

Original Article



Monthly Changes of Night Heat islands Analysis in Isfahan County in the last Two Decades Using the Multi-temporal Products of the MODIS Sensor

Received: 2023.02.12
Accepted: 2023.10.04

Mostafa Tahani Yazdly,¹ Sayyed Mohamm Hosseini,^{2*} 
Farahnaz Khoramabadi,³ Mohammad Mohtaram⁴

¹ Department of Urban Engineering, Faculty of Architecture and Art, University of Guilan, Rasht, Iran

² Department of Climatology, Faculty of Literature and Humanities, Sayyed Jamaledin Asadabadi University, Asadabad, Iran

³ Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

⁴ Department of Remote Sensing, Faculty of Engineering, University of Khavar, Mashhad, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: In recent decades, along with the physical development of cities and population increase due to immigration, heat islands, which are mainly the result of human made activities, have gained significant importance. So, the reduction of vegetation cover, the high consumption of fossil fuels, the emission of greenhouse gases and the use of inappropriate materials in urban construction have created the microclimate of a heat island above the metropolis of the world. Finally, it causes an increase in the land surface temperature, atmospheric stability, persistence and stabilization of pollutants and an increase in respiratory diseases. Today, by using remote sensing methods and using digital satellite images, it is possible to examine the land surface temperature with high accuracy and in a short period using MODIS sensors and Terra satellite images. Therefore, the main objective of the current research was to analyze the temporal and spatial variations of heat islands of Isfahan using the principal component analysis method. With this technique, it is possible to identify the seasons and months when the land surface temperature and the heat island increased.

Material and Methods: In this regard, the present research considered analyzing the temporal and spatial variations of this phenomenon in Isfahan during a period of 20 years (from 2000 to 2020 AD). To achieve this purpose, the land surface temperature (LST) data extracted by MODIS sensor and Terra satellite was used. These data are available for the whole world with a time resolution of 8 days and a spatial resolution of 1x1 km in a sinusoidal grid with dimensions of 1200x1200 km. Therefore, for Isfahan, 913 images were extracted from the MODIS sensor. Then, with the principal component analysis (PCA) method, the seasons and months that have the most influence on the occurrence of heat islands were identified and in order to analyze the trend of this phenomenon, the Mann-Kendall and the Kolmogorov-Smirnov tests were used.

Results and Discussion: The findings of the research indicated that the land surface temperature in the last 20 years in Isfahan had an increasing trend with a rate of 4%. However, this trend in the population and urban centers has been completely different from the surrounding areas of Isfahan. In terms of spatial distribution, the highest occurrence of heat islands has been registered in the eastern and southeastern parts (including Hassan Abad and Jolgeh) due to proximity to the hot deserts of Kavir-Lout, proximity to Sepiddasht, Varzaneh, Shahrak Ramsheh industrial towns and changes in the land use of agricultural to industrial and residential. also in the North-West region (including Mahmudabad and Isfahan city) due to the increase in man-made heating caused by the increase in the consumption of fossil fuels, the growth of residential, industrial and commercial units, temperature has risen. In addition, the results showed that the intensity of the heat island in winter is higher than in summer, and the most intense time of its occurrence was recorded in January and the least in November.

Conclusion: Isfahan is integrally affected by global climate conditions, but depending on the geographical location of each part of this province, the land surface temperature and the occurrence of heat islands are different, so that, eastern and central parts, adjacent to Kavir-Lout and close to industrial towns, have an increasing trend. Moreover, the southern parts have a decreasing rate of temperature and heat islands due to less urban population, larger agricultural lands and more vegetation. The increase in urbanization, migration, and the increase in fossil fuel consumption, the decrease in vegetation, the aggravation of drought, and the change in land use have a fundamental role in increasing the occurrence of this phenomenon.

Keywords: Modis Satellite, Heat Island, Principal Component Analysis, Mann-Kendall Test, Kolmogorov-Smirnov Test, Isfahan

How to cite this article:

Tahani Yazdly, M., Hosseini, S.M., Khoramabadi, F. and Mohtaram, M., 2023. Monthly changes of night heat islands analysis in Isfahan County in the last two decades using the multi-temporal products of the MODIS sensor. . Environ. Sci. 21(4): 41-60

* Corresponding Author Email Address: h.climate@sjau.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2023.1265



بررسی تغییرات ماهانه جزایر حرارتی شبانه شهرستان اصفهان در دو دهه اخیر با استفاده از فرآورده‌های چندزمانه سنجنده مودیس

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۱۲

مصطفی طحانی‌یزدلی^۱، سید محمد حسینی^{۲*}، فرحناز خرم‌آبادی^۳، محمد محترم^۴

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: در دهه‌های اخیر، هم‌زمان با توسعه فیزیکی شهرها و افزایش جمعیت ناشی از مهاجرت، کاهش پوشش گیاهی، مصرف زیاد سوخت‌های فسیلی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و استفاده از مصالح نامناسب در ساخت‌وساز شهری، پدیده جزایر حرارتی در کلان‌شهرهایی مانند شهرستان اصفهان اهمیت قابل توجهی پیدا کرده است که با استفاده از روش‌های نوین سنجنش‌ازدوری و ماهواره‌ای می‌توان با دقت بالا در زمان اندک، این پدیده را مورد پایش قرار داد. لذا هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی تغییرات ماهانه جزایر حرارتی شهرستان اصفهان با استفاده از سنجنده مودیس (MODIS)، ماهواره ترا (Terra) و روش تحلیل مؤلفه‌اصلی (PCA) است. با این تکنیک می‌توان زمان‌هایی که دمای سطح زمین و جزیره حرارتی افزایش بیشتری در شهرستان اصفهان دارد، شناسایی کرد.

مواد و روش‌ها: در این راستا، پژوهش حاضر در نظر دارد تغییرات ماهانه این پدیده را در شهرستان اصفهان طی بازه زمانی ۲۰ ساله (از ژانویه ۲۰۰۰ تا دسامبر ۲۰۲۰ میلادی) مورد واکاوی قرار دهد. برای دستیابی به این منظور از داده‌های دمای سطح زمین (LST) که توسط سنجنده مودیس و ماهواره ترا استخراج شده است، بهره گرفته شد. همچنین با روش تحلیل مؤلفه‌اصلی فصول و ماه‌هایی که بیشترین تأثیرگذاری را در روند رخداد جزایر حرارتی دارند، مورد شناسایی قرار گرفت و جهت تحلیل روند این پدیده نیز، از آزمون من-کندال و آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده گردید.

نتایج و بحث: یافته‌های پژوهش حاکی از این است که دامنه تغییرات شبانه دمای سطح زمین طی ۲۰ سال اخیر در شهرستان اصفهان روندی افزایشی با نرخ ۴ درصدی داشته است. هرچند که این روند در مراکز جمعیتی و شهری، کاملاً متفاوت از مناطق پیرامونی شهرستان اصفهان بوده است. از نظر پراکنش مکانی نیز، بیشترین میزان دمای شبانه سطح زمین در بخش جرقویه علیا بویژه روی تالاب گاو خونی و بخش مرکزی شهر اصفهان در نزدیکی به شهرک صنعتی سپیددشت، شهرک صنعتی ورزنه، شهرک صنعتی رامشه و تغییر کاربری اراضی کشاورزی به صنعتی و مسکونی و همچنین در منطقه شمال‌غرب (شامل محمودآباد و شهر اصفهان) به دلیل افزایش گرمایش انسان ساخت ناشی از افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، رشد واحدهای مسکونی، صنعتی و تجاری مشاهده شده است. کمترین دمای سطح زمین در قسمت شمالی شهرستان، قسمتهای از بخش کوهپایه، مرکزی، جلگه و بن رود واقع شده است. همچنین نتایج نشان داد که شدت جزیره گرمایی در زمستان بیش از تابستان است و شدیدترین زمان رخداد آن مربوط به ژانویه است و کمترین زمان وقوع آن در ماه دسامبر ثبت شده است.

نتیجه‌گیری: به طور کلی؛ میانگین بلند مدت نمایه‌ی جزیره‌ی گرمایی شبانه نشان می‌دهد که فصل گرم سال موجب تضعیف جزیره گرمایی شبانه شده و دوره‌ی سردسال، موجب نیرومندتر شدن جزیره گرمایی شبانه می‌شود. بخش‌های از جنوب شهرستان اصفهان در طول شب به دلیل وسعت بالای اراضی بایر، کشاورزی و پوشش گیاهی، دمای سطحی کمتری دارند ولی در مناطق شرقی روی تالاب گاو خونی به علت ظرفیت حرارتی بالای آب، همجواری با مناطق شهری به ویژه شهر اصفهان و به دلیل نزدیکی شهرک‌های صنعتی و کارخانجات تولیدی، روند افزایشی دما و جزایر گرمایی مشهود است. به نظر می‌رسد شهرستان اصفهان نیز مانند اغلب شهرهای دنیا، یکپارچه تحت تأثیر تغییرات اقلیم جهانی قرار دارد اما بسته به موقعیت جغرافیایی و مکان‌گزینی متمرکزی که صنایع در هر بخش از این استان دارد، دمای سطح زمین و روند رخداد جزایر حرارتی متفاوت است. افزایش شهرنشینی، مهاجرت‌پذیری، افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، کاهش پوشش گیاهی، تشدید خشک-سالی در سال‌های اخیر و تغییر کاربری‌ها نقش اساسی در افزایش رخداد این پدیده در شهرستان اصفهان دارد.

