مجله دانشکده به داشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی
پاییز ۱۴۰۰، دوره ۱۹، شماره سوم صفحه ۳۱۴ -۲۹۳

مقاله پژوهشی

تغییر اقلیم و چالش های ارزیابی کمی تغییرات اقلیم شهری: مطالعه موردی کلانشهر تهران

رسول نصیری [۱]، سعید متصدی زرندی [۲]، محمد اسماعیل مطلق [۳]

۱- دانشجوی دوره دکتری، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران
۳- استاد، گروه اطفال، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
*نویسنده رابط: nasirirasul@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲۲ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۳۰**

چکیده

زمینه و هدف: در حال حاضر تغییرات اقلیمی کره زمین سریعتر از هر زمان دیگری در تاریخ بشر تغییر می کند و شهرها به شدت در معرض اثرات تغییرات اقلیمی قرار دارند، به همین منظور مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات اقلیمی در کلانشهر تهران طی سال های ۲۰۲۰-۱۹۹۱ و کمک به درک بهتری از محدودیت‌هایی که شهرها در موضوع تغییرات اقلیمی با آن‌ها مواجه هستند، انجام شده است.

روش کار: این پژوهش توصیفی تحلیلی با استفاده از اطلاعات ایستگاه های سینوپتیک در کلانشهر تهران انجام شد که در گام نخست شاخص‌های مورد مطالعه با استناد به نظرات خبرگان و بررسی متون اخذ شد؛ و پس از آن برای آنالیز و توصیف آماری داده های اقلیمی از نرم افزار EXCEL 2016 بهره گرفته شد، در نهایت با توجه به مرور، بازبینی مطالعات و تحلیل داده های اقلیمی کلانشهر تهران به پروتکلی واحد برای بررسی و مطالعه تغییرات اقلیمی در سطح شهر (ریز اقلیم) و همچنین نحوه کاهش اثرات تغییرات اقلیم در شهرها و سازگاری با آن ها منتج شد.

نتایج: نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد که کلانشهر تهران با افزایش دما و کاهش رطوبت طی ۳۰ سال گذشته مواجه بوده است، به طوری که میانگین ماهانه دما نزدیک به ۱/۵ درجه سانتی گراد افزایش و میانگین ماهانه رطوبت نزدیک به ۱۵٪ کاهش یافته است.

نتیجه گیری: کلانشهر تهران با افزایش دما و کاهش سطح رطوبت مواجهه بوده که در آینده نیز بر شدت آن افزوده می شود که نواحی پرتراکم شهری به علت به وجود آمدن جزایر حرارتی با شدت بیشتری با تغییرات آب و هوایی روبرو می شوند. که برای مقابله با آن باید برنامه ریزان شهری توسعه اقتصادی-اجتماعی شهری را در چارچوب سازگاری با تغییرات اقلیمی و کاهش اثرات آن بر حوزه های مختلف شهری مدنظر قرار دهند.

واژگان کلیدی: تغییرات اقلیم، اقلیم شهری (ریزاقلیم)، سازگاری، تهران

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

مقدمه

در حال حاضر تغییرات اقلیمی کره زمین سریعتر از هر زمان دیگری در تاریخ بشر تغییر می کند و تأثیرات حاصل از آن بر جامعه و محیط زیست به طور فزآینده ای در سراسر جهان قابل مشاهده است. از سال ۱۹۵۰، غلظت CO_2 و سایر گازهای گلخانه ای به دلیل صنعتی شدن و فعالیت های مرتبط با آن به طرز چشمگیری افزایش یافته است، این امر منجر به افزایش گرم شدن کره زمین به دلیل عدم تعادل چرخه انرژی جهانی شده است. علاوه بر این، مطابق گزارش ارزیابی پنجم IPCC در مورد تغییرات تغییرات اقلیم (IPCC 2014)، میانگین دما در سطح جهانی ۰/۸۵ درجه سانتیگراد طی دوره ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ افزایش یافته است. همچنین بیان شده است که میانگین دمای جهانی برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۷-۰/۳، ۲/۶-۱/۱، ۳/۱-۱/٤، ٤/۸-۲/۵ درجه سانتی گراد، نسبت به دوره ۲۰۰۵-۱۹۸٦ افزایش می یابد (۱،۲). شهرها بیشتر تحت تأثیر افزایش دما به دلیل پدیده جزیره گرمایی شهری قرار دارند که منجر به افزایش دما در شهرها نسبت به مناطق روستایی می شود؛ انتظار می رود تغییرات اقلیمی باعث تشدید این پدیده و به دنبال آن افزایش دما شود و تهدیدی جدی برای مردم در شهرها باشد. شهرها به عنوان نیروگاهی برای تولید، مصرف و تجارت پدید آمده اند و در حال حاضر ٥٤٪ از جمعیت جهان را در خود جای داده‌اند و ۸۰٪ از ثروت جهانی را جمع آوری کرده اند. با این حال، شهرها که برای مرکز اجتماعی-اقتصادی عمل می‌کنند، به کانون مصرف انرژی و بزرگترین انتشار دهنده گازهای گلخانه ای در سراسر جهان تبدیل شده اند. در حال حاضر، آنها دو سوم مصرف انرژی جهانی را تشکیل می دهند و مسئول ۷۰٪ انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی هستند. علاوه بر این، شهرها با جمعیت بسیار متمرکز، ثروت و زیرساخت‌ها، یکی از قربانیان اصلی تغییرات اقلیمی هستند که می‌تواند تا حد زیادی به مصرف انرژی مرتبط باشد (۳،٤). اکثر شهرها با جمعیت میلیونی (به ویژه کلانشهرها)، در مناطق کم ارتفاع ساحلی واقع شده اند و به شدت در معرض تهدیدات افزایش سطح دریا و موج طوفان و سیل مکرر هستند (۵،٦) ؛ بیش از ۲۰۰۰ بلایای اقلیمی که در شهرها رخ داده است در سال ۲۰۱٦ گزارش شده است. بیش از ۷۰٪ از شهرهای مورد بررسی حداقل یک نوع بلایای آب و هوایی بسیار جدی یا جدی را متحمل شده اند. رویدادهایی که روز به روز بیشتر اتفاق می‌افتند و بر بخش‌های بهداشت و زندگی مسکونی، منابع و کشاورزی، زیرساخت‌های حمل و نقل و انرژی بیشترین تأثیر را دارند؛ علاوه بر این، با نگاه به آینده، گسترش شهرنشینی، رشد تقاضای انرژی شهری، و تأثیر گسترده تغییرات آب و هوایی، روندهای بی چون و چرایی هستند که حاکی از افزایش مواجهه شهرها با تغییرات آب و هوایی و اقلیمی است (۷،۸). با استناد به موارد ذکرشده، شهرها بار عمده خطرات تغییرات آب و هوایی را هم در زمان حاضر و هم در آینده متحمل می شوند.

با توجه به تأثیرات فزاینده قابل توجه تغییرات آب و هوایی، بسیاری از شهرها تلاش خود را از کاهش مصرف انرژی فسیلی و انتشار گازهای گلخانه ای به سمت توسعه سازگاری با تغییرات آب و هوایی گسترش داده اند (۹). به همین منظور، بسیاری از کشورهای توسعه یافته از انواع انرژی های تجدید پذیر مثل باد و خورشید برای تامین انرژی بهره گرفته اند تا مصرف سوخت های فسیلی را کم تر کنند. کمی کردن و ارزیابی خطر تغییرات آب و هوا دارای اهمیت ارزشمندی برای یک شهر برای درک مزایای بالقوه سازگاری با تغییرات اقلیمی و در نتیجه انجام اقدامات انطباقی پیشگیرانه است (۱۰،۱۱). در حالیکه پیامد مهم خطر تغییر اقلیم به طور فزاینده ای شناخته شده است، اکثر مطالعات بر ابعاد جهانی، ملی یا منطقه ای تمرکز دارند، اما تنها تعداد کمی از آنها تلاش کرده اند خطر تغییرات آب و هوایی را در مقیاس شهری بررسی کنند (۱٤-۱۲).

اول از همه، دستورالعمل در مورد روش گام به گام و انتخاب روش از تغییرات اقلیم جهانی تا ارزیابی ریسک در مقیاس شهری بسیار محدود است (۱۵،۱٦). دوم، چارچوب

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

یکپارچه ارزیابی ریسک تغییرات آب و هوا برای شهر به سختی پاسخگوی نیازهای عملی است. تحقیقات کنونی بیشتر بر روی ریسک مستقیم شهری ناشی از یک نوع خاص از خطرات آب و هوایی، مانند تلفات و ضررهای اقتصادی مستقیم ناشی از سیل تمرکز دارند (۱۷). با این حال، تغییر اقلیم می تواند وقوع چندین ریسک آب و هوایی را افزایش دهد و می تواند بسیاری از جنبه های یک شهر را از طریق کانال‌های مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر قرار دهد (۱۸،۱۹)؛ به عنوان مثال، شیوع فزآینده رویدادهای اقلیمی مرکب باعث افزایش بی ثباتی سیستم و هزینه های نگهداری سیستم انرژی شهری می شود، و چنین اثراتی ممکن است باعث ایجاد ریسک ثانویه برای سایر سیستم‌هایی شود که سیستم انرژی به آنها خدمت می‌کند (۲۰،۲۱). سوم، شکاف های زیادی بین علم شهر و علم اقلیم وجود دارد. توسعه و رفتار خود یک شهر نیز با تغییرات آب و هوایی در تعامل است. به عنوان مثال، تبدیل از انرژی های فسیلی به انرژی های تجدید پذیر نه تنها انتشار گازهای گلخانه ای شهری و تغییرات آب و هوایی را کاهش می دهد، بلکه آسیب پذیری سیستم انرژی را در برابر تغییرات آب و هوایی نیز تغییر می دهد (۲۰). بنابراین، پل زدن علوم اقلیمی و شهری و تسهیل مدل‌سازی بین‌رشته‌ای تعاملات بین توسعه اجتماعی-اقتصادی شهری و تغییرات اقلیمی یک نیاز فوری است (۲۲)؛ به طور کلی، با توجه به تأثیرات گسترده تغییر اقلیم بر یک شهر و تعاملات پیچیده تقریباً در هر مرحله از تجزیه و تحلیل مربوطه، انجام یک ارزیابی کمی از ریسک تغییر اقلیم در مقیاس شهری همچنان یک چالش جدی است و در انتظار مطالعه بیشتر است (۲۵-۲۳ ، ۱۵).

