

ISAV2023

سیزدهمین کنفرانس بین المللی آکوستیک و ارتعاشات

تهران - ایران

۲۹ و ۳۰ آذر ماه ۱۴۰۲



تحلیل آکوستیکی یک رک و ضرورت طبقه بندی رک ها بر اساس توانایی در کاهش تراز نوفه

روح اله سیاه تیری^{۱*}، علی مهدوی منش^۲

^۱ تهران، سازمان صداوسیما، کارشناس ارشد مهندسی برق مخابرات

^۲ تهران، سازمان صداوسیما، کارشناس مهندسی برق

* siahtiry@gmail.com

چکیده

سطح تراز نوفه در محیط های اداری و صنعتی و کنترل آن در محدوده های استاندارد همواره یکی از چالش های اصلی در این فضاها بوده است. از آنجا که در فضاهای اداری و صنعتی تجهیزات با سطوح مختلفی از تراز نوفه وجود دارند و غالباً از رک ها برای نگهداری این تجهیزات خصوصاً تجهیزات مربوط به فناوری اطلاعات استفاده می شود، از این رو پاسخ رک ها به نوفه تجهیزات درون آنها موضوعی است که می تواند بر کاهش یا افزایش تراز نوفه محیط تاثیر بگذارد. با توجه به اهمیت این موضوع در این تحقیق به بررسی پاسخ یک رک بر تراز نوفه یک دستگاه ماتریس تصویر می پردازیم. تراز نوفه دستگاه در سه حالت مختلف در اتاق صامت اندازه گیری و بررسی می شود، سپس یک اتاق که می توان آنرا سیستمی مستقل از زمان در نظر گرفت انتخاب نموده و پارامترهای آکوستیکی اتاق اندازه گیری شد. ابتدا تراز نوفه دستگاه ماتریس در این اتاق بدون قرار گرفتن در رک اندازه گیری می شود سپس با قرار دادن آن درون یک رک ۴۰ یونیت تراز نوفه در حالت های مختلف و طبقات مختلف رک اندازه گیری می شود. از نتایج این تحقیق می توان به بررسی میزان اثر تضعیف کنندگی رک بر تراز نوفه اشاره نمود و اینکه مشاهده گردید که رک تحت آزمایش در برخی فرکانس های محدوده ۱۰۰ هرتز اثر تقویت کنندگی بر تراز نوفه می گذارد. نتایج این تحقیق لزوم بررسی پاسخ رک ها به ترازهای نوفه در زمان تولید را امری ضروری نشان می دهد. همچنین طبقه بندی رک ها از نظر توانایی آنها در کاهش تراز نوفه نیز می تواند کاربر را در انتخاب بهتر رک بر مبنای توانمندی در کاهش تراز نوفه تجهیزات درون آن یاری نماید.

کلمات کلیدی: تراز نوفه؛ کنترل نوفه؛ رک؛ فضاهای اداری و صنعتی.

۱- مقدمه

در محیط‌های اداری و صنعتی یکی از مهمترین شاخص‌ها که بر سلامت جسم و روان کارکنان تاثیر بسزایی دارد سطح تراز نوفه محیط است. بالا بودن سطح تراز نوفه محیط آسیب‌های جبران‌ناپذیری را در دراز مدت بر سیستم شنوایی ایجاد می‌کند. کاهش شنوایی بطور مستقیم بر کیفیت زندگی انسان تاثیر می‌گذارد، از این رو تحقیقات بسیاری در زمینه نوفه ناشی از تجهیزات در فضاهای اداری و صنعتی انجام شده است [1] [2] [3] [4]. امروزه با توجه به اینکه در فضاهای اداری و صنعتی برای استفاده و نگهداری بهتر تجهیزات پردازشی غالباً از رک‌های صنعتی استفاده می‌شود. معمولاً در زمانیکه تعداد رک‌ها کم باشد در فضای مشترک با کارکنان قرار داده می‌شوند از این رو بررسی بازدهی رک‌ها در کنترل تراز نوفه می‌تواند ما را در بهینه‌سازی آنها کمک نماید و می‌تواند ابزاری برای کاهش تراز نوفه محیط‌های اداری و صنعتی باشد. از طرف دیگر درک صحیح از میزان توانمندی رک‌ها در کنترل تراز نوفه ی تجهیزات می‌تواند برای طراحی و جانمایی آنها در فضاهای اداری و صنعتی سودمند باشد. [5] علاوه این تدوین و انتشار استانداردهایی در خصوص پارامترهای آکوستیکی رک جهت استفاده در فضاهای اداری و یا صنعتی بسیار ضروری است.

