طراحی و اجرای راهکار کنترل آلودگی صوتی ناشی از blow-off های نیروگاه حرارتی

عصمت اسمعیل‌زاده[۱]، حسین‌علی حکیمی[۲]، محمدنبی فرخی[۳]

۱-کارشناس ارشد محیط زیست، تحقیق و توسعه، مجتمع مس سرچشمه

۲- کارشناس ارشد بهداشت صنعتی، امور ایمنی، مجتمع مس سرچشمه

۳- مشاور تحقیق و توسعه، مجتمع مس سرچشمه

چکیده

*دمنده‌های موجود در نیروگاه حرارتی هوای مورد نیاز کوره‌های ذوب را تامین می‌نمایند. در زمانیکه کوره‌ها به هوا نیاز ندارند هوای مورد نظر غالبا با سرعت ۶۸-۱۵۱m/s از طریق ۴ عدد blow-off در ارتفاع بالا به محیط تخلیه، و سر و صدای زیادی ایجاد می‌گردد که علاوه بر تاثیر آن بر نواحی واقع در ضلع شرقی و محوطه بیرون نیروگاه سبب آلودگی نواحی دوردست نیز می‌شود. این پژوهش با هدف کاهش ۲۵دسیبلی در تراز صدای تولیدی منبع(۱۴۶ دسیبل) انجام شد. بدین منظور پس از بررسی مشخصات فنی و اکوستیکی منابع تولیدکننده صدا و مطالعه انواع سایلنسرها، سایلنسر از نوع پراکنشی-جذبی برای کنترل صدای ناشی از blow-off مناسب شناخته شد. بر اساس نتایج اندازه‌گیری در باند فرکانسی اکتاو و استفاده از اطلاعات موجود، سایلنسری به ابعاد $1/8*1/1*1/1m^3$ که درون آن ستونهایی به ابعاد $2m^3$ ۱/۲*۰/۲*۰/۲ از مواد جاذب با پوشش فلزی پانچ واقع است طراحی و ساخته شد. پس از ساخت و نصب اولین سایلنسر، اندازه‌گیری تراز صدا در این محل کاهشی به میزان ۲۶/۱۵ دسیبل در تراز توان کلی صدای منبع نشان داد. بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری و به‌منظور کاهش بیشتر صدا، ارتفاع سه سایلنسر دیگر افزایش یافت زیرا با افزایش ارتفاع(طول) میزان جذب و نهایتاً کاهش صدا بیشتر خواهد بود. اندازه‌گیریهای انجام شده از تراز صدای منابع پس از ساخت و نصب سایلنسرهای جدید، یک کاهش ۳۸/۲۳ دسیبلی را در تراز توان صدای منابع نشان داد که ۱۳ دسیبل بیش از مقدار پیش‌بینی شده بود. با نصب سایلنسرها، علاوه بر کاهش صدای منبع، تراز صدا در فواصل نزدیک به blow-off ها ۱۴/۳ و در فواصل دور از آن حدود ۲۰ دسیبل کاهش نشان داد. بر اساس استانداردهای آلودگی صوتی با کاهش ۳ دسیبل در تراز صدای دریافتی، زمان مجاز کاری تقریباً دو برابر می‌شود و به تبع آن اثرات ناشی از آلودگی صوتی بر افراد کاهش قابل ملاحظه‌ای خواهد یافت.*

کلمات کلیدی : *کنترل صدا ، نیروگاه ، آلودگی صوتی*

مقدمه

جهت جلوگیری و کنترل آلودگی موجود در صنایع، روشهای مشخص و متنوعی وجود دارد که تنوع آنها به نوع منابع، شرایط فیزیکی و هدف از کنترل بستگی دارد. در اکثر صنایع در اثر انتقال هوا یا گاز از یک قسمت به قسمت دیگر سر و صدای زیادی ایجاد می‌شود که جهت کاهش این آلودگی صوتی استفاده از لوازم خاص به‌نام کاهش‌دهنده‌های صدا یا فیلترهای آکوستیکی الزامی است. یک فیلتر آکوستیکی یا سایلنسر ابزاری است که از انتقال امواج صوتی جلوگیری می‌کند و در همین حین در راه عبور هوا یا گاز، مقاومت محسوسی ایجاد نمی‌کند. این فیلترها شامل دو نوع reactive و resistive هستند. در نوع reactive که برای صداهای با باند باریک فرکانسی مناسب است، اساس کاهش صدا تغییر امپدانس است. در اینجا با تغییر سطح مقطع، امپدانس یا مقاومت اکوستیکی بالا رفته و جلو عبور انرژی صوتی را می‌گیرد. در این روش هرچه تغییر سطح مقطع عبور هوا در طول سایلنسر ناگهانی‌تر باشد کارآیی بالاتر خواهد بود[۱] .

