

شبیه‌سازی عددی عملکرد برنامه های کنترلی جزیره گرمایی تابستانه کلان شهر تهران بوسیله

ارزیابی شارهای حرارتی

ولی اله شیخی؛ دانشجوی دکتری تخصصی هواشناسی. دانشگاه هرمزگان. هرمزگان. ایران

؛ استادیار دانشکده علوم و فنون، دانشگاه هرمزگان. هرمزگان. ایران.^۱ حسین ملکوتی

سرمد قادر؛ دانشیار گروه فیزیک فضا. موسسه ژئوفیزیک. دانشگاه تهران. تهران. ایران.

پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴

دریافت مقاله : ۱۳۹۹/۰۹/۲۵

چکیده

افزایش میزان رشد جمعیت و در نتیجه توسعه نواحی شهری می توانند به شدت بر روی وقایع آب و هوایی تاثیر گذاشته و در نتیجه باعث تشدید پدیده‌هایی مانند تنش گرمایی شوند. با توجه به تاثیرات مورد انتظار این پدیده بر سلامت انسان، ارائه راهکارهای عملیاتی تعدیل کننده جهت کنترل شرایط آینده بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف شبیه‌سازی تاثیر راهکارهای برنامه‌ریزی شهری بر فرایندهای پویا در محیط شهری و در مقیاس محلی در شهر تهران با استفاده از مدل عددی میان‌مقیاس WRF انجام شد. شبیه‌سازی‌ها با استفاده از ۴ دامنه تو در تو با یک رویکرد تعاملی دو طرفه اجرا شدند. در این مطالعه از یک مدل کنپی شهری تک لایه‌ای ساده و یک رویکرد چند لایه‌ای پیشرفته‌تر به نام تعیین پارامتر ساختمانی (BEP) استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی‌ها پس از مقایسه دو طرح شهری، با یک حساسیت‌سنجی برای راهبردهای مختلف، نشان داد که سناریوی تغییر سبیدیایی سطوح، بیشترین تاثیر را روی سطح زمین در مقایسه با دو سناریوی افزایش مناطق سبز شهری و کاهش تراکم ساختمانی دارد. به دلیل موقعیت توپوگرافیکی خاص تهران و درجه حرارت کلی بالا در این منطقه، تهران در مقابل تنش گرمایی به میزان نسبتاً بالایی آسیب‌پذیر است. اعمال اقدامات کنترلی می‌تواند شدت جزیره حرارتی را تا ۳ درجه سانتی‌گراد (در مقایسه با شدت جزیره حرارتی $5/5^{\circ}C$ برای حالت پایه) هنگام استفاده از رنگ‌های روشن با بازتابندگی بالا برای سقف و ۱ درجه سانتی‌گراد با جایگزینی سطوح غیر قابل نفوذ با پوشش گیاهی طبیعی در مناطق شهری تهران، کاهش دهد.

واژه های کلیدی: تغییر اقلیم؛ سقف‌های روشن؛ جزیره حرارتی شهری؛ کاربری اراضی؛ مدل WRF

مقدمه

به دلیل رشد سریع شهرها در سراسر جهان، آگاهی از پدیده محلی جزیره گرمای شهری (UHI) در دهه‌های گذشته، در تحقیقات برنامه‌ریزی شهری، اجتماعی و اقتصادی افزایش یافته است. جزیره حرارتی شهری تمایل یک منطقه شهری به گرم‌تر شدن نسبت به محیط‌های روستایی خود، و تولید محیط زیست مخصوص خود به دلیل ویژگی‌های شعاعی و هندسی خاص آن، را نشان می‌دهد (T. R. Oke, 1982). مواد با سپیدایی کم، سطوح غیر قابل نفوذ مثل آسفالت، جاده‌ها و سقف‌ها، بخش عمده‌ای از تابش خورشیدی را جذب می‌کنند و در مادون قرمز تابش می‌کنند (Taha, 1997). به طور معمول دمای متوسط سالانه مناطق مرکزی یک شهر بزرگ، حداقل حدود ۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد بالاتر از مناطق اطراف آن است، و در شب‌های آرام و صاف، دمای واقعی می‌تواند تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر باشد (T. Oke & Cleugh, 1987). اختلاف دمای (سطح) شهری و روستایی به عنوان شدت جزیره حرارتی شهری (UHII) تعریف می‌شود و می‌تواند از داده‌های ماهواره‌ای یا با مقایسه دمای‌های سطح زمین مشاهداتی یا مدل شده در مکان‌های خاص داخل و اطراف منطقه شهری حاصل شود.

گرمای اضافی تولید شده توسط احتراق سوخت، تهویه مطبوع و یا سایر فعالیت‌های انسانی و همچنین اثرات زبری ایجاد شده توسط ساختارهای ساختمانی به "طراحی" دینامیک خاص جوی منجر می‌شود که منجر به تغییر الگوهای گردش شهری و روستایی می‌شود (Arnfield, 2003). علاوه بر مشکلات بهداشتی تولید شده توسط افزایش دما، سرعت واکنش‌های فتوشیمیایی می‌تواند کیفیت هوا در داخل شهر را بدتر کند (آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (EPA, 2013)). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که تغییرات آب و هوایی در حال وقوع است (شکل ۱) که باعث افزایش رویدادهای شدید آب و هوایی می‌شود. این تغییرات تاثیر مستقیم بر سلامت جمعیت، میزان بیماری‌ها و مرگ و میر خواهد داشت (D. O. Aström, 2011). احمدی نژاد و همکاران (Ahmadnezhad et al., 2013) نشان دادند که زمان رخداد امواج گرمایی در تهران از ماه ژوئن شروع شده و در ماه جولای به حداکثر مقدار خود می‌رسد و تا ماه آگوست ادامه می‌یابد (شکل ۱). آنها همچنین مرگ و میر بیش از اندازه در طول ۱۷ موج گرمایی در تهران، که حدود ۸/۹ مرگ بر هر موج گرمایی بوده است را نشان دادند. بر اساس این مطالعه بزرگترین نسبت مرگ (۱۰۰۵ مرگ در ۸ روز) و همچنین مرگ و میر بیش از حد (۱۹/۲٪) در موج گرمایی ۲۰۰۹، که داغ‌ترین موج با میانگین حداکثر دمایی روزانه ۴۰ درجه سانتی‌گراد بود رخ داد. تعداد مرگ و میر در طول تمام امواج گرما در دهه گذشته حدود ۱۴۴۷۵ مورد بود که دارای میانگین ارزش حدود ۸۵۱ مرگ و میر در طول موج گرما را نشان می‌دهد. کاهش دما از طریق کاهش UHI یک کلید مهم برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران کلان شهری در تهران است تا شرایط بهتری از آسایش انسان و سلامت انسان به دست آورند.

راهبردهای خاص برنامه‌ریزی شهری مانند سقف‌های سبز یا نما و مواد با بازتابندگی بالا می‌توانند UHI را کاهش دهند. طاها (Taha, 1997) نشان داد که افزایش سپیدایی به اندازه ۰/۱۵ می‌تواند دمای هوای تابستانی را برای منطقه شهری لس‌آنجلس تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد کاهش دهد. سالامانکا و همکاران (Salamanca et al., 2012) اعلام کردند که یک سپیدایی بالاتر باعث کاهش مصرف انرژی توسط تهویه مطبوع در حدود ۵ درصد در فصل تابستان برای منطقه مادرید می‌شود. مطالعه

موردی انجام شده توسط اشرفی و همکاران (۱۳۹۱) در شهر تهران نیز نشان داده است که میزان اثرگذاری استفاده از فناوری بام خنک در فصول مختلف سال و ساعات مختلف شبانه‌روز بدلیل متغیر بودن انرژی تابشی خورشید متفاوت می‌باشد. بر اساس این مطالعه استفاده از سطوح سرد باعث کاهش نیاز به استفاده از انرژی جهت سرمایش ساختمان‌ها می‌شود و از این‌رو و بدلیل اهمیت مسئله صرفه‌جویی در مصرف انرژی استفاده از سطوح انعکاسی به صورت گسترده توصیه شده است (اشرفی، ۱۳۹۱). همچنین استفاده از سطوح با سپیدایی بالا برای کاهش شدت جزیره حرارتی در تهران توسط شاه محمدی و همکاران (Shahmohamadi, 2011) پیشنهاد شد. مطالعات مختلفی در رابطه با کاهش مصرف انرژی منطقه‌ای ناشی از سقف‌های با سپیدایی بالا در مناطق مختلف جهان انجام شده است (Akbari, Bretz, Kurn, & Hanford, 1997; Akbari, Menon, & Rosenfeld, 2009; Oleson, Bonan, & Feddema, 2010).

تاثیر پوشش گیاهی و پتانسیل کاهش UHI با افزایش سبزی‌نگی در شهرهای مختلف جهان به طور گسترده ارزیابی شده است و در عمده این مطالعات افزایش کسر پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق، موثرترین راه‌حل کاهش جزیره حرارتی در شهرها بیان شد (Onishi, Cao, Ito, Shi, & Imura, 2010; Solecki et al., 2005; Zhou & Shepherd, 2010). حداکثر کاهش دمای هوا با مقادیر ۱۲ درجه سانتی‌گراد در سنگاپور (Hwang, 2015)، ۶/۹ درجه سانتی‌گراد در لیسبون (Oliveira, 2011) و ۲ درجه سانتی‌گراد در استکهلم (Jansson, 2007) به دلیل پارک‌های شهری گزارش شده است. بوکایی و همکاران (Bokaie, 2016) نشان دادند که در ماه جولای مناطق با پوشش گیاهی و فضاهای سبز خنک‌ترین مناطق در تهران می‌باشند. از سوی دیگر، گزارش شده است که سقف‌های سبز می‌تواند دمای هوا را در ۱ متر بالاتر از سقف تا دمای ۳/۷ درجه سانتی‌گراد در این شهر کاهش دهد (Moghbel, 2017). از آنجایی که سرانه فضای سبز شهری در تهران برابر با ۴/۵ متر مربع بر هر نفر است که بسیار پایین‌تر از میانگین جهانی (۲۰ تا ۲۵ مترمربع بر هر نفر) می‌باشد (Haashemi, 2016)، افزایش سطوح سبز شهری برای کاهش دمایی و بهبود شرایط محیطی ضروری است. لذا اثرات افزایش پوشش گیاهی و سپیدایی به عنوان راه‌حل‌های این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

