

## شبیه‌سازی آکوستیکی صدای انتشاری در سالن تولید نخ و صحت‌سنجی با نتایج تجربی

محمد رضا ترابی<sup>۱</sup>، عباس محمدی و ندیشی<sup>۱</sup>، محمد عرفان توکلی نژاد<sup>۲</sup>، علی لقمانی<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> ایران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، مهندسی مکانیک، ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱، دانشجوی کارشناسی ارشد

<sup>۲</sup> ایران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، مهندسی مکانیک، ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱، فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد

<sup>۳</sup> ایران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، مهندسی مکانیک، ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [a.loghmani@iut.ac.ir](mailto:a.loghmani@iut.ac.ir)

### چکیده

آلودگی صوتی در سالن‌های تولید نخ مشکلات زیادی را برای کارگران و کارفرمایان ایجاد کرده است. در فرآیند کنترل صدا در این محیط، برای کاهش هزینه‌های سعی و خطا، نیاز به داشتن یک مدل نرم‌افزاری صحت‌سنجی شده می‌باشد. به این منظور، در این پژوهش، ابتدا منابع صوتی مختلف یک سالن تولید نخ شناسایی شده و با استفاده از اندازه‌گیری تراز فشار صدا به کمک ترازسنج صدا، تراز توان صدا منابع مختلف محاسبه شده است. سپس سطوح مختلف درون سالن بررسی و ضرایب جذب آن‌ها تعریف شده است. با تعریف منابع صوتی و گیرنده‌های متناظر با نقاط اندازه‌گیری شده در نرم‌افزار، شبیه‌سازی در نرم‌افزار ادئون انجام گرفته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های تجربی مقایسه و مدل به دست آمده صحت‌سنجی شده است. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بیشترین اختلاف تراز فشار صدای کل با مقادیر اندازه‌گیری شده ۱/۲ دسی‌بل می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** شبیه‌سازی آکوستیکی؛ کنترل نویز؛ تراز فشار صوت؛ نرم‌افزار ادئون.

### ۱- مقدمه

بر اساس استاندارد بهداشت و ایمنی محیط کار مواجهه افراد با نویزهای با تراز زیر ۸۵ دسی‌بل به مدت ۸ ساعت در روز مجاز می‌باشد، اما اگر تراز صدای مواجهه بالاتر از این مقدار برود حضور افراد در این محیط‌ها باید به زیر ۸ ساعت کاهش یابد؛ زیرا در گذر زمان مشکلات شنوایی، آسیب‌های مغزی، مشکلات روانی و غیره را برای افراد پدید می‌آورد. روش‌های کاهش و کنترل نویز در یکی از محل‌های منبع، مسیر یا گیرنده و اغلب به‌وسیله روش‌های غیرفعال<sup>۱</sup> انجام می‌پذیرد. هر محیط بر اساس شکل هندسی، شرایط فیزیکی و کاری، شرایط صوتی حاکم بر نواحی مختلف آن، اهمیت هر بخش از نظر کاهش نویز، دسترسی به وسایل و سیستم‌ها، ایمنی و بهداشت

<sup>۱</sup> Passive

محیطی، هزینه تمام شده و غیره باید مورد نظر قرار گیرد. سپس اندازه‌گیری تراز صدا، ارزیابی آن، طراحی آکوستیکی محیط و شبیه سازی آن برای رسیدن به طرح کارآ و بهینه انجام می‌شود. برخی از فعالیت‌های پژوهشی در حوزه شناسایی منابع، کاهش و کنترل نویز در صنعت نساجی در ادامه آورده شده است.

در سال ۱۹۶۸ کرافورد به بررسی منابع صوت و کنترل آن در دستگاه ریسندگی نخ پرداخت. در آن تحقیق مشاهده شد بیشترین سطح فشارصدای دستگاه مربوط به اسپیندل بوده که به علت منطبق نبودن محور دوران با محور اسپیندل بوده است. با توجه به سرعت دوران اسپیندل، صدای تولیدی حدود ۹۰ تا ۱۰۵ دسی‌بل و بازه فرکانسی غالب، ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ هرتز می‌باشد [۱]. در سال ۱۹۶۹ میلز با هدف کاهش نویز، یک کارخانه پارچه بافی را مورد مطالعه قرار داد. در آن مطالعه برای کاهش نویز ناشی از دستگاه‌های بافندگی از سه راهکار استفاده از مواد جاذب صدا، قرار دادن مواد جاذب ارتعاش در زیر دستگاه و تغییر در مکانیزم‌های دستگاه‌های بافندگی استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد با استفاده از مواد جاذب صدا و جاذب ارتعاش به ترتیب ۵ و ۲ دسی‌بل نویز محیط در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز کاهش می‌یابد [۲]. در سال ۲۰۰۷ منظم و نظافت به بررسی نویز ماشین‌آلات دوار در صنعت نساجی و تاثیر موانع صوتی در کنترل نویز پرداختند. در آن مطالعه پارامترهای موثر بر عملکرد موانع صوتی از روابط تئوری و اندازه‌گیری میدانی به دست آمده‌اند. موانع شیشه‌ای به منظور عدم جلوگیری از کنترل بصری دستگاه توسط اپراتور، طراحی شده‌اند. اندازه‌گیری‌های میدانی در ۸ باند فرکانسی از ۶۳/۵ تا ۴۰۰۰ هرتز و در ارتفاع‌های مختلف و در مجموع در ۱۸ نقطه در مقابل یک دستگاه انجام گرفته است [۳]. جایاواردانا و همکاران در سال ۲۰۱۴ به تحلیل توزیع نویز در یک کارخانه نساجی در سریلانکا پرداختند. در آن کارخانه، نویز اصلی مربوط به ماشین‌های پنوماتیک می‌باشد. استفاده از جاذب با فاصله از سقف منجر شده است که آن جاذب‌ها به صورت رزوناتور نیز عمل می‌کنند [۴]. منظم و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی نویز در یک کارخانه بافندگی پرداختند و براساس تحلیل فرکانسی انجام گرفته جاذب‌هایی متناسب با نیاز، طراحی و نصب شده‌اند. در اندازه‌گیری انجام شده در کارخانه مشخص شده است که فرکانس غالب صدا ۵۰۰ هرتز و حداکثر تراز فشار صدا ۹۸/۵ دسی‌بل می‌باشد. در این پژوهش کنترل نویز با استفاده از جاذب‌های صوتی دیواری، جاذب‌های صوتی سقفی و جاذب‌های صوتی فضایی یا آویزان، انجام گرفته است [۵]. در سال ۲۰۱۸ توموزی و همکاران در یک فعالیت پژوهشی جهت بررسی سطح صدا در دو سالن دوزندگی و خیاطی به تهیه نقشه صوتی از محیط آن دو سالن پرداختند. با استفاده از ترازسنج صدا سطح فشار صدا در سه روز هفته و به مدت سه هفته اندازه‌گیری و میانگین نتایج به دست آمده به عنوان سطح فشار صدا در نقاط اندازه‌گیری تعیین شده در محیط نرم‌افزار، تعریف شده‌اند [۶]. در پژوهش‌های انجام گرفته برای شبیه‌سازی آکوستیکی، از نرم‌افزارها و مدل‌های مختلفی استفاده شده است که در ادامه چند مورد از این پژوهش‌ها بررسی خواهد شد. سوراینن و کوکولا در سال ۲۰۰۰، با هدف کاهش نویز موجود در یک کارگاه نجاری در فنلاند به تحلیل و طراحی آکوستیکی پرداختند. در آن کارگاه سه منبع نویز اصلی وجود داشته است که ابتدا با اندازه‌گیری توان منابع، کارگاه در نرم‌افزار ادئون<sup>۲</sup> مدل شده است و سپس به طراحی آکوستیکی پرداخته‌اند. برای یکی از منابع صدا یک محفظه طراحی شده است که تراز توان کل منبع را ۲۰ دسی‌بل کاهش داده است [۷]. ریندل و کریستینسن در سال ۲۰۰۷، به منظور بررسی صحت و دقت نتایج نرم‌افزار ادئون، یک سالن شامل دو توربین را بررسی کردند. در آن پژوهش ابتدا مدل سه بعدی ترسیم شده و در نرم‌افزار ادئون، منابع و سطوح تعریف و شبیه‌سازی انجام گرفته است [۸]. کرانن و والتری در سال ۲۰۱۰ به بررسی مدل‌های ساده تراز فشار صدا و زمان واخنش برای محیط‌های صنعتی پرداختند. در آن تحقیق ۴ محیط صنعتی به کمک نرم‌افزار ادئون قبل و بعد از اعمال اصلاحات آکوستیکی به کمک جاذب‌های آکوستیکی تحلیل شده است و همچنین پارامترهای تراز فشار صدا و زمان واخنش به کمک مدل ریاضی استخراج شده‌اند. برای صحت‌سنجی و بررسی مدل نیز پارامترهای بیان شده به کمک اندازه‌گیری محاسبه شده و با نتایج شبیه‌سازی و مدل‌های ریاضی در اکتاوباند‌های ۱۲۵ تا ۴۰۰۰ هرتز مقایسه شده‌اند [۹].

