

## تخمین میزان کاهش آلاینده‌های محیطی در پارکینگ طبقاتی بوعلی قزوین با به کارگیری دیوارهای سبز

مهندس امیرحسین جان زاده\*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۹/۰۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۵/۱۲

### چکیده

هم گام با توسعه شهر قزوین و به تبع آن افزایش روزافزون خودروها در سطح شهر نیاز به پارکینگ به‌ویژه در مناطق متراکم شهر بیش از گذشته احساس می‌شود. پارکینگ طبقاتی خیابان بوعلی قزوین نیز در همین راستا و در جهت بهره برداری اقتصادی از زمین و پاسخ به کمبود فضای پارکینگ در یکی از متراکم‌ترین مناطق شهری احداث شده است. در این پژوهش سعی بر تخمین میزان آلاینده‌های ناشی از سوخت خودروها در محیط این پارکینگ و تعیین میزان کاهش آنها توسط دیوار سبز بوده است. روش به کار گرفته شده بر پایه ترکیبی از روش‌های کتابخانه‌ای و روش‌های آمار و مدل سازی عددی است. نتایج نشان می‌دهد که هر  $1m^2$  دیوار سبز موجود بر جداره‌های باز پارکینگ به میزان  $757/7 \mu g$  از مجموع آلاینده‌ها در هر ثانیه و به میزان  $26/1\%$  از کل آلاینده‌های موجود می‌کاهد.

### واژه‌های کلیدی

خیابان بوعلی قزوین، پارکینگ طبقاتی، آلاینده‌ها، دیوار سبز.

Email: amirhosseinj1990@yahoo.com

\* دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره).

## مقدمه

این نتیجه دست یافتند که غلظت آلاینده‌هایی نظیر مونوکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن در خیابان‌هایی که در مجاورت پارکینگ‌های عمومی قرار دارند ۱/۲ برابر بیشتر از سایر مناطق پر ترافیک شهری است، که این میزان با تعداد و نوع وسایل نقلیه ارتباط مستقیم دارد.

در پژوهشی دیگر بارات<sup>۲</sup> (۱۹۸۵) با در نظر گرفتن نقاط مختلف پارکینگ به عنوان متغیر جهت تعیین میزان آلاینده‌ها، بر این عقیده است که غلظت آلاینده‌ها در پارکینگ‌های طبقاتی و در مناطقی که به صورت بسته طراحی شده‌اند در مواقع پر ترافیک به بیش از ۵۰۰ ppm<sup>۳</sup> می‌رسد که بسیار بیش از استانداردهای تعیین شده جهت این محیط‌ها می‌باشد و مشکلات تنفسی بسیاری را جهت کارکنان و استفاده کنندگان از فضا به وجود می‌آورد. نکته حائز اهمیت در رابطه با آلودگی هوا که ناشی از سوخت خودروها می‌باشد، این است که این آلاینده‌ها علاوه بر تخریب مصالح به کار رفته در ساختمان‌ها، از مهم‌ترین علل شیوع بیماری‌های تنفسی و مرگ‌های ناگهانی به شمار می‌رود (De Kok et al., 2006). در این رابطه می‌توان به پژوهشی که دپارتمان سلامت بریتانیا (۱۹۹۹) انجام داده اشاره کرد که در آن عنوان شده است که هر 10 mgm<sup>-3</sup> از ذرات آلاینده باعث افزایش ۰/۷۵٪ میزان مرگ و میر ناگهانی در رابطه با عوارض آلودگی هوا می‌گردد (Beckett et al., 2000). علاوه بر این ذرات ریز (۲/۵ μm) و بسیار ریز (۱ μm) که به طور مستقیم وارد جریان خون افراد می‌شوند، عموماً دارای منابع انسانی هستند که طبق بررسی‌های انجام گرفته سوخت خودروها بیشترین سهم را در تولید و پراکنده کردن آنها دارند (Powe & Willis, 2004).

با توجه به این مهم قرارگیری در محیط‌های بسته و آلوده به ذرات آلاینده میکرومتری نظیر آنچه که در پارکینگ طبقاتی خیابان بوعلی قزوین مشاهده می‌شود، سبب نفوذ این ذرات به ریه و جریان خون افرادی که در این محیط کار می‌کنند و یا از آن استفاده می‌کنند می‌شود که عواقب جبران ناپذیری را به لحاظ سلامت جسمی و روحی در پی خواهد داشت. این پژوهش در صدد یافتن راه کاری نو جهت کاهش آلودگی هوا ناشی از انتشار آلاینده‌های خروجی از موتور خودروها در محیط پارکینگ‌های طبقاتی می‌باشد و آن بهره‌گیری از سیستم‌های سبز عمودی بر جداره‌های این نوع پارکینگ‌ها می‌باشد. سیستم‌های سبز عمودی و یا دیوارهای سبز در دهه اخیر به عنوان یک پاسخ معمارانه در برابر معضلات شهری از قبیل آلودگی جوی، نامطلوب بودن سیمای جداره‌های شهری و افزایش پدیده جزایر گرمایی در آنها به شمار می‌رود. امروزه پوشش گیاهی به عنوان مصالحی نو در دسترس طراحان شهری و معماران قرار گرفته تا با استفاده از آن جهت پوسته ساختمان‌ها و جداره‌های شهری و ایجاد خرد اقلیم‌هایی در این نواحی، علاوه بر کمک به ارتقاء سیما و منظر شهری، بتوانند

همان گونه که اطلاعات آماری نشان می‌دهند، حمل و نقل یکی از مهم‌ترین عواملی است که بر کیفیت هوا و تغییرات اقلیمی در سرتاسر جهان تأثیر می‌گذارد. حمل و نقل جاده‌ای از طریق انتشار اکسیدهای نیتروژن، مونوکسید کربن، سرب، دوده‌ها و سایر ترکیبات آلی سبک، یکی از تأثیرگذارترین عوامل بر کیفیت هوا به شمار می‌رود. آلاینده‌های ناشی از مراکز صنعتی بیشتر در لایه‌های بالای اتمسفر یافت می‌شوند، در حالی که آلاینده‌های ناشی از سوخت خودروها در لایه‌هایی نزدیک به سطح زمین تجمع می‌کنند. به همین دلیل تأثیر مستقیمی بر سلامت انسان خواهند داشت (Baltrenas et al., 1998).