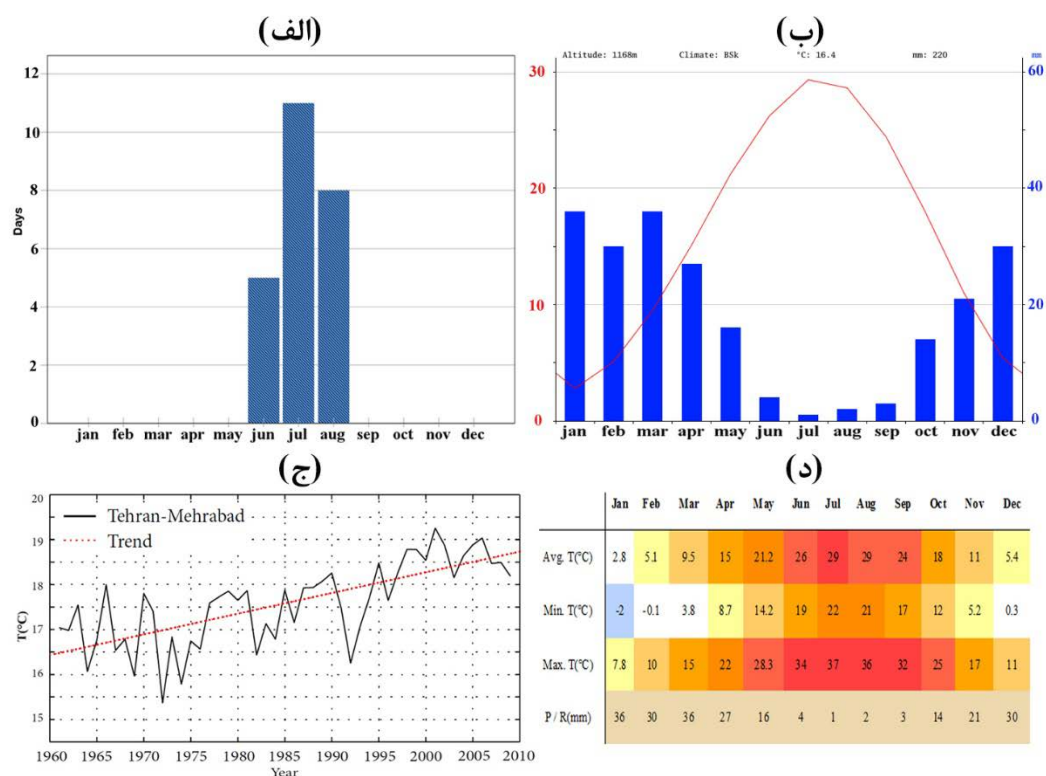
در مطالعه حاضر، مدل مرسوم عددی تحقیق و پیش‌بینی آب‌وهوایی WRF 3.4 (Skamarock et al., 2005) برای تحلیل آب و هوای شهری در مقیاس منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. طرح‌های مختلف پارامترسازی شده در WRF نمایش سطوح شهری و نحوه تاثیرگذاری تاج پوشش شهری روی فرایندهای دینامیکی در اتمسفر پایین‌تر را ممکن می‌سازد (Chen et al., 2011). در این مطالعه چندین پارامترزایی برای نشان دادن واداشت شهری تهران و تعامل دینامیک شارهای منطقه شهری با محیط اطراف آن در شبیه‌سازی‌های میان‌مقیاس WRF آزمایش می‌شود و نتایج با داده‌های مشاهداتی مقایسه خواهند شد. در بخش نهایی، راهبردهای مختلف به منظور سنجش تاثیر هر یک از آن‌ها، مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. نتایج این کار می‌تواند پشتیبانی مناسب برای تصمیم‌گیری مدیریت محلی جهت توسعه پایدار شهری باشد و همچنین می‌تواند از طریق توسعه شبیه‌سازی‌های مرتبط با محیط‌های شهری، به تحقیقات آب‌وهوایی کمک کند.

مواد و روش ها

الف) منطقه مورد مطالعه

شهر تهران (۳۵ و ۴۲ درجه شمالی، ۵۱ و ۲۵ درجه شرقی)، واقع در جنوب دامنه رشته کوه البرز، پایتخت کشور ایران می‌باشد. تهران به عنوان سریع‌ترین شهر از نظر رشد شهرنشینی در ایران با حدود ۸ میلیون نفر شناخته می‌شود، مساحت این شهر ۷۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد و یکی از متراکم‌ترین شهرهای جهان از نظر جمعیتی و ساختمانی می‌باشد. مشاهدات در ایستگاه هواشناسی مهرآباد در درون شهر دمای متوسط هوا سالانه ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد، متوسط سرعت باد ۲/۹۱ متر بر ثانیه و میانگین بارندگی سالانه ۲۲۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد (شکل ۱). میانگین دما در ماه جولای ۲۹ درجه سانتی‌گراد است و حداکثر دما در ماه جولای تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد هم می‌رسد. در تهران، بادهای محلی اغلب به اندازه کافی قوی نیستند تا فرارفت دمایی و آلودگی معنی‌داری ایجاد کنند و حدود ۷۰ درصد باد در تهران دارای سرعت کمتر از ۶ گره است و تاثیر کمی بر گردش هوا در مناطق بزرگ ساخته شده دارد (Ehlers & Floor, 1993; Fanni, 2006; Madanipour, 1998; Sodoudi, Shahmohamadi, Vollack, Cubasch, & Che-Ani, 2014). الگوهای آب‌وهوایی پایدار همراه با واداشت پشته تراز بالا، تراز دمایی بالا و دوره های با کیفیت پایین هوا که برای سلامتی انسان‌ها مضر می‌باشند را به وجود می‌آورد (Sodoudi et al., 2014).

شدت UHI در سیستم‌های جوی ایستا با فشار بالا در شرایط پایدار هوا و آسمان صاف بیشتر است و اگر شرایط ابری و سرعت باد افزایش پیدا کند، تمایل به ناپدید شدن دارد. مطالعه حلبیان (A.Halabian, 2013) نشان می‌دهد که پشته قوی غالب در سطوح بالا که با یک کم فشار حرارتی روی سطح همراه است، غالب‌ترین الگو در تهران است. این سیستم با آسمان بی‌ابر و یک لایه مرزی پایدار همراه است که منجر به شدت بیشتر UHI می‌شود (IPCC, 2007).



شکل ۱. توزیع میانگین تعداد امواج گرمایی در ماه‌های سال از یک دوره ۵ ساله (۲۰۱۰-۲۰۱۵) در شهر تهران (الف) (Behrouz Nasiri, 2016)، نمودار (ب) و جدول اقلیمی (د) میانگین بارندگی و دمای ماهانه (Climate data, 2016) و دمای دومتري ایستگاه مهرآباد تهران به صورت میانگین سالانه (ج).

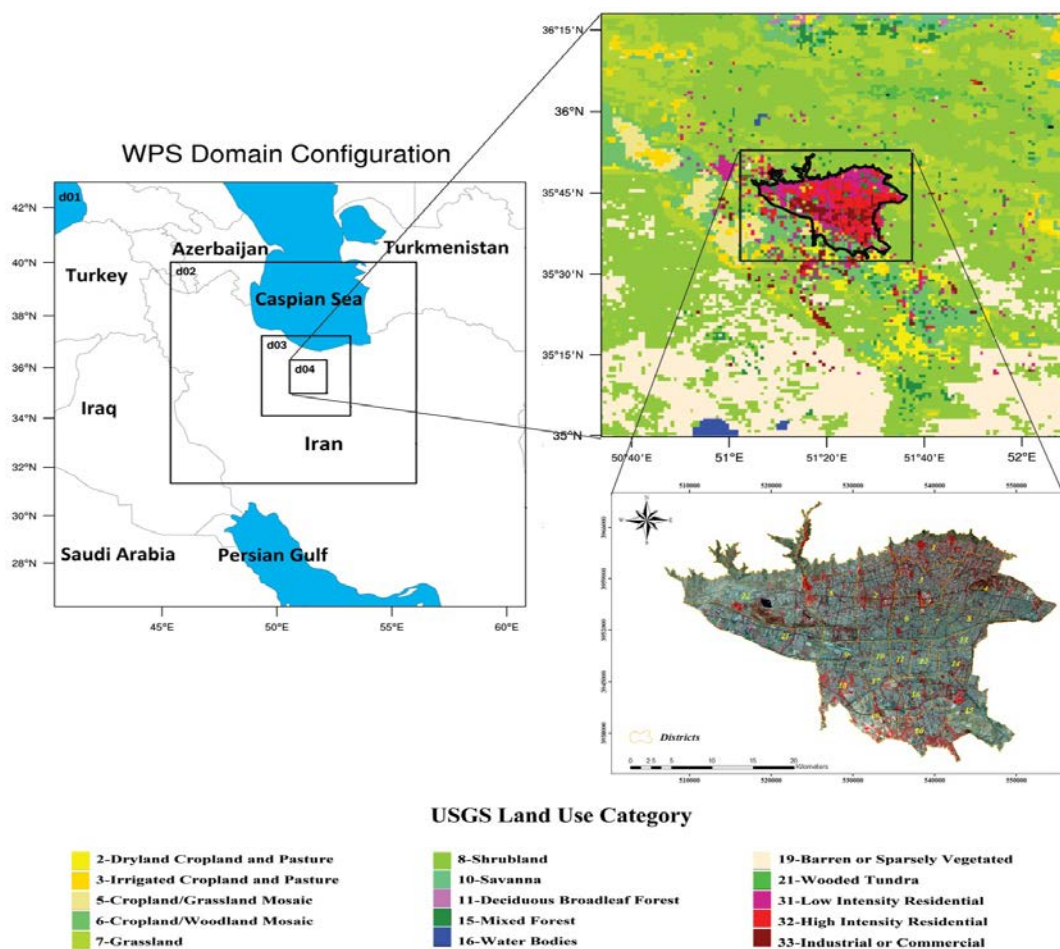
شکل ۱ ج متوسط سالانه دمای ۲ متری از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۹ را در ایستگاه تهران مهرآباد نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شده است، میانگین دمای سالانه در این دوره ۵۸ ساله افزایش یافته است. خط قرمز نشانگر روند مثبت دما است. افزایش سریع دمای هوا ۲ متری در تهران به دلیل رشد سریع جمعیت است که منجر به افزایش سطح مناطق با مواد سپیدایی کم، کاهش میزان دید آسمان (SWF) و افزایش شار مصنوعی شهری می‌شود. تعداد خودروهای شخصی (در هر ۱۰۰۰ نفر) از ۵ در سال ۱۹۵۶ به ۹۰ در سال ۲۰۰۶ تغییر کرده است (G. R. Roshan, 2010). این تغییر سریع در تعداد خودروهایی مورد استفاده همراه با مصرف انرژی و گرمای تولید شده از مناطق جدید احداث شده، باعث ایجاد غلظت زیادی از آلودگی هوا در تهران می‌شوند که موجب جذب و تابش بیشتر طول موج بلند می‌شود و منجر به UHI قوی‌تر می‌گردد (G. R. Roshan, 2010).

