

ارزیابی عددی تأثیرات توسعه کمربند سبز بر هواشناسی محلی و کیفیت هوا در

کلان‌شهر تهران

حسین ملکوتی^{۱*}، سمیه ارغوانی^۲، عباسعلی علی‌اکبری بیدختی^۳

۱. دانشیار، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان

۲. دانشجوی دکتری رشته هواشناسی، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان
arghavani.phd@hormozgan.ac.ir

bidokhti@ut.ac.ir

۳. استاد، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۱۹

چکیده

آلودگی هوا و جزیره گرمایی شهری، در نتیجه رشد چشمگیر شهرنشینی، مصرف بالای سوخت و تغییرات کاربری اراضی در دهه‌های اخیر از جمله معضلات اساسی کلان‌شهر تهران هستند. پروژه کمربند سبز با هدف بهبود آسایش محیطی و جلوگیری از توسعه شهر و همچنین بهبود کیفیت هوا در این کلان‌شهر در حال اجراست. با توجه به اینکه توسعه فضاهای سبز شهری در صورت عدم مدیریت و بررسی دقیق آثار همه جانبه آن می‌تواند پیامدهای محیطی نامطلوبی به همراه داشته باشند، در این مطالعه که با استفاده از مدل هواشناسی WRF^۱ جفت شده با مدل کنوپی شهری تک لایه^۲، مدل شیمی جو و مدل بیوشیمی MEGAN^۳ انجام شده، به مطالعه نقش این گستره سبز شهری از دیدگاه آسایش محیطی و کیفیت هوا در بازه زمانی ۱۵ تا ۳۰ ام ماه ژوئن سال ۲۰۱۶ پرداخته است. بدین منظور، در اجرای کنترل، نخست توسعه شهر تهران و شهرک‌های مجاور آن از تصاویر ماهواره سنتینل ۲A استخراج و به مدل عددی معرفی شد. در گام بعدی، کمربند سبز تهران به شکل ایدئال طراحی و نتایج شبیه‌سازی عددی آن با اجرای کنترل مقایسه شده است. یافته‌های تحقیق مؤید نقش قابل توجه کمربند سبز بر بهبود آسایش محیطی به دلیل کاهش محسوس دما و افزایش سطح رطوبت نسبی در سطح شهر است. از طرف دیگر، تغییر سرعت و جهت بادهای محلی و کاهش ارتفاع لایه مرزی سیاره‌ای^۴ به دلیل کاهش دمای سطح و فرایندهای تالطم و همچنین تغییر الگوی پخش جوی موجب افزایش غلظت سطحی آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد (SO₂)، دی‌اکسید نیتروژن (NO₂)، مونواکسید کربن (CO) و ازن (O₃) شده است. نتایج به دست آمده لزوم مطالعه دقیق بازخورد متغیرهای هواشناسی و غلظت سطحی آلاینده‌ها قبل از اجرای برنامه‌های توسعه فضای سبز را اثبات می‌کنند. به‌منظور کاستن از آثار نامطلوب کمربند سبز بر کاهش سرعت باد و تهویه طبیعی در سطح شهر، کاشت گیاهان غیرمترکام با ارتفاع محدود پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه

کمربند سبز، آسایش حرارتی، کیفیت هوا، کلان‌شهر تهران، WRF/Chem/SLUCM.

۱. سرآغاز

کاربردهای جدید شهری به تدریج باعث کاهش فضای سبز شهری شده است که آثار مخرب زیست‌محیطی از جمله آلودگی‌های زیستی، افزایش روان‌آب‌های سطحی، افزایش گازهای گلخانه‌ای و پدیده گردوغبار و تشدید جزیره گرمایی شهری را به همراه داشته است.

فضای سبز شهری بخشی اساسی از پیکربندی شهر است که می‌تواند در محدوده شهر به صورت پارک‌ها و بوستان‌ها یا در غالب ساختارهای سبز شهری مانند بام سبز یا دیوار سبز توسعه یابد. فضای سبز حاشیه شهرها معمولاً به شکل کمربند سبز و پارک‌های جنگلی احداث می‌شوند.

محلی ایجاد می‌کنند که می‌تواند از آثار نامطلوب جانبی آن‌ها به‌شمار رود.

پیشینه پروژه توسعه کمربند سبز تهران به دهه ۵۰ هجری شمسی می‌رسد و تکمیل آن یکی از اولویت‌های جدی مدیریت شهری است. با اینکه از طرح این ایده حدود ۴۰ سال می‌گذرد به دلیل گسترش اجتناب‌ناپذیر محدوده شهر تنها بخش‌هایی از این طرح تاکنون اجرا شده است. از آنجایی که مساحت پیش‌بینی شده برای کمربند سبز تهران به بیش از ۴۰ هزار هکتار می‌رسد، انتظار می‌رود که تغییرات محسوسی در میکرواقلیم منطقه ایجاد کند. لذا، در این مطالعه که با استفاده از شبیه‌سازی‌های عددی جفت شده هواشناسی- شیمی جو WRF_Chem (Grell, 2005) انجام گرفته است، نقش توسعه کمربند سبز تهران بر پارامترهای هواشناسی از جمله میدان باد و دما، رطوبت نسبی، شار گرمایی سطح و ارتفاع لایه مرزی سیاره‌ای و همچنین غلظت آلاینده‌های گازی جو (دی‌اکسید گوگرد (SO₂)، دی‌اکسید نیتروژن (NO₂)، مونواکسید کربن (CO) و ازن (O₃)) و در محدوده شهر بررسی شد.

۲. مواد و روش بررسی

۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر تهران، پایتخت ایران و پرجمعیت‌ترین شهر کشور با مساحت تقریبی ۷۰۰ کیلومتر مربع و ۲۲ منطقه شهری است که در محدوده طول جغرافیایی ۴۰° ۵۱' - ۵۱° ۵۱' عرض جغرافیایی ۳۰° ۳۵' - ۳۵° در شمال کشور قرار گرفته است. سه فاکتور مهم بر اقلیم شهر تهران تأثیرگذار است: رشته کوه البرز در مرز شمالی شهر، بادهای غربی و همچنین گستره وسیع شهر که باعث تفاوت میکرواقلیم شمال و جنوب شهر شده است به‌طوری‌که تفاوت دمایی این مناطق به ۳ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. به‌طور کلی، منطقه دارای اقلیم معتدل در فصل بهار و پائیز، گرم و خشک در تابستان و سرد و مرطوب در فصل

از طرف دیگر، مطالعات انجام شده درباره نقش سبزی‌نگی شهری بر کیفیت هوا در مناطق مختلف نشان داده‌اند که ساختار و مشخصات فیزیکی و نوع پوشش گیاهی می‌تواند یکی از عوامل کاهنده و در شرایط خاص، افزایش‌دهنده آلودگی هوا در کلان‌شهرها باشند چرا که از طرفی میدان باد و دما و همچنین الگوی پخش جوی، انتقال آلاینده‌ها و تهویه طبیعی در سطح شهر را متأثر می‌کنند (Abhijith et al., 2017) و از طرف دیگر با انتشار ترکیبات ارگانیک فرار (VOCs) تولید ازن تروپوسفری را تسریع می‌کنند (Carter, 1994; Seco et al., 2007; Churkina et al., 2017). از این رو انتخاب صحیح گونه‌های گیاهی و مدیریت طراحی فضای سبز شهری، اهمیت بسزایی دارد (Janhäll, 2015; Neft et al., 2016).

یکی از راهکارهای ارائه شده برای کنترل گسترش بیش از حد محدوده شهرها و جلوگیری از حاشیه‌نشینی و رشد جمعیت در کلان‌شهرها توسعه کمربند سبز است (Joshi, 2007; Amati & Yokohari, 2004). طبق تعاریف ارائه شده، کمربند سبز نوعی گستره سبز نواری شکل و مرزی در حاشیه شهر است که پیامدهای زیست‌محیطی متعددی از جمله زیباسازی چشم‌انداز شهری، تثبیت خاک و جلوگیری از ورود ریزگردها به سطح شهر را به همراه دارد (Parham et al, 2011; Baldauf, 2017). طبق مطالعات صورت گرفته، مساحت و تراکم کمربند سبز نقش اساسی در تغییر غلظت آلاینده‌های جوی دارد و پوشش‌های انبوه جذب آلاینده‌ها به واسطه فرایندهای نهشت را افزایش داده و نقش مثبتی بر کاهش غلظت آن‌ها دارند (Escobedo & Nowak, 2009; Petroff et al., 2008; Speak et al., 2012; Brantley et al, 2014; Morakinyo & Lam, 2016). با این حال، همان‌طور که اشاره شد، درختان همانند بلوک‌های زنده در محیط شهری عمل کرده و تغییرات اساسی در الگوی کلی جریان باد

این ماهواره تحقیقاتی با ارائه تصاویر چند طیفی با تفکیک مکانی و زمانی بالا به جمع‌آوری نقشه‌های پوششی زمین، نقشه‌های تغییرات زمین و متغیرهای ژئوفیزیکی می‌پردازد. تفکیک زمانی این ماهواره ۱۰ روز در مدار استوا و ۲ تا ۳ روز در عرض‌های میانه است که امکان رصد تغییرات فصلی سزینگی با دقت بالا را فراهم می‌آورد (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>).

۳-۲. معرفی مدل WRF-Chem

مدل‌های جفت شده هواشناسی- شیمی جو در مقیاس محلی و منطقه‌ای به‌طور گسترده برای شبیه‌سازی وضعیت کیفیت هوا و همچنین پیش‌بینی وضعیت پیش‌رو در مناطق شهری پرجمعیت و با سطح آلودگی قابل توجه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مدل آنالاین WRF-Chem پارامترهای هواشناسی و شیمی در یک شبکه و گام زمانی و طرح‌واره‌های عددی یکسان به‌طور هم‌زمان شبیه‌سازی می‌شوند که امکان لحاظ کردن بازخوردهای مستقیم پارامترهای یاد شده را فراهم می‌آورد. تفاوت اساسی بین مدل WRF و مدل WRF-Chem عبارت است از بخش شیمی جو که داده‌های اضافی مربوط به انتشار را شامل می‌شود. در این مدل عددی طرح‌واره نهشت خشک جفت شده با طرح‌واره خاک/سزینگی، مدل‌های نشر بیوژنیک و آنتروپوژنیک، گزینه‌های متعدد برای مکانیسم‌های شیمی فاز گازی (CBM-Z, CB05, CB-4, RACM, RADM2)، طرح‌واره‌های تجزیه شیمیایی (Fast-Madronich, F-TUV, MADE/SORGAM, J) و طرح‌واره‌های هواپزها (MOSAIC)، شبیه‌سازی فرارفت و انتشار، انتقال در لایه مرزی با مدل هواشناسی و فرایندهای مشمول اجزاء شیمی که نیاز به پارامترهای هواشناسی دارند (برای مثال نشر بیوژنیک، گردوغبار، آتشفشان و آنتروپوژنیک) لحاظ شده‌اند (https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/14945/noaa_14945_DS1.pdf).