در این مقاله به شناسایی منابع نویز در یک سالن تولید نخ POY<sup>۲</sup> با استفاده از داده‌های تجربی پرداخته شده است. سپس روشی برای شبیه‌سازی این منابع در نرم‌افزار ادئون پیشنهاد شده است. در ادامه، با مدل کردن کل سالن تولید و وارد نمودن ضریب جذب مواد مختلف، به صحت‌سنجی مدل‌سازی انجام شده با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام شده در سالن، اقدام شده است.

<sup>2</sup> Odeon

<sup>3</sup> Partially Oriented Yarn

## ۲- اندازه‌گیری تجربی

اندازه‌گیری تجربی تراز صدای یک محیط و منابع آن به منظور ارزیابی شرایط آکوستیکی محیط و همچنین تعیین سهم منابع در ایجاد این شرایط انجام می‌پذیرد. به منظور شناسایی و شبیه‌سازی منابع صوتی و با توجه به یکنواخت نبودن انتشار صدا در اطراف این منابع، نیاز است که اندازه‌گیری در چندین نقطه اطراف آن‌ها انجام شود. برای اندازه‌گیری تراز فشار صدا از دستگاه ترازسنج صدا مدل BSWA 308T که دارای خطای ۰/۵ دسی‌بل می‌باشد، استفاده شده است. در ادامه، به توضیح اندازه‌گیری‌های انجام شده و شناسایی منابع نویز در محیط پرداخته می‌شود.

### ۱-۲ شناسایی منابع تولید نویز



شکل ۱. شش دستگاه تولید نخ در هر مجموعه تولیدی

در شکل ۱ نمایی از دستگاه‌های تولید نخ که ۶ عدد در هر مجموعه موجود می‌باشد، آمده است. در نزدیک ماشین‌آلات تولید نخ، صدای غالب مربوط به مینگل‌ها<sup>۴</sup> (جت‌های هوای تمیزکننده و افشان کننده نخ)، وایندها<sup>۵</sup> (محورهای دوار برای پیچش نخ به دور توپی) و گودت‌ها<sup>۶</sup> (هدایت‌کننده‌های نخ به مینگل‌ها و وایندها) می‌باشد. در سالن فن‌ها نیز علاوه بر ماشین‌آلات جزو منابع تولید صوت محسوب می‌شوند. به همین علت، تراز فشار صدا در نزدیک هر یک از این منابع به صورت جداگانه برای به دست آوردن امضای آکوستیکی و سهم هر یک از منابع در نویز تولیدی، اندازه‌گیری شده است.

### ۲-۲ مینگل‌ها

برای اندازه‌گیری تراز فشار صدای تولید شده به وسیله مینگل‌ها، تراز فشار صدای چهار نقطه شامل سه نقطه اطراف و یک نقطه مقابل مینگل‌ها و در فاصله ۲۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شده است (شکل ۲). سپس میانگین لگاریتمی تراز فشار صدای اندازه‌گیری شده در این نقاط در هر اکتاوباند محاسبه شده است (شکل ۳). با بررسی نتایج می‌توان دریافت که فرکانس غالب در مینگل‌ها در بازه ۴۰۰۰ تا ۸۰۰۰ هرتز قرار دارد. همچنین حداکثر تراز فشار صدای تولید شده به وسیله مینگل‌ها ۹۴/۵ دسی‌بل در اکتاوباند ۸۰۰۰ هرتز می‌باشد.

