



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## مطالعه تاثیر پوشش گیاهی و بام سبز بر افزایش سرعت باد و پراکنش آلاینده‌ها در دره‌های شهری با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

سیدحسین حسینی\*<sup>۱</sup>، علی صالحی<sup>۲</sup>، الهام شکری<sup>۲</sup>

۱. (نویسنده مسئول): دانشیار گروه مهندسی شیمی دانشکده فنی مهندسی دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲. کارشناسی ارشد انرژی معماری دانشکده فنی مهندسی دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

### چکیده

زمینه و هدف: افزایش روزافزون جمعیت و احداث ساختمان‌های بلند، وجود آلاینده‌های محیطی در شهرها را دو چندان کرده است. از طرفی نیز افراد برای رفع نیازهای زیستی خود بیش از گذشته از محیط‌های باز شهری استفاده می‌کنند. در این راستا عوامل مختلفی همچون پوشش‌های متنوع گیاهی و وجود جریان‌های مستمر باد می‌تواند نقش قابل توجهی در پراکنش ذرات آلاینده داشته باشد. مطالعه حاضر نیز در این زمینه و با هدف بررسی تاثیر انواع پوشش گیاهی و بام سبز از نظر ارتفاع و تراکم، بر چگونگی پراکنش آلاینده‌ها، با شناخت جریان‌های هوای شهری (شیراز) انجام شد.

روش بررسی: در راستای این هدف از روش، مطالعات کتابخانه‌ای، تحلیلی-توصیفی و همچنین شبیه‌سازی رایانه‌ای با استفاده از روش محاسبات دینامیک سیالات *Computational Fluid Dynamics (CFD)* در نرم‌افزار *Envi-met* استفاده شد.

یافته‌ها: با توجه به لزوم بکارگیری پوشش گیاهی در سطوح شهری، بررسی نتایج جابجایی عمودی ذرات با وجود پوشش‌های گیاهی با تاج (ارتفاع) کوتاه، متوسط و بلند و مقایسه با مدل پایه (بدون پوشش گیاهی) نشان داده است که وجود پوشش گیاهی با تاج متوسط با داشتن اختلاف  $7/65 \text{ m}^2/\text{s}$  (جابجایی عمودی ذرات) نزدیک‌ترین مدل به مدل پایه و بهینه‌ترین حالت برای پراکنش هرچه بیشتر آلاینده‌های محیطی است.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد، استفاده از بام سبز در ساختمان‌ها، میزان جابجایی افقی ذرات آلاینده هوا را افزایش و جابجایی عمودی آنها را کاهش می‌دهد و با استفاده هر چه بیشتر از این عنصر، می‌توان معماری و شهرسازی را به سمت پایداری پیش برد.

### اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۱۳  
تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۸/۰۴  
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۰۹  
تاریخ انتشار: ۹۵/۰۹/۳۰

واژگان کلیدی: پراکنش آلاینده‌های شهری، بام سبز، پوشش گیاهی، جریان‌های هوای شهری، نرم‌افزار *Envi-met*

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
s.h.hosseini@ilam.ac.ir

## مقدمه

انسان‌ها برای رفع نیازهای روزمره خود ملزم به استفاده از محیط‌های شهری هستند که با ساختمان‌های بلند احاطه شده‌اند (۱، ۲). برای مثال در هند افزایش بیگان موتوری در مراکز شهری مشکلاتی ناشی از دود خروجی زیاد وسایل نقلیه موتوری ایجاد کرده است، که حدود ۶۴ درصد از ذرات آلاینده هوای آن شهر را موجب شده است (۳). آلاینده‌ها، مانند ذرات معلق قابل تنفس از جمله؛ کربن مونوکسید (CO) و هیدروکربن (HC) بطور مستقیم توسط وسایل نقلیه در محیط‌های شهری منتشر می‌شوند (۴، ۵). واضح است که بررسی تلاطم ناشی از جهت‌گیری خیابان‌ها با توجه به سمت و سرعت باد غالب و همچنین حرکت وسایل نقلیه برای ارزیابی نحوه پراکندگی آلاینده‌ها بسیار مهم است. زیرا که نحوه پراکندگی آلاینده‌ها در خیابان‌ها و تقاطع‌ها بر سلامت عابرین پیاده و دوچرخه‌سواران نیز بسیار تاثیرگذار است (۶). هندسه شهری خیابان نسبتی پیچیده است که پارامترهای بسیاری از جمله؛ مشخصه هندسی خیابان، اندازه و شکل تقاطع، جزئیات سقف‌ها، نوع دیوار و زمین بر آن تاثیرگذار است (۷). در اینجا سوالی که پیش می‌آید این است که پوشش گیاهی چگونه و به چه نحوی می‌تواند آلاینده‌ها را بصورت بهتری از محیط شهری دور نماید. البته قبل از آن، باید به بررسی اینکه باد در چه حالتی بهتر عمل می‌کند و می‌تواند حداکثر پاک‌سازی را به همراه داشته باشد پرداخته شود. به این منظور در اینجا به شرح بیشتر موضوع پرداخته می‌شود. یکی از راهکارهای بهینه‌سازی محیط به‌منظور آسایش حرارتی و رفع آلودگی هوا، استفاده از گیاهان است. همچنین عمل‌آوری گیاهان در سطح معابر، افزایش کاشت گیاهان بر بام ساختمان‌ها و افزایش سبزی در سطح شهر موجب کاهش جزایر گرمایی شهری، کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت هوا می‌شود (۸). گیاهان قادرند آلودگی‌ها را بهتر از سطوح مصنوعی و ساختمان‌ها به خود جذب نمایند که این عامل با آنالیز شیمیایی سطح شاخ و برگ‌ها اثرات آن را ثابت می‌نماید (۹، ۱۰). در تحقیقی که با استفاده از تونل باد انجام گردیده

است، نشان داده شد که وجود درخت در سطح خیابان، موجب افزایش حضور و غلظت آلاینده‌ها در معابر می‌گردد (۱۱، ۱۲). بررسی نتایج مطالعه‌ای که تراکم ذرات با توجه به نسبت ارتفاع ساختمان به پهنای خیابان و تراکم پوشش گیاهی تحت دو سناریو؛ باد عمود و مایل نیز نشان داده است که گیاهان برگ‌دار تنک هیچ‌گونه نشانی بر تمرکز آلودگی‌ها ندارند. همچنین گونه‌های پرچین مانند نسبت به درختان، بیشتر توصیه می‌شود چرا که آلودگی‌ها را نزدیک‌تر به منبع آن نگه می‌دارد (۱۳). در این زمینه تحقیقات و مطالعات زیاد دیگری نیز انجام گرفته است. در اینجا برای فهم خلا تحقیق و مباحث مورد نظر در مقاله حاضر به ذکر چند مورد از مهم‌ترین مطالعات صورت گرفته در چند سال اخیر پرداخته شده است. در مقاله‌ای در سال ۲۰۱۴ توسط Ouldoukhitine و همکاران تاثیر بام سبز در داخل و بیرون ساختمان بر دره‌های شهری از نظر عددی و تجربی مورد بررسی قرار داده شده است. در این تحقیق سطوح پیاده‌رو شهری با اندازه‌گیری بازتاب‌های بام سبز از نظر آسایش ساکنین مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار Transys نشان داده است که استفاده از بام سبز موجب کاهش ۲۰ درجه‌ای دما در تابستان و همچنین موجب کاهش ۰/۸ درجه‌ای دما در سطوح پیاده‌رو شهری نیز می‌شود (۱۴). در تحقیقی دیگر در سال ۲۰۱۲ توسط Baik و همکاران به بررسی تاثیر بام سبز بر کیفیت هوای دره‌های شهری با استفاده از روش CFD (Computational Fluid Dynamics) پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از بام سبز موجب کاهش آلودگی‌ها در نزدیکی جاده‌ها شده است (۱۵). در سال ۲۰۱۴ نیز در پژوهشی توسط Yang و همکاران به بررسی تاثیر پارامترهای فیزیکی همچون؛ بام سبز بر مدل‌های هیدرودینامیک شهری پرداخته‌اند (۱۶). در همین سال در تحقیقی توسط Lehmann تاثیر وجود بام سبز بر جزایر گرمایی شهری مورد بررسی قرار داده شده است. در این تحقیق نقش ساختمان‌ها و پیاده‌روها در افزایش بازتاب‌های تابش خورشید و گرمای هوا بررسی شده است. این تحقیق در واقع

