



The Role of Local Factors in the Creation and Development of Urban Heat Islands (Case Study: Ahvaz City)

Shahriar Khaledi^{1✉} | Esmail Bakhshi² | Mahmoud Ahmadi³ | Abbasali Dadashi Roudbari⁴

1. Corresponding author, Professor of Meteorology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: s-khaledi@sbu.ac.ir
2. PhD Student in Meteorology, Zanjan University, Zanjan, Iran. E-mail: e.bakhshi@yahoo.com
3. Associate Professor of Meteorology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran E-mail: ma_ahmadi@sbu.ac.ir
4. Postdoctoral Student, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: Dadashiabbasali@gmail.com

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received 22 June 2022

Received in revised form 5

November 2022

Accepted 18 December 2022

Published online 19 April 2024

Keywords:

urbanization,
Urban Heat Islands
Ahvaz. Moran' s spatial
autocorrelation
Kriging method Main
Subjects

rom urbanization, the phenomenon of the urban temperature island follows which the city rises and increases from energy to cool. In this research, the role of local factors in the creation and development of heat islands in the city of Ahvaz during the hot period from 2000 to 2015 was investigated using Landsat 7 and 8 satellite data. In order to evaluate the biophysical changes of the land surface in Ahvaz city, the changes of vegetation difference indices were taken by Tokanga-Tag threshold method. By using the kriging method and the low speed zones of Ahvaz, the thresholds of the closest and maximum temperature of Ahvaz city, it appears that this change can cause a change in the local climate. The results of Moran's spatial autocorrelation are a confirmation of the lack of spatial correlation of ground surface temperature in Ahvaz. The evaluation of the northern maps showed that as we move from the southern regions to the northern regions, the temperature increases due to the increase of green space and the increase of barren lands. There is a sharp temperature difference between the central and suburban areas of the city, because of the establishment of industrial companies, District 8 has formed the most stable islands in this area of the city. Residential areas have had less impact on the creation and expansion of thermal islands than industrial and barren areas

Cite this article: Khaledi, Sh., Bakhshi, E., Ahmadi M., | Dadashi Roudbari, A. (2024). The Role of Local Factors in the Creation and Development of Urban Heat Islands (Case Study: Ahvaz City) *Journal of Geography and Planning*, 28 (87), 131-150. <http://doi.org/10.22034/GP.2022.52206.3017>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/GP.2022.52206.3017>

Publisher: University of Tabriz.

Extended Abstract

Introduction

The urban climate is strongly influenced by the processes caused by work and urban life. The expansion of cities and the increase of constructions have followed climate changes in cities, on the other hand, urbanization has affected the functioning of the ecosystem and the quality of life (Luck & Wu, 2002: 327), and caused the excessive growth of the urban space and confusion. service distribution system and urban service system failure (Piri et al., 2017: 36). One of the consequences of urbanization is the formation of the urban heat island (UHI) and it is a phenomenon that the air temperature in urban areas is higher than the surrounding areas (Zhou et al, 2014: 51). One of the effects of the urban heat island is that it causes air pollution. (Tao et al., 2016: 1), increases the water temperature and causes disturbance in the water ecosystem and affects human health (Chun & Guldman, 2014: 77). In this regard, the current research is trying to extract the land surface temperature (LST) data using Landsat 7 and 8 sensors and use the thermal products of the sensors to investigate the role of local factors in the creation and development of heat islands in Ahvaz city. and evaluate the temporal-spatial changes of the thermal islands of this city from 2000 to 2015

Methodology

In order to extract the surface temperature and study the role of local factors in the creation and development of thermal islands, images related to the warm period of the year (April to September) from 2000 to 2015 were uploaded. The process of measuring the surface temperature of the earth was performed in 3 steps: first step: calculation of spectral radiation, second step: conversion of spectral radiation to light temperature, third step: conversion of light temperature to kinetic temperature. To assess vegetation, a number of indicators are presented, the most common of which is NDVI.

In order to investigate the spatial pattern of the data, spatial autocorrelation statistics (local Moran and global Moran) and hot spot were used. In order to evaluate the effective factors in the formation and clustering of thermal islands, the normalized difference index of the constructed areas was used and in order to have a finer and micro climatic view, the surface temperature was interrogated by kriging method.

Findings

Pearson correlation coefficient of land surface temperature with NDVI and NDBI indices showed that the urban areas of Ahvaz and vegetation have a significant relationship with city temperature at the level of 0.01. The association of NDBI with ground surface temperature is strong and has a positive effect on LST overall. It is concluded that the volume of vegetation has decreased in the last years of the study period. It is observed on August 22, 2013 (August 31) in the amount of (0.094). Temperature spot map (SPOT) of all images (90 days) of the warm period of the year (2000-2000) was prepared. The study of these maps showed that mainly region 6 of Ahvaz due to the establishment of the National Steel Group Company and region 8 due to the establishment of industrial companies such as Khuzestan Auxin Steel, National Oil Company Pipeline, Khuzestan Pipeline, Ahvaz Pipeline and Iran Carbon Company Thermal islands have been constant, the study of the surface temperature of Ahvaz city has revealed the fact that due to the location of the city in the arid region, we are witnessing the formation of warm thermal islands. The largest warm heat island of the city is in District 8, which is an industrial area.

Discuss

In connection with changes in land cover and type of land use with the creation and formation of urban thermal islands, many researches with different titles in Iran, including the city of Ahvaz due to increasing urban population, rapid urbanization and the development of polluting industries have been done. The difference between this research in this metropolis and other previous researches has been used in long-term time series and especially in methods.

Conclusion

As we move from the southern regions to the northern regions, we see a decrease in temperature due to the green spaces and the water source (Karun River). Due to the presence of bus terminals, railway stations, companies and large government offices, focal heat islands can be seen all over the city. The results of spatial self-correlation of global Moran obtained are a clear confirmation of the rejection of the hypothesis of no spatial correlation of Ahwaz surface temperature, which shows that Ahwaz surface temperature data has a spatial structure, or in other words Ahwaz surface temperature has a structured pattern and cluster shape. Is distribution, meaning that high and low temperature cells tend to concentrate or cluster in space.

Reference

- Piri, Jesus; Hosseinzadeh, Akbar, Moradi Mofard, Samira (2017). Optimal positioning and spatial-spatial organization of hospitals using geographic information system (GIS) (case study: Ahvaz city), *Geography and Planning*, Volume 22, Number 66, pp. 35-57.
- Chun, B., & Guldmann, J. M. (2014). Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities. *Landscape and urban planning*, 125, 76-88.
- Luck, M., & Wu, J. (2002). A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape ecology*, 17(4), 327-339.
- Tao, M.; Chen, L.; Wang, Z.; Wang, J.; Tao, J.; Wang, X. Did the widespread haze pollution over China increase during the last decade? A satellite view from space. *Environ. Res. Lett.* 2016, 11.
- Zhou, D., Zhao, S., Liu, S., Zhang, L., Zhu, C., 2014. Surface urban heat island in China's 32 major cities: spatial patterns and drivers. *Remote Sens. Environ.* 152, 51-61.





پښتونستان د علومو او انسانیت د مطالعاتو د مرستیالو
پرتال جامع علومو انسانیت



نقش عوامل محلی در ایجاد و توسعه جزایر حرارتی شهری (مطالعه موردی: شهر اهواز)

شهریار خالدی^۱ | اسماعیل بخشی^۲ | محمود احمدی^۳ | عباسعلی داداشی رودباری^۴

۱. استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: s-khaledi@sbu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: abcdef@tabrizu.ac.ir

۳. دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: ma_ahmadi@sbu.ac.ir

۴. دانشجوی پسادکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: Dadashiabbasali@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

از اثرات شهرنشینی، پدیده جزیره حرارتی شهری^۱ است که به دنبال آن دمای شهر بالا می رود و تقاضای انرژی برای خنک شدن افزایش می یابد. در این پژوهش نقش عوامل محلی در ایجاد و توسعه جزایر حرارتی شهر اهواز در دوره گرم سال از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ میلادی با به کارگیری داده های سنجنده ی ماهواره لندست ۷ و ۸ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور ارزیابی تغییرات بیوفیزیکی سطح زمین در شهر اهواز از تغییرات شاخص تفاضل پهنجار شده ی پوشش گیاهی^۲ به روش آستانه ای توکانگا - تاگ بهره برده شد. با به کارگیری روش کریجینگ و پهنه بندی دمای اهواز افزایش آستانه های کمیته و بیشینه دمایی شهر اهواز نمایان شد که استمرار این تغییر می تواند منجر به تغییر اقلیم محلی شود. نتایج خودهمبستگی فضایی موران تاییدی آشکار بر رد فرضیه عدم ارتباط فضایی دمای سطح زمین اهواز است. ارزیابی نقشه های دمایی نشان داد هرچه از مناطق جنوبی به سمت مناطق شمالی پیش می رویم، به دلیل کاهش فضاها ی سبز و افزایش زمین های بایر شاهد افزایش دما هستیم. بین مناطق مرکزی و حومه شهر اختلاف حرارتی تند وجود دارد، منطقه ی ۸ به علت استقرار شرکت های صنعتی پایدارترین جزیره حرارتی در این منطقه از شهر را شکل داده است. مناطق مسکونی نسبت به مناطقی با کاربری صنعتی و بایر، تاثیر کمتری در ایجاد و گسترش جزایر حرارتی داشته است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۳۱

کلیدواژه ها:

شهرنشینی، جزیره حرارتی شهر، اهواز، خودهمبستگی فضایی موران، روش کریجینگ.

استناد: خالدی، شهریار؛ بخشی، اسماعیل؛ احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی (۱۴۰۳). نقش عوامل محلی در ایجاد و توسعه جزایر حرارتی شهری (مطالعه

موردی: شهر اهواز). *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۸ (۸۷)، ۱۳۱-۱۵۰.

<http://doi.org/10.22034/GP.2022.52206.3017>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