جزیره حرارتی در تهران تا حد زیادی به شرایط جغرافیایی و مکانی این شهر وابسته است. دامنه کوه البرز با عرض متوسط حدود ۱۰۰ کیلومتر (Zawar-Reza, 2008)، به عنوان یک دیوار تقریباً می‌کند و میدان ضعیف باد و گردش آن موجب افزایش پتانسیل برای به دام افتادن طبیعی گرما در منطقه شهری می‌شود. ارتفاع تهران بین ۹۰۰ تا ۱۷۰۰ متر بالاتر از سطح دریا است (B.Hourcade, 2005). تفاوت عمده‌ای در ارتفاع بین قسمت‌های شمالی و جنوبی شهر وجود دارد که تأثیر قابل توجهی

بر ویژگی‌های فضاهای شهری در منطقه شهری تهران دارد. در مناطق نیمه خشک مانند تهران، شرایط آب و هوا به طور منظم منجر به شرایط آب و هوای بیابانی با باد ضعیف می‌شود که تقریباً می‌تواند به عنوان "ایده‌آل" تعریف شده توسط اوک (T. Oke & Cleugh, 1987) برای شکل‌گیری جزیره حرارتی تعریف شود. این به خصوص در تابستان زمانی که واداشت همدیدی کاهش می‌یابد و سامانه‌های دینامیکی کم فشاری کم است، دیده می‌شود (P. Zawar-Reza, 2010). مطالعات اقلیمی شهری متعددی در سال‌های اخیر برای تهران در دسترس می‌باشد. ترکیبی از درجه حرارت و آلودگی بالا، منطقه را به یک منطقه خطرناک برای تنش‌های گرمایی تبدیل کرده است و برای جبران این کمبودهای طبیعی، اقدامات و برنامه ریزی‌ها برای کاربری‌های اراضی مسکونی شهری پایدار و صرفه‌جویی در انرژی برای پروژه‌های آینده بسیار مهم می‌باشد. از طرفی از آنجایی که تهران مجهز به ایستگاه اندازه‌گیری هواشناسی متعدد می‌باشد و به عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق ایران شناخته می‌شود، برای مطالعات هواشناسی شهری مناسب است.

• رویکرد آزمایش‌های شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی‌های عددی، دوره زمانی با شرایط آب‌وهوایی پایدار؛ با آسمان صاف، سرعت باد ضعیف و تابش خورشیدی مناسب و دمای هوای نسبتاً بالا انتخاب شد. با در نظر گرفتن دور روز به عنوان اسپین، دوره شبیه‌سازی در بازه زمانی ۱۵ تا ۲۴ جولای انجام گرفت. سرعت باد کم باعث می‌شود که گردش کم هوا رخ دهد و دمای بالای دائمی نیز موجب می‌شود که پدیده تنش گرمایی حتی بیشتر شود. داده‌هایی که برای ایجاد شرایط مرزی و جانبی در مدل به کار رفته از نوع NCEP FNL است که دارای تفکیک 1×1 درجه بوده و برای هر ۶ ساعت در دسترس می‌باشد (وبگاه سازمان جهانی هواشناسی (WMO).



شکل ۲. موقعیت دامنه های مدل سازی (سمت چپ) و منطقه شهری تهران، درون دامنه ۴ (راست- بالا)، با طبقه بندی زمین USGS اصلاح شده با رزولوشن ۱ کیلومتر و همچنین شهر تهران با مناطق ۲۲ گانه آن (سمت راست- پایین).

شبیه سازی ها با استفاده از ۴ دامنه تو در تو با یک رویکرد تعاملی دو طرفه اجرا شده است. داخلی ترین دامنه تمام ناحیه شهری تهران و نزدیک ترین حومه روستایی آن را پوشش می دهد. تکنیک های پیش رونده و انعطاف پذیری اجازه رسیدن به تفکیک فضایی ۱ کیلومتر را می دهند. جدول ۱ تنظیمات اولیه شبیه سازی ها به وسیله WRF را نشان می دهد. طبقه بندی USGS پایه ۲۴ طبقه ای که در WRF استفاده می شود، با استفاده از اطلاعات مربوط به داده های کاربری اراضی جدید با ۳۳ طبقه اصلاح شده است. به طوری که سلول های شبکه طبقه بندی شده "شهری" به ۳ گروه مختلف، یعنی دسته های جدید شهری با عنوان مناطق با چگالی بالا مسکونی، مناطق با چگالی پایین مسکونی و مناطق صنعتی / تجاری (شکل ۲) تقسیم می شوند. ۳ کلاس شهری براساس ظاهر و درصد سطوح نفوذناپذیر آن ها مشخص می شود. مناطق با چگالی پایین مسکونی (کلاس ۳۱) شامل مناطقی با مخلوطی از سازه های ساختمانی و پوشش گیاهی است که پوشش گیاهی آن ها ۲۰ تا ۷۰ درصد زمین را در برمی گیرد. در مقابل، پوشش گیاهی کمتر از ۲۰٪ برای مناطق مسکونی با تراکم بالا (کلاس ۳۲) در نظر گرفته شده است. کاربری صنعتی / تجاری (کلاس ۳۳) شامل زیرساخت ها و مناطق بسیار توسعه یافته است که به عنوان مسکونی

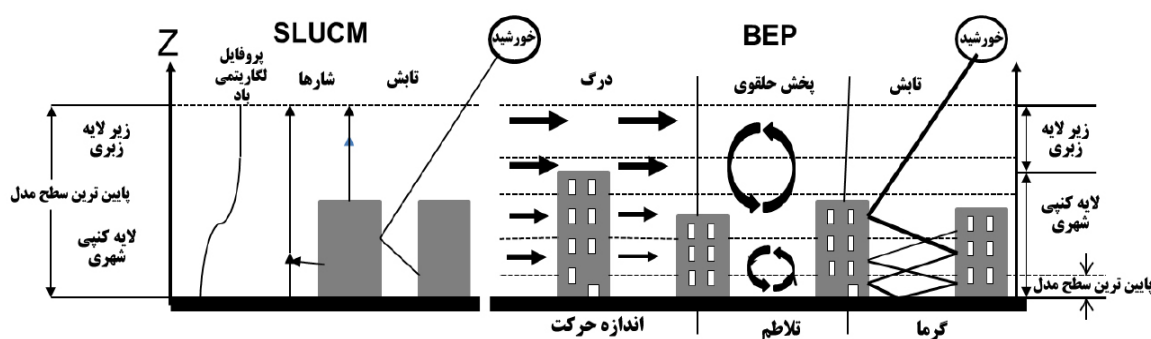
طبقه بندی نشده‌اند (USGS, 2006). با استفاده از تکنیک‌های GIS داده‌ها کاربری اراضی با وضوح ۳۰ متر به شبکه طبقه‌بندی کاربری اراضی USGS با قدرت تفکیک ۱ کیلومتر قابل استفاده در پایگاه داده ورودی جغرافیایی درون WRF تبدیل شدند.

جدول ۱. پیکربندی‌های کلیدی استفاده شده در شبیه‌سازی با WRF

Geographical input data	1 km USGS land use
dx, dy	27, 9 km, 3 km, 1 km
West-east [point]	70,109,118,148
South-north [point]	70,109,118,148
Vertical layers	36
Lowest model level	~10 m
Meteorological BC	NCEP/NCAR Reanalysis data
Spin up	2 days
Start time	17/07/2016 – 0:00 UTC
End time	24/07/2016 – 0:00 UTC
Microphysics	WSM06 (Hong)
Longwave	RRTM
Shortwave	Dudhia
Urbanisation scheme	BEP
Land surface model	Noah LSM
Cumulus scheme	Kain-Fritsch (2004)
Boundary layer	MYJ

تنظیمات اولیه WRF باید تغییر داده شود و برای این کار، و به طور ویژه برای تطبیق اطلاعات جدید کاربری اراضی، بروزرسانی شوند. برای تنظیمات میکرو فیزیک ابر، طرح Single-Moment با ۶ کلاس اعمال می‌شود، برای تابش خورشید طرح Dudhia و برای تابش طول موج بلند از طرح RRTM استفاده می‌شود (جدول ۱). شبیه‌سازی‌ها با استفاده از ۳۶ تراز عمودی، با پایین‌ترین سطح در حدود ۱۰ متر بالای زمین انجام شد. دما پتانسیل ۲ متری WRF که در طول مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرد، از توزیع درجه حرارت عمودی تخمین زده می‌شود. برای تعیین همرفت کومولوسی، طرح Kain-Fritsch فقط برای داخلی‌ترین دامنه اعمال می‌شود و برای سه دامنه دیگر در نظر گرفته نمی‌شود. تفکیک فضایی داده‌های ورودی جغرافیایی ۳۰ ثانیه (حدود ۱ کیلومتر) و اطلاعات هواشناسی ۱ درجه می‌باشد.

برای شبیه‌سازی لایه مرزی سیاره‌ای، رویکرد Mellor-Yamada-Jancic-MYJ (Janjić, 1994)، از آن جایی که وضوح عمودی بالایی دارد و بهترین حالت برای نشان دادن انرژی جنبشی تلاطمی در یک رویکرد چند لایه‌ای تاج پوشش شهری را دارا می‌باشد، انتخاب شده است (Martilli, Clappier, & Rotach, 2002).