موجب تغییرات فراوانی از جنبه‌های مختلف در اقلیم منطقه گردد (۳۲).

بنابراین مرور ادبیات پژوهش در این زمینه نشان می‌دهد که مطالعه و تحقیق روی درختان و پوشش‌های گیاهی هنوز هم ابهامات فراوانی دارد و مطالعه از منظر پراکنش آلاینده‌های هوا در اقلیمی همچون شیراز بیشتر خود را نشان می‌دهد. بدین منظور در این پژوهش سعی شده است که با بررسی عوامل مختلف و با ایجاد تغییراتی محتمل، شرایط بهینه‌ای را برای آسایش و رفاه شهروندان در محیط‌های شهری ایجاد نمود. این تغییرات با فرض اینکه پوشش‌های گیاهی و درختان توانایی جذب آلودگی‌ها را دارند، مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا بهتر است که با خصوصیات دره‌های شهری نیز آشنا شد. دره شهری در واقع خیابانی است که از دو طرف بصورت خطی با ساختمان‌هایی در اطراف احاطه شده است (۳۳). ابعاد دره‌های شهری با عناصری همچون نسبت ارتفاع ساختمان به پهنای خیابان و طول دره تعریف می‌گردد (۳۴). با این توصیفات می‌توان گفت که وجود پوشش‌های گیاهی مناسب با توجه به جهت و سرعت وزش باد غالب در هر منطقه می‌تواند در کاهش آلاینده‌های هوا و بهتر کردن کیفیت هوای قابل تنفس ساکنین نقش مؤثری داشته باشد. در این راستا در مطالعاتی که تاکنون در این زمینه انجام شده است، روی میزان ارتفاع و پوشش گیاهی بهینه بصورت خاص پژوهشی صورت نگرفته است. بنابراین در این پژوهش سعی شده است که ضمن بررسی پوشش‌های گیاهی در قالب مدل‌های مختلف، پوشش و ارتفاع بهینه نیز در جهت اهداف تحقیق ارائه گردد.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق به بررسی تاثیر پوشش گیاهی و ارتفاع درختان در دره‌های شهری با استفاده از نرم‌افزار Envi-met پرداخته شده است. این نرم‌افزار یک نرم‌افزار سه بعدی، با قابلیت دینامیک سیالات محاسباتی غیرهیدروستاتیک (S.V.A.T) شامل خاک، گیاه، اتمسفر) است (۳۵، ۳۶). این برنامه برای مدل‌سازی و

مفاهیم طراحی شهری سبز و پایدار را بعنوان یک چهارچوب در توسعه شهرنشینی ارائه نموده است (۱۷). در سال ۲۰۱۵ نیز Heusinger و همکاران به بررسی نقش بام سبز در خرده اقلیم شهری (Microclimate) در جهت کاهش گرما و افزایش سرمایش تبخیری در شهرها پرداخته‌اند (۱۸). در تحقیقی نیز توسط Berardi در سال ۲۰۱۶ به بررسی نقش بام‌های سبز بر کاهش مصرف انرژی و خرده اقلیم‌های شهری در تورنتو کانادا با استفاده از نرم‌افزار Envi-met پرداخته شده است. نتایج نشان داده است که افزایش سطح برگ درختان باعث افزایش تاثیر سرمایشی دمای هوا تا ۰/۴ درجه در طول روز در سطوح پیاده‌رو شده است. همچنین میزان مصرف انرژی را تا ۳ درصد کاهش داده است. افزایش عمق خاک نیز در این راستا بسیار مهم بوده است (۱۹). Rossi و همکاران تاثیر بازتاب‌های پیاده‌روها و دره‌های شهری بر ایجاد جزایر گرمایی را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش بازتاب پذیری مصالح سطوح میزان تاثیر سرمایش آنها تا ۴/۶ درصد افزایش می‌یابد که باعث کاهش مصرف انرژی در دره‌های شهری نیز شده است (۲۰). مطالعات فراوانی در ارتباط با اهمیت بام سبز در خرده اقلیم‌های شهری از نظر کاهش مصرف انرژی و کاهش دمای هوا انجام شده است (۲۱-۲۹). در سال ۲۰۱۵ همچنین در مقاله‌ای توسط Vranckx و همکاران در زمینه بررسی تاثیر درختان و پوشش‌های گیاهی بر کاهش آلودگی‌های ناشی از ترافیک در دره‌های شهری با استفاده از روش CFD به مطالعه پرداخته‌اند. نتایج نشان داده است که درختان تا حدود ۱۳ درصد می‌توانند میزان آلودگی‌ها را کاهش دهند (۳۰). در همین سال در مقاله‌ای دیگر توسط Lobaccaro و همکاران به بررسی تاثیر عملکرد سبز بر آسایش حرارتی ساکنین در دره‌های شهری طی ۵ سناریو در شرایط گرم روزهای تابستان در بلبائو با استفاده از نرم‌افزار Envi-met پرداخته شده است (۳۱). از طرفی نیز تعامل میان سطوح، گیاهان و اتمسفر در محیط‌های شهری می‌تواند الگوهای ممتازی را در دما و جریان‌های شهری مهیا نماید. حتی یک تغییر کوچک مانند: پارک کوچک شهری

