

ترجمه انگلیسی این مقاله نیز تحت عنوان :
Controlling Air Pollution with the use of Bio Facades
(A solution to control air pollution in Tehran)
در همین شماره مجله به چاپ رسیده است.

کنترل آلودگی هوا توسط پوسته‌های زیست‌مبنا (راهکاری برای کنترل آلودگی هوای شهر تهران)

متین باستان فرد^{۱*}

۱. دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان. ایران.

تاریخ دریافت : ۹۶/۱۲/۲۴ تاریخ اصلاح : ۹۷/۰۳/۰۹ تاریخ پذیرش : ۹۷/۰۴/۱۲ تاریخ انتشار : ۹۷/۰۸/۰۱

چکیده

بیان مسئله: روند سریع توسعه شهرها چرخه حیات زیستی را بر هم زده و موجب بروز مشکلاتی از جمله آلودگی هوا شده است. برنامه‌های مدیریت آلودگی هوا عمدتاً بر کنترل منابع تولید آلاینده‌ها متمرکزند. این راهبرد به طور مؤثری میزان آلاینده‌های جدید وارد شده به هوا را کاهش داده اما در مورد آلاینده‌های موجود در هوا بی‌تأثیر است.

اما این نوشتار با پذیرش وضع موجود، به دنبال کنترل آلودگی هوا در جهت کاهش سطح آسیب به انسان بوده، این مهم را در حیطه معماری و شهرسازی و تأثیر پوسته‌های ساختمانی دنبال می‌کند. در این راستا قابلیت‌های طبیعت در بحث کنترل آلودگی‌های هوا، به حوزه معماری وارد و این راهکارها در عناوین «سه‌گانه نماهای آبی»، «نماهای جلبک» و «پوسته‌های زنده سبز» بررسی می‌شود.

هدف: یکی از رویکردهای مهم در حوزه معماری و شهرسازی توجه به طبیعت به مثابه الگو و راهکاری برای تعدیل مشکلات زیست‌محیطی است، و هدف اصلی این پژوهش درک بهتر چگونگی تعامل دیوارهای زیست‌مبنا برای ارتقای کیفیت هوا و کاهش سطح آلاینده‌ها، و دستیابی به بیوپوسته بهینه در این خصوص است.

روش تحقیق: به دلیل میان‌رشته‌ای بودن پژوهش حاضر، پیشبرد این تحقیق نیازمند روش‌های خاص ترکیبی بوده و اگرچه عمده مطالعات این نوشتار متکی بر روش کتابخانه‌ای و بررسی منابع موجود است، اما بسط چنین پژوهشی نیازمند تحقیق ترکیبی در حوزه‌های میان‌رشته‌ای است. به دلیل عدم وجود داده‌های کمی در مورد عملکرد هر کدام از سیستم‌ها، در این مجال، پس از معرفی سیستم‌ها در قالب جداولی با شناسایی ضعف‌ها و قوت‌ها، تحقیق به شیوه کاربردی صورت گرفته، و با مقایسه کیفی میان سیستم‌ها، روش بهینه انتخاب می‌شود.

نتیجه‌گیری: بنابر کلیه مراحل طی شده در این نوشتار و با توجه به مقایسه کیفی سه گونه نماهای زیست‌مبنا و بررسی نقاط قوت و ضعف هریک از سیستم‌ها، می‌توان اذعان داشت که جداره‌های سبز می‌توانند ساختاری مناسب را در خصوص کنترل آلودگی هوا در شهر تهران ارائه دهند و با توجه به برنامه‌ها و پیش‌بینی‌های شهرداری تهران در خصوص زیباسازی، باید اذعان داشت که نماهای سبز از شانس بیشتری جهت بهره‌وری در کوتاه‌مدت برای رفع این معضل در پایتخت برخوردارند.

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، نماهای زیست‌مبنا، جلبک، نمای آبی، دیوار سبز.

مقدمه و بیان مسئله

هوا یکی از پنج عنصر ضروری (هوا، آب، غذا، گرما و نور) برای ادامه حیات انسان است. هر فرد روزانه نزدیک ۲۲۰۰ بار تنفس می‌کند و تقریباً به ۱۵ کیلوگرم هوا در روز نیاز دارد. معمولاً انسان می‌تواند به مدت ۵ هفته بدون غذا و مدت ۵ روز بدون آب زنده بماند، اما نمی‌تواند بدون هوا حتی ۵ دقیقه به حیات خود ادامه دهد.

کیفیت هوا با تعریف آلودگی هوا خودش را معرفی می‌کند. آلودگی هوا عبارت است از حضور یک یا بیش از یک آلاینده در هوای آزاد به مقدار کافی، با خواص مشخص و تداوم که می‌تواند حیات انسان، گیاه یا جانوران یا اموال انسانی را به مخاطره انداخته یا آنکه به نحو قابل ملاحظه‌ای در روند درست و مطلوب زندگی ایجاد اختلال کند (پوی و چبانوگلاس، ۱۳۸۷: ۱۰). یکی از مسایل مهم در این خصوص، پیش‌بینی پراکندگی و غلظت آلاینده‌ها در مکان‌های گوناگون است. این مسئله از آن جهت اهمیت دارد که به شناسایی آلاینده‌های گوناگون و مراکز تجمع آنها و در نتیجه شناسایی نقاط حساس و آسیب‌پذیر و همچنین پیش‌بینی اقدامات لازم برای جلوگیری از وقوع چنین موردهایی کمک می‌کند (حیدری نسب، ۱۳۹۲).

تحقیقات علمی انجام‌گرفته طی دو دهه اخیر، نشان داده است که آلاینده‌های موجود در هوا از مخاطرات اصلی سلامت بشر از دیدگاه بهداشت عمومی و سلامت است. هوای شهرها عموماً حاوی مقادیر قابل توجهی از آلاینده‌هاست که سلامت انسان‌ها را به خطر می‌اندازد (Mayer, 1999). سازمان جهانی بهداشت^۱ برآورد کرده است که سالانه ۵۰۰,۰۰۰ نفر بر اثر مواجهه با ذرات معلق هوا برود موجود در هوای آزاد دچار مرگ زودرس می‌شوند. همچنین براساس برآورد این سازمان تلفات ناشی از آلودگی هوا معادل ۶ درصد از کل مرگ‌ومیرهاست (Krzyzanowski, 2008).

از این رو مسئله مقابله با آلودگی هوا یکی از نگرانی‌های اصلی ملت‌ها و دغدغه‌های مهم دولت‌هاست، که ارگان‌ها و نهادهای مختلفی را در خصوص مرتفع کردن این مشکل درگیر خود کرده است.

گرچه مدت‌هاست بشر متوجه اهمیت محیط‌زیست در زندگی خود شده است، اما دهه‌های آخر قرن بیستم را باید زمان اوج طرح مسایل زیست‌محیطی دانست. امروزه خطر بزرگی که بشر از ناحیه مشکلات زیست‌محیطی احساس می‌کند، نه تنها آرامش و امنیت زندگی او را بر هم زده، بلکه موجودیت او را هم در معرض تهدید و خطر قرار داده است. مشکل آلودگی محیط‌زیست امروز جهان، مشکل تنها یک کشور یا یک قلمرو خاص نیست، بلکه مشکل کل جهان و دربردارنده مسایل مختلفی است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به آلودگی

آب‌وهوا اشاره کرد.

مطابق با بسیاری از شهرهای بزرگ دنیا، شهر تهران نیز یکی از پایتخت‌های آلوده جهان بوده و روزانه بیش از ۱۲۰۰ تن آلاینده در هوای آن پخش می‌شود. این در حالی است که رشد سالانه انتشار دی‌اکسید کربن در کشور بیش از ۲۲٪ است. آثار زیان‌بار مستقیم و غیرمستقیم آلودگی هوا به سلامت شهروندان بسیار است. طبق آخرین گزارش سازمان بهداشت جهانی آلودگی هوا پنجمین عامل مرگ انسان شناخته شده است. مطالعات اپیدمیولوژی آلودگی هوای تهران، دوشادوش بسیاری از شهرهای بزرگ دنیا نشان می‌دهد از هر ۱۰ مرگ در ایران، یکی بر اثر آلودگی هوا صورت گرفته است.

اما پی‌آمد آنچه این پژوهش به بررسی آن خواهد پرداخت نقشی است که معماری و طراحی شهری می‌تواند در مواجهه و مقابله با این مشکل ایفا کند. در راستای ارتقای کیفیت زندگی در توسعه پایدار، معماری باید ضمن کاهش مصرف انرژی و کاهش آلودگی هوا، عناصر خود را به مثابه سامانه‌های کوچک‌تر در جهت اهداف توسعه پایدار هماهنگ سازد (مفیدی شمیرانی و مدنی، ۱۳۸۶). در این خصوص یکی از رویکردهای مهم در حوزه معماری و شهرسازی توجه به طبیعت به مثابه الگو و راهکاری برای تعدیل مشکلات زیست‌محیطی است، که در این نوشتار در قالب ارایه پوسته‌هایی زیست‌منا برای نمای ساختمان در جهت کنترل و کاهش آلودگی هوا ارایه می‌شود.