واژه‌های کلیدی: سنجنده مودیس، جزیره حرارتی، تحلیل مؤلفه‌اصلی، آزمون من-کندال، آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، شهرستان اصفهان

^۱ گروه مهندسی شهرسازی، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

^۲ گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران

^۳ گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

^۴ گروه سنجنش از دور، دانشکده مهندسی، دانشگاه خاوران، مشهد، ایران

استناد به این مقاله: طحانی‌یزدلی، م.، س.م. حسینی، ف. فرحناز خرم‌آبادی و م. محترم، ۱۴۰۲. بررسی تغییرات ماهانه جزایر حرارتی شبانه شهرستان اصفهان در دو دهه اخیر با استفاده از فرآورده‌های چندزمانه سنجنده مودیس. فصلنامه علوم محیطی، ۶۰-۴۱ (۴) ۲۱-۶۰

* Corresponding Author Email Address: h.climate@sjau.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2023.1265



مقدمه

افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی و در پی آن، افزایش تردد خودروها و رشد فعالیت‌های صنعتی، تغییر کاربری و افزایش گرمای انسان‌ساخت باعث ایجاد تغییراتی در خرداقلیم مناطق شهری شده است (Shahmohamadi and Cubasch, 2013). یکی از نتایج این تغییرات، ایجاد جزایر حرارتی در شهرهای بزرگ است (Tourki and Masoodian, 2021). واژه جزیره حرارتی اولین بار، حدود یک قرن پیش توسط لوک هووارد (Luke Howard) وقتی متوجه گرمای زیاد مرکز شهر لندن در مقایسه با اطراف شهر شد، مطرح گردید. سپس تحقیقات وسیعی توسط گروه جزایر گرمایی در آزمایشگاه لورنس واقع در برکلی انجام شده است و راهکارهایی مانند ایجاد سطوح سرد شهری و بام‌های سرد، توسط این گروه ارائه گشت (Gartland, 2008). لذا این پدیده، مخاطره محیطی نوظهوری است که آن را غالباً ناشی از گسترش شهرنشینی می‌دانند (Mansourmoghadam et al., 2022) که سبب می‌شود در کلان‌شهرها به دلیل فعالیت‌های انسانی، هوای سطح زمین به طور قابل توجهی گرم‌تر از مناطق اطراف آن باشد (Mortazavia et al., 2021). لذا این مناطق با توجه به ظرفیت حرارتی بالا، گرمای ذخیره شده در طول روز را به آرامی به جوسپهر بازتابش می‌کنند و تا اواسط شب، دمای سطحی بالایی دارند و رخداد پدیده جزیره حرارتی را حتی در طول شب تشدید می‌کنند (Hashemi Darrehbadami et al., 2018). همچنین فراوانی رخداد این پدیده در تابستان‌ها و زمستان‌ها، بیشتر است (Halabian et al., 2021). امروزه جزایر حرارتی به سبب آثار سوئی که بر فعالیت‌های انسان و محیط‌زیست دارند، مورد توجه اندیشمندان و صاحب‌نظران محیطی هستند. یکی از مهمترین پیامدهای جزیره حرارتی، ماندگاری و تثبیت آلاینده‌ها به سبب عدم وزش باد و ساکن ماندن هوای موجود در فضای شهری است که موجب بروز خطراتی برای سلامت افراد می‌شود (Khurshiddost, 2004).

همچنین افزایش دما در نتیجه استقرار جزیره حرارتی، افزایش تقاضای مصرف انرژی ناشی از استفاده از خنک‌کننده‌ها، افزایش بیماری‌های تنفسی از جمله آسم از دیگر اثرات مخرب این پدیده است (Liu and Zhang, 2011). یکی از روش‌های بررسی جزایر حرارتی، روش‌های نوین سنجش‌ازدوری می‌باشد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که نقش سنجش‌ازدور حرارتی در مطالعه و برآورد جزایر حرارتی بسیار حائز اهمیت است. این داده‌ها امکان بررسی و تخمین دمای سطح زمین را فراهم می‌کند و از بین داده‌های حرارتی، تصاویر ماهواره‌ای جایگاه خاصی دارند و تصاویری همچون تصاویر لندست، استر، مودیس و... در برآورد این پدیده به دلیل داشتن باندهای حرارتی مفید واقع می‌شوند (Abedini et al., 2021).

امروزه در سطح جهان و ایران پژوهش‌های پراکنده‌ای در زمینه تغییرات ماهانه جزیره حرارتی در فصول و ماه‌های مختلف سال در پهنه‌های شهری انجام شده است که به اختصار به چند مورد اشاره می‌شود. برای نمونه؛ افزایش جزایر حرارتی در بخش‌های مرکزی جاکارتای اندونزی به سبب توسعه نواحی مسکونی، صنعتی و عرصه‌های آبی و همچنین کاهش پوشش گیاهی (Taha, 1997)؛ افزایش شدت جزیره گرمایی شهرها در شب به دلیل رخداد وارونگی دما در لایه مرزی (Landsberg et al., 1981)؛ افزایش شدت جزیره گرمایی شب در شهر نیویورک به سبب استقرار سامانه پرفشار همراه با آسمانی صاف همراه با وزش باد ملایم (Gedzelman et al., 2003)؛ شناسایی بزرگترین جزیره گرمایی در فرودگاه بین‌المللی شهر کانوی نیجریه به سبب کاهش پوشش گیاهی منطقه (Umar and Kumar, 2014)؛ افزایش جزایر گرمایی در طول شب در فرانسه و برزیل به سبب افزایش دمای انسان‌ساخت (Amorim et al., 2021)؛ افزایش جزایر گرمایی در شهر کوهات پاکستان به سبب افزایش جمعیت و حمل و نقل در این شهر (Nasir et al., 2022)؛ افزایش جزایر حرارتی در مناطق نظامی و

می‌شود. (Ahmadi and Ahmadi, 2018) با پایش دمای شب‌هنگام سطح زمین در گستره ایران نشان دادند که کمینه دمای شب‌هنگام سطح زمین از نظر زمانی در ماه‌های دسامبر تا فوریه رخ می‌دهد و میزان آن تا ۲۰ - درجه سلسیوس می‌رسد. از نظر مکانی نیز این مناطق منطبق بر ارتفاعات و الگوی ناهمواری‌ها به ویژه نیمه غربی، شمالی و شمال‌غرب و شمال خراسان می‌باشد. از نظر زمانی نیز دماهای گرم از آوریل تا سپتامبر بر مناطق گرمسیری حکمفرمایی می‌کنند. همچنین تنوع دمای شب‌هنگام سطح زمین در ایران زیاد است، ارتفاعات و ناهمواری‌ها عامل کارسازی در شکل‌گیری وضعیت و میزان دمای شب‌هنگام سطح زمین در ایران محسوب می‌شوند. *Tahani Yazdli et al.* (2023) با بررسی دمای سطح زمین در کاشان بر این باورند که مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، دارای دمای سطحی کمتری نسبت به محیط اطراف خود می‌باشند و شهر کاشان با توجه به داشتن همین ویژگی مهم دارای جزایر خنک شهری در طول روز به ویژه در قسمت‌های مرکزی شهر و مناطق انسان‌ساخت است.

امروزه شکل‌گیری جزایر حرارتی در کیفیت محیط‌زیست شهرستان تاثیرگذار است و استان شهرستان اصفهان به دلیل صنعتی‌شدن و به تبع آن مهاجرپذیر شدن و افزایش فعالیت‌های صنعتی و آلوده‌ساز از یک‌سو و قرارگیری در قلمرو گرم و خشک کشور، تشدید خشک‌سالی‌های اخیر، خشک‌شدن زاینده‌رود، افزایش زمین‌های بایر و تغییر کاربری زمین از این قاعده مستثنا نیست. لذا در پژوهش حاضر به تحلیل تغییرات ماهانه جزایر حرارتی در شهرستان اصفهان با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی پرداخته شده است. در این راستا به منظور شناسایی ماه‌های که بیشترین تاثیرگذاری را در روند ایجاد جزایر حرارتی دارند، از داده‌های دمای شبانه سنجنده مودیس سری MOD11A2، با گام زمانی ۸ روزه و با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتری در بازه زمانی ۲۰ ساله از ژانویه سال ۲۰۰۰ تا دسامبر سال ۲۰۲۰ استفاده شده است که این موضوع را

صنعتی زنجان به دلیل تغییر کاربری‌ها و عواملی مانند استفاده از سطوح غیرقابل نفوذ آسفالت، بتن، پوشش گیاهی کم، گرمای ناشی از سوخت‌های فسیلی و افزایش آلودگی (Valizadeh *et al.*, 2017)؛ افزایش الگوی فضایی جزیره حرارتی در شهر تهران در دهه اخیر به سبب توسعه کالبدی شهر و افزایش جمعیت و کاهش پوشش گیاهی (Hashemi, Rezaeirad and Rafieyan, 2017)؛ افزایش جزایر گرمایی در مناطقی با کاربری صنعتی، مکان‌های پرتراфик و دارای آلودگی شدید هوا و تراکم بالای جمعیت، مناطقی با پوشش گیاهی ضعیف، مناطق دارای بافت فشرده و فرسوده در اراک (Halabian *et al.*, 2021)؛ افزایش جزیره حرارتی در کلان-شهرهای ایران به سبب استفاده از مصالح روشن با آلبودی بالا (Hajifathali *et al.*, 2021)؛ کاهش شدت جزیره حرارتی در مناطقی با پوشش گیاهی بالا و مناطق آبی مشگین‌شهر و افزایش آن در مناطقی با کشت دیم (Abedini *et al.*, 2021).

(Tariq *et al.* (2020) با بررسی تغییرات مکانی-زمانی جزایر گرمایی در کشور پاکستان با استفاده از دمای سطح زمین و تصاویر ماهواره‌ای مودیس نشان داد که دمای شبانه در رخدادهای جزیره گرمایی نسبت به دمای روزانه، رقم بالاتری داشته و محدوده وسیعتری را شامل می‌شود. همچنین جزایر گرمایی شبانه در ماه ژوئن به سمت مراکز شهری در بخش‌هایی از اسلام‌آباد، پیشاور، لاهور، کوئته و کراچی گسترش یافته است. (Mojarrad *et al.*, 2018) به بررسی تغییرات دوره‌ای و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه در شبانه‌روز پرداختند و بر این باورند که مناطق شهری در طول روز به‌خصوص در دوره گرم سال نسبت به مناطق غیرشهری، دمای سطح کمتری دارند و در آن‌ها جزیره سرمایی سطح شهر (SUCI) تشکیل می‌شود. در شب به ویژه در بهار، وضعیت فوق معکوس و دمای مناطق شهری به دلیل انتقال گرمای محسوس در حدود ۱ تا ۲ درجه بیشتر از بیرون شهر می‌شود و از این رو جزیره گرمایی سطحی شهری تشکیل

