

۱- مقدمه

تحقیقات مختلف نشان داده است که فضا، عامل روانی و راهبردی است و می‌تواند احساس خوب یا بد را به انسان منتقل کند. توجه به رشد کودک در دوران اولیه زندگی وی، موجب افزایش اعتماد به نفس، شکوفایی خلاقیت، ارتقای یادگیری، رشد اجتماعی و بهبود شرایط روحی و روانی و بهترین راه برای رسیدن به زندگی در جامعه خواهد بود. تجربه هر فرد در زندگی و مهارتهایی که کسب می‌کند مربوط به شرایط محیطی و محصول تأثیر متقابل میان آن فرد و محیطی است که در آن زندگی می‌کند، محیط با ایجاد فرصت و تحریک و تشویق انسان بر روی برنامه‌ها و فعالیت‌هایی که او انجام می‌دهد تأثیر می‌گذارد.

فضاهای آموزشی یکی از مهمترین مکان‌هایی است که انسان ساعت‌های زیادی را در آن‌ها می‌گذراند و مکانی برای برقراری ارتباط و تعامل با دیگران است. تغییر معیارهای فیزیکی محیط به طور قابل توجهی بر پیشرفت تحصیلی و رفتار دانش‌آموزان مؤثر است. یکی از عوامل مهم و مؤثر در مطلوبیت فضای آموزشی، چگونگی تهویه مطبوع فضای مدارس و دانشگاه‌ها به ویژه کلاس‌ها و فضاهای تجمع و آمفی‌تئاتر است تا با تامین آسایش حرارتی، فضای آموزشی را به فضایی قابل تحمل و ماندگار برای دانش‌آموزان و دانشجویان تبدیل نماید. تهویه مطبوع در مدارس به دلیل تجمع افراد زیاد، نیاز به تمرکز و فراهم آوردن آسایش دمایی برای یادگیری، از اهمیت بالایی برخوردار است. در طراحی مدارس کنونی، توجه ویژه‌ای به طراحی معماری فضاهای داخلی مجموعه‌های آموزشی معطوف می‌شود؛ ولی اغلب توجه به سیستم تهویه و پیش‌بینی شرایط مناسب آسایش حرارتی در روند طراحی انجام نمی‌پذیرد و این فضاها معمولاً پس از ساخت، به دنبال تامین آسایش حرارتی، سیستم‌هایی را به دلیل اینکه از قبل پیش‌بینی نشده و شرایط لازم تامین نشده است، به اجبار باید انتخاب و نصب کنند و همراه با مشکلات عدیده‌ای که ایجاد می‌کند، بهره‌وری و شرایط مطلوب نیز تامین نمی‌شود و نیازمند صرف انرژی و هزینه زیاد و به دور از توسعه پایدار است. میزان تهویه ساختمان به منزله یکی از عوامل مؤثر در میزان مصرف انرژی و تعیین غلظت سطح گازهای موجود در محیط‌های بسته است. اقدامات بهینه‌سازی بر ساختمان اعمال می‌شود تا ضمن تامین کیفیت هوای داخل ساختمان، میزان مصرف انرژی کاهش یابد. (مهلب و همکاران، ۱۳۹۳) عدم تامین آسایش حرارتی در مدارس و دانشگاه‌ها به ویژه کلاس‌ها، با تاثیر بر روحیهی متعلمین، باعث کلافگی، خستگی، بی‌نظمی و عدم تمرکز می‌شود. لذا انتقال پیامهای تربیتی و رشد دهنده با مشکل و به کندی صورت خواهد گرفت و شوق و رغبت یادگیری به حداقل خواهد رسید. (نوید ادهم، ۱۳۷۵، ۳۳) نقش هوای تازه و سالم برای آموزش مؤثر، بسیار حیاتی است. (نقیبی، ۱۳۹۷)

بنابراین هدف پژوهش حاضر، نشان دادن اهمیت و نقش مهم تهویه مطبوع در افزایش ماندگاری و مطلوبیت فضای آموزشی و ارتقای یادگیری است و سوال تحقیق به این ترتیب است: نقش تهویه مطبوع در مطلوبیت و ماندگاری دانش‌آموزان در فضای آموزشی و ارتقای یادگیری چگونه است؟

۲- پیشینه تحقیق

تهویه هوای داخلی در ساختمانها یکی از نمادهای اساسی در طراحی سبز و پایدار می‌باشد. «انسان به شرطی در محیط فعالیت میکند که حواس وی در وضعیت ایمن و متعادل باشد. آلودگی صوتی، آلاینده‌های هوا و عدم وجود قلمرو فیزیکی و روانی مطلوب و حس ازدحام مانع تعامل مطلوب با محیط است» (باقری و همکار، ۱۳۹۰)

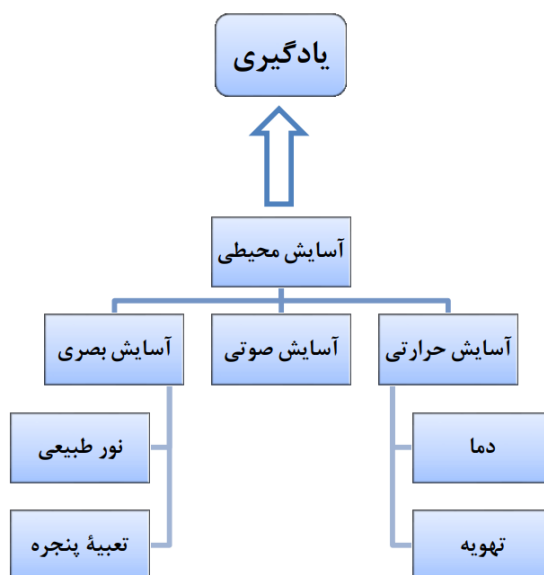
تحقیقات فراوانی وجود دارد که به بررسی تأثیر شرایط فیزیکی فضاهای آموزشی (شامل صدایی، مبلمان، تراکم فضایی، حریمیت، سروصدا و آکوستیک، آب و هوا و کنترل حرارتی، کیفیت هوا، کلاسهای درس پنجره دار، خراب بودن، نور و رنگ) بر تعامل، موفقیت، توجه و سلامتی دانش‌آموزان می‌پردازد. عملکرد دانش‌آموزان به کیفیت هوای داخلی، دما و میزان رطوبت هوا، تهویه و وضعیت روشنایی بستگی دارد. (Fadeyi, ۲۰۱۴)، (Collet da Graca, ۲۰۰۵)

