



## مروری بر انواع دیوار سبز و کاربرد آن‌ها در ساختمان

مریم انوشا<sup>۱</sup>، سهراب ویسه<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فناوری معماری بایونیک، دانشگاه شهید بهشتی

۲- مشاور مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

*m.anousha@mail.sbu.ac.ir*

### چکیده

دیوارهای سبز، سیستم‌های سبز عمودی هستند که می‌توانند در دیوارهای یک ساختمان گنجانده شوند. این سیستم، یک تکنولوژی نوین در عصر معماری پایدار است که می‌تواند یکی از راههای رسیدن به اهداف توسعه پایدار باشد. این دیوارها همچنان که به مسائل زیبایی‌شناختی، اقلیمی و زیست‌محیطی پاسخ می‌دهند، تاثیر به‌سزایی بر کیفیت زندگی شهری از منظر آسایش رطوبتی، حرارتی و صوتی می‌گذارند. همچنین به جای نماها و دیوارهای خشن و صلب، چشم‌اندازی پویا و زنده در منظر شهری ایجاد می‌کنند. این مقاله به بررسی انواع طبقه‌بندی سیستم‌های دیوار سبز و بررسی کاربری آن می‌پردازد. هدف از این مقاله بررسی مزایایی است که سیستم‌های دیوار سبز در ارتقای عملکرد ساختمان‌ها ارائه می‌دهد. پژوهش حاضر با روش توصیفی-تحلیلی و با گردآوری اطلاعات به روش کتابخانه انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که با طراحی بهینه و درست و اجرای دستورالعمل‌های مناسب و رعایت نکات فنی در ارتباط با طراحی و اجرای دیوار سبز میتوان از آن به نحو ایده‌آل در جهت پایدارسازی ساختمانها و شهرها بهره برد.

**کلمات کلیدی:** دیوار سبز، سیستم سبز عمودی، نمای سبز، معماری پایدار، دیوار زنده

### ۱- مقدمه

دیوار سبز دیواری است که حدوداً یا کاملاً با گیاهان پوشیده شده است و یک محیط رشد مانند خاک دارد. اکثر دیوارهای سبز دارای یک سیستم آبیاری نیز هستند. دیوارهای سبز به عنوان دیوارهای زنده یا باغ‌های عمودی هم شناخته می‌شوند. مفهوم دیوار سبز برای اولین بار در قرن یازدهم و در دوران وایکینگ‌ها مطرح شد. وایکینگ‌ها از سنگ، چوب و آجر ساخته شده از ذغال سنگ برای ساخت خانه‌های خود استفاده می‌کردند. ذغال سنگ نارس ماده‌ای است گیاهی که در باتلاق‌ها و محیط‌های مشابه تشکیل می‌شود. وقتی وایکینگ‌ها از آجر ذغال سنگ نارس استفاده می‌کردند، چمن به‌طور طبیعی بر روی این ماده آلی رشد کرد. پوشش گیاهی خانه‌ها را پوشاند و ریشه چمن به اتصال آجرها به یکدیگر کمک کرد و دیوارها را محکم می‌کرد. این نوع سازه‌ها را می‌توان در نیمکره شمالی هر جا که وایکینگ‌ها می‌رفتند، از کانادا تا نروژ، از جمله ایسلند، ایرلند، سوئد و دانمارک، یافت. با این حال، هیچ شواهدی وجود ندارد که نشان دهد این دیوارهای سبز اولیه عمداً ایجاد شده‌اند. طبیعی است که گیاهان با دخالت انسان یا بدون آن، روی دیوارها ساکن شوند. همه ما با ساختمان‌هایی آشنا هستیم که به



طور جزئی یا به طور کامل توسط پوشش گیاهی پوشانده شده اند. در مناطق گرمسیری مرطوب، گیاهان جنگل بر روی انواع ساختمان‌ها رشد می‌کنند و پوششی سرسبز در آمریکای مرکزی و آسیای جنوب شرقی ایجاد می‌کنند. (Sadeghian, 2016) در سال ۱۹۸۸، پاتریک بلان یک اختراع برای «دستگاهی برای رشد گیاهان بدون خاک بر روی سطح عمودی» ثبت کرد که منجر به ایجاد دیوار سبز مدرن شد. یک قاب فلزی بر روی یک دیوار باربر یا سازه پشتیبان قرار می‌گیرد و از یک صفحه پی وی سی منبسط شده به ضخامت ۱۰ میلی‌متر پشتیبانی می‌کند. در بالای این صفحه، دو لایه نمد پلی‌آمید به ضخامت ۳ میلی‌متر منگنه شده است. شبکه‌ای از لوله‌ها که توسط دریچه‌ها کنترل می‌شود، یک محلول مغذی حاوی مواد معدنی محلول لازم برای رشد گیاه را تأمین می‌کند. نمد محلول مواد مغذی را از طریق عمل مویرگی جذب می‌کند که سپس به دلیل گرانش در امتداد دیواره پایین می‌آید. ریشه گیاه مواد مغذی لازم را جذب می‌کند و هرگونه آب اضافی در فضاهای سبز شهری جمع‌آوری می‌شود. سبز شدن ساختمانها، از جمله بام‌های سبز و دیوارهای سبز، تنها یک تکه از این پازل است. شهرهای مدرن دارای فضای قابل توجهی از سقف و دیوار هستند که اغلب در بالای خیابان امتداد دارند. اگرچه همه این فضا برای رشد گیاهان مناسب نیست، اما بخش قابل توجهی از آن بسیار بیشتر در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است (Johnston et al., 2004). در طول سال‌ها جایگزینی سطوح گیاهی با سطوح سنگفرش شده و نفوذ ناپذیر در مناطق شهری منجر به افزایش دما در مقایسه با مناطق روستایی اطراف شده است. این به دلیل این واقعیت است که سطوح سنگفرش شده انرژی خورشیدی بیشتری را نسبت به چمن و درختان جذب، نگه می‌دارند و تابش می‌کنند. دما در مناطق شهری می‌تواند تا ۶ درجه سانتیگراد گرمتر از مناطق روستایی باشد (Sadeghian, 2016). دیوارهای سبز، شامل ترکیب گیاهان بر روی نمای ساختمان‌ها هستند. در مقایسه با بام‌های سبز، دیوارهای سبز می‌توانند سطوح سخت در معرض دید بیشتری را در محیط‌های شهری که ساختمانهای بلند رواج دارند پوشش دهند (Jonathan, 2003). اگر یک برج نسبت گیاهی یک به هفت داشته باشد، مساحت نما تقریباً معادل سه برابر مساحت بام است. اگر دو سوم نما پوشیده شود، این امر به دو برابر شدن میزان پوشش گیاهی در سایت کمک می‌کند. در نتیجه، یک برج می‌تواند سبز شود و توده آلی را در سایت افزایش دهد (Sheweka et al., 2011)