شکل ۳. نمایش شماتیک از رویکرد تک لایه تاج پوشش شهری (Kusaka, Kondo, Kikegawa, & Kimura, 2001) (سمت چپ) و مدل چند لایه تعیین پارامتر اثر ساختمانی (Martilli et al., 2002) (سمت راست). تفاوت این دو طرح در نمایش فرآیندها در لایه تاج پوشش شهری می‌باشد (Chen et al., 2011)

برای نشان دادن انواع مختلف سطوح زمین و تعامل آن‌ها با لایه سطحی و لایه مرزی، WRF با مدل سطح زمین نوحا (NOAH LSM)، جفت شده است (Mitchell, 2005) که به صورت عددی پردازش فیزیکی مربوطه در هر سلول شبکه‌ای را محاسبه می‌کند. اطلاعات پوشش زمین کمک می‌کند تا متغیرهای سطوح مختلف زمین در نظر گرفته شود در حالی که ساختار سه بعدی مناطق شهری که به طور مستقیم با پایین‌ترین لایه مدل ارتباط برقرار می‌کنند، با پارامترهای خاص شهری بیان می‌شود. برای WRF، ۴ پارامترسازی مختلف شهری در دسترس است.

- پارامترسازی شهری بالک (Liu, Chen, Warner, & Basara, 2006) که از ویژگی‌های مشخصه‌ای برای سطوح شهری بدون تمایز بین لایه‌های مختلف تاج پوشش شهری، مثل ویژگی‌های هندسی یا انتقال حرارتی ساختارهای شهری مانند ساختمان‌ها و جاده‌ها استفاده می‌کند.
- رویکرد تک لایه‌ای (Kusaka et al., 2001)
- رویکرد چند لایه (Martilli et al., 2002)
- پارامترسازی چند لایه‌ای BEM برای محاسبه تبادل گرما بین فضای بیرون و محیط داخلی ساختمان (Salamanca & Martilli, 2010)

توانایی هر چهار مورد در شبیه‌سازی تأثیر سطوح شهری بر آب‌وهوای محلی و الگوهای گردش در شهر تهران مورد آزمایش قرار گرفته است. به طور کلی، در این مطالعه از یک مدل تاج پوشش شهری تک لایه‌ای ساده (Single-Layer Urban Canopy Model) (SLUCM) و یک رویکرد چند لایه‌ای پیشرفته‌تر به نام تعیین پارامتر ساختمانی (Chen et al., 2011) استفاده شد. نمودارهای شماتیک هر دو طرح در شکل ۳ نشان داده شده است.

در طرح شهری SLUCM (Kusaka et al., 2001)، فرض شده که کنیون‌های خیابانی طول بی‌نهایت دارند و سایه، بازتاب و به دام افتادگی تابش در کنیون خیابانی و همچنین یک نیمرخ باد لگاریتمی به عنوان پیش‌فرض در این طرح در نظر گرفته شده است. دمای سطوح شهری از بودجه انرژی سطح و معادلات هدایت حرارتی محاسبه می‌شود. شار حرارتی محسوس سطح با استفاده از نظریه شباهتی مونین-آباخوف محاسبه می‌شود. ضریب درگ کنیون و سرعت اصطکاکی با یک تابع پایداری

شباهتی برای حرکت تخمین زده می‌شوند. در SLUCM از حدود ۲۰ مشخصه سطحی و محیطی استفاده شده است که با توجه به ساختار منطقه شهری سازگار شده است (Chen et al., 2011).

رویکرد پارامترسازی انرژی ساختمانی BEP (Martilli et al., 2002) برای در نظر گرفتن ماهیت سه بعدی سطوح شهری استفاده می‌شود و ساختمان‌ها را به عنوان چشمه و چاهه گرما، رطوبت و تکانه در نظر می‌گیرد. با در نظر گرفتن تاثیر ساختار ترمودینامیکی زیر لایه زبری شهری در قسمت پایین لایه مرزی شهری، BEP اجازه تعامل مستقیم با PBL را فراهم می‌کند. این پارامترسازی با در نظر گرفتن تاثیر سطوح افقی و عمودی بر انرژی جنبشی تلاطمی (TKE)، دمای پتانسیل (Θ) و اندازه حرکت، اجازه دسترسی به تفکیک فضایی عمودی بالا نزدیک به زمین را فراهم می‌کند. برای شبیه‌سازی‌ها با BEP، دمای داخلی ساختمان‌ها ثابت در نظر گرفته می‌شود (Chen et al., 2011).

رویکرد BULK که در آن پارامترسازی شهری خاموش در نظر گرفته می‌شود برای مطالعه حساسیت استفاده می‌شود، در حالی که در این مطالعه پارامترسازی شهری BEM به علت کارکرد متفاوت سیستم تهویه ساختمانی (عمدتا کولرهای آبی) با پیش فرض این پارامترسازی استفاده نمی‌شود. برای هر کلاس شهری، پارامترها برای نشان دادن خواص شهری (مثلا ارتفاع ساختمان، عرض خیابان، سپیدایی سطح یا پوشش گیاهی)، جهت‌گیری ساختمان‌ها و خیابان‌ها و همچنین ویژگی‌های ترمودینامیکی و ویژگی‌های زبری (جدول ۲) تعیین شده است. جهت و متوسط عرض جاده‌ها از نقشه‌های گوگل با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.1 محاسبه شد. برای گرمای انسان‌ساز و دیگر پارامترهای ذکر شده از مقادیر تخمین زده شده در آخرین نسخه WRF استفاده می‌شود (Chen et al., 2011). کل شار حرارتی محسوس از یک شبکه طبقه‌بندی شده شهری بر اساس این پارامترها و همچنین به کمک NOAA LSM برای محاسبه خواص سطح زمین محاسبه شد. برای هر سلول شبکه‌ای، شبیه‌سازی‌ها با یک مقدار میانگین در ۱ کیلومتر مربع بیان می‌شوند. بر اساس مطالعات حساسیتی قبلی، تصمیم گرفته شده است که کدام رویکرد پارامتریکی شهری برای عملکرد مدل مناسب است.

جدول ۲. پارامترهای شهری به عنوان ورودی طرح‌های پارامترسازی شهری؛ پارامترها برای سه طبقه شهری بیان شده‌اند: مسکونی با تراکم کم، مسکونی با تراکم بالا و تجاری. پایین‌ترین بخش از جدول فقط برای روش BEP معتبر است، که نشان‌دهنده توزیع ساختمان‌ها با توجه به ویژگی‌های ارتفاع و خیابان برای هر کلاس است (اقتباس شده از (Chen et al., 2011)).

Urban parameter	Commercial	Highdensity	Lowdensity
ZR: roof level (building height) [m]	8.5	9.7	6.4
SIGMA_ZED: standard deviation of roof height [m]	6.8	6.4	4.5
ROOF_WIDTH: roof (i.e. building) width [m]	27.5	13.3	10
ROAD_WIDTH: road width [m]	19	16.2	18
AH: Anthropogenic heat [W m ²]	90	50	20
FRC_URB: Fraction of the urban landscape without natural vegetation [fraction]	0.85	0.75	0.5
CAPR: Heat capacity of roof [J m ³ /K]	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06
CAPB: Heat capacity of building wall [J m ³ /K]	1.00E+06	1.00E+06	1.00E+06
CAPG: Heat capacity of ground (road) [J m ³ /K]	1.40E+06	1.40E+06	1.40E+06

AKSR: Thermal conductivity of roof [J/ m s K]	0.67	0.67	0.67
AKSB: Thermal conductivity of building wall [J/m s K]	0.67	0.67	0.67
AKSG: Thermal conductivity of ground (road) [J/m s K]	0.4	0.4	0.4
ALBR: Surface albedo of roof [fraction]	0.2	0.2	0.2
ALBB: Surface albedo of building wall [fraction]	0.2	0.2	0.2
ALBG: Surface albedo of ground (road) [fraction]	0.2	0.2	0.2
EPSR: Surface emissivity of roof [-]	0.8	0.9	0.93
EPSB: Surface emissivity of building wall [-]	0.8	0.95	0.94
EPSG: Surface emissivity of ground (road) [-]	0.95	0.96	0.97
ZOB: Roughness length for momentum, over building wall [m]	0.0001	0.0001	0.0001
ZOG: Roughness length for momentum, over ground (road) [m]	0.01	0.01	0.01
ZOR: Roughness length for momentum over roof [m]	0.01	0.01	0.01
AKANDA_URBAN: Coefficient modifying the Kanda approach to computing surface layer exchange coefficient	1.29	1.29	1.29
TBLEND: Lower boundary temperature for building wall temperature [K]	293	293	293
TGLEND: Lower boundary temperature for ground (road) temperature [K]	293	293	293

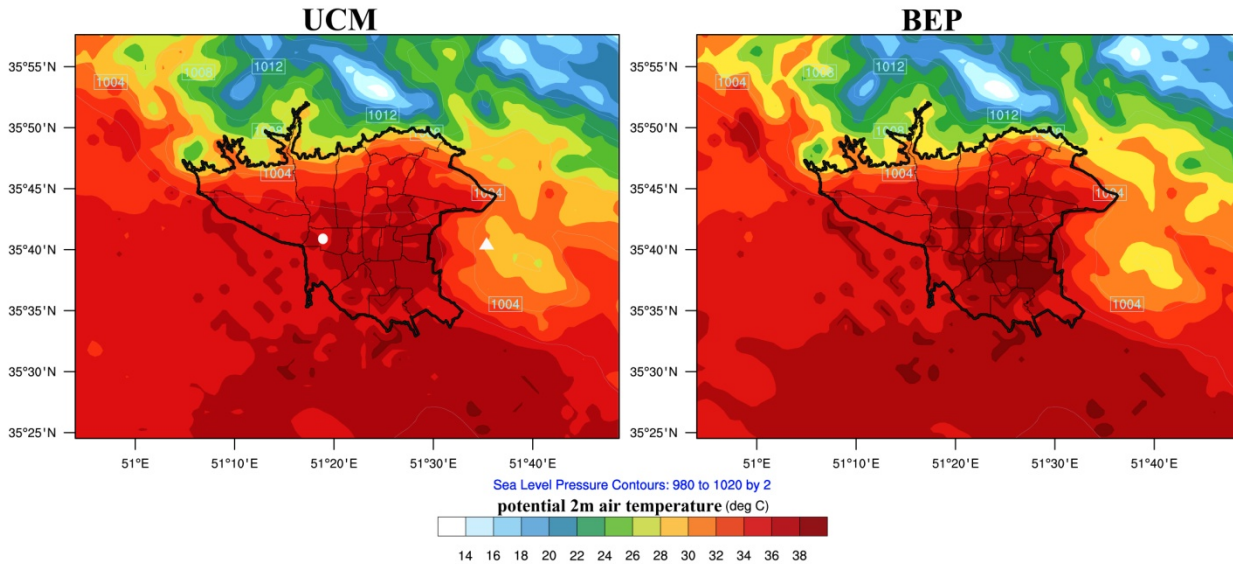
تنها برای BEP

Street parameters				Building heights			
Urban category [index]	Street direction [deg from N]	Street width [m]	Building width [m]	Height [m]	Category1 [%]	Category2 [%]	Category3 [%]
1	0	19	25	5	44	33	48
1	90	19	25	10	26	20	37
2	0	15	13	15	14	23	11
2	90	15	13	20	8	18	3
3	0	18	10	25	4	4	1
3	90	18	10	30	2	2	-
				35	2	-	-

