

DOI: <https://doi.org/10.22034/jmas.2026.576670.1267>

ترکیب اثر تغییرات اقلیمی و جزایر حرارتی بر آب و هوای شهرهای ایران

محمد سلیقه^{۱*}؛ علیرضا کربلائی درئی^۲، حامد تقوی^۳

^۱ استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
^۲ استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
^۳ مهندسی منابع طبیعی محیط زیست (ارزیابی و آمایش سرزمین)، دانش آموخته دانشگاه پیام نور تهران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۰۵

چکیده

هدف این پژوهش بررسی نقش تغییر اقلیم و جزایر حرارتی شهری بر عناصر اقلیمی شهرهای ایران است. تغییر اقلیم به عنوان بزرگترین تهدید بشریت مدرن شناخته می شود. عناصر اقلیمی ایران، به ویژه دما و تبخیر و تعرق، در پنجاه سال گذشته دچار تغییرات شگرفی شده اند که نیاز آبی گیاهان را افزایش داده است. روش تحقیق با استفاده از مدل رگرسیون و ضریب خط انجام شده است. یافته ها نشان می دهد طی ۴۱ سال اخیر، دمای روزانه و شبانه به ترتیب با آهنگ ۰/۰۲۴۵ و ۰/۰۲۶۵ درجه سلسیوس در سال افزایش یافته اند که دو برابر میانگین جهانی است. تبخیر و تعرق سالانه ۵/۳۶ میلی متر افزایش و مقدار بارش با کاهش ۱/۱ میلی متری همراه بوده است. نوسانات بارش رو به افزایش و شاخص خشکسالی در ۱۹ سال اخیر منفی بوده است. ترکیب گرمایش جهانی و جزایر حرارتی باعث افزایش دما تا ۴ درجه سلسیوس در برخی شهرهای منتخب شده است. در مجموع، تشدید شرایط نامساعد اقلیمی و ترکیب این دو پدیده، بحران های محیطی شهرهای ایران را تشدید کرده و پایداری اکولوژیک را تهدید می کند. این وضعیت زیست پذیری شهرها را کاهش می دهد. مدیریت منابع آب باید با توجه به این تغییرات بازنگری شود. این نتایج لزوم مدیریت شهری و سازگاری با تغییرات اقلیمی را برجسته می سازد.

کلمات کلیدی: تغییرات اقلیمی، گرمایش جهانی، جزایر حرارتی، شاخص خشکسالی

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: saligheh@khu.ac.ir

مقدمه

گرمایش جهانی ناشی از فعالیت‌های انسانی و شهرنشینی شتابان، دو نیروی غالب تغییرات محیطی در قرن بیست و یکم محسوب می‌شوند که به‌طور هم‌زمان ساختار اقلیم منطقه‌ای و شرایط زیست‌پذیری شهرها را دگرگون کرده‌اند. در دهه‌های اخیر، افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای موجب افزایش دمای متوسط زمین، تغییر الگوهای گردش جو، افزایش فراوانی و شدت رخدادهای حدی و برهم خوردن تعادل چرخه هیدرولوژیکی شده است (IPCC, 2021). هم‌زمان، توسعه سریع شهرها، گسترش سطوح نفوذناپذیر، کاهش پوشش گیاهی و افزایش گرمای انسان‌زا، زمینه شکل‌گیری و تقویت جزایر حرارتی شهری (UHI) را فراهم کرده است. در حالی که این دو پدیده برای سال‌ها به‌صورت مستقل بررسی می‌شدند، مطالعات جدید نشان می‌دهند که میان آن‌ها روابط متقابل و سازوکارهای بازخوردی پیچیده‌ای برقرار است؛ به‌گونه‌ای که تغییر اقلیم جهانی و جزیره حرارتی شهری نه به‌عنوان دو فرآیند مجزا، بلکه به‌عنوان اجزای یک سامانه اقلیمی-شهری در تعامل با یکدیگر عمل می‌کنند (سانتاموریس، ۲۰۱۵؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۸؛ لی و همکاران، ۲۰۲۲).

شواهد حاصل از مطالعات جهانی نشان می‌دهد که افزایش دمای پس‌زمینه ناشی از گرمایش جهانی می‌تواند شدت، فراوانی و تداوم جزایر حرارتی شهری را افزایش دهد (لو^۲ و همکاران، ۲۰۲۵؛ لیو^۳ و همکاران، ۲۰۲۵). در مقابل، جزایر حرارتی با افزایش مصرف انرژی، تشدید گرمای محسوس، تغییر شارهای آشفته و افزایش انتشار

گازهای گلخانه‌ای، می‌توانند اثرات گرمایش را در مقیاس محلی و منطقه‌ای تقویت کنند (ایرفی^۴ و همکاران، ۲۰۲۳؛ لی و همکاران، ۲۰۱۹؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۴). این تعامل دوطرفه سبب شکل‌گیری پدیده‌هایی نظیر امواج گرمای مرکب (لیو و همکاران، ۲۰۲۴؛ گائو^۵ و همکاران، ۲۰۲۶؛ گائو و همکاران، ۲۰۲۴)، افزایش تنش حرارتی (هوئیسید^۶، ۲۰۱۷؛ بائو^۷ و همکاران، ۲۰۲۵؛ ژنگ^۸ و همکاران، ۲۰۲۵)، تشدید تبخیر-تعرق و کاهش آسایش اقلیمی در مناطق شهری (جانداگیان^۹ و همکاران، ۲۰۲۴) شده است؛ پیامدهایی که آثار آن‌ها بر سلامت انسان، امنیت آب، مصرف انرژی و پایداری شهری روزبه‌روز آشکارتر می‌شود.

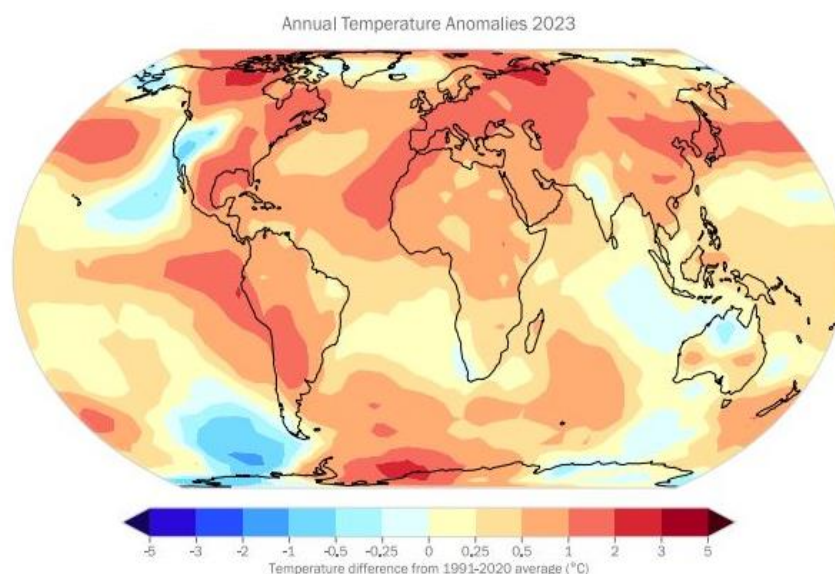
یکی از مهم‌ترین مسیرهای اثرگذاری تغییر اقلیم بر اقلیم شهری، تغییر در الگوهای گردش عمومی جو است (زاک و همکاران، ۲۰۲۰؛ ونتورا^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۳). مطالعات نشان داده‌اند که گرمایش جهانی با تغییر در موقعیت و شدت سلول هادلی، گسترش کمربند پرفشار جنب‌حاره‌ای (چرچی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۸؛ دنگ^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۴)، افزایش فراوانی الگوهای پرفشار پایدار و کاهش تهویه لایه مرزی (هافلین^{۱۳} و همکاران، ۲۰۲۴)، شرایط مساعدتری برای انباشت گرما در محیط‌های شهری فراهم می‌کند (میهل^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۸؛ ونگو و همکاران، ۲۰۲۰) در چنین شرایطی، کاهش سرعت باد، افزایش پایداری جو و محدود شدن اختلاط قائم هوا، موجب می‌شود گرمای ذخیره‌شده در سطوح مصنوعی طی شب به‌آرامی آزاد شود و شدت جزایر حرارتی به‌ویژه در شب‌های صاف و آرام افزایش یابد. ازاین‌رو،

⁸ Zhang⁹ Jandaghian¹⁰ Ventura¹¹ Cherchi¹² Deng¹³ Haeffelin¹⁴ Meehl¹ Urban Heat Island² Luo³ Liu⁴ Irfeey⁵ Gao⁶ Heaviside⁷ Bao

شناخت تعامل میان فرآیندهای سینوپتیکی و ویژگی‌های کالبدی شهرها، یکی از محورهای اصلی پژوهش‌های نوین اقلیم شهری به شمار می‌رود.