#### ۱-۲-۲ وایندها

تعداد نقاط اندازه‌گیری وایندها چهارده نقطه می‌باشد. این نقاط شامل چهار نقطه در روبرو، چهار نقطه در بالا، چهار نقطه در پشت و دو نقطه در کنار دستگاه و در فاصله ۲۰ سانتی‌متری است (شکل ۴). نتایج به دست آمده از میانگین لگاریتمی تراز صدا در شکل ۵ آمده است. فرکانس غالب وایندها، ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰ هرتز می‌باشد. حداکثر تراز فشار صدا ۹۷/۵ دسی‌بل در اکتاوباند ۴۰۰۰ هرتز است.

#### ۲-۲-۲ گودت‌ها

همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، گودت‌ها در طبقه اول دستگاه‌ها و کنار مینگل‌ها قرار گرفته‌اند. تراز فشار صدای اندازه‌گیری شده در یک نقطه نزدیک گودت‌ها در شکل ۷ آورده شده است. بازه فرکانسی ۲۵۰ تا ۴۰۰۰ هرتز به وسیله گودت‌ها تحریک می‌شود. حداکثر تراز فشار صدا ۸۰/۲ دسی‌بل در اکتاوباند ۲۰۰۰ هرتز است.

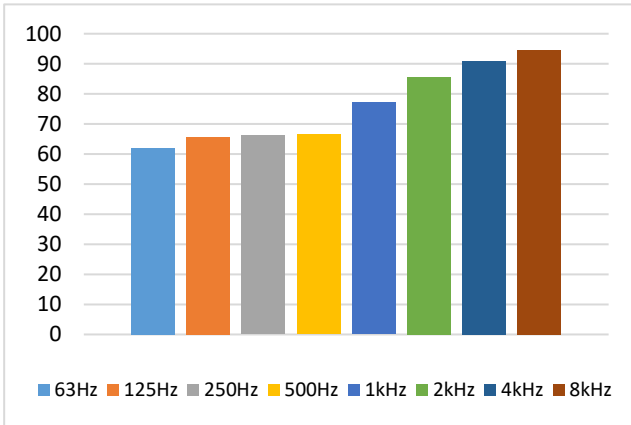
<sup>4</sup> Mingles

<sup>5</sup> Winders

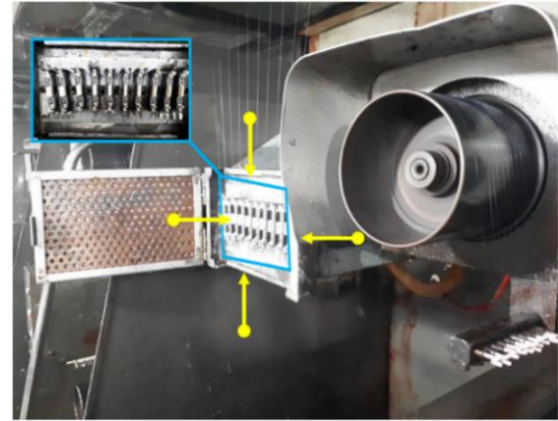
<sup>6</sup> Godets

۱-۲-۲ فن‌ها

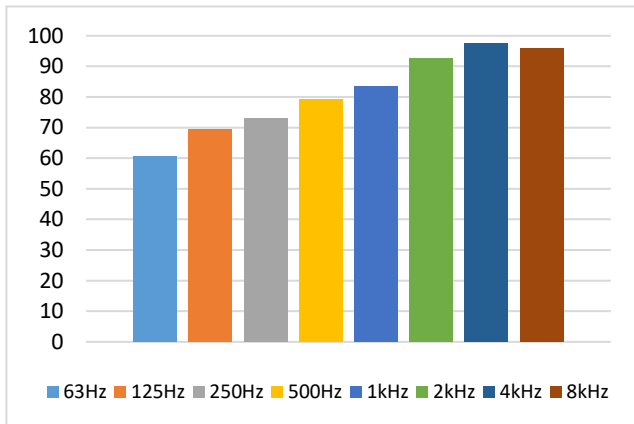
فن‌های تهویه هوا در سالن قرار دارند. با توجه به ابعاد بزرگ و دور بالای الکتروموتور، نویز جریان در این فن‌ها بالاست. در کل سالن ۵ فن برای تهویه هوا استفاده شده است (شکل ۸). تراز فشار صدا در ۹ نقطه در فاصله ۶۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شده است و نتایج میانگین لگاریتمی تراز فشار صدا در شکل ۹ آورده شده است. اکتاوهای غالب فن‌ها ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ هرتز است. حداکثر تراز فشار صدا ۸۸/۱ دسی‌بل در اکتاو باند ۱۰۰۰ هرتز است.



شکل ۳. نمودار تراز فشار صوت نزدیک مینگل‌ها در یک اکتاو



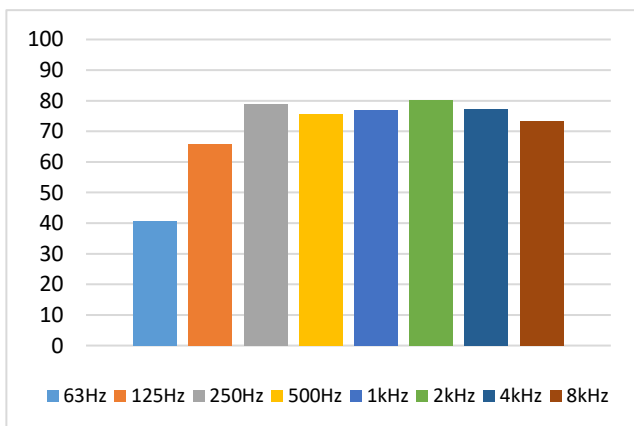
شکل ۲. نمایی از مینگل‌های دستگاه‌های تولید نخ



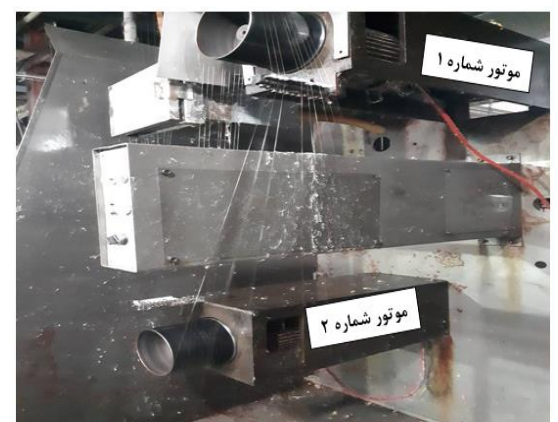
شکل ۵. نمودار تراز فشار صوت نزدیک وایندرهای در یک اکتاو



