

تهویه در محیط‌های صنعتی

- اصول طراحی تهویه
- تهویه برای آسایش عمومی
- کنترل گرما
- صرفه‌جویی در انرژی، بازیابی و پایداری



مترجم: حسن ذاکری

محیط‌های صنعتی نیاز به تهویه دارند تا قرارگیری در معرض گرمای اضافی و آلاینده‌هایی که در محیط کار تولید می‌شوند کاهش یابد؛ در برخی شرایط، ممکن است خنک‌سازی نیز مورد نیاز باشد. تهویه عمدتاً برای کنترل گرمای اضافی، بوها، و ذرات و مواد شیمیایی خطرناک استفاده می‌شود. این موارد می‌توانند سلامت و ایمنی کارکنان را تحت تأثیر قرار دهند یا، در برخی موارد، اگر غلظتشان از حد انفجاری پایین (LEL) یا حد آتش‌گیری پایین فراتر رود، قابل احتراق یا قابل اشتعال باشند.

آب‌بندی‌شده باشد، نه دریچه‌ای باز در دیوار ساختمان. اگر این امکان‌پذیر نباشد، باید از فیلترهای مناسب استفاده کرد.

یک سیستم خروج عمومی که هوای آلوده به گاز، بخار یا ذرات را (که توسط مکش موضعی جمع‌آوری نشده‌اند) حذف می‌کند، معمولاً شامل یک یا چند فن، ورودی‌ها، کانال‌ها و فیلتر یا دستگاه‌های تمیزکننده هوا است.

پس از عبور هوا از فیلترها، یا به فضای بیرون تخلیه می‌شود یا بخشی از آن در ساختمان بازچرخش می‌یابد. کارایی سیستم تصفیه هوا باید با قوانین زیست‌محیطی مطابقت داشته باشد و به عواملی نظیر مکان ساختمان، غلظت پس‌زمینه آلاینده‌ها، نوع و میزان سمی بودن مواد، و ارتفاع و سرعت تخلیه بستگی دارد.

بسیاری از سیستم‌های تهویه صنعتی باید هم‌زمان با قرارگیری در معرض دماهای شدید و مواد خطرناک مقابله کنند. در این حالت، تهویه مورد نیاز را می‌توان با ترکیبی از مکش موضعی، تأمین هوای عمومی، و سیستم‌های خروج عمومی تأمین کرد.

مهندس تهویه باید نیازهای هوای ورودی و خروجی را به دقت تجزیه و تحلیل کند تا بدترین حالت را شناسایی کند. به عنوان مثال، ممکن است هوای تأمین‌شده برای جبران هوای مکش شده از طریق هودها برای کنترل گرما

گرمای اضافی و آلاینده‌ها را می‌توان به بهترین شکل از طریق سیستم‌های مکش موضعی کنترل کرد. این سیستم‌ها هوای گرم و آلاینده را در همان منبع به دام می‌اندازند و معمولاً به جریان هوای کمتری نسبت به تهویه عمومی نیاز دارند. برای اطلاعات بیشتر درباره انتخاب و طراحی این سیستم‌ها، به همین فصل مراجعه کنید.

تهویه عمومی می‌تواند به روش مکانیکی (با فن)، با کشش طبیعی، یا ترکیبی از هر دو فراهم شود. سیستم‌های ترکیبی ممکن است شامل ورود مکانیکی هوا با خروج از طریق دریچه‌ها یا فن‌های خروجی باشند.

سیستم‌های تأمین هوای مکانیکی (فن‌دار) بهترین کنترل و راحت‌ترین و یکنواخت‌ترین محیط را ایجاد می‌کنند، به‌ویژه در شرایط اقلیمی شدید. این سیستم‌ها معمولاً شامل بخش ورودی، فیلتر، تجهیزات گرم‌کننده یا خنک‌کننده، فن‌ها، کانال‌ها و پخش‌کننده‌های هوا هستند. وقتی گازهای سمی یا ذرات مضر وجود نداشته باشد، هوای تصفیه‌شده می‌تواند دوباره به فضا بازگردانده شود.

علاوه بر این، منبع هوای ورودی باید از آلودگی عاری باشد، چه در شرایط عادی و چه غیرعادی. این ممکن است نیازمند استفاده از کانال ورودی

می‌شود اکثر کارگران بدون اثرات منفی در معرض آن قرار بگیرند. از آنجا که برخی افراد ممکن است حتی در سطوح پایین‌تر آسیب ببینند، طراحی تهویه باید بر اساس محافظه‌کارانه‌ترین حدود مجاز صورت گیرد.

در مورد تماس با مواد شیمیایی خطرناک، ممکن است تعداد منابع آلاینده، نرخ تولید آن‌ها و کارایی هودهای مکش مشخص نباشد. بنابراین، مهندس تهویه باید هنگام طراحی سامانه‌های کنترل آلاینده‌های سمی و/یا خطرناک، به اصول مهندسی بهداشت صنعتی متکی باشد. همکاری نزدیک بین کارشناس بهداشت صنعتی، مهندس فرآیند و مهندس تهویه برای طراحی مؤثر الزامی است.