کیفیت و تراکم نور، بهره‌گیری از نور روز، آسایش صوتی، الزامات صدابندی، تهویه طبیعی و تهویه مطبوع، بهره‌وری انرژی و فضای سبز از مهمترین عواملی هستند که محلی مناسب برای آموزش فراهم می‌آورند. (Burcu, ۲۰۱۵) هفت مورد از جنبه‌های فیزیکی فضاهای یادگیری در موفقیت دانش‌آموزان تأثیرگذار است. این معیارها شامل دما و آسایش حرارتی، کیفیت هوا و تهویه مناسب، نورپردازی، کنترل صوت، آزمایشگاه‌های علوم تجربی، ظرفیت دانش‌آموزان ابتدایی و ظرفیت دانش‌آموزان متوسطه است.

(Earthman، ۱۹۹۸) برای تامین آسایش حرارتی بایستی به موارد زیر توجه شود: آب و هوا و کنترل حرارتی، کیفیت و آلاینده‌های هوا، تهویه طبیعی و تهویه مطبوع (طاهرطلوع، ۱۳۹۵: ۲۷۴)

تهویه طبیعی در بناهای آموزشی علاوه بر اینکه به کاهش مصرف منابع منتج می‌گردد، به طور مستقیم بر وضعیت سلامت و یادگیری دانش آموزان از محیط پیرامون تأثیر می‌گذارد. (سخدری و همکاران، ۱۹۸۰) بنابراین با مرور ادبیات موضوع، می‌توان نتیجه گرفت تهویه مطبوع از معیارهای آسایش محیطی، بر ارتقای یادگیری دانش‌آموزان مؤثر است.

نمودار شماره ۱: تاثیر معیارهای آسایش محیطی بر یادگیری از دیدگاه متخصصان (از: طاهرطلوع و همکار، ۱۳۹۵: ۲۷۷)



۳-تهویه

انسان با تنفس اکسیژن هوا را به تدریج مصرف می‌کند و به همان نسبت، غلظت دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. هوای داخل محیط آموزشی، باید عاری از بوهای نامطبوع، تعداد بیش از حد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و آلاینده‌های شیمیایی باشد. بنابراین یکی از اصول مهم و بهداشتی در فضای آموزشی، تهویه مناسب است.

تهویه عبارت از تهیه هوای تازه با درجه حرارت مناسب برای از بین بردن بو و آلودگی‌های هوا بدون ایجاد جریان هوا است. هدف کلی تهویه، تامین شرایط مناسب در ارتباط با حرارت محیط و جابجایی هوا در محیط به منظور کاهش غلظت آلاینده‌های هوا در حد قابل قبول است.

۴-اهمیت و ضرورت تهویه در فضاهای آموزشی

تجهیز مراکز آموزشی به سیستم تهویه بسیار حائز اهمیت است و از ضرورت‌های طراحی است. تهویه در مدارس باید به نحوی باشد که آسایش حرارتی تامین شود زیرا:

در شرایط حرارتی و رطوبتی مناسب، دانش‌آموزان و دانشجوین با دقت و کارایی بیشتری فعالیت می‌کنند و دیرتر خسته می‌شوند. افزایش بیش از حد رطوبت هوا باعث رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا می‌شود. هوای خشک نیز موجب افزایش تبخیر از طریق شش‌ها، چشم‌ها و مجراهای بینی می‌گردد که باعث ایجاد ناراحتی در دانش‌آموزان، دانشجوین و معلمان می‌شود.

- درصد رطوبت نسبی مناسب برای فضاهای آموزشی بین ۳۰ تا ۷۰ درجه است.
- برای مناطقی که درصد رطوبت آنها بیش از ۷۰٪ باشد، ایجاد تمهیدات لازم برای تخلیه رطوبت، ضروری است.
- درجه حرارت مناسب برای فضاهای مختلف، در جدول زیر آورده شده است.

جدول شماره ۱: درجه حرارت مناسب در فضای آموزشی (از: سازمان توسعه، تجهیز و نوسازی مدارس کشور)

درجه سلیسیوس	حرارت
۱۸-۲۱	کلاس درس
۲۰-۲۳	سالن چندمنظوره
۱۵-۱۹	سالن ورزش
۲۰-۲۳	نمازخانه
۱۶-۱۹	کارگاه و اتاق رایانه

- استفاده از بخاری نفتی و نصب بخاری گازی در مدارس ممنوع است. در شرایطی که به اجبار استفاده شود، لازم است منبع انرژی و شیر گاز خارج از دسترس دانش‌آموزان بوده، ایمن باشد و ورود هوای تازه به فضای آموزشی، تامین گردد.
- استفاده از سیستم گرمایش و سرمایش به صورت موتورخانه و یا سیستم‌های مرکزی توصیه می‌شود.
- استفاده از انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی باد و کلکتورهای خورشیدی، توصیه می‌شود.
- میزان جابجایی هوا در کلاس حداکثر ۶ لیتر در ساعت و در راهرو و هال، ۴.۵ لیتر در ساعت باشد. (سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس، ۱۳۹۵، ضابطه شماره ۶۹۷: ۶۴-۶۶)

