

اثر گسترش شهر بر شرایط آب و هوایی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد

فیروز رنجبر- دکترای اقلیم‌شناسی، پژوهشگر دانشگاه صنعتی مالک اشتر
معصومه مقبل* - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۴

چکیده

تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر گسترش شهرنشینی و تغییر کاربری شهر تهران بر شرایط اقلیمی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد انجام شده است. برای اجرای این کار، داده‌های روزانه بارش، بیشینه دما، و کمینه دما طی دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۶ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. پس از کنترل کیفی داده‌ها، برای بررسی شرایط اقلیمی، نخست از آزمون من-کندال استفاده شد و در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار RClimDex تغییرات و روند شاخص حدی اقلیمی، متشکل از شاخص‌های دوره‌ای، مطلق، مبتنی بر صدک، و آستانه‌ای متغیرهای دما و بارش روزانه استخراج شد. نتایج نشان داد همگام با افزایش جمعیت و رشد فیزیکی شهر تهران و قرارگیری ایستگاه سینوپتیک مهرآباد در محدوده شهری، هر دو پارامتر دمای کمینه و بیشینه در طی دوره آماری ۱۹۶۶-۲۰۱۶ از روند افزایشی برخوردار است؛ به طوری که دمای کمینه ایستگاه مهرآباد در دوره ۱۹۶۶-۱۹۷۵ حدود ۱۰/۹ درجه سانتی‌گراد بوده و در دوره ۲۰۰۵-۲۰۱۵ به حدود ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. از نظر شاخص‌های حدی، افزایشی قابل ملاحظه در شاخص‌های حدی سرد و افزایش در شاخص‌های حدی گرم وجود دارد. شاخص روزهای سرد، شب‌های سرد، روزهای همراه یخبندان، روزهای یخی با کاهش مواجه‌اند.

واژگان کلیدی: بارش، دما، تهران، شاخص‌های حدی، گسترش شهر.

مقدمه

مطالعات جمعیتی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۴ نشان داده است که وضعیت معکوسی در روند جمعیتی مناطق شهری و روستایی وجود دارد؛ به طوری که بیشتر جمعیت جهان (۵۴ درصد) در مناطق شهری سکونت یافته‌اند و این روند در حال افزایش است؛ در حالی که تا سال ۱۹۹۰ جمعیت اندکی در شهرها ساکن بودند (سیا و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۱۲). شایان ذکر است این انتقال شهری در سطح جهانی در سال ۲۰۰۸ به وقوع پیوسته است؛ در حالی که در ایران انتقال شهری (انتقال جمعیت به شهرها) در سال ۱۳۵۹ رخ داده است. به بیانی دیگر، در طی نیم قرن گذشته روند شهرنشینی و روستانشینی در ایران الگوی ضربدری را نمایش می‌دهد (فتحی، ۱۳۹۴: ۹). این توسعه بدون برنامه شهرنشینی به تغییرات اساسی در محیط منجر می‌شود؛ از جمله کاهش سطوح طبیعی و جای‌گزینی آن با سطوح مصنوعی و انسان‌ساخت. مناطق شهری اغلب با سطوح نفوذناپذیر و ساخت‌وساز شده شناخته می‌شوند که اغلب تأثیری منفی در اکوسیستم‌ها دارند (مورایتو و همکاران، ۲۰۱۶: ۳۱۸). شهرنشینی سبب تغییر چشم‌اندازهای طبیعی به کاربری‌های انسان‌ساخت و تغییر سطوح با ویژگی‌های فیزیکی متفاوت می‌شود. تغییر و تبدیل در پوشش سطحی تأثیر مهمی بر شرایط جوی و اقلیم محلی

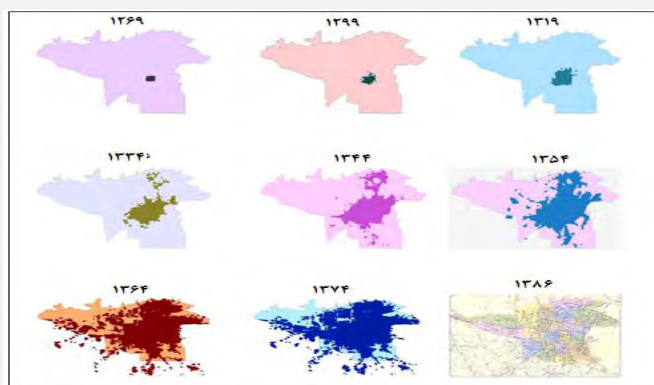
می‌گذارد (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۰)؛ به طوری که تغییرات سریع در کاربری اراضی و پوشش سطحی در نواحی شهری به دلیل تأثیرهای محیطی همانند کاهش فضاهای سبز و توسعه جزایر گرمایی شهر به نگرانی زیست‌محیطی تبدیل شده است. مراکز شهری در ابعاد و اندازه‌های مختلف نقش مهمی در تغییر اقلیم و گرمایش جهانی ایفا می‌کنند (مقبل و عرفانیان سلیم، ۲۰۱۷: ۴۷). جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با سنگ‌فرش، ساختمان، بتون، آسفالت، و سایر ساخت‌وسازهای شهری اثرهای خنک‌کنندگی سطوح طبیعی را از بین می‌برد (صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲: ۲). تغییرات پوشش زمین تعادل انرژی سطح محلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مقدار تغییرات ایجادشده در هر یک از این عناصر، در هر زمان، وابسته به متغیرهایی چون گسترش عناصر شهر، ماهیت صنایع، عوامل موقعیتی همچون توپوگرافی و فصل سال است. در نتیجه، خرده‌اقلیم شهری از عوامل اقلیمی شهر، که در طی زمان با تأثیرپذیری از عوامل شهری در حال تغییرند، شکل گرفته است (مزیدی و نارنگی فرد، ۱۳۹۵: ۱۳۲). به عبارت کلی‌تر، توسعه شهرنشینی به تغییرات اساسی در داخل شهر منجر می‌شود که یکی از مهم‌ترین آنها تأثیر بر اقلیم مناطق شهری است. در بین پارامترهای اقلیمی، تغییر دمای هوا مهم‌ترین پیامد اقلیمی ناشی از توسعه شهری است. تغییرات دمایی یکی از بارزترین شاخصه‌های تغییر اقلیم است که، علاوه بر توسعه شهر، از متغیرهایی همچون تغییر کاربری اراضی، پوشش گیاهی، رطوبت خاک، و ابرناکی نیز تأثیرپذیر است (موهان و کاندیا، ۲۰۱۵: ۴۵۴). مجموع این شرایط سبب شده تا نواحی شهری اغلب با اقلیمی گرم‌تر، وزش باد کمتر یا آرام‌تر، و رطوبت نسبی کمتر نسبت به محیط پیرامونی خود همراه باشند (سیا و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۱۶). بنابراین، نواحی شهری اغلب به دلیل تمرکز جمعیت و فعالیت‌های صنعتی و اقتصادی با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، انتشار هواویزها، تغییر در کاربری اراضی و پوشش سطحی شکل خاصی از اقلیم را به وجود می‌آورد که به «اقلیم شهری» معروف است (رن و زائو، ۲۰۱۵: ۲۳۴۱). با توجه به روند رو به گسترش شهرنشینی و به تبع آن افزایش جمعیت شهرنشین، مطالعات گسترده‌ای در زمینه آب و هوای شهری و تأثیرات آن بر زندگی شهروندان انجام گرفته است. رن و همکاران (۲۰۰۸) اثرهای شهرنشینی بر روند دمای هوا را در شمال چین کردند و دریافتند که متوسط دمای سالانه به طور معناداری از اثرهای شهر تأثیر پذیرفته و روند افزایشی را نشان می‌دهد. هوا و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر شهرنشینی بر دمای هوا در چین دریافتند که همبستگی مثبت بین افزایش جمعیت شهری و گرمایش شهر وجود دارد؛ به طوری که اختلاف بین کمینه دمای نواحی شهری و روستایی به ۰٫۷۴ درجه سلسیوس می‌رسد. همچنین، در اثر گسترش شهرنشینی در مینلند چین، شب‌های سرد سالانه با مقدار ۱٫۴- روز در ده سال کاهش یافته است (رن و زائو، ۲۰۱۴: ۲۳۵۸). کیائو و همکاران (۲۰۱۳) اثرهای روزانه و فصلی شهرنشینی بر محیط حرارتی شهر بچینگ را مطالعه کردند و نشان دادند که جنس زمین‌های شهری بیشترین تأثیر را در افزایش دمای سطح زمین نواحی شهری دارد؛ به طوری که پوشش‌های گیاهی تأثیر مهمی در تنظیم حرارتی شهر ایفا می‌کند. براساس مطالعات انجام‌گرفته در زمینه تأثیر توسعه شهرنشینی بر جزیره حرارتی شهر و تغییرات روز به روز دما در نواحی شهری (تام و همکاران، ۲۰۱۵)، مشخص شد که به دلیل جذب انرژی بیشتر در طول روز به وسیله مواد و مصالح به کاررفته در شهر و بازتاب آن در طول شب، تغییرات روز به روز دما در این نواحی بیشتر از نواحی روستایی است. در ایران نیز در این زمینه مطالعاتی انجام گرفته است؛ از آن میان می‌توان به بررسی‌های انجام‌یافته توسط محمدی و تقوی (۱۳۸۴) درباره روند شاخص‌های حدی دما در شهر تهران اشاره کرد؛ آن‌ها نشان دادند دمای حداکثر و میانگین دمای روزانه شهر تهران در سال‌های اخیر از روند افزایشی برخوردار بوده است. مطالعه روند تغییر دمای شهر شیراز در ارتباط با برنامه‌ریزی توسعه شهری توسط عطایی و فناپی (۱۳۹۲) نشان داد که پارامترهای دمای حداقل، حداکثر، و دمای میانگین در این شهر در رابطه با توسعه شهر در چهل سال گذشته از روند