با سرعت بیشتری از محیط تخلیه و نقاطی که در تخلیه ذرات ناتوان هستند را با استفاده از پوشش گیاهی بهینه‌سازی نمود. در محیط‌های شهری اگر انرژی اولیه ذراتی که حاوی غبار یا آلاینده هستند بیشتر باشد، می‌توانند از نقطه‌ای که به‌طور میانگین در وسط و میانه معبر شهری قرار دارد خارج گردند؛ بنابراین در گام اول با بررسی جهت باد مورب ۳۰ درجه و باد موازی با دره شهری به‌منظور دست‌یابی به جهت بهینه باد و تخلیه حداکثر آلاینده‌ها پرداخته شده، سپس سطح انرژی جنبشی ذرات و میزان اتلاف انرژی ذرات (Dissipation) در پوشش‌های گیاهی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. با سنجش انرژی جنبشی ذرات و با مطالعه تغییرات انرژی آنها (Dissipation) در این نقطه می‌توان فهمید کدام جهت وزش باد می‌تواند بهتر موجب تخلیه این ذرات شود. در این راستا برای محاسبه داده‌ها از روش CFD در نرم‌افزار Envi-met که از معادلات زیر تبعیت می‌کند، استفاده شده است. برای شبیه‌سازی جریان باد، آشفتگی جریان سه‌بعدی تراکم‌ناپذیر با معادله ناویر استوکس (Navier-Stokes equations) بررسی شده است (۳۲). در معادلات ۱، ۲، ۳ و ۴ دیده می‌شود، که  $(F = 10^4 \text{ s}^{-1})$  پارامتر کوریولیس (Coriolis parameter) است،  $P'$  آشفتگی فشار محلی،  $\theta$  پتانسیل دما در سطح  $Z$  است. دمای مرجع  $\theta_{ref}$  باید در شرایط متوسط هواشناسی در مدل یک بعدی، موازی با مدل اصلی تهیه شود. چگالی هوا ( $p$ ) در معادله ناویر استوکس تراکم‌پذیری حذف شده است و از تقریب شناوری (Boussinesq approximation) استفاده می‌شود، که سبب ایجاد یک منبع اضافه ( $W$ ) معادله نیروی حرارتی حرکت عمودی است. برای شبیه‌سازی پروسه  $(i = 1, 2, 3)$   $(u_i = u, v, w)$  براساس کار Mellor, Yamada یک مدل متلاطم مرتبه ۱/۵ موجود در Envi-met که شامل دو معادله تلاطم محلی ( $E$ ) و نرخ اتلاف آن ( $\epsilon$ ) بوده و بر طبق معادلات ۵ و ۶ محاسبه می‌شوند، نیاز است (۳۷).

آنالیز چگونگی پراکنش ذرات در اطراف بام سبز و دره شهری است. در این مرحله به شرح روش و چگونگی روند کار در طول تحقیق پرداخته شده است. نرم‌افزار Envi-met در سال‌های اخیر اعتبارسنجی شده است و با نرم‌افزارهای دیگری همچون Energy plus نیز همخوانی دارد. داده‌های ورودی مورد نیاز در این نرم‌افزار اطلاعات آب و هوایی، نمناکی خاک موجود، پروفایل دمایی، ویژگی‌های فیزیکی سطوح شهری و گیاهان هستند. همچنین عواملی همچون دمای هوا، میانگین دمای تشعشعی، فشار بخار آب، رطوبت نسبی و سرعت باد را نیز در جهت سنجش آسایش کاربران محاسبه می‌کند. در پژوهش پس از بررسی موضوعات پایه‌ای در زمینه تحقیق، سناریوهای مختلف شامل ۵ مدل در دره شهری با وزش باد ۳۰ درجه از سمت جنوب غربی مورد بررسی قرار داده شده است. به این صورت که مدل ۱: پوشش بام سبز و درختچه، مدل ۲: پوشش بام سبز، مدل ۳: درخت تاج بلند، مدل ۴: درخت تاج کوتاه و در مدل ۵: درخت تاج متوسط انتخاب شده است. در این ۵ مدل تنها متغیر ارتفاع درختان است و سایر ویژگی‌ها از جمله چیدمان بلوک‌ها، نسبت عرض به ارتفاع، جهت وزش باد و ... ثابت است. تمامی این مدل‌ها با نمونه پایه بدون پوشش گیاهی مقایسه گردیده است. همچنین دو سناریو متفاوت از نظر جهت وزش باد برای دره مورد نظر بررسی شد. اولین حالت، باد موازی با جهت طولی دره است که در این حالت سطح انرژی و میزان هدر رفت مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت بعد باد با زاویه ۳۰ درجه نسبت به طول دره شهری می‌وزد. با سنجش تغییرات انرژی جنبشی ذرات (Turbulence kinetic energy (TKE)) این‌گونه می‌توان عنوان کرد که ذرات با انرژی اولیه ناشی از دریافت خورشید یا با وزش باد در سطح، موجب حرکت هوا و تغییرات انرژی در سطح شهر می‌شوند. ذراتی که انرژی را حمل و جابجا می‌کنند تا حدی که قادر باشند، انرژی را حمل می‌کنند و پس از آن مستهلک شده و در جایی ساکن می‌مانند. اثر این ذرات در سلامتی انسان‌ها ایجاب می‌کند که ذرات آلاینده را

طبق معادله ۸ نیز  $Th$  برای معادلات جریان‌های شناوری تحت حالت پایدار، نادیده گرفته شده است.

$$Th = \frac{g}{\theta_{ref}(z)} Kh \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad Th > 0 \quad (۸)$$

در محاسبه  $E-E$  از معادلات فوق، ضرایب تبادل آشفتگی با استفاده از ثوابت عددی  $\mu = 0.09$ ،  $\sigma_E = 1/100$  و  $\sigma_\epsilon = 1/3$  برای شبیه‌سازی جریان لایه مرزی (معادله ۹)، چنین محاسبه می‌گردند (۳۸، ۳۹).

$$K_m = K_h = K_q = c_\mu \frac{E^2}{\epsilon}; K_\epsilon = \frac{K_m}{\sigma_E}; k_\epsilon = \frac{K_m}{\sigma_\epsilon} \quad (۹)$$

#### یافته‌ها

در این مرحله با مدل‌سازی‌ها و انجام بررسی‌های مختلف در نرم‌افزار شبیه‌سازی مورد نظر، نمودارهای ۱-۳ در راستای چگونگی پراکنش ذرات و تغییرات انرژی جنبشی آنها بدست آمده است.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u_i \frac{\partial u}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial x} + K_m \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x_i^2} \right) + F(v - v_g) - S_u \quad (۱)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u_i \frac{\partial v}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial y} + K_m \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x_i^2} \right) + F(u - u_g) - S_v \quad (۲)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u_i \frac{\partial w}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial z} + K_m \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x_i^2} \right) + g \frac{\theta(z)}{\theta_{ref}(z)} - S_w \quad (۳)$$

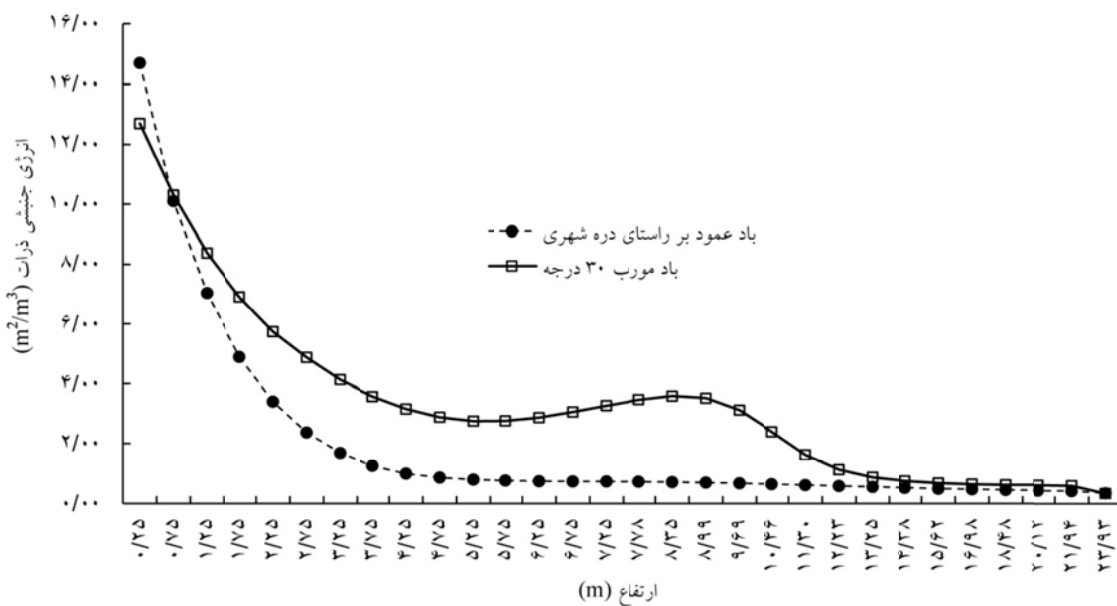
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (۴)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + u_i \frac{\partial E}{\partial x_i} = K_E \left( \frac{\partial^2 E}{\partial x_i^2} \right) + Pr - Th + Q_E - \epsilon \quad (۵)$$