تئوری تضعیف گردش عمومی جو متأثر از تغییرات اقلیمی از اهمیت خاصی برخوردار است. موتور محرک گردش عمومی جو اختلاف دمای بین استوا و قطب زمین است. گردش عمومی جو عامل اصلی شکل‌گیری بادهای عمومی کره زمین، شامل بادهای غربی و بادهای شرقی است. اگر تغییرات اقلیمی در سراسر کره زمین باعث افزایش دمای یکنواخت می‌شد اثر مخرب آن به مراتب کمتر بود اما چنانچه در شکل ۱ دیده می‌شود میزان افزایش دما در نواحی قطبی خیلی بیشتر از نواحی حاره‌ای است. در

نواحی حاره‌ای افزایش دما حدود ۰/۵ درجه اما این میزان در نواحی قطبی به ۴ درجه سلسیوس رسیده است. این امر باعث هرچه گرم‌تر شدن نواحی قطبی و به دنبال آن کاهش گرادیان حرارتی کره زمین و کاهش اختلاف دمای استوا و قطب خواهد شد. نهایتاً چنین وضعیتی باعث تضعیف گردش عمومی جو و نقصان انرژی بادهای سیاره‌ای زمین خواهد شد. بادهای سیاره‌ای باعث انتقال رطوبت از اقیانوس‌ها به قلب قاره‌های و خشکی‌های کره زمین می‌شوند. با تضعیف بادهای عمومی سیاره‌ای میزان رطوبت رسیده به خشکی‌ها کاهش یافته و خشکسالی همه گیر می‌شود.

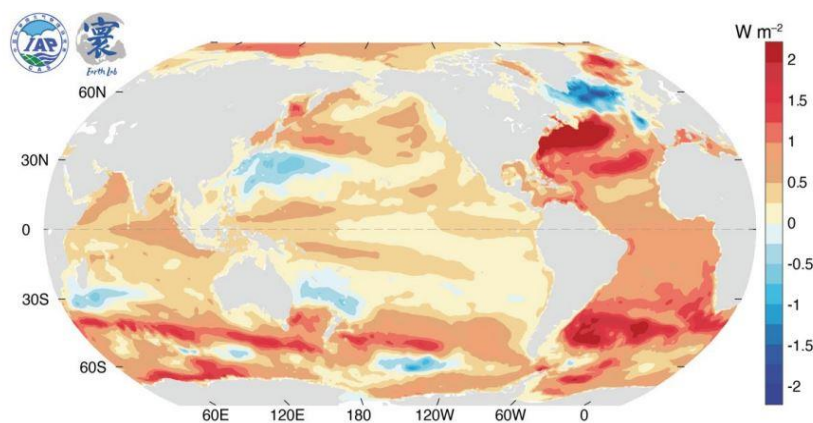


شکل ۱: میانگین گرادیان حرارتی در ماه اکتبر از ۱۹۹۱-۲۰۲۰

تئوری تضعیف گردش دما شوری اقیانوس‌های زمین نیز اهمیت دارد. افزایش نایکنواخت دمای آب اقیانوس‌ها باعث تضعیف گردش دما شوری^۱ آب در اقیانوس‌ها خواهد شد. شکل ۲ تغییرات دمای سطح اقیانوس‌های کره زمین آن‌را نشان می‌دهد. بیشترین

افزایش دما در اقیانوس اطلس شمالی در محدوده جریان گلف استریم رخ داده است. این افزایش دما در بخش‌هایی از اقیانوس‌ها باعث تغییراتی در گردش آب اقیانوس‌ها تحت عنوان جریانات اقیانوسی خواهد شد.

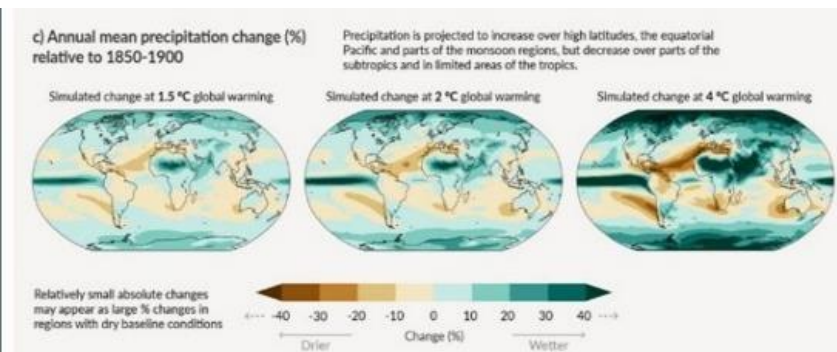
^۱ Thermohaline Circulation



شکل ۲: تغییرات دما در ۲۰۰۰ متری بالای سطح آب اقیانوس‌ها

و زرد نشان‌دهنده مناطق خشک‌تر و مناطق سبز و آبی نشان‌دهنده مناطق مرطوب‌تر هستند. در زیر این نقشه نوشته شده است که تغییرات مطلق نسبتاً کوچک ممکن است برای مناطقی با شرایط پایه خشک مرتبط باشد. (گرمایش ۲ درجه سلسیوس): در این سناریو، مناطق خشک‌تر و مرطوب‌تر کمی گسترده‌تر و شدیدتر به نظر می‌رسند نسبت به سناریوی ۱.۵ درجه سلسیوس. (گرمایش ۴ درجه سلسیوس): این نقشه شدیدترین تغییرات در بارش را نشان می‌دهد. مناطق بسیار خشک‌تر (قهوه‌ای تیره) و بسیار مرطوب‌تر (آبی تیره) در مقایسه با دو سناریوی دیگر قابل مشاهده هستند. به‌طور خلاصه، این شکل نشان می‌دهد که با افزایش گرمایش جهانی، تغییرات در میانگین بارش سالانه در سراسر جهان بارزتر و شدیدتر می‌شوند. برخی مناطق با افزایش قابل توجه بارش مواجه خواهند شد، در حالی که مناطق دیگر با کاهش قابل توجه بارش و افزایش خشکسالی روبرو خواهند شد (منبع گزارش ششم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم).

شکل ۳ وضعیت بارش در آینده نسبت به دوره گذشته (۱۸۵۰-۱۹۰۰) را نشان می‌دهد. بر اساس این پیش‌بینی در منطقه خاورمیانه کاهش بارش خواهد داشت و در منطقه جنوب آسیا رژیم موسمی با افزایش بارش روبرو خواهد شد. این شکل تغییرات پیش‌بینی شده در میانگین بارش سالانه (%) را نسبت به دوره ۱۸۵۰-۱۹۰۰ نشان می‌دهد، که در سه سناریوی مختلف گرمایش جهانی گرمایش ۱.۵ درجه سلسیوس، ۲ درجه سلسیوس و ۴ درجه سلسیوس شبیه‌سازی شده است. پیش‌بینی می‌شود بارش در عرض‌های جغرافیایی بالا، اقیانوس آرام استوایی و بخش‌هایی از مناطق موسمی افزایش یابد، اما در بخش‌هایی از مناطق نیمه‌گرمسیری و بخش‌های محدودی از مناطق گرمسیری کاهش یابد. هر یک از سه نقشه نشان می‌دهد که این تغییرات چگونه در سطح جهان توزیع شده‌اند در سناریوهای مختلف گرمایش: (گرمایش ۱.۵ درجه سلسیوس): این نقشه تغییرات نسبتاً کوچک‌تری را در میزان بارش نشان می‌دهد. مناطق قهوه‌ای



شکل ۳: تغییرات شبیه‌سازی شده بارش بر حسب درصد نسبت به سال‌های ۱۸۵۰-۱۹۰۰ بر اساس افزایش ۱/۵، ۲ و ۴ درجه افزایش دما

تغییرپذیری (swing) آب و هوایی را حتی اگر شرایط متوسط هوا هم یکسان باقی بماند، به عنوان تغییر اقلیم در نظر می گیرند. در حالی که تغییر زمانی اتفاق می افتد که اقلیم یک منطقه خاص و یا سیاره (زمین) بین دو دوره زمانی مختلف تغییر کند. این حالت معمولاً زمانی رخ می دهد که بعضی کمیت ها مثلاً مقدار کل انرژی خورشید که توسط جو و یا سطح زمین جذب می شود تغییر کند. تغییرات اقلیمی می تواند هم به صورت تغییرات اختیاری و هم به صورت تغییرات اجباری اتفاق بیافتد. چنین تفاوت هایی می تواند هم تغییرات متوسط شرایط هوا و هم تغییراتی را که حول متوسط ها اتفاق می افتد شامل شود. تغییرات می تواند به وسیله فرایندهای طبیعی مانند فوران های آتشفشانی، تغییرات در شدت تابش خورشید یا تغییرات بسیار آهسته در جریان های اقیانوسی و سطح زمین که در طی دوره های زمانی طولانی در حد چندین دهه و یا قرن و یا بیشتر از آن رخ می دهد، ایجاد می شود که از آن به نام تغییرات اختیاری نام می بریم. از طرفی، انسان نیز با انتشار گازهای گلخانه ای و ذرات معلق (آئروسول ها) در فضا باعث تغییر شرایط آب و هوایی می شود. بنا براین هر دو عامل طبیعی و انسانی موجب تغییر اقلیم می شوند. این گونه تغییرات اقلیمی را اجباری می نامند، چرا که آن ها با نیرو یا اجبار اقلیم را به سمت مقادیر جدید حرکت می دهند.

نوسانات یا تغییرپذیری اقلیمی به تغییرات یا نوسانات در آب و هوا به عنوان یک انحراف از متوسط بلند مدت (عناصر) هواشناسی در طی یک دوره معینی از زمان مثل ماه، فصل و یا سال خاص اشاره می کنند. نوسانات یک مؤلفه طبیعی اقلیم هستند که از تغییرات سیستم یا سیستم هایی که تحت نفوذ سیستم گردش عمومی هوا هستند ناشی می شوند. مثلاً، یک سیستم (ها) ضعیف یا قوی می تواند به طور دوره ای منجر به حوادث شدید آب و هوایی شود. این نکته را باید یادآور شد که تعدادی از نوسانات

داده ها و روش ها

منطقه مورد مطالعه این پژوهش به صورت کلان مقیاس بر کل کشور ایران متمرکز است و تحلیل ها بر اساس داده های ۴۳ ایستگاه هواشناسی منتخب در سراسر فلات ایران انجام شده است. انتخاب ایستگاه ها با معیارهای پوشش مکانی گسترده، کیفیت داده و کامل بودن رکوردهای بلندمدت صورت گرفته است.