تهران به عنوان بزرگترین و پرجمعیت ترین شهر کشور نیز از این قائده مستثنی نیست و به نظر می رسد طی سال‌های اخیر با تغییراتی در آب و هوا مواجهه بوده است که لازم به بررسی بیشتر دارد؛ به طور کلی داده های اقلیمی، نشان می-دهد که تهران با افزایش دما و تغییرات اقلیمی مواجهه بوده و پیش بینی می شود در آینده این افزایش دما بیشتر شود (۲۶). از این رو هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی تغییرات پارامترهای آب و هوایی طی ۳۰ سال گذشته در کلانشهر تهران و همچنین نحوه مطالعه تغییرات اقلیمی در شهرها (ریز اقلیم) و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و سازگاری با آن ها می باشد که در نهایت می تواند به تنظیم پروتکل های مربوطه در ارتباط با اثرات تغییرات اقلیمی و راهکارهای مدیریتی پس از ذکر گپ های موجود در مطالعات قبلی برای شهرها کمک شایانی کند.

روش کار

معرفی منطقه مورد مطالعه: از نظر موقعیت، کلانشهر تهران در منطقه مابین کوه و کویر در دامنه جنوبی البرز مرکزی با وسعتی در حدود ۷۳۳ کیلومتر مربع واقع شده است؛ و در ۵۱ درجه و ٤ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و۳۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. گستره استقرار تهران از سمت جنوب و جنوب غربی به دشت های هموار ورامین و شهریار منتهی می‌شود و در سمت شرق و شمال توسط کوهستان محصور گردیده است (۳۰-۲۷). کلانشهر تهران دارای اقلیمی معتدل با تابستان‌های گرم، متوسط حداکثر دما ۲۹ درجه سانتی گراد، متوسط حداقل دما ۰/۱ درجه سانتی گراد و با سرعت باد معمولاً کم می باشد (۲٦). شکل ۱ نقشه منطقه مطالعاتی را نشان می دهد که به کمک نرم افزار ARC GIS 10.4.1 ترسیم شده است.

داده های ایستگاه های سینوپتیک شهر تهران: در این پژوهش از اطلاعات ایستگاه های سینوپتیک چیتگر، مهرآباد، ژئوفیزیک و شمیران در کلانشهر تهران (در جدول ۱ اطلاعات مربوط به ایستگاه های سینوپتیک آورده شده است) جهت بررسی تغییرات اقلیمی از نظر دما و رطوبت طی یک دوره ۳۰ ساله (۱۳۹۹-۱۳٦۹) استفاده می شود؛ لازم به ذکر است که ٤ ایستگاه مذکور تنها ایستگاه های سینوپتیک کلانشهر تهران محسوب می شوند. به همین منظور دوره ۳۰ ساله، خود به ۳ دوره (۱۳۷۹-۱۳٦۹،

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

۱۳۸۹-۱۳۷۹ و ۱۳۹۹-۱۳۸۹) تقسیم شده و نتایج تغییرات دما و رطوبت برای ۳ دوره ثبت می شود؛ در این مرحله تغییرات دما و رطوبت که طی این سال ها اتفاق افتاده مورد آنالیز و بررسی قرار می گیرد (لازم به ذکر است که فرآیندهای Cleaning و Processing روی داده های ۳۰ ساله ایستگاه‌های سینوپتیک انجام می‌شود).

پژوهش حاضر از نظر روش شناسی در زمره تحقیق توصیفی تحلیلی می باشد. این مطالعه به ترتیب در ٤ گام: ۱- انتخاب شاخص های مورد مطالعه با استناد به نظرات خبرگان و مرور منابع عمیق؛ ۲- اخذ اطلاعات و فرایند آماده سازی داده ها؛ ۳- انجام فرایند تحلیل های آماری (میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات، صدک ۲۵ و صدک ۷۵) با استفاده از نرم افزار EXCEL 2016 و ٤- مرور سابقه تحقیقات جهت نحوه بررسی و رسیدن به پروتکلی واحد برای بررسی تغییرات اقلیمی در سطح شهرها (ریز اقلیم) و همچنین نحوه کاهش اثرات تغییرات اقلیم در شهرها و سازگاری با آن ها انجام شد.

نتایج

در این مطالعه از پارامترهای رطوبت و دما به عنوان پارامترهای کلیدی در تغییرات آب و هوایی استفاده شده است و از پارمترهایی چون تشعشع و سطح تابش خورشیدی چشم پوشی شده است چون گرمایشی که در چند دهه اخیر با آن مواجهه بوده ایم خیلی سریع اتفاق افتاده است که نمی‌توان آن را با تغییرات در مدار زمین مرتبط کرد و بیش از آن بزرگ است که توسط فعالیت خورشیدی ایجاد شود. از سال ۱۷۵۰، گرمایش حاصل از گازهای گلخانه‌ای تولیدی توسط فعالیت های انسان، بیش از ۵۰ برابر بیشتر از گرمایش خفیف اضافی است که از خود خورشید در همان بازه زمانی ایجاد می‌شود (۳۳-۳۱). مقدار انرژی خورشیدی که زمین دریافت می‌کند، از دهه ۱۹۵۰ از چرخه طبیعی ۱۱ ساله خورشید با فراز و نشیب‌های کوچک بدون افزایش خالص پیروی می‌کند. در همین مدت، دمای کره زمین به میزان قابل توجهی افزایش یافته است که بسیار بعید است خورشید باعث روند مشاهده شده افزایش دمای کره زمین در نیم قرن گذشته شده باشد (۳٤).

در جدول ۲ آمار توصیفی دما و رطوبت به صورت میانگین ماهانه طی سال های ۲۰۲۰-۱۹۹۱ آورده شده است (لازم به ذکر است متوسط حداقل و حداکثر مطلق ۱۲ ماه سال بررسی شده است). همانطور که در جدول نشان داده شده است، دما و رطوبت طی این سال ها به ترتیب افزایش و کاهش داشته است به طوری که هر چه از سال ۱۹۹۱ به سمت ۲۰۲۰ آمده میانگین ماهانه دما تقریبا ۱/۵ درجه افزایش یافته و میانگین ماهانه رطوبت نیز کاهش ۱۰ تا ۱۵٪ را تجربه کرده است.

شکل های ۲ تا ٤ به ترتیب میانگین ماهانه رطوبت و دما را طی ۳۰ سال (۱۹۹۱-۲۰۲۰) نشان می دهند؛ به وضوح مشخص شده است که کلانشهر تهران کاهش رطوبت و افزایش دما رو طی این سال ها تجربه کرده است. به طور تقریبی می توان گفت که بین ۱۰ تا ۲۰٪ میانگین رطوبت و نزدیک به ۱/۵ درجه سانتی گراد به ترتیب کاهش و افزایش یافته است. این در حالی است که میانگین دمای جهانی از دهه ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۲ با نرخ ۰/۱۲ درجه سانتی گراد افزایش یافته است، این امر نشان می دهد که افزایش دما طی ۳۰ سال گذشته به طور تقریبی ٤ برابر میانگین جهانی بوده است. همچنین میانگین بیشینه و کمینه رطوبت کاهش بیش از ده درصدی را نشان داده است و در ارتباط با دما نیز میانگین کمینه و بیشینه دما افزایش بیش از ۱ درجه داشته است که با ادامه روند موجود این افزایش طی سال های آتی نیز ادامه دار خواهد بود. به طور کلی این نتایج نشان می دهند که اقلیم تهران در حال تغییر شدید می باشد و از یک اقلیم معتدل به سمت یک اقلیم گرم و خشک در حال حرکت می باشد. چرا که میزان رطوبت در کمترین حالت در فصل های تابستان نزدیک به ۲۵٪ بوده و طی این سال ها این میزان نزدیک به ۱۵٪ رسیده و با شیبی کاملا ملایم این تغییر

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

اتفاق افتاده است و در ارتباط با دما نیز همین مسئله وجود دارد که تغییرات و افزایش در میانگین ماهانه دما به صورت کاملا ملایم و رفته رفته افزایش تقریبا ۱/۵ درجه‌ای را تجربه کرده است. لازم به ذکر است که این تغییرات در میانگین ماهانه دما و رطوبت طی ۳۰ سال (نه اینکه صرفاً تغییرات ساعتی دما و رطوبت) اتفاق افتاده است که نشان می دهد کلانشهر تهران با تغییرات اقلیمی به صورت افزایش دما همراه با کاهش رطوبت مواجهه بوده است که می تواند روز به روز بر شدت آن افزوده شود.

بحث

نتایج به دست آمده از این نشان می دهد که کلانشهر تهران طی ۳۰ سال گذشته افزایش دمای حدودا ۱/۵ درجه ای را تجربه کرده است؛ و در صورت ادامه این روند با هدف COP26 گلاسکو، که تاکیدی بر حفظ میانگین دمای جهانی در حد ۱/۵ درجه سانتگیراد داشته است، و نیز توافقنامه پاریس که برحفظ افزایش میانگین دمای جهانی بسیار پایین تر از ۲ درجه سانتگیراد تأکید دارد فاصله بسیار زیادی خواهد داشت. عوامل مختلفی می تواند در این افزایش دما و کاهش رطوبت در تهران دخیل بوده باشد که در این مورد می توان به افزایش جمعیت ۲ برابری، افزایش مصرف سوخت های فسیلی، افزایش انواع آلاینده های جوی، جانمایی اشتباه و غیراصولی صنایع، افزایش برداشت آب های زیر زمینی و تغییرات شدید در کاربری اراضی اشاره کرد (۳۵،۳۶). افزایش جمعیت افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی را به دنبال دارد که افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی خود افزایش آلاینده-های جوی و گازهای گلخانه‌ای و در نهایت تغییرات اقلیمی را در پی دارد؛ همچنین افزایش جمعیت موجب افزایش تقاضای آب و مسکن می شود که این موارد نیز موجب تغییرات در کاربری اراضی و تشدید پدیده خشکسالی و از دست رفتن رطوبت خاک می‌گردد که همین امر خود موجب افزایش دمای شهر می‌گردد. به هر شکل می توان بخش زیادی از این تغییرات را منتسب به افزایش جمعیت در تهران که بخشی مرتبط با رشد جمعیت و بخشی مرتبط با سیاست های تمرکزگرایی در شهر تهران می باشد دانست به طوری که مطالعات نشان می‌دهند بخش زیادی از فضای سبز و زمین های باز به مناطق ساخت و ساز تبدیل شده است (۳۵،۳۶). بنابراین برای برنامه ریزی و مدیریت تغییرات اقلیمی شهر تهران نیاز به مجموعه کاملی از اقدامات همسو و همزمان همراه با هماهنگی کامل بخش های مختلف خصوصی و دولتی چون شهرداری و صنایع می باشد؛ همچنین باید یک بار دیگر جانمایی ایستگاه-های سینوپتیک شهر تهران را مورد بازنگری قرار داد چرا که در ۳۰ سال گذشته ایستگاه هایی چون چیتگر خارج از شهر تهران بوده اند و اکنون در شهر قرار گرفته است به عبارتی می توان گفت حداقل یک ایستگاه در شمال و یک ایستگاه در جنوب کلانشهر تهران لازم است که اضافه شود.

