

ارزیابی روند تغییرات دما، جزیره حرارتی و پوشش گیاهی ایام گرم سال در شهر یزد

احمد مزیدی^۲

فروغ محمدی راوری^۱

زهرا بهزادی شهربابک^۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۲۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴

چکیده

پدیده جزیره حرارتی، از معمول‌ترین پدیده‌های شهری است که طی آن برخی از نقاط شهری به‌خصوص مرکز شهرها چند درجه از مناطق اطرافشان گرم‌تر می‌شوند. هدف این پژوهش، ارزیابی روند تغییرات دما، تغییرات جزیره حرارتی و پوشش گیاهی دوره گرم سال در شهر یزد است. برای بررسی روند تغییرات دمای ماه‌های گرم سال، از اطلاعات دمایی ایستگاه یزد و آزمون من-کندال استفاده شد. به منظور تعیین جزیره گرمایی شهر یزد در ماه‌های گرم سال، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۴-۸ در محدوده زمانی ۳۳ ساله (۱۹۸۷-۲۰۲۰) که شامل چهار دوره با فاصله زمانی ۱۱ ساله است (میانگین ماه‌های تیر، مرداد و شهریور سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۰) استفاده شد. نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که در طی دوره آماری هر چه به سال‌های جاری نزدیک‌تر شویم از میزان پوشش گیاهی و زمین‌های بایر کاسته شده و در عوض به وسعت ناحیه‌ی شهری افزوده شده است. نقشه‌های LST نیز نشان از دماهای بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌صورت خوشه‌های داغ در قسمت‌های غرب و جنوب‌غرب شهر یزد بوده که در دهه‌های اخیر ایجاد و تقویت شده‌اند. آزمون من-کندال و شیب سنس نیز حاکی از روند صعودی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد به‌خصوص در سال‌های اخیر است. میزان این افزایش دما در یک دوره ۴۵ ساله حدود ۲/۳ درجه سانتی‌گراد بوده که این شرایط می‌تواند در پیوند احتمالی با پدیده روند افزایش جمعیت شهری طی دهه‌های اخیر و به دنبال آن افزایش سازه‌های شهری (مسکونی، تجاری) و پدیده جزیره حرارتی مرتبط باشد.

واژه‌های کلیدی: جزیره حرارتی، دمای سطح زمین، تغییرات کاربری، NDVI، شهر یزد

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی محیطی دانشگاه یزد، یزد، ایران F.mohammadi.5016@gmail.com

۲- دانشیار اقلیم‌شناسی گروه جغرافیا دانشگاه یزد، یزد، ایران (نویسنده مسئول) Mazidi@yazd.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی دانشگاه یزد، یزد، ایران Zhrabhzady495@gmail.com

۱- مقدمه

و به دنبال آن دما افزایش پیدا می‌کند. به طور کلی جزایر حرارتی در شهرها باعث بالا رفتن دمای هوا، افزایش دمای سطح زمین و وارونگی حرارتی می‌شوند (گارتلند، ۲۰۱۲). عمده پژوهش‌های انجام شده در این زمینه در کلان‌شهرهای کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه انجام گرفته است که به مواردی اشاره می‌شود.

شیان و کرین (۲۰۰۶) با بررسی پوشش زمین و ویژگی‌های حرارتی آن به کمک داده‌های لندست در مناطق شهری نشان دادند که می‌توان ویژگی‌های حرارتی سطح زمین و الگوهای آن را از طریق کیفیت کاربری اراضی بررسی کرد.

پاکارنسری و همکاران^۱ (۲۰۱۸) در مطالعه شهر بانکوک آن را به ۵۰ منطقه تقسیم، که هر کدام ویژگی‌های فیزیکی متفاوتی داشته که بر جزیره‌ی گرمایی شهری تأثیر می‌گذارند. مطالعات نشان داد شاخص‌های کلیدی جزیره‌ی گرمایی شهری شامل دما و نرخ سرمایش بوده است از این داده‌ها مشخص شد که ویژگی‌های فیزیکی شهری تأثیر قابل توجهی بر بزرگی جزیره گرمایی شهری داشته است.

ویمین و همکاران^۲ (۲۰۱۹) براساس تصاویر سنجنش از دور لندست ۸ از منطقه سنژن چین در مطالعه‌ی خود از یک مدل ترکیبی طیفی خطی برای استخراج اطلاعات پوشش زمین استفاده کردند و سپس اثرات پوشش شهری زمین بر دمای سطح زمین (LST) و مؤلفه‌های گرمایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد LST سنژن به تدریج از شمال غربی تا جنوب شرقی کاهش یافته است. LST سطوح غیر قابل نفوذ شهری به طور قابل توجهی بیشتر از سطوح پوشیده از گیاه است. بنابراین اثر جزیره گرمایی شهری قابل توجهی را نشان داده است.

مارگارت^۳ (۲۰۲۰) در تحقیق خود با استفاده از مدل‌سازی چندمعیاره سعی کرد شدت و نگهداری جزایر حرارتی در جو پایین و توزیع فضایی آن‌ها را در طول

امروزه مهم‌ترین مشکل در مناطق شهری، افزایش درجه حرارت سطح زمین به دلیل دگرگونی‌های به وجود آمده در سطوح طبیعی است، که در اثر آن پوشش گیاهی طبیعی حذف شده و با سطوح غیرقابل نفوذ و غیرقابل انتقال جایگزین شده است (سنگ، سیمان، فلز و...) این پدیده مخصوصاً با اختلاف متمایز و مشخص درجه حرارت بین شهر و نواحی اطراف شهر، پدیده جزیره‌ی حرارتی نامیده می‌شود (ملک‌پور و همکاران، ۱۳۹۰).

دما یکی از مؤلفه‌های مهم اقلیمی است 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 است که بدون برنامه‌ریزی قبلی به شهر یا پوشش اراضی پیرامون شهر تبدیل شده‌اند. این مشکل در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران که نرخ رشد سریع بوده و در نتیجه باعث تغییرات در پوشش اراضی شده است رخ می‌دهد (خاکپور و همکاران، ۱۳۸۶). مطالعه‌ی جزیره گرمایی در اوایل به وسیله اندازه‌گیری دمای هوا توسط ایستگاه‌های سیار و ثابت شهری انجام می‌شد و بر پایه‌ی داده‌های زمینی استوار بود اما اکنون استفاده از داده‌های سنجنش از دور برای محاسبه‌ی دمای سطح زمین روشی نسبتاً جدید است که هزینه‌های تخمین دما را به صورت چشمگیری کاهش می‌دهد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). اندازه‌ی جزیره‌ی حرارتی از شهری به شهر دیگر بسته به توپوگرافی محل و ویژگی‌های آب و هوایی متفاوت است. حتی اگر اقلیم جهانی در حال گرم شدن نباشد، شهرها به دلیل اثر پدیده جزیره حرارتی با مشکل افزایش دما رو به رو هستند و معمولاً این پدیده در شب اتفاق می‌افتد (کالانی و کی، ۲۰۰۳). دلیل عمده‌ی جزیره حرارتی سطوح ساخته شده دست انسان است که مانع انعکاس نور خورشید شده و میزان جذب آن را بالا می‌برد

1- Pakarnseree et al

2- Weimin et al

3- Margarete

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۷)

ارزیابی روند تغییرات دما، جزیره حرارتی و پوشش گیاهی ایام گرم سال در ... / ۱۶۵

همبستگی معنی‌داری داشته و بر روی بارندگی منطقه اثر داشته است.

جوادزرین و علوی پناه (۱۳۹۵) تحقیقی با هدف تهیه نقشه‌ی حرارتی سطح زمین در اراضی جنوبی جزیره آبادان و مقایسه‌ی الگوی حرارتی سطح زمین در یک دوره ۳۰ ساله انجام دادند و جهت بررسی تغییرات دمای سطح زمین از تصاویر ماهواره لندست استفاده کردند. نتایج نشان داد اگرچه دامنه‌ی دمایی منطقه تغییر چندانی نداشته، وسعت کلاس‌های حرارتی دمای سطح زمین تغییرات قابل توجهی نشان می‌دهد که نیاز به بازنگری جدی برای محاسبه نیاز آبی گیاهان در پروژه‌های آبیاری آینده را می‌طلبد.

یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی اختلافات دمایی ناشی از جزیره‌ی حرارتی و اثر آن در تغییرپذیری دمای شهر زابل پرداختند. تغییرپذیری دما و رطوبت نسبی به مدت ۸۰ روز (۱۵ تیر تا ۳۱ شهریور سال ۱۳۹۴) با گام یک ساعته بررسی شد. نتایج نشان داد جزیره‌ی حرارتی ایجاد شده در بابل در تغییرپذیری روز به روز دمای آن مؤثر بوده‌است. همچنین در شهرهای متوسط می‌توان اثر جزیره‌ی حرارتی بر دما و رطوبت را دید.

آروین (۱۳۹۷) در پژوهش خود رابطه‌ی بین جزیره‌ی حرارتی و آلودگی‌ی هوا در شهر اصفهان را بررسی کرده و از طریق تصاویر ماهواره لندست به بررسی دمای سطح زمین (LST) پرداخته‌است. بررسی دمای هوا برای شهر اصفهان نشان داد اختلاف دمای جزیره‌ی حرارتی هوای شهری و دمای پیرامونی شهر در زمان رخداد حداکثر آلودگی بیشتر است. همچنین نتایج نشان داد نقشه‌ی جزیره‌ی حرارتی با نقشه‌ی توزیع آلودگی با یک دیگر هماهنگ بوده و نواحی آلوده‌تر دمای بالاتری هم دارا بوده‌اند.

تقی‌زاده و مزیدی (۱۳۹۸) در پژوهشی به بررسی تغییرپذیری مخاطره جزیره‌ی گرمایی باتوجه به تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در شهر اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست پرداختند، نتایج نشان داد که هسته‌های پرحرارت متعلق به اراضی نامرغوب و اراضی بایر

دوره‌های مختلف روز در شهر پزیدنت در غرب ایالت سائوپائولو برزیل بررسی کند. برای این امر داده‌های دما و رطوبت ۲۶ نقطه و در هر دو فصل خشک و بارانی تهیه و مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد 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^۱ (۲۰۲۱) با استفاده از یک مدل افزایشی تعمیم‌یافته برای تغییرپذیری در شدت جزیره حرارتی، ایستگاه سنت جیمز پارک در لندن را برای یک دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۵۰) انتخاب کردند. یافته‌ها نشان‌دهنده‌ی تغییرپذیری 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^۲ (۲۰۲۲) در مطالعه‌ی خود به تخمین جزیره‌ی حرارتی، جزیره جیجو پرداختند و نقشه‌های (LST) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست برای دو دهه‌ی گذشته تهیه و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که مساحت شهری LULC از ۸/۶۹٪ در سال ۲۰۰۲ به ۲۰/۸۱٪ در سال ۲۰۲۱ افزایش یافته است. و در این دوره زمین‌های بایر به دلیل گسترش شهری کاهش یافته است و در نتیجه‌ی آن به مساحت جنگل‌ها کمی افزوده شده است. نتایج (LST) بالاترین دما را برای کلاس شهری نشان داد شدت جزیره‌ی گرمایی از ۲/۴۷٪ در سال ۲۰۰۲ به ۳/۱۰٪ در سال ۲۰۲۱ افزایش داشته‌است.

غضنفری مقدم و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهش خود تغییرات بارندگی را برای بررسی تغییرات خرداقلیم منطقه مشهد از طریق مقایسه با مناطق هم‌جوار که در یک طبقه‌بندی اقلیمی قرار می‌گیرند به‌عنوان یک جزیره‌ی حرارتی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد در استان مشهد تغییرات دمایی ناشی از جزیره‌ی حرارتی با روند تغییرات بارندگی

1- Bassett et al

2- Farhan UI Moazzam et al

با توجه به پژوهش‌های انجام گرفته، اکثر مطالعات ابعاد مختلف جزیره حرارتی را با استفاده از علم سنجش از دور مورد بررسی قرار داده‌اند و به استخراج دما با روش‌های مختلف و بررسی رفتار زمانی و مکانی جزیره حرارتی در مناطق مختلف پرداخته‌اند. در همین راستا در پژوهش حاضر به بررسی روند تغییرات دما، جزیره حرارتی و پوشش گیاهی ایام گرم سال در شهر یزد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست پرداخته شد علاوه بر این بعد از استخراج دمای سطح زمین، جزایر حرارتی در فصل تابستان بررسی و تأثیر گسترش فیزیکی شهر بر جزایر حرارتی آشکار شد و در نهایت رابطه‌ی بین پوشش زمین و تغییر کاربری اراضی شهر با دمای سطح زمین مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر یزد در مرکز شهرستان یزد و استان یزد قرار گرفته است و در محدوده‌ی ۵۴ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی واقع شده که موقعیت آن در نگاره (۱) ارائه شده است. سیر تحول جمعیت شهر یزد در گذر زمان همواره سریع‌تر از سایر نقاط شهری استان بوده است. شهر یزد یکی از شهرهای گرم و خشک کشور ایران می‌باشد که در دشتی بین دو کوه شیرکوه و خرائق قرار گرفته است. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۲۳۰ متر است. میانگین بارش سالانه ۵۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. شهرستان یزد از سمت شمال به شهرستان‌های میبد و اشکذر از شرق به شهرستان‌های اردکان و بافق و از غرب به استان اصفهان و از جنوب به شهرستان‌های تفت، ابرکوه و مهریز محدود شده است. قرار گرفتن در یک موقعیت نامناسب طبیعی باعث شده است تا این شهر شاهد میانگین بارش کمی در طول سال باشد و به دلیل گرمای شدید و تبخیر فراوان و همچنین دور بودن از دریا آب و هوای مناسبی نداشته است و نوسان دمای هوای

بوده و بیشترین مساحت طبقه‌ی دمایی در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۵ مربوط به طبقه‌ی دمایی گرم بوده است همچنین توزیع تغییرات مکانی جزیره گرمایی در شهر اصفهان نیز نشان داد که جزایر گرمایی به مرور زمان تغییرات مکانی داشته است.