1. Urban Heat Islands
2. Normalized Difference Vegetation Index

مقدمه

اقلیم شهری به شدت تحت تأثیر فرایندهای ناشی از کار و زندگی شهری قرار دارد. گسترش شهرها و افزایش ساخت و سازها، تغییرات آب و هوایی در شهرها را به دنبال داشته‌است، از سوی دیگر شهرنشینی عملکرد اکوسیستم و کیفیت زندگی را تحت تأثیر قرار داده (Luck & Wu, 2002: 327)، و موجب رشد بی‌رویه‌ی فضای شهری و به هم خوردن نظام توزیع خدمات و نارسایی سیستم خدمات شهری شده است (پیری و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۶). یکی از پیامدهای ناشی از شهرنشینی، شکل‌گیری جزیره حرارتی شهری (UHI) است و آن پدیده‌ای است که دمای هوا در مناطق شهری نسبت به اطراف بالاتر است (Zhou et al., 2014: 51) از اثرات جزیره حرارتی شهری این است که سبب آلودگی هوا شده (Tao et al., 2016: 1)، دمای آب را افزایش می‌دهد و باعث اختلال در اکوسیستم آب شده و سلامتی انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Chun & Guldmann, 2014: 77). از دیگر پیامدهای مضر جزیره حرارتی شهر تخریب محیط زیست، بالا رفتن دمای شهر و به دنبال آن افزایش تقاضای انرژی برای خنک است و در بسیاری از موارد در طول امواج گرمای تابستان، میزان مرگ و میر بالا رفته است (Hattis et al., 2012: 45). با موتوریزه شدن شهرها، درآمدهای حاصل از فروش نفت در اقتصاد شهری تزیق شد و شهرهای ما در نظام اقتصاد جهانی و تحت تأثیر آن قرار گرفت و به دنبال آن الگوی توسعه بسیاری از شهرهای ایران روندی شتابان و بی‌رویه به خود گرفت. شهر اهواز به دلیل افزایش جمعیت، توسعه صنایع نفتی، جذب جمعیت شهرها و روستاهای استان در دهه های گذشته، گسترش ناموزون یافته است (آروین و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۶۴). در سال ۱۳۹۵، میزان شهرنشینی در ایران به ۷۴ درصد رسید و شهر اهواز در همین سال بالغ بر ۱۱۸۴۸۰۰ نفر، هفتمین شهر پرجمعیت ایران محسوب شد (فتحی، ۱۳۹۹: ۶). جزیره حرارتی شهری، به دو روش ارزیابی می‌شود. روش اول، با استفاده از داده های ایستگاه‌های سینوپتیک است که دارای قدرت تفکیک زمانی بالا و پوشش بلند مدت هستند اما فاقد جزئیات فضایی‌اند. روش دوم به‌کارگیری داده های سنجش از دور حرارتی است که می‌تواند به طور مستمر یک دید کلی از همه شهر داشته باشد و اهمیت ویژه ای برای بررسی دقیق اقلیم سطح شهر دارد. بهبود قدرت تفکیک مکانی و طیفی نسل حاضر حسگرهای سنجش از دور در نمایش مفصل‌تر از سطوح شهری و در عین حال با هزینه کم‌تر، سبب پیشرفت در کاربرد سنجش از دور در مطالعه‌ی آب و هوای مناطق شهری شده است (علوی پناه و همکاران، ۱۳۹۴: ۲). (Singh & Grover, 2015: 83)، همبستگی مکانی تغییرات کاربری اراضی و شاخص تفاضل بهنجارشده پوشش گیاهی (NDVI)^۱ را در ارتباط با دمای سطح زمین در دهلی نو، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ بررسی نمودند و نشان دادند که مناطق ساخته شده شهری باعث افزایش دمای سطح زمین و مناطقی با پوشش گیاهی و درختی در مرکز شهر دهلی، کاهش دمای سطح زمین را به همراه داشته‌اند. همچنین آنان نشان دادند که شاخص تفاضل بهنجارشده پوشش گیاهی، همبستگی منفی قوی با دمای سطح زمین دارد. (Molnár, 2016: 49) برای بررسی توزیع فضایی دمای سطح زمین (LST)^۲ و ارتباط آن با شاخص پوشش گیاهی (NDVI) بوداپست، از الگوریتم تک کانالی استفاده نمود. نتایج تحقیق نشان داد که وجود پوشش گیاهی منجر به کاهش قابل توجه دمای سطح زمین گردیده است. (Du et al, 2016: 461)، براساس این باور که جزایر حرارتی شهر، اثرات محلی فعالیت های انسان در حوزه حرارت را منعکس می‌کند، تأثیر انواع پوشش زمین، شرایط آب و هوایی و گرمای حاصل از مناطق شهری و فعالیت های انسانی را بر توسعه جزیره حرارتی شهر در شهرک دلتای رودخانه یانگتزا^۳ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که بین تراکم جمعیت شهر و شدت جزایر حرارتی رابطه معناداری وجود دارد. مصرف انرژی و دمای متوسط منطقه شهری همبستگی مثبت و قوی با شدت جزیره حرارتی شهر داشتند. با این حال، میانگین سرعت باد و بارندگی به طور معناداری با شدت جزیره حرارتی رابطه منفی داشتند. شکیبا و همکاران (۱۳۸۸: ۳۹) جزایر حرارتی شهر تهران را با استفاده از داده های ماهواره ای و با تعیین اثر نوع پوشش و کاربری زمین بر دمای سطح زمین استخراج نمودند. نتایج تحقیق

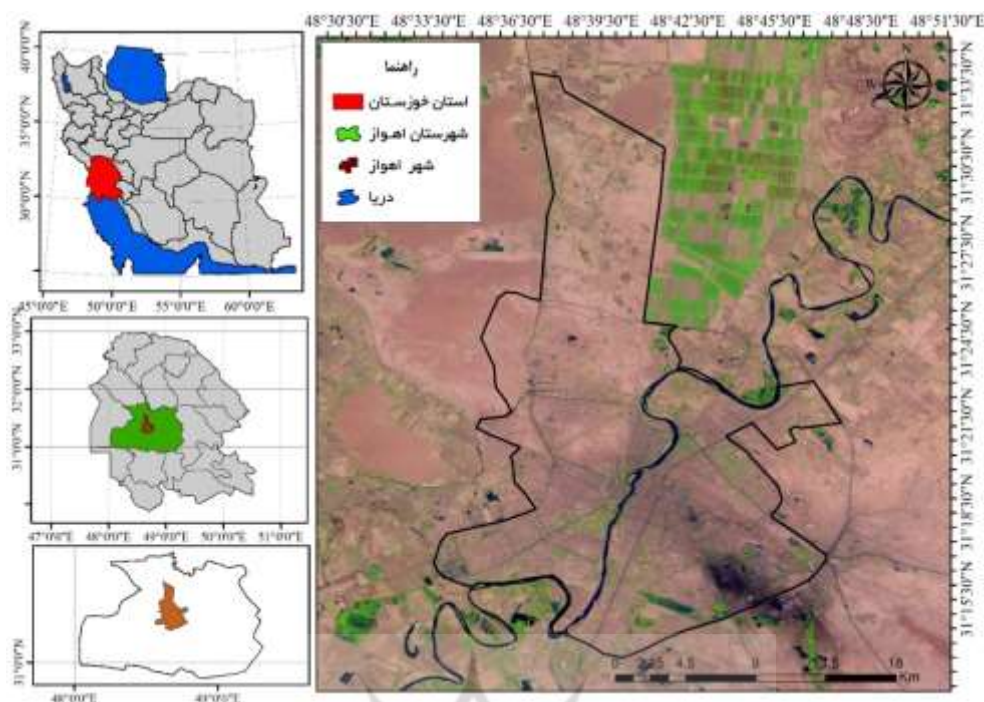
1. Urban Heat Islands
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. Land Surface Temperature
4. Yangtze

نشان داد که سطوح نفوذ ناپذیر از طریق جذب و ذخیره انرژی خورشیدی اثر گرمایشی دارند، در حالی که پوشش گیاهی از طریق ایجاد توازن گرمایی به وسیله تبخیر و تعرق و تولید سایه، دارای اثر خنک کننده هستند. صادقی‌نیا (۱۳۹۲: ۶۷) تغییرات فضایی - زمانی جزیره حرارتی تهران را از سال ۱۹۸۶ الی ۲۰۱۰، با استفاده از تصاویر چند زمانه لندست^۱ TM مورد بررسی قرار داد. نتایج تحلیل خودهمبستگی فضایی عمومی نشان داد که داده های دمای سطحی تهران دارای ساختار فضایی بوده و متغیر دما تمایل بیشتری به متمرکز شدن و خوشه ای شدن در فضا پیدا کرده است و در نتیجه تغییرات رخ داده در الگوی کاربری اراضی و پوشش زمین، شدت جزیره حرارتی تهران افزایش یافته است. علوی پناه و همکارانش (۱۳۹۴: ۱) با توجه به گسترش شهر مشهد و تغییرات کاربری - پوشش زمین به تحلیل زمانی - مکانی جزیره حرارتی آن شهر پرداختند. در این تحقیق با استفاده از تصاویر چند زمانه لندست (TM 1987، ETM+ 2000 و TIRS/OLI 2014) و روش حد آستانه NDVI و قانون پلانک برای تصاویر TM و ETM+، الگوریتم دو پنجره^۲ برای تصاویر TIRS و OLI، دمای سطح زمین استخراج شد. نتایج نشان داد کاهش پوشش گیاهی، مهم ترین عامل در گسترش جزایر حرارتی شهر مشهد بوده است و تغییرات دمای سطح زمین حاکی از آن بود که چندین خوشه‌ی دمایی در شمال غرب، جنوب و جنوب غربی مشهد توسعه یافته است. احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۵: ۳۹) در تحقیق دیگر، آثار ترکیبات بیوفیزیکی در شکل‌گیری جزایر حرارتی در مشهد را با استفاده از تصاویر حسگرهای OLI و TIRS ماهواره لندست^۳ برای ماه اوت سه سال ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ بررسی کردند و نشان دادند که در تحلیل همبستگی دوبه‌دو پارامترهای بیوفیزیکی با دمای سطح زمین، با شدت مقدار LST، ناهمگنی فضایی خوشه‌ها به شکل غیر خطی افزایش می‌یابد. به طور کلی در ارتباط با این موضوع پژوهش، تحقیقات بسیاری با عناوین مختلف انجام شده است، و جوه تمایز این پژوهش، بررسی نقش عوامل محلی در ایجاد و توسعه جزیره حرارتی شهر اهواز در سری زمانی بلندتر و همچنین تفاوت در روش‌ها و تکنیک‌های به‌کار رفته است. در این راستا، پژوهش حاضر در تلاش است داده‌های دمای سطح زمین (LST) را با استفاده از سنجنده ماهواره‌های لندست^۷ و ۸ استخراج نماید و تولیدات حرارتی سنجنده‌ها را برای بررسی نقش عوامل محلی در ایجاد و توسعه جزایر حرارتی شهر اهواز به‌کار گیرد و تغییرات زمانی - مکانی جزایر حرارتی این شهر را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ میلادی ارزیابی نماید. تغییرات جزایر حرارتی شهرها در واحد زمان و مکان می‌باشد، لذا نحوه گسترش جزایر حرارتی را می‌توان یک مساله مکانی - زمانی در نظر گرفت. لذا سوالی که مطرح می‌شود این است که آیا الگوی تغییرات مکانی - زمانی جزایر حرارتی در شهر اهواز ضمن ایجاد، تغییر مکانی داشته است؟ و از بین عوامل محلی کدامیک نقش بیشتر و موثرتری در ایجاد و توسعه جزایر حرارتی دارد؟

منطقه مورد مطالعه

اهواز مرکز استان خوزستان یکی از کلان‌شهرهای ایران است. این شهر که در بخش مرکزی شهرستان اهواز قرار دارد، در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی، با ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا واقع شده است و شامل ۸ منطقه شهرداری می‌باشد (شکل ۱). میانگین سالانه دمای شهر اهواز ۳۲/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداکثر دمای آن ۳۸/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل دمای آن ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد است. میزان بارندگی سالیانه در حدود ۲۰۵ میلی‌متر می‌باشد و با توجه به اقلیم بندی دومارتن در ناحیه خشک قرار می‌گیرد (معروف نژاد، ۱۳۹۰: ۱). رودخانه کارون از کوه‌های بختیاری سرچشمه می‌گیرد و با طول ۹۵۰ کیلومتر، پرآب‌ترین رود ایران و تنها رود کشور است که بخشی از آن قابل کشتیرانی است. این رود آب آشامیدنی کلان‌شهر اهواز را تامین می‌کند و با ورود به این شهر، آن را به دو بخش شرقی و غربی تقسیم نموده است.