در این مقاله به بررسی پارامترهای آکوستیکی که یک رک باید داشته باشد خواهیم پرداخت. یکی از پارامترهای آکوستیکی که می‌تواند نقش مهمی را در استفاده از رک ایفا نماید میزان توانمندی رک در کاهش تراز نوفه تجهیزات درون آن و عدم تقویت‌کنندگی تراز نوفه است. این پارامتر از آنجا اهمیت دارد که کنترل تراز نوفه محیط‌های کاری همواره یکی از چالش‌های پیش‌رو در خصوص سلامت کارکنان و بهداشت محیط است.

همگن بودن پاسخ آکوستیکی می‌تواند یکی از پارامترهای مهم در بررسی کیفیت آکوستیکی یک رک باشد. یکنواخت بودن پاسخ رک به محرک که همان نوفه تجهیزات الکترونیکی است باید در تمام نقاط رک برقرار باشد. به این معنا که تراز انرژی صوتی ساطع شده از رک، ناشی از منابع نوفه درون آن باید مستقل از موقعیت منبع نوفه درون رک باشد. همگن بودن به این معنا است که شاخص افت صوتی بدنه رک در تمام نقاط بدنه رک یکسان است. دلیل انتخاب این پارامتر این است که تمام طبقات رک را بتوان برای هر تجهیز فارغ از تراز نوفه آن استفاده کرد.

۲- تجهیزات مورد استفاده

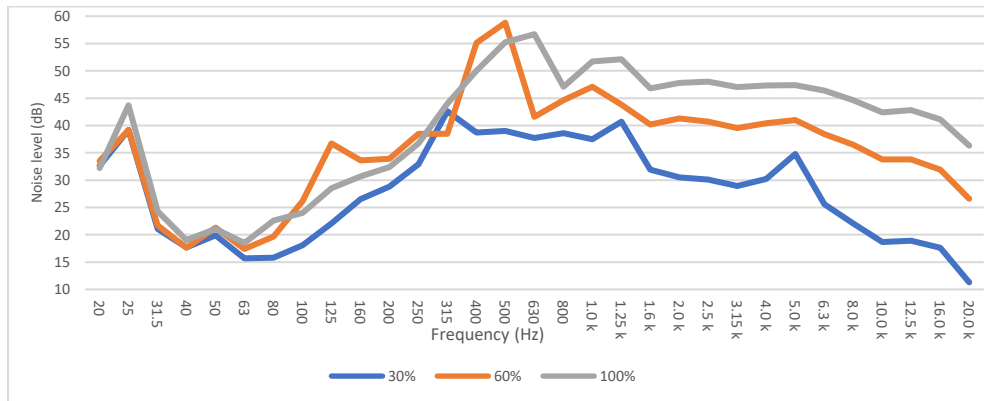
در این تحقیق همه اندازه‌گیری‌ها توسط دستگاه صدا سنج NOR140 انجام شده است. در تمام اندازه‌گیری‌ها میکروفن اندازه‌گیری در فرکانس ۱ کیلوهرتز با تراز ۱۱۴ دسی بل کالیبره شده است. در همه اندازه‌گیری‌ها دوره زمانی اندازه‌گیری ۶۰ ثانیه است. انواع مختلفی از رک در بازار موجود است از آنجا که این تحقیق مطالعه موردی است سعی شده است مدلی انتخاب شود که از استانداردهای اولیه ابعاد و جنس بدنه برخوردار باشد. رک مورد آزمایش در سایز بزرگ 40 یونیت با ارتفاع ۱۷۶ سانتی‌متر است. برای انجام این تحقیق نیاز بود دستگاهی انتخاب گردد که اول اینکه قابلیت نصب در رک را داشته باشد و دوم اینکه بتوان تراز نوفه آن را تنظیم نمود و به بیان بهتر دارای محدوده قابل تنظیمی از تراز نوفه باشد بطوریکه قابلیت تنظیم جهت اندازه‌گیری را داشته باشد. از این رو در این تحقیق یک دستگاه ماتریس تصویر برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شده است. این دستگاه دارای بخشی نرم‌افزاری است که می‌توان میزان خنک‌کنندگی فن‌ها و یا دور آنها را تنظیم نمود. سیستم خنک‌کنندگی این دستگاه به چهار فن مجزا مجهز شده است که در پشت دستگاه قرار گرفته‌اند. این دستگاه به اختصار در شکل IM بیان شده است.

۳- انجام اندازه‌گیری‌ها

۳-۱ اندازه‌گیری نوفه دستگاه در شرایط میدان آزاد

در هر محیط بسته صدایی که از یک منبع صدا به گوش ما می‌رسد حاصل کانولوشن صدای منبع و پاسخ ضربه آن فضا است. برای اندازه‌گیری نوفه یک دستگاه بدون اثرپذیری از پاسخ ضربه فضا باید نوفه آن را در شرایط میدان آزاد اندازه‌گیری کرد. در شرایط میدان آزاد صدایی که می‌شنویم همان صدای مستقیم از منبع است و هیچ صدای بازتاب شده‌ای نداریم. برای این اندازه‌گیری از اتاق

