

واکاوی روند تغییرات دمایی شهر اصفهان و پیرامون آن

خدیجه صالحی

کارشناس ارشد جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

امیر گندمکار *

دانشیار گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۳

چکیده

در سال‌های اخیر تغییرات کاربری زمین در شهر اصفهان و پیرامون آن در حال افزایش بوده است و این تغییرات ناشی از عواملی مانند افزایش جمعیت، منافع اقتصادی و تغییر نیازمندی‌های جامعه بوده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات دمای شهر اصفهان و پیرامون آن در دوره چهل‌ساله (۱۹۷۹-۲۰۱۸) انجام شده است. پژوهش حاضر، بر اساس هدف در شمار پژوهش‌های کاربردی بوده و روش انجام آن، با توجه به موضوع پژوهش و ماهیت آن توصیفی-تحلیلی است و برای بررسی تغییرات دمایی متأثر از تغییرات کاربری و توسعه شهری شهر اصفهان، داده‌های دمایی از شهر اصفهان و محدوده ۵۰ کیلومتری اطراف شهر اصفهان از پایگاه اطلاعاتی مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) گردآوری شده است، برای راستایی آزمایشی، داده‌های مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی اصفهان، فرودگاه اصفهان و نجف‌آباد مقایسه و ارزیابی شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در این دوره ۴۰ ساله شاهد افزایش محسوس متوسط دمای سالانه از ۰/۶ درجه در محدوده شرق شهر اصفهان تا ۰/۱۱ درجه در محدوده غرب بوده‌ایم. بدین معنی که متوسط درجه حرارت شهر اصفهان و نواحی پیرامون آن طی یک دوره ۴۰ ساله بین ۲/۵ درجه تا ۴ درجه افزایش یافته است.

واژگان کلیدی: گرمایش جهانی، تغییرات دما، تغییرات کاربری اراضی، شهر اصفهان

مقدمه

جهان امروزه جریان بی‌سابقه‌ای از شهری شدن را تجربه می‌کند. رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی یکی از عوامل مؤثر برافزایش دمای هوا در نواحی شهری است که موجب ایجاد جزیره حرارتی بر روی این مناطق در مقایسه با محیط اطراف می‌شود و اثرات ناشی از آن می‌تواند نقشی اساسی و مهم در کیفیت هوا و به تبع آن سلامت عمومی ایفا نماید (محمدی و عقیفی ۱۴۰۰) در واقع، یکی از آثار ناخواسته و منفی توسعه شهری، افزایش دمای محیط شهری است. شهرها نسبت به پیرامون خود دمای بیشتری دارند و این پدیده به‌عنوان جزیره حرارتی شهری (UHI) شناخته می‌شود. فرایندهای متعددی در بین اجزای ساختاری شهر حضور دارند که در عملکرد حرارتی شهر و تشکیل جزایر حرارتی مؤثرند که مهم‌ترین آن‌ها

عبارت است از تغییر در ویژگی‌های فیزیکی سطوح (آلبیدو، ظرفیت حرارتی، هدایت حرارتی) به علت جایگزینی پوشش گیاهی با آسفالت و بتون، کاهش رطوبت سطحی مورد نیاز برای تبخیر و تعرق، تغییرات در شار تابشی و جریان‌های نزدیک به سطح و انتشار گرمای انسان‌ساز. جزایر حرارتی شهری بر کیفیت هوای مناطق شهری تأثیر منفی دارد و آثار سوء بر اراضی پیرامونی، خرد اقلیم میزان بارش، دما و جریان باد، آلودگی‌ها و مصرف منابع آب می‌گذارد (شیائو و همکاران، ۲۰۰۶، ۴)؛ بنابراین، آثار نامطلوب فوق به همراه تولید گازهای آلاینده ضمن فشارهای روانی بر شهروندان، منجر به افزایش هزینه تولید انرژی در سطح شهر می‌شود (دوان^۱ و همکاران، ۲۰۲۱) از آنجا که دلیل اصلی پیدایش جزیره حرارتی شهر (UHI) نحوه استفاده از زمین و تغییر کاربری اراضی است، این تحول از طریق اقداماتی نظیر حذف پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی کنار دریا و رودخانه، ساخت و سازهای جدید و همچنین سازه‌های بتونی در جهت افقی، آسفالت خیابان‌ها و کوچه‌ها، فعالیت‌های صنعتی و خانگی، باعث سرعت بخشیدن به گسترش و توسعه جزیره حرارتی شهری می‌شود (شیائو و همکاران، ۲۰۰۶، ۵). افزایش درجه حرارت و گسترش جزیره گرمایی موجب بالا رفتن خطر بیماری‌های ناشی از این گرما و حتی مرگ و میر می‌شود. (اوسوالد^۲ ۲۰۱۲، ۱۰)

شهر اصفهان به دلیل مکان‌یابی نامناسب مراکز صنعتی، دارای آلودگی بیش از حد هواست. بنا بر اعلام سازمان حفاظت محیط‌زیست، اصفهان دومین شهر آلود ایران بعد از تهران است، وضعیت اقلیمی آن نیز به گونه‌ای است که بر اساس اعلام سازمان هواشناسی، هوا در طول ۲۰۰ روز از سال حالت ایستایی دارد. همچنین پدیده وارونگی به هنگام آغاز فصول سرد، سبب سکون هوا و عدم تخلیه آلاینده‌های زیست‌محیطی در بالای شهر می‌شود (محبوب فر و همکاران، ۱۳۹۷) اصفهان در گذشته از باغ‌ها و فضاهای سبز روح‌انگیز بسیار زیادی برخوردار بوده و در دور صفویه بیش از هر دور دیگر به اهمیت فضای سبز و نقش آن در زیبایی شهر و سلامتی مردم توجه داشتند (مجتهدی، ۱۳۷۹، ۴) اما امروزه با گسترش بدون برنامه‌ریزی و مناسب با مشکلات اقلیمی و زیست‌محیطی بسیاری روبرو شده است بررسی تغییرات دمایی شهر اصفهان و شناخت تغییرات جزایر حرارتی شهر اصفهان و شناخت تغییراتی که باعث ایجاد یا تشدید جزیره حرارتی به منظور برنامه‌ریزی جهت کاهش احتمالی اثرات مخرب این پدیده است. بر این اساس پژوهش حاضر، جهت پاسخ به پرسش زیر طراحی شده است: تغییرات کمی و کیفی کاربری اراضی و میزان توسعه شهری در شهر اصفهان در دوره چهل ساله (۱۹۷۹-۲۰۱۸) به چه میزان است؟ و تأثیر آن بر روند الگوهای دمای سطح زمین شهر اصفهان چگونه بوده است؟