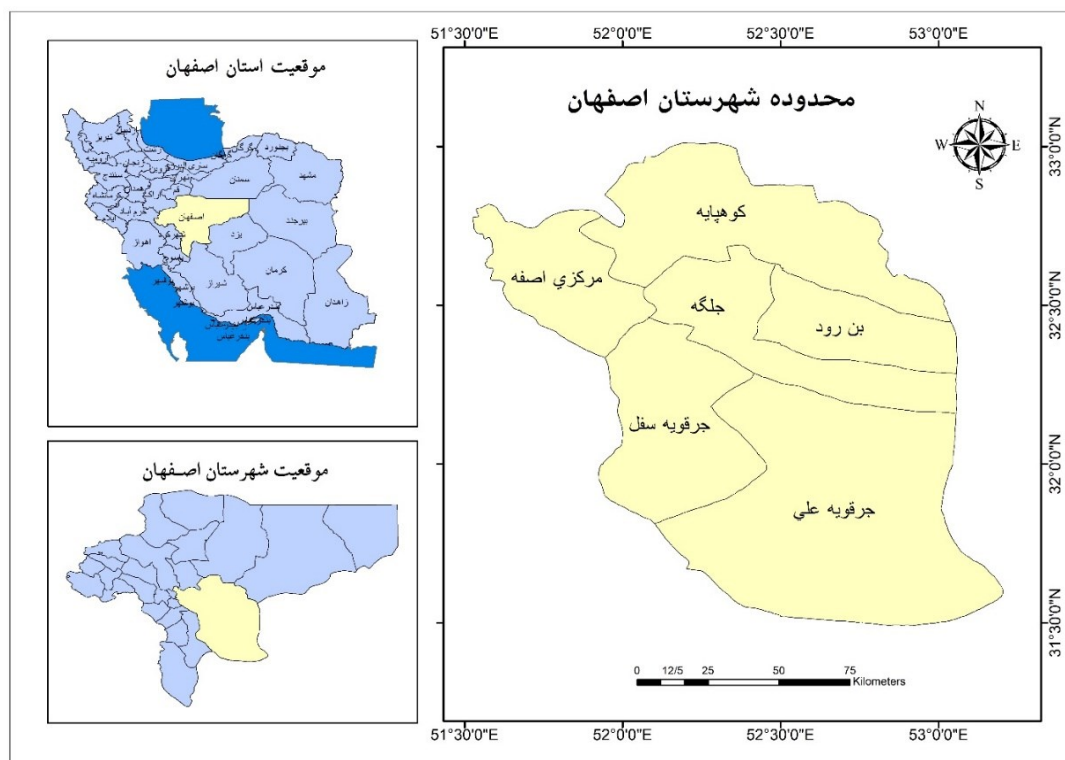
۴۸ دقیقه و ۱۰ ثانیه شمالی در استان اصفهان واقع شده است. ارتفاع آن بین حداقل ۱۵۵۰ متر در اطراف زاینده رود و حداکثر آن ۱۶۵۰ متر در نقاط مرتفعتر در نوسان است. این شهرستان با اختصاص ۴۶/۸۷ درصد از جمعیت شهری، رتبه اول را از لحاظ تراکم جمعیتی در بین شهرستان‌های استان دارد. بخش وسیعی از این منطقه را اقلیم خشک و نیمه‌خشک کویری در بر گرفته است و این امر بیش از همه معلول موقعیت خاص جغرافیایی، هم‌جواری با کویر لوت، میانگین بارش سالیانه اندک و دمای سالیانه بالا است. این شهرستان از نظر وسعت مراتع درجه یک، رتبه آخر و از نظر وسعت مراتع درجه ۳ (فقیر)، رتبه اول را در بین شهرستان‌های استان دارد. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی شهرستان اصفهان را نشان می‌دهد.

می‌توان جنبه نوآوری این پژوهش قلمداد نمود. لازم به ذکر است که دمای شبانه در مقایسه با داده‌های روزانه از دقت بالاتری برخوردارند چرا که اثر تابش روزانه خورشید در آن‌ها وجود نداشته و امکان پایش دما و جزیره حرارتی با دقت بالاتر و خطای کمتر فراهم می‌شود.

مواد و روش‌ها

پهنه مورد بررسی

شهرستان اصفهان با مساحت ۱۵۷۰۶ کیلومتر مربع در محدوده بین طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۵۱ درجه ۴۷ دقیقه ۱۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۳۲ درجه و



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی پهنه مورد بررسی

Fig. 1- Geographical location of the investigated area

میلادی) استخراج شد.

سنجده مودیس یا اسپکترورادیومتر تصویربردار با قدرت تفکیک مکانی متوسط (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)، ابزاری است که بر روی ماهواره ترا (Terra) در دسامبر سال ۱۹۹۹ و ماهواره آکوا

داده‌ها

در این پژوهش از داده‌های دمای سطح زمین شبانه مودیس برای واکاوی تغییرات زمانی-مکانی جزیره حرارتی شهرستان اصفهان استفاده شد و نهایتاً ۹۱۳ تصویر در بازه زمانی ۲۰ ساله (از ژانویه سال ۲۰۰۰ تا دسامبر سال ۲۰۲۰

مدنظر اعمال گردید. سپس نقشه مکانی میانگین در دوره زمانی مورد بررسی مورد تحلیل قرار گرفت. در ادامه به منظور بررسی وضعیت نرمال بودن جزیره حرارتی از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و همچنین برای روند تغییرات ماهانه جزیره حرارتی از آزمون من-کندال استفاده شد و برای طبقه بندی پراکنش تغییرات ماهانه جزیره حرارتی از روش PCA (تحلیل مولفه های اصلی) بهره گرفته شد. همچنین در این پژوهش با استفاده از روش های نوین آماری سامانه گوگل انجین برای شهرستان اصفهان انجام شده است. بر این اساس از نرم افزارهای EXCEL، MINTAB، ARC GIS و XLSTAT اقدام به بررسی جهت تغییرات پراکنش جزیره حرارتی شهرستان اصفهان استفاده گردید. روش محاسبات آماری و تحلیل تغییرات زمانی- مکانی دمای سطح زمین در شهرستان اصفهان به شرح زیر ارائه شده است:

ارزیابی تغییرات جزیره حرارتی شهری

برای بررسی تغییرات جزیره حرارتی در شهرستان اصفهان از شاخص جزیره حرارتی پیشنهادی Voogt and Oke (2003) استفاده شده است (رابطه ۱):

$$UHI = LST_{urban} - LST_{rural} \quad (1)$$

که در آن؛ UHI شاخص جزیره حرارتی سطوح شهری و LST_{urban} و LST_{rural} به ترتیب میانگین دمای سطح زمین برای مناطق شهری و غیرشهری هستند. میانگین دمای مناطق شهری از میانگین دمای تمام یاخته های داخل شهر و میانگین دمای مناطق غیرشهری، از میانگین دمای تمام یاخته های محدوده بیرون شهر به دست می آید. برای بررسی نقطه ای UHI، از اختلاف دمای دو یاخته معرف داخل و بیرون شهر استفاده می شود. در پژوهش حاضر نیز جهت بررسی جزایر حرارتی در شهرستان اصفهان از تصاویر شبانه سنجنده مودیس استفاده شده است چرا که در مقایسه با داده های روزانه از دقت بالاتری برخوردارند چرا که اثر تابش روزانه خورشید در آنها وجود نداشته و

در ماه می سال ۲۰۰۲ راه اندازی و نصب شده است. این سنجنده، داده ها را در ۳۶ باند طیفی با عبور از خط استوا در حدود ساعت ۱۰:۳۰ و ۲۲:۳۰ برای ماهوار ترا و ۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ برای ماهواره آکوا جمع آوری می کند (Lazzarini *et al.*, 2013). در پژوهش حاضر نیز، از سنجنده مودیس به علت داشتن ویژگی هایی از قبیل میدان دید وسیع، محدوده طیفی وسیع، تعدد باندهای موجود، پوشش زمانی و تفکیک مکانی مناسب استفاده شده است (Afifi, 2016). همچنین جهت اطلاع از ویژگی های دمای سطح زمین در شهرستان اصفهان از محصول MOD11A2 که شامل دمای سطح زمین (LST) در شب با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و تفکیک زمانی ۸ روزه در بازه زمانی مورد نظر مورد استفاده قرار گرفت که از تارنمای <http://ladsweb.nascom.nasa.gov> به صورت رایگان قابل دریافت هستند، برداشت شد. این داده ها امکان ترسیم تصویری روشن از ویژگی سطح زمین را در روز و شب فراهم خواهند آورد و جهت مطالعه اقلیم در مقیاس خرد و محلی مناسب هستند (Safarrad, 2021).

روش شناسی

در این پژوهش با استفاده از زبان برنامه نویسی پایتون در محیط برنامه GEE، به فراخوانی تصاویر ماهواره ای (سنجنده مودیس)، محصول MOD11A2، با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و تفکیک زمانی ۸ روزه اقدام گردید. از باند دمای شبانه سطح زمین (LST) در طول زمانی ۲۰ ساله (از سال ۲۰۰۰ میلادی تا ۲۰۲۰ میلادی)، به صورت نقشه میانگین در مقیاس مکانی شهرستان اصفهان جهت پایش جزایر حرارتی و تعیین کانون های بالفعل در محدوده زمانی تعریف شده مورد بررسی قرار گرفت. برای هر یک از محصولات یک تابع خام تعریف شد. داده ها شامل مجموعه ای از تصاویر ماهواره ای با یک زمان شروع و یک زمان پایان هستند که به عنوان ورودی تابع انتخاب شدند. خروجی نیز به صورت مجموعه ای از تصاویر فراخوانی شده در فیلتر زمانی (سال بازه مطالعاتی) و مکانی (مرز شهرستان) اجرا شد. هر تابع نیز بر روی باند ویژه مرتبط با مجموعه تصاویر

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

مرحله نهایی، آزمون فرض است. فرض صفر بر عدم وجود روند و تصادفی بودن آن دلالت دارد. و بدین معنی است که Z آمار معنی داری نیست. زمانی این فرض تأیید می شود که $-Za/2 < Z < Za/2$ باشد. مقادیر $Za/2$ انحراف نرمال استاندارد (Z جدول) است. فرض مقابل یا فرض یک بر وجود روند دلالت دارد و بدین معنی است که Z به لحاظ آماری معنی دار است. همچنین سطح معنی داری در این پژوهش، $\alpha = 0.05$ می باشد. بنابراین با توجه به دوطرفه بودن آزمون، مقدار Z جدول برابر $1/96$ خواهد بود.

