جلد II

پروتکل بین‌المللی
اندازه‌گیری و صحه‌گذاری
عملکرد
مفاهیم و شیوه‌هایی برای
بهبود کیفیت محیط
زیست داخلی
جلد دوم

کمیته پروتکل بین‌المللی
اندازه‌گیری و صحه‌گذاری عملکرد

بازنگری مارس ۲۰۰۲
DOE/GO-102002-1517

مترجم: فراز سجده‌ای
فاطمه ملایی

www.evo-world.org

مقدمه مترجم

صرفه‌جویی انرژی و فواید مالی آن مبحثی است که هرگز نباید به آن به صورت مجرد نگریسته شود. به همین دلیل در کشورهای دارای تجربه در این زمینه، ملاحظات مربوط به صرفه‌جویی علاوه بر هزینه‌های مستقیم حاملهای انرژی و دیماند به بهره‌وری و کاهش ضایعات هم می‌پردازد. چون این دو نیز به صورت غیر مستقیم بر هزینه‌های انرژی اثر دارند. فصل مشترک این مباحث با صرفه‌جویی حاملهای انرژی موضوع کیفیت محیط زیست داخلی[1](IEQ) است که خود شامل پارامترهای اثرگذار بسیار نظیر: روشنایی، آسایش حرارتی، رطوبت، آلاینده‌های مختلف به صورت گازی و ذرات و غیره است. تغییرات کوچک در کیفیت محیط زیست داخلی می‌تواند بر بهره‌وری ساکنین ساختمان اثر بگذارد و این خود می‌تواند اثرات مالی صرفه‌جویی انرژی را تقویت یا تضعیف کند.

تمرکز جلد دوم پروتکل اندازه‌گیری و صحه‌گذاری عملکرد که مانند جلد اول از انتشارات سازمان ارزیابی کارایی(EVO[2]) است، انجام اقدامات احتیاطی و تعدیلی در حین اجرای پروژه‌های صرفه‌جویی انرژی است. این موضوعی است که گرچه معمولاً به صورت ضمنی به آن توجه می‌شود ولی هرگز چنین نگاه سیستماتیکی به آن صورت نگرفته است.

امید است که متن حاضر به ایجاد این نگاه در متخصصین و کارشناسان و مجریان پروژه‌های صرفه‌جویی انرژی کمک کند.

از کلیه متخصصین تقاضا می‌گردد، نظرات خود جهت بهبود متن حاضر را به شرکت بهینه سازی مصرف سوخت ارسال نمایند تا در چاپ‌های بعدی مورد توجه قرار گیرد.

فراز سجده‌ای

خرداد ۹۳

[1] Indoor Environment Quality (IEQ)

[2] Efficiency Valuation Organization (EVO)

فهرست مندرجات

سپاسگزاری ..... ج

۱ مقدمه ۱

۲ هدف ۱

۳ چگونگی استفاده ۲

۴ معرفی عمومی کیفیت محیط زیست داخلی ۲

۴-۱ پارامترهای مهم IEQ مرتبط با انرژی ۲

۴-۲ شرایط گرمایش داخلی ۲

۴-۳ روشنایی داخلی ۳

۴-۴ آلاینده‌های داخلی؛ منابع و اثرات آنها بر سلامتی ۳

۴-۵ کنترل غلظت آلاینده‌های داخلی ۷

۴-۶ علائم حاد نامشخص بیماری و بیماری مرتبط با ساختمان ۹

۴-۷ جمعیت‌های حساس ۱۰

۴-۸ استانداردها، کدها و راهنماها برای تهویه و کیفیت محیط زیست داخلی ۱۱

۴-۹ نسبت IEQ با بهره‌وری ۱۱

۵ بهترین شیوه‌ها برای حفظ IEQ ۱۴

۵-۱ حفظ کیفیت مناسب هوای داخلی ۱۴

۵-۲ طرح‌های مدیریت IEQ و برنامه‌های مربوطه ۱۷

۶ ارتباط بین راهکارهای صرفه‌جویی انرژی و IEQ ۱۷

۷ اثر راه‌کارهای صرفه‌جویی انرژی بر IEQ در ساختمان‌های خاص ۲۷

۷-۱ پیش زمینه ۲۷

۷-۲ تعیین نتایج احتمالی IEQ و پیش‌بینی اثر آن‌ها ۲۷

۷-۳ اهمیت تغییرات پیش‌بینی‌شده در IEQ ۲۸
۸ روش‌های اندازه‌گیری و صحه‌گذاری برای IEQ ۲۸
۸-۱ تاریخچه ۲۸
۸-۲ اهداف اندازه‌گیری و صحه‌گذاری IEQ ۲۹
۸-۳ موضوعات M&V برای IEQ ۲۹
۸-۴ رویه M&V ۲۹
۸-۵ رویکردهای اساسی M&V ۳۱
۸-۶ روش‌های انتخابی M&V برای پارامترهای IEQ خاص ۳۲
۹ به کارگیری راهنما ۳۶
۱۰ ملاحظات پایانی ۳۶
۱۱ مراجع ۳۷

سپاسگزاری

سازمان‌های مشارکت کننده

برزیل	موسسه ملی کارایی انرژی (INEE)
	وزارت معادن و انرژی
بلغارستان	بنیاد کارایی انرژی بلغارستان (EnEffect)
کانادا	انجمن شرکت‌های خدمات انرژی کانادا (CAESCO)
	منابع طبیعی کانادا (NRC)
چین	کمیسیون دولتی اقتصاد و تجارت خارجی
	مرکز کارایی انرژی پکن(BECON)
جمهوری چک	Stredisko pro Efetivni Energie(SEVEn7)
هند	موسسه تحقیقات انرژی تاتا (TERI)
ژاپن	وزارت تجارت بین‌المللی و صنعت (MITI)
کره	گروه مدیریت انرژی کره (KEMCO)
مکزیک	(CONAE) Comision Nacional Para El Ahorro De Energia
	Fideicomiso De Apoyo Al Programa De Ahorro De Energia Del Sector Electico (FIDE)
لهستان	بنیاد کارایی انرژی لهستان (FEWE)
روسیه	مرکز کارایی انرژی (CENEf)
سوئد	هیئت ملی توسعه فنی و شهری سوئد
اوکراین	آژانس مصرف منطقی انرژی و اکولوژی (ARENA – ECO)
انگلستان	انجمن صرفه‌جویی انرژی
ایالات متحده	جامعه مهندسین گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع امریکا (ASHRAE)
	انجمن مهندسین انرژی (AEE)
	انجمن متخصصین خدمات انرژی (AESP)
	انجمن مالکان و مدیران ساختمان (BOMA)
	انجمن ملی شرکت‌های خدمات انرژی (NAESCO)
	انجمن ملی مشاوران املاک
	وزارت انرژی ایالات متحده (DOE)
	سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (EPA)

کمیته‌های IPMVP

کمیته اجرایی

۱ گرگوری کتس (رییس)، وزارت انرژی، ایالات متحده آمریکا
۲ جیم‌هالپرن (قائم مقام رئیس)، اتحادیه خدمات اندازه‌گیری و پایش، ایالات متحده آمریکا
۳ جان آرمسترانگ، خدمات‌هاگلر بیلی، ایالات متحده آمریکا
۴ فلاویو کونتی، کمیسیون اروپا ، ایتالیا
۵ دروری کراولی، وزارت انرژی ایالات متحده آمریکا
۶ دیو دیتون، HEC انرژی ، ایالات متحده آمریکا
۷ آدام گولا، بنیاد کارایی انرژی لهستان ، لهستان
۸ شرلی‌هانسن، Kiona International، ایالات متحده آمریکا
۹ لجاهاتیانگدی، شرکت مهندسین مشاور TCE، هند
۱۰ موری هپنر، خدمات انرژی انرون، ایالات متحده آمریکا
۱۱ چان - مین لین، شورای بهره‌وری هنگ کنگ، هنگ کنگ
۱۲ آرتور روزنفلد، کمیسیون انرژی کالیفرنیا، ایالات متحده آمریکا

کمیته فنی

۱ جان کوان (نایب رئیس)، Cowan Quality Buildings، کانادا
۲ استیو کرومر (نایب رئیس)، خدمات انرژی انرون، ایالات متحده آمریکا
۳ دیوید ای. کلاریج، دانشگاه A&M تگزاس، ایالات متحده آمریکا
۴ اِلن فرانکونی، Schiller Associates، ایالات متحده آمریکا
۵ جف اس.هابرل دانشگاه A&M تگزاس، ایالات متحده آمریکا
۶ موری هپنر، خدمات انرژی انرون، ایالات متحده آمریکا
۷ ساتیش کومار، آزمایشگاه ملی لارنس برکلی، ایالات متحده آمریکا
۸ انگ لاک لی، .Supersymmetry Services Pvt. Ltd، سنگاپور
۹ مارک مارتینز، ادیسون کالیفرنیای جنوبی، ایالات متحده آمریکا
۱۰ دیوید مک گئون، شرکت NewEnergy، ایالات متحده آمریکا
۱۱ استیو شیلر، Schiller Associates، ایالات متحده آمریکا

کمیته کیفیت محیط زیست داخلی

۱ بیل فیسک (رئیس)، آزمایشگاه ملی لارنس برکلی، ایالات متحده آمریکا
۲ جیم بیلی، Building Dynamics ، ایالات متحده آمریکا
۳ دیو بیر، Synchronous Energy Solutions ، ایالات متحده آمریکا
۴ استیو براون، CSIRO، استرالیا
۵ اندرو کریپس، بنیاد تحقیقات ساختمان، انگلستان
۶ جان دوگارت، ECD Energy and Environment، انگلستان

۷ دیل گیلبر، Built Environment Research ، استرالیا
۸ مایک جاور، انجمن مالکان و مدیران ساختمان، ایالات متحده آمریکا
۹ گرگوری کتس، وزارت انرژی، ایالات متحده آمریکا
۱۰ کن-ایچی کیمورا، دانشگاه واسدا، ژاپن
۱۱ ساتیش کومار، آزمایشگاه ملی لارنس برکلی، ایالات متحده آمریکا
۱۲ هال لِوین،هال لِوین و همکاران، ایالات متحده آمریکا
۱۳ ریچارد لیتل، آکادمی ملی علوم، ایالات متحده آمریکا
۱۴ دیوید موداری، سازمان حفاظت محیط زیست، ایالات متحده آمریکا
۱۵ تد ناتانسون، کارهای عمومی و خدمات دولتی، کانادا
۱۶ اندی پرسیلی، موسسه ملی استانداردها و فن‌آوری، ایالات متحده آمریکا
۱۷ آرتور روزنفلد، کمیسیون انرژی کالیفرنیا، ایالات متحده آمریکا
۱۸ سامیت ساکسنا، موسسه تحقیقات انرژی تاتا، هند
۱۹ اولی سپانن، دانشگاه صنعتی هلسینکی، فنلاند
۲۰ جان ساندل، مرکز بین‌المللی محیط زیست داخلی و انرژی ، دانمارک
۲۱ استیو ترنر، گروه چلسی، ایالات متحده آمریکا
۲۲ اوله والبجوئرن، موسسه تحقیقات ساختمان دانمارک ، دانمارک

بازرسان کیفیت محیط زیست داخلی

۱ اد آرِنز، دانشگاه برکلی کالیفرنیا، ایالات متحده آمریکا
۲ جان دابلیو بیک، نروژ
۳ کارل – گوستاف بورنهاگ، شرکت هیبیت، کارلسون و سورنسن، سوئد
۴ تری بریمن،Camroden Associates ، ایالات متحده آمریکا
۵ گراهام چارلتون، موسسه سرمایش، تهویه مطبوع و گرمایش استرالیا، استرالیا
۶ سوزان کلامپیت، اداره خدمات عمومی، ایالات متحده آمریکا
۷ جئو کلاسون، دانشگاه صنعتی، دانمارک
۸ جیم کوگینز، شرکت Energy Applications، ایالات متحده آمریکا
۹ کاترین کومبز، شرکت Steven Winter Associates ، ایالات متحده آمریکا
۱۰ جان دیسی، آزمایشگاه ملی لارنس برکلی، ایالات متحده آمریکا
۱۱ ریچارد دودیبر، دانشگاه مک‌کوارین، استرالیا
۱۲ آنجلو دلسانته، CSIRO، استرالیا
۱۳ دیوید گریم‌سرود، دانشگاه مینه سوتا، ایالات متحده آمریکا
۱۴ شرلی‌هانسن، Kiona International، ایالات متحده آمریکا
۱۵ استِن اولاف‌هانسن، دانشگاه علوم و فن‌آوری نروژ ، نروژ
۱۶ جیم‌هارون، Custom Energy ، ایالات متحده آمریکا
۱۷ ماتی جی. جانتونن، موسسه ملی سلامتی عمومی، فنلاند
۱۸ ارکی کاهکونن، موسسه بهداشت حرفه‌ای فنلاند ، فنلاند
۱۹ پنتی کالیوکوسکی، دانشگاه کوپیو، فنلاند

۲۰ گرگ کورپیل، جانسون کنترلز، ایالات متحده آمریکا
۲۱ ماریانا لوما، فن‌آوری ساختمان VTT، فنلاند
۲۲ مارک مندل، NIOSH، ایالات متحده آمریکا
۲۳ جک مک‌کارتی، Environmental Health and Engineering Inc ، ایالات متحده آمریکا
۲۴ آینو نِوالاینِن، موسسه ملی بهداشت عمومی، فنلاند
۲۵ رب اوبن‌ردر، اداره خدمات عمومی، ایالات متحده آمریکا
۲۶ باد اوفرمن، مهندسی محیط زیست داخلی، سان فرانسیسکو، ایالات متحده آمریکا
۲۷ دئو پراساد، دانشگاه نیو سات ویلز، استرالیا
۲۸ دان پریزِمبل، صندوق RREEF، ایالات متحده آمریکا
۲۹ جان رییز، وزارت انرژی، ایالات متحده آمریکا
۳۰ اد رِید، مرکز سرمایش گازی امریکا، ایالات متحده آمریکا
۳۱ جیمز راجرز، مشاور انرژی، ایالات متحده آمریکا
۳۲ جورما ساتِری، انجمن کیفیت هوای داخلی و آب‌وهوای فنلاند ، فنلاند
۳۳ کریستین شوئیزر، محیط زیست استرالیا، استرالیا
۳۴ جایکریشنا شانکاوارام، دانشگاه کارنیگی ملون، ایالات متحده آمریکا
۳۵ استفان اسکرفوینگ، دانشگاه لوند، سوئد
۳۶ جان تالبوت، وزارت انرژی، ایالات متحده آمریکا
۳۷ استیو تیلور، شرکت مهندسی تیلور، ایالات متحده آمریکا
۳۸ جان تیفانی، Tiffany Bader Environmental ، ایالات متحده آمریکا
۳۹ جین تاکر، سازمان حفاظت محیط زیست، ایالات متحده آمریکا
۴۰ دیو واردن، مهندسی DWT، کانادا
۴۱ داویج وارفیلد، شرکت فیلتر تری-دیم، ایالات متحده آمریکا
۴۲ جیم وودز، موسسه تحقیقاتی HP Woods، ایالات متحده آمریکا

هماهنگ‌کننده فنی

ساتیش کومار، آزمایشگاه ملی لارنس برکلی، ایالات متحده آمریکا
پست الکترونیکی: SKumar@lbl.gov، تلفن: ۷۹۵۳ – ۶۴۶ – ۲۰۲

ما از بسیاری از سازمان‌هایی که انتشار IPMVP را ممکن ساختند، قدردانی می‌کنیم. بالاخص از اداره فن‌آوری ساختمان، برنامه‌های دولتی و اجتماعی در دفتر کارایی انرژی و انرژی تجدیدپذیر در وزارت انرژی ایالات متحده که حمایت مالی مهمی برای IPMVP، ازجمله انتشار این سند را فراهم کردند، تشکر می‌کنیم.
تجدید چاپ جلد اول و دوم IPMVP، از طریق کمک‌های زیاد مالی برنامه فدرال مدیریت انرژی[1] (FEMP) وزارت انرژی آمریکا امکان‌پذیر شده است. سازمان IPMVP از این کار FEMP بسیار قدردانی می‌کند.

[1] **F**ederal **E**nergy **M**anagement **P**rogram

رد مسئولیت

این پروتکل به صورت چارچوبی برای تعیین صرفه‌جویی‌های انرژی و آب ناشی از اجرای یک پروژه کارایی انرژی به کار می‌رود. هدف دیگر تهیه این کمک به پایش عملکرد سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر و افزایش کیفیت محیط زیست داخلی در ساختمان‌ها بوده است. سازمان IPMVP هیچ حقوق قانونی را ایجاد یا هیچ‌گونه الزامات قانونی بر افراد یا دیگر نهادهای قانونی تحمیل نمی‌کند. این سازمان هیچ اختیار و تعهد قانونی برای نظارت، پایش یا اطمینان از انطباق با مقررات ذکرشده و گنجانده شده در ترتیبات قراردادی بین افراد یا اشخاص ثالث ندارد. این مسئولیت طرفین هر قرارداد خاص است که توافق‌نامه را به وضعیت مطلوب برسانند و در صورت نیاز این پروتکل در قرارداد فی ما بین گنجانده شود و از انطباق با آن اطمینان حاصل کنند.

۱ مقدمه

در ویرایش سال ۲۰۰۰ پروتکل بین‌المللی اندازه‌گیری و صحه‌گذاری عملکرد (IPMVP)، مسائل کیفیت محیط‌زیست داخلی[۱] (IEQ) مورد اشاره قرار گرفت و به این ترتیب جامع‌نگرتر شد. این سند اطلاعاتی را فراهم کرد که به متخصصین کارایی انرژی و صاحبان و مدیران ساختمان در حفظ یا ارتقاء IEQ و سلامتی و آسایش ساکنین حین اجرای راهکارهای صرفه‌جویی انرژی از طریق اصلاحات یا ساخت‌وساز جدید ساختمان‌های تجاری و عمومی کمک کند.

جلد دوم این پروتکل منحصراً بر روی مسائل کیفیت محیط زیست داخلی تمرکز دارد (ر.ک. پیش‌گفتار جلد اول درباره دید کلی IPMVP). این جلد با معرفی کلی IEQ آغاز می‌شود. سپس بهترین شیوه‌ها برای حفظ میزان بالای IEQ مرور می‌شود. اثرات احتمالی مثبت و منفی راهکارهای خاص صرفه‌جویی انرژی بر IEQ در قالب جدولی در بخش ۵ خلاصه شده است. بقیه سند، روش‌های اندازه‌گیری و صحه‌گذاری IEQ را ارائه می‌دهد که ممکن است برای رسیدن به اهداف زیر استفاده شود: ۱) اطمینان از این‌که راهکارهای صرفه‌جویی انرژی تاثیر مخربی بر IEQ ندارد، ۲) کمی‌سازی بهبود IEQ درنتیجه اجرای راهکار صرفه‌جویی انرژی، و ۳) صحه‌گذاری این‌که پارامترهای IEQ انتخاب شده، دستورالعمل‌ها یا استانداردهای قابل‌کاربرد IEQ را برآورده می‌سازند. یک روش چندمرحله‌ای برای اندازه‌گیری و صحه‌گذاری IEQ ارائه شده که به وسیله بحثی درباره رویکردهای عمومی در اندازه‌گیری و صحه‌گذاری و سپس با جدولی از روشهای مختلف اندازه‌گیری و صحه‌گذاری پارامترهای خاص IEQ دنبال شده است. این سند توسط یک تیم بین‌المللی از متخصصین IEQ و کارایی انرژی ساختمان تهیه شده و وضعیت کنونی دانش در این مورد را بازتاب می‌دهد. نشریات IPMVP که دربرگیرنده جلد IEQ است هر دو سال یک بار به‌روزرسانی می‌شوند.

۲ هدف

پروتکل بین‌المللی اندازه‌گیری و صحه‌گذاری عملکرد[۲] (IPMVP) راهنما و چارچوبی را برای اندازه‌گیری و صحه‌گذاری عملکرد انرژی ساختمان با تاکید بر تغییرات عملکرد انرژی در اثر اجرای راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌ها فراهم می‌کند. بسیاری از راهکارهای صرفه‌جویی انرژی ساختمان دارای این پتانسیل هستند که به صورت مثبت یا منفی غلظت آلاینده‌های داخل ساختمان، شرایط آسایش گرمایی و کیفیت نور را تحت تاثیر قرار دهند. این موارد و دیگر مشخصه‌های محیط زیست داخلی در مجموع ، کیفیت محیط زیست داخلی[۳] (IEQ) نامیده می‌شوند.

کیفیت محیط زیست داخلی (IEQ) می‌تواند بر سلامت و بهره‌وری ساکنین ساختمان اثر بگذارد. تغییرات کوچک در سلامت و بهره‌وری ساکنین ممکن است از لحاظ مالی بسیار بارز و به‌طور بالقوه بیش از مزایای مالی صرفه‌جویی انرژی باشد (فیسک و روزنفلد، ۱۹۹۸). مهم است که ملاحظات IEQ قبل از انتخاب و اجرای راهکارهای صرفه‌جویی انرژی به وضوح شناسایی شوند[۴]. درنتیجه، هدف اولیه این سند، فراهم کردن اطلاعاتی برای کمک به متخصصین کارایی انرژی و صاحبان و مدیران ساختمان در حفظ یا ارتقاء IEQ در زمانی است که آن‌ها راهکارهای صرفه‌جویی انرژی را در ساختمان‌های[۵] تجاری و عمومی غیر صنعتی اجرا

---

[1] **I**ndoor **E**nvironmental **Q**uality

[2] **I**nternational **P**erformance **M**easurement and **V**erification **P**rotocol

[۳] عبارت کیفیت هوای داخلی (IAQ) (**I**ndoor **A**ir **Q**uality) بعضی اوقات برای همین هدف استفاده می‌شود، اگرچه IAQ در اشاره به میزان آلاینده‌ها در هوای داخلی مفیدتر است.

[۴] متقابلاً، در زمان انتخاب راهکارها برای بهبود IEQ، اثرات بالقوه این راهکارها بر مصرف انرژی ساختمان باید مورد توجه قرار گیرد. این سند، به طور مستقیم به این موضوع اشاره نمی کند اما شامل برخی از اطلاعات مرتبط می‌شود.

[۵] هدف این سند جایگزین شدن آن برای کدهای محلی یا ایفای نقش راهنما برای تشخیص و حل مشکلات خاص IAQ و سلامتی نیست. بیمارستانها و سایر مراکز درمانی دارای الزامات خاص محیط زیست داخلی هستند که در این سند به آنها اشاره نشده است.

می‌کنند. درضمن، این سند بعضی از اندازه‌گیری‌های عملی IEQ و تهویه را شرح می‌دهد که در شرایط خاص می‌توانند در حفظ یا بهبود IEQ نیز به متخصصین صرفه‌جویی انرژی کمک کنند.

۳ چگونگی استفاده

بخش ۴ و *۵* این سند، IEQ را از طریق توصیف پارامترهای IEQ، منابع آلاینده داخلی، استانداردهای IEQ و روش‌های حفظ سطح بالای IEQ معرفی می‌کند. این بخش‌ها برای آموزش متخصصین انرژی ساختمان درباره IEQ و نیز برای فراهم کردن پایه‌ای برای بخش‌های بعدی این سند، طراحی شده است. متخصصین با دانش کاری قوی در خصوص مسائل IEQ می‌توانند *بخش ۴* و *۵* پشت سر بگذارند. *بخش ۶* ارتباط بین راهکارهای صرفه‌جویی خاص و IEQ را توصیف می‌کند و در آن بر راهکارهای جذابتر که عین صرفه‌جویی انرژی IEQ را بهبود می‌بخشند، تاکید شده است. این اطلاعات در جدولی ارائه شده ، بنابراین خوانندگان می‌توانند به سرعت اطلاعات مرتبط با وضعیت خود را شناسایی کنند. ممکن است برخی کاربران این سند نیازی به خواندن بعد از *بخش ۶* را نداشته باشند چرا که اقدامات صرفه‌جویی انرژی آن‌ها احتمالاً به‌طور قابل‌توجهی IEQ را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. *بخش ۷* بحثی از کاربرد *بخش ۶* در ساختمان‌های خاص را ارائه می‌کند. *بخش ۸* به اندازه‌گیری و صحه‌گذاری IEQ اشاره دارد. در آن جا یک روش کلی اندازه‌گیری و صحه‌گذاری IEQ همراه با شرحی از رویکردهای اصلی M&V و جدولی از روشهای انتخابی M&V برای پارامترهای خاص IEQ ارائه و عملی‌ترین و مفیدترین روشهای M&V مشخص شده‌اند. بخش ۹ چگونگی اجرای مفاهیم موجود در این سند را تشریح می‌کند. نتیجه‌گیری و مراجع به ترتیب در *بخش‌های ۱۰* و *۱۱* آمده‌اند .

