



Evaluation of the Effect of Land Use Changes on the Spatiotemporal Pattern of Land Surface Temperature and Heat Islands in Ahvaz City Using Satellite Images

Mohammad Abiyat ^{✉1}, Saeed Maleki ², Mahmud Abiyat ³, Majedeh Abiyat ⁴

1. Department of Environmental Sciences, Science and Research Branch, Tehran (Khuzestan), Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
Email: m.abiat20@gmail.com

2. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Letters and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Email: malekis@scu.ac.ir

3. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Letters and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Email: mahmud.abiyat@gmail.com

4. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Letters and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Email: majedeh.abiyat@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:

Received:
27 June 2022
Received in revised form:
8 December 2022
Accepted:
14 March 2023

Keywords:

Land Use,
Land Surface Temperature,
Heat Island,
Object-Oriented,
Ahvaz

ABSTRACT

Land surface temperature (LST) is one of the essential parameters in the study of climate change and the physical processes of the land surface. This study investigated the effect of land-use changes on land surface temperature in Ahvaz. For this purpose, the satellite images of 2002, 2013 and 2020 were classified by the object-oriented method and the surface temperature of the land was calculated using a separate window algorithm. Next, to investigate the spatial and temporal patterns of land surface temperature and heat islands, three indices, NDVI, UHII and UHIII, were used, and the temperature of vegetation layers was extracted. The RMSE values between the field-measured temperature and the temperature extracted from 2002, 2013 and 2020 images were calculated as 1.79, 1.66 and 0.98, respectively. The results showed that in 2002-2020, built-up and barren areas increased by 5779.69 and 2521.66 hectares, respectively, and vegetation cover and water areas decreased by 3200.15 and 57.89 hectares, respectively. During this period, the land surface temperature in built-up, barren, vegetation, and water areas has increased by 4.10, 5.26, 6.32 and 3.93 degrees, respectively. Also, the UHIII index has been increasing, and the highest intensity of heat islands in 2002, 2013 and 2020 was in the southern, eastern and northwestern areas, respectively. The results of the correlation analysis of two LST and NDVI variables show a strong negative relationship between them, and the increase in the UHIII index has a direct relationship with the decrease in vegetation values. Therefore, vegetation has an important effect in reducing the land surface temperature and the intensity of heat islands.

Cite this article: Abiyat, M., Maleki, S., Abiyat, M., & Abiyat, M. (2023). Evaluation of the Effect of Land Use Changes on the Spatiotemporal Pattern of Land Surface Temperature and Heat Islands in Ahvaz City Using Satellite Images. *Human Geography Research Quarterly*, 55 (2), 39-61.
<http://doi.org/10.22059/JHGR.2022.326267.1008331>



© The Author(s).

DOI: [10.22059/JHGR.2022.326267.1008331](https://doi.org/10.22059/JHGR.2022.326267.1008331)

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Land surface temperature (LST) is one of the essential parameters in the study of climate change and the physical processes of the earth's surface. Rising land temperature causes heat islands, caused by changes in land use and land cover in urban areas, and today has become a major environmental concern. Ahvaz metropolis, the capital of Khuzestan province in southwestern Iran, has undergone many land-use and land cover changes recently and has enjoyed significant population growth. In recent years, the pattern of unbalanced urban development in Ahvaz has led to the destruction of agricultural lands, vegetation and gardens around the city as one of the most important factors balancing the land surface temperature. This has led to increased land surface temperature and the formation of heat islands. This study aims to investigate land-use changes in Ahvaz and its effects on spatiotemporal patterns of land surface temperature and heat islands in the years 2002-2020.

Methodology

First, the land-use changes were studied, and then, in order to evaluate the relationship between the changes in each land-use and the land surface temperature, the maximum temperature in each land-use was determined. Then the number of changes was investigated. Landsat 7 ETM+ (2002) and 8 OLI/TIRS (2013/2020) images were downloaded from the USGS. The object-oriented method was used for classification. Educational samples were implemented on the image surface, and their corresponding objects were selected as educational samples for each class. The SVM algorithm did the classification, and the user maps were classified into four classes such as vegetation, barren, constructed, and water areas. This study estimated the LST based on a separate window Algorithm and with Landsat 7 ETM+ band 6 and Landsat 8 OLI/TIRS band 11 data. This study estimated LST using Split-Window (SW) algorithm on Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS Thermal Infrared (TIR) bands. Then, the NDVI values, Vegetation Proportion and Radiated Power, were

obtained. Finally, The LST value was extracted based on degrees Celsius. This study used the Pearson correlation coefficient to investigate the relationship between LST and air temperature. RMSE values were used to compare the estimated temperature by the SW algorithm and the measured temperature by Field research. Also, two indices, UHII and UHIII, were used to calculate the intensity of heat islands. These indices evaluate the LST using the values of vegetation in one area.

