

Impact Analysis of the Environmental Changes Index of Urban Sprawl on the Severe Weather Storm; Case Studies of Tehran, Mashhad, Ankara, and Istanbul

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Rabbani G.*1 PhD

How to cite this article

Rabbani G. Impact Analysis of the Environmental Changes Index of Urban Sprawl on the Severe Weather Storm; Case Studies of Tehran, Mashhad, Ankara, and Istanbul. Geographical Researches. 2020;35(4):333-341.

¹Department of Geography and Urban Planning, Research Center of Geography, Research Institute of Shakhes Pajouh, Isfahan, Iran

*Correspondence

Address: No. 217, Azadi 51, Azadi Boulevard, Mashhad, Iran. Postal Code: 919793733.

Phone: +98 (51) 36053878

Fax: -

ghazaleh.rabbani@gmail.com

Article History

Received: August 09, 2020

Accepted: September 02, 2020

ePublished: December 12, 2020

ABSTRACT

Aims Understanding the effect of urban physical development on urban air instability is a challenging issue. The aim of the present study was to analyze the environmental change index of urban sprawls and its relationship with the severe weather threat index (SWEAT) within four major cities of Iran and Turkey in the current situation (2018) and future probabilities (2030).

Methodology In this study, severe weather storm index data were extracted from upper-air level data in the radiosonde stations of Tehran, Mashhad, Ankara, and Istanbul. Also, urban sprawl data were obtained from the global data of the extent of human settlements.

Findings Analyzing the urban sprawl data revealed that the cities of Ankara and Istanbul have the highest physical development, respectively. According to the findings of the urban sprawl development model, the most severe rate of urban sprawl development is predicted for the city of Tehran. Based on the calculation of the environmental change index (ΔY) caused by sprawl dispersion, it was determined that the values of this index will be estimated between 0.61 to 1.98 for the four urban case studies in the future, where the most severe index (1.98) can be calculated for Tehran.

Conclusion Calculation of SWEAT in 2018 shows that the urban sprawl development and its resulting environmental changes had a significant effect on increasing occurrences of severe weather storms in the all urban areas with a correlation rate of 0.913. The forecast of this index also shows that the average severe weather storm index will increase between %19 to %118 by 2030 in the all urban areas, in which the most value is predictable for the city of Tehran.

Keywords Urban Sprawl; Statistical Analysis; Urban Development; Environmental Change Index; Severe Weather Threat Index

CITATION LINKS

[AbshaeV MT, et al; 2019] Characteristics of the ...; [Alpert P, et al; 2005] Global dimming or local ...; [Arsanjani J, et al; 2009] Spatiotemporal simulation of ...; [Baharvand S, Daneshvar MRM; 2019] Impact assessment of treating ...; [Baltaci H, et al; 2018] An extreme hailstorm on ...; [Bauman WH, et al; 2005] Severe weather forecast ...; [Bazrkar MH, et al; 2015] Urbanization and climate ...; [Beck HE, et al; 2018] Present and future 374 Köppen ...; [Bhat PA, et al; 2017] Urban sprawl and its impact ...; [Bhatta B; 2009] Analysis of urban growth pattern ...; [Burdon FJ, et al; 2016] Environmental context ...; [Das S; 2017] Severe thunderstorm observation ...; [Daneshvar MRM, Abadi NH; 2017] Spatial and temporal ...; [Daneshvar MRM, et al; 2019] Assessment of urban sprawl ...; [Derubertis D; 2006] Recent trends in four ...; [Dewan AM, Yamaguchi Y; 2009] Land use and land cover ...; [Dodman D; 2009] Blaming cities for ...; [Dulal HB, et al; 2011] Climate change mitigation ...; [Emadodin I, et al; 2016] Effects of urban sprawl on local ...; [Epstein J, et al; 2002] Techniques for mapping ...; [Fan H, Sailor DJ; 2005] Modeling the impacts ...; [GDEM; 2018] Global digital elevation ...; [Hijmans RJ, et al; 2005] Very high resolution ...; [Jat MK, et al; 2008] Monitoring and modelling ...; [Kardani-Yazd N, et al; 2019] Strategic spatial analysis ...; [Kaltenböck R, et al; 2009] Evaluation of thunderstorm ...; [Liu Y, et al; 2014] Spatiotemporal dynamics ...; [Makar PA, et al; 2006] Heat flux, urban properties ...; [Miller PW, Mote TL; 2018] Characterizing severe weather ...; [Mundia CN, Aniya M; 2006] Dynamics of landuse ...; [Pham HM, et al; 2011] A case study on the relation between ...; [Rabbani G, et al; 2020] Factors affecting severe ...; [Rabbani G, et al; 2017] Urban sprawl modeling ...; [Rafiee R, et al; 2009] Simulating urban growth in ...; [Rhodes CL, Senkbeil JC; 2014] Factors contributing to tornadogenesis ...; [Siedlecki M; 2009] Selected instability indices ...; [Sioutas MV, Flocas HA; 2003] Hailstorms in Northern ...; [Sudhira HS, et al; 2004] Urban sprawl: Metrics, dynamics ...; [Tewolde MG, Cabral P; 2011] Urban sprawl analysis and modeling ...; [Tyrrell J; 2007] Winter tornadoes in Ireland ...; [Wang J, et al; 2014] Lightning potential forecast ...; [World Urbanization Prospects; 2019] Population division of the ...; [Wyoming Weather Web; 2018] Weather Information ...; [Yuan F, et al; 2005] Land cover classification and ...;

تحلیل اثر تغییرات محیطی پراکنده‌رویی شهری بر شدت توفانی‌شدن هوا (نمونه‌های موردی: تهران، مشهد، آنکارا و استانبول)

غزاله ربانی^۱ PhD

گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، پژوهشکده جغرافیا، پژوهشگاه شاخص پژوه، اصفهان، ایران

چکیده

اهداف: درک اثر توسعه فیزیکی شهر بر ناپایداری هوای شهری، یک موضوع چالش‌برانگیز است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل شاخص تغییرات محیطی پراکنده‌رویی شهری و ارتباط آن با شاخص شدت توفانی‌شدن هوا (SWEAT) در چهار منطقه شهری ایران و ترکیه در شرایط فعلی (۲۰۱۸) و احتمالات آینده (۲۰۳۰) انجام شد.

روش‌شناسی: در این پژوهش، داده‌های شاخص توفانی‌شدن هوا از داده‌های جو بالای ایستگاه‌های رادیوسوند تهران، مشهد، آنکارا و استانبول استخراج شد. همچنین داده‌های پراکنده‌رویی شهری از داده‌های شبکه جهانی سکونتگاه‌های انسانی فراهم شدند.

یافته‌ها: تحلیل پراکنده‌رویی شهری نشان داد که شهرهای آنکارا و استانبول به ترتیب بیشترین توسعه فیزیکی را به خود اختصاص داده‌اند. طبق یافته‌های مدل توسعه پراکنده شهری، شدیدترین نرخ توسعه پراکنده برای شهر تهران پیش‌بینی می‌شود. براساس محاسبه شاخص تغییرات محیطی ناشی از پراکنده‌رویی (ΔY) هم مشخص شد که در آینده مقادیر این شاخص برای چهار محدوده شهری مورد مطالعه بین ۰/۶۱ تا ۱/۹۸ خواهد بود که شدیدترین این تغییرات محیطی (۱/۹۸) برای شهر تهران قابل محاسبه است.

نتیجه‌گیری: محاسبه شاخص توفانی‌شدن هوا در سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهد که توسعه و پراکنده‌رویی شهری و تغییرات محیطی ناشی از آن با نرخ همبستگی ۰/۹۱۳ اثر قابل توجهی در افزایش رخدادهای توفانی هوا در کل مناطق شهری داشته است. پیش‌بینی مقدار این شاخص برای سال ۲۰۳۰ نشان می‌دهد که متوسط شاخص توفانی‌شدن هوا در مناطق شهری مورد مطالعه بین ۱۹٪ تا ۱۱۸٪ افزایش خواهد داشت که بیشترین میزان برای شهر تهران قابل پیش‌بینی است.

