



## تغییرات زمانی جزایر حرارتی شهری و ارتباط آن با آلودگی هوا با سنجش از دور در شهر کرمان

احمد مزیدی<sup>۱\*</sup>، ایمان روستا<sup>۲</sup>، فروغ محمدی راوری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار اقلیم‌شناسی گروه جغرافیا دانشگاه یزد، یزد، ایران

<sup>۲</sup>استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

<sup>۳</sup>دانشجوی کارشناسی‌ارشد اقلیم‌شناسی محیطی دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۱۳

### چکیده

دمای سطح زمین یکی از پارامترهای کلیدی در مطالعات شهرها می‌باشد. آلودگی هوا نیز یکی از علل ایجاد جزیره حرارتی شهر است که در شهرهای بزرگ به دلیل تراکم بالای جمعیت و به دنبال آن افزایش تعداد روزهای آلوده، رخداد آن در سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است. هدف این پژوهش، بررسی تغییرات زمانی جزایر حرارتی شهری و ارتباط آن با آلودگی هوا در شهر کرمان می‌باشد. جهت تعیین جزیره حرارتی شهر کرمان در فصول تابستان و زمستان، از تصاویر TM ماهواره لندست پنچ و OLI/TIRS لندست هشت در دوره زمانی ۱۶ ساله (۲۰۰۷-۲۰۲۲) استفاده شد. همچنین برای بررسی تغییرات دمایی، از اطلاعات دمایی ایستگاه کرمان و برای بررسی آلودگی هوا از داده‌های ایستگاه سنجش آلودگی هوای شهر کرمان استفاده شد. اگرچه تعداد روزهای آلوده زیاد بود، ولی با توجه به محدودیت گذر ماهواره بادره ۱۶ روزه از شهر کرمان، محدود بودن تعداد روزهای با شدت آلودگی بالا در کرمان و عدم انطباق روزهای آلوده با زمان گذر ماهواره، در نهایت طی دوره آماری ۱۶ ساله، تصاویر فصلی پنج سال انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. پس از تصحیحات لازم، نقشه‌های دمای سطح زمین و پوشش گیاهی در محیط نرم افزاری ArcGIS ترسیم شد. روند دما نیز با آزمون آماری من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در فصل تابستان و زمستان میزان دمای سطح زمین دارای روند صعودی بوده است اما جزیره حرارتی فقط در فصل تابستان رخ داده است. به طوری که در تابستان سال ۲۰۰۹ تراکم دمای خیلی گرم کمتر از ۳۰ درصد بوده است اما با گذشت زمان و در سال ۲۰۲۲ در فصل تابستان بیش از ۶۰ درصد منطقه شهری دارای دمای خیلی گرم بوده است. همچنین قسمت‌هایی از غرب به سمت جنوب شهر به دلیل وجود زمین‌های بایر و همچنین به دلیل عدم بهره‌مندی از سازوکارهای خنک‌کنندگی تبخیر و تعرق، دارا بودن ظرفیت بالای جذب گرما در کنار ظرفیت هدایتی پایین، هسته‌ی اصلی جزایر حرارتی را تشکیل داده‌اند. آزمون آماری من-کندال نیز حاکی از روند صعودی دما به خصوص در سال‌های اخیر است. میزان این افزایش دما در یک دوره ۲۵ ساله حدود ۱/۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. همچنین روابط همبستگی بین دمای سطح زمین با آلاینده‌های هوا در سطح معناداری ۰/۰۱ تایید شد که در تابستان ضرایب همبستگی مذکور قوی تر و آلودگی نیز افزایش یافته است.

**واژه‌های کلیدی:** جزیره حرارتی، آلودگی هوا، شهر کرمان، دمای سطح زمین.

### مقدمه

از گسترده‌ترین مطالعاتی بوده که در رابطه با تغییرات محیطی ناشی از شهرنشینی انجام شده است. شاید بتوان گفت که آشکارترین مثال تاثیر انسان بر روی

طرح مساله: بررسی اثرات افزایش دمای شهرها که جزیره‌ی حرارتی شهری<sup>۲</sup> (UHI) نامیده می‌شود، یکی

بلکه باعث ایجاد آلودگی در جو، از جمله تولید گاز ازن و افزایش ترکیبات زیان بار گوگردی و دیگر آلاینده‌های آسیب‌رسان در سطح زمین می‌شود (اکبری، ۲۰۰۵). داده‌های سنجش از دور حرارتی امکان نظارت و ارزیابی جزایر گرمایی شهری را به صورت پویا فراهم کرده است (متکان و همکاران، ۱۳۹۳). این داده‌ها می‌تواند به طور مستمر یک دید کلی از تمام شهر داشته باشند و اهمیت ویژه‌ای برای بررسی دقیق اقلیم سطح شهر دارد (ونگ<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹). بنابراین بررسی همه جانبه جزیره گرمایی شهری با استفاده از سنجش از دور می‌تواند تا حدودی بیان کننده‌ی واقعیات باشد (علوی پناه و همکاران، ۱۳۹۴). عمده پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه در کلان شهرهای کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه انجام گرفته است که به مواردی اشاره می‌شود.

ژاو و چن<sup>۲</sup> (۲۰۱۸)، اثرات تغییرات پوشش و کاربری اراضی مرتبط با شهرنشینی و تغییرات مورفولوژی شهری بر پدیده جزیره حرارتی شهری را در چین در بین سال‌های ۱۶۹۵ و ۲۰۰۸ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با تغییر کاربری اراضی که همراه با کاهش مساحت پهنه‌های آبی و پوشش گیاهی بوده و از طرفی با افزایش شهرنشینی، شدت جزیره حرارتی (UHI) به میزان ۰/۲ الی ۰/۴ افزایش داشته است. همچنین در چنین شرایطی میزان باد بحرانی مورد نیاز برای کاهش جزیره حرارتی شهری دو برابر شده است.

ویمین و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۹) با تصاویر سنجش از دور لندست ۸ از منطقه شنژن<sup>۴</sup> چین در مطالعه‌ی خود از یک مدل ترکیبی طیفی خطی برای استخراج اطلاعات پوشش زمین استفاده کردند و اثرات پوشش شهری زمین بر دمای سطح زمین (LST) و مولفه‌های گرمایی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان دهنده‌ی این بود که دمای سطح زمین شنژن به تدریج از شمال غربی تا جنوب شرقی کاهش و دمای سطح زمین سطوح غیر قابل نفوذ شهری به طور قابل توجهی

اقلیم در مقیاس محلی و منطقه‌ای پدیده جزیره حرارتی شهری است (لانزبرگ، ۱۹۸۱). مطالعه جزیره حرارتی شهری نخست با استفاده از اندازه‌گیری دمای هوا توسط ایستگاه‌های سیار و ثابت شهری انجام می‌گرفت و بر پایه‌ی داده‌های زمینی استوار بود. اما استفاده از داده‌های سنجش از دور برای برآورد دمای سطح زمین روش نسبتاً جدیدی به شمار می‌آید که هزینه‌های تخمین دما را نسبت به روش کلاسیک به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد (میریعیقوبزاده و همکاران، ۱۳۸۸). دما یکی از مولفه‌های مهم اقلیمی می‌باشد که تغییر نوسان آن موجب تغییر در سایر عناصر اقلیمی شده و اثرات زیان‌باری را برای جوامع انسانی و دیگر اکوسیستم‌های طبیعی به وجود می‌آورد (ارسلانی و همکاران، ۱۳۹۱). می‌توان گفت یکی از مشکلات زیست‌محیطی، افزایش دمای سطح زمین و شکل‌گیری جزایر حرارتی در مناطقی که بدون برنامه‌ریزی قبلی به شهر یا پوشش اراضی پیرامون شهر تبدیل شده‌اند می‌باشد این مشکل در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران که نرخ رشد سریع بوده و در نتیجه باعث تغییرات در پوشش اراضی شده‌است رخ می‌دهد (خاکپور و همکاران، ۱۳۸۶). جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با سنگ‌فرش، ساختمان، بتن، آسفالت و سایر ساخت و سازهای شهری اثرات خنک‌کنندگی سطوح طبیعی را از بین می‌برد. همچنین ساختمان‌های بلند و خیابان‌های باریک جریان هوا را کاهش داده و هوای پیرامون را گرم می‌کند. علاوه بر آن حرارت وسایل نقلیه، کارخانه‌ها و وسایل تهویه‌کننده‌ی هوا، گرمای محیط را افزایش داده و اثرات جزیره‌ی حرارتی را تشدید می‌کند. جزیره‌ی حرارتی با تغییر الگوی بادهای محلی، تقویت رشد ابرها و مه، افزایش تعداد رعد و برق و تأثیر بر میزان بارش، شرایط هوا و اقلیم محلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱). جزیره حرارتی نه تنها باعث افزایش مصرف انرژی ناشی از افزایش تقاضا برای خنک‌کنندگی ساختمان می‌شود،

3. Weimin et al  
4. Shenzhen

1. Weng  
2. Zhou and Chen.

سال‌های اخیر رشد نسبتاً سریعی داشته و در نتیجه تغییرات قابل ملاحظه‌ای در کاربری اراضی آن ایجاد شده است. همچنین همزمان با افزایش مساحت نواحی ساختمانی و کاهش پوشش گیاهی، وسعت جزیره گرمایی مستقر بر روی مرکز شهر افزایش یافته است.

آروین (۱۳۹۷)، در بررسی جزیره حرارتی در ارتباط با آلودگی هوا در شهر اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ و با بهره‌گیری از روش آلگوریتم پنجره مجزای سوپرینو دمای سطح زمین را مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد اختلاف دمای جزیره حرارتی هوای شهری و دمای پیرامونی شهر در زمان رخداد حداکثر آلودگی بیشتر است. نقشه‌های جزیره حرارتی و نقشه‌های توزیع آلودگی بر یکدیگر انطباق داشته و نواحی آلوده‌تر دارای دماهای بالاتری بوده‌اند. همچنین روابط همبستگی بین نقشه توزیع آلودگی و نقشه جزیره حرارتی شهر اصفهان در سطح معناداری تأیید شد و در روزهای با آلودگی بیشتر، همبستگی مذکور قوی‌تر هستند.