زندگی مدرن و به تبع آن افزایش روز افزون استفاده از خودروها سبب ظهور و پیدایش مکان‌های جدید شهری نظیر پارکینگ‌ها شده است. این نیاز امروزه با در نظر گرفتن پارکینگ در سطح زیرین ساختمان‌ها و هم‌چنین با احداث پارکینگ‌های عمومی در مناطق متراکم شهری به صورت زیر زمینی و طبقاتی پاسخ داده شده است. شهر قزوین نیز هم‌گام با سایر شهرهای در حال توسعه کشور با کمبود فضای لازم جهت پارک خودروها به ویژه در مناطق متراکم شهری روبه‌رو است. جهت پاسخ‌گویی به این مشکل مطابق با برنامه‌ریزی‌های انجام گرفته و با توجه به مسئله کمبود زمین در این مناطق، پارکینگ‌های طبقاتی به عنوان گزینه مناسب در نظر گرفته شده است. با توجه به این مطلب که پارکینگ‌های طبقاتی جهت اقتصادی کردن بهره‌برداری از زمین و هم‌چنین پاسخ به احتیاجات امروز زندگی شهری احداث می‌شوند، ولی وجود تعداد زیاد خودرو در یک محیط نسبتاً بسته که خود در یک منطقه پر ازدحام و متراکم شهری قرار گرفته، سبب بروز و تشدید آلودگی هوا در محیط این پارکینگ‌ها از طریق انتشار گازهای آلاینده ناشی از سوخت خودروها می‌شود.

پارکینگ خیابان بوعلی قزوین علاوه بر مواد ذکر شده در بالا، به دلیل قرار گرفتن در مجاورت خیابان بوعلی قزوین که تنها مسیر منتهی به رمپ ورود و خروج این پارکینگ بوده و از پرترافیک‌ترین خیابان‌های مرکزی شهر به شمار می‌رود، سبب ماندگاری بیشتر افراد در فضای آلوده پارکینگ در زمان‌های پر ازدحام است. از مطالعات انجام شده در مقیاس جهانی در رابطه با آلودگی پارکینگ‌ها و راه‌کارهای مقابله با آن می‌توان به مقاله دکتر مالکوم فوکس<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) اشاره نمود که در آن علل آلودگی در پارکینگ‌های طبقاتی را در سه عامل تهویه نامناسب، عدم مدیریت صحیح ورود و خروج و ضعف مدیریت در مواقعی که ترافیک شدید است، می‌داند. بالترناس و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۴) که تحقیقات گسترده‌ای را در رابطه با تأثیر پارکینگ‌های عمومی بر محیط اطراف در نواحی پر ازدحام شهر لندن به انجام رسانده‌اند، به

سطوح سبز بر جداره‌های شهری می‌تواند در تهویه مناسب و بهبود کیفیت هوا در محیط شهری مؤثر باشد.

### انواع دیوارهای سبز

به‌طور کلی دیوارهای سبز به دو گروه تقسیم می‌شوند. ۱) نمای سبز، ۲) دیوهای زنده. با توجه به این مهم که هر گروه دارای چندین زیر مجموعه می‌باشد، لذا با توجه به رویکرد این مقاله صرفاً به بررسی مختصر نماهای سبز و گونه‌ای از آنکه مطابق با اهداف این پژوهش و نیازهای اقلیمی و کالبدی پروژه توسط نگارنده طراحی شده است، پرداخته می‌شود.

### نمای سبز (سیستم داربست‌های مدولار)

در این سیستم از گیاهان بالاروند به همراه یک سیستم داربست مدولار جهت فراهم آوردن تکیه‌گاه و مسیری جهت حرکت این گیاهان استفاده می‌شود. جهت استفاده از این سیستم در ساختمان‌هایی با طبقات متعدد نظیر آنچه که در این پژوهش است، گیاه در یک بستر خاکی کاشته می‌شود. سپس این محیط کشت را که با استفاده از سازه حمایت‌کننده‌ای که به نمای ساختمان متصل می‌شود، در قسمت‌های مورد نیاز از جداره‌های ساختمان قرار می‌دهند (شکل ۱). پس از گذشت بازه زمانی بین ۳ تا ۶ ماه (بسته به شرایط محیطی و نوع گیاه)، نمای مورد نظر پوشیده از پوشش گیاهی می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که نمای طراحی شده در این پژوهش به عنوان یک نمای ساختمانی زنده در نظر گرفته می‌شود، لذا نیاز به مراقبت و نگهداری از آن حداقل به مدت یک سال از ملزومات این طرح می‌باشد.

دیوار سبزی که جهت این پژوهش در نظر گرفته شده است شامل یک سیستم آبیاری هوشمند می‌باشد که علاوه بر تغذیه گیاهان از طریق آبیاری قطره‌ای، با بازگشت آب مصرف شده توسط لوله‌های زهکش به سیستم آبیاری سبب صرفه جویی در مصرف آب نیز می‌شود (شکل ۲). به علاوه طراحی سازه این سیستم به گونه‌ای صورت گرفته است که در صورت نیاز می‌توان هر مدول را به سادگی تعویض و یا تعمیر نمود. اندازه هر مدول، مصالح به کار رفته و سازه در نظر گرفته شده همگی با توجه به نیازهای پروژه تعیین شده است.

### منطقه مورد مطالعه

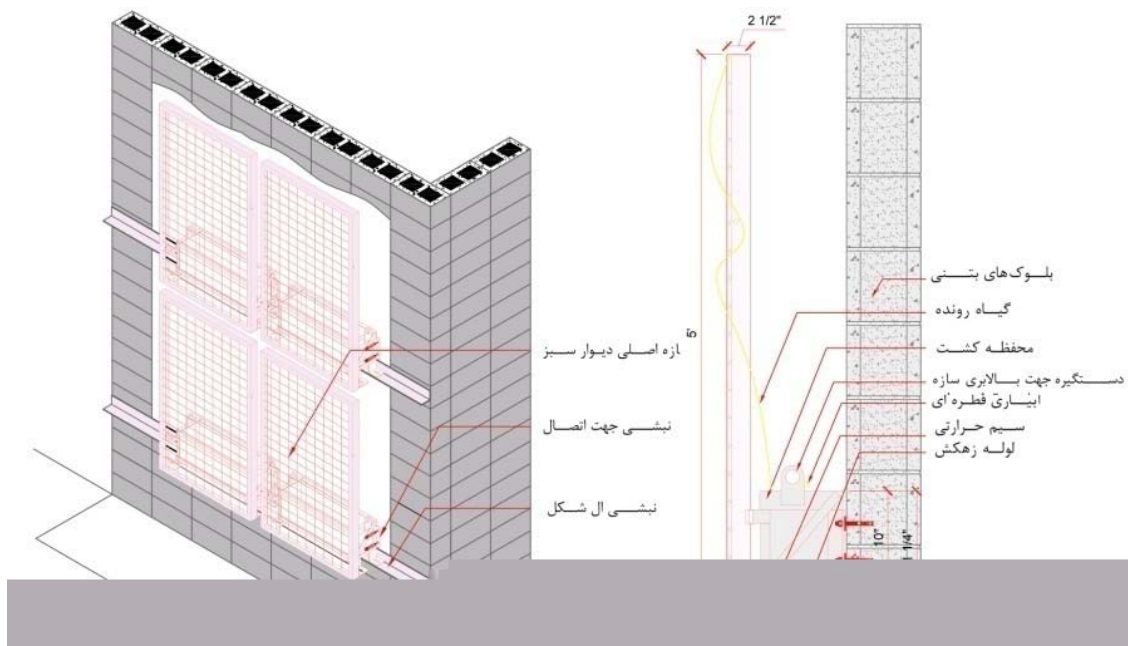
باتصویب شورای عالی معماری و شهرسازی، مجموعه شهری قزوین به عنوان ششمین مجموعه شهری بزرگ پس از مجموعه‌های تهران، تبریز، اصفهان، مشهد و شیراز می‌باشد. این مجموعه جمعیتی حدود ۸۰۰-۷۵۰ هزار نفر را در خودجای داده و وسعت آن ۱۴۲۳ km<sup>2</sup> است (طرح مجموعه شهری قزوین، ۱۳۹۲). قزوین به دلیل قرارگرفتن در گلوگاه

