DOR: 20.1001.1.28209818.1404.5.2.3.1

فصلنامه
پژوهش‌های معماری نوین
دوره ۵، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۶
تابستان ۱۴۰۴
صفحات ۵۸-۴۳

Architectural Technologies
Studies Journal
Vol. 5, Issue. 2, No. 16
Summer 2025
Pages 43-58

مقاله پژوهشی

تبیین چالش‌های نظری کیفیت هوای داخلی ساختمان‌های سبز و فرصت‌های بهبود آن

فاطمه رجبی[1]*

۱- استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)
F.rajabi@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۴۰۳/۹/۷] تاریخ پذیرش: [۱۴۰۴/۲/۹]

چکیده

ساختمان‌های سبز که امروزه جهت بهره‌وری انرژی طراحی می‌شوند، بر کارآمدی انرژی و منابع تمرکز داشته و کمتر به کیفیت هوای محیط داخلی می‌پردازند؛ فقدان کیفیت مطلوب هوای داخل بسیاری از این ساختمان‌ها سلامت ساکنین را مختل می‌کند و آسیب‌های جبران‌ناپذیری در پی خواهد داشت. این مقاله با هدف کاربردیِ تبیین فرصت‌های بهبود کیفیت هوای داخلی به بررسی چالش‌های کیفیت هوای محیط داخلی در ساختمان‌های سبز می‌پردازد. در این راستا ابتدا مروری بر تعاریف ساختمان سبز و کیفیت هوای محیط داخلی می‌شود و نحوه پرداختن ساختمان‌های سبز به کیفیت هوای محیط داخلی ساختمان به روش اسنادی و کتابخانه‌ای بررسی خواهد شد. در ادامه به روش توصیفی تحلیلی با مقایسه کیفیت هوای محیط داخلی ساختمان‌های سبز و معمولی، اقدامات به‌اصطلاح سبزی که تأثیرات نامطلوبی روی کیفیت هوای محیط داخلی دارند شناسایی شده و با تحلیل محتوای کیفی مجموعه‌ای از راهکارهای بهبود کیفیت هوای محیط داخلی پیشنهاد می‌شود. یافته‌های به دست آمده نشان می‌دهند علی‌رغم اینکه عموماً کیفیت هوای محیط داخلی درک شده در ساختمان‌های سبز، بالاتر از ساختمان‌های معمولی بوده، اما سبز بودنِ ساختمان، لزوماً کیفیت هوای محیط داخلی مطلوب‌تری را تضمین نمی‌کند. بر اساس جمع‌بندی داده‌های نظری، علاوه بر تهویه، باید بر راهبردهای دیگری نظیر کنترل منابع و کاهش مواجهه ساکنین با آلاینده‌ها تمرکز نمود. ازجمله راهکارهای بهبود کیفیت هوای محیط داخلی می‌توان به الزام رعایت دستورالعمل‌های کیفیت هوای محیط داخلی برای آلاینده‌های کلیدی و اعطای امتیاز در گواهی ساختمان سبز برای کاهش و به حداقل رساندن آلاینده‌ها، توسعه شاخص‌ها و معیارهای کیفیت هوای محیط داخلی، اعطای امتیاز برای تست آلایندگی محصولات مورد استفاده در ساختمان، نظارت منظم بر کیفیت هوای محیط داخلی، بررسی تأثیرات متقابل راه‌حل‌ها در سایر معیارهای تولید ساختمان‌های سبز بر کیفیت هوای محیط داخلی اشاره کرد.

واژگان کلیدی: تهویه، ساختمان سبز، کیفیت هوای داخل، سلامت ساکنان.

۱- مقدمه

امروزه جنبش جهانیِ ساخت ساختمان‌های سبز در جهت بهره‌وری انرژی و کاهش کربن رو به رشد است. تحقیقات مرتبط نشان می‌دهند ساختمان‌هایی که با ویژگی‌های سبز ساخته می‌شوند، بر کیفیت محیط‌زیست (IEQ)[1] تأثیرگذار هستند، همچنین یافته‌های حاصل از بررسی سلامت ساکنان و کیفیت محیط‌زیست نیز حاکی از وجود رابطه معنادار میان این دو پارامتر است (Banerjee, Ankita, Melkania & Nain, 2021; Babu & Suthar, 2020). کیفیت هوای محیط داخلی (IAQ)[2] به‌عنوان یکی از فاکتورهای اصلی کیفیت محیط‌زیست برشمرده می‌شود و این فاکتور بر سلامت ساکنان که عموماً ساعات زیادی از زندگی خود را در محیط داخلی سپری می‌کنند تأثیر قابل توجهی دارد. علی‌رغم این تأثیرگذاری، معیارهای بومی شده ساختمان‌های سبز در بعضی کشورها، کیفیت هوای محیط داخلی و سلامت ساکنین را قبل از اجرای ساختمان سبز به‌طور سیستماتیک مورد توجه قرار نمی‌دهد و آزمایش‌های مرتبط با کیفیت هوای محیط داخلی بعد از اجرای ساختمان سبز، گواه نامطلوب بودن کیفیت هوای این ساختمان‌ها است، علاوه بر این در این ساختمان‌ها بیماری‌های مختلف مزمن و حادی به وجود آمده است که دلایل آن‌ها اغلب ناشناخته و نامشخص است.

با توجه به این مقدمه کوتاه و تأثیرگذاری کیفیت هوای محیط داخلی در سلامت فضای زیست انسان، ساختمان‌های سبز باید برای اثربخشیِ بیشتر، جامع عمل نموده و ضمن بهره‌وری انرژی و آسایش حرارتی ساکنان، عواقب منفی ناخواسته‌ای در ارتباط با سلامت ساکنان به وجود نیاورند، زیرا همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، افراد زمان زیادی را در محیط‌های داخلی می‌گذرانند و با ارزش‌ترین دارایی ساختمان محسوب می‌شوند، همچنین آن‌ها برای عملکرد مطلوب، نیازمند استنشاق هوای با کیفیت هستند، لذا توجه به فاکتورهایی از ساختمان سبز که بر کیفیت هوای داخلی ساختمان اثرگذار است ضروری خواهد بود. در همین راستا مطالعات مرتبط با ساختمان‌های سبز و کیفیت هوای محیط داخلی باید قبل از اجرای ساختمان سبز انجام شده و کلیه عوامل مؤثر بر سلامت و رفاه افراد در محیط داخلی مورد مداقه واقع شود. به این ترتیب کیفیت مطلوب هوای داخلی ساختمان که بر سلامت و بهره‌وری ساکنان تأثیرگذار است، منجر به منافع اقتصادی و اجتماعی بیشتری خواهد شد (Banerjee & et al. 2021).

این پژوهش با هدف شناسایی نقاط قوت و ضعف طرح‌های گواهی ساختمان سبز که با فاکتور کیفیت هوای محیط داخلی مرتبط هستند، اثرات نامطلوب معیارهای مختلف طرح‌های گواهی سبز را بر کیفیت هوای داخلی ساختمان مورد ارزیابی قرار می‌دهد. سؤال اصلی پژوهش تأثیرپذیری کیفیت هوای محیط داخلی از ابعاد مختلفی است که بر اساس آن‌ها گواهی ساختمان سبز صادر می‌شود، ازجمله این ابعاد، روش‌ها و محصولات سبزی است که ساختمان‌های سبز با آن‌ها ایجاد می‌شوند. تفاوت کیفیت هوای محیط داخلی ساختمان‌های سبز با ساختمان‌های معمولی از سؤالات فرعی پژوهش در راستای پاسخ به پرسش اصلی است. سؤال فرعی دیگر پژوهش فاکتورهای تأثیرگذار بر کیفیت هوای محیط داخلی نظیر پیامد تغییرات آب و هوایی و دستورالعمل‌های نظارتی مراکز مختلف بعد از ساخت ساختمان سبز و استفاده کاربران در کیفیت هوای داخلی است. در نهایت بر اساس یافته‌های به دست آمده از بخش‌های مختلف پژوهش که به روش توصیفی و تحلیل محتوای کیفی انجام می‌شود، راهکارهای لازم جهت بهبود کیفیت هوای محیط داخلی ساختمان‌های سبز و فرصت‌های تحقیقاتی در این زمینه پیشنهاد می‌شود.

۲- مرور مبانی نظری و پیشینه

ساختمان‌های سبز بناهایی هستند که جهت استفاده کارآمد از منابع انرژی و آب، همچنین کاهش اثرات نامطلوب ساختمان بر محیط‌زیست طراحی می‌شوند (WCED, 1987). آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالت متحده (EPA, 2016) ساختمان‌های سبز را

1 - Indoor Environmental Quality
2 - Indoor Air Quality

این‌گونه تعریف می‌کند: «ساختمان‌های سبز بناهایی هستند که به‌وسیله فرآیندهایی از نظر زیست‌محیطی مسئولیت‌پذیر و از نظر منابع در طول چرخه حیات ساختمان اعم از مکان‌یابی، طراحی، ساخت، بهره‌برداری، نگهداری، نوسازی و بازسازی کارآمد باشند». کشورهای مختلف، ساختمان‌های سبز را با توجه به شرایط خود، با طرح‌هایی تحت عنوان گواهی ساختمان سبز تعریف و دسته‌بندی کرده‌اند، به‌طوری‌که بیش از ۳۱ طرح صدور گواهی سبز (W. Wei, 2015) نظیر سیستم بریم[1] در بریتانیا (BRE, 2016)، لید[2] در ایالت متحده (WCED, 1987)، دی جی ان بی[3] در آلمان (DGNB, 2016)، کَسبی[4] در ژاپن (CASBEE, 2016)، ستاره سبز در استرالیا (GBCA, 2016) و سرو سبز[5] در ایران (پیر باوقار، ۱۴۰۰) وجود دارد.