در نوع resistive اساس کنترل، جلوگیری از عبور امواج صوتی با استفاده از مواد جاذب صوت است. در این روش مقاومت در برابر عبور هوا بسیار کمتر از نوع reactive است و جاذبهای صوتی نقش اصلی را ایفا می‌کنند. با هدایت امواج صوتی به درون مواد جاذب، انرژی صوتی سبب ارتعاش الیاف مواد جاذب شده و تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود. این روش برای کنترل منابع صوتی با باند پهن فرکانسی مفید می‌باشد.

علاوه بر روشهای کنترلی passive که در بالا به آنها اشاره شد روش کنترلی دیگری به نام active noise control وجود دارد که سیستم کنترل آن شامل یک اسباب الکتروآکوستیک است که صدای ناخواسته را با تولید یک صدای معکوس (anti noise) هم دامنه با موج اولیه ولی در فاز مخالف حذف می‌کند. حذف موثر صدا به تشخیص مشخصات موج اصلی و ایجاد دقیق anti noise بستگی دارد[۲] .

شناخت دلایل تولید صدا از عوامل موثر در طراحی سیستم کنترلی بشمار می‌رود. بر اساس بررسی‌های انجام شده قبلی در نیروگاه حرارتی مجتمع مس سرچشمه، خروج هوا از محل blow-offها به اتمسفر، حرکت هوا در مسیر لوله‌ها(قبل از خروج هوا) و مکنده‌های انتقال هوا به بلوورها از عوامل اصلی تولید صدا در ضلع شرقی محوطه بیرونی نیروگاه حرارتی بشمار می‌روند[۳] . اما در این بین، خروج هوا از blow-offها به‌عنوان مهمترین منبع تولید صدا شناخته شده است زیرا علاوه بر آلودگی نواحی مجاور ضلع شرقی نیروگاه، سبب آلودگی نواحی دورتر نیز می‌گردد. دمنده‌های موجود در نیروگاه حرارتی هوای مورد نیاز کوره‌های ذوب را تامین می‌نمایند. در زمانیکه کوره‌ها به هوا نیاز ندارند هوای مورد نظر از طریق ۴ عدد blow-off به محیط تخلیه می‌شود .

درهنگام ساخت نیروگاه به‌منظور کاهش صدای ناشی از خروج هوا به محیط بر روی لوله خروجی blow-off (قطر ۱۶ اینچ) یک صدا خفه‌کن از نوع vent silencer تعبیه شده است. هوای ورودی به آن پس از عبور از یک محفظه باز به‌طول ۶۰/۹۶ سانتیمتر و کاهش سرعت، از داخل لوله‌های پانچ‌دار عبور می‌کند. فضای بیرونی لوله‌ها و همچنین جداره خارجی محفظه بوسیله مواد جاذب از نوع پشم شیشه پر شده است. تعداد لوله‌های پانچ‌دار ۷ عدد و قطر هر کدام ۱۵cm می‌باشد. علی‌رغم وجود این صدا خفه‌کن، تراز صدا در محوطه ضلع شرقی نیروگاه از حد مجاز بالاتر است. لذا به‌منظور کاهش صدای ناشی از تخلیه هوا به محیط یک صدا خفه‌کن از نوع جذبی-پراکنشی طراحی و بر روی صدا خفه‌کن موجود نصب می‌شود. در این مقاله به نحوه طراحی و نتایج حاصل از نصب سایلنسرها اشاره شده است.

مواد و روشها

بمنظور کاهش سرعت هوای خروجی، جذب صدای تولیدی و جلوگیری از تولید مجدد صدا، سایلنسر از نوع پراکنشی-جذبی انتخاب گردید. پس از تعیین مشخصات فنی و آکوستیکی منبع، سیستم کنترلی مورد نظر طراحی و بعد از ساخت بر روی blow-off ها نصب گردید. مراحل کار به ترتیب در زیر آورده شده است.

الف- تعیین مشخصات فنی و اکوستیکی منبع

ابتدا اطلاعات فنی مورد نیاز جهت طراحی سایلنسر جدید جمع‌آوری گردید (جدول ۱).