۴-۱- اهمیت و ضرورت تهویه در کلاس

از آنجایی که بسیاری از فعالیت‌ها و روند آموزش در کلاس رخ می‌دهد، لازم است به کلاس درس و ویژگی‌های کارکردی آن توجه ویژه داشت. (کامل نیا، ۱۳۸۸: ۹۶) تهویه در کلاس درس باید چنان باشد که جریان مطلوب هوا در تمام نقاط کلاس برقرار باشد و سرعت آن طبق استاندارد اشری حداکثر ۱ متر بر ثانیه باشد. (Chela, et al. 2009) تا هم امکان تهویه مطلوب برقرار باشد و هم اینکه جریان کنترل نشده باد، مزاحمت ایجاد ننماید. در عین حال بایستی به طور یکنواخت در تراز افراد ساکن در کلاس بدون ایجاد نقطه کور، برقرار باشد. نقاط کم‌فشار نسبی باید در کلاس به حداقل برسند و جریان‌های گردابه‌ای^۱ در فضای داخلی که بعضاً آزاردهنده هستند، حذف شود. جهت حرکت جریان هوا بایستی اصلاح شود. جریان هوای بیرون به فضای داخل به صورت مناسب هدایت شود و کوران مطلوب ایجاد گردد. (رهایبی و همکار، ۱۳۹۹: ۶۷)

تهویه هوای کلاس باید با تامین هوای تازه انجام شود. زیرا تجمع افراد در یک محیط، امکان انتشار انواع بیماری‌ها و بوهای ناخوشایند را فراهم کرده و رطوبت زیادی نیز ایجاد می‌نماید. هرچه تعداد دانش‌آموزان در یک اتاق بیشتر باشد، هوای اتاق کهنه و مانده‌تر خواهد شد. به همین دلیل ترجیح به استفاده از سیستم‌هایی است که هوای تازه را به محیط وارد می‌کنند. به ویژه در روزهای سرد زمستان و یا روزهای بسیار گرم تابستان که پنجره‌ها بسته هستند و هوای تازه کمتری وارد فضای کلاس می‌شود. (ماهوتی راد و همکار، ۱۳۹۸: ۲۵)

دو روش برای تحلیل جریان هوا در ساختمان وجود دارد: روش‌های تجربی و شبیه‌سازی‌های عددی. شبیه‌سازی‌های عددی در مقایسه با روش‌های آزمایشگاهی بسیار ارزانتر، دقیق‌تر و سریع‌تر هستند. با این حال در این روش نمی‌توان تمامی شرایط فیزیکی را در نظر گرفت و همواره نیاز به یک سری تقریب وجود دارد. بنابراین ضرورت دارد تا شبیه‌سازی‌های عددی توسط نتایج آزمایشگاهی اعتباربخشی شوند. (Amidpoor, M., ۲۰۰۹) شبیه‌سازی‌ها معمولاً با روش دینامیک سیال محاسباتی (CFD) انجام می‌شوند و پیش پردازشگر Gambit به منظور مدل‌سازی‌های هندسی و ایجاد شبکه مش‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد و نرم‌افزار Fluent به منظور تحلیل شبکه به کار می‌رود. (رهایبی و همکار، ۱۳۹۹: ۵۹)

^۱ - جریان گردابه‌ای یا گردابی اغلب به الگوی چرخش سیال حول یک محور عمودی مستقیم گفته می‌شود. این جریانات اصولاً آزار دهنده هستند.

۴-۲- تهویه مطبوع آزمایشگاه مدارس

مدارس و موسسات آموزشی ممکن است دارای آزمایشگاه‌هایی باشند که انواع مواد شیمیایی، حیوانات، بوهای ناخوشایند و در آن وجود خواهد داشت. لازم است تا آزمایشگاه علوم و دیگر مکان‌هایی که مواد شیمیایی در آن نگهداری می‌شود، دارای تهویه مناسب بوده و امکان کنترل دستگاه‌ها، در این بخش توسط کاربر فراهم باشد. لازم است تا از فن‌های مخصوص در این محیط‌ها استفاده شود تا هوای داخلی را به سمت بیرون کشیده و همچنین امکان خاموش و روشن کردن این فن‌ها، توسط حاضران در اتاق مهیا باشد.

۵- ملاحظات طراحی سیستم تهویه مطبوع فضاهای آموزشی

در تمام فضاهای آموزشی باید شرایط محیط تحت کنترل و مناسب برای یادگیری باشد. بنابراین علاوه بر تامین هوای تازه، آرام بودن محیط و سهولت تعمیرات نیز باید در هنگام طراحی مد نظر قرار گیرد. ۴ شاخص اصلی که از سیستم سرمایشی و گرمایشی انتظار می‌رود عبارتند از:

۱. کنترل دما

۲. کنترل رطوبت

۳. تنظیم سرعت گردش و جابجایی هوا

۴. فیلتراسیون و تامین هوا

در فضاهای آموزشی، سطح صدا و دما از اهمیت خاصی برخوردار است. صدای تولیدشده باید در حد تحمل افراد برای مدت طولانی بوده و تمرکز آن‌ها را به هم نزند. تامین هوای تازه به مقدار مناسب باعث کنترل بو و جلوگیری از انتشار بیماری‌های واگیردار، تنفسی و ریوی می‌گردد و به ویژه برای افرادی که از آلرژی و آسم رنج می‌برند، بسیار مفید است. تجهیزات تهویه مطبوع آموزشی باید ضمن قابل اطمینان بودن، به کمترین میزان تعمیرات نیاز داشته باشند. به دلیل تفاوت نیازهای تهویه مطبوع در قسمت‌های مختلف، هر قسمت باید دارای کنترل خاص خود باشد و بتوان دما و رطوبت هر قسمت را به میزان دلخواه و مستقل از سایر قسمت‌ها، تنظیم نمود.