1. Thematic Mapper
2. Two-window algorithm
3. andsat 8



شکل (۱). موقعیت منطقه مورد مطالعه (شهر اهواز). منبع: نگارندگان

مواد و روش تحقیق

به منظور استخراج دمای سطح زمین و بررسی نقش عوامل محلی در ایجاد و توسعه جزایر حرارتی، تصاویر مربوط به دوره گرم سال (فروردین تا شهریور) از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ و متعلق به سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ و سنجنده OLI و TIRS ماهواره لندست ۸، از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) بارگیری شد. برای استخراج دمای سطح زمین (LST) از باند ۶/۱ سنجنده ETM+ و باند ۱۰ سنجنده TIRS استفاده شد. پس از بارگیری تصاویر، در مجموع ۹۰ تصویر که از لحاظ شرایط اتمسفری و فقدان ابر مناسب بودند، انتخاب شد. محدوده منطقه مورد مطالعه (شهر اهواز) از تصاویر کلی برش داده شد. از آنجایی که تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ از سال ۲۰۰۳ دچار اشکال شده و نوارهای برداشت نشده روی تصاویر این سنجنده نقش می‌بندد (مباشری، ۱۳۹۳: ۱۷۲)، ابتدا با استفاده از نرم افزار ENVI4.7 اقدام به رفع این خطوط گردید. باندهای ۳، ۴ و ۷ سنجنده ETM+ و باندهای ۴، ۵ و ۷ سنجنده OLI، با پیاده سازی تکنیک FLAASH بر روی تصویر پایه، خطای اتمسفری تا حد ممکن کاهش یافت. از آنجا که در این تحقیق بر تفاوت های دمایی میان پدیده های مختلف تاکید شده است و استخراج اطلاعات به تفکیک جزایر حرارتی و در محدوده های فضایی همگن از لحاظ اتمسفری برداشت می‌شود، خطای ناشی از اثر اتمسفری بر روی باندهای حرارتی سنجنده ها تصحیح نشده است. بنابراین از دمای روشنایی سنجنده ها می توان برای به دست آوردن دمای سطح استفاده کرد (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۲). فرایند اندازه گیری دمای سطح زمین در ۳ گام انجام شد:

گام اول: محاسبه تابش طیفی

ابتدا ارزش های رقومی باندهای حرارتی به تابش طیفی، با استفاده از رابطه (۱) تبدیل شد. تابش طیفی عبارت است از انرژی تابشی که توسط سنجنده دریافت می شود.

$$L_{\lambda} = \left(\frac{I_{\text{sat},\lambda} - I_{\text{min},\lambda}}{Q_{\text{CAL,REF}} - Q_{\text{CAL,MIN}}} \right) \times (Q_{\text{CAL}} - Q_{\text{CAL,MIN}}) + I_{\text{min},\lambda} \quad \text{رابطه (۱)}$$

۱. از آنجایی که تصحیح کننده ی پوشش خطی همراه سنجنده ETM+ از اوایل سال ۲۰۰۳ دچار نقص فنی شده و از کار افتاده است، محصولات این سنجنده دارای نوارهای برداشت نشده می‌باشد و در نتیجه از کارائی بالایی برخوردار نیست.

L_y : بیان کننده میزان تابش طیفی؛ Q_{cal} : مقدار رقومی سازی شده DN کالیبره شده؛ $Q_{cal\ min}$: معرف مینیمم مقدار Q_{cal} متناظر با $L_{min\ y}$ و $Q_{cal\ max}$: معرف ماکزیمم مقدار Q_{cal} متناظر با $L_{MAX\ y}$. L_{MAX} و L_{MIN} : نشان دهنده کمترین و بیشترین تابش طیفی است که مقادیر آنها به ترتیب ۰ و ۲۵۵ بر حسب wm^{-2} می باشد.

گام دوم: تبدیل تابش طیفی به دمای روشنایی

تابش طیفی در سنجنده را با استفاده از رابطه‌ی پلانک (۲)، که در آن گسیلمندی زمین (با فرض جسم سیاه) یک (حداکثر گسیلمندی) فرض می شود، به دمای روشنایی تبدیل شد.

$$T_B = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این فرمول T_B ، دمای روشنایی بر حسب کلون، K_1 و K_2 ، ثابت کالیبراسیون و مقدار آن به ترتیب برابر $۶۶۶/۰۹$ و $۱۲۸۲/۷۱$ برای سنجنده ETM+ و مقدار $۷۷۷/۸۹$ و $۱۳۲۱/۰۸$ برای سنجنده OLI (باند ۱۰)، L_y تابش طیفی پیکسل مورد نظر بر حسب $(wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1})$ است (ترکاشوند، ۱۳۹۵: ۱۲۹).

گام سوم: تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی

دمای روشنایی، دمای است که جسم سیاه برای تولید رادیانس معلوم و مشخص تولید می کند. تصحیح گسیلمندی دمای سطح زمین، از رابطه (۳) محاسبه می شود.

$$T_s = \frac{T_B}{1 + (\lambda * \frac{T_B}{\alpha}) Ln(\epsilon)} \quad \text{رابطه (۳)}$$

T_B = دمای روشنایی؛ λ = طول موج تابش ساطع شده (۱۱/۵ میکرومتر)، α معادل است با $1.438 * 10^{-2}$ (mk)؛ $hc/b = 1.438 * 10^{-2}$ (mk)؛ h = ثابت پلانک با مقدار $(6.62 * 10^{-34} j.sec)$ ؛ c = سرعت نور $(2.998 * 10^8 (m/s))$ ؛ b = ثابت استفان بولتزمن $(1.38 * 10^{-23} j/k)$ ؛ ϵ = گسیلمندی

میزان گسیلمندی در هر پیکسل مطابق رابطه (۴) محاسبه می شود (sobrino et al, 2004: 436)

$$\epsilon = \epsilon_v P_v + \epsilon_s (1 - P_v) + d\epsilon \quad \text{رابطه (۴)}$$

ϵ_v معرف گسیلمندی پوشش گیاهی، ϵ_s گسیلمندی معرف گسیلمندی خاک، P_v معرف نسبت پوشش گیاهی می باشد. $d\epsilon$ مطابق از رابطه (۵) محاسبه می گردد:

$$d\epsilon = (1 - \epsilon_s)(1 - P_v)F\epsilon_v \quad \text{رابطه (۵)}$$

F : ضریب شکل است و مقدار میانگین آن برابر $۰/۵۵$ است (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۳).
با توجه به مطالعات انجام شده، میزان گسیلمندی پوشش گیاهی ۹۹ درصد، خاک ۹۷ درصد و ساختار شهری ۹۲ درصد می باشد که بر این مبنا میزان گسیلمندی از رابطه (۶) محاسبه می شود (Li et al, 2011: 3252).

$$\epsilon = 0.02644 p_v + 0.96356 \quad \text{رابطه (۶)}$$

استخراج خوشه‌های جزایر حرارتی شهری (UHI)

به منظور بررسی فضای داده‌ها از آماره خود همبستگی فضایی (موران محلی و موران جهانی) و لکه داغ (HotSpot) استفاده شد. خودهمبستگی فضایی موران به بررسی خود همبستگی فضایی براساس مکان پراکنش دو مقدار می‌پردازد و خصیصه مورد نظر از عارضه جغرافیایی را در آن مکان تحلیل می‌کند. برای محاسبه شاخص موران جهانی، ابتدا نمره استاندارد Z و P-Value محاسبه می‌شود و در مرحله بعد به ارزیابی و معنادار بودن شاخص پرداخته می‌شود. برای محاسبه خودهمبستگی فضایی با استفاده از شاخص موران جهانی از رابطه (۷) استفاده می‌شود.

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} x_i x_j}{S_0 \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در رابطه بالا، Z تفاضل بین مقدار خصیصه x با میانگین (x - x) و Z تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه x با میانگین (x - x) می‌باشد. W وزن موجود بین عارضه^۱ و^۲ است. n تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در لایه مورد استفاده است و s جمع کل وزن‌های فضایی می‌باشد که بر اساس رابطه (۸) محاسبه می‌شود (ترکاشوند، ۱۳۹۵: ۱۳۱).

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} \quad \text{رابطه (۸)}$$

نمره استاندارد Z برای آماره موران از طریق رابطه (۹) به طور جداگانه محاسبه گردیده و در رابطه (۸) قرار داده می‌شود.

$$z_i = \frac{i - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad \text{رابطه (۹)}$$

در این رابطه، V[I] واریانس داده‌ها است. به‌طورکلی اگر مقدار شاخص موران نزدیک عدد +۱ باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای بوده و اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد -۱ باشد، آنگاه داده‌ها از هم گسسته و پراکنده می‌باشد.

تهیه نقشه خوشه‌ها: آماره موران جهانی به دنبال این سوال است که آیا تراکم یا پراکندگی فضایی معناداری بین داده‌ها وجود دارد یا خیر؟ نقشه‌های خوشه کمک می‌کنند تا تشخیص دهیم در کجاها محدودیتهای مطالعه خوشه‌بندی‌ها در حال شکل‌گیری بوده و مرزهای محدوده‌های آنها کجاست. در این پژوهش از تحلیل خوشه و ناخوشه^۱ و تحلیل لکه‌های داغ^۲ برای مطالعه جزایر حرارتی استفاده شد.

تحلیل خوشه و ناخوشه که به شاخص محلی موران نیز معروف است، الگویی بهینه برای نمایش توزیع آماری پدیده‌ها در فضا است. برای تحلیل خوشه و ناخوشه برای هر عارضه موجود در لایه، مقدار شاخص موران محلی، نمره Z و P-Value که بیانگر معناداری شاخص محاسبه شده می‌باشد، محاسبه می‌شود. آماره موران I براساس رابطه (۱۰) قابل محاسبه است:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{i,j} W_{i,j} (x_j - \bar{x}) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

در رابطه بالا، x_i خصیصه عارضه^۱ و \bar{x} میانگین خصیصه مربوطه و $W_{i,j}$ وزن فضایی بین عارضه^۱ و^۲ می‌باشد. مقدار S_i از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$s_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n-1} - \bar{x}^2 \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

در رابطه بالا، n برابر با تعداد کل عارضه هاست. نمره استاندارد Z_{I_i} از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$Z_{I_i} = \frac{I_i}{\sqrt{V[I_i]}} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

برای محاسبه $V[I_i]$ از رابطه (۱۳) استفاده شد:

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2 \quad (۱۷) \quad E[I_i] = -\frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n-1} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

تحلیل لکه‌های داغ از آماره‌ی گتیس-ارد جی (Getis-Ord G_i^*) برای کلیه عوارض موجود در داده‌ها استفاده می‌کند. نمره‌ی Z محاسبه شده در این آماره نشان می‌دهد که در کدام مناطق، داده‌ها با مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده است. چهارچوب مفهومی این تحلیل این گونه عمل می‌کند که اگر عارضه‌ای مقدار بالا داشته باشد جالب و مهم است، ولی این بدان معنی نیست که یک لکه داغ باشد. عارضه‌ای لکه داغ تلقی می‌شود که هم خود عارضه و هم عارضه‌های همسایه‌ی آن از نظر آماری معنادار باشند. امتیاز Z برای خروجی نهایی زمانی به دست خواهد آمد که مجموع محلی عارضه و همسایه‌ی آن به طور نسبی با جمع کل عارضه‌ها مقایسه گردد.

آماره‌ی گتیس-ارد جی از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۳۵).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - x_i \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2]}{n-1}}} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2} \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

با توجه به این که G خود نوعی نمره‌ی Z محسوب می‌شود، از محاسبه‌ی دوباره Z پرهیز شده می‌شود.

طبقه‌بندی شاخص‌های NDVI، NDBI

برای ارزیابی عوامل موثر در ایجاد و خوشه‌ای شدن جزایر حرارتی از شاخص NDBI و NDVI استفاده شد.

$$NDBI = \frac{(SWIR1 - NIR)}{(SWIR1 + NIR)} \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

در رابطه (۱۷) SWIR1 معرف باند طول موج کوتاه مادون قرمز و NIR معرف باند مادون قرمز نزدیک می‌باشد (ترکاشوند، ۱۳۹۵: ۱۳۰).

شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

باتوجه به اینکه شاخص پوشش گیاهی نقش عمده‌ای در نقل و انتقال انرژی بین زمین و اتمسفر دارد و آثار متفاوتی بر روی عناصر اقلیمی از جمله دمای پیرامونی خود می‌گذارد، در نتیجه می‌توان آن را به‌عنوان یکی از فاکتورهای تاثیرگذار در محاسبه دمای سطح زمین (LST) به حساب آورد. این شاخص فرآیند محاسباتی ساده‌ای دارد و در مقایسه با سایر شاخص‌ها دارای بهترین توان دینامیک است، به گونه‌ای که بیشترین حساسیت را به تغییر پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرات جوی و زمینه‌ای خاک، به جز در مواردی که پوشش گیاهی کم باشد، حساسیت کمتری دارد. فرض این روش این است که NDVI در طول روز برای هر پیکسل ثابت است. اما رطوبت و اثر باران توان تشعشعی را تغییر می‌دهد. بنابراین مقدار NDVI در طول روز برای تمام مدت روز در محاسبه توان تشعشعی برای هر پیکسل به کار می‌رود. برای برآورد شاخص پوشش گیاهی از باندهای NIR و RED تصاویر لندست استفاده می‌شود که به ترتیب بیانگر باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز می‌باشند. فرمول محاسبه شاخص پوشش گیاهی مطابق رابطه (۱۸) است.

(۱۸)

رابطه

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$$

حد بالایی و پایینی ارزش عددی شاخص NDVI بین -۱ تا +۱ است. مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده‌ی تراکم پوشش گیاهی می‌باشد و مقادیر پایین آن مربوط به خاک، آب و ابر است (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۹: ۳۳۳).

ارزیابی شاخص NDVI به روش آستانه‌ای توکانگا و تاگ

برای بررسی تغییرات شاخص پوشش گیاهی از روش آستانه‌ای توکانگا و تاگ^(۲۰۰۲: ۴) طبق جدول (۱) بهره برده شد.

جدول (۱). نوع پوشش زمین و NDVI مربوط به هر پوشش، منبع: توکانگا و تاگ (۲۰۰۲: ۴)

نوع پوشش زمین	حدود NDVI
زمین برهنه و خاک	NDVI < 0.2
پوشش گیاهی تنک	0.2 < NDVI < 0.4
پوشش گیاهی متراکم	NDVI > 0.4

مقادیر پایین شاخص NDVI نشان می‌دهد که نوع پوشش زمین از نوع خاک و عاری از پوشش گیاهی (زمین برهنه) و مقادیر بالای آن نشان‌دهنده‌ی پوشش گیاهی متراکم می‌باشد. از آنجایی که تصاویر سنجنده ETM+ دارای نوارهای برداشت نشده می‌باشد، پس از بازسازی تصاویر، تغییراتی در تصاویر اعمال گردید، برای بررسی تغییرات کاربری با آستانه‌های پیشنهادی توکانگا و تاگ سعی شد از تصاویر سنجنده یاد شده استفاده نشود، لذا از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ استفاده شد، بنابراین از سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ تصاویر مناسب از لحاظ فقدان ابر انتخاب شد. براساس حدود تعریف شده‌ی شاخص NDVI (جدول ۱)، تمام تصاویر منتخب هر سال در محیط GIS در سه نوع پوشش زمین طبقه‌بندی شدند. در گام بعدی تعداد پیکسل‌های هر طبقه بر کل پیکسل‌های تصویر تقسیم و عدد حاصل بر عدد ۱۰۰ ضرب شد تا سهم هر نوع پوشش زمین از کل تصویر به‌صورت درصد به‌دست آید. در آخر میانگین درصد هریک از انواع پوشش زمین در هر سال محاسبه شد.

بررسی همبستگی پیرسون دمای سطح زمین (LST) با شاخص های NDVI و NDBI

پس از محاسبه مقادیر دمای سطح زمین، شاخص های NDVI و NDBI، ابتدا در محیط GIS مقادیر رستری به مقادیر وکتوری تبدیل و با استفاده از نرم افزار SPSS، همبستگی پیرسون بین آنها محاسبه شد.

پهنه بندی دمای سطح زمین (LST) به روش کریجینگ

کریجینگ یک روش و تخمین گر محلی و تصادفی برای برآورد مقادیر یک متغیر در نقاط نمونه برداری نشده، با استفاده از مقادیر آن متغیر در نقاط نمونه برداری شده است. کلید اساسی در کریجینگ سمی واریوگرام^۲ است که در واقع بررسی همبستگی مکانی بین دو نقطه است، اما فرض بر این است که مقادیر یک متغیر در فواصل نزدیک بیشترین شباهت را داشته و با افزایش فاصله از میزان همبستگی مقادیر آن متغیر کاسته می شود (علوی پناه، ۱۳۸۷: ۳۰۶). با توجه به اینکه بین پیکسل های تصاویر باند حرارتی سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ و سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸، به ترتیب گپ های ۶۰ و ۱۰۰ متری ایجاد می شود و به منظور نگاه ریزتر و خرد اقلیمی، دمای سطح زمین به روش کریجینگ درون یابی شد.

یافته ها و بحث

پس از بارگیری تصاویر، در مجموع تصویری که از لحاظ شرایط اتمسفری و فقدان ابر مناسب بودند، انتخاب شد. محدوده مورد مطالعه از تصاویر کلی برش داده شد. از آنجایی که تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ از سال ۲۰۰۳ دچار اشکال شده است و خطوط بد روی تصاویر این سنجنده نقش می بندد، ابتدا با استفاده از نرم افزار ENVI4.7 اقدام به رفع این خطوط گردید. باندهای ۳، ۴ و ۷ سنجنده ETM+ و باندهای ۴، ۵ و ۷ سنجنده OLI تصحیح اتمسفری شدند. با استفاده از شاخص گنیس-اورد جزایر حرارتی فصل گرم سال در بازه زمانی ۱۶ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۵) استخراج و نقش عوامل محلی در ایجاد و توسعه جزایر حرارتی شهر اهواز مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا شاخص تفاضل بهنجار شده ی پوشش گیاهی NDVI، شاخص تفاضل بهنجار شده ی مناطق ساخته شده NDBI، آماره لکه داغ (HOTSPOT) و دمای سطح زمین (LST) به روش کریجینگ پهنه بندی و نقشه های مربوط به هر کدام تولید شد.

ارزیابی شاخص NDVI به روش آستانه ای توکانگا و تاگ

به منظور ارزیابی تغییرات بیوفیزیکی سطح زمین در شهر اهواز از تغییرات شاخص NDVI به روش آستانه ای توکانگا و تاگ (۲۰۰۲) استفاده شد که نتایج آن در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲). درصد مساحت نوع پوشش زمین الگوی حاصل از روش آستانه ای توکانگا و تاگ

سال	میانگین درصد پوشش زمین برهنه	میانگین درصد پوشش گیاهی تنک	میانگین درصد پوشش گیاهی متراکم
۲۰۱۳	۸۷.۵۷	۱۱.۳۷	۱.۰۶
۲۰۱۴	۸۵.۲۷	۱۳.۱۲	۱.۶۱
۲۰۱۵	۹۱.۳۲	۷.۷۸	۰.۹

در سال ۲۰۱۴، شهر اهواز شرایط زیست محیطی مناسبی را از لحاظ تغییرات بیوفیزیکی سطح زمین نسبت به سال قبلی تجربه نموده است، لیکن آن شرایط در سال ۲۰۱۵ به حالت نزولی دچار تغییر شده است. در سال ۲۰۱۵ مساحت پوشش زمین برهنه بیش از ۷ درصد نسبت به سال ۲۰۱۴ افزایش داشته است که نشان از تغییرات گسترده در سطح شهر اهواز است. عامل

1. Kriging
2. Semi variogram

دیگری که به شدت برای زیست پذیری کلان شهر اهواز خطرناک است کاهش جدی پوشش گیاهی است. در همین سال میانگین مساحت پوشش گیاهی تنک و متراکم نسبت به سال قبلی به ترتیب ۴۰ و ۴۴ درصد کاهش داشته است.

بررسی همبستگی پیرسون دمای سطح زمین (LST) با شاخص های NDVI و NDBI

پس از تبدیل مقادیر رستری به وکتوری، با به کارگیری نرم افزار SPSS ضریب همبستگی پیرسون دمای سطح زمین با شاخص های NDVI و NDBI نشان داد که مناطق ساخته شده شهری اهواز (NDBI) و پوشش گیاهی (NDVI) با دمای شهر (LST) رابطه معنادار در سطح ۰/۰۱ را دارند (جدول ۳). ارتباط NDBI با دمای سطح زمین قوی و در مجموع اثر مثبت بر روی LST دارد. این نتیجه حاصل است که حجم پوشش گیاهی در سال های آخر دوره مورد مطالعه سیر کاهشی داشته است. قوی ترین ارتباط معکوس شاخص تفاضل بهنجار شده ی پوشش گیاهی، در روز ۲۹ آگوست سال ۲۰۰۱ (۷ شهریور) به مقدار (۰/۷۰۳-) و ضعیف ترین این ارتباط در روز ۲۲ آگوست سال ۲۰۱۳ (۳۱ مرداد) به مقدار (۰/۰۹۴) مشاهده می شود.