## ۲- انواع دیوارهای سبز

بسته به گونه‌های گیاه، بستر کاشت و سازه‌ی پشتیبان مورد استفاده، انواع گوناگونی از دیوارهای سبز پدید می‌آیند، که به صورت کلی به دو گروه تقسیم می‌شوند (wood et al., 2014)

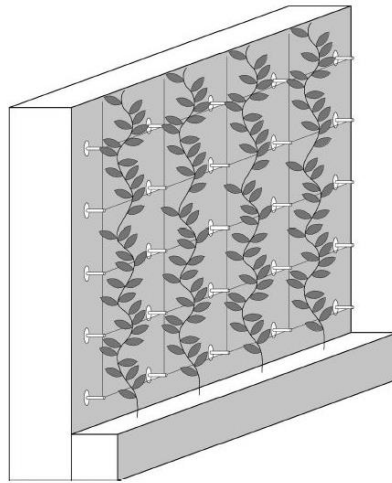
- دیوارهای سبز پشتیبانی شده توسط نما
- دیوارهای زنده ادغام شده با نما

### ۲-۱- دیوارهای سبز پشتیبانی شده توسط نما

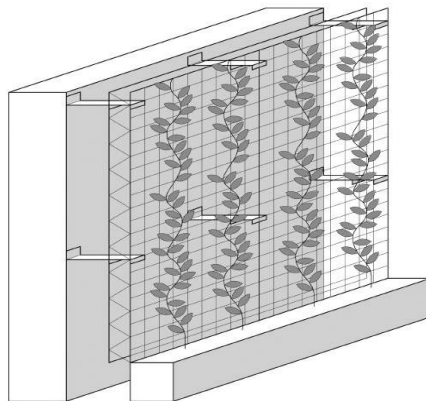
سیستم دیوار سبز که توسط نما پشتیبانی می‌شود، اما با محیط کاشت جدا از نما، دیوار سبز پشتیبانی شده توسط نما نامیده می‌شود (شکل ۱). به طور معمول، محیط کاشت در بسترهای افقی نگهداری می‌شود که می‌تواند بر روی زمین یا در فواصل مختلف در امتداد ارتفاع نما قرار گیرد. به عنوان مثال فاصله از دیوار از ۲۰۰ میلی‌متر در ساختمان Residences Helios تا ۲٫۸۷ متر در مدرسه هنر متغیر است که هر دو این ساختمان‌ها در سنگاپور واقع شده‌اند. سیستم ساختاری دیوار سبز پشتیبانی شده توسط نما معمولاً متشکل از پرده‌های فولادی، چوبی یا پلاستیکی است که به صورت خارجی به نمای ساختمان متصل می‌شوند. نماهای سبز می‌توانند دو بعدی باشند (شکل ۲) که توسط کابل‌ها، طناب‌ها و مش‌ها شکل می‌گیرند یا سه بعدی هستند (شکل ۳) که توسط قاب‌ها و قفس‌های سفت و سخت تشکیل می‌شوند. (wood et al., 2014)



شکل ۱: دیوار سبز پشتیبانی شده توسط نما (wood et al., 2014)



شکل ۲: دیوار سبز ۲ بعدی (wood et al., 2014)



شکل ۳: دیوار سبز ۳ بعدی (wood et al., 2014)

## ۲-۲- دیوارهای زنده ادغام شده با نما

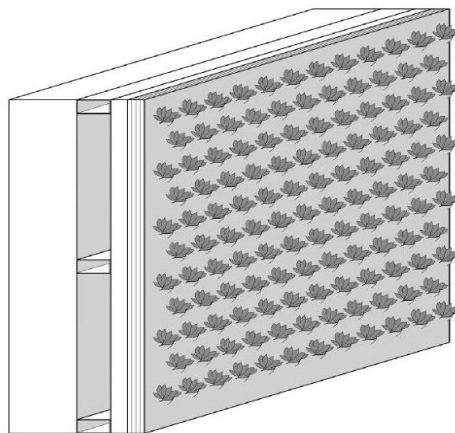
دیوار زنده، سیستمی است که در آن گیاه به نمای ساختمان متصل شده و کاملاً با سازه ی نما و بستر کشت آن که هر دو بر روی سطح عمودی دیوار خارجی قرار گرفته اند، تلفیق شده است. معمولاً دیوارهای زنده توسط یک عایق رطوبتی از سطح نما جدا شده اند تا سازه ی نما را از رطوبت محافظت نمایند. سیستم آبیاری می تواند با سنسورهای بارنده همراه شوند تا آبیاری دیوارهای زنده را کارآمدتر و پایدارتر کنند. شکل (۴) (wood et al., 2014)