از آنجایی که اثرات تغییر اقلیم سالیان دراز ادامه خواهد داشت، سازگاری با این پدیده باید در اولویت برنامه‌های مدیریت شهری قرار گیرد. اگرچه تهران، پایتخت ایران، در سال‌های اخیر در معرض انواع اثرات تغییرات اقلیمی (خشکسالی، اثرات سوء بر سلامت شهروندان، اثرات بر گیاهان و کاهش تاب آوری آنان) بوده است، اما هنوز اقدامات مناسبی برای مقابله با آن‌ها انجام نشده است. این مطالعه در درجه اول با هدف نشان دادن وجود، میزان و شدت تغیرات اقلیمی با استناد به داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و در درجه بعدی مقابله با این اثرات و سازگاری با تغییرات اقلیمی در شهر تهران و در نهایت نحوه بررسی تغییرات اقلمی و برنامه ریزی برای سازگاری آن ها در اقلیم خرد و شهری انجام شده است. مطالعات مختلفی در ارتباط با سازگاری با تغییرات اقلیمی در شهرها انجام شده است. شهرها نه تنها سهم عمده‌ای در تغییرات آب و هوایی جهانی دارند، بلکه در خط مقدم تاثیر تغییرات آب و هوایی نیز قرار دارند. کمی کردن و ارزیابی خطر بالقوه ناشی

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

از تغییرات آب و هوایی برای شهرها برای انجام سازگاری با اقلیم مثبت و پیشگیری از خطر اهمیت زیادی دارد. با این حال، بیشتر مطالعات قبلی بر ابعاد جهانی، ملی یا منطقه‌ای تمرکز دارند، تنها تعداد کمی از آنها تلاش کرده‌اند خطر تغییرات آب و هوایی را در مقیاس شهری بررسی کنند. در نتیجه، ارزیابی کمی از خطر تغییرات آب و هوایی برای شهرها همچنان بسیار چالش برانگیز است (۲۵).

به طور کلی برای بررسی تغییرات آب و هوایی و در ادامه سازگاری با این تغییرات در اقلیم شهری و محلی محدودیت-ها و کاستی‌های فراوانی وجود دارد که باید برای حل آن، مطالعات آتی به این ها بپردازند تا نتایج قابل قبولی برای دادن راهبردهای درخور مقابله با تغییرات اقلیم شهری اتخاذ شود که در ادامه به آن ها پرداخته می شود؛ قبل از هرچیز تحقیقات آتی باید به سمت ۱- کاهش مقیاس تغییرات آب و هوایی به مقیاس محلی (که این بخش خود شامل کاهش مقیاس آماری و دینامیکی، کالیبراسیون و تصحیح سوگیری می شود) ۲- شبیه سازی توسعه شهری و اقلیم خرد (پیش بینی توسعه اجتماعی و اقتصادی شهری، شبیه سازی اقلیم محلی شهری و اقلیم خرد) ۳- تحقیق در مورد ارزیابی آسیب پذیری تغییر اقلیم شهری (آسیب پذیری زندگی و سلامت مسکونی، آسیب پذیری اقتصاد و ثروت، آسیب پذیری در دسترس بودن منابع و آسیب پذیری اکوسیستم و تنوع زیستی) ٤- تحقیق در مورد ارزیابی یکپارچه خطر تغییر اقلیم شهری (شناسایی خطر تغییرات آب و هوایی، کمی سازی خطر تغییرات آب و هوایی، ارزیابی مصنوعی خطر تغییرات آب و هوایی) بروند (۲۵).

۱- کاهش مقیاس بزرگ تغییرات آب و هوایی به مقیاس محلی: خطر تغییر اقلیم هر شهر به تغییر خاص آب و هوای محلی شهر بستگی دارد. از این رو، کاهش مقیاس بزرگ تغییرات آب و هوایی به مقیاس محلی، پیش نیاز و اولین قدم کار برای ارزیابی خطر تغییرات آب و هوایی برای یک شهر است. این بخش به بررسی انتقادی چگونگی شبیه‌سازی تغییر اقلیم از مقیاس‌های جهانی و منطقه‌ای به مقیاس محلی می‌پردازد و پیشرفت‌ها و چالش‌های عمده در ادبیات کنونی را مورد بحث قرار می‌دهد: ۱- کاهش مقیاس آماری و دینامیکی

مدل‌های گردش عمومی(GCMs) یکی از پیشرفته‌ترین ابزارها برای شبیه‌سازی پاسخ سیستم آب و هوایی آینده به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در مقیاس جهانی و قاره‌ای هستند، اما کمبود اطمینان در مقیاس متوسط و جزئیات محلی هستند (۳۷،۳۸، ۱٤،۲۵). وضوح GCM ها معمولاً به اندازه صدها یا ده ها کیلومتر است، که برای تشخیص تغییرات احتمالی در شرایط آب و هوایی یا خطرات آب و هوایی برای یک شهر بسیار درشت هستند. این محدودیت به ویژه در موقعیت‌هایی که فرآیند فیزیکی محلی و بازخورد آن ها مانند اثر جزایر گرمایی شهری نقش مهمی ایفا می‌کنند، پر رنگ تر و برجسته تر می شود (۲۵،۳۹)؛ همچنین مانع از مدل‌سازی آن دسته از پدیده‌هایی می‌شود که طبیعتاً اغلب در یک محدوده فضایی کوچک چند کیلومتری یا برای مدت کوتاهی اتفاق می افتند، به عنوان مثال طوفان شدید باران و طوفان استوایی (۲۵،٤۰). در مقابل این، تحقیقات فعلی به طور کلی از کاهش مقیاس آماری و دینامیکی برای تبدیل مدل‌سازی تغییرات آب و هوایی در مقیاس بزرگ به مقیاس دقیق‌تر استفاده می‌کنند. کاهش مقیاس آماری رابطه تجربی بین متغیرها را از یک دوره تاریخی اتخاذ می کند تا ویژگی های اقلیمی آینده مقیاس هدف را از خروجی های GCM در مقیاس بزرگ به دست آورد. درک و کارکرد آن نسبتاً آسان است، اما ممکن است زمانی که داده‌های مشاهده بلندمدت و با کیفیت بالا وجود ندارد، یا زمانی که روابط بین متغیرها به طور غیرخطی بسته به شرایط یا زمان تغییر می‌کند، سوگیری‌های قابل توجهی ایجاد کند (٤۱،٤۲).

۲-کالیبراسیون و تصحیح سوگیری: اگرچه پیشرفت های قابل توجهی در زمینه کاهش مقیاس حاصل شده است، اما کاهش مقیاس به تنهایی نمی تواند تبدیل به اندازه کافی قابل اعتماد از مدل سازی تغییرات آب و هوایی در مقیاس بزرگ به مقیاس محلی را تضمین کند. هنگام کالیبره کردن شبیه‌سازی‌های آب و

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

هوایی کوچک‌شده با مشاهدات تاریخی، اغلب سوگیری‌های قابل‌توجهی را نشان می‌دهند که ممکن است ناشی از دانش ناقص در مورد سیستم‌های آب و هوایی یا میانگین‌گیری فضایی ساده در سلول‌های شبکه باشد (۲۵،۴۳). بنابراین، تصحیح سوگیری نتایج شبیه‌سازی آب و هوای خام برای ارائه ورودی‌های مطمئن‌تر برای پیش‌بینی آب و هوای آینده و تجزیه و تحلیل تأثیرات بعدی از اهمیت زیادی برخوردار است. به طور کلی، تصحیح سوگیری بر اساس مقایسه بین متغیرهای آب و هوایی شبیه‌سازی‌شده و میدانی انجام می‌شود و می‌تواند با سه مرحله اصلی انجام شود. برای شروع، نتایج شبیه‌سازی‌شده اقلیمی با مشاهدات واقعی در یک دوره پایه تاریخی، با هدف شناسایی سوگیری‌ها و ایجاد رابطه آماری بین آنها کالیبره می‌شوند. سپس بر اساس این تجزیه و تحلیل، مرحله دوم یک تصحیح سوگیری از نتایج شبیه‌سازی‌شده اقلیمی را برای دوره پایه تاریخی انجام می‌دهد، در حالی که مرحله سوم به یک دوره آینده ادامه می‌دهد و نتایج تصحیح شده با سوگیری پیش‌بینی آب و هوای آینده را به دست می دهد (٤٤). تحت چارچوب فوق، طیف گسترده ای از روش ها برای کاهش سوگیری ها در نتایج GCMs یا RCMs قبل از پردازش یا در نتایج کاهش مقیاس محلی ایجاد شده است. اکثر تحقیقات قبلی از روش تعدیل میانگین استفاده می کنند که هیچ تفاوتی در تغییرپذیری بین دنباله‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده و صرفاً سوگیری‌های درست در مقادیر میانگین آنها را فرض می‌کند (٤٥). اما در واقع، سوگیری در تغییرپذیری معمولاً موضوعی مهم تر از میانگین است. از این رو، تعدیل واریانس به یک رویکرد کلی تری تبدیل شده است که برای تصحیح سوگیری استفاده می شود، که می تواند سوگیری ها را نه تنها در میانگین، بلکه در تغییرپذیری متغیرهای شبیه سازی شده نسبت به مشاهدات میدانی اصلاح کند (٤٦).

شبیه سازی توسعه شهری و اقلیم خرد: شهرها نه تنها به شدت در معرض تأثیرات تغییرات آب و هوایی قرار دارند، بلکه با اقلیم منطقه ای نیز در تعامل هستند و مجبور می شوند مشترکاً اقلیم های کوچک محلی خود را شکل دهند. اگرچه نتایج RCM به خوبی پردازش شده قادر به انعکاس آب و هوای کلی شهری هستند، اما همچنان قادر به ارائه اطلاعات دقیق در مورد اقلیم در مقیاس کوچک در داخل شهر نیستند. بنابراین، پس از کاهش مقیاس شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی، نیاز به پیش‌بینی تغییرات احتمالی در آب و هوای محلی ناشی از گسترش شهری و توسعه اجتماعی-اقتصادی وجود خواهد داشت و سپس این تغییرات را با اقلیم منطقه‌ای برای شبیه‌سازی ریزاقلیم آتی شهر مورد مطالعه همراه می‌کند. این بخش چگونگی پیش‌بینی توسعه اجتماعی-اقتصادی آینده یک شهر و چگونگی جفت کردن آب و هوای محلی و منطقه‌ای را برای شبیه‌سازی ریزاقلیم شهری ارائه می‌دهد. به طور قابل توجهی، پیش‌بینی توسعه اجتماعی-اقتصادی شهری می‌تواند به شناسایی زمینه‌ها و سیستم‌های شهری بالقوه آسیب‌پذیر در برابر تأثیرات تغییرات آب و هوایی کمک کند، که اطلاعات مهمی را برای ارزیابی آسیب‌پذیری و ریسک در دو بخش بعدی ارائه می دهد (۲۵).