جدول (۳). همبستگی پیرسون دمای سطح زمین (LST) با شاخص های NDVI و NDBI

ردیف	تاریخ	همبستگی دمای سطح زمین (پیرسون)		ردیف	تاریخ	همبستگی دمای سطح زمین (پیرسون)	
		شاخص NDBI	شاخص NDVI			شاخص NDBI	شاخص NDVI
۱	۲۰۰۰/۰۴/۲۰	۰/۰۶۵	۰/۰۵۰۶	۲۴	۲۰۰۵/۰۷/۰۷	۰/۰۶۷	۰/۶۲۶
۲	۲۰۰۰/۰۵/۲۲	-۰/۰۴۹	۰/۴۸۵	۲۵	۲۰۰۵/۰۷/۲۳	۰/۰۸۵	۰/۶۵۸
۳	۲۰۰۰/۰۸/۲۶	-۰/۱۳۲	۰/۷۳۵	۲۶	۲۰۰۵/۰۸/۰۸	-۰/۰۵۸	۰/۶۳۹
۴	۲۰۰۰/۰۹/۱۱	-۰/۰۹۶	-۰/۱۰۴	۲۷	۲۰۰۵/۰۸/۲۴	-۰/۰۳۸	۰/۶۸۶
۵	۲۰۰۱/۰۵/۰۹	**۰/۰۵۶	**۰/۷۳۲	۲۸	۲۰۰۵/۰۹/۰۹	-۰/۰۵۵	۰/۶۰۹
۶	۲۰۰۱/۰۵/۲۵	**۰/۰۴۵	**۰/۶۸۹	۲۹	۲۰۰۶/۰۵/۲۳	۰/۱۱۶	۰/۵۹۰
۷	۲۰۰۱/۰۷/۲۸	**۰/۰۶۴	**۰/۷۲۶	۳۰	۲۰۰۶/۰۶/۰۸	۰/۰۷۶	۰/۶۱۰
۸	۲۰۰۱/۰۸/۲۹	**۰/۰۷۳	**۰/۷۲۲	۳۱	۲۰۰۶/۰۶/۲۴	۰/۰۶۸	۰/۶۲۹
۹	۲۰۰۲/۰۵/۱۲	**۰/۱۲۱	**۰/۷۵۹	۳۲	۲۰۰۶/۰۷/۱۰	۰/۰۷۰	۰/۵۶۷
۱۰	۲۰۰۲/۰۵/۲۸	**۰/۱۲۸	**۰/۷۳۵	۳۳	۲۰۰۶/۰۷/۲۶	۰/۰۹۸	۰/۶۲۶
۱۱	۲۰۰۲/۰۸/۱۶	**۰/۱۶۴	**۰/۷۲۳	۳۴	۲۰۰۶/۰۸/۱۱	۰/۱۰۱	۰/۲۸۲
۱۲	۲۰۰۲/۰۹/۱۷	**۰/۱۰۴	**۰/۶۱۸	۳۵	۲۰۰۶/۰۸/۲۷	۰/۰۰۶	۰/۶۳۴
۱۳	۲۰۰۳/۰۴/۲۹	**۰/۱۳۵	**۰/۸۲۲	۳۶	۲۰۰۶/۰۹/۱۲	-۰/۰۰۴	۰/۶۴۴
۱۴	۲۰۰۳/۰۷/۱۸	**۰/۰۴۱	**۰/۷۱۱	۳۷	۲۰۰۷/۰۶/۱۱	۰/۱۵۹	۰/۶۱۹
۱۵	۲۰۰۳/۰۸/۱۹	**۰/۱۰۳	**۰/۷۱۶	۳۸	۲۰۰۷/۰۶/۲۷	۰/۰۵۴	۰/۶۴۵
۱۶	۲۰۰۴/۰۶/۰۲	*۰/۰۳۰	**۰/۶۳۰	۳۹	۲۰۰۷/۰۷/۱۳	۰/۱۳۶	۰/۶۱۰
۱۷	۲۰۰۴/۰۷/۰۴	۰/۰۳۴	**۰/۶۱۱	۴۰	۲۰۰۷/۰۸/۱۴	-۰/۰۲۶	۰/۶۳۱
۱۸	۲۰۰۴/۰۷/۲۰	۰/۰۳۲	**۰/۶۱۷	۴۱	۲۰۰۷/۰۸/۳۰	۰/۰۷۵	۰/۶۶۱
۱۹	۲۰۰۴/۰۸/۰۵	۰/۰۳۹	**۰/۶۳۵	۴۲	۲۰۰۷/۰۹/۱۵	-۰/۰۴۲	۰/۶۲۸
۲۰	۲۰۰۴/۰۸/۲۱	۰/۰۲۷	**۰/۶۲۹	۴۳	۲۰۰۸/۰۴/۲۶	-۰/۱۱۴	۰/۵۹۰
۲۱	۲۰۰۴/۰۹/۰۶	-۰/۰۲۴	**۰/۶۲۶	۴۴	۲۰۰۸/۰۶/۱۳	-۰/۰۶۹	۰/۴۹۴
۲۲	۲۰۰۴/۰۹/۲۲	-۰/۰۳۲	**۰/۶۰۷	۴۵	۲۰۰۸/۰۶/۲۹	-۰/۱۴۷	۰/۵۷۳
۲۳	۲۰۰۵/۰۶/۲۱	-۰/۰۱۱	**۰/۶۰۱	۴۶	۲۰۰۸/۰۷/۳۱	-۰/۱۳۳	۰/۵۹۶

**	۰/۴۲۷	**	۰/۲۰۴	۲۰۱۳/۰۷/۲۱	۶۹	**	۰/۵۸۱	**	-۰/۱۲۸	۲۰۰۸/۰۸/۱۶	۴۷
**	۰/۴۳۵	**	۰/۱۲۶	۲۰۱۳/۰۸/۰۶	۷۰	**	۰/۵۸۳	**	-۰/۰۸۷	۲۰۰۸/۰۹/۰۱	۴۸
**	۰/۴۸۶	**	۰/۰۹۴	۲۰۱۳/۰۸/۲۲	۷۱	**	۰/۵۶۰	**	-۰/۰۵۲	۲۰۰۹/۰۶/۱۶	۴۹
**	۰/۵۱۰	**	۰/۱۳۵	۲۰۱۳/۰۹/۰۷	۷۲	**	۰/۵۸۲	**	-۰/۱۲۲	۲۰۰۹/۰۷/۰۲	۵۰
**	۰/۱۲۴	**	۰/۰۸۱	۲۰۱۴/۰۴/۰۳	۷۳	**	۰/۵۶۰	**	۰/۰۰۳	۲۰۰۹/۰۷/۱۸	۵۱
**	۰/۴۲۶	**	۰/۱۸۵	۲۰۱۴/۰۴/۱۹	۷۴	**	۰/۵۷۰	**	-۰/۱۲۷	۲۰۰۹/۰۸/۰۳	۵۲
**	۰/۴۲۱	**	۰/۱۷۹	۲۰۱۴/۰۵/۰۵	۷۵	**	۰/۵۸۱	**	-۰/۱۰۶	۲۰۰۹/۰۸/۱۹	۵۳
**	۰/۳۲۶	**	۰/۰۱۲	۲۰۱۴/۰۶/۰۶	۷۶	**	۰/۵۶۵	**	-۰/۰۲۷	۲۰۰۹/۰۹/۰۴	۵۴
**	۰/۴۲۱	**	۰/۱۹۲	۲۰۱۴/۰۷/۰۸	۷۷	**	۰/۵۱۰	**	۰/۰۴۵	۲۰۱۰/۰۷/۰۵	۵۵
**	۰/۴۱۰	**	۰/۱۱۲	۲۰۱۴/۰۷/۲۴	۷۸	**	۰/۶۵۸	**	-۰/۲۹۹	۲۰۱۰/۰۸/۰۶	۵۶
**	۰/۳۸۵	**	۰/۱۴۲	۲۰۱۴/۰۸/۰۹	۷۹	**	۰/۵۵۱	**	-۰/۰۸۱	۲۰۱۰/۰۹/۰۷	۵۷
**	۰/۵۱۳	**	۰/۰۸۷	۲۰۱۴/۰۸/۲۵	۸۰	**	۰/۵۱۵	**	-۰/۰۹۲	۲۰۱۱/۰۸/۰۹	۵۸
**	۰/۴۵۹	**	۰/۱۳۲	۲۰۱۴/۰۹/۱۰	۸۱	**	۰/۵۴۱	**	-۰/۰۴۶	۲۰۱۱/۰۸/۲۵	۵۹
**	۰/۴۷۷	**	۰/۰۵۸	۲۰۱۵/۰۴/۰۶	۸۲	**	۰/۵۲۶	**	-۰/۰۸۷	۲۰۱۱/۰۹/۱۰	۶۰
**	۰/۵۴۲	**	-۰/۰۴	۲۰۱۵/۰۵/۲۴	۸۳	**	۰/۴۸۵	**	-۰/۰۴۴	۲۰۱۲/۰۶/۲۴	۶۱
**	۰/۵۷۲	**	۰/۰۵۱	۲۰۱۵/۰۶/۰۹	۸۴	**	۰/۵۴۱	**	-۰/۰۷۹	۲۰۱۲/۰۷/۱۰	۶۲
**	۰/۵۳۰	**	۰/۰۹۵	۲۰۱۵/۰۶/۲۵	۸۵	**	۰/۵۴۷	**	-۰/۰۹۹	۲۰۱۲/۰۸/۲۷	۶۳
**	۰/۳۹۱	**	۰/۰۷۷	۲۰۱۵/۰۷/۱۱	۸۶	**	۰/۵۶۶	**	-۰/۱۵۵	۲۰۱۲/۰۹/۱۲	۶۴
**	۰/۶۲۰	**	۰/۱۵۳	۲۰۱۵/۰۷/۲۷	۸۷	**	۰/۲۳۹	**	۰/۲۳۲	۲۰۱۳/۰۵/۱۸	۶۵
**	۰/۶۲۵	**	۰/۰۸۸	۲۰۱۵/۰۸/۱۲	۸۸	**	۰/۲۸۱	**	۰/۱۰۹	۲۰۱۳/۰۶/۰۳	۶۶
**	۰/۶۴۹	**	۰/۰۴۵	۲۰۱۵/۰۸/۲۸	۸۹	**	۰/۲۸۹	**	۰/۱۸۶	۲۰۱۳/۰۶/۱۹	۶۷
**	۰/۶۷۱	**	۰/۰۱۶	۲۰۱۵/۰۹/۱۳	۹۰	**	۰/۳۹۹	**	۰/۲۱۵	۲۰۱۳/۰۷/۰۵	۶۸

** همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۱ و * همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۵

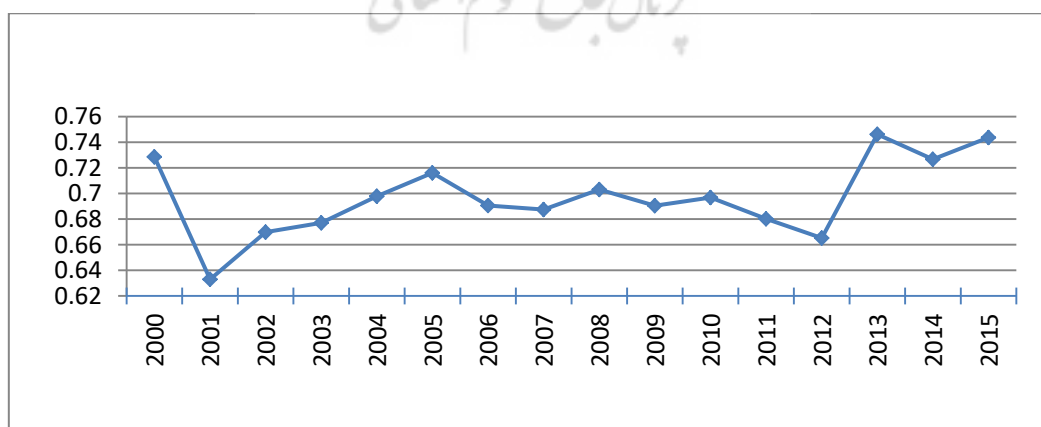
خودهمبستگی فضایی موران

جهت ارزیابی مقادیر خودهمبستگی فضایی داده‌های دمای سطح زمین و تعیین الگوی فضایی داده‌ها (خوشه یا ناخوشه)، از روش موران استفاده گردید. به‌طورکلی اگر شاخص موران نزدیک به ۱+ باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای بوده و اگر مقدار آن نزدیک به عدد ۱- باشد آنگاه داده‌ها از هم گسسته و پراکنده خواهند بود. خروجی گرافیکی، پراکنده و یا خوشه‌ای بودن داده‌ها را نشان می‌دهد. در موران جهانی فرضیه صفر این است که هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر عنصر مرتبط با عوارض جغرافیایی موردنظر وجود ندارد. حال زمانی که مقدار P-Value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه شده (قدر مطلق آن) بسیار بزرگ باشد (خارج از محدوده اطمینان باشد)، آنگاه می‌توان فرضیه صفر را رد کرد. اگر شاخص موران بزرگ‌تر از صفر باشد، داده‌ها نوعی خوشه‌بندی فضایی و اگر کمتر از صفر باشد دارای الگوی پراکنده می‌باشند. خروجی تحلیل خودهمبستگی فضایی موران عمومی بصورت دو نوع عددی و گرافیکی، در جدول (۴) و شکل (۳) و (۴) نمایش داده شده است. مبتنی بر برودادهای جدول، شاخص موران برای هر ۱۶ سال بالای صفر بوده و دارای نوعی خوشه‌بندی فضایی بوده است. شاخص موران در طول زمان سیر افزایشی و کاهشی داشته است با این وجود سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۳ دارای بالاترین میزان این شاخص می‌باشد. به‌طوری‌که از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ سیر صعودی و از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ سیر نزولی پیدا کرده است ولی پس از آن یعنی از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵ شاخص موران شیب تند افزایشی را در پی داشته، به‌طوری‌که در سال ۲۰۱۳ به حداکثر میزان خود رسیده است. با توجه به شکل (۴)، نمره Z-Score نیز با روند شاخص موران در طول دوره مطالعه هماهنگ