شکل ۴: دیوار زنده ادغام شده با نما (wood et al., 2014)

## ۲-۲-۱- دیوار زنده حصیری با پوشش گیاهی

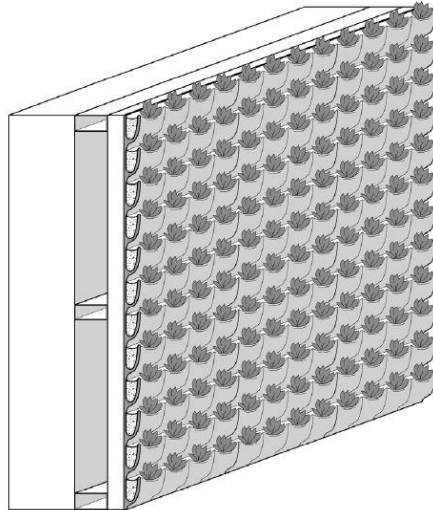
این نوع از دیوار زنده از نوعی لایه ی پارچه ای که به یک لایه ی محکم در زیر متصل شده است، تشکیل می شود. گیاهان از پیش رویانده شده داخل حفره های لایه ی پارچه ای قرار داده می شوند، ریشه هایشان بین لایه هایی که به عنوان بستر کشت عمل می کنند شروع به رشد می کنند. این دیوار هیچ بستر کشتی ندارد و مواد غذایی از طریق آب موجود در لوله های آبیاری واقع در پشت لایه ی پارچه ای به ریشه ها می رسد (شکل ۵). (wood et al., 2014)



شکل ۵: دیوار زنده حصیری با پوشش گیاهی (wood et al., 2014)

## ۲-۲-۲- دیوار زنده ی جیبی آویزان

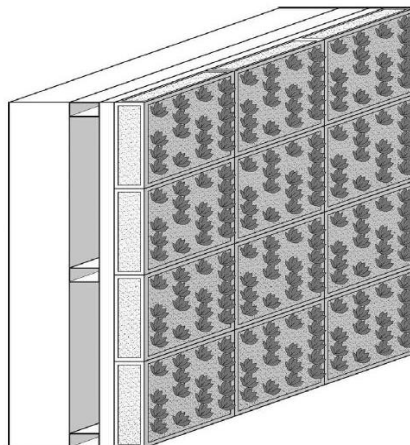
این نوع از دیوارهای زنده از ظرف های پارچه ای جیب مانند تشکیل شده اند که به زیر لایه ی محکمی متصل می شوند. گیاهان در این ظرف های نمده ی یا پلاستیکی که پر شده از بستر کشت هستند ریشه میدوانند. (شکل ۶). ( wood et al., 2014)



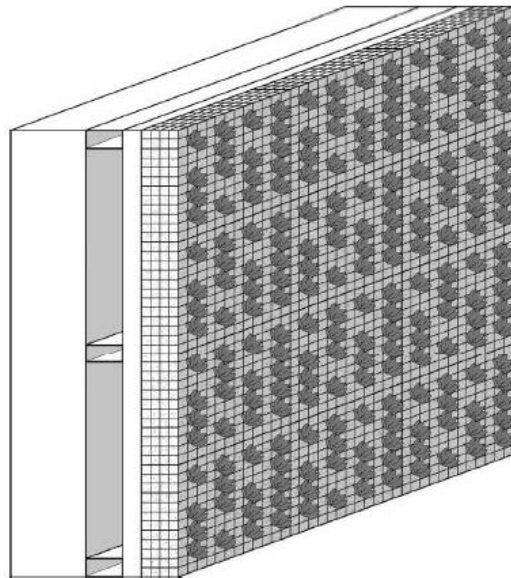
شکل ۶: دیوار زنده ی جیبی آویزان (wood et al., 2014)

## ۳-۲-۲- دیوار زنده ی مدولار

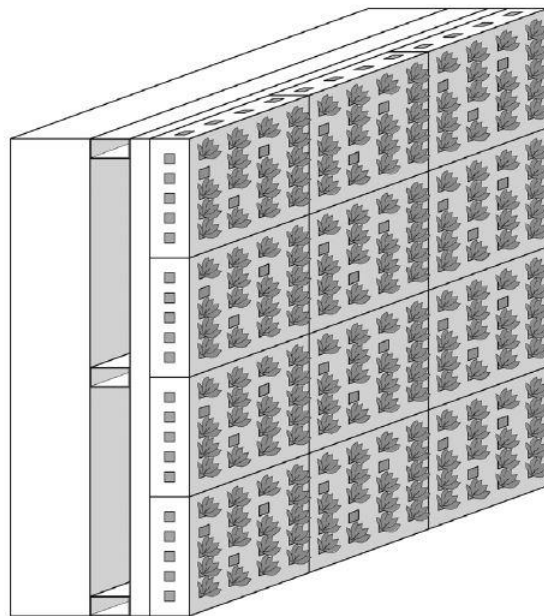
این نوع دیوار از ظرف های محکم مستطیلی ساخته شده اند که با بستر کشت پر شده اند و می توانند یا متصل به دیوار خارجی باشند یا بدون تکیه گاه باشند. این ظرف ها از فولاد یا پلاستیک سازه ای سبک و به شکل جعبه های قالب بندی شده (شکل ۷)، قفسه های سیمی (شکل ۸) یا جعبه های بسته ای از پیش سوراخ شده (شکل ۹)، ساخته شده اند. در بعضی موارد ظرف ها به سلول های کوچک تر تقسیم شده اند که به صورت عمود یا زاویه دار با دیواره ی پشت ظرف ها قرار گرفته اند (شکل ۱۰). دیوارهای زنده مدولار همچنین می توانند از مجموعه ای از محل های کشت افقی که به صورت عمودی بر روی هم قرار گرفته اند، ساخته شوند (شکل ۱۱). ( wood et al., 2014)