داده های اقلیمی روزانه شامل دمای حداکثر و حداقل، بارش، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی در دوره آماری ۴۲ ساله (۱۳۵۹-۱۴۰۰ ه.ش. معادل ۱۹۸۰-۲۰۲۱ م.) از سازمان هواشناسی کشور دریافت و پس از کنترل کیفیت و پرکردن داده های گم شده با روش های مبتنی بر همسایگی مکانی-زمانی، مورد استفاده قرار گرفت. برای محاسبه تبخیر-تعرق بالقوه از روش پنمن-مانیتث مرجع FAO استفاده شد. همچنین از داده های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ERA5) برای تحلیل تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل استفاده گردید.

روش پژوهش

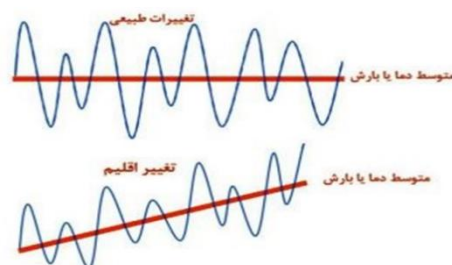
روند تغییرات بلندمدت عناصر اقلیمی با استفاده از رگرسیون خطی ساده و محاسبه شیب (ضریب خط) برآورد شد. جهت سنجش خشکسالی از شاخص SPEI (شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر تعرق) در بازه ماهانه و سالانه بهره گرفته شد. همچنین تحلیل های سینوپتیکی (مانند پیشروی پرفشار جنب حاره ای و تغییرات زمانی شرایط صعودی) با استفاده از نقشه های ژئوپتانسیل در دو بازه مرجع (۱۹۵۱-۱۹۴۸) و تطبیقی (۲۰۱۰-۲۰۱۴) انجام پذیرفت.

بحث و نتایج

تغییرات اقلیمی در ایران

تغییر اقلیم یک تغییر طولانی مدت آب و هوایی در یک محل خاص، منطقه و یا سیاره زمین است. چیزی که بیشتر مردم نمی دانند این است که تغییر در تنوع

اقلیمی می‌توانند بدون تاثیر در متوسط‌ها صورت گیرند. به‌عنوان مثال، یک مکانی ممکن است مرطوب‌تر و یا خشک‌تر از سال‌های نرمال شود در حالی که متوسط‌ها تقریباً یکسان باقی بماند (شکل ۴).



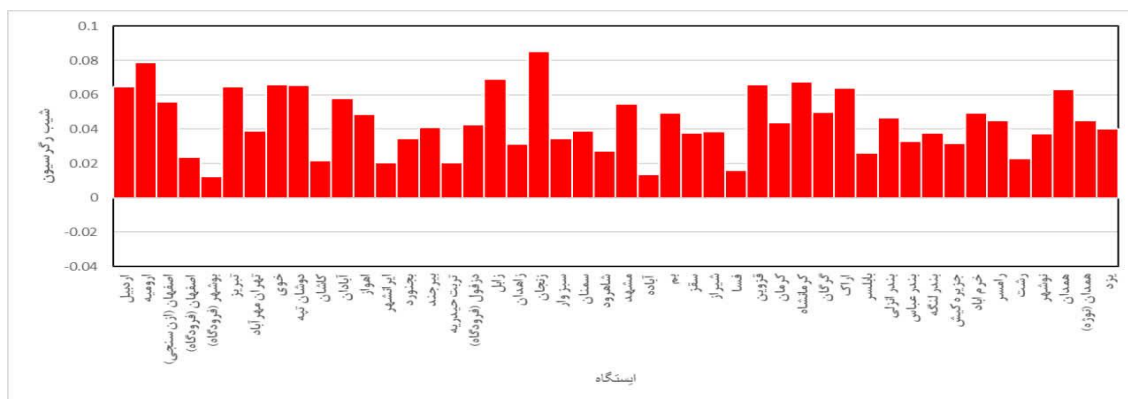
شکل ۴: مقایسه تغییرات طبیعی آب و هوا نسبت به تغییر اقلیم

از سال ۱۹۰۱ متوسط دمای دنیا 0.74°C درجه افزایش یافته است. در طول ۶۵۰ هزار سال گذشته، مقدار دی اکسید کربن همواره زیر ۲۹۰ ppm بوده است. در سال ۲۰۰۸ مقدار کربن دی اکسید به ۳۸۷ ppm رسیده که هر سال ۲ ppm به آن افزوده می‌شود. هیات بین الدول تغییر اقلیم می‌گوید تا سال ۲۱۰۰ مقدار افزایش دمای کره زمین بین ۱ تا 3.5°C درجه سلسیوس خواهد بود. در سناریو ۹۷ درصدی‌ها، تقریباً ۹۷ درصد دانشمندان اقلیم شناسی نه تنها باور دارند که تغییرات اقلیمی در حال رخ دادن است بلکه آن‌ها باور دارند منشأ این تغییرات اقلیمی فعالیت‌های انسانی است. در مقابل ۳ درصد از دانشمندان اقلیم شناس تغییرات غیر طبیعی اقلیم را قبول ندارند. آخرین باری که زمین دچار تغییرات آب و هوایی گسترده شد، مربوط به ۱۰ تا ۲۰ هزار سال قبل در عصر یخبندان بود. در آن دوره دمای کره زمین به‌صورت میانگین با ۶ درجه افزایش

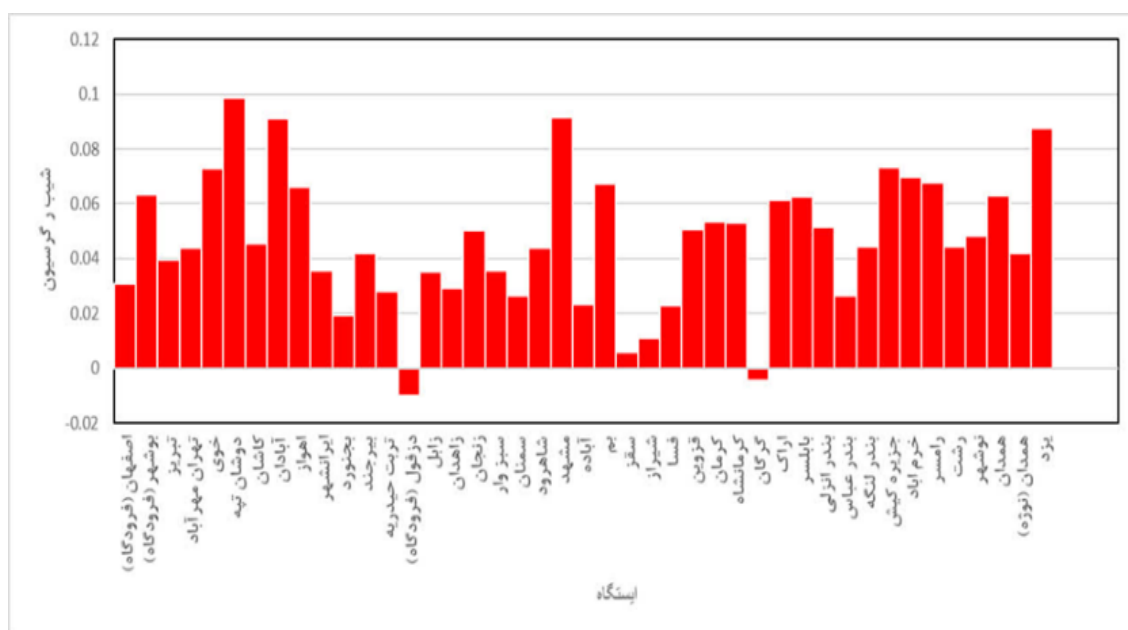
مواجه شد و با آب شدن حجم زیادی از یخ‌های زمین سطح آب دریاها تا ۱۲۰ متر بالا آمد و زلزله‌هایی به بزرگی ۸ ریشتر به وقوع پیوست.

ترکیب تغییر اقلیم و جزیره حرارتی شهر اثر دوگانه گرمایش جهانی و گرم شدن محلی باعث می‌شود تا سال ۲۱۰۰ برخی شهرهای جهان هشت درجه سلسیوس گرم‌تر شوند. در مجموع پنج درجه سلسیوس افزایش دما ناشی از اثر گرمایش جهانی خواهد بود و مابقی مربوط به تاثیر "جزایر گرمایی" است. این تاثیر زمانی در شهرها رخ می‌دهد که پارک‌ها، سدها و دریاچه‌ها که اثر خنک‌کنندگی بر هوای شهر دارند جای خود را به سطوح سیمانی و آسفالت می‌دهند و این باعث می‌شود شهرها گرم‌تر از نواحی اطراف‌شان باشند. افزایش مصرف انرژی: افزایش دما در مناطق شهری منجر به افزایش مصرف انرژی برای خنک‌سازی ساختمان‌ها می‌شود که خود باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. تخمین زده می‌شود شهرهای متوسط تا سال ۲۱۰۰ حداقل ۹/۱۰ درصد از کل تولید ناخالص خود را از دست بدهند. شهرها مسئول بیش از ۶۰ درصد انتشار دی اکسید کربن ناشی از احتراق زغال‌سنگ، نفت و گاز هستند.