جدول۱ : اطلاعات مربوط به صداخفه‌کن موجود و مشخصات هوای عبوری

مشخصه	ابعاد	مشخصه	ابعاد
قطر لوله خروجی از سایلنسر	۶۰/۹۴Cm	فشار محیط	۵۶۴mmhg
طول محفظه آزاد	۶۰/۹۶Cm	فشار هوا قبل از ورود به سایلنسر قدیمی	۴۰Psia
ارتفاع سایلنسر	۱۴۴/۸Cm	فشار هوا بعد از خروج از سایلنسر قدیمی	۱۹/۹Psia
دمای هوای خروجی از سایلنسر	۱۵۴ °C	سطح مقطع عبور هوا	۰/۱۲۳ m^2
دبی هوا	۱۸۰۰۰Acfm	سرعت هوا با دبی ۱۸۰۰۰Acfm	۶۸m/s

جهت بررسی وضعیت و مشخصات صدای تولیدی توسط blow-offها تراز صدا در باندهای مختلف فرکانسی، در فاصله ۱ متری منبع و در ارتفاع معادل با محل استقرار منبع اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری در مجاور هر منبع در حالتی که منابع دیگر در مدار نبودند انجام شد. با داشتن تراز فشار صوت(spl)، فاصله از منبع (R) و با استفاده از معادله (۱) تراز توان صدای منبع در هر باند فرکانسی بدست آمد(جدول۲)[۱].

$$Swl=Spl+20\log R+11 \qquad (1)$$

جدول ۲ : تراز توان صوت منبع

Frequency-Hz	۳۱/۵	۶۳	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰
Swl-dB	۱۰۳/۵	۱۰۹/۷	۱۱۲/۶	۱۲۲/۵	۱۳۵/۱	۱۴۲/۳	۱۴۱/۲	۱۳۷	۱۳۰/۹

پس از محاسبه تراز swl برای هر باند فرکانسی، جهت تعیین صدای کلی منبع از رابطه(۲) استفاده شد[۲] و تراز توان تولید صدای حاصل از خروج هوا از blow-off ها در محل منبع ۱۴۶/۰۳dBA تعیین گردید. این میزان صدا پس از انتشار در فواصل مختلف مقادیر متفاوتی از صدا را باعث می‌شود. به‌دلیل واقع شدن این منابع در ارتفاع بالا صدای تولیدی در اغلب نواحی اطراف قابل شنیدن است و همین امر سبب شده است که این منابع به‌عنوان مهمترین منبع آلودگی صوتی در این ناحیه به‌شمار آیند.

$$swl_T = 10\log\sum_{i=1}^{9} 10^{\frac{swl_i}{10}} \qquad (2)$$

ب- طراحی سیستم کنترلی

تشخیص مشخصات آکوستیکی منبع اولین گام در طراحی تجهیزات آلودگی صوتی به‌شمار می‌رود. با مد نظر قرار دادن این اطلاعات و همچنین اطلاعات مربوط به مشخصات فیزیکی منبع اعم از مکان، چگونگی کارکرد و محدودیتها می‌توان سیستمی را طراحی نمود که بهینه‌ترین نتیجه را بدهد. قابل ذکر است که در کنترل و کاهش آلودگی صوتی میزان کاهش صدا محدودیتی ندارد و با اعمال روشهای مختلف می‌توان مقدار قابل توجهی از تراز صدا را کاهش داد. اما در این میان هر چقدر کاهش تراز صدا بیشتر باشد هزینه اجرای روش کنترلی بیشتر خواهد بود. بنابراین مسائل اقتصادی نیز یکی از مشخصه‌های مهم در طراحی سیستم کنترلی به‌شمار می‌رود. علاوه بر آن به‌دلیل اینکه استاندارد برای آلودگی صوتی حدود مجازی در نظر گرفته است لذا صرف هزینه‌های زیاد جهت کاهش صدا تا حد کمتر از این حدود معقولانه نمی‌باشد.

علاوه بر نکات ذکر شده در بالا مسائلی چون محل قرارگرفتن سایلنسر، ایمنی و جلوگیری از سقوط دستگاه در زمان کار، قابلیت نصب آسان، عدم ایجاد فشار معکوس، دبی هوای خروجی، سطح مقطع و باندهای فرکانسی نیز از موارد مهم در طراحی به‌شمار می‌روند.

علت تولید صدا در blow-offهای نیروگاه حرارتی، خروج هوا با سرعت زیاد می‌باشد که به پدیده jet noise معروف است[۲]. در چنین حالتی مولکولهای هوا با سرعت زیاد به مولکولهای هوای اطراف که تقریبا" ساکن هستند برخورد نموده و صدایی در حدود ۱۴۶ دسیبل تولید می‌شود. جهت کاهش صدا باید سرعت هوای خروجی کاهش یابد، صدای تولیدی جذب و از تولید مجدد صدا در هنگام ونت جلوگیری شود.

