

Original Article



Spatial Analysis and Trend Extraction of Urban Heat Islands in Iran's Major Cities in the Summer Season

Received: 2022.09.30

Accepted: 2023.04.17

Mahmoud Ahmadi*

Department of
Meteorology, Faculty of
Earth Sciences, Shahid
Beheshti University,
Tehran, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: The release of high heat energy, the increase of greenhouse gases and also land use are the main factors of local climate change in cities. The effect of the urban environment on the atmospheric air and the boundary layer of urban areas appears mostly in the form of a temperature island. The urban heat island creates an artificial thermal environment due to the significant disturbance of energy, heat and radiative forcings, which have faced challenges for urban residents, water resources, urban infrastructure, atmospheric pollutants and social comfort. In addition, it aggravates the heat and has a negative effect on life expectancy. In addition to changing the temperature, the development of urban areas has a significant role on water, humidity and air quality, and in the long term, it creates a change in the local climate. The purpose of this research is the spatial and process analysis of urban heat islands in Iranian metropolises in the summer season.

Material and Methods: In this research, five big cities of Iran including Tehran, Mashhad, Isfahan, Shiraz and Karaj were selected. Then, Landsat 7 and 8 satellite images from 2003 to 2018 were used to recover the land surface temperature (LST) and for spatial analysis we used the (Getis-OrdGi) statistics. Finally, for trend analysis, the Mann-Kendall method was used.

Results and Discussion: The results showed temperature of the earth's surface has increased in all Iranian metropolises. that the average LST in the built-up areas within the city limits is higher than the average LST in the surrounding non-urban areas and even sometimes the city itself, and the strongest (SUHI) has occurred in areas such as the asphalt surfaces of airport runways, parking lots and roofs. The intensity (SHUI) in all metropolitan cities in the city center was not higher than other areas. The results of trend analysis using Kendall's method showed that the surface temperature of the earth is increasing in all the five cities of Iran except for Isfahan. Also, regarding the spatial distribution of the surface temperature in the five cities of Iran, it was found that there is an inverse relationship between the building density and the surface temperature.

Conclusion: The surface temperature of the earth was increasing in all studied cities. The slope of the trend was also higher than 1 degree Celsius for the major cities under study, and the intensity of the trend was higher in Karaj city than other major cities under study. The minimum slope of the earth surface temperature trend was calculated in Isfahan and the maximum slope was calculated in Karaj. In the next studies, it is suggested to study more cities in order to make better plans for the development of other cities.

Keywords: Surface temperature, Satellite, Gettys-ord Gi., McKendall, Metropolis, Iran

How to cite this article:

Ahmadi, M., 2023. Spatial analysis and trend extraction of urban heat islands in Iran's major cities in the summer season. *Environ. Sci.* 21(4): 23-40.

* Corresponding Author Email Address: ma_ahmadi@sbu.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2022.1163



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

تحلیل فضایی و استخراج روند جزایر حرارتی شهری کلان شهرهای عمده ایران در فصل تابستان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۸

محمود احمدی*

گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: آزاد شدن انرژی گرمایی زیاد، افزایش گازهای گلخانه‌ای و همچنین کاربری زمین از عوامل اصلی تغییر اقلیم محلی در شهرها است. اثر محیط‌های شهری روی هوا سپهر و لایه‌مرزی مناطق شهری بیشتر به شکل جزیره حرارتی ظاهر می‌شود. جزیره حرارتی شهری به دلیل آشفتنگی قابل توجهی از شارهای انرژی، رطوبت و واداشتهای تابشی یک محیط حرارتی مصنوعی را به وجود می‌آورد که سلامت ساکنان شهری، منابع آب، زیرساخت‌های شهری، آلاینده‌های جوی و آسایش اجتماعی را با چالش‌هایی روبرو کرده است. علاوه بر این، باعث تشدید امواج گرمای و ایجاد تأثیر منفی بر امید به زندگی می‌شود. توسعه مناطق شهری علاوه بر تغییرات دما، بر بارش، رطوبت و کیفیت هوا نقش قابل توجهی داشته و در طولانی‌مدت سبب دگرگونی آب‌وهوای محلی می‌شود هدف از این تحقیق، تحلیل فضایی و استخراج روند جزایر حرارتی شهری کلان‌شهرهای ایران در فصل تابستان است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش ابتدا ۵ کلان‌شهر ایران شامل تهران، مشهد، اصفهان، شیراز و کرج انتخاب شد. سپس از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ لندست ۷ و ۸ برای بازیابی دمای سطح زمین، (LST) و برای تحلیل فضایی از آماره گیتس اورد جی (Getis-OrdGi) و در نهایت جهت تحلیل روند از روش من کندال استفاده شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد دمای سطح زمین در تمامی کلان‌شهرهای ایران افزایش یافته است. میانگین LST در مناطق ساخته شده در محدوده شهر بیش‌تر از میانگین LST در مناطق غیرشهری اطراف و حتی بعضاً خود شهر است و قوی‌ترین (SUHI) در مناطقی همانند سطوح آسفالتی باندهای فرودگاهی، پارکینگ‌ها و سقف‌های گالوانیزه رخ می‌دهد. شدت (SHUI) در تمامی کلان‌شهرها در مرکز شهر بالاتر از سایر مناطق نیست. نتایج روندیابی با استفاده از روش من کندال نشان داد، دمای سطح زمین در هر پنج کلان‌شهر ایران غیر از اصفهان روند افزایشی دارد، همچنین در مورد توزیع فضایی دمای سطح در ۵ کلان‌شهر ایران مشخص شد که بین تراکم ساختمان و دمای سطح رابطه معکوس وجود دارد.

نتیجه‌گیری: دمای سطح زمین در تمام کلان‌شهرهای مورد مطالعه روند افزایشی دارد. شیب روند نیز برای کلان‌شهرهای مورد مطالعه بالاتر از یک ۱ درجه سلسیوس است که شدت روند در شهر کرج بیش‌تر از سایر کلان‌شهرهای مورد مطالعه بود. کمینه شیب روند دمای سطح زمین در اصفهان و بیشینه آن در کرج محاسبه گردید. در مطالعات بعدی پیشنهاد می‌شود شهرهای بیشتری مورد مطالعه قرار گیرند تا برنامه‌ریزی‌های بهتری برای توسعه دیگر شهرها انجام شود.

واژه‌های کلیدی: دمای سطح زمین، ماهواره، گیتس اورد جی، من کندال، کلان‌شهر ایران

استناد به این مقاله: احمدی، م.

۱۴۰۲. تحلیل فضایی و استخراج

روند جزایر حرارتی شهری کلان

شهرهای عمده ایران در فصل

تابستان. فصلنامه علوم محیطی.

۲۳-۴۰: (۴) ۲۱

* Corresponding Author Email Address: ma_ahmadi@sbu.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2022.1163



مقدمه

شناخت دقیق از وضعیت آب‌وهوایی شهر ضروری است. نقشه آب‌وهوای شهری می‌تواند ابزاری برای شناسایی مناطق با خطر زیاد در برابر تنش‌های حرارتی و آلاینده‌ها باشد (Katzschner et al. 2009). در رابطه با تجزیه و تحلیل جزیره حرارتی شهری تحقیقاتی صورت گرفته است به طور مثال می‌توان (Buyantuyev and Wu (2010) به ارتباط تغییرات زمانی - فضایی دمای سطح زمین با پوشش زمین و الگوهای اجتماعی و اقتصادی در بیابان Sonoran در شمال ایالت آریزونا پرداختند، نامبردگان دو جفت تصویر روز و شب در نیمه گرم سال (ماه ژوئن) و نیمه سرد سال (ماه اکتبر) مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آنان حاکی از یک اختلاف درجه حرارت قابل توجه بوده که ناشی از نقش پررنگ از بین رفتن پوشش گیاهی بوده است. همچنین در پایان با استفاده از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی روابط فضایی اجتماعی و اقتصادی با دمای سطح زمین مورد ارزیابی قرار گرفت که نشان از نقش مثبت عوامل انسانی در شکل‌گیری جزایر حرارتی داشته است. (Senanayake et al (2013) به ارزیابی جزایر حرارتی شهری با استفاده از پوشش گیاهی در شهر Colombo سریلانکا با استفاده از دمای سطح زمین و شاخص قیاسی بین LST و شاخص پوشش گیاهی^۳ (NDVI) به این نتیجه رسیدند که مناطق ساحلی و بندر کلمبو به‌عنوان حساس‌ترین مناطق محیط زیستی جزایر حرارتی شهری هستند. تغییرات زمانی - مکانی جزایر حرارتی شهری کلان‌شهر Kano در نیجریه عنوان پژوهشی است که (Umar and Kumar (2014) بدان پرداختند. نامبردگان با استفاده از شاخص قیاسی وضع بحرانی محیط زیستی^۴ به این نتیجه رسیدند که شدت جزایر حرارتی شهری با پوشش گیاهی رابطه منفی داشته و فرودگاه بین‌المللی شهر کانو بزرگ‌ترین جزایر حرارتی شهری را به خود اختصاص داده و در دوره گرم سال وضعیت طاقت‌فرسایی را دارا هستند. (Deng and Srinivasan (2016) تغییر کاربری

مطالعه جزایر حرارتی شهری طی سال‌های اخیر دلیل محکمی برای طیف بسیاری از مطالعات در این حوزه در سراسر جهان بوده است. پیچیدگی سطح زمین می‌تواند به‌عنوان ترکیبی از پوشش گیاهی سبز، سطوح آب، مواد غیرقابل نفوذ در خاک‌ها باشد. طی دهه‌های اخیر، افزایش جمعیت، صنعتی‌شدن، افزایش و آلودگی هوا در ترازهای پایین هوا سپهر و آثار جزیره گرمایی، سبب تغییرات چشمگیری در شرایط خرد اقلیم شهرهای بزرگ شده است. آزاد شدن انرژی گرمایی زیاد، افزایش گازهای گلخانه‌ای و همچنین کاربری زمین از عوامل اصلی تغییر اقلیم محلی در شهرهاست. واداشتهای سطحی^۱ از قبیل انتقال گرما، گسیل آلاینده‌ها، کشال مالشی^۲ تبخیر و تعرق و عوارض زمینی نقش تعیین‌کننده‌ای در تعیین دمای سطحی دارند (Ranjbar Saadatabadi et al., 2006). توسعه مناطق شهری علاوه بر تغییرات دما، بر بارش، رطوبت و کیفیت هوا نقش شایان توجهی داشته و در طولانی‌مدت سبب دگرگونی آب‌وهوای محلی می‌شود (Kaviani., 2001). شهرنشینی بر تبادل انرژی بین سطح زمین و هوا سپهر در مقیاس محلی تأثیر می‌گذارد (Heusinkveld et al. 2014).