مبانی نظری

• پیشینه تحقیق

آلودگی هوا از زمان برپایی اولین آتش با انسان بوده است. با نگاهی به تعاریف کیفیت هوا در منابع قدیمی مشاهده می‌شود مبحث آلودگی و تصفیه در گذشته نیز مطرح بوده، به عنوان مثال در باب سوم از کتاب سوم «ذخیره خوارزمشاهی» در تعریف کیفیت هوا چنین آمده است: «اگرچه هوا را کیفیتی خاصه است و ... این هوا که گرد مردم اندر آمده است و بدو نزدیک است هوای خالص نیست. لکن آمیخته است به بخارها و دودها و گردها و غیر آن و از کیفیت هر چیزی کیفیتی دیگر گیرد و هم‌چنین اندر فصلی از فصل‌های سال از کیفیت خاص خویش بگردد ... و هوای نیک هوای صافی باشد که هیچ چیز غریب با وی آمیخته نبود» (جرجانی، ۱۳۲۵).

اگرچه امروزه آلودگی هوا به عنوان یک مشکل مدرن تلقی می‌شود، اما مسایل مربوط به کیفیت هوا به اندازه هر شهر بزرگی که در آن مردم چوب را سوزانده و در صنایع دستی و صنعت به کاربرده اند، قدمت دارد.

بعدها، در شهرهای بزرگ اگرچه زغال سنگ و فولاد، دو

در سال ۱۳۴۸ سمینار بین المللی مبارزه با آلودگی هوا با حضور نمایندگان سازمان بهداشت جهانی در تهران برگزار شد. این روند با فراز و نشیب هایی ادامه یافت (قاسمی، ۱۳۸۰). تا اینکه در ایران نیز با چند سال تأخیر، کلیات لایحه هوای پاک در مهرماه سال ۱۳۹۵ به تأیید نمایندگان مجلس رسید. اما آنچه در این پژوهش از اهمیت بیشتری برخوردار است، بررسی پیشینه پرداخت به موضوع نماهای زیست‌مبنای کنترل‌کننده آلودگی هوا به طور خاص است. مطالعات انجام‌شده ردپایی از انجام تحقیقات خاص چنین عنوانی را نشان نمی‌دهد، هرچند در هریک از زیربخش‌های نماهای آبی (به طور مختصر)، نمای جلبک (پیشینه‌ای نزدیک) و نماهای سبز (پیشینه‌ای کهن‌تر) شواهدی هرچند اندک دال بر تحقیقات پیشین مشاهده شده که در هریک از بخش‌ها بدان پرداخته می‌شود.

پرسش‌های پژوهش

این پژوهش براساس این پرسش کلی شکل‌گرفته است که «تأثیرات بیوپوسته‌های نما بر کاهش آلودگی هوا در فضای شهری و معماری چگونه است» و به عبارت دیگر چگونه این سطوح می‌توانند نقش مؤثری در ایجاد آسایش زیستی در فضای شهری ایفا کنند.

شاخص ثروت بود، اما دود حاصل از احتراق زغال سنگ یک مشکل بهداشت عمومی بود که در آن سال‌ها باعث ترک بسیاری از شهرها توسط مردمان شد. اولین تغییر عمده در مبحث آلودگی هوا پیش از تولید صنعتی با استفاده از زغال سنگ در قرن‌های ۱۳ و ۱۴ به وجود آمد. بعد از انقلاب صنعتی داستان آلودگی هوا روندی تازه به خود گرفته، که عمده این معضلات حاصل استفاده از سوخت‌های فسیلی یا گازهای گلخانه‌ای بود.

پیرامون تاریخچه مبارزه با آلودگی هوا به طور عام شواهدی دال بر مبارزه اجتماعی با مشکل آلودگی هوا وجود دارد که از ابتدایی‌ترین آنها می‌توان از تصویب و اجرای قوانین کنترل دود در شیکاگو سین‌سیناتی به سال ۱۸۸۱ نام برد. اگرچه اجرای این قوانین و قوانینی مشابه آنها با دشواری‌هایی مواجه شد، اما تصویب چنین قوانینی در سال‌های بعد تا به امروز ادامه یافت و به صورتی جدی‌تر در مجامع ملی و بین‌المللی مطرح شد، که در جدول ۱ فعالیت‌ها و رویدادهای اخیر تحت نظر آژانس حفاظت محیط زیست^۲ آورده شده است (Kovarik, 2018).

در ایران در سال ۱۳۴۵ نخستین قدم برای مبارزه با آلودگی هوا برداشته شده و «اداره بهداشت محیط کار و کنترل آلودگی هوا» در اداره کل مهندسی بهداشت تشکیل می‌شود.

جدول ۱. رویدادها و اقدامات سازمان ملل در خصوص کنترل آلودگی هوا در سال‌های اخیر. مأخذ: Kovarik, 2018.

سال	فعالیت‌ها و رویدادهای اخیر تحت نظر آژانس حفاظت محیط زیست
۱۹۹۰	- قانون هوای پاک مربوط به انتشار اکسید گوگرد و اکسید نیتروژن از نیروگاه‌های برق اصلاح می‌شود. - دولت بوش پیشنهاد قانون "آسمان پاک" را به کنگره اصلاح قانون هوای پاک (قانون اصلی فدرال در زمینه کیفیت هوا) پیشنهاد می‌کند.
۲۰۰۳	مجلس سنای آمریکا به بررسی شرایط جهت هموار کردن مسیر اعمال قانون هوای پاک می‌پردازد.
۲۰۰۴	مطالعات دانشمندان نشان می‌دهد که آلودگی هوا به ریه کودکان آسیب می‌رساند
۲۰۰۹	ایالات متحده اعلامیه‌های جدید قوانین هوا پاک را برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از نیروگاه‌های برق اعلام می‌کند.
۲۰۱۱	قوانینی در خصوص استخراج تأسیسات برق در ایالات متحده وضع می‌شود که مقررات مربوط به وضعیت هوا را تصویب و مسئله تعطیلی دو دهم نیروگاه‌ها را مطرح می‌کند.
۲۰۱۲	قانون آلودگی هوا در ایالات متحده مسدود می‌شود. یک هیئت از قضات فدرال، قانون آژانس حفاظت محیط زیست را هدف قرار می‌دهد که آلودگی هوای موجود از خطوط تعیین شده دولت عبور می‌کند.
۲۰۱۳	آلودگی هوا در شمال چین در اثر استفاده نامحدود از زغال سنگ موجب شد ۵۰۰ میلیون نفر از ساکنان شمال چین بیش از ۲/۵ میلیارد سال امید به زندگی خود را از دست بدهند.
۲۰۱۵	پرزیدنت اوباما برنامه زیست محیطی مبارزه با آلودگی هوا را در رأس برنامه‌های مبارزه با تغییرات آب و هوایی از طریق برنامه انرژی پاک آژانس بین المللی حفاظت محیط زیست عملی می‌کند. این طرح اساساً محدود به انتشار گازهای گلخانه‌ای از نفت و زغال سنگ است دولت هند می‌گوید آلودگی هوا طی ۹ سال گذشته ۳۵۰۰۰ نفر را کشته است. پژوهشگران معتقدند آلودگی هوا باعث کاهش عمر افراد در هند در حدود سه سال می‌شود، اما این امر تا کنون هیچ اقدام معنی‌داری در پی نداشته است.
۲۰۱۶	آژانس بین المللی انرژی می‌گوید مرگ‌های ناشی از آلودگی هوا همچنان در حال افزایش است که اگر سیاست‌های فعلی مانع آن نشود، این روند ادامه خواهد داشت.
۲۰۱۷	دونالد ترامپ یک دستورالعمل اجباری را لغو می‌کند که مقررات آلودگی هوا و مقررات گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد. مریلند و تعداد دیگری از ایالات به دلیل عدم اجرای مقررات قانون هوای پاک، مورد مؤاخذه قرار می‌گیرند.

وقوع است، کیفیت زندگی ساکنان در فضاهای شهری را با مخاطره روبرو کرده و از حضور آنها در شهر کاسته است، مسئله افزایش آلودگی هواست که کیفیت فضای شهری را به طور جدی با چالش مواجه می‌کند. همین مسئله ضرورت پژوهش‌هایی از این دست را تبیین می‌کند که در جستجوی

ارایه راهکارهایی در خصوص رفع این نقیصه است. شهرهایی با مشکلات آلودگی هوا باید برای کنترل این مشکل و کاهش اثرات آن به دنبال راه‌حلی مناسب باشند. برنامه‌های مدیریت آلودگی هوا عمدتاً متمرکز بر کنترل منابع تولید آلاینده‌ها هستند (Schnelle & Brown, 2002). این راهبرد به طور مؤثری میزان آلاینده‌های جدید وارد شده به هوا را کاهش داده اما در مورد آلاینده‌هایی که در حال حاضر در هوا موجودند بی‌تأثیر است.

اگرچه رویکرد «کنترل منابع آلودگی» جامع‌تر و در جستجوی درمان معضل است، اما برنامه‌های درازمدت، با هزینه‌ای گزاف است که شمار متغیرهای تأثیرگذار بر آن بسیار زیاد بوده و در طی سالیان طولانی همچنان به نتیجه نرسیده است. اما در این نوشتار با پذیرش آلودگی هوا به عنوان یک معضل، و کنترل آن به عنوان یک ضرورت، راهکارهایی جهت کنترل این آلاینده‌ها، در جهت کاهش سطح آسیب به انسان‌ها مطرح می‌شود.