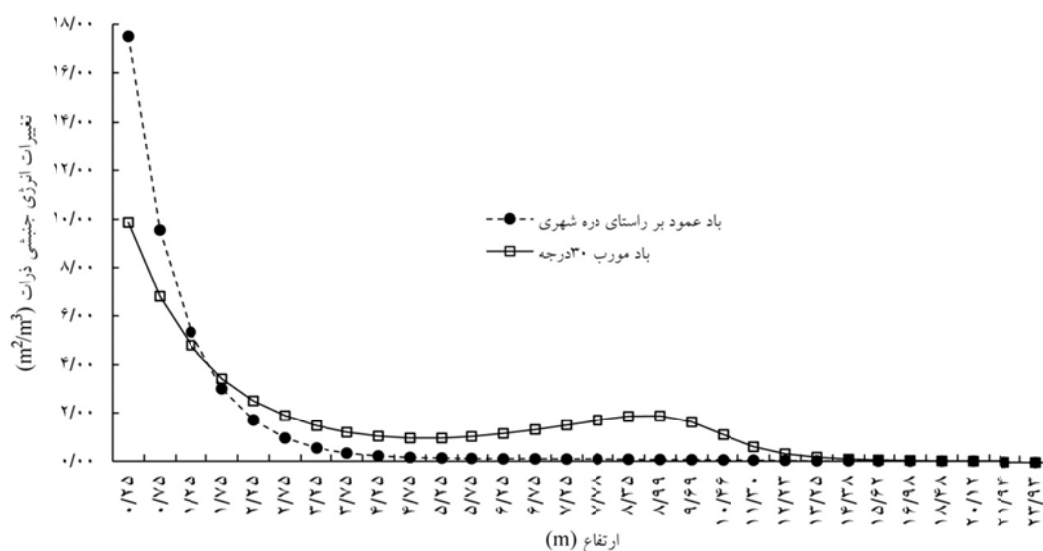
$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + u_i \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} = K_\epsilon \left( \frac{\partial^2 \epsilon}{\partial x_i^2} \right) + c_1 \frac{\epsilon}{E} Pr - c_2 \frac{\epsilon}{E} Th - c_3 \frac{\epsilon^2}{E} + Q_\epsilon \quad (۶)$$

شرایط  $Th$  و  $Pr$  تولید و اتلاف انرژی آشفتگی به علت باد و لایه‌بندی حرارتی را توصیف می‌کنند.  $Q_E$  و  $Q_\epsilon$  شرایط منبع محلی برای تولید تلاطم و اتلاف در پوشش‌های گیاهی هستند. همچنین طبق معادله ۷،  $Pr$  پارامتر تولید باد محلی با استفاده از تنسور تغییر شکل میدان باد محلی محاسبه می‌گردد:

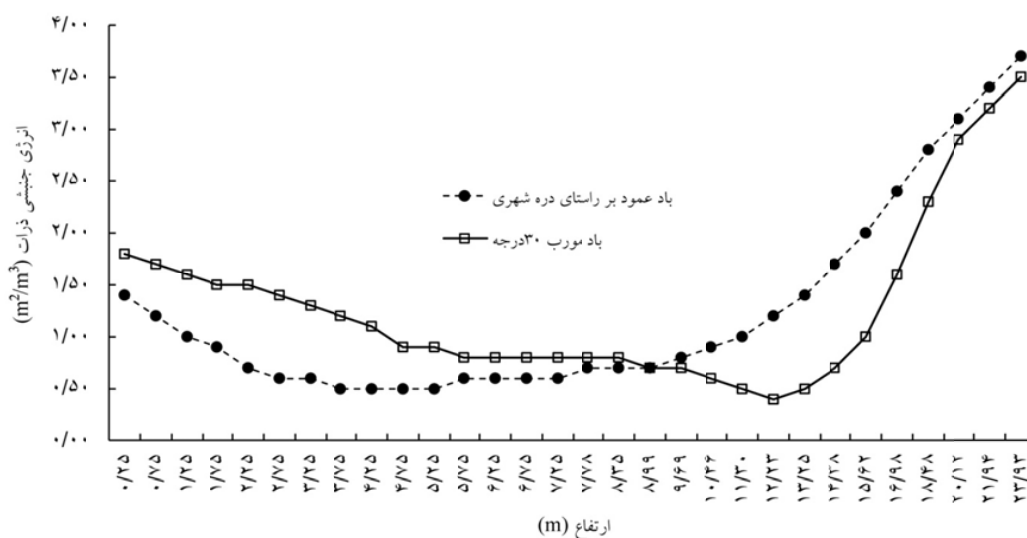
$$Pr = K_m \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad with i, j = 1, 2, 3 \quad (۷)$$



نمودار ۱- سطح انرژی جنبشی ذرات در دو جهت وزش باد به دره شهری



نمودار ۲- تغییرات سطح انرژی جنبشی ذرات آلاینده در دو جهت وزش باد به دره شهری



نمودار ۳- ضریب جابجایی آشفته‌گی ذرات آلاینده در دو جهت وزش باد دره شهری

درختان با تاج بلند و مدل ۴ درختان با تاج کوتاه و در نهایت مدل ۵ درختان با تاج متوسط هستند. نتایج بدست آمده از بررسی آنها نیز در نمودارهای ۴-۷ آمده است.