در مورد تماس با مواد شیمیایی قابل اشتعال یا آتش‌گیر، باید وزن مخصوص منبع آلاینده، غلظت آن، رتبه‌بندی تمام تجهیزات الکتریکی در فضا، و هر منبع یا نقطه‌ای که می‌تواند گرمای بیش از حد ایجاد کند، به دقت بررسی شود تا از وقوع خطراتی مانند انفجار یا آسیب جدی به جان انسان جلوگیری شود. همانند سایر مواد شیمیایی خطرناک، همکاری کارشناسان متخصص از جمله مهندسین برق ضروری است.

این فصل اصول طراحی تهویه را توضیح می‌دهد و اطلاعات دیگری در زمینه بهداشت صنعتی در محیط‌های صنعتی ارائه می‌دهد. انتشاراتی از انجمن

کافی نباشد. همچنین بررسی تأثیرات فصلی بر عملکرد سیستم تهویه به‌ویژه در تهویه طبیعی مهم است. مصالح مورد استفاده در کانال‌کشی نیز باید با جریان هوای خروجی ناسازگار نباشد، به‌ویژه هنگام تخلیه مواد خطرناک، ساینده یا خورنده.

نکته بسیار مهم این است که اگر مواد خطرناک شامل گازها یا گرد و غبار قابل اشتعال باشند، تمام اجزای الکتریکی سیستم تهویه باید برای رده‌بندی الکتریکی مناسب طراحی شده باشند، حتی در صورت نبود تهویه.

برای تعیین سطح مجاز قرارگیری در معرض آلاینده‌های شیمیایی و گرما، کارشناس بهداشت صنعتی باید به حدود مجاز تماس شغلی (OEL) و استانداردهای مربوطه مراجعه کند.

این حدود قانونی معمولاً به سه صورت بیان می‌شوند:

۱. میانگین حداکثر مجاز روزانه (۸ تا ۱۰ ساعت در هفته کاری ۴۰ ساعته)
۲. حد مجاز کوتاه‌مدت (متوسط غلظت طی هر بازه ۱۵ دقیقه‌ای)
۳. حد سقفی (حداکثر غلظتی که در هیچ زمانی نباید از آن عبور کرد)

با این حال، این حدود به معنای مرز بین شرایط ایمن و نایمن نیستند، بلکه نشان‌دهنده سطحی هستند که تصور

تهویه عمومی

تهویه عمومی وظیفه دارد هوا را برای ایجاد آسایش حرارتی، رقیق‌سازی آلاینده‌ها تا سطح قابل‌قبول و جایگزینی هوای خروجی تأمین یا خارج کند. این نوع تهویه می‌تواند از طریق سیستم‌های طبیعی یا مکانیکی تأمین و/یا تخلیه هوا صورت گیرد.

آمریکایی بهداشت صنعتی (AIHA)، انجمن بهداشت شغلی بریتانیا (BOHS)، وزارت بهداشت ایالات متحده (DHHS)، شورای ملی ایمنی (NSC) و مؤسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی ایالات متحده (NIOSH) منابع مفیدی درباره اصول بهداشت صنعتی و کاربرد آن‌ها فراهم می‌کنند.

۱. اصول طراحی تهویه

هشدار ویژه:

برخی فضاهای صنعتی ممکن است در شرایط عادی یا غیرعادی دارای غلظت‌های قابل اشتعال، قابل احتراق و/یا سمی از بخارات یا گرد و غبار باشند. در چنین فضاهایی، مسائلی مربوط به ایمنی جان وجود دارد که ممکن است در این فصل به طور کامل پوشش داده نشده باشد.

بنابراین، باید اقدامات احتیاطی خاصی مطابق با الزامات نهادهای شناخته‌شده‌ای مانند انجمن ملی حفاظت در برابر آتش (NFPA)، اداره ایمنی و بهداشت شغلی (OSHA) و مؤسسه ملی استاندارد آمریکا (ANSI) انجام گیرد.

در هر شرایطی، مهندسان، طراحان و نصاب‌ها باید در صورت وجود تضاد میان کدها و استانداردها، به استاندارد رجوع کنند که بهترین محافظت از جان انسان را ارائه می‌دهد.

مناطق صنعتی باید مطابق با استاندارد ASHRAE ۶۲/۱-۲۰۱۳ و سایر استانداردهای مورد نیاز (مانند NFPA) باشند. اگر مشخص باشد که هوای بیرون حاوی آلاینده‌ای با غلظتی بیش از حد تعیین‌شده در استاندارد ASHRAE ۶۲/۱ است، آن هوا برای تهویه مناسب نیست.

اگر هوای ورودی دارای آلاینده‌ای باشد که در استاندارد ذکر نشده، باید با سازمان‌های ذیربط در سطح ملی، ایالتی، یا محلی درباره حدود مجاز تماس مشورت شود.