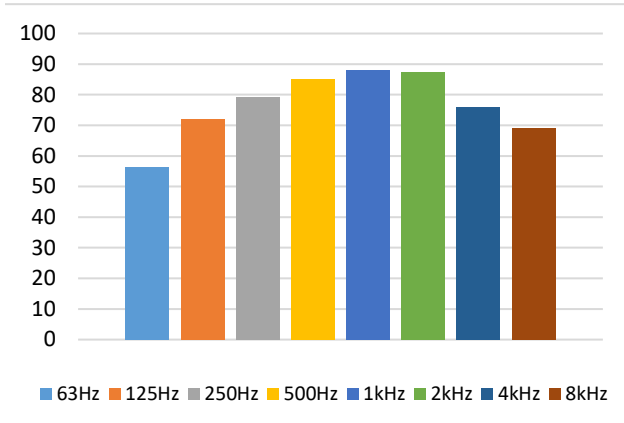
شکل ۴. نمایی از وایندرهای دستگاه‌های تولید نخ



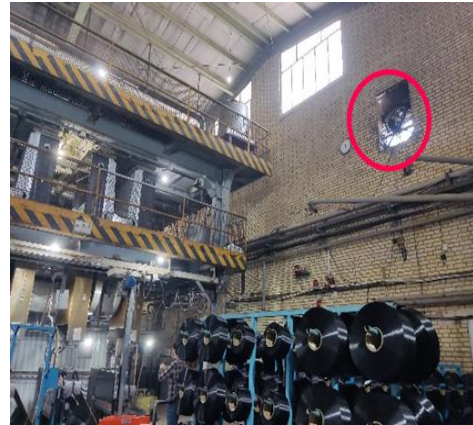
شکل ۷. نمودار تراز فشار صوت نزدیک گودت‌ها در یک اکتاو



شکل ۶. نمایی از گودت‌های دستگاه‌های تولید نخ



شکل ۹. نمودار تراز فشار صوت نزدیک فن‌ها در یک اکتاو



شکل ۸. یکی از فن‌های موجود برای تهویه سالن تولید نخ

### ۳-۲ تراز فشار صدا در سالن تولید

برای بررسی شرایط آکوستیکی در سالن، چهارده نقطه اندازه‌گیری با فاصله ۱/۵ متر از سطح زمین مشخص شد. نقاط انتخاب شده در طول سالن و به فاصله حدود ۸ متر از لبه دستگاه‌ها قرار دارند (شکل ۱۰). اندازه‌گیری‌های هر یک از منابع صوتی موثر در سالن به صورت جداگانه و در حالت نبود دیگر منابع صوتی انجام شده است.

داده‌های به‌دست آمده از اندازه‌گیری تراز فشار کل صدای هر یک از منابع صوتی در ۱۴ نقطه به صورت جداگانه در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در نقاط ۱ تا ۶ به دلیل قرار گرفتن مینگل‌های مجموعه ۱ در طبقه همکف، تراز فشار صدای بیشتری نسبت به سایر نقاط وجود دارد. همچنین در سایر نقاط، بیشترین تراز فشار صدای اندازه‌گیری شده مربوط به وایندها می‌باشد زیرا بر روی زمین قرار دارند. بیشترین سهم صدای محیط به ترتیب مربوط به عملکرد وایندها و سپس مینگل‌ها و هواکش‌های سالن است.

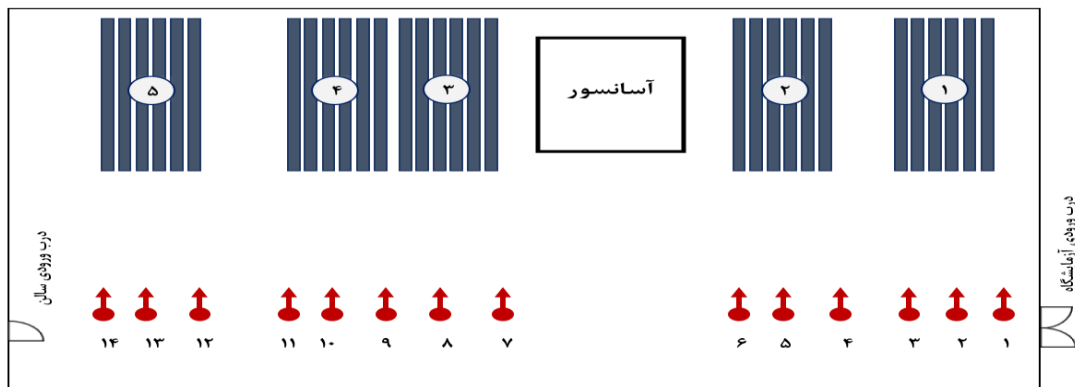
### ۳- شیب‌سازی آکوستیکی

مراحل شبیه‌سازی شامل مدل‌سازی سه بعدی و وارد کردن آن در ادئون که یکی از نرم‌افزارهای تحلیل آکوستیکی است، می‌باشد. برای شروع شبیه‌سازی ابتدا لازم است یک مدل هندسی از سالن تهیه شود به همین منظور با استفاده از اطلاعات هندسی جمع‌آوری شده در فاز اندازه‌گیری، مدل سالن در نرم‌افزار سالیدورک<sup>۷</sup> ایجاد شده است (شکل ۱۲) و سپس به نرم‌افزار ادئون منتقل شده است (شکل ۱۳). با توجه به محدودیت‌های موجود در نرم‌افزار و همچنین حل به روش ردیابی اشعه<sup>۸</sup> در اکتاوباندهای مورد نظر، می‌توان از ابعاد کوچک صرف‌نظر کرد.