کلیدواژه‌ها: پراکنده‌رویی شهری، تحلیل آماری، توسعه شهری، شاخص تغییرات محیطی، شاخص توفانی‌شدن هوا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۲

نویسنده مسئول: ghazaleh.rabbani@gmail.com

مقدمه

پویایی مکانی رشد شهر مبحثی اساسی در تحلیل‌های شهری و برنامه‌ریزی شهری است [Bhatta, 2009] چرا که معمولاً مناطق شهری در جهان رشد سریع‌تری از جمعیت شهری را نشان می‌دهند [Tewolde & Cabral, 2011]. بر این اساس، گسترش سریع شهرنشینی منجر به ایجاد اشکالی از گسترش پراکنده‌رویی شهری می‌شود [Sudhira et al., 2004]. پراکنده‌رویی شهری در برابر یک نوع ایده‌آل از شهر فشرده اندازه‌گیری می‌شود که به شکل رشد حومه،

توسعه پراکنده شهرها و درجه پراکنش مکانی کاربری اراضی اندازه‌گیری می‌شود. این‌گونه از رشد شهری، باعث می‌شود تا برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران ناچار شوند تا فشار بیشتری را بر اراضی و منابع طبیعی موجود وارد کنند [Rafiee et al., 2009]. لذا برای اتخاذ تصمیمات آگاهانه جهت توسعه پایدار در محیط‌های شهری، روش‌های پیشرفته و قابل اعتمادی جهت ارزیابی توسعه شهری مورد نیاز است [Pham et al., 2011]. یکی از روش‌های مطلوب در مدل‌سازی توسعه شهری، اندازه‌گیری پراکنده‌رویی شهری است که به‌عنوان یک مفهوم چندوجهی در ارتباط با گسترش افقی اراضی شناخته می‌شود [Yuan et al., 2005]. بررسی ادبیات تحقیق نشان می‌دهد که، تکنیک‌های آماری، روش سنجش از دور و استفاده از GIS به‌طور فزاینده‌ای در بسیاری از مطالعات پراکنده‌رویی شهری مورد استفاده قرار گرفته است [Jat et al., 2008].

تغییر کاربری زمین و تفکیک اراضی یکپارچه ناشی از پراکنده‌رویی شهری و رشد حومه‌های شهری باعث تخریب محیط‌زیست شده [Arsanjani et al., 2013] و باعث تغییرات آب و هوا با برخی رویدادهای حدی در مقیاس منطقه‌ای می‌شود [Emadodin et al., 2016]. در همین راستا محققان نشان داده‌اند که شهرنشینی در دهه‌های اخیر به آشفستگی آب و هوا منجر شده است [Bazrkar et al., 2015]. محققان در سراسر جهان پیشرفت قابل‌توجهی در اندازه‌گیری کمی اثر پراکنده‌رویی شهری بر محیط انجام داده‌اند از جمله [Epstein et al., 2002; Liu et al., 2014; Bhat et al., 2017, Rabbani et al., 2017]. در همین ارتباط رابطه پراکنده‌رویی شهری و تغییرات کاربری زمین مکرراً توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است همچون کارهای [Mundia & Aniya, 2006; Jat et al., 2008; Dewan & Yamaguchi, 2009; Liu et al., 2014]. همچنین بارها به نقش توسعه فیزیکی شهرها در تغییرات حرارتی و دینامیکی اقلیم جهانی، جزایر حرارتی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثرات آن در سناریوهای آینده اقلیم اشاراتی شده است که از جمله آنها می‌توان به کارهای مختلفی چون [Fan & Sailor, 2005; Alpert et al., 2005; Makar et al., 2006; Dodman, 2009; Dulal et al., 2011; Daneshvar & Abadi, 2017] اشاره کرد.

در مورد ارزیابی اثرات پراکنده‌رویی شهری بر تغییرات محیطی و تغییر اقلیم منطقه‌ای تحقیقات محدودی در ایران انجام شده است. برای نمونه رابطه تغییرات اقلیم شهری با درجه پراکنده‌رویی شهری بررسی شده و نشان داده است که بین ۴ پارامتر آب و هوایی (دمای سطح زمین، شارش امواج بلند سطحی، مقدار ازن اتمسفری و تراکم کربن سیاه) و پراکنده‌رویی شهری رابطه مثبت و مستقیم همبستگی بین ۰/۸۳ تا ۰/۹۸ وجود دارد [Daneshvar et al., 2019]. طبق آزمون‌های آماری، رابطه مؤثری بین عناصر اقلیمی بارش، رطوبت نسبی و درجه پوشش ابری هوا را با شاخص‌های پراکنده‌رویی با مقدار همبستگی بین ۰/۶۳ تا ۰/۹۳ برآورد شده‌اند [Rabbani et al., 2020]. با وجود این تحقیقات، تلاش‌های کافی برای

روش‌شناسی

نوع پژوهش کاربردی است. اطلاعات پروفیل عمودی هوا برای استخراج مستقیم داده‌های SWEAT روزانه از طریق پایگاه داده دانشگاه وایومینگ ایالات متحده [Weather Information for Wyoming, 2018] طی ۳۶۵ روز سال ۲۰۱۸ مورد استناد قرار گرفت. برای این منظور از ایستگاه‌های داده‌های جو- بالای ایستگاه‌های رادیوسوند شهرهای آنکارا (کد: ۱۷۱۳۰)، استانبول (کد: ۱۷۰۶۴)، مشهد (کد: ۴۰۷۴۵)، و تهران (کد: ۴۰۷۵۴) استفاده شد. با توجه به حجم بالای داده‌های خام گردآوری‌شده، شاخص SWEAT از ایستگاه‌های رادیوسوند و پردازش آمار روزانه در نرم‌افزارهای SPSS 16 و Excel 2010، پنجره زمانی این تحقیق در بازه ۳۶۵ روز سال ۲۰۱۸ متمرکز شد. همچنین اطلاعات مکانی برای پراکنده‌رویی شهری از داده‌های جهانی سکونتگاه‌ها و ساخت‌وساز انسانی (HBASE) به میزبانی مرکز داده‌های اقتصادی سازمان ملی هوا- فضا (NASA) از بررسی مجموعه داده‌های ماهواره‌ای Landsat به دست آمد [Kardani-Yazd et al., 2019]. در نهایت، جمعیت مناطق شهری بر مبنای آخرین مستند جمعیت‌نگاری جهانی سازمان ملل در سال ۲۰۱۸ استخراج شد. همچنین برای جمع‌بندی و تجزیه‌وتحلیل داده‌های کمی، تعیین روابط بین متغیر وابسته (توفانی‌شدن هوا) و متغیر مستقل (پراکنده‌رویی شهری) از روش اندازه‌گیری آزمون همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS 16 استفاده شد.

داده‌های مدل پراکنده‌رویی شهری

پیش‌بینی گسترش پراکنده‌رویی شهری در آینده احتمالی یک استراتژی قابل اعتماد را برای برنامه‌ریزی آینده شهرها فراهم می‌کند. در این تحقیق وضعیت پراکنده‌رویی شهری هم در وضعیت موجود (سال ۲۰۱۸) و هم در وضعیت بالقوه احتمالی (سال ۲۰۳۰) و بر مبنای داده‌های جهانی سکونتگاه‌ها و ساخت‌وساز انسانی (HBASE) تهیه شد. مجموعه داده‌های HBASE در واقع بر مبنای شبکه جهانی داده‌های پوشش مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای Landsat در سال پایه ۲۰۱۰ تدارک دیده شده است و شامل یک طبقه‌بندی احتمالی از توسعه پراکنده شهری (بین صفر تا ۱۰۰٪) و اراضی قابل توسعه شهرها در حال و آینده است [Wang et al., 2014]. در مطالعه حاضر، علاوه بر وضع موجود در سال ۲۰۱۸ از یک سطح توسعه احتمالی با اطمینان ۷۵٪ برای پیش‌بینی پراکنده‌رویی شهری تا سال ۲۰۳۰ استفاده شد. در ادامه با شاخص‌سازی تغییرات محیطی بر مبنای این داده‌ها، احتمال اثرگذاری توسعه پراکنده شهری بر تغییر اقلیم منطقه‌ای مورد بحث قرار گرفت.