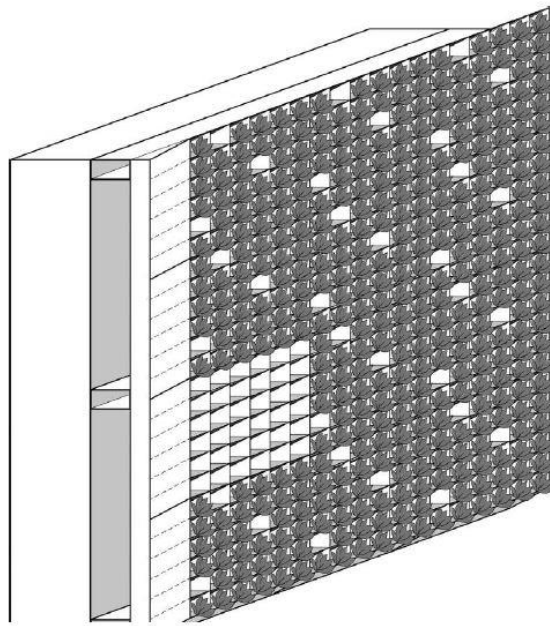
شکل ۷: دیوار زنده ی مدولار جعبه های قالب بندی شده (wood et al., 2014)



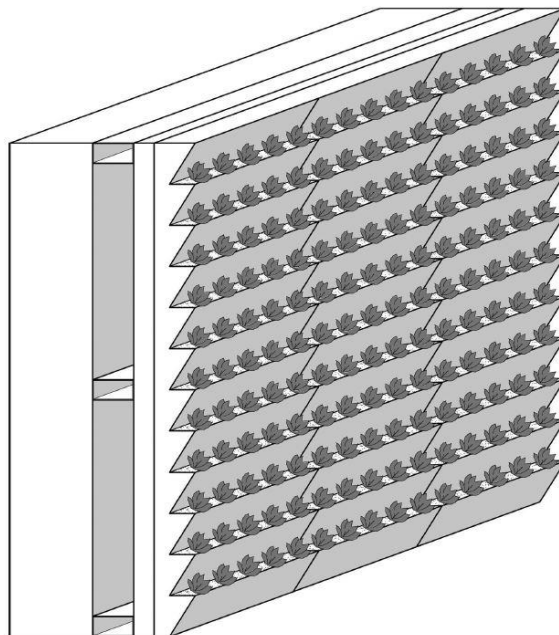
شکل ۸: دیوار زنده ی مدولار قفسه های سیمی (wood et al., 2014)



شکل ۹: دیوار زنده ی مدولار جعبه های بسته ای از پیش سوراخ شده (wood et al., 2014)



شکل ۱۰: دیوار زنده ی مدولار جعبه های بسته ای سلولی اریب (wood et al., 2014)



شکل ۱۱: دیوار زنده ی مدولار کشتزار افقی (wood et al., 2014)



### ۳- الزامات اجرای سیستم دیوار سبز

پیشرفت های اخیر در فناوری دیوار سبز در درجه اول بر طراحی سیستم ها و اجزای آنها مانند عناصر پشتیبانی، محیط های رشد، پوشش گیاهی، آبیاری و زهکشی تمرکز دارد. هدف دستیابی به راه حل های فنی کارآمدتر و بهبود عملکرد در تمام مراحل توسعه ساختمان، از جمله نصب، نگهداری و تعویض است. علاوه بر این، تکامل سیستم های دیوار سبز نیاز به سازگاری با انواع مختلف ساختمان (مانند فضاهای تجاری و ساختمان های بلند)، روش های ساخت (هم برای دیوارهای جدید و هم برای دیوارهای موجود) و انواع مختلف سطوح (از جمله سطوح شیب دار، دیوارهای پارتیشن داخلی و سازه های مستقل) را برطرف می کند. (Manso et al., 2015)

### ۳-۱- عناصر پشتیبان

استفاده از یک سیستم پشتیبانی مانع از سقوط پوشش گیاهی می شود. این سیستم ها، چه مدولار و چه پیوسته، وزن پوشش گیاهی را لنگر و پشتیبانی می کنند و در نتیجه مقاومت سیستم در برابر عوامل محیطی مانند باد، باران و برف را افزایش می دهند. بیشتر سازه های پشتیبانی برای نماهای سبز شامل هادی های پیوسته یا مدولار مانند کابل، سیم، یا تراشه ساخته شده از فولاد گالوانیزه یا ضد زنگ است. سازه های فولادی و کابل های کششی را می توان برای نگه داشتن گیاهان بالارونده با شاخ و برگ مترکم تر و حمایت از وزن آنها استفاده کرد. شبکه های سیمی با فواصل کوچکتر برای حمایت از گیاهان با رشد آهسته مناسب هستند. برخی از سیستم های غیر مستقیم نمای سبز، به ویژه نماهای مدولار، بسترهای کشت و سازه های پشتیبانی تکی را شامل می شوند و امکان تعلیق عناصر در ارتفاعات مختلف در امتداد دیوار را فراهم می کنند. دیوارهای زنده معمولاً از یک قاب برای نگه داشتن عناصر و پشتیبانی از گیاهان تشکیل شده اند. سیستم های دیوار زنده پیوسته شامل نصب یک قاب ثابت شده به دیوار و ایجاد یک فضای خالی بین سیستم و سطح است. این قاب پانل پایه را نگه می دارد و دیوار را از رطوبت محافظت می کند. سیستم های دیواری زنده مدولار با توجه به اشکال مختلفی که دارند، هر کدام به ساختار متفاوتی نیاز دارند. عناصر پشتیبانی ممکن است ورق های پلاستیکی یا فلزی، یا یک پوشش جلویی به شکل شبکه داشته باشند تا از سقوط گیاهان جلوگیری کنند همچنین میتوانند یک قاب عمودی و/یا افقی متصل به سطح باشند. سطح پشتی این عناصر می تواند شامل قلاب یا براکت نصب برای معلق نگه داشتن پروفیل های قاب متصل به سطح عمودی باشد. مخازن مدولار امکان نصب چندین گیاه در هر عنصر در امتداد یک ردیف را فراهم می کند. آنها معمولاً از مواد پلیمری ساخته می شوند و تأثیر بصری قابل توجهی بر سطح ساختمان دارند. (Manso et al., 2015)