روش انجام پژوهش

این مقاله بر ارایه راهکارهای جهت کاهش اثرات آلودگی هوا توسط پوسته‌های زیست‌مبنای نمای ساختمان تمرکز دارد مانند بسیاری از پژوهش‌های معماری بین‌رشته‌ای بوده و نیازمند روش‌های خاص ترکیبی است (وانگ و گروت، ۱۳۸۸). لذا اگرچه عمده مطالعات این نوشتار متکی بر روش کتابخانه‌ای و بررسی منابع موجود بوده است، اما بسط چنین پژوهشی نیازمند تحقیق ترکیبی در حوزه‌های میان‌رشته‌ای است (تصویر ۱).

چنانچه در بخش قبل نیز ذکر شد، آلودگی هوا و راهکارهای مبارزه با آن مسئله‌ای تازه نبوده و قدمتی چندصدساله دارد. اما مسئله قابل توجه آن است که عمده این مطالعات، تحقیقات و راهکارهای ارایه‌شده و همچنین قوانین مصوب، مسئله کنترل آلودگی هوا را به صورت ریشه‌ای پیگیری کرده، به بحث کنترل منابع آلاینده پرداخته است. اما آنچه در این نوشتار دنبال می‌شود، پذیرش وضعیت موجود و ارایه راهکارهایی در خصوص کنترل این آلودگی‌هاست. سؤالاتی که در این مجال بدان پرداخته می‌شود عبارت است از:

- آیا طبیعت و معماری می‌توانند در بحث کنترل آلودگی هوا ایفای نقش کنند؟
- انواعی از بیوپوسته‌های نما که کنترل‌کننده آلودگی هوا هستند کدامند؟
- در میان بیوپوسته‌های بازدارنده آلودگی هوا، کدام نما برای شهر تهران بهینه است؟

فرضیه‌های پژوهش

با توجه به پرسش یادشده، فرضیه اصلی این پژوهش در قالب دو جمله زیر قابل بیان است:

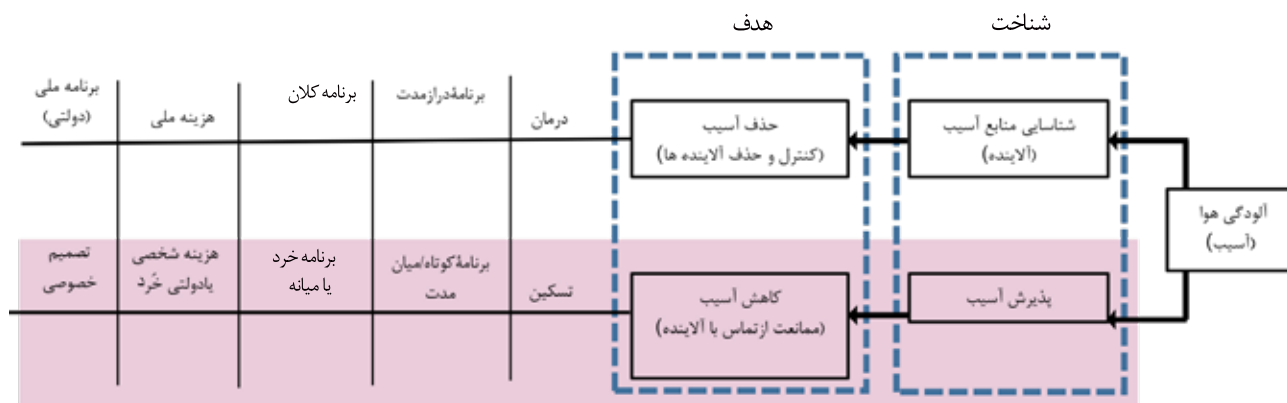
- پوسته‌های زیست‌مبنا در دست‌یابی به آسایش شهری از طریق کاهش آلودگی هوا تأثیر دارند.
- دیوارهای سبز راهکار مناسبی برای کاهش آلودگی هوا در شهر تهران است.

دلایلی که پیش از ورود به تحقیق برای صحت آزمون فرضیه می‌توان برشمرد عبارت است از:

۱. طبیعت همواره پاسخ مناسبی به نیازهای انسان و محیط بوده است.
۲. فضاهای سبز نقش بسزایی در کنترل آلودگی هوا دارند.

ضرورت تحقیق

آنچه در غالب شهرهای امروز و از جمله تهران در حال



تصویر ۱. تبیین نحوه برخورد با موضوع آلودگی هوا در مقاله. مأخذ: نگارنده.

الف) ایده اسپری آب

ایده اسپری آب بیش از هر جایی در دو کشور چین و هند پیگیری شده است، دو کشوری که در مجموع ۵۵ درصد از مرگومیر ناشی از این پدیده در جهان را به خود اختصاص داده‌اند.

در دسامبر ۲۰۱۷ در دهلی نو برای کاهش آلودگی هوا «تفنگ ضد آلودگی» را امتحان کردند، که یک ماشین اسپری، آب را تا ۲۳۰ پا به هوا پرتاب می‌کرد. هدف از این حرکت ادغام قطرات آب با ذرات گرد و غبار و تأثیری مشابه باران به کاهش سطح آلودگی بود. این ایده تنها در یک موقعیت محلی، و در یک‌زمان کوتاه قابل انجام است، اما چیزی نیست که برای کنترل آلودگی هوا به صورت بنیادین پاسخگو باشد.

در مقایسه با ساختمان‌های معمولی که از گردش طبیعی هوا استفاده می‌کنند، ساختمان‌های پلیدرو پلیس با هوای به‌زعم سازندگان ۱۰۰٪ تازه، ۲۴ ساعته در روز، و بدون در نظر گرفتن دمای هوا، سالم است. در داخل دو برج، یک مجموعه از آپارتمان‌های جنوبی یا باغ‌های زمستانی، ریه‌های ساختمان را تشکیل می‌دهند، هوای بیرون ساختمان قبل از ورود آن به فضای کاری از طریق دریچه‌های قابل تنظیم در کف بالکن‌ها استفاده از لایه آب بر روی نما (عمدتاً به صورت پوسته دوم) به عنوان فیلتر آلاینده‌هاست.

یک نمونه استفاده از پرده آبی در نما، ساختمان هایدروپلیس در مانیتوبا^۲ بوده که گواهی‌نامه لیدگانادا را نیز دارد. طراحی بیولوژیکی محیطی و رعایت اصول بهینه‌سازی انرژی در این ساختمان، عامل اصلی شهرت آن است. ساختمان جدید یک ساختار مقرون به صرفه با قابلیت کارایی و پیشرفت در زمینه انرژی خواهد بود که نشان‌دهنده تعهد به توسعه پایدار است (Hume, 2009).

در مقایسه با ساختمان‌های معمولی که از گردش طبیعی هوا استفاده می‌کنند، ساختمان هایدروپلیس با هوای به‌زعم سازندگان ۱۰۰٪ تازه، ۲۴ ساعته در روز، و بدون در نظر گرفتن دمای هوا، سالم است. در داخل دو برج، یک مجموعه از آپارتمان‌های جنوبی یا باغ‌های زمستانی، ریه‌های ساختمان



تصویر ۲. اسپری آب در هوای دهلی. مأخذ: CNN, 2017.

به دلیل عدم وجود داده‌های کمی در مورد عملکرد هر کدام از سیستم‌ها، در این مجال، پس از معرفی سیستم‌ها در قالب جداولی با شناسایی ضعف‌ها و قوت‌ها، تحقیق به شیوه کاربردی صورت گرفته، با مقایسه کیفی میان سیستم‌ها، روش بهینه انتخاب می‌شود.

بحث

ایده پوسته‌های زیست‌مبنای ساختمانی کنترل‌کننده آلودگی هوا معماری می‌تواند تأثیر مثبت یا منفی بر بهره‌وری انرژی ساختمان داشته و همچنین به طور مؤثری کیفیت هوا را بهبود بخشد. تحقیقاتی که به صورت پراکنده و در عناوین مختلف در کشورهای دنیا صورت گرفته، مؤید این مطلب است.

اما پوسته‌هایی که قابلیت کنترل آلودگی هوا را دارند، محدود به پوسته‌های زیستی که هدف این نوشتار است نشده ساختارهای دیگر و همچنین نمونه‌هایی از مصالح با فناوری نانو را نیز شامل می‌شوند. با این حال تمرکز در این نوشتار بر روی پوسته‌هایی بر پایه طبیعت است. پاسخگویی طبیعت در حل مسایل انسان طی سالیان ثابت شده و بقای انسان و محیط انسانی وابسته به حفظ و تداوم تعادل جهان زیستی اوست.