شاخص تغییرات محیطی

شاخص تغییرات محیطی را می‌توان به‌عنوان یک روش برای تعیین حساسیت محیطی در مقیاس محلی و منطقه‌ای در نظر گرفت [Burdon et al., 2016]. بر این اساس، از شاخص تغییرات محیطی می‌توان برای ارزیابی حساسیت و تغییرات محیطی در پاسخ به توسعه‌های انسانی مثل توسعه پراکنده شهری استفاده کرد. برای

آشکارکردن اثرات شهری بر شاخص‌های حدی آب و هوا (به‌عنوان مثال، رعد و برق یا توفانی‌شدن هوا) مشاهده نشده است. بنابراین نوآوری و اهمیت اصلی این مقاله نسبت به مقالات انجام‌شده مربوط به ارزیابی تغییرات یک شاخص توسعه شهری در مقایسه با اثرات احتمالی آن بر یک شاخص مهم اقلیمی است که تاکنون به درستی بررسی نشده است، همچنین این مقاله از پایگاه داده‌های معتبر بین‌المللی برای تعیین روابط جدیدی از تغییرات محیطی $[\Delta Y]$ در محیط‌های شهری استفاده کرده است که در مقالات ارزشمند اخیر مثل [Daneshvar et al., 2019; Rabbani et al., 2020] هم به کار گرفته نشده‌اند. با این توصیف می‌توان گفت که هدف اصلی این تحقیق، تحلیل شاخص تغییرات محیطی پراکنده‌رویی شهری و ارتباط آن با شاخص شدت توفانی‌شدن هوا (SWEAT) است. این مسئله، به‌عنوان اصلی‌ترین چالش، زمینه را برای تحقیق از طریق مطالعه شدت تغییرات اقلیمی و آرایه یک رویکرد کمی برای ایجاد ارتباط آن با نسبت پراکنده‌رویی شهری در چند شهر بزرگ ایران و ترکیه در شرایط فعلی (۲۰۱۸) و احتمالات آینده (۲۰۳۰) فراهم می‌کند.

شاخص شدت توفانی‌شدن هوا (Severe Weather Threat: SWEAT) به‌عنوان یک پیش‌بینی‌کننده مهم اغتشاش و ناپایداری هوا مطرح شده است [Wang et al., 2014]. آشفستگی هوا و توفانی‌شدن آن را معمولا از طریق نظارت روزانه و با استفاده از ایستگاه‌های رادیوسوند ثبت‌کرده و در قالب شاخص‌های آماری مختلفی برای تمایز بین همرفت معمولی و شدید هوا نشان می‌دهند [Kaltenböck et al., 2009]. در این میان، شاخص SWEAT برای اندازه‌گیری ناپایداری جوی و توفانی‌شدن هوا شاخص مناسبی است [Siedlecki, 2009]. این شاخص بر مبنای اندازه‌گیری رطوبت، سرعت باد و برش عمودی، روشی بسیار ساده برای تعیین هوای آشفته و توفانی است و برای نشان‌دادن وضعیت ناپایدار جوی در مناطق شهری هم استفاده کرد [Miller & Mote 2018; Baltaci et al., 2018].

در سال‌های اخیر، شاخص SWEAT به‌طور گسترده برای ردیابی بارش‌های همرفتی و آشفستگی هوا در مناطق مختلفی از جمله یونان [Derubertis, 2003]. [Sioutas & Flocas, 2003]. ایالات متحده، [Tyrrell, 2007]. خلیج مکزیک [Rhodes & Senkbeil, 2014]. و قفقاز شمالی [Abshaev et al., 2019] مورد استفاده و استناد قرار گرفته است. این تحقیقات غالباً تغییرات شاخص را در مناطق غیرشهری مورد بررسی قرار داده‌اند. از این رو، به نظر می‌رسد یک بررسی جدید برای ارزیابی شاخص در مناطق شهری لازم است چرا که درک اثر توسعه فیزیکی شهر بر ناپایداری هوای شهری خود یک موضوع چالش برانگیز است [Derubertis, 2006]. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات روزانه شاخص SWEAT در چهار منطقه شهری ایران و ترکیه انجام شد تا نقش توسعه پراکنده شهری در وضع فعلی و آینده را بر وضعیت توفانی‌شدن هوای محیط‌های شهری توضیح دهد.

این منظور می‌توان به پیشنهاد محققان از رابطه ساده زیر استفاده کرد [Baharvand & Daneshvar 2019; Kardani-Yazd et al., 2019]

(رابطه ۱)

$$\Delta Y = Y/X \times \Delta X$$

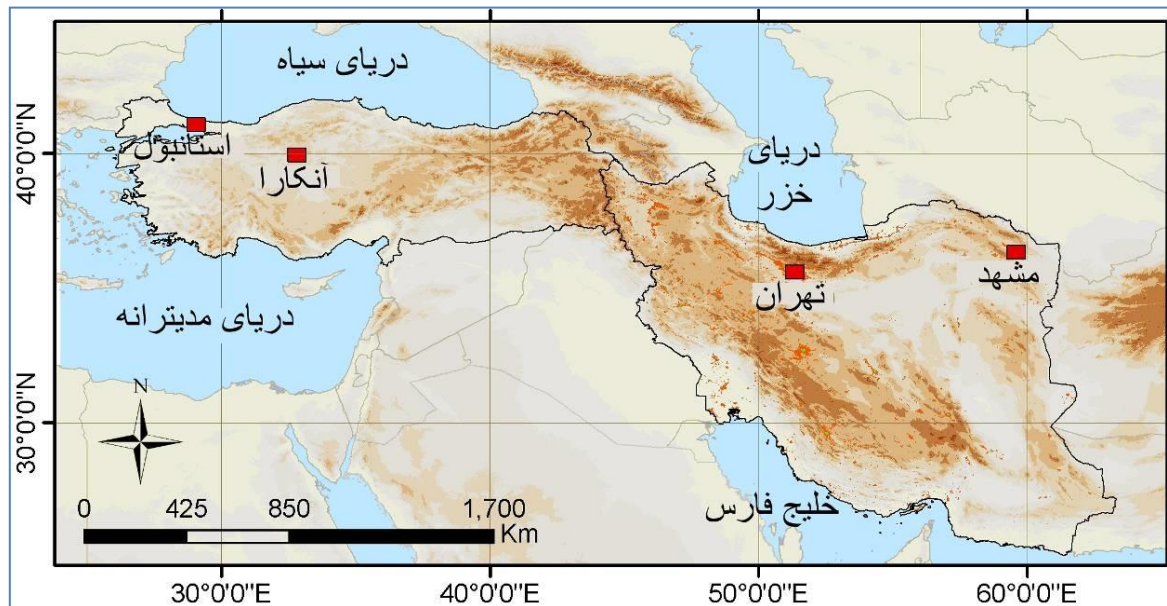
که در آن ΔY یک شاخص تغییر محیطی (بدون واحد) است، ΔX شاخص آشفستگی محیط بوده که در اینجا نسبت پراکنده‌رویی شهری (بدون واحد) است که براساس نرخ گسترش فیزیکی شهری (به کیلومتر مربع) در بازه‌های زمانی حال (۲۰۱۸) و آینده (۲۰۳۰) نسبت به حد گسترش شهر در سال پایه ۲۰۱۰ تخمین زده می‌شود. مقدار Y اندازه‌گیری وضعیت فعلی یک متغیر در بازه زمانی یا مکانی خاص است که در این تحقیق دربرگیرنده مساحت اراضی تحت توسعه پراکنده شهری در بازه‌های زمانی ۲۰۱۸ و ۲۰۳۰ به کیلومتر مربع است و مقدار X حداکثر مساحت اراضی قابل توسعه شهرها به کیلومتر مربع در چارچوب محدوده مطالعاتی (محدوده‌های ۳۵۰۰ کیلومتر مربعی) است که همه این داده‌ها از مجموعه داده‌های HBASE استخراج می‌شوند. معمولاً حداقل (حداکثر) مقادیر ΔY نزدیک به صفر (یک یا بیشتر) به حساسیت پایین (بالا) با تغییر محیطی کمتر (زیادتر) متاثر از گسترش پراکنده شهری در دوره‌های فعلی (۲۰۱۸) یا آینده (۲۰۳۰) بستگی دارد.