### ۳-۲- بستر رشد

این بستر باید سبک باشد، معمولاً با یک محیط رشد پر می شود که امکان تکثیر ریشه را فراهم می کند. این محیط از ترکیبات آلی و معدنی تشکیل شده است. بستر را می توان با مواد مغذی برای رشد گیاه، مانند ترکیبی از کودهای آلی و معدنی، مواد مغذی، هورمون ها یا سایر مواد افزودنی تقویت کرد. یک بستر رشد می تواند مخلوطی از یک بستر سبک و یک ماده دانه ای مانند گرانول های معدنی با ذرات متوسط تا ریز، الیاف نارگیل یا پارچه بازیافتی باشد. این ترکیب ظرفیت نگهداری آب را به خوبی تضمین می کند. (Sichello C, 2010)

### ۳-۳- انتخاب پوشش گیاهی

انتخاب پوشش گیاهی مناسب به شرایط آب و هوایی، ویژگی های ساختمان و شرایط اطراف که دیوار سبز در آن قرار می گیرد بستگی دارد. سیستم های مورد بررسی برخی نگرانی ها را در مورد طول عمر پوشش گیاهی نشان می دهند. گیاهان بالارونده یک راه حل مقرون به صرفه برای سبزرکاری عمودی محسوب می شوند. این نوع گیاهان می توانند دو نوع اصلی شاخ و





برگ داشته باشند: همیشه سبز یا برگریز. گیاهان همیشه سبز برگهای خود را در طول سال حفظ می کنند، در حالی که گیاهان برگریز، در طول پاییز می ریزند و در نتیجه تغییر بصری قابل توجهی در طول سال ایجاد می شود. گیاهان بالارونده یا می توانند خود را به سطح عمودی متصل کنند، یا می توانند توسط یک ساختار پشتیبانی شوند. توجه به این نکته مهم است که گیاهان بالارونده محدودیت های رشد دارند. برخی گونه ها می توانند به ارتفاع ۵ تا ۶ متر، برخی دیگر ۱۰ متر و برخی حتی ۲۵ متر برسند و تقریباً ۳ تا ۵ سال طول می کشد تا به پوشش کامل دست یابند. سیستم های دیوارهای زنده، کشف مفاهیم زیبایی شناختی جدید برای دیوارهای سبز را فراهم می کنند و راه حل های هنری را با انواع گونه های گیاهی ترکیب می کنند. این امکان استفاده از الگوهای مختلف، تغییرات در رنگ، بافت، اشکال شاخ و برگ، تراکم، نشاط و رشد را فراهم می کند. این راه حل ها طیف وسیعی از گونه های گیاهی مورد استفاده در دیوارهای سبز، از جمله درختچه ها، علف ها و گیاهان چند ساله مختلف را گسترش داده است، به شرطی که نیاز به آبیاری و مواد مغذی آنها در نظر گرفته شود. (Manso et al., 2015)

### ۳-۴- زهکشی

تخلیه مایع اضافی در دیوارهای سبز به دلیل نیروی گرانش رخ می دهد. سینی های مدولار از همپوشانی ماژول ها و مواد برای افزایش زهکشی استفاده می کنند. برای بهبود زهکشی، کف یک سیستم مدولار را می توان به گونه ای طراحی کرد که مقعر، شیب دار، سوراخ شده باشد یا از یک ماده متخلخل یا جاذب ساخته شود. نمونه های دیگر، مانند ظروف، شامل استفاده از یک ماده فیلتر اعمال شده در پایین ماژول، مانند شن و ماسه آغشته شده یا سایر روش های تصفیه آب باران و از بین بردن سموم و فلزات سنگین، یا یک پرکننده بی اثر، مانند خاک رس منبسط شده، شیل منبسط شده یا ماسه است که باعث زهکشی و رشد ریشه می شود. برخی از نمونه های سیستم های مدولار همچنین ترکیب شیارها یا سوراخ ها در طرفین و سطح پشت ماژول ها را برای هوادهی بهتر و حذف رطوبت اضافی در بستر پیشنهاد می کنند. (Manso et al., 2015)

### ۳-۵- سیستم آبیاری

انتخاب یک سیستم آبیاری به نوع دیوار سبز، ارتفاع، منبع آبیاری و فضای لازم برای تجهیزات بستگی دارد. آب آبیاری را می توان با مواد مغذی، کود، مواد معدنی، فسفات، اسیدهای آمینه یا مواد هیدروپونیک افزایش داد تا رشد و نشاط پوشش گیاهی را تقویت کند. لوله ها و اتصالات آبیاری را می توان از مواد مختلفی (مانند لاستیک، پلاستیک، لوله ترموپلاستیک، سیلیکون و شیلینگ آبیاری) با خروجی های مختلف (مانند قطره، آبیاش، سوراخ، لوله) ساخته شود که متناسب با نیازهای آبیاری گیاهان است. سیستم آبیاری همچنین ممکن است دارای یک سیستم فیلتراسیون برای جلوگیری از گرفتگی باشد. (Manso et al., 2015) برخی گیاهان در مناطق مرطوب قسمتی از آب مورد نیازشان را از رطوبت موجود در هوا دریافت می کنند. باید در سیستم آبیاری فشار کافی آب در ارتفاع پیش بینی شود. سیستم آبیاری اغلب مکانیکی و خودکار هستند. استفاده از یک سیستم آبیاری قطره ای خودکار برای دیوارهای زنده توصیه می شود. سیستم آبیاری می تواند با یک ایستگاه هوایی مجهز شود تا به سیستم، امکان تنظیم با شرایط اقلیمی و فصول سال را بدهد. (wood et al., 2014)