تأثیر تغییرات اقلیمی بر عناصر اقلیمی ایران
بررسی‌های انجام گرفته بر روی ۴۳ ایستگاه هواشناسی کشور طی دوره آماری ۴۲ ساله (۱۹۸۰-۲۰۲۱) حاکی از افزایش دما در میزان حداکثر دما (شکل ۵) و حداقل دما (شکل ۶) در تمام ایستگاه‌ها در طی این دوره بوده است.



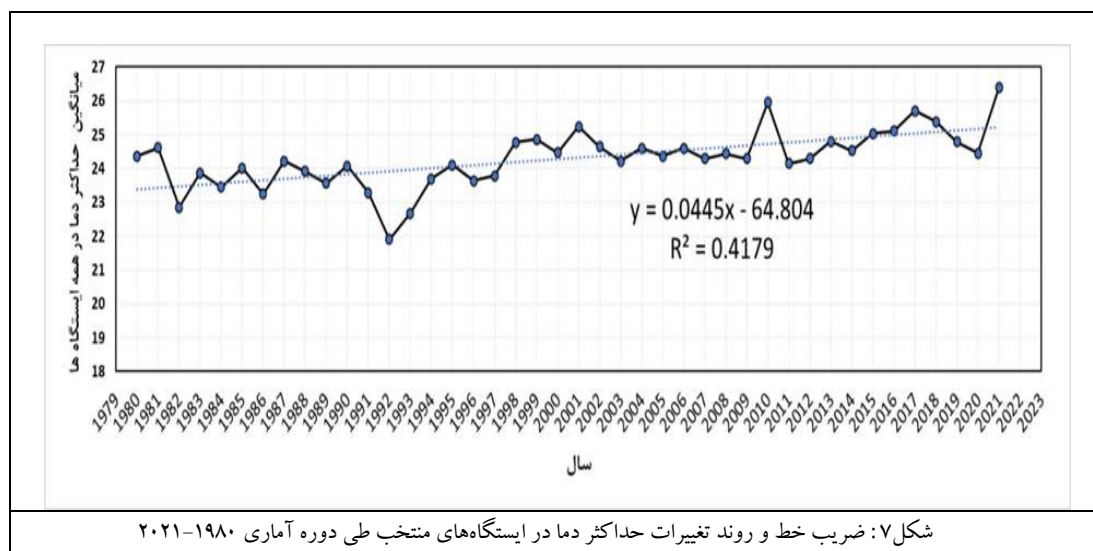
شکل ۵. روند تغییرات حداکثر دما در ایستگاه‌های منتخب طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۲۱



شکل ۶. روند تغییرات حداقل دما در ایستگاه‌های منتخب طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۲۱

این معنا که در هر سال حداکثر دمای روزانه به مقدار ۰/۰۴۴۵ درجه افزایش می‌یابد. با این روند طی ۵۰ سال آینده ۲/۲۲۵ درجه سلسیوس به دمای کشور افزوده خواهد شد (شکل ۷).

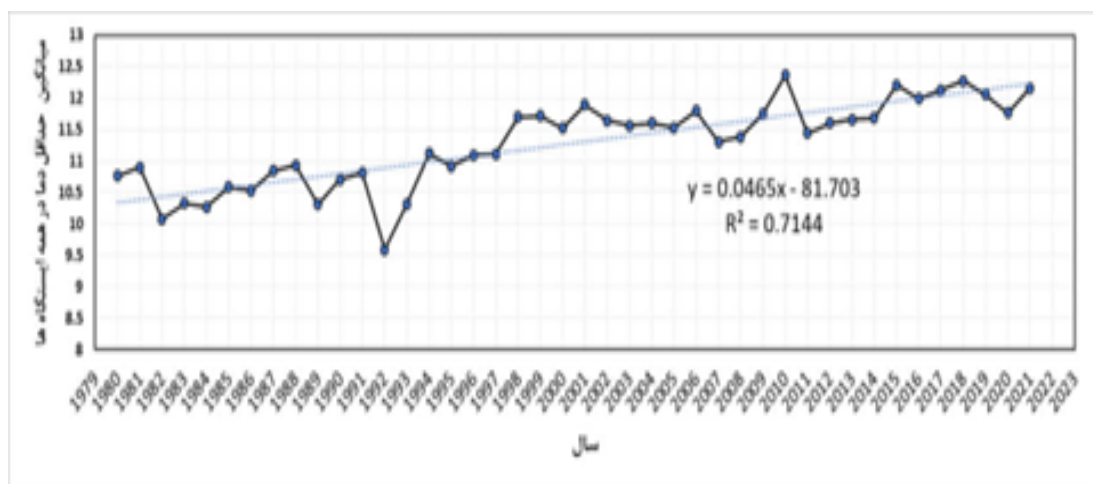
روند تغییرات دمای حداکثر براساس میانگین‌گیری از تمام ایستگاه‌های منتخب در شکل ۷ نشان داده شده است. ضریب خط در آن برابر است با: $Y=0.0445x-64.804$ به



شکل ۷: ضریب خط و روند تغییرات حداکثر دما در ایستگاه‌های منتخب طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۲۱

مقدار ۰/۰۴۴۵ درجه افزایش می‌یابد. با این روند طی ۵۰ سال آینده ۲/۳۲۵ درجه سلسیوس به دمای کشور افزوده خواهد شد. که حاکی از افزایش دمای شبانه نسبت به دمای روزانه خواهد بود.

روند تغییرات دمای حداقل براساس میانگین‌گیری از تمام ایستگاه‌های منتخب در شکل ۸ نشان داده شده است. ضریب خط در آن برابر است با: $Y=0.0465x-81.703$ به این معنا که در هر سال حداقل دمای شبانه روزی به



شکل ۸: ضریب خط و روند تغییرات حداکثر دما در ایستگاه‌های منتخب طی دوره آماری ۱۰۸۰-۲۰۲۱

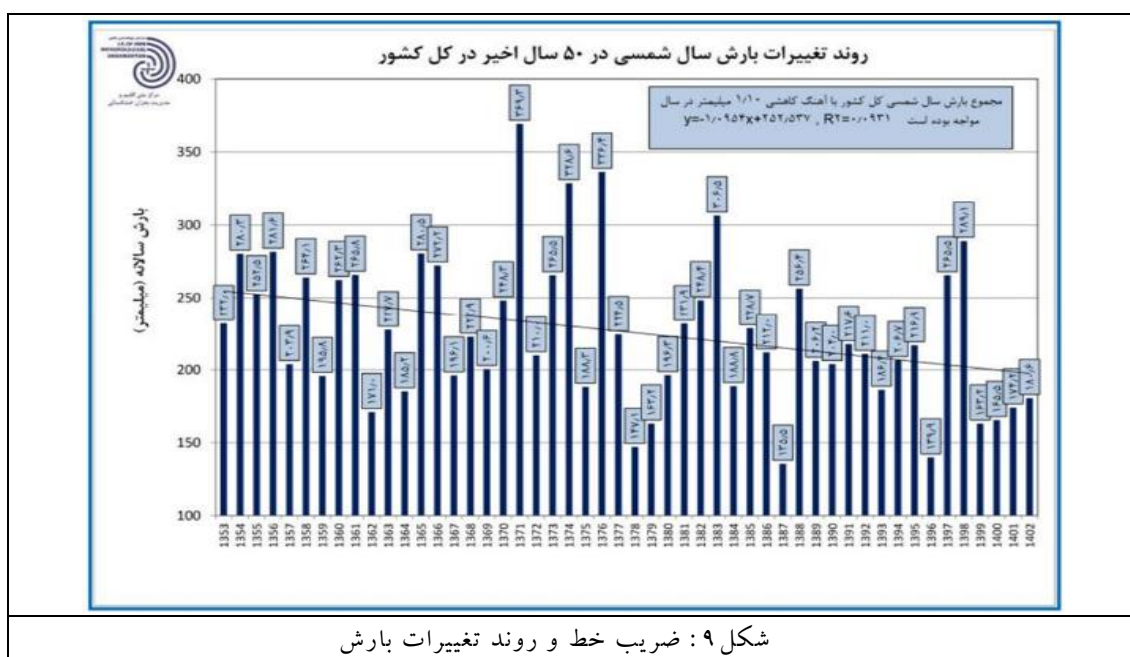
بارش

در شکل ۹ روند تغییرات بارش در نموداری با عنوان "روند تغییرات بارش سال شمسی در ۵۰ سال اخیر در کل کشور" مشخص شده است. این نمودار میزان بارش سالانه را بر حسب میلی‌متر برای کل کشور در طی یک دوره ۵۰ ساله شمسی، از سال ۱۳۵۰ تا ۱۴۰۱ نشان می‌دهد. محور عمودی میزان بارش سالانه بر حسب میلی‌متر را نشان می‌دهد که از ۱۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر متغیر است. محور افقی سال‌های شمسی را از ۱۳۵۰ تا ۱۴۰۱ نشان می‌دهد. هر ستون عمودی نشان‌دهنده مجموع بارش سالانه برای یک سال شمسی خاص است و مقدار دقیق بارش برای هر سال در بالای ستون مربوطه با اعداد فارسی نوشته شده است در طی این دوره ۵۰ ساله، نوسانات قابل توجهی در بارش سالانه رخ داده است برخی از سال‌ها سطوح نسبتاً بالایی از بارش را تجربه کرده‌اند، در حالی که برخی دیگر مقادیر بسیار کمتری داشته‌اند. به عنوان مثال، به نظر می‌رسد که در اوایل تا اواسط دهه ۱۳۷۰ و دوباره در اواخر دهه ۱۳۸۰ تا اوایل دهه ۱۳۹۰، اوج‌هایی در میزان بارش وجود داشته است. در مقابل، به نظر می‌رسد دوره‌هایی از بارش کمتر وجود داشته است، به ویژه در برخی از سال‌های اواخر دهه

۱۳۵۰ و سپس با وقوع بیشتر در سال‌های اخیر نشان داده شده است.