کسئو و همکارانش^۳ (۲۰۱۴) به مقایسه تکنیک‌های درون‌یابی فضایی دمای شهری محلی پرداختند. هدف این پژوهش مقایسه نه تکنیک درون‌یابی فضایی GIS برای تخمین دمای سطح خیابان در یک شهر نیمه گرمسیری است. شهر تایپه، تایوان، در منطقه نیمه گرمسیری با یکی از بالاترین تراکم جمعیت در جهان واقع شده است. تایپه زمستان‌های گرم‌تر و

1. Dewan

2 - Oswald

3 Coseo

تابستان‌های گرم‌تر را در ۱۰ سال اخیر با میانگین دمای ۱۶٫۴ تا ۳۰٫۱ درجه سانتی‌گراد تجربه کرده است و انتظار می‌رود در سال‌های ۲۰۸۱-۲۱۰۰ از ۰/۸ به ۳/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. در این مطالعه، از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی اداره مرکزی هواشناسی تایوان و سایت‌های نظارت هوای اداره حفاظت از محیط‌زیست تایوان استفاده شد و از نه تکنیک درون‌یابی استفاده شد. اقلیم‌های شهری محلی سیستم‌های پیچیده‌ای هستند، انتخاب یک تکنیک درون‌یابی قوی که محرک‌های اساسی را به حساب می‌آورد برای سیاست‌گذاران ضروری است. این پژوهش مبنایی را برای تخمین بیشتر خطر گرمای بیش از حد با تخمین دمای سطح خیابان در فضای باز و اثرات تغییر محیط ساخته شده فراهم می‌کند.

وبمگا^۱ و همکارانش (۲۰۲۰) ارزیابی گرم شدن جزایر حرارتی شهری در منطقه اکرا^۲ را مطالعه کردند. طی دهه گذشته، این منطقه با تغییر جمعیت سریع و گسترش روبرو شده است. این امر محیط طبیعی منطقه را تغییر داده و منجر به شکل‌گیری و گرم شدن جزیره حرارتی شهری (UHI) شده است. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست^۳ که در سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۷ گرفته شده بود و حداقل و حداکثر دمای روزانه در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ استفاده شد. مناطق ساخته‌شده و زمین‌های بایر قوی‌ترین اثر گرم شدن UHI را تجربه کردند. علاوه بر این، افزایش اثر گرمایش UHI باعث افزایش دفعات و شدت افراط درجه حرارت گرم در منطقه می‌شود. افزایش سریع‌تر دمای شبانه نسبت به روز، منجر به کاهش محدوده دمای روزانه منطقه می‌شود. با توجه به نرخ بالای گرم شدن در میان گسترش سریع شهری، گرمایش بیشتری در منطقه انتظار می‌رود.

جی لئو و همکارانش^۴ (۲۰۲۰) به شناسایی ارتباط بین بزرگی گرمای شهری و تغییر بارندگی شهری با استفاده از الگوریتم‌های کشف علی پرداختند. این مطالعه اولین تکنیک صرفاً مبتنی بر داده برای ارزیابی مشکل کلاسیک آب و هوایی شهری رابطه بین جزیره گرمایی شهری (UHI) و بارندگی شهری است. مناطق شهری بر آب و هوای منطقه تأثیر می‌گذارد. کی‌لیو و همکارانش^۵ (۲۰۲۱) در مقاله خود تحت عنوان "از گسترش مناطق به مناطق پایدار: شناسایی، طبقه‌بندی و عوامل تعیین‌کننده جزایر حرارتی شهری با فرکانس چندگانه" با در نظر گرفتن جزایر حرارتی شهری فرکانس چندگانه (MFUHI) یک رویکرد جدید برای شناسایی مکان‌ها و محدوده UHI های پایدار ایجاد کردند. MFUHI ها از طریق داده‌های سنجش از دور چند زمانه و تجزیه و تحلیل الگوی مکانی مورفولوژیکی (MSPA) شناسایی شدند و این رویکرد در منطقه مورد نظر پکن، پایتخت چین اعمال شد. به‌طور خاص، MFUHI ها در پکن بر اساس مشخصات میدانی، بر اساس بررسی میدانی و داده‌های سنجش از دور طبقه‌بندی شدند. شاخص‌های چشم‌انداز شامل انواع کاربری زمین، پارامترهای بیوفیزیکی (شاخص تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، نسبت مناطق آب و سطح غیرقابل نفوذ (ISA) و معیارهای سه بعدی (تراکم ساختمان و ارتفاع ساختمان) بود که به‌عنوان عامل ایجاد کننده در نظر گرفته شد. عوامل رابطه بین دمای

¹ Wemegah

² accra

³ Landsat

⁴ Jie Liu

⁵ Qi Liu

سطح زمین و شاخص‌های چشم‌انداز با استفاده از رگرسیون‌های حداقل مربعات معمولی (OLS) و شاخص مشارکت وزنی منطقه (AWCI) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که MFUHI ها در پکن دارای چهار ناحیه کلیدی هستند که در آن‌ها دمای سطح بیش از ۹ °C بیشتر از دمای متوسط منطقه شهری است و دمای هوا ۳/۳-۸/۵ °C بالاتر از دمای ساخته شده در منطقه غیر UHI است. با توجه به نتایج AWCI و بررسی میدانی، MFUHI ها در حمل و نقل، بلوک تاریخی، تجاری و مرکز درجه حرارت دهکده شهر طبقه‌بندی شدند. یافته‌های اصلی نشان داد که مناطق خاصی بین مرکز شهر و مناطق روستایی که برنامه‌ریزی صحیحی در آن‌ها اجرا نمی‌شود، نقاط مهمی برای کاهش و حذف خطرات UHI هستند. رویکرد پیشنهادی می‌تواند به سیاست‌گذاران در توسعه استراتژی‌های کاهش هدفمند در برنامه‌ریزی شهری کمک کند.

