فرض مقابل در مورد این چوب ها پذیرفته می شود. همچنین در این نوع پانل ها تنها در چوب سرو میانگین ضریب جذب صدا تغییر معنادار نمی کند. با توجه به چولگی داده ها نتیجه آزمون بر اساس تغییرات میانه بیشتر قابل قبول است. طبق آنچه در نمودارها مشخص شده است، افزایش فاصله هوایی لزوماً به افزایش ضریب جذب نمی انجامد. در بعضی مواقع افزایش فاصله هوایی باعث افزایش ضریب جذب و در بعضی مواقع باعث کاهش ضریب جذب می شود. یعنی در یک نوع چوب ممکن است افزایش فاصله هوایی از مقدار آ به ب باعث کاهش ضریب جذب شود و سپس با افزایش بیشتر فاصله هوایی از ب به ج با افزایش ضریب جذب مواجه باشیم و این روند افزایشی و کاهشی به طور مداوم تکرار می شود.

## ۵- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر به بررسی تاثیر ضخامت، تعداد لایه، قطر تخلخل و فاصله هوایی در ضریب جذب پانل های میکرو متخلخل در سه نوع چوب پرداخته ایم. نتایج مدل سازی نشان از تاثیر نوع چوب در پیش بینی ضریب جذب دارد. معادله رگرسیون با توجه به نوع چوب تغییر می کند. همچنین استفاده از مدل های یادگیری ماشین نسبت به مدل رگرسیون باعث تخمین دقیقتر ضریب جذب پانل می شود. همچنین ضخامت پانل در ضریب جذب تاثیرگذار است. می توان با انتخاب ضخامت، قطر تخلخل و تعداد لایه و دیگر ویژگی ها و همچنین انتخاب چوب مناسب به صورت قابل قبولی ضریب جذب را پیش بینی کرد.

## ۶- منابع

- [۱] ابراهیم نژاد، سعدالله؛ موسوی، سید میثم و قربانی‌کیا، آرش (۱۳۹۹). شناسایی و تحلیل ریسک‌های زنجیره‌ی تأمین در چارچوب تصمیم‌گیری چند معیاره فازی. نخستین کنفرانس مدیریت زنجیره‌ی تأمین و سیستم‌های اطلاعات. تهران، ایران.
- [۲] اسماعیل پورج. (۱۳۹۸). مبانی مدیریت بازاریابی. مجله بورس. شماره ۶۸.
- [۳] اسکونژاد، محمد مهدی، (۱۳۹۱). اقتصاد مهندسی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [۴] امین زاده، الهام و عبدی، صادق (۱۳۹۲). تأمین مالی مهمترین چالش صنعت نفت، ماهنامه علمی و ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، دانشگاه تهران بهمن ۱۰۹ شماره ۹۲.
- [۵] باقری، محمود و خاتمی، سیدبهنام (۱۳۹۰). سازوکارهای تأمین مالی پروژه‌های نفت و گاز از طریق بازارهای مالی و سرمایه، حقوق انرژی نخستین همایش ملی، تهران: مؤسسه انتشارات دادگستر. بخشنامه شماره ۶۰/۱۱۱۳ بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، مصوب ۱۳۸۰/۰۶/۳۱، پژوهشکده پولی و بانکی. دستورالعمل اجرایی عقود مرابحه، خرید دین و استصناع.
- [۶] بابایی، مریم و شاهنده نوک آبادی، علی (۱۳۹۸). انتخاب استراتژیک تأمین‌کنندگان بر اساس رویکرد فازی و در نظر گرفتن ریسک تأمین‌کنندگان. هفتمین کنفرانس مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.
- [۷] جنانی، م. (۱۳۹۷). سرمایه‌گذاری‌ها و دارایی‌های مالی. مجله بورس. شماره ۱۰.
- [۸] چکاب، غالم نبی و تقی‌زاده، ابراهیم (۱۳۹۸). « بررسی موانع و کاستی‌های تأمین مالی خارجی در حقوق ایران ». فصلنامه پژوهش حقوق خصوصی، شماره ۷۸، ص ۱۴۹-۱۷۸. قانون تشویق و حمایت سرمایه‌گذاری خارجی، مصوب ۱۳۸۱/۰۳/۰۴.
- [۹] حاتمی، علی و کریمیان، اسماعیل (۱۳۹۳). حقوق سرمایه‌گذاری خارجی در پرتو قانون و قراردادهای سرمایه‌گذاری. تهران: انتشارات تیسرا، چاپ اول.
- [۱۰] خوانساری، رسول و مال کریمی، فرشته (۱۳۹۸). استاندارد شرعی سازمان حسابداری و حسابرسی مؤسسات مالی اسلامی درباره صکوک سرمایه‌گذاری. تهران: انتشارات پژوهشکده پولی و بانکی بانک مرکزی.
- [۱۱] دایرایان، ۱۳۸۹. موسسه حسابرسی و خدمات مالی عضو جامعه حسابداران رسمی ایران، "مجموعه قوانین و مقررات سرمایه‌گذاری‌های خارجی در ایران سرمایه‌گذاری‌های ایران در خارج"، چاپ سوم، انتشارات کیومرث
- [۱۲] داراب پور، مهرباب (۱۳۹۷). اصول و مبانی حقوق تجارت بین‌الملل، کتاب سوم. تهران: نشر گنج دانش، چاپ اول.
- [۱۳] دهنوی، معصومه؛ آقایی، عبدالله و ستاک، مصطفی (۱۳۹۳). مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین: مرور ادبیات. نهمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت، تهران، ایران.
- [۱۴] رضایی، علی (۱۳۹۴). حقوق تأمین مالی در تجارت بین‌الملل. تهران: نشر میزان، چاپ اول.
- [۱۵] راعی، ر. (۱۳۹۸). مهندسی مالی و مدیریت. انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۶] روستاپور، ر. (۱۳۹۸). صنعت سیمان ایران. مجله سیمان. ش ۱۲۴. ص ۹.
- [۱۷] شیروی، عبدالحسین (۱۳۹۸). حقوق تجارت بین‌الملل، ویراست دوم. تهران: انتشارات سمت، چاپ دوم.
- [۱۸] شکوهی، حمید رضا (۱۳۹۵). "در باب قراردادهای بیع متقابل آخرین راه‌هفته نامه تخصصی صنعت نفت، سال سوم، شماره ۸۶، یکشنبه ۳ تیر صفحه ۳.
- [۱۹] شرافتی، علیرضا (۱۳۸۸). مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین با رویکرد مدیریت ریسک‌هایی که از ناحیه تأمین‌کنندگان وارد می‌گردد. اولین همایش ملی ارتقای توان داخلی با رویکرد ساخت داخل، دانشگاه صنعتی شریف، ایران.