آینده پژوهی:

با توجه به داده‌های تاریخی ارائه شده در این نمودار، پیش‌بینی قطعی روند آتی بارش دشوار است. در حالی که در سال‌های اخیر نشان داده شده دوره‌های قابل توجهی از بارش کمتر وجود دارد، یک روند نزولی قوی و مداوم در کل دوره ۵۰ ساله مشاهده نمی‌شود. به نظر می‌رسد الگوهای بارش با تغییرپذیری و نوسانات دوره‌ای مشخص می‌شوند. بنابراین، پیش‌بینی آینده صرفاً بر اساس این داده‌های تاریخی ۵۰ ساله نشان می‌دهد که ممکن است همچنان شاهد نوسانات در بارش سالانه با دوره‌هایی از بارندگی بیشتر و کمتر از حد متوسط باشیم. با این حال، توجه به این نکته مهم است که این تحلیل فقط بر اساس نمودار ارائه شده است که یک بازه زمانی محدود را پوشش می‌دهد و عوامل بالقوه تأثیرگذار دیگر مانند تغییرات آب و هوایی، الگوهای آب و هوایی منطقه‌ای و تغییرات زیست محیطی را در نظر نمی‌گیرد. چشم‌انداز جامع‌تر برای آینده نیازمند تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های تاریخی طولانی‌تر و گنجاندن مدل‌های مختلف آب و هوایی و سایر شاخص‌های زیست محیطی مرتبط است.



تبخیر و تعرق

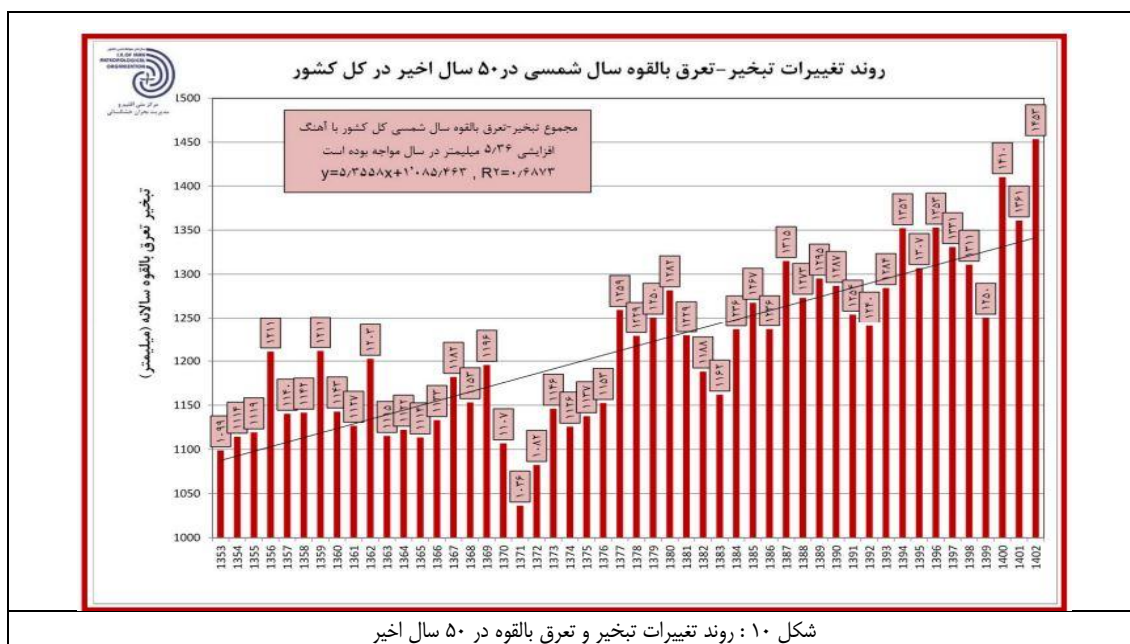
شکل ۱۰ نمودار "روند تغییرات تبخیر-تعرق بالقوه سال شمسی در ۵ سال اخیر در کل کشور"، میزان تبخیر-تعرق بالقوه سالانه در کل کشور را بر حسب میلی‌متر در طی یک دوره پنجاه ساله شمسی، از سال ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۰ نشان می‌دهد. محور عمودی مجموع تبخیر-تعرق بالقوه را بر حسب میلی‌متر برای هر سال نشان می‌دهد. محور افقی سال‌های شمسی از ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۰ را نشان می‌دهد هر ستون در نمودار مربوط به یکی از این سال‌های شمسی است

با مشاهده نمودار، متوجه می‌شویم که میزان تبخیر-تعرق بالقوه سالانه در طول دوره ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۰ نوسان داشته است در برخی سال‌ها میزان تبخیر-تعرق بالقوه کمتر و در برخی سال‌ها بیشتر بوده است. با این حال، با وجود این تغییرات سالانه، به نظر می‌رسد که یک روند کلی افزایشی در تبخیر-تعرق بالقوه سالانه در طی این پنج دهه وجود دارد. این روند افزایشی به‌ویژه در سال‌های اخیر نشان داده شده در نمودار قابل توجه است. این موضوع نشان می‌دهد که به‌طور متوسط، پتانسیل تبخیر آب از سطح زمین و تعرق از گیاهان در سراسر کشور در طول این دوره پنجاه ساله افزایش یافته است. در حاشیه نمودار ذکر شده است که

مجموع تبخیر تعرق بالقوه سال شمسی در ۵ سال اخیر در کل کشور دارای میانگین ۱۲۳۴ میلی‌متر در سال بوده است. این روند افزایشی به میزان ۵/۳۶ میلی‌متر در سال بوده است. روند آینده پژوهی:

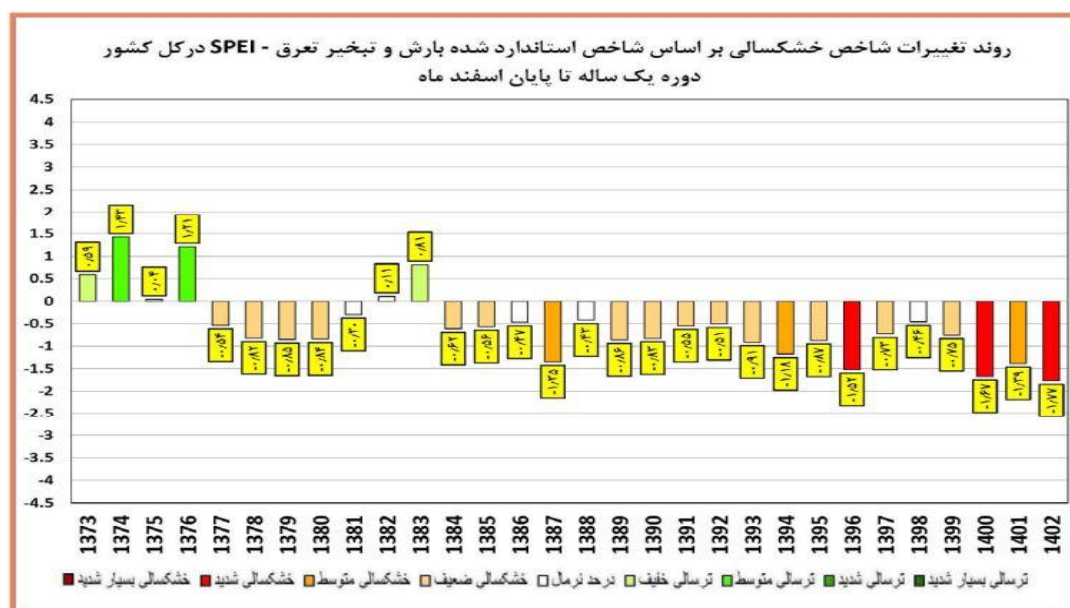
با توجه به روند مشاهده شده مبنی بر افزایش کلی در تبخیر-تعرق بالقوه سالانه بین سال‌های شمسی ۱۳۵۱ و ۱۴۰۰، می‌توان یک روند احتمالی برای آینده را استنباط کرد. اگر این روند صعودی ادامه یابد، احتمالاً تبخیر-تعرق بالقوه سالانه در کشور در سال‌های آینده نیز افزایش خواهد یافت. این افزایش بالقوه در تبخیر-تعرق می‌تواند پیامدهای قابل توجهی برای بخش‌های مختلف داشته باشد:

منابع آب: افزایش تبخیر-تعرق بالقوه می‌تواند منجر به افزایش تقاضا برای آب در بخش کشاورزی و سایر مصارف شده و به‌طور بالقوه منابع آب موجود را تحت فشار قرار دهد. کشاورزی: تغییرات در میزان تبخیر-تعرق می‌تواند بر نیاز آبی محصولات کشاورزی و بهره‌وری کشاورزی تأثیر بگذارد. آب و هوا: افزایش تبخیر-تعرق می‌تواند الگوهای آب و هوایی منطقه‌ای را تحت تأثیر قرار داده و به‌طور بالقوه منجر به شرایط خشک‌تر در برخی مناطق شود.