۴ معرفی عمومی کیفیت محیط زیست داخلی

۴-۱ پارامترهای مهم IEQ مرتبط با انرژی

بسیاری از مشخصات محیط زیست داخلی ممکن است آسایش، سلامت، رضایت‌مندی و بهره‌وری ساکنین ساختمان را تحت تاثیر قرار دهد. مشخصات محیط زیست داخلی زیر محتمل‌ترین مواردی هستند که می‌توانند تحت‌تاثیر راهکارهای صرفه‌جویی انرژی ساختمان قرار بگیرند:

- شرایط گرمایش داخلی هم‌چون دمای هوا و گرادیان عمودی آن، دمای تشعشعی میانگین، سرعت هوا و رطوبت؛
- غلظت آلاینده‌ها و بوها در هوای داخلی و مقدار آلاینده‌ها بر روی سطوح؛
- شدت و کیفیت روشنایی؛

این سند در خصوص آلاینده هوای داخلی نسبت به آسایش حرارتی و روشنایی اطلاعات دقیق‌تری را ارائه می‌دهد زیرا احتمال کمتری وجود دارد که کاربران IPMVP درباره آلودگی هوای داخلی مطلع باشند.

۴-۲ شرایط گرمایش داخلی

اثر گرمای داخلی محیط بر آسایش حرارتی به طور گسترده‌ای شناخته شده است. آسایش حرارتی در چندین دهه مطالعه شده و نتیجه‌ی آن استانداردها و مدل‌های آسایش حرارتی برای پیش‌بینی سطح رضایت از گرمایش محیط به عنوان تابعی از پوشش ساکنین و سطح فعالیت آنها است (ASHRAE ۱۹۹۷). با وجود این‌که متخصصین ساختمان توجه عمده‌ای بر آسایش حرارتی داشته‌اند، نارضایتی از شرایط گرمایی داخلی، رایج‌ترین منبع شکایت ساکنین در ساختمان‌های اداری است (فدرسپیل ۱۹۹۸). در یک مطالعه میدانی بزرگ (شیلر و همکاران ۱۹۹۸) کمتر از ۲۵٪ از افراد در مورد دمای هوا نسبتاً یا بسیار راضی بودند. هم‌چنین، ۲۲٪ شرایط گرمایی اندازه‌گیری شده در زمستان و تقریباً ۵۰٪ شرایط اندازه‌گیری‌شده در تابستان، خارج از مرزهای منطقه آسایش حرارتی ASHRAE (نسخه سال ۱۹۹۸) بود. این یافته‌ها مشخص کرد که تلاش بیشتری باید انجام شود تا شرایط گرمایی در

داخل مناطق آسایش مشخص‌شده، حفظ شود. حتی در تنظیمات آزمایشگاهی با لباس و سطوح فعالیت یکنواخت، راضی نگهداشتن بیش از ۹۵٪ از ساکنین از طریق فراهم کردن محیط گرمایی یک نواخت یکسان (Fanger ۱۹۷۰) امکان‌پذیر نیست چرا که سلایق حرارتی افراد با هم متفاوت است. سیستم‌های تهویه مطبوعی که در آنها کنترل محدود دما و سرعت هوای محل کار در اختیار ساکنین قرار می‌گیرد به عنوان وسیله‌ای برای حداکثر کردن آسایش حرارتی مورد مطالعه قرار گرفته است(مثال: آرنس و همکاران ۱۹۹۱، باومن و همکاران ۱۹۹۳).

محدوده‌های حدی رطوبت نیز اثر منفی بر آسایش حرارتی می‌گذارد (فصل ۸ ASHRAE سال ۱۹۹۷). مناطق آسایش حرارتی ASHRAE در زمستان و تابستان، دارای یک مرز رطوبت مطلق پایین‌تر از ۰/۰۴۵ g آب به ازای هر کیلوگرم هوای خشک است که متناظر با رطوبت نسبی تقریباً ۳۰٪ در ۲۰/۵ °C و ۲۰٪ در ۲۷ °C است. رطوبت نسبی زیر ۲۵٪ موجب شکایت از خشکی پوست، بینی، گلو و چشم بوده است. در رطوبت‌های بالا نیز به دلیل افزایش قابل‌ملاحظه رطوبت پوست نارضایتی زیاد می‌شود. محدوده بالای رطوبت منطقه آسایش حرارتی ASHRAE از رطوبت نسبی تقریباً ۶۰٪ در ۲۶ °C تا ۸۰٪ در ۲۰ °C است.

هم‌چنین دما و رطوبت هوا احساس کیفیت هوای داخلی و سطح شکایات درباره علائم بیماری مربوط به ساختمان(که اغلب علائم سندروم بیماری ساختمان خوانده می‌شود) را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در برخی مطالعات(اسکوف و همکاران ۱۹۸۹، جاکولا و همکاران ۱۹۹۱، ویون ۱۹۹۲، منزیس و همکاران ۱۹۹۳) دماهای بالای هوا با افزایش شیوع علائم بیماری همراه شده است. نشان داده شده که احساس پذیرش ساکنین از کیفیت هوا با افزایش دما و رطوبت، در محدوده‌ای بین ۱۸ °C، رطوبت نسبی ۳۰٪ و ۲۸ °C، رطوبت نسبی ۷۰٪ کاهش می‌یابد (فنگ و همکاران ۱۹۹۷، مولهاو و همکاران ۱۹۹۳).

۴-۳ روشنایی داخلی

کیفیت محیط داخلی به‌طور قابل‌توجهی به برخی وجوه روشنایی شامل شدت روشنایی (شدت نوری که با یک سطح برخورد می‌کند)، مقدار درخشش و طیف نور[۱] بستگی دارد (IES ۱۹۹۳، ویچ و نیوشام ۱۹۹۸). شواهدی وجود دارد که کاهش در مقدار چشمک زدن نور، یعنی میزان تغییر چرخه‌ای سریع شدت نور در طول زمان، ممکن است با کاهش سردرد و خستگی چشم (ویلکنز و همکاران ۱۹۹۷) و با افزایش عملکرد کارکنان همراه شود (ویچ و نیوشام ۱۹۹۷). در بسیاری از فضاهای داخلی، محیط داخلی از روشنایی روز و روشنایی مصنوعی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. مشخصات پنجره‌ها و نورگیرها و سایه‌بان‌های آن‌ها، روشنایی داخلی روز را تحت تاثیر قرار می‌دهد. کیفیت روشنایی برقی داخلی، تابعی از نوع، موقعیت و تعداد منابع نور و ویژگی‌های نوری سطوح داخلی هم‌چون بازتابش طیفی و رنگ آن‌ها است.

روشهای کنترل روشنایی هم‌چون بدون کنترل، کاهنده اتوماتیک نور مصنوعی و کنترل دستی روشنایی بالای سر یا روشنایی تحت کنترل کاربر هم ممکن است کیفیت روشنایی را تحت تاثیر قرار دهد.

ویژگی‌های روشنایی کیفیت دید را تحت تاثیر قرار داده و می‌تواند تاثیرات روانی بر خلق و خو و درک درباره خوشایندی یک فضا داشته باشد. از آن‌جا که حدود انتهایی روشنایی ، تاثیر بارزی بر عملکرد دارد، معمولاً روشنایی داخلی در ساختمان‌های تجاری در محدوده‌های مشخص‌شده در راهنماها یا استانداردها حفظ می‌شود. محدوده پیشنهادی برای شدت روشنایی تابعی از نوع فعالیت چشمی و سن ساکنین است. درضمن راهنماها، پیشنهادهایی را برای نسبت حداکثر شدت روشنایی یعنی محدوده شدت روشنایی در میدان دید فراهم می‌کنند. رضایت ساکنین از روشنایی ممکن است با شدت روشنایی و مشخصات سیستم روشنایی تغییر کند (کاتزف ۱۹۹۲).

۴-۴ آلاینده‌های داخلی؛ منابع و اثرات آنها بر سلامتی

تعداد زیادی از آلاینده‌های هوای داخلی هستند که سلامت ساکنین و حس پذیرش آنها از هوای داخلی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در زیر این آلاینده‌ها را معرفی شده‌اند.

---

[۱] شواهد اثرات طیف نور بر رضایت و عملکرد با هم مخلوط شده‌اند (ویچ ۱۹۹۴، برمن ۱۹۹۲).

گازهای زیستی منتشره از انسان: انسان انواع مختلفی از گازهای بودار زیستی مانند بوی بدن آزاد می‌کند که می‌تواند بر حس پذیرش از هوای داخلی اثر بگذارد. اساس بسیاری از استانداردها و راهنماها برای تعریف حداقل میزان تهویه در ساختمان‌ها بر تهویه مورد نیاز برای حفظ هوای داخلی به صورت قابل‌قبول از نظر نسبت زیاد (مثلاً ۸۰٪) از بازدیدکنندگانی است که ابتدا وارد فضایی می‌شوند که ساکنین تنها منبع آلاینده داخلی آن هستند. در دهه اخیر، نگرانی‌ها درباره دیگر منابع بو و اثرات نامطلوب آلاینده‌های هوا بر سلامتی به طور فزاینده‌ای استانداردهای تهویه ساختمان را تحت تاثیر قرار داده است.

دی‌اکسیدکربن (CO_2) یکی از گازهای زیستی منتشره از انسان در هوای بازدم است. انسان‌ها به‌طور عادی مهمترین منبع داخلی ایجاد دی‌اکسیدکربن هستند. لوازم خانگی بدون دودکش یا تخلیه ناقص محصولات احتراق هم می‌تواند غلظت دی‌اکسیدکربن (CO_2) داخلی را افزایش دهد. غلظت دی‌اکسیدکربن (CO_2) محیط بیرون اغلب تقریباً برابر ۳۵۰ ppm[1] است، درحالی‌که غلظت فضای داخلی معمولاً در محدوده‌ای از ۵۰۰ ppm تا چندین هزار ppm قرار می‌گیرد. تصور نمی‌شود که دی اکسیدکربن (CO_2) در این غلظت‌ها علت مستقیم عوارض نامطلوب بر سلامت باشد، ولی CO_2 یک جایگزین به سهولت قابل اندازه‌گیری برای آلاینده‌های دیگر (مانند بوی بدن) است که توسط ساکنین ایجاد می‌شود.

غلظت دی‌اکسیدکربن (CO_2) فضای داخلی اغلب و گاه به صورت نامناسب به عنوان شاخصی از میزان تامین هوای بیرونی به ازای هر ساکن استفاده می‌شود. اگر تعداد ساکنین و نرخ تامین هوای بیرونی ثابت و نرخ تولید دی‌اکسیدکربن (CO_2) از ساکنین مشخص باشد، میزان تامین هوای بیرونی به ازای هر ساکن به صورتی ساده از مقدار پیش بینی شده در محاسبه موازنه پایدار جرم برای غلظت داخلی متعادل دی‌اکسیدکربن (CO_2) بدست می‌آید (پرسیلی و دالز ۱۹۹۰). ولی در بسیاری از ساختمان‌ها، غلظت دی‌اکسیدکربن (CO_2) هرگز در طول یک روز کاری ثابت نیست زیرا نرخ اشغال سکنه و تهویه به مدت کافی پایدار نیست. اگر غلظت اکسیدکربن (CO_2) در مقدار تعادل خود پایدار نباشد و برای برآورد نرخ تامین هوای بیرونی از رابطه ثابتی بین CO_2 و نرخ تهویه استفاده شود، نرخ برآوردشده تهویه هوای بیرونی می‌تواند اساساً اشتباه باشد.

مونوکسیدکربن (CO) و اکسیدهای نیتروژن (NO_X): غلظت‌های مونوکسید کربن (CO) و اکسیدهای نیتروژن (NO_X) در فضای داخلی ممکن است به دلیل احتراق بدون دودکش (مانند بخاریهای بدون دودکش)، خرابی سیستم‌های دودکش احتراق وسایل خانگی دودکش‌دار و نشت هوا از گاراژهای متصل به ساختمان، بیشتر از غلظت‌های خارجی باشد. استعمال دخانیات می‌تواند باعث افزایش مقدار غلظت مونوکسیدکربن (CO) داخلی شود. تماس کوتاه مدت با غلظت‌های بیش از حد مونوکسیدکربن (CO) می‌تواند باعث آسیب یا مرگ مغزی شود (NRC ۱۹۸۱). غلظت‌های کمتر می‌تواند در افراد دارای بیماری قلبی باعث درد قفسه سینه شود (NRC ۱۹۸۱). دی‌اکسیدنیتروژن (NO_2) معمولاً به عنوان مهمترین اکسید نیتروژن در فضای داخلی مورد توجه قرار می‌گیرد. غلظت‌های بالای دی‌اکسیدنیتروژن (NO_2) (مثلاً ۰/۵ ppm) می‌تواند باعث ناراحتی‌های تنفسی در افراد مبتلا به آسم و غلظت‌های در حدود ۱ ppm می‌تواند باعث افزایش مقاومت مسیر تنفس افراد شود (NRC ۱۹۸۱). تماس طولانی‌مدت با غلظت‌های خیلی کم دی‌اکسیدنیتروژن (NO_2) ممکن است با افزایش بیماری‌های تنفسی در میان کودکان همراه شود (ودال ۱۹۸۵).

ترکیبات آلی فرار (VOCها)[2]: VOCها دسته‌ای از آلاینده‌های گازی هستند که حاوی کربن هستند. هوای داخلی به‌طورمعمول شامل ده‌ها VOC در غلظتهای قابل اندازه‌گیری است. VOCهای داخل ساختمان از طریق مصالح ساختمانی (مانند رنگ‌ها، محصولات چوبی فشرده ، چسب‌ها و غیره) ، مبلمان، تجهیزات (مانند دستگاه‌های فتوکپی، پرینترها و غیره) ، محصولات شوینده، محصولات ضد حشرات، و فعالیت‌های احتراقی (پخت و پز، بخاری بدون دودکش ، استعمال دخانیات، استفاده از خودرو داخلی) منتشر می‌شوند. انسان هم VOCها را به صورت نتیجه سوخت و ساز خود و استفاده از محصولات شخصی هم‌چون عطرها آزاد

[1] در مناطق شهری غلظت دی‌اکسیدکربن (CO_2) خارجی ممکن است اساساً خیلی بیشتر از ۳۵۰ ppm باشد و به طور قابل توجهی نسبت به زمان تغییر کند.

[2] **V**olatile **O**rganic **C**ompound

می‌کند. هوای خارجی که وارد ساختمان‌ها می‌شود نیز دارای VOCها است. VOCهای موجود در خاک آلوده مجاور ساختمان نیز می‌تواند به داخل ساختمان کشیده شود.

مصالح ساختمانی و مبلمان جدید عموماً VOCها را در مقدار بسیار بیشتری نسبت به مواد قدیمی‌تر منتشر می‌کنند. نرخ انتشار بسیاری از VOCها ممکن است در طول چند هفته اول پس از نصب مواد در ساختمان به میزان زیادی کاهش یابد. ولی نرخ انتشار برخی از آنها هم‌چون نشر فرمالدئید از محصولات چوبی فشرده بسیار آرام‌تر کاهش می‌یابد. بسیاری از سازندگان به دلیل نگرانی‌ها درباره اثرات VOCها بر سلامت، بر روی کاهش انتشار این گازها از محصولاتشان کار کرده اند و برخی از آن‌ها اطلاعات انتشار را در اختیار مشتریانشان نیز قرار می‌دهند.

برخی از VOCها احتمالاً یا قطعاً سرطان‌زا یا موجب اثرات نامطلوب بر روی باروری هستند. برخی از VOCها نیز دارای بوی ناخوشایند یا آزار دهنده ای هستند. تصور می‌شود که VOCها علت علائم بیماریهای غیرمشخص باشند که بعداً درباره آن‌ها بحث خواهد شد.

غلظت کل ترکیبات آلی فرار[1] (TVOC)، که اغلب به سادگی، برای اندازه‌گیری جامع VOCها استفاده می‌شود، به صورت جرم کلی VOCهای اندازه‌گیری‌شده به ازای واحد حجم هوا تعریف شده که این شامل ترکیبات آلی بسیار فرار (مانند فرمالدئید) نمی‌شود. مطالعات آزمایشگاهی که در آن انسان‌ها در معرض مخلوط کنترل‌شده VOCها قرار گرفته‌اند (مولهاو و همکاران ۱۹۸۶ و ۱۹۹۳)، در غلظت‌های TVOC در حد میلی‌گرم به مترمکعب هوا افزایش علائم بیماری را مستند کرده‌اند. گروهی از ۱۲ محقق اروپای شمالی که مقالات علمی درباره اثر VOCها/TVOCها بر سلامتی را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که آلودگی فضای داخلی با VOC، محتمل‌ترین دلیل تاثیر بر سلامت و مشکلات آسایش است و نیز این‌که مقالات علمی موجود در مورد TVOC به عنوان شاخص ریسک برای سلامتی و آسایش، کامل نیستند (اندرسون و همکاران ۱۹۹۷). غلظت TVOC به عنوان شاخصی از آثار بر سلامتی، به طور ذاتی ناقص است زیرا توانایی هر یک از VOCها برای ایجاد احساس علائم آزاردهندگی بر اساس میزان آنها تغییر می‌کند (تنبرینک ۱۹۹۵). قابلیت سایر اثرات بالقوه بر سلامتی هم‌چون سرطان یا آثار منفی بر باروری نیز با توجه به نوع ترکیب به شدت متغیر است.

با وجود این محدودیت‌ها، غلظت‌های بیش از اندازه بالای TVOC در ساختمان‌های تجاری، بیش از یک یا دو میلی‌گرم بر متر مکعب، وجود منابع قوی VOC را نشان می‌دهد (دیزی و همکاران ۱۹۹۴). در این صورت ممکن است انجام تحقیقات بیشتر برای تعیین ترکیب‌های VOC و/یا برای تشخیص منابع آن ضروری باشد. احتمال اثرات نامطلوب بر سلامت یا آسایش در اثر تماس زیاد با TVOCها ، به ترکیب مخلوط VOC و غلظت ترکیبات بدبو یا مضر بستگی دارد.

رادون یک گاز رادیواکتیو طبیعی است. منبع اولیه رادون در بسیاری از ساختمان‌ها، خاک یا سنگهای اطراف است. این گاز از طریق وارد شدن گاز خاک به ساختمان و نیز از طریق انتشار از بخش‌هایی از ساختمان که با خاک در ارتباط است، وارد ساختمان‌ها می‌شود. مصالح ساختمانی برپایه خاک و آب چاه‌ها هم می‌توانند منبعی از رادون باشند. تماس با رادون خطر سرطان ریه را افزایش می‌دهد (بیر جلد ششم ۱۹۹۸).

اوزون با هوای خارجی به داخل ساختمان آورده می‌شود. انواع خاصی از تجهیزات اداری هم‌چون دستگاه فتوکپی و پرینترهای لیزری هم می‌توانند منبع داخلی ایجاد اوزون باشند. اوزون باعث التهاب ریوی و دیگر اثرات نامطلوب بر سلامت ریوی می‌شود. اوزون از طریق واکنش با سطوح داخلی از هوای داخلی حذف می‌شود، بنابراین معمولاً غلظت اوزون داخلی از غلظت خارجی آن کمتر است. اگر منابع داخلی تولید اوزون محدود باشند، معمولاً افزایش میزان تهویه، در حالی‌که غلظت سایر آلاینده‌های در داخل ایجادشده را کاهش می‌دهد، غلظت اوزون داخلی را افزایش خواهد داد.

علاوه بر اثرات مستقیم اوزون بر سلامتی، این گاز می‌تواند به صورت شیمیایی با VOCهای موجود در هوای داخلی یا مواد سطوح واکنش دهد. این واکنش می‌تواند VOCهایی تولید کند که ممکن است منبع تحریک‌های شیمیایی باشند (شیلدز و وچلر ۱۹۹۷).

[1] **T**otal **V**olatile **O**rganic **C**ompound

رطوبت یک آلاینده نیست اما اثری قوی بر کیفیت محیط زیست داخلی دارد. بخار آب داخل ساختمان به دلیل سوخت و ساز بدن انسان و فعالیت‌های او که شامل استفاده آب است و نیز به دلیل فعالیت‌های احتراقی بدون دودکش و به‌وسیله رطوبت‌زنها تولید می‌شود. خاک مرطوب نیز ممکن است منبعی از رطوبت در هوای داخلی و در مواد کف زمین که با خاک در تماس هستند، باشد. پیامدهای رطوبت زیاد در سلامت انسان پیچیده است و هنوز هم یک موضوع مورد بحث است (باگمن و آرنس ۱۹۹۶، آرنس و باگمن ۱۹۹۶). در بعضی مواقع، رطوبت‌های نسبی بالا ممکن است به رشد قارچ و باکتری کمک کند که این می‌تواند اثرات نامطلوبی بر سلامت داشته باشد.

چگالش آب در سطوح سرد داخلی (مانند پنجره‌ها) ممکن است به مواد آسیب بزند و سبب افزایش رشد میکروارگانیسم‌ها شود. نشت آب، هم‌چون نشت از سقف و لوله‌کشی و قرار گرفتن مصالح ساختمانی در معرض باران یا برف در طول ساخت و ساز ساختمان، یک علت معمول آسیب به مصالح و رشد میکروارگانیسم‌ها است. شواهد بسیار قوی وجود دارد که مشکلات رطوبت در ساختمان‌ها منجر به اثرات زیانبار بر سلامت تنفسی هم‌چون شیوع بیشتر آسم یا نشانه‌های دستگاههای تنفسی تحتانی می‌شود (مانند برانکریف ۱۹۹۲، دالز و همکاران ۱۹۹۱، اسپنگلر و همکاران ۱۹۹۳، اسمج و همکاران ۱۹۹۶، بخش مطالعات بیماری تنفسی ۱۹۸۴). مطالعات موردی بسیاری در خصوص مشکلات میکروبیولوژیکی مرتبط با رطوبت در ساختمان‌های تجاری انجام شده است. حضور رطوبت‌زنها در سیستم‌های HVAC ساختمان‌های تجاری با افزایش علائم بیماری‌های تنفسی مختلف همراه بوده است.

ذرات در هوای خارجی وجود دارند و در داخل نیز از طریق تعداد زیادی از منابع (اون و همکاران ۱۹۹۲) شامل استعمال دخانیات و دیگر فرآیندهای احتراق وارد می‌شود. برخی از ذرات و فیبرها ممکن است به وسیله تجهیزات داخلی (مانند دستگاه‌های کپی و پرینترها) ایجاد شود. سایش مکانیکی و حرکت هوا هم ممکن است موجب آزاد شدن ذرات از مواد داخلی شود. ذرات از طریق افراد هم تولید می‌شوند، مانند تکه‌های ریخته شده پوست و قطرات ریز ایجادشده از عطسه و سرفه. بعضی از ذرات ممکن است شامل مواد شیمیایی سمی باشد. برخی ذرات که اساس بیولوژیک دارند ممکن است باعث واکنش‌های حساسیتی یا التهابی شوند یا منبعی برای بیماری‌های عفونی باشند. حتی وقتی غلظت ذرات نزدیک استاندارد ملی کیفیت هوای محیط امریکا (۵۰ $\mu g/m^3$ برای ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرومتر) است افزایش غلظت ذرات خارجی با افزایش شیوع بیماری و مرگ و میر همراه است(۱۹۹۶ EPA). در مورد ذرات با قطر کوچکتر از ۲/۵ میکرومتر که احتمال بیشتری دارد که در داخل عمق ریه رسوب کنند، نگرانی‌های خاص بیشتر است (۱۹۹۶ EPA). در سال ۱۹۹۷ یک استاندارد ملی کیفیت هوای محیط توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده[1] (EPA)برای ذرات کوچکتر از ۲/۵ میکرومتر منتشر شده است (http://www.epa.gov/airs/criteria.html) (۱۵میکروگرم بر متر مکعب برای میانگین سه ساله از غلظت متوسط حسابی سالانه، ۶۵ میکروگرم بر متر مکعب برای میانگین ۲۴ ساعته).