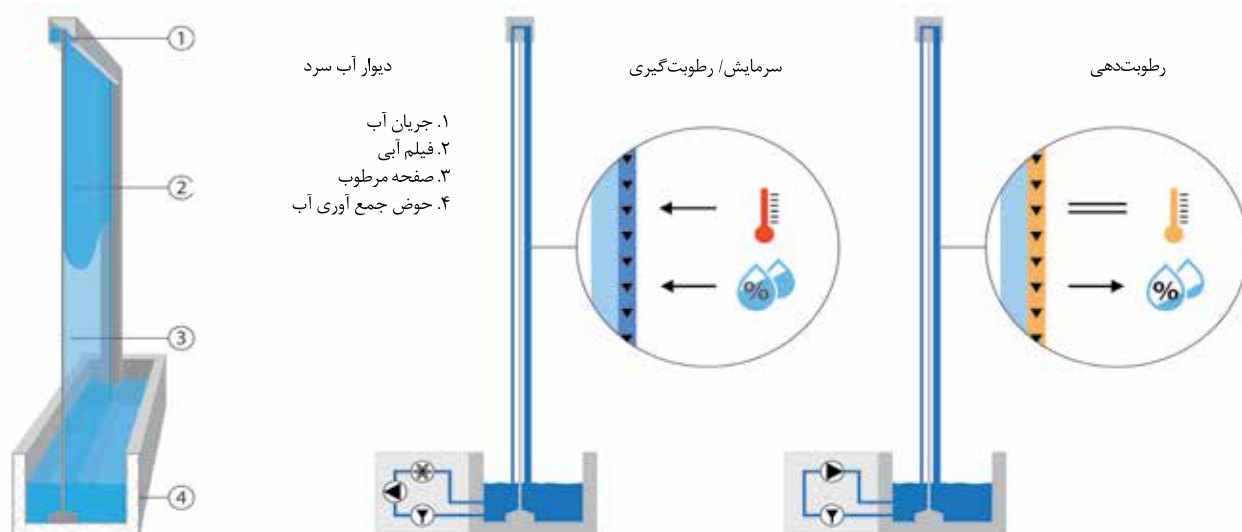
پیشرفت‌های روزافزون عصر حاضر در عرصه‌های رشد تخصص‌های عملی از یک‌سو و در عرصه شناخت قابلیت‌های طبیعت از سوی دیگر، دیدگاه‌های بسیار جدیدی را پیش روی محققان و طراحان گشوده است. این دیدگاه‌ها علاوه بر نمایش بیش از پیش ظرافت‌ها و معماهای دستگاه طبیعت، اکنون تصویرگر توفیقات پرشماری در جهت پایداری زیست‌محیطی بوده است.

در این نوشتار قابلیت‌های طبیعت در بحث کنترل آلودگی‌های هوا، به حوزه معماری وارد و این راهکارها در عناوین سه‌گانه «نماهای آبی»، «نماهای جلبک» و «پوسته‌های زنده سبز» بررسی می‌شود.

استفاده از آب در نمای ساختمان

الگوی استفاده از آب در نمای ساختمان، از پاک‌سازی هوا توسط بارش باران نشأت می‌گیرد. در زمان بارش باران، طبیعت به ایجاد یک مکانیزم حذف برای آلاینده‌ها در قالب قطرات باران کمک کرده، که در آن گازهای آلاینده جوی جذب و ذرات جامد در قطرات باران سقوط می‌کنند (Shukla, Misra & Sundar Shyam, 2007).

در موضوع استفاده از آب در نمای ساختمان جهت کنترل آلودگی هوا دو ایده «اسپری آب بر روی نما» و «پرده آبی» می‌تواند مطرح شود.



تصویر ۳. نمایشی از جزئیات یک دیوار آبی. مأخذ : Fraunhofer Institute, 2018.

دمای آب پوسته در رابطه با مبدل حرارتی توسط سیستم مدیریت ساختمان و براساس رطوبت نسبی فضاهای داخلی تنظیم شده است. آب موجود در این پوسته به وسیله سیستم بسته باز پس گرفته می‌شود، و میزان آب‌بندی و سرریز شدن بستگی به فصل و شرایط جوی دارد. با استفاده از یک پمپ حساس به آلاینده‌ها، آب از طریق یک سیستم فیلتراسیون معکوس برای حذف ذرات عمل می‌کند.

استفاده از دیواره‌ها یا پرده‌های آبی علاوه بر جنبه کاربردی آن که شامل تلطیف هوا و حذف آلاینده‌های هواست، در بسیاری از پروژه‌ها با تأکید بر جنبه زیبایی‌شناسانه آن طراحی و اجرا شده است، در نمونه‌هایی نیز تلفیق این سیستم با رویکردهای دیجیتال مشاهده می‌شود (تصویر ۴).

جلبک‌های نما

در معماری معاصر و در ساختمان‌های شهری، محبوبیت فضاهای شیشه‌ای به دلیل زیبایی‌شناسی همچنان ادامه دارد. با این حال، اثرات زیست‌محیطی استفاده از نمای شیشه‌ای، افزایش نگرانی‌ها به دلیل افت شدید حرارت و افزایش گرما ناخواسته را به دنبال دارد. سامانه‌های زنده جلبک، به عنوان یک جایگزین پایدار در این خصوص پیشنهاد می‌شود که یک بیوراکتور جلبک را در یک نمای شیشه‌ای ترکیب می‌کند. نمای جلبک‌ها قابلیت انتقال نور را فراهم کرده و به عنوان یک دیوار باربر می‌تواند سیستم‌های شیشه‌ای فعلی را با عملکرد مناسب حرارتی و ساختاری جایگزین کند. نمای جلبک‌ها به منظور بهبود کیفیت هوا در محیط‌زیست از طریق تولید اکسیژن و جذب CO_2 در اثر فتوسنتز جلبک‌ها طراحی شده است (Snijders & Bilow, 2013)؛ (تصویر ۵).

پیش از این اقدام در هند ایده اسپری آب برای کاهش آلودگی هوا و به صورت علمی‌تر در محافل چین مطرح شده بود. این پیشنهاد از سوی شائوسای یو^۳ مطرح شد، که اسپری آب در جو از ساختمان‌ها و برج‌های بزرگ، شبیه به آبیاری باغ‌ها را تبیین می‌کرد. «یو» در این مقاله که در نشریه شیمی محیط‌زیست اسپرینگر منتشر شد، این عمل را به عنوان یک رویکرد جدید برای کمک به جلوگیری از آلودگی شدید هوا و غبار سنگین ارایه می‌دهد (تصویر ۳).

یو پیشنهاد اسپری آب به جو زمین را شبیه‌سازی انواع بارش‌های طبیعی می‌داند که می‌توانند به طور مؤثر در جمع‌آوری و حذف آئروسول و آلاینده‌های گازی عمل کند. این در حالی است که می‌توان مواد شیمیایی دیگری را نیز به آب اسپری شده برای اهداف دیگر اضافه کرد (Shaocai, 2014).

ب پوسته آبی نما

راهکار دیگر استفاده از آب در جهت کنترل آلودگی هوا، را تشکیل می‌دهند و هوای بیرون ساختمان قبل از ورود به آن فیلتر می‌شود. بسته به فصل، آبشار بلند، با تنظیم رطوبت جهت دستیابی به هوای تازه از هوای ورودی مؤثر است. دستیابی به هوای تازه هدف اصلی استفاده از این آبشار در نمای ساختمان است، که ضمن پاک‌سازی هوا رطوبت هوای ورودی را قبل از آن توزیع آن در اتریوم تنظیم می‌کند (Kuwabara, Auer, Gouldsbrough, Akerstream & Klym, 2009).

هر رشته از این نمای آبی یک نوار منحصربه‌فرد ۴ میلی‌متری از پلی‌استر محکم و نازک است که توسط وزن نوارها، آنها را در تنش پایین قرار می‌دهد تا جریان آب هر رشته را کنترل کرده و حداکثر مقدار جریان هوا را از طریق نفوذ در پوسته آبی فراهم کند.

این پروژه همچنین یک لوله فوتوبیوراکتور^۸ را مورد استفاده قرار داده است که از طریق اثر سایه‌ای آن، خنک‌سازی ساختمان را فراهم می‌کند.

اما آپارتمان بی آی کیو^۹ اولین نمونه ساخته‌شده با این ایده در جهان است که از یک نمای جلبک به عنوان یک دستگاه تصفیه استفاده می‌کند (تصویر ۶ ج). پانل‌های جلبکی نمای این ساختمان از ورود بیش از حد گرما و نور خورشید به ساختمان جلوگیری می‌کند و این انرژی را با یک راکتور زیست‌محیطی به بیوماس قابل استفاده تبدیل می‌کند (Kyoung, 2013).

جلبک به سرعت تبدیل به یک واژه جدید در زمینه‌های معماری زیست‌محیطی و تولید انرژی می‌شود. مؤسسه‌ای در این خصوص سرمایه‌گذاری خود را در راستای پروژه‌هایی بر مبنای جلبک قرار داده‌اند، این موضوع به عنوان یک راه حل برای حل مسایل مربوط به تأسیسات

سیستم بیوراکتور بین دو ورق آکرلیک قرار داشته و جلبک‌ها در یک مایع غنی از مواد مغذی رشد می‌کنند. این محفظه به‌گونه‌ای طراحی شده تا انرژی و عملکرد ساختاری خوبی ارائه دهد. به‌واسطه این پوسته، امکان مشاهده، روشنایی روزانه و تهویه وجود دارد. تصویر ۵ نمای کلی و مکانیزم عملکرد یک سیستم نمای جلبک را نشان می‌دهد.