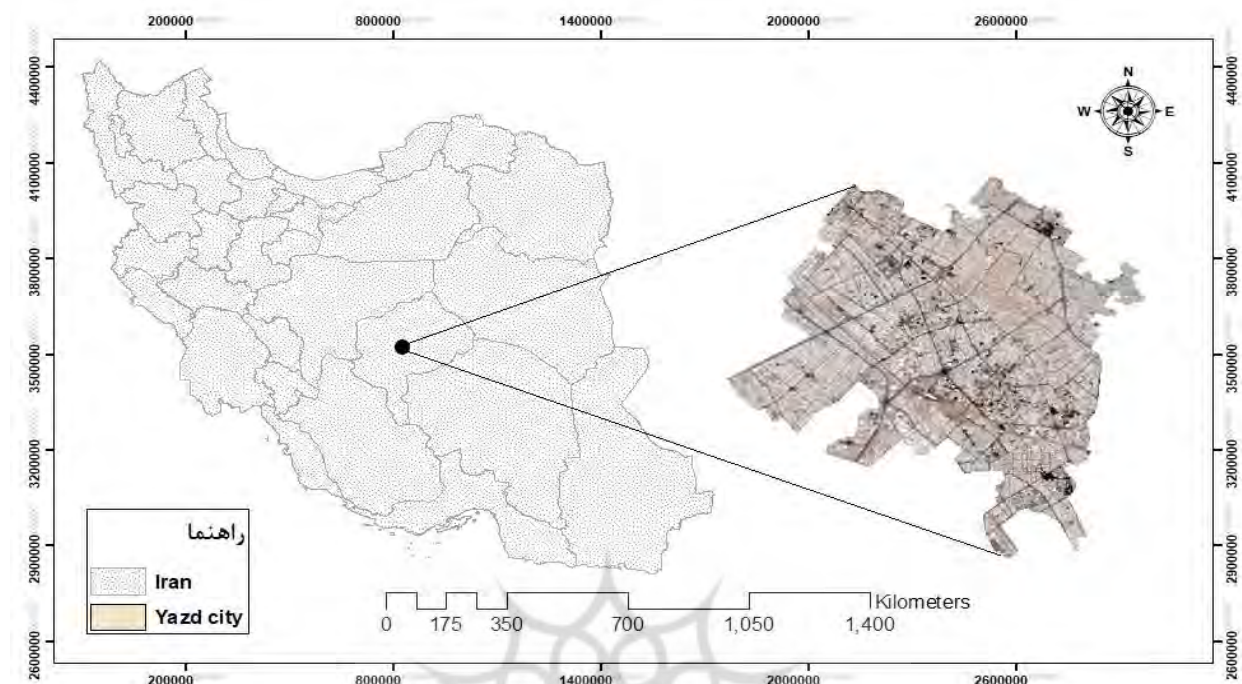
مرادی و رضایی مقدم (۱۳۹۹) در پژوهشی به تحلیل زمانی و مکانی جزیره حرارتی شهر ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست پرداختند. برای استخراج نقشه‌های جزیره حرارتی، دمای سطح زمین با روش حد آستانه (NDVI) استفاده شد. با استفاده از تصاویر (NDVI) و نقشه‌های کاربری اراضی، ارتباط دمای سطحی با پوشش گیاهی و سایر کاربری‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بررسی روند تغییرات زمانی جزیره حرارتی شهر ارومیه نشان داد که شاخص جزیره حرارتی روند افزایشی داشته است و علاوه بر گسترش جزیره حرارتی، شدت آن نیز افزایش داشته است.

مزیدی و حیدری (۱۴۰۰) در پژوهش خود تأثیر تغییر کاربری اراضی بر دمای سطح زمین شهر کرمان را مورد بررسی قرار دادند. 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.

ناصحی و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی تأثیر الگوهای مختلف توسعه‌ی زمین بر تغییرات حرارتی در محیط ناهمگن شهر تهران پرداختند. برای این امر ابتدا به تولید الگوهای مختلف توسعه‌ی زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست پرداخته و سپس دمای سطح زمین برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ استخراج شد 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 بوده است و بالاترین دمای ثبت شده برای رده‌ی خاک برهنه یا ماسه و شن بوده است.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (س)

ارزیابی روند تغییرات دما، جزیره حرارتی و پوشش گیاهی ایام گرم سال در ... / ۱۶۷



نگاره ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

یزد در فصل تابستان، از تصاویر ماهواره لندست ۴ تا ۸ در محدوده زمانی ۳۳ ساله، در چهار دوره با فاصله زمانی ۱۱ یازده ساله (میانگین ماه‌های تیر، مرداد و شهریور سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۰) انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفت. 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. علاوه بر این، جهت انجام تصحیحات هندسی از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ یزد استفاده شد. در تصحیحات انجام شده تمام تصاویر خطای RMS کمتر از ۰/۵ حاصل شد. به منظور محاسبه جزیره گرمایی شهری ارزش‌های رقومی تصاویر حرارتی (TIRS) به رادیانس طیفی تبدیل گردیده است. 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 رابطه (۱) به دست می‌آید (Xu, Huixi, et al., 2002).

بین شب و روز مشکلات بسیار زیادی را برای مردم این شهر به وجود آورده است.

۲-۲- داده‌ها و روش تحقیق

پژوهش حاضر، به روش آماری - تحلیلی است. زیربنای پژوهش، آمار داده‌های ایستگاهی و تصاویر ماهواره‌ای است و از داده‌های اقلیمی دمای ایستگاه هواشناسی یزد از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۲۰ برای سنجش تغییرات دما استفاده شد. با توجه به اینکه در مطالعات اقلیم شهری، برنامه‌ریزی‌ها بر مبنای الگوهای بلند مدت است، در این پژوهش به منظور سنجش روند تغییرات پارامترهای دمایی در ماه‌های گرم سال از روش من-کندال استفاده شد. همچنین با توجه به اینکه داده‌های ماهواره‌ای این قابلیت را دارند که با صرف کمترین انرژی و هزینه در مقیاس‌های وسیع، نوع و سطح کاربری‌های مختلف و دمای آن‌ها را با دقت بالا در یک سال خاص و یا سال‌های مختلف استخراج کنند (حسینی، ۱۳۸۹). لذا به منظور استخراج جزیره گرمایی شهر

با توجه به اینکه شاخص پوشش گیاهی نقش عمده‌ای در نقل و انتقال انرژی بین زمین و اتمسفر دارد و آثار متفاوتی بر روی عناصر اقلیمی از جمله دمای پیرامون خود می‌گذارد، در نتیجه می‌توان آن را به‌عنوان یکی از برگ خریدهای تأثیرگذار در محاسبه دمای سطح زمین به حساب آورد. سنجش از راه دور ماهواره‌ای می‌تواند برآورد معقول از پارامترهای پوشش گیاهی مانند حضور، پوشش و زیست توده در طیف گسترده‌ای از نوع پوشش زمین را فراهم کند (Sankey, 2013;37). شاخص NDVI (شاخص وضعیت پوشش گیاهی) از معروف‌ترین، ساده‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌هایی است که در زمینه‌ی مطالعات پوشش گیاهی شناخته شده است (کاسا، ۱۹۹۰). که به‌منظور محاسبه شاخص NDVI از رابطه ۴ و ۵ استفاده شده است.

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

رابطه ۴:

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

رابطه ۵:

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

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

رابطه ۶:

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

رابطه ۷:

و در نهایت دمای سطح زمین با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌شود (مؤمن بیک، ۱۳۹۶).

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

رابطه ۸:

که ۲:

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

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

رابطه (۱):

در رابطه فوق DN عبارت است از درجه خاکستری پیکسل‌ها و مقادیر L_{min} و L_{max} عبارتند از ثابت‌های کالیبراسیون سنجنده. مقادیر L_{min} و L_{max} (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 رابطه (۲) برآورد نمود (آتشی به نقل از ولیزاده، ۱۳۹۰).

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

رابطه (۲):

که در آن L_{λ} رادیانس طیفی حس‌گر ; gain= (0.0003342)

عامل دگرگونی مقیاس خاص برای هر باند فراداده: 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^۲ است، محاسبه می‌شود و شامل تأثیرات اتمسفر است (جذب و تشعشع^۳). در این پژوهش دمای درخشندگی با استفاده از ضرایب کالیبراسیون سنجنده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود. (Chander, Gyanesh, و Tan, Kok Chooi, et al. 2010)

(Markham, Brian L and Helder, Dennis L 2009)

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

رابطه (۳):

که در آن TB دمای درخشندگی به کلوین ($K_2 = 1321.08$ & $K_1 = 774.89$) مقادیر ثابت کالیبراسیون‌اند که از فراداده قابل دسترسی است.