اثر محیط‌های شهری روی هوا سپهر و لابه‌مرزی مناطق شهری بیشتر به شکل جزیره حرارتی ظاهر می‌شود. جزیره حرارتی شهری (SUHI) نخستین بار توسط (Manley (1958) مورد استفاده قرار گرفت. این پدیده، در یک تعریف پذیرفته شده جهانی بیانگر گرمای بیش از حد مناطق شهری نسبت به مناطق مجاور غیرشهری است (Zhu et al., 2015). به‌طور کلی (SUHI) به دلیل آشفتگی قابل توجهی از شارهای انرژی، رطوبت و واداشتهای تابشی یک محیط حرارتی مصنوعی را به وجود می‌آورد (Oke, 1982) که سلامت ساکنان شهری، منابع آب، زیرساخت‌های شهری، آلاینده‌های جوی و آسایش اجتماعی را با چالش‌هایی روبرو کرده است. علاوه بر این، باعث تشدید امواج گرمای و ایجاد تأثیر منفی بر امید به زندگی می‌شود (Tan et al. 2010).

Ahmadi and Dadashi (2017) و Rudbari نشان داده است که رشد بی‌رویه مناطق ساخته شده شهری و از بین رفتن پوشش‌گذاری باعث تشدید جزایر حرارتی شهری می‌گردد. در پژوهشی که در شهر مشهد انجام شده نامبردگان آثار ترکیبات بیوفیزیکی را در شکل-گیری جزایر حرارتی شهری با استفاده از لندست ۸ مطالعه کردند. نتایج پژوهش آنان سه نوع جزیره حرارتی شهری پیرامونی، کانونی و خطی را برای شهر مشهد آشکار کرده است. پژوهشی که در شهر اصفهان Ahmadi and Dadashi Rudbari (2016) استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و به‌کارگیری شاخص قیاسی وضع بحرانی محیط زیستی انجام شده است بیش‌ترین حساسیت محیط زیستی را در مناطق جنوبی شهر (منطقه ۶ شهری) و کم-ترین حساسیت محیط زیستی نیز در مرکز شهر (مناطق ۱ تا ۳ شهری) شناسایی کردند. Ahmadi et al (2019) نیز به پایش جزایر حرارتی شهری تهران با رویکرد تکاملی فرکتال ویژه (FNEA) پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داده است، مهم‌ترین کانون‌های حرارتی شناسایی شده نیز به ترتیب در ۱- منطقه ۲۱ به جهت تمرکز شدید اکثر کارخانه‌ها، کارگاه‌های صنعتی و انبارها؛ ۲- منطقه ۹ به دلیل قرارگیری فرودگاه مهرآباد، پایانه‌های حمل‌ونقل مسافری و گذرگاه اصلی دسترسی؛ ۳- منطقه ۲۲ و شمال منطقه ۱۹ به جهت تمرکز زمین‌های لم‌یزرع و ۴- منطقه ۱۳ (زمین‌های بدون پوشش اطراف فرودگاه سابق دوشان‌تپه) و مناطق جنوبی تهران (به دلیل وجود کارگاه-های آموزشی و صنعتی) قرار گرفته‌اند.

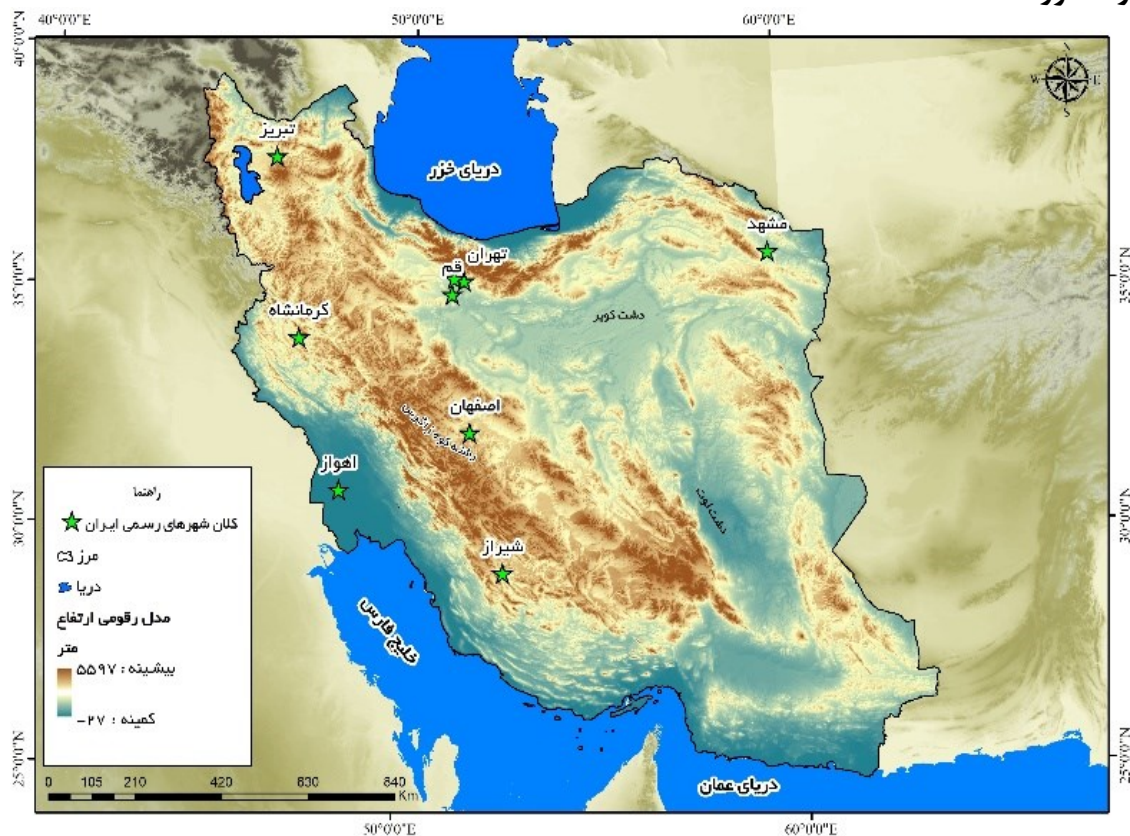
کلان‌شهرها معمولاً به شهرهای با جمعیت بیشتر از یک میلیون نفر اطلاق می‌شود که دارای منابع آلوده‌کننده شهری زیاد هستند و به صورت‌های نقطه‌ای و متحرک هستند. مسئله پیچیده جزایر حرارتی شهری و آلاینده‌ها در کلان‌شهرهای ایران که بر اثر عوامل مختلفی در طی چند دهه اخیر به شکل کنونی درآمده است نیازمند شناختی دقیق و مؤثر از منابع و عواملی است که موجب انتشار در سطح این

زمین‌شهری و دسترسی منطقه‌ای را در پکن پایتخت کشور چین مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش آنان نشان داده پکن در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی داشته است که متغیرهای مانند تعیین دسترسی منطقه‌ای، زمان فاصله تا مرکز شهر، مرکز کسب‌وکار منطقه‌ای^۵ (CBD)، مراکز صنعتی، مراکز اشتغال و سیستم حمل‌ونقل، تأثیر قابل توجهی در گسترش زمین‌های شهری دارند. در داخل ایران پژوهش Ahmadi et al (2012) تغییرات زمانی-مکانی الگوهای حرارتی شهر شیراز را با استفاده از سنجنده‌های TM و ETM⁺ مطالعه کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که حلقه‌های دمایی شهر شیراز با مناطق آلوده و پرترافیک شهری انطباق دارد و سردترین مناطق نیز منطبق بر پوشش گیاهی است. (Sadeghi et al. (2012) در ارزیابی جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های سنجنده ETM⁺ به این نتیجه رسیدند که نقش پوشش-گیاهی در کاهش اثرات جزایر حرارتی شهری و سطوح نفوذناپذیر در تشدید آن بسیار مؤثر است. نقش مؤلفه‌های جغرافیایی بر چگونگی پراکندگی دمایی در سطوح شهری با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور در شهر مشهد پژوهشی است که Dadashi Rudbari and Aliabadi (2017) با استفاده از تصاویر سنجنده ETM⁺ ماهواره Landsat7 به ارزیابی آن پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد رابطه دمای سطح زمین با درصد پوشش-گیاهی اکثر مناطق با دمای بالا (از حدود ۳۶ تا ۴۳ درجه) یا جزایر حرارتی منطبق بر فضاهای باز حاشیه و داخل شهری است که عمده دلیل ایجاد این جزایر حرارتی، فقر پوشش گیاهی و مناطق ساخته شده شهری است. همچنین یک رابطه مستقیم و مثبت قوی بین دمای سطح زمین (LST) با سطوح شهری و یک همبستگی معکوس قوی بین شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین در شهر مشهد مقدس وجود دارد. مطالعه جزایر حرارتی شهری در کلان‌شهرهای مهم ایران همچون مشهد Ahmadi and Dadashi (2016)

در این پژوهش ۵ کلان‌شهر رسمی مورد مطالعه قرار خواهند گرفت که عبارت‌اند از: ۱- تهران ۲- مشهد ۳- اصفهان ۴- کرج ۵- شیراز. موقعیت هر یک از این کلان‌شهرها در شکل (۱) آمده است.

شهرها گردیده است. هدف اصلی از این مطالعه برآورد دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شهری در کلان‌شهرهای ایران بر اساس داده‌های ماهواره Landsat7 و Landsat8 و بررسی روند زمانی-مکانی سطح جزیره حرارتی شهری است.

محدوده مورد مطالعه



شکل ۱- موقعیت کلان‌شهرهای رسمی ایران

Fig. 1- Location of official metropolises of Iran

جدول ۱- مشخصات کلان‌شهرهای مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of the studied metropolises

میانگین دمای سالانه Annual average	ارتفاع Height	جمعیت Population	شهر City	
17	1800-900	8693706	تهران Tehran	1
15.7	1150	3001184	مشهد Mashhad	2
16.3	1570	4760241	اصفهان Esfahan	3
15.1	1300	2712400	کرج Karaj.	4
18	1500	1565572	شیراز Shiraz	5

جدول ۲- داده‌های مورد استفاده در پژوهش به همراه مقیاس زمانی - مکانی
Table 2. Data used in the research along with spatiotemporal scale

تفکیک مکانی (درجه/ایستگاهی) Spatial resolution(grade/station)	محصول Product	دوره زمانی Time series	پایگاه داده یا ماهواره و سنجنده Database or satellite and sensor
30×60m	ETM+	2003-2013	Landsat7
30×100m	OLI & TIRS	2013-2018	Landsat8

مواد و روش‌ها

الف - داده‌های مورد استفاده در پژوهش

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۱) آمده است.