علاوه بر نقش آن در کنترل آلاینده‌های صنعتی، نرخ تهویه عمومی باید آن‌قدر کافی باشد که دی‌اکسید کربن تولیدشده توسط افراد را به سطح قابل‌قبول مطابق با استاندارد ASHRAE ۶۲/۲ کاهش دهد.

در مسائل پیچیده تهویه صنعتی، علاوه بر آزمایش‌های میدانی، از مدل‌های

برخی نکات طراحی هوای جایگزین:

- مقدار هوای جایگزین باید برای جبران هوای تخلیه شده یا مصرف شده توسط تجهیزات احتراقی، سیستم‌های مکش عمومی و موضعی یا تجهیزات فرایندی کافی باشد.

- سیستم‌های هوای جایگزین باید طوری طراحی شوند که جریان‌های مزاحم ایجاد نکنند و از نفوذ هوای آلوده جلوگیری شود، زیرا این نفوذ می‌تواند باعث بی‌اثر شدن هودها، اختلال در کنترل محیطی، وارد شدن یا پراکنده شدن گرد و غبار و اختلال در فرایندها شود.

- هودهای مکش باید در فاصله‌ای ایمن از درها، پنجره‌های قابل باز شدن، دریچه‌های هوای تأمین، و مناطق پرتدد قرار گیرند.

- منبع هوای جایگزین باید تمیز باشد و فقط دارای مقادیر ناچیز از آلاینده‌های معلق یا مواد خطرناک، قابل اشتعال یا انفجاری باشد. هوا را می‌توان فیلتر کرد، اما هوای نفوذی غیرقابل کنترل است.

- در فضاهایی که آلوده به مواد شیمیایی سمی، قابل اشتعال یا انفجاری هستند، ممکن است نیاز باشد هوای جایگزین از طریق کانال‌کشی کاملاً

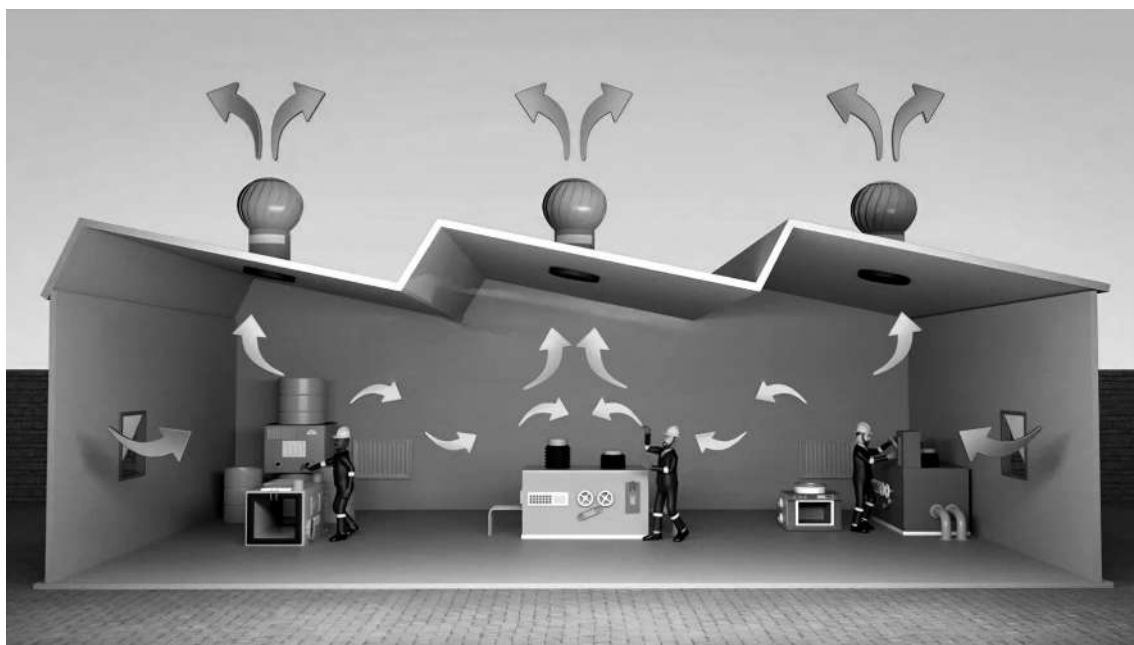
مقیاس آزمایشگاهی و مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) نیز استفاده می‌شود.

هوای جایگزین (Makeup Air)

هنگامی که حجم زیادی از هوا برای تأمین آسایش و ایمنی کارکنان یا شرایط مناسب برای فرایندها تخلیه می‌شود، این هوا باید یا به صورت هدفمند و طراحی شده، یا از طریق مسیرهایی با کمترین مقاومت، جایگزین شود. طراحی مؤثر و ایمن تهویه باید در مورد مکان، روش، و پارامترهای فیزیکی ورود هوای جایگزین به فضاهای اشغالی، راهبردی عمل کند.