جهت کاهش سرعت هوا باید سطح مقطع عبور هوا را افزایش داد زیرا هر چه سطح مقطع عبور هوا بیشتر باشد. سرعت هوا کاهش بیشتری می‌یابد. بمنظور جذب صدای تولید شده باید از جاذبهای مناسب در مسیر عبور صدا استفاده نمود و جهت جلوگیری از تولید مجدد صدا در سایلنسر مورد طراحی باید سطح مقاوم در برابر عبور

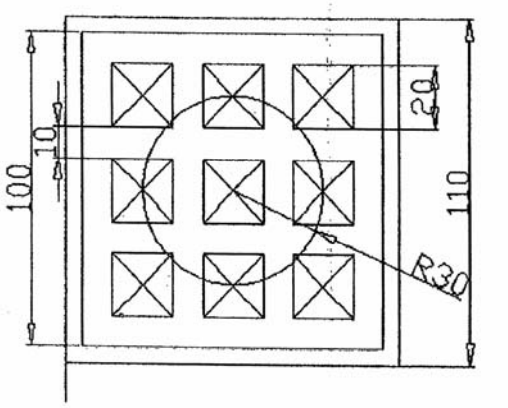
هوا وجود نداشته باشد و مسیر عبور هوا به‌گونه‌ای باشد که علاوه بر حداکثر جذب صدا توسط مواد جاذب، حداقل مقاومت دینامیکی نیز اعمال گردد.

روش کاهش صدای ناشی از خروج هوا با سرعت زیاد، استفاده از سایلنسرهای پراکنشی جذبی می‌باشد لذا در این پروژه طراحی به‌گونه‌ای صورت گرفته است تا علاوه بر جذب صدای تولیدی در محل خروج هوا، سرعت آن نیز کاهش یافته و بطور آرامتری خارج شود.

دبی خروجی هوا از سایلنسر(قدیمی) بر اساس طرح ۱۸۰۰۰Acfm و در نتیجه سرعت هوای خروجی ۶۸ m/s می‌باشد. البته در بعضی مواقع دبی هوای خروجی به ۴۰۰۰۰Acfm می‌رسد که در این حالت سرعت هوا ۱۵۱m/s است.

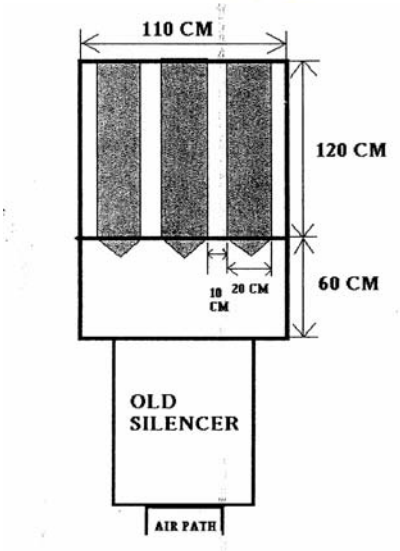
هوای خروجی از هر blow-off از ۷ خروجی که شعاع هریک ۷/۵ سانتیمتر است خارج می‌گردد. بنابراین سطح مقطع عبور هوا از سایلنسر قدیمی (موجود بر روی لوله‌blow-off) ۱۲۳۶/۳۷ سانتیمتر مربع می‌باشد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری در جدول ۲ بیشترین تراز صدا را در فرکانسهای ۳۰۰۰-۵۰۰ هرتز نشان می‌دهند. با استفاده از متوسط این فرکانس و داشتن سرعت صوت در هوا، متوسط طول موج صدای غالب ۱۹ سانتیمتر محاسبه گردید. بنابراین ضخامت جاذب نباید کمتر از طول موج باشد و هرچه ضخامت جاذب از طول موج بزرگتر باشد میزان جذب بیشتر خواهد بود. اما در اینجا، بدلیل محدودیت فضای موجود امکان افزایش ضخامت جاذب وجود ندارد، زیرا با افزایش ضخامت جاذب، سطح مقطع عبور هوا کاهش، سرعت هوا افزایش و آلودگی صوتی مجدداً تولید می‌گردد. از طرف دیگر با افزایش زیاد از حد سطح مقطع عبور هوا ممکن است برخی امواج بدون برخورد با جاذب خارج شوند و کارآیی سایلنسر را کاهش دهند. به همین جهت ضخامت جاذب ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. قابل ذکر است چنانچه این ضخامت کمی بیشتر یا کمتر از این مقدار در نظر گرفته شود تغییرات مشهودی در کارآیی ایجاد نمی‌گردد. ازطرف دیگر هرچه طول و عرض ستونهای جاذب بیشتر باشد می‌توان مطمئن بود که امواج با طول موجهای بلند به دام افتاده‌اند. در اینجا به‌دلیل محدودیت فضا، از ۹ ستون جاذب با ابعاد ۱۲۰*۲۰*۲۰ سانتیمتر مکعب و مسیرهایی به سطح مقطع ۱۰*۱۰ سانتیمتر مربع جهت عبور هوا استفاده شده است(شکل‌های ۱و۲).