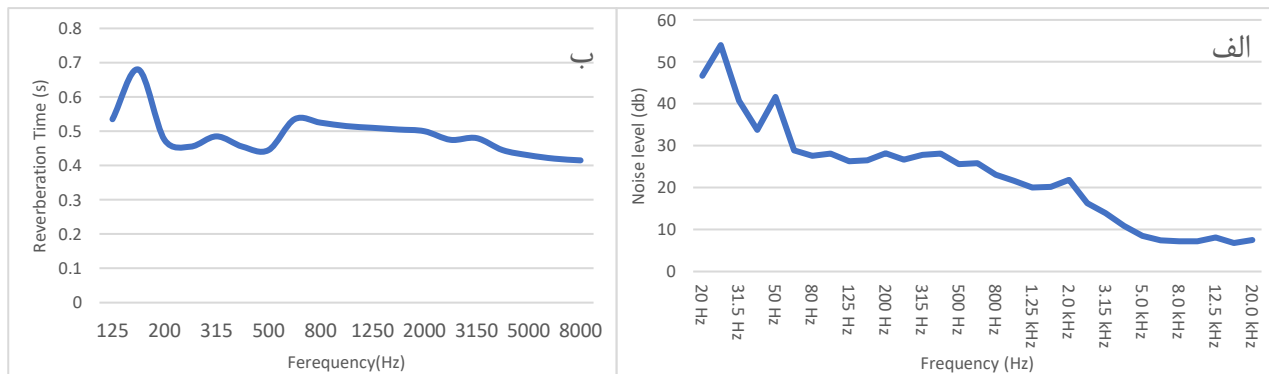
صامت آزمایشگاه آکوستیک سازمان صدا و سیما استفاده شد. [6] تراز نوفه زمینه تک عددی در این اتاق در محدوده ۱۵ dBA دسی بل است. در این اتاق صامت در محدوده فرکانسی ۱۰۰ هرتز تا محدوده ۲۰ کیلو هرتز شرایط میدان آزاد در فاصله ی یک متری از دیوارها برقرار است. تراز نوفه دستگاه تحت آزمایش (ماتریس تصویر) در اتاق صامت در سه حالت فن روشن در توان های ۳۰ درصد، ۶۰ درصد و ۱۰۰ درصد در مرکز اتاق و در فاصله یک متری از منبع اندازه گیری گردید. نتایج حاصل از این اندازه گیری در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱: نوفه دستگاه تحت آزمایش (ماتریس تصویر) در شرایط میدان آزاد

۲-۳ اندازه گیری پارامترهای آکوستیک فضای اداری

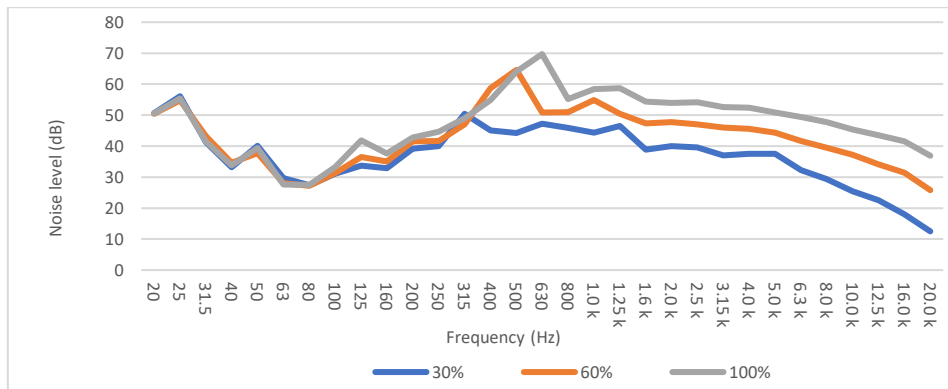
برای بررسی تاثیر رک بر تراز نوفه دستگاه می بایست از یک سیستم مستقل از زمان استفاده نماییم. [7] برای این منظور سعی شده است از اتاقی استفاده شود که پارامترهای آکوستیکی آن از جمله نوفه زمینه در اثر گذشت زمان ثابت باشد. اتاق انتخاب شده فضایی آزمایشگاهی است که جنس سقف آن از آکوستیک تایل و کف آن از جنس کف پوش است. دو پارامتر آکوستیکی زمان واخنش و نوفه زمینه فضای اداری که رک در آنجا قرار می گیرد اندازه گیری شد. [8] منحنی تراز نوفه این فضا در شکل (الف - ۲) و منحنی زمان واخنش آن در شکل (ب - ۲) آمده اند. میانگین زمان واخنش فضا برابر با ۰.۴۷ ثانیه است. این دو پارامتر در طول اندازه گیری ها ثابت و بدون تغییر بودند.