کیفیت هوای داخلی به‌طورکلی مربوط به آلاینده‌های بیولوژیکی، شیمیایی یا فیزیکی داخل ساختمان است که بر سلامت ساکنین اثرگذار است. علاوه بر این کیفیت هوای محیط داخلی زیرمجموعه‌ای از کیفیت محیط‌زیست در نظر گرفته می‌شود که با فاکتورهایی نظیر آلاینده‌ها، روشنایی، آرگونومی و دما تعریف می‌شود. تعاریف کیفیت هوای محیط داخلی با توجه به دیدگاه کاربر انسانی، هوای داخلی و منابعی که در آلودگی هوای داخل خانه نقش دارند می‌تواند متفاوت باشد (P.M. Bluyssen, 2009). تعریف ارائه شده از آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالت متحده (EPA, 2016) در رابطه با کیفیت هوای محیط داخلی به این شرح است: «کیفیت هوای داخل ساختمان به کیفیت هوای داخل و اطراف ساختمان اشاره دارد و با سلامت و راحتی ساکنین مرتبط است». با این حال در ایالت متحده همانند بسیاری کشورهای دیگر هیچ قانونی به‌طور خاص کیفیت هوای محیط داخلی را تنظیم نمی‌کند و با توجه به آنکه افراد، بیش از ۹۰ درصد زمان خود را در محیط‌های داخلی می‌گذرانند و سطح آلاینده‌های داخلی عموماً چند درصد بیشتر از محیط خارجی است، لذا بیش از ۹۰ درصد از مواجهه افراد با آلاینده‌ها، به‌واسطه حضور آن‌ها در داخل ساختمان حاصل می‌شود (W. Ott, Steinemann & Wallace, 2007). لازم به ذکر است که مقررات کیفیت هوا در ایالات‌متحده (EPA, 1990)، اتحادیه اروپا (EU, 1996)، استرالیا (AU, 2015) و برخی کشورهای دیگر «هوای محیط» را تنظیم می‌کنند، ولی این اصطلاح به‌عنوان هوای بیرونی تفسیر شده و شامل هوای داخل نمی‌شود.

متداول‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر کیفیت هوای محیط داخلی نرخ تهویه، مجموع ترکیبات آلی فرآر، فرمالدئید، دی‌اکسیدکربن، مونوکسیدکربن، ذرات معلق قابل استنشاق کمتر از ۲.۵ و ۱۰ میکرومتر، ازن، بنزن و رادون می‌باشند (Wei et al, 2020). این آلاینده‌ها ازجمله عوامل شناخته شده آلرژی، حساسیت‌های مفرط، عفونت‌های ریوی و سندرم ساختمان بیمار[6] هستند، ضمن اینکه تعدادی از این آلاینده‌ها سرطان‌زا نیز گزارش شده‌اند. منابع اولیه انتشار این آلاینده‌ها، معمولاً از مصالح ساختمانی، رنگ‌ها، مبلمان، دود تنباکوی محیطی[7] یا سایر آلاینده‌های ثانویه است (Banerjee et al, 2021). برخی از آژانس‌ها نظیر سازمان جهانی بهداشت دستورالعمل‌هایی جهت حفاظت از سلامت عمومی انسان در برابر مواد شیمیایی رایج در محیط داخلی ارائه می‌دهند، به عنوان نمونه دستورالعمل کیفیت هوای داخلی (WHO, 2010) برای فرمالدئید (غلظت متوسط ۳۰ دقیقه) ۱۰۰ میلی‌گرم بر متر مکعب است. با این حال اندازه‌گیری و ارزیابی کیفیت هوای داخل ساختمان دشوار است که ازجمله دلایل این دشواری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تنوع و پیچیدگی آلاینده‌های موجود در محیط داخلی که بر سلامت انسان تأثیرگذار هستند.
- تفاوت تأثیر آلاینده‌های یکسان بر افراد مختلف و اینکه این آلاینده‌ها طیف وسیعی از اثرات مزمن و حاد را برای افراد به وجود می‌آورند.

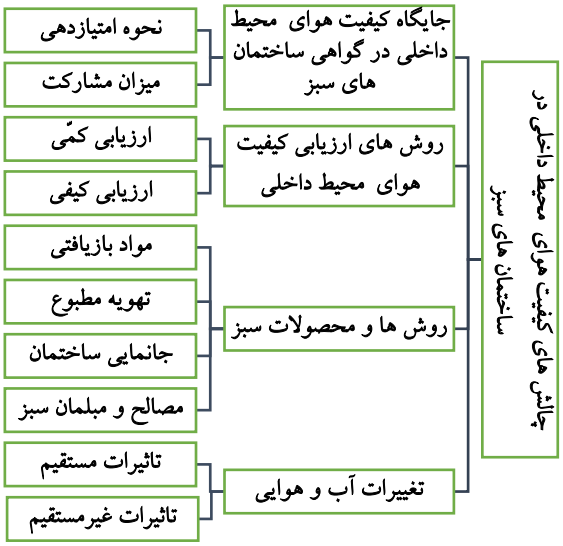
1 -Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM)
2 -Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)
3 -Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (In German)
4 -Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE)
5 -IGBRS
6 -SBS
7 -ETS

- تأثیرگذاری آلاینده‌های اندازه‌گیری شده بر کیفیت هوای محیط داخلی به‌طور دقیق مشخص نیست.
- الزامات قانونی برای اندازه‌گیری و نظارت بر کیفیت هوای محیط داخلی وجود ندارد.

بنا بر آنچه گفته شد می‌توان نتیجه گرفت هرچند کیفیت هوای محیط داخلی از منظر سلامت ساکنین مهم است، اما اغلب از منظر نظارتی داوطلبانه بوده و با وجود اینکه برخی آژانس‌ها، رهنمودهایی در این زمینه ارائه می‌دهند، معیارها و مقررات منسجمی برای تعیین و تضمین سلامت محیط‌های داخلی وجود ندارد، لازم به ذکر است که در سال ۲۰۲۳ انجمن مهندسین گرمایش و تهویه مطبوع آمریکا (ASHRAE) با ویرایش دوم استاندارد ٦٢/١ حداقل نرخ تهویه و سایر اقدامات لازم جهت ارائه کیفیت هوای قابل قبول داخل ساختمان و به حداقل رساندن اثرات نامطلوب سلامتی برای ساکنین را تبیین کرده است.

۳- روش‌شناسی

در این پژوهش با توجه به هدف تحقیق، ابتدا کلیه مقالات علمی پژوهشی مرتبط با موضوع مورد بحث، به کمک کلید واژه‌های اصلی تحقیق در بازه زمانی ۱۹۹۵-۲۰۲۳ شناسایی می‌شوند و در ادامه با تدقیق موضوع پژوهش، ٦٩ عنوان از میان آن‌ها برگزیده می‌شود. جهت تبیین چالش‌های کیفیت هوای محیط داخلی در ساختمان‌های سبز و زمینه‌های بهبود آن، تأثیر عوامل زیر (نمودار ۱) که به روش تحلیل محتوای کیفیِ مطالعات نظری برگزیده شده (٦٩ عنوان منتخب) به دست آمده است مورد بررسی قرار می‌گیرد. رویکرد تحلیل محتوا در پژوهش از نوع تلخیصی (تجمعی) بوده و کدگذاری داده‌ها در این بخش با نرم‌افزار Maxqda ورژن ۲۰۲۰ انجام شده است. لازم به ذکر است که تا کنون، بررسی جامعی با عوامل کدگذاری شده در نمودار یک در هیچ مطالعه مشابهی انجام نشده است و در مطالعات مشابه صرفاً به تعاریف یا بررسی یک عامل پرداخته شده است. در نهایت بعد از بررسی کلیه عوامل ذکر شده در ساختمان سبز، استدلال منطقی پژوهشگر راهکارهایی جهت بهبود کیفیت هوای محیط داخلی برای این ساختمان‌ها را به عنوان یافته‌های پژوهش در جدول شماره یک معرفی می‌کند.



نمودار ۱. عوامل مورد بررسی در پژوهش (منبع: نگارنده)

۴- یافته‌ها

۴-۱- ارتباط طرح‌های گواهی ساختمان‌های سبز و کیفیت هوای داخلی

از زمان پیدایش طرح‌های گواهی ساختمان سبز، کیفیت هوای محیط داخلی به‌عنوان یکی از معیارهای پیش‌فرض در طرح‌ها گنجانده شده و در حال حاضر هم به نوعی در کلیه طرح‌ها وجود دارد، اما رده‌بندی آن در طرح‌های مختلف متفاوت است، به‌عنوان نمونه کیفیت هوای محیط داخلی در بریم در رده سلامت، در لید و ستاره سبز در رده کیفیت محیط داخلی و در دی جی اِن بی در رده توصیف کیفیات اجتماعی فرهنگی عملکردی قرار دارد. علاوه بر موارد فوق کیفیت هوای محیط داخلی جنبه‌هایی مرتبط با کیفیت محیط‌زیست نظیر نور روز، نور مصنوعی، شرایط محیطی صوتی و حرارتی را نیز ارائه می‌دهد. نکته قابل توجه دیگر در ارتباط طرح‌های گواهی سبز و کیفیت هوای محیط داخلی آن است که اطلاعات سیستماتیک در مورد اینکه چه تعداد از فاکتورهای کیفیت هوای محیط داخلی در طول فرایند صدور گواهی ساختمان سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد وجود ندارد، همچنین مشخص نیست که اگر همه فاکتورهای کیفیت هوای محیط داخلی در صدور گواهی سبز لحاظ شوند لزوماً این فاکتورها کیفیت هوای محیط داخلی را بهبود می‌بخشند.