هوای جایگزین که با توزیع مناسب در فضا تأمین می‌شود، امکان خنک‌سازی مؤثرتر در تابستان و گرمایش بهتر و مؤثرتر در زمستان را فراهم می‌کند.

عدم در نظر گرفتن هوای جایگزین در طراحی تهویه ممکن است باعث عملکرد ضعیف مکش موضعی، اختلال در کارکرد تجهیزات احتراقی، و جریان‌های عرضی شود که آسایش افراد و کنترل شرایط محیطی را بر هم می‌زنند. تکیه بر پنجره‌ها یا دریچه‌هایی که در تمام فصول عملکرد مناسب ندارند، توصیه نمی‌شود.



• سیستم‌های هوای جایگزین باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که از بازیافت گرما بهره ببرند و مصرف انرژی را کاهش دهند (برای جزئیات بیشتر به بخش «صرفه‌جویی در انرژی، بازیافت و پایداری» مراجعه شود).

برای اطلاعات بیشتر درباره شرایط نامطلوبی که ممکن است به دلیل فشار منفی خاص در ساختمان ایجاد شود، به استاندارد ACGIH (۲۰۱۳) و فصل ۲۸ از هندبوک ASHRAE Systems and Equipment سال ۲۰۱۶ مراجعه کنید.

۲. تهویه برای آسایش عمومی و رقیق‌سازی

پخش مؤثر هوا در اتاق‌های تهویه‌شده و مقدار مناسب هوای تهویه‌شده برای ایجاد محیط کاری قابل‌قبول، حذف آلاینده‌ها، و کاهش هزینه نصب و

درزبندی‌شده از یک منبع پاک تأمین شود.

هوای جایگزین (Makeup Air):

• هوای جایگزین باید برای کنترل فشار داخل ساختمان و جهت جریان هوا بین فضاهای مختلف به‌کار رود، تا از ایجاد فشارهای مثبت یا منفی که باز کردن درها را سخت یا خطرناک می‌کند جلوگیری کند، جریان‌های مزاحم را کاهش دهد، و از نفوذ هوای آلوده جلوگیری کند.

• هوای جایگزین باید برای کاهش غلظت آلاینده‌ها، کنترل دما و رطوبت، و کمینه‌کردن حرکت‌های نامطلوب هوا استفاده شود.

مقدار هوای تأمین‌شده

هوای تأمین‌شده باید به‌اندازه‌ای باشد که:

- هوای تخلیه‌شده از طریق تهویه فرایند و مکش موضعی را جبران کند،

- آلاینده‌ها (گازها، بخارات یا ذرات معلق در هوا) که توسط مکش موضعی جمع‌آوری نشده‌اند را رقیق کند،

- از ورود آلاینده‌ها یا مواد خطرناک (قابل اشتعال) از محیط‌های اطراف در هنگام ورود و خروج افراد جلوگیری کند،

- و محیط حرارتی مورد نیاز را فراهم کند.

مقدار هوای تأمین‌شده باید بیشترین مقدار از بین این نیازها باشد: کنترل دما، رقیق‌سازی آلاینده‌ها، و جایگزینی هوا.

روش‌های تأمین هوا

تأمین هوا به فضاهای صنعتی می‌تواند از طریق تهویه طبیعی یا مکانیکی انجام شود.

اگرچه سیستم‌های تهویه طبیعی که بر اساس نیروی گرانشی و/یا اثر باد کار می‌کنند هنوز در بسیاری از فضاهای

بهره‌برداری سیستم تهویه ضروری است. سیستم‌های تهویه باید هوا را با سرعت و دمای مناسب وارد کنند تا غلظت آلاینده‌ها در محدوده‌های مجاز قرار گیرد. در محیط‌های صنعتی، هدف اصلی معمولاً ایجاد شرایط «قابل تحمل» است، نه لزوماً «راحت» (رفاهی).

طراحی سیستم تهویه عمومی بر این فرض استوار است که از تهویه موضعی، پوشش‌های تابشی، عایق‌بندی و پوشش تجهیزات استفاده شده تا هم بار حرارتی و هم آلودگی در محیط کار به حداقل برسد (به بخش «کنترل گرما» مراجعه شود).

زمانی که فعالیت‌های کاری به نقاط خاصی مثل ایستگاه‌های کنترل محدود باشد، تهویه نقطه‌ای با هوای تمیز تهویه‌شده می‌تواند نیاز به تهویه عمومی برای کنترل آلودگی یا شرایط محیطی را کاهش دهد.

در اقلیم‌های سرد، برای جلوگیری از نفوذ هوا و اتلاف گرما از طریق پوسته ساختمان، ممکن است نیاز باشد که فضای داخلی ساختمان دارای فشار مثبت باشد.

برای اطلاعات بیشتر درباره تهویه رقیق‌سازی، به استاندارد ACGIH (۲۰۱۳) مراجعه شود.

هوای تأمین‌شده با هوای اتاق مخلوط می‌شود و سرعت آن کاهش یافته و دمای آن یکنواخت می‌شود.

