

بررسی و تحلیل استاندارد (CTI-128 فارسی)

مرجع اندازه‌گیری صدای برج‌های خنک‌کننده

نوع سند: گزارش تحلیلی و راهنما

تهیه‌کننده: واحد فنی [RMS Cooling](#)

تاریخ تهیه: تیرماه ۱۴۰۵

موضوع: مروری بر رویه‌ها و الزامات کلیدی استاندارد CTI-128

تذکر: این سند صرفاً جنبه تحلیلی و آموزشی داشته و جایگزین مطالعه استاندارد اصلی نیست.

۱. معرفی استاندارد و کاربرد آن

استاندارد CTI-128 که توسط مؤسسه فناوری خنک‌کاری (CTI) منتشر شده، یکی از مراجع معتبر در زمینه اندازه‌گیری صدای برج‌های خنک‌کننده محسوب می‌شود. این سند فنی، روش‌های استاندارد را برای اندازه‌گیری و محاسبه ترازهای صوتی ارائه می‌دهد که مورد قبول سازندگان، خریداران و مراجع نظارتی است.

از نظر تحلیلگر، مهم‌ترین دستاورد این استاندارد، ایجاد یک زبان فنی مشترک بین تمام ذی‌نفعان است. بدون چنین استاندارد، هر سازنده‌ای ممکن است با روشی متفاوت، اعداد و ارقام متفاوتی ارائه دهد که مقایسه را دشوار می‌کند.

کاربردهای اصلی نتایج آزمون بر اساس این استاندارد عبارتند از:

- اثبات انطباق عملکرد برج با مشخصات ارائه شده توسط سازنده
- ارزیابی انطباق با مقررات ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در محیط کار
- فراهم کردن بستر مناسب برای مقایسه فنی پیشنهادات مختلف

۲. مفهوم کلیدی: «ابعاد مشخصه» و تأثیر آن بر روش آزمون

یکی از مفاهیم بنیادی که این استاندارد معرفی می‌کند، پارامتری به نام "ابعاد مشخصه" (Characteristic Dimension) است. این پارامتر که با نماد D_o نشان داده می‌شود، از ابعاد هندسی برج (طول، عرض و ارتفاع) محاسبه می‌گردد و مبنای تصمیم‌گیری برای انتخاب رویه آزمون است.

$$D_o = \sqrt{\left(\frac{w}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2 + \left(\frac{h}{2}\right)^2}$$

به بیان ساده‌تر، استاندارد تشخیص داده است که برج‌های بزرگ و کوچک رفتار صوتی متفاوتی دارند و بنابراین نیازمند رویه‌های اندازه‌گیری متفاوتی هستند. مرز تعیین‌شده برای این تفکیک، عدد ۷.۵ متر (۲۵ فوت) برای D_o است.

نکته تحلیلی: این رویکرد نشان‌دهنده درک عمیق استاندارد از فیزیک صوت است، زیرا در برج‌های بزرگ، منابع صوت متعدد (فن‌ها، موتورها، ورودی‌های هوا) هر کدام سهم مستقلی در صدای کل دارند و نمی‌توان آنها را به‌سادگی یک منبع نقطه‌ای فرض کرد.

۳. دو رویه اصلی اندازه‌گیری در استاندارد

۱-۳. رویه مخصوص برج‌های کوچک

برای برج‌هایی با ابعاد مشخصه کمتر از ۷٫۵ متر، استاندارد روشی نسبتاً ساده‌تر را تجویز می‌کند. در این روش، اندازه‌گیری‌ها در پنج سطح (چهار طرف و سطح بالایی) انجام می‌شود و با استفاده از روابط مشخص، توان صوتی کل برج محاسبه می‌گردد.

از دیدگاه تحلیلگر، سادگی این روش به این دلیل است که در ابعاد کوچک، می‌توان برج را به‌عنوان یک منبع صوت یکپارچه در نظر گرفت و نیازی به تفکیک منابع جزئی نیست. همچنین در این رویه، اعمال بار حرارتی روی برج الزامی نیست که خود نشان‌دهنده انعطاف‌پذیری استاندارد برای شرایط مختلف آزمون است.

۲-۳. رویه مخصوص برج‌های بزرگ

برای برج‌های بزرگتر، استاندارد دو پروتکل مجزا تعریف کرده است که هر کدام هدف خاصی را دنبال می‌کنند:

پروتکل اول: اندازه‌گیری برای ایمنی کارگران

در این روش، نقاط اندازه‌گیری در نزدیکی سطوح مختلف برج (ورودی هوا، خروجی فن، و موتورها) تعریف می‌شوند. هدف، اندازه‌گیری تراز فشار صوتی است که کارگران در حین فعالیت در مجاورت برج تجربه می‌کنند. این داده‌ها برای مقایسه با استانداردهای ایمنی مانند حدود مجاز OSHA استفاده می‌شوند.