مشکلات زیست محیطی را نیز در محیط‌های شهری به نحو مطلوبی کاهش دهند. گیاهان در فرایند فتوسنتز از انرژی خورشیدی جهت تبدیل دی‌اکسید کربن به اکسیژن استفاده می‌کنند. به علاوه برگ گیاهان غبار و ذرات ریز آلاینده موجود در هوا را جمع می‌کند، رطوبت را در هوا پخش می‌کند و به ارتقاء کیفی هوای محیط کمک می‌کند (قلاتی و همکاران، ۱۳۸۹). مطالعات نشان می‌دهند که در صورت اجرای صحیح و بهره‌گیری مناسب از گیاهان در فضاهای بسته و نیمه باز می‌توان تا ۴۰٪ از انتشار NO و ۶۰٪ از انتشار PM جلوگیری نمود (Pugh et al., 2014).

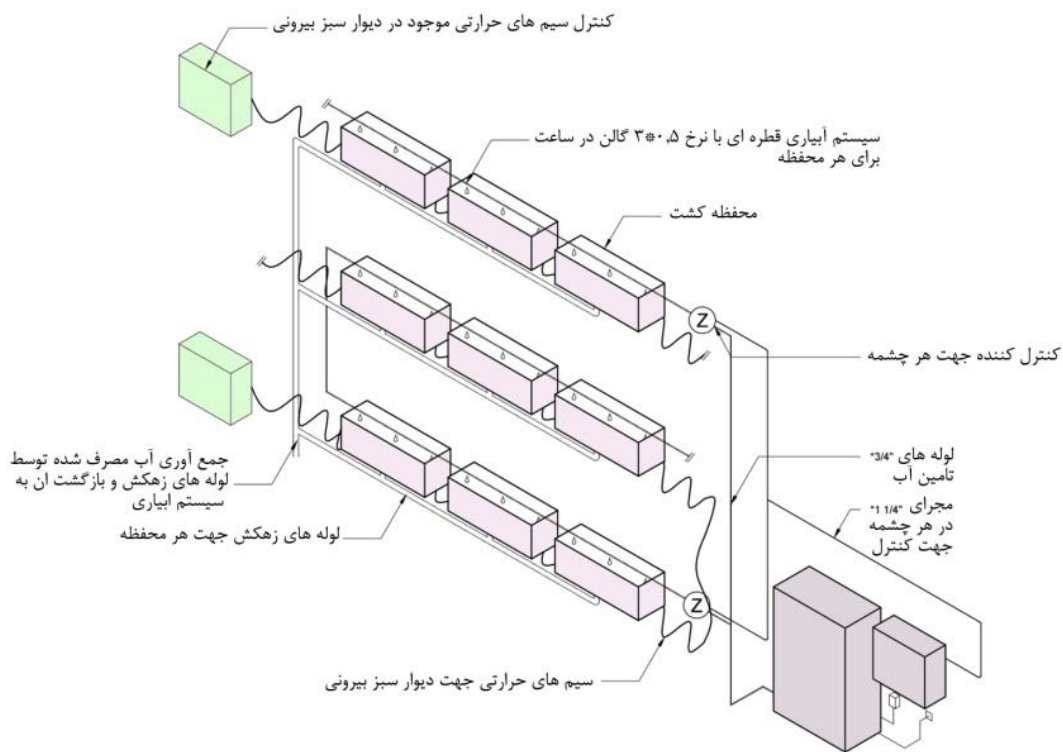
فریر اسمیت و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۵) دریافتند که شدت رسوب آلاینده‌ها بر گونه‌های مختلف درخت با توجه به اندازه آنها متفاوت است، به گونه‌ای که این میزان جهت آلاینده‌های بسیار ریز با اندازه‌های (۲/۵ μm) و (۱ μm) بسیار بالا است. این نتایج بیانگر این نکته است گیاهان در پاک‌سازی ذراتی که بیشترین پراکندگی را دارند بسیار مؤثر هستند. پوق و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش‌ها خود به این نکته دست یافتند در مناطقی که سرعت باد کم است و ساختمان‌های اطراف به صورت متراکم با عمق و ارتفاع زیاد در حاشیه خیابان قرار گرفته‌اند کاهش آلاینده‌های محیطی از طریق رسوب آنان بر گیاهان به طرز چشمگیری افزایش می‌یابد. با توجه به تحقیقات و بررسی‌های انجام گرفته و هم چنین موقعیت مکانی پارکینگ خیابان بوعلی قزوین که در یکی از پرازدحام‌ترین مناطق شهری قزوین قرار گرفته است، دیوار سبز را می‌توان گزینه‌ای مناسب جهت بهبود کیفیت هوا در محیط این پارکینگ دانست. این مقاله بر آن است تا با طراحی نوع خاصی از سیستم‌های سبز عمودی مطابق با نیازهای پروژه و اقلیم شهر قزوین، نقش دیوارهای سبز را در کاهش آلودگی هوا در پارکینگ طبقاتی خیابان بوعلی قزوین با استفاده از روش شبیه‌سازی آماری و مدل‌سازی عددی جهت آلاینده‌هایی چون منوکسید کربن، سرب و دوده‌های موجود در محیط مشخص کند.

### دیوارهای سبز

سیستم دیوارهای سبز را می‌توان به عنوان یک راهکار معمارانه در جهت بهره‌گیری مؤثر از قابلیت گیاهان در فضاهای شهری در نظر گرفت. فناوری دیوارهای سبز به لحاظ زیست محیطی، صرفه جویی در مصرف انرژی، اقتصاد، مباحث اجتماعی، روان‌شناسی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، پیش‌گیری از ایجاد جزایر گرمایی، بهبود کیفیت هوا و آب، فراهم نمودن زیستگاه برخی موجودات، ایجاد فرصت‌های شغلی و جنبه‌های زیبایی‌شناسانه و هنری دارای کاربردهای وسیع و مزایای قابل توجهی هستند (قیابکلو، ۱۳۹۲). ایجاد



شکل ۱. اجزای مختلف نمای سبز (سیستم داربست های مدولار).