Results and discussion

According to the results of this study, Kappa coefficients and overall accuracy were 74% and 76% for the year 2002 map, 78% and 85% for the year 2013 map and 88% and 93% for the year 2020 map, respectively. The area of built-up and barren areas has increased, and the area of vegetation and water areas has decreased. The increase in land-use of the constructed areas from 2002 to 2020 was about 579.69 hectares, and the decrease in vegetation cover was 3200.15 hectares. The barren areas have increased by 2521.66 hectares from 2002 to 2020. Pearson correlation coefficient between air temperature and LST values of 0.65% is obtained, which shows a positive correlation. The RMSE values compared to LST and measured temperature by Field research for 2002, 2013, and 2020 images were 1.79, 1.66 and 0.98 degrees, respectively. According to the results, the LST values in 2002 fluctuated from about 24.48-42.55, in 2013 about 26.32-44.47 and in 2020 about 28.13-46.65 degrees Celsius. The results of LST show an increasing temperature trend during the period 2002-2020. After estimating the LST, the maximum temperature of each user was determined, which showed the increasing trend of temperature in all applications. The decreasing trend of vegetation directly affects increasing LST in this land-use. The temperature of this land-use has increased by 6.32 degrees from 2002-2020. Over 18 years, the LST in built-up and barren areas has increased by 4.10 and 5.26 degrees, respectively. In order to study the spatiotemporal patterns of LST and heat islands, first with the NDVI index, vegetation status in each year was divided

into three classes of low, medium and high vegetation. Then, LST values in each category were determined. The results showed that the highest temperature occurred on the floor with low vegetation. The correlation between the two variables, LST and NDVI, was significant and regression between them showed an inverse correlation that indicated a negative relationship between LST and vegetation. Therefore, vegetation plays an important role in reducing the intensity of the heat island. UHIII index values have arrived in the low vegetation class from 0.63 to 0.67, in the medium vegetation class from 0.57 to 0.61 and in the high vegetation class from 0.51 to 0.54. The highest intensity of heat islands in 2002, 2013 and 2020 was in the city's southern, eastern and northwestern parts.

Conclusion

According to the research results, land-use changes in the study period have caused an increase in land surface temperature. The highest temperatures have occurred in built-up areas and barren areas; this is due to the increase in the area of built-up and barren areas. Decreased vegetation has a direct effect on increasing LST in this land-use.

The NDVI, UHII, and UHIII indices and LST values were used to study the spatiotemporal patterns of land surface temperature and heat islands. The results indicate high temperatures in the vegetation with low vegetation. Due to the correlation of NDVI values with land surface temperature and the intensity of heat islands, the necessity and importance of vegetation protection as a very important variable to regulate the air temperature in the city are essential.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

ارزیابی اثر تغییرات کاربری بر الگوی مکانی زمانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی در شهر اهواز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

محمد عبیات^۱✉، سعید ملکی^۲، محمود عبیات^۳، ماجده عبیات^۴

- ۱- نویسنده مسئول، گروه علوم محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران (خوزستان)، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، ایران. رایانامه: m.abiat20@gmail.com
- ۲- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: malekis@scu.ac.ir
- ۳- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: mahmud.abiyat@gmail.com
- ۴- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: majedeh.abiyat@yahoo.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۰/۰۴/۰۶

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۰/۰۹/۰۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۰/۱۲/۲۳

واژگان کلیدی:

کاربری،
دمای سطح زمین،
جزیره حرارتی،
شیء گرا،
اهواز.