افزایشی برخوردار بوده است. مزیدی و نارنگی فرد (۱۳۹۵)، با مطالعه تأثیر توسعه شهر شیراز بر عناصر آب و هوایی، دریافتند که دمای حداقل در این شهر با توسعه شهر روند افزایشی داشته است. تحقیق حاضر در پی بررسی اثر گسترش شهر بر شرایط اقلیمی ایستگاه مهرآباد تهران است. ایستگاه مهرآباد در بخش جنوب غربی تهران قرار گرفته و در طی زمان در پهنه شهری قرار گرفته است. تغییر در شرایط اقلیمی ایستگاه مهرآباد تا حدودی گویای تغییر شرایط اقلیمی احتمالی شهر تهران در اثر گسترش و تغییر کاربری‌ها خواهد بود.

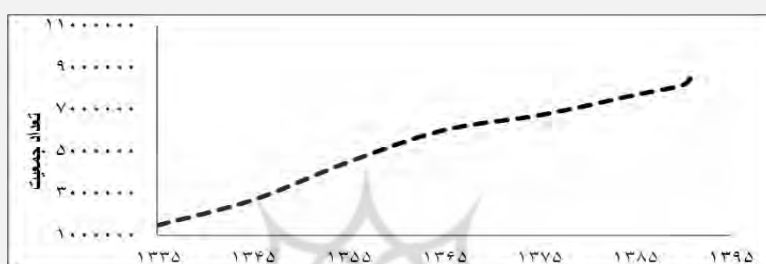
روند گسترش شهر تهران

ایستگاه هواشناسی مهرآباد در 35° درجه و 41 دقیقه عرض شمالی و 51° درجه و 19 دقیقه طول شرقی در جنوب شرق شهر تهران در محدوده فرودگاه مهرآباد قرار دارد. در چند دهه اخیر، با گسترش فیزیکی شهر تهران، این ایستگاه در درون بخش شهری قرار گرفته است. شهر تهران رشد و تکامل خود را با آهنگی سریع طی کرده و به بزرگ‌ترین شهر ایران تبدیل شده است. براساس شکل ۱، شهر تهران طی سال‌های متوالی با رشد سریع فیزیکی روبه‌رو است؛ به طوری که مساحت این شهر در سال ۱۳۳۹ حدود ۱۳۰ کیلومتر مربع بوده است. در ادامه تحول و گسترش فضایی شهر تهران، مساحت این شهر در سال ۱۳۴۵ حدود ۱۸۱ کیلومتر مربع بوده و محدوده شهری خود را در جهات چهارگانه گسترش داده است. رشد فیزیکی شهر تهران در این دوره باعث شد آبدی‌های زیادی در آن ادغام شوند. طی دهه ۱۳۴۵-۱۳۵۵ رشد فیزیکی و جمعیت شهر به قدری زیاد بود که شهرداری تهران در سال ۱۳۵۹ مجبور شد محدوده خدماتی خود را گسترش دهد و وسعت قانونی شهر تهران را با تصویب شورای عالی نظارت بر گسترش شهر تهران و شورای عالی شهرسازی و معماری از ۲۲۵ کیلومتر مربع به ۵۲۰ کیلومتر مربع و نیز تعداد مناطق شهرداری را از ۱۲ به ۲۰ منطقه تغییر دهد. طی سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۶۵ از رشد سالیانه تهران کاسته شد. این مقدار از ۵/۲ درصد در دهه قبل به ۳/۹ درصد رسید. اما رشد کالبدی بی‌رویه همچنان ادامه پیدا کرد؛ به گونه‌ای که مساحت شهر در سال ۱۳۶۵ به بیش از ۶۲۰ کیلومتر مربع رسید. به دنبال این روند در سال ۱۳۷۰، براساس طرح سامان‌دهی تهران، محدوده شهر به حدود ۷۵۰ کیلومتر مربع افزایش یافت و دو منطقه جدید شهرداری (مناطق ۲۱ و ۲۲ در غرب تهران) به آن اضافه شد (قرخلو و زنگنه شهرکی، ۱۳۸۸: ۲۲). جمعیت شهر تهران نیز همراه رشد فیزیکی، با روند صعودی مواجه است. به طوری که جمعیت شهر تهران در سال ۱۳۳۵ حدود ۱۵۱۲۰۸۲ نفر و در سال ۱۳۹۵ به ۸۶۹۳۷۰۶ نفر رسیده است (مرکز آمار ایران، امار جمعیت ۱۳۳۵-۱۳۹۵). شکل ۲ رشد جمعیت تهران را از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۵ نشان می‌دهد.

بدیهی است مطالعه اثر گسترش شهر بر تغییر متغیرهای جوی، که در بلندمدت به تغییرات آب و هوایی در مناطق شهری از جمله کلان‌شهرها منجر می‌شود، می‌تواند برنامه‌ریزان و مدیران شهری را در خصوص تبعات ناشی از گسترش بی‌رویه شهر آگاه کند. طبیعی است تغییر مؤلفه‌های جوی ناشی از تغییرات انسانی (در اینجا گسترش بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی شهرها) به‌ویژه افزایش فراوانی وقوع پدیده‌های حدی اقلیمی در آینده می‌تواند مشکلات متعددی از جمله افزایش مصرف انرژی را به وجود آورد. از طرفی، افزایش دمای ناشی از گسترش فیزیکی شهر بر میزان و شدت هسته‌های جزایر گرمایی می‌افزاید که این موضوع نیز می‌تواند آسایش شهروندان را تحت تأثیر قرار دهد. از این‌رو، نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در راستای برنامه‌ریزی و توسعه مدیریت‌شده شهر برای برنامه‌ریزان و مدیران شهری مفید باشد.



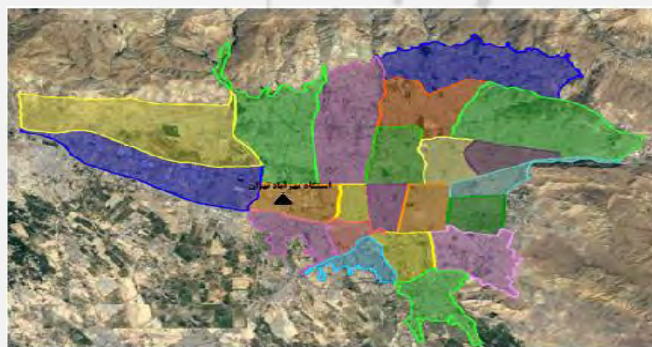
شکل ۱. گسترش فضایی شهر تهران طی دوره ۱۸۹۱ تا ۲۰۰۸ (رجبی و سفاهن، ۱۳۸۹: ۶۲)



شکل ۲. روند جمعیت تهران طی سال‌های ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۶ (مرکز آمار ایران، آمار جمعیت ۱۳۳۵-۱۳۹۵)

مواد و روش‌ها

برای اجرای این پژوهش از داده‌های روزانه بارش، کمینه و بیشینه دمای ایستگاه سینوپتیک مهرآباد در یک دوره زمانی پنجاه‌ساله (۱۹۶۶-۲۰۱۶) استفاده شده است. با توجه به گستردگی تعداد داده‌های اقلیمی (۱۸۶۲۸ روز) و احتمال نقص در آمار موجود، به ایجاد یک پایگاه اطلاعاتی قابل اطمینان نیاز است. برای این کار، نخست داده‌ها وارد سلول‌های نرم‌افزار اکسل شد. سپس، در چندین مرحله سلول‌های فاقد آمار و دارای خطا شناسایی شد. برای بازسازی داده‌های مفقود از روش رگرسیون خطی استفاده شد. همچنین، برای اطمینان از همگنی داده‌ها از آزمون غیرگرافیکی ران تست^۱ استفاده شد. براساس نتایج حاصل از این تست، فرض H_0 مبنی بر نرمال بودن داده‌ها، برای داده‌های بارش، دمای بیشینه و کمینه به ترتیب به میزان ۰/۲۸۱، ۰/۵۰۹ و ۰/۴۲۱ مورد قبول واقع شد.