زمستان است. میانگین دمای شهر بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سلسیوس متغیر است (Alizadeh-Choobari et al., 2016). ساختار شهری پیچیده، شرایط اقلیمی نسبتاً خشک، جمعیت زیاد، مصرف بالای سوخت‌های فسیلی در کنار گرمایش جهانی و موج‌های گرمایی باعث شده است که ۸/۲ میلیون جمعیت این شهر سطح بالایی از جزیره گرمایی شهری و عدم آسایش محیطی را تجربه کنند.

علاوه بر این، طبق گزارش کیفیت هوای شهر تهران در سال ۱۳۹۶، به علت جمعیت بیش از ظرفیت شهر، افزایش بی‌رویه وسایل نقلیه و جغرافیای آن، کیفیت هوا در بسیاری از روزها در این کلان‌شهر به شرایط نامطلوب می‌رسد. مهم‌ترین عامل این امر در سالیان گذشته، انتشار آلودگی توسط وسایل نقلیه موتوری بوده است و در سال‌های اخیر، پدیده گردوغبار و ذرات معلق ورودی از دیگر نقاط نیز بر شدت مشکل آلودگی هوا افزوده است. خسارات سالانه آلودگی هوا در کلان‌شهر تهران ۲/۶ میلیارد دلار برآورد شده است. کیفیت هوای شهر تهران در سال ۱۳۹۶، دارای ۱۴ روز پاک (۴ درصد)، ۲۴۳ روز سالم (۶۷ درصد)، ۱۰۰ روز ناسالم برای گروه‌های حساس جامعه (۲۷ درصد) و ۸ روز ناسالم برای عموم افراد جامعه (۲ درصد) بوده است و در مقایسه با سال قبل، ۲۰ روز (۷ درصد) بر تعداد روزهای نامطلوب افزوده شده است (گزارش کیفیت هوای شهر تهران در سال ۱۳۹۶).

۲-۲. معرفی ماهواره سنتینل ۲A

ماهواره مدار قطبی سنتینل ۲، توسط آژانس فضایی اروپا برای جمع‌آوری اطلاعات از سطح زمین طراحی و در سال ۲۰۱۵ در مدار قرار گرفته است. ابزار اپتیکی به کار رفته در این ماهواره تحت عنوان MSI، ۱۳ باند طیفی در محدوده مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه را پوشش می‌دهد: ۴ باند با تفکیک افقی ۱۰ متر، ۶ باند با تفکیک ۲۰ متر و ۳ باند با تفکیک افقی ۶۰ متر.

۲.۴. اجرای مدل عددی WRF-Chem

مدل عددی میان‌مقیاس WRF-Chem (نسخه ۳.۸) کوپل شده با مدل سطح Noah Land Surface Model و مدل کنوبی شهری تک لایه (Kusaka et al. 2001) برای اجرای شبیه‌سازی‌های عددی استفاده شده است. تنظیمات مدل کنوبی شهری (پیش‌فرض مدل WRF) در جدول ۱ آمده است.

دامنه‌های تعریف شده برای اجرای شبیه‌سازی‌های عددی و موقعیت جغرافیایی تهران در دامنه داخلی در شکل ۱a نشان داده شده است. جزئیات مربوط به پیکربندی مدل، تعداد نقاط شبکه برای هر دامنه و شبیه‌سازی‌های انجام شده در جدول ۲ آمده است. قبل از اجرای شبیه‌سازی‌های عددی، اطلاعات کاربری اراضی شهری منطقه از تصاویر رایگان ماهواره سنتینل ۲A ([https:// earthexplorer.usgs.gov](https://earthexplorer.usgs.gov)) با تفکیک فضایی ۱۰m×۱۰m در محیط برنامه ArcGIS نسخه ۱۰.۳ استخراج و جایگزین کاربری پیش‌فرض (شکل ۱b) شد تا توسعه شهر تهران و شهرک‌های مجاور آن با دقت بالاتری به مدل معرفی شود (شکل ۱c). در مرحله بعد، کمربند سبز تهران به شکل ایدئال طراحی شده و کاربری اراضی آن از کلاس Mixed Forest از طبقه‌بندی استاندارد داده‌های آرشو USGS^۱ در نظر گرفته شد (شکل ۱d).

مشخصات این کلاس پوشش سطح در جدول VEGPARM.TBL مدل WRF به صورت پیش‌فرض عبارت‌اند از ضریب سپیدایی^{۱۱} بین ۰/۱۷ تا ۰/۲۵ درصد، ارتفاع بین ۱۰ تا ۱۸ متر، گسیلندگی^{۱۲} بین ۰/۹۳ و ۰/۹۷ و شاخص سطح برگ^{۱۳} بین ۲/۸ و ۵/۵۰ داده‌های GFS (<ftp://nomads.ncdc.noaa.gov/GFS>) برای تعریف شرایط مرزی و اولیه بخش هواشناسی استفاده شده است. همچنین از داده‌های جهانی MOZART برای تعریف شرایط مرزی^{۱۴} دامنه او شرایط اولیه^{۱۵} برای ۴ دامنه در بخش شیمی با استفاده از پیش پردازشگر mozbc استفاده شده است (<http://www.acom.ucar.edu/wrf-chem/mozart.shtml>).

طرح‌واره شیمی جو CB05^{۱۶} و طرح‌واره هواویز MADE^{۱۷} در انجام شبیه‌سازی‌های عددی به کار گرفته شده است. نشر بیوژنیک با استفاده از مدل جهانی بیوشیمیایی MEGAN و نشر ذرات معلق از داده‌های جهانی GOCART برای ۴ دامنه تولید شده است. نشر آنتروپوژنیک با استفاده از پیش پردازشگر PREP-CHEM-SOURCES از داده‌های جهانی (EDGAR و RETRO) برای ۴ دامنه تولید شده است. شکل ۲ داده‌های استفاده شده در بخش شیمی و پیش‌پردازشگرهای مرتبط را نشان می‌دهد.

جدول ۱. تنظیمات مدل کنوبی شهری تک لایه (Single Layer UCM)

	Low density residential (کم تراکم)	High density residential (پر تراکم)	Industrial/ Commercial (صنعتی - تجاری)
کسر تراکم ساختمانی ^۵	۰/۵	۰/۹	۰/۹۵
ارتفاع ساختمان (متر) ^۶	۵	۷	۱۰
گرمای محسوس انسان‌ساز (وات بر مترمربع) ^۷	۲۰	۵۰	۹۰
گرمای نهان انسان‌ساز (وات بر مترمربع) ^۸	۲۰	۲۵	۴۰
آلبدوی بام ساختمان ^۹	۰/۲	۰/۲	۰/۲

طرح‌واره آبیاری فضای سبز (IRI_SCHEME) = ۱

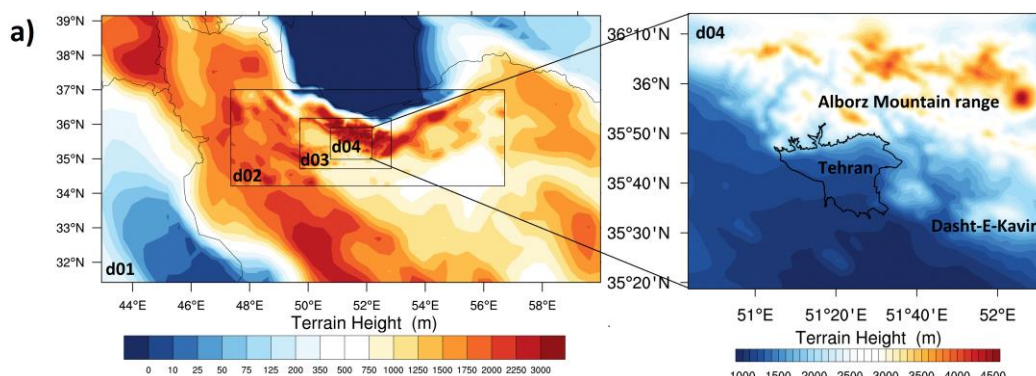
منبع: http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3.8/ARWUsersGuideV3.8.pdf

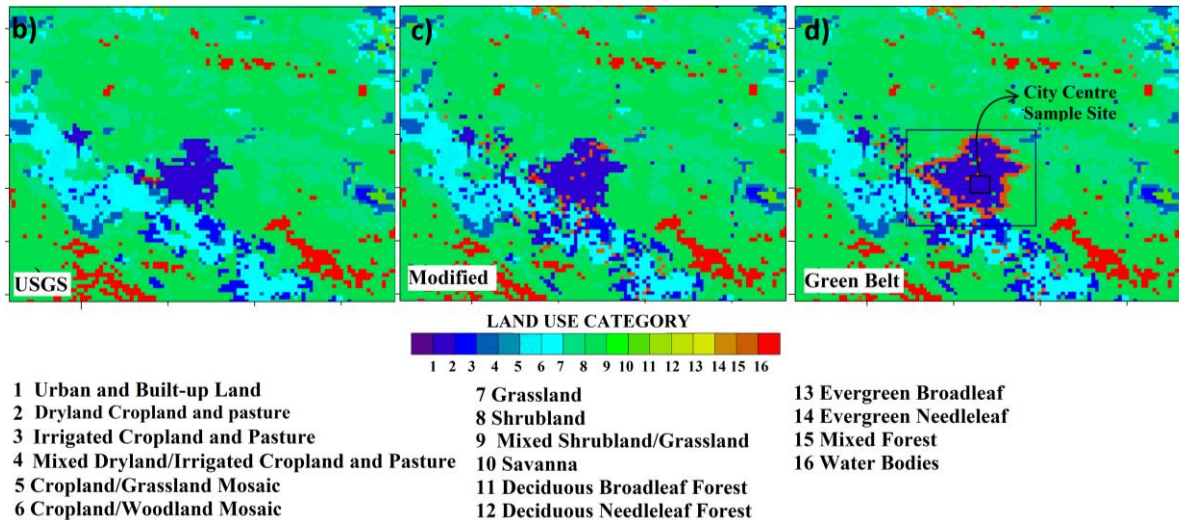
توجه به اینکه درصد بالایی از پوشش گیاهی تهران را درختان برگ‌ریز تشکیل می‌دهند و عملکرد سرمایه‌های گیاهی در فصول سرد سال به دلیل نبود تبخیر و تعرق و همچنین سایه‌کنایی گیاهی محدود می‌شود و در مطالعه حاضر بررسی تغییرات دما در تفسیرهای انجام شده اهمیت بسیاری دارد، این بازه زمانی در اوایل فصل تابستان برای انجام تحقیق انتخاب شده است.