شاخص توفانی شدن هوا

شاخص SWEAT به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های پروفیل عمودی هوا در ایستگاه‌های رادیوسوند، پتانسیل شرایط آب و هوایی شدید را در هر منطقه با ترکیب رطوبت سطح پایین جو، ناپایداری دمایی و نسبت فرارفت هوای گرم ارزیابی می‌کند. این شاخص ابتدا توسط میلر معرفی شد [Miller, 1972] و سپس توسط محققان دیگری در مناطق مختلف توسعه یافت [Bauman et al., 2005; Wang et al., 2014; Das, 2017]. معمولاً مقادیر بیشتر از ۳۰۰ نشان‌دهنده پتانسیل رعدوبرق شدید و مقادیر بیش از ۴۰۰ نشانگر فعالیت گردباد است [Derubertis, 2006]. طبق طبقه‌بندی محققان در محیط‌های شهری، شدت هوای توفانی به ترتیب تحت عنوان کلاس‌های با ناپایداری کم، ناپایداری زیاد و ناپایداری شدید برای مقادیر شاخص کمتر از ۲۰۰، بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ و بیشتر از ۳۰۰ تعریف شده است [Bauman et al., 2005]. به‌طوری که مقدار SWEAT بالاتر از ۳۰۰ مربوط به آستانه وقوع طوفان‌های شدید است [Rabbani et al., 2020].

مناطق مورد مطالعه

محدوده مطالعه این تحقیق شامل مناطق شهری منتخب در کشورهای ایران و ترکیه به نام تهران و مشهد، آنکارا و استانبول بود که در امتداد عرض جغرافیایی ۳۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی منطقه خاورمیانه واقع شده‌اند (شکل ۱).



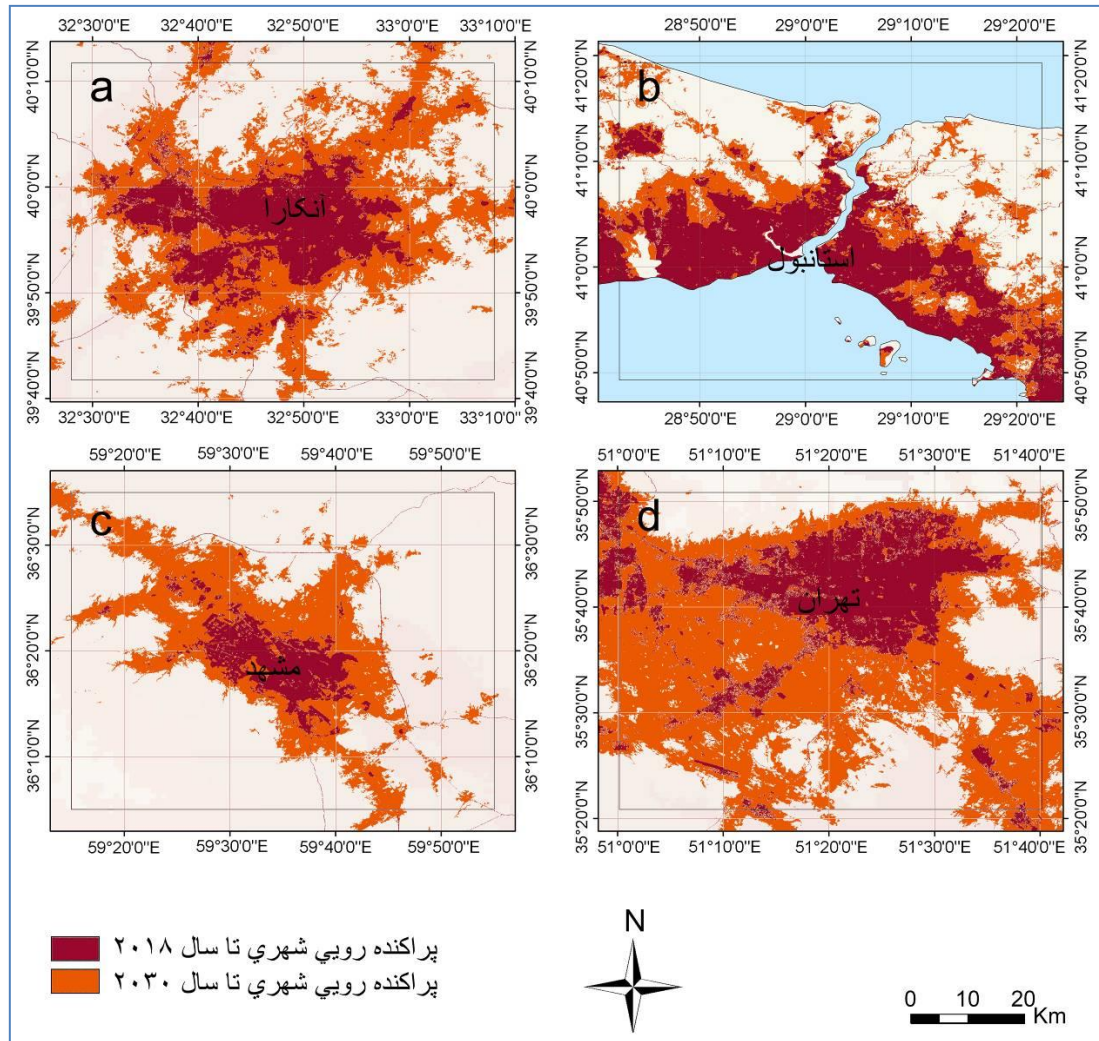
شکل ۱) موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

گرفته شده است که یک چارچوب مشخص را با عرض ۳۰ درجه و طول ۴۰ درجه و مساحت تقریباً یکسان ۳۵۰۰ کیلومتر مربعی به وجود آورده است [Rabbani et al., 2020]. این چارچوب تمامی حجم توسعه و پراکنده‌رویی شهری را در سال ۲۰۱۸ و همچنین احتمال پراکنده‌رویی تا سال ۲۰۳۰ را برای هر کدام از محدوده‌های

دلیل انتخاب این مناطق شهری مربوط به انتخاب بزرگ‌ترین شهرهای ایران و ترکیه با داشتن حداقل آستانه جمعیتی بالای ۳ میلیون نفر و موقعیت جغرافیایی آنها روی کمربند کوهستانی آلپ-همیالیا بود. مختصات جغرافیایی هر محدوده مورد مطالعه در یک چارچوب مستطیلی شکل دقیقاً در پیرامون هسته‌های شهری در نظر

مورد مطالعه شامل شده است (شکل ۲). شهر آنکارا با جمعیت ۴/۹ میلیون نفری بین ۴۰° ۳۰' تا ۳۹° ۴۰' عرض شمالی و ۳۲° ۳۰' تا ۳۳° ۱۰' طول شرقی با متوسط ارتفاعی ۸۹۰ متر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد (شکل ۲a).

شهر استانبول با جمعیت ۱۴/۷ میلیون نفری بین ۴۰° ۵۰' تا ۴۱° ۲۰' عرض شمالی و ۲۹° ۲۰' تا ۲۸° ۴۰' طول شرقی با متوسط ارتفاعی ۲۰ متر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد (شکل ۲b). شهر مشهد با جمعیت ۳/۰ میلیون نفری بین ۳۶° ۱۰' تا ۳۶° ۳۰' عرض شمالی و ۵۹° ۲۰' تا ۵۹° ۵۰' طول شرقی با متوسط ارتفاعی ۱۱۹۰ متر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد (شکل ۲c). علاوه بر اینها شهر تهران با جمعیت ۸/۹ میلیون نفری بین ۳۵° ۲۰' تا ۳۵° ۵۰' عرض شمالی و ۵۱° ۲۰' تا ۵۱° ۴۰' طول شرقی با متوسط ارتفاعی ۹۹۰ متر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد (شکل ۲d). داده‌های جمعیتی یادشده در بالا از آخرین مستند جمعیت‌نگاری جهانی در سال ۲۰۱۸ به دست آمد [WUP, 2018].