شکل ۳. موقعیت ایستگاه مهرآباد

1. runs test

برای تحلیل روند و تغییر در شرایط اقلیمی از روش‌ها و آزمون‌های مختلفی استفاده شده است. با استفاده از آزمون من-کندال، روند سری داده‌های اقلیمی بررسی شد. تست من-کندال آزمون ناپارامتریک رتبه‌منا برای بررسی روند است (باقرپور و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۵). من^۱ در سال ۱۹۴۵ از این آزمون نخست برای کاربردهای عمومی استفاده کرد. سپس، کندال^۲ در سال ۱۹۴۸ آن را بازنگری کرد و به صورت دیگری بیان شد. آزمون من-کندال آزمون آماری-گرافیکی است که برای بررسی تصادفی بودن و تعیین روند در سری‌ها استفاده می‌شود. این تست نخست برای مشخص کردن غیرپارامتریک بودن سری‌ها به کار می‌رود. این روش به دو صورت غیرگرافیکی و گرافیکی وجود یا فقدان روند در سری‌های زمانی را مشخص می‌کند. در آزمون من-کندال غیرگرافیکی سری‌های زمانی به ترتیب صعودی مرتب می‌شوند، کمترین مقدار با رتبه یک و بیشترین مقدار با رتبه ۵۱ (در این پژوهش) در سری‌های مورد نظر مشخص می‌شود. در صورتی که سری‌ها به سمتی کاهش یا افزایش نشان دهند، داده‌ها غیرتصادفی است و برای تعیین تصادفی بودن داده‌ها از معادله ۱ استفاده می‌شود:

$$T = \left\{ \frac{4P}{n(n-1)} \right\} - 1 \quad (1)$$

$T =$ آماره کندال

$P =$ مجموع تعداد رتبه‌های بزرگ‌تر از ردیف ni که بعد از آن قرار می‌گیرد و از معادله ۲ به دست می‌آید:

$$p = \sum_{i=1}^n ni \quad (2)$$

$n =$ تعداد کل X_i های سری‌های زمانی یا تعداد کل سال‌های آماری که در اینجا ۵۵ سال است. به منظور سنجش معنی دار بودن آماره t ، مقدار بحرانی tg از طریق معادله ۳ محاسبه می‌شود:

$$(T)_t = \pm \sqrt{\frac{4n+10}{9n(n-1)}} \quad (3)$$

که در اینجا tg برابر با مقدار بحرانی برای توزیع نرمال استاندارد Z با سطح احتمال آزمون است که در اینجا براساس سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۱٫۹۶ است. در آزمون گرافیکی من-کندال، معمولاً از جدول ویژه‌ای استفاده می‌شود. در جدول مذکور، نخست داده‌های آماری به ترتیب سال وارد می‌شود و در ستون دوم داده‌ها شماره ردیف می‌گیرند. سپس، در ستون سوم مقادیر پارامتر مورد نظر نوشته می‌شود. در ستون چهارم مقادیر عددی ستون سوم به ترتیب صعودی تنظیم می‌شود. برای تکمیل جدول مورد نظر نیاز به محاسبه ضریب t آزمون کندال است که از معادله ۴ به دست می‌آید (روشنی، ۱۳۸۵: ۱۰۲؛ مقبل، ۱۳۸۸: ۹۰):

$$t_i = \sum_{i=1}^n ni \quad (4)$$

که تابع توزیع آن در شرایطی که فرض صفر حاکم باشد از لحاظ مجانبی بامیانگین واریانس برابر است.

1. Man

2. Kendal

$$E(t_i) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (5)$$

و واریانس آن برابر است با:

$$\text{Var}(t_i) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (6)$$

در این آزمون وجود روند در شکل دوطرفه آن صحیح است و از این رو فرض صفر برای مقادیر بالای $|u(t_i)|$ رد می‌شود و $u(t_i)$ از معادله ۷ استفاده می‌شود:

$$U(t_i) = [t_i - E(t_i)] / \sqrt{\text{Var}(t_i)} \quad (7)$$

هنگامی مقادیر $u(t_i)$ معنی‌دار است که روند افزایش یا کاهش در آن مشاهده شود و این بستگی دارد که مقدار آن بزرگ‌تر از صفر $\{u(t_i) > 0\}$ یا کوچک‌تر از صفر $\{u(t_i) < 0\}$ باشد.

برای تعیین زمان وقوع تغییر لازم است، علاوه بر $u(t_i)$ ، مؤلفه $u'(t_i)$ نیز از معادله ۸ محاسبه شود:

$$(t'_i) = \sum_{i=1}^n n_i \quad (8)$$

دیگر مؤلفه مورد نیاز مقدار u' است که معادل عکس u است:

$$u'_i = -u(t'_i) \quad (9)$$

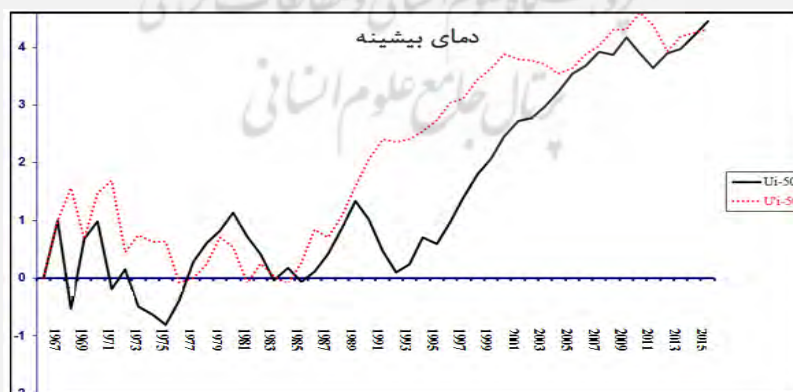
برای شناخت روند در مقیاس زمانی کوچک‌تر، تغییرات به‌صورت دوره‌های ده‌ساله بررسی شد. همچنین، برای استخراج روند شاخص‌های حدی اقلیمی از نرم‌افزار RCLimDex استفاده شد. زانگ و یانگ این نرم‌افزار را در شعبه تحقیقات اقلیمی سرویس هواشناسی کانادا توسعه دادند. توسعه اولیه آن در آژانس توسعه ملی کانادا از طریق پروژه همکاری تغییرات اقلیمی کانادا-چین انجام گرفته است. این نرم‌افزار برای محاسبه روند شاخص‌های حدی دما و بارش توسعه یافته است (زانگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ ۲۰۰۵). تیم کارشناسی آشکارسازی و نمایش تغییر اقلیم و شاخص‌ها (ETCCDI)، به‌صورت استاندارد، ۲۷ شاخص حدی در زبان برنامه‌نویسی R^2 براساس الگوریتم‌های بهبودیافته و کاهش خطای عددی طراحی کرده است. ETCCDI به‌صورت مشترک به‌وسیله کمیسیون اقلیم‌شناسی، سازمان جهانی هواشناسی و برنامه جهانی دیدبانی داده‌ها، تغییرپذیری و پیش‌بینی اقلیم (CLIVAR) حمایت می‌شود (سیلمن و روکتر، ۲۰۰۸؛ ۹۰) (جدول ۱). در پژوهش حاضر ۲۳ شاخص از شاخص‌های ETCCDI برای تحلیل استفاده شده است. شاخص‌ها به پنج گروه تقسیم شدند: شاخص‌هایی بر پایه صدک‌ها، شاخص‌های دوره‌ای، شاخص‌های مطلق، شاخص‌های آستانه‌ای، و سایر شاخص‌ها (مانند تغییرات شبانه‌روزی دما (علیچانی و فرج‌زاده، ۱۳۹۴؛ ۲۴۳). در ادامه، برای اثبات میزان اثرگذاری توسعه فیزیکی شهر بر تغییر مؤلفه‌های اقلیمی و اینکه چه میزان از این تغییرات واقعاً تحت تأثیر توسعه کالبدی شهر روی داده است، مقایسه اختلاف تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی کلان‌شهرها (با توسعه کالبدی بیشتر در طی زمان) با شهرهای کوچک (توسعه کالبدی کمتر در طی زمان) در موقعیت‌های