بر اساس ارزیابی ۵۵ طرح ساختمان سبز در ۳۰ کشور جهان، میزان مشارکت کیفیت هوای محیط داخلی در ساختمان‌های سبز ۳ تا ۱۱ درصد (به‌طور میانگین ۷/۵ درصد) بوده است. در میان این ۵۵ طرح، ۱۰۰ درصد آن‌ها از معیار تهویه، ۷۷ درصد از معیار کنترل منبع و ٦٦ درصد معیار اندازه‌گیری کیفیت هوای محیط داخلی را استفاده کرده‌اند. ضمناً ٦٥ درصد از این گواهی‌ها به بررسی سه آلاینده خاص ترکیبات آلی فرآر، فرمالدئید و دی‌اکسیدکربن پرداخته‌اند (W. Wei et al, 2015) و برای سایر آلاینده‌ها نظیر آزبست، میکروب‌ها، دود تنباکوی محیطی، مونوکسیدکربن، اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، رادون، آمونیاک، ازن و مواد نیمه فرآر نیز الزاماتی کمتر از سه آلاینده فوق تعریف شده که اجباری هم نیستند.

در طرح‌های گواهی ساختمان‌های سبز علاوه بر تأثیرگذاری مستقیم آلاینده‌های فوق، مواردی نظیر انتخاب مکانِ ساختمان بر کیفیت هوای خارج تأثیرگذار است، در همین راستا کیفیت درزبندی ساختمان، نوع تهویه و سیستم کارآمد انرژی که بر انتقال آلاینده‌های خارج مؤثر است، می‌تواند بسته به کیفیت هوای خارج، کیفیت هوای محیط داخلی را بهبود یا مختل نماید[1].

با بررسی طرح‌های گواهی ساختمان سبز مشخص می‌شود که در بسیاری از طرح‌ها به جز دی جی اِن بی امکان جابجایی امتیازات معیارهای مختلف وجود دارد و از آنجایی که سطح گواهی به واسطه امتیازاتی که در هر معیار دریافت شده تعیین نمی‌شود، بلکه تعداد کل امتیازات اعطا شده محاسبه می‌گردد، بالاترین سطح گواهی طرح‌ها حتی بدون دریافت هیچ امتیازی از کیفیت هوای محیط داخلی می‌تواند کسب شود. برای مدیریت این موضوع، برخی طرح‌ها الزامات اجباری برای پرداختن به کیفیت هوای محیط داخلی وضع کرده‌اند به‌عنوان نمونه در نسخه لید ۲۰۰۹، ساختمان‌های دارنده گواهی سبز باید ضمن تأمین الزامات استاندارد اَشرِ ٦٢/١ (ASHRAE, 2007)، دود تنباکو محیطی را هم کنترل کنند. در دی جی اِن بی هر معیار رتبه‌بندی باید حداقل امتیازی را دریافت کند تا گواهی مربوطه برای آن صادر شود، ضمناً دی جی اِن بی هم تعیین نمی‌کند که چه فاکتورهایی در هر معیار باید مورد توجه قرار گیرند، لذا اگر دریافت امتیاز برای سایر معیارهای کیفیت محیط‌زیست آسان‌تر باشد، ممکن است به اندازه کافی به کیفیت هوای محیط داخلی پرداخته نشود. در طرح پایلوت نشانه سبز ۲۰۱۵[2] که توسط اداره ساخت‌وساز ساختمان در سنگاپور مورد بررسی قرار گرفته، فاکتورهای اجباری برای پرداختن به کیفیت هوای محیط داخلی پیشنهاد شده است و آن‌ها الزامات پیش‌نیازی را برای تمام معیارها جهت اعطای گواهی ساختمان تعریف کرده‌اند که در مورد کیفیت هوای محیط داخلی این فاکتورها شامل هوابندی و نشتی، حداقل میزان تهویه، محیط فیلتراسیون و زمان آلودگی و استفاده از رنگ‌های ترکیبی آلی کم فرآر می‌شوند (BCA, 2015).

۱- این معیار عموماً برای بهبود کیفیت هوای محیط داخلی استفاده نمی‌شوند.

2- GREEN MARK 2015

بنا بر آنچه گفته شد هرچند در طرح‌های صدور گواهی ساختمان سبز فاکتورهایی برای کیفیت هوای محیط داخلی گنجانده شده و برخی از طرح‌ها هم شامل حداقل الزاماتی برای کیفیت هوای محیط داخلی هستند، اما این فاکتورها لزوماً برای ارتقای کیفیت هوای محیط داخلی کافی و مؤثر نیستند و از آنجایی که طرح‌های صدور گواهی عمدتاً به تهویه به‌عنوان فاکتور اصلی جهت کنترل کیفیت هوای محیط داخلی می‌پردازند، یک ساختمان می‌تواند بالاترین سطح گواهی را بدون دریافت هیچ امتیازی از کیفیت هوای محیط داخلی دریافت کند، به عبارت دقیق‌تر گنجاندن فاکتورهای مربوط به کیفیت هوای محیط داخلی در طرح‌های صدور گواهی سبز لزومی بر پرداختن به آن‌ها را در طول فرآیند ساخت ساختمان سبز نیست.

۴-۲- مقایسه کیفیت هوای داخلی ساختمان‌های سبز و معمولی

کیفیت هوای محیط داخلی در ساختمان‌های سبز عمدتاً بعد از حضور ساکنین در ساختمان ارزیابی می‌شود. مطالعات ارزیابی کیفیت هوای داخلی، عموماً یا اطلاعاتی را در مورد کیفیت هوای محیط داخلی درک شده توسط ساکنین ارائه می‌دهد یا با اندازه‌گیری نرخ تهویه، سطح دی‌اکسیدکربن و سایر آلاینده‌ها بیان می‌شود (Liang et al.,2014). بر اساس یافته‌های حاصل از تحقیقات مرتبط، ساکنان ساختمان‌های سبز عموماً کیفیت هوای محیط داخلی را بالا ارزیابی کرده‌اند و نسبت به ساکنان ساختمان‌های معمولی از کیفیت هوای محیط داخلی رضایت بیشتری داشته‌اند. در موارد معدودی از تحقیقات نتایج معکوس به دست آمده است به این معنا که رتبه کیفیت هوای محیط داخلی در ساختمان‌های سبز در مقایسه با ساختمان‌های معمولی کمتر بوده است (Thatcher & Milner, 2012, Leaman et al., 2007, Brown & Cole, 2009). در برخی تحقیقات هم در گواهی ساختمان سبز اثری از رتبه‌بندی کیفیت هوای محیط داخلی که توسط ساکنان گزارش شده وجود ندارد، یا نتایج ارزیابی ذهنی ساکنان مبهم است (Z. Gou et al., 2013). در تحقیقی که به مقایسه یک بیمارستان سبز و معمولی پرداخته شده، میزان مرگ و میر، نرخ عفونت جریان خون و مصرف دارو در بیمارستان سبز نسبت به بیمارستان معمولی کمتر گزارش شده و یافته‌های تحقیق برخی از این اثرات را به کیفیت هوای محیط داخلی بیمارستان سبز نسبت داده است (C.L. Thiel et al., 2014).

بررسی بیشتر مطالعات مرتبط در این زمینه نشان می‌دهد که یکی از محدودیت‌های تحقیقاتی ساختمان‌های سبز آن است که اثرات بهبود کیفیت هوای محیط داخلی را لزوماً نمی‌توان به تعداد بالاتر امتیازات اعطا شده به کیفیت هوای محیط داخلی نسبت داد، هرچند که این تحقیقات به‌صورت ضمنی، این موضوع را صادق فرض کرده‌اند. محدودیت دیگر این تحقیقات آن است که شواهد اصلی برای بهبود کیفیت هوای محیط داخلی از ارزیابی‌های ذهنی ساکنین ناشی می‌شود و در بیشتر موارد هیچ اندازه‌گیری کمّی، به موازات ارزیابی‌های ذهنی برای مشخص نمودن تفاوت سطح آلاینده‌ها در ساختمان‌ها انجام نشده است. علاوه بر این علی‌رغم اینکه دما و رطوبت نسبی تعدیل‌کننده مهمی در درک کیفیت هوای داخل ساختمان‌ها هستند، اما شرایط حرارتی ساختمان‌ها در این تحقیقات با هم مقایسه نشده است (L. Fang et al., 1998a, L. Fang et al., 1998b).

نکته قابل توجه دیگر این تحقیقات آن است که ادراک ساکنان از کیفیت هوای داخل ساختمان را می‌توان تا حدی به عوامل دیگری به غیر از سطح آلاینده‌ها نسبت داد، به‌عنوان نمونه گزارش شده است که ساکنان ساختمان‌های سبز به کار کردن در چنین ساختمانی افتخار می‌کنند (G. Kats, 2003) زیرا بسیاری از این ساختمان‌های سبز، نمادین و متعلق به کسب و کارهای موفق هستند و رضایت کلی از کار کردن در این ساختمان‌ها بر رضایت از کیفیت هوای محیط داخلی تأثیرگذار است. این فرضیه در مطالعه‌ای که ساکنان یک ساختمان سبز، آستانه تحمل بیشتری نسبت به ساختمانی با کیفیت محیط داخلی پایین‌تر داشت تأیید شده است (N. Da Silva, 2015).