ب- برآورد دمای سطح زمین

سنجش‌ازدور می‌تواند میانگین دمای پیکسل را که به‌عنوان دمای سطح زمین (LST) شناخته می‌شود را تعیین کند. سنجش‌ازدور مادون‌قرمز حرارتی به‌طور گسترده‌ای در تحقیقات محیط و آب‌وهوای شهری استفاده شده است. اساساً، برای تجزیه و تحلیل الگوهای LST، ارزیابی SUHI و ارتباط LST با شار انرژی سطح مورد استفاده قرار گرفته است (Weng, 2009). از آنجایی که تصاویر دانلود شده از جنبه هندسی هم مختصات (Co-register) هستند، بنابراین تنها تصحیحات پرتوسنجی از طریق رابطه‌های زیر بر روی تصاویر انجام شد:

$$L\lambda = (Lmax - Lmin / Qcal max - Qcal min) \times (Qcal - Qcal min) + Lmin$$

$$Ref = \pi \times L\lambda \times d^2 / ESUN_{\lambda} \times \cos\theta_s$$

در رابطه ۱، $L\lambda$ مقدار تابندگی طیفی و در رابطه ۲، Ref مقدار بازتاب بالای جو، d فاصله زمین از خورشید در روز ژولییوسی، ESUN مقادیری برای تابش جو بیرونی است که از جدول مربوطه استخراج می‌شود و $\cos\theta$ زاویه سمت الرأس خورشید به تابندگی می‌باشد. و محاسبه دمای سطح زمین، ابتدا برای دمای روشنایی از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

$$L\lambda = (Lmax - Lmin / Qcal max - Qcal min) \times (Qcal - Qcal min) + Lmin \quad (1)$$

$$Ref = \pi \times L\lambda \times d^2 / ESUN_{\lambda} \times \cos\theta_s \quad (2)$$

در رابطه ۱، $L\lambda$ مقدار تابندگی طیفی و در رابطه ۲، Ref

مقدار بازتاب بالای جو، d فاصله زمین از خورشید در روز ژولییوسی، ESUN مقادیری برای تابش جو بیرونی است که از جدول مربوطه استخراج می‌شود و $\cos\theta$ زاویه سمت الرأس خورشید به تابندگی می‌باشد. و محاسبه دمای سطح زمین، ابتدا برای دمای روشنایی از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

متغیر T_B دمای روشنایی، $L\lambda$ مقدار تابندگی طیفی، K_1 و K_2 مقادیر ثابت و به ترتیب برابر 607.76 و 1260.56 برای لندست ۵، مقادیر 666.09 و 1282.71 برای لندست ۷ می‌باشد. دمای روشنایی محاسبه شده از این رابطه برای جسم سیاه می‌باشد. به همین دلیل مقدار گسیلمندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی سطح ضروری است و دقت LST استخراج شده به این امر بستگی دارد. بر این اساس رابطه زیر برای تصحیح گسیلمندی دمای سطح زمین بکار رفت.

$$T_S = \frac{T_B}{(1 + \lambda T_B / \rho) \ln \epsilon} \quad (4)$$

متغیر T_S دمای سطح زمین به کلین؛ T_B دمای روشنایی؛ λ طول موج تابندگی ساطع شده (11.5μ)؛ ρ برابر است با $1.438 \times 10^{-2} (mk)$ ثابت پلانک با مقدار $6.626 \times 10^{-34} (j.sec)$ ؛ C معادل سرعت نور یعنی $2.998 \times 10^8 (m/s)$ ؛ σ

ثابت بولتزمن با مقدار $1.38 \times 10^{-23} (j/k)$ و ϵ گسیلمندی می‌باشد (Farina, 2012). گسیلمندی (ϵ) از طریق رابطه ۵ محاسبه شد:

$$\epsilon = \epsilon_V P_V + \epsilon_m (1 - P_V) + d\epsilon \quad (5)$$

ϵ برابر با گسیلمندی؛ ϵ_V گسیلمندی پوشش گیاهی (عددی

سپس LST به دست آمده از باندهای ۱۰ و ۱۱ با هم جمع و تقسیم بر ۲ می شود تا LST تصویر یک روز از لندست ۸ حاصل شود.

ج- ارزیابی روند و شیب روند داده ها

جهت برآورد نمودن شیب واقعی یک روند در یک سری زمانی، استفاده از روش ناپارامتریک سنس^۹ می تواند یکی از روش مناسب در این زمینه باشد. این روش ابتدا توسط تیل در سال (۱۹۵۰) ارائه و سپس توسط سن در سال (۱۹۶۸) بسط و گسترش داده شد. این روش نیز همانند بسیاری دیگر از روش های ناپارامتریک همچون من-کندال بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات سری زمانی استوار است. این نوع روش می تواند مورد استفاده قرار گیرد که روند موجود در این روش یکی روند خطی باشد. این بدین معناست که $f(t)$ در رابطه ۱۳ برابر است با:

$$f(t) = Qt + B \quad (13)$$

که Q شیب خط روند و B ، مقدار ثابت است. جهت محاسبه شیب خط روند یعنی Q ، ابتدا بایستی شیب بین هر جفت داده مشاهداتی، با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه گردد:

$$Q_i = \frac{x_i - x_k}{k - i} \quad (14)$$

که $j > k$ است. در این رابطه x_i و x_k به ترتیب داده های مشاهداتی در زمان های j و k است. با اعمال این رابطه، برای هر جفت داده مشاهده ای، یک شیب بدست می آید. با قرار دادن این شیب ها در کنار یکدیگر یک سری زمانی از شیب های محاسبه شده حاصل می آید. یعنی اگر n تعداد x_i در سری زمانی وجود داشته باشد، ما به اندازه $N = n(n-1)/2$ برآورد شیب Q_i خواهیم داشت. در مرحله بعد سری زمانی مورد مطالعه بدست می آید. برای این کار N تعداد از Q_i ها از کوچک به بزرگ مرتب می شوند و سپس با استفاده از یکی از معادلات زیر اقدام به تعیین میانه سری زمانی می گردد. اگر تعداد مشاهدات سری زمانی مورد مطالعه فرد باشد از رابطه (۴-۶۷) و اگر زوج باشد از رابطه (۱۵) استفاده می گردد.

که حدود ۰/۹۸ فرض می شود؛ ε_m گسیلمندی مواد ساختمانی (حدود ۰/۹۲ فرض می شود)؛ P_V نسبت پوشش گیاهی است که از رابطه ۷ حاصل می شود؛ و d_ε کسر گسیلمندی که در اثر انعکاس داخلی اثر حفره است و از رابطه ۸ به دست می آید.

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED) \quad (6)$$

$$P_V = \frac{(NDVI - NDVI_{min})^2}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})^2} \quad (7)$$

$$d_\varepsilon = (1 - \varepsilon_m)\varepsilon_V F(1 - P_V) \quad (8)$$

(NIR)^۷ مقادیر (DN)^۸ از باند مادون قرمز نزدیک، RED هم مقادیر DN از باند قرمز است. F عامل شکل در رابطه با ساختار هندسی پوشش گیاهی است که برابر با ۰/۵۵ فرض می شود. پس از آن نیز حاصل را از ۲۷۳/۱۵ باید کسر نمود تا دمای سطح زمین به سلسیوس به دست آید. برای به دست آوردن دمای سطحی زمین در لندست ۸، ابتدا باید تابندگی طیفی و سپس دمای روشنایی را برای باندهای ۳-۱۰ و ۳-۱۱ محاسبه نمود:

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad (9)$$

$$BT = k_2 / \ln \left(\frac{k_1}{L\lambda} + 1 \right) - 272,15 \quad (10)$$

جایی که متغیر BT دمای روشنایی، $L\lambda$ مقدار تابندگی طیفی TOA ML و AL به ترتیب Multiplicative و Add band می باشد که در پرونجاای ابر داده قابل استخراج بوده و $Qcal$ که تصویر خود باند می باشد. K_1 و K_2 مقادیر ثابت و به ترتیب برابر با ۷۷۴.۸۹ و ۱۳۲۱.۰۸ برای باند ۱۰ و مقادیر ۴۸۰.۸۹ و ۱۲۰۱.۱۴ برای باند ۱۱ است. در گام بعد مقادیر $NDVI$ و P_V همانند لندست ۵ و ۷ محاسبه می شود. سپس مقدار گسیلمندی (ε) از رابطه ۱۱ به دست می آید:

$$\varepsilon = 0,004 * P_V + 0,986 \quad (11)$$

و در مرحله بعد دمای سطحی زمین از طریق رابطه زیر حاصل می شود:

$$LST = \left(\frac{BT}{1} \right) + W * \left(\frac{BT}{14380} \right) * \ln(\varepsilon) \quad (12)$$

جایی که W برابر با طول موج تابندگی منتشر شده می باشد.

محاسبه شده نشان می‌دهد که در کدام مناطق داده‌ها با مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده‌اند. چهارچوب مفهومی این تحلیل این گونه عمل کند که اگر عارضه‌ای مقدار بالا داشته باشد غالب و مهم است، ولی این به این معنی نیست که یک لکه داغ باشد. پدیده لکه داغ تلقی می‌شود که هم خود پدیده و هم عارضه-های همسایه آن از نظر آماری معنادار باشد. امتیاز Z برای خروجی نهایی زمانی به دست خواهد آمد که مجموع محلی (Local sum) پدیده و همسایه آن به‌طور نسبی با جمع کل عارضه‌ها مقایسه گردد (Anselin, 1995). آماره گتیس-ارد جی (Getis - Ord Gi) از رابطه (۲۰) محاسبه می‌شود:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} - x \sum_{i=1}^n w_{i,j}}{\sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}} \quad (20)$$

در رابطه ۲۱، مقدار مشخصه برای عارضه j ، $w_{i,j}$ وزن فضایی بین عارضه i و j و n تعداد کل عارضه‌ها می‌باشد. برای محاسبه S از رابطه ۲۲ استفاده می‌شود. با توجه به اینکه G_i خود نوعی نمره Z محسوب می‌شود، از محاسبه دوباره Z پرهیز شده است (Scott & Janikas, 2010).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2} \quad (22)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (21)$$

نتایج و بحث

ابتدا جزایر حرارتی کلان‌شهرهای ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست استخراج شد. شکل (۲)، شاخص دمای سطح زمین (LST) را بر اساس میانگین بلندمدت (۲۰۰۳-۲۰۱۸) ماه‌های فصل تابستان در کلان‌شهر تهران را نشان می‌دهد. همان گونه که ملاحظه می‌شود دامنه دمایی برای ماه‌های فصل تابستان سه به ترتیب ۲۹/۹۳ تا

$$Q = Q_{[(N+1)/2]} \quad (15)$$

$$Q = \frac{1}{2} [Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}] \quad (16)$$

نتیجه حاصل از این معادلات، بدست آمدن شیب خط روند (Q_{med}) است. اگر شیب خط روند مثبت باشد حاکی از صعودی بودن روند اگر منفی باشد دال بر نزولی بودن روند است.