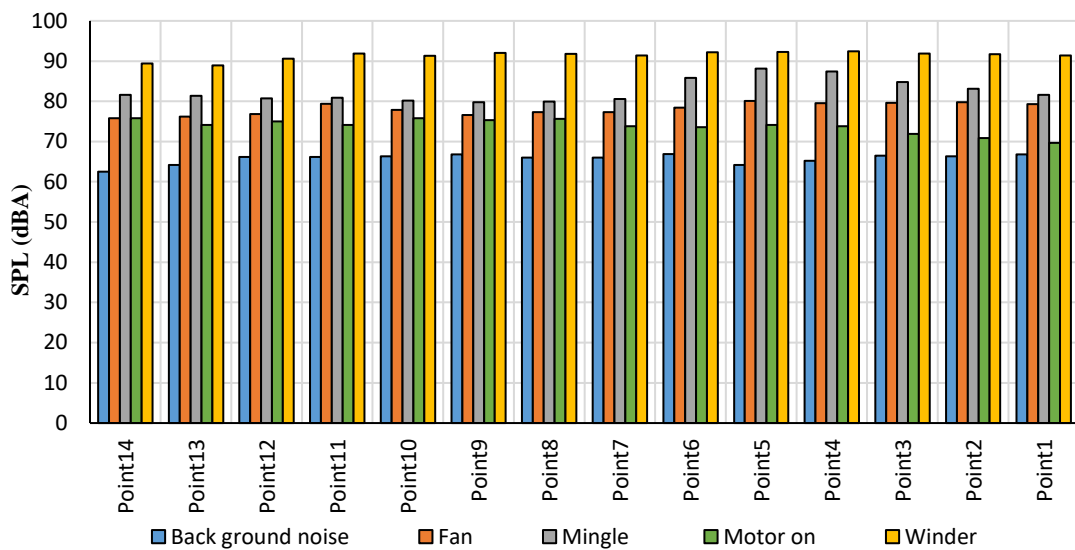
برای حل در نرم‌افزار ادئون روش‌های مختلفی مبتنی بر ردیابی اشعه ترکیب شده است تا بتواند در کمترین زمان به دقت مناسبی برسد. در نرم‌افزار ادئون حل مساله با سه نوع دقت تقریبی، مهندسی و دقیق امکان‌پذیر می‌باشد. حالت تقریبی با وجود دقت مناسب هزینه محاسباتی زیادی را هم ایجاد نمی‌کند و با بررسی‌های انجام شده در چندین حالت شبیه‌سازی برای سالن تولید نخ با دقت مهندسی، نتایج یکسانی را ایجاد می‌کند. با توجه به اینکه براساس تعداد منابع فعال، تعداد اشعه مورد استفاده متفاوت می‌باشد، برای حالتی که تمام منابع روشن باشد تعداد اشعه در مرحله ردیابی ۱۲۷۲۳۸ و در مرحله حل نهایی ۲۵۴۴۷۶۰ می‌باشد.

<sup>7</sup> SolidWorks

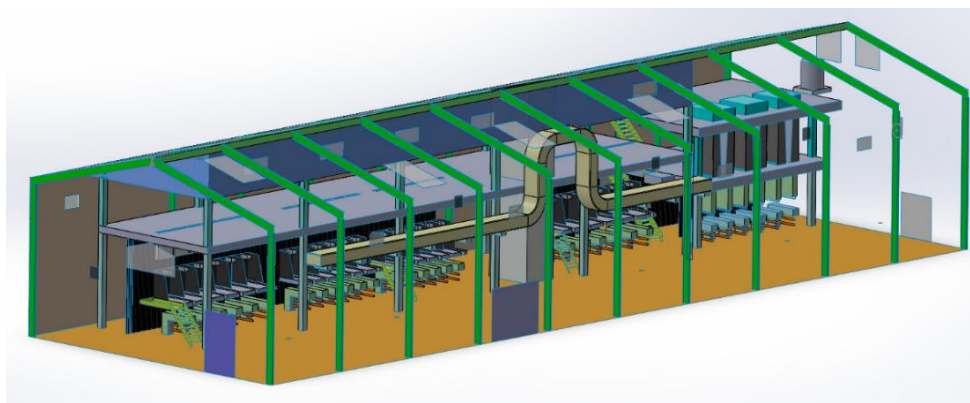
<sup>8</sup> Ray tracing



شکل ۱۰. موقعیت نقاط اندازه‌گیری در سالن تولید نخ



شکل ۱۱. میانگین تراز فشار کل صدای هر منبع صوتی در هر یک از نقاط اندازه‌گیری در سالن تولید نخ



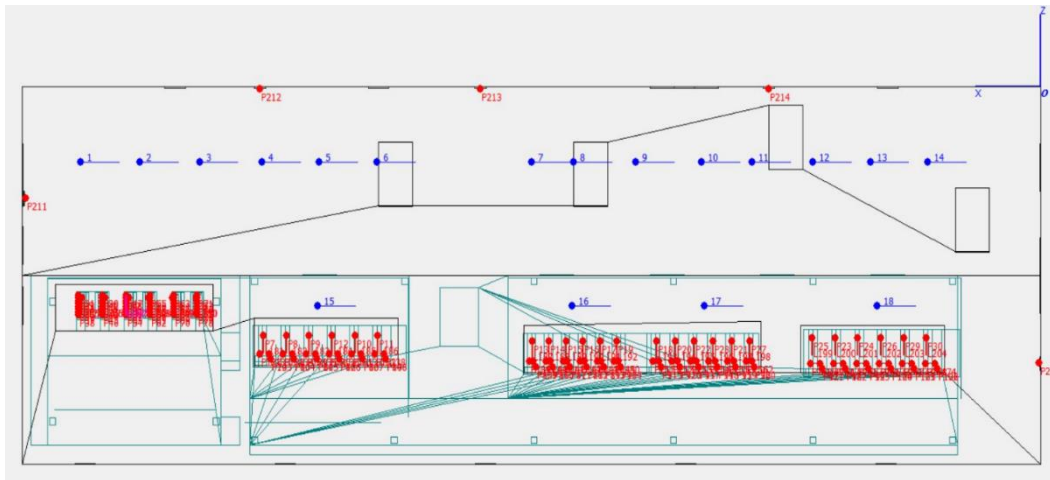
شکل ۱۲. مدل هندسی سالن تولید نخ در سالیپورک

### ۱-۳ مدل‌سازی منابع

بعد از ایجاد مدل هندسی سالن لازم است برای تحلیل آکوستیکی، منابع صوتی و گیرنده‌ها در سالن تعریف شوند به عبارتی نوع، محل و توان هر یک از منابع و محل گیرنده‌ها مشخص گردد. برای مدل‌سازی منابع در این مقاله با توجه به ابعاد و هندسه هر یک از منابع، از منابع نقطه‌ای و خطی استفاده شده است (شکل ۱۳). مینگل‌های مجموعه ۱ خطی با طول یک متر، مینگل‌های مجموعه ۲ تا



۵ نقطه‌ای، فن‌ها نقطه‌ای، گودت‌ها نقطه‌ای و وایندرها خطی با طول یک متر فرض شده‌اند. برای تعریف توان صوتی منابع از داده‌های تجربی تراز فشار صوت نزدیک منابع که در بخش ۲ آمده است، استفاده شده است.