بنا بر آنچه در این بخش گفته شد می‌توان بیان نمود که هرچند غالب ارزیابی‌های ساختمان‌های سبز نشان می‌دهند، کیفیت هوای محیط داخلی همان‌طور که توسط ساکنان ساختمان درک می‌شود بهبود می‌یابد، اما بسیاری از تحقیقاتی که به اندازه‌گیری کیفیت هوای

محیط داخلی ساختمان‌های سبز می‌پردازند، یافته‌های خود را با توجه به پتانسیل‌های موجود کنترل نمی‌کنند و تجزیه‌وتحلیل آماری رضایت بخشی از اندازه‌گیری‌ها ارائه نمی‌دهند و تحقیقات پراکنده‌ای هم که به تطبیق ساختمان‌های سبز و معمولی برای کنترل عوامل مداخله‌گر می‌پردازند و پاسخ گروه‌های مختلف در ساختمان‌های سبز و معمولی مقایسه می‌کنند (G.R. Newsham et al, 2013).

۴-۳- اثرگذاری روش‌های سبز بر کیفیت هوای داخلی ساختمان

برای دستیابی به گواهی مورد نیاز ساختمان‌های سبز از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد (Heincke & Olsson, 2012) این روش‌های به اصطلاح سبز با کاهش استفاده از منابع، کاهش اثرات زیست‌محیطی، کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن ضمن حفظ حداقل الزامات تهویه، استفاده از مواد بازیافتی و کاهش کربن برای معیارهای مختلف ساختمان سبز امتیاز کسب می‌کنند. با این حال برخی روش‌های سبز کیفیت هوای محیط داخلی ساختمان را به خطر می‌اندازند، به این معنا که امتیازات به دست آمده در برخی معیارهای گواهی ساختمان سبز بر کیفیت هوای محیط داخلی تأثیر منفی می‌گذارند.

یکی از روش‌های سبز که پیامد منفی برای کیفیت هوای محیط داخلی دارد، استفاده از مصالح مبتنی بر زباله و مواد بازیافتی است، به‌عنوان نمونه استفاده از خاکستر بادی[1] به‌عنوان یک افزودنی به مصالح ساختمانی باعث می‌شود ساکنین در معرض تماس مجموعه‌ای از فلزات سنگین با خواص سمی قرار گیرند (K. Kovler, 2012)، زیرا موادی که بازیافت شده و مجدد مورد استفاده قرار می‌گیرند، آلاینده‌هایی را که قبلاً در فرآیند بازیافت جذب کرده‌اند، مجدد روی سطوح انتشار می‌دهند (S.P. Raut et al., 2011).

نمونه دیگر از روش‌های سبز با تأثیر منفی بر کیفیت هوای محیط داخلی اقداماتی است که برای تهویه مطبوع انجام می‌شود. این اقدامات شامل استفاده از سیستم‌های تصفیه هوا، فلاشینگ و تهویه پیشرفته است. هوا را می‌توان با استفاده از فیلتراسیون، واحدهای پاک‌کننده یا تجهیزاتی که در سیستم تهویه نصب می‌شوند تصفیه کرد (W.J. Fisk et al., 2002, Shaughnessy & Sextro, 2006, J.A. Siegel, 2016) علاوه بر این مصالح نازک‌کاری ساختمان نیز کارایی پاک‌کنندگی و تصفیه هوا دارند (S.P. Lamble et al., 2013, E.K. Darling et al., 2012, C.J. Cros et al, 2012). هرچند انتظار می‌رود که سیستم‌های تصفیه هوا منجر به بهبود کیفیت هوای محیط داخلی شوند، اما دو مسئله کارایی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (ASHRAE, 2015, J.A. Siegel, 2016, P. Wargocki, 2015, Y. Zhang et al., 2011).

- اگر پاک‌کننده‌های هوا به اندازه کافی مؤثر نباشند یا به‌صورت انتخابی فقط برخی آلاینده‌ها را حذف کنند و برای سایر آلاینده‌ها فاقد تأثیر باشند.
- برخی پاک‌کننده‌های هوا در طول فرآیند پاک‌کنندگی، محصولات ناخواسته‌ای تولید کنند که از آلاینده‌های حذف‌شده مضرتر باشند (B. Kolarik et al., 2010)

در فلاشینگ یا تهویه پیشرفته که عموماً در ساعات غیرفعال ساختمان (ساختمان خالی از سکنه) انجام می‌شود و اصطلاحاً به آن تهویه شبانه گفته می‌شود، نرخ تأمین هوای خارجی برای تهویه طبیعی افزایش پیدا می‌کند و از قدرت خنک‌کنندگی هوای خارج برای حذف گرمای انباشته شده داخل ساختمان استفاده می‌شود، اما این فرآیند درعین‌حال آلاینده‌های فضای خارج را در محیط داخل انباشته می‌کند و این امر در مناطقِ با آلودگی زیاد، مشکل‌آفرین می‌شود، به‌ویژه زمانی که سیستم فیلتراسیون و پاک‌کنندگی هوا در ساختمان نمی‌توانند آلاینده‌ها را حذف کنند. علاوه بر این تهویه پیشرفته می‌تواند موازنه آلاینده‌های سطح مصالح را به هم بزند، یعنی منجر به آزاد شدن آلاینده‌هایی از سطوح مصالحی بشود که پتانسیل انتشار ذاتی دارند، یا اینکه آلاینده‌هایی را روی سطوح سازه جذب کند.

۱- خاکستر بادی بقایای ریز تقسیم شده ای است که از احتراق زغال سنگ پودر شده حاصل می شود و توسط گازهای خروجی از محفظه احتراق منتقل می شود.

نمونه رایج دیگر، کاهش نرخ ذخیره هوای خارجی در محیط داخلی به منظور ارتقای بهره‌وری انرژی بدون کنترل منبع است، این مسئله به‌ویژه در ساختمان‌های نوسازی یا مقاوم‌سازی شده غلظت آلاینده‌های داخلی را افزایش و کیفیت هوای محیط داخلی را کاهش می‌دهد. پوشش درزها و بازشوهای ساختمان از سویی می‌تواند، نفوذ آلودگی از فضای خارج به داخل را کاهش دهد و از سوی دیگر می‌تواند، نرخ ذخیره هوای خارجی در ساختمان و به‌تبع آن کیفیت هوای محیط داخلی را کاهش دهد، البته به‌شرط آنکه هوای داخل توسط سیستم تهویه خارج نشود یا به‌طور هم‌زمان منابع آلودگی کاهش پیدا نکنند. اینکه در مجموع کدام مورد مزایای بیشتری برای ساختمان سبز دارد به زمینه و سایر ویژگی‌های ساختمان بستگی دارد.

یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده برای کسب امتیاز در گواهی ساختمان‌های سبز جانمایی آن‌ها در مکان‌های نزدیک به مراکز شهری و سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی است. قرار گرفتن این ساختمان‌ها در مجاورت مراکز پرتراکم یا مسیرهای حمل‌ونقل عمومی باعث نفوذ هوای بی‌کیفیت فضای خارج به داخل ساختمان می‌شود و کیفیت هوای محیط داخلی را کاهش می‌دهد. در این حالت نیز راه‌حل‌های سبز برای تهویه ممکن است منجر به ورود آلودگی هوای خارج به داخل شود و درصورتی‌که از فناوری‌های فیلتراسیون و پاک کردن هوا برای حذف آلاینده‌های هوای خارج استفاده نشود، کیفیت هوای محیط داخلی مختل می‌شود.

بنا بر آنچه گفته شد برخی از روش‌های سبز هرچند در گواهی ساختمان‌های سبز به کسب امتیاز منتهی می‌شوند اما به کاهش کیفیت هوای محیط داخلی می‌انجامند، ازجمله این روش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استفاده و بازیافت محصولات حاوی ترکیبات خطرناک
- راهبردهای بهره‌وری انرژی که به افزایش سطح آلاینده‌های داخل ساختمان می‌انجامد.
- قرار گرفتن ساختمان‌های سبز در نزدیکی انتشار گازهای گلخانه‌ای و حمل‌ونقل عمومی اصلی
- استفاده از تهویه طبیعی در مناطق با آلودگی بیرونی بالا
- اثرگذاری محصولات سبز بر کیفیت هوای داخلی