این نمودار نشان می‌دهد که در دوره زمانی مورد بررسی، کشور دوره‌های مختلفی از خشکسالی و ترسالی را تجربه کرده است. با این حال، در سال‌های اخیر، به‌ویژه از اواسط دهه ۱۳۹۰ به بعد، وضعیت خشکسالی غالب بوده و شدت آن نیز افزایش یافته است. سال ۱۴۰۱ با خشکسالی بسیار شدید مشخص شده است و سال ۱۴۰۲ نیز وضعیت خشکسالی شدید را نشان می‌دهد.

شاخص‌های خشکسالی
 شکل ۱۱ نمودار روند تغییرات شاخص خشکسالی SPEI (شاخص استاندارد شده بارش و تبخیر تعرق) را در کل کشور در دوره یک ساله منتهی به پایان اسفند ماه نشان می‌دهد. محور افقی نشان‌دهنده سال‌های هجری شمسی از ۱۳۷۳ تا ۱۴۰۲ است و محور عمودی مقادیر شاخص SPEI را نشان می‌دهد.

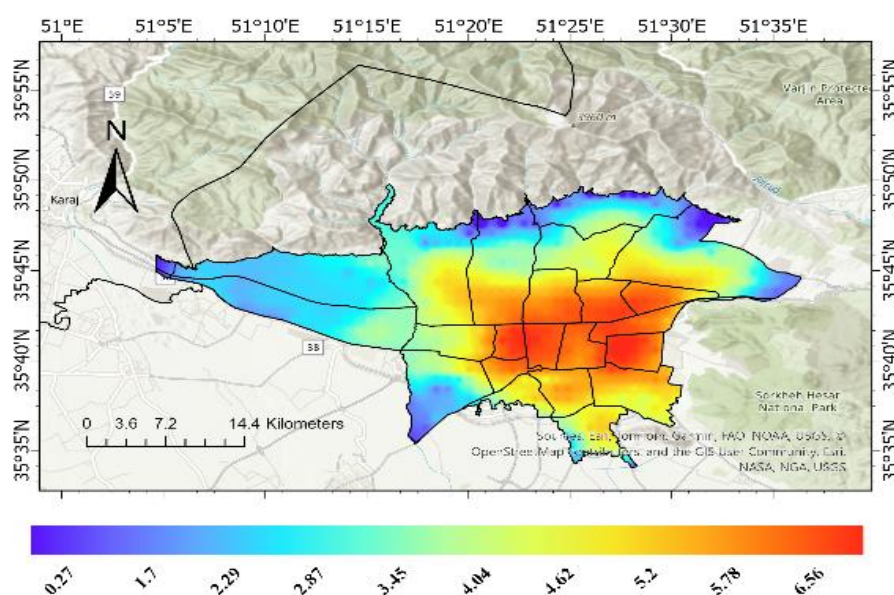


شکل ۱۱: روند تغییرات شاخص خشکسالی SPEI (شاخص استاندارد شده بارش و تبخیر تعرق) را در کل کشور در دوره یک ساله منتهی به پایان اسفند ماه.

جزیره حرارتی (مطالعه موردی شهر تهران)

نتایج نقشه میانگین جزیره حرارتی سطحی شبانه شهر تهران بر اساس داده‌های MODIS در دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد (شکل ۱۲) که شدت جزیره حرارتی بین ۰/۲۷ تا ۶/۵۶ درجه سلسیوس متغیر است. بیشترین شدت در مناطق مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی شامل مناطق ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷ و ۱۹ مشاهده می‌شود که مقادیری بیش از ۵/۲ درجه سلسیوس دارند. در مقابل، مناطق شمالی و غربی شامل مناطق ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۲۱ و ۲۲ کمترین شدت جزیره حرارتی را با مقادیر کمتر از ۳/۵ درجه سلسیوس نشان می‌دهند. این الگو بیانگر وجود یک گرادیان حرارتی از شمال خنک‌تر به سمت مرکز و جنوب گرم‌تر شهر است. تمرکز سطوح نفوذناپذیر،

تراکم بالای ساختمان‌ها و فعالیت‌های انسانی در بخش‌های مرکزی و جنوبی، در کنار ارتفاع بیشتر، تهویه مناسب و پوشش گیاهی گسترده‌تر در نواحی شمالی، مهم‌ترین عوامل ایجاد این الگوی فضایی محسوب می‌شوند. این نتایج نشان می‌دهد که مناطق مرکزی و جنوبی تهران بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر تنش‌های حرارتی شبانه دارند. بر اساس پژوهش‌های سنجش از دور، مناطق مرکزی و جنوبی تهران کانون اصلی جزیره حرارتی شبانه محسوب می‌شوند و شدت این پدیده در این نواحی گاهی از ۵ درجه سلسیوس نیز تجاوز می‌کند. این مطالعات همچنین نشان داده‌اند که افزایش پوشش گیاهی با کاهش شدت جزیره حرارتی ارتباط معکوس و قابل توجهی دارد (زرگری و همکاران، ۲۰۲۴).



شکل ۱۲. جزیره حرارتی مطالعه موردی شهر تهران

تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل

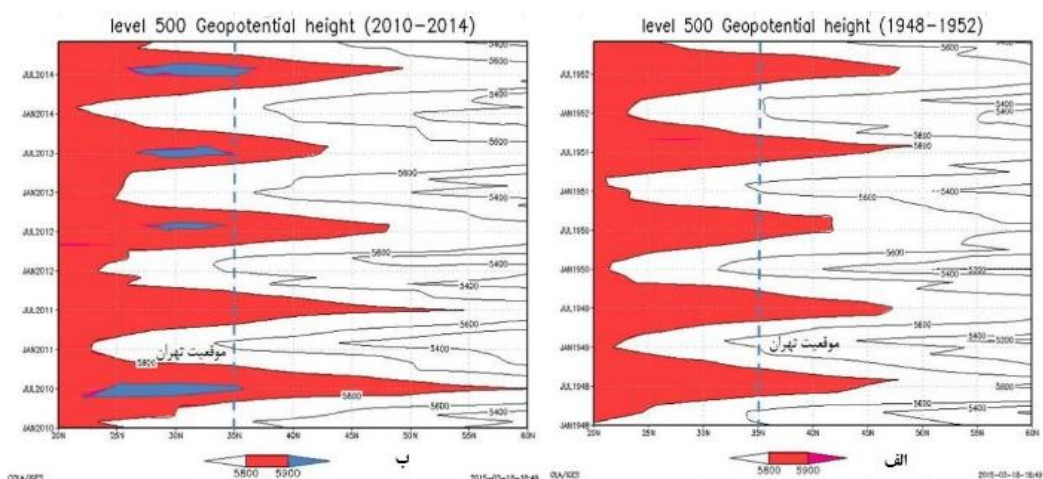
با توجه به شکل ۱۳، می‌توان مقایسه‌ای بین الگوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دو بازه زمانی متفاوت انجام داد. نمودار سمت چپ، سطح ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال را برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ نشان می‌دهد و نمودار سمت

راست، همین متغیر را برای سال‌های ۱۹۴۸ تا ۱۹۵۲ نمایش می‌دهد. هر دو نمودار مربوط به ماه جولای تا دسامبر هر سال در بازه زمانی مورد نظر هستند و موقعیت تهران نیز بر روی آن‌ها مشخص شده است. در هر دو دوره زمانی، الگوی خطوط هم‌ارتفاع ژئوپتانسیل نشان می‌دهد که ایران

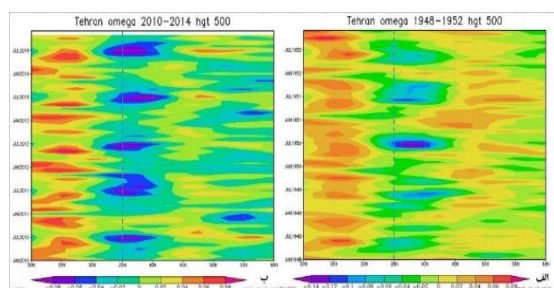
و منطقه خاورمیانه تحت تأثیر سیستم‌های پرفشار در تابستان و کم‌فشار در زمستان در تراز میانی جو قرار دارند. به نظر می‌رسد که در دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۴، گسترش زبانه پرفشار عرض‌های پایینی به سمت عرض‌های بالاتر و منطقه تهران بیشتر بوده است. به عنوان مثال، در جولای ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱، خطوط هم‌ارتفاع با مقادیر بالاتر (مانند ۵۸۸۰ متر) به طور واضح‌تری در نزدیکی یا بر روی موقعیت تهران دیده می‌شوند. در مقابل، در دوره ۱۹۴۸-۱۹۵۲، به نظر می‌رسد که الگوی پرفشار در عرض‌های پایین‌تر متمرکز بوده و نفوذ آن به عرض‌های بالاتر و منطقه تهران کمتر است. قوی‌تر و شمالی‌تر شدن پرفشار در دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۴: حضور خطوط هم‌ارتفاع بالاتر در نزدیکی تهران در دوره

اخیر ممکن است نشان‌دهنده تقویت و گسترش سیستم‌های پرفشار جنب‌حاره‌ای به سمت شمال در این دوره باشد. این وضعیت می‌تواند منجر به شرایط آب و هوایی گرم‌تر و خشک‌تر در منطقه تهران و نواحی اطراف آن در ماه جولای در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۴ نسبت به سال‌های ۱۹۴۸-۱۹۵۲ شده باشد.

تغییر در الگوی گردش جو: تفاوت در موقعیت و قدرت سیستم‌های پرفشار در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بین این دو دوره زمانی می‌تواند نشان‌دهنده تغییراتی در الگوی کلی گردش جو در سطح میانی در طول زمان باشد. این تغییرات می‌توانند تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله تغییرات اقلیمی رخ دهند.