در پژوهش حاضر به ارزیابی دقیق روند داده‌های دما حوضه آزمون ناپارامتریک من-کندال^{۱۰} نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. این آزمون ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) تکامل یافت. این روش نیز همانند آزمون شیب خط سنس در مباحث علوم محیطی به‌طور گسترده‌ای کاربرد دارد. در آزمون من-کندال نمره Z رابطه ۱۷ محاسبه می‌گردد:

$$= \begin{cases} x = \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \left\{ \begin{array}{l} \text{if } s > 0 \\ \text{if } s = 0 \\ \text{if } s < 0 \end{array} \right. \end{cases} \quad (17)$$

در این رابطه S نشانه تفاوت مقادیر با یکدیگر و $\text{var}(s)$ واریانس S است که:

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_j^n = k + 1 \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (18)$$

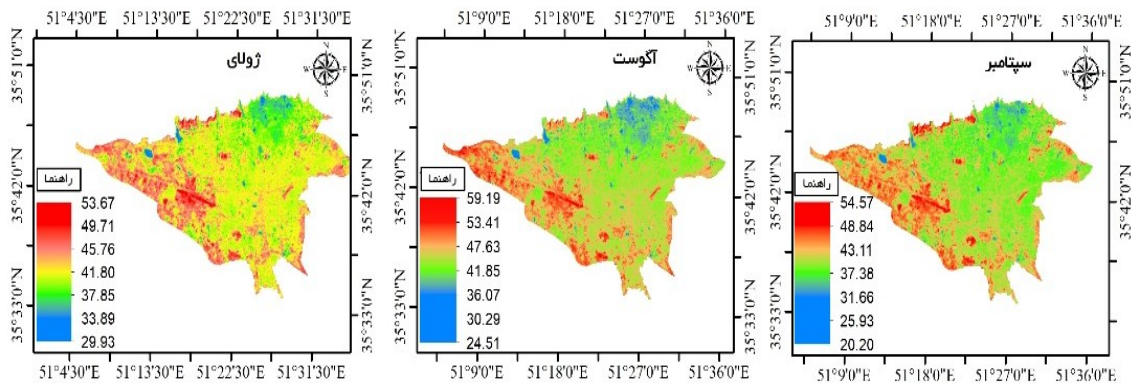
$$\frac{n - (n-1)(2n+5) - \beta}{18} \quad (19)$$

که n تعداد مشاهدات سری (در این تحقیق برابر با ۵۷ سال)، x_j و x_k نیز به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند. sgn تابع علامت است که شرح آن در رابطه شماره ۱۹ آمده است (داداشی رودباری و همکاران، ۱۳۹۵)

بررسی جزایر حرارتی شهری با تحلیل HOT SPOT^{۱۱} از آماره گتیس-ارد جی (Getis-OrdGi)
تحلیل لکه‌های داغ از آماره گتیس-ارد جی (Getis-OrdGi) برای کلیه عوارض موجود در داده‌ها استفاده می‌کند. نمره Z

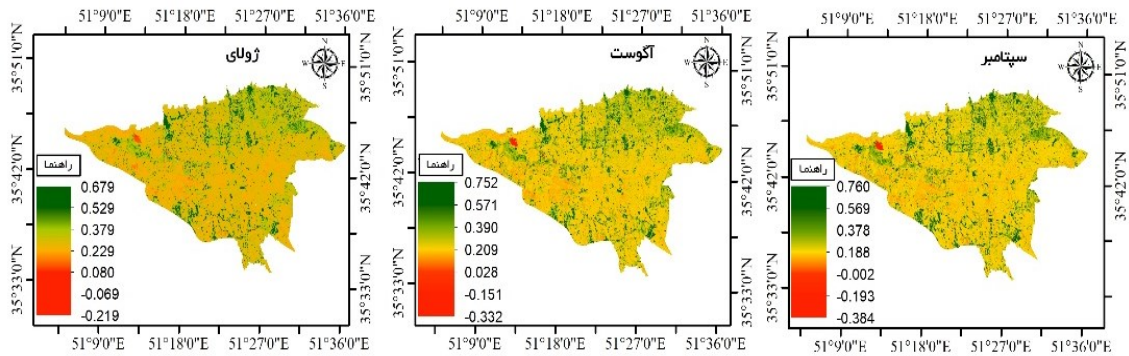
به منطقه ۱۰ در طول سه ماه فصل تابستان بوده است که اولی از خنک‌ترین مناطق تهران و دومی از گرم‌ترین نقاط تهران بر اساس این تصاویر است. به‌طور کلی، افزایش بیشتر شاخص پوشش گیاهی (NDVI) مربوط به مناطق ۱ تا ۵ تهران است. پوشش گیاهی در مناطق شمالی کلان‌شهر تهران، به دلیل پوشش درختی و گیاهی در برخی مناطق جنوب به علت زمین‌های کشاورزی کاهش دما را به همراه داشته است. مطابق با جزایر حرارتی به‌دست‌آمده برای کلان‌شهر تهران (شکل ۴) برای میانگین بلندمدت فصل تابستان منطقه ۲۱ تهران به جهت تمرکز شدید اکثر کارخانه‌ها، کارگاه‌های صنعتی و انبارها طی سال‌های اخیر بیش‌ترین آسیب را دیده است. منطقه ۹ شهری تهران به دلیل قرارگیری فرودگاه مهرآباد، پایانه‌های حمل‌ونقل مسافری و گذرگاه اصلی دسترسی به مناطق غربی تهران (همچون کرج) به یکی از کانون‌های اصلی جزایر حرارتی شهری تبدیل شده است. همچنین منطقه ۲۲ و شمال منطقه ۱۹ شهری است که دمای بسیار بالایی را دارند. علاوه بر آنچه گفته شد می‌توان به منطقه ۱۲ (بازار مرکزی تهران و هسته‌های قدیمی شهری)، منطقه ۱۳ (زمین‌های بدون پوشش اطراف فرودگاه سابق دوشان‌تپه و مناطق آسفالت شده اطراف آن) و مناطق جنوبی تهران که در آن کارگاه‌های آموزشی و صنعتی بسیاری وجود دارد اشاره کرد که دمای زیادی را نشان می‌دهند.

۵۳/۶۷، ۲۴/۵۱ تا ۵۹/۱۹ و ۲۰/۲۰ تا ۵۴/۵۷ درجه سلسیوس است. اختلاف زیاد دما بین مناطق شمال شرق (مناطق ۱، ۳ و ۴) با مناطق جنوب و غرب کلان‌شهر تهران (مناطق ۹، ۲۱، ۲۲ و ۱۹) دیده می‌شود. سطوح نفوذناپذیر و مانند کوچه‌ها و پیاده‌روها، بتن و آسفالت در فضای شهری باعث به دام انداخته شدن گرما در سطح می‌شوند. تراکم پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین عوامل دگرگونی دمایی سطح زمین است که نقش تعدیل‌کننده‌ای را برای جزایر حرارتی شهری دارد که می‌توان به پارک‌ها و فضای سبز مناطق مختلف شهر اشاره کرد. بخش مرکزی تهران و مناطق مجاور آن عمدتاً منطبق بر مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۷ به دلیل کشش بالای گرایش‌های تجاری، فضاهای ذخیره همچون انبارهای بزرگ شهری نقش مهمی در سطوح دمایی بالا را به خود اختصاص داده‌اند. استقرار خطی واحدهای کارخانه‌ای و کارگاهی در برخی از محدوده‌ها موجب شکل‌گیری محورهای با دمای بالای خطی شده که عمدتاً بر برخی محورهای ورودی شهر (اتوبان تهران - کرج و جاده مخصوص) منطبق‌اند. مناطق ۲۱، ۱۸ و ۲۰ بیش‌ترین تمرکز فعالیت صنعتی و کارگاهی را به خود اختصاص داده‌اند و همان‌طور که پیداست این مناطق دمای بالایی را نیز به خود اختصاص داده‌اند. شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) در شکل (۳) نشان داده شد. بیشینه افزایشی این شاخص، مربوط به منطقه یک تهران و پایین‌ترین مقدار آن مربوط



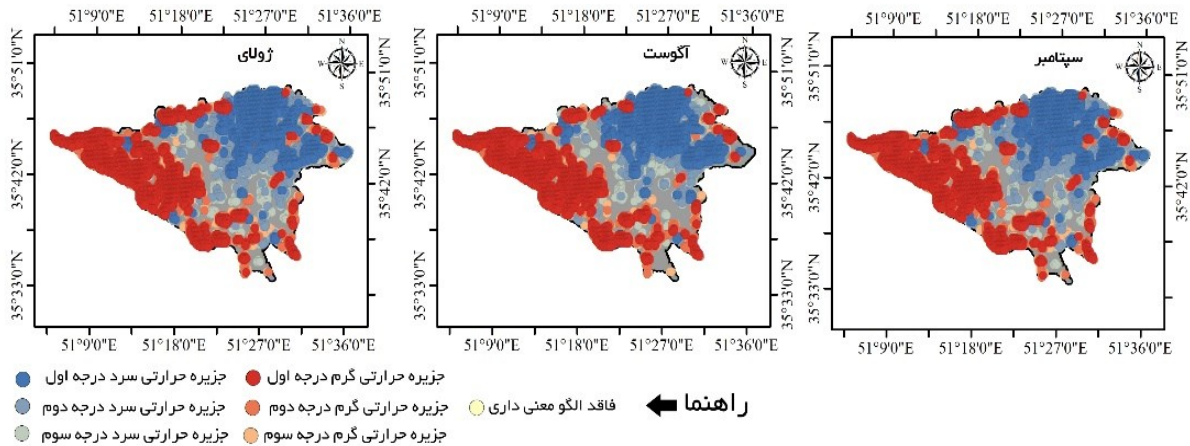
شکل ۲- پراکنش مکانی دمای سطح زمین (LST) برای میانگین بلندمدت فصل تابستان در کلان‌شهر تهران

Fig. 2- Spatial distribution of land surface temperature (LST) for the long-term average of summer in Tehran metropolis



شکل ۳- پراکنش مکانی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) در کلان شهر تهران

Fig. 3- Spatial distribution of normalized vegetation differentiation index (NDVI) in Tehran metropolis



شکل ۴- پراکنش مکانی جزایر حرارتی با استفاده از آماره (Getis-Ord Gi*) در کلان شهر تهران