اندازه ذرات مهم است زیرا بر محلی که در سیستم تنفسی رسوب می‌کنند (۱۹۹۶ EPA)، کارایی حذف ذرات از طریق فیلترهای هوا و میزان حذف ذرات از هوای داخلی به وسیله رسوب روی سطوح، تاثیر می‌گذارد. ذرات داخلی اکثراً کوچکتر از ۱ µm هستند. ذرات کوچکتر از تقریباً ۲/۵ µm احتمال بیشتری دارد که در عمق داخل ریه‌ها رسوب کنند. بسیاری از **آئروسولهای زیستی**[2] حدوداً ۱ µm یا بزرگتر هستند و گرده‌ها اغلب بزرگتر از ۱۰ µm هستند. این ذرات بزرگتر ترجیحاً در بینی رسوب می‌کنند.

آئروسولهای زیستی غیرعفونی[3] شامل گرده‌ها، کپک‌ها، باکتریها، آلرژی‌سازهای کرم غبار، تکه‌های حشرات و شوره پوست حیوانات است. هوای خارجی، رشد کپک و باکتریهای داخلی ، حشرات، و حیوانات خانگی منابع این ذرات هستند. این ذرات معلق زیستی ممکن است از طریق ورود هوا به ساختمان‌ها آورده شوند یا ممکن است از طریق چسبیدن به کفش و لباس وارد ساختمان‌ها شده و سپس در هوای داخلی مجدداً به حالت تعلیق دربیایند. اثرات آئروسولهای زیستی غیرعفونی بر سلامتی شامل

[1] US **E**nvironmental **P**rotection **A**gency
[2] Bioaerosols
[3] Non-infection bioaerosol

علائم حساسیت، علائم آسم و حساسیت‌های شدید ریوی است که به صورت التهاب لوله تنفسی و ریه مشخص می‌شود (بِروِن و گمیج ۱۹۹۷).

آئروسولهای زیستی عفونی غیر واگیردار[1] باکتری‌ها یا قارچ‌های موجود در هوا هستند که می‌توانند انسان را آلوده کنند اما دارای یک منبع غیر انسانی هستند (بِروِن و گمیج ۱۹۹۷). بهترین مثال شناخته شده لژیونلا است که یک باکتری است که باعث بیماری لژیونر و تب پونتیاک می‌شود. برج‌های خنک‌کننده و منابع دیگر آب ساکن (مانند رطوبت زنها) به عنوان منبعی برای آئروسولهای زیستی لژیونلا در ساختمان‌ها تصور می‌شوند. هم‌چنین لژیونلا ممکن است در سیستم‌های آب آشامیدنی موجود باشد و تنفس آب شرب منبع بالقوه‌ای از عفونت با لژیونلا تصور شده است. برخی از قارچ‌های ناشی از منابع داخل ساختمان‌ها هم می‌توانند افرادی که دچار نقص سیستم ایمنی هستند را آلوده کنند.

آئروسولهای زیستی عفونی واگیردار[2] ایجاد شده توسط یک فرد، ممکن است باعث بیماری دیگران شود. این آئروسولهای زیستی حاوی باکتری یا ویروس در میان قطرات کوچک ایجاد شده از خشک شدن قطرات مایع بزرگتر، اغلب در هنگام سرفه یا عطسه بیرون رانده می‌شوند. نمونه‌هایی از بیماری‌های تنفسی که حداقل بخشی از آن، از طریق آئروسولهای زیستی منتقل می‌شوند عبارتند از سل، آنفولانزا، سرخک و برخی از انواع رایج سرماخوردگی‌ها. چندین مطالعه که توسط فیسک و روزنفلد انجام شده، مشخص کرده که ویژگی‌های ساختمان به طور قابل‌توجهی می‌تواند وقوع بیماری‌های تنفسی را در میان ساکنین ساختمان تحت تاثیر قرار دهد.

الیاف[3] در هوای داخلی شامل آزبست، و الیاف معدنی ساخته شده توسط انسان هم چون فایبرگلاس و پشم شیشه است. منبع اولیه داخلی آن‌ها، مصالح ساختمانی بالاخص محصولات عایق‌کاری هستند. معلوم شده که تماس با آزبست در مجموعه‌های صنعتی باعث سرطان ریه و دیگر بیماری‌های ریوی می‌شود. الیاف فایبرگلاس و پشم شیشه منشأ تحریکهای پوستی هستند. ارتباط بین الیاف فایبرگلاس و پشم شیشه و سرطان ریه هم‌چنان نامشخص است.

دود دخانیات محیط (ETS)[4] مخلوط رقیقی از آلاینده‌های ناشی از استعمال دخانیات است و از طریق فرد سیگاری(همان‌طور که جریان اصلی دود توسط وی استنشاق می‌شود) به هوای داخلی منتشر می‌شود. ترکیبات ETS شامل ذرات با اندازه‌های زیر میکرونی متشکل از تعداد زیادی از مواد شیمیایی به علاوه تعداد زیادی از آلاینده‌های گازی است. دود دخانیات محیط دلیلی برای شکایت از بو و تحریک است. گروهی از کارشناسان شواهد علمی مربوط به اثرات ETS بر سلامتی را بررسی کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که این عامل مسبب سرطان ریه و بیماری‌های قلبی در بزرگسالان و تنگی نفس، تشدید آسم، عفونت‌های حاد مجرای تنفسی تحتانی، و عفونت گوش میانی در کودکان است (EPA ۱۹۹۲، California EPA ۱۹۹۷).

۴-۵ کنترل غلظت آلاینده‌های داخلی

غلظت داخلی یک آلاینده خاص هوا، به غلظت خارجی، نرخ تولید آلاینده داخلی و کل نرخ حذف آلاینده به وسیله تهویه، پاک‌کننده هوا و دیگر فرآیندهای حذف آلاینده‌ها بستگی دارد. یک معادله موازنه جرمی ساده می‌تواند برای نشان دادن ارتباط بین این متغیرها در حالت پایدار در یک فضا با هوای مخلوط شده، استفاده شود:

معادله ۱

$$\text{غلظت داخلی} = \text{غلظت خارجی} + \frac{\text{نرخ تولید آلاینده داخلی}}{\text{نرخ سایر فرآیندهای حذف} + \text{نرخ پاک‌سازی هوا} + \text{نرخ تهویه}}$$

[1] Infectious non-communicable bioaerosols
[2] Infectious communicable bioaerosols
[3] Fibers
[4] **E**nvironmental **T**obacco **S**moke

۴-۵-۱ منابع آلاینده

نرخ تولید آلاینده داخلی، تابعی از نوع و مقدار منابع آلاینده داخلی است. برای آلاینده‌هایی که عمدتاً دارای منابع داخلی هستند، به استثنای گازهای زیستی انسانی، قدرت منابع آلاینده داخلی نسبت به دیگر پارامترهایی که غلظت آلاینده داخلی را تحت تاثیر قرار می‌دهند تمایل به تغییر در محدوده گسترده‌تری دارد. نرخ تولید آلاینده داخلی، اغلب مهمترین عامل تعیین‌کننده در غلظت آلاینده داخلی، درنظر گرفته شده است. حذف یا به حداقل رساندن انتشار آلاینده‌ها از منابع داخلی، یک ابزار بسیار موثر و انرژی کارآمد در کاهش غلظت آلاینده داخلی می‌باشد.

۴-۵-۲ تهویه

برای حفظ IEQ در سطح قابل قبول، علاوه بر به حداقل رساندن انتشار آلاینده‌ها از منابع داخلی، تهویه به هوای بیرون باید به میزان کافی فراهم شود. نرخ تهویه، یعنی نرخ ورود هوای بیرون، معمولاً به وسیله زیربنا (بر متر مربع)، تعداد ساکنین (به ازای هر فرد)، یا حجم هوای داخلی (h^{-1} یا تعویض هوا در ساعت) نرمال‌سازی می‌شود. هوای ورودی از بیرون به یک ساختمان باید به درستی در اتاق‌های مختلف توزیع شود تا IEQ قابل‌قبول را در سراسر ساختمان حفظ کند. نرخ موردنیاز ورود هوای بیرونی اغلب به دلیل تغییرات در تعداد ساکنین و نرخ انتشار آلاینده داخلی، با زمان تغییر می‌کند.
اغلب در اتاق‌های با منابع بالای آلاینده یا بو، تهویه اگزوز موضعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تهویه اگزوز در کنترل غلظت‌های آلاینده داخلی کارآمدتر از تهویه عمومی فضای کلی است (تهویه عمومی اغلب تهویه رقیق کننده خوانده می‌شود). تهویه اگزوز وسیله‌ای برای کنترل اختلاف فشار به شرح زیر است.

۴-۵-۳ کنترل فشار

سیستم‌های HVAC اغلب در ساختمان‌های تجاری برای حفظ اختلاف فشار بین داخل و خارج یا بین فضاهای داخلی مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرند. نگهداری ساختمان‌ها تحت فشار مثبت نسبت به فضای خارج می‌تواند به حفظ IEQ کمک کند. این کار از طریق محدود کردن نفوذ هوای بیرونی که ممکن است به طور زیان‌بار آسایش حرارتی را تحت تاثیر قرار دهد و حاوی رطوبت و آلاینده‌ها باشد انجام می‌شود. حفظ اختلاف فشار بین فضاهای داخلی مختلف می‌تواند نرخ انتقال آلاینده‌ها بین این فضاها را محدود کند. برای مثال اغلب در اتاق‌های مخصوص استعمال دخانیات، سرویس‌های بهداشتی و آزمایشگاه‌ها فشار کاهش داده می‌شوند تا آلاینده‌های تولیدی در این اتاق‌ها به اتاق‌های اطراف نشت نکند.

۴-۵-۴ پاک‌سازی هوا

از پاک‌سازی هوا از گاز یا ذرات ریز (ASHRAE ۱۹۹۶، فصل‌های ۲۴ و ۲۵) می‌توان برای حذف آلاینده‌ها از هوای باز گردش شده یا هوای ورودی از بیرون استفاده کرد. اکثر ساختمان‌های تجاری از فیلترهای ذرات در سیستم HVAC استفاده می‌کنند. به طور معمول، این فیلترها برای حذف ذرات با قطر کمتر از یک میکرومتر کارایی کمی دارند (هانلی و همکاران ۱۹۹۴). با این‌حال، فیلترهای ذرات با محدوده وسیعی از کارایی برای ذرات با اندازه زیر میکرونی برای استفاده در ساختمان‌های تجاری به‌سهولت در دسترسند و غلظت‌های ذرات داخلی را می‌توان از طریق استفاده از فیلترهای هوای با کارایی بالاتر به صورت چشمگیری کمتر کرد. برای حفظ کارایی سیستم‌های فیلتر، روش نصب فیلتر باید از نشت زیاد هوا بین یا اطراف فیلترها جلوگیری کند. برخلاف فیلترهای ذرات، پاک‌کننده‌های گاز از هوا و نیز بسترهای کربن فعال، به دلیل هزینه‌های بالاتر و عملکرد نامشخص‌شان، تنها در تعداد کمی از ساختمان‌ها استفاده می‌شوند. با این‌حال، تلاش قابل‌توجهی به توسعه فن‌آوری‌های جدید پاک‌کننده‌های گاز از هوا اختصاص داده شده است.

سیستم‌های پاک‌کننده هوا نیاز به نگهداری منظم دارند. برای مثال، فیلترهای هوا باید به صورت دوره‌ای جایگزین شوند تا از کاهش جریان هوا و محدود شدن انتشار بو و رشد میکروبیولوژیکی فیلترهای کثیف‌شده، جلوگیری به عمل آید.

۴-۵-۵ فرآیندهای حذف طبیعی آلاینده‌ها

برای برخی از آلاینده‌ها، فرآیندهای حذف طبیعی دیگری وجود دارد. مثال‌هایی از این مورد، ازدست‌رفتن اوزون به دلیل واکنش آن با سطوح داخلی و رسوب ذرات بر روی سطح است. این فرآیندهای حذف می‌تواند بر غلظت داخلی این آلاینده‌ها تاثیر قابل توجهی بگذارد.

۴-۵-۶ چرخش مجدد هوا و الگوهای جریان هوا

الگوی جریان هوای داخلی هم IEQ را تحت تاثیر قرار می‌دهد. چرخش مجدد هوا به صورت مکانیکی ، آلاینده‌های منتشر شده از منابع موضعی را در سراسر ساختمان پراکنده می‌کند، به طوری‌که جمعیت بیشتری در معرض آنها قرار می‌گیرند، ولی چرخش مجدد می‌تواند غلظت آلاینده‌ها را در نزدیکی منبع آن کاهش دهد. درضمن، چرخش مجدد هوا از طریق سیستم‌های پاک‌سازی هوا می‌تواند غلظت‌های آلاینده داخلی را کاهش دهد.

ایجاد الگوی جریان هوا در اتاق‌ها نیز تماس با آلاینده‌های داخلی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. الگوی جریان هوای داخلی از کف به سقف، که تهویه جابه‌جایی نامیده می‌شود، می‌تواند غلظت آلاینده‌ها را در منطقه تنفس کاهش دهد. مدارکوتاه کردن مسیر جریان هوا بین شبکه‌های ورود و بازگشت هوا در ارتفاع سقف می‌تواند غلظت آلاینده را در منطقه تنفسی افزایش دهد.

۴-۵-۷ نگهداری، نظافت و راه‌اندازی

نگهداری، نظافت و راه‌اندازی سیستم‌های HVAC و ساختمان، عموماً عوامل تعیین‌کننده مهمی در غلظت آلاینده داخلی در نظر گرفته می‌شوند. نگهداری ضعیف سیستم HVAC ممکن است منجر به کنترل ضعیف آسایش حرارتی داخلی یا ورود هوای بیرونی و رشد میکروارگانیسم‌ها در داخل سیستم HVAC شود. فیلترهای هوا ممکن است منبعی برای بو و بستری برای رشد میکروبیولوژیکی شود (به عنوان مثال الیکسمن و همکاران ۱۹۹۰، مارتیکانن و همکاران ۱۹۹۰). راه‌اندازی سیستم HVAC و توازن هوا به اطمینان از عملکرد سیستم به صورت موردنظر ، کمک می‌کند. در مطالعه گسترده ای که از ساختمان‌های اداری انجام شده که همراه با شکایات سلامتی بوده‌اند ، نگهداری HVAC ضعیفتر و نظافت کمتر ساختمان با افزایش قابل توجه شیوع علائم بیماریهای تنفسی همراه بوده است (سیبر و همکاران ۱۹۹۶).

روش‌ها و کیفیت نظافت ساختمان می‌تواند انتشار بو و مقدار ذرات روی سطوح که ممکن است در هوا معلق شوند را تحت تاثیر قرار دهد.

درحالی‌که افزایش نگهداری و نظافت عموماً مفید درنظر گرفته می‌شوند، فعالیت‌ها و محصولات نگهداری می‌توانند منبعی از آلاینده‌های داخلی باشند (مانند ترکیبات شوینده، واکس‌ها) و فعالیت‌های نظافت می‌تواند منبعی برای معلق‌سازی مجدد ذرات شود.

۴-۶ علائم حاد نامشخص بیماری و بیماری مرتبط با ساختمان

عموم مردم با بسیاری از اثرات بیماری از قبیل بیماری‌های حاد تنفسی، آلرژی‌ها، آسم و سرطان که ممکن است تحت تاثیر IEQ (و نیز توسط راهکارهای صرفه‌جویی انرژی) باشد آشنا هستند. این سند ذات این اثرات بیماری را مورد بحث قرار نخواهد داد بلکه، در این بخش به‌طورخلاصه دو دسته ی کمتر آشنا از اثرات بیماری مرتبط با ساختمان را تشریح می‌کند: علائم حاد نامشخص

بیماری مربوط به ساختمان‌ها و بیماری‌های مرتبط با ساختمان[1] (BRI). توضیحات کامل‌تر از اثرات بیماری مربوط به عوامل IEQ در نشریات منتشر شده موجود هستند (مانند گمیج و بِروِن ۱۹۹۶).

۴-۶-۱ علائم نامشخص بیماری

شایع‌ترین علائم بیماری که توسط ساکنین ساختمان به محیط‌زیست داخلی شان نسبت داده می‌شود، علائم نامشخص بیماری هستند که بیماری خاصی را تعیین نمی‌کنند مانند تحریک چشم‌ها، بینی و پوست، سردرد، خستگی، تنگی نفس و سختی تنفس. اینها عموماً علائم سندروم ساختمان بیمار نامیده می‌شوند، با این‌حال، ما از اصطلاح علائم نامشخص بیماری استفاده می‌کنیم زیرا اصطلاح سندروم ساختمان بیمار می‌تواند گمراه‌کننده باشد (چون ساختمان بیمار نیست و همیشه ساختمان علت علائم بیماری نیست). مردم معمولاً این علائم نامشخص بیماری را تجربه کرده‌اند، درحالی‌که شیوع یا شدت آن‌ها به‌طور قابل‌توجهی در میان ساختمان‌ها متفاوت است و در بعضی از ساختمان‌ها، علائم، مقارن با دوره اشغال آن‌ها توسط سکنه است. گاهی اوقات ساختمان‌هایی که در آن ساکنین، به‌طور غیرمنتظره‌ای میزان بالایی از این علائم را تجربه می‌کنند، ساختمان‌های بیمار خوانده می‌شوند. برخی از علائم نامشخص بیماری بارها توسط بخش قابل‌توجهی از کل کارمندان اداری تجربه شده‌اند (مانند برایتمن و همکاران ۱۹۹۷، فیسک و همکاران ۱۹۹۳، نلسون و همکاران ۱۹۹۵). به نظر می‌رسد که علل علائم نامشخص بیماری چندین عامل بوده و کاملاً درک نشده اند. هرچند عوامل فیزیولوژیک- اجتماعی هم‌چون سطح استرس شغلی بر علائم نامشخص بیماری موثر شناخته شده‌اند، تاثیر بعضی ویژگی‌های ساختمان‌ها و محیط‌زیست داخلی بر روی این علائم نامشخص بیماری معلوم یا مورد تردید هستند. این ویژگیها شامل موارد زیرند: نوع سیستم تهویه، نوع یا وجود رطوبت زن، نرخ تهویه هوای بیرونی، آلاینده شیمیایی و میکروبیولوژیکی در هوای داخلی و بر روی سطوح داخلی، و دما و رطوبت داخلی (مندل ۱۹۹۳، ساندل ۱۹۹۴). به طور متوسط ساکنین ساختمان‌های با تهویه مطبوع بسته، علائم بیماری بیشتری را نسبت به ساکنین ساختمان‌های با تهویه طبیعی گزارش می‌کنند. رطوبت‌زنها احتمالاً به این دلیل که می‌توانند منبعی از آئروسولهای زیستی باشند، احتمال گزارش علائم بیماری توسط ساکنین را افزایش می‌دهند. اکثر مطالعات دریافته‌اند که دمای هوای داخلی کمتر با علائم نامشخص بیماری کمتری همراه است. علائم بیماری از طریق راهکارهای عملی هم‌چون افزایش تهویه، کاهش دما و بهبود نظافت کف‌ها و صندلی‌ها کاهش یافته است (مندل ۱۹۹۳).

علائم نامشخص بیماری یک عامل جدایی از کار است و می‌تواند منجر به غیبت در کار و مراجعه به پزشک شود(پلر و همکاران ۱۹۹۰). زمانی‌که مشکلات جدی هستند ، نیاز به بررسی‌هایی از ساختمان خواهد بود که هزینه‌هایی در بر خواهد داشت و معمولا تلاش قابل‌توجهی توسط کارکنان مدیریت ساختمان، پرسنل ایمنی و سلامت و مهندسین ساختمان صرف این کار می‌شود. پاسخگویی به علائم نامشخص بیماری شامل تغییرات پرهزینه در ساختمان بوده است.

۴-۶-۲ بیماری مرتبط با ساختمان

در مقایسه با علائم نامشخص بیماری، عبارت بیماری مرتبط با ساختمان (BRI) بعضی اوقات برای تشریح یک اثر خاص بیماری مرتبط با ساختمان به کار می‌رود که دارای علل شناخته شده و یافته‌های کلینیکی عینی است. مثال BRIها شامل بیماری‌های لژیونر، افزایش حساسیت ریوی، سرطان ریه در اثر تماس با رادون، اثرات بیماری شناخته شده در نتیجه تماس با ترکیبات سمی خاص در ساختمان‌ها می‌شود. حساسیت‌ها و آسم توسط برخی به عنوان بیماری مرتبط با ساختمان مورد توجه قرار گرفته است.

۴-۷ جمعیت‌های حساس

زیرمجموعه‌های بارزی از کل جمعیت، دارای حساسیت بیشتر نسبت به آلاینده‌های داخلی هستند. تقریباً ۲۰٪ از مردم دارای حساسیت‌های محیطی هستند و تقریباً ۱۰٪ آسم را تجربه می‌کنند (کمیته اثرات بیماری ناشی از حساسیت‌زاهای داخلی ۱۹۹۳). حساسیت مردم به مواد محرک شیمیایی و توانایی آن‌ها در تشخیص بو نیز متفاوت است. برای پایین نگهداشتن مشکلات مربوط به

[1] **B**uilding **R**elated **I**llness

بهداشت ساختمان و اثرات بیماری، محیط‌زیست داخلی باید برای اکثریت قابل‌توجه ساکنینی که بیشتر آن‌ها نسبت به متوسط مردم به آلاینده‌های داخلی حساس‌تر هستند، رضایت‌بخش نگهداشته شود.

بخش بسیار کوچکی از جمعیت، در زمانی‌که در تماس با غلظت‌های بسیار کم انواع مواد شیمیایی در هوا قرار می‌گیرند، عوارض بسیار جدی بیماری را گزارش می‌کنند. حساسیت خیلی زیاد آن‌ها به این مواد شیمیایی ممکن است به دنبال یک دوره حساس شدن باشد که به دلیل قرارگرفتن در معرض غلظت‌های بالای یک یا چند ماده شیمیایی ایجاد شده باشد. اصطلاح حساسیت شیمیایی چندگانه[1] (MCS) عموماً برای توصیف این پدیده استفاده می‌شود. در داخل جامعه پزشکی عدم قطعیت و چالش قابل‌توجهی درباره مفاهیم MCS وجود دارد. دانش کنونی درباره MCS و علل فیزیولوژیکی و روانی آن بسیار محدود است. معمولاً مالکان و اپراتورهای ساختمان‌ها، و متخصصین طراحی و انرژی ساختمان اطلاعات کافی برای حذف علائم سلامتی MCS ندارند.

۴-۸ استانداردها، کدها و راهنماها برای تهویه و کیفیت محیط زیست داخلی

انواع مختلفی از استانداردها، کدها، یا راهنماها برای حداقل میزان قابل قبول نرخ تهویه، روشنایی، شرایط گرمایی، غلظت آلاینده، محدودیتهای استعمال دخانیات، منابع آلاینده، و ویژگی‌های ساختمانی که IEQ را تحت تاثیر قرار می‌دهند، توسط دولت‌های ملی، ایالتی، منطقه‌ای یا شهری به تصویب رسیده‌اند. سازمان‌های حرفه‌ای نیز استانداردهای داوطلبانه یا مدل یا راهنماهایی را نوشته‌اند که گاهی اوقات کل یا بخشی از آن توسط سازمانهای تدوین استاندارد به تصویب رسیده است. بعضی از این استانداردها یا کدها به طراحی ساختمان و HVAC را محدود می‌کنند اما کاملاً برای عملیات ساختمان به کار نمی‌روند. یک محدودیت استانداردهای طراحی ساختمان که در زمان احداث ساخت‌وساز جدید به کار می‌رود این است که این استانداردها اغلب برای ایجاد تصحیحات در هنگام عملیات ساختمان که ویژگی‌های ساختمان و ساکنین ساختمانی در طول زمان تغییر می‌کند، شکست می‌خورند. با این‌حال شکست در به کارگیری ساختمان‌ها به شیوه‌ای که حداقل الزامات کد طراحی را برآورده کند، یک ضعف در نظر گرفته می‌شود که احتمالاً از ملاحظات در زمان وقوع دعاوی قانونی مربوط به IEQ خواهد بود.