شکل ۲. سیستم آبیاری



شکل ۳. محل قرارگیری پارکینگ طبقاتی بوعلی (Source: Google Earth, , March 2, 2015)

پارکینگ طبقاتی در این خیابان به منظور کاهش مشکلات شهروندان و هم چنین رفع کمبود فضا جهت پارک ماشین در نظر گرفته شده است. پارکینگ مذکور شامل یک مجتمع تجاری ۵ طبقه و ۷ طبقه پارکینگ در سطوح فوقانی است. این پارکینگ با زیر بنای ۳۸۹۲ مترمربع در هر طبقه گنجایش ۱۰۰۰ خودرو را دارد. با توجه به قرار گرفتن پارکینگ در یکی از متراکم‌ترین مناطق شهری، وجود ساختمان‌های به هم فشرده در اطراف آن و نیز نبود فضای سبز کافی، امکان تهویه و کاهش آلاینده‌های موجود در محیط به صورت طبیعی بسیار محدود است که با در نظر گرفتن طراحی بسته پارکینگ این موضوع محدودتر نیز می‌شود. (شکل ۴). با در نظر گرفتن سیستم‌های سبز عمودی جهت جداره‌های اطراف این پارکینگ سعی در کاهش آلاینده‌های تولید شده

ارتباطی استان‌های شمالی و غربی کشور، نزدیکی آن به پایتخت، دارا بودن چندین شهر صنعتی و نیز برخورداری از چندین دانشگاه از موقعیت خوبی برخوردار بوده و بمانند شهرهای کرج و تهران از شهرهای مهاجر پذیر است. این مطالعه بر روی یکی از پارکینگ‌های طبقاتی منطقه یک شهر قزوین انجام گرفته است، که به لحاظ موقعیت مکانی در ضلع شمالی خیابان بوعلی سینای قزوین و در محدوده چهارراه فردوسی و چهارراه خیام قرار گرفته است. در همجواری آن می‌توان بانک‌ها، مجتمع‌های اداری و تجاری و مناطق مسکونی را مشاهده نمود. (شکل ۳)

خیابان بوعلی در مرکزیت شهر قرار گرفته که به لحاظ تراکم جمعیتی و ترافیکی در زمره پرازدحام ترین مناطق شهری جای دارد. احداث



شکل ۴. طراحی بسته و متراکم در جداره‌های پارکینگ

غلظت دوده‌های موجود در محیط پارکینگ، از روش و مدل محاسباتی "smoke shade" <sup>۲</sup> بهره گرفته شده است.

### ۱۱) محاسبه میزان کاهش آلاینده‌ها توسط دیوار سبز

در این پژوهش از مدل «مقاومت برگ بزرگ» استفاده شده تا میزان رسوب خشک آلاینده‌های هوا بر سطح برگ‌های گیاهان اندازه‌گیری شود. ساختار این مدل و نحوه اعمال متغیرها در زیر توضیح داده شده است. پاکسازی ذرات آلاینده موجود در هوا در یک مکان مشخص و در زمان مشخص از طریق زیر به دست می‌آید (Nowak et al., 1998):

$$Q = F \cdot L \cdot T$$

رابطه ۱. میزان پاکسازی آلاینده‌های هوا در یک مکان و زمان مشخص

در اینجا  $Q$  میزان پاک‌سازی یک آلاینده خاص در هوا در یک مکان و زمان مشخص است ( $gf$ )،  $F$  برابر میزان رسوب آلاینده است ( $gm^2s^{-1}$ )،  $L$  سطح کلی فضای سبز ( $m^2$ ) و  $T$  دوره زمانی است ( $S$ ). جهت تعیین میزان رسوب آلاینده‌ها (pollutantflux) در این رابطه می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد. (Ibid):

$$F = V_a \cdot C \cdot 10^{-8}$$

رابطه ۲. میزان رسوب آلاینده‌ها بر سطح برگ

در اینجا  $V_a$  برابر شدت رسوب خشک آلاینده‌ها بر حسب ( $cms^{-1}$ ) می‌باشد و  $C$  غلظت آلاینده مورد نظر در محیط بر حسب ( $\mu^{-3}$ ) gm می‌باشد. فرایند رسوب خشک را می‌توان از طریق رابطه زیر به دست آورد. (Balducchi et al., 1987)

$$Vd = 1 / R_a + R_b + R_c$$

رابطه ۳. شدت رسوب خشک آلاینده‌ها

در این رابطه  $R_a$  برابر مقاومت اثرودینامیک برگ،  $R_b$  برابر مقاومت لایه‌های برگ و  $R_c$  مقاومت سطح پرز دار برگ می‌باشد.

### ۱۱) یافته‌ها

نتایج به‌دست آمده در رابطه با غلظت آلاینده‌ها در درون پارکینگ طبقاتی که با استفاده از آنالیزهای الکتروشیمیایی و فیلترهای آلی جهت آلاینده‌هایی چون منوکسید کربن، سرب و دوده‌های خروجی ناشی از سوخت خودروها با استفاده از مدل مشابهی که در پژوهش بارات (۱۹۸۵) انجام گرفته در جدول شماره ۱ و ۲ آورده شده است. در یک نگاه کلی با توجه به این مطلب که غلظت آلاینده‌ها در شرایط مختلف زمانی و آب و هوایی به‌طور مداوم در حال تغییر است،

توسط خودروها طی فرایند جذب و رسوب آلاینده‌ها بر سطح برگ‌های گیاهان شده است. علاوه بر این دیوار سبز با فیلتر کردن آلاینده‌ها سبب جلوگیری از گسترش آن به فضای بیرون می‌شود.

### ۱۱) روش پژوهش

روش مطالعه بر پایه استفاده از ابزار کتابخانه‌ای و روش‌های آمار و مدل‌سازی عددی است. به این ترتیب که در درجه اول و با توجه به عدم دسترسی به امکانات کافی نظیر لوله‌های مکند و آنالیزوهای الکتروشیمیایی به جهت اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها در سطح پژوهش‌های دانشجویی، با شبیه‌سازی شرایط محیطی و کالبدی پارکینگ طبقاتی بوعلی قزوین با یکی از پارکینگ‌های طبقاتی شهر بیرمنگام در کشور انگلستان، سعی در تعیین میزان آلاینده‌ها در محیط این پارکینگ طبقاتی شده است. بنابراین با بهره‌گیری از یافته‌های یک پژوهش علمی که توسط بارات (۱۹۸۵) در دانشگاه آستن بیرمنگام در رابطه با میزان آلاینده‌های موجود در پارکینگ‌های طبقاتی انجام گرفته است و با توجه به مشابهت‌های محیطی و کالبدی آن با داده‌ها و شرایط محیطی و جغرافیایی سایت مورد نظر، میزان آلاینده‌های موجود در هوای پارکینگ تعیین شده اند. سپس با استفاده از مدل «مقاومت برگ بزرگ» میزان جذب این آلاینده‌ها توسط دیوار سبز محاسبه شده است.