پورزیدی و همکاران (۱۳۹۹)، با تحلیل فضایی و زمانی جزایر گرمایی مناطق شهری گرگان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ در دو دوره زمانی سال پایه (۲۰۱۷-۲۰۱۰) و بازه دوم (۲۰۰۵-۲۰۰۰) به صورت میانگین در سه ماه گرم سال به این نتیجه رسیدند که تغییرات زمانی و مکانی جزایر حرارتی در شهر گرگان، الگوی خوشه‌ای بالایی دارد و جزایر حرارتی در شهر گرگان به دو عامل شرایط اقلیمی حاکم در دوره مورد مطالعه و شرایط انسانی حاکم بر شهر بستگی دارد.

مزیدی و حیدری (۱۴۰۰)، به بررسی تغییر کاربری اراضی بر دمای سطح زمین شهر کرمان با استفاده از تصاویر لندست ۵ و ۸ در دو مقطع زمانی سال‌های (۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ میلادی) پرداختند. نتایج نشان داد در بین کاربری‌های مسکونی، صنعتی، کشاورزی و اراضی بایر، زمین‌های لخت در اطراف منطقه بیشترین دما را داشته و شکل‌گیری جزیره حرارتی در زمان‌های ذکر شده در سطح منطقه دیده نمی‌شود.

بیشتر از سطوح پوشیده از گیاه است. بنابراین اثر جزیره گرمایی شهری قابل توجهی را نشان داده است. مارگارت<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) با استفاده از مدل سازی چند معیاره به بررسی شدت و نگهداری جزایر حرارتی در جو پایین و توزیع فضایی آن‌ها را در طول دوره‌های مختلف روز در شهر پرزیدنت در غرب ایالت سائوپائولو برزیل، با استفاده از داده‌های دما و رطوبت ۲۶ نقطه و در هر دو فصل خشک و بارانی به این نتیجه دست یافتند که بزرگی و پیوستگی جزایر گرمایی در دوره‌های مختلف روز با توجه به ویژگی‌های سطحی و فصلی بودن آب و هوایی شهر متفاوت است. بیشترین و کمترین بزرگی به ترتیب در طول فصل بارانی و خشک ثبت شده‌اند.

باست و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۱) با بررسی یک مدل افزایشی تعمیم یافته برای تغییر پذیری در شدت جزیره حرارتی ایستگاه سنت جیمز پارک در لندن، برای یک دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۵۰) به این نتیجه رسیدند که تغییر پذیری قابل توجهی در داده‌های فصلی و سالانه بوده است و با این‌که به سمت آب و هوای گرم حرکت کرده است ولی جزیره حرارتی تغییر قابل توجهی نداشته است. فرهان المعظم و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۲) در پژوهشی به بررسی جزیره حرارتی، جزیره جیجو با استفاده از تصاویر ماهواره لندست برای دو دهه گذشته پرداختند. نتایج (LST) بالاترین دما را برای کلاس شهری نشان داد شدت جزیره گرمایی از ۲/۴۷٪ در سال ۲۰۰۲ به ۳/۱۰٪ در سال ۲۰۲۱ افزایش داشته است. همچنین در این دوره زمین‌های بایر به دلیل گسترش شهری کاهش یافته است و در نتیجه‌ی آن به مساحت جنگل‌ها کمی افزوده شده است.

حسینی و مزیدی (۱۳۹۴)، در تحلیل رابطه‌ی بین تغییرات کاربری زمین و جزیره گرمایی شه‌ریزد با به کارگیری تکنیک‌های سنجش از دور با استفاده از تصاویر چند زمانه لندست ۴ و ۷ سنجنده‌های TM و ETM به این نتیجه رسیدند که شهر یزد در طی

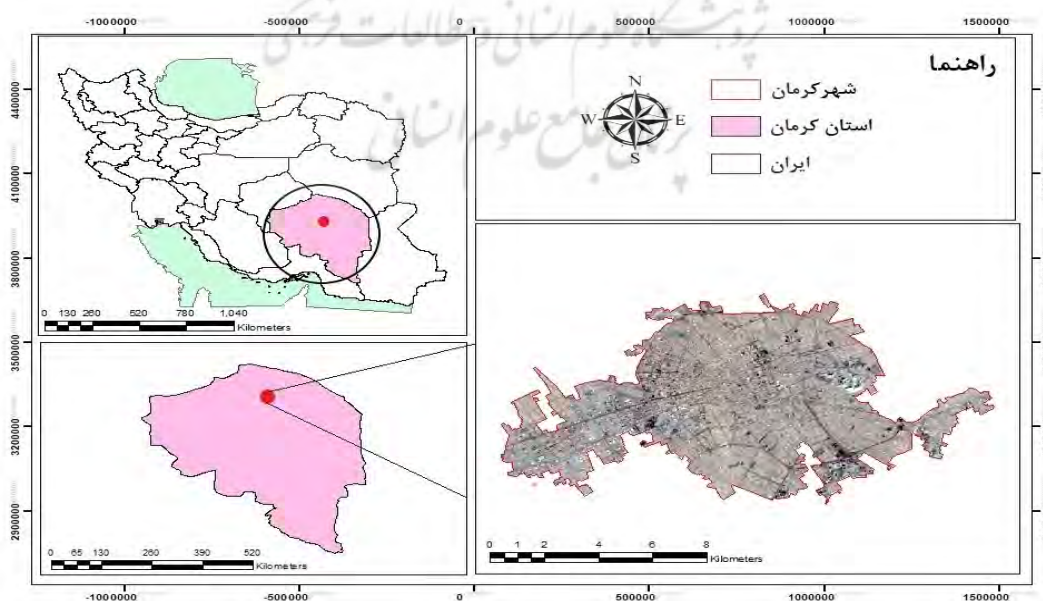
آن با آلودگی هوا با استفاده از سنجش از دور در شهر کرمان صورت نگرفته است. با بررسی همزمان جزیره حرارتی و آلودگی هوای شهری می‌توان تا حدودی اثرات متقابل این دو را نمایان و اثراتی را که هر کدام به‌نوبه‌ی خود بر سلامت شهروندان ایجاد می‌کنند، را شناسایی و راهکارهایی را برای مقابله با آن‌ها اندیشید.

### روش انجام تحقیق

**منطقه مورد مطالعه:** شهر کرمان در شمال استان کرمان و در ۲۶ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شرقی قرار گرفته است که موقعیت آن در شکل (۱) نشان داده شده است. جمعیت این شهر طبق سرشماری سال ۱۳۹۰ برابر با ۵۳۴۴۴۱ نفر بوده است. وسعت شهر کرمان ۲۳۸ مترمربع است و به دلیل وسعت شهری و جمعیت آن، این شهر در ردیف کلان شهرهای ایران طبقه بندی شده است. شهر کرمان به لحاظ صنعتی، سیاسی، فرهنگی و علمی مهم‌ترین شهر جنوب‌شرق کشور است. این شهر با ۱۷۵۶ متر ارتفاع از سطح دریا، سومین مرکز استان بلند و مرتفع ایران محسوب می‌شود و همین امر باعث اعتدال هوای شهر کرمان در فصل تابستان شده است (گلاب زاده، ۱۳۹۰).

ناصحی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی به ارزیابی تأثیر الگوهای مختلف توسعه‌ی زمین بر تغییرات حرارتی در محیط ناهمگن شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست پرداخته و سپس دمای سطح زمین برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ استخراج و در آخر ارتباط بین میانگین دمای سطح زمین و فرم ناهمگن شهر تهران بررسی شد. نتایج نشان داد پایین‌ترین حداقل دمایی مربوط به رده آب بوده‌است و بالاترین دمای ثبت‌شده برای رده خاک برهنه یا ماسه و شن بوده است.

با توجه به پژوهش‌های انجام شده در داخل و خارج از ایران و روند رو به رشد شهرنشینی و انتشار آلاینده‌ها، کشف عواقب ترکیب آلودگی و جزیره حرارتی شهری و اثر آن‌ها بر دینامیک و شیمی اتمسفر در مقیاس شهری، اهمیت ویژه‌ای یافته است. متأسفانه در شهرهای ایران از جمله کرمان، تلاش‌های اندکی برای مقابله با پدیده جزیره حرارتی شهری به عنوان یک مخاطره زیست محیطی صورت گرفته است. از این رو مطالعات جامع درباره‌ی این پدیده، با وجود داده‌های ماهواره‌ای در دسترس به عنوان مهم‌ترین منبع داده برای مطالعات اقلیم شهری، کمتر انجام شده است. به‌طوری‌که تاکنون مطالعه‌ای درباره‌ی بررسی تغییرات زمانی جزیره حرارتی شهری و ارتباط



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

ماهواره‌های در مباحثی که هدف بررسی تغییرات است، زمان کسب داده می‌باشد. بنابراین در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ی لندست در هر فصل با کمترین مقدار پوشش ابر استفاده شد. اگرچه تعداد روزهای آلوده زیاد بود، ولی با توجه به محدودیت گذر ماهواره با دوره ۱۶ روزه از شهر کرمان، محدود بودن تعداد روزهای با شدت آلودگی بالا در کرمان و عدم انطباق روزهای آلوده با زمان گذر ماهواره، در نهایت طی دوره آماری ۱۶ ساله، تصاویر فصلی پنج سال انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت.

**داده‌ها:** به منظور تحلیل زمانی و مکانی جزیره حرارتی شهر کرمان و ارتباط آن با آلودگی هوا از تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ و ۸، داده‌های مربوط به غلظت آلاینده‌های هوا و داده‌های اقلیمی دمای ایستگاه هواشناسی کرمان از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۲ برای سنجش تغییرات دما استفاده شد. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌های لندست در پنج سال متفاوت به صورت تصادفی، در دوره زمانی ۱۶ ساله (۲۰۲۲-۲۰۰۷) استفاده شد. مسئله مهم در انتخاب تصاویر

جدول ۱: مشخصات دقیق تصاویر لندست مورد استفاده در تحقیق

ماهواره	سنجنده	تفکیک مکانی باندهای حرارتی	تفکیک رادیومتریک	ابعاد پوشش (کیلومتر)	تفکیک باند	تفکیک مکانی باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی
لندست ۵	TM	۱۲۰×۱۲۰	۸ بیت	۱۸۵×۱۸۵	ندارد	۳۰×۳۰
لندست ۸	OLI/TIRS	۱۰۰×۱۰۰	۱۶ بیت	۱۸۵×۱۸۵	۱۵×۱۵	۳۰×۳۰

ماخذ: (usgs.gov)

جدول ۲: مقایسه شاخص کیفیت هوا و وضعیت آن

AQI	۵۰-۰	۱۰۰-۵۱	۱۵۰-۱۰۱	۲۰۰-۱۵۱	۳۰۰-۲۰۱	بالتر از ۳۰۰
وضعیت	پاک	سالم	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک	بحرانی

همچنین از داده‌های مربوط به شاخص کیفیت هوا AQI<sup>۳</sup> شهر کرمان که از سازمان محیط زیست کرمان اخذ گردید، استفاده شد. شاخص کیفیت هوا معیار است که غلظت ترکیبات مختلف آلاینده موجود در هوا نظیر منوکسید کربن، دی اکسید گوگرد، ترکیبات نیتروژن، اوزون و ذرات معلق را که دارای حدود مجاز متفاوت با واحدهای مختلف می‌باشند، تبدیل به یک عدد بدون واحد کرده و وضعیت آلودگی هوا را بصورت کیفی در شش سطح پاک، سالم، ناسالم، بسیار ناسالم، خطرناک و بحرانی نمایش می‌دهد (جدول ۲).

