

Original Research Article

Spatial analysis of heat islands in Qom as an index of urban environment

Fetemeh Ravanbakhsh ¹, Younes Khosravi ^{2*}, Abdolhossein Pari Zanganeh ³

¹ MSc of environmental sciences, Zanjan, Iran

² Associate professor of climatology, Department of Environmental Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

³ Professor of environmental sciences, Department of Environmental Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran



10.22034/GRD.2022.17201.150

Received:

August 28, 2021

Accepted:

April 10, 2022

Keywords:

Land surface temperature, Heat island, Spatial autocorrelation, Environmental criticality index, Qom.

Abstract

In recent years, along with the development of cities, we have seen changes in the temperature in cities. In this respect, some internal areas experience higher temperature than the surrounding suburbs. This phenomenon is called urban heat island. The process of this phenomenon is changing in terms of time and space due to factors such as changes in land use, vegetation and climatic parameters. As a result, wide environmental problems follow. The aim of this study is to extract the surface temperature in Qom City in the period of 2000-2020 and the temporal and spatial changes of land surface temperature using spatial statistics, and finally to identify the critical environmental areas in Qom. For this purpose, Landsat satellite images (ETM⁺ and OLI/TIRS) were used in order to measure the Land Surface Temperature (LST). Global Moran and Local Moran's I indices were used to analyze spatial autocorrelation, and Gi* statistic was used to analyze the hot and cold spots. The results showed that the temperature of Qom experienced an increasing trend during the 21-year period; the minimum temperature in 2019 increased from 22°C to 27°C, and the maximum temperature in 2019 increased from 42°C to 47°C. Generally, the highest and the lowest temperatures were related to the barren lands around the city and the areas containing vegetation and green spaces, respectively. In other words, a warm thermal semi-land was formed in the suburbs, and cold thermal islands were formed in the center of the city, during the studied period. According to the results of global Moran analysis, in both years (2000 and 2020), there was an autocorrelation in the data, and the data were distributed as clusters with high concentration in space. Examining the Environmental Criticality Index, it was found that, due to the creation of heat zones and the occurrence of a steep heat slope around the city over time, high-sensitivity zones in the study period around the city had an increasing trend. Based on this, by adopting the policies of creating green spaces with native plants that are compatible with the region's climate and creating the necessary infrastructure to adjust the climate in the urban area, the negative effects of this phenomenon can be significantly reduced.

Extended Abstract

1. Introduction

Due to the phenomenon of urbanization, the types of land cover in urban areas have changed, which eventually leads to the formation of distinct climatic conditions. Among them, urban heat islands are very prominent phenomena in which some urban areas, especially city centers, will have temperatures several degrees warmer

* **Corresponding Author:** Younes Khosravi

Address: Department of Environmental Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran. **Email:** Khosravi@znu.ac.ir

than the surrounding suburbs. Replacing the natural ground cover with paving, structures, asphalt and other urban constructions will eliminate the cooling effects of natural surfaces. So, by the change in the pattern of local winds, a rise in the growth of clouds and fog, increase of lightning and the impact on rainfall will change the climatic and local weather conditions. A very important parameter in the study of heat islands in a city is the land surface temperature (LST). In general, surface temperature measurements are performed by meteorological stations, including synoptic activities and climatology. It should also be noted that meteorological stations are only able to measure the temperature in certain places where they are already installed. What is considered as a major shortcoming in monitoring the surface temperature is the insufficiency of meteorological stations. The aim of this study is to extract the surface temperature in Qom City in the period of 2000-2020, the temporal and spatial changes of land surface temperature using spatial statistics and identifying the critical environmental areas in that city.

2. Research Methodology

For the spatial monitoring of heat islands in the city of Qom, first, Landsat satellite images of ETM⁺ and OLI/TIRS sensors (9 images) were obtained for the city (row 165 and route 36) during the years 2000 to 2020 in Clear weather conditions in September (cloud cover less than 1%). The corresponding web was glovis.usgs.org. In the first step, after the images were taken, all the required corrections, including atmospheric correction and radiometric correction, were applied to the images. In the second step, one of the most valid methods, namely the Split Window algorithm, was used to calculate the ground surface temperature. In the next step, global Moran and local Moran's I indices were used to analyze the spatial autocorrelation, and then Gi* statistics was used to analyze the hot and cold spots. Finally, to determine the urban environmental status, the deductive method of urban Environmental Criticality Index (ECI) was used.

3. Results and discussion

According to the results, from 2000 to 2020, low and very low temperatures corresponded to green space and vegetation, medium temperatures corresponded to urban uses, and high and very high temperatures corresponded to the outskirts of the city and barren lands. To determine the type of spatial correlation between land surface temperatures in the two years, the global Moran spatial autocorrelation index was used. Based on the results of the global Moran analysis, in both years (2000 and 2020), there was an autocorrelation in the data, and the data were distributed as clusters with high concentration in the space. In order to show the spatial changes and provide a clear picture of the distribution of the temperature values in the city of Qom, the local Moran's I index was used. According to the results, the distribution of points in those years was such that high clusters existed on the outskirts of the city. These clusters in both studied years corresponded to barren lands which had an increasing trend during the study period. Examining the environmental criticality index, it was found that, due to the creation of heat zones and the occurrence of a steep heat slope around the city over time, the high-sensitivity zones around the city in the study period had an increasing trend. Examining the NDVI map showed that the highest environmental sensitivities occurred at low NDVI values, and the lowest environmental ones at reverse values.

4. Conclusion

By the spatial and temporal monitoring of the heat islands in Qom, it emerged that, during a period of 21 years (2000 to 2020), the temperature around the city had an increasing trend, as compared to the internal temperature. In other words, areas of hot heat peninsula are formed on the outskirts of the city, and cold heat islands are formed in the center of the city. The existence of green space inside the city, dry and barren lands around the city, and semi-arid climate have caused the areas around the city to have an increasing trend of temperature. As a result, the central areas of the city, due to their lower temperature than the surrounding areas, appear as cold heat islands.,

مقاله پژوهشی

تحلیل فضایی جزایر حرارتی شهر قم به‌عنوان نمایه‌ای از محیط‌زیست شهری

فاطمه روان‌بخش^۱، یونس خسروی^{۲*}، عبدالحسین پری‌زنگنه^۳

^۱ کارشناس ارشد علوم محیط‌زیست، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
^۲ دانشیار گروه علوم محیط‌زیست، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
^۳ استاد گروه علوم محیط‌زیست، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.