### ۱۱) شبیه سازی پارکینگ طبقاتی

پارکینگ طبقاتی که جهت شبیه سازی در این پژوهش از آن بهره گرفته شده است، یک پارکینگ ۷ طبقه می‌باشد که در طبقات همکف تا دوم آن واحدهای تجاری قرار گرفته اند. ورودی و خروجی سواره آن در یک تراز ارتفاعی قرار گرفته اند. خیابان مجاور پارکینگ یکی از متراکم‌ترین خیابان‌های شهر بیرمنگام به شمار می‌رود که در منطقه مرکزی شهر قرار گرفته است. طراحی بسته پارکینگ و قرارگیری آن در یک بافت متراکم و پرازدحام سبب تولید آلاینده‌های ناشی از سوخت خودروها به میزان بیش از حد مجاز گشته است. در پژوهش بارات (۱۹۸۵) به جهت اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها در محیط پارکینگ از آنالیزهای الکتروشیمیایی بهره گرفته شده است. به این صورت که هوای نمونه‌گیری شده از محیط پارکینگ در زمان‌های معین به درون لوله‌های PVC توسط پمپ‌های الکترونیکی دمیده می‌شوند و توسط تجزیه و تحلیل غیرپراکنده مادون قرمز غلظت آلاینده منوکسید کربن در واحد ppm به نمایش در خواهد آمد. میزان سرب نیز که با قرارگرفتن فیلتر غشایی آلی در محل جمع‌آوری شده به روش طیف سنجی جذب اتمی مشخص می‌شود. به علاوه جهت سنجش

مواد سمی منتشر شده ناشی از سوخت خودروها نه تنها سبب آلودگی محیط پارکینگ می‌شوند، بلکه محیط بزرگ‌تری را که در مجاورت آن قرار دارند نیز آلوده می‌کنند (Baltrenas et al., 1998).

در این پژوهش سعی در بهره‌گیری از سیستم‌های سبز عمودی و خواص آن در جهت کاهش آلاینده‌های تولید شده ناشی از سوخت خودروها می‌باشد. با در نظر گرفتن شرایط گوناگون و همچنین اقلیم شهر قزوین، گیاهی که جهت دیوار سبز در نظر گرفته شده است، گیاه عشقه<sup>۱</sup> می‌باشد. لازم به ذکر است گیاهان دیگری نظیر موچسب<sup>۱</sup>، کلماتیس<sup>۱۲</sup> و پیچ امین الدوله<sup>۱۳</sup> هم از گزینه‌های قابل استفاده در این سیستم می‌باشند، ولی در این مقاله گیاه عشقه با توجه به پژوهش‌های گوناگون، وجود نمونه‌های موفق پرورش این گیاه در سطح شهر و هم چنین مقاومت بالای آن به عنوان گزینه ای مناسب در نظر گرفته شده است. این گیاه به صورت گسترده بر روی سطوح گسترش می‌یابد و به همین جهت و با توجه به نقش زیست محافظتی آن مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین گزینه به جهت اهداف در نظر گرفته شده برای این پژوهش می‌باشد. به علاوه این گیاه به میزان ۸ برابر سوزنی برگان توانایی تولید اکسیژن را داراست و با تحمل تغییرات گسترده دمایی (C<sup>o</sup> ۴۰-۱۸-) توانایی رشد و ماندگاری در شرایط مختلف اقلیمی را دارد (میرزایی و بابالو، ۱۳۸۷). استرنبرگ و همکاران<sup>۱۴</sup> (۲۰۱۰) در پژوهش‌های خود در رابطه با گیاه عشقه و تأثیر آن بر آلودگی‌های جوی به این نتیجه دست یافتند که گیاه عشقه به عنوان یک فیلتر جهت رسوب آلاینده‌ها خصوصاً در نواحی پرترافیک شهری عمل می‌کند و این ویژگی در رابطه با ذرات آلاینده (۲/۵ μm) و (۱ μm) بسیار مؤثرتر اتفاق می‌افتد. با در نظر گرفتن طراحی پارکینگ محدوده ای را که می‌توان جهت اجرای دیوار سبز با توجه به امکان حرکت هوا بین داخل و خارج محیط پارکینگ در نظر گرفت، مساحتی بالغ بر ۲۶۱۶ متر مربع می‌باشد. (شکل ۴)

لازم به ذکر است که امکان اجرا و پیاده سازی دیوار سبز بر کلیه سطوح پارکینگ طبقاتی خیابان بوعلی قزوین مقدور می‌باشد، ولی در اینجا به لحاظ در نظر گرفتن نقش فعال دیوار زنده در کاهش آلاینده‌های موجود در هوا و امکان افزایش جذب آلاینده‌ها و هم چنین تولید اکسیژن، صرفاً جداره‌هایی که به صورت باز طراحی شده اند در محاسبات در نظر گرفته شده‌اند. جهت دستیابی به شدت رسوب در گیاه عشقه از پژوهشی که توسط جوشی<sup>۱۵</sup> (۲۰۱۴) انجام گرفته و در مجله زیست‌شناسی نظری کشور آمریکا به چاپ رسیده، استفاده شده است. با توجه به پژوهش فوق میزان  $V_h$  در رابطه فرایند رسوب خشک جهت گیاه عشقه را می‌توان  $1.53 \text{ mms}^{-1}$  در نظر گرفت. این میزان با در نظر گرفتن مقاوت‌های سطحی و لایه ای برگ‌های این گیاه به دست آمده. با توجه به مطالب فوق نتایج مربوط به محاسبات کاهش

جدول ۱. میانگین غلظت منوکسید کربن در طول ساعات کاری طی دو ماه نوامبر و دسامبر. (Source: Barat, 1985)

زمان	غلظت آلاینده ppm	
	کمترین	بیشترین
۰۹:۰۰-۱۰:۰۰	۱۰	۱۰۰
۱۱:۰۰-۱۲:۰۰	۱۰۰	۳۴۰
۱۲:۰۰-۱۳:۰۰	۲۲۰	۳۴۰
۱۳:۰۰-۱۴:۰۰	۳۰۰	۴۵۰
۱۴:۰۰-۱۵:۰۰	۲۷۰	۴۵۰
۱۵:۰۰-۱۶:۰۰	۳۰۰	۴۵۰
۱۶:۰۰-۱۷:۰۰	۲۰۰	۴۳۰
۱۷:۰۰-۱۸:۰۰	۳۰۰	۴۵۰
۱۸:۰۰-۱۹:۰۰	۵۰۰	بالاتر از ۵۰۰
	۵۰۰	بالاتر از ۵۰۰

جدول ۲. میزان سرب و مجموع دوده‌های خروجی از خودروها به روش (smoke shade. Source: Barat, 1985)

آلاینده	غلظت <sup>۱</sup> $\mu\text{gm}^{-3}$
دوده	۲۱۷۲
سرب	۸۴/۱

غلظت‌های اندازه‌گیری شده که در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده اند، میانگین مقدار آلاینده‌ها در دو ماه نوامبر و دسامبر که تلاطم‌های جوی اغلب سبب کاهش آلاینده‌ها و گاه ست وارونگی هوا می‌شوند، می‌باشد. این اندازه‌گیری‌ها در هر هفته دو بار انجام گرفته است و با توجه به محدودیت دستگاه‌های اندازه‌گیری و مکان قرارگیری آنها مقادیر به‌دست آمده تنها یک سوم میزان آلاینده‌های موجود در پارکینگ را شامل می‌شود (Barat, 1985).