بررسی توزیع نرمال جزیره حرارتی از طریق آزمون کلموگروف-اسمیرنوف

آزمون کلموگروف-اسمیرنوف یکی دیگر از آزمون هایی است که جهت سنجش تبعیت توزیع یک نمونه از توزیع خاص استفاده می شود. آماره این آزمون بیشترین اختلاف بین فرکانس های مورد انتظار و واقعی (به صورت قدرمطلق) اندازه گیری شده در دسته های مختلف می باشد (رابطه ۶):

$$D = \text{MAX} |F(X) - F^{\wedge}(X)| \quad (6)$$

که در آن؛ F فرکانس نسبی تجمعی واقعی و F^{\wedge} فرکانس نسبی تجمعی مورد انتظار است. این آزمون بر اساس حداکثر فاصله و اختلاف عمودی بین EDF و منحنی تابع توزیع تجمعی نرمال (وقتی فرض صفر این است که تابع توزیع تجمعی مربوط به توزیع نرمال است) طراحی شده است. ابتدا مقادیر نمونه را مرتب و سپس تعریف کرده است (رابطه ۷):

$$\begin{aligned} D^+ &= \text{MAX}_{i=1, \dots, n} \left[\frac{i}{n} - P_{(i)} \right] \\ D^- &= \text{max}_{i=1, \dots, N} \left[P_{(i)} - \frac{(i-1)}{n} \right] \\ D &= \text{max}(D^+, D^-) \\ &= \varphi \left(\frac{x_{(i)} - \bar{x}}{\sigma} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

امکان پایش دما و جزیره حرارتی با دقت بالاتر و خطای کمتر فراهم می شود. لازم به ذکر است که جهت انتخاب یاخته های خارج از شهر از نقشه پوشش اراضی استفاده شده است و اراضی بایر اطراف شهرستان اصفهان به عنوان حومه در نظر گرفته شد.

روندیابی با استفاده از آزمون من-کندال

آزمون من-کندال جز روش های تجزیه و تحلیل پارامتریک رگرسیون خطی می باشد. نتایج روش من-کندال بین اعداد -1 و 1 قرار دارد. عدد 1 به معنای روند مثبت افزایشی؛ عدد -1 به معنای روند منفی و کاهشی و عدد صفر هم به معنای عدم روند در سری داده ها می باشد (Iménez and Mann H. B, ; Chander-G et al, 2009; Sobrino. 2008 (1945) (رابطه ۲):

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

در این رابطه؛ N بیانگر تعداد مشاهدات سری، x و x به ترتیب داده های j ام و i ام سری می باشد. تابع علامت (sgn) نیز به شرح رابطه زیر قابل محاسبه است (رابطه ۳):

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

این رابطه مقادیر منفی را از مقادیر مثبت برای همه اعداد کم می کند. برای نمونه های بزرگ ($N > 10$) این آزمون از توزیع نرمال (آماره Z) استفاده می کند. میانگین و واریانس

از فرمول زیر به دست می آیند (رابطه ۴):

$$\begin{aligned} E[S] &= 0 \\ \text{Var}(S) &= \frac{1}{18} \left[N(N-1)(2N+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-2)(2t_p+5) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

در این رابطه؛ q تعداد اتصالات (صفر اختلاف بین مقادیر مقایسه ای) گروه هاست و t_p تعداد مقادیر اطلاعات در گروه p ام است. مقدار S و $VAR(S)$ برای محاسبه آماره Z به صورت زیر استفاده می شود (رابطه ۵):

بنابراین باتوجه به ابعاد بردارها (M) ماتریس داده‌ها به صورت $M*N$ است. نتیجه میانگین تجربی، برداری است که Vidal and Sastry, به صورت زیر به دست می‌آید (2005) (رابطه ۱۰):

$$u[m] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X[m, i] \quad (10)$$

که به طور مشخص میانگین تجربی روی سطوح ماتریس اعمال شده است. سپس ماتریس فاصله تا میانگین به صورت زیر به دست می‌آید (رابطه ۱۱):

$$B = X - uh \quad (11)$$

که h برداری با اندازه $I*N$ با مقدار ۱ در هر کدام از درایه‌ها است. در مرحله بعد ماتریس کواریانس C با ابعاد $M*M$ به دست می‌آید. مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس کواریانس، C نیز براساس رابطه زیر دست می‌آید (Widaman, 1999؛ Kargupta et al., 2001؛ Jolliffe, 2002) (رابطه ۱۲):

$$V-ICV=D \quad (12)$$

V ماتریس بردارهای مقادیر ویژه و D ماتریس قطری است که درایه‌های قطر آن مقادیر ویژه هستند. آن چنان که مشخص است هر مقدار ویژه متناظر با یک بردار ویژه است. به این معنا که ماتریس V ماتریسی $M*M$ است که ستون‌های آن بردارهای ویژه می‌باشند و بردار ویژه Vq در ستون q ام قرار دارد و مقدار ویژه q ام یعنی درایه q و $Dq = \lambda q$ متناظر با آن است.

نتایج و بحث

بررسی روند تغییرات مکانی جزیره حرارتی در شهرستان اصفهان

نمودار سری زمانی سالانه دمای سطح زمین در شب حاکی از این است که در محدوده شهرستان اصفهان طی سال‌های مورد بررسی، سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۳ میانگین دمای سالانه تا حدود ۲۵ درجه سانتیگراد هم رسیده است (شکل ۲). درحالی که دامنه تغییرات میانگین دمای شبانه در بازه مورد نظر (۲۰ سال) از ۳/۹۲ تا ۱۷/۹ قرار داشته است.

D^+ و D^- به ترتیب، بزرگ‌ترین فاصله عمودی بالا و پایین منحنی تابع توزیع تجمعی نرمال هستند. آماره کلموگروف-اسمیرنوف را با نماد D نمایش داده می‌شود. فرض صفر (نرمال بودن داده‌ها) وقتی رد می‌شود که مقدار D از یک مقدار بحرانی انتخاب‌شده معین، تجاوز کند (دم بالایی). این مقادیر بحرانی در جداول معینی ارائه شده است (رابطه ۸):

$$D^* = D(\sqrt{n} - 0.01 + 0.85/\sqrt{n}) \quad (8)$$

قادیر بحرانی برای سطوح معنی‌داری ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ به ترتیب ۰/۸۱۹، ۰/۸۹۵ و ۱/۰۳۵ هست. کاربرد آزمون کلموگروف-اسمیرنوف تنها برای مواردی است که توزیع فرض آزمون کاملاً مشخص باشد، یعنی هیچ پارامتر مجهولی که نیاز به برآورد از روی نمونه داشته باشد، وجود نداشته باشد. در بقیه موارد این آزمون محافظه‌کار است.

بررسی تحلیل مؤلفه‌های اصلی جزیره حرارتی

شهرستان اصفهان

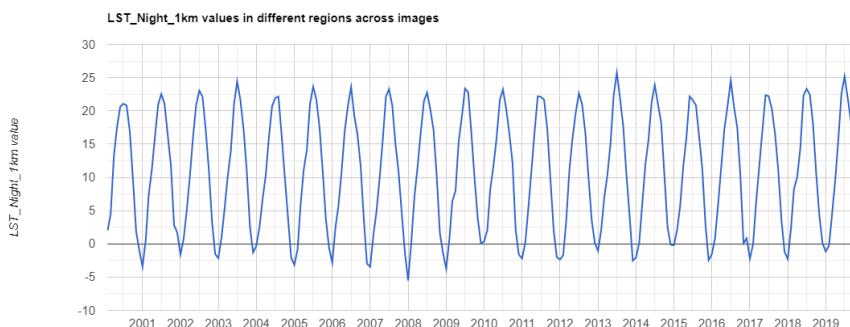
در پژوهش حاضر جهت بررسی پراکنش ماهانه جزیره حرارتی در رفتار اقلیمی شهرستان اصفهان از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شده است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی در تعریف ریاضی یک تبدیل خطی متعامد است که داده را به دستگاه مختصات جدید می‌برد به طوری که بزرگ‌ترین واریانس داده بر روی اولین محور مختصات، دومین بزرگ‌ترین واریانس بر روی دومین محور مختصات قرار می‌گیرد و همین طور برای بقیه. تحلیل مؤلفه اصلی می‌تواند برای کاهش ابعاد داده مورد استفاده قرار گیرد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی به صورت زیر تعریف می‌شود (Tipping and Bishop, 1999) (رابطه ۹):

$$YT = XTW = V\Sigma \quad (9)$$

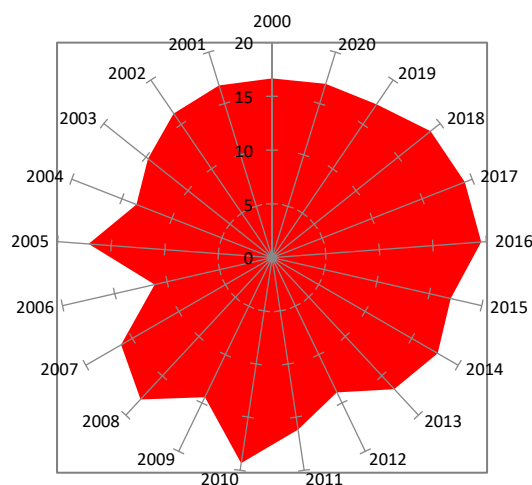
در معادله فوق؛ $V\Sigma W^T$ تجزیه مقدارهای منفرد ماتریس XT می‌باشد. براساس تعریف ارائه شده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، هدف از این تحلیل انتقال مجموعه داده X با ابعاد به داده Y با ابعاد L است. بنابراین فرض بر این است که ماتریس X از بردارهای $X_1 \dots X_N$ تشکیل شده است که هر کدام به صورت ستونی در ماتریس قرار داده شده است.

پوشش‌ها سردتر می‌شود. دلیل بالابودن دمای شبانه در مناطق شهری و تالاب گاوخونی را می‌توان در ظرفیت حرارتی بالا و حفظ دمای ذخیره شده در طول روز دانست. شب هنگام مناطق ساخته‌شده هنوز دمای خود را حفظ کرده و دمای بالاتری نسبت به بقیه پوشش اراضی دارند. پوشش آب نیز به علت ظرفیت حرارتی بالا و حفظ دمای ذخیره شده روز، در شب دمای بالاتری دارد. این تغییرات دمای سطح در پوشش‌های مختلف در ماه‌های مختلف سال متفاوت است. و همچنین جذب تشعشع خورشید در محیط پیرامونی شهر به دلیل پوشش تیره‌تر نسبت به سطوح شهری، بیشتر است. در صورتی که در شب هنگام، نگهداشت گرمای شهر به دلیل پوشش بیشتری گازهای گلخانه‌ای، بیشتر و لذا دمای سطح شهر بیشتر از محیط پیرامون شهر است که این نتایج با نتایج آروین (۱۴۰۰) همخوانی دارد.