۱-پیش بینی توسعه اجتماعی و اقتصادی شهری: توسعه اجتماعی-اقتصادی یک موتور اولیه برای گسترش و رشد شهری است که به نوبه خود باعث تغییر در پارامترهایی مانند پوشش زمین، مورفولوژی فضایی، غلظت آئروسل و شار گرمای سطحی شهری می شود که در نهایت تغییر در آب و هوای شهری را به دنبال دارد. علاوه بر این، توسعه اجتماعی-اقتصادی (مانند جمعیت، زیرساخت ها، اقتصاد و ثروت) نیز به عنوان یک ستون مهم برای شناسایی و بررسی مواجهه و ریسک سیستم شهری آینده در برابر تغییرات اقلیمی عمل می کند (۲۵).

بسیاری از شهرها در مواجهه با اثرات تغییرات آب و هوایی، فعالیت های زیادی انجام داده‌اند. تحقیقات به روز شده به

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

طور فزاینده ای استراتژی شهری و اقدام در کاهش تغییرات آب و هوا و سازگاری را در سناریوسازی گنجانده اند (٤٧). اگرچه تحلیل‌های مبتنی بر سناریو می‌توانند خط داستانی و روایت توسعه شهری آینده را ارائه دهند، اما نمی‌توانند تقاضای اطلاعات دقیق برای تعیین کمیت تغییر آب و هوای محلی شهری و اثر تغییر آب و هوا بر شهرها را برآورده کنند. بنابراین، انواع مدل‌های ورودی–خروجی، مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه و مدل‌های ارزیابی یکپارچه، برای تبدیل سناریوی روایت به شبیه‌سازی عددی استفاده شده‌اند. این مدل‌ها مزیت نمایش بخش‌های مختلف یک شهر و تعامل آن‌ها با یکدیگر را توسط یک چارچوب ثابت نشان می‌دهند. با این حال، کاربردهای آنها تا حد زیادی به دلیل فقدان جداول ورودی- خروجی یا ماتریس های حسابداری اجتماعی در مقیاس شهری محدود شده است (٢٥، ٤٨،٤٩). به طور مکمل، بسیاری از مطالعات تلاش کرده‌اند تا شبیه‌سازی توسعه شهری را ساده‌سازی کنند و بیشتر روی یک حوزه یا حوزه‌های خاصی متمرکز شده اند. به عنوان مثال، مدل‌های دینامیک، دینامیک غیرتعادلی، شبکه و شیمی انتقال به ترتیب برای شبیه‌سازی رشد اقتصادی شهری آینده، زیرساخت‌ها، جمعیت، و همچنین گازهای گلخانه‌ای شهری، آلاینده‌ها و انتشار گرمای انسانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (٥٢–٥٠).

٢– شبیه سازی اقلیم محلی شهری و اقلیم خرد: پوشش زمین، مورفولوژی فضایی، آئروسل و شار گرمای سطحی همگی عواملی هستند که در مقیاس محلی باعث ایجاد اقلیم در شهرها می شوند، که در میان آنها پوشش زمین و مورفولوژی فضایی نقش مهمی ایفا می کنند. از این رو، پس از تحلیل سناریو و شبیه‌سازی توسعه شهری، چگونگی تعیین عوامل مختلف اجتماعی–اقتصادی و تعاملات محله‌ای به طور مشترک پوشش زمین و مورفولوژی فضایی یک شهر، یکی دیگر از پیوندهای کلیدی برای پیش‌بینی ریزاقلیم شهری است. در حال حاضر، مدل‌های آماری، مدل‌های مکانی و انواع متنوع مدل‌های جفت شده آن‌ها، شناخته‌شده‌ترین روش‌ها برای انجام این کار هستند (٥٣،٥٤). با این حال، بدون در نظر گرفتن تغییرات رفتاری و تصمیم گیری خرد، اعتبار پیش بینی این مدل ها ممکن است برای آینده بلندمدت کاملاً محدود باشد، که متأسفانه یک افق زمانی حیاتی برای مطالعات تغییرات آب و هوایی است. برای پرداختن به این موضوع، مدل‌های چند عاملی به طور فزاینده‌ای برای نمایش پویایی تغییر ریزساختار شهری استفاده شده‌اند (٥٥،٥٦). یکی از پیشرفت‌های اخیر این است که مدل‌های آماری، مکانی یا چند عاملی را با روش‌های نوظهور هوش مصنوعی، مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی و یادگیری عمیق، همراه کنیم. چنین اقداماتی به طور قابل توجهی توانایی مدل‌سازان را برای مقابله با پیچیدگی و دشواری محاسباتی سیستم‌های شهری شبکه‌ای بهبود می‌بخشد (٢٥،٥٧،٥٨).

علاوه بر این، با توجه به فعل و انفعالات متعدد بین آب و هوای محلی و منطقه ای شهری، شهرها با تغییرات زیادی در اقلیم کوچک خود در مناطق، جوامع یا بلوک های خود مشخص می شوند. به عنوان مثال، مرکز شهری اغلب دمای تابستان را به وضوح بالاتر و بارش شدیدتری را نسبت به سایر مناطق یک شهر نشان می دهد (٥٩). در مقابل این، چهار نوع رویکرد برای انتقال شبیه‌سازی‌های تغییر اقلیم به سطح همسایگی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، که اقلیم محلی و منطقه‌ای شهری را ادغام می‌کند تا ریزاقلیم شهری را شبیه‌سازی کند. اولین نوع رویکرد، جفت کردن RCM ها با مدل های پوشش زمین (LCMs) است، که نتایج RCM ها پس از پردازش را به عنوان عوامل تاثیرگذار بر آب و هوای منطقه ای اعمال می کند و ریزاقلیم آینده یک شهر را با توجه به تغییرات در پارامترهایی چون کاربری زمین و تغییر پوشش زمین شهری مدل می کند (٦٠،٦١). نوع دوم رویکرد، RCM ها را با مدل‌های سایبان شهری (UCMs) جفت می‌کند و امکان بررسی جامع‌تری از فعالیت‌های مختلف شهری و تأثیرات آنها بر متغییرهای آب و

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

هوایی محلی شهری را فراهم می‌کند (۶۲،۶۳). این دو نوع رویکرد معمولاً یک فرض مشترک دارند که آب و هوای منطقه‌ای شرایط آفلاینی است که تحت تأثیر تغییرات خود شهر قرار نمی گیرد. سومین رویکرد، استراتژی متفاوتی را با در نظر گرفتن تعاملات شهر با مناطق اتخاذ می‌کند و بر این اساس، مدل‌سازی واقعی‌تری از ریزاقلیم شهری را از طریق اتصال آنلاین بین LCM یا UCM و RCM ارائه می‌کند (۶۴). اخیراً مدل‌های مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی (CFDM) به عنوان چهارمین نوع روش امیدوارکننده ظاهر شده‌اند. CFDM ها با نمایش وضوح خوب سطح شهری و دانش بهتر از میدان های جریان شهری مرتبط، شبیه سازی میکرو اقلیم شهری را در مقیاس بلوک یا حتی ساختمان ممکن می سازند (۶۵،۶۶).

۳- ارزیابی آسیب پذیری تغییر اقلیم شهری: اثر خاص تغییر اقلیم بر هر شهر نه تنها به تغییر اقلیم محلی که این شهر تجربه می کند، بلکه به نحوه مواجهه و واکنش آن نیز بستگی دارد. از این رو، پس از طرح ریزی اقلیم کوچک شهری، نیاز به بررسی میزان آسیب پذیری بخش ها و سیستم های مختلف یک شهر در برابر اثرات تغییرات آب و هوایی وجود دارد. مطالعات مختلف میزان مواجهه، حساسیت و سازگاری به عنوان سه مؤلفه کلیدی که میزان آسیب پذیری یک شهر را در تغییرات آب و هوایی تعیین می کنند، شناسایی کرده اند (۱۱،۶۷). با این حال، ویژگی‌ها، شاخص‌ها و روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری این مؤلفه‌ها و همچنین چارچوب‌های مورد استفاده برای محاسبه آسیب‌پذیری حاصله آن‌ها به‌طور قابل‌توجهی در بین تحقیقات متفاوت است (۲۵،۶۸). در میان دسته‌بندی‌های گسترده اثرات تغییر اقلیم، چهار نگرانی جدی برای مدیران و ساکنان شهری عبارتند از: (۱) زندگی مسکونی و سلامت، (۲) اقتصاد و ثروت، (۳) در دسترس بودن منابع، و (۴) اکوسیستم و تنوع زیستی.

ارزیابی یکپارچه خطر تغییر اقلیم شهری: تقریباً هر مرحله از شبیه سازی اقلیم خرد شهری، طرح ریزی اجتماعی-اقتصادی و ارزیابی آسیب پذیری با عوامل عدم قطعیت زیادی مواجه است. بر اساس بخش‌های فوق، این بخش بر اثر عدم قطعیت تأکید می‌کند؛ بسیاری از محققین قبلی تلاش کرده اند به این موضوع بپردازند، اما ناسازگاری های قابل توجهی را در پارادایم تحلیلی و رویکرد ارزیابی ارائه می دهند. به عنوان مثال، برخی از مطالعات بر عدم قطعیت در ارزیابی ریسک تغییر اقلیم، برخی بر عدم قطعیت در ارزیابی آسیب پذیری و برخی دیگر بر عدم قطعیت در ارزیابی اثر تغییر اقلیم تمرکز دارند (۷۱-۶۹ ، ۲۵). با این حال، این سه نوع عملکرد، با توجه به دامنه جزئی عدم قطعیت، نمی توانند درک جامعی در مورد اینکه چگونه تغییر آب و هوا بر سیستم شهری نامشخص در آینده تأثیر می گذارد، ارائه دهند. برای غلبه بر این، روش ارزیابی ریسک تغییرات آب و هوایی به طور فزاینده ای در مطالعات اخیر مورد حمایت قرار گرفته است، که نه تنها می‌تواند تعاملات بین مخاطرات آب و هوایی، سیستم شهری آسیب پذیر و پیامدهای ناشی از آن را به تصویر بکشد، بلکه می تواند با عدم قطعیت های متعدد پیرامون آنها نیز مقابله کند (۱۷،۷۲). به طور کلی یک ارزیابی یکپارچه از خطر تغییر اقلیم برای شهر شامل سه پودمان اصلی، یعنی شناسایی ریسک، کمی سازی ریسک، و ارزیابی ترکیبی ریسک است. علاوه بر این، ارزیابی از طریق یک فرآیند مداوم و تکراری، با تبادل اطلاعات گسترده بین هر دو پودمان انجام می شود (۷۳)؛ و هرگونه بررسی تغییر اقلیم شهری خارج از این چهارچوب نتیجه ای قابل اتکا به دست نخواهد داد.