1- metadata

2 -Black Body

3 -Absorption and Emissions

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (S)

ارزیابی روند تغییرات دما، جزیره حرارتی و پوشش گیاهی ایام گرم سال در ... / ۱۶۹

جدول ۱: مشخصات و قدرت تفکیک مکانی سنجنده‌های مورد استفاده

ماهواره	سنجنده	تفکیک مکانی باندهای حرارتی	تفکیک رادیومتریکی	ابعاد پوشش (کیلومتر)	تفکیک باند پن کروماتیک	تفکیک مکانی باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی
لندست ۵-۴	TM	۱۲۰×۱۲۰	۸ بیت	۱۸۵×۱۸۵	ندارد	۳۰×۳۰
لندست ۸	OLI/TIRS	۱۰۰×۱۰۰	۱۶ بیت	۱۸۵×۱۸۵	۱۵×۱۵	۳۰×۳۰

منبع: (usgs.gov)

جدول ۲: تاریخ تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در پژوهش

۱۹۸۷/۰۹/۱۱	۱۹۸۷/۰۹/۲۷	۱۹۸۷/۰۸/۲۶	۱۹۸۷/۰۷/۲۵	۱۹۸۷/۰۷/۰۹	۱۹۸۷/۰۶/۲۳
۱۹۹۸/۰۹/۲۵	۱۹۹۸/۰۹/۰۹	۱۹۹۸/۰۸/۲۴	۱۹۹۸/۰۸/۰۸	۱۹۹۸/۰۷/۲۳	۱۹۹۸/۰۷/۰۷
۲۰۰۹/۰۹/۲۳	۲۰۰۹/۰۹/۰۷	۲۰۰۹/۰۸/۲۲	۲۰۰۹/۰۸/۰۶	۲۰۰۹/۰۷/۲۱	۲۰۰۹/۰۷/۰۵
۲۰۲۰/۰۹/۲۱	۲۰۲۰/۰۹/۰۵	۲۰۲۰/۰۸/۲۰	۲۰۲۰/۰۸/۰۴	۲۰۲۰/۰۷/۱۹	۲۰۲۰/۰۷/۰۳

و هواشناسی کاربرد دارد و یکی از روش‌های ناپارامتری مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود (Lettenmaier and Wallis 1994). آزمون روند من کندال یکی از متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌شمار می‌رود. این آزمون ابتدا توسط Mann در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط Kendall در سال ۱۹۷۵ توسعه یافت. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی فاقد هم-خوانی با توزیع آماری خاصی اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردد نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است.

فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. توجه به توانمندی‌هایی که از این آزمون در آشکارسازی تغییرات رخ داده در سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی دارا می‌باشد، بسیار مورد توجه پژوهشگران حوزه‌های مطالعاتی تغییر اقلیم بوده است. آماره آزمون من-کندال (S)، با استفاده از روابط ۹ تا ۱۱ به‌دست می‌آید و با میانگین صفر و پراش محاسبه شده به‌طور مجانی دارای توزیع به‌هنجار می‌باشد.

و طول موج تابش ساطع شده است. تغییرات کاربری اراضی بر طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های محیط زیست و منابع طبیعی مانند کیفیت آب، منابع زمینی و هوایی، فرایندها و توابع اکوسیستم‌ها و سیستم‌های آب و هوایی تأثیرگذار است (سانداراکومار، ۲۰۱۲). تصاویر استفاده شده در این پژوهش برای تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از نرم‌افزار ArcMap و روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، مورد استفاده قرار گرفته است. با تبدیل لایه‌ها به یک لایه و کلاس‌بندی تصاویر به چهار کلاس زمین بایر، منطقه شهری، پوشش گیاهی و راه‌های ارتباطی، نقشه کاربری اراضی برای تاریخ‌های مورد نظر تهیه شد.

۲-۳- روش ناپارامتری من - کندال

روش‌های آماری متعددی برای تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه شده است که به‌طور کلی در دو دسته پارامتری و ناپارامتری قابل تقسیم‌بندی هستند. بررسی منابع متعدد نشان می‌دهد که روش‌های ناپارامتری از کاربرد وسیع‌تری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردارند. روش اصلی روندیابی در این پژوهش، براساس آزمون آماری من-کندال است که این روش که به‌طور گسترده در مباحث علوم محیطی

که در برخی موارد این مسئله به سبب صرفه‌جویی در منابع مثبت تلقی می‌شود. شهر یزد در گذشته کالبدی متراکم داشته اما این شهر از دهه ۱۳۴۰ به بعد همواره با رشد سریع شهرنشینی دچار تحول شده و به تدریج از حالت متراکم خارج شده است؛ که این مسئله باعث پدید آمدن تأثیر منفی از جمله تغییر و تحول در کاربری اراضی، نابودی پوشش گیاهی افزایش دمای سطح زمین، دمای هوا و توسعه جزیره گرمایی منطقه شده است (جمیلی‌زاد، ۱۳۹۱).

به منظور بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر دمای سطح زمین در شهر یزد از شاخص NDVI، استفاده شد. سپس با استفاده از آزمون من-کندال، روند دما مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی نتایج بیانگر این موضوع هستند که در فصل تابستان به دلیل اینکه پوشش گیاهی به نسبت زمستان کامل تر است لذا رابطه‌ی منفی بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین وجود داشته است و با کاهش پوشش گیاهی میزان دمای سطح زمین افزایش یافته است. در این پژوهش با نرم‌افزار ArcMap و استفاده از نمونه‌برداری در گوگل ارث چهار کاربری اصلی (زمین‌های بایر، منطقه شهری، پوشش گیاهی و جاده و معابر) شناسایی و به منظور فرایند طبقه‌بندی با بهره‌گیری از الگوریتم حداکثر احتمال استخراج شد. برای مقایسه بهتر جزایر حرارتی، نقشه کاربری اراضی تهیه و در نگاره ۲ نشان داده شده است. کاربری‌ها با توجه به هدف پژوهش انتخاب و با رنگ‌های متفاوت مشخص شد. بیشترین میزان تغییر کاربری مربوط به کلاس پوشش گیاهی و منطقه شهری است که نشان‌دهنده توسعه گسترده‌ی اراضی مسکونی و به تبع آن تخریب و کاهش پوشش گیاهی در سطح شهر است. طبق نگاره ۲ بیشترین افزایش مساحت طی این دوره زمانی به کاربری ساخته‌شده شهری مربوط است و بیشترین کاهش مساحت نیز مربوط به اراضی بایر در اطراف شهر یزد می‌باشد. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای کاربری اراضی شهر یزد نشان داد که شهر در دوره‌ی ۳۳ ساله گسترش کالبدی زیادی یافته و صرف‌نظر از فصل مورد بررسی، رشد قابل‌توجهی داشته است به طوری که

$$S = \sum_{k=i}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1, & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0, & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1, & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(rn-5) - \sum t_m t_m (t_m-1)(t_m+5)}{18} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

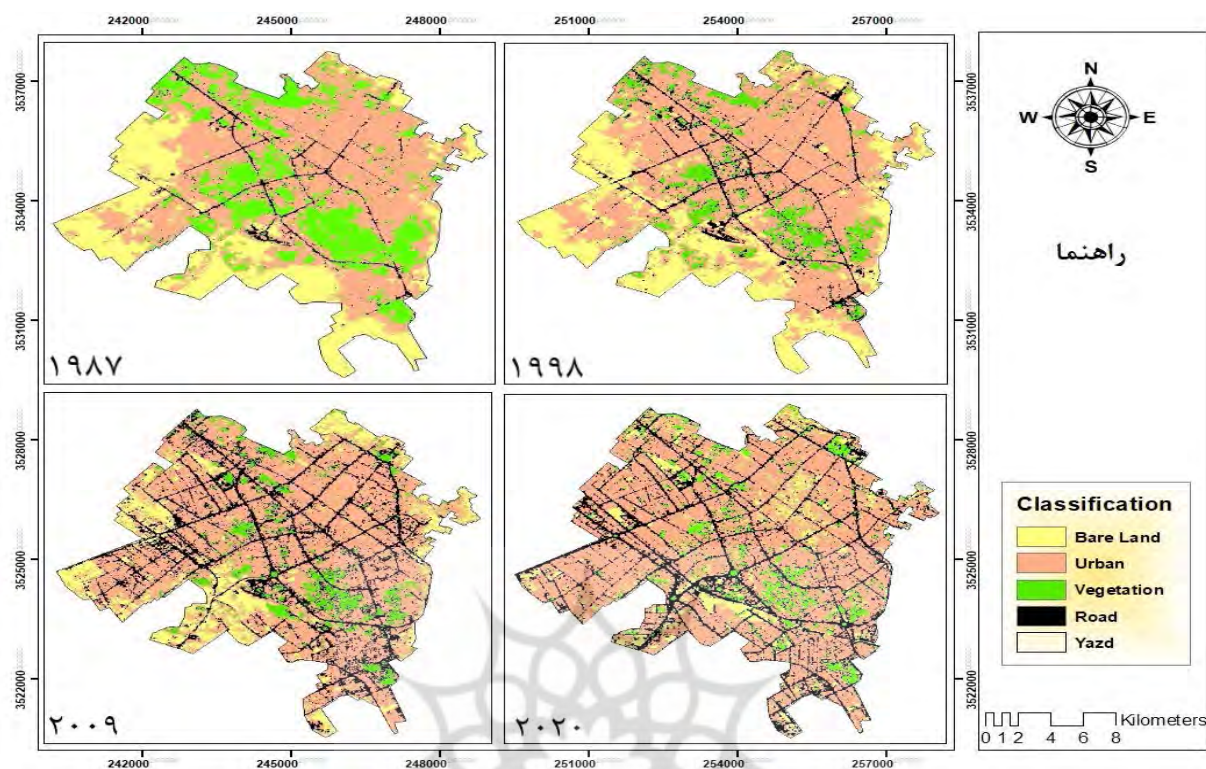
T_m ، برای نمایش طول m امین گره در سری‌های زمانی داده‌ها استفاده می‌شود. گره موقعی ایجاد می‌شود که دو داده با مقدار مساوی پشت سرهم در سری زمانی وجود داشته باشند. طول گره برابر تعداد تکرار داده‌های مساوی می‌باشد. اگر اندازه نمونه بزرگ‌تر از ۱۰ باشد، آن گاه آمار آزمون در رابطه‌ی (۱۲) به صورت یک متغیر به هنجار معیار شده محاسبه می‌شود:

$$z = \begin{cases} 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

بنابراین در آزمون روندیابی دو دامنه، اگر قدر مطلق آماره آزمون بزرگ‌تر از عدد جدول به هنجار ($z > z_{\alpha/2}$) در سطح معنی‌داری α باشد آن گاه فرض H_0 رد می‌شود. $z_{\alpha/2}$ نقطه بحرانی توزیع به هنجار معیار می‌باشد که بالادست آن به میزان $\alpha/2$ احتمال وجود دارد. مقادیر S مثبت و منفی به ترتیب نشان‌دهنده روند افزایشی و کاهش‌ی در سری زمانی داده‌ها می‌باشد. این زمان رخداد نقطه تقاطع منحنی‌های پیشرو و پسرو آماره آزمون در نظر گرفته می‌شود. به منظور معنی‌داری در سطح خطای ۵ درصد آماره‌ی مثبت یا منفی آزمون باید از عدد $1/96 \pm$ گذشته و در آن قسمت بماند.

۳- بحث و نتایج

از ویژگی‌های مهم شهرهای کویری از جمله یزد می‌توان به متراکم بودن این شهرها به دلیل کمبود منابع اشاره کرد



نگاره ۲: طبقه‌بندی نظارت‌شده منطقه مورد پژوهش طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۲۰

مناطق با پوشش گیاهی بالاتر به صورت نواری طولی شکل در قسمت مرکزی شهر یزد کشیده شده 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 میکروکلیمای 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 نقشه‌ی سال ۱۹۹۸ بیشترین گرما یا کمینه‌ی شاخص NDVI، در مناطق شمال‌غربی تا جنوب و قسمت‌هایی از شمال‌شرقی دیده می‌شود. میزان

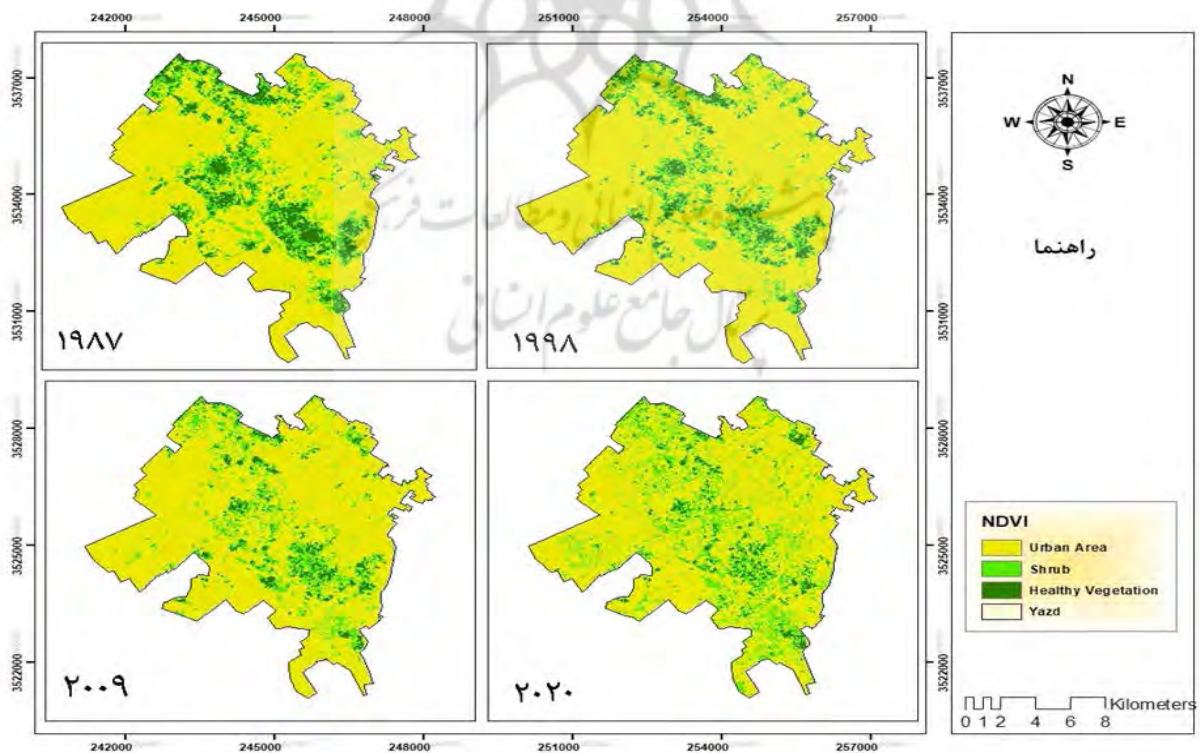
مساحت کلاس اراضی ساخته شده افزایش چشمگیری داشته است. در مقابل اراضی با پوشش گیاهی روند منفی داشته است (نگاره ۲).

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 یزد در سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۲۰، در نگاره ۳ نشان داد که در سال ۱۹۸۷ بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، کمترین میزان گرما یا بیشینه شاخص NDVI، منطبق بر

ولی در سایر قسمت‌های شهر به چشم نمی‌خورد. از آنجا که شهر گسترش یافته است و تقریباً زمین بایر بسیار کمی مشاهده می‌شود و بیشتر مساحت شهر به مناطق شهری اختصاص یافته است، نتایج بیانگر پیشرفت جزایر حرارتی شهری به سمت منطقه‌هایی است که با فقر پوشش گیاهی و توسعه کاربری‌های ساخت و ساز شده (مسکونی، تجاری و...) مواجه بوده‌اند.