در مرحله بعد، سناریوی کمربند سبز به منظور شبیه‌سازی مجدد پارامترهای هواشناسی و شیمی بعد از اعمال کاربری جدید در حاشیه شهر اجرا شد و نتایج به دست آمده با حالت کنترل مقایسه شد. نتایج شبیه‌سازی ۳ روز اول، زمان SPIN-UP مدل در نظر گرفته شده و در تحلیل‌های عددی لحاظ نشده است. تحلیل‌های مقایسه‌ای با استفاده از میانگین ۱۱ روزه (۱۸ تا ۳۰ ام ماه ژوئن سال ۲۰۱۶) تغییرات مشاهده شده در پارامترهای هواشناسی و غلظت سطحی آلاینده‌های گازی در دو زمان (UTC ۰۰:۰۰ و UTC ۱۲:۰۰ معادل ۰۳:۳۰ به وقت محلی (جو پیدار) و ۱۵:۳۰ به وقت محلی (جوناپیدار)) انجام شد تا ارزیابی نقش تغییرات شبانه‌روزی متغیرهای لایه مرزی بر تغییرات غلظت آلاینده‌ها امکان‌پذیر باشد.

قبل از اجراهای عددی، سیاهه انتشار به روز شده تهران مربوط به سال ۲۰۱۳ (Shahbazi et al., 2016a, b) در قالب دو فایل زمانی مجزا (wrfchemi_{00z,12z}_d04) در دامنه داخلی جایگزین مقادیر میانگین جهانی شد (شکل ۳). سیاهه انتشار تهران بر اساس چشمه‌های اصلی آلاینده شامل منابع ساکن از جمله مناطق صنعتی، مصارف خانگی، ترمینال‌ها و منابع متحرک (حمل و نقل جاده‌ای) تهیه شده است و نتایج به دست آمده نشان داده است که نشر آلاینده‌ها در سال‌های اخیر تغییرات چشمگیری داشته است. در حالی که نشر آلاینده SO_2 در جنوب شهر از پالایشگاه نفت قابل توجه بوده، نشر CO ، $VOCs$ و NO_2 در مرکز شهر به دلیل ترافیک بالا و مصارف بالای خانگی و صنعتی در مناطق پرتراکم شهری بالاتر است.

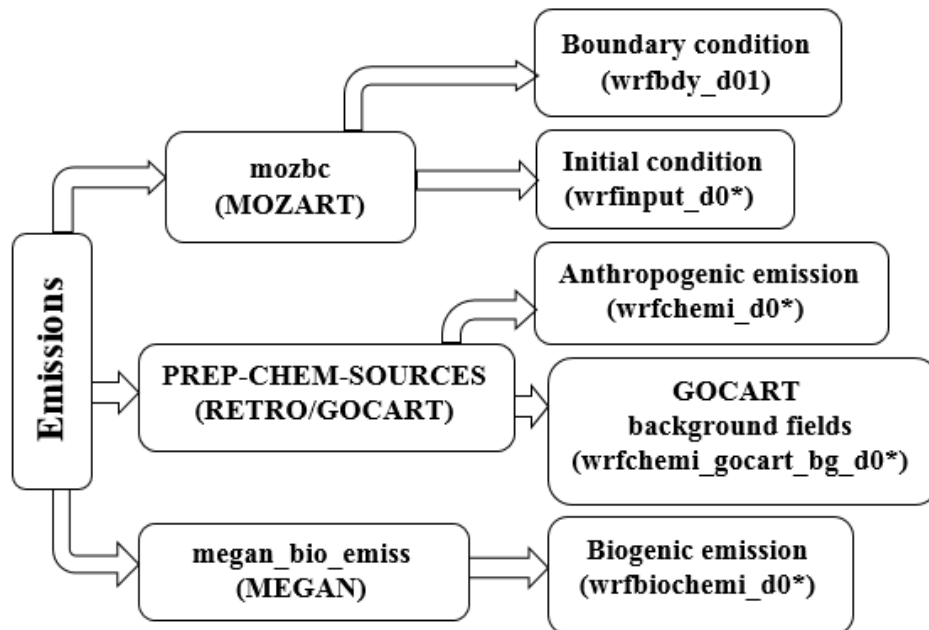
اجرای کنترل نماینده وضعیت کاربری اراضی کلان‌شهر تهران در ماه ژوئن سال ۲۰۱۶ است. بازه زمانی ۱۵ تا ۳۰ ام ماه ژوئن سال ۲۰۱۶ با شرایط آرام جوی، بدون ابرناکی و بارندگی برای انجام مطالعه عددی انتخاب شد. شهر تهران بالاترین دما و سطح عدم آسایش حرارتی را در فصل تابستان تجربه می‌کند و نظر به اینکه شاخص سطح برگ در تهران عموماً در اواخر بهار و تابستان حداکثر است این بازه زمانی برای مطالعه عددی انتخاب شده است. با





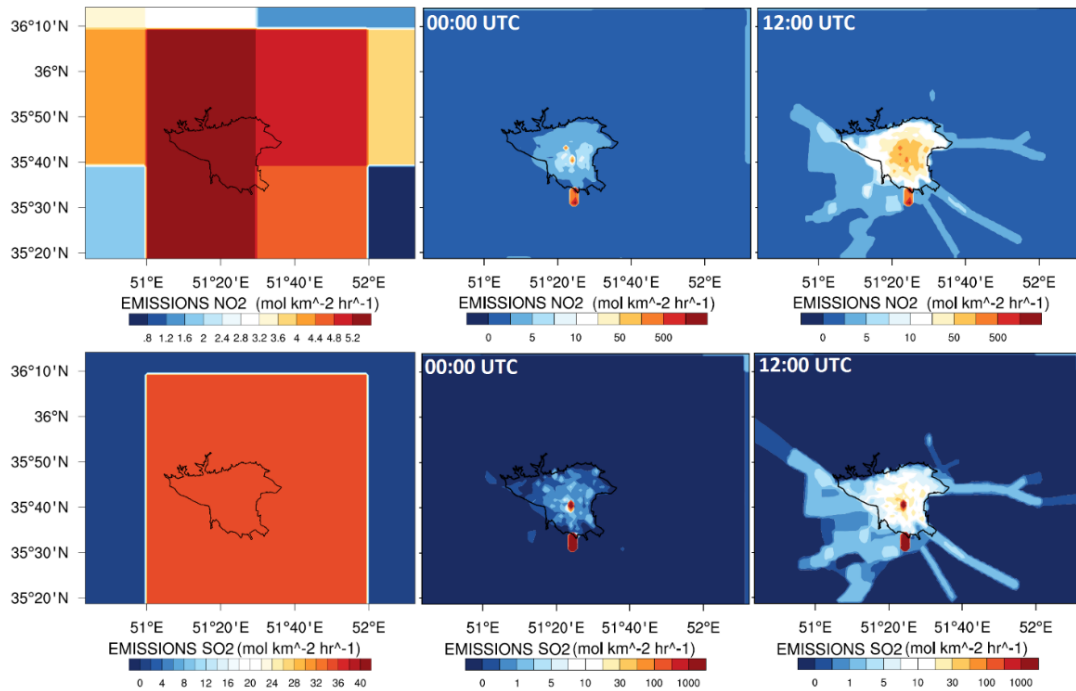
شکل ۱. ردیف بالا: چهار دامنه تعریف شده برای اجرای شبیه‌سازی‌های عددی با تفکیک افقی ۳۶، ۱۲، ۴ و ۱/۳۳ کیلومتر، ارتفاع توپوگرافی منطقه و موقعیت جغرافیایی تهران در دامنه داخلی؛ ردیف پایین: مقایسه کاربری اراضی دامنه داخلی از داده‌های آرشیو (b) USGS، تصحیح شده با استفاده از تصاویر ماهواره SENTINEL-2A (c) و طراحی ایدئال کمربند سبز تهران (d).

منبع: پژوهشگران.