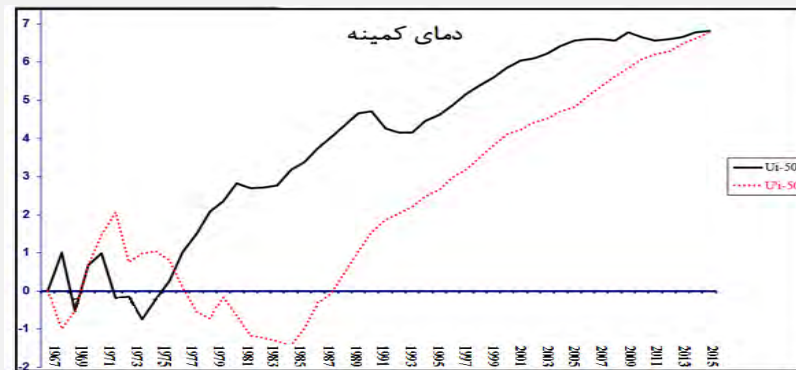
همچنین، براساس آزمون گرافیکی من- کندال هنگامی که روند معنی‌داری در داده‌ها وجود داشته باشد، خطوط u_i و u_i' همدیگر را قطع می‌کنند. به عبارت دیگر، هرگاه مقدار u_i به‌دست‌آمده از ۱/۹۶ بیشتر باشد، روند معنی‌دار است. $+u_i$ روند افزایشی و $-u_i$ - روند کاهشی در سری‌های زمانی را نمایش می‌دهد. از این‌رو، با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ و همچنین جدول ۳، دو پارامتر دمای کمینه و بیشینه از روند کاملاً افزایشی طی سال‌های اخیر برخوردار بوده‌اند. نتایج حاصل از آزمون من- کندال نشان می‌دهد شیب افزایشی در دمای کمینه بیشتر از دمای بیشینه است. با توجه به شکل ۱، شهر تهران در دوره ۱۹۷۶-۱۹۸۶ رشد سریع کالبدی را تجربه کرده است و این دوره هم‌زمان با افزایش میزان دما بوده که این افزایش تا انتهای دوره ادامه داشته است. از طرفی، با توجه به اینکه چنانچه دو آماره u_i و u_i' در محدوده بحرانی $\pm 1/96$ یکدیگر را قطع کنند، اما از این محدوده خارج نشوند فقط نشان‌دهنده تغییر ناگهانی در میانگین مقادیر است، می‌توان با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ استنباط کرد که برای متغیر دمای بیشینه ۱۹۸۵ فقط تغییرات ناگهانی در این متغیر رخ داده و روندی وجود نداشته است. اما از ۱۹۸۵ به بعد با روند افزایشی روبه‌رو شده است که همچنان ادامه دارد (شکل ۴). در خصوص متغیر دمای کمینه نیز تا سال ۱۹۷۵ روندی مشاهده نمی‌شود و فقط تغییرات ناگهانی در میانگین مقادیر رخ داده است. اما پس از ۱۹۷۵ روند دمای کمینه کاملاً افزایشی بوده است (شکل ۵). این ویژگی با سیر تاریخی گسترش شهر تهران، که در سال‌های ۱۹۷۶-۱۹۸۶ رشد سریع کالبدی داشته، هم‌زمانی خوبی را نشان می‌دهد.

در مقابل، براساس من- کندال گرافیکی روند معناداری در پارامتر بارش ایستگاه مهرآباد تهران مشاهده نشد (شکل ۶). به عبارت دیگر، آماره u_i روند مشخصی در تغییرات این پارامتر را در سال‌های اخیر نشان نمی‌دهد و تلاقی آماره‌های u_i و u_i' نشان می‌دهد که تنها تغییرات ناگهانی تا سال ۱۹۷۴ در بارش ایستگاه مهرآباد وجود داشته و پس از آن بدون تغییر باقی مانده و همچنین از روند معناداری برخوردار نیست.

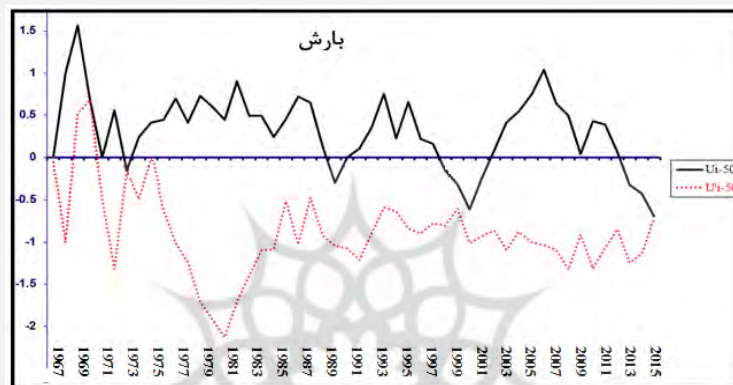
جدول ۳. روند تغییرات دمای ایستگاه مهرآباد در دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۵

	۱۹۹۶-۱۹۷۵	۱۹۷۶-۱۹۸۵	۱۹۸۶-۱۹۹۵	۱۹۹۶-۲۰۰۵	۲۰۰۵-۲۰۱۵
Tmin	۱۰/۹	۱۲/۲	۱۲/۷	۱۲/۷	۱۳/۷
Tmax	۲۲/۵	۲۲/۶	۲۲/۶	۲۳/۴	۲۳/۶

شکل ۴. آماره u_i و u_i' حاصل از من- کندال گرافیکی برای پارامتر دمای بیشینه



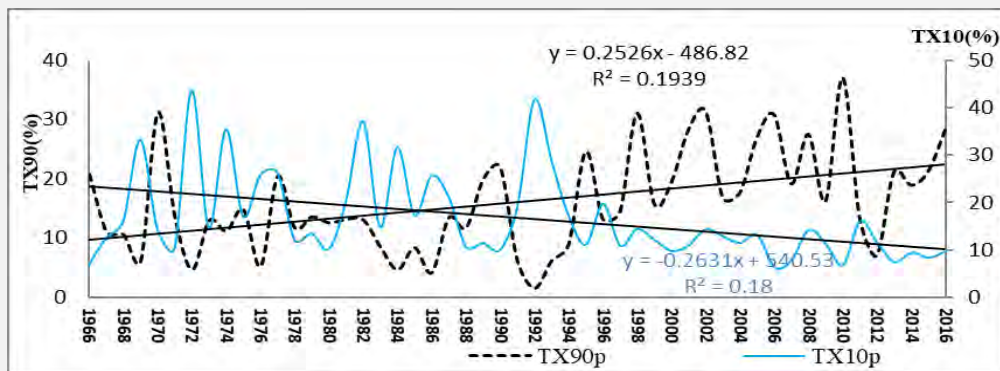
شکل ۵. آماره U_i و U_i' حاصل از من-کندال گرافیکی برای پارامتر دمای کمینه



شکل ۶. آماره U_i و U_i' حاصل از من-کندال گرافیکی برای پارامتر بارش

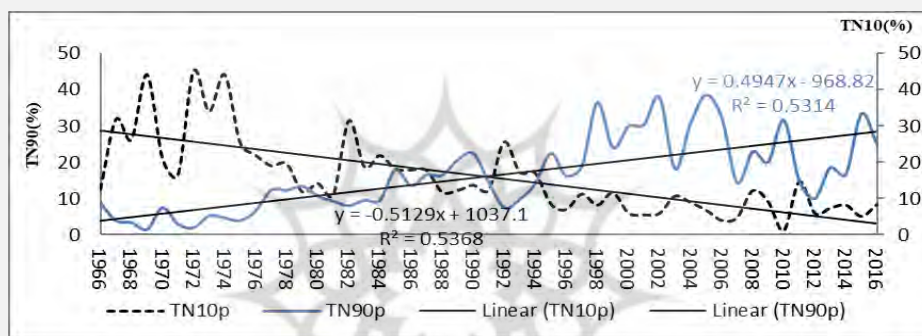
روند حدهای دمایی

براساس تجزیه و تحلیل روند شاخص‌های حدی دمایی، شاخص روزهای سرد (TX10p) با شیب کاهشی مواجه است. این کاهش در حدود ۲۶- درصد در دهه (P_Value= /002) است. از طرف دیگر، شاخص روزهای گرم (TX90p) با یک شیب افزایش در دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۶ مواجه است. این افزایش در حدود ۰/۲۵ درصد در دهه (P_Value=/001) است. در واقع، می‌توان گفت در طی دوره مطالعاتی، درصد روزهای گرم در ایستگاه مهرآباد با افزایش و درصد روزهای سرد با روندی کاهشی مواجه است (شکل ۷).