عموماً استانداردهای گرمایی و روشنایی، محدوده‌های قابل قبولی را برای شرایط گرمایی و روشنایی مشخص می‌کنند. استانداردهای تهویه می‌توانند حداقل نرخ قابل‌قبول ورود هوا از بیرون را مشخص کنند. در بعضی از استانداردها حداکثر غلظت آلاینده برای تعداد کمی از آلاینده‌های هوا مشخص شده‌اند. با این‌حال ، درحال حاضر در استانداردها برای بسیاری از آلاینده‌های موجود در هوای داخلی هیچ محدودیت مشخص‌شده‌ای در خصوص حداکثر غلظت وجود ندارد.

کدها و استانداردهای مربوط به IEQ از لحاظ کیفی و در ویژگی‌های کمی خود متفاوت هستند. این سند استاندارد خاصی را به منظور رد سایر استانداردها پیشنهاد نمی‌کند زیرا استانداردها باید آب‌وهوای منطقه‌ای، وضعیت اقتصادی و فرهنگ را منعکس کند. این سند توصیه نمی‌کند که متخصصین ساختمان با کل استانداردهای قابل اجرا آشنا باشند و الزامات استانداردهای قابل اجرا به عنوان حداقل الزامات در نظر گرفته شوند. در بسیاری از موارد گذر از حداقل الزامات مطلوب است. نمونه‌هایی از کدها یا استانداردهای مهم در *جدول ۱* ذکر و به طور خلاصه توصیف شده اند.

۴-۹ نسبت IEQ با بهره‌وری

ارتقاء IEQ دارای پتانسیل بهبود بهره‌وری کارمندان است. بخشی از این به دلیل کاهش: الف) هزینه‌های مراقبت از سلامت، ب) مرخصی استعلاجی، ج) کاهش عملکرد در محل کار در اثر بیماری یا علائم نامطلوب بیماری د) هزینه‌های پاسخگویی به مشکلات ساکنین و هزینه‌های بررسی‌های IEQ است. برخی ویژگی‌های محیط زیست داخلی هم‌چون دماها و کیفیت روشنایی نیز ممکن است بدون وجود اثر بر سلامتی بر عملکرد کارمند تاثیر بگذارد. در بسیاری از کسب و کارها، هم‌چون کار اداری[2]، حقوق و مزایای

[1] **M**ultiple **C**hemical **S**ensitivity

۲ در ساختمان‌های اداری، حقوق معمولاً ۱۰۰ برابر بیشتر از هزینه‌های انرژی یا نگهداری ساختمان است.

کارمند به بر هزینه کلی غالب است، بنابراین اغلب افزایش درصد بسیار کوچکی در بهره‌وری حتی کسری از یک درصد برای توجیه مخارج ارتقاء ساختمانی که بهره‌وری را افزایش می‌دهد، کافی است.

در حال حاضر، ارتباط بین یک ساختمان بخصوص و ویژگی‌های IEQ آن و بهره‌وری به خوبی کمی‌سازی نشده‌است. با این‌حال، فیسک و روزنفلد (۱۹۹۷ و ۱۹۹۸) در یک بررسی و تجزیه و تحلیل انتقادی از اطلاعات علمی موجود برآوردهای پتانسیلهای بهبود بهره‌وری در ایالات متحده را از طریق تغییر در محیط زیست داخلی تدوین کرده‌اند. این بررسی مشخص کرد که ویژگی‌های ساختمان و HVAC با شیوع عفونت‌های حاد تنفسی و علائم حساسیت و آسم و علائم نامشخص بیماری همراه است. برای محدوده معمول شرایط روشنایی، اثرات بهبود روشنایی بر عملکرد کار اداری معمول، به خوبی درک نشده است. مطالعات بسیاری دریافته‌اند که عملکرد تنها تحت تاثیر سطوح روشنایی بسیار کم قرار می‌گیرد و تنها با کنتراست پایینِ کم تغییر می‌کند (فیسک و روزنفلد ۱۹۹۷). ولی یک مطالعه آزمایشگاهی اخیر با آزمون‌های کامپیوتری عملکرد پیشنهاد می‌کند که بالاست‌های با فرکانس بالا ممکن است عملکرد را افزایش دهند (ویچ و نیوشام ۱۹۹۸). شواهدی وجود دارد که بهبود کیفیت روشنایی می‌تواند عملکرد کارهایی که نیاز بصری زیاد دارند(هم‌چون مرتب‌سازی نامه‌های پستی یا بازرسی دقیق محصول) را تا چند درصد بهبود بخشد. درنهایت، شواهدی وجود دارد که تغییرات بسیار کوچک دما در حد چند درجه سلسیوس، می‌تواند عملکرد کار اداری را افزایش یا کاهش دهد. با این‌حال، دمای بهینه با توجه به نوع کار تغییر می‌کند. هم‌چنین شرایط بهینه دمایی برای انجام کار می‌تواند از شرایط بهینه برای آسایش متفاوت باشد. از تجزیه و تحلیل نوشته‌ها و محاسبات علمی موجود با استفاده از داده‌های آماری، نتیجه‌گیری می‌شود که *برآورد منافع بالقوه ملی سالیانه* ناشی از بهبود IEQ شامل موارد زیر است:

- ۱۰٪ تا ۳۰٪ کاهش در عفونتهای حاد تنفسی و حساسیت و علائم آسم،
- ۲۰٪ تا ۵۰٪ کاهش در علائم حاد نامشخص بیماری،
- ۰/۵٪ تا ۵٪ افزایش در عملکرد کار اداری، و
- سود سالیانه صرفه‌جویی‌های هزینه و بهره‌وری متناظر با آن برابر با ۳۰ تا ۱۷۰ میلیارد دلار.

جدول ۱: مثال‌هایی از استانداردها،کدها، یا راهنماهای مربوط به IEQ در ساختمان‌های غیر صنعتی، تجاری

عنوان	سازمان	مطالب اصلی
استاندارد ASHRAE/ANSI ۵۵-۱۹۹۲ شرایط گرمایی محیط زیست برای سکونت انسان (ASHRAE ۱۹۹۲b)	ASHRAE[a] ANSI[b]	محدوده قابل قبول برای دما، رطوبت و سرعت هوا
استاندارد ASHRAE ۶۲-۱۹۸۹، تهویه برای کیفیت قابل قبول هوای داخلی (ASHRAE ۱۹۸۹)	ASHRAE ANSI	حداقل نرخ قابل قبول تهویه به ازای هر یک از ساکنین، مسیر عملکرد جایگزین IAQ، غلظت‌های آلاینده مورد نظر را زیر حد و رضایت ذهنی درباره هوا را بالای یک حد نگه می‌دارد ، شامل چندین محدوده غلظت آلاینده است.
ایزو ۱۹۹۴: ۷۷۳۰ تعیین حد محیط گرمایی معتدل، تعین شاخص‌هایPMV و PPD و تعیین شرایط برای آسایش گرمایی (ایزو ۱۹۹۴)	سازمان بین‌المللی استاندارد (ایزو)	محدوده قابل قبول برای دما، رطوبت و سرعت هوا
ANSI/IESNA-RP-1-1993	ANSI IESNA[c]	برای روشنایی اداری، موضوعات مطرح‌شده شامل وظایف اداری، فرآیند طراحی،معیارهای روشنایی برای عملکرد و آسایش بصری ، عوامل محیطی روشنایی، سیستم روشنایی، نگهداری، مناطق روشنایی، انرژی و مدیریت انرژی
اقدام هماهنگ اروپایی، کیفیت هوای داخلی و اثر آن بر افراد، شماره گزارش ۱۱: راهنماها برای الزامات تهویه در ساختمان‌ها (ECA ۱۹۹۲)	کمیسیون اتحادیه اروپا، مدیریت کل برای علم، تحقیق و توسعه	حداقل نرخ تهویه به ازای واحد انتشار آلاینده داخلی محسوس در olfs[d] برای رضایت ۷۰٪، ۸۰٪، یا ۹۰٪ از افراد بر اساس قضاوت‌های اولیه آن‌ها زمانی‌که وارد فضایی می‌شوند، حداقل نرخ تهویه جایگزین برای حفاظت از سلامتی
راهنماهای کیفیت هوا برای اروپا (WHO ۱۹۸۷)	WHO، دفتر منطقه‌ای برای اروپا	راهنمای غلظت برای ۲۵ ماده شیمیایی، برای به کارگیری در هوای محیطهای داخلی و خارجی
آب و هوای داخلی - کیفیت هوا NKB نشریه شماره ۶۱e (NKB1991)	کمیته شمال اروپا برای مقررات ساختمان (NKB)	راهنماهای عمومی درمورد: حداقل هوای ورودی، محدود کردن پراکندگی آلاینده‌ها در فضای داخل (چرخش مجدد هوا مورد ترغیب قرار نمی‌گیرد)، استفاده از مصالح، مبلمان، فرآیندها و فعالیت‌های ساختمانی کم انتشار برای اطمینان از قابلیت نظافت ساختمان‌ها و HVAC، حفظ تعادل هوا، حداقل کارایی تعویض هوا، مستندسازی و بهره‌برداری و نگهداری لازم. و نیز: حداقل نرخ ورود هوای بیرونی که مجموع حداقل نرخ به ازای واحد سطح زیربنا و حداقل نرخ به ازای هر فرد است.
قانون نگهداری از تاسیسات بهداشتی ساختمان‌ها ۱۹۷۰ (وزرا ۱۹۷۰)	وزرای دادگستری، سلامت و رفاه؛ کار و ساختمان، ژاپن	محدوده‌های یا دامنه‌های قابل قبول برای دمای داخلی، رطوبت نسبی، سرعت هوا، غلظت دی‌اکسیدکربن، غلظت مونوکسیدکربن، و غلظت ذرات معلق را مشخص می‌کند. الزامات آموزشی و آزمایشی برای مهندسین بهداشت ساختمان و نظارت بر نگهداری و مدیریت توسط مهندسین بهداشت ساختمان را مشخص می‌کند. نیاز به نگهداری از اسناد از جمله آن‌هایی که مربوط به حالت تنظیم هوا، مدیریت تامین آب و فاضلاب، نظافت، کنترل جوندگان، حشرات و سایرآفات دارد. جرائم برای تخلف از قانون را مشخص می‌کند.

a. جامعه مهندسین سرمایش، گرمایش و تهویه هوای آمریکا

b. موسسه استانداردهای ملی آمریکا

c. انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی

d. یک olf برابر نرخ انتشار آلاینده محسوس از یک فرد استاندارد (غیر سیگاری) است. کل نرخ انتشار الاینده داخلی محسوس از افراد و دیگر منابع، به صورت olfs نشان داده می‌شود.

۵ بهترین شیوه‌ها برای حفظ IEQ

بهترین شیوه‌های پیشنهادی برای حفظ کیفیت بالای محیط زیست داخلی در سراسر جهان متفاوت هستند، با این‌حال، چندین نمونه بسیار پذیرفته شده از بهترین شیوه‌ها وجود دارد. این بخش بهترین شیوه‌هایی را که به‌طور گسترده‌ای به عنوان سودمند پذیرفته شده اند را تشریح می‌کند.

۵-۱ حفظ کیفیت مناسب هوای داخلی

۵-۱-۱ محدود کردن انتشار آلاینده‌ها از منابع داخلی

۱ محدود کردن میزان انتشار آلاینده از منابع داخلی برای حفظ مقرون به صرفه IAQ به صورت خوب ضروری است. درحالی که نرخ انتشار آلاینده‌ها از ساکنین عموماً قابل کنترل نیست، انتشار از بسیاری از دیگر منابع آلاینده می‌تواند با رعایت شیوه‌های زیر به حداقل برسد:
استعمال دخانیات تنها باید در اتاق‌های بسته و با فشار منفی محدود شده و هوای آن به محیط بیرون تخلیه شود. از طرفی سیگارکشیدن در محیط داخلی باید به طور کامل حذف شود.

۲ باید مصالح ساختمانی، مبلمان، تجهیزات اداری، و محصولات و شیوه‌های نظافت و کنترل آفات از نوعی با نرخ انتشار VOC و بوی کم انتخاب شوند. ولی به طور کلی انتخاب محصولات با انتشار کم به دلیل اطلاعات محدود درباره انتشار VOC، فقدان روش‌های استاندارد برای تعیین نرخ انتشار و درک ناکافی از اثرات بیماری ناشی از تماس با VOCها و مخلوط‌های VOC وظیفه‌ای دشوار است. بسیاری از فعالیت‌های نظافت، نقاشی و کنترل آفات باید در زمان خالی از سکنه بودن ساختمان اجرا شود. محصولات نظافت و کنترل آفات باید به درستی رقیق و سپس استفاده شوند.

۳ برای محدودکردن رشد داخلی قارچ و باکتری، باید نشت آب از سیستم لوله‌کشی و پوسته ساختمان حذف شود. مصالح ساختمانی مرطوب باید به سرعت خشک (طی مثلاً ۱ تا ۲ روز) یا حذف و جایگزین شوند. مصالح ساخت و ساز از جمله بتون، باید قبل از پوشانده (مثلاً با فرش) یا محصور شدن(مثلاً در یک حفره دیوار)، خشک شوند.

۴ برای محدود کردن منابع میکروبیولوژیکی در سیستم‌های HVAC، منابع رطوبت در سیستم‌های HVAC باید کنترل شوند. ورود قطرات آب و برف به ورودی‌های هوای خارج باید از طریق طراحی درست سیستم هوای ورودی (مثلاً استفاده از هواکش‌های ضد باران و محدودکردن سرعت هوای ورودی) محدود شود. ظروف جمع‌آوری چگالیده‌ها باید به طور کامل تخلیه و به صورت دوره‌ای تمیز شوند و دارای تله‌های مناسبی در سیستم‌های زهکشی چگالیده‌ها باشند. سرعت هوای عبوری از کویل‌های خنک کننده و رطوبت‌زنها باید محدود شود تا از واردشدن قطرات آب در جریان هوا و مرطوب‌کردن سطوح پایین‌دستی جلوگیری شود.

۵ به منظور محدودکردن منابع میکروبیولوژیکی در ساختمان‌ها، چگالیده بخار آب در داخل پوسته ساختمان و بر روی سطوح داخلی ساختمان، از جمله کفهای بتونی در تماس با خاک باید با کنترل رطوبت داخلی، استفاده درست از موانع رطوبت و عایق‌کاری گرمایی در پوسته ساختمان و کنترل فشار داخل به خارج، محدود شود. الزامات خاص با آب‌وهوا تغییر خواهد کرد.

۶ یک ساختمان نباید بر روی خاکی که دارای میزان غیرمعمول آلاینده‌های سمی (VOCها یا رادون) است، ساخته شود یا باید اقدامات خاصی برای جلوگیری از کشیده‌شدن گاز خاک به درون ساختمان به کار رود. زمانی‌که تکه‌های بتنی ساختمان بر روی خاکی ساخته شده که به طور غیرعادی مرطوب است، باید برای محدود کردن انتقال رطوبت از خاک به بتن از آب‌بندی استفاده شود.

۷ ممکن است نیاز باشد آلاینده‌های منتشر شده از منابع قوی مستقیماً به هوای بیرون هدایت شوند. محصولات احتراق حاصل از لوازم احتراقی باید به خارج فرستاده شوند. نرخ خروج هوا از انبارهای سرایداری و دستشوییها باید کافی باشد تا فشار این اتاق‌ها نسبت به اتاق‌های اطراف منفی باشد و هوا باید مستقیماً به فضای بیرون رانده شود. تجهیزات با نرخ بالای انتشار آلاینده‌ها یا بو باید در اتاقهایی ایزوله (مثل اتاق‌های ماشین‌آلات کپی یا آشپزخانه‌ها) قرار گیرند که دارای نرخ بالای تبادل هوا مستقیماً به فضای بیرون باشند. این اتاق‌ها هم باید در فشار منفی نسبت به بیرون نگهداشته شوند. گاراژهای پارکینگ باید به صورت فیزیکی از فضاهای دارای سکنه جدا شوند و نسبت به فضاهای دارای ساکن مجاور تحت فشار منفی نگهداشته شوند.

۸ اتاق‌های تجهیزات مکانیکی نباید برای ذخیره مصالح ساختمانی، حلال‌ها، ذخیره مواد پاک‌کننده، آفت‌کش‌ها، چسب‌ها، یا دیگر آلاینده‌ها یا مواد منتشر کننده بو مورد استفاده قرار گیرند.

۹ در طول ساخت ساختمان و پروژه‌های نوسازی بزرگ، ممکن است به طورغیرمعمول منابع قوی تولید ذرات و VOCها در ساختمان حضور داشته باشند. (باید تا جای ممکن از محصولات یا فرآیندهای با انتشار آلاینده، کمتر استفاده شود.)

در صورت نیاز، با استفاده از دیوارهای موقت داخلی و به وسیله کمتر نگهداشتن فشار هوا در منطقه ساخت و ساز نسبت به فضاهای دارای سکنه مجاور، ساکنین باید از این منابع آلاینده جدا شوند.

باید برای اطمینان از این‌که سیستم تهویه سرویس دهنده به قسمت ساخت‌وساز توسط گرد و غبار عملیات ساخت آلوده نشود، اقداماتی انجام شود یا این‌که این سیستم‌ها قبل از ساکن‌شدن افراد کاملاً تمیز شوند. تاخیر کوتاه(مثلاً چند روز تا چند هفته) در ساکن‌شدن در فضاهای جدید یا بازسازی‌شده می‌تواند مانع مشکلات ناشی از بو و تحریکات ناشی از انتشار VOC از مصالح جدید باشد.

۱۰ برای محدودکردن تجمع آلاینده‌ها بر روی سطوح و کاهش پتانسیل رشد میکروبیولوژیکی بر روی این سطوح، باید شیوه‌های خوب خانه‌داری به کار گرفته شوند.

۵-۱-۲ اطمینان از کیفیت مناسب هوای ورودی

اطمینان از کیفیت مناسب هوای ورودی ضروری است. در صورت امکان ساختمان‌ها باید در مناطقی با کیفیت هوای بیرونی قابل‌قبول واقع شوند. هوای ورودی از بیرون به ساختمان نباید به منابع قوی آلاینده‌ها هم چون دودکش‌های احتراق، خروجی هودهای دود، خروجی‌های بهداشتی، خیابان‌های شلوغ،اسکله‌های بارگیری،گاراژهای پارکینگ، آب ساکن، برج‌های خنک‌کننده و پوشش‌های گیاهی نزدیک باشد. هوای ورودی از بیرون باید به اندازه‌کافی از محل خروج هوای تهویه جدا باشد تا از ورود مجدد هوای خروجی به صورت عمده جلوگیری شود.

هوای ورودی برای حذف ذرات، باید فیلتر شود. حداقل بازده پیشنهادی برای فیلتراسیون ذرات در IAQ و استانداردها و دستورالعمل‌های تهویه متفاوت است، به هر حال اغلب استفاده از فیلترهایی که بیش از حداقل الزامات هستند، گزینه‌ای برای بهبود IAQ با هزینه کم یا ناچیز است. اگر غلظت‌های غیرقابل قبول آلاینده‌های گازی در هوای بیرونی وجود داشته باشد، شاید نیاز به پاک‌سازی گاز از هوا باشد.

۵-۱-۳ حفظ حداقل نرخ تهویه

باید حداقل نرخ تهویه مشخص‌شده در الزامات کدهای قابل کاربرد حفظ شود یا نرخ تهویه از آن بیشتر باشد. سیستم HVAC باید طوری طراحی شود که نرخ هوای ورودی از بیرون بتواند با استفاده از فنون عملی اندازه‌گیری شود. در ساختمان‌های دارای سیستم‌های تهویه حجم هوای متغیر[1] (VAV)، ممکن است وجود کنترل‌های خاصی نیاز باشد تا اطمینان دهد که حداقل هوای ورودی از بیرون به واحد هواساز در طول کل شرایط عملیاتی حفظ می‌شود (کوهن ۱۹۹۴، دریس و ونگر ۱۹۹۲، سولبرگ و همکاران ۱۹۹۰).

[1] Variable Air Volume

علاوه بر حفظ حداقل نرخ هوای ورودی از بیرون به داخل ساختمان، سیستم تهویه باید طوری طراحی و متعادل شود که از تحویل درست هوا به هر اتاق اصلی یا بخش از ساختمان، اطمینان حاصل شود. در سیستم‌های VAV، واحدهای کنترل VAV باید در موقعیت حداقلِ باز [1] باشند تا اطمینان دهد که هوای بیرونی مورد نیاز برای مناطق خاص ساختمان تامین می‌شود.
هنگامی‌که دریچه‌های تامین هوا و هوای برگشت، نزدیک یا روی سقف قرار گرفته باشند و هوای ورودی از هوای اتاق گرم‌تر باشد، ممکن است هوای ورودی مدار کوتاه شده و از طریق دریچه برگشت خارج شود و در نتیجه در سطح تنفس، تهویه‌ای ضعیف و اثربخشی ضعیف تعویض هوا بوجود بیاید، (مثلاً فیسک و همکاران ۱۹۹۷b، ASHRAE۱۹۹۸). سیستم تهویه باید برای تضمین اثربخشی زیاد تغییر هوا طراحی شود یا برای تصحیح اثربخشی ضعیف تغییر هوا، باید نرخ تامین هوا از بیرون افزایش یابد.

۵-۱-۴ چرخش مجدد هوای داخلی

چرخش مجدد هوای داخلی در برخی از کشورها همچون ایالات متحده یک شیوه استاندارد است و در دیگر کشورها مانند کشورهای اسکاندیناوی مورد استقبال نیست. وقتی هوا به چرخش مجدد در می‌آید، باید برای حذف ذرات فیلتر شود. ولی اغلب فیلترها تنها برای جلوگیری از کثیف‌شدن و جرم‌گرفتگی تجهیزات HVAC استفاده می‌شوند. این فیلترها بازدهی خیلی کمی برای ذرات با اندازه قابل تنفس (کوچکتر از ۲/۵ میکرومتر) دارند. استفاده از فیلترهایی که بهتر از حداقل الزامات هستند، اغلب گزینه ای برای ارتقای IAQ با افزایش هزینه‌کم یا ناچیز است.

۵-۱-۵ نگهداری سیستم HVAC

برای اطمینان از تحویل درست هوای بیرونی به سراسر ساختمان و برای محدودکردن رشد میکروارگانیسم‌ها در سیستم، نگهداری منظم پیش‌گیرانه سیستم HVAC ضروری است. برای نگهداری دوره‌ای باید یک طرح مکتوب تدوین و دنبال شود و فعالیت‌های نگهداری باید مستند شوند. عناصر نگهداری دوره‌ای که برای حفظ یک IEQ مناسب، مهم هستند عبارتند از: تغییر فیلترها[2]، نظافت ظروف تخلیه و کویل‌های خنک‌کننده، چک کردن عملیات فن، بررسی دمپرهایی که نرخ جریان هوا را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تست و متعادل‌کردن سیستم HVAC ممکن است در شرایط زیر ضروری باشد:
الف) بعد از تغییرات اساسی در ساختمان، سیستم HVAC، تعداد ساکنین، یا فعالیت داخل ساختمان ب) اگر تنظیمات کنترل توسط کارمندان نگهداری تنظیم مجدد شده ، ج) زمانی‌که سوابق دقیق دردسترس نیست.

۵-۱-۶ رویکرد یکپارچه به IEQ

این که رویکرد جامع یا کل ساختمان موثرترین ابزار صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌ها است به طورگسترده‌ای مورد قبول است زیرا عملکرد انرژی ساختمان بستگی به برهمکنش سیستم‌های ساختمان و کنترل و عملیات آن‌ها دارد. عملکرد IEQ یک ساختمان نیز به برهمکنش‌های میان طراحی ، مصالح ، و عملیات، کنترل و نگهداری ساختمان بستگی دارد. بنابراین رویکرد جامع یا کل ساختمان برای حداکثرسازی IEQ توصیه شده است. چنین رویکرد جامعی ممکن است شامل توجه جامع به موارد زیر باشد: الف) اهداف یا مقاصد IEQ، ب)ساکنین و منابع آلاینده داخلی و سینکهای آلاینده‌ها و تغییرات آن‌ها در طول زمان، ج) ساختمان و طراحی HVAC ، د) راه‌اندازی، ه) آموزش و تحصیل و) عملیات و نگهداری ساختمان.