شکل۱: نمای طرح اولیه سایلنسر پیشنهادی ازبالا

(واحدها بر حسب سانتیمتر)



شکل۲: نمای طرح اولیه سایلنسر پیشنهادی از روبرو

در ابتدای مسیر ورود هوا به سایلنسر، یک فضای باز به ارتفاع ۶۰ سانتیمتر، جهت پخش صدا و یکنواخت شدن جریان هوا در نظر گرفته شده است. صدا پس از ورود به این محفظه پراکنده شده و بطور یکسان از مسیر بین جاذبها عبور می‌نماید.

ج- انتخاب مواد :

بمنظور جلوگیری از تخریب مواد جاذب، از ورقهای سوراخدار(۳۰٪پانچ) به ضخامت ۳ و چشمه ۴ میلیمتربه عنوان پوشش مواد جاذب استفاده گردید. این ورقها علاوه بر حفاظت مواد جاذب در برابر سرعت هوا، به امواج صوتی اجازه ورود به محفظه این مواد را داده و همچنین از خروج قسمتی از امواج صوتی که کاملا" جذب نشده‌اند جلوگیری می‌نمایند.

جهت سبک بودن و کیفیت بالای سازه، ورقهای پانچ داخلی از جنس گالوانیزه و ورقهای بیرونی از جنس آهن با ضخامت ۵ میلیمتر انتخاب گردید. ضخیم بودن ورقهای بیرونی در جلوگیری از نفوذ صدا به خارج موثر است اما جهت جلوگیری از افزایش وزن سایلنسر و عدم تحمل حفاظها از آن صرفنظر گردید و بجای آن قسمت داخلی بدنه بیرونی با پشم شیشه پوشانده شد تا نفوذ صدا از آن حداقل گردد.

جاذب مورد استفاده باید متخلخل باشد تا امواج اجازه ورود به آن را پیدا نمایند. همچنین چگالی آن سبب جذب صدا گردد[۴،۲] . بهترین جاذب برای این فعالیت پشم شیشه با چگالی $۱۰۰ kg/m^3$ می‌باشد.

ذکر این نکته ضروری است که بدانیم مواد جاذب به تنهایی از عبور صدا جلوگیری خوبی به‌عمل نمی‌آورند اما واقع شدن این مواد بین دو لایه فلزی سبب تبدیل توان صوت به گرما و جذب آن در انعکاسهای متوالی خواهند شد. هرچه دانسیته و ضخامت فلز بیشتر باشد عملکرد آن در کاهش صدا بهتر خواهد بود.

د- ساخت و نصب اولین سایلنسر

پس از تعیین مواد مورد نیاز، بر اساس نقشه‌های اولیه (شکلهای۱و۲)، نقشه ساخت تهیه گردید و اولین دستگاه ساخته شده بر روی blow-off شماره ۴ نیروگاه حرارتی نصب و در فاصله یک متری آن اندازه‌گیری به‌عمل آمد.

ه- اعمال تغییرات در طراحی، ساخت و نصب ۳ سایلنسر دیگر

بر اساس تئوریها و تجربیات موجود، افزایش طول سایلنسر در کاهش تراز صدا نقش موثری بر عهده دارد. بطوریکه میزان کاهش صدا در انواع سایلنسرها بر حسب طول آنها گزارش داده می‌شود[۴،۵]. در هنگام ساخت اولین سایلنسر، توجه به پاره‌ای مسائل از جمله پایداری و ایمنی دستگاه، تحمل وزن دستگاه توسط حفاظها و محدودیت فضا سبب شد تا از افزایش بیشتر طول سایلنسر صرفنظر شود. اما پس از نصب اولین دستگاه و انجام بررسی‌های لازم و اطمینان از عدم بروز مشکل در موارد فوق، طول دو بخش از سایلنسر افزایش یافت که عبارتند از: افزایش طول محفظه انبساط از ۶۰ به ۷۰ سانتیمتر (این افزایش سبب یکنواخت شدن توزیع صدا می‌گردد) و افزایش طول ستونهای جاذب از ۱۲۰ به ۱۸۰ سانتیمتر.

جهت سهولت در امر ساخت بر اساس تغییرات اعمال شده در ابعاد سایلنسر، مجددا" نقشه ساخت تهیه و سایلنسرها پس ازعملیات ساخت بر روی blow-offهای ۱ تا ۳ نصب گردیدند(شکل ۳).