شکل ۲: (الف) نوفه زمینه فضای اداری (ب) زمان واخنش فضای اداری

۳-۳ نوفه دستگاه بدون رک در فضای اداری

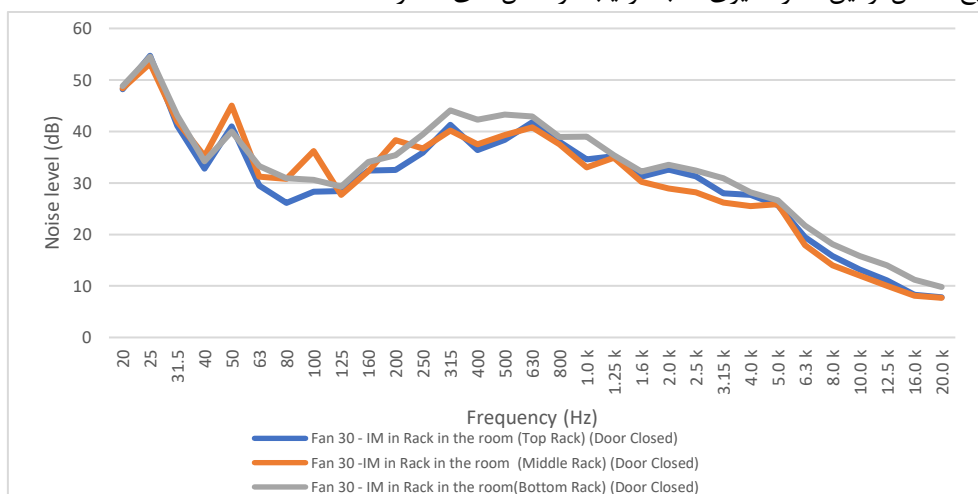
نوفه دستگاه در فضای اداری در حالتی که رک وجود نداشته باشد اندازه گیری گردید. برای این اندازه گیری دستگاه در مکانی که رک نصب می گردد و در ارتفاع یک متری از سطح زمین قرار داده شد و نوفه آن در سه حالت فن روشن در توان های ۳۰ درصد، ۶۰ درصد و ۱۰۰ درصد و در فاصله یک متری از منبع اندازه گیری گردید. نتایج اندازه گیری در شکل شماره ۳ آمده است.



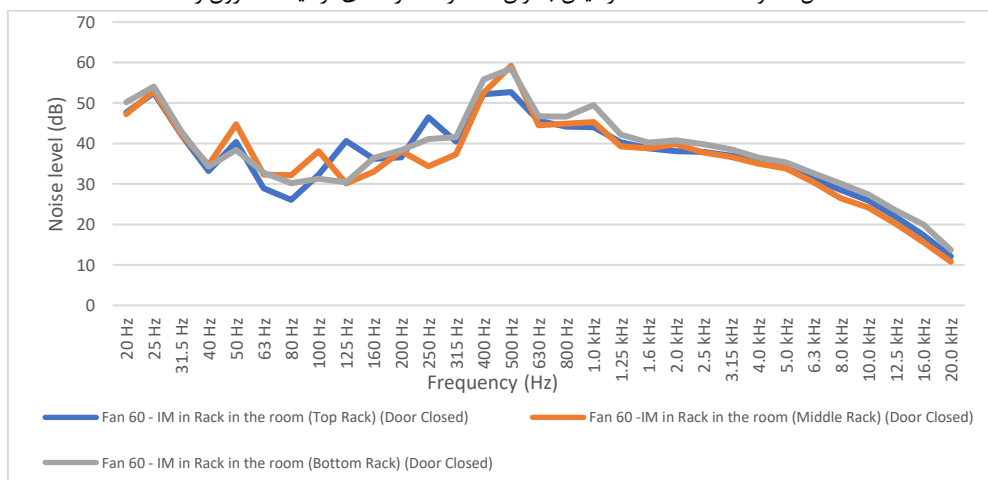
شکل ۳: نوفه دستگاه تحت آزمایش در فضای اداری بدون رک