---

[1] وقتی‌که بارهای سرمایشی داخلی کم هستند، ممکن است دمای هوای ورودی نیاز به افزایش داشته باشد تا از سرمایش بیش از حد فضای تحت کنترل جلوگیری شود.

[2] فیلترها منبعی از بوها می‌شوند. هم چنین، میکروارگانیسم‌ها ممکن است در فیلترها تجمع کنند.

۲-۵ طرح‌های مدیریت IEQ و برنامه‌های مربوطه

برای کمک به حفظ IEQ با کیفیت بالا و سطح بالای رضایت ساکنین از IEQ، توصیه شده استقرار و پیاده‌سازی طرح‌های مدیریت IEQ انجام شود. عناصر رایج طرح‌های مدیریت IEQ شامل موارد زیر است[۱]:

۱ انتخاب یک مدیر IEQ، مسئول در مدیریت و هماهنگی کل وجوه IEQ
۲ تدوین یک پروفایل IEQ از ساختمان
۳ تعیین مسئولیت‌ها و آموزش کارمندان
۴ تهیه یک چک‌لیست IEQ
۵ بازرسی دوره‌ای ساختمان و سیستم HVAC
۶ شیوه‌های عملیات و نگهداری ساختمان برای حفظ IEQ
۷ رویه‌های ویژه برای ثبت و پاسخگویی به شکایات ساکنین
۸ شیوه‌های خاص برای حفظ IEQ در طول بازسازی ساختمان، نقاشی، سم‌پاشی، یا سایر دوره‌های تولید زیاد آلاینده داخلی
۹ حفظ و نگهداری اسناد IEQ

در ایالات متحده، یک برنامه غیرانتفاعی بخش خصوصی مستقل به نام Building Air Quality Alliance (BAQA) به صاحبان و مدیران ساختمان‌هایی روش شناسایی را ارائه می‌دهد که در درجه اول متعهد به حفظ IAQ از طریق اجرای یک طرح مدیریت پیشگام هستند. BAQA (http://www.baqa.org) دارای یک پروتکل مرحله به مرحله عملی به صورت چک لیست است که هر ساله با کمک یک متخصص IEQ بازبینی می‌شود.

یک بیمه‌نامه IEQ درحال آماده شدن برای ساختمان‌هایی است که از راهنماهای BAQA پیروی می‌کنند. دیگر بیمه‌نامه‌های در حال تدوین به طور خاص به فرآیند BAQA مرتبط نیستند اما بنابر گزارش‌ها نیازمند یک ارزیابی جامع ساختمان خواهند بود.

اصولی که فرآیند BAQA بر آنها استوار هستند، به‌طور قابل ملاحظه‌ای از سند راهنمایی تحت عنوان کیفیت هوای ساختمان[۲] که توسط EPA و موسسه ملی ایمنی و سلامت شغلی (NIOSH) امریکا تهیه‌شده: EPA/NIOSH ۱۹۹۱ (http://www.epa.gov/reg5oair/radon/healbld1.htm#bldgaqguinfo) استخراج شده است.

هم‌چنین سازمان محیط زیست و موسسه ملی ایمنی و سلامت شغلی(NIOSH) امریکا اخیراً یک برنامه جدید برچسب‌گذاری انرژی استار ساختمان[۳] (http://www.epa.gov/buildinglabel) را اعلام کرده اند. برپایه طرح‌های فعلی، ساختمان‌های تجاری که عملکرد انرژی‌شان در بین ۲۵٪ بالایی در کشور است و الزامات خاصی را برای رسیدن به آسایش و IEQ دارند، واجد دریافت جایزه و پلاک انرژی استار ساختمان خواهند بود.

یکی دیگر از سازمان‌های بخش خصوصی که بهبود IEQ را به همراه کارایی انرژی ترویج می‌دهد، شورای ساختمان سبز ایالات متحده[۴](http://www.usgbc.org) است. شورای ساختمان سبز دارای یک سیستم رتبه‌بندی ساختمان است که LEED خوانده می‌شود (http://www.usgbc.org/index.htm).

۶ ارتباط بین راهکارهای صرفه‌جویی انرژی و IEQ

این بخش راهکارهای صرفه‌جویی انرژی متداول برای ساختمان تجاری را برمی‌شمارد، اثرات بالقوه آن‌ها بر IEQ را تشریح می‌کند، و اقدامات احتیاطی یا تعدیلی را که می‌تواند به اطمینان از IEQ قابل قبول کمک کند، شناسایی می‌کند. اطلاعات اولیه در *جدول۲*

---

[۱] برای شرح دقیق عناصر یک طرح مدیریت IEQ ر.ک. طرح اجرایی کیفیت هوای ساختمان، سازمان حفاظت محیط زیست و NIOSH، http://www.epa.gov/IAQ/base/actionpl.html

[2] Building Air Quality
[3] Energy Star Building
[4] US Green Buildings Council

ارائه شده است. منابع ذکر شده برای بسیاری از راهکارهای صرفه‌جویی انرژی، اطلاعات بیشتری را در مورد بازخوردهای IEQ یا اقدامات احتیاطی و تعدیلی مربوطه، فراهم می‌آورد. راهکارهایی که با علامت "♦" در *جدول ۲* مشخص شده‌اند، نیاز به توجه ویژه دارند زیرا آن‌ها اغلب به طور هم‌زمان IEQ را بهبود داده و انرژی را صرفه‌جویی می‌کنند. به دلیل منافع رو به رشد IEQ، طرح‌های کارایی انرژی که انتظار می‌رود IEQ را حفظ کند یا بهبود بخشد، دارای مزیتی رقابتی نسبت به طرح‌هایی است که IEQ را درنظر نگرفته‌اند.

ستون آخر *جدول ۲* هر راهکار صرفه‌جویی انرژی را به مرتبط‌ترین روشهای اندازه‌گیری و صحه‌گذاری[1] IEQ (M&V) پیوند می‌دهد که آن هم در *جدول ۴* ارائه شده است.

[1] Measurement and Verification

جدول ۲: فهرست راهکارهای صرفه‌جویی انرژی و اثرات بالقوه آن‌ها بر IEQ، و اقدامات احتیاطی یا تعدیلی مربوطه

راهکار صرفه‌جویی انرژی	اثرات بالقوه بر IEQ	اقدامات احتیاطی یا تعدیلی IEQ	ردیف جدول ۴
روشنایی			
♦ لامپ‌ها، بالاست‌ها، چراغهای انرژی کارامد (IES ۱۹۹۳)	اگر سیستم روشنایی به درستی طراحی و نصب شده باشد، معمولاً بهبود کیفیت روشنایی رخ می‌دهد..	تاکید بر کیفیت روشنایی در طراحی. چک‌کردن میزان روشنایی و تصاویر منعکس‌شده در صفحه نمایش‌های ویدئویی. تامین روشنایی قابل تنظیم توسط کاربر. اطمینان از این‌که اصلاحات روشنایی منجر به اختلال و آزادسازی آزبست، فایبرگلاس یا گرد و غبار تحریک‌کننده نمی‌شود.	۱۸ - ۲۰
کنترل‌های خودکار روشنایی: حسگرهای حضور، تضعیف نور (IES ۱۹۹۳)	بهبود کیفیت روشنایی امکان پذیر است. سیستم‌های نادرست کنترل عملیات می‌تواند کیفیت روشنایی را تنزل دهد.	تاکید بر کیفیت روشنایی در طراحی. راه‌اندازی سیستم‌های کنترل. تامین روشنایی در کنترل کاربر در صورت امکان.	۱۸ - ۲۰
حذف لامپ‌ها و چراغها	ریسک میزان ناکافی روشنایی موضعی یا عمومی.	اطمینان از میزان و توزیع مناسب روشنایی. تامین روشنایی قابل کنترل توسط ساکنین در جای ممکن.	۱۸ - ۲۰
استفاده از پنجره، نورگیرها و لوله‌های انتقال روشنایی برای تامین روشنایی طبیعی (IES ۱۹۹۳)	بهبود یا تنزل کیفیت روشنایی بسته به قرارگیری و مشخصات نوری عناصر ساختمانی تامین کننده روشنایی روز ، امکان پذیر است. شواهدی وجود دارد که مجاورت با پنجره‌ها، حتی زمانی‌که آن‌ها نتوانند باز شوند، با میزان کمی از علائم بیماری نامشخص مرتبط با ساختمان همراه است.	اطمینان از طراحی درست سیستم روشنایی طبیعی برای جلوگیری از مشکلات روشنایی هم‌چون درخشش، یا سطوح روشنایی نادرست یا غیریکسان. چک کردن میزان روشنایی. تامین روشنایی قابل‌کنترل توسط ساکنین.	۱۸ - ۲۰
کرکره‌های نورگیر با قابلیت کنترل خودکار و دستی، نورگیر ثابت، لایه‌های قابل نصب بر روی شیشه‌ها (IES ۱۹۹۳)	بهبود کیفیت روشنایی امکان‌پذیر است. عملکرد نادرست کنترلهای نورگیر می‌تواند کیفیت روشنایی را تنزل دهد. نورگیر می‌تواند انتشار بالقوه آلاینده‌ها از مواد داخلی که در اثر تابش مستقیم نور خورشید ایجاد می‌شود (یا افزایش می‌یابد) را کاهش دهد.	راه‌اندازی سیستم‌های کنترل نورگیر برای اطمینان از عملیات درست. تامین روشنایی قابل‌کنترل توسط ساکنین.	۱۸ - ۲۰

جدول ۲: فهرست راهکارهای صرفه‌جویی انرژی و اثرات بالقوه آن‌ها بر IEQ و اقدامات احتیاطی یا تعدیلی مربوطه

راهکار صرفه‌جویی انرژی	اثرات بالقوه بر IEQ	اقدامات احتیاطی یا تعدیلی IEQ	ردیف جدول ۴
راهکارهای صرفه‌جویی انرژی HVAC			
بهبود کارایی اجزاء HVAC (موتورها، پمپ‌ها، فن‌ها، چیلرها)	درصورتی‌که اجزاء ظرفیت کافی داشته باشند، تاثیر سوء بر IEQ غیر محتمل است.	راه‌اندازی سیستم HVAC برای اطمینان از عملکرد درست تحت بار کامل و بار جزئی در حالت‌های سرمایش و گرمایش. (ASHRAE ۱۹۹۶C)	NA
♦ بازیافت گرما از هوای تهویه اگزوز یا دیگر منابع اتلاف گرما.	معمولاً اگر سیستم بازیافت گرما موجب افزایش در نرخ تامین هوای بیرونی شود، IEQ بهبود می‌یابد. ر.ک. بحث اکونومایزر هوای بیرونی در ارتباط با آلاینده‌های هوای بیرونی. برخی از سیستم‌های بازیافت گرما، رطوبت یا آلاینده‌ها را از بیرون به جریان هوای ورودی انتقال می‌دهد. (ASHRAE ۱۹۹۲)	ر.ک. بحث اکونومایزر هوای بیرونی در ارتباط با آلاینده‌های هوای بیرونی. حصول اطمینان از این‌که سیستم بازیافت، رطوبت ناخواسته و آلاینده‌ها را به جریان هوای ورودی انتقال نمی‌دهد.	۲، ۴، ۵، ۸، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۲۱، ۲۲
کاهش زمان کارکرد اجزاء HVAC (مانند فن‌ها، چیلرها) برای صرفه‌جویی در انرژی یا محدود کردن دیماند انرژی در اوج مصرف.	خطر بد شدن محیط زیست گرمایی داخلی و/یا افزایش غلظت آلاینده هوای داخلی اگر اجزاء در طول دوره حضور ساکنان کار نکنند. هم‌چنین، زمانی‌که سیستم‌های HVAC کار نمی‌کنند، اختلافات فشار داخلی و تبادل آلاینده مربوطه بین مناطق یا بین محیط بیرون و داخل،کنترل نشده خواهند بود.	دوره کارکرد باید به قدر کافی باشد تا از آسایش حرارتی و تهویه قابل قبول حین حضور ساکنین، اطمینان دهد. پیش از ساکن‌شدن افراد تهویه به هوای بیرونی باید انجام شود تا غلظت آلاینده‌های هوایی را که از مصالح و مبلمان ساختمان در طول دوره‌های بدون سکنه/تهویه کم منتشر می‌شود، کاهش یابد. به حداقل رساندن منابع آلاینده داخلی تا بار آلودگی بر روی سیستم تهویه کاهش یابد. خاموش کردن تجهیزات برای محدود کردن دیماند اوج مصرف انرژی باید به‌ندرت و در مدت زمان محدود باشد. استفاده از سیستم‌های HVAC انرژی کارآمد یا ذخیره‌سازی انرژی گرمایی برای محدود کردن دیماندهای اوج مصرف بدون به خطر انداختن آسایش حرارتی. اغلب مرحله بندی راه‌اندازی تجهیزات HVAC نیز بدون اثر سوء بر IEQ، می‌تواند دیماند اوج مصرف را کاهش دهد	۱ – ۸، ۲۱، ۲۲
♦ پیش‌سرمایش شبانگاهی با استفاده از هوای خارجی. (ASHRAE ۱۹۹۵)	تهویه شبانه ممکن است منجر به کاهش غلظت‌های داخلی آلاینده‌های تولید شده در داخل در زمانی که ساکنین به محل کار می‌رسند، شود. تهویه شبانه با هوای مرطوب ممکن است منجر به تراکم بر روی تجهیزات HVAC یا اجزاء ساختمان شود که خطر رشد میکروارگانیسم‌ها را افزایش می‌دهد.	طراحی و کارکردن سیستم‌های تهویه شبانه برای جلوگیری از مشکلات رطوبت. اغلب، کنترل‌ها از سرمایش شبانه در زمانی‌که دمای نقطه شبنم بیش از حد باشد، جلوگیری می‌کند.	۲، ۱۵، ۲۱، ۲۲

جدول ۲: فهرست راهکارهای صرفه‌جویی انرژی و اثرات بالقوه آن‌ها بر IEQ و اقدامات احتیاطی یا تعدیلی مربوطه

راهکار صرفه‌جویی انرژی	اثرات بالقوه بر IEQ	اقدامات احتیاطی یا تعدیلی IEQ	ردیف جدول ۴
♦ استفاده از اکونومایزر[a] هوای بیرونی برای سرمایش رایگان.	عموماً، IEQ به دلیل افزایش نرخ متوسط تهویه، بهبود خواهد یافت. (سپنن و همکاران ۱۹۸۹، موداری و همکاران ۱۹۹۶) استفاده از اکونومایزر در طول دوره‌هایی که غلظت‌های آلاینده بیرونی زیاد است، می‌تواند غلظت آلاینده‌های خارجی را در داخل افزایش دهد. استفاده از اکونومایزر در آب و هوای مرطوب ممکن است رطوبت داخلی و مشکلات بالقوه IEQ مربوط به رطوبت را افزایش دهد.	تا جایی که ممکن است باید دریچه ورود هوا از بیرون را دور از منابع قوی آلاینده‌های هم‌چون اگزوزهای خودرو، اگزوزهای HVAC، محل نگهداری زباله، و دودکش‌های رستورانها قرار گیرد. (ASHRAE ۱۹۹۶b) اگر هوای خارج به شدت آلوده به ذرات معلق باشد باید از فیلترهای هوای با کارایی بالا استفاده شود. اگر هوای خارجی به شدت آلوده به اوزون باشد چک کردن میزان اوزون داخلی و/یا استفاده از فیلترهای زغال فعال باید مد نظر قرار گیرد. طراحی و کنترل اکونومایزر HVAC برای جلوگیری از مشکلات رطوبت. کنترل کننده‌های اکونومایزر و حداقل نرخ جریان هوای بیرونی مرتبط باید به‌طور منظم کالیبره و نگهداری شود.	۲ ، ۴، ۵، ۸، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۲۱، ۲۲
استفاده از سیستم‌های تهویه با حجم هوای متغیر (VAV)[1] به جای سیستم حجم ثابت.	ریسک تامین ناکافی هوای بیرونی در زمانی‌که بارهای سرمایش یا گرمایش داخلی کم است (موداری و همکاران ۱۹۹۶). ر.ک. بحث حداقل تامین هوای بیرونی با سیستم‌های VAV در بخش ۴-۱. علی‌الخصوص در سیستم‌های HVAC با نسبت هوای بیرونی ثابت، وقتی که حداقل ورود هوای بیرونی حفظ شده و دمای هوای ورود افزایش نیافته ، ریسک سرمایش بیش از حد و عدم آسایش حرارتی در زمان کم بودن بارهای سرمایش وجود دارد. ریسک ایجاد مشکلات آسایش حرارتی در اثر کاهش شدید[2] هوای ورودی[b].	حفظ تامین هوای بیرونی به هواساز در / یا بالای حداقل میزان مورد نیاز برای کل نرخ ورود جریان هوا. (سولبرگ و همکاران ۱۹۹۰، کوهن ۱۹۹۴، جانو و همکاران ۱۹۹۵، یوترسون و سوئر ۱۹۹۸) اجتناب از استفاده از واحدهای کنترل VAV که در زمان رضایت‌بخش بودن دمای فضا ، به طور کامل بسته می‌شوند. ممکن است در زمانی که بارهای سرمایش کم است،دمای هوای ورودی نیاز به افزایش داشته باشد. بررسی کلی و موضعی ورود هوای بیرونی و دمای هوای داخلی برای محدوده‌ای از بارهای سرمایشی. استفاده از دریچه‌های ورود وجود حداقل نرخ و دمای هوای ورودی به طوری‌که باعث کاهش شدید هوای ورودی و عدم آسایش حرارتی نشود.	۲، ۵ – ۳، ۸، ۲۱، ۲۲
استفاده از درایوهای سرعت متغیر به جای دمپرها برای کنترل جریان.	هیچ تاثیری بر IEQ مورد انتظار نیست.	استفاده از کنترل‌کننده‌های جریانی که به جریان‌های هوای اندازه‌گیری شده بستگی دارند نه به جریان‌های تئوری یا طراحی.	۴، ۵
کاهش افت فشار هوا و نشت هوا در سیستم‌های کانال‌کشی.	ممکن است موجب بهبود تامین هوا و کنترل گرمایی شود. می‌تواند سر و صدا در سیستم‌های کانال‌کشی را کاهش دهد.	ممکن است متعادل‌سازی سیستم هوا بعد از اصلاحات ضروری باشد. اطمینان از کیفیت سوار کردن کانال‌کشی برای کاهش سر و صدا.	۲،۳

[1] Variable Air Volume
[2] Supply air dumping

جدول ۲: فهرست راهکارهای صرفه‌جویی انرژی و اثرات بالقوه آن‌ها بر IEQ و اقدامات احتیاطی یا تعدیلی مربوطه

راهکار صرفه‌جویی انرژی	اثرات بالقوه بر IEQ	اقدامات احتیاطی یا تعدیلی IEQ	ردیف جدول ۴
استفاده از سیستمهای کنترل کامپیوتری دیجیتال HVAC ، سیستمهای پایش و کنترل انرژی	با استفاده درست از سیستمهای کنترل، انعطاف‌پذیری و سهولت کنترل HVAC افزایش می‌یابد و به این ترتیب IEQ بهبود می‌یابد. استفاده از تهویه تحت کنترل تقاضا بر اساس سنسورهای آلاینده با کنترلهای دیجیتال سهولت می‌یابد.	اطمینان از کارکرد درست سیستم کنترل هنگام راه اندازی (ASHRAE 1996c). اطمینان از آموزش کافی اپراتورهای ساختمان.	۵-۲ و۸
استفاده از گرمایش و سرمایش تابشی آبی (hydronic) و در نتیجه صرفه‌جویی انرژی در دمنده	متوسط دمای تابشی، تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بهبود و تخریب آسایش حرارتی هر دو ممکن است (به عنوان مثال ریسک جریان ناشی از حرکات زیاد هوا کاهش اما ریسک عدم آسایش حرارتی ناشی از حرکت کم هوا افزایش می‌یابد). در سیستم‌های آبی ریسک نشت یا چگالش آب بیشتر است که این منجر به رشد میکروارگانیسمها می‌شود. اگر سرمایش تابشی به دلیل کاهش ظرفیت فن‌ها و داکت‌ها، مانع استفاده از اکونومایزر هوای بیرونی شود، نرخ متوسط تامین هوای بیرونی کم می‌شود.	روش‌های طراحی، عملیات و نگهداری سیستم‌های گرمایش و سرمایش تابشی آبی (hydronic) باید از آسایش حرارتی و تامین هوای بیرونی قابل قبول و ریسک‌های کم نشت و چگالش آب اطمینان دهد. نظافت دوره‌ای پنل‌های تابشی یا رادیاتورها ممکن است ضروری باشد. نشتی‌های آب باید به سرعت تعمیر شود. مصالح آسیب‌دیده با آب باید به سرعت خشک یا تعویض شوند.	۱ – ۵، ۸، ۲۱، ۲۲
کاهش میانگین یا حداقل نرخ ورود هوای بیرونی، (خصوصاً بستن دمپرهای هوای بیرونی)	اولین اثر این است که غلظت آلاینده‌های هوای تولیدشده در داخل افزایش خواهد یافت که حتی اگر غلظت آلاینده‌ها از بیرون کمتر شود به طور بالقوه منجر به شکایات و عوارض نامطلوب بیماری می‌شود (خصوصاً آلاینده‌هایی مثل اوزون و ذراتی که با سطوح داخلی واکنش داده یا بر روی آنها رسوب می‌کنند). در ساختمان‌های با تهویه مطبوع، رطوبت داخلی هم ممکن است کاهش یابد.	حفظ میزان تامین هوای بیرونی در حد کدها و استانداردهای قابل اجرا. دمپرهای هوای بیرونی را در صورت حضور ساکنان کاملاً نبندید. به حداقل رساندن منابع آلاینده داخلی برای کاهش بار آلودگی بر سیستم تهویه. استفاده از پاک‌کننده‌های گازی یا ذره‌ای هوای بهتر.	۴، ۵، ۸، ۲۱، ۲۲
♦ افزایش دمای هوای ورودی در هنگام سرمایش فضا (ممکن است مصرف انرژی چیلر را کاهش دهد اما مصرف انرژی فن را افزایش می‌دهد).	دمای بالای هوای ورودی در سیستم‌های تهویه VAV نرخ جریان هوای ورودی را افزایش خواهد داد. در بسیاری از سیستم‌های VAV، نرخ‌های جریان هوای بیرونی هم زیاد می‌شود که منجر به کاهش غلظت آلاینده‌های هوای تولید شده در داخل می‌شود. افزایش دمای آب سرد، اغلب منجر به کاهش حذف رطوبت توسط سیستم‌های HVAC شده و منجر به رطوبت داخلی بیشتر می‌شود.	حفظ دمای آب خنک به اندازه کافی کم، برای کنترل رطوبت داخلی.	۳ - ۱، ۴، ۵، ۸

جدول ۲: فهرست راهکارهای صرفه‌جویی انرژی و اثرات بالقوه آن‌ها بر IEQ و اقدامات احتیاطی یا تعدیلی مربوطه