شرح و تفسیر نتایج

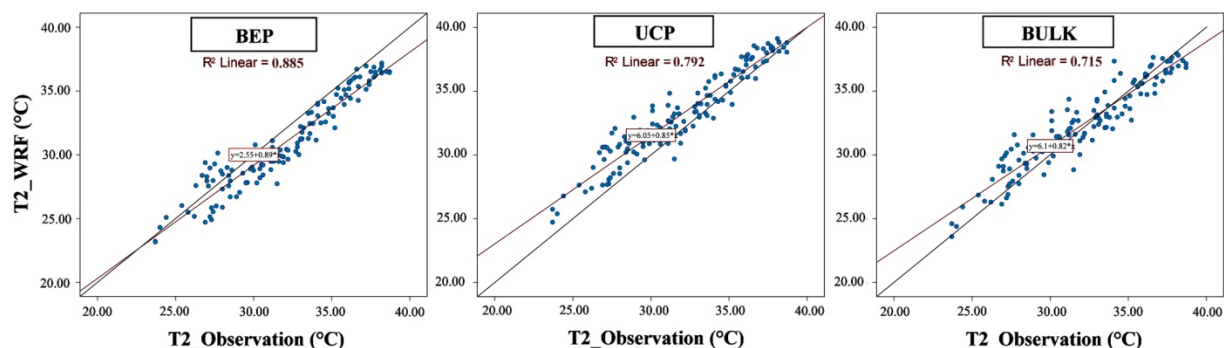
• حساسیت‌سنجی به تعیین پارامترهای شهری

شبیه‌سازی‌ها برای دوره ۱۷-۲۴ جولای ۲۰۱۶ انجام شد و نتایج شبیه‌سازی‌ها با داده‌های مشاهداتی مقایسه می‌شود تا توانایی مدل تاج پوشش شهری برای بازتولید متغیرهای هواشناسی بررسی شود. مقایسه بین دمای پتانسیل دو متری شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای هر دو روش در ادامه آورده شده است.

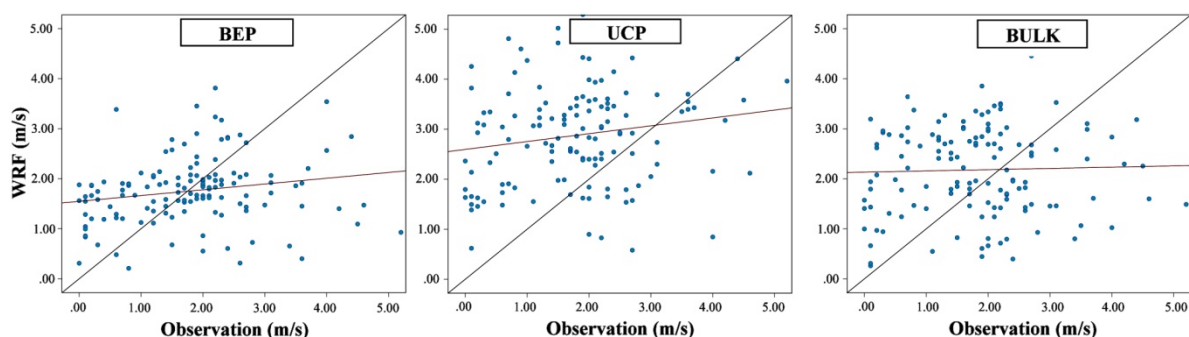


شکل ۴. دمای پتانسیل دو متری شبیه سازی شده با مدل تک لایه (SLUCM، چپ) و چند لایه (BEP، راست) برای ساعت ۲۰:۰۰ زمان محلی در روز ۱۹ جولای ۲۰۱۶. دایره سفید ایستگاه اندازه‌گیری شهری "مهرآباد تهران" و مثلث سفید ایستگاه روستایی فرضی دور از مرکز شهر را نشان می‌دهد.

شکل ۴ دما برای هر دو شبیه‌سازی در ۱۶۰۰ UTC (زمان محلی ۲۰۰۰) در تاریخ ۱۹ جولای ۲۰۱۶ نشان می‌دهد. این زمان به این دلیل انتخاب شد که بیشترین حرارت به واسطه تعامل بین سطوح شهری و تابش خورشیدی در طول روز در این ساعت مبادله می‌شود. هر دو طرح تعیین پارامتر شهری به کار گرفته شده حداکثر دمای بالای ۳۰۹ درجه کلوین (۳۶ درجه سانتی‌گراد) را باز تولید می‌کنند، اما برای رویکرد BEP (راست)، دمای بالاتر در سراسر منطقه شهری مشخص تر می‌باشد. به طور کلی، پارامترسازی چند لایه‌ای، تمایل دارد که دماهای بالاتر را بهتر از رویکرد تک لایه‌ای تولید کند. مشکل مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های اندازه‌گیری این است که فرض شده است که محل ثابت ایستگاه اندازه‌گیری، نشان دهنده یک سلول شبکه ۱ × ۱ کیلومتر است. خروجی ساعتی برای ۷ روز شبیه‌سازی که با یه شبیه‌سازی با هم‌پوشانی ۱۲ ساعته انجام شد در کنار مقادیر اندازه‌گیری مشاهده شده برای سه ایستگاه بررسی شده است تا توانایی طرح‌های تعیین پارامتر شهری را برای بازتولید دمای روزانه بررسی کند. اجرای سوم برای طرح تعیین پارامتر بالک (Liu et al., 2006) برای بررسی اینکه آیا طرح‌های پارامترسازی شهری نتایج شبیه سازی را بهبود می‌بخشد، انجام شد. نمودارهای پراکندگی برای ایستگاه مهرآباد برای نمونه در شکل ۵ آورده شده است. رویکرد BEP بالاترین همبستگی با دما پتانسیل مشاهده شده ($R^2 = 0.885$) را نشان می‌دهد، رویکرد SLUCM کاهش ۹ درصدی در ضریب همبستگی را نشان می‌دهد ($R^2 = 0.792$), در حالی که همبستگی بدون پارامترسازی شهری این ضریب به میزان ۱۷٪ کاهش می‌یابد ($R^2 = 0.715$). برای حالت بدون پارامترسازی شهری جداسازی نمودارهای پراکندگی شبانه و روزانه نشان می‌دهد که میزان همبستگی برای دمای شبانه ($R^2 = 0.753$) نسبت به دمای روزانه ($R^2 = 0.677$) کمی بهتر می‌باشد. این ممکن است به دلیل مشکلات ناشی از تابش مستقیم خورشیدی باشد.



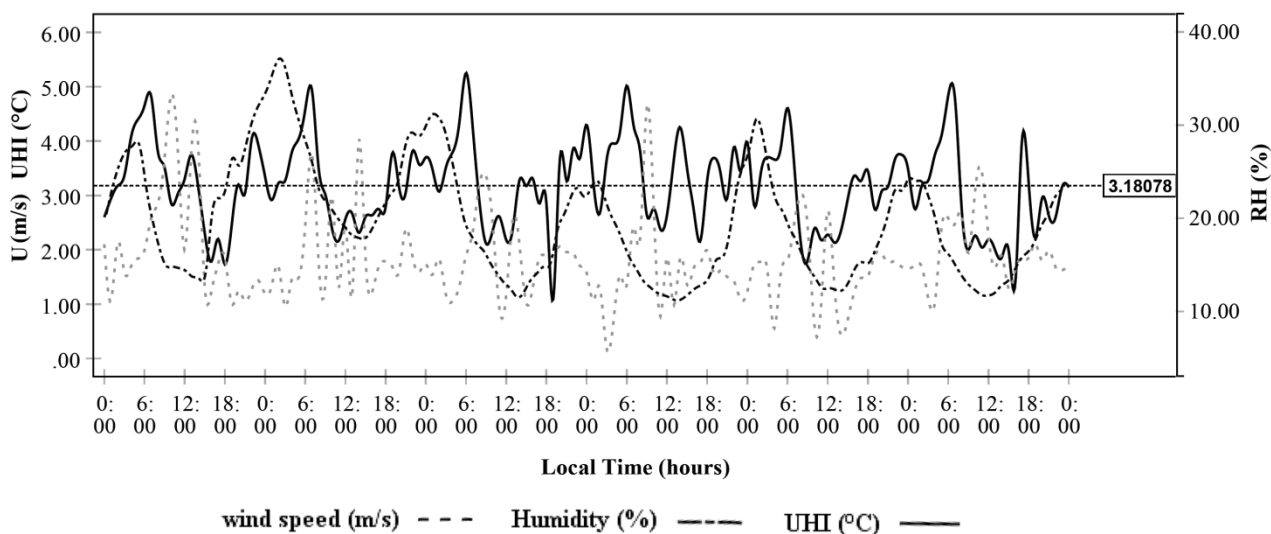
شکل ۵. مقایسه دما اندازه‌گیری شده با دمای شبیه‌سازی شده روی کل دوره شبیه‌سازی برای سه طرح تعیین پارامتر ساختمانی BEP (Martilli et al., 2002)، طرح تعیین پارامتر تک لایه‌ای تاج پوشش شهری SLUCM (Kusaka et al., 2001) و رویکرد بالک (Liu et al., 2006).



شکل ۶. مقایسه سرعت باد اندازه‌گیری شده با سرعت باد شبیه‌سازی شده روی کل دوره شبیه‌سازی برای سه طرح تعیین پارامتر ساختمانی BEP، طرح تعیین پارامتر تک لایه‌ای تاج پوشش شهری SLUCM و رویکرد بالک

سرعت باد سطح برای دوره شبیه‌سازی بسیار کم است (۱-۴ متر بر ثانیه) و شبیه‌سازی در تولید تغییرات کوچک در جریان با مشکل مواجه است. به دنبال توسعه روزانه سرعت باد، دوباره به نظر می‌رسد روش BEP برای توصیف این پارامتر مناسب‌تر باشد (شکل ۶). نتایج حاصل از مطالعه حساسیت نشان می‌دهد که رویکرد BEP برای انجام راهبردهای کاهش UHI با مدل WRF برای این مورد مناسب‌تر است. در بخش بعدی، شبیه‌سازی‌ها برای بررسی تاثیر راهبردهای برنامه‌ریزی شهری بر شکل‌گیری UHI مورد بحث قرار می‌گیرد.