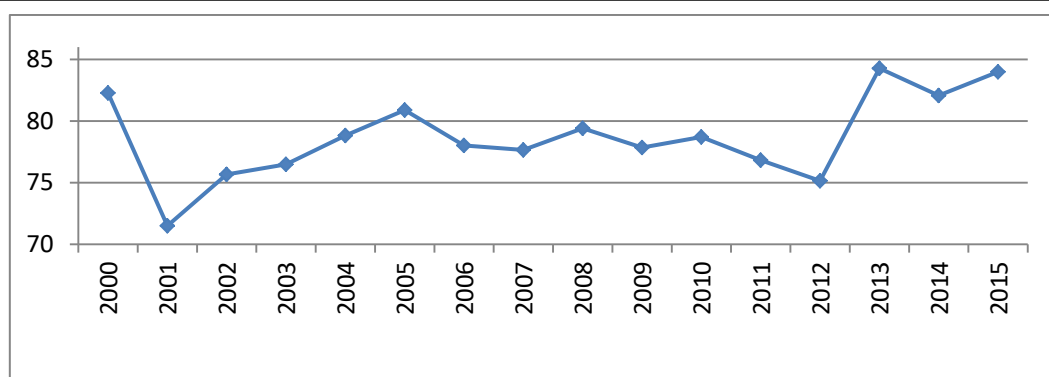
بوده است. بنابراین در مجموع، براساس شاخص موران جهانی می‌توان چنین استنباط نمود که تغییرات درون سالی دما از الگوی خوشه ای بالا تبعیت می‌کند، در نتیجه باتوجه به بالا بودن مقدار Z و پایین بودن مقدار ارزشی P-Value می‌توان فرضیه عدم وجود خودهمبستگی فضایی بین داده‌ها در هر سال را رد نمود. حال اگر قرار بود دما برای هر سال به‌طور نرمال در فضا پخش می‌شد، شاخص موران جهانی مقدار $-0/000153$ را نشان می‌داد. بنابراین این نتیجه حاصل است که طی سری زمانی مورد مطالعه، الگوی خودهمبستگی فضایی موران مقدار افزایش را نشان داده است، این مقدار افزایشی به معنی خوشه‌ای شدن جزایر حرارتی شهری اهواز است. نتایج خودهمبستگی فضایی موران جهانی بدست آمده تاییدی آشکار بر رد فرضیه عدم ارتباط فضایی دمای سطح زمین اهواز بوده که نشان داده است داده‌های دمای سطح زمین اهواز دارای ساختار فضایی بوده یا به عبارتی دمای سطح زمین اهواز دارای الگوی ساخت یافته است و به شکل خوشه‌ای توزیع است، یعنی یاخته‌هایی دمایی بالا و پایین تمایل به متمرکز شدن یا خوشه ای شدن در فضا دارند.

جدول (۴). مقادیر خودهمبستگی فضایی موران عمومی دمای سطح زمین شهر اهواز بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

میانگین سال	شاخص موران	شاخص موران مورد انتظار	واریانس	Z-Score	P-Value
۲۰۰۰	۰/۷۲۸۴۸۲	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۸۲/۲۸۷۰۵۸۵	.
۲۰۰۱	۰/۶۳۲۹۶۷	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۷۱/۵۰۱۲۷۸۵	.
۲۰۰۲	۰/۶۶۹۸۲۰۵	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۷۵/۶۶۹۳۴۵۵	.
۲۰۰۳	۰/۶۷۷۰۸۹۸۳۳	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۷۶/۴۸۵۸۹۴۱۷	.
۲۰۰۴	۰/۶۹۷۸۲۳۵۷۱	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۷۸/۸۱۹۹۸۷۴	.
۲۰۰۵	۰/۷۱۶۰۹۸	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۸۰/۸۸۷۰۸۶۱	.
۲۰۰۶	۰/۶۹۰۶۲۳۱۲۵	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۷۸/۰۲۰۱۲۶۶۳	.
۲۰۰۷	۰/۶۸۷۴۴۵۲۳۳	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۷۷/۶۵۶۵۳۸۵	.
۲۰۰۸	۰/۷۰۳۰۷۵۶۶۷	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۷۹/۴۰۷۵۶۷۳۳	.
۲۰۰۹	۰/۶۹۰۴۰۷۱۶۷	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۷۷/۸۵۲۳۶۹۵	.
۲۰۱۰	۰/۶۹۶۸۶۷۳۳۳	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۷۸/۷۰۳۰۷۸	.
۲۰۱۱	۰/۶۸۰۲۱۹۶۶۷	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۷۶/۸۲۰۱۳۱	.
۲۰۱۲	۰/۶۶۵۲۱۲۲۵	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۷۵/۱۴۲۶۰۵۵	.
۲۰۱۳	۰/۷۴۶۱۷۸۵	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۸۴/۲۸۱۶۱۲۶۳	.
۲۰۱۴	۰/۷۲۶۶۷۶۱۱۱	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۸۲/۰۶۷۸۲۵۲۲	.
۲۰۱۵	۰/۷۴۳۶۴۵۴۴۴	-۰/۰۰۰۱۵۳	-۰/۰۰۰۰۷۸	۸۴/۰۰۳۵۳۶۴۴	.



شکل (۳). خروجی خودهمبستگی فضایی موران عمومی (شاخص موران) دمای سطح زمین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵



شکل (۴). خروجی خودهمبستگی فضایی موران عمومی (نمره z-score) دمای سطح زمین بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

بررسی تغییرات زمانی و مکانی جزایر حرارتی

در راستای مطالعه تغییرات زمانی، مکانی و گسترش جزایر حرارتی شهر اهواز از شاخص گنیس-اورد بهره برده شد. نقشه لکه دمایی (HOTSPOT) همه تصاویر (۹۰روز) دوره گرم سال (۲۰۱۵-۲۰۰۰) تهیه شد. از میان این تصاویر، ۳ تصویر نماینده مربوط به زمان‌های اولیه، میانه و آخر دوره با لحاظ دو فاکتور مطابقت زمان تصویربرداری و روزهای اوج گرمای شهر اهواز انتخاب شدند. همان‌طور که در جدول (۵) ارائه شده است، جزایر حرارتی با احتمال ۹۹ درصد در نمونه تصاویرهای سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۵ میلادی به ترتیب ۷/۱۳، ۸/۷۶ و ۶/۳۲ درصد از کل سطح شهر اهواز را به خود اختصاص داده‌اند. برای جزایر حرارتی گرم در سطح ۹۹ درصد به ترتیب مقادیر ۶/۲۴، ۶/۱۵ و ۵/۱۲ درصد محاسبه شد. در مجموع مناطقی با جزایر حرارتی سرد در هر سطح ۰/۹۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۰ برای نمونه تصویر سال ۲۰۰۱ میلادی ۱۴/۴۲، برای سال ۲۰۰۸ میلادی ۱۹/۴۸ و برای سال ۲۰۱۵ میلادی ۱۱/۱۵ درصد از کل فضای شهر اهواز را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین جزایر حرارتی گرم نیز در هر سطح احتمال بررسی شده به ترتیب ۱۶/۲۶، ۱۷/۱۶ و ۱۳/۴۸ درصد از مساحت شهر را به خود اختصاص داده‌اند که در این میان، نمونه تصویر سال ۲۰۰۸ بیشترین مساحت جزایر حرارتی را دارا است. مناطقی که فاقد الگوی خودهمبستگی فضایی معنی‌دار بوده‌اند نیز برای هر یک از سال‌های مورد مطالعه در جدول (۵) ارائه شده است. این مناطق قبل از آنکه دلیل آماری داشته باشند، تبیین‌گر ساختار شهری در شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری هستند. چراکه نشان‌دهنده تغییرات بالای دمای سطح زمین در یاخته‌ها و تباین بالای آن در سطح شهر می‌باشند. به عبارت دیگر تابع حاضر تنها آن دسته از جزایر حرارتی شهری را آشکار ساخته است که بیش‌ترین تمایل به متمرکز شدن و خوشه شدن در فضا را دارند (ترکاشوند، ۱۳۹۵: ۱۴۲).

جدول (۵). درصد مساحت تحت پوشش الگوی حاصل از شاخص گنیس-اورد (HOT SPOT)

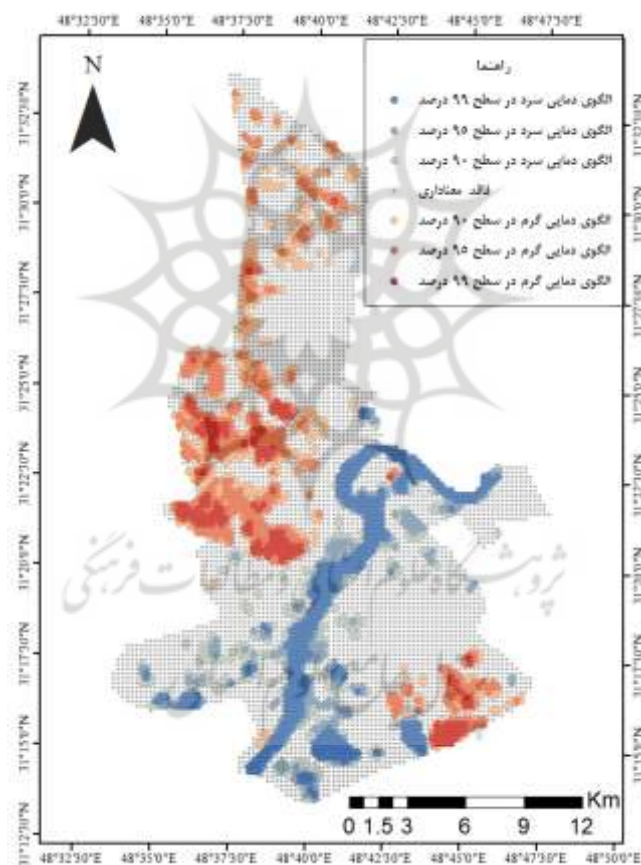
۲۰۱۵/۰۸/۲۸	۲۰۰۸/۰۹/۰۱	۲۰۰۱/۰۸/۲۹	نوع الگوی جزایر حرارتی شهر اهواز
۶/۳۲	۸/۷۶	۷/۱۳	الگوی دمایی سرد در سطح ۹۹ درصد
۲/۲۹	۷/۳	۳/۸۱	الگوی دمایی سرد در سطح ۹۵ درصد
۲/۵۴	۳/۴۲	۳/۴۸	الگوی دمایی سرد در سطح ۹۰ درصد
۷۵/۳۴	۶۳/۳۳	۶۹/۲۹	فاقد معناداری
۵/۱۲	۶/۱۵	۶/۲۴	الگوی دمایی گرم در سطح ۹۹ درصد
۵/۶۶	۶/۸۲	۷/۲۵	الگوی دمایی گرم در سطح ۹۵ درصد
۲/۷	۴/۱۹	۲/۷۷	الگوی دمایی گرم در سطح ۹۰ درصد