۴-۳ نوفه دستگاه درون رک در فضای اداری

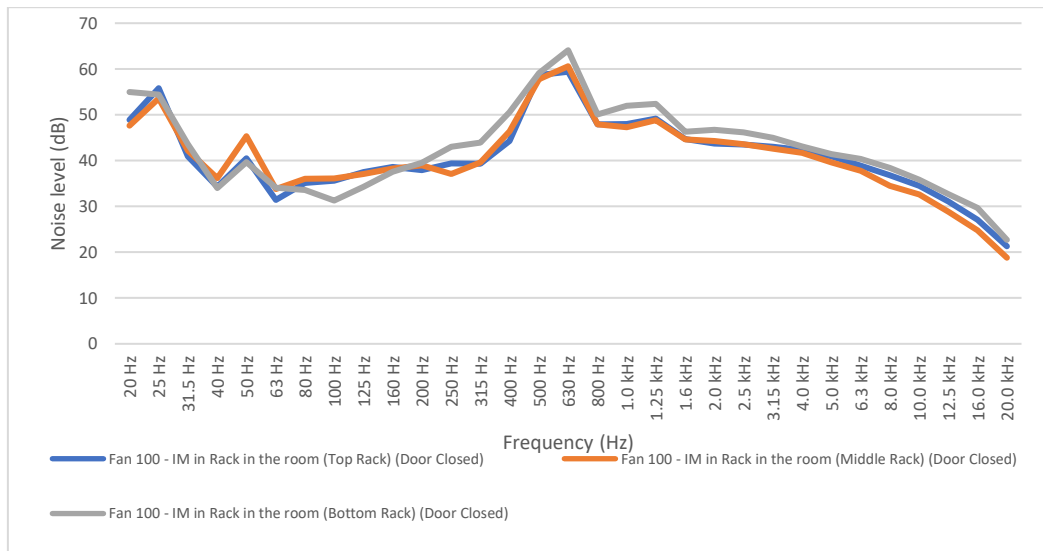
نوفه دستگاه درون رک بعد از نصب شدن دستگاه در رک در فاصله یک متری از آن با در بسته در طبقه همکف، طبقه وسط و طبقه بالا اندازه گیری شد. در همه این حالت ها تراز نوفه دستگاه در سه حالت فن روشن در توان های ۳۰ درصد، ۶۰ درصد و ۱۰۰ درصد اندازه گیری گردید. نتایج حاصل از این اندازه گیری ها به ترتیب در شکل های شماره ۴ تا ۶ آمده است.



شکل ۴: نوفه دستگاه تحت آزمایش با توان ۳۰ درصد در فضای آزمایشگاه درون رک



شکل ۵: نوفه دستگاه تحت آزمایش با توان ۶۰ درصد در فضای آزمایشگاه درون رک



شکل ۶: نوفه دستگاه تحت آزمایش با توان ۱۰۰ درصد در فضای آزمایشگاه درون رک

۴- تحلیل نتایج اندازه گیری ها

یکی از مهمترین اهداف این تحقیق تحلیل پاسخ یک رک به نوفه تجهیزات درون آن است. به عبارت دیگر با توجه به اینکه استفاده از رک ها در فضای اداری در بسیاری موارد ضروری است اطلاع و دانش نسبت به میزان توانمندی رک ها نسبت به کاهش تراز نوفه و احیانا تقویت تراز نوفه (در بعضی فرکانس ها) از اهمیت بالایی برخوردار است. دلیل آن این است که این موضوع می تواند به ما در کنترل تراز نوفه فضاهای اداری کمک نماید.

در بررسی و تحلیل نتایج اندازه گیری شده در ابتدا تحلیلی خواهیم داشت بر ساختار و ماهیت نوفه دستگاه ماتریس که در اتاق صامت اندازه گیری شده است. سپس به تحلیل نوفه دستگاه ماتریس در فضای اداری در دو حالت بدون قرار گرفتن در رک و درون رک می پردازیم و در نهایت نوفه دستگاه ماتریس را در درون رک در طبقات مختلف مورد بررسی قرار می دهیم.

۴-۱- تراز نوفه دستگاه در میدان آزاد

۴-۱-۱- بررسی نوفه دستگاه ماتریس:

در بررسی نوفه ناشی از دستگاه ماتریس در اتاق صامت مشاهده می کنیم که یک پیک بزرگ در تمام نمودارها و در فرکانسهای میانی مشاهده می شود که در دوره های مختلف فن فرکانس و دامنه متفاوتی دارد. این پیک فرکانسی مربوط به فرکانس باله فن (Blade Frequency) است که می توان هارمونیک دوم آن را نیز به راحتی در فاصله یک اکتاو دید.

در بازه فرکانسی 200Hz - 31.5 تراز نوفه فن پایین تر از تراز نوفه در فرکانس های میانی است و پیک نوفه در فرکانس های میانی نیز وابسته به دور فن است که به شرح زیر است:

- در دور 30% این پیک با دامنه 43dB در فرکانس 315Hz قرار دارد (نصف حالت 100%). هارمونیک دوم در حالت های مختلف تضعیف و یا تقویت شده، اما هارمونیک چهارم در تمامی حالت ها قوی است.
- در دور 60% این پیک با دامنه 59dB در فرکانس 500Hz قرار دارد. هارمونیک دوم با اختلاف زیادی دامنه 47dB و فرکانس 1.0KHz دارد.
- در دور 100% این پیک با دامنه 57dB در فرکانس 630Hz قرار دارد. هارمونیک دوم با اختلاف ناچیزی دامنه 52dB و فرکانس 1.25KHz دارد.