10.22034/GRD.2022.17201.1501

چکیده

در سال‌های اخیر هم‌زمان با توسعه شهرها، شاهد تغییراتی در مقادیر دمای شهرها هستیم؛ به گونه‌ای که برخی از مناطق نسبت به حومه‌های اطراف خود دمای بالاتری را تجربه می‌کنند. به این پدیده، جزیره حرارتی شهری گفته می‌شود. روند این پدیده در بعد زمان و مکان به دلایلی نظیر تغییر در کاربری اراضی، پوشش گیاهی و عناصر اقلیمی در حال تغییر است و در پی آن معضلات محیط‌زیستی گسترده‌ای را به دنبال دارد. به دلیل این مهم، در این پژوهش سعی شده است تا روند تغییرات جزیره حرارتی شهر قم با استفاده از فن‌های خودهمبستگی فضایی در یک بازه زمانی ۲۱ ساله (۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹) و باهدف شناسایی مناطق بحرانی محیط‌زیستی موردبررسی قرار گیرد. برای دستیابی به این هدف، از تصاویر ماهواره لندست ۷ (+ETM) و لندست ۸ (OLI/TIRS) جهت محاسبه دمای سطح زمین (LST)، از آماره‌های موران جهانی و محلی برای بررسی خودهمبستگی فضایی و آماره *GI جهت تعیین لکه‌های سرد و گرم و از شاخص وضع بحرانی محیط‌زیست شهری برای شناسایی مناطق بحرانی محیط‌زیستی استفاده شد. نتایج نشان داد دمای شهر قم طی دوره ۲۱ ساله از یک‌روند افزایشی برخوردار بوده است؛ به‌طوری‌که حداقل دما در سال ۱۳۷۹ از ۲۲ درجه سانتی‌گراد به ۲۷ درجه در سال ۱۳۹۹ و حداکثر دما در سال ۱۳۷۹ از ۴۲ درجه سانتی‌گراد به ۴۷ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۳۹۹ افزایش یافته است. به‌طورکلی بیش‌ترین دما مربوط به زمین‌های بایر اطراف شهر و کم‌ترین مقدار دما مربوط به نواحی حاوی پوشش گیاهی و فضای سبز بوده است؛ به‌عبارتی دیگر شبه‌جزیره حرارتی گرم در حاشیه شهر و جزایر حرارتی سرد در مرکز شهر طی دوره مورد مطالعه تشکیل شده است. نتایج حاصل از خودهمبستگی فضایی موران عمومی حاکی از وجود یک ساختار فضایی و الگوی خوشه‌ای در مقادیر دمای سطح زمین در شهر قم در هر دو سال مورد مطالعه بوده است. شاخص وضع بحرانی محیط‌زیست شهری نیز نشان داد بیش‌ترین حساسیت محیط‌زیستی در سال ۱۳۷۹ در حاشیه شهر و در سال ۱۳۹۹ به‌صورت همه‌گیر در قسمت‌های مختلف بافت شهر قم قرار دارد. وجود یک‌روند افزایشی در پهنه‌هایی با حساسیت بالا حاکی از رخداد یک شیب تند حرارتی در اطراف شهر قم در طی زمان بوده است. بر این اساس با اتخاذ سیاست‌های ایجاد فضای سبز با گیاهان بومی و سازگار با اقلیم منطقه و ایجاد زیرساخت‌های لازم جهت تعدیل اقلیم در منطقه شهری می‌توان تا حد قابل‌توجهی از اثرات سوء این پدیده کاست.

تاریخ دریافت:

۶ شهریور ۱۴۰۰

تاریخ پذیرش:

۲۱ فروردین ۱۴۰۱

کلیدواژه‌ها:

دمای سطح زمین، جزایر حرارتی، خودهمبستگی فضایی، شاخص وضع بحرانی محیط‌زیست شهری، قم

۱ مقدمه

به‌واسطه پدیده شهرنشینی، انواع پوشش‌های سطح زمین در نواحی شهری تغییر نموده که نهایتاً منجر به شکل‌گیری آب‌وهوای متمایز می‌شود. در این میان جزایر حرارتی شهری از بارزترین پدیده‌هایی هستند که در آن پاره‌ای از مناطق شهری و به‌ویژه مراکز شهرها دمای چند درجه گرم‌تر از حومه‌های اطرافشان خواهند داشت (کابانو و همکاران^۱، ۲۰۲۱). نوع سازه، پوشش‌های سطح زمین، ترافیک، ازدحام جمعیت و فعالیت‌های صنعتی و تجاری به‌عنوان عوامل انسانی از یک‌طرف و عواملی مانند توپوگرافی، باد، ارتفاع، شیب، جنس و رنگ خاک و تابش به‌عنوان عوامل طبیعی از سوی دیگر در شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری مؤثر خواهند بود (استوک و مورایاما^۲، ۲۰۱۷).

جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با سنگ‌فرش، سازه‌ها، آسفالت و سایر ساخت‌وسازهای شهری تأثیرات خنک‌کنندگی سطوح طبیعی را از بین خواهد برد؛ به‌طوری‌که با تغییر الگوی بادهای محلی، تقویت رشد ابرها و مه، افزایش مقدار رعدوبرق و تأثیر بر میزان بارش،

* نویسنده مسئول: یونس خسروی

آدرس: گروه علوم محیط‌زیست، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

ایمیل: khosravi@znu.ac.ir

1 Kabano et al

2 Estoque & Murayama

شرایط هوای اقلیمی و محلی را تغییر خواهد داد (لیوو ژانگ^۱، ۲۰۱۱). بنابراین سازه‌های مرتفع و خیابان‌های باریک جریان هوا را کاهش داده و هوای پیرامون را بالا می‌برند، علاوه بر این حرارت ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در وسایل نقلیه کارخانه‌ها و وسایل تهویه کننده هوا، گرمای محیط را افزایش داده و تأثیرات جزایر حرارتی را شدت می‌بخشند (سینگ و همکاران^۲، ۲۰۲۱).

نتایج تحقیقات علمی انجام‌شده در خصوص جزایر حرارتی شهری نشان می‌دهد که این پدیده به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر روی سلامت و آسایش ساکنان شهری تأثیر گذاشته و اثرات نامطلوبی بر روی محیط‌زیست از جمله افزایش مصرف انرژی، افزایش مقدار ازن و حتی افزایش بالا رفتن نرخ مرگ‌ومیر موجودات زنده را به دنبال خواهد داشت (یان و بائور^۳، ۲۰۱۱). در این رابطه توسعه پوشش گیاهی نقش اساسی در روند کاهش چالش‌ها و دغدغه‌های محیط‌زیستی شهری ایفا می‌کند و در مقابل از بین رفتن پوشش گیاهی یک منطقه باعث بروز حساسیت‌های محیط‌زیستی شهری خواهد شد. بنابراین بررسی شاخص پوشش گیاهی از جمله عوامل مهم در مطالعات جزایر حرارتی شهری محسوب می‌شود. از آنجاکه کمبود پوشش گیاهی و افزایش دمای سطح زمین، تأثیر منفی بر چهره شهر می‌گذارد، شناسایی مناطق حساس محیط‌زیستی از نظر دمایی اهمیت بسزایی دارد (فرهادی و همکاران^۴، ۲۰۱۹).

یکی از پارامترهای مهم در مطالعه جزیره حرارتی شهر، دمای سطح زمین (LST)^۵ هست. به‌طور کلی اندازه‌گیری دما در سطح زمین، توسط ایستگاه‌های هواشناسی انجام می‌شود. این نکته را نیز باید مدنظر قرار داد که ایستگاه‌های هواشناسی فقط قادر به اندازه‌گیری دما در نقاط خاص می‌باشند که قبلاً در آنجا نصب شده‌اند. آنچه به‌عنوان یک نقص اساسی در پایش دمای سطح زمین به شمار می‌آید، نبود ایستگاه‌های هواشناسی کافی جهت آگاهی از مقادیر دمایی در نقاط فاقد ایستگاه است (خسروی و همکاران، ۱۳۹۶).

امروزه با کمک قابلیت‌های سنجش‌ازدور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، برآورد دمای سطح زمین را به سهولت و با دقت قابل‌قبول می‌توان انجام داد. آگاهی از میزان دمای سطح زمین کمی ویژه به طیف وسیعی از موضوعات مرتبط با علوم زمین نظیر اقلیم شهری، تغییر و تحولات محیطی، تعامل انسان با محیط‌زیست می‌کند (ملک و همکاران^۶، ۲۰۰۸).