شیوه خاص تهران برای پاسخگویی به چالش های توسعه کنونی، انعطاف پذیری، خلاقیت و تعهد لازم برای انطباق را بدون توجه به اینکه این موضوع صریح باشد یا خیر، ایجاد کرده است. سیاست‌های تهران علی‌رغم تجدیدنظر مکرر در طول سال‌ها، از تداوم و ثبات برخوردار نبوده است. با توجه به سیاست‌هایی که کشورهای توسعه‌یافته و پیشرو در زمینه

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

سازگاری و کاهش تغییرات اقلیمی انجام می‌دهند، تهران می تواند زمینه را برای گنجاندن اقدامات سازگاری در برنامه‌های زیست‌محیطی و توسعه محلی ایجاد کند. برخی از راهکارها در این زمینه عبارتند از: حکمرانی مؤثر: ظرفیت نهادی، برنامه ریزی نوآورانه و چارچوب های قانونی، رویکردهای کلی نگر به مشکلات زیست محیطی شهری و مسائل توسعه محلی، ظرفیت کار با فقرای شهری، و جامعه مدنی متعهد، و در نهایت بنابر بخش های بالا می توان چنین نتیجه گرفت که شهر تهران نیز از سایر شهرها مستثنی نیست و برای بررسی تغییر اقلیم در این شهر و سازگاری با آن نیاز به ارزیابی یکپارچه از تغییرات اقلیمی دارد که می تواند متناسب با چهارچوبی که در بالا تشریح شد، بدان دست یافت.

نتیجه گیری

با توجه به تأثیر فزاینده مهم و گسترده تغییرات آب و هوا، سازگاری با تغییرات آب و هوایی به اندازه کاهش تغییرات آب و هوایی برای بسیاری از شهرها مهم شده است. کمی کردن و ارزیابی ریسک احتمالی ناشی از تغییرات آب و هوایی شهری برای انجام اقدامات پیشگیرانه سازگاری با آب و هوا اهمیت زیادی دارد و از این رو، در سال‌های اخیر توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است. این مقاله با تحلیل موردی شهر تهران، درک بهتری از تغییرات اقلیمی که طی سال های ۲۰۲۰-۱۹۹۱ با آن مواجهه بوده و همچنین تشدید محدودیت‌هایی که شهرها در این موضوع با آن‌ها مواجه هستند، ارائه می‌دهد. شهر تهران متعهد به تمرکززدایی، شفافیت، پاسخگویی و مشارکت است. متاسفانه در کشور و به تبع آن در تهران، محیط زیست و مدیریت آن نادیده گرفته شده است، این در حالی است که هنوز برنامه‌ها و طرح‌های جدیدی در برنامه‌ریزی شهری وجود دارد که شامل چشم‌اندازی وسیع از چالش‌ها و پاسخ‌های شهری، عدم توجه به پایداری زیست‌محیطی و یک برنامه استراتژیک است. ماحصل این عدم توجه، تمرکز جمعیت، آلودگی شدید هوا و انتشار بیشتر گازهای گلخانه ای می باشد که همگی این موارد منتج به تغییرات اقلیمی در کلانشهر تهران شده است. این مطالعه بررسی تغییرات اقلیم در تهران را همراه با مرور و بازبینی تحقیقات اخیر مربوط به ارزیابی کمی ریسک تغییرات آب و هوا در مقیاس شهری را انجام می دهد. در راستای این بازبینی، پیدا شده که ادبیات کنونی را می توان اساساً به چهار دسته عمده تحقیقاتی به ترتیب در مورد کاهش مقیاس بزرگ تغییر اقلیم به مقیاس محلی، شبیه سازی توسعه شهری و اقلیم خرد، ارزیابی آسیب پذیری تغییر اقلیم شهری، و ارزیابی یکپارچه تقسیم کرد. این چهار دسته از تحقیقات یک زنجیره مدل سازی گام به گام را تشکیل می دهند که از تغییرات آب و هوایی جهانی به سمت ارزیابی ریسک در مقیاس شهری حرکت می کند و دستورالعمل های عملی شهر محور در ارزیابی ریسک تغییرات آب و هوا را ارائه می دهد. در طول سال های گذشته پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه ارزیابی ریسک تغییرات آب و هوایی شهری حاصل شده است، با این حال، هنوز کمبودها و چالش های بسیاری در این زمینه وجود دارد: ۱- مقیاس‌های زمانی بین مدل‌های متوسط و مقیاس شهری و بین مدل‌های اقلیمی و اقتصادی-اجتماعی در بسیاری از موارد ناهماهنگ هستند، که جفت شدن مدل‌ها در مقیاس‌های مختلف و مدل‌سازی بین‌رشته‌ای اثر تغییر اقلیم بر شهر را به دام می‌اندازد. ۲- روش‌های فعلی ظرفیت‌های ناکافی را برای نشان دادن روابط غیرخطی و غیرایستایی بین متغیرها، تفکیک هم‌افزایی بین مواجهه با تغییرات اقلیمی شهری، حساسیت و سازگاری، تبدیل جنبه‌های مختلف آسیب‌پذیری شهری به یک متریک واحد را نشان می‌دهند. عدم قطعیت در اقلیم شهری و سیستم‌های اجتماعی-اقتصادی، چالش‌های جدی را برای ارزیابی خطر تغییرات آب و هوایی در مقیاس شهری ایجاد می‌کند. ۳- متغیرهای اقلیمی گاهی اوقات با یکدیگر تعامل دارند و بازتولید بهتر رویدادهای اقلیمی مرکب را می طلبند.

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

٤- ارزیابی‌های کنونی از ریسک تغییرات آب و هوایی عمدتاً محدود به آسیب‌هایی است که همزمان با خطرات آب و هوایی رخ می‌دهد و با چالشی برای گنجاندن اثرات بلند مدت در محدوده ارزیابی مواجه است. ٥- تجمیع انواع مختلف ریسک ها و آسیب‌پذیری‌ها باقی می‌مانند، که خواستار رویه استانداردتر، سیستم متریک عینی و قابل مقایسه، و رویکردهای پیشرفته برای ترکیب انواع مختلف ریسک های تغییرات آب و هوایی است که سیستم‌های مختلف یک شهر با آن مواجه هستند. به طور کلی مطالعه حاضر نشان داده است که تهران با افزایش دما و کاهش رطوبت طی ۳۰ سال گذشته مواجهه داشته که به دلیل تشکیل جزایر گرمایی در مناطق با تمرکز بالای جمعیت این افزایش دما و کاهش رطوبت بیشتر بوده و روز به روز با ادامه وضع موجود بر شدت آن افزوده می شود که نیاز به بررسی ویژه و فوری دارد که برای کاهش اثرات تغییرات اقلیم و سازگاری با آن در تهران و سایر شهرها باید طبق زنجیره ای که در بالا تشریح شده، گام برداشت.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از سازمان هواشناسی کشور بمنظور در اختیار گذاشتن موقعیت و داده های ایستگاه های سینوپتیک استان تهران تشکر و قدردانی می شود.

جدول ۱- اطلاعات ایستگاه های کلانشهر تهران در مطالعه تغییر اقلیم و چالش های ارزیابی کمی تغییرات اقلیم شهری (مطالعه موردی: کلانشهر تهران)

ایستگاه	نام شهر یا دهستان محل استقرار	نوع ایستگاه	سال تاسیس	ارتفاع از سطح دریا	طول و عرض جغرافیایی					
					طول شرقی			عرض شمالی		
					ثانیه	دقیقه	درجه	ثانیه	دقیقه	درجه
چیتگر	تهران	سینوپتیک تکمیلی	۱۳٦۹	۱۳۰٥	۲۱	۱۰	٥۱	٥٦	٤٤	۳٥
ژئوفیزیک	تهران	سینوپتیک تکمیلی	۱۳٦۷	۱٤۱٥	۱۲	۲۳	٥۱	٤۸	٤٤	۳٥
شمیران	شمیران	سینوپتیک اصلی	۱۳٦٦	۱٥٤۹	۷	۲۹	٥۱	٥٦	۳۹	۳٥
مهرآباد	تهران	سینوپتیک فرودگاهی	۱۳۲۱	۱۱۹۱	٤٦	۱۸	٥۱	۳٥	٤۱	۳٥

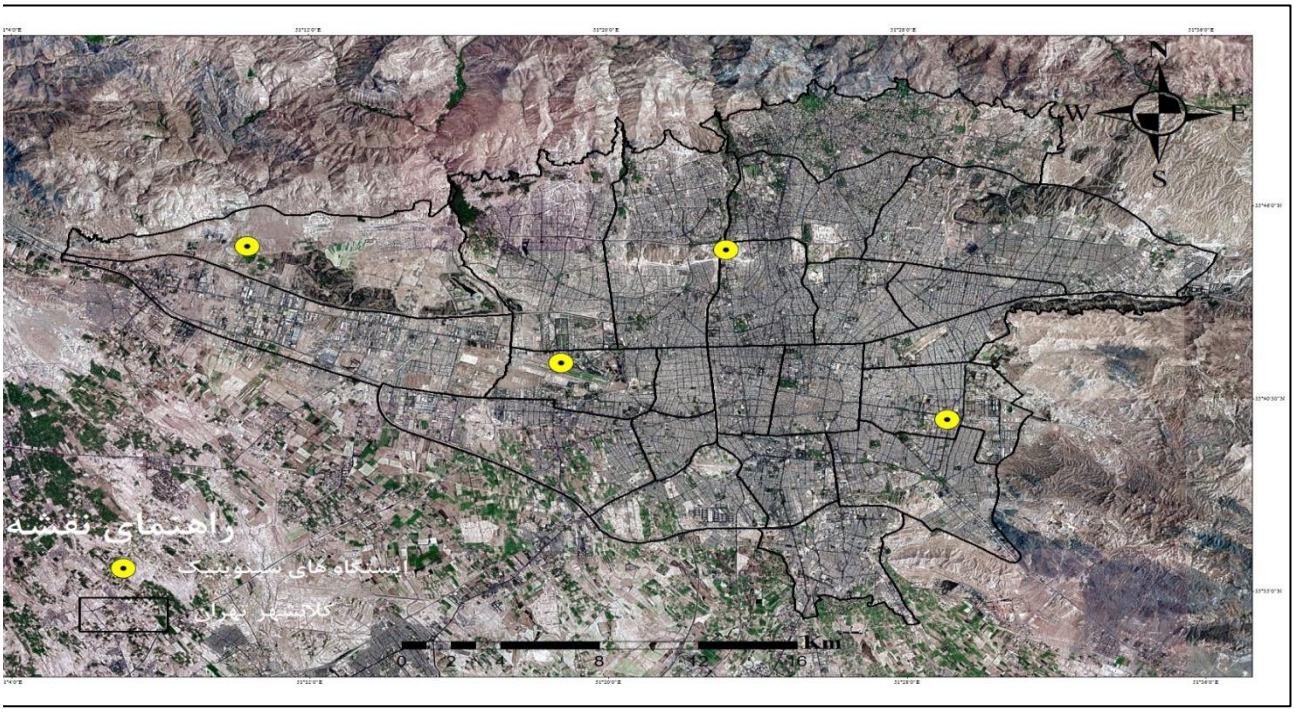
ماخذ-اداره کل هواشناسی استان تهران.