راهکار صرفه‌جویی انرژی	اثرات بالقوه بر IEQ	اقدامات احتیاطی یا تعدیلی IEQ	ردیف جدول ۴
افزایش نقاط تنظیم ترموستات درطول دوره‌های سرمایش یا کاهش نقاط تنظیم ترموستات در طول دوره‌های گرمایش برای صرفه‌جویی در انرژی یا محدود کردن دیماند اوج مصرف. (ASHRAE ۱۹۹۲b، ایزو ۱۹۹۴)	احتمال دارد که دماهای نزدیک یا خارج از مرزهای مناطق آسایش حرارتی مورد کاربرد محلی، خصوصاً در ساختمان‌های با تهویه مطبوع هوای بدون شرایط کنترل ساکنین، شکایات از عدم آسایش حرارتی را افزایش دهد. وقتی دما بین ۱۸ °C و ۲۸ °C زیاد می‌شود، احساس پذیرش ساکنین از کیفیت هوا کاهش می‌یابد (فنگ و همکاران ۱۹۹۷). در برخی از مطالعات افزایش دمای هوای با افزایش شیوع علائم حاد بیماری مرتبط با ساختمان همراه است (۱۹۹۳ مندل).	حفظ دماها داخل مرزهای استانداردهای آسایش حرارتی مورد کاربرد. فراهم کردن فن‌ها و بخاریهای قابل کنترل توسط ساکنین . پنجره‌ها و دیوارهای با کارایی گرمایی می‌تواند به حفظ آسایش حرارتی کمک کند (ر.ک. پوسته ساختمان انرژی کارآمد). تنظیم مجدد دما برای محدود کردن دیماندهای انرژی اوج مصرف باید به ندرت و در دوره‌های محدود باشد. استفاده از سیستم‌های HVAC انرژی کارامد یا ذخیره انرژی حرارتی برای محدود کردن دیماند انرژی اوج مصرف بدون از دست دادن آسایش حرارتی.	۱ – ۳
افزایش عایق‌کاری حرارتی داخلی یا خارجی سیستم‌های لوله‌کشی و کانال‌کشی	افزایش عایق‌کاری معمولاً اثر ناچیزی بر IEQ دارد. اگر عایق‌کاری سیستم سیستم‌های HVAC را قادر به برآوردن اوج بارهای حرارتی سازد، پتانسیل برای بهبود آسایش حرارتی وجود دارد. افزایش عایق‌کاری همراه با تله‌های بخار می‌تواند پتانسیل چگالش رطوبت و رشد میکروارگانیسم‌ها را کاهش دهد. اگر فیبرها یا ذرات عایق‌کاری وارد فضای دارای سکنه شوند یا اگر عایق‌کاری، VOCها را به میزان بالایی آزاد کند، موجب افزایش بالقوه علائم تحریک می‌شود. عایق‌کاری داخل کانال‌ها می‌تواند سروصدای فن را کاهش دهد (۱۹۹۵ ASHRAE). عایق‌کاری داخل کانال‌ها می‌تواند محل تجمع میکروارگانیسم‌ها شود که به طور بالقوه منجر به افزایش غلظت آئروسولهای زیستی و VOCهای میکروبیولوژیکی شود.	اطمینان از این‌که عایق‌کاری فیبری از هوای داخلی جداسازی شده باشد. حداقل سازی فیبر یا ذرات آزاد شده در طول نصب عایق‌کاری و نظافت محیط قبل از ساکن شدن افراد. استفاده از محصولات عایق‌کاری با میزان انتشار کم VOCها، علی‌الخصوص بوها. سطح عایق نصب شده در داخل کانال‌ها باید از آزاد شدن فیبرها یا ذرات جلوگیری کرده و تخریب نشود. اگر احتمال رود عایق‌کاری داخلی کانال مرطوب یا آسیب دیده می‌شود ، نباید از آن استفاده کرد. عایق مرطوب یا آسیب دیده باید به سرعت حذف یا تعمیر شود.	۱ - ۳
♦ تهویه جابه‌جایی (سیستم‌های تهویه جابه‌جایی معمولاً ۱۰۰٪ از هوای بیرونی استفاده می‌کنند و هدف اصلی این کار بهبود IEQ است. افزودن سیستم بازیافت حرارت ممکن است برای صرفه‌جویی‌های انرژی نسبت به برخی از دیگر روش‌های HVAC ضروری باشد.)	معمولاً غلظت آلاینده‌های هوای تولیدشده در محدوده تنفسی کاهش می‌یابد. (سپنن و همکاران ۱۹۸۹، یوان و همکاران ۱۹۹۸). کاهش انتقال آلاینده‌های منابع به دیگر اتاق‌ها. کاهش ریسک جریانهای حرارتی هوا. افزایش ریسک عدم آسایش حرارتی به دلیل گرادیان عمودی زیاد در دمای هوا. افزایش بالقوه غلظت‌های آلاینده‌های خارجی در محیط داخلی ، علی‌الخصوص آلاینده‌هایی هم‌چون اوزون و ذراتی که با سطوح داخلی واکنش داده یا بر روی آن‌ها رسوب می‌کنند.	ر.ک. اکونومایزر هوای بیرونی مرتبط با آلاینده‌های هوای خارجی. طراحی و راه‌اندازی سیستم‌های تهویه جابه‌جایی با توجه به اجتناب از جریان هوا در مجاورت منابع پخش‌کننده و جلوگیری از گرادیانهای بیش از حد در دمای هوا. تهویه جابه‌جایی بدون پنل‌های سرمایش تابشی، تنها می‌تواند با تولید حرارت داخلی کمتر از ۴۰ Wm^{-2} موثر باشد.	۵ -۱، ۸، ۲۱، ۲۲

جدول ۲: فهرست راهکارهای صرفه‌جویی انرژی و اثرات بالقوه آن‌ها بر IEQ و اقدامات احتیاطی یا تعدیلی مربوطه

راهکار صرفه‌جویی انرژی	اثرات بالقوه بر IEQ	اقدامات احتیاطی یا تعدیلی IEQ	ردیف جدول ۴
تهویه کنترل‌شده دیماند مبنی بر دی‌اکسیدکربن(DCV)[1] (کاپنتر ۱۹۹۶، د آلمدیا و فیسک ۱۹۹۷، آژانس بین‌المللی انرژی ۱۹۹۰ و ۱۹۹۲، امریچ و پرسیلی ۱۹۹۳، ASTM ۱۹۹۸)	IEQ می‌تواند بسته به شرایط مرجع و استراتژی کنترل هوای بیرونی مورد استفاده برای DCV بهبود یا تنزل یابد. بهبود IEQ در فضاهایی با ساکنین زیاد که در آن آلاینده‌های تولیدشده توسط ساکنین غالب است، محتمل‌تر است. سیستم‌های DCV که هوای بیرونی را تنها پس از افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از میزان تنظیم‌شده تامین می‌کنند می‌توانند منجر به افزایش اساسی غلظت‌های فضای داخلی از آلاینده‌های ناشی از مصالح و مبلمان ساختمان در طول چند ساعت اول پس از اشغال ساکنین شوند.	اجتناب از DCV مبنی بر دی‌اکسیدکربن (CO_2) در زمانی‌که ساختمان دارای انتشار آلاینده قوی از منابعی به غیر از ساکنین است. تهویه ساختمان قبل از اسکان افراد برای کاهش غلظت آلاینده‌های ناشی از منابعی غیر ساکنین. محلهای اندازه‌گیری دی‌اکسیدکربن باید داده‌هایی را فراهم آورد که نشانگر غلظت در فضاهای دارای سکنه باشد. در نظر گیری استراتژی‌های کنترل پیشرفته DCV که هوای خارجی را به تناسب نرخ تولید دی‌اکسیدکربن داخلی وارد می‌کنند که نسبت به غلظت دی‌اکسیدکربن، جانشین بهتری برای ساکنین است (فدرسپیل ۱۹۹۶). به صورت دوره‌ای کالیبراسیون حسگر دی‌اکسیدکربن چک شود.	۴، ۵، ۸، ۱۵، ۲۱، ۲۲
♦ استفاده از تهویه طبیعی با پنجره‌های بازشو به عنوان جانشینی برای تهویه مطبوع. (اولگ‌یای ۱۹۹۳، کونیکسبرگر و همکاران ۱۹۷۳، واتسون و لابز ۱۹۸۳، آوبی ۱۹۹۱، گیوونی ۱۹۹۷، بوش ۱۹۹۲).	در برخی از شرایط آب و هوایی، پذیرش حرارتی از محیط زیست ممکن است افزایش یابد چرا که ساکنین در ساختمان‌های با تهویه طبیعی محمل محدوده وسیع‌تری از شرایط گرمایی را دارند (دو دیبر و براگر ۱۹۹۸). آسایش حرارتی ممکن است به دلیل دما و رطوبت داخلی بالا، کاهش یابد. به طور متوسط، ساکنین ساختمان‌های با تهویه طبیعی و پنجره‌های بازشو، علائم حاد نامشخص بیماری کمتری را گزارش می‌کنند. پنجره‌های باز اجازه ورود سرو صداهای بیرونی را می‌دهند که این به طور بالقوه از نظرصوتی محیطزیست داخلی را تخریب می‌کند.	طراحی ساختمان، مانند اندازه، جانمایی، دریچه‌های ورودی هوای بیرونی، موقعیت دریچه‌ها و نورگیر باید از تهویه طبیعی و شرایط حرارتی مناسب در سراسر ساختمان اطمینان دهد. به طور کلی تهویه دوطرفه مطلوب است. فن‌های قابل کنترل توسط ساکنین می‌توانند آسایش حرارتی را افزایش دهند. پنجره‌های بازشو نباید در مجاورت منابع متمرکز آلاینده‌ها یا صداهای آزار دهنده بیرون واقع شوند.	۱-۳، ۶، ۸، ۲۱، ۲۲
♦ نگهداری پیش‌گیرانه از سیستم HVAC	نگهداری پیش‌گیرانه به اطمینان از عملیات مناسب HVAC و برخی اوقات به صرفه‌جویی انرژی و ارتقاء IEQ کمک می‌کند. راهکارهای نگهداری پیش‌گیرانه‌ای که ممکن است موجب صرفه‌جویی انرژی و ارتقای IEQ شوند عبارتند از: کالیبراسیون سنسورهای دما و رطوبت، جایگزینی دوره‌ای فیلترهای هوا، نگهداری سیستم‌های کنترل جریان و فشار هوا، متعادل‌سازی جریان هوا برای تامین توزیع مناسب هوا، و تمیز کردن کویل‌ها و دیگر اجزاء برای کاهش مقاومت جریان هوا و منابع آلاینده در سیستم HVAC.	اطمینان از این‌که نگهداری پیش‌گیرانه، فیبرهای آزبست را مختل یا آزاد نمی‌کند (آزبست در موتورخانه بسیاری از ساختمان‌های قدیمی‌تر وجود دارد).	۲، ۳، ۲۱، ۲۲

[1] Demand Controlled Ventilation

جدول ۲: فهرست راهکارهای صرفه‌جویی انرژی و اثرات بالقوه آن‌ها بر IEQ و اقدامات احتیاطی یا تعدیلی مربوطه

راهکار صرفه‌جویی انرژی	اثرات بالقوه بر IEQ	اقدامات احتیاطی یا تعدیلی IEQ	ردیف جدول ۴
پوسته ساختمان انرژی کارآمد:			
افزایش عایق‌کاری حرارتی در پوسته ساختمان	اغلب اثر ناچیزی بر IEQ دارد. اثر افزایش آسایش حرارتی دارد زیرا عایق‌کاری در برآوردن بارهای حرارتی به سیستم HVAC کمک می‌کند و موجب کاهش تبادل حرارتی تابشی بین ساکنین و پوسته ساختمان می‌شود. اگر فیبرها یا چسب‌های ناشی از عایق‌کاری وارد فضای مسکونی شود یا اگر مقدار زیادی VOC تولید کند، موجب افزایش علائم تحریک می‌شود.	اطمینان از این‌که عایق‌کاری فیبری از هوای داخلی جداسازی شده باشد. حداقل کردن فیبر یا ذرات آزادشده در طول نصب عایق‌کاری و انجام نظافت قبل از اسکان افراد. استفاده از محصولات عایق‌کاری با نرخ کم انتشار VOC، علی‌الخصوص بوها.	۳-۱
♦ پنجره‌های با کارایی حرارتی	بهبود در آسایش حرارتی از طریق کاهش جریان هوا و کاهش تبادل حرارت تابشی بین ساکنین و پنجره‌ها امکان‌پذیر است (ASHRAE ۱۹۹۵b، هیسلبرگ ۱۹۹۴، هیسلبرگ و همکاران ۱۹۹۵). کاهش ریسک چگالش بر روی پنجره‌ها و ریسک‌های مربوط به رشد میکروارگانیسم‌ها. پنجره‌های با کارایی حرارتی به جداسازی فضای داخلی از صداهای بیرونی کمک می‌کنند.	NA	۳-۱
کاهش نشت هوا از پوسته ساختمان (مانند نصب موانع نفوذ)	آسایش حرارتی می‌تواند به دلیل کاهش ورود هوای بیرون، افزایش یابد. کاهش نشت هوا ممکن است به جداسازی فضای داخلی از صداهای بیرونی کمک کند. کاهش در نشت پوسته به کنترل فشار اتاق یا ساختمان توسط سیستم HVAC سهولت می‌بخشد. غلظت داخلی از آلاینده‌های خارجی یا آلاینده‌های ناشی از فضاهای مجاور (مانند گاراژ پارکینگ) ممکن است کاهش یابد زیرا نفوذ آلاینده‌های بیرونی به داخل کاهش می‌یابد. جاگذاری نامناسب موانع نفوذ و بخار می‌تواند منجر به تراکم و مشکلات میکروبیولوژیکی مربوطه در پوسته ساختمان شود. کاهش نفوذ هوای بیرونی عموماً غلظت آلاینده‌های هوای تولیدشده در داخل را افزایش می‌دهد، ولی ممکن است میزان افزایش قابل توجه نباشد، خصوصاً اگر تهویه مکانیکی هوای بیرونی به طور مناسب فراهم شده باشد.	اطمینان از تهویه کافی مکانیکی یا طبیعی عمدی. موانع نفوذ هوا و بخار باید نزدیک قسمت گرم پوسته ساختمان قرار بگیرند.	۳-۱، ۸، ۲۱، ۲۲

جدول ۲: فهرست راهکارهای صرفه‌جویی انرژی و اثرات بالقوه آن‌ها بر IEQ و اقدامات احتیاطی یا تعدیلی مربوطه

راهکار صرفه‌جویی انرژی	اثرات بالقوه بر IEQ	اقدامات احتیاطی یا تعدیلی IEQ	ردیف جدول ۴
کاهش بارهای خورشیدی با استفاده از رنگ روشن سقف و دیوارها	اغلب تاثیر ناچیزی بر IEQ دارد. افزایش بالقوه در آسایش حرارتی زیرا کاهش بار به سیستم HVAC در برآوردن بارهای حرارتی کمک می‌کند و موجب کاهش تبادل حرارتی بین ساکنین و پوسته می‌شود.	NA	۱ - ۳
کاهش تولید حرارت داخلی یا بهره حرارتی از طریق پوسته ساختمان			
کاهش تولید حرارت داخلی از طریق استفاده از روشنایی و تجهیزات انرژی کارآمد یا از طریق کاهش بهره حرارتی از پوسته ساختمان	اگر راهکارها، سیستم HVAC را قادر سازند تا سرمایش مطلوبی را فراهم کند، افزایش آسایش حرارتی ممکن است. اگر ساختمان سیستم گرمایشی نامناسبی داشته باشد، ممکن است آسایش حرارتی کاهش یابد. در ساختمان‌های با سیستم تهویه VAV، نرخ تامین جریان هوا وقتی ساختمان در وضعیت سرمایش است، کاهش خواهد یافت از سویی میزان ورود هوای خارجی ممکن است کاهش یابد (ر.ک. اطلاعات و مراجع قبلی درباره سیستم VAV). کاهش بارهای حرارتی بدون تغییرات جبران‌کننده در جریان ورودی ممکن است منجر به افزایش رطوبت داخلی شود زیرا سیستم‌های کنترل ممکن است دمای تخلیه کویل خنک‌کننده را افزایش دهند. چرخه‌های اضافی و مشکلات کنترل ممکن است در سیستم‌های سرمایش با سایز بیش از حد باعث عدم آسایش شود.	استفاده از سیستم کنترلی که ورود هوای بیرونی به هواساز را در / یا بالای حداقل الزامات برای کل نرخ ورود جریان هوا، حفظ کند. اجتناب از واحدهای کنترل VAV که کاملاً بسته هستند. بررسی ورود هوای بیرونی و دمای داخلی به صورت کلی و موضعی برای یک محدوده بار سرمایشی. بررسی حذف مشکلات سیستم کنترل مرتبط با سیستم‌های سرمایش بیش از حد نیاز طراحی شده.	۱-۵، ۸

a. سیستم‌های اکونومایزر برای صرفه جویی انرژی در هوای معتدل، به‌طور خودکار نرخ ورود هوای بیرونی را بالای حداقل نقطه تنظیمی افزایش می‌دهند.

b. اصطلاح کاهش شدید ورود هوا اشاره به این دارد که جت تامین هوای سرد وارد شده از یک دریچه تامین هوا که در سطح سقف نصب شده ، بدون مخلوط‌شدن کافی با هوای گرم داخل اتاق به سمت کف حرکت کند. کاهش شدید هوای ورودی که در صورت وجود نرخ جریان ورود کم، دماهای تامین کمتر و طراحیهای خاص پراکنده‌کننده هوای ورودی بیشتر رخ می‌دهد، دلیلی برای عدم آسایش حرارتی است.

c. یک سیستم گرمایش یا سرمایش تابشی آبی(هیدرونیک) از یک مایع گرم یا سرد برای ایجاد پنل یا سطح تابشی گرم یا سرد استفاده می‌کند. بخشی از آسایش حرارتی ساکنین به وسیله تبادل حرارت تابشی بین ساکنین و پنل تابشی، تعیین می‌شود.

۷ اثر راه‌کارهای صرفه‌جویی انرژی بر IEQ در ساختمان‌های خاص

۷-۱ پیش زمینه

بسیاری از راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در *جدول ۲* دارای چندین اثر بالقوه بر IEQ هستند. هنگام بررسی اجرای این راهکارها در برخی ساختمان‌ها، متخصصین صرفه‌جویی انرژی ممکن است با این سه سئوال مهم مواجه شوند:

۱ کدامیک از نتایج احتمالی IEQ در این ساختمان به وقوع خواهد پیوست و میزان تغییرات مورد انتظار در IEQ چقدر است؟

۲ آیا تغییر در IEQ به طور بارزی سلامت، آسایش یا بهره‌وری ساکنین را تحت تاثیر قرار خواهد داد؟

۳ آیا اثرات بر IEQ را می‌توان با اندازه‌گیری‌ها ارزیابی کرد؟

داشتن دانش کاری از IEQ و اثرات آن بر ساکنین، اولین مرحله ضروری در پاسخ دادن این سئوالات است. *بخش ۴* اکثر اطلاعات اساسی پیش زمینه را خلاصه کرده است. این بخش به دو سئوال اول را اشاره دارد. اندازه‌گیری‌های IEQ در *بخش ۸* مرور شده است.

۷-۲ تعیین نتایج احتمالی IEQ و پیش‌بینی اثر آن‌ها

اثر راهکار صرفه‌جویی انرژی بر IEQ ممکن است به چندین عامل از جمله آب‌وهوا، کیفیت هوای بیرونی، ویژگی‌های ساختمان و چگونگی اجرای راهکار صرفه‌جویی انرژی بستگی داشته باشد.

آب‌وهواهای گرم و مرطوب برخی ریسک‌های ناشی از رطوبت داخلی بالا IEQ را افزایش می‌دهد. در آب‌وهوای مرطوب، احتمال بیشتری دارد که اجرای راهکارهای کارایی انرژی مانند پنجره‌های بازشو یا سیستم‌های اکونومایزر با کنترل ضعیف که نرخ تامین هوای بیرونی را افزایش می‌دهند، منجر به رطوبت‌های داخلی غیر قابل قبول شوند. هم‌چنین، کاهش ظرفیت تجهیزات HVAC و افزایش دما در کویل‌های خنک کننده می‌تواند منجر به حذف ناکافی رطوبت و ایجاد رطوبت داخلی بیش از حد شود. در آب‌وهوای مرطوب، چگالش بخار آب بر روی پنل‌های خنک‌کننده تابشی بیشتر رخ می‌دهد. حفظ آسایش حرارتی با تهویه طبیعی در آب‌وهوای گرم و مرطوب دشوارتر است.

در آب‌وهوای سرد، نصب پنجره‌های انرژی کارامد ، عایق‌کاری حرارتی خوب در پوسته ساختمان و اجرای راهکارهایی که نفوذ هوا را کاهش می‌دهند،احتمال زیادی داردکه از طریق کاهش جریان هوا و تلفات تابشی حرارت از سمت ساکنین به پنجره‌ها و دیوارها، آسایش حرارتی را به‌طور قابل توجهی بهبود دهد. در آب‌وهوای سرد، احتمال وجود رطوبت‌های خیلی کم داخلی هم افزایش می‌یابد.

افزایش میزان آلاینده‌ها در هوای بیرونی برخی ریسک‌های IEQ را افزایش می‌دهد. راهکارهای صرفه‌جویی انرژی که تامین هوای بیرونی را افزایش می‌دهند، عموماً با کاهش غلظت آلاینده‌های هوای تولیدشده در داخل، IEQ را بهبود خواهند بخشید. ولی وقتی‌که کیفیت هوای بیرون ضعیف باشد، مثلاً اگر غلظت آلاینده‌های فضای خارجی بیش از استانداردهای مورد کاربرد باشد، همین راهکارهای صرفه‌جویی انرژی ، می‌تواند غلظت داخلی آلاینده‌های خارجی را افزایش دهد.

ویژگی‌های ساختمان و سیستم HVAC ساختمان هم بر نتایج IEQ از صرفه‌جویی انرژی تاثیرگذار است. تنها چند مورد از بسیاری از برهمکنش‌های ممکن در اینجا شرح داده شده است. مقدار نرخ انتشار آلاینده‌های داخلی یک مورد قابل توجه است. اگر داخل ساختمان حاوی منابع قوی آلاینده‌های هوا باشد، احتمال زیادی وجود دارد که راهکارهای صرفه‌جویی انرژی که عرضه هوای بیرونی را کاهش می‌دهند منجر به افزایش غلظت این آلاینده‌های تولیدشده در داخل شوند، (البته عکس این قضیه هم صادق است) یعنی اگر یک ساختمان دارای نرخ کم تامین هوا از بیرون باشد، احتمال بیشتری دارد که آلاینده‌های آزاد شده از محصولات صرفه‌جویی انرژی هم‌چون درزگیرها به طور بارزی کیفیت هوای داخلی را تنزل بخشند. اگر نرخ اولیه تامین هوای بیرونی کم باشد، بیشتر احتمال دارد که راهکارهای صرفه‌جویی انرژی که تهویه هوا به خارج را کاهش می‌دهند، منجر به مشکلات IEQ شوند.

اجرای درست راهکارهای صرفه‌جویی انرژی می‌تواند از بسیاری از اثرات زیان‌باراحتمالی بر IEQ جلوگیری کند. بسیاری از خطاهای اجرایی شناخته شده ممکن، مانند: طراحی معیوب، نصب، کالیبراسیون، روش‌های کنترل، راه‌اندازی، عملیات، نگهداری از سیستمها یا

شیوه‌های صرفه‌جویی انرژی، می‌توانند منجر به بروز مشکلات IEQ شوند. طراحی مناسب، آموزش کاربران و غیره می‌تواند از این مشکلات جلوگیری کند.

محاسبات مهندسی و مدل‌سازی کامپیوتری، ابزار اولیه برای پیش‌بینی میزان IEQ یا مقدار تغییرات IEQ هستند. دماهای داخلی با استفاده از موازنه انرژی و غلظت رطوبت داخلی و آلاینده‌ها از موازنه جرمی تعیین می‌شوند. اغلب الگوریتم‌های عملکرد تجهیزات مورد نیاز است. هندبوک‌های ASHRAE (مانند ASHRAE ۱۹۹۲، ۱۹۹۵، ۱۹۹۷) مراجعی برای بسیاری از محاسبات مهندسی هستند. کاربران می‌توانند محاسبات ساده حالت ایستا و گذرای موازنه جرم برای برآورد غلظت آلاینده‌ها را در یک منطقه به‌خوبی مخلوط‌شده انجام دهند. چندین برنامه کامپیوتری که توسط آزمایشگاه‌های ملی (۱۹۹۷) چک شده‌اند، برای پیش‌بینی نرخ نفوذ هوا، جریان هوا بین مناطق و تعیین غلظت آلاینده‌های داخلی در دسترس هستند. استفاده مناسب این مدل‌ها عموماً نیازمند تخصص قابل‌توجه در IEQ و تجربه کار با مدل است. سختی‌های بدست آوردن ورودی‌های مدل، یک مانع بزرگ در مدل‌سازی IEQ در ساختمان‌های دارای چند منطقه است.