از جمله نخستین پژوهشگرانی که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در خصوص جزایر حرارتی شهری مطالعاتی انجام داده‌اند می‌توان به مستون و همکاران^۷ (۱۹۸۷) اشاره کرد. ایشان به کمک تصاویر شب‌هنگام ماهواره نوا در نیمه غربی و شمال شرق آمریکا، بیشترین اختلاف دما بین مناطق درون و بیرون شهر را ۲/۶ تا ۶/۵ درجه محاسبه نمودند.

گالوو و همکاران^۸ (۱۹۹۳) پژوهشگرانی بودند که با همراه کردن الگوهای دمایی سطح زمین با انواع کاربری زمین از داده‌های ماهواره AVHRR برای ارزیابی و پایش جزیره حرارتی استفاده کردند. در این مطالعه شاخص‌های پوشش گیاهی به‌دست آمده، از رابطه خطی قابل‌قبولی با اختلاف دمای شهری و روستایی برخوردار بودند. در پژوهشی دیگر تری تریانتافیلو و لین^۹ (۱۹۹۶) در خصوص جزایر حرارتی با روش تاپسیس اقدام به محاسبات فازی کردند. نتایج حاکی از وجود یک الگوی نسبی فازی هر راهبرد بود.

مطالعه‌ای که توسط الساید^{۱۰} (۲۰۱۲) بر روی جزیره حرارتی شهر کوالالامپور انجام گرفت نشان داد عوامل بافت شهری، طبیعت ساختاری شهر و تولید گرمای مصنوعی از جمله گرمای حاصل از سیستم‌های خنک‌کننده منازل و ادارات، رفت‌وآمد اتومبیل‌ها و فعالیت کارخانه‌ها در محدوده شهر منجر به بروز پدیده جزیره حرارتی در این شهر شده است.

استوک و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۷) در پژوهشی به مدل‌سازی جزایر حرارتی در برخی از شهرهای جنوب شرقی آسیا پرداختند. ایشان با محاسبه ضریب نفوذ فضاهای سبز شهری، وجود ارتباط بین عناصر شهری مانند ارتفاع ساختمان‌ها و معابر داخلی شهر با توسعه فضاهای سبز شهری را نشان دادند.

گلدبلا و همکاران^{۱۲} (۲۰۲۱) به بررسی جزیره حرارتی شهر مناطق کوچک مقیاس در ارتباط با آسایش حرارتی پرداختند. ایشان دریافتند با کمک فن سنجش‌ازدور می‌توان ارتباط بین پوشش زمین و ویژگی‌های کاربری زمین و دمای معادل فیزیولوژیکی انسان را به‌خوبی نشان داد. در ایران نیز مطالعاتی در خصوص پایش جزیره حرارتی انجام پذیرفته است.

- 1 Liu & Zhang
- 2 Singh et al
- 3 Yuan & Bauer
- 4 Farhadi et al
- 5 Land Surface Temperature
- 6 Mallick
- 7 Matson
- 8 Gallo et al
- 9 Triantaphyllou & Lin
- 10 Elsayed
- 11 Estoque et al
- 12 Goldblatt et al

احمدی و همکاران (۱۳۹۱)، در پژوهشی به بررسی تغییرات زمانی-مکانی الگوهای حرارتی و کاربری شهر شیراز با استفاده از سنجنده‌های ETM+ و TM¹ پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که سطوح فاقد پوشش گیاهی حاشیه شهر و همچنین بافت‌های فشرده داخل شهر از بالاترین مقادیر دمایی برخوردارند.

در پژوهشی دیگر عقیلی نسب و همکاران (۱۳۹۲) به تحلیل جزایر حرارتی شهری با استفاده از سنجش‌ازدور و به دو روش دمای اصلاح‌شده سطح زمین و الگوریتم تک پنجره پرداختند. نتایج نشان داد که تحلیل خطی ترکیب طیفی در تفکیک و طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی شهری و مقایسه بین کاربری‌ها و همچنین تصویر کسر گیاهی نیز جهت بررسی ارتباط دمای سطح زمین و فراوانی پوشش گیاهی کاربرد داشته است.

انتظاری و همکاران (۱۳۹۴) به تحلیل فضایی جزایر حرارتی شهر مشهد با استفاده از RS پرداختند و نشان دادند خوشه‌های گرمایی از روند بالاتری در مراکز پرجمعیت با پوشش گیاهی کم برخوردار هستند.

ترکشاوند (۱۳۹۵) به آشکارسازی جزایر حرارتی شهر اراک مبتنی بر تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی پرداختند. ایشان دریافتند دو پارامتر پوشش گیاهی و مناطق ساخته‌شده شهری با دمای سطح زمین همبستگی قوی دارند، به طوری که شاخص پوشش گیاهی باعث تعدیل جزایر حرارتی شهری و مناطق ساخته‌شده شهری موجب تشدید جزایر حرارتی شهری اراک گردیده‌اند.

در پژوهش دیگر کریمی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تغییرات کمی و کیفی پوشش گیاهی و رابطه آن با LST شهرستان بجنورد با استفاده از سنجنده‌های OLI و TM و شاخص پوشش گیاهی برای بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج نشان داد مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم از دمای پایین‌تری نسبت به سایر مناطق دارا هستند.

محمدپور و همکاران (۱۳۹۹) جزایر گرمایی مناطق شهری گرگان را مورد تحلیل فضایی و زمانی قرار دادند. نتایج حاکی از وجود الگوی خوشه‌ای در داده‌های دمایی، لکه‌های داغ (در قسمت‌های شمالی، شمال غربی و شرقی و مرکز شهر)، همبستگی فضایی مثبت (لکه‌های داغ) و همچنین لکه‌های سرد در مناطق جنوبی شهر است.

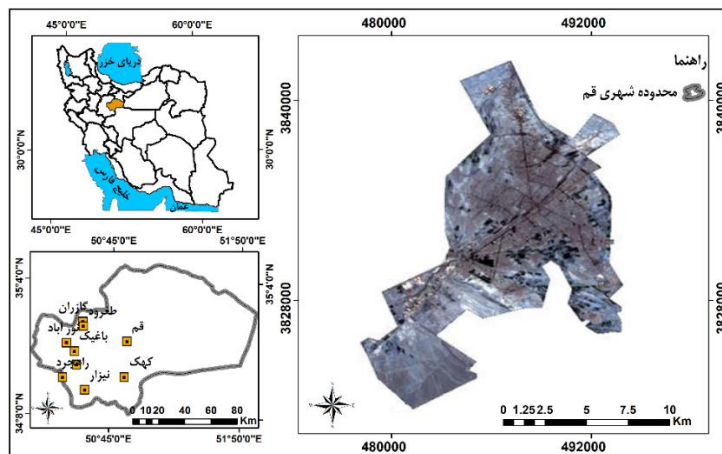
در پژوهشی دیگر احمدی و آزادی مبارکی (۱۳۹۹) به بررسی جزایر حرارتی تبریز با رویکرد زیست‌پذیری شهری پرداختند. نتایج نشان داد متوسط LST در کلان‌شهر تبریز بین ۳۰ تا ۴۳ درجه سلسیوس است و از سال ۲۰۱۰ به بعد بر مقدار انحراف معیار دمای سطح زمین افزوده شده است. در این پژوهش ضمن استخراج دمای سطح زمین در شهر قم در بازه زمانی ۱۳۷۹ و ۱۳۹۹، به شناسایی تغییرات زمانی و مکانی دمای سطحی شهر قم با استفاده از آمار فضایی و در نهایت شناسایی مناطق بحرانی محیط‌زیستی در شهر قم پرداخته شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند برای مهندسين طراح ساختمانی، شهرداری‌ها و اداره محیط‌زیست سودمند باشد و به مدیران و برنامه‌ریزان شهری کمک نماید تا در جهت کاهش اثرات جزیره حرارتی و آلودگی‌های شهری اقدامات مفید و زیر بنایی انجام دهند.