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

جدول۲- توصیف آماری دما و رطوبت کلانشهر تهران طی سال های ۲۰۲۰-۱۹۹۱ در مطالعه تغییر اقلیم و چالش های ارزیابی کمی تغییرات اقلیم شهری (مطالعه موردی: کلانشهر تهران)

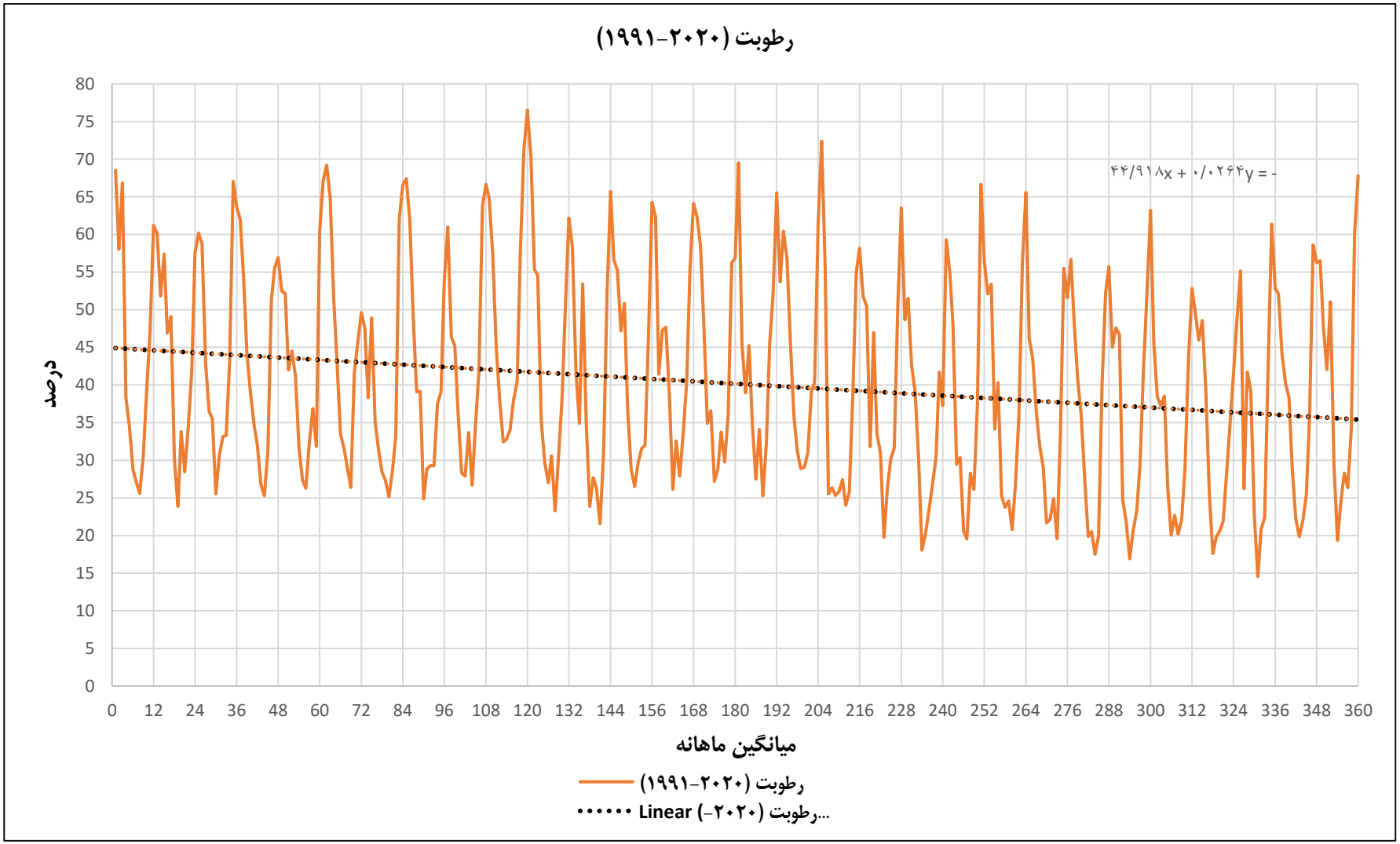
سال	صدک ۲۵	صدک ۷۵	انحراف معیار	ضریب تغییرات	میانگین	حداقل	حداکثر
دما (۱۹۹۱)	۸/۶۲	۲۳/۴۸	۹/۹۵	۰/۶۱	۱۶/۳۷	۳/۲۶	۲۹/۷۴
رطوبت (۱۹۹۱)	۲۹/۱۹	۵۵/۲۷	۱۵/۹۷	۰/۳۶	۴۳/۸۳	۱۵/۹۷	۶۸/۵۵
دما (۲۰۰۰-۱۹۹۱)	۷/۹۰	۲۶/۱۴	۹/۴۴	۰/۵۶	۱۶/۸۴	۰/۵۶	۳۱/۲۳
رطوبت (۲۰۰۰-۱۹۹۱)	۳۱/۷۶	۵۴/۷۶	۱۳/۷۳	۰/۳۲	۴۳/۲۴	۲۳/۸۶	۷۶/۵۰
دما (۲۰۱۰-۲۰۰۱)	۹/۳۶	۲۶/۵۰	۹/۲۲	۰/۵۲	۱۷/۷۹	-۲/۴۵	۳۱/۴۵
رطوبت (۲۰۱۰-۲۰۰۱)	۲۹/۷۲	۵۱/۸۹	۱۳/۵۱	۰/۳۳	۴۰/۶۵	۱۸/۰۶	۷۲/۳۹
دما (۲۰۲۰-۲۰۱۱)	۸/۹۵	۲۶/۷۵	۹/۱۸	۰/۵۳	۱۷/۴۴	۳/۶۱	۳۱/۸۴
رطوبت (۲۰۲۰-۲۰۱۱)	۲۳/۶۴	۴۷/۷۰	۱۳/۹۶	۰/۳۸	۳۶/۵۷	۱۴/۵۶	۶۷/۷۶
دما (۲۰۲۰)	۹/۵۵	۲۴/۷۰	۹/۲۹	۰/۵۶	۱۶/۵۵	۳/۶۱	۲۹/۱۴
رطوبت (۲۰۲۰)	۲۷/۸۱	۵۲/۴۰	۱۵/۸۶	۰/۳۹	۴۰/۵۹	۱۹/۳۵	۶۷/۷۶

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]



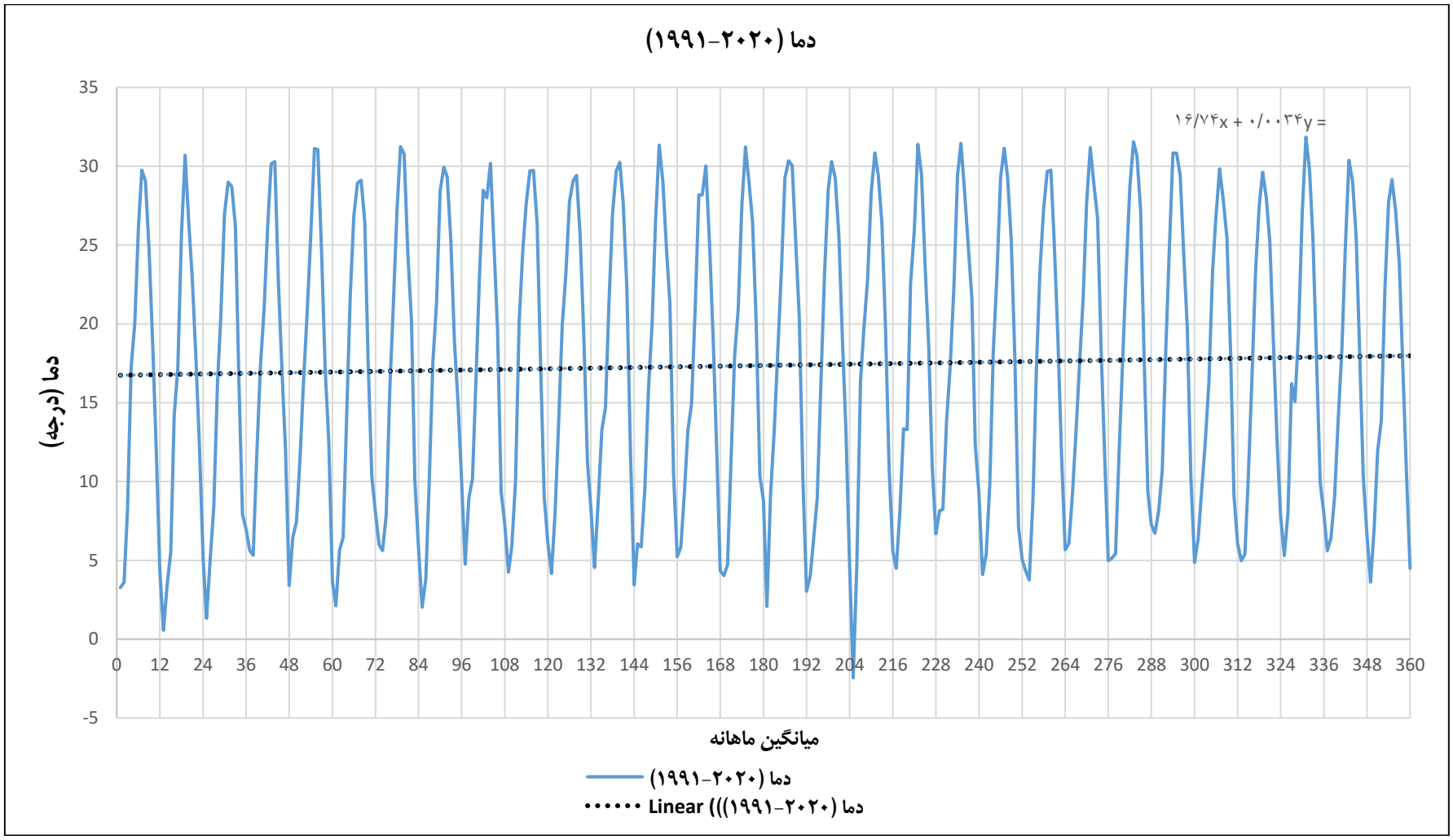
شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در مطالعه تغییر اقلیم و چالش های ارزیابی کمی تغییرات اقلیم شهری (مطالعه موردی: کلانشهر تهران)