این سیستم تهویه با ایجاد سرعت، دما، رطوبت و کیفیت هوای نسبتاً یکنواخت در منطقه اشغال‌شده و در ارتفاع اتاق، عملکرد مؤثری دارد.

نکته مهم این است که جریان هوای تأمین‌شده نباید با عملکرد هودهای مکش یا سیستم‌های کنترل آلاینده‌ها تداخل داشته باشد.

اگر امکان‌پذیر باشد، هودهای مکش (مانند هودهای بخار) باید شرایط آرام (۰.۵~ متر بر ثانیه) در دهانه خود داشته باشند.

۲. سیستم‌های تهویه جابجایی (Displacement Ventilation Systems)

در این روش، هوای تهویه‌شده که کمی خنک‌تر از دمای هوای مطلوب منطقه اشغال‌شده است، با سرعت‌های پایین (حدود ۰.۵ متر بر ثانیه یا کمتر) از خروجی‌های پایین وارد فضا می‌شود. به دلیل نیروی شناوری، هوای خنک در امتداد کف پخش شده و ناحیه پایین اتاق را پر می‌کند.

هوا در نزدیکی منابع گرما گرم می‌شود

صنعتی (به‌ویژه در مناطق گرم با اقلیم سرد یا معتدل) استفاده می‌شوند، اما این سیستم‌ها در ساختمان‌های بزرگ کارایی کمی دارند، می‌توانند جریان‌های مزاحم ایجاد کنند، و معمولاً در حل مشکلات آلودگی هوا ناکارآمد هستند، زیرا شرایط محیطی لازم همیشه مهیا نیست یا روش مؤثری برای فیلتراسیون طبیعی وجود ندارد.

بنابراین، بیشتر سیستم‌های تهویه در فضاهای صنعتی امروزه یا کاملاً مکانیکی (با فن) هستند، یا ترکیبی از تأمین مکانیکی هوا همراه با تخلیه طبیعی، که با استفاده از لوورها یا درها برای خروج یا جایگزینی هوا در سیستم‌های تخلیه کار می‌کنند.

روش‌های رایج تأمین هوا در فضاهای صنعتی

سه روش متداول عبارتند از:

۱. توزیع هوای اختلاطی (Mixing Air Distribution)

در این روش، هوا با سرعت‌هایی بالاتر از آنچه در منطقه اشغال‌شده قابل قبول است، تأمین می‌شود. دمای هوای ورودی می‌تواند بالاتر، پایین‌تر، یا مساوی دمای هوای محیط باشد، بسته به نیاز گرمایشی یا سرمایشی.

در برخی کاربردها (مثلاً در اتاق‌های کامپیوتر یا ساختمان‌های صنعتی گرم)، ممکن است هوا از طریق کف کاذب وارد شود. خروجی‌ها یا برگشت هوا نیز در نزدیکی سقف یا روی سقف قرار دارند.

تهویه جابجایی در کشورهای اروپایی متداول است. این روش زمانی مناسب است که آلاینده‌ها همراه با گرمای اضافی آزاد می‌شوند و هوای آلوده گرم‌تر و سبک‌تر از هوای اطراف است.

و به صورت جریان همرفت به سمت بالا حرکت می‌کند؛ در ناحیه بالا، این جریان در امتداد سقف پخش می‌شود.

ارتفاع ناحیه پایین به حجم و دمای هوای ورودی و میزان گرمای همرفتی آزاد شده توسط منابع بستگی دارد.

در این سیستم، معمولاً خروجی‌های هوا در نزدیکی کف قرار دارند و هوا مستقیماً وارد ناحیه اشغال شده می‌شود.