نکته قابل توجه در رابطه با غلظت آلاینده منوکسید کربن این است که مقدار آن از ساعت ۱۰ صبح به بعد در حاشیه رمپ‌ها و مکان‌هایی که نمونه‌گیری‌ها در آن انجام گرفته شده بود، هرگز به زیر  $200 \text{ ppm}$  نرسیده است و در ساعاتی که به ساعات اوج ترافیک نزدیک می‌شود میزان آن به بیش از  $500 \text{ ppm}$  می‌رسد که بسیار بیش از مقادیر مجاز<sup>۱</sup>  $OEL$  می‌باشد که در آن سطح مجاز آلاینده‌ها در عرشه پارکینگ  $50 \text{ ppm}$  قید شده و این مقدار را در روزهای شلوغ و پرترافیک تا مرز  $100 \text{ ppm}$  مناسب می‌داند.

جدول ۳. میزان کاهش آلاینده‌ها توسط سیستم سبز عمودی عمودی بر جداره‌های پارکینگ در مدت زمان ۱۰ ساعت.

آلاینده	ساعت	میزان کاهش (GI)
دوده	۱۰	۳۱۳
سرب	۱۰	۱۲,۳
منوکسید کربن <sup>۶</sup>	۱۰	۷۱۰۳۶,۱
مجموع آلاینده‌ها	۱۰	۷۱۳۶۱,۰۸

محیط‌های شهری به‌عنوان یک امکان به‌نسبت جدید و نوظهور هم در عرصه اجرایی و هم در عرصه مطالعاتی به‌شمار می‌رود. با توجه به داده‌های به دست آمده و با محاسبات انجام گرفته این مطلب آشکار می‌شود که با به‌کارگیری هر  $1 m^2$  دیوار سبز بر جداره‌های پارکینگ خیابان بوعلی قزوین به میزان  $757,7 \mu g$  از مجموع آلاینده‌ها در هر ثانیه کاسته می‌شود و از خسارت‌های ناشی از انتشار آلاینده‌های خروجی از خودروها به میزان قابل توجهی کاسته می‌شود. به بیان دیگر اگر غلظت آلاینده منوکسید کربن را در ساعت شلوغی به میزان  $500 ppm$  در نظر گرفته‌شود دیوار سبز موجود در جداره‌های پارکینگ با توجه به محاسبات انجام گرفته به میزان  $22/6\%$  از میزان آن می‌کاهد که این مقدار در کل آلاینده‌ها با توجه به غلبه منوکسید کربن و در نظر داشتن ارتفاع مؤثر به میزان  $26/1\%$  می‌باشد. لازم به ذکر است که در این پژوهش تمامی جداره‌ها جهت به‌کارگیری دیوار سبز استفاده نشده‌است و فقط جداره‌هایی که در شکل ۳ نشان داده شده‌اند جهت این منظور استفاده شده‌است. با در نظر گرفتن این مطلب می‌توان با افزایش سطوح جهت دیوار سبز و طراحی به‌مراتب بازتر پارکینگ شاهد افزایش رسوب آلاینده‌ها و بهبود هر چه بیشتر کیفیت هوا بود. نتایج این پژوهش می‌تواند به منظور تخمین این مطلب که افزایش سیستم‌های سبز عمودی به‌عنوان یک راهکار معماری در محیط‌های متراکم شهری خصوصا در محیط‌های بسته و آلوده نظیر پارکینگ‌های طبقاتی چه اثراتی را بر کیفیت هوا خواهد داشت، مورد استفاده قرار گیرد. ذکر این نکته نیز ضروری است که دیوارهای سبز علاوه بر کاهش ذرات آلاینده سبب افزایش زیبایی بصری در سیما و منظر شهری، کاهش دما، صرفه جویی در مصرف انرژی و همچنین تنوع زیستی می‌شود. اکبری و همکاران (۲۰۰۱) طی محاسباتی که در رابطه با کاهش دما در طول روز انجام داده، نشان داده است که کاهش دما توسط گیاهان سبب کاهش نیاز به تهویه هوا و هم چنین کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن در هوا می‌شود. وی در پژوهش‌های خود به این نکته دست یافت که بهره‌گیری از پوشش گیاهی به‌عنوان یک مصالح نوین در مجاورت ساختمان‌ها سبب می‌شود تا دمای محیط آن تا  $3^{\circ}C$  کاهش یابد. علاوه بر این بسیاری از گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه  $CO_2$  طی فرایند جذب کربن توسط برگ‌های گیاهان جذب و یا بر سطح آنها رسوب می‌کنند، که این امر کمک بسیاری به جلوگیری از گرم شدن زمین و اثرات مخرب این گازها بر لایه ازن می‌شود (McPherson et al., 1998). توکلی و ماجدی (۱۳۸۸) نیز در پژوهش خود به این نکته دست یافتند که فضاهای سبز شهری می‌تواند عملکردهای اجتماعی و غیر مادی بسیاری داشته و نیازهای روان‌شناسانه شهروندان را به نحو مطلوبی برآورده کند. آنان با اشاره به تأثیر عوامل مختلف محیطی بر رفتار فرد، ارتقاء کیفی محیط شهری با بهره‌گیری از رابطه انسان و طبیعت را

آلاینده‌ها در جدول ۳ آمده است. این محاسبات یک بار جهت هر آلاینده و بار دیگر با توجه به مجموع آلاینده‌ها در محیط انجام شده است. با توجه به جدول بالا، مشاهده می‌شود که دیوار سبز به‌عنوان یک راهکار معمارانه سهم قابل توجهی در جذب گازهای آلاینده به نسبت انتشار آنها دارد. البته باید توجه داشت که میزان جذب و میزان انتشار آلاینده رابطه مستقیمی با یکدیگر دارند که در اینجا به دلیل سهم بالای انتشار منوکسید کربن میزان رسوب خشک آن نیز به مراتب از دیگر گازهای آلاینده بیشتر است. لازم به ذکر است که به دلیل نبود امکانات جهت اندازه‌گیری سایر آلاینده‌ها در محیط پارکینگ نظیر اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید کربن و هم‌چنین ذرات معلق در این پژوهش به ناچار به مقادیر ارائه شده در مقاله بارات و همکاران استناد شده است. میزان کاهش ذرات آلاینده توسط گیاهان در این جدول به دلیل خاصیت پایداری آلاینده‌ها در جو حتی پس از توقف انتشار آنها در طول یک دوره ۱۰ ساعته (ساعات کاری اصلی) مورد بررسی قرار گرفته است. به علاوه میزان غلظت آلاینده منوکسید کربن توجه به میانگین غلظت آن در ۱۰ ساعت در نظر گرفته شده است.