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]



شکل ۲- میانگین ماهانه رطوبت در شهر تهران طی سال های ۲۰۲۰-۱۹۹۱ در مطالعه تغییر اقلیم و چالش های ارزیابی کمی تغییرات اقلیم شهری (مطالعه موردی: کلانشهر تهران)

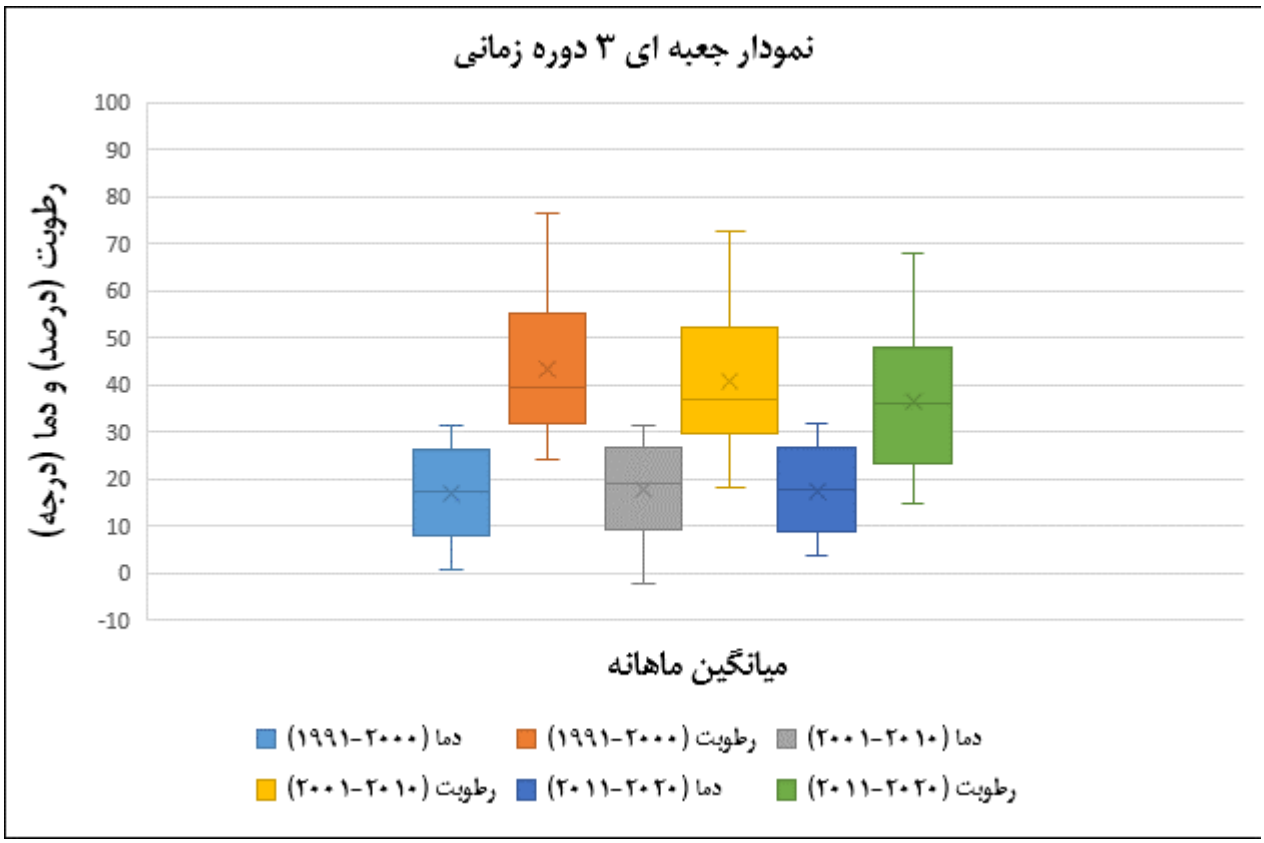
[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]



شکل۳- میانگین ماهانه دما در شهر تهران طی سال های ۲۰۲۰-۱۹۹۱در مطالعه تغییر اقلیم و چالش های ارزیابی کمی تغییرات اقلیم شهری

(مطالعه موردی: کلانشهر تهران)

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]



شکل ٤- نمودار جعبه ای میانگین ماهانه دما و رطوبت شهر تهران طی دوره های زمانی (۱۹۹۱-۲۰۰۰)، (۲۰۰۱-۲۰۱۰) و (۲۰۱۱-۲۰۲۰) در مطالعه تغییر اقلیم و چالش های ارزیابی کمی تغییرات اقلیم شهری (مطالعه موردی: کلانشهر تهران)

References

1. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf
2. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
3. UN-Habitat. Urbanization and development: emerging futures. World cities report 2016. United Nations Human Settlements Programme, UN-Habitat, 2016.
4. Rosenzweig C, Solecki W, Romero-Lankao P, Mehrotra S, Dhakal S, Ibrahim SA. Climate change and cities: second assessment report of the urban climate change research network (ARC3.2). New York: Cambridge University Press, 2018.
5. Tapia C, Abajo B, Feliu E, Mendizabal M, Martinez JA, Fern´andez JG, et al. Profiling urban vulnerabilities to climate change: an indicator–based vulnerability assessment for European cities. Ecol Indicat. 2017; 78:142-55.

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

6. Marsooli R, Lin N, Emanuel K, Feng KR. Climate change exacerbates hurricane flood hazards along US Atlantic and Gulf Coasts in spatially varying patterns. Nat Commun. 2019; 10:37-85.
7. Carbon Disclosure Project (CDP). Data for cities climate hazards. Open dataset; 2017. https:// data. cdp.net/Cities/2016-Cities-Climate-Hazards/8t2r-u3e5.
8. Mauree D, Naboni E, Coccolo S, Perera ATD, Nik VM, Scartezzini JL. A review of assessment methods for the urban environment and its energy sustainability to guarantee climate adaptation of future cities. Renew Sustain Energy Rev. 2019; 112:733-746.
9. DePaul M. Climate change, migration, and megacities: addressing the dual stresses of mass urbanization and climate vulnerability. Paterson Rev Int Aff. 2012; 12:145-62.
10. Grafakos S, Viero G, Reckien D, Trigg K, Viguie V, Sudmant A, et al. Integration of mitigation and adaptation in urban climate change action plans in Europe: a systematic assessment. Renew Sustain Energy Rev. 2020; 121:109-623.
11. Ofori BY, Stow AJ, Baumgartner JB, Beaumont LJ. Influence of adaptive capacity on the outcome of climate change vulnerability assessment. Nat Sci Rep. 2017; 7: 12979.
12. Aerts J, Botzen W. Adaptation: cities' response to climate risks. Nat Clim Change. 2014; 4:759-60.
13. Lamperti F, Bosetti V, Roventini A, Tavoni M. The public costs of climate-induced financial instability. Nat Clim Change. 2019; 9:829-33.
14. Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M. Workshop report of Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop (IPCC) on regional climate projections and their use in impacts and risk analysis studies. IPCC Working Group I Technical Support Unit, 2015.
15. Kim DW, Deo RC, Chung JH, Lee JS. Projection of heat wave mortality related to climate change in Korea. Nat Hazards. 2016; 80:623-37.
16. Conway D, Nicholls RJ, Brown S, Tebboth MGL, Adger WN, Ahmad B, et al. The need for bottom-up assessments of climate risks and adaptation in climate-sensitive regions. Nat Clim Change. 2019; 9:503-511.
17. Bai XM, Dawson RJ, Urge–Vorsatz D, Delgado GC, Barau AS, Dhakal S, et al. Six research priorities for cities and climate change. Nature. 2018; 555:19-21.
18. Hallegatte S, Green C, Nicholls RJ, Corfee–Morlot J. Future flood losses in major coastal cities. Nat Clim Change. 2013; 3:802-806.
19. Diaz D, Moore F. Quantifying the economic risks of climate change. Nat Clim Change. 2017; 7:774-782.
20. Mora C, Spirandelli D, Frankli EC, Lynham J, Kantar MB, Miles W, et al. Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by greenhouse gas emissions. Nat Clim Change. 2018; 8:1062-1071.