شکل ۱۳. پیش روی سالیانه پرفشار جنب‌حاره‌ای و موقعیت تهران نسبت به آن در دو بازه: الف- در بازه ۵ ساله اول (۱۹۴۸-۱۹۵۲) و ب- در بازه ۵ ساله دوم (۲۰۱۰-۲۰۱۴). در بازه ۵ ساله دوم ارتفاع ژئوپتانسیلی و دوره استقرار آن افزایش یافته و به عرض‌های بالاتر نیز گسترش دارد.

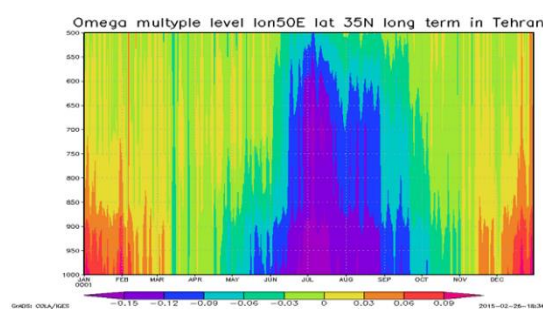


شکل ۱۴. محدوده زمانی استقرار شرایط صعودی و موقعیت تهران نسبت به آن در دو بازه: الف- در بازه ۵ ساله اول (۱۹۴۸-۱۹۵۲) و ب- در بازه ۵ ساله دوم (۲۰۱۰-۲۰۱۴). در بازه ۵ ساله دوم محدوده زمانی شرایط صعودی نسبت به بازه اول افزایش یافته است.

بررسی ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در این دو دوره الف- ارتفاع ژئوپتانسیلی در چهار سال از بازه ۵ ساله دوم (۲۰۱۰-۲۰۱۴)، به میزان ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع دارد. این افزایش ارتفاع باعث افزایش گرمایش بی‌درو و درو در نیوار تهران می‌شود. ب- تعداد روزهای لانه‌گزینی پرارتفاع جنب‌حاره در نیوار تهران در بازه ۵ ساله دوم افزایش یافته است. ج- پیشروی شمال‌سوی پرارتفاع جنب‌حاره به عرض‌های بالاتر در بازه ۵ ساله دوم بیشتر شده است (شکل ۱۴).

هم‌زمان، تحلیل سینوپتیکی تغییرات ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، گسترش و تقویت سامانه‌های پرفشار جنب‌حاره‌ای به سمت عرض‌های بالاتر به‌ویژه در محدوده تهران را تأیید می‌کند. این تغییر در الگوی گردش جو، علاوه بر کاهش پایداری عمودی و دوره‌های طولانی‌تر استقرار هوا در شهرها، زمینه حضور مکرر شرایط صعودی (به‌دلیل گرمایش سطحی ناشی از توسعه شهری) را فراهم آورده است. نتیجه ترکیبی این دو عامل گرمایش جهانی و گرمایش محلی تشدید بحران‌های محیطی، کاهش کیفیت هوا، و افزایش فشار بر منابع آبی است؛ یافته‌ها نشان می‌دهد طی ۴۱ سال اخیر، دمای روزانه و شبانه به‌ترتیب با آهنگ ۰.۰۲۴۵ و ۰.۰۲۶۵ درجه سلسیوس در سال افزایش یافته‌اند که حدود دو برابر میانگین جهانی است. تبخیر و تعرق سالانه ۵.۳۶ میلی‌متر افزایش و بارش سالانه ۱.۱ میلی‌متر کاهش یافته است. همچنین، ترکیب گرمایش جهانی و جزایر حرارتی موجب افزایش دما تا ۴ درجه سلسیوس در برخی شهرهای منتخب ایران شده است. این نتایج، در کنار مطالعات جهانی که نشان می‌دهند در صورت تداوم روند کنونی، برخی شهرهای جهان ممکن است تا پایان قرن بیش از ۷ درجه سلسیوس گرم‌تر شوند، اهمیت مدیریت هم‌زمان تغییر اقلیم و جزایر حرارتی شهری را برجسته می‌سازد (Estrada et al., 2017). با این حال، آنچه این پژوهش به‌وضوح تأکید می‌کند، غیرخطی و غیریکنواخت بودن رابطه تغییر اقلیم و پدیده‌های حدی است. این یافته‌ها هشدار می‌دهند که تعمیم‌های کلی درباره «افزایش جهانی وقایع حدی» می‌تواند گمراه‌کننده باشد، مگر آنکه با تحلیل‌های منطقه‌ای، تاریخی و سینوپتیکی همراه شود. در نهایت، مواجهه مؤثر با تغییر اقلیم در ایران مستلزم رویکردی تلفیقی است: نه تنها کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در مقیاس جهانی، بلکه بازنگری در الگوهای توسعه شهری، احیای سطوح سبز،

شکل (۱۵) نشان‌دهنده محدوده زمانی استقرار شرایط صعودی و موقعیت تهران نسبت به آن در دو بازه: الف- در بازه ۵ ساله اول (۱۹۴۸-۱۹۵۲) و ب- در بازه ۵ ساله دوم (۲۰۱۰-۲۰۱۴) می‌باشد. در بازه ۵ ساله دوم محدوده زمانی شرایط صعودی نسبت به بازه اول افزایش یافته است. این افزایش به‌دلیل افزایش دما ناشی از گسترش محدوده جغرافیایی شهر تهران است. با گسترش شهر و افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، افزایش دما رخ داده و شرایط صعود افزایش یافته است.



شکل (۱۵): محدوده زمانی استقرار شرایط صعودی و موقعیت تهران

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که تغییرات اقلیمی در ایران تنها به‌صورت یک پدیده جهانی همگانی تجربه نشده، بلکه با تأثیرات تشدیدشده‌ای در مقیاس محلی و شهری مواجه است؛ به‌ویژه هنگامی که با پدیده جزیره حرارتی شهری ترکیب شود. تحلیل داده‌های بلندمدت (۱۹۸۰-۲۰۲۱) از ۴۳ ایستگاه هواشناسی نشان می‌دهد که دمای حداکثر و حداقل در سطح کشور به‌طور میانگین با آهنگ‌های سالانه ۰.۰۴۴۵ و ۰.۰۴۶۵ درجه سلسیوس در سال در حال افزایش است نرخ دو برابر میانگین جهانی و همراه با شتاب بیشتر در دمای شبانه. این روند، در کنار افزایش تبخیر-تعرق بالقوه (~۵.۳۶ میلی‌متر در سال)، ساختار آب‌وهوایی ایران را به‌سوی شرایط گرم‌تر و خشک‌تر سوق داده است؛ چنان‌که شاخص خشکسالی SPEI در ۱۹ سال اخیر به‌طور پیوسته منفی بوده و سال‌های اخیر را به‌عنوان دوره‌ای از خشکسالی شدید نشان می‌دهد.

روز بر زندگی جانداران و پایداری محیط‌زیست می‌افزاید.

Haeffelin, M., Ribaud, J. F., Céspedes, J., Dupont, J. C., Lemonsu, A., Masson, V., ... & Kotthaus, S. (2024). Impact of boundary layer stability on urban park cooling effect intensity. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 24(24), 14101-14122.

Heaviside, C., Macintyre, H., & Vardoulakis, S. (2017). The urban heat island: implications for health in a changing environment. *Current environmental health reports*, 4(3), 296-305.

<http://www.azarwater.ir>

IPCC. (2001). Climate change 2001: The scientific basis; Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., & Johnson, C. A. (Eds.). Cambridge University Press.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Irfeey, A. M. M., Chau, H. W., Sumaiya, M. M. F., Wai, C. Y., Muttill, N., & Jamei, E. (2023). Sustainable mitigation strategies for urban heat island effects in urban areas. *Sustainability*, 15(14), 10767.

Jandaghian, Z., & Colombo, A. (2024). The role of water bodies in climate regulation: Insights from recent studies on urban heat island mitigation. *Buildings*, 14(9), 2945.

Jiang, S., Lee, X., Wang, J., & Wang, K. (2019). Amplified urban heat islands during heat wave periods. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(14), 7797-7812.

Jouzel, J., Masson-Delmotte, V., Cattani, O., Dreyfus, G., Falourd, S., Hoffmann, G., Minster, B., Nouet, J., Barnola, J. M., Chappellaz, J., Fischer, H., Gallet, J. C., Johnsen, S., Leuenberger, M., Loulergue, L., Luethi, D., Oerter, H., Parrenin, F., Raisbeck, G., ... Wolff, E. W. (2007). Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800,000 years. *Science*, 317(5839), 793-796.

Klingelhöfer, D., Müller, R., Braun, M., Brüggmann, D., & Groneberg, D. A. (2020). Climate change: Does international research fulfill global demands and necessities? *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 137. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00419-1>

Klotzbach, P. J., Bowen, S. G., Pielke, R., & Bell, M. (2018). Continental U.S. Hurricane Landfall Frequency and Associated Damage: Observations and Future Risks. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(7), 1359-1376. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0184.1>

Li, D., & Bou-Zeid, E. (2013). Synergistic interactions between urban heat islands and heat waves: The impact in cities is larger than the sum of

و اجرای سیاست‌های سازگاری مبتنی بر شواهد محلی. چرا که در این سرزمین، تغییر اقلیم تنها یک تهدید آینده نیست، بلکه پدیده‌ای در حال حاضر و پیوسته است که هر

منابع

رنجر سعادت‌آبادی، ع. (۱۳۸۴). بررسی تغییرات میدان‌های باد

و دما در کلان‌شهر تهران ناشی از توسعه شهری. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۷۶، ۱۷۱-۱۸۸.