۶- استفاده از سیستم تهویه مطبوع هوشمند

چون اکثر موسسات آموزشی در شب و تعطیلات پایان هفته تعطیل هستند، معمولاً در اینگونه ساختمان‌ها با تنظیم درجه حرارت داخل در هنگام خالی بودن، بهینه‌سازی دیگ و تنظیم درجه حرارت آب گرم می‌توان صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف سوخت انجام داد. وقتی در شب یا تعطیلات پایان هفته درجه حرارت مجدداً تنظیم می‌شود باید برنامه گرم کردن یا سرد کردن صبحگاهی را در نظر گرفت و شرایط را برای حضور مجدد افراد فراهم نمود. بعد از گرم کردن صبحگاهی، کنترل‌های خودکار باید سیستم‌ها را از وضعیت گرمایش به سرمایش تغییر دهند تا گرمای حاصل از روشنایی و افراد دفع شود.

۷- ملاحظات در مورد مصرف انرژی

روش‌های کاهش مصرف انرژی در تاسیسات سرمایش و گرمایش، عبارتند از:

۷-۱- استفاده از سیکل‌های صرفه‌جو

وقتی درجه حرارت حباب خشک و تر هوای بیرون مساعد باشد می‌توان با تغذیه هوای بیرون، مقداری از بارهای داخلی سرمایش را جبران کرد. برای خارج‌سازی ۱۰۰ درصد هوای تازه ای که به درون ساختمان تغذیه می‌شود باید از سیستم تخلیه هوای اضافه استفاده کرد.

۷-۲- تنظیم درجه حرارت دستگاه گرم‌کننده آب (بویلر یا دیگ)

در این سیستم درجه حرارت آب گرم با توجه به درجه حرارت هوای خارج تنظیم می‌شود. باید دقت داشت که درجه حرارت آب کمتر از مقدار پیشنهاد شده توسط کارخانه سازنده بویلر نشود.

۷-۳- تنظیم درجه حرارت در هنگام عدم حضور افراد با هوشمندسازی سیستم

این سیستم از یک ساعت و یا سنسور تشخیص دهنده حضور افراد فرمان می‌گیرد و با تنظیم درجه حرارت فضای مورد نظر در هنگام عدم حضور افراد، باعث صرفه جویی در مصرف انرژی می‌شود. همزمان با استفاده از این سیستم کنترلی باید امکانات گرم کردن و سرد کردن صبحگاهی را نیز پیش بینی کرد تا در زمان مقرر، درجه حرارت داخل فضا مجدداً به حد مطلوب رسیده باشد. مدت زمانی که باید سیستم گرم کننده و سرد کننده قبل از حضور افراد شروع به کار کند، تابع درجه حرارت هوای خارج، جرم ساختمان و اشیاء درون آن است.

۷-۴- سیستم‌های بازیافت حرارت

هنگامی که باید مقدار قابل توجهی هوا از ساختمان تخلیه شود، استفاده از سیستم‌های بازیافت حرارت باعث صرفه جویی در مصرف انرژی می‌شود. باید اقتصادی بودن استفاده از سیستم‌های بازیافت حرارت بررسی و ارزیابی گردد.

۷-۵- استفاده از سیستم صرفه جوی دیگ

در این سیستم با بازیافت حرارت اتلافی از دودکش دیگ‌های بزرگ یا موتورخانه مرکزی می‌توان در مصرف انرژی صرفه جویی کرد. حرارت بازیافت شده برای پیش گرمایش آب جایگزین دیگ یا هوای احتراق استفاده می‌شود. در هنگام استفاده از این سیستم باید دقت شود که درجه حرارت محصولات احتراق به حدی کاهش نیابد که رطوبت موجود در محصولات احتراق، تقطیر گردد.

۷-۶- استفاده از موتورهای سرعت متغیر

استفاده از این موتورها برای فن‌ها و پمپ‌های بزرگ می‌تواند باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی شود. قبل از کاربرد اینگونه موتورها باید سیستم‌های تهویه مورد ارزیابی قرار گیرند و مشخص گردد که کاهش مقدار گذر هوا یا آب در حدی است که کاربرد این سیستم‌ها را توجیه کند.

۸- تهویه طبیعی و مکانیکی

تهویه در فضاهای سرپوشیده به دو صورت طبیعی و مکانیکی انجام می‌شود.

۸-۱- تهویه طبیعی

تهویه طبیعی از طریق در و پنجره و منافذ موجود در ساختمان انجام می‌گیرد. در اتاق‌هایی که امکان گردش هوا وجود دارد، باید حدود ۳۰٪ از هوای تمیز بیرون تامین گردد. با طراحی مناسب پنجره‌ها و بازشوها و در نظر گرفتن نکات زیر، می‌توان تهویه طبیعی بهتری ایجاد نمود:

- حداقل ۴۵٪ سطح پنجره قابل باز شدن باشد.
- کف پنجره باید حداقل ۷۵ سانتیمتر از کف اتاق فاصله داشته باشد.
- سطح بالای پنجره باید تا حد امکان نزدیک به سقف باشد.
- سطح نوردهی پنجره باید حداقل ۸٪ مساحت کف اتاق باشد. (کتاب درسی فنی حرفه‌ای، ۱۴۰۱: ۱۲۱)