شکل ۲. داده‌های جهانی نشر (MOZART, RETRO/EDGAR, MEGAN) و پیش پردازشگرها (mozbc, PREP-CHEM-) برای ساخت فایل‌های انتشار از داده‌های جهانی برای اجرای شبیه‌سازی‌های عددی WRF-Chem (SOURCES, megan_bio_emiss)

منبع: https://ruc.noaa.gov/wrf/wrf-chem/Emission_guide.pdf



شکل ۳. مقایسه نشر جهانی RETRO (ستون چپ) و سیاهه انتشار محلی تهران (۲۰۱۳) در دامنه داخلی برای آلاینده‌های NO₂ (ردیف بالا) و SO₂ (ردیف پایین)

منبع: پژوهشگران

جدول ۲. پیکربندی و تنظیمات مدل WRF-Chem و شبیه‌سازی‌های عددی اجرا شده

دوره زمانی	۱۵ تا ۳۰ ژوئن سال ۲۰۱۶
میکروفیزیک	Morrison 2-moment scheme (Morrison, Thompson and Tatarskii (2009, MWR))
تابش	Long Wave : RRTM (Mlawer et al. (1997, JGR)) Short Wave : Goddard (Chou and Suarez (1994, NASA Tech Memo))
لایه مرزی	Yonsei University scheme (Hong et al., 2006)
مدل سطح	Noah Land Surface Model (Chen and Dudhia, 2001)
لایه سطح	MM5 similarity (Grell, 1994)
فیزیک شهری	Single-Layer Urban Canopy Model (Kusaka et al. 2001)
فیزیک ابر	Kain-Fritsch scheme only for domain 1 (Kain (2004, JAM))
شیمی	CB05 (Yarwood et al., 2005; Sarwar et al., 2008)
هواویز	1998) MADE (Ackermann et al.,
بیوشیمی	MEGAN (Emmons et al., 2010)
فتولیز	Madronich F-TUV (Madronich, 1987)
تفکیک افقی	دامنه ۱: ۳۶ km (۴۷×۲۶)؛ دامنه ۲: ۱۲ km (۷۶×۲۸)؛ دامنه ۳: ۴ km (۷۶×۴۳)؛ دامنه ۴: ۱/۳ km (۱۰۳×۷۹)
تفکیک قائم	40 full Eta Levels / Model top level: 50 hPa
شرایط اولیه و مرزی	MOZART (Guenther et al., 2006) / GFS (1°×1°)
شبیه‌سازی‌های عددی	۱. کنترل (تصحیح کاربری اراضی برای دامنه داخلی) - ۲. سناریوی توسعه کمربند سبز (طراحی ایدئال کمربند سبز تهران)

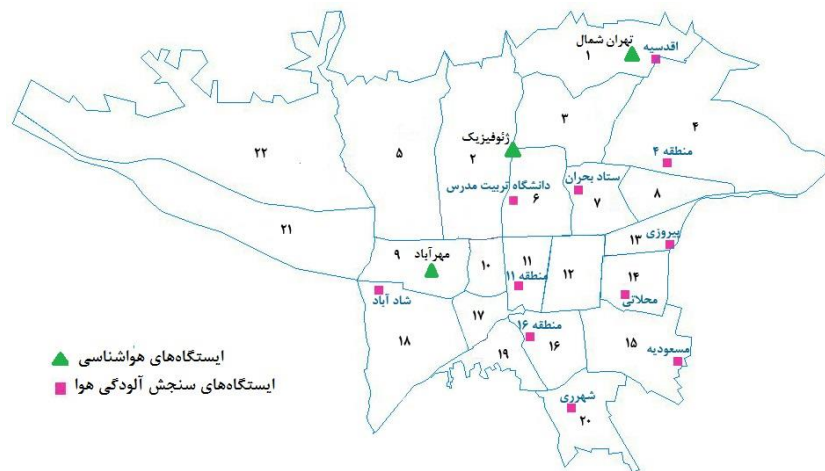
منبع: پژوهشگران

۳. نتایج

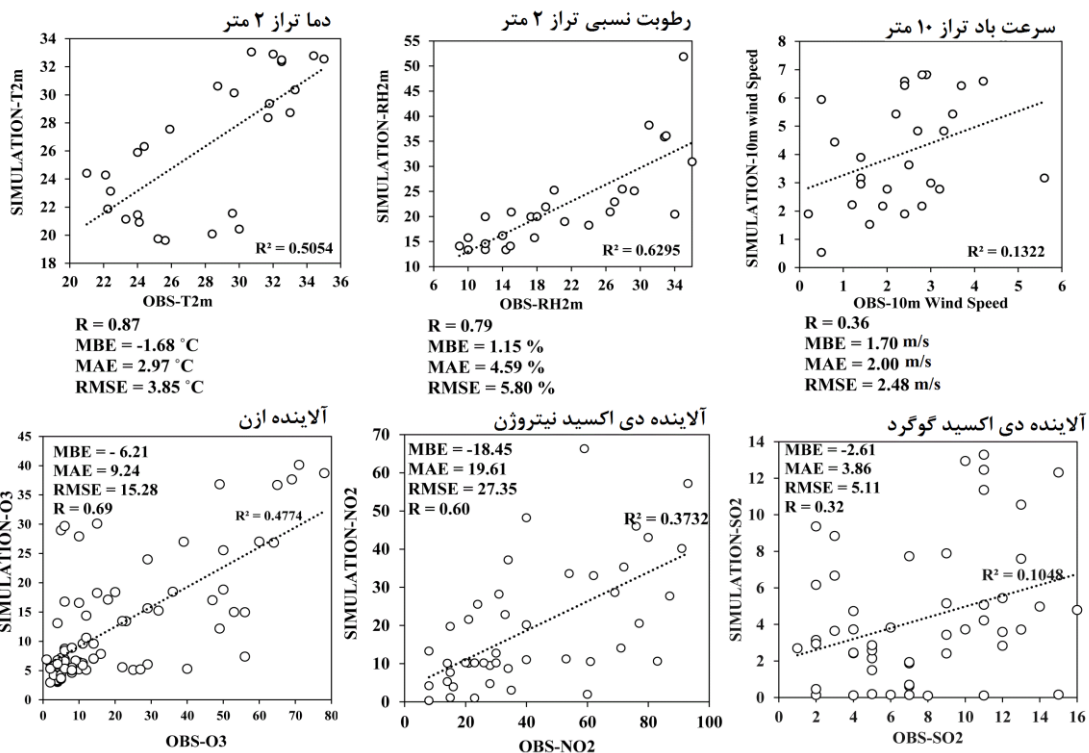
راستی‌آزمایی شبیه‌سازی عددی WRF-Chem

به منظور بررسی صحت عملکرد شبیه‌سازی‌های عددی، نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی عددی متغیرهای هواشناسی (دما تراز ۲ متر، سرعت باد تراز ۱۰ متر و رطوبت نسبی تراز ۲ متری) و غلظت متغیرهای شیمی جو (O_3 و NO_2 ، SO_2) در اجرای کنترل با مقادیر اندازه‌گیری شده در ۳ ایستگاه هواشناسی و ۱۰ ایستگاه سنجش

آلودگی هوا در سطح شهر تهران مقایسه شده است (شکل ۴). یافته‌ها حاکی از عملکرد قابل قبول مدل جفت شده هواشناسی - شیمی در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی است در حالی که درباره متغیرهای بخش شیمی خطای قابل توجهی دیده می‌شود. با این حال، مقادیر قابل قبول ضریب پیرسون (R) نشان می‌دهد که مدل روند تغییرات متغیرهای یادشده را با دقت مطلوبی شبیه‌سازی کرده است (شکل ۵).



شکل ۴. موقعیت ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا و ایستگاه‌های هواشناسی انتخاب شده در محدوده کلان‌شهر تهران



شکل ۵. نتایج راستی‌آزمایی شبیه‌سازی‌های عددی WRF-Chem

شهر به تغییرات محسوس در جهت و سرعت باد در محدوده مرکزی و حاشیه شهر منجر شده است.

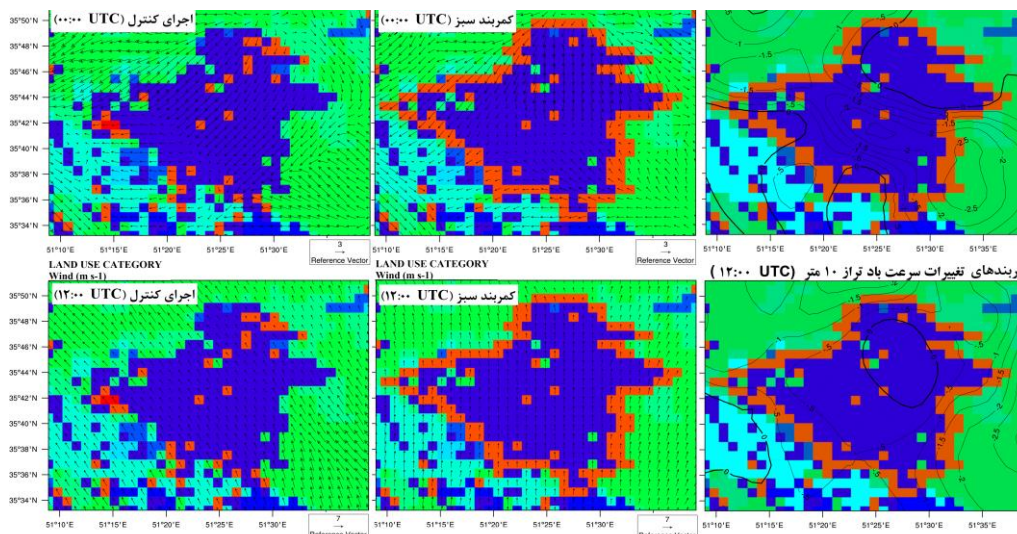
در ساعت ۰۰:۰۰ UTC در مرز شمالی علاوه بر کاهش سرعت باد روی کمربند سبز، جهت جریان باد از سمت شمال شرق به شمال تغییر پیدا کرده است. همچنین جریان هوای ورودی به شهر در حاشیه شرقی محدود شده و کاهش معناداری در سرعت باد و همچنین تغییر جهت باد مشاهده می‌شود که از نفوذ بادهای کاتاباتیک که الگوی غالب باد منطقه در طول شب هستند به مرکز و جنوب شهر کاسته است. نتایج به دست آمده در ساعت UTC ۱۲:۰۰ نشان می‌دهد که جهت غالب باد در محدوده شهر از سمت جنوب شرق به شمال غربی بوده و در برخورد با کمربند سبز به سمت شمال تغییر جهت داده و به دلیل کاهش سرعت باد، جریان هوای ورودی به شهر کاهش پیدا کرده است.

روند کلی میانگین تغییرات شبانه سرعت باد در محدوده شهر کاهشی است و در مرکز شهر به ۲ متر بر ثانیه رسیده است. با این حال، این روند کاهشی در روز تنها در حاشیه شهر و در مجاورت کمربند سبز دیده می‌شود. بالاترین مقادیر مشاهده شده در حاشیه جنوب شرق تهران به ۱/۵ متر بر ثانیه رسیده است.