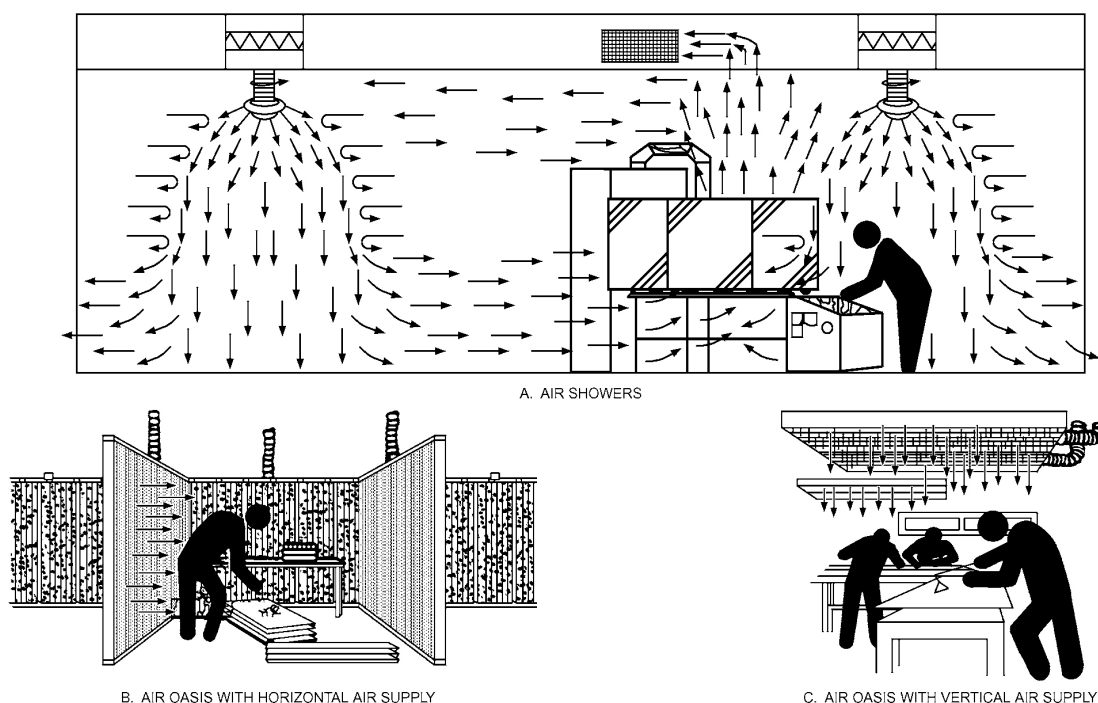


Fig. 1 Localized Ventilation Systems

خنک‌سازی موضعی و نقطه‌ای (Local Area and Spot Cooling)

در محل‌های کاری گرم که تنها چند نقطه کاری مشخص دارند، معمولاً تأمین شرایط آسایش برای کل فضا عملی و اقتصادی نیست. با این حال، استفاده از کابین‌های کنترل‌شده از نظر محیطی، سیستم‌های خنک‌کننده شخصی، و خنک‌سازی یا مکش نقطه‌ای می‌تواند شرایط کاری را در مناطق اشغالی بهبود دهد.

برخی کاربردها نیاز دارند تا حداقل فاصله بین محل تأمین هوا (یا نقاط تهویه طبیعی) و تجهیزات تهویه مثل هودها و کابینت‌های مکش حفظ شود تا عملکرد آن‌ها دچار اختلال نشود.

کابین‌های کنترل‌شده محیطی (مانند اتاق فرمان، کابین اپراتور، اتاق‌ها یا محفظه‌های کنترلی) می‌توانند آسایش حرارتی ایجاد کنند و در صورتی که با منبع اختصاصی هوای تمیز تحت فشار قرار گیرند (چه از منبع اختصاصی یا از طریق فیلتراسیون مؤثر)، کیفیت هوا را در محیط‌های کاری ارتقاء دهند.

اما در شرایطی که آشفته‌گی هوا باعث اختلال در حرکت همرفتی گرما و آلاینده‌ها شود، مناسب نیست.

برای اطلاعات بیشتر درباره سیستم‌های تهویه جابجایی، به منابع Goodfellow و (۲۰۰۳) Chen & Glicksman & Tahti (۲۰۰۱) مراجعه کنید.

۳. تهویه موضعی (Localized Ventilation)

در این روش، هوا به‌صورت موضعی برای مناطق اشغال‌شده یا چند محل کاری ثابت تأمین می‌شود

(شکل ۱). هوای تهویه‌شده به سمت ناحیه تنفسی افراد هدایت می‌شود تا شرایط راحتی ایجاد کرده یا غلظت آلاینده‌ها را کاهش دهد

. این مناطق ممکن است هوایی تمیزتر از هوای اطراف داشته باشند و معمولاً باید با استاندارد ASHRAE ۶۲/۱ سازگار باشند.

در سیستم‌های تهویه موضعی، هوا از طریق یکی از تجهیزات زیر تأمین می‌شود:

- نازل‌ها یا دریچه‌ها (مثلاً برای خنک‌سازی نقطه‌ای)، با طراحی خاص برای سرعت پایین و آشفته‌گی کم
- صفحات مشبک سوراخ‌دار که از کانال‌های عمودی آویزان شده‌اند و نزدیک محل کار نصب می‌شوند

یک فرایند یا منبع با دمای بالا است و باید به عنوان نخستین گزینه برای صرفه جویی انرژی نسبت به خنک سازی نقطه ای در نظر گرفته شود.

تهویه رختکن ها، سرویس های بهداشتی و دوش ها

تهویه مناسب این فضاها در محیط های صنعتی برای حذف بو و کاهش رطوبت ضروری است. در برخی صنایع، برای کنترل آلودگی محیط کار، باید از هر دو مسیر بلع و تنفس در معرض قرارگیری جلوگیری شود، بنابراین امکانات بهداشتی مناسب، از جمله تهویه مناسب، باید در رختکن ها، اتاق های تعویض

طراحی، نصب و نگهداری درست این کابین ها می تواند مزایای اقتصادی قابل توجهی داشته باشد.

خنک سازی نقطه ای که احتمالاً رایج ترین روش برای بهبود شرایط حرارتی است، می تواند از طریق تابش (تغییر دمای تابشی متوسط)، همرفت (تغییر سرعت هوا یا دمای هوای ورودی)، یا هر دو انجام شود.