ارزیابی تطبیقی نقشه‌های دمایی (شکل‌های ۵، ۶ و ۷) نشان می‌دهد که عمدتاً غرب منطقه ۲ شهرداری اهواز به سمت مناطق شمالی که زمین‌های بایر را شامل می‌شود، همواره کانون تمرکز و گسترش جزایر حرارتی بوده است، به عبارتی دیگر هرچه از مناطق جنوبی به سمت مناطق شمالی پیش می‌رویم، به دلیل کاهش فضاهای سبز و افزایش زمین‌های بایر شاهد

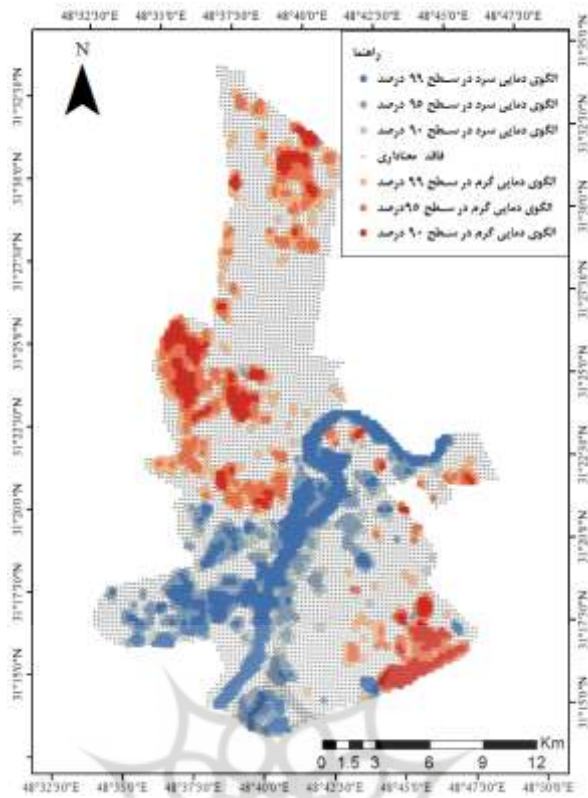
افزایش دما هستیم. نبود پوشش گیاهی و وجود جزایر حرارتی گرم به افزایش حساسیت‌های زیست‌محیطی این مناطق دامن زده است.

بین مناطق مرکزی و حومه شهر اختلاف حرارتی تند وجود دارد، منطقه‌ی ۸ به علت استقرار شرکت‌های صنعتی مانند شرکت فولاد اکسین خوزستان دارای جزایر حرارتی متمرکز و ثابت بوده و پایدارترین جزیره حرارتی در این منطقه از شهر شکل گرفته است. به دلیل وجود پایانه‌های اتوبوس، ایستگاه‌های راه‌آهن، شرکت‌ها و ادارات دولتی بزرگ جزایر حرارتی کانونی در جای‌جای شهر مشاهده می‌شود. تک‌یاخته‌های موجود نیز ساختمان‌ها، پارکینگ‌ها و زمین‌هایی لم‌بزرع هستند که به شکل یاخته‌هایی با دمایی بالا در سطح شهر خودنمایی می‌کنند. از نتایج برجسته نقشه‌های دمایی اهواز تاثیر کم مناطق مسکونی در ایجاد جزایر حرارتی در دوره مورد مطالعه است. مناطق مسکونی نسبت به مناطقی با کاربری صنعتی و بایر، تاثیر کم‌تری در ایجاد و گسترش جزایر حرارتی داشته است.

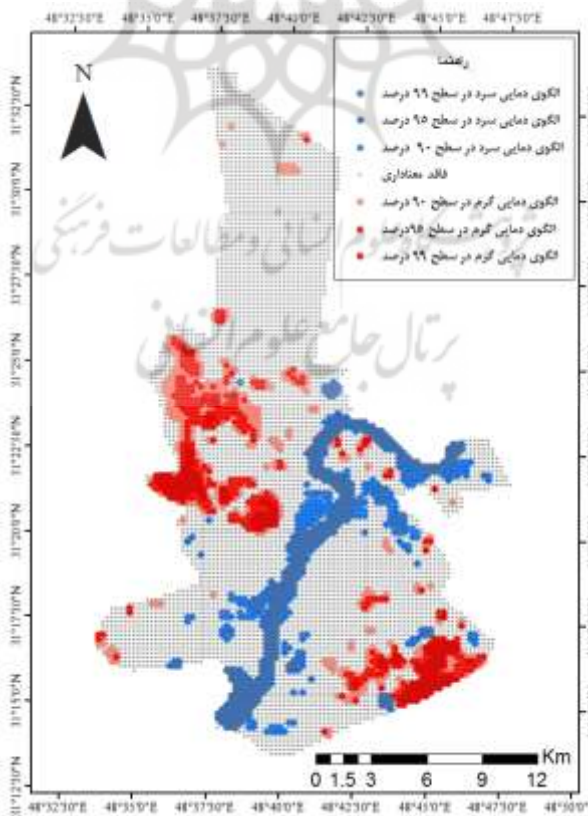
کاهش دما در اطراف رود کارون که به شکل آبی کم‌رنگ نشان داده شده است، از یک‌سو به دلیل وجود پوشش گیاهی متنوع و متراکم و از سوی دیگر به دلیل نسیم ساحلی و سرمایه‌ش تبخیری^۱ رودخانه کارون است.



شکل (۵). جزایر حرارتی استخراج شده شهر اهواز مورخه ۲۰۰۱/۰۸/۲۹



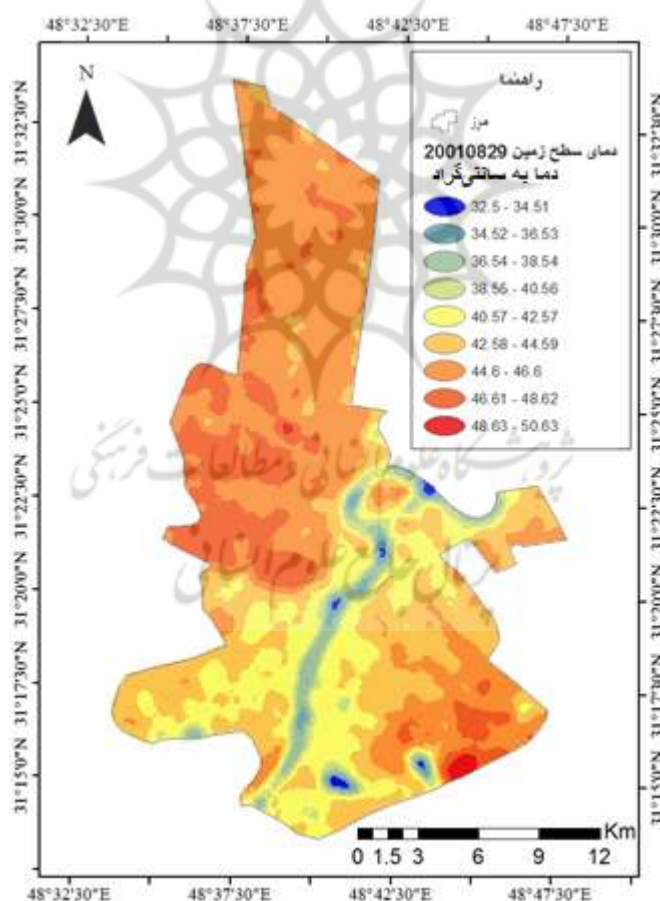
شکل (۶). جزایر حرارتی استخراج شده شهر اهواز مورخه ۲۰۰۸/۰۹/۰۱



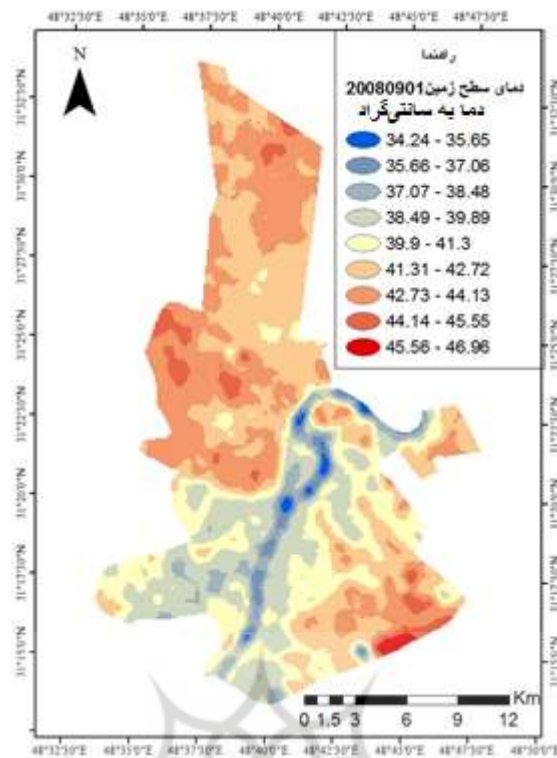
شکل (۷). جزایر حرارتی استخراج شده شهر اهواز مورخه ۲۰۱۵/۲۸/۸

پهنه‌بندی دمای سطح زمین (LST) به روش کریجینگ

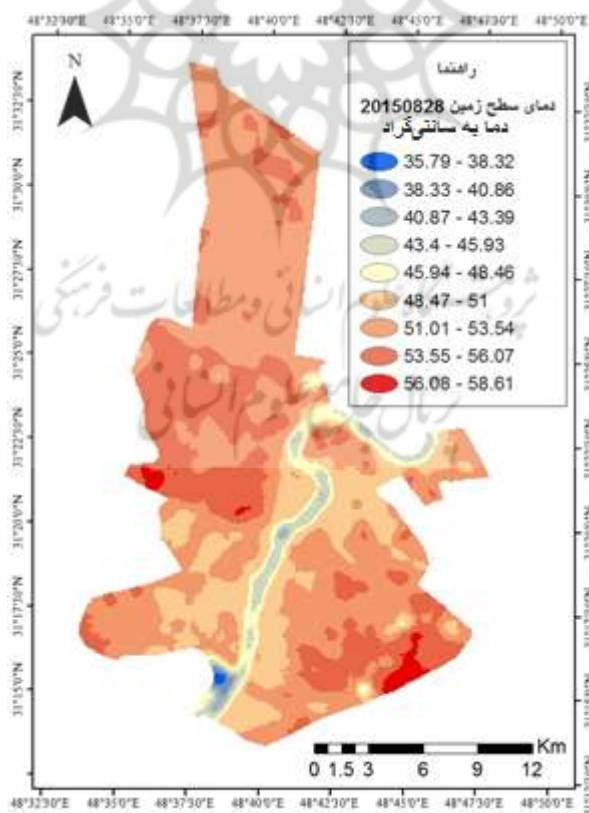
به منظور دقت در تولیدات حرارتی تصاویر ماهواره‌ای و برای نمایش تغییرات الگوهای فضایی دما، ارزش پیکسل‌های تصاویر با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ در محیط نرم افزار Arc Gis پهنه بندی شد. با استفاده از این روش و پهنه‌بندی دمای سطح اهواز در ۹ کلاس دمایی، نقش عوامل محلی در ایجاد و گسترش جزایر حرارتی شهر اهواز مشخص شد. کاربری آب یا به‌عبارتی دیگر اطراف رودخانه کارون از پایین‌ترین دامنه دمایی برخوردار بوده و جزایر حرارتی همواره از مرکز شهر دور بوده است، از سویی دیگر زمین‌های بایر در منطقه ۲ و مناطق شمالی و هم‌چنین منطقه ۸ شهر که یک منطقه صنعتی محسوب می‌شود، همواره بالاترین دامنه دمایی را به خود اختصاص داده‌اند. اسماعیل‌پور و همکارانش (۱۴۰۰: ۲۱) نیز در بررسی رابطه تغییرات پوشش زمین و جزایر حرارتی شهر اهواز با استفاده از الگوریتم تک پنجره و روش مفهومی درخت تصمیم، جابجایی جزیره حرارتی اهواز از مرکز به سمت حاشیه و اطراف شهر را تایید نموده‌اند. از نتایج قابل توجه پهنه بندی دمای اهواز این است که افزایش آستانه‌های کمینه و بیشینه دمایی شهر اهواز نمایان است و دمای اطراف رودخانه اهواز افزایش داشته است و نشان از این واقعیت است که میانگین درجه حرارت این شهر رو به فزونی است که استمرار این تغییر، می‌تواند منجر به تغییر اقلیم محلی شود. بنابراین این پهنه‌بندی دمایی نشان داد که تغییرات مکانی الگوهای دمایی با این مدل قابل توجیه است و نقشه درجه حرارت منطقه را با دقت بالایی ترسیم می‌کند (شکل‌های ۸ تا ۱۰).