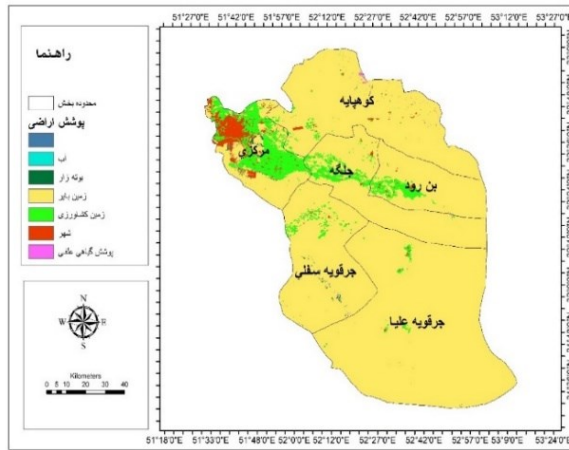
از نظر مکانی، بالاترین میزان دما شبانه (۱۷/۹) در بخش جرقویه سفلی و جلگه (روی تالاب گاوخونی) و بخش مرکزی (شهر اصفهان) و دیگر مناطق انسانساخت قرار گرفته است. همچنین کمترین میزان دمای شبانه (۳/۹۲) با بخش شمالی کوهپایه، بخش مرکزی و قسمت جنوبی بخش جرقویه علیا و سفلی منطبق است (شکل ۳). این در حالی است که قسمت وسیعی از شهرستان که منطبق بر اراضی بایر است به دلیل آلودگی بالاتر نسبت به بقیه پوشش اراضی، دمای کمتری را تجربه می‌کنند. مکان‌هایی که آلودگی بالایی دارند در شب نیز دمای سطح پایین‌تری دارند که این نشان‌دهنده این است که هرچه قدر آلودگی جسمی بالا باشد جذب و ذخیره سازی نور خورشید کمتر صورت می‌گیرد و در شب به سرعت دمای آن جسم کاهش می‌یابد. به همین دلیل در شب دمای سطح خاک لخت به سرعت کاهش می‌یابد و از بقیه



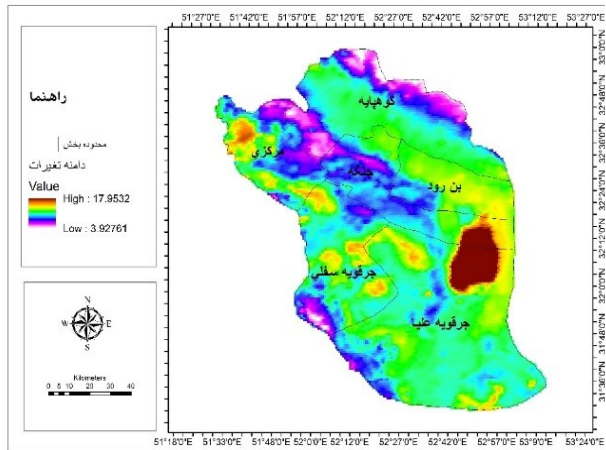
شکل ۲- تغییرات سالانه سری زمانی دمای سطح زمین در شهرستان اصفهان
 Fig. 2- Annual Changes in Trend of the Earth's Surface Temperature in Isfahan County



شکل ۳- کلیموگرام میانگین بلند مدت سالانه جزیره حرارتی در شهرستان اصفهان
 Fig. 3- Kilogram of the long-term mean of thermal island in Isfahan County



شکل ۵- پراکنش مکانی پوشش اراضی شهرستان اصفهان
Fig. 5- Spatial distribution of land cover in Isfahan County



شکل ۴- پراکنش مکانی جزایر حرارتی شهرستان اصفهان
Fig. 4- Spatial distribution of Heat Island in Isfahan County

جزیره حرارتی شهرستان اصفهان توزیع نرمال دارند، رد می‌شود. توسعه کالبدی شهر و تغییر کاربری اراضی، سبب ناهنجاری دمایی و غیرنرمال بودن جزیره حرارتی شهرستان اصفهان شده است. با توجه به آزمون من کندال، آگوست بیشترین روند منفی و کاهشی و دسامبر و ژانویه بالاترین روند مثبت و افزایشی جزیره حرارتی در شهرستان اصفهان را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۱).

بررسی روند تغییرات زمانی جزیره حرارتی در شهرستان اصفهان

در پژوهش حاضر، روند دما و جزیره حرارتی شهرستان اصفهان به دو روش آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار احتمال (P-Value) این آزمون برای ماه ژانویه و دسامبر کوچک‌تر از ۰/۰۵ است. پس فرض صفر مبنی بر این‌که

جدول ۱- آماره‌های جزیره حرارتی شهرستان اصفهان و روند آن
Table 1. Statistics of heat island and its trend in Isfahan County

آزمون کلموگروف-اسمیرنوف Kolmogorov-Smirnov Test		آزمون من-کندال Mann-Kendall Test		ویژگی‌های آماری جزیره حرارتی Statistics of heat island			ماه Month
P-Value	K	P-Value	Z	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	
0.036	0.108	0	2.631***	15.41	18.80	8.58	ژانویه January
0.150	0.085	0.543	-0.109	22.16	25.81	18.32	فوریه February
0.150	0.062	0.628	0.328	30.77	34.75	26.07	مارس March
0.150	0.075	0.810	-0.878	37.17	42.63	31.87	آوریل April
0.150	0.090	0.900	-1.205	44.67	50.91	39.50	می May
0.150	0.066	0.314	0.481	51.50	56.40	48.85	ژوئن June
0.150	0.053	0.135	1.098	52.58	54.27	21.43	جولای July
0.150	0.073	0	-2.018***	50.84	52.23	49.29	آگوست August
0.150	0.072	0.371	-0.328	45.29	46.94	43.81	سپتامبر September

ادامه جدول ۱- آماره‌های جزیره حرارتی شهرستان اصفهان و روند آن
Table 1. Cont. Statistics of heat island and its trend in Isfahan County

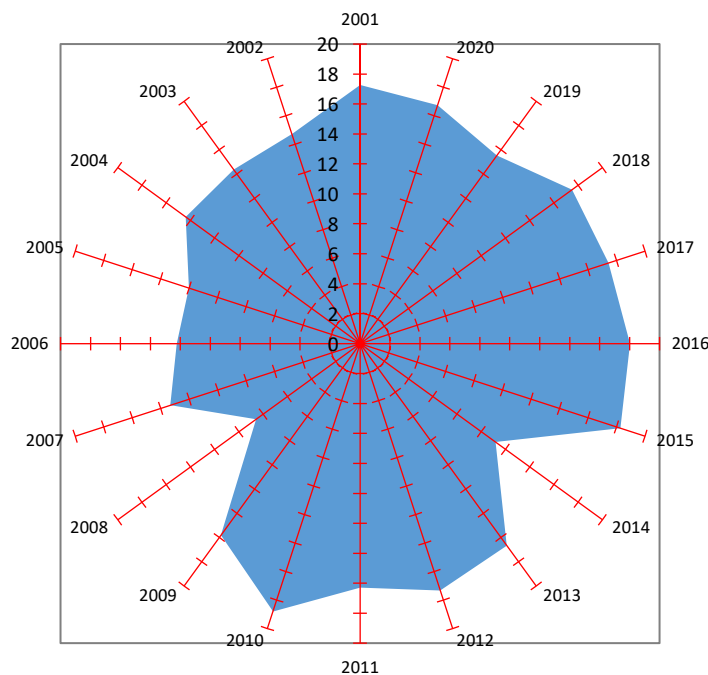
آزمون کلموگروف-اسمیرنوف Kolmogorov-Smirnov Test		آزمون من-کندال Mann-Kendall Test		ویژگی‌های آماری جزیره حرارتی Statistics of heat island			ماه Month
P-Value	K	P-Value	Z	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	
0.150	0.075	0.09	-1.542	36.21	38.27	34.36	اکتبر October
0.150	0.085	0.736	-0.613	23.98	26.83	20.79	نوامبر November
0.090	0.095	.	2.901***	16.53	19.51	11.20	دسامبر December

علامت * بیانگر وجود در سطح اطمینان ۹۰ درصد (حداصل بین ۱/۹۶ - ۱/۶۵)، علامت ** میزان روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد (۲/۵۷ - ۱/۹۶) و همچنین علامت *** میزان روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد (بیش از ۲/۵۷) را نشان می‌دهد.

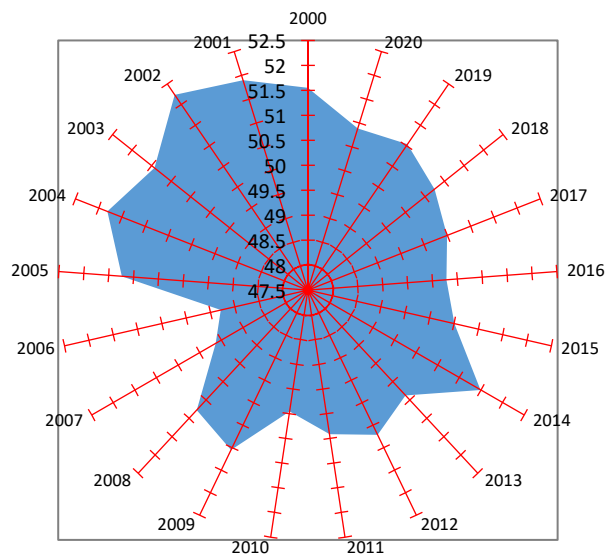
The symbol * indicates the presence at the 90% confidence level (range between $\pm 1.65-1.96$), the ** sign indicates the trend at the 95% confidence level ($\pm 1.96-2.57$) and the *** indicates the trend in It shows a confidence level of 99% (more than ± 2.57).

قوی‌تر از جزیره حرارتی در فصل تابستان است. دمای شهر در شب هنگام به دلیل تراکم بیشتر آلاینده‌های شهری ناشی از دمای کمتر شب و وارونگی‌های دمایی بخصوص در ماه‌های سرد (ژانویه و دسامبر) بالاتر از محیط پیرامونی است. در حالی روز هنگام به دلیل انعکاس بیشتر سطوح شهری، دمای سطح شهر از محیط پیرامون کمتر است. به این ترتیب جزیره حرارتی از نظر ماهانه در ماه‌های ژانویه و دسامبر از نظر تغییرات شبانه روزی در شب هنگام بروز می‌کند.