شکل ۱۳. منابع و گیرنده‌ها در مدل (نقاط آبی به عنوان گیرنده و نقاط قرمز به عنوان منبع)

### ۲-۳ ضریب جذب سطوح

برای شبیه‌سازی سالن علاوه بر مدل‌سازی هندسی و منابع صوتی موجود در سالن لازم است ضرایب جذب سطوح و هوا مشخص شود. ضرایب جذب در جدول ۱ آورده شده است [۱۰ و ۱۱]. برای محل فن نیز که به محیط بیرون باز می‌باشد از ضریب جذب ۱ برای تمام اکتاوباندها استفاده شده است. اثرات استهلاکی هوا در محیط انتشار موج به نیز در نرم‌افزار ادئون لحاظ می‌شود. از اثرات جذب کارکنان نیز در شبیه‌سازی صرف نظر شده است.

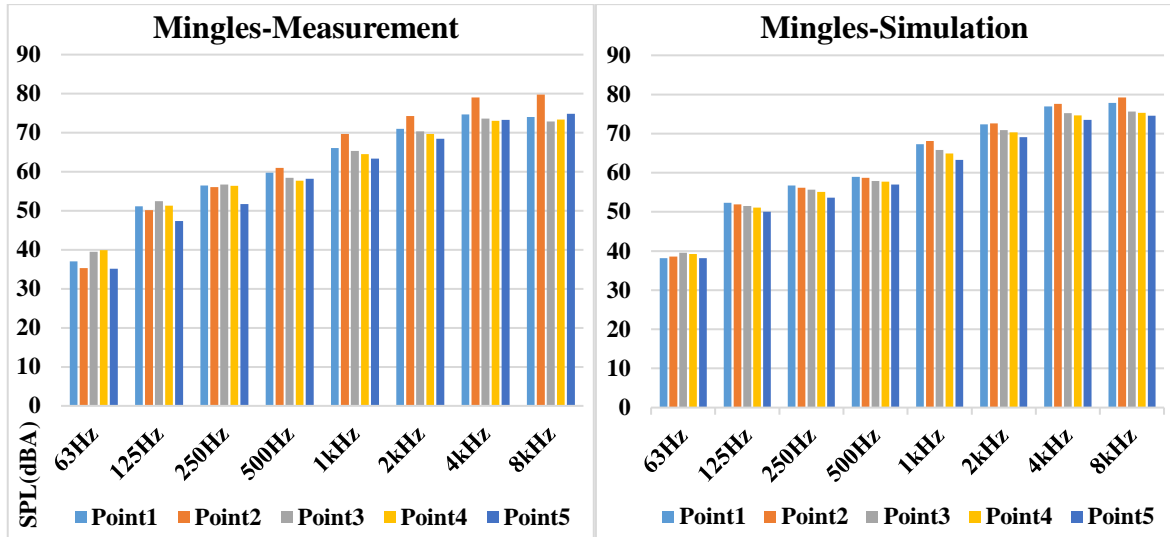
جدول ۱. ضرایب جذب مورد استفاده در شبیه‌سازی

۸kHz	۴kHz	۲kHz	۱kHz	۵۰۰ Hz	۲۵۰ Hz	۱۲۵ Hz	۶۳ Hz	
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	کف سالن
۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۸	دیوار سالن
۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲۴	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۱۳	سقف سالن
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵	فولاد
۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۳۵	پنجره‌ها

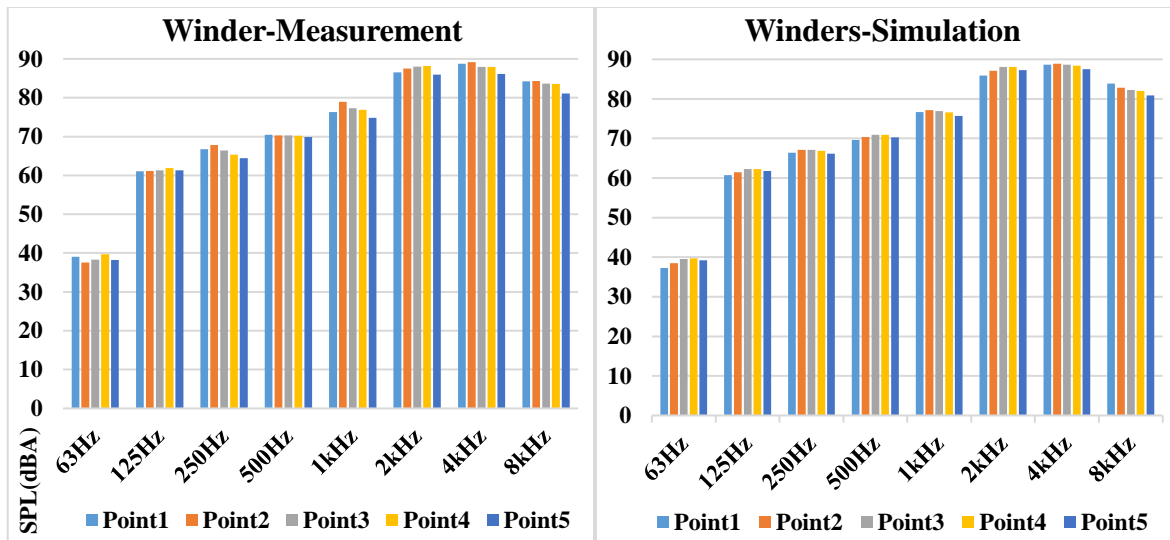
### ۴- نتایج و صحت‌سنجی

به منظور کاهش حجم نمودارها و تفسیر بهتر نتایج، روبروی هر مجموعه یک نقطه اندازه‌گیری تراز فشار صدا در نظر گرفته شده است. داده‌های تجربی و شبیه‌سازی این نقاط از میانگین لگاریتمی سه نقطه روبروی هر مجموعه به دست می‌آید. بنابراین تراز فشار صوت ۱۴ نقطه داخل سالن که در فاصله ۸ متری از دستگاه‌ها اندازه‌گیری و محاسبه شده است، به ۵ نقطه برای صحت‌سنجی کاهش یافته است. شکل ۱۴ الی شکل ۱۷ مربوط به نتایج شبیه‌سازی عددی و نتایج تجربی هر یک از منابع در نقاط سالن می‌باشد. با مقایسه هر یک از نمودارها در دو حالت شبیه‌سازی و تجربی مشاهده می‌شود که ترند<sup>۹</sup> موجود در دو حالت یکسان است. علاوه بر آن محتوای فرکانسی در هر یک از اکتاوباندها در دو حالت به هم نزدیک است.