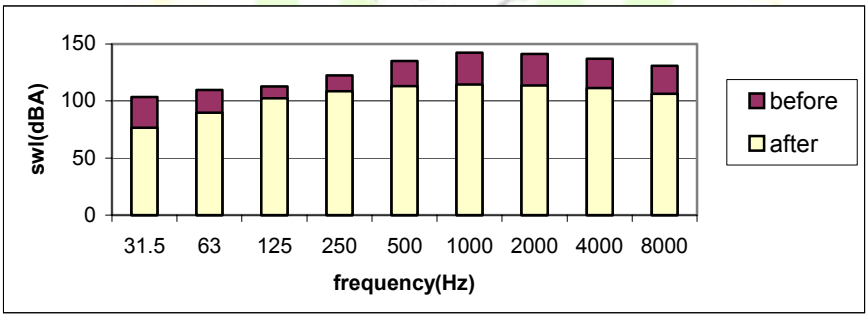
شکل۳: نصب سایلنسر بر روی blow-off شماره ۱

نتایج و بحث

در روشهای کاهش و کنترل آلودگی صوتی، کنترل صدا در منبع تولید جزء کاراترین ومفیدترین روش‌ها به‌شمار می‌رود. لذا جهت تعیین میزان کاهش صدای تولیدی، بهترین روش، اندازه‌گیری صدا در محل تولید در قبل و بعد از اعمال روش کنترلی است. از آنجاییکه هدف این پروژه کاهش ۲۵ دسیبل در میزان تراز صدای ناشی ازblow-offها بود لذا اندازه‌گیریها به‌گونه‌ای انجام گرفت تا بتوان تفاوت تراز صدای تولیدی را قبل و بعد از نصب سایلنسرها بدست آورد.

الف- نتایج حاصل از اندازه‌گیری بعد از نصب اولین سایلنسر

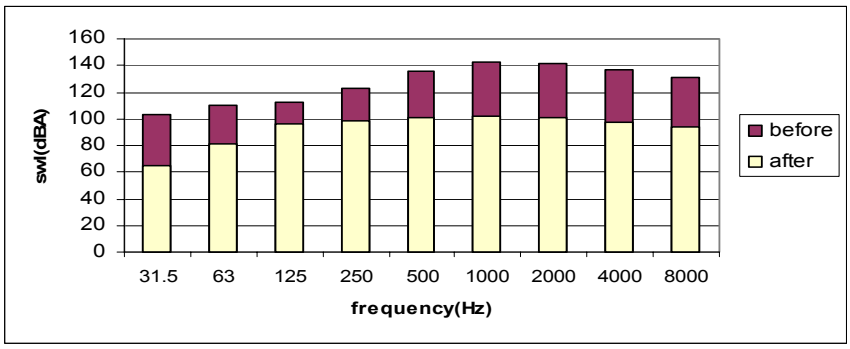
نتایج آنالیز فرکانسی کاهش تراز صدای blow-off شماره۴ بعد از نصب سایلنسر، درشکل۴ نشان داده شده است. مقایسه نتایج (قبل و بعد از نصب سایلنسر)کاهشی به میزان ۲۶/۱۵ دسیبل را در تراز صدای منبع نشان می‌دهد.



شکل۴: آنالیز فرکانسی کاهش تراز صدای منبع بعد از نصب سایلنسر بر روی blow-off شماره۴

ب- نتایج حاصل از اندازه‌گیری بعد از نصب کلیه سایلنسرها

پس از نصب ۳ سایلنسر ساخته شده بر روی blow-offها، در فواصل ۱ الی ۳ متری از محل خروج هوا اندازه‌گیری انجام شد. بمنظور جلوگیری از تاثیر صدای blow-offهای مجاور بر یکدیگر، اندازه‌گیری از هر سایلنسر در زمانی انجام شد که blow-offهای مجاور آن در مدار نبودند. نتایج آنالیز فرکانسی کاهش تراز صدا بعد از نصب سایلنسر بر روی blow-offهای۳-۱ درشکل۵ نشان داده شده است.

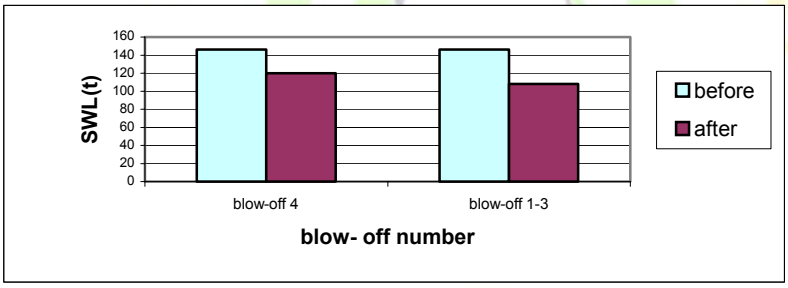


شکل۵: آنالیز فرکانسی کاهش تراز صدای منبع بعد از نصب سایلنسرها بر روی blow-offهای ۱ الی ۳

نتایج شکلهای ۴ و۵ میزان افت صدا در فرکانسهای بالا را بیشتر نشان می‌دهند که دلیل آن آسان بودن جذب صدا در فرکانسهای بالا است. از آنجاییکه مشخصات سایلنسر نصب شده بر روی blow-off شماره ۴ با دیگر سایلنسرها متفاوت بود، ارزیابی صدای تولیدی توسط این سایلنسر به‌صورت مجزا از سه سایلنسر دیگر انجام پذیرفت که در شکل ۶ نشان داده شده است. در این شکل مقدار تراز توان صدا قبل و بعد از نصب سایلنسرها با یکدیگر مقایسه شده است.