### ۳-۶- نصب و نگهداری

نماهای سبز که شامل گیاهان بالارونده هستند، در طول فرآیند نصب مقرون به صرفه تر هستند اما از نظر تنوع گیاهی محدودیت هایی دارند. هنگامی که گیاهان نیاز به جایگزینی دارند، این سیستم ها در حفظ پوشش گیاهی پیوسته با مشکلاتی مواجه می شوند. برخی از گیاهان بالارونده نیز نیاز به راهنمایی دارند تا اطمینان حاصل شود که هنگام رشد کل سطح را پوشش می دهند. لازم به ذکر است که برخی از گیاهان بالارونده می توانند با حذف آن ها با ریشه هایشان و ورود به حفره ها یا ترک ها به سطوح ساختمان آسیب برسانند. داربست های مدولار در مقایسه با راهنماهای مداوم از نظر فرآیندهای نصب و نگهداری



مزایایی دارند. با نصب گیاهان در ارتفاعات مختلف، تأثیر رشد پراکنده گیاهان صعود در امتداد سطح به طور قابل توجهی کاهش می یابد و گیاهان ناموفق را می توان به راحتی جایگزین کرد. برخی از سیستم های مدولار امکان جداسازی تکی هر ماژول را فراهم می کنند یا شامل یک پوشش جلویی قابل جابجایی برای نگهداری دیوار یا جایگزینی پوشش گیاهی هستند. علاوه بر این، برخی از عناصر مدولار را می توان در یکدیگر قرار داد تا فرآیندهای حمل و نقل و کاربرد ساده شود. هنگام مقایسه سیستم های دیوارهای زنده با سیستم های دیوارهای زنده مدولار، سیستم های پیوسته امکان ایجاد سطوح گیاهی را با تنوع گسترده تری از گونه های گیاهی فراهم می کنند و می توانند سبک تر باشند، با چگالی حدود سی گیاه در متر مربع و کمتر از ۳۰ کیلوگرم بر متر مربع. با این حال، سیستم های دیوارهای زنده معمولاً هیدروپونیک هستند و نیاز به تأمین دائمی آب و مواد مغذی دارند که این یکی از معایب پایداری است و به دلیل افزایش نیاز آبیاری منجر به هزینه نگهداری بالاتر می شود. هر سیستم دیوار سبز دارای ویژگی های خاص خود است، با مزایا و معایب بسته به پتانسیل زیبایی شناسی، هزینه و نیازهای نگهداری، انتخاب مناسب ترین سیستم مستقیماً تحت تأثیر ویژگی های ساختمان (مانند جهت گیری، دسترسی و ارتفاع) و شرایط اقلیمی (مانند قرار گرفتن در معرض آفتاب، سایه، قرار گرفتن در معرض باد و بارندگی) است. بنابراین، درک تفاوت در ترکیب و ویژگی های اصلی این سیستم ها مهم است. (Wong L et al., 2011)

### ۳-۷- عملکرد و هزینه های زیست محیطی

به منظور به دست آوردن درک عمیق تر از اینکه آیا سیستم های دیوار سبز می توانند راه حل های پایدار در نظر گرفته شوند، محققان چندین مطالعه برای مقایسه عملکرد زیست محیطی سیستم های مختلف دیوار سبز در کل چرخه عمر آنها انجام دادند. نمای سبز یک گزینه پایدارتر و مقرون به صرفه است. این سیستم ها حداقل تأثیر زیست محیطی دارند زیرا نیازی به مواد ندارند و نیاز به نگهداری کمی دارند. با این حال، هنگام بررسی چرخه عمر برخی از سیستم های دیوار سبز، پایداری آنها ممکن است مورد سوال قرار گیرد. تغییرات در نوع مواد مورد استفاده، دوام آنها، پتانسیل بازیافت، طول عمر پوشش گیاهی و مصرف آب می تواند به طور قابل توجهی بر تأثیر کلی محیط زیست داشته باشد. طبق گفته Ottele et al., ترکیب فولاد ضد زنگ به عنوان یک سیستم پشتیبانی می تواند ۱۰ برابر بیشتر از استفاده از سایر مواد بازیافت شده مانند HDPE، چوب سخت با گواهینامه FSC یا فولاد روکش دار داشته باشد. یکی دیگر از نکات مهم دوام مواد است. مواد مانند PVC و سایر مواد طول عمر محدودی دارند و نیاز به تعویض چندین بار در طول عمر یک ساختمان دارند. با این حال، شایان ذکر است که سیستم های دیوار سبز اغلب از مواد با تأثیر زیست محیطی بالا استفاده می کنند. مطالعات اخیر نشان داده است که سیستم های خاصی می توانند با افزایش مقاومت حرارتی به کاهش بار زیست محیطی کمک کنند و در نتیجه تقاضای انرژی کمتر برای گرمایش و خنک سازی ایجاد می شود. هزینه سیستم های دیوار سبز نیز عامل مهمی است که باید در فرآیند انتخاب در نظر گرفته شود. سیستم دیوار زنده معمولاً در مقایسه با نمای سبز گران تر هستند. (Manso et al., 2015)