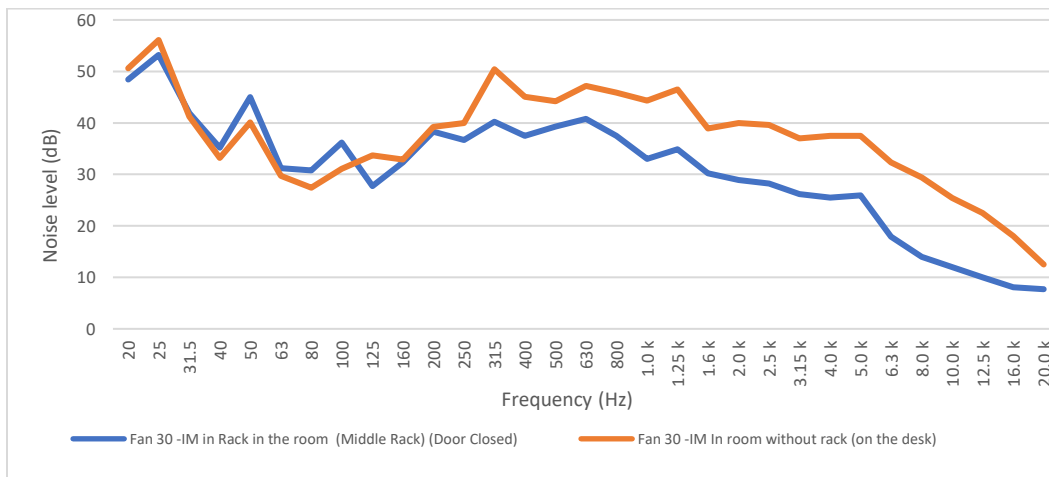
۴-۲ تراز نوفه دستگاه در اتاق

۴-۲-۱ بررسی اثر رک بر تراز نوفه دستگاه

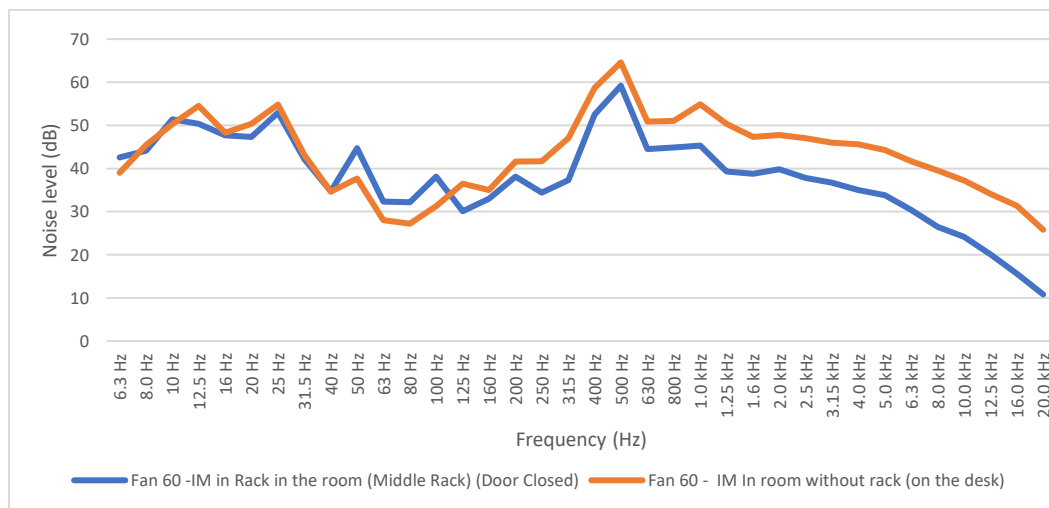
برای بررسی پاسخ رک به نوفه تجهیزات درون آن، تراز نوفه دستگاه ماتریس در حالتی که درون رک قرار ندارد با حالتی که در رک با در بسته قرار دارد را در حالت فن با توان های ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد را در شکل های شماره ۱۰ تا ۱۲ مشاهده می کنیم، همچنین اختلاف عددی این مقادیر نیز در جدول شماره ۱ آمده اند [۴].

نکته ای که در این تحقیق بسیار مهم و قابل توجه است اثر تقویت کنندگی رک بر تراز نوفه ماتریس تصویر در بعضی فرکانس های کمتر از ۲۰۰ هرتز است. همانطور که در جدول شماره ۱ مشاهده می کنیم این اثر در محدوده های فرکانسی ۳۱.۵ هرتز شروع می شود و تا محدوده فرکانسی ۱۰۰ هرتز ادامه می یابد، که در دور ۱۰۰ درصد تا فرکانس ۱۶۰ هرتز نیز بالا آمده است.