شکل۶ افت صدا در سایلنسر شماره ۴ را برابر ۲۶/۱۵ دسیبل نشان می‌دهد. در حالیکه با افزایش طول سه سایلنسر دیگر، کاهش تراز صدا به ۳۸/۲۳ دسیبل رسیده است که ۱۳/ دسیبل از مقدار پیش‌بینی شده بیشتر می‌باشد.

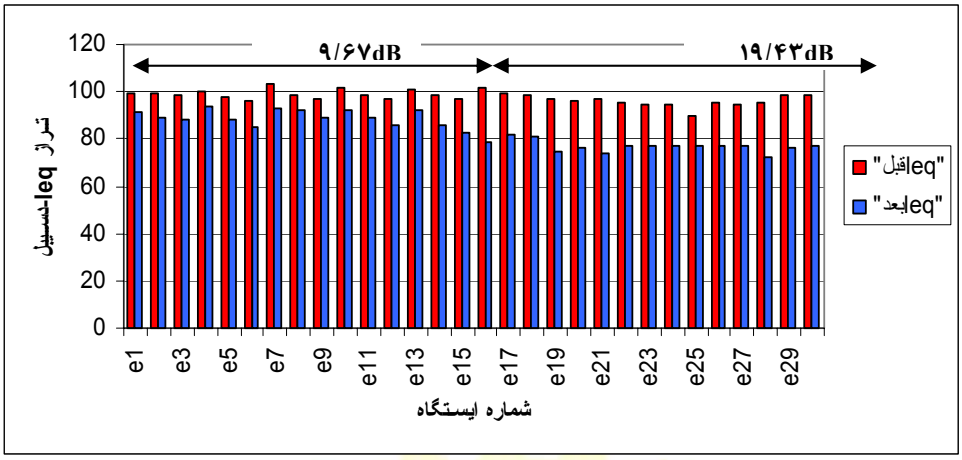
نصب سایلنسرها علاوه بر کاهش تراز صدا، سبب بم شدن صدا نیز شده است. همین امر سبب آزار کمتر افراد و ساده‌ترشدن مکالمه می‌گردد. زیرا محدوده فرکانسی مکالمه بین ۴۰۰۰-۵۰۰ هرتز واقع است. خوشبختانه با نصب سایلنسرها، صدای مزاحم ناشی از vent بر مناطق دور دست کاهش قابل ملاحظه‌ای نشان داده است.



شکل۶: مقایسه تراز کلی توان صدای منابع *(swl)* قبل و بعد از نصب سایلنسر

ج- اثر نصب سایلنسر بر نواحی نزدیک به آن(در سطح زمین)

به‌دلیل قرار داشتن محل تخلیه هوا در ارتفاع بالا، اثر نصب سایلنسرها در کاهش تراز صدای نقاط دور دست بیش از نقاط نزدیک به آنها است زیرا در نواحی نزدیک، علاوه بر صدای blow-offها، صدای عبور هوا (با سرعت زیاد) از درون لوله‌ها و صدای ناشی از مکش هوا در مکنده‌ها نیز شنیده می‌شود و این امری بدیهی است که با کاهش تراز صدای ناشی از blow-offها، منابع دیگر خود را نشان داده و در نتیجه تراز صدا در این نقاط کاهش چشمگیری نشان ندهد. به‌منظور اطلاع از اثر سایلنسرهای نصب شده در نقاط فوق‌الذکر تراز صدا قبل و بعد از نصب، اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه شده است(شکل۷).



شکل۷: مقایسه وضعیت تراز صدا، قبل و بعد از نصب سایلنسرها در ضلع شرقی و در خیابان مجاور blow-offها

میزان کاهش تراز صدا(Leq) در خیابان مجاور blow-offها ۹/۶۷ دسیبل و در امتداد همین خیابان و در مجاور فنس‌ها ۱۹/۴۳ دسیبل می‌باشد. لازم به‌ذکر است با نصب سایلنسرها تراز صدا در محدوده کنترل ذوب از ۹۲ دسیبل به ۷۸ دسیبل کاهش یافته است که موید تاثیر سایلنسرها بر نقاط دور دست می‌باشد.