### ۴- تأثیر دیوار سبز بر بهره وری انرژی ساختمان

بهره وری انرژی دیوارهای سبز در توانایی آنها برای تأثیر گذاشتن بر انتقال گرما بین محیط داخلی و خارجی یک ساختمان، نهفته است. عوامل اصلی خارجی که بر انتقال حرارت از طریق نمای ساختمان تأثیر می گذارند عبارتند از تابش خورشیدی و حرارتی از جو و زمین، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد. دیوارهای سبز به همراه برخی اجزای دیگر مانند محیط کاشت یا سازه های پشتیبانی، تأثیر این عوامل اقلیمی را بر سطح دیوار خارجی کاهش می دهند. این کاهش منجر به کاهش انتقال حرارت از طریق نما و در نتیجه کاهش مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش می شود. لایه ای از گیاهان قسمتی از کل تابش وارده بر برگ ها را حائل می شوند، مقداری تابش را منعکس می کند و بقیه آن را به دیواره بیرونی پشت خود منتقل می کند. مقدار تابش منتقل شده از طریق گیاهان با تراکم برگ و ضخامت یک لایه گیاهی به طور تصاعدی کاهش می یابد. پوشش



گیاهی همچون با کاهش قابل توجه سرعت باد هنگام عبور از شاخ و برگ های متراکم، به طور موثری مانع از آن می شود. در شرایط کاهش حرکت هوا، لایه ای از هوای تقریباً ساکن در اطراف برگ ها و شاخه های گیاه به عنوان یک لایه اضافی از عایق حرارتی عمل می کند. مطالعه ای از دانشگاه پرینستون، که در آن آزمایش تونل باد برای مدل ساختمانی با ردیفی از درختان در جلوی دیوارهای بیرونی آن انجام شد، نشان داد که درختان و پرچین ها می توانند حتی در مسدود کردن باد مؤثرتر از موانع جامد باشند، زیرا ساختار متخلخل پوشش گیاهی به توزیع یکنواخت فشار باد بر روی نماها کمک می کند. دمای سطح نما در پشت یک لایه گیاهی کمتر از یک نمای بدون پوشش گیاهی است زیرا در معرض تابش کمتری قرار دارد. در نتیجه، مقاومت حرارتی کل مجموعه دیوار بیرونی افزایش می یابد زیرا تفاوت دما بین سطوح بیرونی و داخلی کمتر از یک نمای بدون پوشش گیاهی است. مقاومت حرارتی هوا در سطح نمای بیرونی نیز به دلیل کاهش حرکت هوا در نزدیکی سطح نما در پشت پوشش گیاهی افزایش می یابد. بنابراین یک لایه گیاهی در نمای ساختمان، دیوار بیرونی پشت آن را در برابر نور خورشید سایه می اندازد، آن را در برابر باد محافظت می کند و به طور کلی به عنوان یک لایه اضافی عایق حرارتی عمل می کند. سایر مواد مورد استفاده در سیستم های دیوار سبز نیز می توانند به بهبود عملکرد حرارتی نما کمک کنند، مانند محیط های کاشت آلی و معدنی که خواص عایق کاری حرارتی خوبی نیز دارند. (Susorova et al., 2013)

## ۵- مزایای دیوار سبز

### ۵-۱- عملکرد و هزینه های زیست محیطی

گیاهان می توانند از طریق دو مکانیسم، سایه مستقیم و تعرق تبخیر، مزایای خنک کنندگی را در شهر ارائه دهند. در دیوارهای سبز از گیاهانی استفاده شده است که باعث ایجاد سایه برای ساختمان می شود. این بسیار ساده است و به تراکم گیاهان در دیوارهای سبز بستگی دارد. در نتیجه، نه تنها ساختمان سایه دار می شود، بلکه محیط نیز دمای نسبتاً پایینی را تجربه خواهد کرد. کاهش دما نه تنها بر ساختمان، بلکه بر محیط شهری نیز تأثیر می گذارد. درختان می توانند کیفیت هوا را با فیلتر کردن ذرات معلق در هوا در برگ ها و شاخه های خود و همچنین با جذب آلاینده های گازی از طریق فتوسنتز بهبود بخشند (Loh, 2008). دیوار سبز در واقع یک تکنیک مالچ پاشی است زیرا سطح ضد آب ساختمان را با گیاهان و خاک یا بستر کاشت می پوشاند. دیوار سبز قادر به حفظ آب برای کنترل روان آب از پشت بام است. فضای سبز شهری و گیاهان اطراف ساختمان ها را می توان به عنوان یک زیستگاه جایگزین قابل قبول برای گیاهان شهری و حیات وحش بومی در نظر گرفت. حضور حیات وحش ممکن است کیفیت اکولوژیکی و سلامت محیط را بهبود بخشد و همچنین مزایای عاطفی، فکری، اجتماعی و فیزیکی بیشتری را برای انسان فراهم کند. (Johnston and Newton, 1996). گیاهان همچنین از طریق فتوسنتز منحصر به فرد خود، اکسیژن را به جو آزاد می کنند. این امر نه تنها باعث تولید اکسیژن، بلکه کاهش دی اکسید کربن نیز می شود. ریشه گیاهان همچنین در فیلتر کردن ناخالصی های موجود در آب قبل از ورود به سفره آب زیرزمینی نقش دارند. ناخالصی هایی مانند نیتروژن و فسفر با برخی از انواع خاک به یکدیگر پیوند می خورند. گیاهان می توانند مقدار این ناخالصی ها را در خاک با جذب نیتروژن و فسفر برای استفاده در رشد گیاه کاهش دهند (Johnston and Newton, 1996). گیاهان را می توان به عنوان مانع صوتی استفاده کرد زیرا می تواند نویز درک شده توسط گیرنده را کاهش دهد. در مورد دیوارهای سبز، گیاهان در دیوارهای سبز فرکانس های صدا را جذب می کنند. بنابراین، کاهش آلودگی صوتی در مناطق شهری را در پی دارد. (Sadeghian, 2016)