دمایی سطح زمین (LST) یکی از پارامترهای مهم در مطالعه تغییرات آب و هوایی و فرآیندهای فیزیکی سطح زمین است. در این مطالعه، ابتدا تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر دمای سطح زمین در شهر اهواز مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار، تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ با روش شیء گرا، طبقه‌بندی شده و دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا محاسبه گردید. در ادامه جهت بررسی الگوهای مکانی زمانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی، از سه شاخص NDVI، UHII و UHIII استفاده شده و دمای طبقات پوشش گیاهی استخراج گردید. مقادیر خطای RMSE بین دمای اندازه‌گیری شده میدانی و دمای استخراج شده از تصاویر سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۱/۷۹، ۱/۶۶ و ۰/۹۸ محاسبه شد. نتایج نشان داد؛ در سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۲۰ نواحی ساخته شده و نواحی بایر به ترتیب ۵۷۷۹/۶۹ و ۲۵۲۱/۶۶ هکتار افزایش و پوشش گیاهی و پهنه‌های آب به ترتیب ۳۲۰۰/۱۵ و ۵۷/۸۹ هکتار کاهش یافته است. طی این دوره، دمای سطح زمین در نواحی ساخته شده، نواحی بایر، پوشش گیاهی و پهنه‌های آب به ترتیب ۴/۱۰، ۵/۲۶، ۶/۳۲ و ۳/۹۳ درجه افزایش پیدا کرده است. همچنین شاخص UHIII روند افزایشی داشته و بیشترین شدت جزایر حرارتی در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ به ترتیب در نواحی جنوبی، شرقی و شمال غربی شهر بوده است. نتایج تحلیل همبستگی دو متغیر LST و NDVI، گویای ارتباط منفی قوی بین آن‌ها بوده و افزایش شاخص UHIII با کاهش مقادیر پوشش گیاهی ارتباط مستقیم داشته است. بنابراین، پوشش گیاهی اثر مهمی در کاهش دمای سطح زمین و شدت جزایر حرارتی دارد.

استناد: عبیات، محمد؛ ملکی، سعید؛ عبیات، محمود و عبیات، ماجده. (۱۴۰۲). ارزیابی اثر تغییرات کاربری بر الگوی مکانی زمانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی در شهر اهواز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، ۵۵ (۲)، ۳۹-۶۱.

<http://doi.org/10.22059/JHGR.2022.326267.1008331>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

DOI: 10.22059/JHGR.2022.326267.1008331

© نویسندگان



مقدمه

سطح زمین بر اثر پدیده‌های طبیعی و به‌خصوص عوامل انسانی، همواره در حال تغییر است (اکبری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۵۲). گسترش سریع شهرها به دلیل تغییرات گسترده در کاربری و پوشش زمین، تأثیرات منفی بر کیفیت زیست‌محیطی جهانی داشته، از جمله کیفیت هوا، افزایش دما و تغییرات چشم‌انداز و همچنین تبدیل زمین‌های کشاورزی که منجر به از بین رفتن تنوع زیستی می‌شود (اصغری سراسکانرود و امامی، ۱۳۹۸: ۱۹۶). توسعه مناطق شهری، موجب تغییر در چشم‌انداز شده که ساختمان‌ها، جاده‌ها و دیگر زیرساخت‌ها، جایگزین زمین‌های باز و پوشش گیاهی شده است (درویشی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۴۴). جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با سنگ‌فرش، ساختمان‌ها، بتن، آسفالت و دیگر ساخت‌وسازهای شهری اثرات خنک‌کنندگی سطوح طبیعی را از بین می‌برند. علاوه بر آن حرارت وسایل نقلیه کارخانه‌ها و وسایل تهویه هوا، گرمای محیطی را افزایش و همچنین ساختمان‌های بلند و خیابان‌های باریک جریان هوا را کاهش می‌دهند و هوای پیرامون را گرم می‌کنند. این تغییرات منجر به شکل‌گیری جزیره حرارتی شهری می‌شود؛ پدیده‌ای که به موجب آن مناطق شهری درجه حرارت گرم‌تر از محیط روستایی اطراف خود را تجربه می‌کنند (Rose & Devadas, 2009: 1; Xu et al., 2011: 1537; 2; Liu & Zhang, 2011). این دگرگونی‌های گسترده انسانی، پیامدهای ناخواسته و ناخوشایندی از قبیل افت کیفی محیط‌زیستی را در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی به همراه دارد که در نتیجه به کاهش کیفیت زندگی منجر می‌شود (Gago et al., 2013: 750).