محصولاتی که تحت عنوان سبز به بازار عرضه و در ساختمان‌های سبز استفاده می‌شوند، لزوماً محصولات سالم‌تر یا کیفیت هوای محیط داخلی بهتری را به ارمغان نمی‌آورند. تحقیقات اخیر نشان داده است که محصولات دارای گواهی سبز نظیر پاک‌کننده‌ها، مبلمان و مصالح ساختمانی می‌توانند ترکیبات خطرناکی را تولید و منتشر کنند، ضمن اینکه با محصولات مشابه معمولی نیز قابل قیاس هستند (Schieweck & Bock, 2015, A. Steinemann, 2015). به‌عنوان نمونه محصولات پاک‌کننده سبز اغلب حاوی مواد شیمیایی معطر نظیر ترپن‌ها[1] هستند، این ماده شیمیایی با ازن واکنش داده و آلاینده‌هایی نظیر فرمالدئید و ذرات معلق بسیار ریز تولید می‌کنند (Nazaroff & Weschler, 2004). تحقیقات نشان می‌دهد که محصولات پاک‌کننده و خوشبوکننده سبز، مواد فرآری را انتشار می‌دهند (بیش از ۵۵۰ ترکیب آلی فرآر منتشر شده از ۳۷ محصول) که ۲۵ درصد آن‌ها طبق قوانین فدرال ایالت متحده خطرناک هستند، درحالی‌که کمتر از سه درصد از مواد تشکیل‌دهنده و منتشر شده از این محصولات روی برچسب معرفی محصول نمایش داده می‌شوند (A. Steinemann, 2015). ضمناً انتشار آلاینده‌های خطرناک از این محصولات معطر سبز، تفاوت قابل‌توجهی با محصولات معطر معمولی نداشته و اساساً محصولات معطر صرف‌نظر از نام‌گذاری سبز یا ارگانیک، آلاینده‌های بالقوه خطرناکی در هوا منتشر می‌کنند و تقریباً همه گواهی‌ها و استانداردهای محصولات پاک‌کننده سبز مجاز به استفاده از این معطرکننده‌ها در ترکیبات خود هستند. در راستای سیاست محدودیت استفاده از محصولات معطر، مرکز کنترل و پیشگیری از بیماری‌های ایالات‌متحده (CDC, 2009) بیان می‌کند: «استفاده از محصولات معطر در تمام فضای داخلی ممنوع است... محصولاتی نظیر ادکلن‌ها، عطرها، اسانس‌ها و محصولات معطر پوست و مو نباید استفاده شوند... این مرکز کارمندان را تشویق می‌کند که تا حد امکان عاری از عطر باشند...همچنین

---

۱ – نوعی هیدورکربن غیراشباع که براساس تعداد کربن آن طبقه بندی می شود.

کارمندان باید از پوشیدن لباس‌هایی که با شوینده‌ها یا نرم‌کننده‌های معطر پاکیزه شدند پرهیز کنند...». اخیراً یک نظرسنجی از جمعیت ملی ایالات‌متحده (A. Steinemann, 2016). نیز نشان داده است که غالب جمعیت ترجیح می‌دهند که محل کار، مراکز مراقبت بهداشتی، هتل‌ها و هواپیماها فاقد عطر باشند. علاوه بر این، بیش از یک سوم از این جمعیت گزارش داده‌اند که به واسطه اینکه در معرض محصولات معطر قرار گرفتند سلامتی‌شان دچار اختلال شده است (سردردهای میگرنی یا حملات آسم). این گزارش‌ها نشان‌دهنده اهمیت بالقوه سیاست مکان‌های فاقد محصولات معطر است.

نمونه دیگر محصولات سبز مورد استفاده در ساختمان‌های سبز رنگ‌های با ترکیبات آلی فرآر کم یا صفر با گواهی سبز است که می‌توانند ترکیبات آلی فرآر مشابه رنگ‌های معمولی و سایر مواد شیمیایی مشکل‌ساز نظیر ترکیبات آلی نیمه فرآر را منتشر کنند. بین رنگ‌های دارای گواهی سبز و معمولی (Schieweck & Bock, 2015)، تفاوتی در انتشار مواد خطرناک گزارش نشده است، ضمن اینکه رنگ‌های با ترکیبات آلی فرآر کم، بسیار کم و صفر، بیشترین پتانسیل انتشار مواد خطرناک را نشان می‌دهند. کف‌پوش‌های[1] اتاق حاوی روغن بذر کتان، نمونه دیگر از مصالح ساختمانی سبز است که می‌توانند ترکیبات آلی فرآری آزاد کنند، این ترکیبات آلی با ازن واکنش داده و آلدئید تولید می‌کنند (M. Nicolas et al., 2007)؛ بنابراین محصولات سبز به کار رفته در ساختمان‌های سبز، طیف وسیعی از ترکیبات بالقوه خطرناک نظیر ترکیبات آلی نیمه فرآر (به‌عنوان نمونه فتالات‌ها[2])، ضد میکروب‌ها و طیف وسیعی از ترکیبات مرتبط با آسم و مختل‌کننده غدد درون‌ریز را منتشر می‌کنند (Gabb & Blake, 2016, A. Steinemann, 2015) و کیفیت هوای محیط داخلی به شدت تحت تأثیر ترکیبات منتشر شده از این مصالح ساختمانی سبز است، لازم به ذکر است بسیاری از این ترکیباتِ موجود در محیط داخلی، نیم‌قرن پیش وجود نداشتند (C.J. Weschler, 2009).

با وجود آنکه سازمان‌ها و آژانس‌های متعدد، برنامه برچسب‌گذاری محصولات سبز را طرح‌ریزی کرده و شرکت‌ها نیز محصولات خود را به‌عنوان سبز بازاریابی می‌کنند، اما این برنامه‌ها به‌طور دقیق تنظیم و تعریف نشده‌اند. شستشوی سبز یا ادعاهای گمراه کننده و غیر قابل اثبات دیگر در مورد مزایای زیست‌محیطی یک محصول سبز، مشکلی شناخته شده است و از تقاضای بالا برای ساختمان‌ها و محصولات سبز ناشی می‌شود. مطالعه‌ای روی ۴۰۰ محصول پاک‌کننده سبز در ایالات‌متحده و کانادا که مجموعاً بیش از ۱۲۰۰ ادعای مرتبط با سبز بودن را مطرح کردند، نشان داده است که ادعای کمتر از یک درصد از این محصولات گمراه‌کننده نیست (UL, 2009)؛ بنابراین اولاً تأیید ادعای مصالح سبز دشوار است و ثانیاً برخلاف سایر کالاها، مصالح ساختمانی اعم از سبز و معمولی ملزم به نمایش تمام جزئیات محصول بر روی برچسب معرفی محصول نیستند (A.C. Steinemann, 2009). ضمن اینکه راهنمای رتبه‌بندی مصالح سبز معمولاً بر مواد فهرست شده برچسب تکیه می‌کند که می‌تواند تنها درصد کمی از مواد تشکیل‌دهنده واقعی را نشان دهد (A. Steinemann, 2015)؛ بنابراین فرضیه اینکه کلیه محصولات سبز به ارتقای کیفیت هوای داخل کمک می‌کنند می‌تواند مشکوک باشد، از جمله دلایل عدم اطمینان به فرضیه سبز بودن این محصولات موارد زیر است:

- استانداردهای گواهی سبز ممکن است ترکیبات خطرناک را در میان محصولات مجاز نمایش دهند.
- محصولات سبز ملزم به افشای تمام مواد تشکیل‌دهنده اعم از آلاینده‌های خطرناک در هوا نیستند.
- ادعای محصولات سبز فاقد داده‌های در دسترس عموم، برای اثبات است.
- راهنمای محصولات سبز که جزئیات محصولات را فهرست و رتبه‌بندی می‌کنند، معمولاً به‌جای تحلیل‌های مستقل محصول، بر اطلاعات آشکار تکیه می‌کنند.

1 - linoleum

۲ – فتالات‌ها گروهی از مواد شیمیایی هستند که برای انعطاف‌پذیری پلاستیک و شکستن آن استفاده می‌شود. بعضی از آنها نیز به عنوان حلال برای مواد دیگر استفاده می‌شوند.

- فقدان نظارت بر مواد منتشر شده از محصولاتی که بر کیفیت هوای داخل ساختمان اثرگذارند.

بنا بر آنچه گفته شد علی‌رغم اینکه محصولات سبز برای کیفیت هوای محیط داخلی مطلوب ضروری هستند، اما محصولاتی که تحت عنوان سبز به بازار عرضه می‌شوند، اغلب فاقد ویژگی‌هایی با دلایل علمی معتبر و معیارهای قابل توجیه هستند و عاملی برای آلـودگی هوای داخل ساختمان به شمار می‌روند.

۴-۴- پیامدهای تغییرات آب‌وهوا بر ساختمان‌های سبز و کیفیت هوای داخلی

در سال‌های اخیر اهمیت تأثیر تغییرات آب و هوایی بر کیفیت هوای داخل ساختمان، ملاحظاتی را برای ساختمان‌های سبز به وجود آورده است، این در حالی است که پیش از این، تحقیقات بر تغییرات آب و هوایی و کیفیت هوای خارجی نظیر اثرات افزایش دما بر میزان ازن سطح زمین تمرکز داشته است و مطالعات کمی به بررسی ارتباط میان تغییرات آب و هوایی و کیفیت هوای داخلی پرداخته است.

علی‌رغم پیچیدگی و تعدد پیامد تغییرات آب و هوایی بر کیفیت هوای محیط داخلی برخی از مطالعات (J.D. Spengler, 2012, Nazaroff, 2013, IOM, 2011, W.J. Fisk, 2015)، این اثرات را بیان کرده‌اند، به‌عنوان نمونه تحقیقی (Nazaroff, 2013) در سه بخش زیر تأثیر تغییرات آب و هوایی را بر عوامل کنترل‌کننده آلاینده‌های داخلی بررسی کرده است:

- (الف) ویژگی آلاینده‌ها (نظیر دمای گرم‌تر که بر آلاینده‌های داخلی از منابع داخلی و خارجی تأثیر می‌گذارد)
- (ب) فاکتورهای ساختمانی (نظیر کاهش تهویه طبیعی و افزایش استفاده از تهویه مطبوع)
- (ج) رفتار ساکنان (نظیر تغییر فعالیت‌های انسانی در محیط داخل و استفاده از محصولات داخلی) (W.J. Fisk, 2015).