در ابتدا توانایی سطوح سبز برای خنک کردن دمای نزدیک به سطح زمین از طریق فرآیند تبخیر و تعرق و فتوسنتز مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس، تغییرات ویژگی‌های انعکاسی سطوح غیر قابل نفوذ مانند سقف‌ها و دیوارهای ساختمانی با افزایش سپیدایی سطح (Taha, 1997) بررسی می‌گردد. و در نهایت، تغییر ویژگی‌های هندسی، مانند تراکم ساختمان، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. با توجه به شکل ۷، حداکثر میزان شدت UHI برای دوره شبیه‌سازی‌ها در ۱۹ جولای رخ می‌دهد. تفاوت بین دمای شهری و روستایی حدود ساعت ۶ صبح محلی به حدود ۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و بار دیگر در ساعات صبح افت می‌کند و حداکثر دوم در ساعت ۲۰:۰۰ محلی اتفاق می‌افتد.



شکل ۷. نمایش شدت UHI، سرعت باد افقی ۱۰ متری و رطوبت نسبی برای دوره شبیه‌سازی ۱۷-۲۲ جولای ۲۰۱۶ با استفاده از طرح BEP

• حساسیت سنجی به برنامه‌ریزی‌های شهری

در پاسخ به وقایع شدید گرمایی مانند آنچه در این کار مورد مطالعه واقع شده است، برنامه‌ریزان و مقامات شهری تلاش می‌کنند تا راهبردهای کاهش را برای بهبود شرایط زندگی برای ساکنان محلی پیدا کنند. معمولاً برنامه‌ریزان شهری از سطوح سبز، مصالح ساختمانی با بازتابندگی بالا و تغییر هندسه ساختمان‌ها به عنوان ابزارهایی برای کاهش رخدادهای بیشینه استفاده می‌کنند. کارایی این ابزارهای برنامه‌ریزی شهری، در این مطالعه با شبیه‌سازی‌های WRF مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر اساس تحقیقات قبلی، افزایش پوشش گیاهی شهری می‌تواند به طور قابل توجهی اثر UHI و تنش‌های گرمایی را کاهش دهد. این سناریو با استفاده از دو شبیه‌سازی مختلف "پارک شهری" شبیه‌سازی شده است. اولین سناریو "پارک مرکزی" است که ۲۰ سلول شبکه‌ای که به عنوان سلول شهری در مرکز شهر تهران طبقه‌بندی شده بود با پوشش طبیعی جایگزین شد. این تغییر برای ۲۰ کیلومتر مربع یا تقریباً ۳٪ از کل منطقه شهری به یک منطقه با پوشش گیاهی انجام شد. برای دیگر سناریوی افزایش پوشش گیاهی شهری ("پارک‌های زیاد")، چندین منطقه سبز کوچکتر در مناطق مختلف شهر جایگزین ساختمان‌های شهری شد. اندازه هر یک از پارک‌ها به صورت جداگانه در درون شهر برابر است و مساحت کل آن‌ها برابر با مساحت سناریوی پارک مرکزی در نظر گرفته شد. تغییر از سطح غیر قابل نفوذ به پوشش گیاهی با تغییر پارامترهای مشخص شده در جدول ۳ نشان داده شده است. این پارامترهای اصلاح شده شرایط مرزی جدیدی برای WRF و NOAA LSM ایجاد می‌کنند.

یکی دیگر از اقدامات برای کاهش دمای سطوح نزدیک به زمین، اصلاح ویژگی‌های بازتابندگی سطوح غیر قابل نفوذ است (تغییر رنگ سقف یا استفاده از مواد با بازتابندگی بالا). در مدل می‌توان با تغییر سپیدایی سقف و دیوارهای ساختمان در جدول پارامترهای شهری از ۰/۲ به ۰/۷ به این تغییر دست یافت. مطالعه موردی سوم "تراکم" نشان‌دهنده مداخله مستقیم

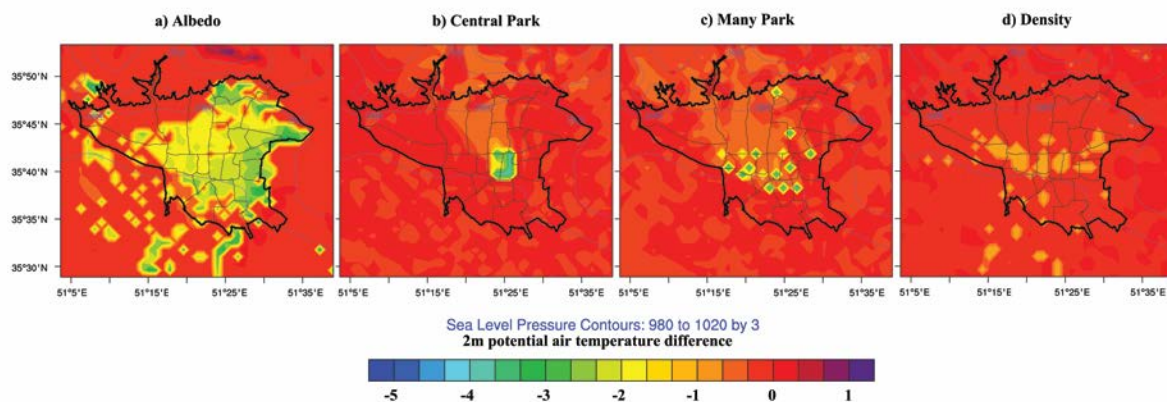
در ساختار ساختمانی است. در داخل جدول شهری، نسبت عرض سقف به عرض جاده به میزان ۲۵ درصد افزایش می‌یابد که به نوبه خود باعث ایجاد یک منطقه بزرگتر از پوشش گیاهی طبیعی مانند درختان و چمنزار می‌شود. برای همه این مطالعات موردی یک شبیه‌سازی با استفاده از WRF-BEP برای مدت زمان مشابه انجام می‌شود. اثربخشی هر راهبرد با تفاوت بین دمای مدل شده برای اجرای راهبرد در نظر گرفته شده و مورد کنترل نشان داده شده است.

شکل ۸ تفاوت در دمای پتانسیل ۲ متری (Θ) برای هر راهبرد برنامه‌ریزی شهری را نشان می‌دهد. تغییرات در Θ در محدوده ۵- تا ۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، در حالی که در مناطقی خاصی افزایش دمای هوا ثبت شده است، اما میزان آن قابل صرف نظر کردن است. قوی‌ترین اثر، یعنی بزرگترین کاهش در Θ ، در مرکز شهر جایی که تراکم ساختمانی بالاترین میزان را داراست مشاهده شده است. برای سناریوی "Density"، اثرات، بیشتر در مناطق شهری با تراکم بالای شهری دیده می‌شود که هندسه ساختمانی بیشترین تاثیر را روی دمای پتانسیل سطح زمین دارد.

با توجه به جدول ۴، یک تغییر در سپیدایی سطوح دیوار و سقف بیشترین تاثیر را بر تشکیل جزیره گرمایی شهر دارد و موجب کاهش شدت UHI تقریباً تا ۳ درجه سانتی‌گراد می‌شود. مشابه با راهبرد "Density" هر دو راهبرد افزایش پوشش گیاهی کاهش در حدود ۱ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند. تفاوت در حداکثر دمای پتانسیل بین راهبرد Albedo و Control برای منطقه شهری ۳/۲ درجه سانتی‌گراد است.

جدول ۳. تغییرات در خواص سطح زمین پس از تبدیل سطوح غیر قابل نفوذ به سطوح طبیعی (Mitchell, 2005).

سپیدایی (%)	رطوبت خاک (m^3/m^3)	بازتابندگی سطح	طول زبری (cm)	کسر پوشش گیاهی (%)
۱۷/۳	۰/۱	۰/۹	۷۶/۷	۰/۱۸
۲۳/۰	۰/۲۵	۰/۹۶	۱۲/۰	۰/۰۸



شکل ۸. تفاوت در دمای پتانسیل ۲ متری برای چهار سناریو: سپیدایی تغییر یافته برای سقف و دیوارها، (ب) تغییر نسبت عرض خیابان / ارتفاع ساختمان؛ و دو سناریو افزایش پوشش گیاهی شهری با یک پارک بزرگ (ج) و تعدادی پارک کوچکتر (د)؛ زمان شبیه‌سازی ۲۰ جولای ۲۰۱۶، ساعت ۱۸:۰۰ UTC است.

جدول ۴. تأثیر سناریوها که به صورت تفاوت بین میانگین دمای پتانسیل ۲ متری شهری و و روستایی بیان شده است. جدول همچنین حداکثر دمای شبیه‌سازی شده را برای دوره ۱۷ و ۲۳ جولای و همچنین میانگین دمای شهری را ارائه می‌دهد.