۷-۳ اهمیت تغییرات پیش‌بینی‌شده در IEQ

وقتی یک تغییر مورد انتظار در IEQ شناسایی و تا جای ممکن تعیین اندازه شد، اثر حاصل از آن بر سلامت، آسایش یا بهره‌وری ساکنین باید مورد توجه قرار گیرد. رویکرد اصلی برای ارزیابی اهمیت تغییرات پیش‌بینی (یا اندازه‌گیری) شده در پارامترهای IEQ، مقایسه مقدار ابتدایی و نهایی این پارامترها با مقادیر قابل‌قبول در استانداردها یا راهنماهای قابل کاربرد است (ر.ک. *جدول ۱*). هنگام تعیین اهمیت، نکات زیر باید مدنظر باشد: ۱) تغییرات کوچک در دمای داخلی، در مرتبه $^{\circ}C$ ۱، ممکن است به‌طور قابل توجهی بر آسایش حرارتی، شیوع علائم حاد نامشخص بیماری مرتبط به ساختمان در میان کارگران و احساس از کیفیت هوا اثر بگذارد. ۲) رضایت ساکنین از شرایط حرارتی ممکن است با استفاده از مدل‌های آسایش حرارتی برآورد شود (مثلاً ASHRAE ۱۹۹۲b، فونتین و هویزنگا ۱۹۹۶، ایزو ۱۹۹۴)، ولی تحقیقات اخیر می‌گوید که این مدل‌ها ناقص هستند زیرا آن‌ها سازگاری‌های رفتاری، فیزیولوژیکی یا روانی-اجتماعی افراد با محیط گرمایی‌شان را به حساب نمی‌آورند. ۳) اگر کار به‌طور فوق‌العاده‌ای نیاز بینایی داشته باشد، احتمال زیادی وجود دارد که تغییرات در روشنایی بر بهره وری کار تاثیر بگذارد.

برای بسیاری از آلاینده‌ها، هیچ حداکثر محدودیت غلظت انتشاری برای مکان‌های کاری غیر صنعتی وجود ندارد. حدود اعلام شده برای غلظت آلاینده‌ها در محل‌های کاری صنعتی ، مانند مقادیر حاشیه محدودیت (TLV[1]) از کنفرانس آمریکایی متخصصین دولتی بهداشت صنعتی (ACGIH ۱۹۹۸)، نباید مستقیماً برای مجموعه‌ها یا کارگران غیرصنعتی به کار گرفته شود.

در ارزیابی اهمیت تغییرات در IEQ، حساسیت ساکنین به IEQ یک نکته قابل توجه است. کارگران مسن‌تر تمایل دارند تا الزامات سختگیرانه‌تری برای آسایش حرارتی وجود داشته باشد و احتمال تاثیر منفی میزان روشنایی کم بر کاهش دید کارگران مسن‌تر بیشتر است. زنان اغلب علائم نامشخص بیماری را بیشتر از مردان گزارش می‌کنند (مندل ۱۹۹۳، منزیس و بوربیو ۱۹۹۷). کارگران ساختمان‌هایی که دارای مشکلات اولیه یا مستمر IAQ در مورد آسایش حرارتی بوده‌اند، احتمال بیشتری دارد که به تغییرات کم IEQ عکس العمل منفی نشان دهند.

۸ روش‌های اندازه‌گیری و صحه‌گذاری برای IEQ

۸-۱ تاریخچه

همان‌طور که در جدول ۲ مشخص شده‌است، بیشتر اثرات پروژه‌های انرژی بر IEQ مرتبط با آسایش حرارتی یا تهویه است. بنابراین، متداول‌ترین پارامترهای M&V برای IEQ پارامترهای آسایش حرارتی (مانند دما و رطوبت) و نرخ تهویه خواهند بود. گاهی اوقات برای اصلاحات روشنایی، ممکن است M&V برای روشنایی لازم شود. اغلب M&V سایر پارامترهای IEQ هم ممکن است لازم شود. چنین

[1] Threshold Limit Value

وضعیت‌هایی مثلاً شامل موارد زیر هستند: اصلاحات ساختمانی که ورودی هوای بیرون را نزدیک یک منبع آلاینده خارجی قرار می‌دهد یا راهکارهایی هم‌چون نصب اکونومایزر که باعث افزایش زیاد میزان تهویه در ساختمانی می‌شود که در یک منطقه به شدت آلوده واقع شده است. در چنین وضعیت‌هایی، M&V برای آلاینده‌های خاص (مانند اوزون، ذرات معلق، کربن مونوکسید یا VOCها) می‌تواند مطلوب باشد. بسیاری از اندازه‌گیری‌های IEQ گران هستند. اندازه‌گیری تنها زمانی باید انجام شود که اهداف ، قابلیت‌ها و اراده روشنی برای تفسیر نتایج اندازه‌گیری وجود داشته باشد.

۸-۲ اهداف اندازه‌گیری و صحه‌گذاری IEQ[۱]

انتخاب رویکرد مناسبM&V ، به اهداف M&V برای IEQ بستگی خواهد داشت. بنابراین، تعریف اهداف M&V اولین گام اصلی است. مثال‌هایی از اهداف M&V برای IEQ به صورت زیر است:

هدف ۱: اطمینان از این که راهکارهای صرفه‌جویی انرژی اثر زیان‌باری بر IEQ نداشته باشند.

هدف ۲: تعیین میزان بهبودهای IEQ در اثر اجرای راهکارهای صرفه‌جویی انرژی.

هدف ۳: صحه‌گذاری این‌که پارامترهای IEQ انتخاب شده، راهنماها یا استانداردهای قابل کاربرد IEQ را برآورده می‌کنند.

۸-۳ موضوعات M&V برای IEQ

این سند می‌تواند تحت دو موضوع اساسی M&V به کار رود. اولین موضوع اساسی و تمرکز اولیه این جلد، اجرای اصلاحات صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌های تجاری موجود است. معمولاً در این حالت، اندازه‌گیری‌های IEQ قبل و بعد از اصلاح مورد مقایسه قرار می‌گیرند. محدوده وسیعی از رویکردهای M&V (مانند اندازه‌گیری‌ها، مدل‌سازی و بازرسی‌ها) ممکن است به کار رود.

دومین موضوع اساسی[۲]، پیش‌بینی اجرای آتی ویژگی‌های صرفه‌جویی انرژی در ساخت یک ساختمان جدید تجاری است. برای این موضوع، وقتی هدف ۱ یا ۲ M&V انتخاب می‌شود، لازم است که ویژگی‌های مربوط به یک ساختمان مرجع بدون خصوصیات صرفه‌جویی انرژی و ویژگی‌های مربوط به یک ساختمان با خصوصیات صرفه‌جویی انرژی اجرا شده، تعریف شود. مدل‌سازی تنها رویکرد قابل دسترس قبل از ساخت‌وساز برای برآورد تغییرات در IEQ است (هدف ۱ و ۲ M&V). پس تکمیل ساخت‌وساز می‌توان برای تائید این که پارامترهای IEQ کدها یا استانداردهای قابل کاربرد را برآورده می‌کنند، اندازه‌گیری‌هایی انجام داد (هدف ۳ M&V).

۸-۴ رویه M&V

جدول ۳ رویه اولیه توصیه شده برای M&V برای IEQ را نشان می‌دهد. رویکردهای M&V و روشهای انتخابی M&V ذکر شده در این جدول، بعداً تشریح می‌شوند.

---

[۱] فعالیت‌های اندازه‌گیری و صحه‌گذاری IEQ به دلیل امکان تماس با آلاینده‌ها، سقوط و تماس با تجهیزات ولتاژ بالا یا دوار، می‌تواند خطرناک باشد. کارکنان اجرای M&V برایIEQ باید در مورد شیوه‌های ایمنی کار خود آموزش دیده باشند. مستندات مرجع در جهت‌گیری سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (EPA) در مورد کیفیت هوای داخلی به صورت کیت مربی (یا کتابچه راهنمای دانشجویی)، موجودند. برای خرید می‌توان به http;//www.epa.gov/iaq/base/hagapp2.html. رجوع کرد. این اسناد را می توان از سرویس ملی اطلاعات فنی (NTIS)، وزارت بازرگانی ایالات متحده، Port Royal Road۵۲۸۵ ، اسپرینگ فیلد، ویرجینیا ۲۲۱۶۱ (تلفن ۶۸۴۷-۵۵۳-۸۰۰-۱) هم خریداری کرد. شماره‌های مرجع NTIS به ترتیب برای کیت مربی و کتابچه راهنمای دانشجویی عبارتند از AVA۱۹۲۷۶SS۰۰ و AVA۱۹۲۷۷B۰۰.

۲ یک ساختمان با ساکنینی که شکایتهای بیش از حد سلامتی یا آسایش دارند، سومین موضوع اساسی M&V برای IEQ است. ولی این سند به عنوان یک راهنما برای تشخیص یا بررسی علل چنین مشکلاتی درنظر گرفته نشده است. برای چنین مواردی چندین سند موجود ممکن است مورد استفاده قرار گیرند (مثلاً EPA/NIOSH ۱۹۹۱، ISIAQ ۱۹۹۶ (به صورت پیش‌نویس)، ECA ۱۹۸۹، ویکس و گمج ۱۹۹۰، رفرتی ۱۹۹۳، ناتانسون ۱۹۹۵). معمولاً یک رویکرد جستجوی مرحله‌ای توصیه می‌شود. مراحل اولیه شامل بازرسی ساختمان و بحث با ساکنین ساختمان است. اندازه‌گیری‌های گران تنها در صورت نیاز در مراحل بعدی جستجو پیشنهاد می‌شوند. این راهنماها، به اهمیت حفظ کانال‌های ارتباطی باز درباره مشکلات، IAQ و تحقیقات اشاره دارند.

جدول ۳: رویه M&V

مراحل در رویه M&V	توضیحات
۱. تعریف اهداف M&V	ر.ک *بخش ۸-۲*
۲. انتخاب نفرات M&V	الف)فرد مسئول انجام اندازه‌گیری‌ها باید دارای مهارت‌ها و دانش‌های لازم باشد، معمولاً مشاوران خارج از سازمان با تخصص IEQ در دسترسند. ب) مالک باید تصمیم بگیرد که آیا فرد مسئول اندازه‌گیری بایستی مستقل از سازمان باشد (مثلاً اسکو) که به لحاظ مالی از یافته‌های مثبت سود ببرد یا خیر ، یا آیا ممکن است اشتباه مستقل رخ دهد یا خیر.
۳. انتخاب رویکرد عمومی M&V	ر.ک. *بخش ۸-۵*
۴. انتخاب پارامترهای خاص IEQ و روش‌های M&V برای اندازه‌گیری و پیش‌بینی مقادیر این پارامترها	ر.ک. بخش۴، ۶، و ۸-۶
۵. ایجاد طرح‌هایی برای تفسیر داده‌های M&V	الف) عموماً، داده‌های اندازه‌گیری یا پیش‌بینی شده IEQ با داده‌ها یا پیش‌بینی‌های حاصل از یک دوره زمانی دیگر، با داده‌های خط مبنای که مجموعه‌ای از ساختمان‌ها که نماینده هستند، یا نسبت به مفادیر مندرج در استانداردها مقایسه می‌شوند. ب) ر.ک. بخش ۴، ۸-۳، ۸-۵.
۶. تعریف الزامات برای صحت M&V و رویه‌های کنترل کیفیت برای اندازه‌گیری‌ها	اغلب صحت موردنیاز بستگی به میزان تغییر موردانتظار در IEQ دارد.
۷. انتخاب دوره‌های اندازه‌گیری یا بازرسی	الف) اغلب، مقادیر پیش از اصلاحات پارامترهای IEQ با مقادیر پس از اصلاح مقایسه می‌شوند. ب) بسیاری پارامترهای IEQ به دلیل تغییر در عملیات ساختمان، نرخ انتشار آلاینده داخلی یا کیفیت هوای خارجی، با زمان تغییر می‌کنند. اندازه‌گیری‌ها باید تحت شرایط مناسب اتفاق بیافتد (مثلاً حداقل تامین هوای بیرونی) یا باید میانگین محدوده‌ای از شرایط باشد. اگر آب و هوا، کیفیت هوای خارجی یا میزان سکنه بین دوره‌های قبل و بعد از اصلاحات به‌طورقابل توجهی تغییر کند، مقایسه اندازه‌گیری‌های قبل و بعد از اصلاحات ممکن است اثر صرفه‌جویی انرژی را بر IEQ به درستی مشخص نکند. ج) شرایط گرمایی داخلی و غلظت آلاینده در ساختمان‌ها به تغییرات در عوامل کنترل‌کننده بلافاصله پاسخ نمی‌دهد. د) اندازه‌گیری لحظه‌ای دما، رطوبت و غلظت آلاینده‌های هوا اغلب دارای ارزش نیست.
۸. انتخاب نقاط اندازه‌گیری	الف) استانداردهای آسایش حرارتی، راهنمایی را برای نقاط اندازه‌گیری فراهم کرده‌اند. ب)داده‌های نقاط اندازه‌گیری باید نماینده داده‌ها در شرایطی باشند که توسط ساکنین تجربه می‌شود. بدترین محلها هم ممکن است پایش شوند. ج) منطقه تنفس مهمترین محل برای اندازه‌گیری‌های آلاینده‌های هوا است. د) غلظت آلاینده‌ها در جریان هوای بازگشتی HVAC تقریباً می‌تواند غلظت میانگین را در بخشی از ساختمان نشان دهد که از آن هوای بازگشتی برداشته شده است (بدون تهویه جابه‌جایی).
۹. تعریف هزینه‌های قابل قبول M&V	به‌طورکلی مخارج باید در مقایسه با صرفه‌جویی‌های موردانتظار از راهکارهای صرفه‌جویی انرژی کم باشد.
۱۰. انتخاب تجهیزات M&V	تجهیزات باید الزامات صحت، هزینه و ثبت داده‌ها را برآورده کند.
۱۱. اطلاع‌رسانی به ساکنین در مورد طرح‌های M&V	اندازه‌گیری‌هایی که در مورد آنها توضیح داده نشود ممکن است باعث نگرانی ساکنین درباره IEQ شود.
۱۲. اجرای اندازه‌گیری‌ها، بازرسی‌ها یا مدل‌سازی‌ها	روش‌های به‌کار گرفته شده باید ویژگی‌های صحت، محدوده و زمان و محدودیت‌های هزینه را برآورده کند.
۱۳. تجزیه و تحلیل و گزارش نتایج	نتایج باید عموماً در دسترس ساکنین باشد.

۸-۵ رویکردهای اساسی M&V

این بخش رویکردهای اساسی M&V برای IEQ و وضعیت هر رویکرد عمومی قابل کاربرد را مشخص می‌کند.

۸-۵-۱ رویکرد ۱: بدون M&V برای IEQ

جدول ۲ چندین راهکار صرفه‌جویی انرژی (مانند ارتقای چیلر) را ذکر می‌کند که یا احتمال تاثیر بر IEQ ندارد یا تنها ممکن است تاثیر مفیدی بر IEQ داشته باشند. عموماً انجام ندادن M&V برای IEQ، زمانی است که احتمال زیادی وجود نداشته باشد که راهکارهای صرفه‌جویی انرژی منجر به اثر بارز زیان‌بار برIEQ شوند. ولی اگر هدف M&V تعیین مقدار بهبود پیش‌بینی‌شده در IEQ باشد، باز هم ممکن است انجام شود .

۸-۵-۲ رویکرد ۲: M&V برای IEQ بر مبنای مدل‌سازی

معمولاً مدل‌سازی IEQ تنها روش در دسترس برای پیش‌بینی میزان تغییرات در IEQ در اثر اجرای راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در ساخت جدید است. به علاوه در صورتی‌که روش‌های اندازه‌گیری بسیار گران یا غیر قابل دسترس باشند، ممکن است مدل‌سازی برای برآورد تغییرات در غلظت آلاینده داخلی در اثر تغییر میزان تهویه مناسبتر باشد.

مدل‌های بسیار ساده موازنه جرم می‌توانند برآورد مفیدی از تغییرات غلظت آلاینده‌های داخلی مورد انتظار در اثر تغییر میزان تهویه یا میزان انتشار آلاینده داخلی برای یک منطقه با هوای به خوبی مخلوط شده فراهم آورند. بسیاری از مقاله‌های علمی چنین مدل‌هایی که می‌تواند با استفاده از نرم‌افزار صفحه گسترده اجرا شوند را توصیف می‌کنند (مانند پرسیلی و دالز ۱۹۹۰، نظرف و همکاران ۱۹۹۳، فیسک و د آلمیدا ۱۹۹۰). چند مدل چند منطقه‌ای بسیار پیچیده‌تر در دسترسند (آزمایشگاه‌های ملی، ۱۹۹۳، بخش ۳). بسیاری از مدل‌های پیچیده، نیاز به ورودی‌های مدل گسترده و تخصص مدل‌سازی قابل توجه در خصوص IEQ دارند.

ابزارهای شبیه‌سازی روشنایی هم‌چون برنامه Radiance (وارد و روبنستین ۱۹۹۸) می‌توانند برایند توزیع روشنایی حاصل از اکثر سیستم‌های روشنایی و روشنایی روز را مدل‌سازی کند، ولی تنها چند پارامتر کیفیت روشنایی، هم‌چون درخشندگی با این ابزارها محاسبه می‌شوند. در این‌جا به ورودی‌های گسترده به مدل و تخصص قابل‌توجه مدل‌سازی نیاز است.

۸-۵-۳ رویکرد ۳: اندازه‌گیری‌های کوتاه‌مدت از پارامترهای IEQ انتخاب‌شده

ممکن است اندازه‌گیری‌های کوتاه‌مدت (مانند اندازه‌گیری پیک ماهه یا کمتر) برای پارامترهای IEQ استفاده شوند که به‌طور بارزی با فصل یا با سبک عملیات ساختمان تغییر نمی‌کنند. مثال‌هایی از چنین پارامترها عبارتند از: میزان روشنایی در بخش اصلی ساختمان و میزان حداقل جریان هوای بیرونی در سیستم‌های HVAC حجم ثابت. وقتی که نتیجه مورد نظر، یک پارامتر IEQ برای مجموعه تعریف‌شده‌ای از آب‌وهوا و شرایط عملیاتی ساختمان هم‌چون شرایط منجر به بدترین IEQ باشد هم ممکن اندازه‌گیری‌های کوتاه‌مدت است مناسب باشد. در این مثال، اندازه‌گیری‌های کوتاه‌مدت می‌توانند تنها تحت این شرایط انجام شوند.

۸-۵-۴ رویکرد ۴: اندازه‌گیری دائم طولانی‌مدت از پارامترهای انتخاب شدهIEQ

اندازه‌گیری دائم طولانی‌مدت اغلب برای دنبال‌کردن پارامترهای IEQ انتخاب‌شده نظیر: دما و رطوبت داخلی، غلظت دی‌اکسیدکربن، غلظت مونوکسید کربن، و میزان ورود هوای بیرونی به هواساز مفید و مقرون به صرفه است. برای اکثر دیگر پارامترهای IEQ، اندازه‌گیری‌های دائم طولانی‌مدت به صورت بازدارنده‌ای پر هزینه یا غیر قابل دسترس هستند. در سیستم‌های پایش پیوسته‌ای که از یک حسگر برای برداشت و تحلیل نمونه چند نقطه استفاده می‌شود، هزینه حسگرها، نگهداری و کالیبراسیون آنها ممکن است کمتر شود. ولی برداشت برخی از آلاینده‌ها مانند ذرات و اکثر VOCها از طریق لوله‌های نمونه‌برداری بلند منجر به خطاهای قابل‌توجهی در اندازه‌گیری خواهد شد.

۸-۵-۵ رویکرد ۵: نظرسنجی‌ها برای ارزیابی نظرات و قضاوت ساکنین از IEQ

در بسیاری موارد تعیین نظر ساکنین از طریق یک نظرسنجی به اندازه اندازه‌گیری IEQ نتیجه مناسبی است. هزینه‌های نظرسنجی می‌تواند کمتر یا بیشتر از اندازه‌گیری‌های فیزیکی باشد.

دو استفاده اولیه از استفاده از نظرسنجی‌ها در موضوع M&V برای IEQ وجود دارد. اول، ترتیب دادن یک نظرسنجی قبل و بعد از اجرای یک راهکار صرفه‌جویی انرژی می‌تواند اطلاعاتی را در مورد تغییر احساس شده در مورد IEQ و گزارش‌های ساکنین از علائم بیماری[1]، فراهم آورد. دومین روش استفاده از نظرسنجی‌ها در موضوع M&V برای IAQ، انجام یک بار نظرسنجی و مقایسه نتایج آن با داده‌های خط مبنایی است که قبلاً در دیگر ساختمان‌ها با همان ابزار نظرسنجی به دست آمده است.

داده‌های نظرسنجی نظری هستند، از این رو این داده‌ها ممکن است تحت تاثیر عوامل روانی هم‌چون رضایت شغلی قرار گیرند. بخشی از ساکنین ممکن است حتی زمانی که IEQ بهتر از مقدار متوسط است، ابراز نارضایتی کنند. به علاوه، نظرسنجی‌ها تنها می‌توانند پاسخ‌هایی به IEQ را ارزیابی کند که با قوای حسی انسان قابل تشخیص باشد. در معرض قرارگیریهای IEQ که ریسک برخی از اثرات مزمن بیماری را افزایش می‌دهد مانند سرطان ریه در اثر تماس با رادون، با استفاده از نظرسنجی‌ها تشخیص داده نخواهد شد.

طراحی نظرسنجی و روش‌های اجرای آن می‌تواند نتایج آن را تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین، نظرسنجی‌ها باید بر مبنای پرسش‌نامه‌های معتبر و روش‌های اجرائی باشد که توسط کارمندان دارای تخصص مناسب تدوین شده‌اند. برای کاهش ریسک جانب‌داری[2]، وجود نرخ بالای پاسخگویی (مثلاً بیش از ۸۰٪) به نظرسنجی‌ها لازم است (مثلاً میزان بالاتر پاسخ‌گویی از طرف ساکنین ناراضی می‌تواند کل نتایج را جانب‌دارانه کند).

روش‌های نظرسنجی بسیار معتبری برای آسایش حرارتی در دسترسند. معمولاً احساس گرما با استفاده از مقیاس هفت- نقطه‌ای ارزیابی می‌شود (مانند ASHRAE ۱۹۹۲b، ایزو ۱۹۹۴). داده‌های خط‌مبنا توسط دودبیر و براگر (۱۹۹۸) از نظرسنجی‌های آسایش حرارتی انجام شده در سراسر جهان،گردآوری شده است.

چندین ابزار نظرسنجی (پرسش‌نامه) ارزیابی‌های گسترده‌ای از سطح رضایتمندی یا برداشت‌ها از پارامترهای متعدد IEQ هم‌چون میزان روشنایی، کیفیت روشنایی، کیفیت آکوستیک، جریان هوا، پذیرش کیفیت هوای داخلی، تهویه و غیره را در خود گنجانده‌اند. معمولاً همین نظرسنجی‌ها حاوی جمع‌آوری داده‌ها درباره شیوع یا شدت علائم نامشخص بیماری تجربه شده توسط کارمندان اداری نیز هست.

یک نظرسنجی مورد حمایت سازمان محیط زیست ایالات متحده از علائم نامشخص از ۱۰۰ ساختمان اداری در امریکا داده جمع‌آوری کرده است (EPA ۱۹۹۴، برایتمن و همکاران ۱۹۹۷). یک پروژه ممیزی اروپایی، داده‌های علائم بیماری را از ۵۶ ساختمان اداری جمع‌آوری کرده است (بلویسن و همکاران ۱۹۹۶). استنبرگ و همکاران (۱۹۹۳) و ساندل (۱۹۹۴) داده‌های مشابهی را که از تقریباً ۵۰۰۰ کارمند اداری در ۲۱۰ ساختمان در سوئد به دست آمده بود را تشریح کردند.

پرسش‌نامه‌های ارزیابی رضایتمندی ساکنین از روشنایی قابل دسترس هستند (کولین و همکاران ۱۹۹۰ ، دیلون و ویسچر ۱۹۸۷، اکلوند و بویس ۱۹۹۵، هیگ و لوفبرگ ۱۹۹۸) هرچند ممکن است نیاز به تغییراتی برای کاربردهای خاص باشد.

۸-۶ روش‌های انتخابی M&V برای پارامترهای IEQ خاص

این بخش روشهای انتخابی M&V را به شکل جدول برای پارامترهای خاص IEQ مشخص کرده و توضیحاتی را برای این روشها فراهم کرده است. در ابتدا روش‌های M&V برای آسایش حرارتی و تهویه فهرست شده‌اند چرا که اصلاحات صرفه‌جویی انرژی این پارامترها را

---

[1] شواهدی وجود دارد که پاسخ‌ها به نظرسنجیهای علائم نامشخص بیماری گاهی حتی بدون هیچ تغییری در شرایط ساختمان یا IEQ تغییر می‌کند. اغلب ساکنین در دومین بار از دو نظرسنجی انجام شده در طول یک هفته یا دو بخش زمانی جدا، علائم بیماری مرتبط با ساختمان کمتری را گزارش می‌کنند. بنابراین، ممکن است تصحیح تغییر در نتایج نظرسنجیهای به دست آمده در محل اجرای اصلاحات صرفه‌جویی انرژی از طریق تفریق تغییر نتایج نظرسنجی از یک جمعیت کنترلی ضروری باشد.