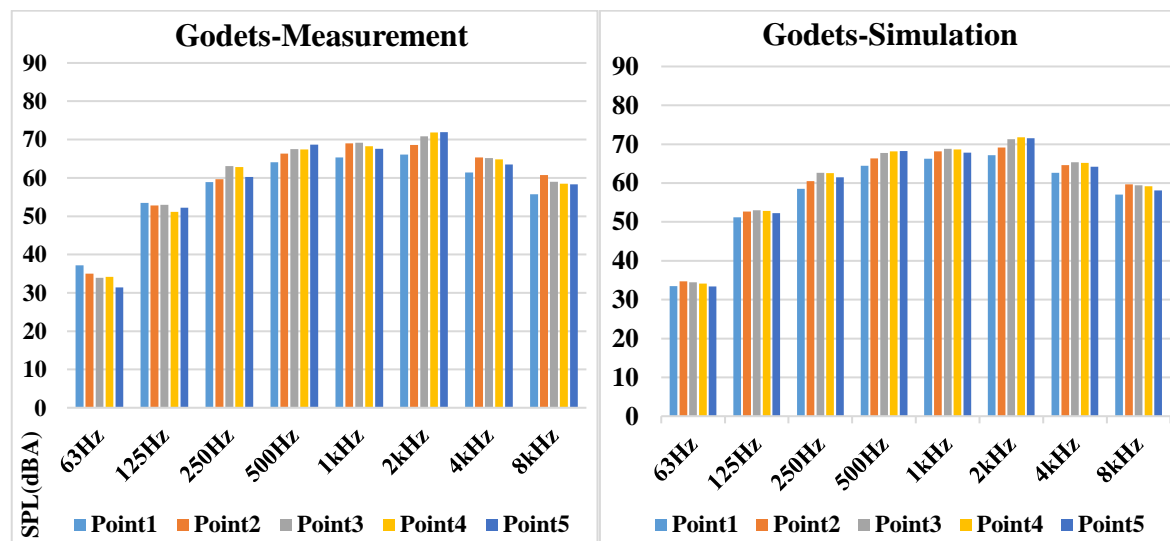
<sup>9</sup> Trend



شکل ۱۴. نمودار تراز فشار صوتی برای مینگل در پنج نقطه داخل سالن مقابل هر یک از مجموعه‌ها در شبیه‌سازی و اندازه‌گیری

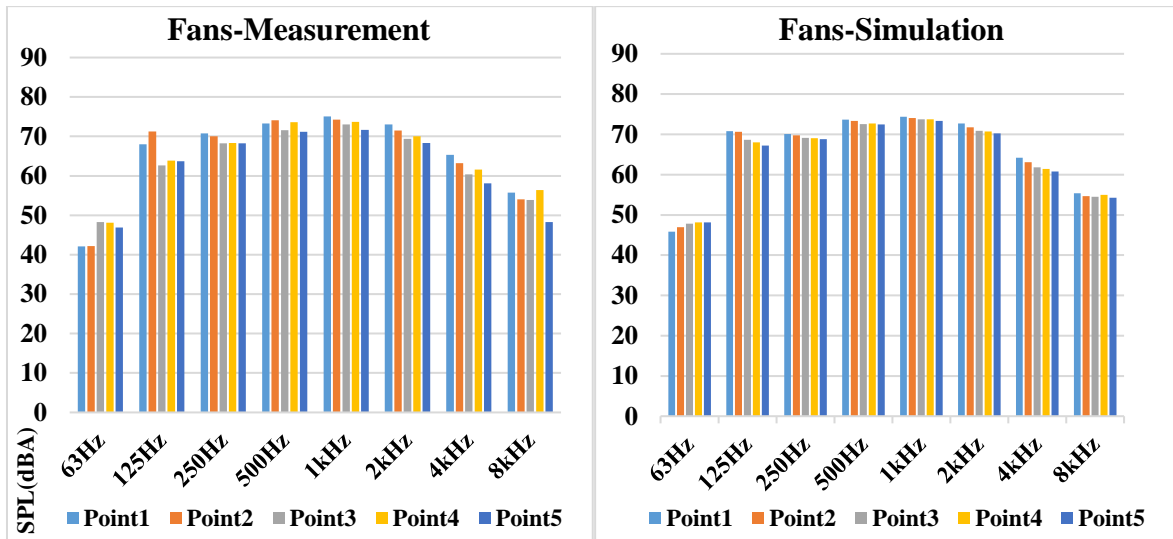


شکل ۱۵. نمودار تراز فشار صوتی برای وایندر در پنج نقطه داخل سالن مقابل هر یک از مجموعه‌ها در شبیه‌سازی و اندازه‌گیری



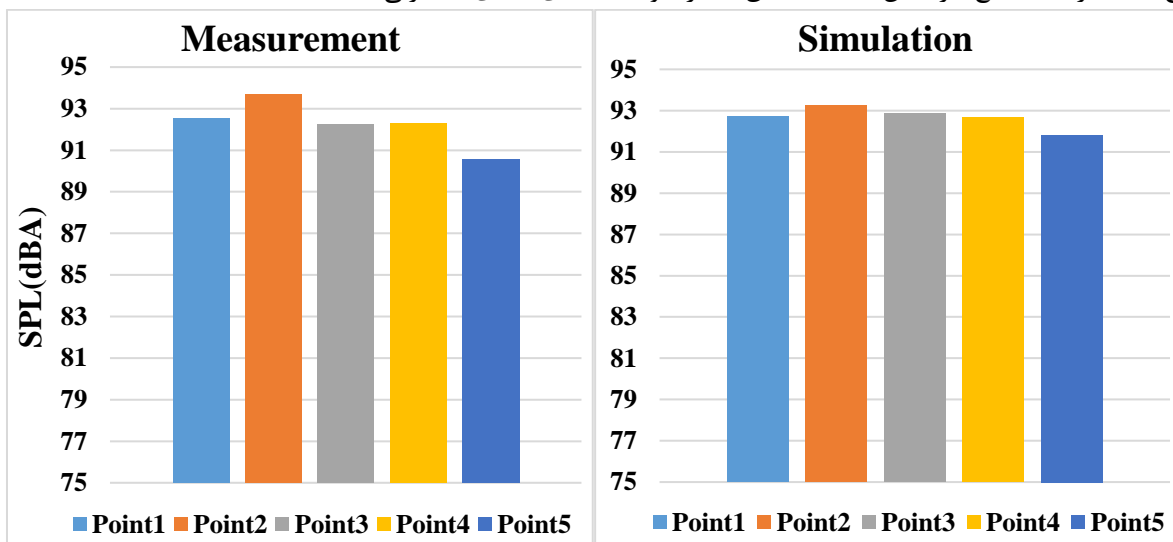
شکل ۱۶. نمودار تراز فشار صوتی برای گودت در پنج نقطه داخل سالن مقابل هر یک از مجموعه‌ها در شبیه‌سازی و اندازه‌گیری