نتیجه‌گیری

۱- مشخصات آکوستیکی صدا شامل تراز صدا در فرکانسهای مختلف و تراز توان صدا در محل تولید آن و همچنین مشخصات فیزیکی منبع شامل دبی هوای خروجی، سطح مقطع، دما و فشار هوای خروجی از پارامترهای مهم در طراحی به‌شمار می‌روند.

۲- در اندازه‌گیری اولیه و قبل از نصب صداگیر، تراز توان صدا در محل خروج هوا از blow-offها(منبع تولید صدا) ۱۴۶/۰۳ و بیشترین تراز صدا مربوط به فرکانسهای ۳۰۰۰-۵۰۰ هرتز بود.

۳- علت تولید صدا در blow-offها خروج هوا با سرعت زیاد و پخش آن در هوای اطراف می‌باشد. بنابر این جهت کاهش و کنترل صدای تولید شده، صداگیر پراکنش جذبی طراحی گردید که بوسیله آن علاوه بر جذب صدای تولیدی در محل خروج هوا، سرعت هوا نیز به یک‌پنجم سرعت اولیه کاهش یافت.

۴- با ساخت و نصب اولین صداگیر در محل blow-off شماره۴، تراز توان صدا در این محل از ۱۴۶/۰۳ به ۱۱۹/۸۸ دسیبل کاهش یافت.

۵- کارآیی آکوستیکی صداگیر در ازای ازدیاد طول افزایش می‌یابد اما تابع خطی از طول به‌شمار نمی‌رود. این غیر خطی بودن به جذب سریع در فواصل اولیه صداگیر مربوط می‌باشد.

۶- با افزایش طول صداگیر از ۱۸۰ به ۲۲۰ سانتیمتر شامل ۳۰ سانتیمتر افزایش در طول ستونهای جاذب و ۱۰ سانتیمنتر افزایش در طول محفظه انبساط، تراز توان صدا در این محل از ۱۱۹/۸۸ به ۱۰۷/۸ دسیبل کاهش یافت.

۷- میزان کاهش صدا در خیابان مجاور blow-offها ۹/۶۷ دسیبل و در امتداد همین خیابان و در مجاور فنس‌ها ۱۹/۴۳ دسیبل می‌باشد. که موید میزان کاهش بیشتر در فواصل دورتر است.

۸- تراز صدا در محدوده کنترل ذوب از ۹۲ دسیبل به ۷۸ دسیبل کاهش یافته است که موید تاثیر سایلنسرها بر نقاط دور دست می‌باشد.

۹- با توجه به استانداردهای آلودگی صوتی که بر حسب زمان قرارگیری فرد در معرض صدا تدوین شده‌اند با کاهش ۳ دسیبل در تراز صدای دریافتی، زمان مجاز کاری تقریباً دو برابر می‌شود و به تبع آن اثرات ناشی از آلودگی صوتی بر افراد کاهش قابل ملاحظه‌ای خواهد یافت.

۱۰- هدف این پروژه کاهش صدا به میزان ۲۵-۲۰ دسیبل در تراز صدای ناشی از خروج هوای blow-offهای نیروگاه بود که بواسطه نصب چهار عدد سایلنسر بر روی محل خروج هوا تراز صدا به میزان ۳۸/۲۳ دسیبل در سایلنسرهای۱تا۳ و بمیزان ۲۶/۱۵ دسیبل در سایلنسر ۴ کاهش یافت اما همچنان می‌توان با اعمال روشهای دیگر سبب افت صوتی بیشتر در این منابع گردید که در بخش پیشنهادات آورده شده است.

پیشنهادات

۱- عایق‌بندی صوتی لوله‌های انتقال هوا به محل خروج هوا در blow-offها.
۲- محکم نمودن ورقه‌های فلزی نصب شده در اطراف blow-offها جهت جلوگیری از لرزش و تولید صدای مجدد و در صورت امکان افزایش ضخامت آنها.
۳- افزایش ارتفاع ورقهای فلزی استفاده شده در اطراف blow-offها.
۴- استفاده از پوشش جاذب صدا در قسمت داخلی این ورقها جهت جذب صدا و جلوگیری از انعکاس آن.
۵- تعویض پشم شیشه استفاده شده در سایلنسرها پس از حداکثر ۵ سال.

منابع

1-John E.K Foreman.D.Eng,"Sound analysis noise control", 1990.

2-Leo L. Beranek, IStvan L.Ver,'Noise and vibration control engineering', Jhon wiley and Sons,Inc,1992.

۳- اسمعیل‌زاده عصمت، حکیمی حسینعلی، بررسی آلودگی صوتی در نیروگاه حرارتی مجتمع مس سرچشمهً، گزارش امور تحقیقات و مطالعات، ۱۳۸۰ .

4-Lewis H.Bell,"Industrial noise control", 1982.

5-Randall F.Barron,"Industrial noise control and acoustics, 2002.