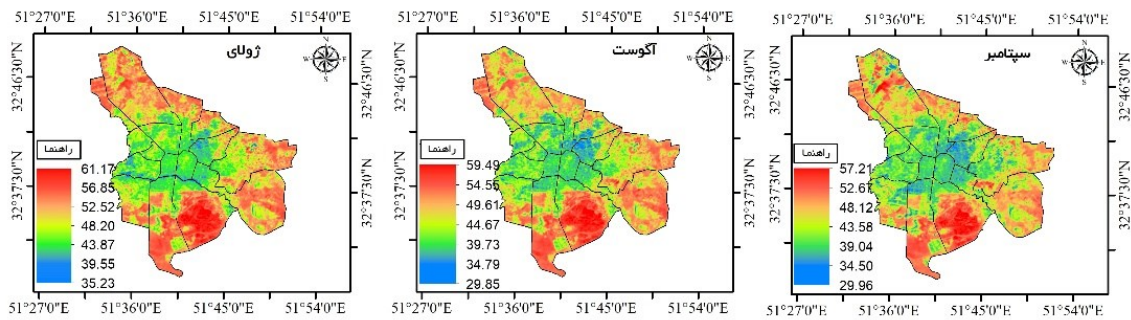
Fig. 4- Spatial distribution of thermal islands using statistics (Getis-Ord Gi*) in Tehran metropolis

بررسی دمای سطح زمین شهر اصفهان نشان داد باتوجه به قرارگیری شهر در منطقه نیمه خشک شاهد شکل گیری جزایر حرارتی سرد (UCI)^{۱۲} هستیم. بزرگ ترین جزیره حرارتی گرم این شهر در منطقه ۶ که یک ناحیه نظامی است شکل گرفته است هر چه از مناطق جنوبی به سمت مناطق شمالی پیش بریم به دلیل فضاهای سبز و منبع آبی (زاینده رود) شاهد کاهش دما هستیم. به دلیل وجود پایانه های اتوبوس، ایستگاه های راه آهن، شرکت ها و ادارات دولتی بزرگ جزایر حرارتی کانونی در جای جای شهر مشاهده می شود. مناطق نواری متمایل به زرد در سطح شهر شامل بزرگراه هایی بین شهری، جاده های درون شهری، راه آهن و کوچه های شهری هستند که با آسفالت پوشیده شده اند. کاهش دما در اطراف زاینده رود که به شکل آبی کم رنگ نشان داده شده است از یک سو به دلیل وجود پوشش گیاهی متنوع و متراکم و از سوی دیگر به دلیل نسیم ساحلی و

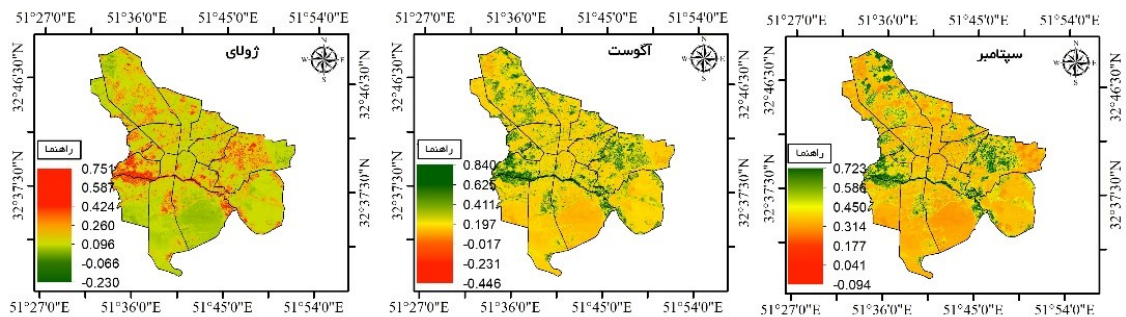
شکل (۵) تغییرات دمای سطح زمین را در سطح کلان شهر اصفهان برای ماه های فصل تابستان نشان می دهد. بر اساس این اشکال می توان مشاهده کرد که دمای اطراف شهر بیشتر از مرکز آن است و اطراف شهر ویژگی یک جزیره حرارتی گرم (UHI) را داراست همچنین جزایر حرارتی اصفهان در یک شکل (۴-۱۵) نشان داده شد. از آنجایی که اصفهان در یک منطقه نیمه خشک قرار گرفته است مرکز شهر دمای سطحی پایین تری را نسبت به محیط اطراف خشک غیر شهری خود دارد که نشان دهنده وجود جزایر حرارتی سرد در این کلان شهر است که در مبانی نظری به بررسی آن پرداخته شد. قسمت مرکزی شهر که شامل مناطق ۱، ۲، ۳، ۸، ۹ و ۱۰ از تمام جهات با جزایر حرارتی پیرامونی محاصره شده اند. بیشترین قسمت باقیمانده شهر نیز با دمای سطح زمین بالا و گرادیان افزایشی نسبتاً ضعیف که جهت آن به سمت خارج از مرز مناطقی شهرداری اصفهان است اشغال گردید.

تبخیر و تعرق نیز از دیگر اثرات پوشش گیاهی است که می-توان اثرات آن را در مناطق ۲، ۹، ۱۰، ۱۴ و ۱۵ به خوبی مشاهده کرد. پوشش گیاهی متمرکز جزایر حرارتی سردی را همچون جزایر در دل مناطق گرم شهری اصفهان ایجاد کردند طی دوره مطالعه مقدار NDVI کلان شهر اصفهان در ماه ژولای بین ۰/۲۳- تا ۰/۷۵، در ماه اگوست بین ۰/۴۴- تا ۰/۸۴ و در ماه سپتامبر بین ۰/۰۹- تا ۰/۷۲ در تغییر است.

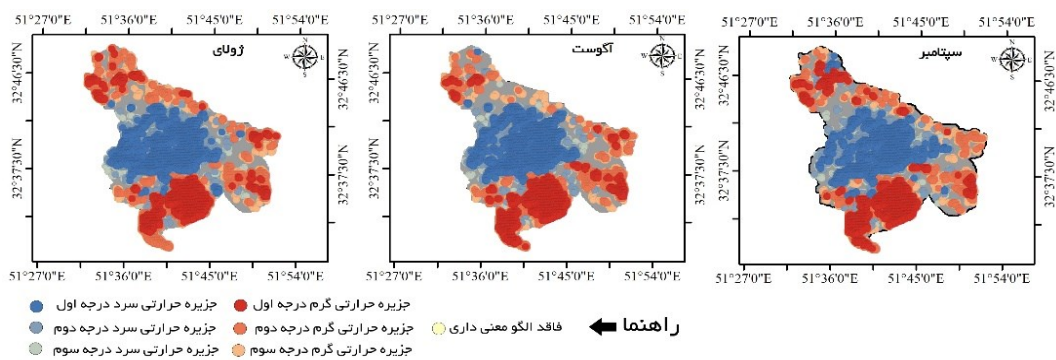
سرمایش تبخیری زاینده رود است همین نکته برای کلان شهر اهواز رودخانه زاینده رود نیز قابل بررسی است. شکل (۶) شاخص تفاضل پهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI) سه ماه فصل تابستان را کلان شهر اصفهان نشان می دهد. نقشه پوشش گیاهی مشتق شده از شاخص (NDVI) و مقایسه آن با توزیع دمای سطح زمین (LST) نشان از انطباق بالای جزایر حرارتی شهری با سطوح پایین و بالای پوشش - گیاهی دارد. کاهش دمای محیط از طریق



شکل ۵- پراکنش مکانی دمای سطح زمین (LST) فصل تابستان در کلان شهر اصفهان
Fig. 5- Spatial distribution of land surface temperature (LST) in summer in Isfahan metropolis



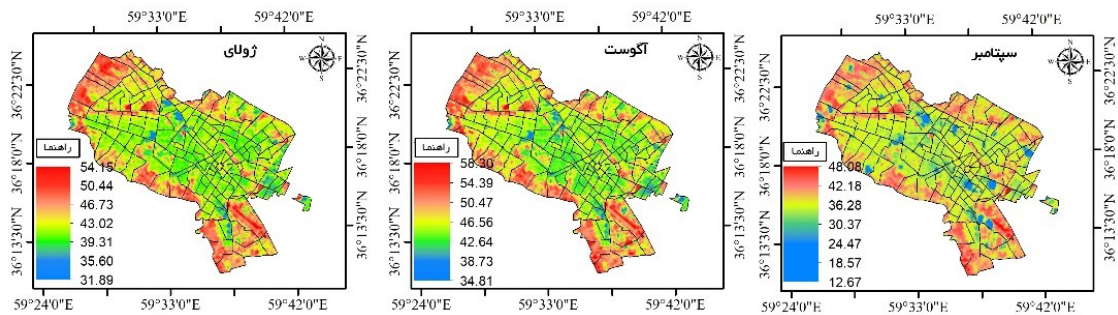
شکل ۶- پراکنش مکانی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) فصل تابستان در کلان شهر اصفهان
Fig. 6- Spatial distribution of normalized vegetation difference index (NDVI) in summer in Isfahan metropolis



شکل ۷- پراکنش مکانی جزایر حرارتی با استفاده از آماره (Getis-Ord Gi*) در کلان شهر اصفهان
Fig. 7- Spatial distribution of thermal islands using statistics (Getis-Ord Gi*) in Isfahan metropolis

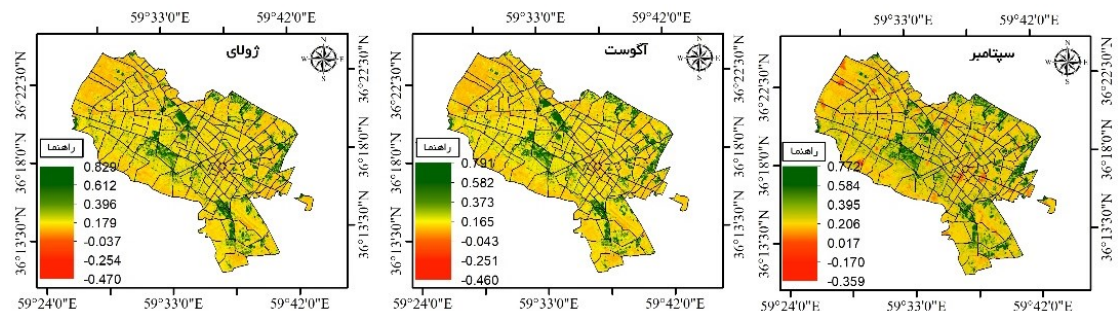
باشد و یا اینکه دارای کاهش تدریجی داشته باشد که خود مدعای دیگر برهمکنش ساختاری جزایر حرارتی شهری مشهد می‌باشد. از سوی دیگر مناطق بایر (فاقد پوشش گیاهی) عمدتاً در پیرامون شهر، محدوده فرودگاه (جنوب شرق شهر) و فضاهای باز پیرامونی شهر که بصورت نواری سراسری شهر را احاطه کرده‌اند، دامنه‌های دمایی گرم شهر مشهد را تشکیل داده‌اند. همانطور که در شکل (ndvi) نیز نشان داده شده است مناطق قرمز رنگ محدوده‌های دمایی بسیار گرم شهر مشهد را نشان می‌دهند. این مناطق اغلب با کاربری غیر مسکونی‌اند و همچنین در مناطق شهری (مسکونی) منطبق بر بافت فرسوده و متراکم شهری جایگزین شده‌اند. اصلی‌ترین جزایر حرارتی شهری مشهد (شکل ۹) براساس شاخص آمار فضایی *Getis-Ord Gi در محلات زرکش، امیریه، الهیه، جاهد شهر و وکیل آباد در منطقه دوازده شهری مشهد، محلات خاتم الانبیا و زرکش در منطقه ده شهری مشهد، محلات بهارستان، ابودر، رباط، ایوان، طرق عسکریه و فرودگاه در منطقه هفت شهری مشهد قرار گرفته‌اند.