اشرف دوان و همکارانش^۱ (۲۰۲۱) در مقاله خود تحت عنوان "شدت جزیره گرمای شهری در پنج شهر بزرگ بنگلادش: الگوها، محرک‌ها و روندها" به بررسی تغییرات زمانی و مکانی شدت جزیره گرمای شهری سطح روز و شب (SUHII) در شهرهای بزرگ بنگلادش پرداختند. این شهرها دارای جمعیت زیادی هستند و به‌طور کلی منابع لازم برای مقابله با تأثیرات سریع شهرنشینی را ندارند، بنابراین هرگونه افزایش دمای شهری می‌تواند به‌طور مستقیم (به دلیل شرایط موج گرما) یا غیرمستقیم (به دلیل از دست دادن معیشت) مردم را تحت تأثیر قرار دهد. مجموعه‌های زمانی روزانه (روز/شب) داده‌های دمای سطح زمین (MODIS (LST) برای دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۹ برای تولید اطلاعات پایه در مورد شدت SUHI، محرک‌ها و روندهای زمانی استفاده شد. پنج شهر بزرگ بر اساس اندازه جمعیت و نرخ گسترش شهری انتخاب شدند. نتایج نشان داد که SUHII سالانه در شهرهای بزرگ داکا و چیتاگونگ بیشتر از شهرهای کوچک‌تر بود. SUHII مشاهده شده در طول روز نیز بیشتر از شب بود. جمعیت (از نظر اندازه شهر و پوشش سطح)، عدم سرسبزی عوامل اصلی مؤثر بر SUHII بودند. ارزیابی روندها روند مثبت را در طول روز در چهار شهر از پنج شهر نشان داد، در حالی که یک شهر روند منفی را در شب ثبت کرد. یافته‌ها ممکن است بینش جدیدی در مورد تأثیرات ناشی از شهرنشینی سریع و تغییرات جمعیتی ارائه دهند. عبدالطیف و همکارانش^۲ (۲۰۲۱) در مقاله خود تحت عنوان "اثر بخشی زیرساخت سبز شهری در کاهش جزیره گرمایی سطحی شهری" به بررسی و تحلیل استراتژی‌های سازگاری مناسب و پایدار برای مقابله با خطرات آب و هوایی در شهر بغداد پرداختند. در دهه‌های گذشته، شهر بغداد شاهد افزایش شدت جزیره گرمایی شهری (SUHI) در نتیجه تغییر پوشش زمین و تراکم جمعیت بود. با مرور ادبیات مرتبط، مشخص شد که بسیاری از مطالعات شدت و علل SUHI را مورد بحث قرار داده‌اند، با این حال دانش محدودی در مورد سازگاری با چنین پدیده‌ای وجود دارد. به‌طور کلی، زیرساخت سبز شهری (UGI) نشان‌دهنده یک استراتژی پایدار حیاتی است که می‌تواند به‌طور هم‌زمان به "سازگاری و کاهش" تغییرات آب و هوایی دست یابد. بر این اساس، هدف از این مطالعه ارزیابی اثر بخشی UGI در کاهش SUHI در شهر بغداد است.

¹ Ashraf Dewan

² [Abdulateef](#)

شهرداری ریسافا^۱ به عنوان یک مطالعه موردی انتخاب شد، زیرا از سطح بالایی از خطر SUHI رنج می برد. با استفاده از یک برنامه شبیه سازی آب و هوایی رایانه ای؛ ENVI-met، درجه حرارت سطوح مختلف در منطقه مورد مطالعه را ارزیابی کرد و دو مدل معمولی انتخاب شد. دمای سطح (Ts) نقاط مختلف در این دو مدل با توجه به سناریوی مورد اصلی و سه سناریوی پیشنهادی UGI اندازه گیری شد. نتایج نشان می دهد که UGI نقش آشکاری در کاهش Ts در هر دو مدل دارد. همچنین مشخص شد که اثرات خنک کننده تزریق سناریوهای UGI در سطوح مشابه دو مدل همگرا است. این مؤثر بودن UGI در کاهش SUHI در شهر بغداد را تأیید می کند.

وانگ و همکارانش^۲ (۲۰۲۱) در مقاله خود تحت عنوان "محرک های محیطی و انسانی مؤثر بر شدت جزیره گرمایی شهری: مطالعه موردی در دلتای رودخانه یانگ تسه، چین" از داده های دمای سطح زمین (MODIS LST) استفاده کردند. تجمع شهری دلتا رودخانه یانگ تسه (YRDUA)، شرق چین، به عنوان نمونه ای برای مطالعه SUHI و عوامل تأثیرگذار متعدد در ۱۶ شهر بزرگ انتخاب شد. عوامل انسانی در تعیین SUHI مهم ترین عوامل در نظر گرفته می شوند، در حالی که عوامل طبیعی همچنان مؤثر هستند. با استفاده از نمونه گیری تصادفی طبقه ای (SRS)، ۷۸،۰۸۵ نقطه تصادفی در ۱۶ شهر انتخاب شد. نه عامل مؤثر در این مطالعه انتخاب شد: فاصله از ساختمان (BD)، فاصله از جاده های اصلی (RD)، فاصله از آب (WD)، محصول مدل ارتفاع دیجیتال (DEM)، تولید ناخالص داخلی (GDP)، تفاوت طبیعی پوشش گیاهی (NDVI)، شدت روشنایی شب (NTI)، جمعیت (POP) و داده های سطح غیرقابل نفوذ (ISA) شدت SUHI در هر نقطه تصادفی و همچنین ارزش عوامل مؤثر، NDVI، DEM، ISA، POP، NTI و GDP استخراج شد. برای BD، WD و RD، نقاط تصادفی از آب، ساختمان و جاده های اصلی با استفاده از ابزار ArcGIS برای اندازه گیری این فاصله ها انتخاب شد. از مدل درخت رگرسیون تقویت شده (BRT) برای جذب مشارکت عوامل فوق در SUHI استفاده شد، همچنین یک روش متفاوت برای ارزیابی تأثیر نسبی کاربری زمین و پوشش زمین (LULC) اعمال شد. تأثیر نسبی به مشارکت هر عامل در تعیین SUHI اشاره دارد. عوامل تأثیرگذار بر اساس تأثیر نسبی بر SUHI رتبه بندی شدند. نتایج نشان داد که (۱) شدت SUHI بالاتر به ترتیب در شهرهای شانگهای، جیاکسینگ و نانجینگ ثبت شده است، در حالی که در هانگژو کمترین SUHI ثبت شده است. (۲) عوامل مؤثر انسانی نسبت به عوامل مؤثر طبیعی تأثیر نسبی بیشتری بر SUHI دارند و به ترتیب ۵۱/۲۹٪ و ۴۸/۷۱٪ تأثیر را نشان داده اند.

ساسان پور و همکاران (۱۳۹۲) بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی با جزایر حرارتی شهر تهران پرداختند، یافته های پژوهش نشان داد که ارتباط مستقیمی میان وجود جزایر حرارتی و ساخت و ساز بیشتر و مناطق بایر گسترده تر و رابطه معکوس میان مقادیر NDVI و پوشش گیاهی با دما و جزایر حرارتی وجود دارد

¹ Risafa

² Wang

رنجبر سعادت آبادی و همکاران) (۱۳۸۴) در پژوهشی به بررسی تغییرات ناشی از آثار شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم محلی در کلان‌شهر تهران و شهر ورامین پرداختند. نتایج حاصله، بیانگر افزایش قابل ملاحظه روند دمای کمینه تهران در مقایسه با بیشینه آن است. همچنین روند افزایش میانگین سالانه دمای کمینه در تهران تقریباً چهار برابر ورامین می‌باشد. اختلاف میانگین چهل‌ساله دماهای کمینه تهران با ورامین در ماه سپتامبر بیشینه و در فوریه کمترین مقدار را دارد. این اختلاف‌های فاحش در روند افزایشی دمای کمینه تهران نسبت به ورامین بیانگر آثار شهری از جمله آزاد شدن گرمای دست‌ساز بشر و مصنوعی زیاد و در نتیجه ایجاد جزیره گرمایی و تغییرات اقلیم محلی در تهران است.