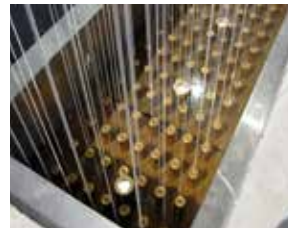
مطالعات در زمینه استفاده از جلبک‌ها در معماری، در موارد زیادی در حال انجام است. در طرح پیشنهادی جی‌اس‌ای^۴، از جلبک برای تصفیه فاضلاب و جذب انتشار CO₂ در مجاورت بزرگراه استفاده شده است که هدف دیگر آن، تولید لیپیدهایی است که می‌توانند به سوخت زیستی تبدیل شوند (تصویر ۶ الف). یکی دیگر از پروژه‌های مفهومی مزرعه شهری در شهر آلوده تهران است که توسط استودیو اکولوژیک^۷ ارائه شده است (تصویر ۶ ب).



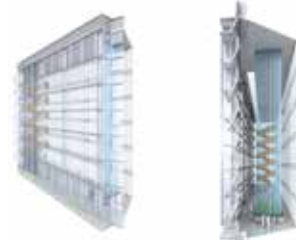
ج



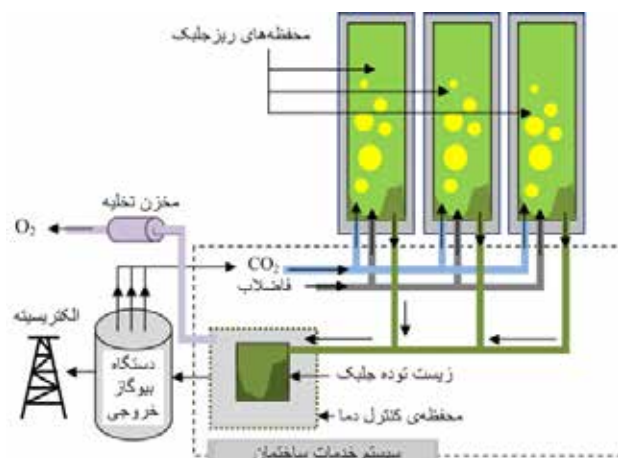
ب



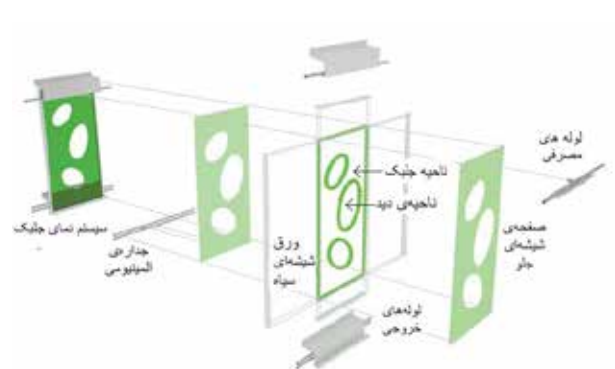
الف



تصویر ۴. الف) جزئیات نمای آب در ساختمان هایدروپلیس در مانیتوبا (سایت مانیتوبا هایدروپلیس). ب) پرده آب دیجیتال در موزه لهستان. ج) دیوار آب در بیمارستان اندرسون. مأخذ:



ب

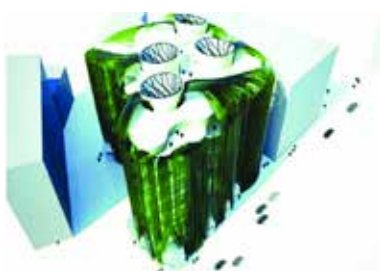


الف

تصویر ۵. الف) نمایش اجزای یک نمای جلبک (ب) مکانیسم عملکردی نمای جلبک. مأخذ: Elrayies, 2018.



ج

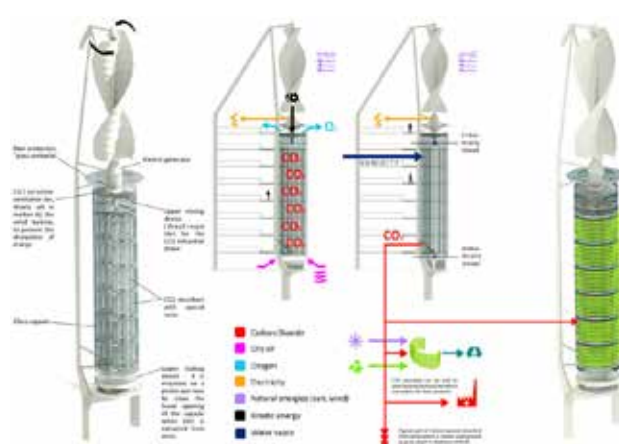
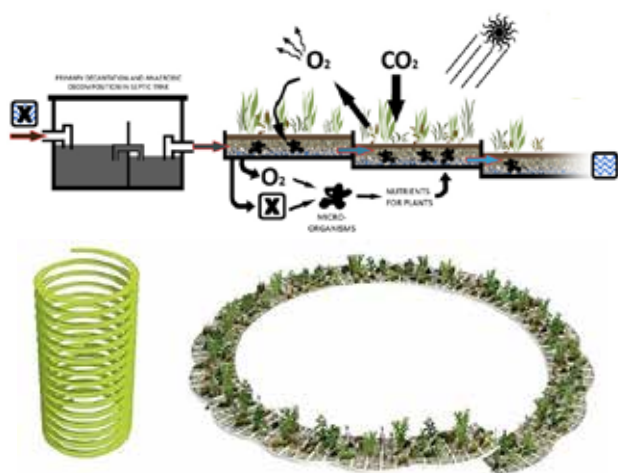


ب



الف

تصویر ۶. الف) نمای جلبک ساختمان جی اس ای (ب) پروژه مفهومی مزرعه شهری تهران (ج) ساختمان جلبکی بی آی کیو. مأخذ: Kyoung, 2013.



تصویر ۷. دیاگرامی از شکل و عملکرد حلقه‌ی سبز جلبک در برنامه اقدامات منطقه‌ای شیکاگو. مأخذ: Influx Studio, 2011.

نماهای سبز

استفاده از گیاهان در مقیاس‌های کوچک و بزرگ می‌تواند اثرات قابل ملاحظه‌ای بر موضوع آلودگی هوا داشته باشد. یونپ^{۱۱} (برنامه زیست‌محیطی سازمان ملل) نیز در بند ۹ از گزارش خود با نام ۲۱ مورد درباره قرن ۲۱، بر لزوم پایدارسازی فضاهای شهری اشاره کرده و سبزکردن فضاهای شهری را یکی از راه‌حل‌های ممکن برای دستیابی به پایداری بیشتر در شهرها می‌داند. اما لازم به ذکر است که اگرچه درختان می‌توانند برای کاهش آلودگی هوا بسیار مؤثر باشند اما کاشت درختان در شهرهای پرجمعیت و متراکم همیشه به‌سادگی امکان‌پذیر نیست (Yang, Yu & Gong, 2008). در این خصوص جداره‌های سبز می‌تواند جایگزینی مناسب و تأمین‌کننده فضای سبز ذکرشده برای دستیابی به پایداری در فضاهای شهری باشد.

پایدار دنبال می‌شود. جلبک‌ها به غیر از توانایی تولید زیست‌توده و هیدروژن، می‌توانند برای تشخیص آلودگی و جذب دی‌اکسید کربن در هنگام آزادسازی اکسیژن عمل کنند.

طرح پایدار جلبک سبز، با رویکردی روبه‌جلو در برنامه اقدامات منطقه‌ای مرکزی شیکاگو^{۱۲} پیگیری شد. در این پروژه قابلیت جذب طبیعی CO₂ دنبال شده، و توسعه پایدار شهری در برج‌های قرن بیستم بررسی می‌شود. این پروژه یک سیستم حلقه بسته است که بر سه سطح مختلف کاهش کربن تمرکز دارد: جذب مستقیم کربن از هوا، جذب فتوسنتز گیاهی و دیگر تأسیسات با مصرف انرژی طبیعی.

درحالی‌که جهان به دنبال جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی است، جلبک یک منبع نامحدود انرژی، غذا و مهم‌تر از آن یک جذب‌کننده طبیعی CO₂ است.

نماهای سبز که به هر نمای سبزی به اشتباه اطلاق می‌شود کرده، و نماهای سبز را به عنوان یکی از زیرمجموعه‌های سیستم‌های عمودی سبز پذیرفت. با قبول این مورد، می‌توان سامانه‌های عمودی سبز را در سه دسته کلی نماهای سبز، پوشش گیاهی دیوار و دیوار زنده دسته‌بندی کرد (تصویر ۸).

هریک از دسته‌بندی‌های فوق، خود به دو بخش دیگر قابل تفکیک است که ویژگی هر یک از این موارد در قالب جدول ۳ آمده است (آزموده، ۱۳۹۵).

با مقایسه‌ای میان سیستم‌های عمودی سبز می‌توان بیان کرد که سیستم‌های پاسخگو، در خصوص کنترل آلودگی هوا که بتواند در مقیاسی فراگیر پاسخگوی این امر باشد، هر دو گونه نماهای سبز (ریشه در خاک و ریشه در خاک گلدان) و دیوار زنده پیش‌ساخته را شامل می‌شود. در این میان نیز دیوار زنده پیش‌ساخته در زمانی کوتاه‌تر به بازدهی رسیده و در مقیاسی وسیع‌تر قابل اجرا خواهد بود، از این رو تمرکز این نوشتار در خصوص نمای سبز، همین‌گونه دیوار زنده را شامل می‌شود (جدول ۵).