دامنه‌های دمایی برای ماه سه فصل تابستان در روی شکل (۸) برای کلان شهر مشهد نشان داده است. دامنه دمایی کلان شهر مشهد برای متوسط بلند مدت در ماه‌های فصل تابستان به ترتیب برای ژولای تا سپتامبر ۳۱/۸۹ تا ۵۴/۱۵، ۳۴/۸۱ تا ۵۸/۳۰ و ۱۲/۶۷ تا ۴۸/۰۸ درجه سلسیوس در نوسان است. مقایسه دامنه‌های دمایی سرد (پایین) و گرم (بالا) عمدتاً بیش‌ترین همپوشانی با پوشش گیاهی را دارند. محله‌های نوفل لوشاتو، جانبازان، رضا شهر، آزاد شهر در مرکز شهر؛ خواجه ربیع، سیس آباد در شرق شهر؛ سیدی، انقلاب و عسکریه در جنوب شهر با بیش‌ترین پوشش گیاهی کمینه‌های دمایی شهر مشهد را در هر سال مورد مطالعه با تغییرات چند به خود اختصاص داده‌اند. در این مطالعه مشخص گردید که پراکنش LST و NDVI (شکل ۸) به وضوح هر دو جنبه الگوهای گرم و سرد را در شهر مشهد توجه می‌کنند بطوریکه روابط این دو پارامتر در سطح شهر پراکندگی یکنواختی ندارد، و یک رابطه قوی منفی بین دو پارامتر نامبرده زمانی اتفاق می‌افتد که شهر و یا سطحی از آن که مورد مطالعه است دارای پوشش یکدست



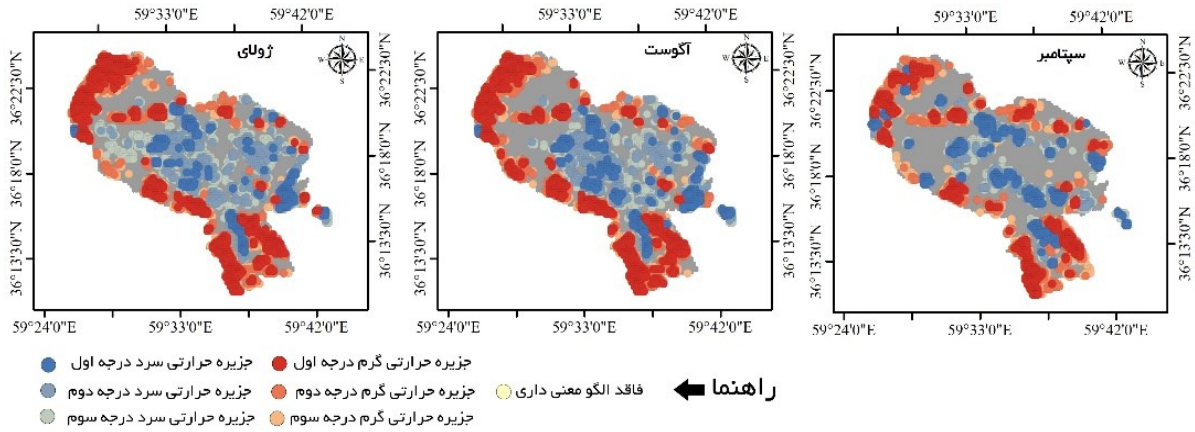
شکل ۸- پراکنش مکانی دمای سطح زمین (LST) در کلان شهر مشهد

Fig. 8- Spatial distribution of land surface temperature (LST) in the Mashhad metropolis



شکل ۹- پراکنش مکانی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) در کلان شهر مشهد

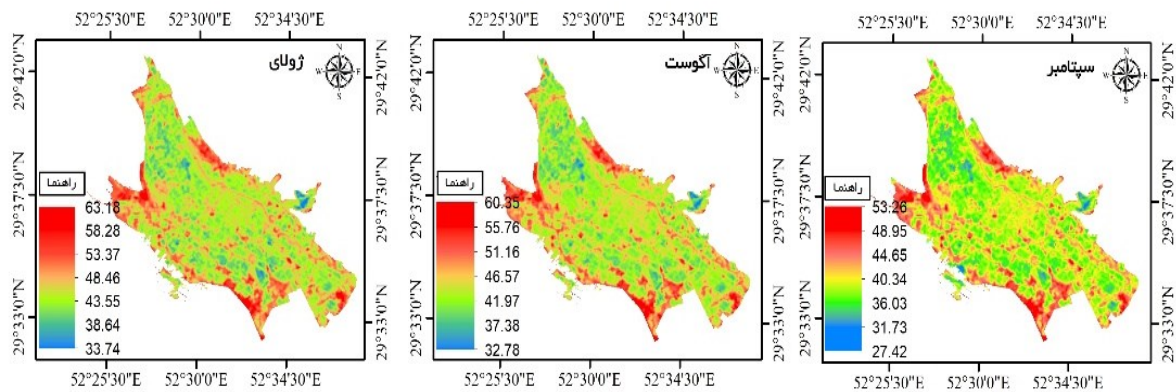
Fig. 9- Spatial distribution of Normalized Vegetation Differentiation Index (NDVI) in Mashhad metropolis



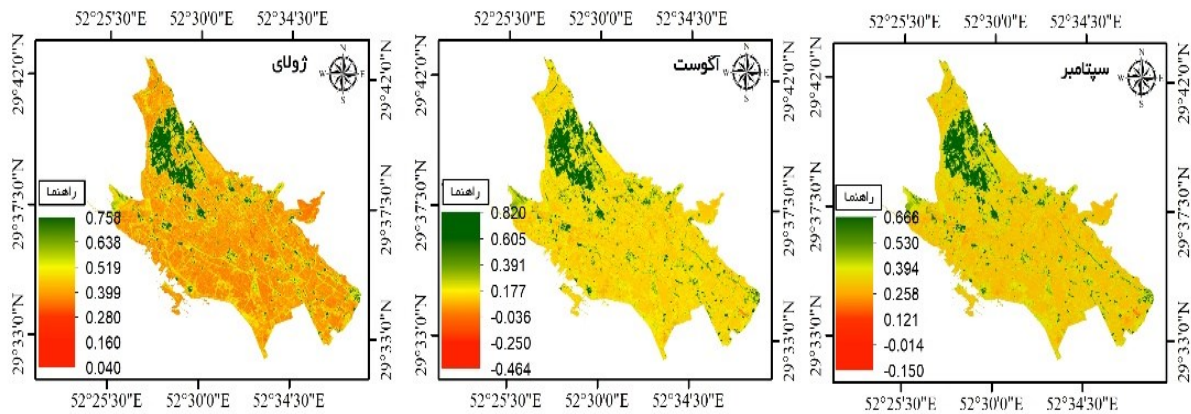
شکل ۱۰- پراکنش مکانی جزایر حرارتی با استفاده از آماره $(Getis-Ord Gi^*)$ در کلان شهر مشهد
 Fig. 10- Spatial distribution of thermal islands using statistics $(Getis-Ord Gi^*)$ in metropolis Mashhad

کلان شهر شیراز در شکل (۱۱) نشان داده شد. مقدار بیشینه NDVI کلان شهر شیراز در هر سه ماه فصل تابستان در مناطق شمالی شهر دیده می شود. طور یکه مقدار آن در ماه آگوست حتی تا ۰/۸۲ نیز می رسد. به طور کلی مقدار پوشش گیاهی شهر تبریز از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه دارای یک شیب کاهشی است طور یکه هر چه از شمال به جنوب منطقه مورد پیش برویم از مقدار NDVI در کلان شهر شیراز کاسته می شود. همان طور که در نقشه (۱۲) مربوط به جزایر حرارتی شهری شیراز دیده می شود. جزایر حرارتی اصلی شهری شیراز بر خطوط ارتباطی شهری و مسیل خشک شده و همچنین کارخانه ها و مناطق صنعتی بخصوص در منطقه ۳ شهری شیراز دیده می شود.