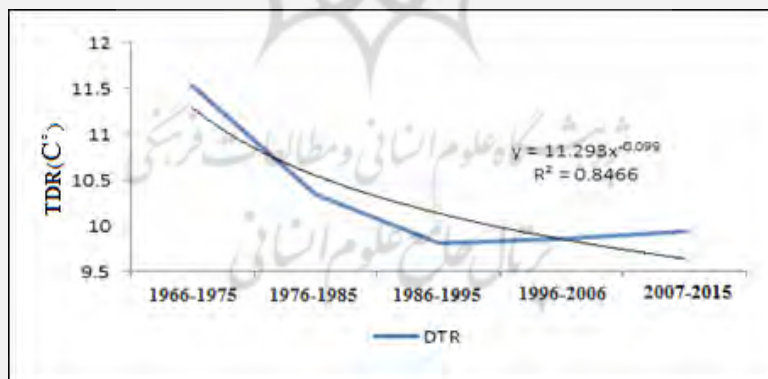


شکل ۷. روند روزهای سرد و روزهای گرم در ایستگاه مهرآباد (%)

طی دوره ۱۹۶۶-۱۰۱۶ شاخص شب‌های گرم با روند افزایشی و شب‌های سرد با روند کاهشی مواجه بوده است (شکل ۸). در این دوره شاخص شب‌های گرم (TN90p) با شیب ۰/۲۵ درصد (P Valeu= 0) در دهه با افزایش و شب‌های سرد (TN10p) با شیب حدود ۰/۵۱ درصد در دهه (P Valeu= /001) با کاهش مواجه است. همچنین، شاخص طول مدت سرما با شیب کاهشی (P Valeu= /004) و شاخص طول مدت گرما با روند افزایشی مواجه است. در واقع، در ایستگاه مهرآباد در طول فصل سرد سال دوره‌های وقوع دماهای پایین کاهش یافته است. همچنین، شاخص دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) دارای روند معنادار کاهشی (شکل ۹) در دوره مطالعاتی است (P Valeu= /00). این نتایج با مطالعات رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) و براون و همکاران (۲۰۱۰) درباره روند شاخص دامنه شبانه‌روزی دما مطابقت دارد. براساس نتایج آزمون من-کندال و جدول ۳، شیب افزایشی حداقل دما نسبت به حداکثر دما بیشتر است. در واقع، می‌توان گفت دلیل کاهش دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما در ایستگاه مهرآباد افزایش شدیدتر دمای شبانه نسبت به دمای روزانه است که ناشی از گسترش شهرنشینی و تغییر در کاربری‌ها و ایجاد شرایط مصنوعی است.



شکل ۸. روند شاخص شب‌های گرم و شب‌های سرد (%)



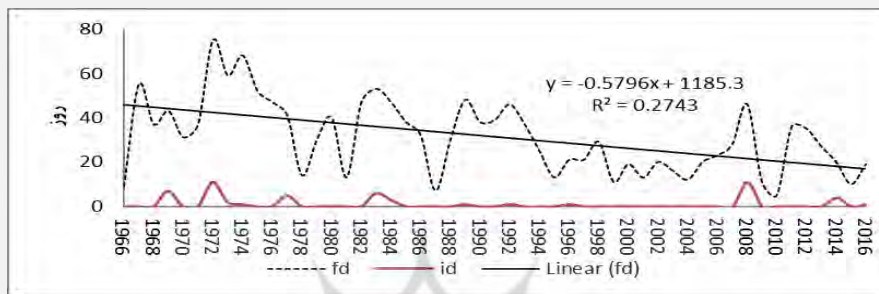
شکل ۹. روند شاخص دامنه شبانه‌روزی دما (C°)

میانگین تعداد روزهای با حداقل دمای کمتر از صفر (FD) در ایستگاه مهرآباد برای دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۶ حدود ۳۱/۲ روز است. روند این شاخص در این دوره با شیب کاهشی مواجه است. این روند از نظر آماری معنادار است. جدول ۴ میانگین روزهای یخبندان را نشان می‌دهد. براساس این جدول، میانگین تعداد روزهای یخبندان در دهه ۱۹۶۶-۱۹۷۵ در ۴۶/۶ روز بوده و در دهه ۲۰۰۷-۲۰۱۵ به ۲۴/۱ روز رسیده است. رخداد روزهای با حداکثر دمای کمتر از صفر (ID) در ایستگاه مهرآباد دارای فراوانی کمی است و در بیشتر سال‌ها رخ نداده است. بیشترین رخداد روزهای با حداکثر دمای کمتر

از صفر مربوط به سال‌های ۱۹۷۲ و ۲۰۰۸ است. در این سال‌ها ۱۱ روز حداکثر دما به کمتر از صفر رسیده است. با توجه به اینکه ایستگاه مهرآباد روزهای با حداکثر دمای کمتر از صفر را کمتر تجربه کرده است، روند این شاخص نیز در دوره مورد مطالعه از نظر آماری معنادار نیست (شکل ۱۰).

جدول ۴. روند روزهای یخبندان (FD) در دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۶

دهه	۱۹۶۶-۱۹۷۵	۱۹۷۶-۱۹۸۵	۱۹۸۶-۱۹۹۵	۱۹۹۶-۲۰۰۶	۲۰۰۷-۲۰۱۶
میانگین روزهای یخبندان (روز)	۴۶/۶	۳۷	۳۱/۵	۱۸/۴	۲۴/۱

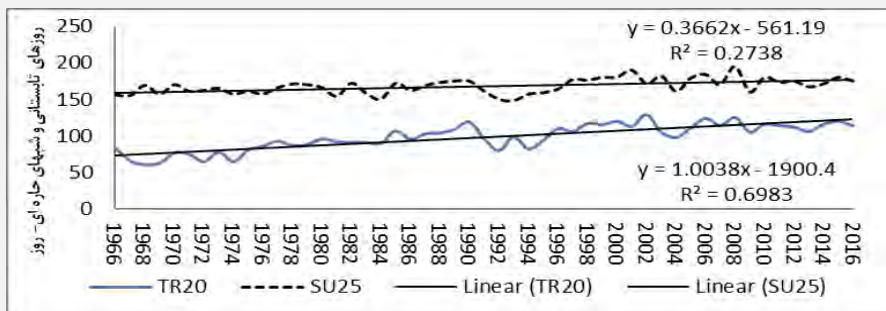


شکل ۱۰. روند شاخص‌های FD و ID

یکی از شاخص‌هایی که در دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۶ دارای روند معنادار و قابل ملاحظه است شاخص شب‌های حاره‌ای (TR20) است. این شاخص بیشترین روند افزایشی (۱/۰۰۴ روز در دهه) را در بین شاخص‌های دمایی داراست (شکل ۱۱). این بدان معناست که در سال‌های اخیر ایستگاه مهرآباد تعداد روزهای با دمای شبانه بالاتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد را بیشتر از قبل تجربه می‌کند. روند شاخص روزهای تابستانی (SU25) از نظر آماری معنادار است و حدود ۰/۳۷ روز در دهه با افزایش مواجه است. جدول ۵ تغییرات شاخص‌های روزهای تابستانی و شب‌های حاره‌ای را طی دوره ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۶ نشان می‌دهد. طبق این جدول، روند افزایشی شاخص‌های TR20 و SU25 کاملاً مشخص است.