**روش تحقیق:** روش‌های مختلفی برای محاسبه دمای سطح زمین از روی تصاویر ماهواره‌های لندست وجود دارد. به منظور محاسبه جزیره گرمایی شهری ارزش‌های رقومی تصاویر حرارتی (TIRS) به رادیانس طیفی

این تصاویر تحت شرایط هوا سپهری صاف از تارنمای سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا از آدرس <http://glovis.usgs.gov/> و سامانه تصویر WGS-1984 UTM بارگیری شدند. ماهواره لندست در ۱۱ باند طیفی تصویربرداری می‌نماید که باندهای ۱ تا ۹ به باندهای OLI<sup>۱</sup> معروف است و در محدوده طیف‌های رنگی و مادون قرمز نزدیک تصویربرداری می‌کند. باندهای ۱۰ و ۱۱ به باندهای حرارتی TIRS<sup>۲</sup> مشهور است و در محدوده طیفی مادون قرمز بلند تصویربرداری می‌کند (زنتر، ۲۰۱۶). علاوه بر این، جهت انجام تصحیحات هندسی از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ کرمان استفاده شد. در تصحیحات انجام شده تمام تصاویر خطای RMS کمتر از ۰/۵ حاصل شد. مشخصات دقیق تصاویر مورد استفاده در جدول ۱ نمایش داده شده است.

3. Air Quality Index

1. Optical Land Imager  
2. Thermal Infrared Sensor

معادله ۳:

$$3) TB = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L\lambda} + 1\right)} - 273.15$$

که در آن TB دمای درخشندگی به کلونین ( $K_2 = 774.89$  &  $K_1 = 1321.08$ ) مقادیر ثابت کالیبراسیون‌اند که از فراداده قابل‌دسترسی است. به‌منظور محاسبه شاخص NDVI از معادله ۴ و ۵ استفاده شده است.

معادله ۴:

$$Landsat8: NDVI = \frac{Float(Band5 - Band4)}{Float(Band5 + Band4)}$$

معادله ۵:

$$Landsat4 - 7: NDVI = \frac{Float(Band4 - Band3)}{Float(Band4 + Band3)}$$

همچنین شاخص گیاهی متناسب با معادله ۶ و به‌منظور محاسبه گسیلمندی سطحی از معادله ۷ استفاده گردید.

معادله ۶:

$$PV = Square \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{Max} - NDVI_{min})}$$

معادله ۷:

$$E = 0.004 \times PV + 0.986$$

و در نهایت دمای سطح زمین با استفاده از معادله ۸، محاسبه می‌گردد (مومن بیگ، ۱۳۹۶).

معادله ۸:

$$LST = \frac{TN}{\left[1 + \lambda \times \frac{TB}{c2} \times \ln(E)\right]}$$

که c2:

$$c2 = h \times \frac{c}{s} = 1.4388 \times 10^{-2} m K = 14388 \mu mk$$

و  $\lambda$  طول موج تابش ساطع شده می‌باشد.

روش اصلی روندیابی در این پژوهش، براساس آزمون آماری من-کندال است که این روش که به‌طور گسترده در مباحث علوم محیطی و هواشناسی کاربرد دارد و یکی از روش‌های ناپارامتری مهم برای آزمون

تبدیل گردیده‌است. رادیانس طیفی در واقع عبارت است از تابش در بالای اتمسفر که توسط سنجنده مشاهده شده است. واحد رادیانس وات بر مترمربع بر میکرومتر می‌باشد. رادیانس طیفی برای هر باند با معادله ۱ به دست می‌آید (Xu, Huixi, et al., 2002).

معادله ۱:

$$1) L_{\lambda} = \left[ \frac{L_{\min} - L_{\max}}{255} \right] \times DN + L_{\min}$$

در رابطه فوق DN عبارت است از درجه خاکستری

پیکسل‌ها و مقادیر  $L_{\min}$  و  $L_{\max}$  عبارت‌اند از

ثابت‌های کالیبراسیون سنجنده. مقادیر  $L_{\max}$  و

$L_{\min}$  (ماکزیمم و مینیمم رادیانس طیفی قابل

تشخیص در هر باند توسط سنجنده). در صورت وجود

مقادیر gain و offset (ضریب کالیبراسیون سنجنده) در

فایل مرجع می‌توان رادیانس را از معادله ۲ برآورد نمود

(آتشی به نقل از ولی‌زاده، ۱۳۹۵).

معادله ۲:

$$I_{\lambda} = gain \times DN + offset$$

که در آن  $L_{\lambda}$  رادیانس طیفی حسگر gain=

( $0.0003342$ ); ( $W/ M^2 \text{srad } \mu m$ ) عامل دگرگونی

مقیاس خاص برای هر باند فراداده<sup>۴</sup>: offset= ( $0/1$ )

عامل دگرگونی مقیاس اضافه‌شده به هر باند از فراداده

و DN شماره دیجیتالی هر یاخته است. در گام بعدی

داده‌های باندهای حرارتی می‌تواند از رادیانس طیفی در

سنجنده به دمای درخشندگی تبدیل شود. دمای

درخشندگی با فرض این‌که زمین جسم سیاه<sup>۵</sup> است،

محاسبه می‌شود و شامل تأثیرات اتمسفر است (جذب و

تشنشع<sup>۶</sup>). در این پژوهش دمای درخشندگی با استفاده

از ضرایب کالیبراسیون سنجنده از معادله ۳ محاسبه

می‌شود (Tan, Kok Chooi, et al. 2010) و (Chander,

Gyanesh, Markham, Brian L and Helder, Dennis

L. 2009)

درجه سانتی گراد طبقه‌بندی شده است. با توجه به شکل ۲ میزان دمای سطح زمین در شهر کرمان در فصل تابستان طی دوره آماری (۲۰۰۹-۲۰۲۲) روندی صعودی داشته است. در این فصل تراکم دمای خیلی گرم (۳۹-۴۴٫۵) درجه سانتی‌گراد، در سال ۲۰۰۹ کمتر از ۳۰ درصد بوده است و فقط در قسمت های غرب شهر کرمان و به صورت پراکنده در شمال، شرق و جنوب شرق شهر کرمان دیده می‌شود. اما در سال ۲۰۲۲ در فصل تابستان بیش از ۶۰ درصد منطقه شهری دارای دمای خیلی گرم بوده است (نمودار ۱). همچنین قسمت‌هایی از غرب به سمت جنوب شهر به دلیل وجود زمین‌های بایر و همچنین به دلیل عدم بهره‌مندی از سازوکارهای خنک‌کنندگی تبخیر و تعرق، دارا بودن ظرفیت بالای جذب گرما در کنار ظرفیت هدایتی پایین، هسته‌ی اصلی جزایر حرارتی را تشکیل داده‌اند. علاوه بر کانون اصلی جزایر حرارتی در سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲، جزایر کوچک و پراکنده دیگری هم در سمت شمال، شرق و جنوب شرق شهر کرمان دیده می‌شود که طبق بررسی‌های به عمل آمده اکثراً مناطق شهری و زمین‌های بایر بوده‌اند که تراکم جمعیت و نوع هندسه‌ی شهری در این محدوده عامل تشکیل این پدیده بوده است.

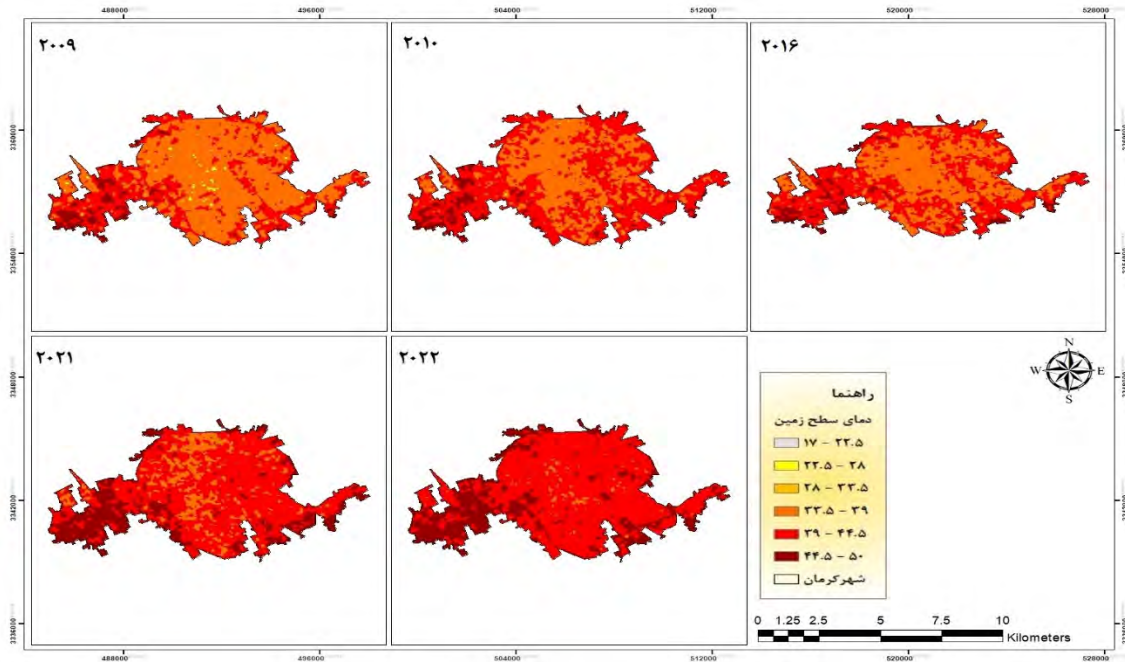
روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود (Lettenmaier and Wallis 1994). همچنین در این پژوهش از نرم افزار ArcGIS جهت محاسبات دمای سطح زمین نرم افزار Excel و SPSS جهت بررسی همبستگی و ترسیم نمودار استفاده گردید.