دمای ۲ تراز متر با خطای ۱/۶۸ - درجه سانتی‌گراد کمتر برآورد شده است در حالی که در شبیه‌سازی رطوبت نسبی تراز ۲ متر و سرعت باد تراز ۱۰ متری به میزان ۱/۱۵ + درصد و ۱/۷۰ + متر/ثانیه درصد خطای مثبت مشاهده می‌شود. در مورد متغیرهای شیمی جو، میانگین غلظت ازن در تمامی ایستگاه‌های انتخاب شده به میزان ۶/۴۵ ppbv -، غلظت NO₂ به میزان ۱۸/۴۵ ppbv - و آلاینده SO₂ به میزان ۲/۶۱ ppbv - نسبت به مشاهدات کمتر برآورد شده‌اند. خطاهای مشاهده شده می‌تواند به دلیل عدم قطعیت قابل توجه در داده‌های نشر جهانی و سیاهه انتشار تهران و همچنین تفکیک افقی نسبتاً بالای ۱/۳۳ کیلومتر شبکه شبیه‌سازی باشد.

تغییرات مشاهده شده در متغیرهای هواشناسی مجاور سطح و ارتفاع لایه مرزی

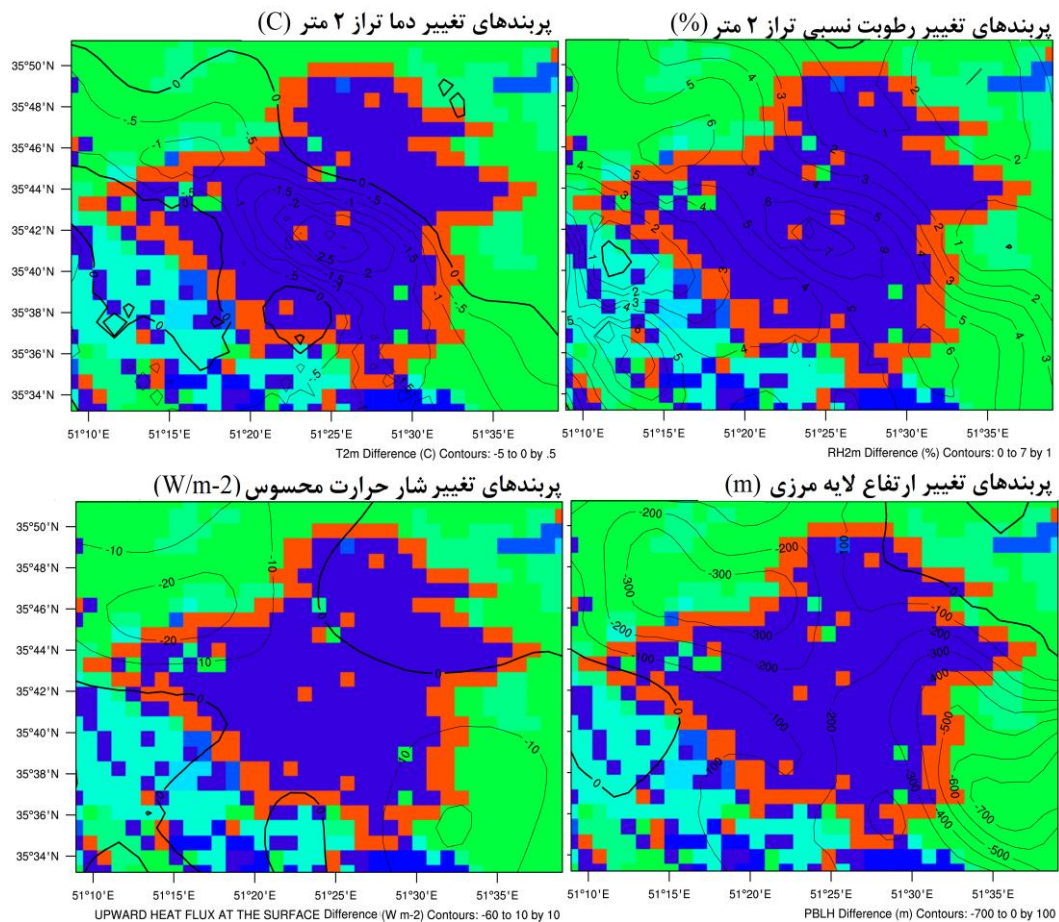
میدان باد تراز ۱۰ متر برای دو زمان مجزا (۰۰:۰۰ UTC، ۱۲:۰۰ UTC) در شبیه‌سازی‌های کنترل و سناریوی کمربند سبز و همچنین تغییرات مشاهده شده در سرعت باد در شکل ۶ نشان داده شده است. غالب بودن بادهای محلی کاتاباتیک (آناباتیک) در طول شب (روز) در منطقه بارز است. تغییر کاربری اراضی و تغییر ارتفاع زبری در حاشیه



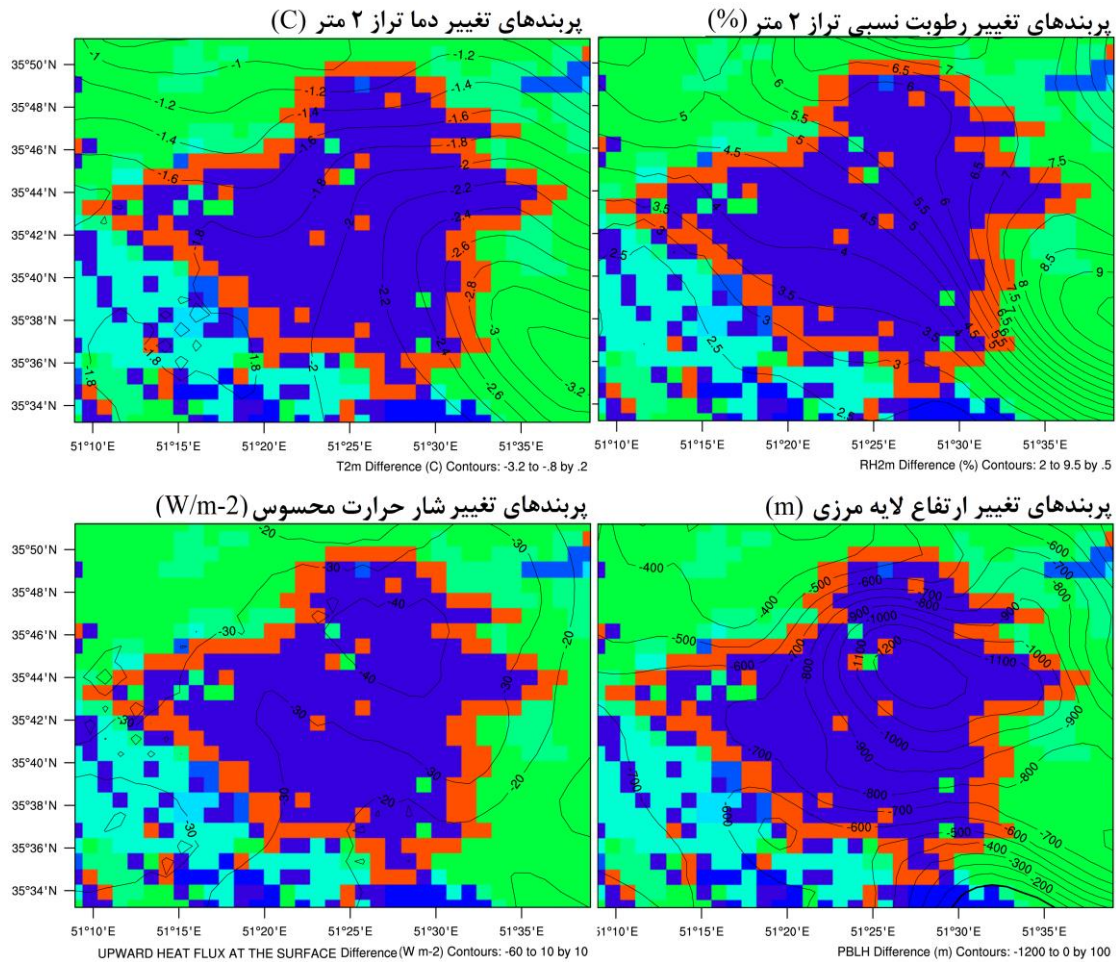
شکل ۶. الگوی میدان باد در اجرای کنترل (ستون چپ) و سناریوی کمربند سبز (ستون وسط) و پربندهای میانگین تغییرات سرعت باد تراز ۱۰ متری (ستون راست) برای دو زمان ۰۰:۰۰ UTC (ردیف بالا) و ۱۲:۰۰ UTC (ردیف پایین)؛ پس‌زمینه تصاویر کاربری اراضی منطقه در سناریوی کمربند سبز را نشان می‌دهد (شکل ۱d).

کاهش دما تا ۲ درجه سانتی‌گراد در مرکز (شکل ۹) و حاشیه شهر (شکل ۸) محسوس بوده و نشان‌دهنده نقش مثبت این گستره سبز بر کاهش دما به واسطه ایجاد سایه و تغییر در شارهای گرمایی سطح است. کاهش شار گرمای محسوس در طول روز به ۳۰- وات بر مترمربع رسیده که با الگوی کاهش دما مطابقت دارد. کاهش جریان باد سطحی نیز از انتقال هوای گرم مناطق مجاور به سطح شهر جلوگیری کرده و روند کاهش دما را تسریع می‌کند. به‌ویژه، تغییر جهت باد در برخورد با کمربند سبز در حاشیه شرقی و جنوب شرقی شهر که از نفوذ هوای گرم و خشک حاشیه شهر به محدوده مسکونی می‌کاهد کاملاً محسوس است؛ از این رو بیشترین مقادیر کاهش دما در این منطقه تا حدود ۲/۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شده است.