۲ مبانی نظری

۲/۱ منطقه مورد مطالعه

شهر قم بین مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی نسبت به نصف‌النهار گرینویچ و ۳۴ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی نسبت به خط استوا واقع شده است (شکل ۱). این شهر با وسعتی برابر با ۱۱۲۴۰ کیلومترمربع، جمعیتی بالغ بر ۱۲۹۲۲۸۳ نفر و دارای آب‌وهوای گرم و خشک است.

1 Thematic mapper



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهر قم

۳ روش تحقیق

جهت پایش فضایی جزیره حرارتی در شهر قم ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده‌های ETM⁺ و OLI/TIRS مربوط به شهر قم (ردیف ۱۶۵ و مسیر ۳۶) برای سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ (تعداد ۹ تصویر) مربوط به ماه شهریور در شرایط جوی صاف (پوشش ابری کمتر از ۱ درصد) از پایگاه glovis.usgs.org اخذ گردید (جدول ۱). در نخستین گام پس از اخذ تصاویر، تمامی تصحیحات موردنیاز از جمله تصحیح اتمسفری و تصحیح رادیومتریک بر روی تصاویر اعمال گردید.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره Landsat استفاده شده در پژوهش حاضر

ردیف	نوع ماهواره	نوع سنجنده	تاریخ برداشت هجری شمسی	ساعت برداشت به وقت گرینویچ
۱	Landsat7	ETM ⁺	۱۳۷۹/۶/۱۲	۶:۴۶:۱۴
۲	Landsat8	TIRS, OLI	۱۳۹۹/۶/۱۲	۷:۲۰:۲۹

در مرحله دوم از بین روش‌های مختلف محاسبه دمای سطح زمین نظیر الگوریتم‌های پنجره مجزا ۱، تک پنجره‌ای ۲، تک بانندی و الگوریتم سیبال ۳، یکی از معتبرترین روش‌ها یعنی الگوریتم پنجره مجزا استفاده شد (صالح و همکاران ۴، ۲۰۱۷). روش الگوریتم پنجره مجزا با برآورد دمای سطح زمین نزدیک به دمای اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های هواشناسی، از توانایی و دقت لازم برخوردار است (آتیک و همکاران ۵، ۱۳۹۵).

فرآیند اندازه‌گیری دمای سطح زمین در پژوهش (پوریانتورو و همکاران ۶ (۲۰۱۸) قابل دسترس است. در مرحله بعد جهت تحلیل خودهمبستگی فضایی از آماره‌های موران جهانی ۷ و موران محلی ۸ و برای تحلیل لکه‌های داغ و سرد از آماره ۹ Gi استفاده شد (رگرسون ۱۰، ۲۰۰۶). به کمک آماره موران جهانی وضعیت خوشه‌بندی داده‌ها مشخص می‌گردد. آماره موران جهانی و محلی نیز مشخص می‌کند در کدام نقاط) کجاها محدود مورد مطالعه، خوشه‌بندی‌ها در حال شکل‌گیری بوده و تا کجا گسترش یافته است.

- 1 Split Window
- 2 Single Window
- 3 Sebal
- 4 Saleh et al
- 5 Athick et al
- 6 Purbantoro et al
- 7 Global Moran
- 8 Local Moran's I
- 9 Geties Ord Gi*
- 10 Rogerson

تحلیل خوشه‌ها و ناخوشه‌ها که به شاخص انسلین موران محلی ۱ نیز مشهور است، الگوی بهینه برای نمایش توزیع آماری پدیده‌ها در فضا است (انسلین ۲، ۱۹۹۵). آماره G_i نیز روشی فوق‌العاده مفید برای ارزیابی خودهمبستگی مکانی محلی است. روش کار این آماره بدین‌صورت است که قادر است ساختار خودهمبستگی مکانی درون نواحی را از طریق شناسایی خوشه‌های محلی با ارزش‌های بالا و یا ارزش‌های پایین و همچنین نواحی که دارای سهم بالاتر در خودهمبستگی مکانی عمومی هستند، نشان می‌دهد (جتیس و ارد ۳، ۱۹۹۹). توضیحات بیشتر در خصوص روش‌های فوق در (انسلین، ۲۰۱۹) قابل‌دسترس است. درنهایت برای تعیین وضعیت زیست‌محیطی شهری از روش قیاسی وضع بحرانی محیط‌زیستی شهری (ECI4) استفاده شده است.

با توجه به اهمیت و نقش سازنده پوشش گیاهی در تعیین دمای سطح زمین، شاخص وضع بحرانی محیط‌زیستی شهری به دلیل استفاده هم‌زمان از دو پارامتر مذکور، به‌عنوان یکی از برترین روش‌ها جهت تعیین مناطق حساس محیط‌زیستی به شمار می‌آید که از آن می‌توان در جهت برنامه‌ریزی‌های آتی شهری استفاده کرد. در این شاخص برای تعیین مقادیر آستانه جهت نمایش طبقات، از چندک‌ها استفاده شد. بر این اساس مناطقی که دارای ارزش صفر بودند به‌عنوان مقادیر بدون حساسیت و مقادیر بیش‌تر نیز در سه دسته و با فواصل مساوی به ترتیب با عناوین مناطق با حساسیت کم، مناطق با حساسیت متوسط و مناطق با حساسیت بالا تعیین شدند. معادله ۱، روش قیاسی وضع بحرانی محیط‌زیستی شهری را نشان می‌دهد (سنانایک و همکاران ۵، ۲۰۱۳). در این معادله مقادیر LST و $NDVI$ به‌کارگیری از روش هیستوگرام از ۱ تا ۲۵۵ رسم شده‌اند و تابعی از مقادیر میانگین و واریانس می‌باشند (بابایان و همکاران، ۱۳۹۳). در این رابطه، LST دمای سطح زمین و $NDVI$ شاخص پوشش گیاهی نرمال شده هست.

$$ECI_{(LST-veg)} = \frac{LST(stretched\ 1-255)}{NDVI(stretched\ 1-255)} \quad \text{رابطه ۱}$$

۴ یافته‌ها و بحث

۴.۱ بررسی خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین در بازه زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹

در نخستین گام، دمای سطح زمین برای دو سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹۹ محاسبه شد (شکل‌های ۲ و ۳). بر اساس نقشه دمای سال ۱۳۷۹ (شکل ۲)، طبقه دمایی بسیار پایین در بازه ۲۲ تا ۲۹ درجه سلسیوس منطبق بر باغات و زمین‌های کشاورزی پیرامون شهر قم، طبقه دمایی پایین در بازه ۲۹ تا ۳۳ درجه سلسیوس منطبق بر فضای سبز و باغات، طبقه دمایی متوسط در بازه ۳۳ تا ۳۷ درجه سلسیوس منطبق بر مناطق مسکونی و مناطق شهری مرکز و تاحدودی کشیده شده به سمت حاشیه شهر و درنهایت طبقه ۳۷ تا ۴۲ درجه سلسیوس در حاشیه شهر دیده می‌شود. همچنین بر اساس نقشه دمای سال ۱۳۹۹ (شکل ۳)، طبقات دمایی ۲۷ تا ۲۹ و ۳۳ تا ۳۷ درجه سلسیوس منطبق بر فضای سبز و پوشش گیاهی قابل‌مشاهده هستند. طبقه دمایی متوسط در بازه زمانی ۳۳ تا ۳۷ درجه سلسیوس و طبقه دمایی بالا در بازه ۳۷ تا ۴۲ درجه سلسیوس، منطبق بر گره‌های ترافیکی و بافت‌های فرسوده شهری قرار گرفته‌اند. در سال ۱۳۹۹ یک طبقه دمایی یعنی ۴۲ تا ۴۷ درجه نسبت به دوره زمانی قبلی افزوده شده است که نشان از افزایش متوسط ۵ درجه‌ای دما در شهر قم هست. در این سال دماهای بسیار بالا (۴۲ تا ۴۷ درجه سلسیوس) منطبق بر زمین‌های بایر قابل‌مشاهده است.