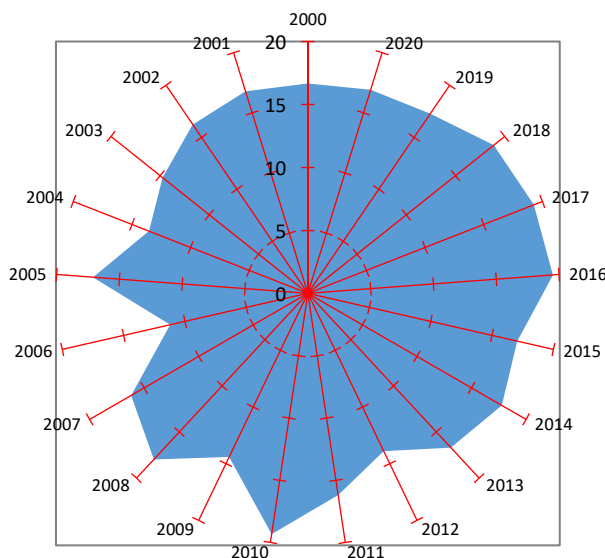
باتوجه به نمودارهای (۲ و ۳) و جدول ۱، در ماه ژانویه و دسامبر (فصل زمستان) که هوا سرد است جزیره حرارتی شهر کاملا نمایان می‌گردد و در ماه‌های گرم به خصوص آگوست بسیار ضعیف (فصل تابستان) و در ماه‌های مارس، آوریل، ژوئن (فصل بهار) ضعیف است. بنابراین آزمون من-کندال تاییدی بر نتایج این پژوهش می‌باشد. این یافته‌های با نتایج کار میلز و ایسو (۲۰۱۷:۶) مطابقت دارد. ایشان نیز به این نتیجه رسیدند که جزیره حرارتی در فصل زمستان ۶۰ درصد



شکل ۶- کلوگرام از توزیع پراکنش جزیره حرارتی در ماه ژانویه
Fig. 6- Kilogram of heat island distribution in January



شکل ۷- کلیموگرام از توزیع پراکنش جزیره حرارتی در ماه آگوست
Fig. 7- Kilogram of heat island distribution in August

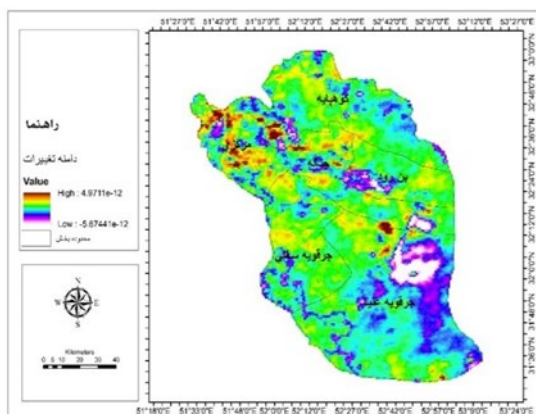


شکل ۸- کلیموگرام از توزیع پراکنش جزیره حرارتی در ماه دسامبر
Fig. 8- Kilogram of heat island distribution in December

جزیره حرارتی در مناطق شهری، در سطح شهرستان اصفهان در شب‌های زمستان به دلایل زیر افزایش یافته است: ۱- مناطق غیرشهری به دلیل داشتن خاک بیشتر (خاک بایر و مراتع ضعیف) ظرفیت حرارتی بسیار پایین دارند. در نتیجه، حرارت خود را در شب به سرعت از دست می‌دهند. این درحالی است که مناطق شهری درجه حرارت بالاتری را تجربه می‌کنند و در طول شب به هواسپهر بازتابش می‌کنند. ۲- در مناطق شهری استفاده از وسایل

از سوی دیگر اثر فصلی در جزایر گرمایی کاملاً آشکار است (شکل ۵). مشاهده اثر فصلی نشانگر آن است که گذشته از متغیرهای پوشش اراضی، متغیرهای آب و هوایی نیز نقش برجسته‌ای در پیدایش جزیره گرمایی شبانه بازی می‌کنند. میانگین بلند مدت نمایه‌ی جزیره‌ی گرمایی شبانه نشان می‌دهد که فصل گرم سال موجب تضعیف جزیره گرمایی شبانه شده و دوره‌ی سردسال، موجب نیرومندتر شدن جزیره گرمایی شبانه می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که

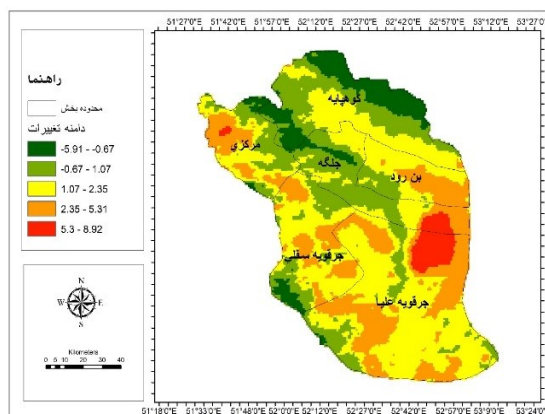
به طور غالب، در تمامی پهنه شهرستان روندی افزایشی وجود داشته و تنها در قسمت‌های از بخش جلگه، جرقویه سفلی، بن رود و کوهپایه روند کاهش داشته است. که مربوط به تغییرات پوشش اراضی و کاهش پوشش گیاهی، تغییرات اقلیمی، توسعه شهری و تشدید اثر گلخانه‌ای، افزایش سوخت‌های فسیلی، گرمایش انسان‌ساخت است (شکل ۶) که با یافته‌های Halabian *et al.*, 2021؛ Abedini *et al.*, 2021 تطابق دارد.



شکل ۱۰- پراکنش زمانی دامنه تغییرات جزیره حرارتی شهرستان اصفهان

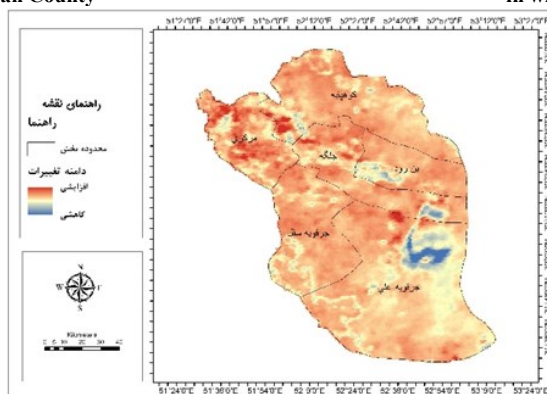
Fig. 10- Temporal distribution of the amplitude of heat island changes in Isfahan County

نقلیه تا بخشی از شب ادامه دارد. به عبارتی دیگر، گرمای ناشی از فعالیت‌های صنعتی، ساختمان‌ها و وسایل نقلیه در طی شب منجر به مازاد انرژی در شهر می‌شود. ۳- ساختمان‌های بلند و مرتفع، مانع از وزش باد به داخل شهر می‌شوند در نتیجه، هوای گرم همراه جوی پایدار در شهر استقرار پیدا می‌کند (شکل ۵). تحلیل روند تغییرات بلند مدت دمای شبانه شهرستان اصفهان با استفاده از تصاویر سری زمانی مودیس نشان می‌دهد در بازه زمانی ۲۰ساله



شکل ۹- پراکنش زمانی جزیره حرارتی شهرستان اصفهان در فصل زمستان

Fig. 9- Temporal distribution of heat island of Isfahan County in winter season



شکل ۱۱- روند تغییرات جزیره حرارتی شهرستان اصفهان

Fig. 11- Variation trend of heat island in Isfahan County

اقلیم شهرستان اصفهان از آن ژانویه با مقدار ۳/۱ است و کمترین تاثیر نیز مربوط به ماه دسامبر با مقدار ۰/۰۳ است. بنابراین می‌توان گفت که ماه ژانویه بیشترین تاثیر را روی تشدید رخداد جزیره حرارتی شهرستان اصفهان می‌گذارد (جدول ۲).

تحلیل پراکنش جزیره حرارتی با استفاده از روش PCA
با اعمال تحلیل مؤلفه‌های اصلی روی ماتریس همبستگی داده‌های جزیره حرارتی برای هر ماه، ۱۲ مؤلفه اصلی که در مجموع ۱۰۰ درصد از پراش جزیره حرارتی را تبیین می‌کنند، محاسبه گردید. بیشترین تاثیر جزیره حرارتی در

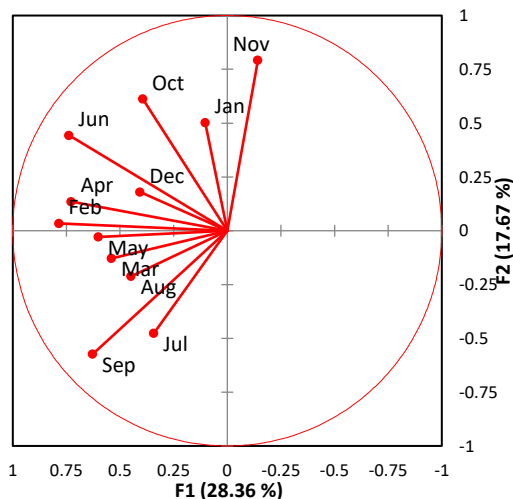
جدول ۲- آماره‌های جزیره حرارتی شهرستان اصفهان براساس PCA
Table 2. Statistics of heat island of Isfahan County based on PCA

ماه آماره	ژانویه January	فوریه February	مارس March	آوریل April	می May	ژوئن June	جولای July	آگوست August	سپتامبر September	اکتبر October	نوامبر November	دسامبر December
ویژه مقدار Eigenvalue	3.10	2.10	1.67	1.29	1.10	0.80	0.67	0.49	0.40	0.21	0.08	0.03
واریانس Variability (%)	25.83	17.57	13.97	10.82	9.81	6.72	5.59	4.11	3.35	1.80	0.70	0.31
تجمعی Cumulative (%)	25.83	34.41	57.38	68.21	77.39	84.11	89.70	93.82	97.17	98.97	99.68	100

که در کنار هم قرار دارند از پراکنش و توزیع جزیره حرارتی شبیه به یکدیگر برخوردارند و بر عکس ماه‌های که از هم فاصله دارند، همبستگی منفی داشته و باهم اختلاف زیادی دارند. در این نمودار، سه منطقه مجزا از پراکنش و تراکم جزیره حرارتی دیده می‌شود. ماه‌های ژانویه، اکتبر، ژوئن، دسامبر، آوریل و فوریه دارای پراکنش نامنظم جزیره حرارتی که در تیپ پراکنش شدید جزیره حرارتی قرار دارند. تیپ دو با پراکنش متوسط جزیره حرارتی هستند و شامل ماه‌های می، مارس، آگوست، جولای و سپتامبر می‌باشد و تیپ سه با پراکنش کم جزیره حرارتی، ماه نوامبر را به خود اختصاص داده است.