در این مرحله نیز برای بررسی تاثیر پوشش های گیاهی بر چگونگی پراکنش آلاینده‌ها مطابق شکل ۱: در مدل ۱ پوشش بام با چمن و درختچه و در مدل ۲ فقط چمن است. در مدل ۳

Abbildung 1: Simulation bam sabz ba derekht 11:20:00 23.06.2015

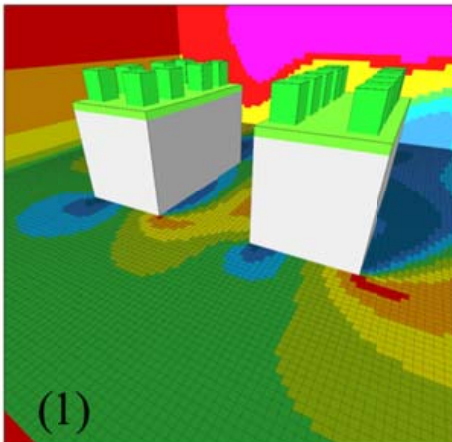


Abbildung 1: Simulation bam sabz chaman faghat 11:20:00 23.06.2015

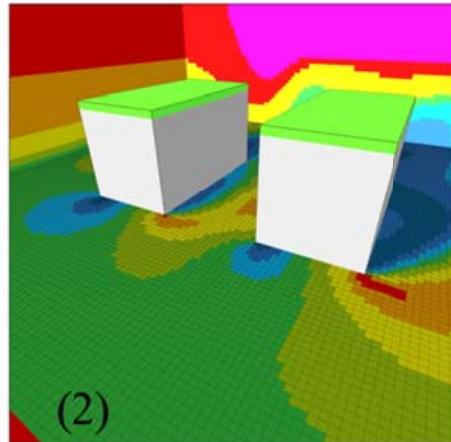


Abbildung 1: Simulation taj boland 11:20:00 23.06.2015

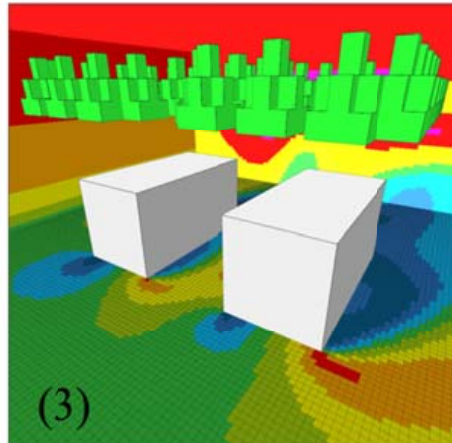


Abbildung 1: Simulation taj kotah 11:20:00 23.06.2015

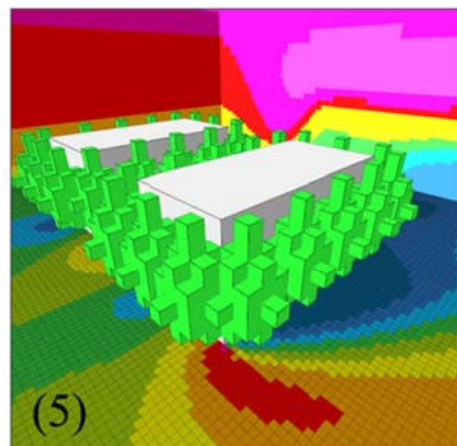
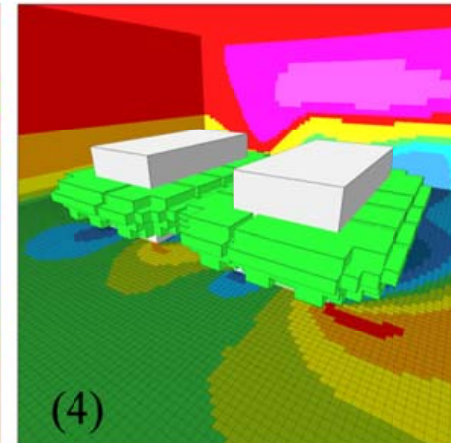
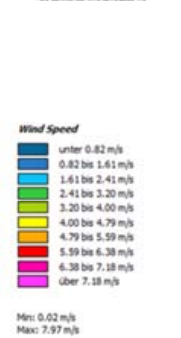
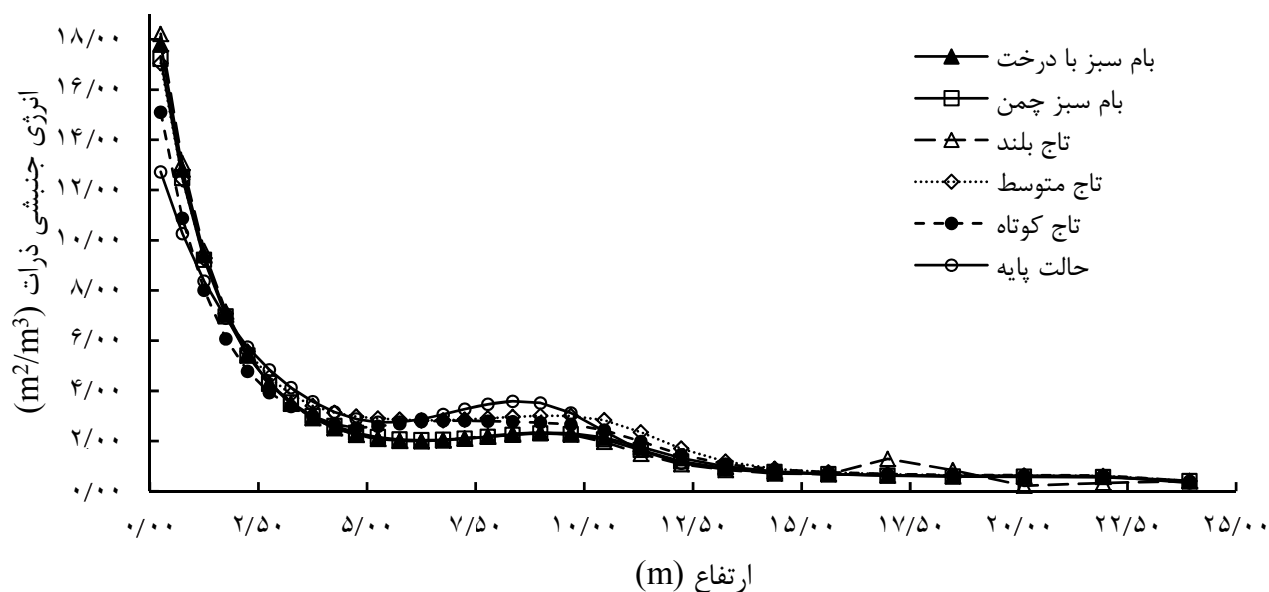


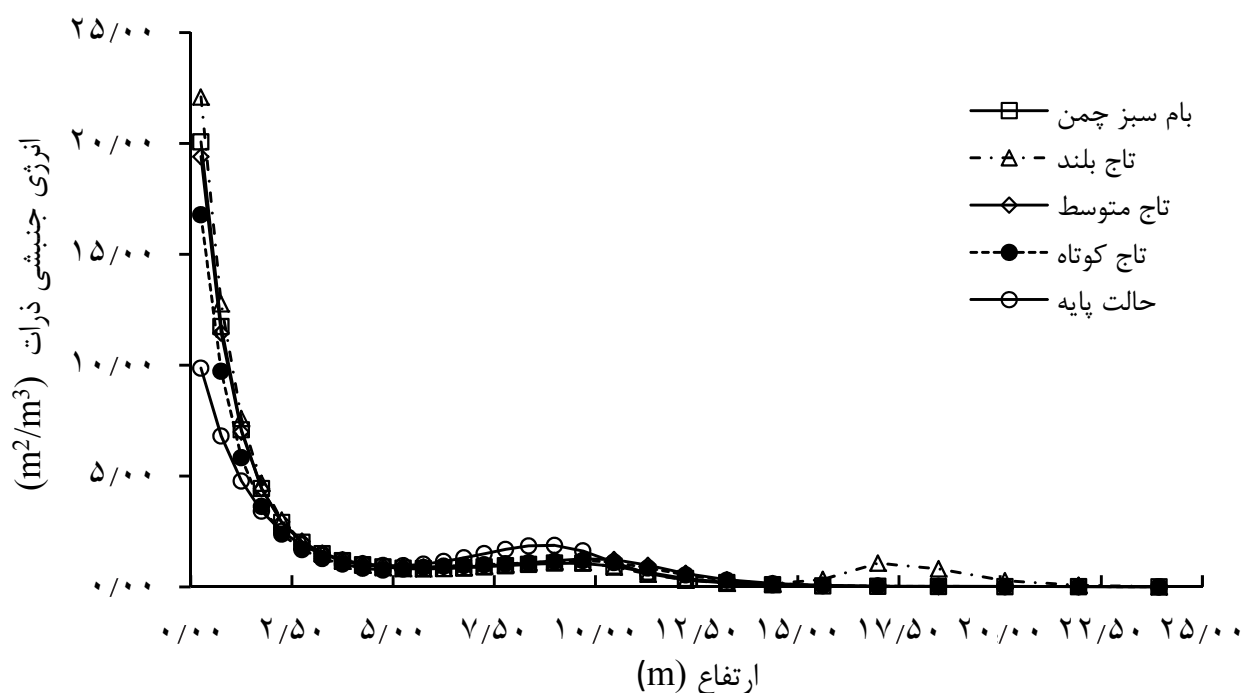
Abbildung 1: Simulation taj motevaset 11:20:00 23.06.2015