تهویه طبیعی در کلاس درس و بخش‌های مختلف مدارس، می‌تواند تأثیرات شگرفی در یادگیری و افزایش تمرکز دانش‌آموزان داشته باشد. به دلیل تامین هوای تازه و اکسیژن بیشتری که به این شیوه وارد محیط آموزشی می‌شود، می‌توان از تهویه طبیعی برای ارتقاء کیفیت هوا استفاده کرد. اگرچه که برخی از دستگاه‌های تهویه مطبوع نظیر هواساز و یا فن‌کوئل‌های کانالی، قادر به تامین هوای تازه هستند و این نیاز را به خوبی تامین می‌کنند. اما در مواقعی که در ساختار محیط آموزشی از دستگاه‌هایی با قابلیت تامین هوای تازه استفاده نمی‌شود، می‌توان با بهره‌گیری حداکثری از تهویه طبیعی، این کمبود را جبران کرد. باید اشاره کرد که در زمان‌هایی که میزان آلاینده‌ها در هوا بیش از اندازه هستند و یا دمای هوای بیرون به شدت گرم یا سرد است، استفاده از تهویه طبیعی توصیه نمی‌شود، زیرا سیستم دفاعی بدن کودکان ضعیف‌تر از بزرگسالان است و آلاینده‌ها تأثیرات بدتری در اطفال خواهند داشت. بهره‌گیری از تهویه طبیعی به شرط آنکه گردش هوای ناخوشایندی ایجاد نکند و یا آلاینده‌های زیادی به واسطه آن وارد محیط آموزشی نشود، می‌تواند بسیار مفید باشد.

۸-۲- تهویه مصنوعی یا مکانیکی

در تهویه مصنوعی برای تامین هوای تازه از تاسیسات مکانیکی استفاده می‌شود. در ادامه، انواع روش‌های تهویه مصنوعی ذکر می‌شود با ذکر این توضیح که روش‌های ذکر شده، در شرایطی مناسب است که هوای بیرون آلوده نباشد. در صورت آلودگی هوا باید از دستگاه‌های تصفیه‌ی هوا استفاده کرد.

- **تهویه تخلیه‌ای یا خلاء:** در این روش با استفاده از هواکش، هوای داخل فضا تخلیه می‌گردد و هوای تازه از پنجره‌ها و درها وارد اتاق می‌شود. کاربرد این روش در تهویه آشپزخانه، حمام و توالت است.
- **تهویه با فشار:** برعکس روش قبل، هوای تازه وارد اتاق شده و هوای آلوده از پنجره‌ها و درها به بیرون تخلیه می‌شود. این روش در ساختمان‌های بزرگ و کارخانجات به واسطه‌ی کانال‌ها کاربرد دارد.
- **تهویه متوازن:** این روش مخلوطی از دو روش پیشین است.
- **تهویه مطبوع:** بهترین شیوه برای تهویه است. برای ایجاد این تهویه، کنترل هم‌زمان گرما، رطوبت و جریان هوا مهم است. این روش برای ساختمان‌های بزرگ و منازل مناسب است. (کتاب درسی فنی حرفه‌ای، ۱۴۰۱: ۱۲۲)

۹- انواع سیستم‌های تهویه مطبوع مدارس

سیستم‌های تهویه مطبوع بسیار گسترده هستند. تعدادی از مناسب‌ترین‌ها را در این قسمت معرفی کرده^۲ و به مقایسه آنها با یکدیگر پرداخته می‌شود.

۹-۱- چیلر

چیلر به عنوان خنک‌کننده آب، از سیستم‌های تهویه مطبوع مرکزی و مناسب برای فضاهای آموزشی است. چیلر برای تهویه مطبوع مدرسه، مزیت‌هایی به همراه دارد که از جمله آن می‌توان به راندمان بالای دستگاه، امکان کنترل دمای هر کلاس یا واحد به صورت مجزا، امکان خاموش یا روشن کردن فن کویل در هر واحد بر حسب نیاز، ساختار ساده دستگاه و آشنا برای اکثر تکنسین‌ها و تنوع در مدل‌های انواع فن کویل بر اساس ساختار معماری بنا و نیاز کاربر اشاره کرد. استفاده از هواساز در این سیستم تهویه مطبوع، امکان کنترل کامل رطوبت و فیلتراسیون هوا را می‌دهد و به این شیوه می‌توان هوایی کاملاً پاک با رطوبت کنترل شده را به محیط وارد کرد. این مزیت را در فن کویل نیز می‌توان مشاهده کرد، با این تفاوت که فیلترهای تصفیه هوای فن کویل ساده تر بوده و امکان فیلتراسیون تخصصی را فراهم نمی‌کند.

۹-۲- کولر آبی برای مدرسه

یکی از ساده‌ترین و ارزان‌ترین سیستم‌های تهویه مطبوع محیط‌های آموزشی، کولر آبی است که با استفاده از کانال کشی، دمای هوای را خنک کرده و به واحدها وارد می‌کند. برای استفاده از این سیستم باید یونیت‌های کولر آبی در پشت بام نصب شده و کانال کشی به داخل هر واحد راه یافته و به این شیوه سرمایش در واحدها ایجاد شود. سیستم شوفاژ و پکیج نیز می‌تواند به عنوان گزینه‌ای ارزان قیمت به نسبت دیگر شیوه‌های گرمایش در کنار کولر آبی استفاده شده و گرمایش واحدها را تامین سازد. این سیستم‌ها قیمت خرید اولیه ارزانی داشته و به دلیل عدم استفاده از انرژی برق، هزینه‌های استفاده پایینی هم دارند. اما میزان سر و صدای کولر آبی و نیز راندمان آن به ویژه در شهرهای مرطوب، مناسب نیست و می‌تواند آزاردهنده باشد.