## بمب

قوانینی که در زمینه ساخت و بهره‌برداری از پارکینگ‌های طبقاتی وجود دارند بیشتر معطوف به استانداردهای سازه‌ای و حفظ آنها در مقابل خطرات ناشی از آتش‌سوزی می‌باشد و توجهی به مسائل مرتبط با آلودگی هوا ندارد. با این حال به‌خوبی مشهود است که گیاهان به خصوص در مناطق متراکم و آلوده شهری با جذب کربن و سایر گازهای آلاینده و کم کردن فشار گرمای ایجاد شده توسط خودروها نقش بسیار مؤثری بر کاهش آلاینده‌های شهری و تعدیل دما و در بیان کلی‌تر بر بهبود کیفیت هوا و سلامت مردم شهر دارند (Nowak et al., 1998). با این حال توجه به سهم و نقش گیاهان بر کاهش ذرات آلاینده در



نموده و همچنین منافع بسیاری به جهت زیست‌محیطی و زیبایی بصری بر جداره‌های شهری فراهم آورد. بنابراین نیاز به راهکارهای خلاقانه و کاربردی نظیر آنچه در این مقاله با عنوان سیستم‌های سبز عمودی مورد بررسی قرار گرفت، در فضاهای مختلف شهری به‌ویژه در فضاهای بسته با کاربری‌های خاص، نظیر پارکینگ‌های طبقاتی که در این پژوهش به آن پرداخته‌شد، بسیار جدی‌تر رخ می‌نمایند تا علاوه بر ارتقاء کیفی وضعیت جوی در شهرهای در حال توسعه کشور، بتوان از آن در جهت بهبود سیمای بصری جداره‌های شهری و افزایش ارزش ساختمان‌های شهری بهره برد. علاوه بر آن نتایج این پژوهش که نشان دهنده کاهش ۲۶/۱٪ آلاینده‌ها با به کارگیری نقش فعال دیوار سبز تنها بر یک سوم جداره‌های پارکینگ بوعلی قزوین می‌باشد، بیانگر نقش مهم این راهکار در کاهش یکی از جدی‌ترین آسیب‌های امروز کشور ما، یعنی آلودگی هوا می‌باشد. در این میان و با توجه به نتایج این پژوهش بهره‌گیری از گیاهان و نقش زیست-محافظتی آنان که در قالب دیوارهای سبز به عنوان مصالحی نوین در اختیار معماران و طراحان شهری قرار گرفته است، می‌تواند به‌عنوان یک راه کار مناسب در راستای کاهش معضلات زیست‌محیطی و بصری که امروزه به‌طور فزاینده‌ای در شهرهای در حال توسعه و کلان‌شهرهای کشور مشاهده می‌گردد، در نظر گرفته شود. امید است با انجام پژوهش‌های گسترده‌تری در این زمینه گام‌های مهمی در جهت بهبود کیفیت زیستی کشور برداشته شود.

#### ۱-۱ پی‌نوشت‌ها

1. Dr Malcolm Fox
2. Baltrenas et al.
3. Barat
4. parts per million
5. Freer-smith et al.
6. Big-leaf resistance model.
۷. روش "smoke shade" یک روش استاندارد است که در آن با به کارگیری از فیلترهای کاغذی در محیط و میزان تیرگی نقطه‌های ایجاد شده بر آن، غلظت دوده‌های موجود را تعیین می‌کنند.
۸. غلظت‌های ارائه شده میانگین غلظت ۱۰ ساعته (۰۹:۰۰-۱۷:۰۰) آلاینده‌ها در محیط است. زمان ۱۰ ساعته مطابق با استاندارد TWAS برابر یک روز کاری در نظر گرفته شده است. البته این میزان با توجه به وضعیت رفت و آمد ماشین‌ها در ساعات اوج استفاده از پارکینگ در ایران منطبق گشته است.
9. Occupational Exposure Limits (OELs).
10. Hedra helix
11. Creeper plant

گام مؤثری در جهت تأمین نیازهای حسی و کالبدی افراد در فضاهای شهری می‌دانند. با توجه به این مهم می‌توان از دیوارهای سبز به‌عنوان راهکاری جهت بهبود رابطه انسان و طبیعت در فضاهای متراکم شهری نیز بهره برد. در ادامه ذکر این نکته ضروری است که اگرچه فضای سبز شهری و همچنین درختانی که در حاشیه خیابان‌ها شهری قرار گرفته‌اند توانایی جذب و پاکسازی آلاینده‌های موجود در هوا را دارند، اما این پاکسازی فقط در سطوح پایینی اتفاق می‌افتد و در سطوح بالاتر که مکان اصلی تجمع ریزگردها و آلاینده‌های میکرومتری و نفوذ آنها به داخل ساختمان‌ها می‌باشد تأثیری ندارد. لذا راهکار ارائه شده در این پژوهش که مبتنی بر بهره‌گیری از نوع خاصی از سیستم‌های سبز عمودی می‌باشد، علاوه بر اجرای آسان و صرفه اقتصادی بالا، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش میزان آلاینده‌ها در سطوح بالاتر که مکان اصلی نفوذ آلاینده به ساختمان‌ها و محل زندگی افراد است، ایفا کند. بنابراین لزوم توجه بیشتر به سیستم‌های سبز عمودی به‌عنوان راهکاری جهت پاکسازی و بهبود کیفیت هوا در محیط‌های شهری بیش از پیش آشکار می‌شود (Currie & Bass, 2008).