### یافته‌های تحقیق

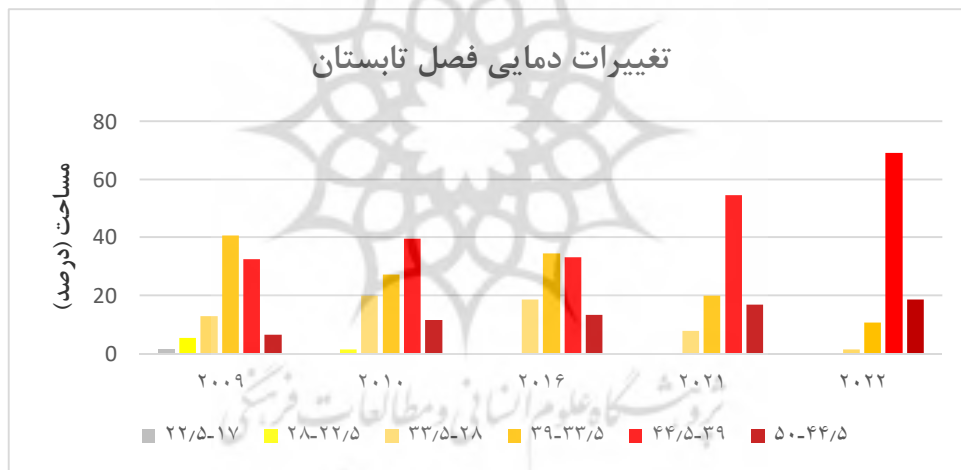
از نظر اقلیمی، اقلیم شهر کرمان تحت تاثیر عوامل محلی، مانند ارتفاعات و کویر لوت است و اقلیم این شهر خشک تا فراخشک است. همچنین گسترش عمودی ساختمان‌ها در تمام نقاط شهر موجب کندی سرعت باد به دلیل افزایش اصطکاک شده است و بلند مرتبه سازی‌هایی که بخصوص در شمال و غرب کرمان با ارتفاع بیشتر نسبت به سایر نقاط انجام گرفته بر کاهش سرعت باد مناسب بر روی شهر تاثیر بیشتری دارد. از دیگر سو افزایش جمعیت و تمرکز بالای آن در داخل شهر، شدت جزیره حرارتی شهر را افزایش داده است. به منظور بررسی جزیره حرارتی شهر کرمان، تصاویر حرارتی شهر کرمان پس از اعمال الگوریتم استخراج دمای سطح زمین LST، در شکل‌های (۱ و ۲) نشان داده شده است. در فصل تابستان طبقات دمایی به ترتیب به شش کلاس (۱۷-۲۲٫۵)، (۲۲٫۵-۲۸)، (۲۸-۳۳٫۵)، (۳۳٫۵-۳۹)، (۳۹-۴۴٫۵) و (۴۴٫۵-۵۰) (۲۸-۳۳٫۵)، (۳۳٫۵-۳۹)، (۳۹-۴۴٫۵) و (۴۴٫۵-۵۰)

جدول ۳: مساحت طبقات دمایی شهر کرمان بر حسب  $km^2$  در فصل تابستان

سال	۲۲٫۵-۱۷	۲۸-۲۲٫۵	۳۳٫۵-۲۸	۳۹-۳۳٫۵	۴۴٫۵-۳۹	۴۴٫۵<
۲۰۰۹	۳/۹	۱۳/۱	۳۰/۵	۹۷/۸	۷۷/۴	۱۵/۳
۲۰۱۰	۰	۰/۹	۴۷/۵	۶۶/۷	۹۵/۳	۲۷/۶
۲۰۱۶	۰	۰	۴۴/۷	۸۲/۵	۷۸/۹	۳۱/۹
۲۰۲۱	۰	۰	۱۹/۹	۴۸/۷	۱۲۹/۹	۳۹/۵
۲۰۲۲	۰	۰	۳/۵	۲۵/۶	۱۶۴/۷	۴۴/۲



شکل ۲: طبقه بندی دمای سطح زمین (LST) شهر کرمان در فصل تابستان

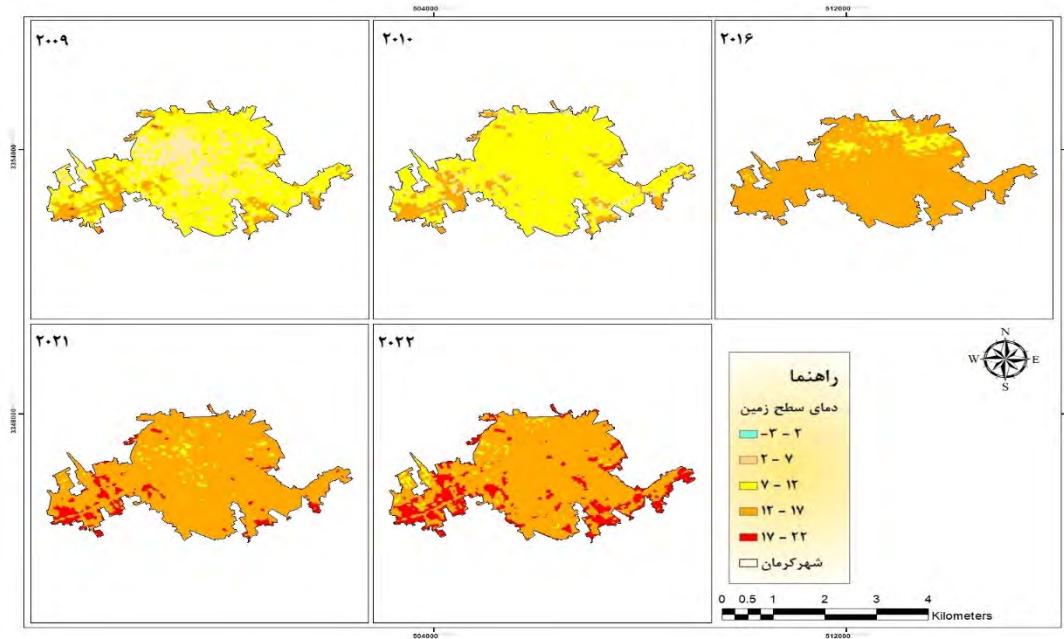


نمودار ۱: تغییرات دمایی فصل تابستان شهر کرمان طی دوره آماری ۲۰۰۹-۲۰۲۲

طی سال‌های اخیر، با افزایش مساحت شهر کرمان و سطح محیط اطراف شهر به خصوص نواحی اطراف فرودگاه و دو شهرک بزرگ صنعتی کرمان دمای سطح زمین در قسمت‌های جنوب غرب و جنوب شرقی شهر کرمان افزایش داشته است (نمودار ۲) و این افزایش دما به بیش از ۱۵ درصد رسیده است.

در فصل زمستان طبقات دمایی به ترتیب به پنج کلاس (-۲-۳)، (۲-۷)، (۷-۱۲)، (۱۲-۱۷) و (۱۷-۲۲) درجه سانتی گراد طبقه‌بندی شده است. با توجه به شکل ۳ طی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۲۲ در فصل زمستان تراکم دمای سرد (۷-۱۲ درجه سانتی گراد) و متوسط (۱۲-۱۷ درجه سانتی گراد) تقریباً ۷۰ درصد منطقه شهری را در بر گرفته‌اند. با گذشت زمان و در

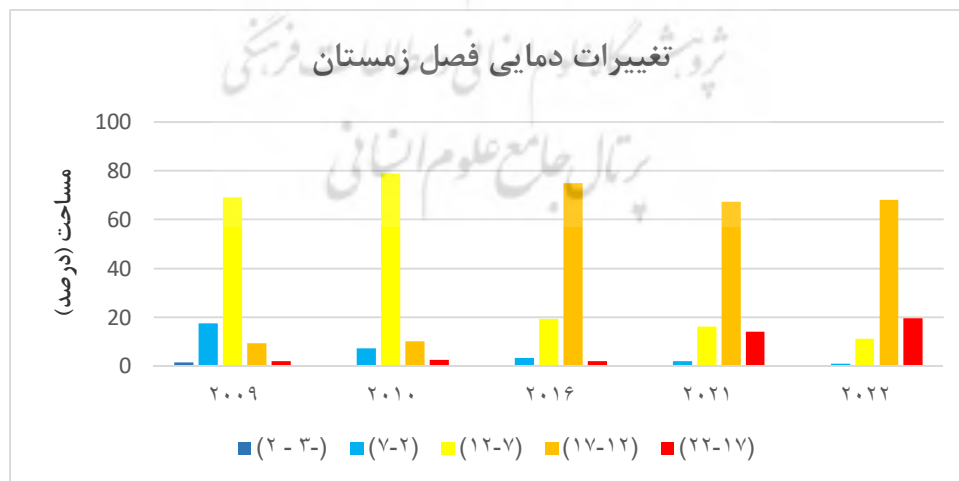




شکل ۳: طبقه بندی دمای سطح زمین (LST) شهر کرمان در فصل زمستان

جدول ۴: مساحت طبقات دمایی شهر کرمان برحسب  $km^2$  در فصل زمستان

سال	۲-۳	۷-۲	۱۲-۷	۱۷-۱۲	۱۷<
۲۰۰۹	۳/۷	۴۲/۲	۱۶۳/۹	۲۲/۵	۵/۷
۲۰۱۰	۰/۸	۱۷/۴	۱۸۸/۴	۲۴/۶	۶/۸
۲۰۱۶	۰	۸/۲	۴۶/۲	۱۸۳/۲	۰/۴
۲۰۲۱	۰	۴/۹	۳۸/۸	۱۶۰/۴	۳۳/۹
۲۰۲۲	۰	۲/۴	۲۶/۱	۱۶۲/۵	۴۷/۰