شعبانی و همکارانش (۱۳۹۸) به بررسی آثار تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای زمانی - مکانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی؛ مطالعه موردی: شهرستان سقز پرداختند. هدف این مطالعه، بررسی آثار تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای زمانی - مکانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی در شهرستان سقز است. در این مطالعه نخست تصاویر سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۸، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI طبقه‌بندی و سپس با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا دمای سطح زمین در محیط GIS استخراج شد؛ همچنین برای بررسی زمانی - مکانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شاخص‌های NDVI، UHII و UHIII به کار رفت و دمای طبقات پوشش گیاهی کم، متوسط و زیاد طی دوره استخراج شد. نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی با ضریب کاپای بیش از ۸۰ درصد، معتبر بودن نتایج را نشان می‌دهد. همچنین نتایج بررسی تغییرات کاربری‌ها حاکی از روند افزایشی کاربری‌های آب، نواحی مسکونی و بایر و روند کاهش پوشش گیاهی است؛ به بیان دیگر ۳/۶۸، ۳۸/۴۳ و ۵۱۴/۰۲ کیلومتر مربع به ترتیب به مساحت کاربری‌های آب، نواحی مسکونی و بایر افزوده و ۵۵۰/۰۶ کیلومتر مربع از مساحت پوشش گیاهی در دور ۲۹ ساله کاسته شده است. نتایج بیشترین دمای هر کاربری نیز نشان‌دهنده روند افزایشی دما در کاربری‌های نواحی مسکونی، بایر و پوشش گیاهی طی دور مطالعه شده است و با توجه به نتایج شاخص‌های UHII و UHIII، طبقه با پوشش گیاهی کم بیشترین دما را نسبت به طبقات با پوشش گیاهی متوسط و زیاد داشته است. بر اساس نتایج این شاخص‌ها نیز جزایر حرارتی در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ در نواحی شمال شرق این شهرستان رخ داده است. پژوهش حاضر علاوه بر بررسی تأثیر تغییرات هر کاربری بر تغییرات دمای سطح زمین، به معرفی و استفاده از شاخص‌های UHII و UHIII برای تحلیل زمانی - مکانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی توجه داشته است.

یوسفی (۱۳۹۹) به بررسی تغییرپذیری دمایی فضا‌های شهری بابلسر برای شناخت جزیره حرارتی پرداخت. هدف اصلی این کار بررسی تفاوت‌های دمایی در نقاط مختلف شهری و تشخیص شکل‌گیری جزیره حرارتی است. بدین منظور از داده‌های برداشت‌شده ساعتی از ۳ دستگاه ثبت‌کننده خودکار دما و ایستگاه بابلسر (در مجموع ۴ ایستگاه) با گام یک‌ساعته استفاده شد.

هاشمی دره بادامی و همکارانش (۱۳۹۹) به تحلیل تغییرات جزیره حرارتی سطوح شهری در روز و شب با استفاده از محصولات چند زمانه سنجنده مادیس (مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران) پرداختند. در این تحقیق از داده‌های چند زمانه

MODIS (آکوا و ترا)، به منظور تحلیل SUHI در شب و روز در کلان‌شهر تهران استفاده شد. خواص فیزیکی و بیوفیزیکی سطح زمین از قبیل کاربری اراضی، ارتفاع، آلودگی، شاخص پوشش گیاهی NDVI و شاخص سطوح نفوذناپذیر NDBI به منظور تفسیر تغییرات LST و SUHI استفاده شد. نتایج نشان داد که SUHI در تهران، دارای نوسانات مکانی و زمانی روزانه و فصلی است به طوری که در ایام گرم سال در طول روز جزیره سرمایی سطوح شهری (SUCL) در سطح شهر تهران تشکیل می‌شود. در شب مقدار شاخص SUHI بین ۲ تا ۵ درجه سانتی‌گراد (حداکثر در بهار) متفاوت است. همچنین نتایج نشان داد که ویژگی‌های حرارتی متفاوت پوشش‌های زمین، آلودگی و ارتفاع مهم‌ترین عوامل تغییرات روزانه SUHI تهران است در حالی که تغییرات فنولوژیکی پوشش گیاهی و آلودگی، مهم‌ترین عوامل تغییرات فصلی SUHI تهران است. با توجه به اهمیت موضوع تغییرات دمایی، اثرات آن و لزوم توجه و اهمیت به عوامل مؤثر در سال‌های اخیر عوامل مؤثر بر این پدیده اقلیمی مطالعه و بررسی شده است. اکثر مطالعات به مسئله پوشش گیاهی و فضای سبز و تأثیر آن بر کاهش جزایر حرارتی شهری را نشان می‌دهد. در این پژوهش بررسی تغییرات دمایی شهر در شهر اصفهان و محدوده ۵۰ کیلومتری اطراف و شناسایی توزیع مکانی - زمانی محدوده‌های دارای جزیره حرارتی به منظور برنامه‌ریزی جهت کاهش احتمالی اثرات مخرب این پدیده است. با توجه به اهمیت دو پدیده تغییر کاربری اراضی و شهرنشینی و رابطه چند سویه این عوامل با جزایر حرارتی در این پژوهش این دو عامل هم مطالعه شده است.

داده‌ها و روش‌ها

پژوهش حاضر با استفاده از زمینه و بستر شناختی و معلوماتی که از طریق سایر تحقیقات بنیادی در علم آب و هواشناسی و علوم مرتبط، فراهم شده است بنابراین از حیث هدف در زمره تحقیقات کاربردی می‌باشد و به ارزیابی تغییرات دمایی شهر اصفهان و پیرامون می‌پردازد. در تبیین ادبیات و سوابق موضوع، از مطالعات کتابخانه‌ای و برای جمع‌آوری اطلاعات با توجه به ماهیت پژوهش از روش‌های میدانی بهره گرفته شده است. در این پژوهش به منظور رسیدن به نتایج مطلوب، از داده‌های دمایی شهر اصفهان و محدوده ۵۰ کیلومتری اطراف شهر اصفهان از پایگاه اطلاعاتی مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) گردآوری شد همچنین به منظور ارزیابی و تحلیل نتایج از روش‌های تحلیل مکانی و زمانی استفاده شده است. بر اساس روش، تحقیق حاضر از نظر دسته‌بندی تحقیقات، یک پژوهش توصیفی از نوع کاربردی می‌باشد. به منظور بررسی روند تغییرات دمایی شهر اصفهان و پیرامون آن، داده‌های پوشش‌دهنده شهر اصفهان و محدوده ۵۰ کیلومتری شهر اصفهان که شامل شاهین‌شهر، زرین‌شهر، مبارکه و نجف‌آباد را شامل می‌شود با استفاده از پایگاه اطلاعاتی مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) به صورت پیکسل از اطراف برای سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۸ به صورت ماهانه تهیه شده است و سپس برای هر سال میانگین سالانه گرفته شده است و سپس با استفاده از مدل کریجینگ برای هر سال یک نقشه سالانه تهیه شده است و سپس نقشه‌های رستری تهیه شد و داده‌ای رستری به پیکسل‌های ۱۰ کیلومتری وکتور تبدیل شد.