تصاویر حرارتی شهر یزد پس از اعمال الگوریتم استخراج دمای سطح زمین LST، در نگاره ۴ نشان داده شده است. قسمت‌هایی از شمال 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، جزایر کوچک و پراکنده دیگری هم در سمت غرب و شمال غرب دیده می‌شود که طبق

پوشش گیاهی سالم نسبت به سال ۱۹۸۷ کاهش یافته است و بیشتر پوشش گیاهی منطقه داخلی شهر از نوع درختچه و بوته می‌باشد و کمینه شاخص پوشش گیاهی در مناطق اطراف و به‌ویژه حاشیه‌های شهر دیده می‌شود. از سال ۲۰۰۹ هر چه به سال‌های اخیر نزدیک‌تر می‌شویم از میزان شاخص NDVI کاسته و گرما بیشتر می‌شود که این افزایش به شرایط گرمای بی‌سابقه در سطح جهانی در سال‌های اخیر، ازدیاد جمعیت و حجم بالای مناطق مسکونی که در ایجاد جزیره حرارتی هم بی‌تأثیر نیست ارتباط دارد. در این سال فقط در مناطق مرکزی و قسمت‌های کمی در حاشیه‌های شهر به صورت نقطه‌ای پوشش گیاهی چشمگیری دیده می‌شود و در بقیه‌ی قسمت‌ها که زمین بایر و منطقه‌ی شهری خودنمایی می‌کند فاقد پوشش گیاهی سالم و درختچه می‌باشد. در سال ۲۰۲۰ نیز کانون پوشش گیاهی در ناحیه‌ی مرکزی می‌باشد. به عبارتی می‌توان گفت که بیشتر میزان پوشش گیاهی سالم در ناحیه‌ی مرکزی به صورت نوار مانند گسترش یافته است



نگاره ۳: طبقه‌بندی پوشش گیاهی (NDVI) در طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۲۰

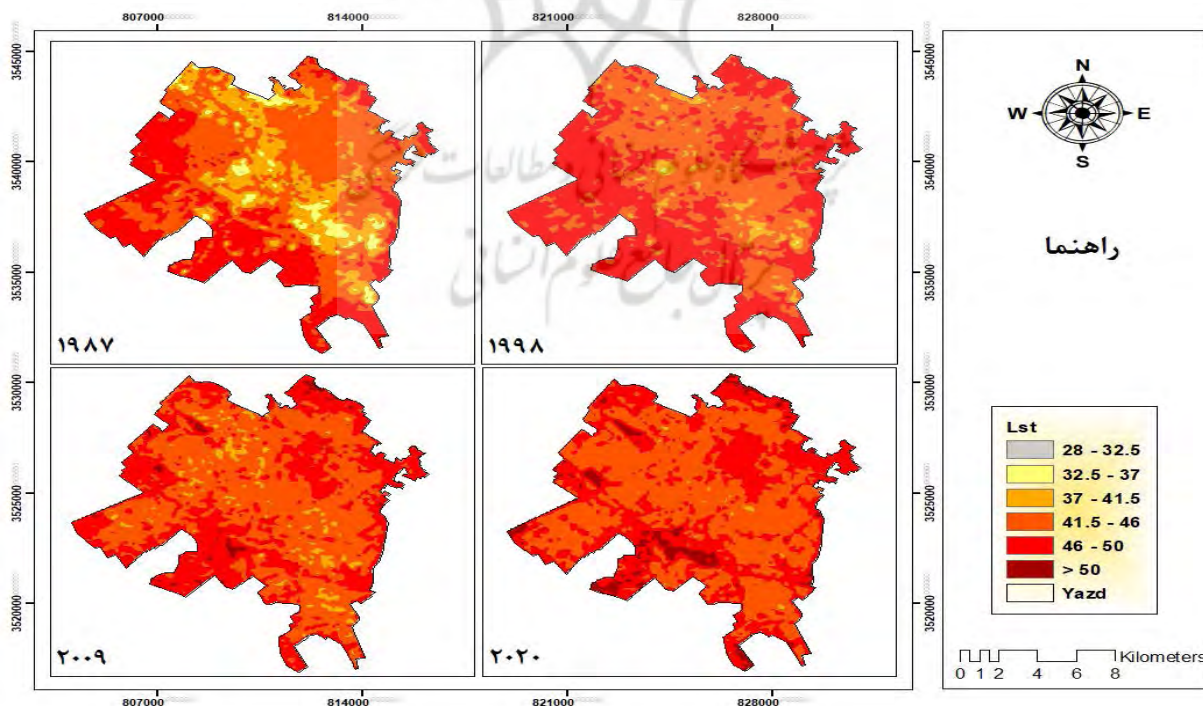
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (س)

ارزیابی روند تغییرات دما، جزیره حرارتی و پوشش گیاهی ایام گرم سال در ... / ۱۷۳

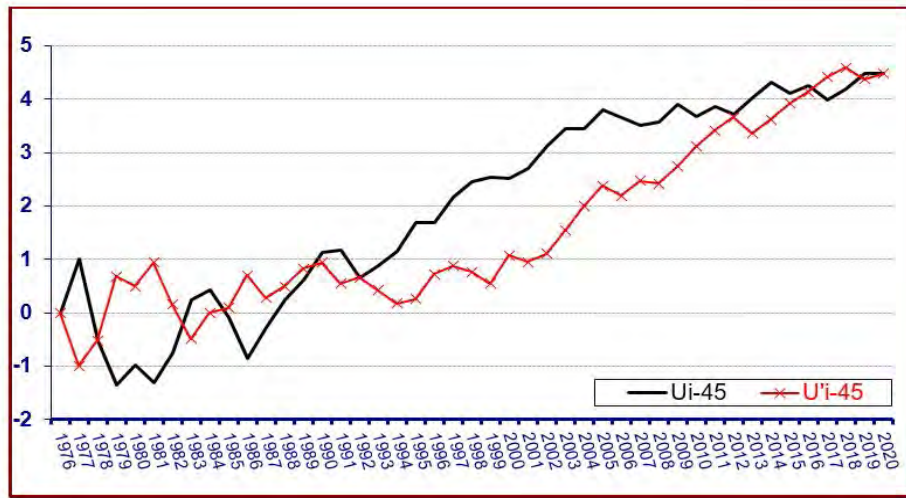
به طور کامل از بین رفته و جای خود را به دماهای بالاتر داده است. دماهای بالا و بسیار بالا که با اعداد ۴۱ تا ۵۰ درجه مشخص شده است محدود مکانی جزایر حرارتی را بر روی نقشه‌های دما مشخص می‌کند. همچنین مناطقی که با رنگ قرمز پررنگ و دارای دمای بالای ۵۰ درجه هستند، خوشه‌های داغی را تشکیل داده‌اند که بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۰ در محدوده غرب و جنوب غرب یزد شکل گرفته یا تقویت شده‌اند. عمده مناطق دمایی بسیار بالا طی این دوره در پیرامون شهر قرار گرفته است؛ لذا می‌توان عنوان نمود که یزد دارای الگوی جزایر حرارتی پیرامونی است. علت افزایش دما برای زمین‌های بایر، ظرفیت حرارتی و قابلیت انتقال حرارتی پایین خاک خشک است و اراضی ساخته شده به دو دلیل دمای بالایی دارند. نخست اینکه ساختار و مورفولوژی شهر، ظرفیت جذب و ذخیره قابل توجهی از تابش خالص خورشیدی را به‌ویژه در شرایط جوی آرام و صاف در تابستان دارد. این امر منجر به ایجاد گرمای شبانه بر مرکز شهر (ناحیه تجاری) و تشکیل جزیره

بررسی‌های به‌عمل آمده اکثراً مناطق شهری و زمین‌های بایر بوده‌اند که تراکم جمعیت و نوع هندسه‌ی شهری در این محدوده عامل تشکیل این پدیده بوده است. تنها قسمتی از مرکز شهر یزد به‌صورت نوار مانند از دمای کمتری بهره‌برده‌اند که آن هم به دلیل وجود پوشش گیاهی در این محدوده‌ها بوده است. تغییر در طیف رنگی موجود در این نقشه‌ها نشان‌دهنده‌ی تغییر نسبی دمای محیط از یک نقطه به نقطه دیگر است به طوری که کمترین دماها متعلق به نواحی دارای پوشش گیاهی و هسته‌های پر حرارت منطبق بر اراضی بایر و مراکز شهری است که این هسته‌های پر حرارت رفته رفته در سال ۲۰۲۰ به علت وجود حجم بالای ترافیک و آزاد شدن سوخت‌های فسیلی واثر گلخانه‌ای، بیشتر خود را نشان داده است.