شکل ۱۷. نمودار تراز فشار صوتی برای فن در پنج نقطه داخل سالن مقابل هر یک از مجموعه‌ها در شبیه‌سازی و اندازه‌گیری

در شکل ۱۸ نتایج جمع لگاریتمی منابع در اندازه‌گیری با نتایج حاصل از ترکیب کلیه منابع در حالت شبیه‌سازی مقایسه شده است. نتایج حالت ترکیب منابع نیز نشان دهنده انطباق بسیار خوب داده‌های عددی با تجربی است.



شکل ۱۸. جمع لگاریتمی تمام منابع صوتی در پنج نقطه داخل سالن مقابل هر یک از مجموعه‌ها در شبیه‌سازی و اندازه‌گیری

بنابراین می‌توان درستی شناسایی و مدل‌سازی نوع منابع (نقطه‌ای یا خطی) و همچنین تراز توان‌های مورد استفاده را تایید کرد. نتایج نشان می‌دهد ضرایب جذب تعریف شده برای سطوح به درستی انتخاب شده است. حل مساله عددی در حالت دقیق با تعداد اشعه بیشتر نیز اختلاف نتایجی کمتر از ۰/۵ دسی‌بل با نتایج حل تقریبی دارد ولی هزینه محاسباتی آن بسیار بالاست بنابراین تعداد اشعه مناسبی برای حل نیز انتخاب شده است.

## ۵- جمع‌بندی

در این مقاله با اندازه‌گیری تراز فشار صدا در نقاط مختلف سالن تولید نغ (نقاطی در نزدیک منابع صوتی و نقاطی در فاصله مشخص از دستگاه‌ها که محل عبور و مرور و استقرار نیروهای انسانی است) و در شرایط عملیاتی مختلف، نمودارهای تراز فشار صدا بر حسب فرکانس برای هر منبع صوتی، توزیع تراز فشار صدا در سالن، سهم منابع مختلف به دست آمده است. با استفاده از نتایج اندازه‌گیری انجام شده، تراز فشار صدای واپسرها بالاتر از سایر منابع صوتی می‌باشد. زیرا آن‌ها در فاصله نزدیک‌تری به نقاط اندازه‌گیری هستند. با

توجه به اصطکاک، برخورد و دوران در وایندها فرکانس‌های میانی و بالا از حدود ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰ هرتز بیشترین سهم را دارد. در مینگل‌ها به دلیل خروج باد با سرعت بسیار زیاد نویزهای فرکانس میانی و بالا از حدود ۴۰۰۰ تا ۸۰۰۰ هرتز غالب است. در گودت‌ها به دلیل دوران محض روتور و پولی فرکانس‌های پایین و فرکانس‌های میانی یعنی ۲۵۰ تا ۴۰۰۰ هرتز تحریک می‌شود. در فن‌ها به دلیل وجود دوران الکتروموتور، ارتعاشات ناشی از نابالانسی‌ها و نویز جریان، فرکانس‌های پایین و میانی وجود دارد. فرکانس غالب فن‌ها در بازه ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ هرتز می‌باشد. با بررسی تمام این منابع و شبیه‌سازی آن‌ها و محیط سالن در نرم‌افزار ادئون یک مدل عددی صحت‌سنجی شده با خطای بیشینه ۱/۲ دسی‌بل به دست آمده است که می‌تواند ناشی از دلایل مختلفی از جمله ساده‌سازی منابع صوتی و محیط پیچیده و در نظر نگرفتن اثرات جذب کارکنان در شبیه‌سازی باشد. از این مدل صحت‌سنجی شده می‌توان برای شبیه‌سازی راهکارهای مهندسی آکوستیک در کاهش و کنترل نویز استفاده کرد و با بررسی تراز فشار صوتی در نقاط مختلف سالن می‌توان نقاط امن با کمترین تراز فشار صوت را یافت و کارکنان را در آن نقاط قرار داد تا کمترین میزان مواجهه با صوت را داشته باشند.

## قدردانی

بدینوسیله از حمایت شرکت نخ پیوسته زاگرس در انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## مراجع

1. Crawford, R., "A discussion on the origin and treatment of noise in industrial environments - Noise control on textile machinery", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, vol. 263, pp. 347-367, 1968.
2. Mills, R. O., "Noise reduction in a textile weaving mill", *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 30, pp. 71-76, 1969.
3. MONAZAM, M., and Nezafat, A., "On the application of partial barriers for spinning machine noise control: a theoretical and experimental approach", *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, vol. 4, pp. 113-120, 2007.
4. Jayawardana, T., Perera, M., and Wijesena, G., "Analysis and control of noise in a textile factory", *International journal of scientific and research publications*, vol. 4, pp. 1-7, 2014.
5. Monazzam-Esmaeelpour, M. R., Hashemi, Z., Golmohammadi, R., and Zaredar, N., "A passive noise control approach utilizing air gaps with fibrous materials in the textile industry", *Journal of Research in Health Sciences*, vol. 14, pp. 46-51, 2014.
6. Tomozei, C., Pipa, A., Irimia, O., Panainte-Lehadus, M., and Nedeff, F., "Measuring noise level in the textile industry", *Journal of Engineering Studies and Research*, vol. 24, pp. 43-49, 2018.
7. Sorainen, E., and Kokkola, H., "Optimal noise control in a carpentry plant", *Applied Acoustics*, vol. 61, pp. 37-43, 2000.
8. Rindel, J. H., and Christensen, C. L., "Odeon, a design tool for noise control in indoor environments", 2007.
9. Keränen, J., and Hongisto, V., "Comparison of simple room acoustic models used for industrial spaces", *Acta Acustica united with Acustica*, vol. 96, pp. 179-194, 2010.
10. Barron, R. F., *Industrial noise control and acoustics*, CRC Press, 2002.
11. Egan, M. D., *Architectural Acoustics*, J. Ross Pub., United Kingdom, 2007.