تحقیق مرتبط دیگری (J.D. Spengler, 2012) به بررسی موارد زیر پرداخته است:

- (الف) افزایش تأثیرپذیری شرایط محیطی خارج با تغییرات آب و هوایی (نظیر امواج گرما، بارش‌های شدید، آتش‌سوزی‌ها)
- (ب) تأثیرگذاری تغییرات آب و هوایی بر محیط داخلی (نظیر دماهای بالاتر، رطوبت و کپک، ازن، آلرژی به گرده)
- (ج) سازگاری تغییرات آب‌وهوا (نظیر افزایش استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع)
- (د) کاهش تغییرات آب‌وهوا (نظیر افزایش بهره‌وری انرژی در ساختمان).

نمونه دیگر در این زمینه (IOM, 2011)؛ به (الف) پیامدهای بالقوه مستقیم و غیرمستقیم تغییرات آب و هوایی (نظیر افزایش وقوع حوادث شدید، افزایش دما) و (ب) اثرات بالقوه بر محیط داخلی (نظیر تغییر بار سیستم‌های تهویه مطبوع، آسیب و تخریب مصالح ساختمانی، افزایش سطح ازن در داخل ساختمان، سیل و آسیب آب، استفاده بیشتر از آفت‌کش‌ها) با اثرات بالقوه بر سلامت پرداخته است.

طبقه‌بندی کامل اثرات بالقوه تغییرات آب و هوایی بر کیفیت هوای داخل دشوار است و ممکن است اثراتی دیده شوند که هنوز در تجربه ما با آب‌وهوا و ساختمان‌ها پیش‌بینی نشده باشند. این متغیرهای آب و هوایی (نظیر دما، بارش، بخارآب، سرعت و جهت باد، ویژگی‌های ابر) به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر کیفیت هوای داخل تأثیرگذارند. به‌عنوان نمونه افزایش دمای خارج می‌تواند منجر به افزایش غلظت ازن و واکنش‌هایی شود که به تولید آلاینده‌هایی در داخل ساختمان بیانجامد. افزایش دمای داخل ساختمان می‌تواند نرخ گازهای شیمیایی متصاعد از مصالح داخلی را افزایش دهد. تغییرات آب و هوایی همچنین می‌توانند بر الگوهای سیل، خشک‌سالی، آتش‌سوزی، آفات و پوشش گیاهی و مواجهه با قارچ‌ها، گردوغبار، باکتری‌ها، محصولات قابل‌احتراق، آلاینده‌های شیمیایی، آفت‌کش‌ها، ذرات و گرده‌ها تأثیرگذار باشد. علاوه بر این خطرات مرتبط با تغییرات آب و هوایی می‌تواند افراد را به سپری کردن زمان بیشتری در محیط داخلی سوق دهد، افزایش فعالیت داخلی افراد و استفاده از محصولات سبز به‌طور بالقوه احتمال مواجهه با آلاینده‌های داخلی را افزایش می‌دهد.

درحالی‌که تغییرات اقلیمی بر بسیاری از انواع ساختمان‌ها به‌ویژه ساختمان‌های سبز به‌صورت مستقیم تأثیرگذار است (W.W. Nazaroff, 2013)؛ اقداماتی که در واکنش به تغییرات آب و هوایی برای سازگاری یا کاهش این تغییرات آن انجام می‌شود به‌طور غیرمستقیم اثرگذاری بیشتری بر کیفیت هوای محیط داخلی دارد، که از آن جمله می‌توان به کاهش نرخ تهویه طبیعی به دلیل اقدامات کاهشی برای صرفه‌جویی انرژی، استفاده بیشتر از سیستم‌های گرمایش و تهویه مصنوعی و استفاده کمتر از بازشو در جداره ساختمان‌ها اشاره کرد. کاهش تهویه طبیعی از سویی می‌تواند نفوذ آلاینده‌ها از فضای خارج را به محیط داخلی کاهش دهد و از سوی دیگر می‌تواند غلظت آلاینده‌ها را در محیط داخلی افزایش دهد، به این ترتیب است که اهمیت کاهش منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای در داخل ساختمان بیشتر آشکار می‌شود.

بنا بر آنچه در این بخش گفته شد تغییرات آب و هوایی می‌توانند چالش‌های خاصی را برای ساختمان‌های سبز از طرق مختلف نظیر افزایش تقاضا برای بهره‌وری انرژی، رویدادهای شدید آب و هوایی و اقدامات کاهشی و سازگاری با تغییرات آب ایجاد کنند.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های به‌دست‌آمده از پژوهش نشان می‌دهند علی‌رغم اینکه پتانسیل ساختمان‌های سبز در ارتقای کیفیت هوای محیط داخلی بیشتر از ساختمان‌های معمولی بوده و عموماً کیفیت هوای محیط داخلی درک شده در آن‌ها، بالاتر از ساختمان‌های معمولی است، اما صرفاً سبز بودنِ برخی ساختمان، کیفیت مطلوب هوای داخلی را در آن‌ها تضمین نمی‌کند. به‌عنوان نمونه برخی از شیوه‌ها و محصولاتی که در ساختمان‌های سبز استفاده می‌شوند کیفیت هوای محیط داخل را مختل می‌کنند و تمرکز بر تهویه هم به‌عنوان روش اصلی کنترل کیفیت هوای محیط داخلی باعث می‌شود فرصت کنترل منابع و مواجهه کمتر با آلاینده‌ها در محیط داخلی برای بهبود کیفیت هوای محیط داخلی نادیده گرفته شود.

درحالی‌که ادبیات موضوع توصیه‌های فراوانی برای کیفیت هوای داخلی دارد، تنها برخی راهبردها و اقدامات می‌توانند کیفیت هوای داخل را بهبود بخشند. این پژوهش ضمن درنظرگرفتن طیف وسیع پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم شیوه‌ها و محصولات سبز، به راهبردهایی (مقولات حاصل از تحلیل محتوای کیفی) برای کنترل منبع و مواجهه کمتر با آلاینده‌ها که پیش از این در طرح‌های ساختمان سبز گنجانده نشده، همچنین اقدامات مدیریتی که می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر کیفیت هوای داخل داشته باشند اشاره می‌کند (جدول ۱):

- ازجمله راهبردهای رویکرد کنترل منبع جهت ارتقای کیفیت هوای محیط داخلی، استفاده از روش‌های غیرشیمیایی برای پاکیزگی، استفاده از مبلمان و مصالح با انتشار گاز کم، مراقب مستمر از سیستم‌های تهویه مطبوع نظیر بررسی و تعویض فیلتر است.
- از جمله راهبردهای مواجهه کمتر با آلاینده‌ها (اعم از فرآر و غیرفرآر) نصب فیلترهای هوا و آب، کاهش ترکیبات معطر ساطع شده از محصولات مصرفی در ساختمان سبز است که شایع‌ترین و غالب‌ترین آلاینده در محیط داخل محسوب می‌شوند. لازم به ذکر است که در بسیاری از نقاط جهان سیاست محدودیت استفاده از محصولات معطر در محیط‌های ساختمانی نظیر مدارس، ادارات و بیمارستان‌ها اجرا می‌شود.
- ساختمان‌های سبز ملزم به رعایت دستورالعمل‌هایی شوند که مرتبط با حد آستانه غلظت آلاینده‌هایی است که ممکن است خطرناک باشند. سازمان بهداشت جهانی، دستورالعمل‌هایی را برای کیفیت هوا صادر می‌کند که برخی از آن‌ها به‌طور مرتب به‌روز می‌شوند. این دستورالعمل‌ها و سایر مراجع شناخته شده مشابه (Ashrea, Rehva, Shase) می‌توانند به فاکتوری مهم در طرح‌های صدور گواهی ساختمان‌های سبز تبدیل شوند.
- معیار و شاخص‌های جدید برای کیفیت هوای محیط داخلی در ساختمان‌های سبز تعریف شوند. فقدان چنین شاخص‌هایی منجر به استفاده صرف از معیار تهویه و توجه به غلظت آلاینده‌هایی نظیر دی‌اکسیدکربن برای دستیابی به کیفیت هوای محیط داخلی

مطلوب شده است. البته پیش‌تر نیز تلاش‌هایی برای توسعه چنین شاخص‌هایی صورت گرفته است، به‌عنوان نمونه شاخص عدم رضایت از کیفیت هوای داخل ساختمان توسط ساکنان ساختمان، یا شاخص مجموع ترکیبات آلی فرآر. علی‌رغم این تلاش‌ها، روند پیشرفت و توسعه معیارهای کیفیت هوای محیط داخلی باید ادامه داشته باشد و تنها به سطوح آلاینده و مواجهه با آلاینده‌ها محدود نشود، بلکه به اثرات آن بر ساکنان ساختمان نیز توجه شود.

- برای مدیریت صحیح و مشخص نمودن کیفیت هوای محیط داخلی در ساختمان‌های سبز تست آلاینده بودن مصالح ساختمانی، مبلمان و تجهیزات، قبل و حین استفاده در ساختمان‌های سبز مفید است، لذا کیفیت هوای محیط داخلی در ساختمان‌های سبز باید به‌صورت منظم اندازه‌گیری شود تا امکان اصلاح سطوح و منابع آلاینده فراهم شود.