تاکنون مطالعاتی در زمینه ارتباط تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح زمین در داخل و خارج از کشور به انجام رسیده است. پالافوکس خوارز^۱ و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تأثیر تغییرات پوشش زمین شهری بر الگوی مکانی-زمانی دمای سطح زمین در شهر مریدا کشور مکزیک پرداختند. در این پژوهش، داده‌های حاصل از تصاویر لندست برای محاسبه تغییر کاربری زمین، LST و شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی^۲ (NDVI) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که از دست رفتن پوشش گیاهی، منجر به افزایش LST و ایجاد جزیره حرارتی شهری شده است. Jin و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تغییرات کاربری / پوشش اراضی و ارتباط آن با دمای سطح زمین در کامرون مالزی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روند فعلی رشد شهری با نرخ ۰/۱۶ درصد در سال ادامه دارد و منطقه بین سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ افزایش دو درجه سانتی‌گراد را در LST تجربه کرده است. وانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۸) الگوهای تغییر کاربری اراضی و تأثیرات بالقوه آن‌ها بر تغییر دمای سطح زمین را در یانگون میانمار بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد تغییرات کاربری اراضی تأثیر پیچیده و مستقیمی بر دمای سطح زمین دارد؛ به طوری که نواحی شهری بیشترین دمای سطح زمین را نشان می‌دهند.

Shi و همکاران (۲۰۱۷) تأثیرات الگوی مکانی-زمانی جزایر حرارتی شهری را با استفاده از رویکرد رگرسیونی کاربری اراضی مدل‌سازی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد الگوی فضایی جزایر حرارتی شهری (UHI) به‌طور وسیع با نقشه‌های LU/LC و ژئومورفومتری شهری در نواحی مسکونی با تراکم زیاد به‌ویژه در شب تعیین می‌شود و مدل‌های حاصل به‌منظور غنی‌سازی دستور کارهای طراحی شهری فعلی و کمک به مقابله با UHI به کار می‌روند. Guo و همکاران (۲۰۱۵) آثار بیوفیزیکی شهری را بر دمای سطح زمین در خوشه‌های جزایر حرارتی بررسی کردند. نتایج نشان داد بین شاخص‌های NDVI و NDBI با تغییرات LST همبستگی قوی وجود دارد. همچنین نتایج این مطالعه بینش‌هایی را درباره چگونگی LST در جزایر حرارتی (UHI) با ویژگی‌های سطح شهری در مقیاس فضایی و همچنین روش جدید برای بررسی آثار

1. Palafox-Juárez

2. Normalized Difference Vegetation Index

3. Wang

LST سطح زمین در مناطق شهری ارائه می‌دهد. درویشی و همکاران (۱۳۹۸) تأثیر تغییرات کاربری اراضی را بر دمای سطح زمین در شهرستان مریوان بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش مساحت زمین‌های مسکونی و بایر و همچنین کاهش پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی در دوره ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷، دما روندی افزایشی را در این کاربری‌ها داشته است. شعبانی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی آثار تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای زمانی- مکانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی در شهرستان سقز پرداختند. نتایج روند افزایشی دما در کاربری‌های نواحی مسکونی، بایر و پوشش گیاهی طی دوره مورد مطالعه بوده و با توجه به نتایج شاخص‌های UHII و UHIII طبقه با پوشش گیاهی کم بیشترین دما را نسبت به طبقات با پوشش گیاهی متوسط و زیاد داشته است. براساس نتایج این شاخص‌ها نیز جزایر حرارتی در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ در نواحی شمال شرق این شهرستان رخ داده است. کیانی سلمی و ابراهیمی (۱۳۹۷) به بررسی تأثیر توسعه شهری و تغییرات پوشش اراضی بر دمای سطح زمین در شهرکرد پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با توسعه شهری مقدار دمای سطح زمین برابر ۲/۲۱ درجه افزایش یافته است. در این مطالعه همبستگی شاخص NDVI با نقشه دمای سطح زمین منفی بوده و در محدوده فضای سبز با LST رابطه معنی‌داری تری را در مقایسه با اراضی شهری و اراضی لخت دارد. احمدی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی دمای سطح زمین در رابطه با کاربری و پوشش اراضی در شهرستان اردبیل پرداختند. نتایج نشان داد که دمای سطحی در هر محدوده‌ای از زمین متأثر از عوامل سطحی و خصوصیات آن می‌باشد و بیشترین دمای سطحی مربوط به مکان‌هایی است که کمترین پوشش گیاهی را دارا می‌باشند. اکبری و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی دمای سطح زمین در ارتباط با روند تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز طالقان پرداختند. نتایج نشان داد بیشترین LST در مناطق مسکونی و اراضی بایر بوده و کاهش پوشش گیاهی، روند افزایش دمای سطح زمین را تحت تأثیر قرار داده است. کلان‌شهر اهواز طی سال‌های گذشته تغییرات زیادی را در پوشش اراضی داشته و از رشد جمعیتی قابل توجهی برخوردار بوده است. در دو دهه گذشته، توسعه شهری در اهواز به تبع جریان سریع شهرنشینی در کشور، تحت تأثیر افزایش مهاجرت به سمت و سویی جدید رفته و گستردگی شهر، سبب از بین رفتن زمین‌های کشاورزی، پوشش گیاهی و باغ‌های اطراف شهر به منزله یکی از مهم‌ترین عوامل متعادل‌کننده دمای سطح زمین شده است. این امر موجبات افزایش دمای سطح زمین و شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری را فراهم می‌آورد. با توجه به اهمیت برآورد دمای سطح زمین در تغییرات اقلیمی و زیست‌محیطی که منجر به افزایش دما، مصرف انرژی، آلودگی هوا و تأثیری که بر کیفیت هوای شهری دارد، لذا هدف این پژوهش، بررسی تغییرات کاربری اراضی در کلان‌شهر اهواز و اثرات آن بر الگوهای مکانی- زمانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شهری در دوره‌های ۱۸ ساله (۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰) می‌باشد.