پروتکل دوم: تعیین سهم هر منبع در صدای کل

این روش پیشرفته‌تر است و برای پیش‌بینی صدای برج در نقاط دور دست (مانند مرز کارخانه یا مناطق مسکونی مجاور) طراحی شده است. در این رویه، برای هر یک از منابع اصلی تولید صوت (ورودی هوا، خروجی فن، موتور الکتریکی، بدنه برج و ...) یک سطح اندازه‌گیری مجزا تعریف می‌شود و توان صوتی هر منبع به صورت جداگانه محاسبه می‌گردد. در نهایت، با جمع‌کردن این مقادیر، توان صوتی کل برج به دست می‌آید.

نکته تحلیلی: این روش از نظر مهندسی صوت بسیار قدرتمند است، زیرا به تحلیلگر اجازه می‌دهد تشخیص دهد کدام بخش از برج بیشترین سهم را در آلودگی صوتی دارد و برای کاهش صدا، بر روی همان بخش متمرکز شود.

۴. الزامات فنی و ابزار دقیق

استاندارد بر دقت و صحت ابزارهای اندازه‌گیری تأکید ویژه‌ای دارد. بر اساس این سند، تمامی تجهیزات باید از بالاترین کلاس دقت (نوع ۱ یا کلاس ۱) بر اساس استانداردهای IEC و ANSI باشند.

مهم‌ترین الزامات ابزاری عبارتند از:

- استفاده از مترهای سطح صوت با دقت بالا (Type 1)

- استفاده از کالیبراتورهای صوتی معتبر (Class 1) با کالیبراسیون سالانه

- انجام کالیبراسیون میدانی بلافاصله قبل و بعد از هر آزمون

- استفاده از بادگیر استاندارد بر روی میکروفون

از نظر تحلیلگر، تأکید شدید بر کالیبراسیون نشان می‌دهد که استاندارد به‌خوبی می‌داند کوچک‌ترین خطا در اندازه‌گیری می‌تواند منجر به اختلافات جدی قراردادی شود. به‌ویژه اینکه در پروژه‌های بزرگ، جریمه‌های ناشی از عدم انطباق با حدود صوتی می‌تواند بسیار سنگین باشد.

۵. شرایط محیطی و عملیاتی آزمون

استاندارد شرایط خاصی را برای اجرای آزمون تعیین کرده است تا نتایج از تکرارپذیری بالایی برخوردار باشند:

شرایط محیطی:

-سرعت باد نباید از ۴٫۵ متر بر ثانیه تجاوز کند (زیرا نویز ناشی از باد روی میکروفون تأثیر می‌گذارد)

-آزمون در شرایط بارندگی یا پوشش برفی انجام نمی‌شود

-دمای محیط باید در محدوده عملکردی ابزار دقیق باشد

شرایط عملیاتی برج:

استاندارد تلورانس‌هایی را برای انحراف از شرایط طراحی تعیین کرده است. برای مثال، در برج‌های با پیش‌ران مکانیکی، دبی آب نباید بیش از ۱۵ درصد، دور فن نباید بیش از ۵ درصد، و توان موتور نباید بیش از ۱۰ درصد از مقادیر طراحی انحراف داشته باشد. برای برج‌های با پیش‌ران طبیعی نیز تلورانس‌های مشابهی برای دما و دبی آب تعیین شده است.

نکته تحلیلی: وجود این تلورانس‌ها نشان می‌دهد که استاندارد واقع‌گرا است و می‌داند در عمل نمی‌توان شرایط را دقیقاً روی نقطه طراحی نگه داشت. با این حال، این تلورانس‌ها به قدری محدود هستند که تأثیر قابل‌توجهی بر نتایج صوتی نداشته باشند.

۶. تصحیح نویز زمینه (مهم‌ترین بخش فنی)

یکی از حساسترین و مهم‌ترین بخش‌های استاندارد، نحوه برخورد با نویز زمینه است. در هر اندازه‌گیری صوتی، بخشی از سیگنال ثبت‌شده مربوط به خود برج و بخشی مربوط به منابع صوتی دیگر در محیط (مانند پمپ‌ها، ترافیک، باد و ...) است.

روش استاندارد به این صورت است که ابتدا صدای برج به همراه نویز زمینه اندازه‌گیری می‌شود، سپس در همان نقاط، با خاموش‌کردن برج (یا در شرایط مشابه)، نویز زمینه اندازه‌گیری می‌گردد. اختلاف این دو عدد مشخص می‌کند که آیا داده قابل استفاده است یا خیر:

-اگر صدای برج حداقل ۱۰ دسی‌بل از نویز زمینه بلندتر باشد، داده‌ها معتبر و بدون نیاز به تصحیح هستند.

-اگر این اختلاف بین ۶ تا ۱۰ دسی‌بل باشد، باید تصحیح لگاریتمی اعمال شود.

-اگر اختلاف کمتر از ۶ دسی‌بل باشد، داده‌ها فاقد اعتبار کافی هستند و نمی‌توان برای انطباق‌سنجی از آنها استفاده کرد.