شکل ۲) چارچوب جغرافیایی محدوده‌های شهری مورد مطالعه شامل توسعه پراکنده رویی در سال ۲۰۱۸ برای شهرهای (a) آنکارا، (b) استانبول، (c) مشهد، و (d) تهران

(جدول ۱).

طبق طبقه‌بندی آب و هوای کوپن-کیگر (Köppen-Geiger)، که توسط محققان در سال ۲۰۱۸ کالیبره شده است، استانبول و آنکارا در منطقه گرم و معتدل و تهران و مشهد در منطقه گرم و خشک قرار دارند [Beck et al., 2018].

جدول ۱) مشخصات فضایی و جمعیتی محدوده‌های مورد مطالعه

مشخصات	آنکارا	استانبول	مشهد	تهران
جمعیت (میلیون نفر)	۴/۹	۱۴/۷	۳/۰	۸/۹
عرض جغرافیایی	۳۹/۹۲۰	۴۱/۰۱۴	۳۶/۲۹۷	۳۵/۶۹۴
طول جغرافیایی	۳۲/۸۵۴	۲۸/۹۵۰	۵۹/۶۰۶	۵۱/۴۲۲
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۸۹۰	۲۰	۹۹۰	۱۱۹۰

کل بارش سالانه و میانگین دمای سالانه مناطق مورد مطالعه به ترتیب ۹۵۰-۱۵۰ میلی‌متر و ۲۱-۱۴ درجه سانتی‌گراد ثبت شده که از پایگاه داده جهانی WorldClim در یک دوره بلندمدت ۲۰۰۰-۱۹۵۰

شهر استانبول با جمعیت ۱۴/۷ میلیون نفری بین ۴۰° ۵۰' تا ۴۱° ۲۰' عرض شمالی و ۲۹° ۲۰' تا ۲۸° ۴۰' طول شرقی با متوسط ارتفاعی ۲۰ متر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد (شکل ۲b). شهر مشهد با جمعیت ۳/۰ میلیون نفری بین ۳۶° ۱۰' تا ۳۶° ۳۰' عرض شمالی و ۵۹° ۲۰' تا ۵۹° ۵۰' طول شرقی با متوسط ارتفاعی ۱۱۹۰ متر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد (شکل ۲c). علاوه بر اینها شهر تهران با جمعیت ۸/۹ میلیون نفری بین ۳۵° ۲۰' تا ۳۵° ۵۰' عرض شمالی و ۵۱° ۲۰' تا ۵۱° ۴۰' طول شرقی با متوسط ارتفاعی ۹۹۰ متر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد (شکل ۲d). داده‌های جمعیتی یادشده در بالا از آخرین مستند جمعیت‌نگاری جهانی در سال ۲۰۱۸ به دست آمد [WUP, 2018].

آستانه‌های ارتفاعی مناطق مورد مطالعه نیز بر مبنای داده‌های رقومی ارتفاعی جهانی [GDEM, 2018] به دست آمده که به‌طور میانگین بین ۲۰ تا ۱۱۹۰ متر از سطح دریاهای آزاد را نشان می‌دهد

به رشد جمعیتی این دو شهر است. به بیان دیگر تا سال ۲۰۳۰ نرخ رشد پراکنده‌رویی در این شهرها حداقل دوبرابر نرخ رشد جمعیت قابل پیش‌بینی است که این خود نشان‌دهنده ضرورت کنترل توسعه فیزیکی و ایجاد تعادل فضایی برای این شهرها تا سال ۲۰۳۰ است. در نهایت شهر آنکارا با تراکم جمعیتی ۳/۵ تا ۳/۳ هزار نفر در کیلومتر مربع بین سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۳۰ متعادل‌ترین توسعه شهری را رقم زده است (جدول ۳).

جدول ۳) مشخصات جمعیت و تراکم جمعیتی بر مبنای داده‌های WUP

مشخصات	آنکارا	استانبول	مشهد	تهران
جمعیت (میلیون نفر)				
سال ۲۰۱۸	۴/۹	۱۴/۷	۳/۰	۸/۹
سال ۲۰۳۰	۵/۹	۱۷/۱	۳/۷	۱۰/۳
تراکم جمعیتی (هزار نفر در کیلومتر مربع)				
سال ۲۰۱۸	۳/۵	۱۱/۳	۶/۰	۸/۹
سال ۲۰۳۰	۳/۳	۱۰/۷	۴/۶	۴/۷

محاسبه شاخص تغییرات محیطی ناشی از پراکنده‌رویی

شاخص تغییرات محیطی (ΔY) در واقع شاخصی بر مبنای سطح آشفتگی‌های پراکنده‌رویی شهری (ΔX) در دوره‌های زمانی فعلی (۲۰۱۸) و آتی (۲۰۳۰) است. برای این منظور پایگاه داده HBASE مبتنی بر داده‌های سنجش از دور LULC برای بازه‌های زمانی یادشده استفاده شد. ارزیابی‌ها و تحلیل مکانی پایگاه داده مذکور برای محاسبات شاخص (ΔY) نیز در GIS انجام شد (جدول ۴).

جدول ۴) محاسبه شاخص تغییرات محیطی ΔY ناشی از پراکنده‌رویی و اجزای آن برای سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۳۰

مشخصات	آنکارا	استانبول	مشهد	تهران
نسبت پراکنده‌رویی به اراضی قابل توسعه (Y/X)				
سال ۲۰۱۸	۰/۴۰	۰/۳۷	۰/۱۴	۰/۲۹
سال ۲۰۳۰	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۲۳	۰/۶۳
آشفتگی محیطی ناشی از پراکنده‌رویی (ΔX)				
سال ۲۰۱۸	۱/۴۰	۱/۱۸	۱/۶۷	۱/۴۳
سال ۲۰۳۰	۱/۸۰	۱/۴۵	۲/۶۷	۳/۱۴
شاخص تغییر محیطی (ΔY)				
سال ۲۰۱۸	۰/۵۶	۰/۴۴	۰/۲۴	۰/۴۱
سال ۲۰۳۰	۰/۹۳	۰/۶۶	۰/۶۱	۱/۹۸

طبق نتایج به‌دست‌آمده در وضع موجود (۲۰۱۸)، مقادیر ΔY برای چهار محدوده شهری مورد مطالعه بین ۰/۴۱ تا ۰/۵۶ محاسبه شد. این مقادیر وقتی کاربردی خواهد بود که با ارقام متناظر در بازه زمانی آینده (سال ۲۰۳۰) مقایسه شوند. بر این اساس مشخص شد که در آینده (۲۰۳۰)، مقادیر ΔY برای چهار محدوده شهری مورد مطالعه بین ۰/۶۱ تا ۱/۹۸ خواهد بود که به بیان دیگر مقادیر تغییرات محیطی ناشی از پراکنده‌رویی شهری افزایش پیدا خواهد کرد. در این بین شهر تهران با افزایش حدود دوبرابری شدیدترین تغییرات محیطی احتمالی را رقم خواهد زد. این در حالی است که سایر شهرها علی‌رغم افزایش سطح پراکنده‌رویی همچنان در بازه

به دست آمده است [Hijmans et al., 2005]. میزان متوسط بارندگی سالانه در مناطق مورد مطالعه مقادیر کاهش را در امتداد طول جغرافیای غرب به شرق (از استانبول تا مشهد) به میزان ۸۰۰ میلی‌متر نشان می‌دهد. همچنین میزان متوسط سالانه دما حدود ۷ درجه سانتی‌گراد افزایش را نشان می‌دهد.