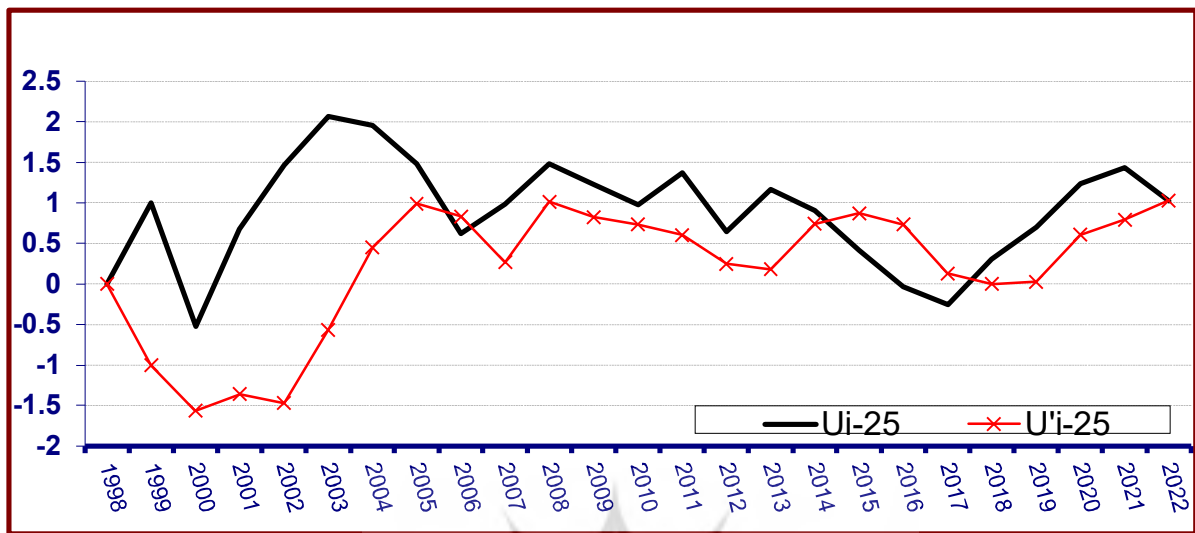


نمودار ۲: تغییرات دمایی فصل زمستان شهر کرمان طی دوره آماری ۲۰۰۹-۲۰۲۲

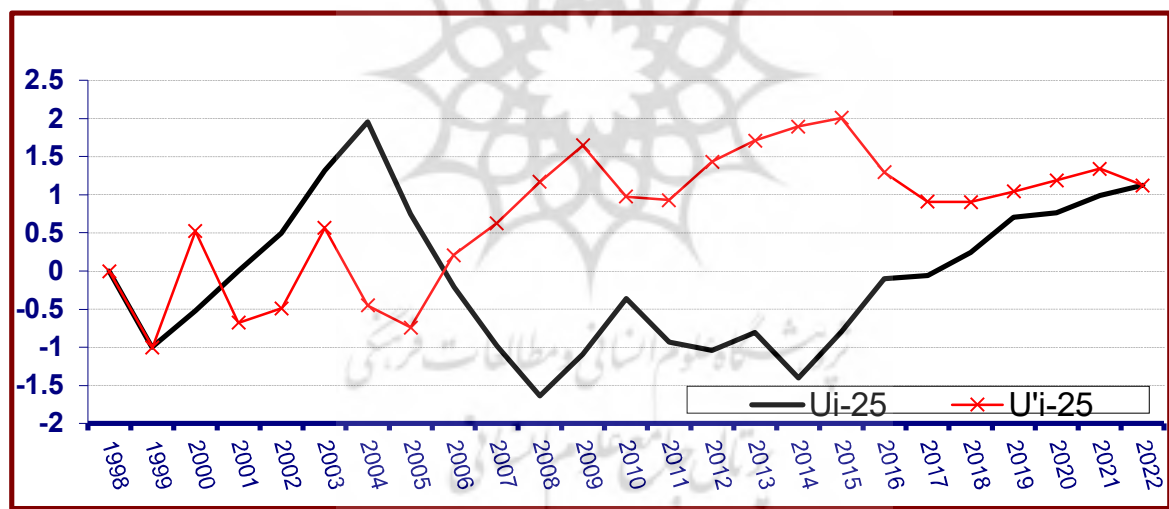
همبستگی فضایی (معناداری) با دمای ثبت شده توسط ایستگاه هواشناسی شهر کرمان، از آزمون معنی داری

به منظور کسب اطمینان از درست بودن پردازش تصاویر ماهواره ای لندست، مقایسه و اثبات وجود

من-کندال جهت نمایش تغییرات فصلی دمای شهر کرمان استفاده شده است. پس از به دست آوردن آماره  $U$  و  $U'$  رسم شوند؛ این نمودارها در سری زمانی تغییرات سالانه دما ترسیم شده است (نمودار ۳ و ۴).



نمودار ۳. روند تغییرات دمای فصل تابستان ایستگاه کرمان ۱۹۹۸-۲۰۲۲ براساس روش من-کندال



نمودار ۴. روند تغییرات دمای فصل زمستان ایستگاه کرمان ۱۹۹۸-۲۰۲۲ براساس روش من-کندال

دارد و منحنی های  $U$  و  $U'$  خارج از محدوده  $\pm 1.96$  با هم برخورد نداشته اند. همچنین روند صعودی قابل توجه در مقدار دما در فصل تابستان به خصوص در سال های اخیر است که این میزان افزایش دما حدود  $1/5$  درجه ی سانتی گراد می باشد. همچنین مقیمی و همکاران (۱۳۹۶) در شهر تهران به نتایج مشابهی دسترسی پیدا کرده و مقدار افزایش دما را

برای تعیین روند و جهش ناگهانی دما در فصول مختلف سال، یک دوره آماری ۲۵ ساله (۱۹۹۸-۲۰۲۲) انتخاب و ترسیم شد که در نمودارهای (۳ و ۴) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده از اعمال آزمون من-کندال نشان می دهد که در فصل تابستان یک تغییر جهش در سال های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵ و در فصل زمستان در سال های ۱۹۹۹، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ وجود

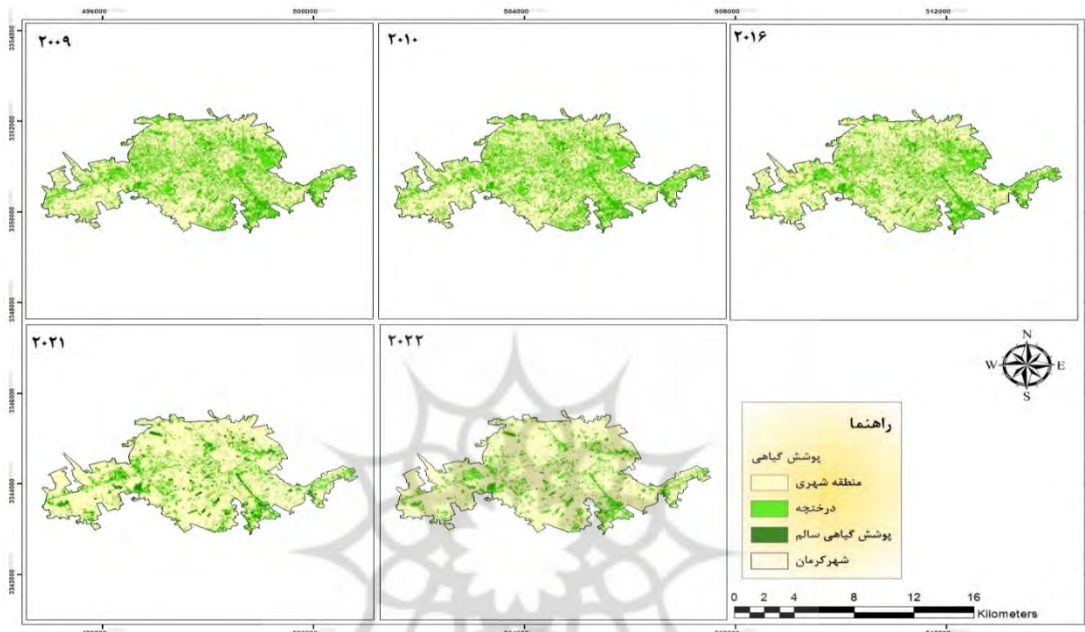
سال‌های (۲۰۲۲-۲۰۰۹) در شکل ۴ نشان داده شده است. سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۰۹ بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، بیشینه شاخص NDVI، منطبق بر مناطق با پوشش گیاهی بالاتر به صورت نواری طولی شکل تقریباً ۴۰ درصد از شهر کرمان را دربر گرفته است. همچنین کاربری‌های فضای سبز در مناطقی از شهر به صورت لکه‌هایی دیده می‌شود. در واقع مناطقی که در وضعیت بیشینه مقدار شاخص NDVI، به صورت مثبت قرار دارند، بیشتر مربوط به مناطق با فضای سبز بالاتر و کاربری از نوع پوشش گیاهی سالم هستند که بیشتر در نواحی مرکزی مشاهده می‌شود. زیرا کاربری فضاهای سبز شهری در ایجاد میکروکلیم و تأثیر بر دمای سطح زمین نقش مؤثری ایفا می‌کند. در عوض هر چقدر مقدار شاخص NDVI، در حالت کمینه و منفی قرار بگیرد، شرایط گرم در مناطق با کاربری شهری محور (مسکونی-تجاری) قرار می‌گیرند که در نقشه با رنگ زرد مشخص شده است و مساحت زیادی را به خود اختصاص داده است. با توجه به نقشه‌های سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ بیشترین گرما یا کمینه‌ی شاخص NDVI، در مناطق شمال تا جنوب و قسمت‌هایی از جنوب غرب دیده می‌شود. میزان پوشش گیاهی سالم نسبت به سال ۲۰۰۹ کاهش یافته است و بیشتر پوشش گیاهی منطقه داخلی شهر از نوع درختچه و بوته می‌باشد که ۲۰ درصد منطقه را پوشش می‌دهند و کمینه شاخص پوشش گیاهی در مناطق اطراف و به‌ویژه حاشیه‌های شهر دیده می‌شود (نمودار ۵). در فصل زمستان نیز با توجه به این فصل و کاهش دما نسبت به سه فصل قبل و خواب زمستانی درختان و گیاهان، در سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۰۹ فقط ۲۰ درصد کاربری‌های فضای سبز در مناطقی از شهر به صورت لکه‌هایی پراکنده شده‌اند که این مورد در زمستان‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ به ۸ درصد کاهش یافته است و بقیه‌ی قسمت‌های شهری فاقد پوشش گیاهی سالم و درختچه می‌باشد (نمودار ۶).