Senario	Control	Albedo	Central park	Many Park	Density
T Mean Urban [°C]	۳۴/۲۱۳	۲۹/۸۴۳	۳۲/۹۱۸	۳۳/۱۴۷	۳۳/۹۸۴
T Max [°C]	۴۰/۹۲۲	۳۷/۷۰	۳۹/۹۰	۳۸/۹۲۲	۳۸/۳۵
UHI	۵/۲۱	۲/۱۶	۴/۳۶	۴/۱۹	۴/۲۱

جدول ۵: اثرات سناریوها روی میانگین انرژی جنبشی تلاطمی (TKE) و ارتفاع لایه مرزی سیاره‌ای (PBLH)

Scenario	Control	Albedo	Park	Density	Many park
TKE30 (m2/s2)	۰/۴۴	۰/۲	۰/۲۱	۰/۴۴	۰/۱۷۵
PBLH (m)	۸۰۰/۵۸	۵۴۹/۰۲	۷۸۳/۴۶	۸۲۰/۲۸	۷۳۵/۳۳

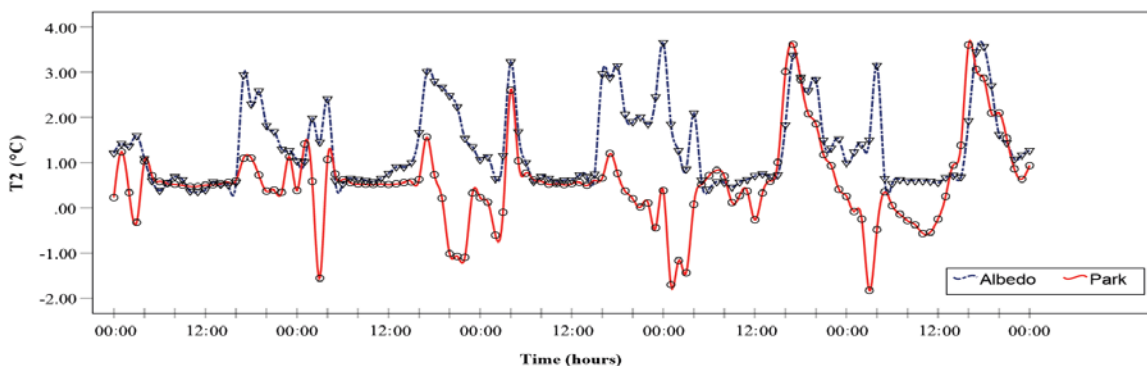
زمانی که دمای سطح شهری و هوای درون کنیون خیابانی به ترتیب کاهش می‌یابد، شارهای گرمای محسوس از سطوح افت کرده و در نتیجه، شدت اختلاط هوا که به صورت TKE (انرژی جنبشی تلاطمی) نشان داده می‌شود و همچنین ارتفاع لایه مرزی سیاره‌ای (PBLH)، کاهش می‌یابد. به طور ویژه برای بازتابندگی سطح تغییر یافته (Albedo) و افزایش پوشش گیاهی شهری (Park)، اختلاط لایه مرزی به صورت معنی‌داری تقلیل می‌یابد (جدول ۵).

در یک میانگین روزانه، کاهش TKE به اندازه تقریبی $0.2 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ و PBLH به اندازه تقریبی 250 m و 20 m متر را به ترتیب برای سناریوهای 'Albedo' و 'Park' می‌توان مشاهده کرد. اثرگذاری روی TKE زمانی که تغییر در ساختار (تراکم) ساختمانی ایجاد می‌شود، مشهود نیست. علاوه بر این، ارتفاع لایه مرزی حتی در مقایسه با اجرای کنترل افزایش می‌یابد. به این دلیل، این سناریو تنها یک اثر ناچیز روی دما را نشان می‌دهد. این راهبرد برنامه‌ریزی شهری زمانی مهم‌تر می‌شود که خیابان‌های اصلی در جهت دالان‌های هوای آزاد فراهم کننده تهویه طبیعی تنظیم شوند که به یک سرمایه‌محلی و حذف آلاینده‌ها منجر می‌شود.

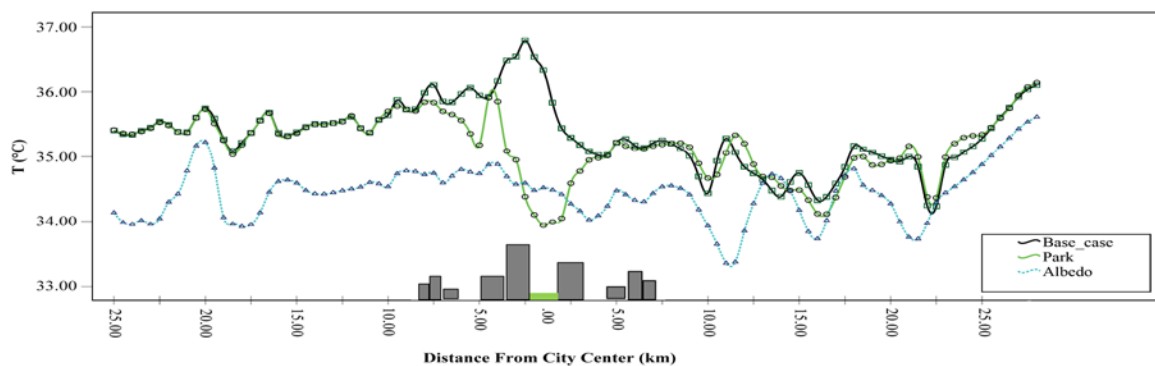
نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که کاهش میانگین PBLH (جدول ۵) با کاهش در دما همبسته می‌باشد. به دلیل عدم وجود داده‌های مشاهداتی کافی، تأیید اثر تغییرات در PBLH در این نقطه امکان‌پذیر نیست، اما مطالعه این اثر در مطالعات آینده بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

برای مقایسه شدت سناریوهای کاهش مختلف در طول دوره کامل شبیه‌سازی، تفاوت در دمای پتانسیل ۲ متری بین اجرای کنترل و دو سناریوی مختلف برای ایستگاه شهری در شکل ۹ نشان داده شده است. بزرگ‌ترین تأثیر روی دمای پتانسیل ۲ متری برای شبیه‌سازی تغییر سپیدایی اغلب در نزدیکی ظهر خورشیدی دیده می‌شود. افزایش پوشش گیاهی شهری بزرگ‌ترین تأثیر را در ساعات‌های بعد از ظهر و عصر دارد، زمانی که خنک‌سازی به وسیله تبخیر و تعرق ناشی از پوشش گیاهی در سطح تاثیر بیشتری نسبت به تغییر بازتابش سطحی دارد. با بررسی یک برش عرضی دمای پتانسیل ۲ متری از غرب تا شرق دامنه، توانایی اقدامات مختلف کاهش می‌تواند نشان داده شود.

شکل ۱۰ نشان می‌دهد که راهبرد «پارک بزرگ» بیشترین تاثیر را بر دمای هوا در یک سلول شبکه‌ای دارد. در اینجا یک سطح سبز می‌تواند دما را تا $3/5$ درجه سانتی‌گراد کاهش دهد. این در حالی است که منحنی دمایی برای تمام برش عرضی در راهبرد سپیدایی تنزل یافته است و اثر منطقه سبز تنها در خصوص مرکز شهر و به صورت محلی مشخص‌تر می‌باشد.



شکل ۹. تفاوت دما دو متری در بین حالت کنترل و دو سناریوی خاص برنامه‌ریزی شهری با استفاده از طرح تعیین پارامتر اثر ساختمانی (BEP) در طی ۵ روز تابستانی در سال ۲۰۱۶ (۱۸-۲۳ جولای).



شکل ۱۰. برش عرضی دمای پتانسیل ۲ متری در طول شهر در ۲۰ جولای ۲۰۱۶، ساعت ۱۸:۰۰ UTC؛ قسمت ۰ تا ۱۰ کیلومتر غربی و شرقی به عنوان منطقه شهری طبقه‌بندی شده است.

الگوهای کلی UHI و کاهش درجه حرارت از طریق راهبردهای برنامه‌ریزی شهری مانند آن‌هایی که در اینجا مورد بررسی قرار گرفتند، در مطالعات قبلی برای مناطق مختلف شهری یافت می‌شود. بولر و همکاران (2010) مطالعه مختلف را که اثرات ایجاد مناطق سبز در شهرها را ارزیابی کرده بودند، مقایسه کردند و اختلاف دمای هوا بین یک منطقه شهری ساختمانی و یک فضای سبز شهری به طور میانگین $0/5-2/5$ درجه سانتی‌گراد را نشان داد (Bowler, Buyung-Ali, Knight, & Pullin, 2010). روزنفلد و همکاران (1998) کاهش دمای ناشی از به‌کارگیری همزمان سقف‌های رنگی و پوشش گیاهی در حدود ۳ درجه سانتی‌گراد برای شهر لس‌آنجلس را ثبت کردند (Rosenfeld, Akbari, Romm, & Pomerantz, 1998)، در حالی که تونگ و همکاران (2005) کاهش درجه حرارت $1/6$ درجه سانتی‌گراد را برای استفاده از سقف سبز به تنهایی مشاهده کردند (Rizwan, Dennis, & Chunho, 2008). طاها (1997) کاهش ۲ درجه سانتی‌گراد در شدت UHI را در نتیجه به‌کارگیری یک

سپیدایی بالاتر گزارش کرد که با کاهش ۱۰ درصدی مصرف انرژی برای خنک‌سازی ساختمان همراه شد (Taha, 1997). نتایج کمپین دزریکس 2008 نشان می‌دهد که سقف‌های با بازتابندگی بالا قادر به کاهش شدت UHI در مادرید به میزان ۱-۲ درجه سانتی‌گراد هستند (Salamanca & Martilli, 2010). در رویکرد ما، هدف اصلی، به دست آوردن درک درستی از تاثیرات برخی از راهبردهای کاهشی بر برهمکنش منطقه‌ای شهری و روستایی، به جای پیش‌بینی‌های در مقیاس سطح خیابانی می‌باشد. با این وجود نتایج حاصل از این نوع مطالعات می‌تواند شرایط مرزی برای شبیه‌سازی‌های ریز مقیاس شهری را فراهم کند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه شبیه‌سازی تعدادی از راهبردهای برنامه‌ریزی شهری در مقیاس منطقه‌ای انجام گردید. با تنظیماتی که بیان شد، نشان دادن اثرات راهبردهای مختلف کاهشی بر شکل‌گیری UHI و آب‌وهوای شهری امکان‌پذیر می‌باشد. نتیجه‌گیری‌ها نه بر اساس یک سری تحلیل آماری کلی بلکه براساس یک مطالعه موردی برای یک بازه تابستانه صورت گرفت. با استفاده از رویکرد پارامترسازی‌های شهری انتخاب شده، شبیه‌سازی‌ها قادر به تولید ویژگی‌های کلی فضایی و زمانی UHI است که با مشاهدات این مطالعه و بسیاری از مطالعات دیگر سازگار است.

راهبرد افزایش سپیدایی سطوح شهری به نظر می‌رسد با کاهش در تفاوت درجه حرارت بین منطقه شهری و اطراف روستایی نزدیک به ۳/۵ درجه سانتی‌گراد، نتایج بسیار امید بخشی را ارائه می‌دهد، در حالی که دیگر راهبردها- ایجاد مناطق سبز و تغییر ساختار شهری (تراکم)- فقط کاهشی در حدود ۱ درجه سانتی‌گراد، در مقایسه با مورد کنترل را نشان می‌دهند. حداکثر دما نیز در هر سه راهبرد کاهش می‌یابد.