یافته‌ها

تحلیل مدل پراکنده‌رویی شهری در شرایط فعلی ۲۰۱۸ و آتی ۲۰۳۰

براساس وضع موجود ساختار توسعه شهری محدوده‌های مورد مطالعه در سال ۲۰۱۸، شهرهای تهران، مشهد، آنکارا و استانبول به ترتیب در پهنه‌هایی به مساحت ۱۰۰۰، ۵۰۰، ۱۴۰۰ و ۱۳۰۰ کیلومتر مربعی توسعه پراکنده شهری داشته‌اند. این در حالی است که توسعه فیزیکی شهری در سال پایه ۲۰۱۰ برای این شهرها به ترتیب معادل ۷۰۰، ۳۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۱۰۰ کیلومتر مربع بوده است. بنابراین شهرهای آنکارا و استانبول به ترتیب بیشترین توسعه فیزیکی (بیشتر از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع) را در این بازه‌های زمانی به خود اختصاص داده‌اند. همچنین احتمال توسعه پراکنده‌رویی شهری تا سال ۲۰۳۰ به میزان ۲۲۰۰، ۸۰۰، ۱۸۰۰ و ۱۶۰۰ کیلومتر مربع به ترتیب برای تهران، مشهد، آنکارا و استانبول قابل پیش‌بینی است که یک نرخ شدید توسعه پراکنده شهری (بالای ۲۰۰۰ کیلومتر مربع) را برای تهران نشان می‌دهد (جدول ۲).

جدول ۲) مشخصات پراکنده‌رویی شهری (کیلومتر مربع) بر مبنای داده‌های HBASE

نام شهر	سال ۲۰۱۰	سال ۲۰۱۸	سال ۲۰۳۰
آنکارا	۱۰۰۰	۱۴۰۰	۱۸۰۰
استانبول	۱۱۰۰	۱۳۰۰	۱۶۰۰
مشهد	۳۰۰	۵۰۰	۸۰۰
تهران	۷۰۰	۱۰۰۰	۲۲۰۰

در کنار این داده‌ها می‌توان وضعیت جمعیتی شهرهای یادشده را هم مورد بررسی قرار داد، به طوری که در سال ۲۰۱۸ جمعیت شهرهای تهران، مشهد، آنکارا و استانبول به ترتیب ۸/۹، ۳/۰، ۴/۹ و ۱۴/۷ میلیون نفر بوده که نشان‌دهنده یک تفاوت محسوس بین جمعیت استانبول با دیگر شهرهاست، در حالی که در سال ۲۰۳۰ این جمعیت‌ها به ترتیب معادل ۱۰/۳، ۳/۷، ۵/۹ و ۱۷/۱ میلیون نفر پیش‌بینی می‌شود. بر مبنای تراکم جمعیتی در سطح توسعه‌های فعلی (۲۰۱۸) و آتی (۲۰۳۰) هم می‌توان دریافت که در سال ۲۰۱۸ بیشترین تراکم جمعیتی مربوط به شهر استانبول به میزان ۱۱/۳ هزار نفر در کیلومتر مربع بوده است، در حالی که این میزان تا سال ۲۰۳۰ کاهش جزئی را نشان داده است. در رتبه‌های بعدی تراکم جمعیتی شهرهای تهران و مشهد با نسبت ۸/۹ و ۶/۰ هزار نفر در کیلومتر مربع برای سال ۲۰۱۸ به میزان ۴/۷ و ۴/۶ هزار نفر در کیلومتر مربع برای سال ۲۰۳۰ کاهش شدید پیدا کرده‌اند که نشان‌دهنده رشد بسیار سریع‌تر فیزیکی و پراکنده‌رویی شهری نسبت

و استانبول به ترتیب معادل ۸۳/۸، ۶۲/۵، ۱۱۰/۳ و ۱۲۸/۵ محاسبه شد که نشان داد بیشترین مقادیر توفانی‌شدن هوا متعلق به شهرهای استانبول و آنکارا است. لذا شهرهای استانبول و آنکارا در مقایسه با شهرهای مشهد و تهران در وضعیت ناپایداری آب و هوایی شدیدتری قرار دارند.

بحث

ارزیابی همبستگی پراکنده‌رویی شهری و توفانی‌شدن هوا

همان‌طور که قبلاً گفته شد بیشترین شاخص پراکنده‌رویی شهری در سال ۲۰۱۸ متعلق به شهر آنکارا و استانبول به ترتیب با ۱۴۰۰ و ۱۳۰۰ کیلومتر مربع بوده است. همچنین بیشترین جمعیت در این سال هم متعلق به شهرهای استانبول و تهران به ترتیب با ۱۴/۷ و ۸/۹ میلیون نفر بوده است. ضمناً بیشترین مقادیر متوسط سالیانه SWEAT نیز برای شهرهای آنکارا و استانبول معادل ۱۱۰/۸۳ و ۱۲۸/۵ محاسبه شد. مقایسه ظاهری این شاخص‌ها خود نشان می‌دهد که بالاترین مقادیر میانگین شاخص SWEAT در آنکارا و استانبول (مقادیر بالای ۱۱۰) ممکن است با بیشترین مقادیر پراکنده‌رویی شهری (۱۴۰۰-۱۳۰۰ کیلومتر مربع) مطابقت داشته باشد. در مرحله آخر، یک آزمون همبستگی برای آرایه شواهد آماری قوی به جای بیان توصیفی لازم است که برای این منظور همبستگی بین شاخص سالانه SWEAT و عوامل مستقل یادشده در نرم‌افزار SPSS محاسبه شد.

براساس نتایج به‌دست آمده در ۴ منطقه شهری، همبستگی مثبت و نسبتاً قوی (۰/۷۳۲ تا ۰/۹۱۳) بین شاخص SWEAT و متغیرهای مستقل جمعیت، پراکنده‌رویی و شاخص تغییرات محیطی در سطح اطمینان ۹۵٪ به‌دست آمد. در این بین رابطه شاخص توفانی‌شدن هوا با شاخص تغییرات محیطی ناشی از پراکنده‌رویی شهری با نرخ همبستگی ۰/۹۱۳ نشان داد که توسعه و پراکنده‌رویی شهری می‌تواند اثر قابل توجهی در افزایش شاخص سالانه توفانی‌شدن هوا در کل مناطق شهری مورد مطالعه داشته باشد. به بیان دیگر گسترش ساختارهای شهری و حومه شهری با تغییرات عناصر اقلیمی خصوصاً پتانسیل آشفستگی و اغتشاش هوا ارتباط مستقیمی دارد. این شواهد ارتباط بین پراکنده‌رویی شهری و به‌طور کلی تغییرات اقلیم منطقه‌ای را هم تأیید می‌کند که قبلاً توسط برخی محققان عنوان شده است [Daneshvar et al., 2019; Rabbani et al., 2020].

پیش‌بینی شدت توفانی‌شدن هوا در آینده شهرها

با توجه به تأیید اثر تغییرات محیطی پراکنده‌رویی شهری بر شدت توفانی‌شدن هوا در سال ۲۰۱۸، حال می‌توان پیش‌بینی کرد که وضعیت پراکنده‌رویی شهرهای مورد مطالعه در سال ۲۰۳۰ چه نقشی را بر شدت اغتشاش هوا خواهد داشت. طبق یک رابطه خطی رگرسیونی مستخرج از نتایج همبستگی سال ۲۰۱۸ به شرح زیر می‌توان استنتاج کرد که بر مبنای وضعیت پراکنده‌رویی سال ۲۰۳۰ مقدار متوسط شاخص توفانی‌شدن هوا تا چه میزان ممکن است

تغییرات ΔY کمتر از ۱ خواهند بود. بر این اساس شهر تهران در وضعیت بحرانی پراکنده‌رویی شهری قرار دارد.