باتوجه به نگاره ۴ دمای ۳۲/۵ تا ۳۷ درجه مربوط به مناطق دارای پوشش گیاهی و فضای سبز می‌باشند که در سال ۱۹۸۷ بیشترین حجم آن در قسمت مرکزی شهر به رنگ زرد قابل مشاهده است که این محدوده در سال ۲۰۲۰



نگاره ۴: طبقه‌بندی دمای سطح زمین (LST) در فصل گرم سال، تابستان‌های ۲۰۲۰ - ۱۹۸۷



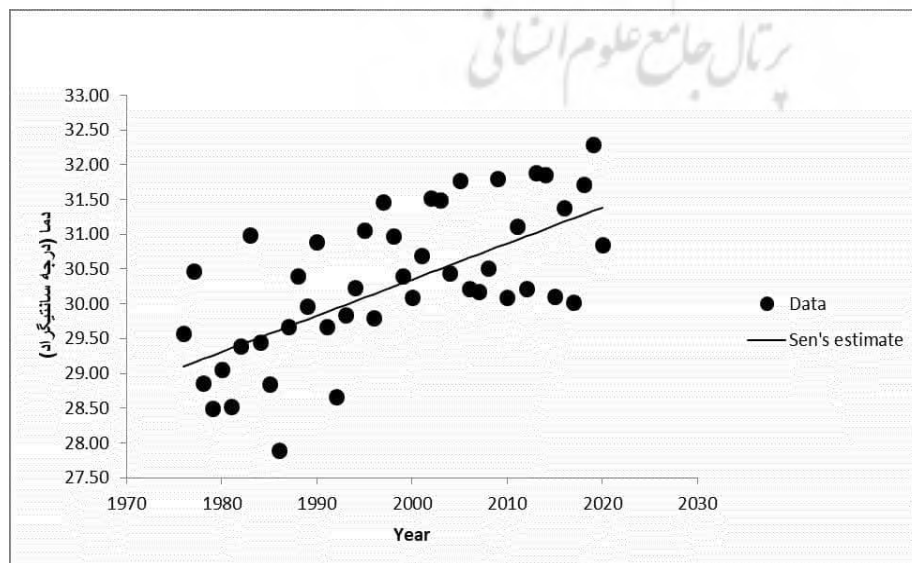
نگاره ۵: روند تغییرات دمای فصل تابستان ایستگاه یزد براساس روش من-کندال

در سال ۲۰۲۰ طبق نمودار و همچنین تصاویر ماهواره‌ای شاهد افزایش دما و وقوع جزیره حرارتی در شهر یزد بوده‌ایم (نگاره‌های ۶ و ۵).

برای تعیین روند و جهش ناگهانی دما در فصل گرم سال، یک دوره آماری ۴۵ ساله (۱۹۷۶-۲۰۲۰) انتخاب و ترسیم شد که در نگاره ۵ نشان داده شده است. نتایج به دست آمده از اعمال آزمون من-کندال نشان‌دهنده روند معنی‌داری و صعودی قابل توجه در مقدار دما به خصوص در سال‌های اخیر است که این میزان افزایش دما حدود ۲/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. نگاره ۶ میزان روند این تغییرات را نشان می‌دهد. بر اساس نمودار، دمای تابستان در

گرمایی در تابستان می‌شود. دوم به دلیل آزاد شدن گرما از طریق فعالیت‌های انسانی (استفاده از انرژی الکتریسیته، مصرف سوخت فسیلی، تردد خودروها و...) مناطق ساخته شده دمای بالایی دارند و شرایط محیطی خشک در منطقه نیز یکی از دلایل اساسی افزایش دمای سطح زمین در شهر یزد می‌باشد (نگاره ۴).

به منظور کسب اطمینان از درست بودن پردازش تصاویر ماهواره‌ای و اثبات وجود همبستگی فضایی (معناداری) با دمای ثبت شده توسط ایستگاه هواشناسی از آزمون معنی‌داری من-کندال و روند تغییرات بلندمدت دما جهت نمایش تغییرات دمای شهر یزد استفاده شد. نتایج نشان داد



نگاره ۶: نمودار تغییرات و روند دمای فصل تابستان شهر یزد

طیف رنگی موجود در نقشه LST نشان‌دهنده‌ی تغییرنسبی دمای محیط از یک نقطه به نقطه دیگر است و دماهای بین ۲۸ تا ۳۷ درجه مربوط به مناطق دارای پوشش گیاهی و فضای سبز می‌باشند که در سال ۱۹۸۷ بیشترین حجم آن در قسمت مرکزی شهر به رنگ زرد قابل مشاهده است که این محدوده در سال ۲۰۲۰ به‌طورکامل از بین رفته و جای خود را به دماهای بالاتر داده است. دماهای بالا و بسیار بالا که بین ۴۱/۵ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد مشخص شده است محدوده مکانی جزایر حرارتی را بر روی نقشه‌های دما مشخص می‌کند. همچنین مناطقی که با رنگ قرمز پررنگ و دارای دمای بالای ۵۰ درجه هستند، خوشه‌های داغی را تشکیل داده‌اند که بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۰ در محدوده غرب و جنوب‌غرب یزد شکل گرفته یا تقویت شده‌اند. نتایج روند نشان داد در سال ۲۰۲۰ طبق نمودار و همچنین تصاویر ماهواره‌ای شاهد افزایش دما و وقوع جزیره حرارتی در شهر یزد بوده‌ایم. روند تغییرات افزایشی دمای هوا براساس آزمون من-کندال از طریق داده‌های دمای ایستگاه هواشناسی یزد نشان‌دهنده‌ی روند صعودی قابل توجه در مقدار دما به‌خصوص در سال‌های اخیر است که میزان افزایش دما حدود ۲/۳ درجه ی سانتی‌گراد در دوره ۴۵ ساله می‌باشد که این شرایط می‌تواند در پیوند احتمالی با پدیده روند افزایش جمعیت شهری طی دهه‌های اخیر و به دنبال آن افزایش سازه‌های مسکونی و پدیده جزیره حرارتی مرتبط باشد. در پایان با توجه به امکان ارزشمندی که سنجش از دور در فراهم‌سازی تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت بالا و سیستم اطلاعات جغرافیایی در ایجاد پایگاه داده، یکپارچه‌سازی، تحلیل و ایجاد نقشه‌ها در اختیار محققین قرار می‌دهد، می‌توان در پژوهش‌های دیگری، جزیره حرارتی را با در نظرگرفتن عوامل طبیعی (ویژگی‌ها و معیارهای اقلیمی، ارتفاع، شیب و جهت شیب) و همچنین عواملی که انسان در آن دخیل بوده است (مکان‌گزینی مناطق مسکونی، تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها و...) به صورت جامع و کامل برای سال‌ها و فصول مختلف مورد بررسی قرار داد.

طی دوره آماری دارای روند معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪ بوده است که این روند براساس روش من کندال و شیب سنس نیز تأیید شده است. میزان تغییرات شیب سنس در هر سال حدود ۰/۰۵ درجه افزایش دما بوده است که در ۴۵ سال حدود ۲/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش دما داشته است. همچنین مقیمی و همکاران در شهر تهران به نتایج مشابهی دسترسی پیدا کرده و مقدار افزایش دما را نسبت به دهه گذشته بیش از ۴ درجه ی سانتی‌گراد به‌دست آورده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