### ۵-۲- مزایای اقتصادی

مزایای زیست محیطی دیوارهای سبز ارتباط نزدیکی با مزایای اقتصادی که ارائه می دهند، دارد. با حفظ آب طوفان و رواناب از سقف ها، سطوح رویشی می تواند به کاهش نیاز به زیرساخت های گسترده زهکشی آب طوفان کمک کند. علاوه بر این، معرفی



گیاهان در اطراف ساختمان ها می تواند یکپارچگی ساخت و ساز را با کاهش تأثیر شرایط آب و هوایی افزایش دهد. دیوارهای سبز همچنین تنش اقلیمی را بر نماهای ساختمان کاهش می دهند و در نتیجه طول عمر سازه ها را افزایش می دهند و هزینه مصالح و رنگ آمیزی را کاهش می دهند. علاوه بر این، حضور پوشش گیاهی در شهرها منجر به صرفه جویی قابل توجهی در انرژی می شود. مطالعات نشان داده است که نیازهای سرمایشی در ساختمان ها می تواند تا حد زیادی به حداقل برسد. علاوه بر این، پوشش سبز به املاک ارزش می بخشد، زیرا جذابیت زیبایی شناختی مناطق شهری را بهبود می بخشد. پوشش گیاهی کنتراست بصری و حس رهایی از محیط شهری را فراهم می کند. (Sadeghian, 2016)

### ۵-۳- مزایای اجتماعی

گیاهان توانایی ایجاد فضایی برای اوقات فراغت، ورزش و تفریح ارائه می دهند. همچنین فرصت هایی برای تعامل اجتماعی، و فاصله گرفتن از زندگی شهری فراهم می کنند. لذت زیبایی شناختی را به ارمغان می آورند. مطالعات متعدد نشان داده است که تماس بصری و فیزیکی با گیاهان می تواند به طور مستقیم برای سلامتی فرد مفید باشد. گیاهان می توانند اثرات دارویی داشته باشند که استرس را کاهش می دهند، میزان بهبودی بیمار را بهبود می بخشد و مقاومت در برابر بیماری را افزایش می دهند. (Sadeghian, 2016)

### ۶- نتیجه گیری

امروزه با افزایش استفاده از منابع انرژی و همچنین افزایش آلودگی های محیطی، طراحی و بکارگیری روش هایی که منجر به جلوگیری از تخریب محیط زیست می شود، می تواند بسیار کمک کننده باشد. استفاده از سیستم دیوار سبز باعث تأثیرات مثبت بر روی لایه های شهری و ساختمانی و رفتن به سمت ساخت و ساز پایدار از طریق ایجاد معماری سازگار با محیط زیست می شود. دیوارهای سبز زمانیکه به عنوان یکی از اصلی ترین اجزای طراحی پوسته ساختمان در نظر گرفته شوند، می توانند به طور موثری سبب ارتقاء کارایی حرارتی ساختمان شوند که نتیجه آن مصرف کمتر انرژی و مصرف کمتر سوخت های فسیلی و کاهش تولید گازهای گلخانه ای و دی اکسید کربن خواهد بود. نگاه اصولی به سیستم های سبز عمودی و قرار گرفتن آنها در روند طراحی می تواند در طراحی بهتر نمای ساختمان و حتی سیستم تهویه مکانیکی ساختمان اثر گذار باشد. انتخاب مناسب پوشش گیاهی برای سیستم های سبز عمودی در طراحی، سبب کارایی بهتر این سیستم و کاهش هزینه های نگهداری می شود و همچنین تأثیر بسزایی در کاهش آلودگی هوا و در نتیجه افزایش کیفیت هوا خواهد داشت. استفاده از دیوار سبز، موجب بالا رفتن کارایی حرارتی ساختمان می شود که نتیجه آن مصرف کمتر انرژی و کاهش هزینه ها می شود. از نظر اجتماعی نیز این سیستم با تلفیق طبیعت و معماری موجب ارتقا زیبایی بصری و سلامت جسمی و روحی انسان می شود. همچنین باعث تعدیل پدیده جزیره گرمایی شهری و در نهایت بهبود کیفیت زندگی شهری می شود. همه ی این دستاوردها باعث نزدیک شدن به اهداف معماری پایدار می شود.



مراجع

1. J. Johnston, J. Newton. 2004. Greater London Authority. Building green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements. London: Greater London Authority;
2. J. Johnston and J. Newton. 1996. Building Green: A Guide for Using Plants on Roofs, Walls and Pavements. London: The London Ecology Unit. Doherty, N.F., Marples, C.G. and Suhaimib, A. (1999)
3. Manso, Maria. Castro-Gomes, João. 2015. Green wall systems: A review of their characteristics. Renewable and Sustainable Energy Reviews 41 (2015) 863–871
4. Sadeghian, Mohammad Mehdi. 2016. A Review on Green Wall. Classification and Function, IJSRST | Volume 2 | Issue 2 | Print ISSN: 2395-6011.
5. Sichello C. Plant Propagation and Display Panel and Assembly. WO 2010/ 031181 A1; 25 March 2010.
6. S. Loh. 2008. Living wall- a way to green the built environment, available/media/TEC26.pdf
7. Susorova, Irina. Bahrami, Payam. 2013. Facade-integrated vegetation as an environmental sustainable solution for energy-efficient buildings. <https://www.researchgate.net/publication/265593368>
8. Wood, A., Bahrami, P. & Safarik, D. (2014) Green Walls in High-Rise Buildings: An output of the CTBUH Sustainability Working Group. Council on Tall Buildings and Urban Habitat: Chicago.
9. Yap T, Wong L, Tan H, Lim H, Palanisamy T, Tan P, et al. A plant housing device. WO 2011/014124 A1; 2011.