بررسی آشفستگی ΔX در سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۸ برای چهار شهر مذکور هم نشان می‌دهد که بیشترین سطح آشفستگی ناشی از پراکنده‌رویی احتمالاً برای تهران و مشهد قابل پیش‌بینی است که از ارقام ۱/۴۳-۱/۶۷ به ارقام ۲/۶۷-۳/۱۴ افزایش پیدا کرده است و نشان‌دهنده احتمال اثرگذاری مستقیم بر افزایش آستانه‌های تغییرات محیطی است. بر این اساس افزایش مقادیر ΔY تا سال ۲۰۳۰ نشان می‌دهد که شهرهای مورد مطالعه خصوصاً شهر تهران نیازمند تنظیم مجددی از برنامه‌های کنترل و پیشگیری پراکنده‌رویی شهری هستند، در غیر این صورت توسعه کاربری اراضی شهری منجر به ازبین‌رفتن فضاهای باز و سبز در تحولات آینده شهری می‌شود. لذا پیشنهاد می‌شود تا برنامه‌هایی برای ایجاد کمربندهای سبز شهری در مناطق مناسب حومه‌های شهری پیشنهاد شود. علاوه بر ایجاد کمربندهای سبز شهری، برنامه‌های جدید کشاورزی شهری در محدوده مزارع پیرامون شهری می‌تواند به‌طور همزمان هم رویکرد مصارف کشاورزی و هم حفظ مرزهای پراکنده‌رویی شهری را در نظر داشته باشد.

محاسبه شاخص توفانی‌شدن هوا در سال ۲۰۱۸

در ادامه تحقیق، شاخص توفانی‌شدن هوا (SWEAT) برای چهار محدوده شهری در سال ۲۰۱۸ محاسبه شد. سپس داده‌های روزانه یادشده به ترتیب به سه طبقه ناپایداری کم، زیاد و شدید با مقادیر شاخص کمتر از ۲۰۰، بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ و بیشتر از ۳۰۰ تقسیم شدند و نتایج حاصله به‌صورت توزیع روزانه کلاسه‌های شاخص SWEAT تولید شدند (جدول ۵).

جدول ۵) توزیع روزانه کلاسه‌های شاخص SWEAT برای شهرهای مورد مطالعه در سال ۲۰۱۸

مشخصات	آنکارا	استانبول	مشهد	تهران
شاخص کمتر از ۲۰۰				
روز	۳۳۷	۳۰۹	۳۶۱	۳۴۹
درصد	۹۲/۳	۸۴/۷	۹۸/۹	۹۵/۶
شاخص بین ۲۰۰ و ۳۰۰				
روز	۲۸	۵۱	۴	۱۵
درصد	۷/۷	۱۳/۹	۱/۱	۴/۱
شاخص بیشتر از ۳۰۰				
روز	۰	۵	۰	۱
درصد	۰	۱/۴	۰	۰/۳

نتایج نشان داد که تنها شهر استانبول شاهد کلاس ناپایداری شدید هوا ($SWEAT > 300$) در طول سال ۲۰۱۸ بوده است و به‌طور کلی، کلاس‌های ناپایداری زیاد و شدید هوا در آنکارا، استانبول، مشهد و تهران به ترتیب ۷/۷٪ (۲۸ روز)، ۱۵/۳٪ (۵۶ روز)، ۱/۱٪ (۴ روز) و ۴/۴٪ (۱۶ روز) تخمین زده شد که نشان‌دهنده سهم درصدی کلاسه‌های شدت توفانی‌شدن هوا در این شهرها است.

میانگین سالیانه مقادیر SWEAT برای شهرهای تهران، مشهد، آنکارا

(رابطه ۲)

$$SWEAT = (0.07 \times Sprawl) + 27.35$$

که در آن SWEAT شاخص توفانی شدن هوا (بدون واحد) است و Sprawl مساحت عرصه پراکنده‌رویی شهری است. بر این اساس مقادیر میانگین سالانه شاخص توفانی شدن هوا در سال ۲۰۳۰ برای شهر تهران به میزان ۱۸۱ قابل پیش‌بینی است که بیشترین رقم است. بعد از تهران مقدار شاخص برای استانبول، آنکارا و مشهد به میزان ۱۵۳، ۱۳۹ و ۸۳ پیش‌بینی شد. با مقایسه این ارقام با مقادیر سال ۲۰۱۸ (برای تهران، استانبول، آنکارا و مشهد به ترتیب به میزان ۸۳/۸، ۱۲۸/۵، ۱۱۰/۳ و ۶۲/۵)، می‌توان گفت متوسط شاخص توفانی شدن هوا در مناطق شهری مورد مطالعه تا سال ۲۰۳۰ بین ۱۹٪ (برای استانبول) تا ۱۱۸٪ (برای تهران) افزایش خواهد داشت. این افزایش برای آنکارا به میزان ۲۶٪ و برای مشهد به میزان ۳۴٪ پیش‌بینی می‌شود.

نتیجه‌گیری

رشد شهری موضوعی است که به شدت بر آب و هوای محلی و تغییرات قابل توجه آن در دهه‌های اخیر اثر گذاشته است [Bazrkar et al., 2015]. در این بین، شاخص توفانی شدن هوا SWEAT یک شاخص پیش‌بینی‌کننده مهم است که می‌تواند منعکس‌کننده تلاطم هوا و هوای توفانی در محیط‌های شهری باشد. در مطالعه حاضر، شاخص SWEAT در ۴ منطقه شهری ترکیه و ایران از جمله استانبول، آنکارا، تهران و مشهد بررسی و ارتباط آن با میزان پراکنده‌رویی شهری، رشد جمعیت و شاخص تغییرات محیطی ناشی از پراکنده‌رویی محاسبه شد. نتایج نشان داد که افزایش در رشد پراکنده شهری می‌تواند باعث افزایش اغتشاش و تلاطم هوای شهری باشد که این مسئله می‌تواند مربوط به افزایش مصرف سوخت و انرژی ناشی از تقاضا برای ساخت‌وسازهای فیزیکی و حمل‌ونقل باشد. در این خصوص رابطه شاخص توفانی شدن هوا با شاخص تغییرات محیطی ناشی از پراکنده‌رویی شهری با نرخ همبستگی ۰/۹۱۳ نشان داد که توسعه و پراکنده‌رویی شهری می‌تواند اثر قابل توجهی در افزایش شاخص سالانه توفانی شدن هوا در کل مناطق شهری مورد مطالعه داشته باشد. برای مثال رشد پراکنده‌رویی شهر مشهد از ۵۰۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۸ به ۸۰۰ کیلومتر مربع تا سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. براساس این داده‌ها، آشفستگی محیطی ناشی از پراکنده‌رویی (ΔX) در سال ۲۰۳۰ در مشهد از رقم ۱/۶۷ به ۲/۶۷ (+۷۶٪) و شاخص تغییرات محیطی (ΔY) از رقم ۰/۲۴ به ۰/۶۱ (+۱۵۴٪) افزایش خواهد داشت. به همین شکل شاخص توفانی شدن هوا نیز از متوسط سالانه ۶۲/۵ به ۸۳ (+۳۴٪) افزایش خواهد داشت. این مقاله تلاش کرد تا علاوه بر بررسی این اثر در موضوع موجود نسبت به تغییرات احتمالی آینده نیز

پیش‌بینی‌های لازم را ارائه دهد. بر این اساس، نتایج این مقاله سهم مهمی را در تولید سوابق نظری ارتباط پراکنده‌رویی شهری و تغییرات اقلیم منطقه‌ای در مطالعات آینده در سطح شهرهای بزرگ خاورمیانه خواهد داشت. مهم‌ترین محدودیت تحقیق حاضر وابسته به محدودیت جمع‌آوری داده‌های مقیاس روزانه از ایستگاه‌های رادیوسوند بود که امکان توسعه مطالعه را برای چند سال متوالی محدود می‌کرد. لذا تحقیقات بیشتری با پنجره‌های زمانی گسترده‌تری لازم است تا نقش سایر عوامل مستقل شهری بر آشفستگی هوا در مناطق شهری درک شود.

تقدیر و تشکر: از داوران محترمی که مقاله را بررسی خواهند کرد تشکر به عمل می‌آید.

تأییدیه اخلاقی: در این مقاله به همه منابع و مستندات که مورد استفاده قرار گرفته به درستی ارجاع داده شده است.

تعارض منافع: این مقاله تعارض منافی بین نویسنده آن و سایر نویسندگان ایجاد نمی‌کند.

سهم نویسندگان: غزاله ربانی (۱۰۰٪).