مراحل انجام پژوهش

- * جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها از پایگاه اطلاعاتی مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF)؛
- * پردازش داده‌های دمایی سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۸ به صورت ماهانه؛
- * تبدیل داده‌های دمایی سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۸ به صورت میانگین سالانه؛
- * میان‌بازی داده‌های دمایی با استفاده از مدل کرچینگ و تهیه نقشه پراکنش دمایی چهل‌ساله؛
- * تبدیل نقشه رستر شده با پیکسلی‌های ۱۰ کیلومتری به وکتور؛
- * تحلیل پیکسلی‌ها و تعیین روند تغییرات دما در محدوده ۱۹۷۹-۲۰۱۸ با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی.

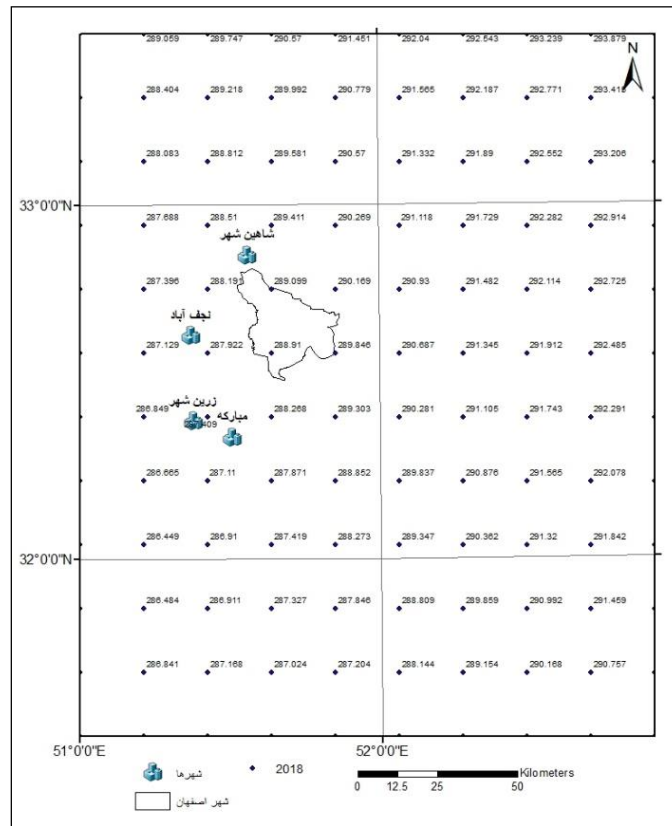
محدوده مورد مطالعه

شهر اصفهان با مساحت ۵۵۰ کیلومتر مربع و پیرامون ۱۳۶ کیلومتر، به صورت یک‌چند ضلعی نامنظم است که طول شمالی-جنوبی آن به طور متوسط ۲۷ کیلومتر و عرض متوسط غربی-شرقی آن ۲۵ کیلومتر است. حد شمالی محدوده شهر به خورزوق و شاهین‌شهر، حد جنوبی آن به خط راه آهن، حد غربی آن به شهر درچه و خمینی شهر و حد شرقی به اول جاده نائین منتهی می‌شود. اطلاعات به دست آمده از مدل رقومی ارتفاعی شهر نشان می‌دهد متوسط ارتفاع شهر اصفهان ۱۶۰۷ متر است که به متوسط ارتفاع استان اصفهان که ۱۵۶۳ متر است بسیار نزدیک است. پست‌ترین نقطه شهر با ارتفاع ۱۵۴۶ متر در منتهی‌الیه بخش شرقی و مرتفع‌ترین نقطه قله کوه صفا با ۲۲۱۶ متر واقع در جنوب غربی شهر است. این اختلاف ارتفاع، دامنه ارتفاعی در حدود ۶۷۰ متر ایجاد نموده است. به خاطر داشته باشیم قله کوه آتشگاه تنها حدود ۴۰ متر از حاشیه خود بلندتر است.

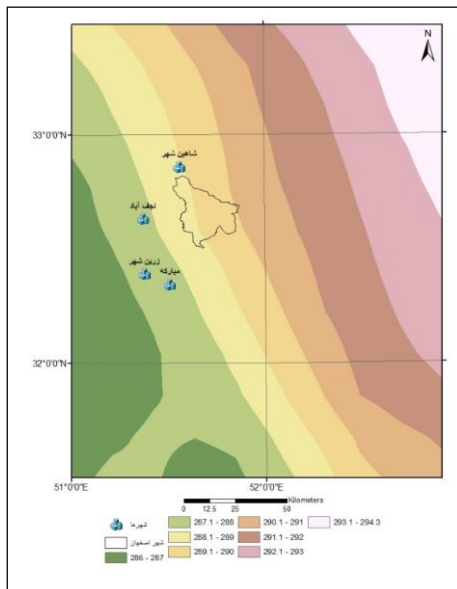
یافته‌های پژوهش

به منظور ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی متوسط دمای شهر اصفهان و پیرامون آن ابتدا اطلاعات مورد نیاز از ایستگاه‌های پوشش‌دهنده شهر اصفهان و محدوده ۵۰ کیلومتری شهر اصفهان که شامل شاهین‌شهر، زرین‌شهر، مبارکه و نجف‌آباد را شامل می‌شود با استفاده از پایگاه اطلاعاتی مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) به صورت پیکسل از اصفهان و اطراف برای سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۸ به صورت ماهانه تهیه شده است. (شکل ۱)

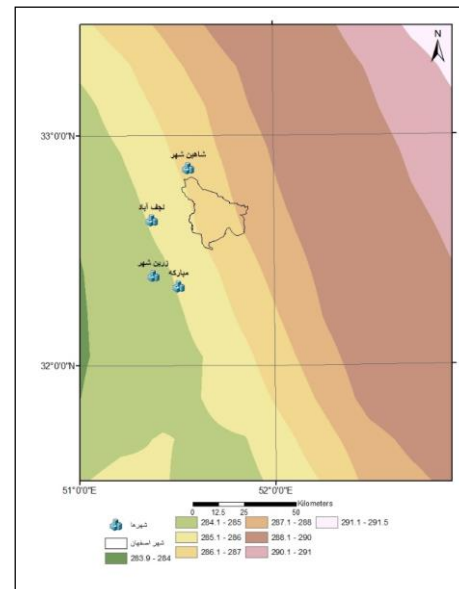
با استفاده از داده‌های ماهانه تهیه شده از سایت ECMWF میانگین سالانه دمای منطقه تهیه شد و داده‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به نقشه تبدیل شده است. برای نمونه نقشه سال ۱۹۷۹ و ۲۰۱۸ در شکل (۲) و (۳) نمایش داده شده است. نقشه نشان می‌دهد که با حرکت از سمت شرق به غرب شاهد کاهش دما مشاهده می‌شود و دما از ۲۹/۱/۵ کلون در شرق به دمای ۲۸/۳ کلون در غرب رسیده است.