۹-۳- سیستم VRF برای مدرسه

تهویه مناسب در فضای داخل مراکز آموزشی با سیستم وی آر اف، با نصب ساده دستگاه در پشت بام، بدون نیاز به برج خنک‌کننده یا موتورخانه همراه خواهد بود. امکان کنترل دمای هر واحد به صورت مجزا، خاموش کردن یونیت داخلی واحدهایی که به تهویه نیاز ندارند و تنوع در شکل یونیت‌های داخلی از مزیت‌هایی است که این سیستم تهویه مطبوع برای محیط‌های آموزشی به همراه خواهد داشت. کنترل رطوبت و فیلتراسیون هوا به خوبی توسط این دستگاه انجام خواهد شد، اما در مراکز آموزشی که به طور

^۲ - برگرفته از www.toptahvieh.com/

تخصصی باید فیلتراسیون هوا صورت گیرد و یا رطوبت زنی به محیط انجام شود، می توان یونیت بیرونی VRF را به هواساز متصل کرد. به دلیل کنترل میزان مبرد برای گرمایش یا سرمایش، موجب کاهش میزان مصرف برق می گردد.

۹-۴- روف تاپ پکیج برای مدارس

پکیج پشت بامی یا روفتاپ پکیج، دستگاهی است که برای سرمایش و گرمایش در محیطهای آموزشی مورد استفاده قرار می گیرد. این دستگاه ترکیبی از چیلر تراکمی هواخنک و هواساز در پکیج است و با استقرار در فضای باز اطراف ساختمان یا پشت بام، قادر به تامین تهویه مطبوع خواهد بود. این دستگاه از نظر کارکرد تفاوتی با چیلر و هواساز ندارد و می تواند به خوبی ضمن کنترل دما، رطوبت را نیز تنظیم کرده و در صورت لزوم آن را کاهش یا افزایش دهد. به کمک فیلترهایی که در دستگاه هوارسان نصب می شود، می توان تصفیه هوا را به طول کامل انجام داد و مانع از گسترش آلاینده ها و عوامل بیماری زا در محیط آموزشی شد. گرمایش این دستگاه را نیز می توان با کمک بویلر یا پکیج که به هواساز متصل می شود، به انجام رساند.

جدول شماره ۲: مزایا و معایب سیستم های سرمایش و گرمایش فضاهای آموزشی (از: نگارنده)

ردیف	تجهیزات تهویه مطبوع مدارس	مزایا	معایب
۱	چیلر و فن کویل	<ul style="list-style-type: none"> تامین سرمایش به طور سراسری توزیع از طریق فن کویل های مستقر در هر کلاس امکان تنظیم مستقل دما در هر واحد تنوع بالا در شکل و شیوه نصب فن کویل توانایی کاهش میزان رطوبت حذف ذرات درشت گرد و غبار 	-
۲	چیلر و هواساز	<ul style="list-style-type: none"> کنترل دقیق رطوبت فیلتر کردن کامل هوا ساختار کانالی و توزیع دما به طور یکسان در همه بخش ها 	-
۳	سیستم VRF	<ul style="list-style-type: none"> پوشش تعداد زیادی کلاس تنوع گسترده یونیت های داخلی امکان نصب دستگاه متناسب با ساختار ساختمان هزینه های مصرف انرژی بسیار اقتصادی کاهش مصرف برق 	<ul style="list-style-type: none"> هزینه اولیه خرید بالا هزینه بالای اجرای لوله-کشی
۴	روف تاپ پکیج	<ul style="list-style-type: none"> کنترل دقیق دما، رطوبت فیلتراسیون کامل ساختار کانالی برای پکیج پشت بامی 	<ul style="list-style-type: none"> عدم امکان کنترل مستقل دما در هر بخش
۵	کولر آبی، ایرواشر	<ul style="list-style-type: none"> دستگاه های ارزان قیمت مصرف انرژی پایین 	<ul style="list-style-type: none"> عدم توانایی کنترل رطوبت سر و صدای زیاد

۱۰- راهکارهای طراحی فضای معماری برای تامین تهویه مطبوع

توجه به عناصر کالبدی فضای معماری و رعایت اصول طراحی مبتنی بر تامین تهویه مطبوع در فضای آموزشی برای ارتقای یادگیری بسیار مهم و ضروری به نظر می رسد. در این بخش تلاش شده است تا راهکارهایی برای بهبود ساختار فضای کالبدی مدارس به منظور دستیابی به تهویه مطبوع مناسب ارائه و پیشنهاد شود.

برای دستیابی به توسعه پایدار، بایستی مولفه های کالبدی همساز با اقلیم خاص هر منطقه در روند طراحی، مورد توجه قرار گیرد. مولفه هایی نظیر زاویه قرارگیری ساختمان، ابعاد و تعداد بازشوها، ارتباط با زمین (بالتر یا پایین تر از سطح زمین)، توجه به

جهت، سرعت و میزان باد غالب، ایجاد کوران، تغییر جهت و سرعت باد به منظور بهینه‌نمودن آن، استفاده از فضای سبز برای تصفیه و هدایت باد در فضای داخلی و خارجی، استفاده از حوضچه آب کم عمق و فواره (در مناطق با رطوبت کم) و ... در این حالت می‌توان انتظار داشت تهویه طبیعی تا حد امکان فراهم می‌شود.