منابع مالی: این مقاله کاملاً مستقل بوده و به سفارش جایی تهیه نشده است. لذا تمامی هزینه‌ها هم به‌طور شخصی بوده است.

منابع

- Abshaev MT, Abshaev AM, Mikhailovskiy YP, Sinkevich AA, Popov VB, Adzhiev AK (2019). Characteristics of the supercell Cb thunderstorm and electrical discharges on 19 August 2015, North Caucasus: A case study. Preprints. Alpert P, Kishcha P, Kaufman YJ, Schwarzbard R (2005). Global dimming or local dimming?: effect of urbanization on sunlight availability. *Geophysical Research Letters*. 32(17):802.
- Arsanjani J, Helbich M, Vaz ED (2013). Spatiotemporal simulation of urban growth patterns using agent-based modeling: The case Tehran. *Cities*. 32:33-42.
- Baharvand S, Daneshvar MRM (2019). Impact assessment of treating wastewater on the physiochemical variables of environment: A case of Kermanshah wastewater treatment plant in Iran. *Environmental Systems Research*. 8:18.
- Baltaci H, Akkoyunlu BO, Tayanc M (2018). An extreme hailstorm on 27 July 2017 in Istanbul, Turkey: Synoptic scale circulation and thermodynamic evaluation. *Pure and Applied Geophysics*. 175:3727-3740.
- Bauman WH, Wheeler MM, Short DA (2005). Severe weather forecast decision aid. NASA Technical Reports Server. Washington, D.C: NASA Publications.
- Bazrkar MH, Zamani N, Eslamian S, Eslamian A, Dehghan D (2015). Urbanization and climate change. In: Filho WL, editors. *Handbook of Climate Change Adaptation*. Berlin: Springer; pp. 619-655.
- Beck HE, Zimmermann NE, McVicar TR, Vergopolan N, Berg A, Wood EF (2018). Present and future 374 Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*. 5:(1).
- Bhat PA, Shafiq M, Mir AA, Ahmed P (2017). Urban sprawl and its impact on landuse/land cover dynamics of Dehradun City, India. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 6(2):513-521.

- China (1983–2007). *Frontiers of Earth Science*. 8:490-504.
- Makar PA, Gravel S, Chirkov V, Strawbridge KB, Froude F, Arnold J, Brook J (2006). Heat flux, urban properties, and regional weather. *Atmospheric Environment*. 40(15): 2750-2766.
- Miller PW, Mote TL (2018). Characterizing severe weather potential in synoptically weakly forced thunderstorm environments. *Natural Hazards and Earth System Science*. 18(4):1261-1277.
- Mundia CN, Aniya M (2006). Dynamics of landuse/cover changes and degradation of Nairobi City Kenya. *Land Degradation and Development*. 17(1):97-108.
- Pham HM, Yamaguchi Y, Bui TQ (2011). A case study on the relation between city planning and urban growth using remote sensing and spatial metrics. *Landscape and Urban Planning*. 100(3): 223-230.
- Rabbani G, Kardani-Yazd N, Daneshvar MRM (2020). Factors affecting severe weather threat index in urban areas of Turkey and Iran. *Environmental Systems Research*. 9:9.
- Rabbani G, Shafaqi S, Rahnama MR (2017). Urban sprawl modeling using statistical approach in Mashhad, northeastern Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*. 4:141-149.
- Rafiee R, Mahiny AS, Khorasani N, Darvishsefat AA, Danekar A (2009). Simulating urban growth in Mashhad City, Iran through the SLEUTH model (UGM). *Cities*. 26(1):19-26.
- Rhodes CL, Senkbeil JC (2014). Factors contributing to tornadogenesis in landfalling Gulf of Mexico tropical cyclones. *Meteorological Applications*. 21:940-947.
- Siedlecki M (2009). Selected instability indices in Europe. *Theoretical and Applied Climatology*. 96:85-94.
- Sioutas MV, Flocas HA (2003). Hailstorms in Northern Greece: Synoptic patterns and thermodynamic environment. *Theoretical and Applied Climatology*. 75:189-202.
- Sudhira HS, Ramachandra TV, Jagdish KS (2004). Urban sprawl: Metrics, dynamics and modelling using GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 5(1):29-39.
- Tewelde MG, Cabral P (2011). Urban sprawl analysis and modeling in Asmara, Eritrea. *Remote Sensing*. 3(10): 2148-2165.
- Tyrrell J (2007). Winter tornadoes in Ireland: The case of the Athlone tornado of 12 January 2004. *Atmospheric Research*. 83(2-4):242-253.
- Wang J, Sheng Z, Zhou B, Zhou S (2014). Lightning potential forecast over Nanjing with denoised sounding-derived indices based on SSA and CS-B P neural network. *Atmospheric Research*. 137:245-256.
- World Urbanization Prospects [Internet]. Population division of the department of economic and social affairs of the United Nations. [Cited 2019, 01 Jun; Published 2019, 30 May]. **Madrid**: UN Publications.
- Wyoming Weather Web [Internet]. Weather Information for Wyoming. [Cited 2019, 01 Jun; Published 2018, 25 February]. **United States**: University of Wyoming Publications.
- Yuan F, Sawaya KE, Loeffelholz BC, Bauer ME (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. 98(2-3):317-328.
- Bhatta B (2009). Analysis of urban growth pattern using remote sensing and GIS: A case study of Kolkata, India. *International Journal of Remote Sensing*. 30(18):4733-4746.
- Burdon FJ, Reyes M, Alder AC, Joss A, Ort C, Räsänen K, et al (2016). Environmental context and magnitude of disturbance influence trait-mediated community responses to wastewater in streams. *Ecology and Evolution*. 6(12):3923-3939.
- Das S (2017). Severe thunderstorm observation and modeling—a review. *Vayu Mandal*. 43(2):1-29.
- Daneshvar MRM, Abadi NH (2017). Spatial and temporal variation of nitrogen dioxide measurement in the Middle East within 2005-2014. *Modeling Earth Systems and Environment*. 3(1).
- Daneshvar MRM, Rabbani G, Shirvani S (2019). Assessment of urban sprawl effects on regional climate change using a hybrid model of factor analysis and analytical network process in the Mashhad city, Iran. *Environmental Systems Research*. 8:23.
- Derubertis D (2006). Recent trends in four common stability indices derived from U.S. radiosonde observations. *Journal of Climate*. 19(3):309-323.
- Dewan AM, Yamaguchi Y (2009). Land use and land cover change in greater Dhaka, Bangladesh: using remote sensing to promote sustainable urbanization. *Applied Geography*. 29(3):390-401.
- Dodman D (2009). Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories. *Environment and Urbanization*. 21(1):185-201.
- Dulal HB, Brodnig G, Onoriose CG (2011). Climate change mitigation in the transport sector through urban planning: A review. *Habitat International*. 35(3):494-500.
- Emadodin I, Taravat AR, Rajaei M (2016). Effects of urban sprawl on local climate: A case study, north central Iran. *Urban Climate*. 17:230-247.
- Epstein J, Payne K, Kramer E (2002). Techniques for mapping suburban sprawl. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 63(9):913-918.
- Fan H, Sailor DJ (2005). Modeling the impacts of anthropogenic heating on the urban climate of Philadelphia: A comparison of implementations in two PBL schemes. *Atmospheric Environment*. 39(1):73-84.
- GDEM (2018). Global digital elevation model archived by national aeronautics and space administration. United States: NASA.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25(15):1965-1978.
- Jat MK, Garg PK, Khare D (2008). Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 10(1):26-43.
- Kardani-Yazd N, Kardani-Yazd N, Daneshvar MRM (2019). Strategic spatial analysis of urban greenbelt plans in Mashhad city, Iran. *Environmental Systems Research*. 8:30.
- Kaltenböck R, Diendorfer G, Dotzek N (2009). Evaluation of thunderstorm indices from ECMWF analyses, lightning data and severe storm reports. *Atmospheric Research*. 93(1): 381-396.
- Liu Y, Chen J, Cheng W, Sun C, Zhao S, Pu Y (2014). Spatiotemporal dynamics of the urban sprawl in a typical urban agglomeration: A case study on Southern Jiangsu,