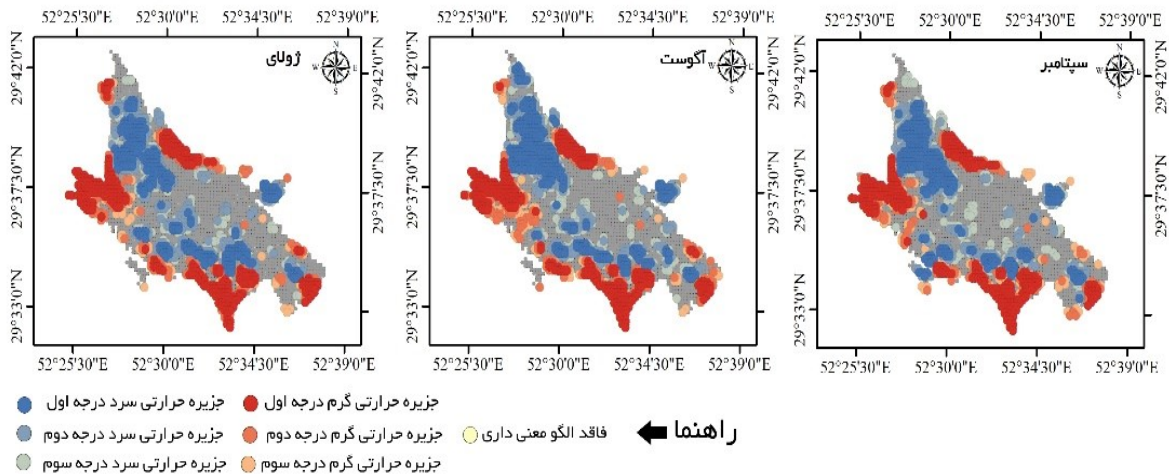
دمای سطح زمین محاسباتی برای کلان شهر شیراز در شکل (۱۰) نشان داده شد؛ همان طور که در شکل نیز مشخص است حداقل دمای سطح زمین شیراز ۲۷/۴۲ درجه سلسیوس در ماه سپتامبر و بیشینه LST آن با ۶۳/۱۸ درجه سلسیوس در ماه جولای محاسبه گردید. کانون های اصلی دمایی در شیراز همانند اصفهان و تبریز در مرکز شهر قرار ندارد، بلکه مناطقی با دمای بالاتر از ۵۰ درجه سلسیوس در مناطق شرقی، غربی، جنوب و جنوب شرقی شهر واقع شدند. خیابان های اصلی شهر به ویژه در مناطق جنوبی بلوار دکتر حسابی در شمال غربی شهر با دمای بالا در ارتباط هستند. در منطقه ۳ شهری شیراز نیز یک محدوده دمایی گرم منطبق بر کاربری های صنعتی دیده می شود. مقدار شاخص پوشش گیاهی NDVI در



شکل ۱۱- پراکنش مکانی دمای سطح زمین (LST) در کلان شهر شیراز
 Fig. 11- Spatial distribution of surface temperature (LST) in Shiraz metropolis



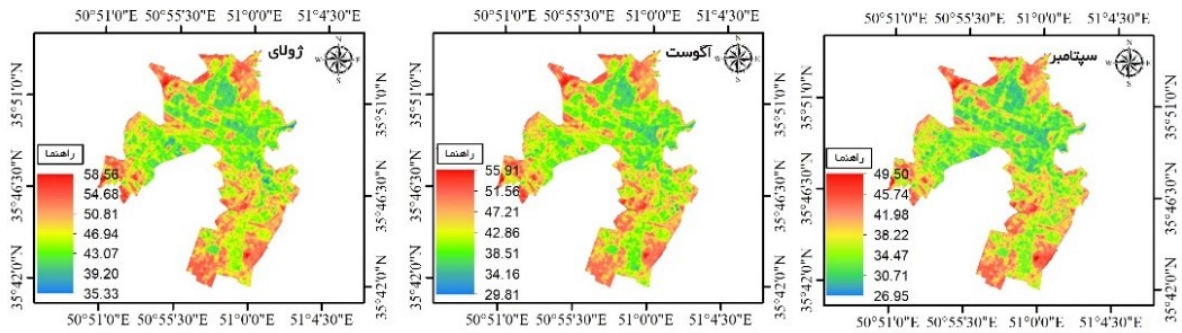
شکل ۱۲- پراکنش مکانی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) در کلان شهر شیراز
 Fig. 12- Spatial distribution of Normalized Vegetation Differentiation Index (NDVI) in Shiraz metropolis



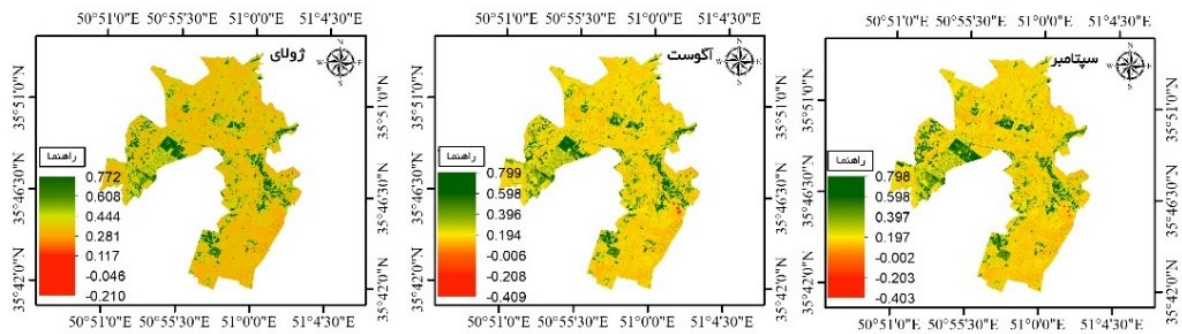
شکل ۱۳- پراکنش مکانی جزایر حرارتی با استفاده از آماره (Getis-Ord Gi*) در کلان شهر شیراز
 Fig.13- Spatial distribution of heat islands using statistics (Getis-Ord Gi*) in Shiraz metropolis

بخش‌های از مناطق شرقی کلان‌شهر تبریز مقدار پوشش گیاهی بالاست. بیشینه شاخص پوشش گیاهی در کلان‌شهر کرج به ترتیب از جولای تا سپتامبر ۰/۷۷، ۰/۷۹ و ۰/۷۹۸ به‌دست‌آمده است. جزایر حرارتی کلان‌شهر کرج نیز با استفاده از شاخص آماری فضایی لکه داغ محاسبه گردید و در شکل (۱۵) ارائه گردید. همان‌طور که در شکل (۱۵) نیز دیده می‌شود مناطق پیرامونی کلان‌شهر کرج جزایر حرارتی گرم زیادی وجود دارد و مناطق مرکزی شهر به جز چند تک پیکسل جزایر حرارتی چندانی دیده نمی‌شود. در مناطق جنوبی شهر نیز بر تمرکز مکانی جزایر حرارتی گرم افزوده می‌شود.

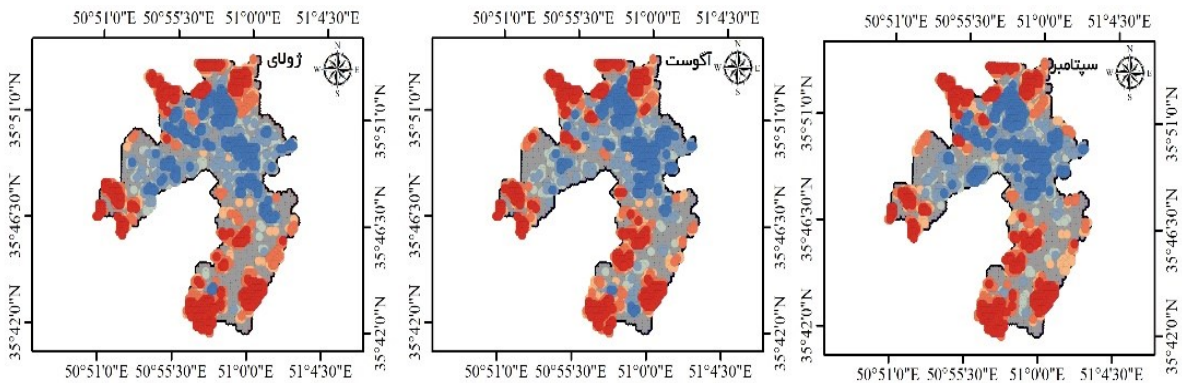
دمای سطح زمین کلان‌شهر کرج با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در شکل (۱۳) ارائه شد. بر اساس اطلاعات ارائه شده حداقل دما در فصل تابستان برای دوره بلندمدت ۲۶/۹۵ و حداکثر دما ۵۵/۹۱ درجه سلسیوس است و در کرج نیز همانند سایر شهرهای خشک و نیمه‌خشک دمای مناطق مرکزی کمتر از مناطق حاشیه‌ای شهر است. بیشینه دما در جنوب شرقی، جنوب و مناطق شمالی شهر دیده می‌شود. مناطق مرکزی کلان‌شهر کرج به دلیل پوشش گیاهی مناسب دمای پایینی را ارائه داده است. شاخص پوشش گیاهی NDVI نیز در شکل (۱۴) نشان داده شد؛ بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده غرب و



شکل ۱۴- پراکنش مکانی دمای سطح زمین (LST) در کلان شهر کرج
 Fig. 14- Spatial distribution of land surface temperature (LST) in Karaj metropolis



شکل ۱۵- پراکنش مکانی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) در کلان شهر کرج
 Fig. 15- Spatial distribution of the Normalized Vegetation Difference Index (NDVI) in Karaj metropolis



شکل ۱۶- پراکنش مکانی جزایر حرارتی با استفاده از آماره (Getis-Ord Gi*) در کلان شهر کرج
 Fig. 16- Spatial distribution of thermal islands using statistics (Getis-Ord Gi*) in Karaj metropolis

این افزایش دما معنی دار نمی باشد در سایر کلان شهرهای ایران دمای سطح زمین روندی کاملاً افزایشی دارد. شدت روند نیز در اهواز و کرج بیش تر از سایر مناطق کلان شهری ایران است. شیب روند نیز برای ۶ کلان شهر از ۹ کلان شهر مورد مطالعه بالاتر از یک ۱ درجه سلسیوس است. کمینه همانند روند دمای سطح زمین در اصفهان و بیشینه آن در کرج محاسبه گردید.

برای مطالعه روند تغییرات دمای سطح زمین (LST) در کلان شهرهای ایران با استفاده از داده های ماهواره ای لندست ۷ و ۸ از آزمون های من - کندال و سنس استفاده شد و نتایج آن در جدول (۲) نشان داده شد؛ همان طور که در جدول نیز پیداست دمای سطح زمین در هر ۵ کلان شهر ایران روند افزایشی دارد و به غیر اصفهان که از نظر آماری در سطح ۰/۰۵

جدول ۳- مشخصات آماری روند فصل تابستان دمای سطح زمین (LST) کلان‌شهرهای ایران با استفاده از آزمون‌های ناپارامتریک من - کندال و سنس

Table 3. Statistical characteristics of summer land surface temperature (LST) trends in Iranian metropolises using non-parametric Mann-Kendall and Sense tests

دوره بلندمدت (2000-2018)			کلان‌شهر Megacity
سطح معنی‌داری p value	آزمون سنس Sense test	آزمون من - کندال MannKendall test	
0.05	0.987	2.658	مشهد Mashhad
0.05	1.890	3.254	کرج Karaj
0.05	1.436	2.458	تهران Tehran
-	0.512	1.785	اصفهان Esfahan
0.05	1.254	2.214	شیراز Shiraz