در این خصوص دیوارهای زنده پیش‌ساخته از قسمت‌های

نماهای سبز یک فناوری مناسب برای ایجاد محیط مصنوعی از آلودگی است (Thottathil, et al, 2010). این دیوارها قادر به فیلتر کردن گازهای سمی، ذرات معلق موجود در هوا و سایر آلودگی‌ها هستند. سطح برگ‌ها آلودگی‌هایی همچون خاک و گرده را گرفته و گازهای سمی را فیلتر می‌کنند. فیلتراسیون توسط گیاه و از طریق میکروارگانیسم‌ها صورت می‌گیرد.

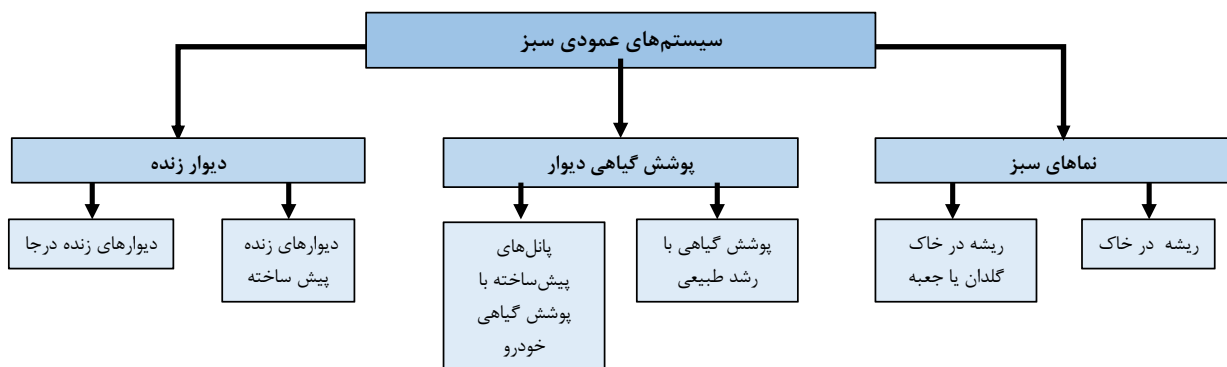
این ایده که از آن با عنوان معماری زنده نیز یاد می‌شود با استفاده از رشد گیاهان در سطوح ساختمان موجب بهبود کیفیت هوا و کنترل شدت آب باران می‌شود. (Perini, et al, 2012).

برای نماهای سبز می‌توان مزایای زیادی برشمرد، که در این نوشتار جنبه پاک‌سازی هوا بیش از دیگر موارد مدنظر است. البته ناگفته پیداست که در راستای این مزایا، احداث این جداره‌های سبز با چالش‌هایی نیز روبه‌روست، که هر دو این موارد در قالب جدول ۲ آمده است.

در برخوردی اصولی‌تر، بهتر آن است که عنوان کلی سیستم‌های عمودی سبز را جایگزین واژه مصطلح

جدول ۲. مزایا و چالش‌های جداره‌های سبز. مأخذ: نگارنده.

هزینه نصب و نگهداری	افزایش کیفیت آب و هوا
ایجاد اکوسیستم برای حشرات مزاحم	کاهش انرژی مصرفی
افزایش وزن ساختمان	کاهش اثر جزیره گرمایی
افزایش رطوبت در فضا	زیبایی بصری
	ارتقای روانی ساکنین شهر
	ارزش اکولوژیکی
	کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای
	کنترل آلودگی صوتی



تصویر ۸. دسته‌بندی سیستم‌های عمودی سبز. مأخذ: نگارنده.

جدول ۳. معرفی انواع سیستم‌های عمودی سبز. مأخذ: نگارنده.



ریشه در خاک

در این جا گیاهان به‌طور طبیعی و بدون استفاده از سازه‌های نگهدارنده روی دیوار بالا می‌روند. در این گروه از نماهای سبز، معمولاً زمان زیادی (چندین سال) طول می‌کشد تا کل مساحت دیوار از گیاهان پوشیده شود.



ریشه در خاک گلدان یا جعبه

در این گروه، گیاهان از گلدان‌هایی با ابعاد متوسط که در آنها خاک وجود دارد، رشد می‌کنند. یک سیستم آبیاری مداوم برای این گروه نیاز است زیرا گیاهان به‌طور مستقیم ریشه در خاک زمین ندارند.



پوشش گیاهی با رشد طبیعی

این نوع از سبزی‌نگی‌های عمودی بیشتر روی دیوارهای قدیمی، دیواره باغ‌ها و ساختمان‌های شهرهای تاریخی دیده می‌شوند. توسعه این نوع از دیوارهای سبز کاملاً غیرمنظم و به دور از دخالت انسان است.



پانل‌های پیش‌ساخته با پوشش گیاهی خودرو

دیوارهای سبزی که در این گروه قرار می‌گیرند از پانل‌های بتنی استفاده می‌کنند. این سیستم کاملاً نوین است. در این پانل‌های بتنی، منافذ بزرگی بین سنگ‌دانه‌ها وجود دارد که با خاک پر می‌شوند و امکان رشد گیاهان را به‌وجود می‌آورند. تنها گونه‌های بسیار محدودی قادر به رشد در این بسترهای بتنی هستند.



دیوارهای زنده پیش‌ساخته

این سیستم از پانل‌های از پیش گیاه‌کاری شده یا سیستم‌های Integrated Fabric که به یک قاب یا دیوار سازه‌ای نصب شده‌اند تشکیل می‌شود. دیوارهای سبزی که با این سیستم ساخته می‌شوند توانایی پوشش گیاهان متنوع‌تری را دارا هستند. در این روش از جعبه‌ها یا از گونی‌های ژئوتکستایل استفاده می‌شود. این جعبه‌ها خود به یک سیستم حائل عمودی و گاه به سازه دیوار متصل می‌شوند.



دیوارهای زنده در جا

دیوارهای زنده در جا در حقیقت سیستم‌های نیمه‌آماده‌ای هستند که قابلیت اتصال به نما را دارند. بعد از نصب لایه پشمی، گیاهان می‌توانند در جعبه‌های ایجاد شده قرار گیرند. به دلیل فضای معین جعبه‌ها، گیاهان نمی‌توانند رشد بی‌حد و مرز داشته باشند و گیاهانی که ریشه ضخیم دارند نیز نمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

نماهای سبز

پوشش گیاهی دیوار

دیوار زنده

مقایسه پوسته‌های زیست‌مبنا و دستیابی به سیستم

بهینه در شهر تهران

در بخش‌های پیشین این نوشتار سه نمای زیستی معرفی شده و خصوصیات و ویژگی‌های هر یک شرح داده شد. در یک جمع‌بندی از مطالب گفته‌شده و در جهت دستیابی

سیستم حائل عمودی، جعبه‌های متحرک، کیسه ژئوتکستایل، خاک و گیاهان تشکیل شده است، که با توجه به شرایط محل قرارگیری دیوار سبز نوع گونه‌های گیاهی از لحاظ سازگاری با میزان نور و دمای محیطی انتخاب می‌شوند.

این مقوله برای عموم نیز احتمالاً منجر به عدم استقبال عمومی در کوتاه مدت خواهد شد. اما در مورد دو نمای آبی و دیوار زنده سبز، شاید این دو سیستم بتوانند به صورت ترکیبی و یا مجزا در نماهای ساختمانی به کار گرفته شوند، اما با وجود آسیب‌های منتج از وجود املاح در آب به نما، به علاوه هزینه بالای آب و کمبود آب در کشور، به نظر می‌رسد مسئله استفاده از نمای آبی نیز در شرایط فعلی منتفی است، از این رو در صورت انتخاب میان این دو روش با توجه به برنامه‌ها و پیش‌بینی‌های شهرداری تهران در خصوص زیباسازی و افزایش سرانه فضای سبز، و آشنا بودن نسبی این مقوله برای عموم، نماهای سبز از شانس بیشتری جهت بهره‌وری در کوتاه مدت برخوردار است. دیوار سبز به عنوان یکی از رویکردهای نوین معماری و شهرسازی و برخاسته از مفاهیم توسعه پایدار در جهت افزایش سرانه فضای سبز، ارتقای کیفیت محیط زیست و توسعه پایدار شهری است. نتایج تحقیقات گذشته نشان

به نمای بهینه پیشنهادی در جدول ۵ نقاط قوت (مزایا) و نقاط ضعف (معایب) سه سیستم ذکر شده است. با بررسی نقاط قوت و ضعف سه سیستم، با نگرشی معکوس به موضوع، امکان مقایسه کیفی میان سه پوسته زیستی ساختمان فراهم می‌شود. مزیت‌های کلی این پوسته‌ها بر کسی پوشیده نیست، اما آنچه مهم است مقایسه این ارزش‌ها و امکان‌سنجی اجرای این نماهاست. این مقایسه در قالب همان پنج آیت مقایسه اقلیمی، مقایسه اقتصادی، مقایسه معماری و سازه، مقایسه زیست محیطی، و مقایسه پایداری آمده است. در مقایسه‌ای کلی در مورد سه آیت نماهای زیست‌منا باید اذعان داشت که با توجه به عدم تجربه کافی در زمینه پرورش جلبک در کشور و نوپا بودن این حرکت، و عدم شناخت کافی نسبت به تجربه این مورد در نما ساختمان در شرایط فعلی این گزینه علی‌رغم محاسن و نقاط قوت فراوان آن، این نما مورد بهینه‌ای برای استفاده در سطح انبوه در شهر تهران نیست، به علاوه آنکه ناآشنا بودن

جدول ۴. بررسی نقاط قوت و ضعف سه پوسته زیست‌منا. مأخذ: نگارنده.