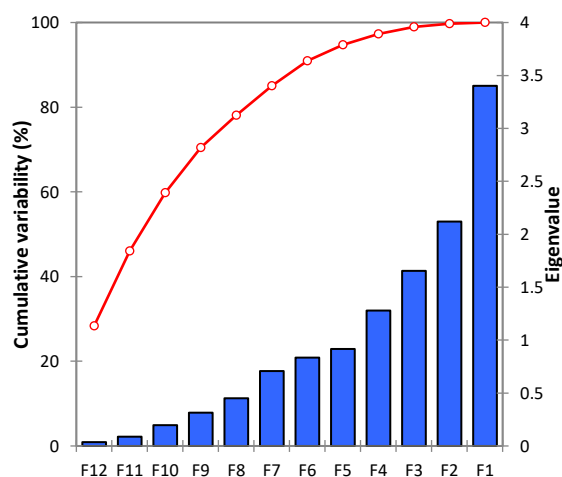
آزمون صخره‌ای از طریق نمودار مقادیر ویژه (روی محور Y) در مقابل تعداد عامل‌ها (روی محور X) صورت می‌گیرد. این نمودار به لحاظ ظاهری، شیب تندی را بین عامل‌های بزرگ و شیب تدریجی و کندی را در نباله برای سایر عامل‌ها، نشان می‌دهد. نمودار مؤلفه‌های اصلی بیانگر این مطلب است که مؤلفه اول (ماه ژانویه) بالاترین و اثرگذارترین مؤلفه در تبیین جزایر گرمایی شهرستان اصفهان است. از مؤلفه دوم به بعد (فوریه) تاثیر مؤلفه‌ها بر روی پراش داده‌ها به سمت صفر میل می‌کند و نمودار هموار می‌شود، که این خود تاییدی بر درستی انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌باشد (شکل ۷). در شکل ۸، ماه‌های

Variables (axes F1 and F2: 46.03 %)



شکل ۱۳- نمودار پراکنش جزیره حرارتی شهرستان اصفهان با روش PCA

Fig. 13- Scatter plot of heat island in Isfahan County with PCA method

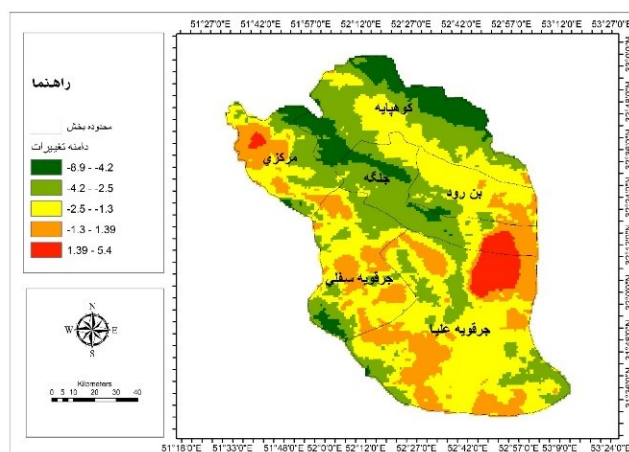


شکل ۱۲- نمودار صخره‌ای جزیره گرمایی شهرستان اصفهان با روش PCA

Fig. 12- Scree plot of heat island in Isfahan County with PCA method

(روی تالاب گاو خونی) و شمال غربی بخش مرکزی (شهر اصفهان) را شامل می‌شود با وجود اینکه شهرستان اصفهان به طور یکپارچه تحت تاثیر شرایط اقلیمی تقریباً یکسانی دارد اما جزیره حرارتی موثر در آن باعث شده تا از نواحی نامتجانس جزیره گرمایی برخوردار باشد و جزایر حرارتی در بخش‌های مختلف آن، شرایط متفاوتی داشته باشد.

از نظر مکانی همانطور که شکل (۱۰) نشان می‌دهد، دامنه تغییرات از -۸.۹ تا ۵.۴ سانتیگراد در نوسان است کمترین میزان میانگین دما شبانه در ماه ژانویه، در قسمت شمال و جنوب غربی بخش کوهپایه، جنوب جرقویه سفلی و قسمتهای مرکزی بخش جلگه را شامل می‌شود. بالاترین میزان میانگین دما شبانه در ماه ژانویه، شمال شرقی جرقویه علیا و جنوب شرقی بخش جلگه



شکل ۱۴- پراکنش زمانی جزیره حرارتی شهرستان اصفهان در ماه ژانویه
Fig. 14- Temporal distribution of heat island of Isfahan County in January

خورشید پوشش خاک با توجه به ظرفیت حرارتی پایین به سرعت گرم می‌شود و دمای آن از سایر پوشش‌ها بالاتر می‌رود. در اواسط روز دمای مناطق ساخته شده نیز بالاتر رفته و به نزدیکی دمای خاک می‌رسد. با غروب خورشید پوشش خاک گرمای خود را به سرعت از دست داده و دمای آن از سایر پوشش‌ها کمتر می‌شود. این در حالی است که مناطق ساخته شده و پهنه‌های آبی با توجه به ظرفیت حرارتی بالا، گرمای ذخیره شده در طول روز را به آرامی به اتمسفر تابش می‌کنند و تا اواسط شب دمای سطح بالایی دارند. پوشش گیاهی نیز ظرفیت حرارتی بالایی دارند اما با توجه به تبخیر و تعرقی که دارند در روز و شب دمای سطح متوسطی دارند. یافته‌های پژوهش حاکی از این است که دامنه تغییرات بلندمدت شبانه دمای سطح زمین طی ۲۰ سال اخیر در قسمت وسیعی از شهرستان اصفهان روندی افزایشی داشته است. این روند در روی تالاب گاو خونی و قسمت‌های از بخش بن رود، جلگه و کوهپایه (که عموماً منطبق به کاربری

نتیجه گیری

امروزه، استفاده از روش‌های سنجش از دور نظیر استفاده از تصاویر ماهواره ای به عنوان یکی از ابزارهای کارآمد و مهم برای نمایش تغییرات محیطی و مدیریت عرصه‌های محیط زیستی مطرح می‌باشد. از آنجا که پوشش مکانی ایستگاه‌های هواشناسی برای بررسی پدیده جزیره حرارتی چندان مناسب نیست، لذا جهت بررسی دقیق این پدیده در پهنه وسیع شهرستان اصفهان، از داده‌های تصاویر ماهواره ای سنجنده مادیس استفاده شده است. نتایج نشان داد که با توجه به تغییرات و تنوع فنولوژیکی در پوشش گیاهی و همچنین تعامل متفاوت پوشش‌های زمین با نور خورشید ورودی در طول روز و ماه‌های مختلف سال و دیگر خصوصیات تأثیرگذار سطحی (آلبدو، ارتفاع، سطوح نفوذناپذیر و کاربری زمین) UHI در ماه‌های مختلف از لحاظ مکانی و شدت، دارای نوسان است. این تغییرات ناشی از خصوصیات حرارتی پوشش‌های مختلف زمین است. با طلوع

از بخش کوهپایه، مرکزی، جلگه و بن رود می‌شود. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیقاتی که دیگر پژوهشگران برای ارزیابی جزیره حرارتی شبانه با استفاده از داده‌های سنجش از دور حرارتی انجام داده اند، تطابق دارد. به عنوان مثال؛ (Tourki and Masoodian, 2021)، به بررسی جزیره گرمایی کلانشهر مشهد در روز و شب پرداخته اند. بررسی جزیره گرمایی/ سرمایی در بازه روزانه نشان داد که در کلانشهر مشهد، طی روز، میانگین دما کمتر و در شب، دمای شهر بیشتر از دمای بیرون شهر است. نتایج تحقیق (Mojarrad et al., 2018) نیز نشان می‌دهد در شهر کرمانشاه هم مانند شهرستان اصفهان، در هنگام شب، جزیره گرمایی روی شهر تشکیل می‌شود. (Hashemi Darrehbadami et al., 2018) با بررسی تغییرات جزیره حرارتی کلانشهر تهران در روز و شب، به جزایر خنک شهری در ایام گرم سال در طول روز، جزایر گرمایی در شب اشاره می‌کنند.

همچنین روند تغییرات شبانه دمای سطح زمین در شهرستان اصفهان طی ۲۰ سال اخیر، در اکثر نقاط دارای روندی افزایشی بوده است که به تبع آن، جزیره حرارتی هم سیر صعودی داشته و پایداری جوی را سبب شده است. از مهمترین دلایل آن می‌توان افزایش شهرنشینی، مهاجرت-پذیری و افزایش سوخت‌های فسیلی، کاهش پوشش گیاهی، تشدید خشک‌سالی و تغییر کاربری زمین را نام برد. لیکن در روی شمال بخش جرقویه علیا بویژه روی تالاب گاوخونی و قسمت‌های از بخش‌های بن رود، جلگه، کوهپایه و مرکزی به دلیل وسعت اراضی کشاورزی و افزایش پوشش گیاهی، دمای سطح زمین کمتر و روند جزایر حرارتی دارای نرخ کاهشی می‌باشد. نتایج تحلیل روند من-کندال نشان داد که ژانویه بالاترین روند مثبت و افزایشی دما در شهرستان اصفهان را به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج این تحقیق همبستگی مثبت دمای سطح با سطوح نفوذناپذیر و همبستگی منفی دمای سطح با پوشش گیاهی را نشان داد. با این حال نتایج این تحقیق نشان داد که همبستگی دمای سطح زمین با کاربری/پوشش زمین دارای

پوشش گیاهی است) روند کاهشی داشته است. در پژوهش حاضر به منظور بررسی روند تغییرات زمانی جزیره حرارتی در شهرستان اصفهان، از دو روش آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و من-کندال مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار احتمال (P-Value) این آزمون برای ماه ژانویه و دسامبر کوچکتر از ۰/۰۵ است. پس فرض صفر مبنی بر این که جزیره حرارتی شهرستان اصفهان توزیع نرمال دارند، رد می‌شود. آگوست بیشترین روند منفی و کاهشی و دسامبر و ژانویه بالاترین روند مثبت و افزایشی جزیره حرارتی در شهرستان اصفهان را به خود اختصاص داده‌اند. و همچنین با روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ماه‌هایی که بیشترین تاثیرگذاری را در تشدید رخداد جزایر حرارتی دارند، شناسایی شد. اعمال تحلیل مؤلفه‌های اصلی روی ماتریس همبستگی داده‌های جزیره حرارتی برای هر ماه، ۱۲ مؤلفه اصلی که در مجموع ۱۰۰ درصد از پراش جزیره حرارتی را تبیین می‌کنند، محاسبه گردید. بیشترین تاثیر جزیره حرارتی در اقلیم شهرستان اصفهان از آن ژانویه با مقدار ۳/۱ است و کمترین تاثیر نیز مربوط به ماه دسامبر با مقدار ۰/۰۳ است. نتایج حاکی از این است سه منطقه مجزا از پراکنش و تراکم جزیره حرارتی در منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. ماه‌های ژانویه، اکتبر، ژوئن، دسامبر، اوریل و فوریه دارای پراکنش نامنظم جزیره حرارتی که در تیپ پراکنش شدید جزیره حرارتی قرار دارند. تیپ دو با پراکنش متوسط جزیره حرارتی هستند و شامل ماه‌های می، مارس، آگوست، جولای و سپتامبر می‌باشد و تیپ سه با جزیره حرارتی کمتر مربوط به ماه نوامبر است.