جدول ۱: اقدامات پیشنهادی جهت بهبود کیفیت هوای محیط داخلی در ساختمان‌های سبز (منبع: نگارنده)

راهکار		
کنترل منبع	به‌کارگیری مواد و روش‌های غیرشیمیایی برای پاکیزگی	
	به‌کارگیری مبلمان و مصالح با انتشار گاز کم	
	کاهش ترکیبات معطر ساطع‌شده از محصولات مصرفی در ساختمان	
	تست آلاینده بودن کلیه مصالح و مبلمان قبل و حین استفاده (اعم از فرش‌ها، دیوارپوش‌ها، رنگ‌ها، چسب‌ها و اثاثیه)	
طراحی سیستم تهویه	تکنولوژی فیلتراسیون	بیوفیلتراسیون تکنولوژی (دیوارهای سبز و ساختارهای ریزجلبک)
		فیلتراسیون مکانیکی (فیلترهای دارای پوشش ضد میکروبی و فیلتر هپا)
	نانوتکنولوژی	نانوذرات نقره
		اکسیداسیون فتوکاتالیستی
	تکنولوژی تصفیه	یونیزاسیون دوقطبی
	تهویه سبک و هزینه‌های انرژی افزوده متناسب با تهویه حجم بیشتری از هوای بیرون	
پاک‌سازی هوا	کنترل مستقیم آلاینده‌های هوا با استراتژی‌های پاک‌سازی هوا در فاز گاز و درنتیجه کاهش نیاز به هوای خارجی برای تهویه	
	نصب فیلترهای پیشرفته ذرات هوا و آب	
مدیریت، نظارت و ارزیابی مداوم	الزام رعایت دستورالعمل‌های حد آستانه غلظت آلاینده‌ها	
	ارزیابی رضایت ساکنان یا بازدیدکنندگان بر اساس کیفیت هوای محیط داخلی درک شده	
	مراقبت مستمر از سیستم‌های تهویه مطبوع	
	تعریف معیار و شاخص‌های جدید برای کیفیت هوای محیط داخلی در ساختمان‌ها (نظیر ارزیابی رضایت ساکنان از کیفیت هوای محیط داخلی یا شاخص مجموع ترکیبات آلی فرآر و ...)	
	اندازه‌گیری مداوم کیفیت هوای داخلی	

در پایان به فرصت‌های تحقیقاتی در راستای آنچه ساختمان‌های سبز را قادر می‌سازد تا کیفیت هوای محیط داخلی بهتری ایجاد کنند اشاره می‌شود:

- توسعه شاخص‌های کلیدی اجرایی نظیر سطوح قابل‌قبول کیفیت هوای داخلی، برای صدور یا تأیید مجدد گواهی ساختمان‌های سبز.
- شناسایی محصولات مصرفی سبز و سایر مصالح ساختمانی که کیفیت هوای داخل ساختمان‌های سبز را بهبود داده یا مختل کرده‌اند، علاوه بر این انتشار آلاینده‌های مختلف از این محصولات نیز باید موردبررسی قرار گیرد.
- ارزیابی ویژگی‌های ساختمان‌های سبز در ارتباط با کیفیت هوای محیط داخلی همان‌طور که توسط ساکنان ساختمان انتظار می‌رود و رتبه‌بندی شده است.

- انجام مطالعات کنترل شده تطبیقی کیفیت هوای محیط داخلی در ساختمان‌های سبز با ساختمان‌های معمولی همسان، همچنین مطالعات کیفیت هوای محیط داخلی در ساختمان‌های معمولی تبدیل شده به ساختمان‌های سبز و اندازه‌گیری تفاوت کیفیت هوای محیط داخلی در آن‌ها.

۶- منابع

۱- پیر باوقار، مهیار(۱۴۰۰). بررسی مدل‌های رتبه‌بندی ساختمان سبز در دنیا و سیستم سرو سبز ایران(IGBRS) ، سومین کنفرانس بین‌المللی فناوری‌های نوین در مهندسی معماری و شهرسازی ایران، تهران.

2- A.C. Steinemann. (2009). Fragranced consumer products and undisclosed ingredients, *Environ. Impact Assess. Rev*. 29 (1), 32-38.
3- Afroz, Zakia, Gunay, H. Burak & O'Brien, William. (2020). A review of data collection and analysis requirements for certified green buildings, *Energy & Buildings*, Volume 226, 1-22. **doi:10.1016/j.enbuild.2020.110367**
4- Hedge, L. Miller, J.A. Dorsey. (2014). Occupant comfort and health in green and conventional university buildings, Work 49 (3), 363-372. **doi:10.3233/WOR-141870**
5- Leaman, L. Thomas, M. Vandenberg. (2007). Green buildings: what Australian building users are saying, *EcoLibrium* 6, 22-30.
6- Schieweck, M.-C. Bock. (2015). Emissions from low-VOC and zero-VOC paints valuable alternatives to conventional formulations also for use in sensitive environments? *Build. Environ.* 85, 243-252. **doi:10.1016/j.buildenv.2014.12.001**
7- ASHRAE. (2007). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, ASHRAE/ANSI Standard 62.1, American Society for Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
8- ASHRAE (2015). ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning, American Society for Heating, *Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*, Atlanta, GA.
9- Steinemann. (2016). Fragranced consumer products: exposures and effects from emissions, Air Qual. Atmos. Health 9, 861e866, **doi:10.1007/s11869-016-0442-z.**
10- Steinemann. (2015). Volatile emissions from common consumer products, *Air Qual. Atmos. Health* 8 (3), 273-281.
11- Thatcher, K. Milner. (2012). The impact of a 'green' building on employees' physical and psychological wellbeing, *Work 41 (Supplement 1)*, 3816-3823.
12- AU. (2015). Australian Government. National Environment Protection Measure - Ambient Air. Available: https://www.legislation.gov.au/Details/ F2016C00215.
13- Babu, Praveen & Suthar, Gourav. (2020). Indoor Air Quality and Thermal Comfort in Green Building: A Study for Measurement, Problem and Solution Strategies, *Indoor Environmental Quality*, 1st ed, Volume 60, 139–146. **doi:10.1007/978-981-15-1334-3_15**
14- Banerjee, Ankita, Melkania, N.P. & Nain, Ayushi (2021). Indoor Air Quality (IAQ) in Green Buildings, a Pre-Requisite to Human Health and Well-Being. First published. Gautam Buddha University, Greater Noida, India. 293-317. **doi:10.1002/9781119792079.ch9**
15- BCA. (2015). Building Construction Authority. BCA Green Mark for New Buildings (None Residential). Singapore. Available: www.bca.gov.sg/GreenMark/ green_mark_criteria.html.
16- Kolarik, P. Wargocki, A. Skorek-Osikowska, A. Wisthaler. (2010). The effect of a photo catalytic air purifier on indoor air quality quantified using different measuring methods, *Build. Environ*. 45 (6), 1434-1440.
17- BRE. (2016). Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM). Available: http://www.breeam.com.
18- CASBEE. (2016) Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE). Available: http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/.
19- CDC. (2009). US Centers for Disease Control and Prevention. Indoor Environmental Quality Policy, 9-10. Available: http://www.drsteinemann.com/
20- Heincke, D. Olsson. (2012). Simply Green: a Quick Guide to Environmental and Energy Certification Systems for Sustainable Buildings, Swegon Air Academy, Kv€anum, Sweden.
21- Huizenga, L. Zagreus, E. Arens, D. Lehrer. (2003). Measuring Indoor Environmental Quality: a Web-based Occupant Satisfaction Survey, *Greenbuild*, Pittsburgh, PA.
22- C.J. Cros, G.C. Morrison, J.A. Siegel, R.L. Corsi. (2012). Long-term performance of passive materials for removal of ozone from indoor air, *Indoor Air* 22 (1), 43-53.
23- C.J. Weschler. (2009). Changes in indoor pollutants since the 1950s, Atmos. *Environ*. 43, 156-172.
24- C.L. Thiel, K.L. Needy, R. Ries, D. Hupp, M.M. Bilec. (2014). Building design and performance: a comparative longitudinal assessment of a Children's hospital, Build. *Environ*. 78, 130-136.