مبانی نظری

دمای سطح زمین^۱ (LST) عاملی مهم در مطالعات جهانی و تغییر و تعادل گرماسط و به‌عنوان نماینده‌ای برای تغییر آب‌وهوا به شمار می‌رود (Srivastava et al., 2009: 1563). افزایش LST می‌تواند نتیجه مستقیم جنگل‌زدایی به دلیل گسترش مناطق شهری و افزایش کلی دمای سطح جهانی ناشی از کاهش لایه ازن باشد (Jin et al., 2020: 1). دمای سطح زمین، تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلندگی سطح^۲، رطوبت و جریان هوای اتمسفر بستگی دارد. این دما با استفاده از تابش مادون‌قرمز و معادله معکوس پلانک^۳ محاسبه می‌شود

1. Land Surface Temperature
2. Surface Emissivity
3. Inverse Planck Function

(فیضی زاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۷۲). افزایش دمای سطح زمین در یک ناحیه موجب بروز پدیده جزایر حرارتی^۱ می‌شود که این پدیده در اثر تغییرات پوشش زمین در مناطق شهری به وجود می‌آید و امروزه به نگرانی عمده زیست‌محیطی تبدیل شده است (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۸).

شهرها در اغلب موارد شرایط اقلیمی خاصی را تجربه می‌کنند که به آن اقلیم شهری گفته می‌شود، اقلیم شهری به واسطه تفاوتی که در متغیرهای اقلیمی شهر (دمای هوا، رطوبت، سرعت و جهت باد، مقدار بارش) با نواحی کم تراکم‌تر اطرافش وجود دارد، مشخص می‌شود. دمای سطح زمین، یکی از پارامترهای کلیدی در کنترل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در پروسه‌های زمین و عامل مهمی برای مطالعه آب و هوای شهری محسوب می‌شود (Khandelwal, 2017: 2) که بر تعادل تابش، شار گرما، تبخیر و تعرق و سایر عوامل کلیدی در محیط‌های شهری تأثیر می‌گذارد (Mitraka et al., 2015: 4140). جزیره حرارتی شهری تحت تأثیر دو دسته عوامل قرار می‌گیرد. دسته اول، عوامل اقلیمی هستند که می‌توان از میان آن‌ها تابش خورشید و شدت باد را مؤثرترین عوامل دانست. اگرچه این دسته از عوامل در شهرهای موجود تقریباً غیرقابل کنترل هستند، اما در تصمیم‌گیری پیرامون جایابی شهرهای جدید و یا تعیین جهت توسعه شهر اهمیت بسیاری دارند. دسته دوم، عوامل قابل کنترل و عمدتاً مرتبط با طراحی و ساخت شهر هستند که می‌توان پوشش گیاهی، کاربری زمین، حمل‌ونقل و خصوصیات مصالح سطح را مهم‌ترین آن‌ها محسوب کرد (پورامین و همکاران، ۱۳۹۸: ۷۹). داده‌های سنجش از دور حرارتی یک منبع منحصربه‌فرد برای تعریف جزیره حرارتی سطح است که با جزیره حرارتی تاج پوشش شهری در ارتباط است. داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک دارای قدرت تفکیک مکانی بالا و پوشش بلندمدت است، اما فاقد جزئیات فضایی است. داده‌های سنجش از دور حرارتی می‌توانند به‌طور مستمر یک دید کلی از همه شهر داشته باشند و اهمیت ویژه‌ای برای بررسی دقیق اقلیم سطح شهر دارند (Weng, 2009: 336). بهبود قدرت تفکیک مکانی و طیفی نسل حاضر و آینده سنسورهای سنجش از دور، در نمایش مفصل‌تر از سطوح شهری قابل دسترس با هزینه کم باعث پیشرفت در کاربرد سنجش از دور در مطالعه آب و هوای مناطق شهری شده است (Voogt and Oke, 2003: 373).