میانگین تغییرات مشاهده شده دمای تراز ۲ متری، رطوبت نسبی تراز ۲ متری، شار گرمای محسوس و ارتفاع لایه مرزی سیاره‌ای برای دو زمان مجزا UTC ۰۰:۰۰ و ۱۲:۰۰ در نتیجه اجرای سناریوی کمربند سبز به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. میانگین روند شبانه‌روزی تغییرات پارامترهای هواشناسی سرعت باد تراز ۱۰ متر، دمای تراز ۲ متری، رطوبت نسبی تراز ۲ متری و شارگرمای محسوس برای منطقه مرکزی شهر تهران (محدوده انتخاب شده به‌عنوان نمونه در شکل ۱d مشخص شده است) در دو اجرای کنترل و سناریوی کمربند سبز در شکل ۹ ارائه شده است. نتایج به دست آمده کاهش شبانه‌روزی دمای تراز ۲ متر تا ۳ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد (مقادیر شبیه‌سازی شده در اجرای کنترل: ۳۰ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد). مقادیر روزانه



شکل ۷. پربندهای میانگین تغییرات مشاهده شده در متغیرهای هواشناسی در نتیجه شبیه‌سازی عددی کمربند سبز کلان‌شهر تهران (UTC ۰۰:۰۰+); پس‌زمینه تصاویر کاربری اراضی منطقه در سناریوی کمربند سبز را نشان می‌دهد (شکل ۱d).



شکل ۸. مشابه شکل ۷ (۱۲:۰۰ UTC)

گستره سبز افزوده شده به حاشیه شهر، فرایند تبخیر و تعرق را افزایش داده و نقش مهمی در افزایش رطوبت محیطی ایفا می‌کند.

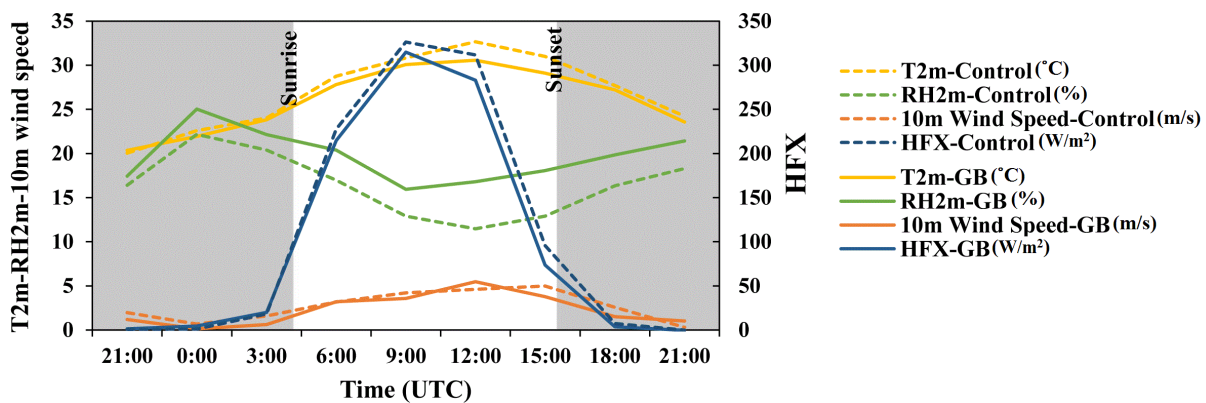
ارتفاع لایه مرزی به‌ویژه در طول شب یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر غلظت آلاینده‌های جوی است. نتایج شبیه‌سازی عددی در اجرای کنترل نشان می‌دهد که ارتفاع لایه مرزی در شهر تهران در طول شب به حدود ۶۰۰-۸۰۰ متر و در طول روز به بیش از ۲۰۰۰ متر می‌رسد. الگوی کلی تغییرات ارتفاع لایه مرزی در نتیجه اجرای سناریوی کمربند سبز کاهشی است. مقادیر شبانه در مرکز شهر به ۲۰۰ متر و در حاشیه شمال غربی و جنوب شرقی به ترتیب به ۳۰۰- و ۵۰۰- متر می‌رسد که با الگوی کاهش

در مرکز شهر افزایش رطوبت نسبی تا حدود ۷ درصد در شب (مقادیر شبیه‌سازی شده در اجرای کنترل: ۲۱-۲۳ درصد) و حدود ۴ درصد (مقادیر شبیه‌سازی شده در اجرای کنترل: ۱۵-۱۸ درصد) در طول روز مشاهده می‌شود (شکل‌های ۷ و ۸).

سطح رطوبت نسبی در فصل تابستان در محدوده شهرها به دلیل آبیاری فضاهای سبز، وجود پارک‌ها و دریاچه‌های مصنوعی و همچنین مصارف خانگی بالاتر از اراضی بایر حاشیه شهر است. کم شدن سرعت باد و تغییر جهت قابل توجه آن در حاشیه شهر باعث انباشت رطوبت در محدوده شهر شده و همچنین از اختلاط هوای خشک با هوای مرطوب‌تر محدوده شهر می‌کاهد. علاوه بر این،

در حاشیه کمربند سبز می‌رسد. کاهش دما و شارهای گرمایی سطح موجب کاهش فرایندهای همرفتی سطحی و تلاطم شده و عمق لایه مرزی را به شکل چشمگیری کاهش داده است.

دما مطابقت دارد. علاوه بر این، در طول شب به دلیل کاهش سرعت باد، نقش عوامل دینامیکی سطح در ایجاد تلاطم کم شده و در نتیجه ارتفاع لایه مرزی کاهش محسوسی را نشان می‌دهد. مقادیر کاهش شبیه‌سازی شده در طول روز به ۱۰۰۰- متر در مرکز شهر و ۵۰۰- متر



شکل ۹. مقایسه روند شبانه‌روزی تغییرات متغیرهای هواشناسی در مرکز شهر تهران در اجرای کنترل (Control) و سناریوی کمربند سبز (GB)

این آلاینده در طول روز در تمامی مناطق شهر بارز بوده و به حدود ۰/۰۷ ppbv در نواحی شمالی شهر می‌رسد.

بیشترین نرخ افزایش غلظت آلاینده‌های SO₂ و NO₂ در طول روز به ترتیب با مقدار ۰/۰۲ ppmv و ۰/۰۱۶ در نوار مرکز شهر دیده می‌شود که نتیجه تغییرات جهت باد اشاره شده در بخش قبل است و ترکیبات گازی چشمه‌های آلاینده جنوب شهر را مستقیماً به شهر تزریق می‌کند. در طول شب، حدود ۰/۰۲ ppmv افزایش در غلظت SO₂ و تا حدود ۰/۰۶ ppmv برای NO₂ به دست آمده است که با توجه به الگوی جنوب سوی باد، نشر این آلاینده‌ها به مناطق شمالی شهر محدود شده است. مقادیر نشان داده نشده در این بخش شهر از مرتبه ۱۰^{-۵} ppmv است. این نتایج نشان می‌دهد که جریان باد مهم‌ترین عامل در تعیین الگوی پخش آلاینده‌ها است.

به‌رغم کاهش دما و تأثیر مثبت آن بر کاهش تولید فتوشیمیایی ازن، غلظت روزانه این آلاینده نیز روند افزایشی چشمگیری را در محدوده شهر و حاشیه آن نشان

تغییرات مشاهده شده در غلظت سطحی آلاینده‌های

جوی

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، توسعه کمربند سبز در حاشیه شهر تهران تغییرات قابل توجهی در سرعت و جهت باد و در نتیجه الگوی پخش جوی در محدوده شهر ایجاد می‌کند. علاوه بر این، کاهش ارتفاع لایه مرزی و فرایندهای تلاطمی ناشی از کاهش دما، جریان همرفتی هوا را کاهش داده و آن چنانکه انتظار می‌رفت، نتایج شبیه‌سازی عددی روند افزایشی غلظت آلاینده‌های سطحی در محدوده شهر را تأیید می‌کند (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

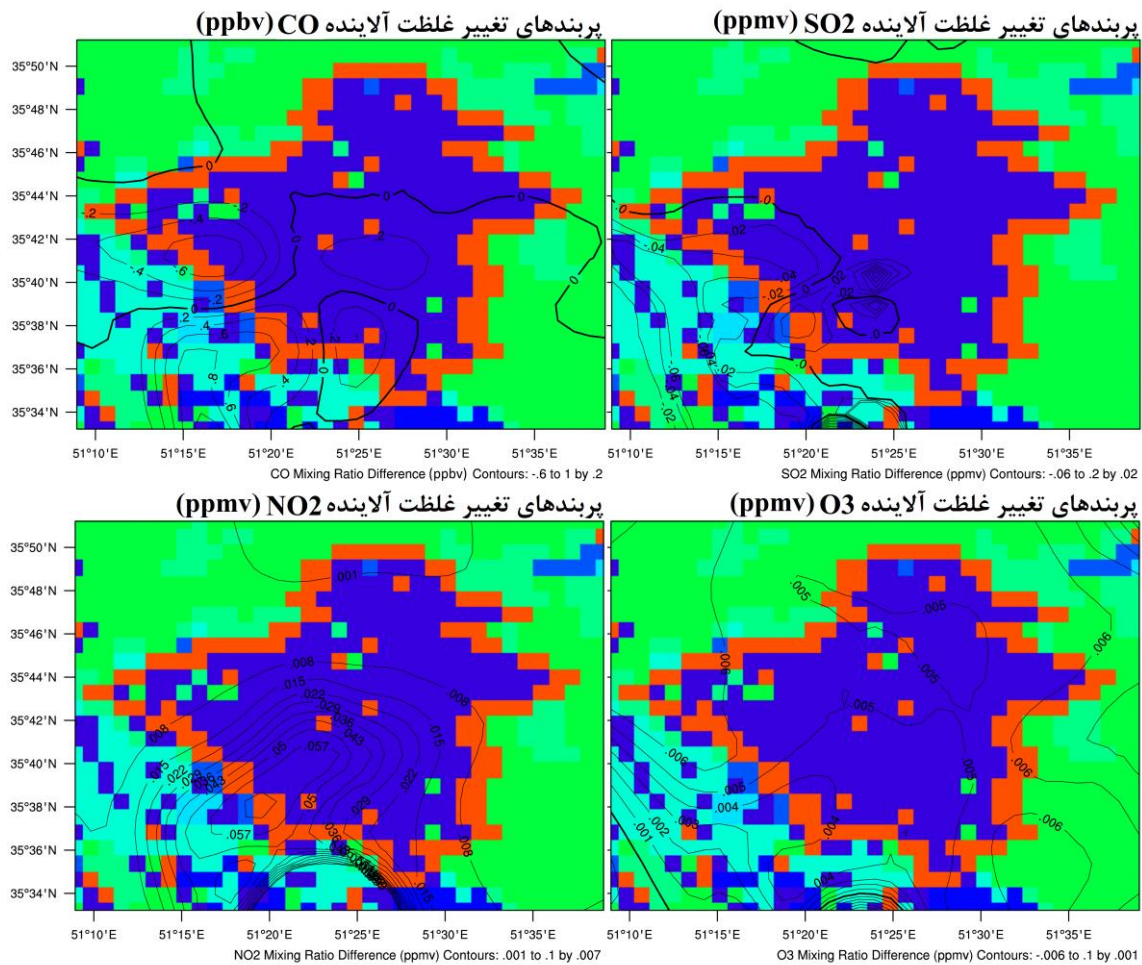
طبق یافته‌های تحقیق حاضر، آلاینده CO در مرکز و محدوده حاشیه جنوب غربی به میزان ۰/۲ ppbv افزایش و در حاشیه غربی و جنوب شهر روندی کاهشی تا حدود ۰/۶ ppbv- و ۰/۲ ppbv- را در شب نشان می‌دهد. مقادیر افزوده شده در سایر مناطق از مرتبه ۱۰^{-۳} بوده و در شکل نشان داده نشده است. از طرف دیگر، روند افزایش غلظت