doi:10.1016/j.buildenv.2014.04.001
25- DGNB. (2016). Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB). Available: http://www.dgnb.de/en/.
26- E.K. Darling, C.J. Cros, P. Wargocki, J. Kolarik, G.C. Morrison, R.L. Corsi. (2012). Impacts of a clay plaster on indoor air quality assessed using chemical and sensory measurements, Build. *Environ*. 57, 370-376. ##
27- EPA. (2016). US Environmental Protection Agency Definition of Green Building. Available: https://archive.epa.gov/greenbuilding/web/html/about.html.
28- EPA. (1990). US Environmental Protection Agency Clean Air Act of 1990, 40 C.F.R. x 50.1(e). Available: https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/cleanair- act-text.
29- EU. (1996). European Union. Management and Quality of Ambient Air. Council Directive 96/62/EC on ambient air quality assessment and management. Available: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri¼CELEX: 32008L0050.
30- GBCA. (2016). Green Star, GBIG (Green Building Information Gateway). Available: http://new.gbca.org.au/green-star/ http://www.gbig.org/places/8194.
31- G. Kats. (2003). The Costs and Financial Benefits of Green Buildings, a Report to California's Sustainable Building Task Force: October.
32- G.R. Newsham, B.J. Birt, C. Arsenault, A.J.L. Thompson, J.A. Veitch, S. Mancini, A.D. Galasiu, B.N. Gover, I.A. Macdonald, G.J. Burns. (2013). Do “green” buildings have better indoor environments? New evidence, *Build. Res. Inf*. 41 (4), 415-434.
33- H.A. Gabb, C. Blake. (2016). An informatics approach to evaluating combined chemical exposures from consumer products: a case study of asthma-associated chemicals and potential endocrine disruptors, *Environ. Health Perspect*. 124 (8), 1155-1165. **doi:10.1289/ehp.1510529**
34- H.H. Liang, C.P. Chen, R.L. Hwang, W.M. Shih, S.C. Lo, H.Y. Liao. (2014). Satisfaction of occupants toward indoor environment quality of certified green office buildings in Taiwan, *Build. Environ.* 72, 232-242.
35- IOM (Institute of Medicine). (2011). Climate Change, the Indoor Environment, and Health, *The National Academies Press*, Washington, DC.
36- J.A. Siegel. (2016). Primary and secondary consequences of indoor air cleaners, *Indoor air* 26 (1), 88-96.
37- Jain, Supreme, Garg, Divyam & Goel, Anubha (2020). Comparison of Indoor Air Quality for Air-Conditioned and Naturally Ventilated Office Spaces in Urban Area, *Indoor Environmental Quality, 1st ed*, Volume 60, 1-8.
38- J.D. Spengler. (2012). Climate change, indoor environments, and health, *Indoor Air* 22, 89-95.
39- J. Heerwagen, L. Zagreus. (2005). The Human Factors of Sustainable Building Design: Post Occupancy Evaluation of the Philip Merrill Environmental Center.
40- K. Kovler. (2012). Does the utilization of coal fly ash in concrete construction present a radiation hazard? Constr. Build. *Mater*. 29, 158-166.
41- K.W. Tham, P. Wargocki, Y.F. Tan. (2015). Indoor environmental quality, occupant perception, prevalence of sick building syndrome symptoms, and sick leave in a Green Mark Platinum-rated versus a non-Green Mark-rated building: a case study, Sci. *Technol. Built Environ*. 21 (1), 35-44. **doi:10.1080/10789669.2014.967164**
42- L. Fang, G. Clausen, P.O. Fanger. (1998a). Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality, *Indoor Air* 8 (2), 80-90.
43- L. Fang, G. Clausen, P.O. Fanger. (1998b). Impact of temperature and humidity on perception of indoor air quality during immediate and longer whole-body exposures, *Indoor Air* 8 (4), 276-284.
44- M.D. Colton, P. MacNaughton, J. Vallarino, J. Kane, M. Bennett-Fripp, J.D. Spengler, G. Adamkiewicz. (2014). Indoor air quality in green vs conventional multifamily low-income housing, *Environ. Sci. Technol*. 48 (14), 7833-7841.
45- M.M. Agha-Hossein, S. El-Jouzi, A.A. Elmualim, J. Ellis, M. Williams. (2013). Post-occupancy studies of an office environment: energy performance and occupants' satisfaction, Build. *Environ*. 69, 121–130.
46- M. Nicolas, O. Ramalho, F. Maupetit. (2007). Reactions between ozone and building products: impact on primary and secondary emissions, Atmos. *Environ*. 41 (15), 3129-3138.
47- N. da Silva. (2015). Building Certification Schemes and the Quality of Indoor Environment, Technical University of Denmark. Ph.D. Thesis, DTU Civil Engineering.
48- Phillips, Hannah, Handy, Rod, Sleeth, Darrah, Matthew, S. & Schaefer, Camie (2020). Taking the "LEED" in Indoor Air Quality: Does Certification result in Healthier Buildings? *Journal of Green Building* ,15 (3). 55–66. **doi:10.3992/jgb.15.3.55**
49- P.M. Bluyssen. (2009). Towards an integrative approach of improving indoor air quality, *Build. Environ*. 44, 1980e1989.
50- P. Wargocki. (2015). IAQ applications: filtration and air cleaning, *ASHRAE J.* 57 (12), 70-72.
51- R.J. Shaughnessy, R.G. Sextro. (2006). What is an effective portable air cleaning device? A review, J. Occup. *Environ. Hyg*. 3 (4), 169-181.

52- S. Abbaszadeh, L. Zagreus, D. Lehrer, C. Huizenga. (2006) Occupant Satisfaction with Indoor Environmental Quality in Green Buildings. Center for the Built Environment, *Proceedings of Healthy Buildings*, UC Berkeley, USA, Vol. III, 365-370.
53- S.P. Lamble, R.L. Corsi, G.C. Morrison. (2011). Ozone deposition velocities, reaction probabilities and product yields for green building materials, Atmos. *Environ*. 45 (38), 6965-6972.
54- S.P. Raut, R.V. Ralegaonkar, S.A. Mandavgane. (2011). Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: a review of waste-create bricks, *Constr. Build. Mater.* 25 (10), 4037-4042.
55- UL. (2009). Underwriters Laboratory. The Seven Sins of Green washing: Environmental Claims in Consumer Markets, TerraChoice Environmental Marketing, London. Available: http://sinsofgreenwashing.com/findings/greenwashingreport- 2009/index.html.
56- WCED. (1987). World Commission on Environment and Development. Our Common Future, (Chapter 2): Towards Sustainable Development. Available: http://www.un-documents.net/ocf-02.htm.
57- Wei , Wenjuan , Wargocki , Pawel , Zirngibl , Johann , Bendžalová , Jana & Mandin , Corinne (2019). Review of parameters used to assess the quality of the indoor environment in Green Building certification schemes for offices and hotels, *Energy and Buildings* Volume 209, 1-5.
58- WHO. (2010). World Health Organization. WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. Available: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf.
59- W.J. Fisk, D. Faulkner, J. Palonen, O. Seppanen. (2002). Performance and costs of particle air filtration technologies, *Indoor air* 12 (4), 223-234.
60- W.J. Fisk. (2015). Review of some effects of climate change on indoor environmental quality and health and associated no-regrets mitigation measures, *Build. Environ*. 86, 70-80.
61- Wu , Peihao , Fang , Zhaosong , Luo , Hui , Zheng, Zhimin, Zhu , Kaiyue , Yang , Yanping & Zhou , Xiaoqing (2021). Comparative analysis of indoor air quality in green office buildings of varying star levels based on the grey method, *Building and Environment*, Volume 195, 1-10. **doi:10.3390/ijerph18063276**
62- W.W. Nazaroff, C.J. Weschler. (2004). Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants, Atmos. *Environ.* 38, 2841-2865.
63- W.W. Nazaroff. (2013). Exploring the consequences of climate change for indoor air quality, *Environ. Res. Lett.* 8, 015022.
64- W. Wei, O. Ramalho, C. Mandin. (2015). Indoor air quality requirements in green building certifications, Build. *Environ*. 92, 10-19. **doi:10.1016/j.buildenv.2015.03.035**
65- W. Ott, A. Steinemann, L. Wallace (Eds.). (2007). Exposure Analysis, *CRC Press*, Boca Raton, FL.
66- Y.S. Lee. (2011). Comparisons of indoor air quality and thermal comfort quality between certification levels of LEED-certified buildings in USA, *Indoor Built Environ.* 20 (5), 564-576.
67- Y. Zhang, J. Mo, Y. Li, J. Sundell, P. Wargocki, J. Zhang, J. Little, R. Corsi, Q. Deng, M.H.K. Leung, L. Fang, W. Chen, J. Li, Y. Sun. (2011). Can commonly-used fan-driven air cleaning technologies improve indoor air quality? A literature review, Atmos. *Environ*. 45 (26), 4329-4343.
68- Z. Brown, R.J. Cole, J. Robinson, H. Dowlatabadi. (2010). Evaluating user experience in green buildings in relation to workplace culture and context, *Facilities* 28 (3/ 4), 225-238.
69- Z. Brown, R.J. Cole. (2009). Influence of occupants' knowledge on comfort expectations and behavior, *Build. Res. Inf*. 37 (3), 227e245.
70- Z. Gou, D. Prasad, S.S.Y. Lau. (2013). Are green buildings more satisfactory and comfortable? *Habitat Int*. 39, 156-161. **doi:10.1016/j.habitatint.2012.12.007**

Elucidation of Theoretical Challenges of Indoor Air Quality in Green Buildings and Opportunities for Improvement

Fatemeh Rajabi[1]*

1- Assistant Professor, Faculty of Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran. (Corresponding author)

F.rajabi@pnu.ac.ir

Abstract

Green buildings, designed today with a focus on energy efficiency, emphasize energy and resource performance while often paying less attention to indoor air quality (IAQ). The lack of optimal indoor air quality in many of these buildings disrupts occupants' health and may lead to irreversible damage. This article, with a practical aim of elucidating opportunities for improving indoor air quality, investigates the challenges associated with IAQ in green buildings. To this end, the study first reviews the definitions of green buildings and indoor air quality, examining how green buildings address IAQ through a documentary and library-based research method. Subsequently, employing a descriptive-analytical approach, the study compares the indoor air quality of green and conventional buildings, identifying so-called "green" measures that adversely affect IAQ. Through qualitative content analysis, a set of strategies for improving indoor air quality is proposed. The findings indicate that, although the perceived indoor air quality in green buildings is generally higher than in conventional buildings, being "green" does not necessarily guarantee superior IAQ. Based on a synthesis of theoretical data, in addition to ventilation, emphasis should be placed on strategies such as source control and reducing occupants' exposure to pollutants. Proposed strategies for enhancing IAQ include mandating compliance with indoor air quality guidelines for key pollutants, awarding points in green building certifications for reducing and minimizing pollutants, developing IAQ indicators and criteria, providing incentives for testing the emission levels of building materials, conducting regular IAQ monitoring, and assessing the interactive effects of solutions on other green building production criteria in relation to IAQ.

Keywords: Ventilation, Green Building, Indoor Air Quality, Occupant Health.

This Journal is an open access Journal Licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License

(CC BY 4.0)