شکل ۱: نقشه پیکسل‌های اولیه با ابعاد ۰,۱۲۵ درجه در ۰,۱۲۵ درجه

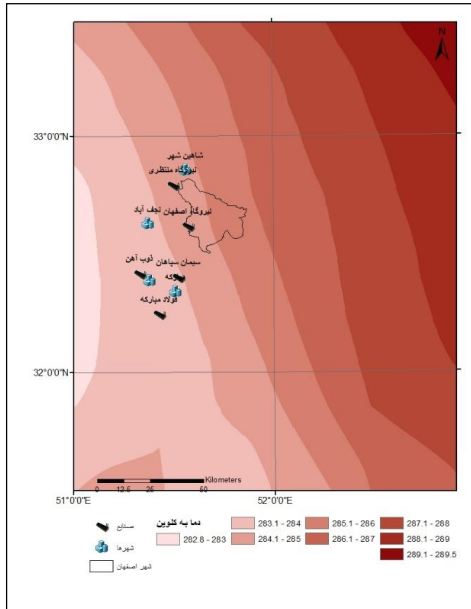


شکل ۳: نقشه خطوط هم‌دمای سال ۱۹۷۹

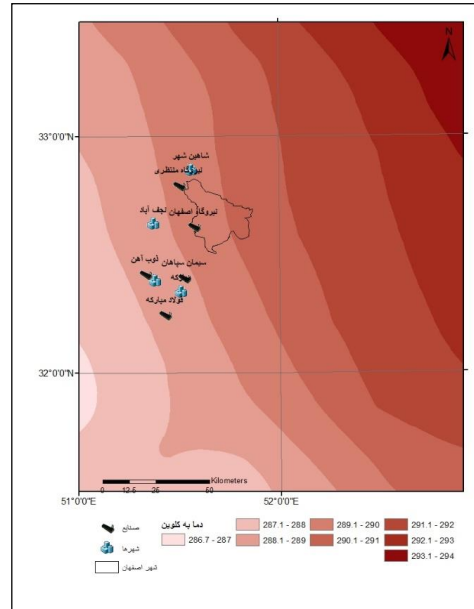


شکل ۲: نقشه خطوط هم‌دمای سال ۲۰۱۸

مطالعه تغییرات دمایی نشان می‌دهد که در مدت زمان (۲۰۱۸-۱۹۷۹) سال ۱۹۸۶ سردترین سال و سال ۲۰۱۰ به‌عنوان گرم‌ترین سال بوده است. در سال ۱۹۸۶ حداقل دما ۲۸۲ کلوین و در سال ۲۰۱۰ حداقل دما ۲۸۶/۲ کلوین است و در سال ۱۹۸۶ حداکثر دما ۲۸۹/۵ و در سال ۲۰۱۰ حداکثر دما ۲۹۴ کلوین است. (شکل ۴ و ۵)

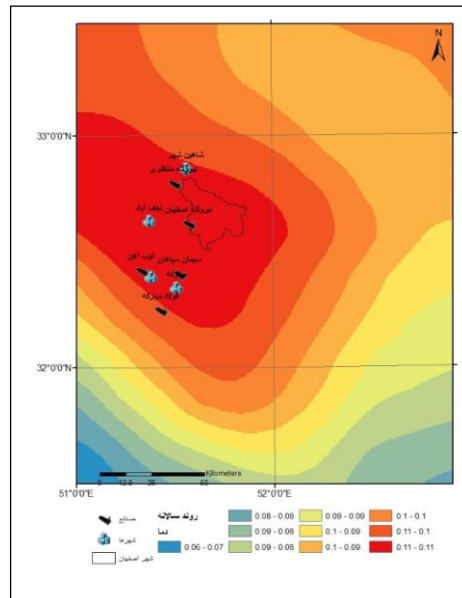


شکل ۵: نقشه دمایی سال ۱۹۸۶ به‌عنوان سردترین سال در محدوده زمانی (۱۹۷۹-۲۰۱۸)

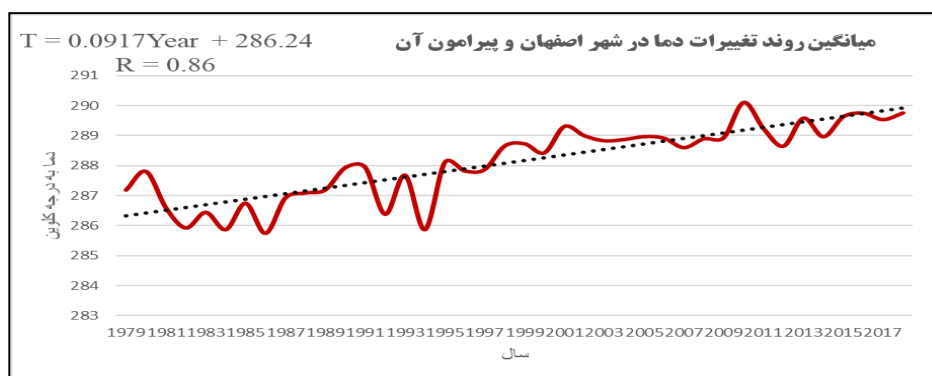


شکل ۴: نقشه دمایی سال ۲۰۱۰ به‌عنوان گرم‌ترین سال در محدوده زمانی (۱۹۷۹-۲۰۱۸)

نقشه تغییرات دما در محدوده زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۸ با توجه به تغییرات دما بر روی هر پیکسل مشخص شده است و در نهایت تغییرات به‌صورت نقشه تهیه شده است که در شکل ۶) نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که به بیشترین میزان تغییرات دمایی در منطقه شهر اصفهان، غرب و شمال غرب و مناطق پیرامونی است، در این روند ۴۰ ساله شاهد افزایش محسوس دما است در اولین نگاه آنچه که از آمارهای موجود می‌توان به دست آورد افزایش محسوس دما از ۰/۰۶ در محدوده شرق آغاز شده است و تا ۰/۱۱ در محدوده غرب ادامه یافته است. بدین معنی که در طی یک دوره زمانی چهل‌ساله، متوسط درجه حرارت در شهر اصفهان به سمت غرب و شمال غرب تا ۰/۱۱ افزایش پیدا کرده است. نقشه تهیه شده از تغییرات دمایی نشان می‌دهد که میزان افزایش دما در محدوده شهر اصفهان و غرب اصفهان و محدوده شهر نجف‌آباد بیشتر است و در شرق اصفهان تغییرات دما کمتر است. (شکل ۶)