با توجه به شکل ۲، می‌توان گفت در سال ۱۳۷۹ دماهای پایین بیشتر در قسمت‌های شرقی و حاشیه شهر بوده و حداقل دما بر بخش مرکزی شهر حاکم هست. همچنین حداکثر دما در بخش‌های جنوبی که در شهرک شکوهیه قم واقع است مشاهده می‌شود. در سال ۱۳۹۹ تمرکز دمای بسیار پایین و پایین در مرکز شهر نسبت به حومه‌های اطراف بیشتر هست. در این سال حداقل دما در بخش‌های مختلف شهری حداقل میدان مطهری، شهید بهشتی، بلوار امین و دماهای بالاتر نیز در بخش‌های شمال و شمال غربی و بخش‌های جنوبی قابل‌مشاهده است.

در طول دوره مورد مطالعه، به دلیل از بین رفتن باغات شهر قم، جایگزین شدن پوشش‌های آسفالتی بالای پشت‌بام‌ها با پوششی از ایزوگام، تولید آئروسول‌های حاصل از آلودگی خودروها و صنایع و موتورسیکلت‌ها (با توجه به رشد خودروها و صنایع)، رشد و گسترش فیزیکی شهر و تبدیل زمین‌های بایر به مناطق مسکونی و آپارتمان‌نشینی، دما افزایش یافته است. در مجموع می‌توان گفت از سال ۱۳۹۱ تا سال ۱۳۹۷ دماهای بسیار پایین و پایین منطبق بر فضای سبز و پوشش گیاهی، دماهای متوسط منطبق بر کاربری‌های شهری و دماهای بالا و بسیار بالا منطبق بر حاشیه شهر و زمین‌های بایر می‌باشند.

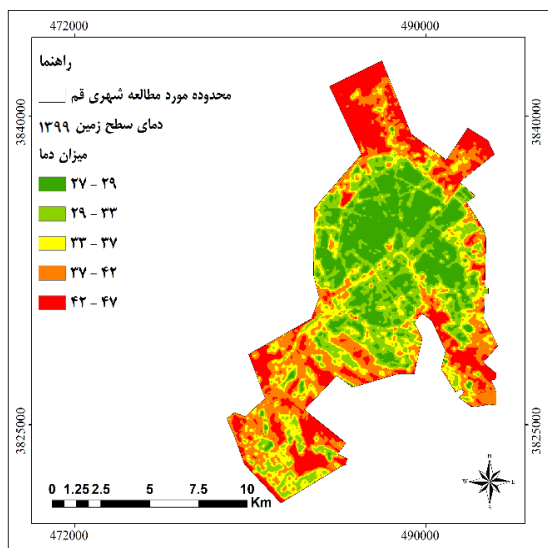
1 Anselin local Moran's i

2 Anselin

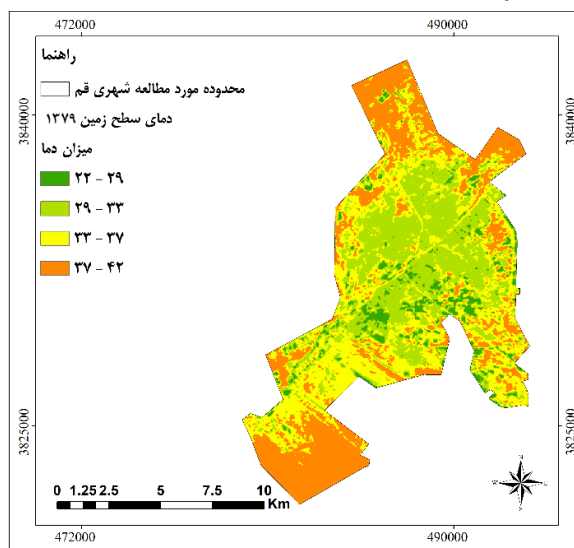
3 Getis & Ord

4 Environmental Criticality Index

5 Senanayake, et al



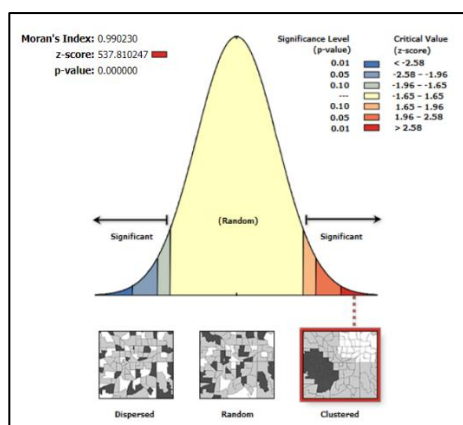
شکل ۳- طبقات دمایی محاسبه شده برای شهریور ۱۳۹۹



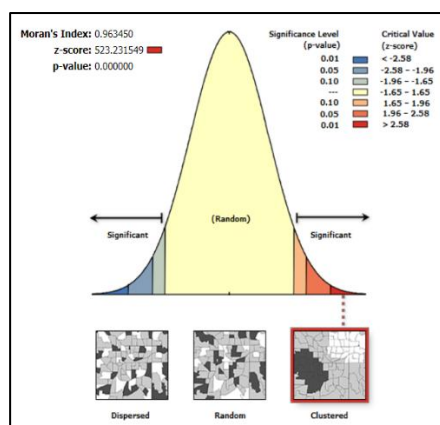
شکل ۲- طبقات دمایی محاسبه شده برای شهریور ۱۳۷۹

جهت تعیین نوع خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین در دو سال مورد بررسی، از شاخص خودهمبستگی فضایی موران جهانی استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل موران جهانی در سال ۱۳۷۹ (عدد موران 0.963 ، نمره استاندارد $Z = 523/23$ و $PValue = 0/00$) می‌توان نتیجه گرفت بین داده‌ها خودهمبستگی وجود داشته و داده‌ها به صورت خوشه‌ای با تمرکز بالا در فضا توزیع شده‌اند (شکل ۴).

با در نظر گرفتن فرضیات (H_0 و H_1)، فرض صفر که مبنی بر عدم وجود ارتباط فضایی بین داده‌ها بوده است رد می‌شود و فرض یک که بیانگر وجود خودهمبستگی بین داده‌هاست مورد تأیید قرار می‌گیرد. نتایج تحلیل موران جهانی برای سال ۱۳۹۹ نیز حاکی از خوشه‌ای بودن الگو در این سال هست. الگوی سال ۱۳۹۹ (عدد موران 0.990 ، نمره استاندارد $Z = 537/81$ و $PValue = 0/00$) نیز وجود خودهمبستگی فضایی و الگوی خوشه‌ای را بین داده‌های دمای تأیید می‌کند (شکل ۵).