نسبت به ۵ دهه گذشته بیش از ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد به دست آورده‌اند. به طور کلی باتوجه به پردازش تصاویر ماهواره‌ای و آزمون معنی داری من-کندال درمی‌یابیم که میزان دمای شهر کرمان افزایشی و دارای روند صعودی بوده است. در سال‌های اخیر به خصوص در سال ۲۰۲۲ در فصل تابستان بیش از ۶۰ درصد منطقه شهری دارای دمای خیلی گرم بوده‌است که این شرایط می‌تواند در پیوند احتمالی با پدیده‌ی روند افزایش جمعیت شهری طی دهه‌های اخیر و به دنبال آن افزایش سازه‌های مسکونی و پدیده جزیره حرارتی مرتبط باشد. در مقایسه با فصل قبل در فصل زمستان اگرچه میزان دما روند صعودی داشته است اما جزیره حرارتی تشکیل نشده است.

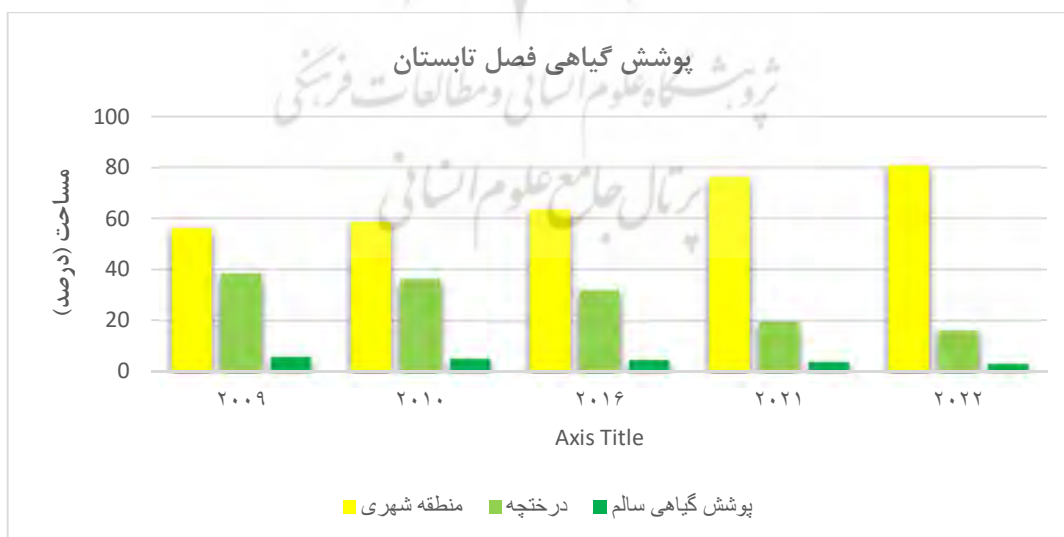
برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) از باند طول موج قرمز و باند طول موج مادون قرمز نزدیک استفاده شده تا شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده حساب شود. با توجه به اینکه این شاخص بین -۱ و +۱ متغیر است، این شاخص در سه کلاس منطقه شهری، درختچه (بوته و حالتی از گیاه که به‌خاطر کوتاهی قد و نیزداشتن بیش از یک تنه اصلی از درخت جدا می‌شود. درختچه‌ها معمولاً کوتاه‌تر از ۶-۵ متر هستند) و پوشش گیاهی سالم (انواع درختان که بیش از ۶ متر ارتفاع دارند) طبقه بندی شده است (شکل‌های ۴ و ۵). توسعه فیزیکی شهر، مشکلات زیست‌محیطی متعددی را به وجود آورده است از جمله جایگزین شدن سطوح طبیعی با سطوح نفوذ ناپذیر مانند آسفالت و سیمان که موجب از بین رفتن سیستم خنک‌کنندگی سطوح زمین شده است. پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های مؤثر در تغییرات درجه حرارت سطح زمین است که می‌تواند در تحلیل‌های مربوط به رشد و گسترش شهری تأثیرگذار باشد؛ از این رو در این قسمت به بررسی ارتباط درجه‌ی حرارت سطح با میزان تراکم پوشش گیاهی پرداخته شده است. نتایج حاصل از تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، برای شهر کرمان در فصل تابستان طی

جدول ۵. مساحت کاربری اراضی شهر و پوشش گیاهی برحسب  $km^2$  در فصل تابستان

سال	مناطق شهری	درختچه	پوشش گیاهی سالم
۲۰۰۹	۱۳۳/۳	۹۱/۲	۱۳/۵
۲۰۱۰	۱۳۹/۸	۸۶/۱	۱۲/۱
۲۰۱۶	۱۵۰/۸	۷۶/۱	۱۱/۱
۲۰۲۱	۱۸۱/۵	۴۶/۶	۹/۹
۲۰۲۲	۱۹۲/۱	۳۸/۶	۷/۳



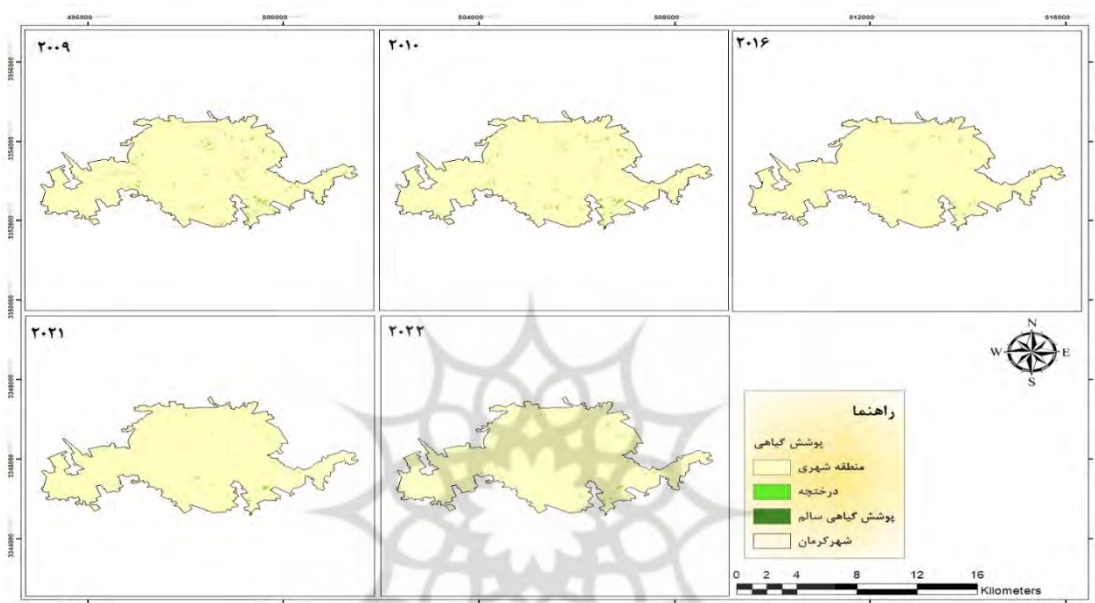
شکل ۴. نقشه پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) شهر کرمان در فصل تابستان



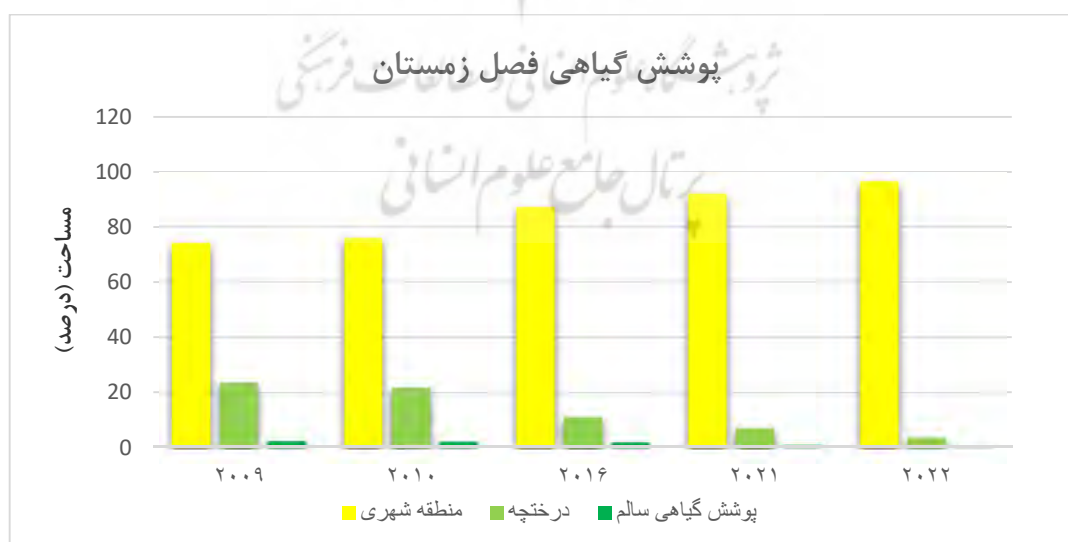
نمودار ۵. پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) شهر کرمان در فصل تابستان

جدول ۶. مساحت کاربری اراضی شهر و پوشش گیاهی بر حسب  $km^2$  در فصل زمستان

سال	مناطق شهری	درختچه	پوشش گیاهی سالم
۲۰۰۹	۱۷۶/۲	۵۵/۹	۵/۹
۲۰۱۰	۱۸۰/۸	۵۲/۳	۴/۹
۲۰۱۶	۲۰۶/۸	۲۶/۴	۴/۸
۲۰۲۱	۲۱۸/۵	۱۷/۱	۲/۴
۲۰۲۲	۲۲۹/۲	۸/۶	۰/۲



شکل ۵. نقشه پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) شهر کرمان در فصل زمستان