- [۲۰] کریم زادگان، ابراهیم، "فاینانس خودگردان" ماهنامه تدبیر شماره ۱۳۵، سال چهاردهم، مرداد ۱۳۹۲.
- [۲۱] گوگردچیان احمد، طیبی سید کمیل، "بررسی عوامل جذب سرمایه گذاری خارجی در صنایع پتروشیمی ایران به روش داده های تابلویی"، فصلنامه پژوهش های اقتصادی ایران، سال هشتم، شماره ۱۳۹۴، ۲۶ (۱۸۱-۲۰۳).
- [۲۲] نراقی، مهرداد (۱۳۸۸). مقاله سیر تحول تامین مالی پروژه های نفت و گاز، همایش مدیریت پروژه.
- [۲۳] نجارزاده رضا، ملکی مهران، "بررسی تأثیر سرمایه گذاری مستقیم خارجی بر رشد اقتصادی با تأکید بر کشورهای صادر کننده نفت"، فصلنامه پژوهش های اقتصادی ایران، سال هفتم، شماره ۲۳، تابستان ۱۳۹۸، صفحات (۱۴۷-۱۶۳).
- [۲۴] ورهاملی، ویدا (۱۳۹۲). بررسی تأمین مالی قراردادهای فراساحلی گاز، توأم با ریسک (مورد مطالعه: میدان گازی پارس جنوبی). رساله دکتری، تهران: دانشگاه تهران.
- [۲۵] هبیتی، فرشاد و احمدی، موسی (۱۳۹۸). «بررسی تکنیک‌های تأمین مالی پروژه محور در تأمین مالی اسلامی». پژوهشنامه اقتصادی، شماره ۳۴، ص ۹۱-۱۱۲.
- [۲۶] یوسفی یگانه، بابک و رحیمی فرد، علی (۱۳۹۸). تحلیل عوامل مؤثر بر ریسک در زنجیره‌های تأمین. نخستین کنگره بین‌المللی مدیریت ریسک، تهران، ایران.
- [۲۷] مبصر، داریوش، و همکاران، ۱۳۹۹، کالبد شکافی سرمایه گذاری های صنعت نفت (قراردادهای بیع متقابل اخوان صراف، احمد رضا و کافی، فریناز). ریسک و مدیریت زنجیره‌ی تأمین. نخستین کنگره بین‌المللی مدیریت ریسک. تهران ایران.
- [۲۸] محمودی، محمد (۱۳۹۶) تعیین روش بهینه قراردادهای در تامین مالی و اجرای پروژه های در بخش بالادستی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد تهران مرکزی، دانشکده اقتصاد و حسابداری
- [۲۹] میرغفوری، سید حبیب‌اله؛ مروتی شریف آبادی، علی و اسدیان اردکانی، فائزه (۱۳۹۱). مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین: مفاهیم و کاربردها. نخستین همایش ملی علوم مدیریت نوین، گرگان، ایران.
- [۳۰] موسویان سیدعباس، (۱۳۹۷). مرابحه ابزار مالی مناسب برای بازار پول و سرمایه اسلامی، پژوهشگاه فرهنگ و اندیشه اسلامی، ایران.
- [۳۱] میرفخرالدینی، سید حیدر؛ آذر، عادل و عندلیب اردکانی، داود (۱۳۹۶). به کارگیری فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه جهت ارزیابی عوامل ریسک زنجیره‌ی تأمین (حوزه‌ی فناوری اطلاعات بنگاه‌های کوچک و متوسط). فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی، سال هشتم، شماره‌ی ۲۱، صص ۱۰۷-۱۳۰.
- [۳۲] هندی، امیر (۱۳۹۶). مدیریت ریسک در زنجیره‌ی تأمین. نخستین کنگره بین‌المللی مدیریت ریسک، تهران، ایران.
- [33] Bindemann, K. (2018). *production-sharing agreements: An economic analysis*. oxford institute for energy studies, WPM 25.
- [34] Borghesi & Gaudenzi, B., A. (2022). *Managing risks in the supply chain using the AHP method*. The International Journal of Logistics Management, 17(1), 114-13.
- [35] Clews, R. J. (2016). *Project Finance for the International Petroleum Industry*. Elsevier Inc.
- [36] Christa Hainz, Stefanie (2012) *political risk project. FINANCE AND the participation of development banks in syndicated lending. J. finan. intermediation*.
- [37] Chopra, S., & Sodhi, M.S. (2011). *Managing risk to avoid supply chain breakdown*. MIT Sloan Management Review, 46 (1). 53-61.