#### ۱-۲ نتیجه‌گیری

در دهه اخیر غلظت آلاینده‌ها در بسیاری از شهرهای در حال توسعه کشور نظیر قزوین به‌دلیل افزایش میزان انتشار گازهای آلاینده توسط خودروها، به بیش از حد استاندارد بهداشت عمومی رسیده است، که این مسئله منجر به افزایش مرگ و میر ناگهانی و عوارض ناشی از آلودگی هوا در این شهرها گشته است. امروزه به‌دلیل ارزش افزوده بالای زمین و گسترش آپارتمان‌نشینی هر روز کاهش میزان فضای سبز در محیط‌های شهری، به‌ویژه در مناطق پرتراکم آن مشاهده می‌شود. با توجه به نقش مؤثر گیاهان در کاهش آلاینده‌های شهری و عطف به این موضوع که فضاهای سبز شهری و درختان موجود در حاشیه خیابان‌ها و پارک‌ها توانایی جذب آلاینده‌ها را صرفاً در سطوح پایینی و نزدیک به سطح زمین دارند، لذا امکان ایجاد پوشش گیاهی در سطوح بالاتر نظیر طرحی که در این پژوهش جهت پروژه پارکینگ طبقاتی خیابان بوعلی قزوین در نظر گرفته شد، می‌تواند با توجه به رشد عمودی شهرها، نقش بسیار مؤثری را در کاهش ریزگردها و آلاینده‌های میکرومتری که حداکثر غلظت را در ترازهای بالاتر از سطح زمین و در مجاورت بازشوهای ساختمانی دارند، ایفا کند. در این میان بهره‌گیری از آنچه که در این پژوهش به‌عنوان یک راه کار معمارانه و در قالب نوع خاصی از دیوارهای سبز مطرح گشت، علاوه بر آنکه از جهات بسیاری مقرون به صرفه می‌باشد، می‌تواند به‌عنوان مصالحی نو در عرصه معماری از نفوذ آلاینده‌ها به فضای زیستی افراد جلوگیری

Pollution Mitigation with Green Plants and Green Roofs Using the UFORE Model. *Urban Ecosystem*, 11, 409–422.

13. De Kok, T., Driecce, H., Hogervost, J., & Briede, J. (2006). Toxicological Assessment of Ambient and Traffic-Related Particulate Matter. *A Review of Recent Studies*, *Mutat Res*, 613, 103–22.

14. Fox, M. (2006). Air Pollution in Multi-Story Car Parks. *Property Management*, 6(1), 35–39.

15. Freer-Smith, PH., Beckett, KP., & Taylor, G. (2005). Deposition Velocities to *Sorbus Aria*, *Acer Compestre*, *Populus Deltoids* x *Trichocarpa* 'Beaupre', *Pinus Nigra* and *Cupressocypripus Leylandii* for Coarse Fine and Ultra-Fine Particulate in Urban Environment. *Environmental Pollution*, 133, 157-167.

16. Google earth pro V 7.1.2.2041. (10/10/ 2014). Qazvin, Iran. 36° 16' 27.14"N, 50° 00' 28.73"E, Eye alt 4288 feet. <http://www.earth.google.com> [Mars 2, 2015].

17. Joshi, S.V. (2014). On the Air Cleansing Efficiency of an Extended Green Wall: A CFD Analysis of Mechanistic Details of Transport Processes. *Journal of Theoretical Biology*, 361, 101-110.

18. McPherson, E. G., Scott, K. I., Simpson, J. R. (1998). Estimating Cost Effectiveness of Residential Yard Trees for Improving Air Quality in Sacramento. California, Using Existing Models. *Atmos Environ*, 32(1), 75–84.

19. Nowak, D. J., McHale, P. J., Ibarra, M., Crane, D., Stevens, J. C., & Luley, C. (1998). Modeling the Effects of Urban Vegetation on Air Pollution. *Air Pollution Modeling and Its Application XII*, 22, 399-407.

20. Powe, N., & Willis, K. (2004). Mortality and Morbidity Benefits of Air Pollution (SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>). *Absorption Attributable to Woodland in Britain*, 70, 119–28.

21. Pugh, T., MacKenzie, R., Whyatt, D., Hewitt, N. (2014). Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. *Environmental Science and Technology*, 46, 7692-7699.

22. Sternberg, T., Viles, H., Cathersides, A., & Edwards, M. (2010). Dust Particulate Absorption by Ivy (*Hedera Helix*) On Historic Walls in Urban Environments. *Science of the Total Environment*, 409, 162–168.

12. Clematis patents

13. *Lonicera caprifolium*

14. Sternberg et al.

15. Joshi

۱۶. مقدار منوکسید کربن 400 ppm در نظر گرفته شده است.

### فهرست مراجع

۱. توکلی، نیکی؛ و ماجدی، حمید. (۱۳۸۸). عملکرد محیط‌های سبز و طبیعی در ارتقاء سلامت روحی-روانی انسان. *نشریه هویت شهر*، ۷(۱۳)، ۳۳-۲۳.

۲. طرح مجموعه شهری قزوین. (۱۳۹۲). مصوبه شورای عالی شهرسازی و معماری/ایران در خصوص طرح مجموعه شهری قزوین، مجلس شورای اسلامی. بازبایی ۱۹ فروردین ۱۳۹۲، از <http://www.rooznamehrasmi.ir>.

۳. قیابکلو، زهرا. (۱۳۸۹). دیوار سبز گزینه ای جهت کاهش مصرف انرژی، مجموعه مقالات بهینه سازی مصرف انرژی. مرداد ۳-۲، (ص ۱۱۳۲-۱۱۲۰). تهران: موسسه همایش صنعت.

۴. کشتکار قلاتی، احمدرضا؛ و انصاری، مجتبی؛ و نازی دیزجی، سجاد. (۱۳۸۹). توسعه سامانه بام سبز بر اساس معیارهای توسعه پایدار در ایران. *نشریه هویت شهر*، ۴(۶)، ۲۸-۱۵.

۵. میرزایی، معصومه؛ و بابالو، فاطمه. (۱۳۸۷). بررسی ساختار تشریحی عشقهو تاثیر آلودگی هوا بر آن. *مجله زیست شناسی تکوینی*، ۱(۱)، ۴۷-۴۱.

6. Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Use and Improve Air Quality in Urban Areas. *Sol Energy*, 70(3), 295–310.

7. Baldocchi, D.D., Hicks, B. B., & Camara, P. (1987). A Canopy Stomatal Resistance Model for Gaseous Deposition to Vegetated Surfaces. *Atmospheric Environment*, 21, 91–101.

8. Baltrenas, P., Ozkinis, V., Zigmontiene, A., & Paliulis, D. (1998). Investigation of Air Pollution at Metal Garage Places in Vilnius City. *Environmental Engineering (Aplinkos Inzinerya)*, 3(1), 57-65.

9. Baltrenas, P., Kaziukoniene, D., & Kvasauskas, M. (2004). Air Pollution at Parking-Lots of Vilnius. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 3(1), 38-43.

10. Barrat, R.S. (1985). Air Pollution Problems in Car Parks. *Environmental Pollution*, (series B)9, 179-192.

11. Beckett, P., Freer-Smith, P., & Taylor, G. (2000). The Capture of Particulate Pollution by Trees at Five Contrasting Urban Sites. *Arboric Journal*, 24, 209–30.

12. Currie, B. A., & Bass, B. (2008). Estimates of Air