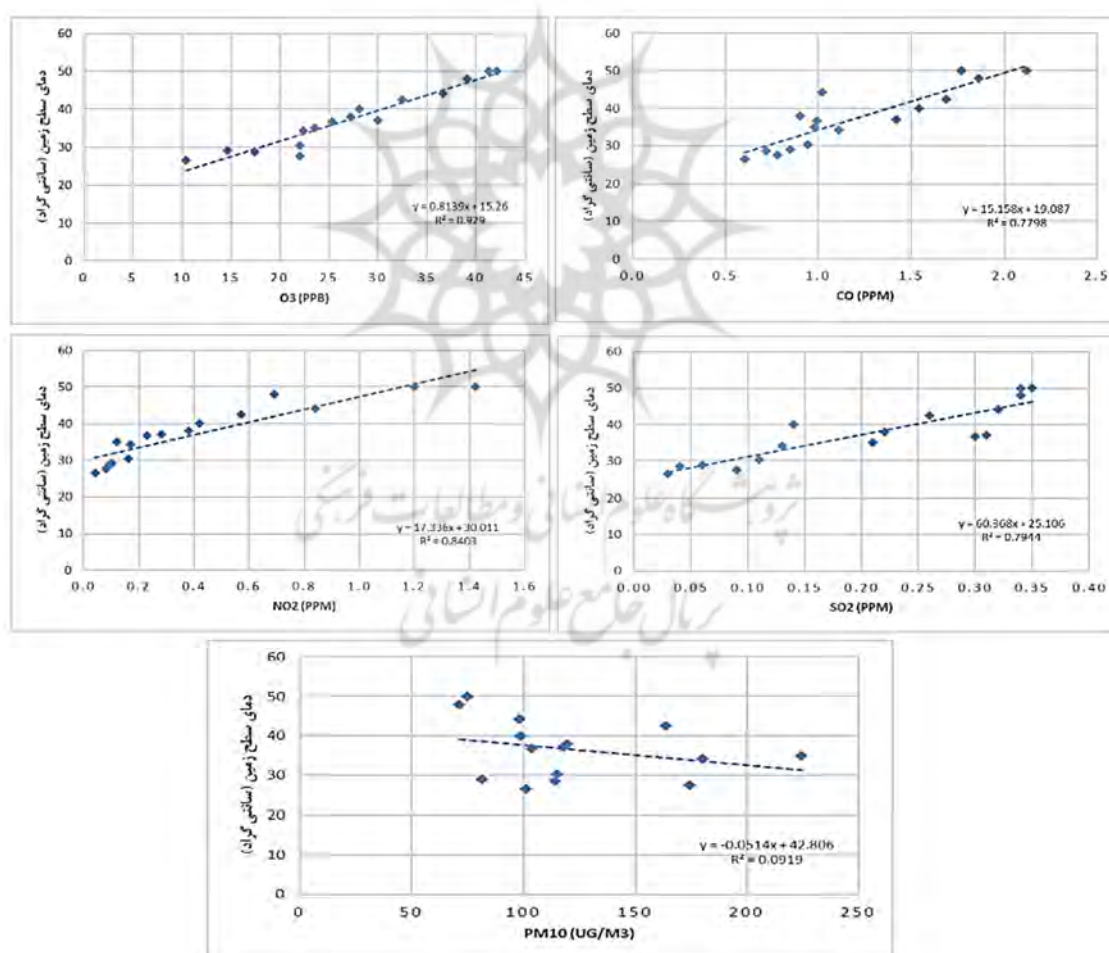
نمودار ۶. پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) شهر کرمان در فصل زمستان

تاریخ تصاویر ماهواره‌ای تطبیق داده شد. اگرچه تعداد این روزهای آلوده زیاد بود، ولی با توجه به محدودیت گذر ماهواره با پریود ۱۶ روزه از روی شهر کرمان، محدود بودن تعداد روزهای با شدت آلودگی بالا در کرمان و عدم انطباق روزهای آلوده با زمان گذر ماهواره، در نهایت ۲۰ روز آلوده در فصل‌ها انتخاب و برای تحلیل نهایی انتخاب شد (جدول ۷).

برای بررسی رابطه‌ی دمای سطح با آلاینده‌ها نیاز به داده‌های آلودگی هوا با توزیع مناسب در سطح شهر کرمان است که متأسفانه چنین داده‌هایی یا وجود ندارند یا در دسترس نیستند. تنها داده‌های یک ایستگاه سنجش آلودگی هوا در دسترس بود که به ناچار از همان ایستگاه استفاده شد و داده‌های مربوط به این ایستگاه سنجش آلودگی هوا طی دوره آماری (۲۰۲۲-۲۰۰۷) از سازمان محیط زیست کرمان دریافت و تاریخ آن‌ها با

جدول ۷. ضرایب همبستگی پیرسونی بین LST و آلاینده‌های هوا در شهر کرمان

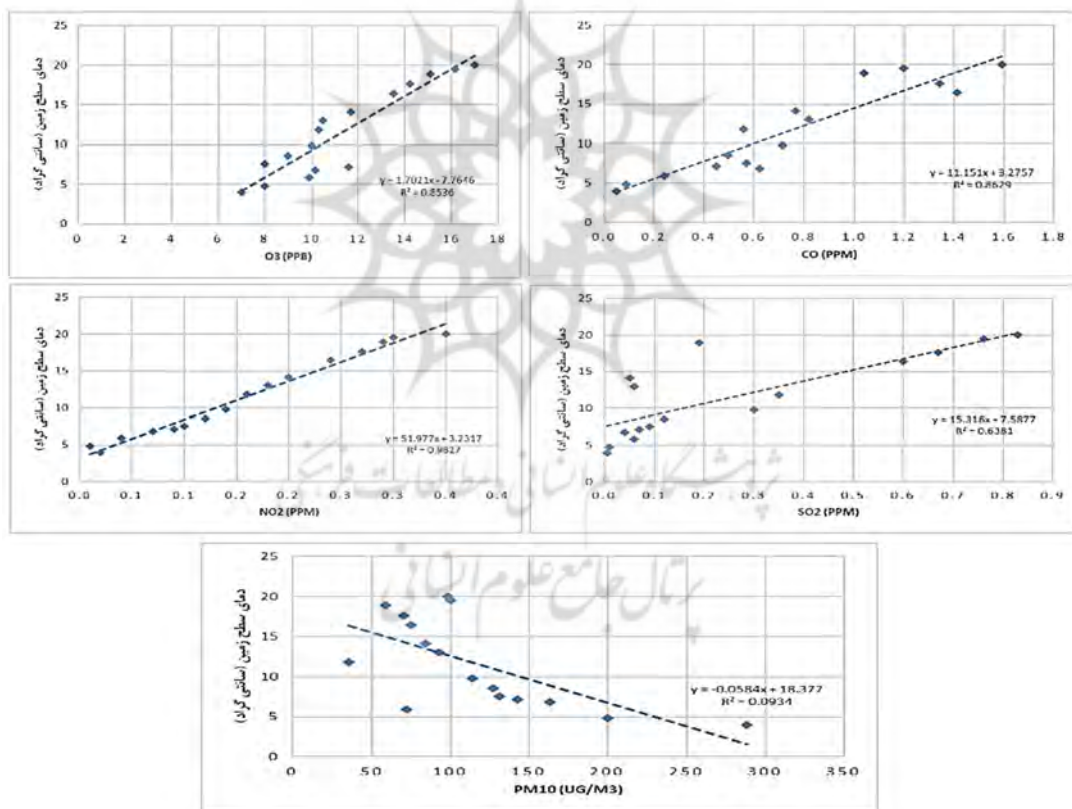
تاریخ	اوزن (O3)	منواکسیدکربن (CO)	اکسیدهای نیتروژن (NO2)	دی‌اکسیدگوگرد (SO2)	ذرات معلق (PM10)
تابستان	۰/۲۵	-۰/۵۶	۰/۹۳**	۰/۸۴	۰/۲۴
زمستان	۰/۸۹*	۰/۹۳*	۰/۷۹	۰/۸۰	-۰/۸۲



شکل ۶- ارتباط بین آلاینده‌های هوا و دمای سطح زمین شهر کرمان در فصل تابستان طی دوره آماری (۲۰۰۷-۲۰۲۲)

می‌دهد. به‌طور کلی در فصل تابستان و زمستان رابطه مستقیم و معنی‌دار بین دمای سطح و آلاینده‌های ازن، منواکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسیدگوگرد وجود داشته است. همچنین بین دمای سطح و آلاینده ذرات معلق ۱۰ میکرون رابطه معکوس و عدم معنی‌داری مشاهده شده است. شرایط دمایی محیط شهری نیز می‌تواند از آلودگی تاثیر پذیرد به طوری که در فصل تابستان بیشترین مقدار همبستگی متعلق به ازن و در فصل زمستان متعلق به اکسیدهای نیتروژن است. در هر دو فصل کمترین همبستگی بین دمای سطح و آلاینده‌های هوا متعلق به ذرات معلق ۱۰ میکرون بوده است.

با توجه به جدول ۷، در فصل تابستان، ضریب همبستگی بین آلاینده‌ها و دمای سطح به ترتیب معادل ۰/۲۵، ۰/۵۶، ۰/۹۳، ۰/۸۴، ۰/۲۴ است که بیشترین همبستگی متعلق به NO<sub>2</sub> و کمترین آن مربوط به PM<sub>10</sub> است. در فصل زمستان نیز، ضریب همبستگی بین آلاینده‌ها و دمای سطح به ترتیب معادل ۰/۸۹، ۰/۹۳، ۰/۷۹، ۰/۸۰، ۰/۸۲ بوده است که در این فصل بیشترین همبستگی متعلق به CO و کمترین آن مربوط به PM<sub>10</sub> است. شکل‌های ۶ و ۷ ارتباط بین آلاینده‌های هوا و LST به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای لندست را با استفاده از معادلات رگرسیون خطی برای سال‌های منتخب دوره آماری مذکور (۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۶، ۲۰۲۱، ۲۰۲۲) را نشان



شکل ۷. ارتباط بین آلاینده‌های هوا و دمای سطح زمین شهر کرمان در فصل زمستان طی دوره آماری (۲۰۰۷-۲۰۲۲)

آماري ۱۶ ساله (۲۰۰۷-۲۰۲۲) استفاده شد. دمای سطح زمین یکی از پارامترهای کلیدی در مطالعات شهرها می‌باشد. چراکه تقریباً با دمای لایه‌های پایینی اتمسفر شهری که مرکز موازنه انرژی سطح

### نتیجه‌گیری

به‌منظور بررسی سوالات، از داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر کرمان، ایستگاه آلوده‌سنجی شهر کرمان و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸-۴، طی دوره