نمای آبی	
نقاط ضعف	نقاط قوت
<ul style="list-style-type: none"> عدم امکان اجرا در تمام اقلیم‌ها عدم تطابق و عملکرد یکسان در تمام فصول محدود بودن شعاع تاثیر افزایش هزینه های مصرف آب افزایش هزینه نگهداری نمای اصلی به صورت مستقل مانع فیزیکی نیست امکان آسیب به نمای ساختمان به دلیل وجود املاح امکان جذب حشرات مزاحم امکان یخ زدگی آب در فصول سرد بالا رفتن مصرف آب نیاز به عایق کاری نمای اصلی عدم کنترل صوت 	<ul style="list-style-type: none"> ایجاد خرده اقلیم کاهش اثر گرمای جزایر حرارتی خنک‌سازی هوا افزایش رطوبت مطلوب کاهش هزینه‌های منتج از آلودگی هوا افزایش ارزش در بازار طول زمان بهره برداری کوتاه تعمیر و نگهداری آسان بهبود زیبایی منظر شهری ایجاد سایه روشن ماحصل از عبور و انعکاس نور عدم قطع ارتباط بصری داخل و خارج عدم تحمیل بار اضافه بر نما جذب و فیلتر کردن آلوده کننده‌ها تلطیف هوا بهبود شرایط جوی و افزایش پاکیزگی هوا پالایش هوای محدوده و ایجاد خرده اقلیم امکان مدیریت آب بارندگی کاهش مصرف انرژی کاهش دمای نما افزایش محدوده زندگی بهبود کیفیت زندگی
	<ul style="list-style-type: none"> جنبه‌های اقلیمی جنبه‌های اقتصادی جنبه‌های معماری و سازه جنبه‌های زیست محیطی جنبه‌های پایداری

نماهای جلبک

نقاط ضعف	نقاط قوت
<ul style="list-style-type: none"> عدم کارکرد مناسب در همه اقلیم‌ها هزینه ساخت زیاد (به دلیل عدم وجود تکنولوژی در کشور در شرایط فعلی) نیازمند نیروی متخصص جهت تعمیر و نگهداری افزایش وزن ساختمان مختل کردن دید بصری 	<ul style="list-style-type: none"> ایجاد خرده اقلیم افزایش ارزش در بازار امکان استفاده به عنوان دیوار باربر زیباسازی نسبی نما ایجاد سایه روشن ماحصل از عبور و انعکاس نور فیلتر کردن آلوده کننده ها جذب CO₂ بهبود کیفیت هوا امکان مدیریت آب بارندگی کاهش مصرف انرژی تولید سریع بیوماس بهبود کیفیت زندگی عایق صوتی تشویق ارگان های دولتی و خصوصی در جهت افزایش تحقیقات و تولید در خصوص جلبک
<ul style="list-style-type: none"> عدم شناخت و دانش نسبت به نماهای جلبک عدم وجود تکنولوژی مورد نیاز در شرایط فعلی 	

نماهای سبز

نقاط ضعف	نقاط قوت
<ul style="list-style-type: none"> عدم امکان اجرا در تمام اقلیم‌ها عدم تطابق و عملکرد یکسان در تمام فصول بروز محدودیت در انتخاب گیاه با توجه به اقلیم کمبود دانش و آگاهی نسبت به مزایای اقتصادی هزینه احداث بالا مصرف بالای آب نیازمند معیارهای سازه‌ای قابل قبول نیاز به تقویت سازه نما برای استقرار دیوارسبز امکان ایجاد اغتشاش بصری به علت تغییر فرم و رنگ گیاهان در فصول مختلف امکان ایجاد بوی نامطلوب در بعضی زمان‌ها امکان وجود حساسیت برای بعضی افراد امکان جذب حشرات مزاحم 	<ul style="list-style-type: none"> ایجاد خرده اقلیم کاهش اثر گرمای جزایر حرارتی کاهش هزینه‌های انرژی مربوط به سرمایش کاهش هزینه‌های منتج از آلودگی هوا تعمیر و نگهداری نسبتاً آسان افزایش پوشش گیاهی در حریم‌های خصوصی استفاد بهینه از نما بهبود زیبایی منظر شهری افزایش طراحی فضای سبز شهری احیاء فضا سبز شهری جذب و فیلتر کردن آلوده کننده‌ها ایجاد حیات وحش شهری تلطیف هوا بهبود شرایط جوی و افزایش پاکیزگی هوا پالایش هوای محدود و ایجاد خرده اقلیم امکان مدیریت آب بارندگی کاهش سر و صدا کاهش مصرف انرژی کاهش دمای نما مشارکت ساکنان در سبز نمودن افزایش محدوده زندگی بهبود کیفیت زندگی
<ul style="list-style-type: none"> عدم شناخت و آگاهی نسبت به مزایای دیوار سبز امکان آسیب و تخریب توسط افراد 	

نتیجه گیری

هدف اصلی این پژوهش، دستیابی به درکی بهتر درباره چگونگی تعامل دیوارهای زیست‌مبنا برای ارتقای کیفیت و حذف آلاینده‌های هوا بود. عدم وجود داده‌های کمی در مورد عملکرد هر کدام از سامانه‌ها نقیصه‌ای است که لازم است در پژوهش‌های آتی لحاظ و پیگیری شود. اما بنا

از پایین‌تر بودن مساحت فضای سبز برخی مناطق شهر تهران از استانداردهای بین‌المللی دارد. از این رو کاربرد فناوری دیوار سبز می‌تواند به عنوان یکی از مؤثرترین تمهیدات جبرانی در کاهش خطرات زیست‌محیطی در مناطق پرازدحام شهر تهران باشد (تقوی، ۱۳۹۳) و از این طریق به کاهش آلودگی هوا در شهر بیانجامد.

جدول ۵. مقایسه پوسته‌های زیست‌مبنا. مأخذ: نگارنده.

مقایسه اقلیمی			
دیوار زنده ی سبز	نمای جلبک	پوسته آبی	
اقلیم گرم و خشک	اقلیم گرم	اقلیم گرم و خشک	اقلیم قابل استفاده
جهت آفتابگیر	جهت آفتابگیر	تمام نماها	موقعیت نما
مقایسه اقتصادی			
دیوار زنده ی سبز	نمای جلبک	پوسته آبی	
۱۵ تا ۲۵ سال	-	نامحدود (نیازمند بازبینی دوره‌ای)	عمر نما
زیاد	(به دلیل عدم وجود تکنولوژی زیاد در کشور در شرایط فعلی)	نسبتاً کم	هزینه ساخت
متوسط (بستگی به گونه ی گیاه)	متوسط	کوتاه	طول زمان بهره‌داری
نیازمند بازبینی دوره‌ای	نیازمند نیروی متخصص	آسان - نیازمند بازبینی دوره‌ای	تعمیر و نگهداری
زیاد	زیاد (به خاطر بدعت در نما)	زیاد	افزایش ارزش در بازار
متوسط	زیاد	متوسط	جنبه جذب توریست
مقایسه معماری و سازه			
دیوار زنده سبز	نمای جلبک	پوسته آبی	
مثبت	نسبتاً مثبت	مثبت	زیبایی‌شناسی
بله (بسته به نوع دیوار سبز)	بله	به تنهایی مانع فیزیکی نیست	عملکرد نما (مانع فیزیکی داخل و خارج)
ندارد	به میزان کم	دارد	عبور نور
ندارد	به میزان کم	دارد	ارتباط بصری داخل و خارج
دارد	دارد	به میزان کم	افزایش وزن ساختمان
ندارد	دارد	ندارد	پشتیبانی بار

مقایسه زیست محیطی

دیوار زنده سبز	نمای جلبک	پوسته آبی	
در بعضی از سیستم‌ها	بله	بله	بهبود کیفیت هوای داخل
بله	بله	بله	بهبود کیفیت هوای خارج
افزایش رطوبت هوا	افزایش رطوبت هوا	افزایش رطوبت هوا	کنترل رطوبت هوا
(در بعضی زمان‌ها نامطلوب)	(در بعضی زمان‌ها نامطلوب)	(عمدتاً مطلوب)	
امکان پذیر	پیش بینی نشده	امکان پذیر	مدیریت آب بارندگی
بله	بله	بله	بهبود سلامت عمومی
بله	خیر	خیر	سازگاری با تغییرات اقلیمی

مقایسه پایداری

دیوار زنده ی سبز	نمای جلبک	پوسته آبی	
دارد	دارد	دارد- نقش خنک سازی هوا	کنترل حرارت
دارد	ندارد	اگر در مقابل نمای اصلی باشد، حتما نیاز به عایق کاری وجود دارد	نیاز به عایق کاری نما
بله	بله	بسیار کم	عایق صوتی
بله (تاحدی)	بله	خیر	مقاومت در برابر باد
بله	بله	بله	تعدیل اقلیم شهری

حاضر منتفی می‌کند.