نکته تحلیلی: این بخش از استاندارد نشان می‌دهد که کیفیت داده‌ها به شدت به شرایط محیطی وابسته است. در بسیاری از پروژه‌ها، تأمین اختلاف ۱۰ دسی‌بل بین صدای برج و نویز زمینه کار ساده‌ای نیست و نیاز به برنامه‌ریزی دقیق برای زمان و مکان آزمون دارد.

۷. وزن‌دهی A و نحوه محاسبه تراز وزنی

در علم صوت‌شناسی، گوش انسان به فرکانس‌های مختلف حساسیت یکسانی ندارد و به فرکانس‌های میانی (حدود ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز) حساستر است. به همین دلیل، برای اینکه اعداد اندازه‌گیری‌شده با ادراک انسانی همخوانی داشته باشند، از فیلتر یا وزن‌دهی A استفاده می‌شود.

استاندارد ضرایب اصلاحی مشخصی را برای هر باند اکتاو (از ۳۱٫۵ هرتز تا ۸۰۰۰ هرتز) تعیین کرده است و فرمول دقیقی برای محاسبه تراز فشار صوت وزنی A ارائه می‌دهد. به‌عنوان نمونه، در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز ضریب اصلاحی صفر است، اما در فرکانس‌های پایین‌تر (مانند ۶۳ هرتز) این ضریب منفی و بزرگ است، زیرا گوش انسان این فرکانس‌ها را بسیار ضعیف‌تر درک می‌کند.

نکته تحلیلی: استفاده از وزن‌دهی A یک رویه استاندارد جهانی است و تقریباً تمام قوانین زیست‌محیطی و ایمنی بر اساس همین وزن‌دهی تدوین شده‌اند. بنابراین انطباق این استاندارد با این رویه، امکان مقایسه مستقیم نتایج با محدودیت‌های قانونی را فراهم می‌کند.

۸. فرآیند محاسبات و گزارش‌دهی نهایی

استاندارد یک رویه گام‌به‌گام برای محاسبه توان صوتی از داده‌های اندازه‌گیری شده ارائه می‌دهد. این فرآیند شامل مراحل زیر است:

- ۱) تصحیح داده‌ها برای نویز زمینه در هر نقطه اندازه‌گیری
- ۲) محاسبه میانگین تراز فشار صوت روی هر سطح اندازه‌گیری
- ۳) محاسبه توان صوتی جزئی برای هر منبع با استفاده از مساحت سطح اندازه‌گیری
- ۴) جمع لگاریتمی توان‌های جزئی برای محاسبه توان صوتی کل برج

گزارش نهایی آزمون نیز باید شامل اطلاعات جامعی باشد از جمله: مشخصات کامل برج و شرایط عملیاتی، کروکی سایت با مشخص کردن تمام نقاط اندازه‌گیری، مشخصات دقیق کلیه ابزارهای استفاده‌شده (با شماره سریال و تاریخ کالیبراسیون)، داده‌های خام و تصحیح‌شده، و در نهایت توان‌های صوتی محاسبه‌شده به تفکیک باندهای فرکانسی و به‌صورت وزنی. A.

۹. جمع‌بندی و نکات کلیدی برای کاربران

استاندارد CTI-128 یک سند فنی مرجع است که نحوه اندازه‌گیری صدای برج‌های خنک‌کننده را استاندارد می‌کند، اما خودش حد مجازی برای صدا تعیین نمی‌کند. این وظیفه بر عهده عوامل زیر است:

- قوانین زیست‌محیطی محلی و ملی که حدود مجاز صدا را برای مناطق مختلف تعیین می‌کنند
- استانداردهای ایمنی و بهداشت حرفه‌ای که حدود مواجهه کارگران را مشخص می‌کنند
- توافقات قراردادی بین خریدار و فروشنده که در قالب مشخصات فنی مناقصه درج می‌شوند
- نکته نهایی برای کاربران: ** هنگام استفاده از این استاندارد، توجه به موارد زیر ضروری است:
- انتخاب رویه مناسب آزمون (کوچک یا بزرگ) باید قبل از آزمون و با توافق همه طرف‌ها انجام شود.

- کیفیت ابزار دقیق و رعایت کالیبراسیون، نقشی تعیین‌کننده در اعتبار نتایج دارد.
- شرایط محیطی و نویز زمینه می‌تواند به‌کلی اعتبار آزمون را تحت‌الشعاع قرار دهد.
- نتایج این آزمون صرفاً روش اندازه‌گیری را استاندارد می‌کند و تفسیر نتایج بر عهده کارفرما و بر اساس شرایط قراردادی است.

۱۰. پیشنهاد برای مطالعه بیشتر

برای کسب اطلاعات دقیق‌تر، به‌ویژه در مورد جزئیات فرمول‌های محاسباتی، تعداد و مکان دقیق نقاط اندازه‌گیری برای انواع مختلف برج‌ها، و روش‌های خاص اندازه‌گیری برای هر منبع صوت (فن، موتور، ورودی هوا و ...)، مطالعه مستقیم استاندارد اصلی CTI-128 توصیه می‌شود. این استاندارد را می‌توانید از وبسایت مؤسسه فناوری خنک‌کاری (CTI) تهیه کنید.