مهدی، ه.، هاشم‌خانی، م.، و ایروانی، ا. (۱۴۰۱). تحلیل روند تحقیقات علمی در حوزه تغییر اقلیم در ایران. مجله سلامت و محیط زیست، ۱۵(۲)، ۳۶۱-۳۷۸.

Bao, Y., Li, Y., Gu, J., Shen, C., Zhang, Y., Deng, X., ... & Ran, J. (2025). Urban heat island impacts on mental health in middle-aged and older adults. *Environment International*, 199, 109470.

Brázdil, R., Kürbis, K., Mudelsee, M., & Tetzlaff, G. (2009). Trends in extremes of temperature, dew point, and precipitation from long instrumental series from central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 187-195.

Brooks, H. E., Carbin, G. W., & Marsh, P. T. (2014). Increased variability of tornado occurrence in the United States. *Science*, 346(6207), 349-352. <https://doi.org/10.1126/science.1257460>

Cherchi, A., Ambrizzi, T., Behera, S., Freitas, A. C. V., Morioka, Y., & Zhou, T. (2018). The response of subtropical highs to climate change. *Current Climate Change Reports*, 4(4), 371-382.

Deng, J., Lai, G., & Fan, A. (2024). Effects of the Western Pacific Subtropical High on the urban heat island characteristics in the middle and lower reaches of the Yangtze River, China. *Computational Urban Science*, 4(1), 25.

Dettinger, M. D., Cayan, D. R., Meyer, M., & Jeton, A. E. (2004). Simulated hydrologic responses to climate variations and change in the Merced, Carson, and American River basins, Sierra Nevada, California, 1900-2009. *Climatic Change*, 62, 283-317.

Dracup, J. A., & Vicuna, S. (2005). An overview of hydrology and water resources studies on climate change: The California experience. *Proc. EWRI 2005: Impacts of Global Climate Change*.

Estrada, F., Botzen, W. W., & Tol, R. S. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature climate change*, 7(6), 403-406.

Gao, S., Chen, Y., Chen, D., He, B., Gong, A., Hou, P., ... & Cui, Y. (2024). Urbanization-induced warming amplifies population exposure to compound heatwaves but narrows exposure inequality between global North and South cities. *npj Climate and Atmospheric Science*, 7(1), 154.

Gao, S., Chen, Y., Chen, D., He, B., Li, K., & Hou, P. (2026). More intense and equal compound heatwaves driven by urbanization. *npj Urban Sustainability*, 6(1), 54.

and Australian cities and regions. *Science of the Total Environment*, 512, 582-598.

Serrano, A., Mateos, V. L., & Garcia, J. A. (1999). Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921–1995. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 24, 85–90.

Sheffield, J., Andreadis, K. M., Wood, E. F., & Lettenmaier, D. P. (2009). Global and Continental Drought in the Second Half of the Twentieth Century: Severity–Area–Duration Analysis and Temporal Variability of Large-Scale Events. *Journal of Climate*, 22(8), 1962–1981.

Suppiah, R., & Hennessy, K. J. (1998). Trends in total rainfall, heavy rain events and number of dry days in Australia, 1910–1990. CSIRO Division of Atmospheric Research.

Taszarek, M., Allen, J. T., Brooks, H. E., Pilguy, N., & Czernecki, B. (2021). Differing Trends in United States and European Severe Thunderstorm Environments in a Warming Climate. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102(2), E296–E322. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0004.1>

Vecchi, G. A., Landsea, C., Zhang, W., Villarini, G., & Knutson, T. (2021). Changes in Atlantic major hurricane frequency since the late-19th century. *Nature Communications*, 12(1), 4054. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24268-5>

Ventura, S., Miró, J. R., Peña, J. C., & Villalba, G. (2023). Analysis of synoptic weather patterns of heatwave events. *Climate Dynamics*, 61(9-10), 4679.

Weinkle, J., Maue, R., & Pielke, R. (2012). Historical Global Tropical Cyclone Landfalls. *Journal of Climate*, 25(13), 4729–4735. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00719.1>

Zak, M., Nita, I. A., Dumitrescu, A., & Cheval, S. (2020). Influence of synoptic scale atmospheric circulation on the development of urban heat island in Prague and Bucharest. *Urban Climate*, 34, 100681.

Zargari, M., Mofidi, A., Entezari, A., & Baaghdeh, M. (2024). Climatic comparison of surface urban heat island using satellite remote sensing in Tehran and suburbs. *Scientific Reports*, 14(1), 643. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55490-y>

Zhang, L., Liao, W., Chen, X., Cheng, S., & Yang, J. (2025). Temporally compound heatwave and its interaction with urban heat island over mainland China. *Earth's Future*, 13(8), e2025EF006490.

Zhang, X., Vincent, L. A., Hogg, W. D., & Niitsoo, A. (2000). Temperature and Precipitation Trends in Canada During the 20th Century. Climate Research Branch, Meteorological Service of Canada.

Zhao, L., Oppenheimer, M., Zhu, Q., Baldwin, J. W., Ebi, K. L., Bou-Zeid, E., ... & Liu, X. (2018). Interactions between urban heat islands and heat waves. *Environmental research letters*, 13(3), 034003.

its parts. *Journal of applied Meteorology and Climatology*, 52(9), 2051-2064.

Liu, C., Lu, S., Tian, J., Yin, L., Wang, L., & Zheng, W. (2024). Research overview on urban heat islands driven by computational intelligence. *Land*, 13(12), 2176.

Liu, J., Qi, J., Yin, P., Liu, W., He, C., Gao, Y., ... & Zhou, M. (2024). Rising cause-specific mortality risk and burden of compound heatwaves amid climate change. *Nature Climate Change*, 14(11), 1201-1209.

Liu, Z., Li, J., Wu, Y., Qin, C., & Liu, Y. (2025). Temporal trend of the frequency and maximum durations of surface urban heat islands over global cities. *Sustainable Cities and Society*, 120, 106141.

Luo, F., Yang, Y., Zong, L., & Bi, X. (2023). The interactions between urban heat island and heat waves amplify urban warming in Guangzhou, China: Roles of urban ventilation and local climate zones. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1084473.

Mann, M. E., Zhang, Z., Hughes, M. K., Bradley, R. S., Miller, S. K., Rutherford, S., & Ni, F. (2008). Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(36), 13252–13257.

Mann, M. E., Zhang, Z., Rutherford, S., Bradley, R. S., Hughes, M. K., Shindell, D., Ammann, C., Faluvegi, G., & Ni, F. (2009). Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science*, 326(5957), 1256–1260. <https://doi.org/10.1126/science.1177303>

Marengo, J. A., & Camargo, C. C. (2008). Surface air temperature trends in southern Brazil for 1960–2002. *International Journal of Climatology*, 28, 893–904.

Nott, J., Haig, J., Neil, H., & Gillieson, D. (2007). Greater frequency variability of landfalling tropical cyclones at centennial compared to seasonal and decadal scales. *Earth and Planetary Science Letters*, 255(3–4), 367–372. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.12.023>

OHCHR. (2022). Climate change the greatest threat the world has ever faced, UN expert warns. <https://www.ohchr.org/en/press-releases/2022/10/climate-change-greatest-threat-world-has-ever-faced-un-expert-warns>

Pew Research Center. (2022). Climate Change Remains Top Global Threat Across 19-Country Survey. <https://www.pewresearch.org/global/2022/08/31/climate-change-remains-top-global-threat-across-19>

Pielke, R. A. (2004). What is Climate Change? *Energy & Environment*, 15(3), 515–520. <https://doi.org/10.1260/0958305041494576>

Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian

Combined Effects of Climate Change and Urban Heat Islands on the Urban Climate of Iranian Cities

Mohammad Saligheh^{*1}, Ali Reza Karbalaee^{2*}, Hamed Taghavi³

¹ Professor of Climatology, Department of Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

² Assistant Professor of Climatology, Department of Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

³ Natural Resources Engineering – Environment, specializing in Land Evaluation and Land Use Planning, graduate of Payame Noor University, Tehran.

*Corresponding Author Email: saligheh@khu.ac.ir

Received: 18 February 2026, Accepted: 28 August 2026

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the role of climate change and urban heat islands on the climatic elements of Iranian cities. Climate change is recognized as the greatest threat to modern humanity. The climatic elements of Iran, particularly temperature and evapotranspiration, have undergone significant changes over the past five decades, resulting in increased crop water requirements. The research methodology was based on regression analysis and linear trend coefficients. The findings indicate that over the past 41 years, daytime and nighttime temperatures have increased at rates of 0.0245 and 0.0265 °C yr⁻¹, respectively, which are twice the global average. Annual evapotranspiration increased by 5.36 mm, while annual precipitation decreased by 1.1 mm. Precipitation variability has increased, and the drought index has remained negative over the past 19 years. The combined effects of global warming and urban heat islands have increased air temperature by up to 4 °C in some selected cities. Overall, the intensification of unfavorable climatic conditions and the interaction of these two phenomena have exacerbated environmental crises in Iranian cities and threatened ecological sustainability. This situation has reduced urban livability. Water resource management should be reconsidered in response to these changes. These findings highlight the necessity of urban management and adaptation to climate change.

Keywords: Climate change, global warming, urban heat islands, drought index

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Saligheh, M., Karbalaee, A.R., and Taghavi, H. (2026). Combined Effects of Climate Change and Urban Heat Islands on the Urban Climate of Iranian Cities. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science.*, 9(1): 89- 104. Doi: <https://doi.org/10.22034/jmas.2026.576670.1267>

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