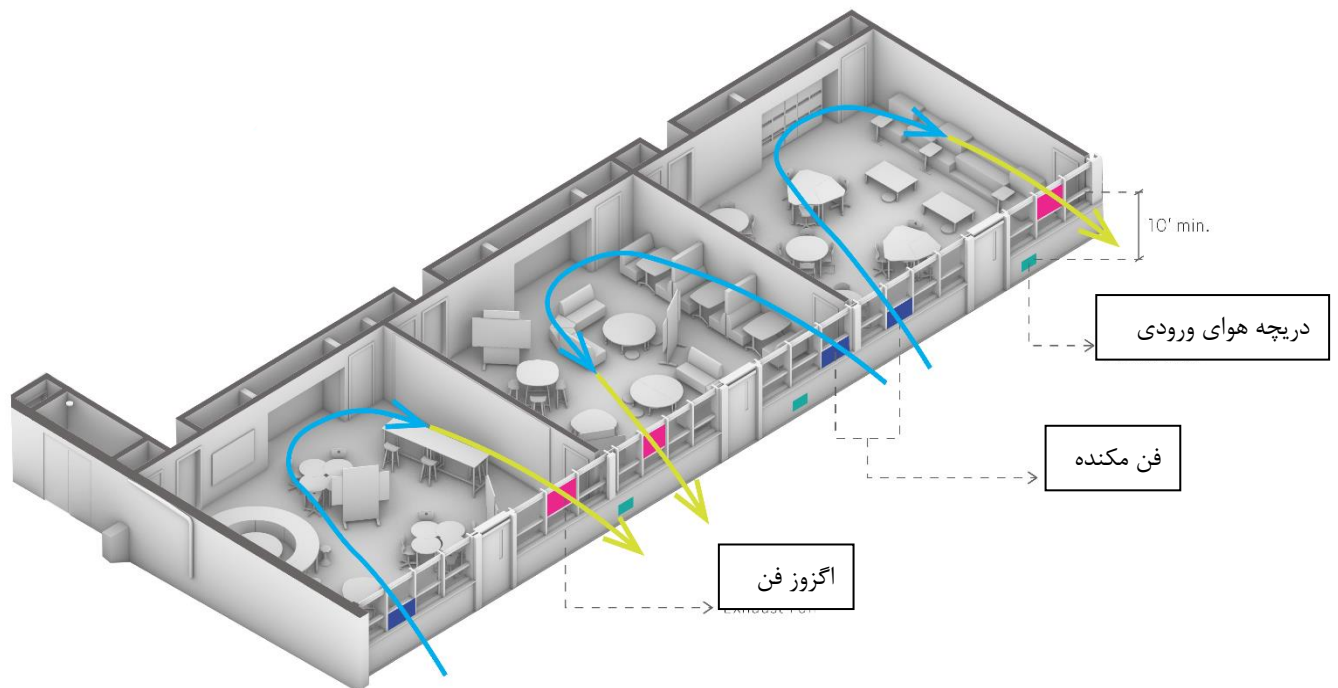
گردش مناسب هوا در فضای داخلی ساختمان به دو عامل بستگی دارد؛ محل قرارگیری پایه‌های حرارتی و برودتی و سپس نحوه پارتیشن‌بندی فضای داخلی. در صورتی که هوا به صورت کارآمد در فضای داخل گردش نکند، هوا در برخی از قسمت‌های فضای داخلی بالا رفته و در آن فضا تمرکز آلاینده‌های داخلی در آن محدوده بیشتر شده و کیفیت هوای داخل را کاهش می‌دهد. از همین رو مهندس معمار با طراحی مناسب فضای داخلی، پارتیشن‌بندی مناسب فضا و همچنین مکانیابی مناسب درب و پنجره داخلی به حرکت مناسب هوا در فضای داخل کمک می‌نماید. از طرفی هنگام طراحی کانالکشی تأسیسات ساختمان، مکان قرارگیری دریچه ورود و برگشت هوا و همچنین دریچه تأمین هوای تازه باید به خوبی توسط تحلیل سیالاتی مکانیابی شده تا بتوان از تمرکز آلاینده در داخل جلوگیری کرده و زمان ماند هوا را کاهش داد. (مصلحی، ۱۳۹۶)

راهکارهای فضای کالبدی معماری برای تهویه مطبوع را می‌توان اینگونه بیان نمود:

- تهویه طبیعی عرضی با جایگذاری صحیح بازوها در دو طرف فضا
- قراردادن کرکره‌های تهویه مطبوع در پایین پنجره‌ها
- حذف مصالح پرزدار مانند فرشینه، رنگ‌های سمی و مواد تولیدکننده گرد و غبار
- استفاده از گیاهان در فضای بسته و باز (طاهرطوع، ۱۳۹۵: ۲۷۸)

گیاهان آلودگی را از بین می‌برند و سطح اکسیژن موجود در هوا را افزایش می‌دهند که می‌تواند به افزایش کارآمدی کمک کند. دانش‌آموزان در محیط‌هایی که در آن گیاهان بیشتری وجود دارند، تمایل بیشتری به یادگیری و حضور فعالانه در روند آموزشی دارند. استفاده از گیاهان می‌تواند باعث پاکیزگی و طراوت در هوا شود.

راهکار دیگر برای تهویه تمام فضای کلاس، با تأسیسات مکانیکی تهویه، استفاده مناسب از ترکیب دریچه‌های هوای ورودی، اگزوزفن و فن مکنده است که نمونه‌ای از این ترکیب در تصویر زیر دیده می‌شود. (از: <https://fieldingintl.com>)



تصویر شماره ۱: ترکیب اگزوزفن، فن مکنده و دریچه هوای ورودی برای تأمین تهویه مطبوع در کلاس (از:

<https://fieldingintl.com>)

۱۱- نتیجه گیری

تهویه هوای داخلی در ساختمانها یکی از نمادهای اساسی در طراحی سبز و پایدار می باشد. این نوع نگرش به طراحی می تواند محدوده وسیعی از استفاده از فناوری های نوین را در بر بگیرد و می تواند موجب کاهش مصرف انرژی های فسیلی و پایداری هر چه بیشتر ساختمان ها شود. تهویه هوا نقش مؤثری در تهیه کیفیت لازم هوای داخل ساختمان داشته و می تواند موجب حذف آلودگی های بوجود آمده یا دفع رطوبت و گرمای بیش از حد فضا شود. به دلیل تجمع تعداد زیادی از افراد برای مدت زمان طولانی در فضای آموزشی و اغلب در فضای بسته و محدود کلاس، تهویه مطبوع فضای آموزشی، بسیار با اهمیت و مهم می نماید. نتایج بررسی ها در قالب ۳ موضوع، سامان داده شدند:

تأثیر تهویه مطبوع فضای آموزشی بر ارتقای یادگیری:

- عدم تأمین آسایش حرارتی در فضاهای آموزشی، به ویژه کلاس ها، با ایجاد حس کلافگی، خستگی، بی نظمی و عدم تمرکز، موجب کاهش یادگیری می شود.
- تهویه به عنوان یکی از معیارهای آسایش حرارتی، در یادگیری موثر است.
- هوای تازه و سالم به منظور افزایش سرزندگی در دانش آموزان و ایجاد شرایط مطلوب تنفسی بسیار حیاتی است.
- به دلیل تجمع تعداد بالای افراد در فضای آموزشی، پاکسازی هوا از آلاینده ها، گرد و غبار و عوامل بیماری زا و کنترل رطوبت، بسیار مهم است تا ماندگاری افراد بالا رود و در فرایند آموزش، مشارکت و همراهی بالاتری داشته باشند.

سیستم سرمایش و گرمایش:

- انتخاب سیستم سرمایش و گرمایش بر اساس ۴ شاخص کنترل دما، کنترل رطوبت، تنظیم سرعت گردش و جابجایی هوا، فیلتراسیون و تامین هوا و همچنین در نظر گرفتن صدای تولید شده توسط این سیستم ها بایستی انجام شود.
- سیستم سرمایش و گرمایش باید به نحوی انتخاب شوند که میزان بازدهی بالایی داشته و نیاز به تعمیر و خرابی در آنها کم باشد.
- مناسب است از دستگاه های هوشمند برای تنظیم خودکار درجه حرارت و خاموش کردن در شب ها، تعطیلات و آخر هفته و تامین حرارت مناسب در صبح استفاده شود.

تهویه طبیعی:

- طراحی فضای آموزشی در راستای توسعه پایدار و کاهش مصرف انرژی بایستی با توجه به مولفه های کالبدی همساز با اقلیم خاص هر منطقه در روند طراحی و به کارگیری راهکارهای طراحی موثر در جهت تامین تهویه مطبوع انجام پذیرد.
- راهکارهای طراحی معماری مانند: تهویه طبیعی عرضی با جایگذاری صحیح بازشوها در دو طرف فضا، قراردادن کرکره های تهویه مطبوع در پایین پنجره ها، استفاده از گیاهان در فضای بسته و باز.

منابع

۱. باقری، محمد، و عظمتی، حمیدرضا. (۱۳۹۰). فضای کالبدی به مثابه برنامه درسی (پرورش خلاقیت کودکان در محیط مدرسه). مطالعات برنامه درسی، ۶(۲۲)، صص ۱۶۳-۱۸۴.
۲. رهایی، امید، عظمتی، حمیدرضا، ۱۳۹۹، ارتقای کیفیت تهویه طبیعی در کلاس های مدارس استان مازندران بر اساس وضعیت بازشوها با روش CFD، نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران، صص ۷۱-۵۷.

۳. سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور، (۱۳۹۵)، ضوابط طراحی ساختمانهای آموزشی (برنامه‌ریزی معماری همسان مدارس ابتدایی و متوسطه)، ضابطه شماره ۶۹۷.
۴. طاهر طلوع، محمدصادق، امینی‌فر، زینب، (۱۳۹۵)، بررسی متغیرهای آسایش محیطی با تأکید بر ارتقای کیفیت یادگیری در فضاهای آموزشی، مجله فناوری آموزش، جلد ۱۰، شماره ۴، صص ۲۷۹-۲۷۱.
۵. کامل نیا، حامد، (۱۳۸۸)، دستور زبان طراحی محیط‌های یادگیری: مفاهیم و تجربه‌ها در طراحی مراکز پیش دبستانی، مدارس، دانشگاهها، سبحان نور، تهران.
۶. ماهوتی راد، پرستو، موسوی، محمد حامد، (۱۳۹۸)، بررسی تأثیر تهویه هوای داخلی رده‌ها بر دانش‌آموزان در محیط‌های آموزشی، نشریه علمی تخصصی شباک، سال پنجم، شماره ۵۰، صص ۳۰-۲۳.
۷. مهلب فرزانه، شفیعپور مجید، (۱۳۸۹)، «تأثیر بهینه‌سازی مصرف انرژی در کیفیت هوای داخل ساختمان (مطالعه موردی: ساختمان آموزشی)»، مجله محیط‌شناسی، شماره ۴، صص ۱۰۲۱-۱۰۱۱.
۸. نوید ادهم، م.، پیام مدرسه، انتشارات مدرسه، تهران، ۱۳۷۵
9. Fadeyi. M, Alkhaja.K, Bin Sulayem.M , Abu-Hijleh.B (2014),Evaluation of indoor environmental quality conditions in elementary schools' classrooms in the United Arab Emirates ,Frontiers of Architectural Research, June 2014, Vol.3(2), pp.166–177
10. Collet da Graca. V, Cornelia Knatz Kowaltowskia.D, Diego Petreche.J (2005), An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimization of aspects of environmental comfort for the school system of the State Saõ Paulo in Brazil, Building and Environment, February 2007, Vol.42,pp.948-999.
11. Earthman. G (1998) The impact of school building condition on student achievement and behavior. The Appraisal of Educational Investment Conference, Luxembourg, European Investment Bank and the Organization for Economic Cooperation and Development
12. Bureu.G.T (2015), “Sustainability” Education by Sustainable School Design, Procedia - Social and Behavioral Sciences 13 May 2015, Vol.186, pp. 868 – 873
13. <https://fieldingintl.com>