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

21. Wang B, Ke RY, Yuan XC, Wei YM. China's regional assessment of renewable energy vulnerability to climate change. Renew Sustain Energy Rev. 2014; 40: 185-195.
22. Schaeffer R, Szklore AS, de Lucena AFP, Borba BSMC, Nogueira LPP, Fleming FP, et al. Energy sector vulnerability to climate change: a review. Energy. 2012; 38: 1-12.
23. Apreda C, D'Ambrosio V, Martino F. A climate vulnerability and impact assessment model for complex urban systems. Environ Sci Pol. 2019; 93:11-26.
24. Burke M, Craxton M, Kolstad CD, Onda C, Allcott H, Baker E, et al. Opportunities for advances in climate change economics. Science. 2016; 352:292-293.
25. Ye B, Jiang J, Liu J, Zheng Y, Zhou N. Research on quantitative assessment of climate change risk at an urban scale: Review of recent progress and outlook of future direction. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021; 135:110415.
26. Ramyar R, Zarghami E, Bryant M. Spatio-temporal planning of urban neighborhoods in the context of global climate change: Lessons for urban form design in Tehran, Iran. Sustainable Cities and Society. 2019; 51:101554.
27. Nasiri R, Akbarpour S, Zali AR, Khodakarami N, Boochani MH, Noory AR, Soori H. Spatio-temporal analysis of COVID-19 incidence rate using GIS: a case study-Tehran metropolitan, Iran. GeoJournal. 2021; 1-15.
28. Zarandi SM, Shahsavani A, Nasiri R, Pradhan B. A hybrid model of environmental impact assessment of PM 2.5 concentration using multi-criteria decision-making (MCDM) and geographical information system (GIS)-a case study. Arabian Journal of Geosciences. 2021; 14(3):1-20.
29. Zarandi SM, Nasiri R. Spatio-temporal Analysis of PM2.5 Pollutant in Tehran Metropolis during the Years 2014-2017. Journal of Research in Environmental Health. 2020; 6(3).
30. Zarandi SM, Nasiri R, Motlagh ME. Modeling the Relationships between Spatio-temporal analysis traffic volume and PM 2.5 pollutant concentration Based on Geographically Weighted Regression (GWR) and Inverse Distance Weighting (IDW) Model, Case Study: Tehran Metropolis. Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research. 2021; 19(1).
31. Fourth National Climate Assessment. 1(2).
32. Feulner and Rahmstorf. (2010), Jones et al. (2012), Anet et al. (2013), Meehl et al. (2013), Ineson et al. (2015), Maycock et al. (2015), Lubin et al. (2017)
33. IPCC Assessment Report 1, Working Group 1, Chapter 5.
34. https://climate.nasa.gov/blog/2910/what-is-the-suns-role-in-climate-change/
35. Raeissi P, Khalilabad TH, Hadian M. The impacts of fuel price policies on air pollution: case study of Tehran. Environmental Science and Pollution Research. 2021; 1-10.
36. Arsanjani JJ, Kainz W, Mousivand AJ. Tracking dynamic land-use change using spatially explicit Markov Chain based on cellular

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

automata: the case of Tehran. International Journal of Image and Data Fusion. 2011; 2(4):329-345.
37. Her YG, Yoo SH, Cho J, Hwang S, Jeong J, Seong C. Uncertainty in hydrological analysis of climate change: multi-parameter vs. multi-GCM ensemble predictions. Nat Sci Rep. 2019; 9:49-74.
38. Hall A. Projecting regional change. Science. 2014; 346: 1461-1462.
39. Li D, Bou-Zeid E. Synergistic interaction between urban heat islands and heat waves: the impact in cities is larger than the sum of its parts. J Appl Meteorol Climatol. 2013; 52:2051-64.
40. Xie SP, Deser C, Vecchi GA, Collins M, Delworth TL, Hall A, et al. Towards predictive understanding of regional climate change. Nat Clim Change. 2015; 5: 921-930.
41. Hewitson BC, Daron J, Crane RG, Zermoglio MF, Jack C. Interrogating empirical–statistical downscaling. Climatic Change. 2014; 122:539-54.
42. Haerter JO, Hagemann S, Moseley C, Piani C. Climate model bias correction and the role of timescales. Hydrol Earth Syst Sci. 2011; 15:1065-1079.
43. Teutschbein C, Seibert J. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: review and evaluation of different methods. J Hydrol. 2012; 456:12-29.
44. Costoya X, Rocha A, Carvalho D. Using bias-correction to improve future projections of offshore wind energy resource: a case study on the Iberian Peninsula. Appl Energy. 2020; 262:114-562.
45. Hawkins E, Osborne TM, Ho CK, Challinor AJ. Calibration and bias correction of climate projections for crop modelling: an idealised case study over Europe. Agricultural and Forest Meteorology Europe. Agric For Meteorol. 2013; 170: 19-31.
46. Bakker A, Bessembinder J, Wit A, Hurk B, Hoek S. Exploring the efficiency of bias corrections of regional climate model output for the assessment of future crop yields in Europe. Reg Environ Change. 2014; 14: 865-77.
47. Kumar P, Geneletti D. How are climate change concerns addressed by spatial plans? An evaluation framework, and an application to Indian cities. Land Use Pol. 2015; 42:210-26.
48. Lin JY, Hu YC, Zhao XF, Shi LY, Kang JF. Developing a city-centric global multiregional input–output model (CCG–MRIO) to evaluate urban carbon footprints. Energy Pol. 2017; 108:460-6.
49. Arnott RJ. Urban policy: shedding light on urban policy. Nat Clim Change. 2012; 2: 314-5.
50. Li RQ, Dong L, Zhang J, Wang XR, Wang WX, Di ZR, et al. Simple spatial scaling rules behind complex cities. Nat Commun. 2017; 8:1841.
51. Jones B, O'Neill B, McDaniel L, McGinnis S, Mearns LO, Tebaldi C. Future population exposure to US heat extremes. Nat Clim Change. 2015; 5:652-6.
52. Madaniyazi L, Guo YM, Yu WW, Tong SL. Projecting future air pollution-related mortality under a changing climate: progress,

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

uncertainties and research needs. Environ Int. 2015; 75:21-32.
53. Frieler K, Levermann A, Elliott J, Heinke J, Arneth A, Bierkens MFP, et al. A framework for the cross-sectoral integration of multi-model impact projections: land use decisions under climate impacts uncertainties. Earth Syst Dyn. 2015; 6: 447-60.
54. Ku CA. Incorporating spatial regression model into cellular automata for simulating land use change. Appl Geogr. 2016; 69:1-9.
55. Mustafa A, Cools M, Saadi I, Teller J. Coupling agent-based, cellular automata and logistic regression into a hybrid urban expansion model (HUEM). Land Use Pol. 2017; 69:529-40.
56. Li XC, Gong P. Urban growth models: progress and perspective. Sci Bull. 2016; 61: 1637-50.
57. Basse RM, Charif O, Bodis K. Spatial and temporal dimensions of land use change in cross border region of Luxembourg. Development of a hybrid approach integrating GIS, cellular automata and decision learning tree models. Appl Geogr. 2016; 67:94-108.
58. Mishra D, Goyal P, Upadhyay A. Artificial intelligence-based approach to forecast PM2.5 during haze episodes: a case study of Delhi, India. Atmos Environ. 2015; 102: 239-48.
59. Stewart ID, Oke TR. Local climate zones for urban temperature studies. Bull Am Meteorol Soc. 2012; 93:1879-900.
60. Lemonsu A, Kounkou-Arnaud R, Desplat J, Salagnac JL, Masson V. Evolution of the Parisian urban climate under a global changing climate. Climatic Change. 2013; 116:679-92.
61. Shin DW, Baigorria GA. Potential influence of land development patterns on regional climate: a summer case study in the Central Florida. Nat Hazards. 2012; 62:877-885.
62. Kusaka H, Suzuki-Parker A, Aoyagi T, Adachi SA, Yamagata Y. Assessment of RCM and urban scenarios uncertainties in the climate projections for August in the 2050s in Tokyo. Climatic Change. 2016; 137:1-12.
63. Hamdi R, Giot O, Troch RD, Deckmyn A, Termonia P. Future climate of brussels and paris for the 2050s under the A1B scenario. Urban Clim. 2015; 12:160-82.
64. Rojas JLF, Filho AJP, Karam HA, Vemado F, Masson V. Effects of explicit urban-canopy representation on local circulations above a tropical megacity. Bound Lay Meteorol. 2018; 166:83-111.
65. Toparlar Y, Blocken B, Maiheu B, Heijst GJF. A review on the CFD analysis of urban microclimate. Renew Sustain Energy Rev. 2017; 80:1613-40.
66. Blocken B. Computational Fluid Dynamics for urban physics: importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations. Build Environ. 2015; 91:219-45.
67. Scheffran J, Brzoska M, Kominek J, Link PM, Schilling J. Climate change and violent conflict. Science. 2012; 336:869-871.

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

68. Hinkel J. Indicators of vulnerability and adaptive capacity: towards a clarification of the science-policy interface. Global Environ Change. 2011; 21:198-208.
69. Horton RM, Gornitz V, Bader DA, Ruane AC, Goldberg R, Rosenzweig C. Climate hazard assessment for stakeholder adaptation planning in New York City. J Appl Meteorol Clim. 2011; 50:2247-66.
70. Preston BL, Yuen EJ, Westaway RM. Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks. Sustain Sci. 2011; 6:177-202.
71. Bartos MD, Chester MV. Impacts of climate change on electric power supply in the western US. Nat Clim Change. 2015; 5:748-52.
72. Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, et al. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
73. Andersson-Sk¨old Y, Thorsson S, Rayner D, Lindberg F, Janh¨all S, Jonsson A, et al. An integrated method for assessing climate–related risks and adaptation alternatives in urban areas. Clim Risk Manage. 2015; 7:31-50.

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]

Climate Change and the Challenges of Quantitative Assessment of Urban Climate Change: A Case Study in Tehran Metropolis

Rasul Nasiri[1*], Saeed Motesaddi Zarandi[2], Mohammad Esmaeil Motlagh[3]

1- Ph.D. Student, Department of Environmental Health Engineering, School of public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2- Ph.D. Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3- Ph.D. Professor, Department of Pediatrics, School of Medicine, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

*Corresponding Author: nasirirasul@gmail.com, R.Nasiri1371@sbmu.ac.ir
Received: Nov 13, 2021 **Accepted: Dec 21, 2021**

ABSTRACT

Background and Aim: Climate change on the earth is changing faster than ever before in the history. Cities are highly vulnerable to this climate change. Therefore, the present study aimed to investigate climate change in the metropolis of Tehran during the period 1991-2020 and help understand the limitations that cities may have in confronting climate change.

Materials and Methods: This descriptive-analytical study was performed based on the information obtained from the synoptic stations in the Tehran metropolis. First the relevant indicators were determined based on the opinions of experts and the existing literature, followed by analyzing the descriptive and analytical data on climate using the EXCEL-2016 software. Finally, based on reviewing the studies in the literature and analysis of climate data in the metropolis of Tehran, a single protocol was arrived at to study climate change in the city (microclimate) and how to reduce, and adapt with, the impacts of climate change in cities.

Results: Analysis of the data showed that the metropolis of Tehran had been facing an increase in temperature and a decrease in humidity over the preceding 30 years. The average monthly temperature increase and humidity decrease had been about 1.5° C and nearly 15%, respectively.

Conclusion: Tehran metropolis is faced with an increase in temperature and a decrease in humidity levels, the intensity of both of which will further increase in the future. Dense urban population areas will experience more intense climate change due to the formation of heat islands. To deal with this problem urban planners must consider urban socio-economic development in the context of adapting to climate change and reducing its impacts in various urban areas.

Keywords: Climate Change, Urban Climate (Microclimate), Adaptation, Tehran

Copyright © 2021 Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2026-06-19]