اگرچه مروری بر مقایسه‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که دیوار سبز در همه زمین‌ها گزینه اول نمای بهینه نیست، اما در تجمیع موارد مذکور و با اشراف نسبت به قابلیت‌ها و امکانات موجود در کشور، در شرایط فعلی گزینه مطلوب بوده و بهره‌گیری از جداره‌های سبز در فضای شهری تهران می‌تواند به طور محسوسی موجب کاهش حضور آلاینده‌ها در هوا در مقیاس خرد شود.

هرچند هزینه‌های مستقیم نصب، اجرا و نگهداری این جداره‌ها چنانکه ذکر شد، بسیار بالا بوده و در مقایسه با میزان صرفه‌جویی در هزینه ناشی از کاهش انرژی مصرفی در داخل به لحاظ کاهش بارهای سرمایشی و

بر کلیه مراحل طی شده در این نوشتار و مطابق با آنچه در جداول بخش قبل آمده است، می‌توان اذعان داشت که جداره‌های سبز می‌توانند ساختاری بهینه را در این خصوص ارائه دهند.

در تطبیق وضعیت هریک از پوسته‌های زیست مینا با شرایط فعلی شهر تهران، آنچه مهم است دستیابی به راه حلی پربازده و زودبازده است. در مورد سه نمای حاضر می‌توان عنوان داشت که نمای جلبک علی‌رغم قابلیت‌های بسیار مفید چنانکه در جداول آمده است، به دلیل نوپا و ناآشنا بودن تکنولوژی، راه حل کنونی نیست. درخصوص نماهای آبی نیز، تنها مسئله کمبود آب در کشور و به تبع آن در شهر تهران، بهره‌گیری از این گزینه را در شرایط

تهران : انتشارات آثار ملی.

- حیدری نسب، امیر. (۱۳۹۲). *مدل‌سازی ریاضی سه بعدی پدیده فتوشیمیایی آلودگی هوا و استفاده از موجک برای کاهش گره‌های شبکه (با تاکید روی هوای تهران بزرگ)*. رساله دکتری. دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- قاسمی، ناصر. (۱۳۸۰). نگرش حقوق کیفری ایران درباره بزه آلودگی هوا. *دیدگاه‌های حقوقی*، (۲۱ و ۲۲) : ۱۱۵-۱۳۲.
- مفیدی شمیرانی، سیدمجید و مدنی، حسین. (۱۳۸۶). *آتریوم نماد یک معماری پایدار. ششمین همایش ملی انرژی. تهران : کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران، معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو.*
- وانگ، دیوید و گروت، لیندا. (۱۳۸۸). *روش‌های تحقیق در معماری. ت : علیرضا عینی‌فر. تهران : دانشگاه تهران.*
- Hume, C. (2009). *Canada's Most Important Building*. Toronto Star, December 19, 2009. Available from: https://www.thestar.com/news/insight/2009/12/19/hume_canadas_most_important_building.html. (accessed 11 June 2017).
- Kovarik, B. (2018). *Environmental history timeline, "Air pollution"*. Available from: <http://environmentalhistory.org/about/airpollution/>. (accessed 11 June 2017).
- Krzyzanowski, M. (2008). WHO Air Quality Guidelines for Europe. *Toxicol. Environ. Health A*, 71(1): 47-50.
- Kuwabara, B., Auer, T., Gouldsborough, T., Akerstream, T. & Klym, G. (2009). *Manitoba Hydro Place Integrated Design Process Exemplar. 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Manitoba Hydro Place Integrated Design Consortium, Quebec City, Canada, 22-24 June 2009.*
- Kyoung, H. K. (2013). *A Feasibility Study of an Algae Façade System. International Conference on Sustainable Building Asia School of Architecture*. University of North Carolina at Charlotte, Charlotte.
- Mayer, H. (1999). *Air Pollution in Cities. Atmospheric Environment*, (3): 4029-4037.
- Perini, K., Ottelè M., Fraaij A, Haas E. M. & Raiteri, R. (2011). *Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. Building and Environment*, (46): 2287-2294.
- Suri Manveena. (2017). *CNN, "Delhi tests water cannons to combat deadly air pollution"*. Available from: <https://edition.cnn.com/2017/12/22/health/india-new-delhi-water-cannon-pollution-intl/index.html>. (December 22, 2017)
- Schnelle, K. B. J. & Brown, C. A. (2002). *Air Pollution Control Technology Handbook*. Boca Raton, EL: CRC Press.

گرمايشی چندان مقرون به صرفه به نظر نمی‌رسند، اما با در نظر گرفتن موارد بررسی شده در این پژوهش یعنی کاهش محسوس آلودگی هوا در خرداقلیم‌ها و کاهش نسبی دما در فصول و ساعات گرم و بهبود خرداقلیم اطراف دیوار، سطوح سبز می‌توانند یکی از گزینه‌های مؤثر در بهبود کیفیت آب‌وهوایی در مقیاس خرد در شهر تهران باشند.

بر اساس مصوبه کارگروه کاهش آلودگی هوا شهرداری تهران در خصوص افزایش سرانه متوسط فضای سبز، نمای سبز می‌تواند تا حدی جبران نقیصه حاضر باشد. نمای سبز به عنوان یک عنصر پایدار یکی از راه‌حل‌هایی است که موجب کاهش مصرف انرژی، کاهش هزینه‌های مصرفی و ایجاد زیبایی طبیعی، و بهبود کیفیت آب‌وهوا می‌شود. فن‌آوری نمای سبز در مسیر پیشرفت بوده و هر روز پروژه‌های نوین و متفاوتی در این زمینه توسط طراحان اجرا می‌شود. این در حالی است که در کشور ما و به طور خاص شهر تهران، هنوز از پتانسیل چنین نماهایی به قدر کافی استفاده نشده و به عنوان یک جزء استاندارد در ساختمان‌ها پذیرفته نیست، بنابراین لازم است تا تحقیقات بیشتری برای ارتقای کیفیت معماری در جهت حفظ و حراست از محیط زیست انجام و از قابلیت‌های آن در ایجاد یک معماری پایدار بهره‌برداری شود.

پی‌نوشت‌ها

۱. WHO: World Health Organization
۲. EPA: Environmental Protection Agency
۳. Shaocai Yu
۴. Manitoba Hydro Place
۵. LEED
۶. GSA
۷. ecoLogic Studio
۸. photobioreactor
۹. BIQ
۱۰. CAAP: Chicago Central Area Action Plan
۱۱. UNEP: United Nations Environment program

فهرست منابع

- آزموده، مریم. (۱۳۹۵). *تأثیر دیوارهای سبز بر کاهش آلودگی هوا و تعدیل دمای محیط در شهر تهران*. رساله دکتری معماری. دانشگاه تهران، پردیس هنرهای زیبا، دانشکده معماری.
- پوی، ه. س. و چبانوگلاس، روو، د. ر. ج. (۱۳۷۸). *مهندسی محیط زیست*. ت : محمدعلی کی‌نژاد و سیروس ابراهیمی. تبریز : دانشگاه صنعتی سهند.
- تقوی، لعبت. (۱۳۹۳). *نقش بام و دیوار سبز در توسعه پایدار شهری*. مجله پایداری توسعه و محیط زیست، (۱) : ۳۶-۱۹.
- جرجانی، اسماعیل بن حسن. (۱۳۲۵). *ذخیره خوارزمشاهی*.

- Shaocai, Y. (2014). Water spray geoengineering to clean air pollution for mitigating haze in China's cities. *Environment chemistry letters*, 12 (1): 109-116.
- Shukla, J. B., Misra, A. K., Sundar Shyam, N. R. (2007). Effect of rain on removal of a gaseous pollutant and two different particulate matters from the atmosphere of a city. *Mathematical and Computer Modelling*, 48 (5-6): 832-844.
- Snijders, A. & Bilow, M. (2013). *Algae Architecture, Msc 3: Architectural Engineering Lab 10, 09-07-2013*. Available from: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:b0b6e05d-49d8-4cc0.../download>.
- World Health Organization (WHO). (2002). *The World Health Report 2002: Reducing Risks, Promoting Healthy Life*. Geneva: WHO.
- Thottathil, V., Jacob, C., Balamuralikrishna, S. (2010). Use of Green Facades in sustainable Building Environments: Quantifying the uptake rates of air pollutants by facades draped with tropical creepe. *International Conference on Sustainable Built Environment, Kandy, 13-14 December 2010*.
- Yang, J., Yu, Q. & Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, (42): 7266-7273.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Bagh-e Nazar Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



نحوه ارجاع به این مقاله

متین باستان فرد، ۱۳۹۷. کنترل آلودگی هوا توسط پوسته‌های زیست‌مبنا (راهکاری برای کنترل آلودگی هوای شهر تهران). باغ نظر، ۱۵ (۶۵) : ۴۰-۲۵.



DOI: 10.22034/bagh.2018.74077

URL: http://www.bagh-sj.com/article_74077.html