از نظر پراکنش مکانی نیز، بیشترین میانگین دمای شبانه سطح زمین (۵/۴ درجه)، در ماه ژانویه، بخش جرقویه علیا به ویژه روی تالاب گاوخونی و بخش مرکزی در روی شهر اصفهان مشاهده شده است. کمترین میزان جزایر گرمایی (۶/۹-) مربوط به مکان‌هایی است که در طول روز آلودگی سطح بالایی دارند در شب دمای آنها کمتر از سایر مناطق است که شامل قسمت شمالی شهرستان، قسمت‌های

استفاده از بامهای سبز و افزایش آلبدو و استفاده از کف سازی‌های سرد است. افزایش فضای سبز شهری و استفاده از بامهای سبز علاوه بر کاهش اثر جزیره حرارتی، میتواند آسایش حرارتی را بهبود دهد، آلودگی هوا را کاهش دهد و در نهایت موجب بهبود کیفیت زندگی شهروندان شود؛ اما در شهرهای درحال توسعه با تراکم بالای ساختمانی، فضای خالی برای ایجاد فضای سبز نایاب و پرهزینه است.

سیاسگزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه سیدجمال الدین اسدآبادی به سبب حمایت معنوی از پژوهش حاضر، کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید. ضمناً در نگارش این مقاله از حمایت مالی سازمان/نهاد یا شخص خاصی استفاده نشده است.

References

- Abedini, M., Qaleh, E., Aghazadeh, N. and Mohammadzadeh, M., 2021. Monitoring the surface temperature of the earth and investigating the relationship between land use and surface temperature using OLI and TM, (Case study: MeshginShahr city). *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*. 67, 375-393. <https://doi.org/10.52547/jgs.22.67.375>
- Affi, M.I., 2016. Monitoring particulate matter using multi-spectral images of Modis satellite in the southwest of Iran. *Geography Quarterly*. 55, 184-194. <https://rimag.ricest.ac.ir/en/Article/9111>
- Ahmadi, M., and Ahmadi, H., 2018. Monitoring of the night time land surface temperature in Iran based on output of the MODIS. *GeoRes*. 33 (1), 174-190. <https://doi.org/10.29252/geores.33.1.174>
- Amorim, T., Dubreuil, V. and Amorim, A.T., 2021. Day and night surface and atmospheric heat islands in a continental and temperate tropical environment. *Urban Climate*. 38, 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100918>
- Arvin, A., 2021. Investigation of urban thermal Island based on information of urban meteorological stations. *Geographical Planning of Space*. 11(41), 81-94.
- Chander-G., Markham, B.L. and 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. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- Gartland, L., 2008. Heat Island. London: Earth scan.
- Gedzelman, S.D., Austin, S., Cermak, R., and Stefano, N., 2003. Mesoscale aspects of the urban heat island around Newyork city. *Theor Appl climatol*. 75, 29-4. <https://doi.org/10.1007/s00704-002-0724-2>
- Hajifathali, M., Faizi, M., and Dehghan, A., 2021. The relationship between air heat, average radiant heat and albedo in reducing heat islands in cities. *Geography Quarterly*. 71, 173-190. <http://ensani.ir/file/download/article/165130222-10550-1400-149>
- Halabian, A. H., Parvin, N., and Naqibzadeh, R., 2021. Analysis of spatio-temporal changes in the thermal patterns of Arak city by processing satellite images and GIS. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information (Sephehr)*. 30(119), 121-138. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.247885>
- Hashemi Darrhbadami, S., Darvishi Belorani, A., Alavi Panah, S. K., Maleki, M., and Bayat, R., 2018. Analysis of changes in the heat island of urban surfaces during the day and night using multi-temporal Modis sensor products (Case study: Tehran Metropolis). *Applied Research Journal of Geographical Sciences*. (52), 113-128. <https://doi.org/10.29252/jgs.19.52.113>
- Iménez-Muñoz, J.C. and Sobrino, J., 2008. Split window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared

- sensors. *Geoscience and Remote Sensing Letters*. IEEE. 5(4), 806-809. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2008.2001636>
- Jolliffe, I.T., 2001. *Principal Component Analysis*, 2nd Edition, Springer.
- Kargupta, H, Huang, W.Y, Sivakumar, K. and Johnson, E., 2001. Distributed Clustering Using Collective Principal Component Analysis. *Knowl. Inf. Syst.* 3 (4), 422-448. <https://redirect.cs.umbc.edu/~hillol/PUBS>
- Khurshiddost, A.M., 2004. *Applied hydrology and meteorology*, Yavariyan Publishing, Tabriz.
- Landsberg, H. E., 1981. *The urban climatic*: Academic Press.
- Lazzarini, M., Marpu, P.R. and Ghedira, H., 2013. Temperature-land cover interactions: the inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing of Environment*. 130, 136-152. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.11.007>
- Liu, L. and Zhang, Y., 2011. Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*. 3(7), 1535-1552. <https://doi.org/10.3390/rs3071535>
- Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend, *Econometrica*. 13, 163-171. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Mansourmoghadam, M., Rousta, I., Zamani, M.S. and Mokhtari, M.H., 2022. Study and prediction of land surface temperature changes in Yazd city: investigating the effect of proximity and land cover changes. *Journal of Remote Sensing and Geographical Information System in Natural Resources*. 45, 1-27. https://sanad.iau.ir/journal/girs/article_682083
- MCST., 2006. *MODIS Level 1B Product User's Guide*. NASA/Goddard Space Flight Center Greenbelt, MD20771,62.
- Mohammadi, M. and Afifi, M.I., 2021. Investigating the phenomenon of urban heat islands using ASTER satellite images (Study area: Shiraz city). *Geography and Environmental Studies Quarterly*. 10(37), 21-44. <https://www.sid.ir/paper/386693>
- Mojarrad, F., Naseriyeh, M. and Hashemi, S., 2018. Investigation of Periodic and Seasonal Variations of Urban Heat Island (UHI) at night and day by using Satellite Imagery in Kermanshah City. *Journal of the Earth and Space Physics*. 44(2), 479-494. 10.22059/JESPHYS.2018.247773.1006952
- Mortazaviasal, S.K., Saidi, R. and Rezaei, M., 2021. The effect of land use on the spatial distribution of cool islands in Tehran. *Quarterly Journal of Geographical Studies of Mountainous Regions*. 2,50-31. Doi:10.52547/gsma.2.2.31
- Nasir, M.J., Ahmad, W., Iqbal, J., Ahmad, B., Abdo, H.G., Hamdi, R. and Bateni, S.M., 2022. Effect of the Urban Land Use Dynamics on Land Surface Temperature: A Case Study of Kohat City in Pakistan for the Period 1998-2018. *Earth Systems and Environment*. 6(1), 237-248. <https://doi.org/10.1007/s41748-022-00292-3>
- Rezaeirad, H. and Rafieyan, M., 2017. Estimating the spatial-temporal Changes in intensity of the heat island in Tehran Metropolitan by Using ASTER and Landsat8 Satellite Images. *Regional Planning*. 27, 47-60. 20.1001.1.22516735.1396.7.27.4.1
- Safarrad, T., 2021. Analysis of temporal changes in the intensity of the nocturnal heat island in Tehran. *Journal of Climate Change Research*. 8, 55-66. 10.30488/CCR.2021.319317.1063
- Shahmohamdi, P. and Cubasch, U., 2013. Conflict between Population and Urbanization Factors: Impact of Urban Heat Island on Energy Consumption. *Balance. Journal of Civil Engineering and Architecture*. 23, 16-2. <https://www.mdpi.com/2673-4109/2/2/26>
- Taha, H., 2002. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*. 25(2), 99 -103. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)00999-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1)
- Tahani Yazdli, M., Rousta, I. and Abdolazimi, H., 2023. Analyzing the Relationship between Temporal and Spatial Changes in Daily Surface Temperature and the Spatial Pattern of Land Cover Changes in the Direction of Environmental Sustainability(Case Study: Kashan city). *Geography and Environmental Sustainability*. 13(1), 1-20. 10.22126/GES.2022.8014.2551
- Tariq, A., Mumtaz, F., Zeng, X., Baloch, M.Y.J. and Moazzam, M.F.U., 2022. Spatio-temporal variation of seasonal heat islands mapping of Pakistan during 2000-2019, using daytime and nighttime land surface temperatures MODIS and meteorological stations data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 27, 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100779>
- Tipping, M. and Bishop, M., 2008. Probabilistic principal component analysis. Technical Report NCRG/97/010, Microsoft Research.
- Tourki, M. and Masoodian, S.A., 2021. Analyzing the temporal and spatial behavior of the heat island of Mashhad metropolis. *Journal of GIS and Remote Sensing*. 4, 35-60. <https://doi.org/10.52547/gisj.13.4.35>
- Umar, U.M. and Kumar, J.S., 2014. Spatial and temporal changes of urban heat island in Kano metropolis. Nigeria. *Journal of Research in Engineering Science and Technology*, 1(2). <https://www.researchgate.net/publication/321475029>
- Valizadeh, K., Gholamnia, K., Ainali, G. and

Mosavi, S.M., 2017. Estimation land surface temperature and extract heat islands using split window algorithm and multivariate regression analysis (Case Study of Zanjan). *Research and Urban Planning*. 30, 35-50. 20.1001.1.22285229.1396.8.30.3.9

Vidal. R.Y.M. and Sastry, S., 2005. Generalized principal component analysis, *PAMI*. 27,1-15. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2005.244>

Voogt, J.A. and Oke, T.R., 2003. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*. 86 (3), 370-384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)

Widaman, K.F., 1999. Bias in Pattern Loadings Represented by Common Factor- Analysis and Component Analysis. *Multivariate Behavioral Research*. 25 (1), 89-95. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr2501_11



*This page is intentionally
left blank.*