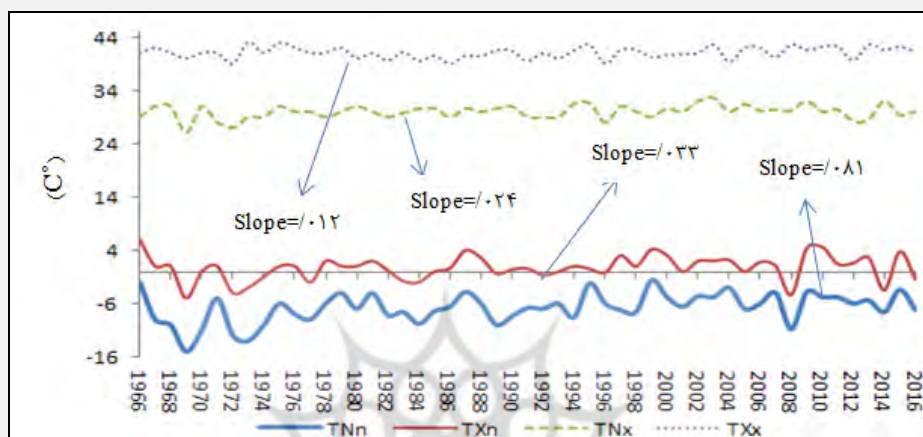
جدول ۵. تغییرات شاخص‌های شب‌های حاره‌ای و روزهای تابستانی

	۱۹۶۶-۱۹۷۵	۱۹۷۶-۱۹۸۵	۱۹۸۶-۱۹۹۵	۱۹۹۶-۲۰۰۵	۲۰۰۶-۲۰۱۶
TR20	۷۱/۴	۹۲/۱	۹۹/۶	۱۱۲/۴	۱۱۵/۲
SU25	۱۶۱/۳	۱۶۳/۶	۱۶۲/۹	۱۷۶	۱۷۵/۵



شکل ۱۱. روند شاخص‌های روزهای تابستانی و شب‌های حاره‌ای

با وجود تغییرات معنادار در بیشتر شاخص‌های دمایی، شاخص‌های مطلق همچون کمینه بیشینه دما، کمینه حداقل دما، بیشینه حداکثر دما، و بیشینه حداقل دما تغییرات معناداری را نشان نمی‌دهد. در بین مطلق‌های دما تنها شاخص کمینه حداقل دما (TNn) با وجود تغییرات اندک نسبت به سایر شاخص‌ها معناداری بیشتری را نشان می‌دهد (P = 0.002). در واقع، ایستگاه مهرآباد با یک گرمایش عمومی مواجه است که مطلق‌های دمایی ماهانه را کمتر تحت تأثیر گذاشته است (شکل ۱۲). منشأ این تغییر در رژیم دمایی ایستگاه مهرآباد می‌تواند ناشی از تغییرات محیطی باشد تا تغییر در عوامل اقلیمی بیرونی اثرگذار در اقلیم این ایستگاه.



شکل ۱۲. روند شاخص‌هایی دمایی مطلق (C°)

روند حدهای بارش

آنالیز داده‌های روزانه بارش طی دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۶ نشان می‌دهد ایستگاه مهرآباد از نظر شاخص‌های حدی بارش تغییر و روند معناداری را تجربه نکرده است. بیشترین تغییرات مربوط به شاخص کل بارش (prectot) با یک روند منفی (۰.۵۹- میلی‌متر در دهه) است که این روند و تغییرات دارای معناداری آماری نیست. روزهای خشک (cdd)، حداکثر بارش ۵ روز متوالی (rx5day)، تعداد روزهای بارش خیلی سنگین (r20mm)، و روزهای خیلی مرطوب (r95p) دارای روند افزایشی و سایر شاخص‌ها با روند کاهشی مواجه‌اند که این روند از نظر آماری معنادار نیست (جدول ۶).

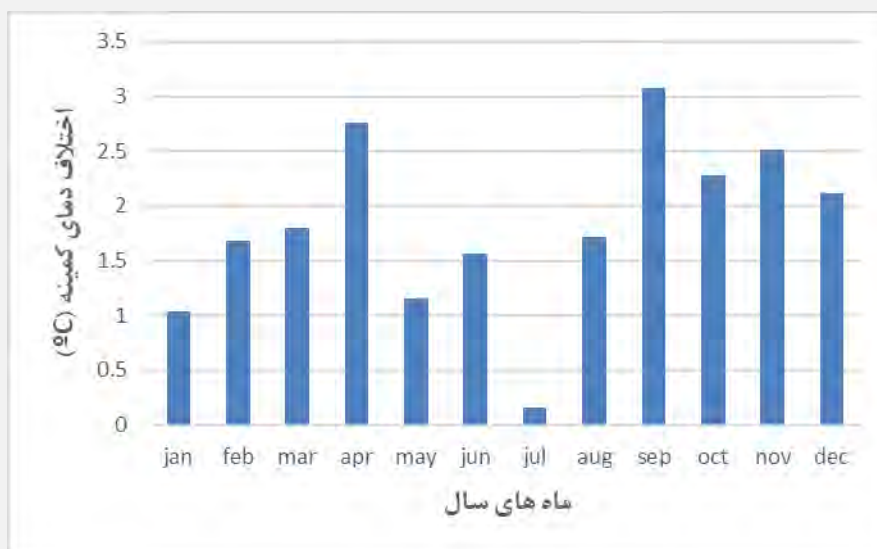
جدول ۶. تغییرات شاخص‌های حدی بارش در دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۶

	cdd	r95p	r99p	prectot	r10mm	r20mm	R25mm	rx1day	rx5day
slope	0.026	0.154	-0.091	-0.594	-0.017	0.003	-0.007	-0.008	0.028
P value	0.947	0.646	0.655	0.4	0.578	0.805	0.398	0.924	0.862

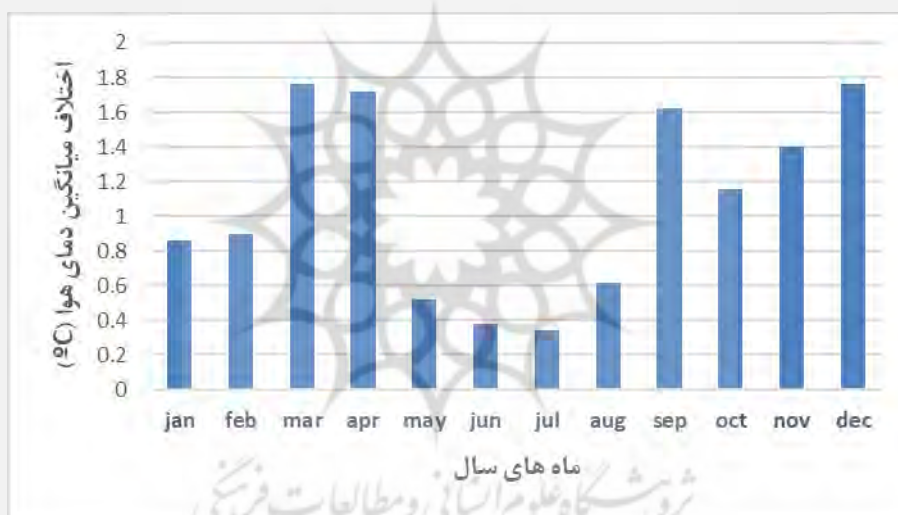
نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر گسترش شهرها و رشد آن‌ها اثرهای زیادی در شرایط محیطی مناطق مختلف دنیا برجای گذاشته است. در این میان، برخی شهرها با رشد سریع و قابل توجهی روبه‌رو بوده‌اند. این شهرها به‌سرعت با افزایش جمعیت خود مناطق روستایی و کاربری‌های غیرشهری را در خود بلعیده و محیط انسان‌ساخت را جای‌گزین محیط طبیعی نموده‌اند. تغییر کاربری‌های شهری امروزه اثرهای گسترده‌ای بر شرایط اقلیمی شهرها داشته است؛ یکی از این اثرها تغییر شرایط دمایی شهرها و افزایش دمای شبانه است. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی اثرهای گسترش شهر تهران بر شرایط اقلیمی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد انجام شده است. شهر تهران، پایتخت ایران، یکی از شهرهایی است که با روند شتابان رشد