شکل ۵- نمودار خودهمبستگی فضایی شاخص موران جهانی برای شهریور ۱۳۹۹



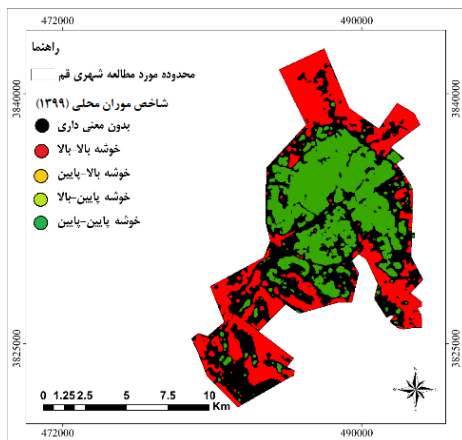
شکل ۴- نمودار خودهمبستگی فضایی شاخص موران جهانی برای شهریور ۱۳۷۹

به منظور نمایش تغییرات مکانی و ارائه تصویری واضح از پراکنش مقادیر دما در شهر قم، از شاخص موران محلی استفاده شد. بر اساس شکل‌های ۶ و ۷، پراکنش نقاط در سال‌های به دست آمده به گونه‌ای بوده است که خوشه‌های با ارزش بالا (High Clusters) در دو سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹۹ در حاشیه و اطراف شهر قم بوده است. این خوشه‌ها در هر دو سال مورد مطالعه منطبق بر زمین‌های بایر بوده است که در طول دوره مورد بررسی از یک روند افزایشی برخوردار بوده است.

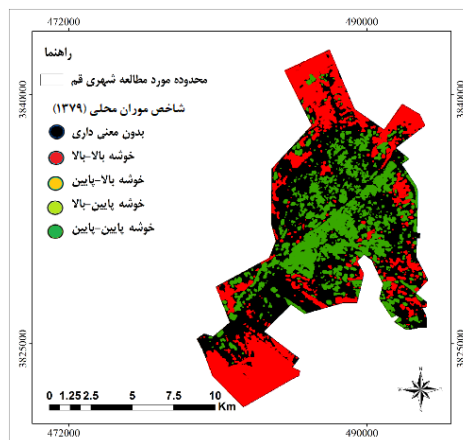
همچنین مشاهده می‌گردد خوشه‌های با ارزش پایین (Low Clusters) با گذشت زمان از حالت پراکنده به حالت مجتمع تبدیل شده است؛ به طوری که در سال ۱۳۹۹ این خوشه‌ها منطبق بر کاربری شهری در مرکز شهر قم، بافت‌های فرسوده شهری و گره‌های ترافیکی

هست. بر اساس الگوی تغییرات فضایی انواع کاربری در شهر قم می‌توان گفت که تغییرات فضایی دمای سطحی شهر قم بیش از همه ارتباطی با الگوی تغییرات فضایی کاربری‌های پوشش گیاهی و زمین‌های بایر داشته است.

در بین کاربری‌های مختلف موجود، بررسی و شناسایی تغییرات فضایی NDVI کمک شایانی به تغییرات فضایی موجود در محاسبه دمای سطحی زمین کرده است. ارتباط معکوس بین تضعیف خوشه‌های سرد و هماهنگی انکارناپذیر با تضعیف و از بین رفتن پوشش گیاهی و تقویت خوشه‌های داغ وجود دارد. همچنین کاربری‌های مربوط به زمین‌های بایر، خوشه‌های حرارتی را در بین تمامی انواع مختلف کاربری‌ها را دارا هست.

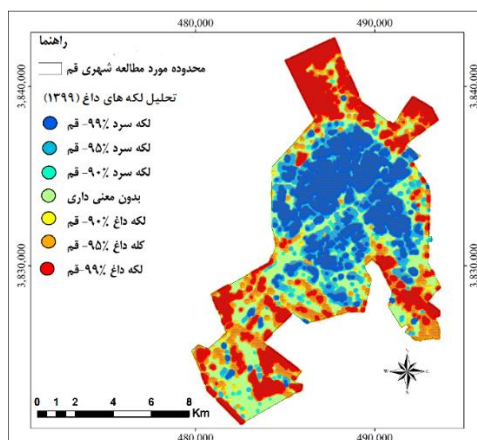


شکل ۷- نقشه شاخص موران محلی دمای سطح زمین برای شهریورماه ۱۳۹۹

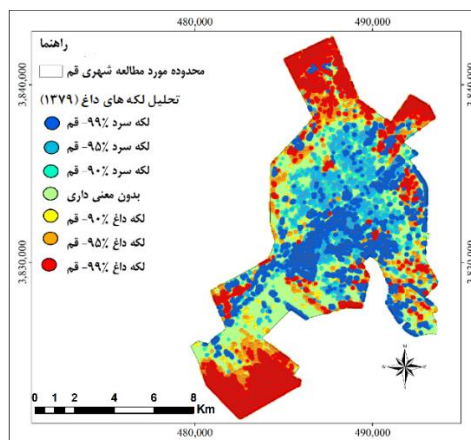


شکل ۶- نقشه شاخص موران محلی دمای سطح زمین برای شهریورماه ۱۳۷۹

جهت اطمینان از مناطق دارای خوشه‌های بارزش بالا و پایین از آماره G_i^* یا Hot Spot استفاده شده است (شکل‌های ۸ و ۹). با توجه به شکل‌های مذکور، محدوده‌های قرمز رنگ مناطقی هستند که امتیاز استاندارد Z به دست آمده از آماره G_i^* ، عدد Z بزرگ‌تری دارند و با اطمینان ۹۹٪ مقادیر بالای دمای حداکثر در آن مناطق متمرکز شده است. همچنین محدوده‌های آبی رنگ مناطقی هستند که امتیاز استاندارد Z به دست آمده از آماره G_i^* ، عدد Z منفی کوچک‌تری دارند و با اطمینان ۹۹٪ مقادیر پایین دمای حداقل در آن مناطق متمرکز شده است. خوشه‌های بارزش بالا و با سطح اطمینان ۹۹٪ در هر دو سال مورد بررسی منطبق بر زمین‌های بایر است که طی گذشت زمان به بخش‌های شرقی و غربی محدوده شهری قم افزوده شده است. خوشه‌های بارزش پایین و با سطح اطمینان ۹۹٪ در سال‌های ۱۳۷۹ به صورت پراکنده در بخش‌های مرکزی شهر و بیشتر منطبق بر کاربری پوشش گیاهی مشاهده می‌گردد. این خوشه‌ها در سال ۱۳۹۹ حالت متمرکزتری به خود گرفته و در بخش‌های مرکزی توزیع شده‌اند.