کارآیی آن‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. مدل‌های عددی جفت شده هواشناسی - شیمی جو امکان شبیه‌سازی و ارزیابی این تأثیرات را فراهم می‌آورند چراکه به‌طور هم‌زمان برهمکنش فرایندهای شیمی جو و پارامترهای هواشناسی لایه مرزی را لحاظ کرده و به تدوین کارآمدترین سناریوها با حداقل آثار نامطلوب کمک شایانی می‌نمایند. مطالعات مرتبط در این زمینه نشان داده‌اند که عملکرد بهینه ساختارهای سبز شهری گسترده از جمله کمربند سبز و کوریدورهای سبز بستگی به ویژگی‌های اقلیمی منطقه از جمله میدان باد و همچنین طراحی و مکان‌یابی دقیق آن‌ها با توجه به چشمه‌های آلودگی و گردوغبار منطقه دارد (Islam et al., 2012; Baldauf, 2017).

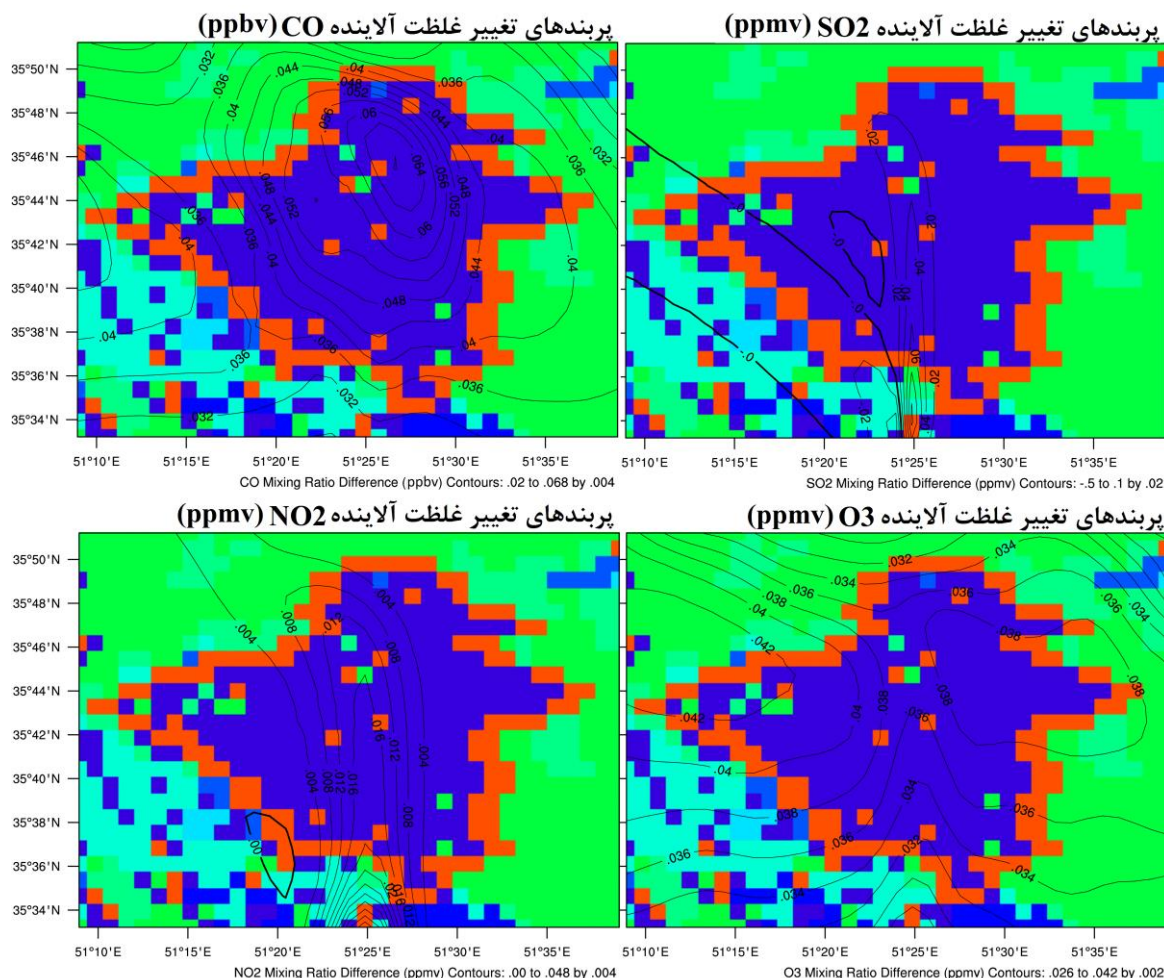
می‌دهد. کاهش ارتفاع لایه مرزی و تلاطم باعث افزایش غلظت سطحی ترکیبات NO_x و VOCs شده که روند تولید ازن را تسریع می‌کنند. علاوه بر این، در طول شب، انتقال ترکیبات NO_x به ترازهای بالاتر محدود شده و فرایند مصرف ازن کاهش می‌یابد. بیشترین مقادیر شبیه‌سازی شده به ترتیب 0.005 ppmv در شب و $0.042 - 0.032 \text{ ppmv}$ در طول روز هستند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

برنامه‌های توسعه فضای سبز شهری از جمله کمربند سبز علاوه بر هزینه‌بر بودن جزء راهکارهای بلندمدت برای کاهش آلودگی هوا و بهبود شرایط آسایش محیطی محسوب می‌شوند، از این‌رو مدیریت صحیح و پیش‌بینی



شکل ۱۰. پربندهای میانگین تغییرات مشاهده شده در غلظت سطحی آلاینده‌های گازی در نتیجه شبیه‌سازی عددی کمربند سبز کلان‌شهر تهران (UTC++); پس‌زمینه تصاویر کاربری اراضی منطقه در سناریوی کمربند سبز را نشان می‌دهد (شکل ۱د).



شکل ۱۱. مشابه شکل ۱۰ (۱۲:۰۰ UTC)

است. از طرف دیگر، این رویکرد سبز شهری با کاستن از سرعت باد و تغییر جهت باد غالب منطقه و از طرفی، کاهش ارتفاع لایه مرزی موجب انباشت هوای آلوده در سطح شهر شده است. به ویژه در طول شب، فضای سبز حاشیه شمالی شهر از نفوذ بادهای محلی کوهستانی به سطح شهر کاسته و کاهش قابل توجهی در سرعت باد در مرکز شهر دیده می شود که اثری منفی بر وضعیت آلودگی هوا و جزیره گرمایی در این منطقه دارد. علاوه بر این، تغییر جهت باد و همچنین کمربند سبز حاشیه غربی شهر که از خروج هوای آلوده و ورود هوای پاک حومه شهر جلوگیری می کند، تأثیر منفی بر تراکم آلاینده های صنعتی در این بخش شهر دارد. مطالعات میدانی مرتبط برای برآورد صحت نتایج شبیه سازی عددی پیشنهاد می شود. بر

همچنین کاهش سرعت باد، شارهای تلاطمی و انتقال تکانه نیز در مطالعات متعددی گزارش شده است که اثبات می کند ویژگی های آئرو دینامیکی درختان در برخی موارد نقشی منفی بر کیفیت هوا در شهرها دارد (Salmond et al., 2013; Vos et al., 2013; Giometto et al., 2017). مطالعه حاضر نیز نتایج مشابهی را در این زمینه نشان می دهد. توسعه کمربند سبز در حاشیه شرق و جنوب شرق در طول روز با کاستن از حجم هوای ورودی گرم و خشک حومه شهر به سطح شهر موجب کاهش دما و افزایش سطح رطوبت نسبی در محدوده شهر شده است که مؤید نقش مثبت این گستره سبز در بهبود آسایش محیطی است. همچنین اثر سرمایشی این فضای سبز در حاشیه شهر با کاستن از دما و شار گرمای محسوس قابل توجه

که در قالب تعریف سناریوهای جدید شبیه‌سازی شده و نتایج بررسی شود.

تشکر و قدردانی

از سازمان هواشناسی کشور (<http://irimo.ir>) و همچنین شرکت کنترل کیفیت هوا وابسته به شهرداری تهران (<http://air.tehran.ir>) و سازمان محیط‌زیست تهران (<https://doe.ir>) برای در اختیار گذاشتن داده‌های مشاهداتی قدردانی می‌شود.