تجهیزات خنک سازی نقطه ای به محل کار ثابت شده اند، در حالی که در خنک سازی فردی، تجهیزات توسط کارگر پوشیده می شود.

تهویه موضعی (مکش نقطه ای) نیز روشی دیگر برای حذف گرمای اضافی از



لباس، دوش‌ها، اتاق‌های غذاخوری و استراحت تعبیه شود.

در رختکن‌ها، باید مکش اصلی از نواحی سرویس بهداشتی و دوش انجام شود و سپس از ناحیه رختکن‌ها. مکش از نواحی باز سقف باید آخرین گزینه باشد.

در مراحل ابتدایی طراحی، باید با مقررات ملی یا محلی مشورت شود.

استاندارد ASHRAE ۶۲/۱ و بسیاری از کدهای مکانیکی محلی، الزامات مربوط به این فضاها را ارائه می‌دهند.

هوای تأمین‌شده ممکن است از طریق درها یا دریچه‌های دیواری وارد شود. در برخی موارد، هوای محیط کار ممکن است آن‌قدر آلوده باشد که نیاز به فیلتراسیون یا منبع اختصاصی هوای تمیز برای تأمین هوای این فضاها باشد.

خروجی‌های سقفی (Roof Ventilators)

خروجی‌های سقفی ممکن است شامل فن‌های خروجی نصب‌شده بر روی سقف یا هواکش‌های بدون موتور باشند. انتخاب مناسب بین این دو به دبی مورد نیاز، نوع آلاینده‌ها، خطرات اشتعال، و شرایط آب‌وهوایی بستگی دارد.

وقتی کنترل آلودگی در محیط کار ناکافی یا امکان‌پذیر نباشد، می‌توان با ایجاد فشار مثبت در رختکن، اتاق‌های غذاخوری و استراحت، میزان آلودگی در این فضاها را کاهش داد.

خروجی‌های بدون موتور معمولاً برای تهویه طبیعی به کار می‌روند، اما عملکرد آن‌ها به باد یا اختلاف دما متکی است. برای کاربردهایی که نیاز به خروج مطمئن

هوای تصفیه‌شده تأمین‌شده ممکن است در برخی کاربردها مؤثر نباشد، زیرا ممکن است باعث ایجاد جریان‌های مزاحم، ورود آلودگی بیرونی، یا میعان زیاد در محیط‌های مرطوب شود.

در صورت استفاده از تهویه مکانیکی برای تأمین هوا، سیستم باید دارای کانال‌کشی مناسب و تجهیزات توزیع هوا مانند دیفیوزرها یا دریچه‌ها باشد تا هوا در کل فضا به‌درستی پخش شود.

دارند (مثلاً خروج بخارات خطرناک یا هوای آلوده به مواد شیمیایی)، استفاده از فن‌های مکانیکی توصیه می‌شود.

ملاحظات ویژه برای تخلیه هوا

- باید بررسی شود که هوا به‌طور مستقیم به نقاط حساس یا ورود هوا بازنگردد.
- در صورت وجود آلاینده‌های خطرناک، ممکن است نیاز به بلند کردن خروجی‌ها بالاتر از سقف و انتشار با سرعت زیاد باشد.
- برای سیستم‌های حاوی گرد و غبار، باید ته‌نشینی گرد و غبار در کانال‌ها حداقل شده و سرعت حمل مناسب حفظ شود تا از انسداد و خطرات آتش‌سوزی جلوگیری شود.

این فن‌ها به‌طور فعال هوای آلوده را تخلیه می‌کنند و می‌توانند در برابر تغییرات شرایط آب‌وهوایی مقاوم باشند.

در کاربردهایی که آلودگی هوای خروجی می‌تواند محیط اطراف را تهدید کند، ممکن است نیاز به عبور جریان هوا از تجهیزات تصفیه قبل از تخلیه باشد



کنترل گرما

صرفه‌جویی در انرژی، بازیابی و پایداری

در طراحی سیستم‌های تهویه صنعتی باید تلاش شود تا مصرف انرژی به حداقل برسد، بدون آنکه ایمنی یا کیفیت هوا فدا شود.

روش‌هایی که می‌توانند در این زمینه مؤثر باشند عبارتند از:

گرمای تولیدشده در محیط‌های صنعتی می‌تواند ناشی از فرآیندهای صنعتی، افراد، نورپردازی، یا تجهیزات باشد. در برخی موارد، گرمای زیاد می‌تواند باعث ناراحتی کارکنان، کاهش بهره‌وری و حتی خطرات بهداشتی شود.

- استفاده از سیستم‌های بازیابی انرژی (مثلاً مبدل‌های حرارتی).

برای کنترل گرما می‌توان از راهکارهای زیر استفاده کرد:

- بازچرخانی هوای تصفیه‌شده در شرایطی که ایمن باشد.

- مکش موضعی گرما: جمع‌آوری گرما مستقیماً از منبع.