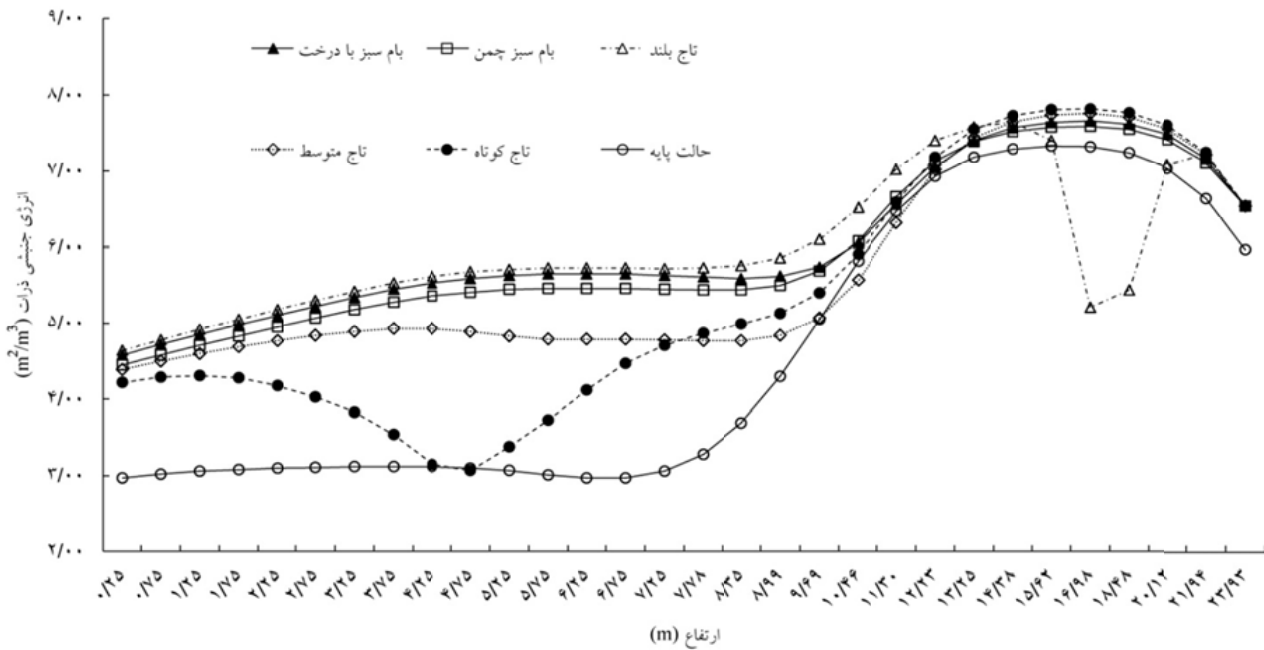
شکل ۱- پوشش‌های گیاهی مختلف در نظر گرفته شده



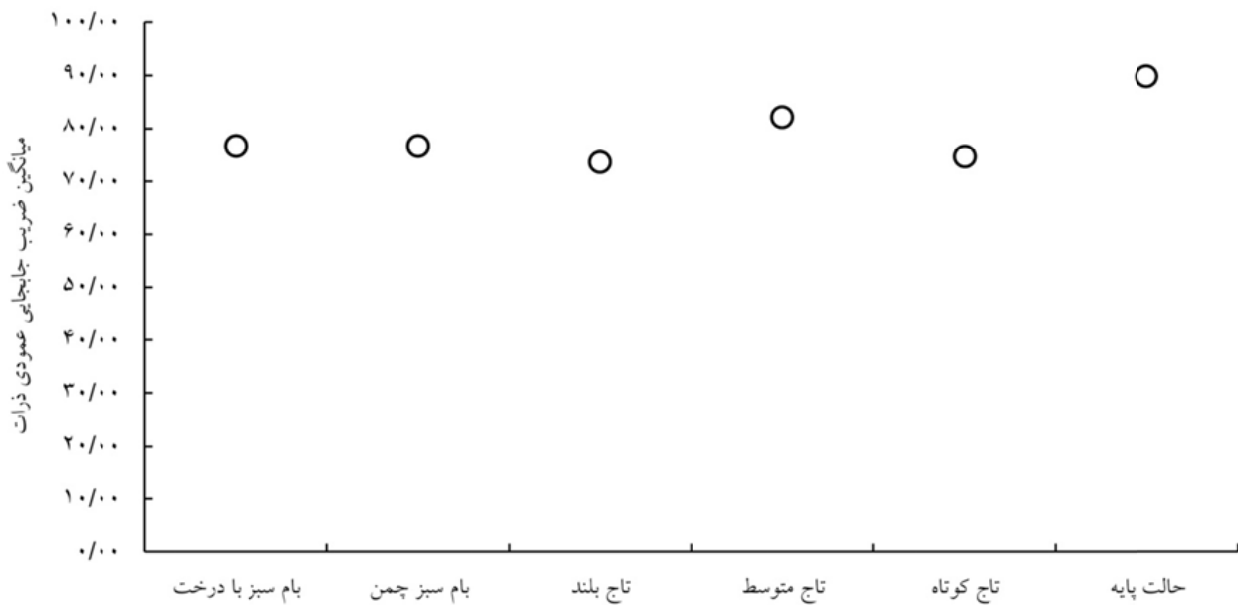
نمودار ۴- سطح انرژی جنبشی ذرات در سناریوهای مختلف پوشش گیاهی



نمودار ۵- تغییرات (افت) انرژی ذرات در سناریوهای مختلف پوشش گیاهی



نمودار ۶- سرعت باد در سناریوهای مختلف پوشش گیاهی



نمودار ۷- میانگین ضریب جابجایی عمودی ذرات در ارتفاعهای مختلف دره شهری برای پوششهای گیاهی مختلف