شکل ۹- نقشه لکه‌های داغ و لکه‌های سرد دمای سطح زمین در شهریورماه ۱۳۹۹



شکل ۸- نقشه لکه‌های داغ و لکه‌های سرد دمای سطح زمین در شهریورماه ۱۳۷۹

۴/۲ بررسی شاخص وضع بحرانی محیط‌زیست شهری (ECI)

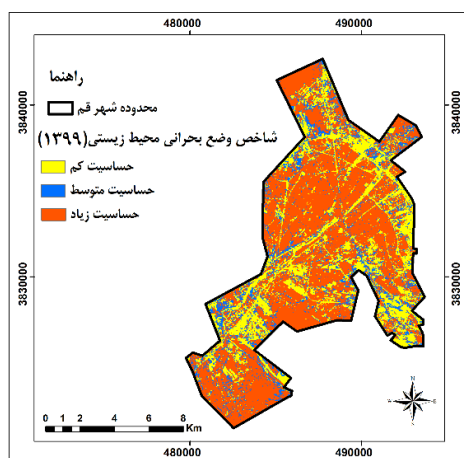
یکی از مهم‌ترین معضلات رشد افزایشی و بدون برنامه‌ریزی شهری، کاهش سطح پوشش گیاهی است که گاهی با سطوح غیرقابل مجاز از جمله ساختمان‌ها و سایر سطوح نفوذناپذیر جای‌گذاری شده است. کلان‌شهر قم از جمله مناطق شهری مهمی است که با رشد سریع جمعیت در مرکز ایران قرار گرفته است. برای تعیین وضعیت زیست‌محیطی شهری از روش قیاسی وضع بحرانی محیط‌زیستی شهری (ECI) بر اساس دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی استفاده شده است.

برای تعیین مقادیر آستانه جهت نمایش طبقات، از شاخص چندک‌ها استفاده شد. بر این اساس مناطقی که دارای ارزش صفر بودند به‌عنوان مقادیر بدون حساسیت و مقادیر بیش‌تر نیز در سه دسته و با فواصل مساوی به ترتیب با عناوین مناطق با حساسیت کم، مناطق با حساسیت متوسط و مناطق با حساسیت بالا تعیین شدند. در شکل‌های ۱۰ و ۱۱، شاخص وضع بحرانی محیط‌زیست به ترتیب برای سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۳۷۹ نمایش داده شده است.

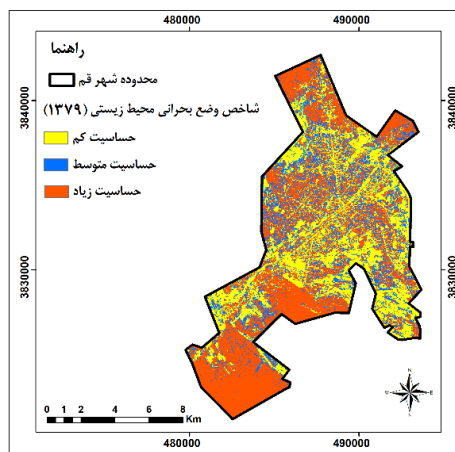
بر این اساس بیش‌ترین حساسیت محیط‌زیستی در سال ۱۳۷۹ در حاشیه شهر و در سال ۱۳۹۹ به‌صورت همه‌گیر در قسمت‌های مختلف بافت شهر قم مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که کمبود پوشش گیاهی و وجود جزایر حرارتی برافزایش این حساسیت محیط‌زیستی تأثیرگذار بوده است. در این رابطه مشخص می‌شود کمبود پوشش گیاهی و وجود جزایر حرارتی در مناطق حاشیه‌ای شهر قم باعث رقم زدن بالاترین درجه حساسیت بحرانی محیط‌زیست در این مناطق شده است. همچنین بخش‌های مرکزی شهر به دلیل وجود فضای سبز و پوشش گیاهی قابل‌قبول، پایین‌ترین درجات حساسیت بحرانی محیط‌زیست را در شهر قم به خود اختصاص داده‌اند.

با بررسی شاخص وضع قیاسی بحرانی محیط‌زیستی مشخص گردید به دلیل ایجاد پهنه‌های حرارتی و رخداد یک شیب تند حرارتی در اطراف شهر در طی زمان، پهنه‌هایی با حساسیت بالا در دوره مورد مطالعه در اطراف شهر از یک‌روند افزایشی برخوردار بوده است؛ به‌طوری‌که بزرگ‌ترین و بیش‌ترین جزیره حرارتی شهری در منطقه ۷ و کمترین حساسیت در منطقه ۱ تا ۴ شناسایی شد.

با بررسی نقشه NDVI، به‌خوبی می‌توان دید که بالاترین حساسیت‌های محیط‌زیستی در مقدارهای NDVI با ارزش پایین و کم‌ترین حساسیت محیط‌زیستی در مقادیر معکوس رخ داده است. شناسایی مناطق بحرانی محیط‌زیست شهری در ارتباط با جزیره حرارتی شهر می‌تواند نقش بسیار مهم و کلیدی در پروژه‌های برنامه‌ریزی‌های شهری آینده شهر قم ایفا کند؛ به‌گونه‌ای که با شناخت این پدیده و سازوکار آن، می‌توان ضمن انجام عملیات زیرساختی، اقدامات قابل‌قبولی را در به حداقل رساندن آثار زیان‌بار جزایر حرارتی شهری انجام داد. به‌طور کل می‌توان با اتخاذ سیاست‌های ایجاد فضای سبز با گیاهان بومی و سازگار با آب‌وهوای منطقه، توسعه بام سبز، ایجاد زیرساخت‌های لازم جهت تعدیل اقلیم در منطقه شهری تا حد قابل‌توجهی از اثرات سوء این پدیده کاست.



شکل ۱۱- شاخص وضع بحرانی محیط‌زیست شهری در شهریورماه ۱۳۹۹



شکل ۱۰- شاخص وضع بحرانی محیط‌زیست شهری در شهریورماه ۱۳۷۹

۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

شناسایی جزایر حرارتی شهری و مناطق بحرانی می‌تواند نقش اساسی در زیست‌پذیری شهری در آینده ایفا کند. اهمیت جزایر حرارتی در ایجاد دو عامل مربوط به نقش اقلیم و عوامل مرتبط با ساخت شهری است. عوامل مربوط به اقلیم شامل تابش خورشید، سرعت، جهت و شدت باد، پوشش ابری، رطوبت خاک و هوا، بارش، عرض جغرافیایی، تغییرات فصلی، توپوگرافی و نزدیکی به دریا و رودخانه است. عوامل ساخت شهری نیز قابل کنترل و عمدتاً مرتبط با طراحی و ساخت‌وساز شهری هستند که شناخت اهمیت این عوامل می‌تواند نقش کلیدی را در کاهش جزایر حرارتی ایفا کند.

با پایش مکانی و زمانی جزایر حرارتی شهر قم مشخص گردید طی دوره زمانی ۲۱ ساله (۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹)، دمای اطراف شهر نسبت به دمای داخلی از یک‌روند افزایشی برخوردار بوده است. به عبارتی دیگر می‌توان گفت مناطق شبه‌جزیره حرارتی گرم در حاشیه شهر و جزایر سرد حرارتی در مرکز شهر قم تشکیل شده است. وجود فضای سبز داخل شهر، وجود زمین‌های خشک و بایر در اطراف شهر، برخورداری از آب‌وهوای نیمه‌خشک موجب شده است تا مناطق اطراف شهر از یک‌روند افزایش دمای برخوردار باشند و در نتیجه مناطق مرکزی شهر به دلیل پایین بودن دمایشان نسبت به مناطق اطراف، به شکل جزایر حرارتی سرد نمایان شوند. این موضوع در پژوهش احمدی و رودباری (۱۳۹۶) نیز مورد تأیید قرار گرفته است.