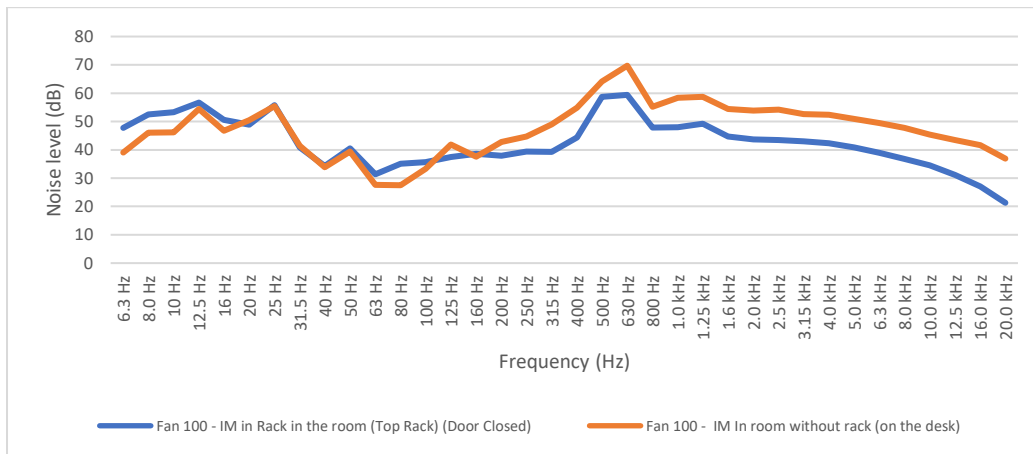
توانمندی رک در کاهش تراز نوفه در محدوده فرکانسی ۵۰۰ هرتز تا ۳۱۵۰ هرتز که برای درک صدا و گفتار در سیستم شنوایی انسان محدوده بسیار مهمی است، در بیشترین مقدار خود به ۱۱.۶ دسی بل رسیده است. این قابلیت در فرکانس های بالای ۳۱۵۰ هرتز در فن ۳۰ درصد تا ۱۵.۴ دسی بل و در فن ۶۰ درصد به ۱۵.۸ دسی بل و در نهایت در فن ۱۰۰ درصد به حدود ۱۸.۱ دسی بل رسیده است.



شکل ۱۰: دستگاه ماتریس با توان ۳۰ درصد در دو حالت درون رک و بدون رک



شکل ۱۱: دستگاه ماتریس با توان ۶۰ درصد در دو حالت درون رک و بدون رک



شکل ۱۲: دستگاه ماتریس با توان ۱۰۰ درصد در دو حالت درون رک و بدون رک

جدول شماره ۱: اختلاف تراز نوفه دستگاه ماتریس در حالت بدون رک و درون رک

Power of fan	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
30%	2.2	2.9	-0.7	-2	-4.9	-1.5	-3.4	-5.1	6	0.6	0.9	3.3	10.2	7.6	4.9	6.4
60%	3.1	1.8	1	-0.1	-7	-4.3	-5	-6.8	6.4	2	3.5	7.3	9.7	6.2	5.4	6.4
100%	2.9	1.8	-0.8	-2.4	-5.9	-6.2	-8.5	-2.8	4.8	-0.7	3.8	7.6	9.4	8.5	6.3	9.1

Power of fan	800	1.0 k	1.25 k	1.6 k	2.0 k	2.5 k	3.15 k	4.0 k	5.0 k	6.3 k	8.0 k	10.0 k	12.5 k	16.0 k	20.0 k
30%	8.4	11.3	11.6	8.7	11.1	11.4	10.8	12	11.6	14.4	15.4	13.4	12.5	9.9	4.8
60%	6.1	9.6	11.1	8.5	8	9.2	9.3	10.6	10.5	11.3	13	13	14	15.8	15
100%	7.3	11.1	9.9	9.8	9.6	10.6	10	10.7	11.3	11.6	13.2	12.8	14.7	16.8	18.1

۴-۳ پاسخ رک نسبت به موقعیت دستگاه درون آن

۴-۳-۱ مقایسه بالا، وسط و پایین رک:

با بررسی تراز نوفه دستگاه در طبقات بالا، وسط و پایین رک که نتایج آن در نمودارهای شماره ۴، ۵ و ۶ آمده است مشاهده می‌کنیم که در حالتی که دستگاه ماتریس در طبقه پایین رک قرار گرفته است (تقریباً در هر سه توان ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰)، تراز نوفه بالاتری را نسبت به دو موقعیت دیگر در رک در فرکانس‌های بالاتر از ۲۰۰ هرتز ملاحظه می‌کنیم. این موضوع می‌تواند به دو دلیل باشد، اول اینکه توانایی رک در افت تراز نوفه از ناحیه کف ضعیف‌تر از نواحی دیگر است و دوم اینکه این موضوع می‌تواند به دلیل نزدیک بودن دستگاه ماتریس به کف اتاق باشد و در اینجا کف اتاق اثر تقویت‌کنندگی خود را بر تراز نوفه اعمال کرده است. البته ذکر این نکته ضروری است که کف اتاقی که اندازه‌گیری‌ها در آن انجام شده اند از جنس کف پوش لاستیکی با ضخامت تقریبی ۱ سانتی‌متر است.