- انتخاب فن‌های با بازده بالا.

- عایق‌بندی: کاهش میزان گرمای منتشرشده از سطوح گرم.

- استفاده از کنترل‌های هوشمند برای تنظیم سرعت فن‌ها و حجم هوای تهویه‌شده بر اساس نیاز واقعی.

- پوشش‌های تابشی: برای بازتاب یا جذب گرما.

- نگهداری صحیح از تجهیزات برای جلوگیری از افت کارایی.

- خنک‌سازی موضعی: هدایت هوای خنک به نواحی کاری.

طراحی بهینه و پایدار نه تنها هزینه‌های عملیاتی را کاهش می‌دهد، بلکه اثرات زیست‌محیطی تهویه صنعتی را نیز به حداقل می‌رساند.

- تهویه عمومی: برای رقیق کردن و تخلیه هوای گرم شده.

در بسیاری از کاربردها، ترکیبی از این روش‌ها بهترین نتیجه را می‌دهد.

دما و رطوبت بالاتر از محدوده آسایش باشد.

اگر تولید گرما و رطوبت کم یا متوسط باشد و مدت مواجهه افراد کوتاه باشد، صرفاً تهویه می‌تواند برای جلوگیری از استرس حرارتی کافی باشد.

انواع محیط‌های صنعتی از نظر گرما و رطوبت

مناطق گرم/خشک (Hot/Dry):

فرآیند فقط گرمای محسوس (convective & radiant heat) تولید می‌کند، بدون افزایش رطوبت هوا.

گرمای بدن با تعریق تبخیری قابل کنترل است، اگرچه ممکن است تعریق زیادی رخ دهد.

نمونه‌ها: کوره‌ها، کارگاه‌های آهنگری، کارخانه‌های تولید و نورد فلزات، ماشین‌های شکل‌دهی شیشه.

مناطق گرم/مرطوب (Warm/Moist):

(ادامه‌ی متن قطع شده ولی به نظر می‌رسد) فرآیند هم گرما و هم رطوبت به هوا می‌افزاید، که باعث کاهش توان تبخیر عرق و سخت‌تر شدن دفع گرمای بدن می‌شود.

۳. کنترل گرما (HEAT CONTROL)

تهویه تنها معمولاً برای رعایت استانداردهای استرس حرارتی کافی نیست.

راهکارهای بهینه ممکن است شامل موارد زیر باشد:

سرمایش موضعی (spot cooling)

تغییر الگوی کار/استراحت (تعیین دوره‌های کار و استراحت)

محافظت در برابر تابش (radiation shielding)

تهویه برای تخفیف گرما (Ventilation for Heat Relief)

بسیاری از فرآیندهای صنعتی، مقادیر زیادی گرما و رطوبت به محیط آزاد می‌کنند.

در این شرایط، رساندن دما به حد آسایش (طبق استاندارد ASHRAE ۵۵) ممکن است از نظر اقتصادی به صرفه نباشد، به ویژه در تابستان.

ایجاد شرایط کاملاً راحت ضروری نیست؛ مهم این است که بدن انسان با محیط به تعادل حرارتی برسد، حتی اگر

تأثیر آب و هوای بیرونی بر بار گرمایی صنعتی

مناطق گرم/مرطوب (Warm/Moist Conditions)

در این محیط‌ها، فرآیندهای صنعتی بار گرمایی نهان (latent heat load) بالایی تولید می‌کنند. گرمایش خورشیدی و افزایش دمای محیط بیرونی می‌تواند به گرمای محیط کار اضافه شود.

در محیط‌های گرم/خشک، افزایش رطوبت هوا می‌تواند تبخیر عرق و خنک‌شدن بدن را مختل کند. افزایش دمای محسوس ممکن است زیاد نباشد، اما رطوبت بالای هوا باعث می‌شود تبخیر عرق بسیار کند شود.

در محیط‌های گرم/مرطوب، گرمای محیط خارجی اهمیت بیشتری دارد، ولی رطوبت اضافی محیط بیرون نسبت به رطوبت تولید شده توسط فرآیندهای داخلی بی‌اهمیت‌تر است. در نتیجه، کنترل گرمای بدن دشوارتر شده و این محیط‌ها از محیط‌های گرم/خشک خطرناک‌تر می‌شوند.

نمونه‌های محیط‌های گرم/مرطوب:

استانداردهای آسایش حرارتی

استاندارد ASHRAE ۵۵ و استاندارد ISO ۷۷۳۰ شرایط آسایش حرارتی را مشخص کرده‌اند.

کارخانجات نساجی

خشکشویی‌ها

کارگاه‌های رنگرزی

معادن عمیق (که برای کنترل گرد و غبار آب پاشی می‌کنند) تحلیل وضعیت حرارتی بدن (چه در شرایط آسایش و چه در استرس گرما یا سرما) بر اساس تعادل گرمایی بدن انسان انجام می‌شود (مفصل در فصل ۹ از "ASHRAE Handbook – Fundamentals ۲۰۱۷" توضیح داده شده).