بر اساس نتایج مشخص شد که نوع کاربری شهری در تغییرپذیری دمای سطح نقش تعیین‌کننده به همراه دارد. به نحوی که در شهر قم فضای سبز به‌عنوان کاربری خنک و از طرف دیگر مناطق مسکونی و ساختمانی، شبکه راه‌ها، زمین‌های بایر و گره‌های ترافیکی شهری در جایگاه کاربری‌های گرم قرار دارند. با بررسی شاخص وضع قیاسی بحرانی محیط‌زیستی مشخص گردید به دلیل ایجاد پهنه‌های حرارتی و رخداد یک شیب تند حرارتی در اطراف شهر در طی زمان، پهنه‌هایی با حساسیت بالا در دوره مورد مطالعه در اطراف شهر از یک‌روند افزایشی برخوردار بوده است. در مجموع نتیجه پژوهش حاضر با پژوهش‌های رضایی و دخت محمد (۱۳۸۹)، علوی‌پناه و همکاران (۱۳۹۴)، احمدی و همکاران (۱۳۹۱)، کریمی فیروزجایی و همکاران (۱۳۹۵) و محمدپور و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد.

References

- Ahmadi, M., Ashoorlu, D., & Narangi Fard, M. (2012). Temporal-spatial changes of thermal and land use patterns in Shiraz using ETM & TM sensor data. *Remote Sensing and GIS of Iran*, 4 (4), 68-55.
- Ahmadi, M., Azadi., & Mobaraki, M. (2020). Investigation of Tabriz thermal islands with urban bioavailability approach. *Researches in Earth Sciences*, 11, 245-262.
- Ahmadi, M., & Dadashi, a. (2017). The Identification of Urban Thermal Islands based on an Environmental Approach, Case Study: Isfahan Province. *Geography and Environmental Planning*. 28, 1-20.
- Aghili Nasab, Z., Mohammadzadeh, M., Salman Mahini, A. R., & Zarei, H. (2013). Analysis of Urban Thermal Island Calculation Method Using Remote Sensing. *Conference of Environmental Planning and Management*, 8-3.
- Alavipanah, S.K., Hashemi Darrehbadami, S., & Kazemzadeh, A. (2015). Spatial- Temporal Analysis of Urban Heat- Island of Mashhad City due to Land Use/ Cover Change and Expansion. *Geographical. Urban Planning Research (GUPR)*. 3, 1-17.
- Anselin, L. (1995). LISA. *Geogr Anal*, 27, 93-115.
- Anselin, L. (2019). A local indicator of multivariate spatial association: extending Geary's C. *Geographical Analysis*, 51(2), 133-150.
- Athick, A. M. A., Shankar, K., & Naqvi, H. R. (2019). Data on time series analysis of land surface temperature variation in response to vegetation indices in twelve Wereda of Ethiopia using mono window, split window algorithm and spectral radiance model. *Data in brief*, 27, 104773.
- Babaian, I., Rezaei-pour, A., & Ahangarzadeh, Z. (2014). Simulation of Climate Comfort Index in Khorasan Razavi Province under Climate Change Scenarios, *Geographical Studies of Arid Areas*, 5, 112, 95-18.

- Elsayed, ISM, (2012). Mitigation of the Urban Heat Island of the City of Kuala Lumpur, Malaysia. Middle-East.Journal of Scientific Research, 11,1602-1613.
- Entezari, A., Dadashi rudbari, A., & Asadi, M. (2016). Assessing the autocorrelation of spatial-temporal temperature change in heat islands in Khorasan. Journal of Geography and Environmental Hazards,4, 125-146.
- Estoque, R. C., & Murayama, Y. (2017). Monitoring surface urban heat island formation in a tropical mountain city using Landsat data (1987–2015). ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 133, 18-29.
- Farhadi, H., Faizi, M., & Sanaieian, H. (2019). Mitigating the urban heat island in a residential area in Tehran: Investigating the role of vegetation, materials, and orientation of buildings. Sustainable Cities and Society, 46, 101448.
- Gallo, K. P. McNab, A. L. Karl, T. R. Brown, J. F. Hood, J. J. & Tarpley, J. D, (1993), The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. Journal of Applied Meteorology, 32(5), 899-908.
- Getis, A., & Ord, JK. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. Geoger Anal, 24 (3), 189 – 206.
- Goldblatt, R., Addas, A., Crull, D., Maghrabi, A., Levin, G. G., & Rubinyi, S. (2021). Remotely sensed derived (LST) as a proxy for air temperature and thermal comfort at a small geographical scale. Land, 10(4), 410.
- Karami, M., Taheri Qasemabadi, J., & Asadullahi, A. (2018). Quantitative and qualitative changes of vegetation using satellite images and its relationship with climatic parameters. Quarterly Journal of New Research in Geographical Sciences. Architecture and Urban Planning, 13, 12 - 1.
- Karimi Firozjaei, M., Kiavarz Mogaddam, M., & Alavi Panah, S.K. (2017). Monitoring and predicting spatial-temporal changes heat island in Babul city due to urban sprawl and land use changes. Journal of Geospatial Information Technology. 5, 123-151.
- Kabano, P., Lindley, S., & Harris, A. (2021). Evidence of urban heat island impacts on the vegetation growing season length in a tropical city. Landscape and Urban Planning, 206, 103989.
- Khosravi, Y., Heidari, M., Tavakoli, A., & Zamani, A. (2017). Analyzing of the Relationship between LST Changes and Spatial Pattern of Land Use changes. Modares Journal of Spatial Planning, 21, 119-144
- Liu, L. & Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data:A case study in Hong Kong.Remote Sensing,3,1535-52.
- Mallick, J. Kant, Y. and Bharath, B.D. (2008). Estimation of land surface temperature overDelhi using Landsat–7 ETM+. Journal of the Indian geography union, 12 (3), 131–140.
- Matson, M. McClain, E. P. McGinnis Jr, D & Pritchard, J. A. (1978). Satellite detection of urban heat islands. Monthly Weather Review, 106, 1725-34.
- Mohammadpour, a., Alijani, B., Akbary, M., & Zeaiean Firouzabadi, P. (2021). Spatial and temporal analysis of the thermal islands of Gorgan urban areas. Geographical Planning of Space. 10, 157-172.
- Purbantoro, B., Aminuddin, J., Manago, N., Toyoshima, K., Lagrosas, N., Sumantyo, J. T. S., & Kuze, H. (2018). Comparison of cloud type classification with split window algorithm based on different infrared band combinations of Himawari-8 satellite. Advances in Remote Sensing, 7(3), 218-234.

- Ramezani, B., Dokht Mohammad, S. M. (2010), Recognition of the spatial boundary of heat island formation in Rasht. *Journal of Urban Research and Planning* 1 (1), 64-49.
- Rogerson, P. A. (2006). *Statistics Methods for Geographers: students Guide*: Los Angels, California. SAGE Publications
- Saleh, K., Hossny, M., & Nahavandi, S. (2017). Driving behavior classification based on sensor data fusion using LSTM recurrent neural networks. In 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 1-6.
- Senanayake, I. P., Welivitiya, W. D. D. P., & Nadeeka, P. M. (2013). Remote sensing based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, SriLanka using Landsat-7 ETM+ data. *Urban Climate*, 5, 19-35
- Singh, N., Singh, S., & Mall, R. K. (2020). Urban ecology and human health: implications of urban heat island, air pollution and climate change nexus. In *Urban Ecology*, 317-334.
- Torkashvand, M.G. (2017). Detection of Heat Islands over Arak City Based on Spatial Autocorrelation Analysis. *Quarterly Journal of Environmental Based Territorial Planning*, 9, 123-148.