[2] - Bias risk

بیشتر تحت تاثیر قرار می‌دهد. جداول شامل کل روشهای ممکن M&V نمی‌شود. روش‌های عملی‌تر و با ارزش‌تر با علامت "♦" نشان داده شده‌اند. راهنمایی عمومی برای اندازه‌گیری غلظت آلاینده هوای داخلی در چندین نشریه (مانند ACGIH ۱۹۹۵، ناگدا وهارپر ۱۹۸۹) در دسترس هستند.

جدول ۴: روشهای انتخابی M&V برای پارامترهای خاص IEQ

ردیف	پارامتر IEQ/ روش انتخابی M&V	توضیحات
آسایش حرارتی		
۱	روش انتخابی ۱. اندازه‌گیری‌های چندپارامتر مشخص شده در استانداردهای آسایش حرارتی (ASHRAE ۱۹۹۲b، ایزو ۱۹۹۴)	الف) عموماً دمای هوا، دمای تابشی متوسط، رطوبت نسبی و سرعت هوا را در ارتفاعهای مختلف در فضاهای کاری متعدد(۲۰ تا ۳۰ محل) اندازه‌گیری می‌شود. ب) هزینه سیستم اندازه‌گیری حداقل ۵۰۰۰ دلار است. سیستم ممکن است بین نقاط حرکت داده شود (مثلاً ر.ک. دودییر و فونتین ۱۹۹۴). ج) این روش تنها برای داده‌های کوتاه‌مدت در هر نقطه تهیه شده است. د) ابزارهای اندازه‌گیری آسایش حرارتی از نظر تجاری در دسترس هستند.
۲	♦ روش انتخابی ۲. اندازه‌گیری چندنقطه‌ای و ثبت دمای هوا و/یا رطوبت با استفاده از دستگاه‌های ارزان قابل‌حمل یا ثابت	الف) در بسیاری از موقعیت‌های معمول، اندازه‌گیری دمای هوا در یک ارتفاع واحد (بدون سرعت هوا، رطوبت، و دمای تابشی متوسط) کافی است. ب) این روش انتخابی برای موقعیت‌های با سرعت هوای بالا (مثلاً فن‌های مورد استفاده برای سرمایش)، دمای دارای لایه‌بندی زیاد (مثل تهویه جابه‌جایی) یا به دست آوردن یا اتلاف زیاد گرمای تابشی (مثل نزدیک به پنجره‌های سرد) مناسب نیست. ج) صحت حسگر دمایی باید تقریباً ۰/۲۵°C باشد زیرا اختلاف دمایی کمتر از ۱°C می‌تواند به‌طور بارزی آسایش حرارتی را تحت تاثیر قرار دهد. د) صحت حسگر رطوبتی باید تقریباً ۵٪ RH باشد. ه) هزینه حسگر باتری دار با دیتالاگر برای اندازه‌گیری یک نقطه تقریباً برابر ۱۰۰ تا ۲۰۰ دلار است.
۳	♦ روش انتخابی ۳. نظرسنجی‌های آسایش حرارتی (شیلر و همکاران ۱۹۹۸، دو دییر و فونتین ۱۹۹۴)	الف) در بسیاری از موارد، نظرسنجی‌ها بهترین روش انتخابی هستند. ب) نظرسنجی‌ها ممکن است درباره میزان کنونی آسایش حرارتی یا درباره آسایش حرارتی در طول دوره طولانی پیشین سئوال بپرسند.
میزان تهویه هوای بیرونی		
۴	روش انتخابی ۱. اندازه‌گیری جریان هوای بیرون به هواساز با استفاده از بادسنجی (ASHRAE ۱۹۸۸، SMACNA ۱۹۹۳، یوترسون و ساور ۱۹۹۸، سولبرگ و همکاران ۱۹۹۰)	الف) اغلب وقتی‌که اندازه‌گیری‌ها نزدیک کرکره‌های هواکش یا دمپرهای هوای بیرونی انجام می‌شود، صحت زیر سوال می‌رود. ب) ♦ اگر بتوان اندازه‌گیری‌ها را در طول کافی از کانال مستقیم هوای بیرونی انجام داد، صحت بهتری به دست می‌آید.
۵	♦ روش انتخابی ۲: اندازه‌گیری جریان هوای بیرون به هواساز بر مبنای جریان تامین HVAC و درصد هوای بیرونی (دریس و همکاران ۱۹۹۲)	الف) جریان تامین هوا به‌طور معمول از طریق بالومترها (هودهای جریان هوا)، لوله پیتو یا بادسنج حین عملیات[1] در جریان هوای ورودی، یا از ایستگاه‌های داتمی اندازه‌گیری جریان تامین هوا بدست می‌آید. ب) درصد هوای بیرونی از دی‌اکسیدکربن یا موازنه جرم گاز ردیاب تعیین می‌شود. ج) روش دمایی تعیین درصد هوای بیرونی اغلب نادرست است.
۶	روش انتخابی ۳. تعیین میزان تهویه هوای بیرونی با استفاده از روش‌های گاز ردیاب (ASTM ۱۹۹۵، NORDTEST ۱۹۸۲، ۱۹۸۸، لاگوس و پرسیلی ۱۹۸۵، ASHRAE ۱۹۹۸، فالکنر و همکاران ۱۹۹۸، چارلزورت ۱۹۸۸)	الف)این روش‌ها شامل کاهش تدریجی گاز ردیاب ، افزایش، و روش‌های مبتنی بر رهاسازی مداوم گاز ردیاب به محیط داخلی است. ب) اندازه‌گیری‌ها می‌تواند برای هر دو تهویه طبیعی و مکانیکی انجام شود. ج) صحت معقول (مثلاً ۲۵-۱۵٪) در بسیاری ساختمان‌ها ممکن است. د) برای اکثر روش‌های گاز ردیاب ، میزان تهویه در طول دوره اندازه‌گیری منطقاً باید پایدار باشد. ه) اندازه‌گیری‌ها اغلب گران و نیازمند تخصص قابل‌توجه هستند (هزینه دستگاه‌ها معمولاً بیش از ۱۰،۰۰۰ دلار است). و) اکثر روش‌ها نرخ تهویه نماینده را برای یک دوره زمانی کوتاه (چند ساعت) به دست می‌دهند، برخی روشها یک میزان تهویه موثر میانگین را برای یک دوره طولانی فراهم می‌آورد.

[1] Hot wire anemometer

۷	روش انتخابی ۴: تعیین میزان تهویه هوای بیرونی با استفاده از ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان هوا در هواساز	الف) معمولاً هموارکننده جریان هوا[1] و حسگرهای چند نقطه‌ای سرعت در مجاورت دمپرها/هواکش‌های ورود هوای بیرونی به نصب می‌شوند. ب) محصولات تجاری در دسترس نسبتاً جدید هستند بنابراین داده‌های عملکرد محدودی در دسترس است.
غلظت دی‌اکسیدکربن		
۸	♦ روش انتخابی ۱. آنالیزور بلادرنگ[2] مادون قرمز دی‌اکسیدکربن با ثبت خروجی در طول زمان (پرسیلی و دالز ۱۹۹۰، پرسیلی ۱۹۹۳، ASTM ۱۹۹۸)	الف) میزان اوج یا میانگین زمانی غلظت دی‌اکسید کربن ، شاخص‌های مفیدی از چگونگی کنترل موثر ضایعات مایع زیستی تولیدشده توسط ساکنین از طریق تهویه هستند و ممکن است شاخص نسبتاً خوبی برای دیگر آلاینده‌های مرتبط با سکنه باشد. ب) اندازه‌گیری غلظت دی‌اکسیدکربن در چندین روش برای برآورد میزان تهویه مورد استفاده (و اغلب مورد استفاده غلط) قرار گرفته است. در بسیاری از ساختمان‌ها، تعیین صحیح میزان تامین هوای بیرونی با استفاده از داده‌های دی‌اکسیدکربن دشوار است که دلایل آن عبارتند از: عدم‌قطعیت‌ها و تغییرات زمانی در تعداد سکنه، میزان نامشخص تولید دی‌اکسیدکربن توسط ساکنین، تغییر تدریجی غلظت دی‌اکسیدکربن پس از تغییرات در تهویه یا ساکن‌شدن. ج) هزینه آنالیزور دی‌اکسیدکربن معمولاً ۷۰۰ تا ۳۰۰۰ دلار است.
غلظت مونوکسیدکربن		
۹	روش انتخابی ۱. آنالیزور بلادرنگ مادون قرمز دی‌اکسیدکربن با ثبت خروجی در طول زمان	الف) افزایش غلظت مونوکسیدکربن داخلی نسبت به غلظت خارجی آن، ممکن است نشانگر خرابی تخلیه گازهای خروجی یک دستگاه احتراقی یا نشتی اگزوز خودروها به داخل ساختمان باشد. ب) هزینه دستگاه معمولی برابر چندین هزار دلار است.
۱۰	♦ روش انتخابی ۲. استفاده از هشدار دهنده‌های کم هزینه مونوکسیدکربن	الف) افزایش مونوکسیدکربن داخلی نسبت به غلظت خارجی، ممکن است نشانگر خرابی تخلیه گازهای خروجی یک دستگاه احتراقی یا نشتی اگزوز خودروها به داخل ساختمان باشد. ب) هزینه هشدار دهنده معمولی تقریباً ۱۰۰ دلار است.
غلظت اوزون		
۱۱	روش انتخابی ۱. استفاده از آنالیزور بلادرنگ الکتروشیمیایی با دیتالاگر	الف) اگر راهکارهای صرفه‌جویی انرژی که میزان تهویه را تغییر می‌دهد، به طور بارزی نسبت غلظت داخلی - خارجی یا متوسط زمانی غلظت اوزون داخلی را تحت تاثیر قرار دهد، شاید این اندازه‌گیری در شهرهای با اوزون بالا مفید باشد. ب) غلظت داخلی و خارجی اوزون به‌شدت با زمان متغیر است. ج) تجهیزات اندازه‌گیری نسبتاً گران و بیش از ۶۰۰۰ دلار است، بنابراین اغلب اندازه‌گیری غیر عملی است.
غلظت ذرات		
۱۲	روش انتخابی ۱. شمارش بلادرنگ ذرات با استفاده از دستگاههای پراکنش نور[3]	الف) غلظت ذرات در داخل می‌تواند با محدودیت‌های مشخص شده در استانداردها مقایسه شود یا ممکن است اثر راهکار صرفه‌جویی انرژی بر نسبت غلظت داخلی – خارجی ارزیابی شود. ب) هوای خارجی یک منبع بارز و بعضی اوقات غالب از ذرات داخل است. ج) غلظت داخلی و خارجی در طول زمان تغییر می‌کند. د) هزینه دستگاه‌های بلادرنگ معمولی حداقل چندین هزار دلار است.
۱۳	روش انتخابی ۲. برداشت نمونه هوا از درون فیلترها با نرخ دقیق و شناخته شده و تعیین جرم ذرات جمع شده با وزن کردن فیلترها با ترازوی دقیق.	الف)غلظت ذرات در داخل می‌تواند با حدود مشخص شده در استانداردها مقایسه شود یا ممکن است اثر راهکار صرفه‌جویی انرژی بر نسبت غلظت داخلی – خارجی ارزیابی شود. ب) هوای خارجی یک منبع بارز و بعضی اوقات غالب برای ذرات داخل است. ج) غلظت داخلی و خارجی در طول زمان تغییر می‌کند. د) هزینه‌های ابزار نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری یک محل تقریباً ۱۰۰۰ دلار آمریکا است. ترازوی دقیق ممکن است چند هزار دلار هزینه داشته باشد. هزینه‌های کار با نمونه‌ها زیاد است.

[1]- Airfrow straightner
[2]- Real time
[3] -Light Scattering Instrument

غلظت آئروسولهای زیستی		
۱۴	روش انتخابی ۱. استفاده از برخورد کننده (Impactor) تک یا چند مرحله‌ای برای جمع‌آوری نمونه‌ها بر روی محیط‌های کشت، کشت و شمارش و شناسایی کولونی‌های میکروبی (ACGIH ۱۹۹۰، ۱۹۹۵b، ۱۹۹۵c)	الف) اندازه‌گیری گران است، غلظت‌ها ممکن است به مقدار زیادی با زمان تغییر کند درحالی‌که دوره‌های جمع‌آوری نمونه کمتر از ۱۵ دقیقه است. ب) نتایج اندازه‌گیری، به محیط کشت و شرایط کشت دادن بستگی دارد. ج) روش‌های مبتنی بر کشت، ارگانیسم‌های غیر قابل کشت (مانند مرده) را که ممکن است منجر به اثرات بیماری شوند را تشخیص نمی‌دهد. د) سطوح بالای تخصص موردن نیاز است.
ترکیبات آلی فرار موجود در هوا		
۱۵	♦ روش انتخابی ۱. جمع‌آوری نمونه‌ها بر روی جاذب‌های جامد و آنالیز نمونه‌ها در یک آزمایشگاه برای TVOC با استفاده از کروماتوگرافی گازی دارای آشکارساز یونیزاسیون شعله یا کروماتوگرافی گازی – اسپکتومتری جرمی (هاجسون ۱۹۹۵، ECA ۱۹۹۷)	الف) ر.ک. توضیحات در بخش ۳ در باره استفاده از داده‌های TVOC. ب) هزینه تجهیز نمونه‌گیری برای یک محل اندازه‌گیری د معمولاً کمتر از ۱۰۰۰ دلار آمریکا است. ج) هزینه آنالیز برای TVOC تقریباً ۱۰۰ دلار آمریکا به ازای هر نمونه است.
۱۶	روش انتخابی ۲. استفاده از آنالیزور مادون قرمز حساس (مانند فوتواکوستیک) برای اندازه‌گیری غلظت TVOC (هاجسون ۱۹۹۵)	ارزش اندازه‌گیری‌های TVOC با آنالیزور مادون قرمز نامشخص است زیرا پاسخ آنالیزور بسته به مخلوط ترکیبات در هوا تغییر می‌کند.
۱۷	روش انتخابی ۳. جمع‌آوری نمونه‌ها بر روی جاذب‌های جامد و آنالیز نمونه‌ها با استفاده از کروماتوگرافی گازی- اسپکترومتری جرمی برای غلظت‌هایی از چندین VOC خاص (مثلاً تعیین مقادیر فراوان‌ترین VOCها یا آن‌هایی که از منابع مشخص هستند (هاجسون ۱۹۹۵، ECA ۱۹۹۷، ASTM ۱۹۹۴، ۱۹۹۴b، ۱۹۹۴c، ۱۹۹۵b، ۱۹۹۶، ۱۹۹۷، ۱۹۹۸b	الف) ر.ک. توضیحات در بخش ۳ درباره VOCها. ب)هزینه تجهیز نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری یک محل واحد معمولاً کمتر از ۱۰۰۰ دلار آمریکا است. هزینه آنالیز برای یک مجموعه ۱۰ تا ۱۵ تایی از VOCها تقریباً ۵۰۰ دلار آمریکا به ازای هر نمونه است.
پارامترهای روشنایی و رضایتمندی		
۱۸	روش انتخابی ۱. اندازه‌گیری شدت روشنایی مطابق با استانداردهای موجود (IES ۱۹۹۳)	الف) یک بار اندازه‌گیری از شدت روشنایی (شدت روشنایی در ارتفاع کار) و یکنواختی در فضاهای تیپ. ب) ابزار (نورسنج) نسبتاً ارزان است (تقریباً ۲۰۰ تا ۴۰۰ دلار). ج) برای این‌که کدام فضاها به عنوان تیپ انتخاب شوند و برای انجام درست اندازه‌گیری‌ها، تخصص مورد نیاز است.
۱۹	روش انتخابی ۲. انجام اندازه‌گیری چند پارامتری منطبق با استانداردهای موجود (IES ۱۹۹۳)	الف) اندازه‌گیری توزیع روشنایی (قابل حصول با یک سیستم تصویربرداری) در فضاهای تیپ. ب) سیستم‌های تصویربرداری موجود هنوز در مراحل ابتدایی هستند. نرم‌افزاری برای آنالیز تصاویر پس از تصویربرداری، دردسترس است، ولی ابزارهای تحلیل موجود پارامترهای کیفیت نور را مستقیماً از داده‌های روشنایی، محاسبه نمی‌کنند. ج) اندازه‌گیری درخشندگی مستقیم از منابع در میدان دید (هردوی روشنایی برق و روشنایی روز)، نیاز به نورسنج. مستند کردن موقعیت دقیق اندازه‌گیری‌های روشنایی دشوار است، بنابراین تکرارپذیری زیر سوال است. د) برخی منابع نوری (مانند روشنایی نور) با زمان متغیر هستند.
۲۰	♦ روش انتخابی ۳. ارزیابی آسایش یا رضایت ساکنین از روشنایی از طریق یک نظرسنجی (کالینز و همکاران ۱۹۹۰، دیلون و ویسچر ۱۹۸۷، اکلوند و بویس ۱۹۹۵، هیگ و لوفبرگ ۱۹۹۸)	الف) اغلب کم‌هزینه‌ترین روش است. ب) نتایج نظرسنجی می‌تواند در طول زمان تلفیق شود. ج) نظرسنجی به‌خوبی طراحی‌شده می‌تواند در تشخیص منابع خاص مشکلات روشنایی ساکنین کمک کند.

رضایت ساکنین از IEQ		
۲۱	♦ ارزیابی با استفاده از نظرسنجی (ر.ک. *بخش ۸-۵-۵*)	الف) ر.ک. توضیحات درباره نظرسنجیها در بخش ۸-۵-۵. ب) نتایج نظرسنجی می‌تواند در طول زمان تلفیق شود. ج) رضایت بالا از کیفیت هوا اطمینان نمی‌دهد که آلاینده‌ها موجب ریسک سلامتی نمی‌شوند. د) بعضی اوقات ساکنین مشکلات را به یک منبع نادرست یا شرایط محیطی نامربوط، نسبت می‌دهند (مثلاً سر و صدای کامپیوترها به بالاست‌های سیستم روشنایی نسبت داده می‌شود).
شیوع یا شدت یافتن علائم حاد نامشخص بیماری		
۲۲	♦ ارزیابی با استفاده از نظرسنجی (ر.ک. *بخش ۸-۵-۵*)	الف) ر.ک. توضیحات درباره نظرسنجی در بخش ۸-۵-۵. ب) نتایج نظرسنجی می‌تواند در طول زمان تلفیق شود. ج)گزارش میزان کم علائم بیماری اطمینان نمی‌دهد که آلاینده‌ها فاقد ریسک سلامتی هستند.

۹ به کارگیری راهنما

برای به کارگیری این راهنما، اعمال زیر توصیه می‌شود:

۱ گردآوری دانش عمومی درباره IEQ از طریق مرور بخش ۴ و ۵ یا مستندات معادل.

۲ استفاده از *جدول ۲*، *بخش ۷* و در صورت لزوم اطلاعات تکمیلی برای راهکارهای صرفه‌جویی انرژی که اجرا خواهد شد برای تعیین: الف) اثرات احتمالی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی بر IEQ، و ب) اقدامات احتیاطی یا تعدیلی مرتبط.

۳ انتخاب یک هدف برای M&V مربوط به IEQ از *بخش ۸-۲*.

۴ انتخاب یک رویکرد M&V برای IEQ از *بخش ۸-۵* بر مبنای راهکارها صرفه‌جویی انرژی و هدف.

۵ با فرض این‌که رویکرد M&V برای IEQ، رویکرد ۱ نباشد (بدون M&V برای IEQ)، انتخاب و به کارگیری یک روش انتخابی M&V برای IEQ از *جدول ۴*. درطول اجرا، به صورت متناسب، استفاده از مراحل ۴-۱۰ روش M&V که در جدول ۳تشریح‌شده. اگر جدول ۴ فاقد یک انتخاب قابل قبولM&V مربوط به IEQ بود، دیگر روشهای انتخابی می‌تواند تدوین و استفاده شوند.

۶ تهیه و توزیع مستندات کتبی فرآیند M&V برای IEQ که شامل توصیف و توجیه تصمیمات مهم و رویه‌ها به علاوه خلاصه و تفسیری از یافته‌ها باشد.

۱۰ ملاحظات پایانی

آگاهی از اثرات مهم IEQ بر آسایش، سلامتی، رضایت و بهره‌وری ساکنین ساختمان رو به افزایش است. اجرای پروژه‌های صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌های تجاری اغلب به صورت مثبت یا منفی بر IEQ تاثیر می‌گذارد، بنابراین حین انتخاب و اجرای راهکارهای صرفه‌جویی انرژی، IEQ باید مدنظر قرار گیرد. برای بسیاری از پروژه‌ها، از طریق اجرای درست راهکارهای صرفه‌جویی انرژی و کاربرد دانش عمومی درباره IEQ می‌توان به راحتی از مشکلات IEQ اجتناب کرد. بعضی وقتها به منظور اطمینان از قابل‌قبول باقی ماندن IEQ یا تعیین میزان بهبود در IEQ، انجام M&V برای IEQ لازم است. این سند به تعلیم کارشناسان انرژی ساختمان درباره مرتبط‌ترین وجوه IEQ کمک می‌کند و نیز رهنمودهایی درباره M&V برای IEQ را فراهم می‌آورد.

۱۱ مراجع

1 ACGIH (1990) *Guidelines for the assessment of bioaerosols in the indoor environment, Publication 3180*, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Cincinnati, OH

2 ACGIH (1993) *Aerosol measurement: principles, techniques, and applications*, Klaus Willeke and Paul A. Baron, Eds. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Publication 9400, Cincinnati, OH

3 ACGIH (1998) 1998-1999 *Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices.* American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati.

4 ACGIH (1995) *Air sampling instruments*, 8th Ed., Publication 0030, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Cincinnati, OH

5 ACGIH (1995b) *Bioaerosols*, Harriet Burge, Ed., Publication 9612, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Cincinnati, OH

6 ACGIH (1995c) *Bioaerosols handbook*, Christopher S. Cox and Christopher M. Wathes, Eds., Publication 9611, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Cincinnati, OH

7 Andersson, K.; Bakke J.V., Bjorseth, O., Bornehag, C._G., Clausen, G., Hongslo, J.K., Kjellman, M., Kjaergaard, S., Levy, F., Molhave, L., Skerfving, S., and Sundell, J. (1997) TVOC and health in non-industrial indoor environments: report from a Nordic Scientific Consensus Meeting at Langholmen in Stockholm, 1996 , *Indoor Air 7*(2): 78-91.

8 Arens, E and Baughman, A. (1996) Indoor humidity and human health, part 2: buildings and their systems , *ASHRAE Transactions 102*(1): 212-221.

9 Arens, E.A. Bauman, F.S., Johnston, L.P., and Zhang, H. (1991) Testing of localized ventilation systems in a new controlled-environment chamber , *Indoor Air 1*(3), pp. 263-281.

10 ASHRAE (1988) *ASHRAE / ANSI Standard 111-1988, Practices for measurement, testing, adjusting, and balancing of building heating, ventilating, and airconditioning systems*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta.

11 ASHRAE (1989) *ASHRAE standard 62-1989, ventilation for acceptable indoor air quality*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.

12 ASHRAE (1992) *1992 ASHRAE handbook, HVAC systems and equipment*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.

13 ASHRAE (1992b*) ASHRAE / ANSI Standard 55-1992, Thermal environmental conditions for human occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.

14 ASHRAE (1995) *1995 ASHRAE handbook, HVAC applications*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.

15 ASHRAE (1995b) *ANSI/ASHRAE Standard 55a-1995, Addendum to thermal environmental conditions for human occupancy,* American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.

16 ASHRAE (1996) *1996 ASHRAE Handbook, HVAC Systems and Equipment*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.

17 ASHRAE (1996b*) ASHRAE Standard 62-1989 Ventilation for acceptable indoor air quality, public review draft*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.

18 ASHRAE (1996c) *Guideline 1-1996 - The HVAC commissioning process*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.