در بررسی جداگانه سلول‌های شبکه‌ای با استفاده از برش‌های عرضی (شکل ۱۰)، سطوح سبز بیشترین تاثیر را بر دمای پتانسیل ۲ متری با در نظر گرفتن سلول‌های شبکه‌ای به صورت جداگانه دارند. در مقابل به نظر می‌رسد که برای میانگین منطقه‌ای، راهبرد تغییر سپیدایی بیشترین اثر را دارد. نتایج به وضوح مشخص نمی‌کنند که برای برنامه‌ریزان شهر بهتر است یک منطقه سبز بزرگ در مرکز شهر در نظر بگیرند و یا یک تنوع از پارک‌های کوچک درون شهر ایجاد کنند.

به طور کلی شبیه‌سازی جزیره گرمایی شهری در مدل میان‌مقیاس جوی، به روز رسانی طرح‌های تعیین پارامتر شهری، مطالعه جدیدی نیست، اما عملکرد مدل به طرز چشمگیری افزایش داده شد و این مطالعه که مربوط به منطقه شهری تهران می‌شود، می‌تواند مبنایی برای بحث در مورد اثرات منطقه‌ای راهبردهای مختلف در مقیاس‌های مختلف برای برنامه‌ریزان شهر تهران باشد.

یکی دیگر از جنبه‌های مهم مطالعات اقلیمی شهری، تولید گرمای اضافی توسط فعالیت‌های انسانی است. این بحث شامل افزایش مصرف انرژی به دلیل استفاده از سیستم‌های تهویه هوا در طول دوره‌های تابستان و همچنین افزایش بار روی نیروگاه‌های متکی بر سوخت‌های فسیلی و همچنین افزایش آلاینده‌های هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. برای مطالعات آینده، رویکرد شبیه‌سازی عددی فعلی همچنین ممکن است برای بررسی توان بالقوه برخی سیاست‌های برنامه‌ریزی شهری برای صرفه‌جویی در انرژی و همچنین توسعه بیشتر شبیه‌سازی‌های بودجه انرژی یک منطقه شهری مورد استفاده قرار گیرد.

علاوه بر این، می‌توان مدل تاج پوشش شهری را به مدل شیمیایی WRF-Chem مرتبط ساخت تا تاثیر UHI را در شکل‌گیری آلاینده‌هایی مانند ازن، NOx و یا ذرات معلق ثانویه (PM10، PM2.5) نیز که در کنار مسایل گرمایشی در ارتباط با مسایل مربوط به سلامت انسان مهم می‌باشد، بررسی کرد. اما این مطالعه به طور ویژه، ایده‌هایی را برای برنامه‌ریزان شهری برای مقابله با مشکلات بهداشتی مانند تنش گرمایی ارائه کرد. اما نتیجه اصلی این کار را می‌توان این گونه بیان کرد که برای پیاده‌سازی واقعی در برنامه‌ریزی شهری، نباید تنها یک راهبرد کاهش ویژه اعمال کرد، بلکه باید ترکیبی از رویکردهای مختلف برای به دست آوردن بهترین نتیجه برای یک منطقه جغرافیایی خاص و ساکنان آن اعمال شود.

منابع

اشرفی، خسرو؛ رضا اصلانی، علیرضا اصلمند، بهروز یاری زاده. (۱۳۹۱). جزایر حرارتی شهری و مزایای بکارگیری بامهای خنک در جهت کاهش شدت آن از منظر مهندسی انرژی. اولین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط زیست، همدان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، شرکت هم اندیشان محیط زیست فردا.

A.Halabian, M. D. a. (2013). Classification synoptic circulation patterns impacting on air pollution in Tehran. *Journal of Applied Sciences Research*, **3(5)**, 140-146 .

Ahmadnezhad, E., Holakouie Naieni, K., Ardalan, A., Mahmoodi, M., Yunesian, M., Naddafi, K., & Mesdaghinia, A. R. (2013). Excess mortality during heat waves, Tehran Iran: an ecological time-series study. *Journal of Research in Health Sciences*, **13(1)**, 24-31 .

Akbari, H., Bretz, S., Kurn, D. M., & Hanford, J. (1997). Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. *Energy and Buildings*, **25(2)**, 117-126 .

Akbari, H., Menon, S., & Rosenfeld, A. (2009). Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO2. *Climatic Change*, **94(3-4)**, 275-286 .

Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International journal of climatology*, **23(1)**, 1-26 .

B.Hourcade, S. M. H. a. (2005). Atlas of Tehran Metropolis. *Pardazesh va Barnamerizi -e Shahri Publications, Tehran, Iran* .

Bokaie, M., Zarkesh, M. K., Arasteh, P. D., & Hosseini, A. (2016). Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/ Land Cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society Elsevier B.V.*, **23** .

Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, **97(3)**, 147-155 .

Chen, F., Kusaka, H., Bornstein, R., Ching, J., Grimmond, C., Grossman-Clarke, S., . . . Miao, S. (2011). The integrated WRF/urban modelling system: development, evaluation, and applications to urban environmental problems. *International journal of climatology*, **31(2)**, 273-288 .

D .O. ° Astr°om, F. B., and R. Joacim. (2011). Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: a review of recent studies. *Maturitas*, **69(2)**, 99-105 .

Ehlers, E., & Floor, W. (1993). Urban change in Iran, 1920-1941. *Iranian Studies*, **26** . ۲۷۵-۲۵۱ (۳-۴)

EPA. (2013). Measuring Heat Islands. Accessed at: <http://www.epa.gov/heatisland/about/measuring.htm> 07/22/2014 .

Fanni, Z. (2006). Cities and urbanization in Iran after the Islamic revolution. *Cities*, **23(6)**, 407-411 .

- G. R. Roshan, S. Z .S., D. Sauri, and R. Borna. (2010). Urban sprawl and climatic changes in Tehran. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, **7(1)**, 43-52 .
- Haashemi, S., Weng, Q., Darvishi, A., & Alavipanah, S. K. (2016). Seasonal variations of the surface urban heat Island in a semi-arid city. *Remote Sensing*, **8(4)** .(
- Hwang, Y. H., Lum, Q. J. G., & Chan, Y. K. D. . (2015). Micro-scale thermal performance of tropical urban parks in Singapore. *Building and Environment*, **94**, 467-476 .
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press* .
- Janjić, Z. I. (1994). The step-mountain eta coordinate model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. *Monthly Weather Review*, **122(5)**, 927-945 .
- Jansson, C., Jansson, P. E., & Gustafsson. (2007). Near surface climate in an urban vegetated park and its surroundings. . *D Theoretical and Applied Climatology*, **89(3-4)**, 185-193 .
- Kusaka, H., Kondo, H., Kikegawa, Y., & Kimura, F. (2001). A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: comparison with multi-layer and slab models. *Boundary-Layer Meteorology*, **101(3)** ,(۳۵۸-۳۲۹
- Liu, Y., Chen, F., Warner, T., & Basara, J. (2006). Verification of a mesoscale data-assimilation and forecasting system for the Oklahoma City area during the Joint Urban 2003 field project. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **45(7)**. ۹۲۹-۹۱۲ ,)
- Madanipour, A. (1998). *Tehran: the making of a metropolis*: Academy Press.
- Martilli, A., Clappier, A., & Rotach, M. W. (2002). An urban surface exchange parameterisation for mesoscale models. *Boundary-Layer Meteorology*, **104(2)**, 261-304 .
- Mitchell, K. (2005). The community NOAA-LSM-User's guide public release version 2.7. 1.
- Moghbelt, M., & Erfanian Salim, R. . (2017). Environmental benefits of green roofs on microclimate of Tehran with specific focus on air temperature, humidity and CO2content . *Urban Climate*, **20**, 46-58
- Oke, T., & Cleugh, H. (1987). Urban heat storage derived as energy balance residuals. *Boundary-Layer Meteorology*, **39(3)**, 233-245 .
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **108(455)**, 1-24 .
- Oleson, K. W., Bonan, G. B., & Feddema, J. (2010). Effects of white roofs on urban temperature in a global climate model. *Geophysical Research Letters*, **37(3)** .
- Oliveira, S., Andrade, H., & Vaz, T (2011). The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment*, **46(11)**, 2186-2194 .
- Onishi, A., Cao, X., Ito, T., Shi, F., & Imura, H. (2010). Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. *Urban forestry & Urban greening*, **9(4)**, 323-332 .
- P. Zawar-Reza, T. A., M. Gharaylou, and A. Shamsipour. (2010). Mesoscale controls on particulate matter pollution for a mega city in a semi-arid mountainous environment: Tehran, Iran. *International Journal of Environment and Pollution*, **41(1-2)**, 166-183 .
- Rizwan, A. M., Dennis, L. Y., & Chunho, L. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, **20(1)**, 1 . ۱۲۸-۲۰
- Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Romm, J. J., & Pomerantz, M. (1998). Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*, **28(1)**, 51-62 .

- Salamanca, F., & Martilli, A. (2010). A new Building Energy Model coupled with an Urban Canopy Parameterization for urban climate simulations—part II. Validation with one dimension off-line simulations. *Theoretical and applied climatology*, **99(3-4)**, 345 .
- Salamanca, F., Martilli, A., & Yagüe, C. (2012). A numerical study of the Urban Heat Island over Madrid during the DESIREX (2008) campaign with WRF and an evaluation of simple mitigation strategies. *International journal of climatology*, **32(15)**, 2372-2386 .
- Shahmohamadi, P., Che-Ani, A. I., Etessam, I., Maulud, K. N. A & , Tawil, N. M (2011). Healthy environment: The need to mitigate urban heat island effects on human health. . *Procedia Engineering*, **20**, 61-70 .
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Wang, W., & Powers, J. G. (2005). *A description of the advanced research WRF version 2*. Retrieved from
- Sodoudi, S., Shahmohamadi, P., Vollack, K., Cubasch, U., & Che-Ani, A. (2014). Mitigating the urban heat island effect in megacity Tehran. *Advances in Meteorology*, 2014 .
- Solecki, W. D., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J., & Wiencke, M. (2005). Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, **6(1)**, 39-49 .
- Taha, H. (1997). Modeling the impacts of large-scale albedo changes on ozone air quality in the South Coast Air Basin. *Atmospheric Environment*, **31(11)**, 1667-1676 .
- USGS. (2006). The National Land Cover Database. Accessed at: <http://landcover.usgs.gov/usgslandcover.php>: 05/25/2014 .
- Zawar-Reza, P. (2010). Numerical analysis of the 120 day wind over the Sistan Region, South-West Asia with TAPM. *Clean Air and Environmental Quality*, **41**, 21–24 .
- Zhou, Y., & Shepherd, J. M. (2010). Atlanta's urban heat island under extreme heat conditions and potential mitigation strategies. *Natural Hazards*, **52(3)**, 639-668 .