۵- نتیجه‌گیری

اولین نتیجه‌ای که می‌توان از انجام این تحقیق بدست آورد نقش تقویت‌کنندگی رک تحت آزمایش در افزایش تراز نوفه است. این موضوع از آنجا حائز اهمیت است که اگر تعداد تجهیزاتی که درون رک قرار می‌گیرند بیشتر شود و محدوده فرکانسی نوفه تجهیزات دیگر در محدوده‌ای باشد که رک خاصیت تقویت‌کنندگی از خود نشان می‌دهد می‌تواند اثر بسزایی در بالا بردن تراز نوفه زمینیه از خود نشان دهد. از این رو ضروری است که در زمان تولید رک‌ها این موضوع حتماً مورد بررسی قرار گیرد.

از نظر توانایی رک در کاهش تراز نوفه مشاهده نمودیم که در محدوده فرکانسی ۵۰۰ هرتز تا ۳۱۵۰ هرتز تا حدوده ۱۱۶ دسی بل رسیده است. این توانایی از آنجا می‌تواند اهمیت خود را نشان دهد که با افزایش تراز نوفه به اندازه ۱۰ دسی بل بلندی صدا دو برابر می‌شود، و در واقع با کاهش تراز صدا به اندازه ۱۰ دسی بل می‌توان گفت بلندی صدا از نظر سیستم شنوایی انسان نسبت به قبل به نصف کاهش یافته است. این موضوع نشان می‌دهد که در صورتیکه رک‌ها با هدف توانایی در کاهش تراز نوفه طراحی و ساخته شوند می‌توانند نقش بسزایی در کاهش تراز نوفه بلندی صدای درک شده توسط سیستم شنوایی انسان اعمال نمایند.

موضوع دیگر که می‌توان از نتایج اندازه‌گیری‌ها به آن اشاره نمود یکسان بودن توانایی در رک در کاهش تراز نوفه در تمام نقاط آن است. این موضوع در اندازه‌گیری‌های مربوط به طبقات مختلف رک مشاهده می‌شود، بطوریکه در نقاط پایین رک در کاهش تراز نوفه کمتر نقاط بالایی رک است. البته همانطور که در قسمت تحلیل اندازه‌گیری‌ها گفته شد این موضوع باید با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد.

یکی از اهداف مهم در این تحقیق بیان این موضوع است که با توجه به کاربرد گسترده رک‌ها در فضاهای اداری و صنعتی توانمندی آنها در کاهش نوفه تجهیزات می‌تواند نقش بسزایی در کنترل نوفه فضاهای کاری ایفا نماید. از این رو طبقه بندی رک‌ها از نظر توانایی آنها در کاهش تراز نوفه می‌تواند گامی موثر در مسیر تولید رک‌ها با توانایی بالاتر در کاهش تراز نوفه تجهیزات باشد. علاوه بر این طبقه بندی رک از نظر کاهش تراز نوفه تجهیزات درون آنها می‌تواند کاربرد را در انتخاب بهتر جهت ایجاد فضای کاری با تراز نوفه کنترل شده یاری نماید.

مراجع

- [۱] Kropman, Daan, et al, "The business case for a healthy office; a holistic overview of relations between office workspace design and mental health ", *Ergonomics* ,pp. ۶۷۵-۶۵۸, ۲۰۲۳ .
- [۲] Smith, Michael G., Makayla Cordoza, and Mathias Basner, "Environmental noise and effects on sleep: an update to the WHO systematic review and meta-analysis", *Environmental health perspectives* . ۲۰۲۲ ,
- [۳] Killeen, Jack, Ian Davis, Jiayu Wang, and Gareth J. Bennett., "Fan-noise reduction of data centre telecommunications' server racks, with an acoustic metamaterial broadband, low-frequency sound-absorbing liner ", *Applied Acoustics* ,p. ۲۰۳, ۲۰۲۳ .
- [۴] Alnuaimya, Ahmed, Oleksii Shushurab, and Genadiy Zhyrov., "Impact of Noise Inside Server Room ", *CEUR Workshop Proceedings* . ۲۰۲۲ ,
- [۵] Passero, Carolina Reich Marcon, and Paulo Henrique Trombetta Zannin., "Acoustic evaluation and adjustment of an open-plan office through architectural design and noise control ", *Applied Ergonomics* ,pp. ۱۰۶۶-۱۰۷۱, ۲۰۱۲ .
- [۶] ISO ۳۷۴۵: *Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Precision methods for anechoic rooms and hemi-anechoic rooms* .[Performance]. ISO . ۲۰۱۲ ,
- [۷] ECMA-۷۴, نویسنده, *Measurement of Airborne Noise emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment* .[Performance]. ECMA . ۲۰۲۲ ,

[۸] *ISO ۷۷۷۹: Measurement of airborne noise emitted by information technology and telecommunications equipment .[Performance]. ISO .۲۰۱۰ ,*