## بحث

با توجه به نمودار ۱ می‌توان نتیجه گرفت که در نقطه مورد نظر سطح TKE برای زاویه ۳۰ درجه باد، در بیشترین حد خود قرار دارد. همچنین با توجه به نمودار ۲ مقدار Dissipation در زاویه ۹۰ درجه در حد کمینه خود قرار دارد و بطور متوسط انرژی ذرات در نقطه مذکور و با کاستن Dissipation در جهت ۳۰ درجه، بیشترین حد در تخلیه آلودگی‌ها را دارد. در نمودار ۳ نیز ضریب جابجایی آشفتگی (turbulent exchange coefficients) نشان می‌دهد که بیشترین میزان تغییرات در زاویه ۳۰ درجه برای باد قرار دارد. مشاهده می‌شود که بهترین زاویه برای وزش باد بر سطح بلوک، در راستای پراکنش بهینه ذرات آلاینده هوا، زاویه ۳۰ درجه است. با وجود تمام موارد مثبتی که در این حالت وجود دارد، نقاطی وجود دارند که قادر به تخلیه آلودگی‌ها نیستند. این نقاط در جایی است که باد قدرت خود را از دست داده و نمی‌تواند موجب تخلیه ذرات شود. استفاده از پوشش‌های گیاهی می‌تواند آشفتگی را در نقاط بحرانی به وجود آورد. همچنین از آنجا که یکی از راهکارهای بهینه‌سازی آلاینده‌ها در دره‌های شهری، استفاده از پوشش‌های گیاهی سبز است.

این تحقیق براساس مدل‌های بررسی شده با نرم‌افزار Envi-met در مورد تاثیر ارتفاع درختان و پوشش گیاهی در دره شهری نتایج زیر حاصل شده است. در نمودارهای ۴ و ۵ سطح انرژی جنبشی ذرات در مدل‌های با پوشش سبز با مدل بدون پوشش سبز (مدل با جهت‌گیری باد ۳۰ درجه) مقایسه شده است و نتایج حاصل نشان می‌دهد که سطح انرژی جنبشی در مدل پوشش سبز بالاتر از حالت بدون پوشش سبز است. باید توجه داشت که میزان تفاوت بین مدل دارای پوشش گیاهی و مدل پایه (بدون پوشش سبز) بیشتر در ارتفاعی است که عابرین پیاده حضور دارند. با توجه به نمودار ۶ می‌توان دریافت که درختان با تاج خود باد را از سطوح بالایی به سطح زمین هدایت می‌کنند و در جایی که تاج پوششی درخت در آن ارتفاع آغاز می‌شود، افت ناگهانی

در سرعت باد دیده می‌شود. افزایش ارتفاع پوشش گیاهی نیز موجب افزایش سطح انرژی جنبشی در سطح عابرین پیاده (تا ارتفاع ۳ متری از کف) می‌گردد. این عمل موجب افزایش آشفتگی ذرات آلاینده در سطح عابر پیاده می‌شود. همچنین در نمودار ۷ میانگین ضریب جابجایی عمودی ذرات (turbulent exchange coefficients) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با وجود پوشش‌های گیاهی میزان جابجایی عمودی کاهش می‌یابد. مطالعه تراکم ذرات با توجه به نسبت ارتفاع به عرض و تراکم پوشش گیاهی نشان می‌دهد که: با افزایش نسبت ارتفاع به عرض و تراکم پوشش گیاهی، تراکم ذرات نیز افزایش می‌یابد (۱۳). در نهایت با توجه به سناریوهای مختلف می‌توان این‌گونه بیان نمود که درختان باعث کاهش سطح انرژی جنبشی ذرات نزدیک به پوشش گیاهی و مستهلک نمودن انرژی ذرات می‌شود. کاهش سطح انرژی جنبشی ذرات موجب انباشت ذرات بر شاخ و برگ‌هایشان شده و در نتیجه میزان آلاینده‌ها افزایش می‌یابد. با توجه به لزوم بکارگیری پوشش گیاهی در سطح معابر شهری، یافتن بهترین پوشش گیاهی که میزان انباشت ذرات کمتری داشته باشد اهمیت دارد. یکی از راه‌های کاهش انباشت آلاینده‌ها در سطح معابر شهری، افزایش سرعت باد در سطح افقی است. با توجه به نمودار ۶ می‌توان گفت که افزایش ارتفاع پوشش گیاهی موجب بهینه شدن سرعت باد در سطح افق می‌گردد. تحلیل نتایج و نمودارهای بدست آمده نشان می‌دهد که میان ساختمانی که بام سبز و بام سبز به همراه درختچه دارد، مدلی که تنها دارای بام سبز است ارجحیت دارد. در مورد درخت با تاج پوشش بلند و کوتاه درخت با تاج بلند عملکرد بهتری را دارد. در مورد درخت با تاج متوسط می‌توان گفت که در حد میانه تاج بلند و کوتاه قرار می‌گیرد. در نمودار ۷ نیز با توجه به میزان اختلاف میان جابجایی عمودی ذرات در مدل‌های مختلف می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که هرچه میزان اختلاف با مدل پایه کمتر باشد، میزان جابجایی عمودی ذرات بیشتر بوده و مدل بهینه‌تر است.

## نتیجه گیری

با وجود پوشش‌های گیاهی با تاج (ارتفاع) کوتاه، متوسط و بلند و مقایسه با مدل پایه (بدون پوشش گیاهی) مشخص می‌کند که پوشش گیاهی با تاج متوسط با اختلاف  $7/65 \text{ m}^2/\text{s}$  نزدیک‌ترین مدل به مدل پایه بوده و بهینه‌ترین حالت برای انتقال عمودی ذرات آلاینده است. در حالی که این اختلاف برای پوشش گیاهی تاج بلند برابر با  $16/12 \text{ m}^2/\text{s}$  و برای پوشش گیاهی با تاج کوتاه  $15/08 \text{ m}^2/\text{s}$  است.

در مقاله حاضر جهت باد بهینه برای پراکنش ذرات آلاینده هوا در معابر شهری و همچنین تاثیر کاربرد پوشش‌های سبز شهری با استفاده از نرم‌افزار Envi-met مورد مطالعه قرار داده شده است. نتایج نشان داده است که وزش باد با زاویه  $30^\circ$  درجه نسبت به دره شهری و همچنین استفاده از بام‌های سبز شهری می‌تواند در پراکنش هرچه بهتر آلاینده‌ها نقش مؤثری داشته باشد. همچنین بررسی نتایج جابجایی عمودی ذرات