شکل ۶: نقشه تغییرات دمایی اصفهان و پیرامون آن در محدوده زمانی (۱۹۷۹-۲۰۱۸)



شکل ۷: نمودار میانگین تغییرات دما در شهر اصفهان و پیرامون آن در محدوده زمانی (۱۹۷۹-۲۰۱۸)

و در نهایت روند تغییرات دما در شهر اصفهان و پیرامون آن به صورت نمودار در شکل (۷) نمایش داده شده است نمودار نشان می‌دهد که تغییرات دمایی دارای شیب مثبت است. نمودار به صورت چشمی نشان می‌دهند که روند افزایشی با شدت اندک وجود دارد. معادلات روند روی شکل درج شده است. شیب مثبت است؛ یعنی در سال‌های اخیر تقریباً به طور متوسط هر سال اندکی گرم شده‌اند. این شیب گرادیان افزایش دما را نشان می‌دهد. این عدد نشان‌دهنده تشکیل و رشد جزیره حرارتی سالانه در اصفهان است.

هرچند دامنه و میانگین دمای منطقه مورد مطالعه تغییر ناچیزی داشته است اما الگوی پراکنش جغرافیایی و وسعت کلاس‌های حرارتی دما تغییرات تأمل برانگیزی را نشان می‌دهد؛ به عبارت دیگر مساحت اراضی که دمای بالاتری داشته‌اند افزایش نشان می‌دهد. افزایش دمای سطح زمین در چنین مقیاسی، لزوم مطالعه نحوه تغییرات کاربری اراضی به ویژه در شهر اصفهان و محدوده غرب که تغییرات دمایی بیشتری را داشته‌اند ضروری است. با مشاهده شکل (۶) می‌توان استنتاج کرد که تغییرات دمایی بیشتر با فاصله گرفتن شرق و نزدیک شدن به مراکز جمعیتی غرب که رشد شهری بیشتری هم از

نظر جمعیتی و هم از نظر تغییر کاربری اراضی داشته‌اند مشاهده شده است. به‌منظور درک کامل و یکپارچه رشد جمعیت و تغییر کاربری اراضی می‌تواند عامل اصلی در گرم شدن شهر اصفهان باشد زیرا رشد جمعیت سبب رشد صنایع، خودروها، ساختمان سازی و ... می‌شود؛ بنابراین باید رابطه بین افزایش دما و جمعیت نیز به‌عنوان ملاکی مهم در تشکیل جزیره حرارتی دانست که در این پژوهش به این مهم پرداخته شده است.

نتیجه‌گیری

روند تغییرات دما در شهر اصفهان و پیرامون آن به‌صورت نمودار در شکل (۷) نمایش داده شده است نمودار نشان می‌دهد که تغییرات دمایی دارای شیب مثبت است و روند تغییرات دما افزایشی است. معادلات روند دارای شیب مثبت است؛ یعنی در سال‌های اخیر تقریباً به‌طور متوسط هر سال اندکی گرم شده‌اند. این شیب‌گردان افزایش دما را نشان می‌دهد. این عدد نشان‌دهنده تشکیل و رشد جزیره حرارتی سالانه در اصفهان است. نقشه تغییرات دمایی در شکل (۳) نشان می‌دهد که به بیشترین میزان تغییرات دمایی در منطقه شهر اصفهان، غرب و شمال غرب و مناطق پیرامونی است، در این روند ۴۰ ساله شاهد افزایش محسوس دما است در اولین نگاه آنچه که از آمارهای موجود می‌توان به دست آورد افزایش محسوس دما از ۰/۰۶ در محدوده شرق آغاز شده است و تا ۰/۱۱ در محدوده غرب ادامه یافته است. بدین معنی که در طی یک دوره زمانی چهل ساله، متوسط درجه حرارت در شهر اصفهان به سمت غرب و شمال غرب تا ۰/۱۱ افزایش پیدا کرده است. نقشه تهیه شده از تغییرات دمایی نشان می‌دهد که میزان افزایش دما در محدوده شهر اصفهان و غرب اصفهان و محدوده شهر نجف‌آباد بیشتر است و در شرق اصفهان تغییرات دما کمتر است.

رشد سریع شهرنشینی و افزایش جمعیت شهر اصفهان سبب تغییرات قابل ملاحظه‌ای در وضعیت کالبدی و طبیعی شهر شده است. این افزایش و گسترش روند شهرنشینی بر بعضی از کمیت‌های هواشناختی نیز تأثیر گذاشته است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که دمای در مناطق در محدوده زمانی ۲۰۱۸-۱۹۷۹ روند افزایشی را نشان می‌دهد. اراضی باغی و اراضی بایر نیز در این محدوده زمانی کاهش یافته و به اراضی ساخته شده و شهری تبدیل شده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اراضی باغی و زراعی در نتیجه افزایش مناطق مسکونی و گسترش شهری روند کاهشی داشتند و افزایش جمعیت و افزایش استفاده از وسیله نقلیه و وسایل گرمایی در سطح شهر پدیده جزایر حرارتی را در کلان‌شهرهای کشور از جمله شهر اصفهان سبب شده است. این پدیده به عوامل متعددی مانند عرض جغرافیایی، ارتفاع از تراز دریا، توپوگرافی، اندازه شهر، جمعیت شهر و پایداری جوی وابسته است. مهم‌ترین نتایج پژوهش حاضر این است که شهر اصفهان دچار تغییرات دمایی شدید شده است و هسته این تغییرات دمایی شهر اصفهان در محدوده غرب و شمال غرب و هسته‌های جمعیتی پیرامون مانند نجف‌آباد است. تغییرات کاربری اراضی و تبدیل اراضی کشاورزی و باغات در غرب و شمال غرب شهر اصفهان و رشد فیزیکی شهر در این مناطق با تشدید روند افزایشی دمای شهر اصفهان به‌ویژه در غرب و شمال غرب رابطه مستقیم دارد. رشد جمعیت و افزایش مهاجرت به‌ویژه از روستا به شهر در شهر اصفهان و غرب