- [38] Chu, C.-Y., Park, K., & Kremer, G. E. (2020). A global supply chain risk management framework: An application of text-mining to identify region-specific supply chain risks. *Advanced Engineering Informatics*, 45, 101053.
- [39] Esty Benjamin, "Why study large projects ? an introduction to research on project finance", *European financial management*, Vol ۱۰, NO ۲.۲۰۱۸, (۲۲۴-۲۱۳) .
- [40] Govindan, G. et al. (201۹). Lean, green resilient practices influence on supply chain performance: interpretive structural modeling approach. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 12, 15- 34.
- [41] Hallikas, J., Virolainen, V.M., & Tuominen, M. (20۲۰). Risk analysis and assessment in network environment: A dyadic case study. *International Journal of Production economics*, 78, 45-55.
- [42] Hittle, B., & Leonard, K. M. (201۹). Decision making in advance of a supply chain crisis. *Management Decision*, 49 (7), 1182-1193.
- [43] Hoffman, Scott, "۲۰۱۸ . the Law and Business of International Project finance" ,Transnashnal publisher Inc, Kluwer law international.
- [44] Johnson , Daniel.(2011).international petroleum fiscal systems and production sharing contracts. Penn well corporation.p5-
- [45] Khan, O., & Burnes, B. (20۱۵). Risk and supply chain management: creating a research agenda. *International Journal of Logistics Management*, 18 (2), 197-216.
- [46] KRIPA HALITXHAF A(2012) project finance and projects in the Energy Sector in Developing Countries . EUROPEAN ACADEMIC
- [47] Kern, D., Moser, R., Hartmann, E. & Moder, M. (201۸). Supply risk management: model development and empirical analysis, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 42 (1), 60 – 82.
- [48] Kleindorfer, P.R., & Saad, G.H. (2021). Managing disruption risks in supply chains. *Production and Operations Management*, 14 (1), 53–68.
- [49] Melo, M.T., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F. (2019). Facility location and supply chain management-A review. *European Journal of Operational Research*, 196, 401–412.
- [50] Mandal, A. & Deshmukh, S.G. (۲۰۱۶), Vendor selection using interpretive structural modeling (ISM), *International Journal of Operations & Production Management*, 14 (6), 52-59.
- [51] Ritchie, B., & Brindley, C. (2021). Supply chain risk management and performance: A guiding framework for future development. *International Journal of Operations & Production Management*, 27 (3), 303-322.
- [52] Shen \_fa Wu ,Xiao \_Ping Wei,(2009), the Rule and method of risk allocation in project finance ,the 6 international conference on mining science & technology ,school of management China university ,China.
- [53] Tuncel, G., & Alpan, G. (20۲0). Risk assessment and management for supply chain networks: A case study. *Computers in Industry*, 61, 250–259.
- [54] Tang, C.S., & Tomlin, B. (20۲۰). The power of flexibility for mitigating supply chain risks. *International Journal of Production Economics*, 116 (1), 12–27.
- [55] Vilko, J. (2012). Approaches to supply chain risk management: identification, analysis and control. Lappeenranta University of Technology Digipaino.

- [56] Wagner, S. M. & Bode, C. (20۱8). *An empirical examination of supply chain performance along several dimensions of risk. Journal of Business Logistics, 29 (1), 307-325.*
- [57] Yu, H., Zeng, A.Z., & Zhao, L. (2013). *Single or dual sourcing: decision-making in the presence of supply chain disruption risks. International Journal of Management Science, 37 (4), 788-800.*
- [58] Waters, D. (2018). *Supply chain risk management: vulnerability and resilience in logistics. Kogan Page Limited.*
- [59] Ziegenbein, A. Nienhaus, J. (20۱۸). *Coping with supply chain risks on strategic, tactical and operational level. Global Project and Manufacturing Management, the Symposium Proceedings.*