افقی و جمعیتی روبه‌رو بوده است. این رشد افقی همراه با افزایش جمعیت قابل توجهی بوده؛ به طوری که در سال ۱۳۳۵ جمعیت این شهر حدود ۱۵۰۰۰۰ نفر بوده و در سال ۱۳۹۵ به حدود هشت میلیون نفر افزایش یافته است. این روند رشد شهری همراه با تغییر پارامترهای اقلیمی، به‌خصوص دما، است. مطالعه شرایط اقلیمی ایستگاه مهرآباد نشان می‌دهد طی دوره مطالعاتی، دمای هوای ایستگاه مهرآباد با تغییراتی مواجه شده است. به طوری که دمای حداقل و حداکثر با روند افزایشی مواجه است که البته این افزایش در حداقل دما شدیدتر بوده است. میانگین حداقل دمای ایستگاه مهرآباد طی دوره ۱۹۷۵-۱۹۹۶ حدود ۱۰/۹ درجه سانتی‌گراد بوده که در دوره ۲۰۰۵-۲۰۱۵ به حدود ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد رسیده است. از طرف دیگر، میانگین حداکثر دما نیز در دوره ۱۹۷۵-۱۹۹۶ حدود ۲۲/۵ درجه سانتی‌گراد و در دوره ۲۰۰۵-۲۰۱۵ به حدود ۲۳/۶ درجه سانتی‌گراد رسیده است (جدول ۳). برای اثبات میزان اثرگذاری توسعه فیزیکی شهر بر تغییر مؤلفه‌های اقلیمی و اینکه چه میزان از این تغییرات واقعا تحت تأثیر توسعه کالبدی شهر روی داده است، مقایسه اختلاف تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی کلان‌شهرها (با توسعه کالبدی بیشتر در طی زمان) با شهرهای کوچک (توسعه کالبدی کمتر در طی زمان) در موقعیت‌های جغرافیایی مشابه بهترین راهکار است. بدین منظور، مقایسه تغییر مؤلفه‌های دمای کمینه و بیشینه دو ایستگاه مهرآباد (در کلان‌شهر تهران) با ایستگاه ورامین (در حاشیه شهر تهران) نشان داد که اختلاف دمای کمینه در بیشتر ماه‌های سال در هر دو ایستگاه قابل مشاهده است. به بیان دیگر، دمای کمینه شهر تهران در همه ماه‌های سال (در طی دوره آماری چهار ساله) همواره از دمای کمینه ایستگاه ورامین بیشتر است. این ویژگی به‌خصوص در ماه‌های گرم سال بارزتر بوده و اختلاف دمای کمینه دو ایستگاه حتی به بیش از ۳ درجه سلسیوس هم می‌رسد (شکل ۱۳). علاوه‌براین، در دمای بیشینه نیز دو ایستگاه اختلافاتی را نشان می‌دهند. البته، شدت این اختلاف‌ها به میزان دمای کمینه نیست. از آنجایی که بالابودن دمای کمینه یکی از شواهد جزایر گرمایی شهر است، زیرا مواد و مصالح شهری در طی روز به دلیل جذب بالاتر گرمای بیشتری را جذب می‌کنند، اما در طی شب به دلیل ظرفیت گرمایی کمتر به سرعت این گرما را به محیط مجاور پس می‌دهند، تقریباً آنچه به جزیره گرمایی شهری معروف است به بالاتر بودن دمای شبانه (کمینه) مرتبط است. از این رو، بالاتر بودن میزان اختلاف دمای کمینه دو ایستگاه مهرآباد و ورامین نشان‌دهنده این است که شب‌های تهران نسبت به ورامین از دمای بالاتری برخوردار است. این در حالی است که این دو ایستگاه تقریباً در عرض مشابه و در ارتفاع مشابهی واقع شده‌اند. بنابراین، اگر تغییر مؤلفه‌های اقلیمی دو شهر فقط مرتبط به تغییرات جهانی آب و هوا بود، هر دو باید به یک نسبت از این تغییرات متأثر می‌شدند. اما اختلاف در میزان تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی این دو ایستگاه نشان‌دهنده شدت تأثیر توسعه کالبدی دو شهر است. هرچند شهر ورامین نیز در دهه‌های اخیر از توسعه فیزیکی برخوردار بوده، از آنجا که شدت این توسعه در شهر تهران بیشتر بوده، میزان اثرگذاری آن بر تغییر مؤلفه‌های اقلیمی از جمله دما (چون حساسیت بیشتر و مستقیم‌تری به تغییرات کالبدی و کاربری اراضی و گرمایی انسان‌ساخت دارد) در کلان‌شهر تهران بیشتر بوده است. شکل ۱۳ و ۱۴ به ترتیب میزان اختلاف دمای کمینه و میانگین بین دو ایستگاه ورامین و تهران را نشان می‌دهند. این نتیجه با نتایج حاصل از پژوهش رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران (۱۳۸۴)، که به مطالعه تأثیر توسعه شهرنشینی بر شکل‌گیری جزیره گرمایی شهری و با استفاده از داده‌های ایستگاه مهرآباد و ورامین پرداخته‌اند، مطابقت دارد. براساس نتایج پژوهش آن‌ها نیز، اختلاف‌های فاحش در روند افزایشی دمای کمینه تهران نسبت به ورامین بیانگر آثار توسعه شهری و در نتیجه ایجاد جزیره گرمایی و تغییرات اقلیم محلی در تهران است.



شکل ۱۳. اختلاف چهل‌ساله دمای کمینه دو ایستگاه مهرآباد و ورامین



شکل ۱۴. اختلاف چهل‌ساله میانگین دمای دو ایستگاه مهرآباد و ورامین

همچنین، در پژوهشی دیگر رنجبر سعادت‌آبادی و آزادی (۱۳۸۴) نتیجه گرفته‌اند که آهنگ رشد افزایشی دمای تهران طی دوره بیست‌وپنج‌ساله دوم (۱۹۷۶-۲۰۰۰)، که هم‌زمان با توسعه شهرنشینی و صنعتی‌شدن است، شتاب صعودی بیشتری نسبت به دوره اول (۱۹۷۵-۱۹۵۱) داشته است. در نتیجه، ارتباط معنی‌داری بین افزایش دما با توسعه شهرنشینی و صنعتی‌شدن وجود دارد؛ این نیز با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد (جدول ۳).

علاوه‌براین، براساس نتایج این پژوهش، شاخص‌های فرین دمایی نیز در ایستگاه مهرآباد تغییرات چشمگیری داشته است. به‌طوری‌که فرین‌های سرد با روند کاهشی و فرین‌های گرم رو به افزایش‌اند. مثلاً براساس شکل ۷، روزهای سرد دارای روند کاهشی و روزهای گرم دارای روند افزایشی است. همچنین، دامنه شبانه‌روزی دما در ایستگاه مهرآباد با روند کاهشی مواجه بوده و این روند با مطالعات رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) و براون و همکاران (۲۰۱۰) درباره روند شاخص دامنه شبانه‌روزی دما تحت تأثیر تغییر اقلیم مطابقت دارد. علاوه‌براین، نتایج پژوهش حاضر در خصوص افزایش روند

عناصر دمایی با پژوهش‌هایی همچون حجازی‌زاده و پروین (۱۳۸۸)، که براساس نتایج آن‌ها در تهران تغییرات از نوع روند برای دمای سالانه، دماهای حداقل و حداکثر سالانه افزایشی و در جهت مثبت ارزیابی شده، مطابقت داد. از طرفی، محمدی و تقوی (۱۳۸۴) نیز روند افزایشی حدهای گرم (دماهای بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد) را تأیید کرده‌اند. همچنین، براساس نتایج احمدی و رادمنش (۱۳۹۳) نیز دمای سالانه شهر تهران ۲/۳۵ درجه سلسیوس افزایش یافته است. بنابراین، براساس همه نتایج فوق، می‌توان نتیجه گرفت که در اثر گسترش فیزیکی شهر تهران، همراه تغییرات اقلیمی اخیر، براساس روند پدیده‌های حدی به‌دست‌آمده، شهر تهران در آینده دوره گرم طولانی‌تری را نسبت به دوره سرد سپری خواهد کرد. این موضوع در نهایت می‌تواند به تغییر برخی مسائل همچون افزایش مصرف انرژی برای سرمایش، ازبین‌رفتن برخی گونه‌های گیاهی و جانوری، افزایش مصرف انرژی و آب، و تأثیرگذاری در آسایش حرارتی شهروندان منجر شود که نیازمند توجه بیشتر مدیران و برنامه‌ریزان شهری است؛ به‌گونه‌ای که شناخت و تحلیل روند وقوع این گونه شاخص‌ها برای برنامه‌ریزی در زمینه کاربرد استراتژی‌های مختلف کاهش^۱، سازگاری^۲ (adaptation) یا اصلاح شرایط^۳ مفید است.