نتیجه‌گیری

بالای خاک عامل مهمی مربوط به افزایش LST است. به همین ترتیب، رطوبت به‌عنوان یک عامل اصلی بالقوه مهم در تعیین LST است. رابطه کلی LST و NDVI برای دوره مورد مطالعه (۲۰۱۳-۲۰۱۸) رابطه قوی دارد. اوج رابطه معکوس در ماه‌های گرم همچون جولای و آگوست است. اثرات پارک به‌عنوان عامل خنک‌کننده در LST است. میانگین LST مناطق شهری با پارک‌های بزرگ حدود ۳ درجه سانتی‌گراد در خود محوطه پارک و مناطق اطراف آن کاهش یافته است. در تمامی کلان‌شهرهای ایران که به‌سرعت در حال رشد هستند عامل انسانی منجر به تبدیل سطح به مواد جدید شده است که باعث تغییر در بازتاب نور خورشید نسبت به خاک طبیعی گردید. نتایج این تحقیق نشان دادند تراکم ساختمان و دمای سطح رابطه معکوس وجود دارد. در داخل مرکز شهر و مناطق با چگالی بالا، دمای سطح در مقایسه با محیط اطراف شهر افزایش می‌یابد. این تحقیق رابطه قوی بین LST با شاخص پوشش گیاهی و به‌تبع آن رطوبت و تبخیر و تعرق را اثبات کرد. یکی از مهم‌ترین نتایج این تحقیق تغییرات LULC است؛ بطوریکه تغییرات LULC از خاک بایر به مناطق شهری در شهرهای واقع در آب‌وهوای نیمه‌خشک و خشک می‌تواند باعث کاهش LST شود. در سطح مبتنی بر پیکسل، نتیجه‌ای که

در این تحقیق، ساختار زمانی - مکانی جزایر حرارتی شهری و تغییرات آنها در کلان‌شهرهای ایران بررسی شد. نتایج برای هر پنج کلان‌شهر مورد مطالعه نشان می‌دهد که در میانه روز (منظور ساعت عبوری لندست از ایران است)، میانگین LST در مناطق ساخته شده در محدوده شهر بیش‌تر از میانگین LST در مناطق غیرشهری در اطراف و حتی بعضاً خود شهر است و قوی‌ترین SUHI در مناطقی همانند سطوح آسفالتی باندهای فرودگاهی، پارکینگ‌ها و سقف‌های گالوانیزه رخ می‌دهد. نتایج این تحقیق، نتایج برخی از مطالعات قبلی در مناطق خشک همچون Ahmadi (2016, 2017) and Dadashi Rudbari را تقویت کرده است. دلیل آن این است که زمین‌های رها شده در سطح و اطراف شهر و مناطق ساخته نشده در فصل خشک (در این مطالعه فقط ماه‌های فصل تابستان مطالعه شدند) اثرات تبخیر و تعرق زیادی برای کاهش دمای خاک ندارند. نتایج نشان می‌دهد که SUHI در فصل تابستان برای شهرهایی با عرض جغرافیایی پایین‌تر قوی‌تر و شهرهایی با عرض جغرافیایی بالاتر شدت کمتری دارد. از طرف دیگر، شدت SUHI در تمامی کلان‌شهرها در مرکز شهر بالاتر از سایر مناطق نیست. همچنین نتایج نشان داد که مقدار لختی

بهتری برای توسعه دیگر شهرها انجام شود.

سیاسگزاری

نویسنده این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده است.

پی نوشت ها

- ¹ Radiative forcing
- ² Frictional drags
- ³ Normalized Difference Vegetation Index
- ⁴ Environmental Criticality Index
- ⁵ Central business districts
- ⁶ Environmental Criticality Index
- ⁷ Near-infrared
- ⁸ Digital number
- ⁹ Sen's Slope Estimator Nonparametric Method
- ¹⁰ Mann-Kendall
- ¹¹ HOT SPOT
- ¹² Urban Cool Island (UCI)

References

- Ahmadi, M., Ashourloo, D. and Narangi Fard, M., 2012. Temporal-spatial changes of thermal and land use patterns in Shiraz using TM & ETM + sensor data. *Remote Sensing and GIS Iran*. 4(4), 55-68. (In Persian with English abstract). https://gisj.sbu.ac.ir/article_95038.html.
- Ahmadi, M. and Dadashi Rudbari, A.A., 2015. Effects of biophysical compounds on the formation of urban thermal Islands (Case study of Mashhad). *Remote Sensing and GIS of Iran*. 8(3), 39-58. (In Persian with English abstract). https://gisj.sbu.ac.ir/article_96133.html.
- Ahmadi, M. and Dadashi, A., 2017. The identification of urban thermal Islands based on an environmental approach, Case study: Isfahan Province. *Geography and Environmental Planning*. 28(3), 1-20. (In Persian with English abstract). 10.22108/GEP.2017.98318.0
- Ahmadi, M., Dadashi Roudbari, A.A. and Esfandiari, N., 2019. Monitoring the urban heat islands with a fractal net evolution (FNEA) approach (Case study: Tehran Metropolis). *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*. 11(1), 93-112. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.52547/gisj.11.1.93>
- Ahmadi, M., Dadashi Rudbari, A.A., 2020. Urban meteorological models and remote sensing techniques (theoretical-applied) Navid Mehr Publications, Tehran. (In Persian with English abstract).
- Anselin, L., 1995. Local indicators of spatial

به دست آمده است نشان داد که میانگین LST روزانه مناطق شهری در نتیجه تغییر شکل از خاک لخت و خاک بدون پوشش گیاهی به سطوحی آب، پوشش گیاهی و ساختمان نسبت به زمین های رها شده کاهش یافته است. علاوه بر این، این مطالعه نشان داد دمای سطح زمین در تمامی کلان شهرهای ایران افزایش یافته است. همچنین نتایج آزمون من کندال دمای سطح زمین در هر ۵ کلان شهر ایران روند افزایشی دارد و به غیر اصفهان که از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ این افزایش دما معنی دار نمی باشد در سایر کلان شهرهای ایران دمای سطح زمین روندی کاملاً افزایشی دارد. نتیجه این پژوهش می تواند در شهرهای بزرگ برای مکان گزینی مناطق جدید و همچنین توسعه فیزیکی شهرها مورد استفاده قرار گیرد در مطالعات بعدی پیشنهاد می شود شهرهای بیشتری مورد مطالعه قرار گیرند تا برنامه ریزی های

منابع

- association—LISA. *Geographical analysis*, 2, 93-115.
- Benedetti, A., Morcrette, J.J., Boucher, O., Dethof, A., Engelen, R.J., Fisher, M., Flentje, H., Huneeus, N., Jones, L., Kaiser, J.W. and Kinne, S., 2009. Aerosol analysis and forecast in the European centre for medium-range weather forecasts integrated forecast system: 2. Data assimilation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 114, D13205. <https://doi.org/10.1029/2008JD011115>
- Buyantuyev, A. and Wu, J., 2010. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape ecology*, 25, 17-33. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9402-4>
- Chow, W.T., Brennan, D. and Brazel, A.J., 2012. Urban heat island research in Phoenix, Arizona: Theoretical contributions and policy applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 4, 517-530. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00011.1>
- Dadashi Roudbari, A.A., aliabadi, K., 2017. The Role of Geographic Components on the Temperature Dispersion at Urban Area Using Remote Sensing Techniques Case Study of Mashhad City, *Geographical Planning of Space*, 24, 131-142. (In Persian with English abstract). https://gps.gu.ac.ir/article_50834.html
- Dadashi Roudbari, A.A., Fallah Ghalheri, G., Karami, M., Baaghde, M., 2016. Analysis of Precipitation Variations of Haraz Watershed Using by Statistical Methods and Spectrum Analysis

- Technique, Hydrogeomorphology, 7, 59-86. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.23833254.1395.3.7.4.0>
- Deng, Y. and Srinivasan, S., 2016. Urban land use change and regional access: A case study in Beijing, China. *Habitat international*, 51, 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.09.007>
- Heusinkveld, B.G., Steeneveld, G.V., Van Hove, L.W.A., Jacobs, C.M.J. and Holtslag, A.A.M., 2014. Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2, 677-692. <https://doi.org/10.1002/2012jd019399>
- Katzschner, L., Maas, A. and Schneider, A., 2009. Das städtische Mikroklima: Analyse für die Stadt- und Gebäudeplanung. *Bauphysik*, 31(1), pp.18-24. <https://doi.org/10.1002/bapi.200910004>
- Kaviani, M. R., 2001. *Microclimatology*, Samat Publications, 337 pp. (In Persian with English abstract).
- Manley, G., 1958. On the frequency of snowfall in metropolitan England. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 359, 70-72. <https://doi.org/10.1002/qj.49708435910>
- Nikkhoo, N., Ildoromi, A., Noori, H., 2015. Development of Land use Development of the City of Malayer Using Remote Sensing. 8, 63-86. <https://sanad.iau.ir/Journal/ebtp/Article/988289>
- Oke, T.R., 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1-24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Ranjbar Saadatabadi, A., Ali Akbar Beidakhti, A.A., Hosseini Sadeghi, A., 2006. The effects of heat island and urbanization on the weather and local climate in the metropolis of Tehran. *Environmental Studies*, 32(39), 59-68. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.10258620.1385.32.39.7.4>
- Rinner, C. and Hussain, M., 2011. Toronto's urban heat island—Exploring the relationship between land use and surface temperature. *Remote Sensing*, 3, 1251-1265. <https://doi.org/10.3390/rs3061251>
- Sadeghinia, A., Alijani, B., Zeaieanfiroozabadi, P., 2013. Analysis of Spatial - Temporal Structure of the Urban Heat Island in Tehran through Remote Sensing and Geographical Information System, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 1, 1-17. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/GEO.V1I4.16950>
- Senanayake, I.P., Welivitiya, W.D.D.P. and Nadeeka, P.M., 2013. Remote sensing-based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, Sri Lanka using Landsat-7 ETM+ data. *Urban Climate*, 5, 19-35. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.07.004>
- Statistics Center of Iran, 2015. Number of population and households by country divisions based on the general census of population and housing in 2016, <https://www.amar.org.ir>.
- Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., Zhen, X., Yuan, D., Kalkstein, A.J., Li, F. and Chen, H., 2010. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International Journal of Biometeorology*, 5475-84. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0256-x>
- Umar, U.M. and Kumar, J.S., 2014. Spatial and temporal changes of urban heat island in Kano Metropolis, Nigeria. *Int J Res Eng Sci Technol*, 1, 1-9.
- Weng, Q., Lu, D. and Schubring, J., 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89, 467-483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- Xiao, J., Shen, Y., Ge, J., Tateishi, R., Tang, C., Liang, Y. and Huang, Z., 2006. Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 75, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.12.005>
- Zhou, Y. and Shepherd, J.M., 2010. Atlanta's urban heat island under extreme heat conditions and potential mitigation strategies. *Natural Hazards*, 52, 639-668. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9406-z>
- Zhu, B., Kang, H., Zhu, T., Su, J., Hou, X. and Gao, J., 2015. Impact of Shanghai urban land surface forcing on downstream city ozone chemistry. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(9), pp.4340-4351. <https://doi.org/10.1002/2014JD022859>