و شمال غرب باعث افزایش شهرنشینی در این مناطق و افزایش پدیده جزایر حرارتی در این مناطق شده است. وانگ و همکاران (۲۰۱۸) تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن را بر تغییرات کاربری اراضی در یانگون میانمار بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد تغییرات کاربری اراضی تأثیرات پیچیده و مستقیمی بر تغییرات دمای سطح زمین دارد؛ به طوری که در این مطالعه نواحی شهری بیشترین دمای سطح زمین را نشان می‌دهند. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ مطابقت دارد که تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح زمین را در دلتای رودخانه پیارل در چین به صورت چند زمانه بررسی کردند و نتایج نشان داد رشد شهر در این ناحیه و الگوهای دمای سطح زمین با تخریب کاربری اراضی افزایش یافته است. انتظاری و همکاران نیز در سال ۱۳۹۵ دمای سطح زمین و روند تغییرات کاربری اراضی را در حوضه آبریز دریاچه پریشان ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین تغییرات کاربری اراضی در کاربری دریاچه به چشم می‌خورد که حدود ۹۷/۳۵ درصد وسعت دریاچه در این دوره ۱۳ ساله تخریب شده و بخش عمده آن به زمین‌های بایر و اراضی کشاورزی تغییر کاربری داده است؛ علاوه بر این افزایش بیابان‌زایی و کاهش پوشش گیاهی بر روند افزایش دمای سطح زمین (LST) تأثیر می‌گذارد. نادى‌زاده شورابه و همکاران در سال ۱۳۹۷ در پژوهشی تغییرات زمانی - مکانی کاربری اراضی و رشد شهری و تأثیر آن را برافزایش دمای سطح زمین در شهر گرگان بررسی کردند. نتایج نشان داد با تبدیل کاربری فضای سبز به زمین آیش، بیشترین تغییرات دمای سطح زمین رخ می‌دهد. از دیگر نتایج این پژوهش کاهش طبقات دمایی بسیار سرد و سرد و افزایش طبقات دمایی نرمال و گرم است که مهم‌ترین دلیل آن، افزایش مساحت کاربری‌های ساخته شده و آیش است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

منابع

- ۱- رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی و صادقی حسینی، علیرضا. (۱۳۸۴): آثار جزیره گرمایی و شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم محلی در کلان‌شهر تهران بر اساس داده‌های مهرآباد و ورامین. محیط‌شناسی، سال ۳۲، شماره ۳۹، ۵۹-۶۳
- ۲- رنجبر سعادت‌آبادی؛ عباس، آزادی، مجید؛ علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی و صادقی حسینی، علیرضا (۱۳۸۴): مطالعه موردی جزیره گرمایی تهران و شبیه‌سازی عددی آن، فیزیک زمین و فضا. شماره ۱۶۳-۷۸.
- ۳- شعبانی، مرتضی، درویشی، شادمان، سلیمانی، کریم. (۱۳۹۸): بررسی آثار تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای زمانی - مکانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی؛ مطالعه موردی: شهرستان سقز. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۷-۵۴.
- ۴- محبوب فر، م؛ و رامشت، م؛ و یزدان پناه، ح؛ و اذانی، م. (۱۳۹۷): بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت هوا در راستای مدیریت بحران آلودگی هوای شهر اصفهان. مدیریت شهری، ۱۱۷(۵۰)، ۳۲۳-۳۳۶.
- ۵- محبوب فر، م؛ و رامشت، م؛ و یزدان پناه، ح؛ و اذانی، م. (۱۳۹۷): سهم مدیریت وارونگی اقلیمی در کنترل آستانه شاخص کیفیت هوای شهری (مطالعه موردی: شهر اصفهان). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، ۵۰(۲)، ۲۵۵-۲۷۰.

- ۶- محمدی، مجتبی، عقیقی، محمدابراهیم. (۱۴۰۰): بررسی وقوع پدیده جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER منطقه مورد مطالعه: شهر شیراز. جغرافیا و مطالعات محیطی ۱۰(۳۷)، ۲۱-۴۴.
- ۷- هاشمی دره بادامی، س؛ و درویشی بلورانی، ع؛ و علوی پناه، س؛ و ملکی، م؛ و بیات، ر. (۱۳۹۸): تحلیل تغییرات جزیره حرارتی سطوح شهری در روز و شب با استفاده از محصولات چند زمانه سنجنده مادیس (مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، ۱۹(۵۲)، ۱۱۳-۱۲۸.
- ۸- یوسفی، یداله. (۱۳۹۹). بررسی تغییرپذیری دمایی فضاهای شهری بابلسر برای شناخت جزیره حرارتی. مطالعات ساختار و کارکرد شهری، ۷(۲۵)، ۱۷۹-۱۹۱.

- 9- Abdulateef, M. F. & Al-Alwan, H. A. (2021): The Effectiveness Of Urban Green Infrastructure In Reducing Surface Urban Heat Island. *Ain Shams Engineering Journal*.
- 10- Chow, W. T. & Roth, M. (2006): Temporal Dynamics Of The Urban Heat Island Of Singapore. *International Journal Of Climatology: A Journal Of The Royal Meteorological Society*, 26(15), 2243-2260.
- 11- Coseo, P. & Larsen, L. (2014): How Factors Of Land Use/Land Cover, Building Configuration, And Adjacent Heat Sources And Sinks Explain Urban Heat Islands In Chicago. *Landscape And Urban Planning*, 125, 117-129.
- 12- Dewan, A. Kiselev, G. Botje, D. Mahmud, G. I. Bhuian, M. H. & Hassan, Q. K. (2021): Surface Urban Heat Island Intensity In Five Major Cities Of Bangladesh: Patterns, Drivers And Trends. *Sustainable Cities And Society*, 71, 102926
- 13- Liu, J. & Niyogi, D. (2020): Identification Of Linkages Between Urban Heat Island Magnitude And Urban Rainfall Modification By Use Of Causal Discovery Algorithms. *Urban Climate*, 33, 100659.
- 14- Liu, Q. Xie, M. Wu, R. Xue, Q. Chen, B. Li, Z. & Li, X. (2021): From Expanding Areas To Stable Areas: Identification, Classification And Determinants Of Multiple Frequency Urban Heat Islands. *Ecological Indicators*, 130, 108046.
- 15- Oswald, E. M. Rood, R. B. Zhang, K. Gronlund, C. J. O'Neill, M. S. White-Newsome, J. L. ... & Brown, D. G. (2012): An Investigation Into The Spatial Variability Of Near-Surface Air Temperatures In The Detroit, Michigan, Metropolitan Region. *Journal Of Applied Meteorology And Climatology*, 51(7), 1290-1304.
- 16- Wang, Z. Meng, Q. Allam, M. Hu, D. Zhang, L. & Menenti, M. (2021): Environmental And Anthropogenic Drivers Of Surface Urban Heat Island Intensity: A Case-Study In The Yangtze River Delta, China. *Ecological Indicators*, 128, 107845.
- 17- Wemegah, C. S. Yamba, E. I. Aryee, J. N. Sam, F. & Amekudzi, L. K. (2020): Assessment Of Urban Heat Island Warming In The Greater Accra Region. *Scientific African*, 8, E00426.