جزیره حرارتی به‌عنوان یک مخاطره پیامدهای مخربی برای زندگی شهرنشینان به‌دنبال دارد. شهر یزد در دهه‌های اخیر از نظر جمعیتی رشد سریعی یافته که یکی از پیامدهای آن ایجاد جزیره حرارتی است. با توجه به نقشه‌های اراضی و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص دمای سطح زمین (LST)، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد بیشترین میزان تغییر کاربری مربوط به کلاس پوشش گیاهی و منطقه شهری است که نشان‌دهنده توسعه گسترده‌ی اراضی مسکونی و به تبع آن تخریب و کاهش پوشش گیاهی در سطح شهر است. بیشترین افزایش مساحت طی این دوره به کاربری ساخته شده شهری مربوط می‌باشد و بیشترین کاهش مساحت نیز مربوط به اراضی بایر در اطراف شهر است. طبقه‌بندی کاربری اراضی شهر یزد نشان داد که شهر گسترش کالبدی زیاد و رشد قابل توجهی داشته است. بررسی جهات توسعه فیزیکی شهر یزد نشان داد که گسترش شهر در همه‌ی جهات صورت گرفته است که این گسترش ابتدا در قسمت‌های مرکزی و قسمت‌های شمال شرقی - جنوب شرقی بوده و قسمت‌های شمال غربی - جنوب غربی دیرتر گسترش یافته است. نتایج حاصل از NDVI، نشان داد که بیشینه این شاخص، منطبق بر مناطق با پوشش گیاهی بالاتر به‌صورت نواری طولی شکل در قسمت مرکزی شهر یزد کشیده شده است. همچنین کاربری‌های فضای سبز در مناطقی از شهر به‌صورت لکه‌هایی دیده می‌شود. تغییر در

۵- منابع و مآخذ

- ۱- آتشی، وحید، ۱۳۹۵، بررسی ارتباط تغییرات جزایر حرارتی سطحی و گسترش فیزیکی شهر شیراز با پردازش تصاویر ماهواره‌ای، خورشیددوست، علی محمد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی.
- ۲- آروین، عباسعلی، ۱۳۹۷، بررسی جزیره‌ی حرارتی در ارتباط با آلودگی هوا در شهر اصفهان، فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲۵، ۱۲۹-۱۱۵.
- ۳- احمدی، عاشورلو، نارنگی‌فرد؛ محمود، داوود، مهدی، ۱۳۹۱، تغییرات زمانی-مکانی الگوهای حرارتی و کاربری شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده TM و ETM+، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، ۴، ۶۸-۵۵.
- ۴- ارسلانی، عزیزی، خوش‌اخلاق؛ محسن، قاسم، فرامرزی، ۱۳۹۱، بازسازی تغییرات دمای حداکثر استان کرمانشاه با استفاده از حلقه‌های درختی، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱، ۱۱۰-۹۷.
- ۵- تقی‌زاده، مزیدی؛ زهرا، احمد، ۱۳۹۸، بررسی تغییرپذیری مخاطره جزیره‌ی گرمایی با توجه به تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در شهر اصفهان، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳، ۱۲۰-۱۰۳.
- ۶- جمیلی‌زاد، معصومه، ۱۳۹۲، ارزیابی اثرات محیط‌زیستی توسعه شهری با استفاده از مدل‌سازی (مطالعه موردی: شهریزد)، ستوده، احد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی.
- ۷- جوادزین، علوی‌پناه؛ ایمان، کاظم، ۱۳۹۵، بررسی تغییرات الگوی حرارتی در بازه زمانی ۳۰ ساله با استفاده از باندهای حرارتی تصاویر ماهواره لندست (مطالعه‌ی موردی: اراضی جنوبی جزیره آبادان)، اولین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات طبیعی و بحران‌های زیست‌محیطی ایران، راهکارها و چالش‌ها، اردبیل.
- ۸- حسینی، فاطمه، ۱۳۸۹، تحلیل رابطه‌ی بین تغییرات کاربری زمین و جزیره‌ی گرمایی شهر یزد، مطالعه موردی: شهریزد، حومه، مزیدی، احمد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه یزد، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا.
- ۹- خاکپور، ولایتی، کیانزاد؛ براتعلی، سعدالله، قاسم، ۱۳۸۶، الگوی تغییر کاربری اراضی شهر بابل طی سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۶۷، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۹، ۶۴-۴۵.
- ۱۰- غضنفری مقدم، ناصری مقدم، میرزایی؛ محمدصادق، مهیار، ابراهیم، ۱۳۸۷، بررسی تأثیرات جزیره‌ی حرارتی مشهد بر روند تغییرات نزولات جوی، دومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.
- ۱۱- مؤمن‌بیک، زهرا، ۱۳۹۶، ارزیابی اثرات تغییرات کاربری و پوشش زمین بر جزایر حرارتی در شهرکرد، شاطریان، محسن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه کاشان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.
- ۱۲- مرادی، رضایی مقدم؛ ساجده، محمدحسین، ۱۳۹۹، تحلیل زمانی-مکانی جزیره‌ی حرارتی شهر ارومیه با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳۴، ۹۹-۸۳.
- ۱۳- مزیدی، حیدری؛ احمد، بتول، ۱۴۰۰، تحلیل و ارزیابی تغییر کاربری اراضی بر جزیره حرارتی در شهر کرمان، پنجمین کنگره‌ی بین‌المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران، تبریز.
- ۱۴- ملک‌پور، طالعی، پیمان، محمد، ۱۳۸۹، مدل‌سازی ارتباط کاربری پوشش اراضی و حرارت سطح زمین، با استفاده از داده‌های سنجنده‌ی ASTER، مجله محیط‌شناسی، ۵۸، ۴۲-۲۹.
- ۱۵- ناصحی، یآوری، صالحی؛ سعیده، احمدرضا، اسماعیل، ۱۴۰۱، بررسی ارتباط بین تغییرات مورفولوژی شهری با دمای سطح زمین به‌منظور مدیریت جزیره حرارتی شهری (مطالعه‌ی موردی: شهر تهران). جغرافیا و پایداری محیط، ۳، ۱۳۰-۱۰۷.
- ۱۶- یوسفی، کاردل، رورده، محتسبی خلعتبری؛ بداله،

dry and rainy periods. *Urban Climate*, 34, 107-115.

25- Pakarnseree, R, Chunkao, K, & Bualert, S. (2018). Physical characteristics of Bangkok and its urban heat island phenomenon. *Building and Environment*, 143, 561-569.

26- Sankey, J, Wallace, C, & Ravi, S. (2013). Phenology-based, remote sensing of postburn disturbance Windows in rangelands. *Ecological indicators*, 30, 35-44.

27- Sundarakumar, K, Harika, M, Begum, K, Aspiya, B, Yamini, S, & Balakrishna, K. (2012). Land Use and Land Cover Change Detection and Urban Sprawl Analysis of Vijayawada City Using a Landsat Data. *Engineering Science & Technology*, 4, 170-178.

28- UIMoazzam, 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.

29- (USGS.2020. <https://earthexplorer.usgs.gov>).

30- 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*, 110, 416-426.

31- (www.yazdmet.ir).

32- Xian, G, & Crane, M. (2006). An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. *Remote Sensing of environment*, 104(2):147-156.

33- 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.

فاطمه، همتاله، مولود، ۱۳۹۶، بررسی پدیده جزیره حرارتی و اثر آن بر تغییرپذیری روز به روز دمای تابستان شهر بابل، نشریه‌ی پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۳، ۵۰۱-۴۹۱.

17- 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*, 40, 100990.

18- 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.

19- Eugenia, K, & Cai, M. (2003). Impact of Urbanization and Land-Use Change on Climate, *Nature*, 423, 528-531.

20- Gartland, L. (2012). *Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat In Urban Areas*. Routledge. ISBN: 1849712980, 9781849712989, Published December 21, 2010 by Routledge, P: 214.

21- Kassa, A. (1990). Drought risk monitoring for Sudan using NDVI. Dissertation submitted to the University College London, 1982-1993.

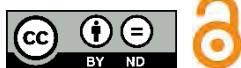
22- Kok, T, Chooi, S. L, Hwee, M, Mohd, Zubir, & Khiruddin, A. (2010). Landsat data to evaluate urban expansion and determine land use/land cover changes in Penang Island, Malaysia. *Environmental Earth Sciences* 60, 7, 1509-1521.

23- Lettenmaier, D, Wood, E, & Wallis, J. (1994). Hydroclimatological trends in the continental United States, 1984-88. *J. Climate*, 7, 586-607.

24- Margarete, A.) 2020). Daily evolution of urban heat islands in a Brazilian tropical continental climate during

COPYRIGHTS

©2023 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 3.0 Unported \(CC BY-ND 3.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/)





پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی
پرتال جامع علوم انسانی