1. mitigation
2. adaptation
3. modification

منابع

- احمدی، ف. و رادمنش، ف. (۱۳۹۳). بررسی روند تغییرات متوسط دمای ماهانه و سالانه نیمه شمالی کشور در نیم قرن اخیر، نشریه آب و خاک، ۴: ۸۵۵-۸۶۵.
- باقرپور، م؛ سیدیان، س.م؛ فتح‌آبادی، ا. و محمدی، ا. (۱۳۹۶). بررسی کارایی آزمون من - کندال در شناسایی روند سری‌های دارای خودهمبستگی، نشریه علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، ۳: ۱۱-۲۲.
- حجازی‌زاده، ز. و پروین، ن. (۱۳۸۸). بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم قرن اخیر، جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۴۳-۵۶. درگاه ملی آمار (<https://www.amar.org.ir>)
- رجبی، آ. و سفاهن، ا. (۱۳۸۹). مدل گسترش فضایی کلان‌شهر تهران، دانشنامه، ۳: ۵۷-۷۰.
- رحیم‌زاده، ف.؛ دزفولی، ه. و پوراصغریان، آ. (۱۳۹۰). ارزیابی روند و جهش نمایه‌های حدی دما و بارش استان هرمزگان، مجله جغرافیا و توسعه، ۲۱: ۹۷-۱۱۶.
- رنجبر سعادت‌آبادی، ع.؛ علی‌اکبری بیدختی، ع.ب. و صادقی حسینی، ع. (۱۳۸۴). آثار جزیره گرمایی و شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم محلی در کلان‌شهر تهران بر اساس داده‌های مهرآباد و ورامین، مجله محیط‌شناسی، ۳۹: ۵۹-۶۸.
- رنجبر سعادت‌آبادی، ع. و آزادی، م. (۱۳۸۴). بررسی تغییرات میدان‌های دما و باد در کلان‌شهر تهران ناشی از توسعه شهری، تحقیقات جغرافیایی، ۱(۷۶): ۱۷۱-۱۸۸.
- روشنی، م. (۱۳۸۲). بررسی تغییرات اقلیم سواحل جنوبی دریای خزر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- شمسی‌پور، ع.ا.؛ عزیزی، ق.؛ کریمی احمدآباد، م. و مقبل، م. (۱۳۹۲). مطالعه الگوی دمای سطوح فیزیکی در شرایط جوی متفاوت، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۶(۱): ۵۹-۷۶.
- صادقی‌نیا، ع.ر.؛ علیجانی، ب. و ضیائیان، پ. (۱۳۹۱). تحلیل فضایی- حرارتی زمانی جزیره کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۴: ۱-۱۷.
- عطایی، ه. و فنایی، ر. (۱۳۹۲). بررسی روند تغییر سری‌های دمای شهر شیراز در ارتباط با برنامه‌ریزی توسعه شهری، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۴(۱۵): ۵۷-۷۶.
- علیجانی، ب. و فرج‌زاده، ح. (۱۳۹۴). تحلیل روند شاخص‌های دمای فرین در شمال ایران، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۵۲: ۲۲۹-۲۵۶.
- فتحی، ا. (۱۳۹۴). روند شهرنشینی در ایران، مجله آمار، ۲: ۸-۱۵.
- قرخلو، م. و زنگنه شهرکی، س. (۱۳۸۸). شناخت الگوی رشد کالبدی- فضایی شهر با استفاده از مدل‌های کمی (مطالعه موردی: شهر تهران)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۰(۳): ۴۰-۱۹.
- محمدی، ح. و تقوی، ف. (۱۳۸۴). روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۳: ۱۲۱-۱۷۲.
- مزیدی، ا. و نارنگی فرد، م. (۱۳۹۵). تأثیر توسعه شهری و تغییرات کاربری بر عناصر آب و هوایی شهر شیراز و فضا، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۶(۴۰): ۱۳۱-۱۵۴.
- مقبل، م. (۱۳۸۸). بررسی تأثیر گرمایش جهانی بر نوسانات سطح آب دریای خزر (مطالعه موردی: غرب دریای خزر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

- Ahmadi, F. and Radmanesh, F. (2014). Trend Analysis of Monthly and Annual Mean Temperature of the Northern Half of Iran Over the Last 50 Years, *Journal of Water and Soil*, 28: 855-865.
- Alijani, B. and Farajzadeh, H. (2015). The trend analysis of the extreme temperatures in northern Iran, *Geography and Planning*, 52: 229-256.
- Atayi, H. and Fanayi, R. (2013). Investigation of the trend of temperature changes in Shiraz city in relation to urban development planning, *Research and urban Planning*, 15: 57-76.
- Bagherpoor, M.; Seyedian, S.M.; Fathabadi, A.H. and Mohamadi, A. (2017). Study of Mann-Kendall Test Performance in Detecting the Series of Autocorrelation, *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 11(36): 11-22.
- Brown, P. J.; Bradley, R. S.; Keimig, F. T. (2010). Changes in extreme climate indices for the northeastern United States, 1870–2005. *Journal of Climate*, 23(24), 6555-6572.
- Cai, D.; Fraedrich, K.; Guan, Y.; Guo, S. and Zhang, C. (2017). Urbanization and the thermal environment of Chinese and US-American cities, *Science of the Total Environment*, 589: 200-211.
- Fathi, A. (2015). Urbanization process in Iran, *Statistics*, 2: 8-15.
- Gharakhlou, M. and Zanganeh Shahraki, S. (2009). Recognition of spatial-physical growth of the city using quantitative models (a case study of Tehran), *Geography and Environmental Planning*, 3: 19-40.
- Hejazizadeh, Z. and Parvin, N. (2010). Study on changes in Tehran's temperature and precipitation over the recent century, *Geography and regional planning*, pp. 43-56.
- Hua, L.J.; Ma, Z.G. and Guo, W.D. (2008). The impact of urbanization on air temperature across China, *Theoretical and Applied Climatology*, 93(3-4): 179-194.
- Mazidi, A. and Narengi Fard, M. (2016). The Effect of Urban Development and Land Use Changes on Climate Elements in Shiraz and Fasa, *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 40: 131-154.
- Moghbel, M. (2009). The Impact of Global Warming on Caspian Sea Water Level Fluctuations, MSc Thesis, Faculty of geography, University of Tehran.
- Moghbel, M. and Salim, R.E. (2017). Environmental benefits of green roofs on microclimate of Tehran with specific focus on air temperature, Humidity and CO₂ content, *Urban Climate*, 20: 46-58.
- Mohammadi, H. and Taghavi, F. (2005). The trend of extreme temperature and precipitation parameters in Tehran, *Physical Geography Research Quarterly*, 53: 121-172.
- Mohan, M. and Kandya, A. (2015). Impact of urbanization and land-use/land-cover change on diurnal temperature range: A case study of tropical urban airshed of India using remote sensing data, *Science of the Total Environment*, 506: 453-465.
- Morabito, M.; Crisci, A.; Messeri, A.; Orlandini, S.; Raschi, A.; Maracchi, G. and Munafò, M. (2016). The impact of built-up surfaces on land surface temperatures in Italian urban areas, *Science of The Total Environment*, 551: 317-326.
- New, M.; Hewitson, B.; Stephenson, D. B.; Tsiga, A.; Kruger, A.; Manhique, A.; ... & Mbambalala, E. (2006). Evidence of trends in daily climate extremes over southern and west Africa. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D14).
- Qiao, Z.; Tian, G. and Xiao, L. (2013). Diurnal and seasonal impacts of urbanization on the urban thermal environment: a case study of Beijing using MODIS data, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 85, 93-101.

- Rahimzadeh, F.; Dezfoli, H. and Pour Asgharian, A. (2011). Evaluation of trend and mutation of extreme temperature and precipitation indexes in Hormozgan province, *Geography and Development*, 21: 97-116.
- Rajabi, A. and Safahen, A. (2010). Spatial expansion of Tehran metropolis, *Daneshnameh*, 3: 57-70.
- Ranjbar Saadatabadi, A. and Azadi, M. (2005). Investigation of changes in temperature and wind fields in Tehran city due to urban development, *Geographical researches*, 1(76): 171-188.
- Ranjbar Saadatabadi, A.; Aliakbari bidokhti, A.A. and Sadeghi Hosseini, S.A. (2005). The effects of urban heat island and urbanization on the local climate and weather of Tehran metropolis based on Mehrabad and Varamin data, *Journal of Environmental Studies*, 39: 59-68.
- Ren, G. and Zhou, Y. (2014). Urbanization effect on trends of extreme temperature indices of national stations over Mainland China, 1961–2008, *Journal of climate*, 27(6): 2340-2360.
- Ren, G.; Zhou, Y.; Chu, Z.; Zhou, J.; Zhang, A.; Guo, J. and Liu, X. (2008). Urbanization effects on observed surface air temperature trends in North China, *Journal of Climate*, 21(6): 1333-1348.
- Roshani M. (2001). Investigating the Climate Change of the South Coast of the Caspian Sea, MSc Thesis, Faculty of geography, University of Tehran.
- Sadeghinia, A.R.; Alijani, B. and Ziaeian, P. (2012). Spatial-temporal analysis of UHI in Tehran metropolitan area using remote sensing and GIS, *Geography and Environmental Disasters*, 4: 1-17.
- Shamsipour, A.A.; Azizi, GH.; Karimi Ahmadabad M. and Moghbel, M. (2013). Study on physical surfaces temperature pattern in different weather condition, *Physical Geography Research Quarterly*, 1: 59-76.
- Sillmann, J. and Roeckner, E. (2008). Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change, *Climatic Change*, 86: 83-104.
- Tam, B.Y.; Gough, W.A. and Mohsin, T. (2015). The impact of urbanization and the urban heat island effect on day to day temperature variation, *Urban Climate*, 12: 1-10.
- Zhang, X., & Yang, F. (2004). RCLimDex (1.0) user manual. Climate Research Branch Environment Canada, 22.
- Zhang, X. et al. (2005). Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110.