یادداشت‌ها

1. Weather Research and Forecasting Model
2. single layer urban canopy model
3. Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature
4. planetary boundary layer height
5. FRC_URB -Fraction
6. roof level (building height)
7. anthropogenic heat [$W m^{-2}$]
8. anthropogenic latent heat [$W m^{-2}$]
9. surface albedo of roof [fraction]
10. U.S. Geological Survey
11. Albedo
12. emissivity
13. leaf area index
14. boundary condition
15. initial condition
16. Carbon bond chemical mechanism
17. Modal Aerosol Dynamics Model for Europe
18. isoprene

اساس نتایج به دست آمده در این مطالعه، کاشت گیاهان کم ارتفاع و غیرمترکم که تأثیر کمتری بر روند جریان باد و تهویه طبیعی سطح شهر دارند در حاشیه کلان‌شهر تهران پیشنهاد می‌شود. در خصوص نقش افزایش نشر ترکیبات ارگانیک فرار از پوشش گیاهی افزوده شده به منطقه به‌ویژه ترکیبات ایزوپرن^{۱۸} بر غلظت ازن و همچنین نقش تغییرات غلظت ذرات معلق که از مهم‌ترین آلاینده‌های کلان‌شهر تهران محسوب می‌شوند بر بودجه تابشی جو و تغییر دما که مستقیماً واکنش‌های تولید ازن را کنترل می‌کنند مطالعات بیشتر مورد نیاز است. لازم به ذکر است که در این مقاله اثر برج‌های شهر تهران به‌ویژه برج‌های ساخته شده یا در حال ساخت در غرب و شمال تهران بر کیفیت هوا نادیده گرفته شده است. نظر به آثار مخرب این برج‌ها بر پارامترهای هواشناسی و آلودگی هوای شهر تهران به دلیل تغییرات معنادار در پارامترهایی همچون ارتفاع ساختمان و کسر تراکم ساختمانی که مستقیماً پارامتر طول زبری در منطقه را تغییر می‌دهد و در نتیجه انتظار می‌رود که نمایه‌های قائم باد و دما تغییرات محسوسی داشته باشند، انجام مطالعات مرتبط در این زمینه پیشنهاد می‌شود. در این مورد اطلاعات دقیق درباره ارتفاع سازه‌ها و همچنین مصالح مورد استفاده (به‌منظور تصحیح آلیبدوی سطوح بام و دیوارها در کنیون شهری در جداول پیش‌فرض مدل عددی WRF) مورد نیاز بوده و لازم است

منابع

گزارش سالانه کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۶. QM97/02/01(U)/1. اردیبهشت ماه ۱۳۹۷. شرکت کنترل کیفیت هوا.

Abhijith, K.V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Sabatino, S.D. and Pulvirenti, B. 2017. Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments - A review. *Atmospheric Environment*. 162: 71-86.

Ackermann, I.J., Hass, H., Memmesheimer, M., Ebel, A., Binkowski, F.S. and Shankar, U. 1998. Modal aerosol dynamics model for Europe: Development and first applications. *Atmospheric Environment*. 32(17): 2981-2999.

Alizadeh-Choozari, O., Ghafarian, P. and Adibi, P. 2016a. Inter-annual variations and trends of the urban warming in Tehran. *Atmos. Res.* 170:pp.176-185.

Amati, M. and Yokohari, M. 2004. The actions of landowner, government and planners in establishing the London green belt of the 1930s, *Journal of Landscape and Urban Planning*, 65: 135-147.

Baldauf, R., 2017. Roadside vegetation design characteristics that can improve local, near-road air quality. *Transp. Res. Part D. Transp. Environ.* 52: 354-361.

- Brantley, H.L., Hagler, G.S.W., J. Deshmukh, P. and Baldauf, R.W., 2014. Field assessment of the effects of roadside vegetation on near-road black carbon and particulate matter. *Sci. Total Environ.* 468-469: 120-129.
- Carter, W.P.L. 1994. Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds. *Journal of Air and Waste Management Associations.* 44: 881-899.
- Chen, F., and Dudhia, J. 2001. Coupling an advanced land-surface/ hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part I: Model description and implementation. *Mon. Wea. Rev.* 129: 569-585.
- Chou, M. D., and Suarez, M.J. 1994. An Efficient Thermal Infrared Radiation Parameterization for Use in General Circulation Models. NASA Technical Memorandum No. 104606. 3, 85 p.
- Churkina, G., Kuik, F., Bonn, B., Lauer, A., Grote, R., Tomiak, K. and Butler T.M. 2017. Effect of VOC Emissions from Vegetation on Air Quality in Berlin during a Heatwave. *Environ. Sci. Technol.* 51 (11): 6120-6130.
- Delkash, M. and Mir, H. M. 2016. Examining some potential actions in mitigating gaseous emissions from vehicles, case study: Tehran. *Air Quality, Atmosphere & Health.* 9: 909-921.
- Emmons, L.K., Walters, S., Hess, P.G., Lamarque, J.F., Pfister, G.G. and Fillmore, D. 2010. Description and evaluation of the model for ozone and related chemical tracers, version 4 (MOZART-4). *Geosci. Model Dev.* 3: 43-67.
- Escobedo, F.J. and Nowak, D.J. 2009. Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landsc. Urban Plan.* 90:102-110.
- Giometto, M. G., Christen, A, Egli, P.E, Schmid, M.F, Tooke, R.T, Coops, N.C. and Parlange, M.B. 2017. Effects of trees on mean wind, turbulence and momentum exchange within and above a real urban environment. *Advances in Water Resources* 106: 154-168.
- Grell, G. A., Dudhia, J. and Stauffer, D. R. 1994. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Tech. Note NCAR TN-398-1-STR, 117 pp.
- Grell, G.A., Peckham, S.E., Schmitz, R., McKeen, S.A., Frost, G., Skamarock, W.C. and Eder, B. 2005. Fully coupled online chemistry within the WRF model, *Atmos. Environ.* 39: 6957-6975.
- Guenther, A., Karl, T., Harley, P., Wiedinmyer, C., Palmer, P. I. and Geron, C. 2006. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature). *Atmos. Chem. Phys.* 6 (11): 3181-3210.
- Hong, S.Y., Yign N. and Jimmy D. 2006. A New Vertical Diffusion Package with an Explicit Treatment of Entrainment Processes. *Mon. Wea. Rev.* 134:2318-2341.
- Janhäll, S. 2015. Review on urban vegetation and particle air pollution Deposition and dispersion. *Atmos. Environ.* 105: 130-137.
- Islam, M.N., Rahman, K.S., Bahar, M.M., Habib, M.A., Ando, K. and Hattori, N., 2012. Pollution attenuation by roadside greenbelt in and around urban areas. *Urban Forestry and Urban Greening.* 11: 460-464.
- Joshi, P.C. and Swami, A. 2007. Physiological responses of some tree species under roadside automobile pollution stress around city of Haridwar, India, *The Environmentalist Journal.* 27: 365-37.
- Kain, s. 2004. The Kain-Fritsch Convective Parameterization: An Update. *Journal of Applied Meteorology.* 43: 170-181.
- Kusaka, H., Kondo, H., Kikegawa, Y. and Kimura, F. 2001. A simple single layer urban canopy model for atmospheric models: comparison with multi-layer and slab models. *Boundary-Layer Meteorology.* 101: 329-358.
- Madronich, S. 1987. Photo dissociation in the atmosphere: 1. actinic flux and the effect of ground reflections and clouds. *J. Geophys. Res.* 92:9740-9752.
- Mlawer, E.J., Taubman, S.J., Brown, P.D., Iacono, M.J. and Clough, S.A. 1997. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research.* 102:0148-0227.
- Morakinyo, T.E., Lam, Y.F., 2016. Simulation study of dispersion and removal of particulate matter from traffic by road-side vegetation barrier. *Environmental Science and Pollution Research.* 23: 6709-6722.
- Morrison, H., Thompson, G. and Tatarskii, V. 2009. Impact of cloud microphysics on the development of trailing stratiform precipitation in a simulated squall line: Comparison of one- and two-moment schemes. *Mon. Wea. Rev.* 137: 991-1007.
- Neft, I., Scungio, M., Culver, N., Singh, S., 2016. Simulations of aerosol filtration by vegetation: validation of existing models with available lab data and application to near-roadway scenario. *Aerosol Sci. Technol.* 50: 937-946.
- Parham, B., Mojtaba, A., Donya, F. and Hanyieh, A. 2011. *Landscaping in the urban boulevards.* (First, Ed.). Tahan publication.
- Petroff, A., Mailliat, A., Amielh, M. and Anselmet, F. 2008. Aerosol dry deposition on vegetative canopies. Part I: review of present knowledge. *Atmos. Environ.* 42: 3625-3653.

- Salmond, J.A., Williams, D.E., Laing, G., Kingham, S., Dirks, K., Longley, I. and Henshaw, G.S., 2013. The influence of vegetation on the horizontal and vertical distribution of pollutants in a street canyon. *Sci. Total Environ.* 443:287-298.
- Sarwar, G., Luecken, D., Yarwood, G., Whitten, G. Z. and Carter, W. P. L. 2008. Impact of an updated carbon bond mechanism and an updated carbon bond mechanism and predictions from the CMAQ modeling system: preliminary assessment. *J. Appl. Meteor Climatol.* 47: 3-14.
- Schell B., Ackermann, I.J., Hass, H., Binkowski, F.S. and Ebel, A. 2001. Modeling the formation of secondary organic aerosol within a comprehensive air quality model system, *Journal of Geophysical research*, 106: 28275-28293.
- Seco, R., Peñuelas, P. and Filella, I. 2007. Short-chain oxygenated VOCs: Emission and uptake by plants and atmospheric sources, sinks, and concentrations. *Atmospheric Environment.* 41(12): 2477-2499.
- Shahbazi, H., Reyhanian, M., Hosseini, V. and Afshin, H., 2016a. The relative contributions of mobile sources to air pollutant emissions in Tehran, Iran: an emission inventory approach. *Emission Control Sci. Technol.* 2 (1): 44-56.
- Shahbazi, H., Taghvaei, S., Hosseini, V. and Afshin, H. 2016b. A GIS based emission inventory development for Tehran. *Urban Clim.* 17: 216-229.
- Speak, A.F., Rothwell, J.J., Lindley, S.J. and Smith, C.L. 2012. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmos. Environ.* 61: 283-293.
- Vos, P.E.J., Maiheu, B., Vankerkom, J. and Janssen, S., 2013. Improving local air quality in cities: to tree or not to tree? *Environ. Pollut.* 183: 113-122.
- Yarwood, G., Rao, S., Yocke, M. and Whitten, G. Z. 2005. Updates to the carbon bond chemical mechanism: CB05. Final report to the the U.S. EPA, RT-0400675, 246pp [Available online at <http://www.camx.com>].