شکل (۸). پهنه بندی دمای سطح زمین به روش کریجینگ مورخه 2001/08/29



شکل (۹). پهنه‌بندی دمای سطح زمین به روش کریجینگ مورخه 2008/09/01



شکل (۱۰). پهنه بندی دمای سطح زمین به روش کریجینگ مورخه 2015/08/28

نتیجه‌گیری

بررسی ارتباط نوع کاربری زمین با ایجاد و شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری مورد توجه بسیاری از محققان بوده است. وجه تمایز این پژوهش با سایر تحقیقات پیشین، در روش‌های به‌کار گرفته شده است. پهنه بندی دمای سطح زمین (LST) به روش درون‌یابی کریجینگ و هم‌چنین ارزیابی شاخص پوشش گیاهی بهنجار شده به روش آستانه‌ای توکانگا و تاگ مورد توجه آب و هواشناسان نبوده است. پهنه بندی دمای سطح زمین به روش درون‌یابی کریجینگ نشان داد که اطراف رودخانه کارون از پایین‌ترین دامنه دمایی برخوردار بوده و در مقابل زمین‌های بایر در منطقه ۲ و مناطق شمالی و هم‌چنین منطقه ۸ شهر که یک منطقه صنعتی محسوب می‌شود، همواره بالاترین دامنه دمایی را به خود اختصاص داده‌اند. از نتایج دیگر پهنه بندی دمای اهواز آشکار شدن افزایش آستانه‌های کمینه و بیشینه دمایی شهر اهواز نمایان است و گواهِ این است که میانگین درجه حرارت این شهر رو به فزونی است که استمرار این تغییر، می‌تواند منجر به تغییر اقلیم محلی شود. اسماعیل‌پور و همکارانش (۱۴۰۰: ۲۱) نیز در بررسی رابطه تغییرات پوشش زمین و جزایر حرارتی شهر اهواز، جابجایی جزیره حرارتی اهواز از مرکز به سمت حاشیه و اطراف شهر را تایید نموده‌اند.

نتایج خودهمبستگی فضایی موران جهانی بدست آمده تاییدی آشکار بر رد فرضیه عدم ارتباط فضایی دمای سطح زمین اهواز بوده که نشان داده است داده‌های دمای سطح زمین اهواز دارای ساختار فضایی بوده یا به عبارتی دمای سطح زمین اهواز دارای الگوی ساخت یافته است و به شکل خوشه‌ای توزیع است، یعنی یاخته‌هایی دمایی بالا و پایین تمایل به متمرکز شدن یا خوشه‌ای شدن در فضا دارند.

ارزیابی نقشه‌های دمایی نشان داد هرچه از مناطق جنوبی به سمت مناطق شمالی پیش می‌رویم، به دلیل کاهش فضاهای سبز و افزایش زمین‌های بایر شاهد افزایش دما هستیم. نبود پوشش گیاهی و وجود جزایر حرارتی گرم به افزایش حساسیت‌های زیست‌محیطی این مناطق دامن زده است.

بین مناطق مرکزی و حومه شهر اختلاف حرارتی تند وجود دارد، منطقه‌ی ۸ به علت استقرار شرکت‌های صنعتی مانند شرکت فولاد اکسین خوزستان دارای جزایر حرارتی متمرکز و ثابت بوده و پایدارترین جزیره حرارتی در این منطقه از شهر شکل گرفته است. مناطق مسکونی نسبت به مناطقی با کاربری صنعتی و بایر، تاثیر کم‌تری در ایجاد و گسترش جزایر حرارتی داشته است. مقایسه الگوی شهر اهواز با جزایر حرارتی شهر اصفهان که پیش‌تر توسط احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۶: ۱۷) در بررسی دمای شهر اصفهان برای زاینده رود مورد پژوهش قرار گرفته بیانگر پیروی از الگویی مشابه است.

مقایسه این پژوهش با پژوهش‌های مشابه جزایر حرارتی کلان‌شهرهای شیراز (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۷)، تهران (صادقی‌نیا، ۱۳۹۲: ۸۶)، مشهد (احمدی و داداشی‌رودباری، ۱۳۹۵: ۵۰)، نشان می‌دهد که برخلاف بیشتر کلان‌شهرهای ایران، اهواز از الگوی متفاوتی از جزایر حرارتی پیروی می‌کند، به طوری که مرکز این شهر با ناحیه‌ای سرد مربوط به جریان‌های آبی است. نتایج این پژوهش می‌تواند برای برنامه‌ریزان شهری در راستای کاهش اثرات جزایر حرارتی شهری اهواز، یاری‌گر باشد.

منابع

- احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۹۵). آثار ترکیبات بیوفیزیکی در شکل گیری جزایر حرارتی شهری (مطالعه موردی شهر مشهد)، سنجش از دور و GIS ایران، سال هشتم، شماره سوم، صص ۳۹-۵۸.
- احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۹۶). شناسایی جزایر حرارتی شهری مبتنی بر رویکردهای زیست‌محیطی (مطالعه موردی: کلان‌شهر اصفهان)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۸، شماره ۳، صص ۱-۲۰.
- احمدی، محمود؛ عاشورلو، داوود؛ نارنگی‌فرد، مهدی (۱۳۹۴). تحلیل فضایی دمای شهر شیراز در فصول گرم و سرد با به‌کارگیری تحلیل‌های آماری و تصاویر ماهواره‌ای، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۲، صص ۱۴۷-۱۶۰.
- اسماعیل‌پور، نجما؛ اسمعیل‌پور، فاطمه؛ یامی، مجتبی؛ امیرعزیدی، حسین (۱۴۰۰). بررسی رابطه تغییرات پوشش زمین و جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم تک پنجره و روش مفهومی درخت تصمیم (نمونه موردی: شهر اهواز)، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۵، شماره ۷۸، صص ۴۱-۲۱.
- انتظاری، علیرضا؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ اسدی، مهدی (۱۳۹۴). ارزیابی خودهمبستگی فضایی تغییرات زمانی- مکانی جزایر گرمایی در خراسان رضوی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۶، صص ۱۲۵-۱۴۶.
- آروین، محمود؛ پوراحمد، احمد؛ زنگنه شهرکی، سعید (۱۳۹۶). ارزیابی زمین‌های بایر به‌منظور توسعه میان‌افزا نمونه موردی: شهر اهواز، مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال هفتم، شماره ۲۶، صص ۱۶۳-۱۸۱.
- پیری، عیسی؛ حسین زاده، اکبر، مرادی مفرد، سمیرا (۱۳۹۷). مکانیابی بهینه و ساماندهی فضایی - مکانی بیمارستان‌ها با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مورد مطالعه: شهر اهواز)، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۲، شماره ۶۶، صص ۵۷-۳۵.
- ترکاشوند، محمدقاسم (۱۳۹۵). آشکارسازی جزایر حرارتی شهر اراک مبتنی بر تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی، فصل‌نامه آمایش محیط، شماره ۳۵، صص ۱۲۳-۱۴۸.
- شکیبا، علیرضا؛ ضیائیان فیروز آبادی، پرویز؛ عاشورلو، داوود؛ نامداری، سودابه (۱۳۸۸). تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزیره حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های ETM+، سنجش از دور GIS ایران، سال اول، شماره اول، صص ۳۹-۵۶.
- صادقی‌نیا، علیرضا (۱۳۹۲). کاربرد تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی در تحلیل جزیره حرارتی شهر تهران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۳۰، صص ۶۷-۹۰.
- علوی‌پناه، سیدکاظم (۱۳۸۷). **کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین**. تهران: دانشگاه تهران.
- علوی‌پناه، سید کاظم؛ هاشمی دره بادامی، سیروس؛ کاظم زاده، علی (۱۳۹۴). تحلیل زمانی - مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد با توجه به گسترش شهر و تغییرات کاربری - پوشش زمین، پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، دوره ۳، شماره ۱، صص ۱-۱۷.
- فتحی، الهام (۱۳۹۹). جمعیت شهری ایران و آینده‌ی آن با نگاهی به جمعیت کلان‌شهرها، پژوهش‌شکده آمار، صص ۱-۱۵.
- محمود زاده، حسن؛ پویان جم، آذر؛ امان زاده، فاطمه (۱۳۹۹). محاسبه دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا در شهر ارومیه، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۴، شماره ۷۳، صص ۳۲۵-۳۴۸.
- معروف‌نژاد، عباس (۱۳۹۰). نقش کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر اهواز)، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس، سال سوم، شماره ۱۰، صص ۹۰-۱۱۱.

Chun, B., & Guldman, J. M. (2014). **Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities**. *Landscape and urban planning*, 125, 76-88.

Du, H., Wang, D., Wang, Y., Zhao, X., Qin, F., Jiang, H., & Cai, Y. (2016). **Influences of land cover types, meteorological conditions, anthropogenic heat and urban area on surface urban heat island in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration**. *Science of the Total Environment*, 571, 461-470.

Hattis, D., Ogneva-Himmelberger, Y., & Ratick, S. (2012). **The spatial variability of heat-related mortality in Massachusetts**. *Applied Geography*, 33, 45-52.

Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X., & Wu, J. (2011). **Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China**. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3249-3263.

- Luck, M., & Wu, J. (2002). **A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA.** *Landscape ecology*, 17(4), 327-339.
- Molnár, G. (2016). **Analysis of land surface temperature and NDVI distribution for Budapest using Landsat 7 ETM+ data.** *ACTA CLIMATOLOGICA ET CHOROLOGICA*, 49, 49-61.
- Singh, R. B., & Grover, A. (2015). **Spatial correlations of changing land use, surface temperature (UHI) and NDVI in Delhi using Landsat satellite images.** In *Urban Development Challenges, Risks and Resilience in Asian Mega Cities* (pp. 83-97). Springer Japan.
- Sobrino, J. A., Jimenez-Munoz, J. C., & Paolini, L. (2004). **Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing of environment**, 90(4), 434-440
- Tao, M.; Chen, L.; Wang, Z.; Wang, J.; Tao, J.; Wang, X. **Did the widespread haze pollution over China increase during the last decade? A satellite view from space.** *Environ. Res. Lett.* 2016, 11.
- Tokunaga, M., & Thug, V. T., 2002, **Finding the relationship between vegetation index and coherence signature to utilize the product of radar interferometry in land cover application.** Asian Association on Remote Sensing.
- Zhou, D., Zhao, S., Liu, S., Zhang, L., Zhu, C., 2014. **Surface urban heat island in China's 32 major cities: spatial patterns and drivers.** *Remote Sens. Environ.* 152, 51-61.