و در سال ۲۰۲۲ بیش از ۸۰ درصد منطقه شهری فاقد پوشش گیاهی بوده است و تقریباً ۲۰ درصد پوشش گیاهی منطقه داخلی شهر از نوع درختچه و بوته می‌باشد. کاهش شاخص پوشش گیاهی در مناطق شهری می‌تواند به علت افزایش سطوح نفوذناپذیر و جایگزین شدن این سطوح با سطوح طبیعی از جمله پوشش گیاهی باشد. در مناطق اطراف شهر کاهش شاخص پوشش گیاهی ممکن است ناشی از عوامل انسانی، تغییرات اقلیمی و یا تغییر در شیوه و زمان کشت محصولات کشاورزی باشد. با بررسی آلاینده‌ها و میزان دمای سطح زمین نیز مشاهده شد که در فصل تابستان از بین آلاینده‌های  $SO_2$ ،  $NO_2$ ،  $CO$ ،  $O_3$  و  $PM_{10}$  دمای سطح زمین بیشترین همبستگی متعلق به  $NO_2$  با  $r = 0/93$  و سطح معناداری  $0/01$  بوده است. در فصل زمستان، آلاینده‌ها از  $r = 0/89$  سطح معناداری  $0/05$ ، آلاینده منواکسید کربن با  $r = 0/93$  و در سطح معناداری  $0/01$  دارای بالاترین همبستگی با LST بوده‌اند. در هر دو فصل مقدار  $PM_{10}$  کمترین مقدار، همبستگی و عدم معنی داری را نشان داده است. به‌طور کلی مهم‌ترین منابع تولید آلاینده‌ها اشتغال سوخت‌های فسیلی است. در این میان،  $CO$  را می‌توان شاخص ترافیک بیان کرد و  $NO_2$  نیز به شدت وابسته به ترافیک است. ولی بیشترین مقدار ازن سطحی مستقیماً بر اثر تابش خورشید بر مواد آلی فرار (VOC) در حضور  $NO_2$  تشکیل می‌شود. بنابراین ناشی از دود خودروها است (شرعی‌پور، ۱۳۸۸). وقوع این واکنش‌ها در دماهای بالا محتمل‌تر هستند و توسط دماهای بالا تقویت می‌شوند. نتایج این تحقیق و نیز تحقیق (بهارلو و همکاران، ۱۳۹۰) و (هاشمی، ۱۳۹۴) در زمینه‌ی ارتباط بین پارامترهای آلاینده (به‌خصوص ازن، اکسیدهای نیتروژن و مونواکسید کربن) با میزان دمای جزیره حرارتی با تحقیق حاضر مطابقت دارد.

زمین می‌باشد و تعیین کننده اقلیم میان ساختمان‌ها و مؤثر بر زندگی و آسایش ساکنان شهری است برابری می‌کند. پس از طبقه‌بندی دمایی شهر کرمان، محدوده‌های دمایی مختلف بر روی نقشه‌های حرارتی شهر مشخص شدند. مقایسه نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در هر دو فصل میزان دمای سطح زمین دارای روند صعودی بوده است. به‌طوری که در تابستان سال ۲۰۰۹ تراکم دمای خیلی گرم کمتر از ۳۰ درصد بوده است و فقط در قسمت‌های غرب شهر کرمان و به صورت پراکنده در شمال، شرق و جنوب شرق شهر کرمان دیده می‌شود. با گذشت زمان و در سال ۲۰۲۲ در فصل تابستان بیش از ۶۰ درصد منطقه شهری دارای دمای خیلی گرم بوده است. همچنین قسمت‌هایی از غرب به سمت جنوب شهر به دلیل وجود زمین‌های بایر و همچنین به دلیل عدم بهره‌مندی از سازوکارهای خنک‌کنندگی تبخیر و تعرق، دارا بودن ظرفیت بالای جذب گرما در کنار ظرفیت هدایتی پایین، هسته‌ی اصلی جزایر حرارتی را تشکیل داده‌اند. اما در فصل زمستان جزیره حرارتی تشکیل نشده است. در اکثر پژوهش‌هایی که قبلاً انجام شده است همبستگی منفی بین شاخص NDVI و LST مشاهده شده است. به این معنی که هرچه تراکم پوشش گیاهی بیشتر شده، دمای سطح زمین کاهش یافته است. البته در برخی از مطالعات، این رابطه (به‌ویژه در فصل زمستان) مثبت بوده است. با بررسی شاخص پوشش گیاهی در مناطق شهری و اطراف شهری به این نتیجه دست یافتیم که به مرور زمان در هر دو فصل از میزان پوشش گیاهی کاهش یافته است. به‌طوری که در فصل تابستان سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۹ بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و مساحت‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی شهر کرمان، کم‌ترین میزان گرما یا بیشینه شاخص NDVI، به صورت نواری طولی شکل ۳۸ درصد از شهر کرمان را دربرگرفته است. با گذشت زمان



## منابع

- بندرعباس. سنجش ازدور و سامانه های اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۴-۱.
- ۱۰- مزیدی، احمد، حیدری، بتول. ۱۴۰۰. تحلیل و ارزیابی تغییر کاربری اراضی بر جزیره حرارتی در شهر کرمان، پنجمین کنگره بین المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران، تبریز.
- ۱۱- مزیدی، احمد، حسینی، فاطمه. ۱۳۹۴. تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین بر جزیره ی گرمایی در منطقه ی شهری یزد با استفاده از داده های سنجش از دور، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۸، صص ۱۲-۱.
- ۱۲- مومن بیک، زهرا. ۱۳۹۶. ارزیابی اثرات تغییرات کاربری و پوشش زمین بر جزایر حرارتی در شهرکرد، شاطریان، محسن، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه کاشان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.
- ۱۳- میریعقوب زاده، میرحسین قنبرپور، محمدرضا. ۱۳۸۸. به کارگیری داده های سنجش از دور در برآورد دمای سطح اراضی (مطالعه موردی حوضه آبخیز وردین، آذربایجان خاوری)، مرتع، شماره ۴، صص ۷۲۳-۷۳۴.
- ۱۴- ناصحی، سعیده، باوری، احمدرضا، صالحی، اسماعیل. ۱۴۰۱. بررسی ارتباط بین تغییرات مورفولوژی شهری با دمای سطح زمین به منظور مدیریت جزیره حرارتی شهری (مطالعه موردی: شهر تهران). جغرافیا و پایداری محیط، ۳، ۱۳۰-۱۰۷.
- 15- Bassett, R., Janes-Bassett, V., Philipson, J., Young, P.J., Blair, G.S. 2021, Climate driven trends in London's urban heat island intensity reconstructed over 70 years using a generalized additive model. *Urban Climate*, Volume 40.
- 16- Chander, G, Markham, B. L, & Helder, D. L. 2009, Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, 113, (5): 893-903.
- 17- Kok, T, Chooi, S. L, Hwee, M, Mohd, Zubir, & Khiruddin, A. 2010, Landsat data to evaluate urban expansion and determine land use/land cover changes in Penang Island, Malaysia. *Environmental Earth Sciences* 60, 7, 1509-1521.
- 18- Landsberg, H. E. 1981 the Urban Climate. Academic Press, Maryland.
- 19- Lettenmaier, D, Wood, E, & Wallis, J. (1994). Hydroclimatological trends in the
- ۱- آتشی، وحید. ۱۳۹۵. بررسی ارتباط تغییرات جزایر حرارتی سطحی و گسترش فیزیکی شهر شیراز با پردازش تصاویر ماهواره‌های، خورشیددوست، علی محمد، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی.
- ۲- آروین، عباسعلی. ۱۳۹۷. بررسی جزیره حرارتی در ارتباط با آلودگی هوا در شهر اصفهان، نشریه علمی جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۵، صص ۱۱۵-۱۲۹.
- ۳- ارسلانی، عزیزی، خوش اخلاق، محسن، قاسم، فرامرز. ۱۳۹۱. بازسازی تغییرات دمای حداکثر استان کرمانشاه با استفاده از حلقه های درختی، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱، ۹۷-۱۱۰.
- ۴- پورزیدی، علی محمد؛ علیجانی، بهلول؛ اکبری، مه‌ری؛ ضیائی آن فیروزآبادی، پرویز. ۱۳۹۹. تحلیل فضایی و زمانی جزایر حرارتی شهر گرگان، فصلنامه آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه گلستان، سال دهم، شماره مسلسل سی و هشتم، صص ۱۷۲-۱۵۷.
- ۵- خاکپور، براتعلی، ولایتی، سعدالله، کیانژاد، قاسم. ۱۳۸۶. الگوی تغییر کاربری اراضی شهر بابل طی سال های ۱۳۷۸-۱۳۶۷، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۹، ۶۴-۴۵.
- ۶- شرعی پور، زهرا. ۱۳۸۸. بررسی تغییرات فصلی و روزانه آلاینده های هوا و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی، فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۵، شماره ۲، صص ۱۳۷-۱۱۹.
- ۷- علوی پناه، سیدکاظم، هاشمی دره بادامی، سیروس، کاظم زاده، علی. ۱۳۹۴. تحلیل زمانی مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد با توجه به گسترش شهر و تغییرات کاربری پوشش زمین، پژوهش های جغرافیایی برنامه ریزی شهری، دوره ۳، شماره ۱، صص ۱۷-۱.
- ۸- گلاب زاده، محمدعلی. ۱۳۹۰. کرمان در آینه گردشگری، مؤسسه فرهنگی کرمان شناسی، انتشارات ولی، چاپ چهارم.
- ۹- متکان، علی اکبر، نوحه‌گر، احمد، میرباقری، بابک، ترک چین، ناهید. ۱۳۹۳. تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از داده های چند زمانه سنجنده ASTER مطالعه موردی: شهر

- environmental studies: Methods, applications, and trends". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64(4): 335-344.
- 24- Xu, H, Chen, Y, Dan, S, & Qiu, W. 2011, Dynamical monitoring and evaluation methods to urban heat island effects based on RS&GIS. Procedia Environmental Sciences volume 10: 1228-1237.
- 25- Zanter K. 2016. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. USGS Science for Changing World, EROS, Sioux Falls, South Dakota.
- 26- Zhou, X., & H. Chen. 2018, Impact of urbanization-related land use land cover changes and urban morphology changes on the urban heat island phenomenon. Science of The Total Environment, 635, 1467-1476.
- continental United States, 1984-88. J. Climate, 7, 586-607.
- 20- Margarete, C.T.A. 2020, Daily evolution of urban heat islands in a Brazilian tropical continental climate during dry and rainy periods. Urban Climate, Volume 34.
- 21- UI Moazzam, M. F, Yang, H. D, Byung Gul, L. 2022, Impact of urbanization on land surface temperature and surface urban heat Island using optical remote sensing data: A case study of Jeju Island, Republic of Korea. Building and Environment, 222, 109368.
- 22- Weimin, W., Kai, L., Rong, T., Shudong, w. 2019, Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China. Physics and Chemistry of the Earth, Volume 110.
- 23- Weng, Q. 2009, Thermal infrared remote sensing for urban climate and