## منابع

1. Colville EJ, Hutchinson EJ, Mindel JS, Warren RF. The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment*. 2001;35:1537-67.
2. Fenger J. Urban air quality. *Atmospheric Environment*. 1999;33:4877-900.
3. Gowda RMM. Wind tunnel simulation study of the line source dispersion in the near field of roadways under heterogeneous traffic conditions [dissertation]. Delhi, India: Indian Institute of Technology; 1999.
4. Eskridge RE, Rao ST. Turbulent diffusion behind vehicles: experimentally determined turbulence mixing parameters. *Atmospheric Environment*. 1986;20:851-60.
5. Isyumov N, editor Physical modeling of atmospheric dispersion in complex settings, wind climate in cities. Proceedings of the NATO Advance Study Institute at Waldbrown; 1993; Germany.
6. Tiwary A, Robins A, Namdeo A, Bell M. Air flow and concentration fields at urban road intersections for improved understanding of personal exposure. *Environment International*. 2011;37:1005-18.
7. Salizzoni P, Soulhac L, Mejean P, Perkins RJ. Influence of a two scalar roughness on a neutral turbulent boundary layer. *Boundary-Layer Meteorology*. 2008;127(1):97-110.
8. Bourbia F, Boucherriba F. Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). *Renewable Energy*. 2010;35:343-47.
9. Beckett KP, Freer-Smith PH, Taylor G. Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*. 1998;99:347-60.
10. Ould-Dada Z, Baghini NM. Resuspension of small particles from tree surfaces. *Atmospheric Environment*. 2001;35:3799-809.
11. De Maerschalck B, Janssen S, Vankerkom J, Mensink C, van den Burg A, Fortuin P. CFD simulations of the impact of a line vegetation element along a motorway on local air quality. *Hrvatski Meteoroloski Casopis*. 2008;43:339-44.
12. Gromke C, Ruck B. Influence of trees on the dispersion of pollutants in an urban street canyon Experimental investigation of the flow and concentration field. *Atmospheric Environment*. 2007;41:3287-302.
13. Wania A, Bruse M, Blond N, Weber C. Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. *Journal of Environmental Management*. 2012;94:91-101.
14. Ouldboukhite S-E, Belarbi R, Sailor DJ. Experimental and numerical investigation of urban street canyons to evaluate the impact of green roof inside and outside buildings. *Applied Energy*. 2014;114:273-82.
15. Baik J-J, Kwak K-H, Park S-B, Ryu Y-H. Effects

- of building roof greening on air quality in street canyons. *Atmospheric Environment*. 2012;61:48-55.
16. Yang J, Wang Z-H. Physical parameterization and sensitivity of urban hydrological models: application to green roof systems. *Building and Environment*. 2014;75:250-63.
  17. Lehmann S. Low carbon districts: Mitigating the urban heat island with green roof infrastructure. *City, Culture and Society*. 2014;5(1):1-8.
  18. Heusinger J, Weber S. Comparative microclimate and dewfall measurements at an urban green roof versus bitumen roof. *Building and Environment*. 2015;92:713-23.
  19. Berardi U. The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings*. 2016;121:217-29.
  20. Rossi F, Castellani B, Presciutti A, Morini E, Anderini E, Filipponi M, et al. Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons. *Energy and Buildings*. 2016;126:340-52.
  21. Millward AA, Sabir S. Benefits of a forested urban park: What is the value of Allan Gardens to the city of Toronto, Canada? *Landscape and Urban Planning*. 2011;100(3):177-88.
  22. Ng E, Chen L, Wang Y, Yuan C. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: an experience from Hong Kong. *Building and Environment*. 2012;47:256-71.
  23. Djedjig R, Bozonnet E, Belarbi R. Experimental study of the urban microclimate mitigation potential of green roofs and green walls in street canyons. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2015;10(1):34-44.
  24. Peron F, De Maria M, Spinazzè F, Mazzali U. An analysis of the urban heat island of Venice mainland. *Sustainable Cities and Society*. 2015;19:300-309.
  25. Li X-B, Lu Q-C, Lu S-J, He H-D, Peng Z-R, Gao Y, et al. The impacts of roadside vegetation barriers on the dispersion of gaseous traffic pollution in urban street canyons. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2016;17:80-91.
  26. Bass B, Krayenhoff E, Martilli A, Stull RB, Auld H. The impact of green roofs on Toronto's urban heat island. *Proceedings of Greening Rooftops for Sustainable Communities*; 2003; Chicago.
  27. Ghaffarianhoseini A, Berardi U, Ghaffarianhoseini A. Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. *Building and Environment*. 2015;87:154-68.
  28. Razzaghmanesh M, Beecham S, Salemi T. The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2016;15:89-102.
  29. Akbari H, Taha H. The impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities. *Energy*. 1992;17(2):141-49.
  30. Vranckx S, Vos P, Maiheu B, Janssen S. Impact of trees on pollutant dispersion in street canyons: A numerical study of the annual average effects in Antwerp, Belgium. *Science of the Total Environment*. 2015;532:474-83.
  31. Lobaccaro G, Acero JA. Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons. *Urban Climate*. 2015;14:251-67.
  32. Bruse M, Fleer H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling and Software*. 1998;13:373-84.
  33. Nicholson SE. Air pollution model for street level air. *Atmospheric Environment*. 1975;9:19-31.
  34. Vardoulakis S BE, Pericleous K, Gonzalez-Flesca N. Modeling air quality in streetcanyons: a review. *Atmospheric Environment*. 2003;37:155-82.
  35. Bruse M. The influences of local environmental design on microclimate-development of a prognostic numerical Model ENVI-met for the simulation of wind, temperature and humidity distribution in urban structures. Germany: University of Bochum; 1999.
  36. Berkovic S, Yezioro A, Bitan A. Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate. *Solar Energy*. 2012;86(5):1173-86.
  37. Mellor GL, Yamada T. A simulation of the Wangara atmospheric boundary layer data. *Journal of Atmospheric Science*. 1975;32:2309-29.
  38. Hosker RP. Flow around isolated structures and building clusters: A review. *ASHRAE Transactions*. 1985;91(2B):1671-92.

39. Hunter LJ, Johnson GT, Watson ID. An investigation of three dimensional characteristics of flowregimes within the urban canyon. Atmospheric Environment. 1992;26B:425-32.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## A Study on the Impact of Vegetation and Green Roof on Increasing the Wind Speed and Pollutants Dispersion in the Urban Canyons Based on Computational Fluid Dynamics Model

SH Hosseini<sup>1,\*</sup>, A Salehi<sup>2</sup>, E Shokry<sup>2</sup>

1. Associate Professor of Chemical Engineering, Ilam University, Ilam, Iran

2. Msc Degree in Architectural Engineering and Energy, Ilam University, Ilam, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 3 August 2016  
**Revised:** 25 October 2016  
**Accepted:** 30 October 2016  
**Published:** 20 December 2016

**Key words:** Dispersion of urban pollutants, Green roof, Vegetation, Urban air flows, Envi-met software

**\*Corresponding Author:**

*s.h.hosseini@ilam.ac.ir*

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Increasing population growth and construction of high-rise buildings have doubled the amount of environmental pollution in the cities. Moreover, people use the open urban spaces more than before in order to meet their ecological needs. Accordingly, some parameters such as various vegetation and continuous winds streams can be considerably influential in transmittance of the particle pollution. Therefore, the aim of this research was to study the impacts of different green roofs on the dispersion of pollutants in the standpoint of height and density for urban airflow condition of Shiraz City, Iran. **Materials and Methods:** In this study, a literature review in the field computer simulation with the help of computational fluid dynamics (CFD) model in Envi-met software environment was used.

**Results:** Regarding the importance of using vegetation in the urban spaces, vertical dispersion of the particles in presence of vegetation was explored. By comparing the basic model (without vegetation) results with models including vegetation with short, medium and high crowns, it was revealed that vegetation with medium crowns is the closest model to the basic model with a difference of 7.65 m<sup>2</sup>/s in terms of vertical dispersion of particles; in fact, it was the most optimized condition for maximizing the dispersion of environmental pollutants.

**Conclusion:** The results showed that the green roofs in the buildings increase the horizontal dispersion of the particulate pollution and decrease this term in the vertical dispersion. Finally, by an expansion of green roof usage in the buildings the sustainability in architecture and urbanism can be achieved.