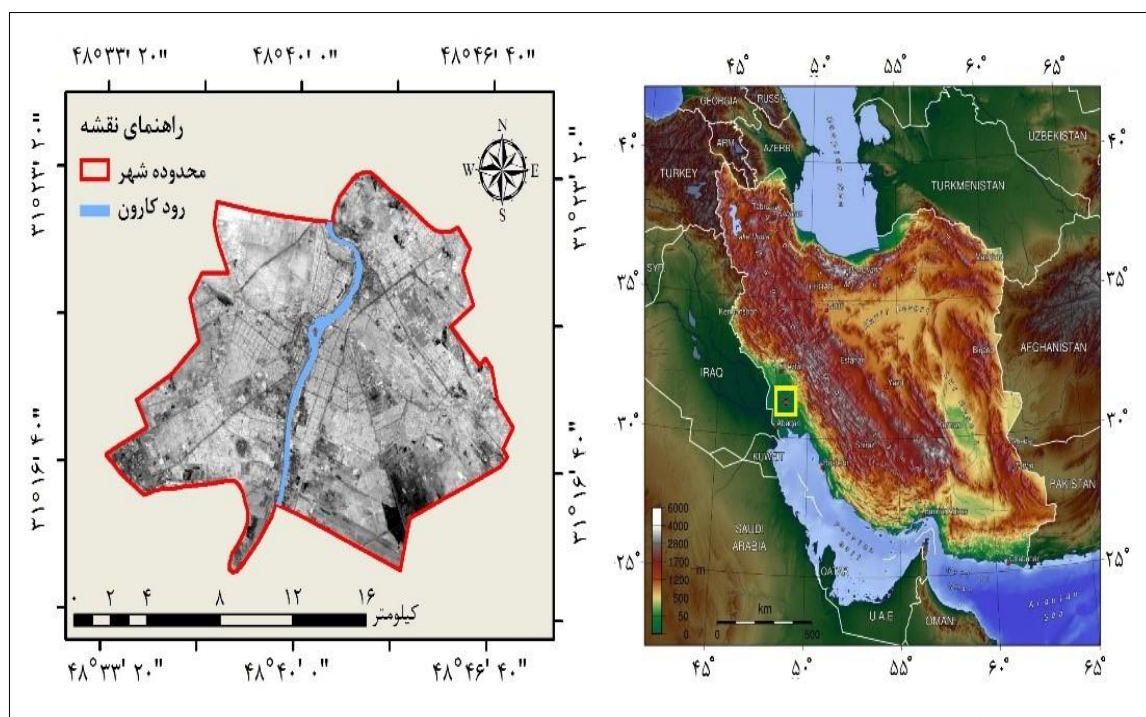
تکنولوژی سنجش از دور مادون قرمز حرارتی^۲، یکی از ابزارهای مهم برای بررسی ویژگی‌های حرارتی سطح زمین است. با توجه به محدودیت‌های اطلاعاتی در تأمین داده‌ها به‌ویژه در وسعت زیاد و غیرممکن بودن دستیابی به آن‌ها در زمان واقعی، استفاده از فناوری سنجش از دور با شرایط زمانی مورد اشاره همراه با ویژگی‌های پیوستگی و داده‌برداری در محدوده‌های گسترده، می‌تواند بسیار کارآمد باشد (قربان نیا خیبری و همکاران، ۱۳۹۶: ۵۶). الگوریتم‌های بسیاری به‌وسیله محققان مختلفی برای محاسبه دمای سطح زمین مثل الگوریتم پنجره مجزا^۳ (SW) الگوریتم زاویه دوتایی^۴ (DA) الگوریتم کانال مجزا^۵ (SC) و غیره طراحی شده است. از آنجایی که الگوریتم SW از هر دو باند OLI و TIRS استفاده می‌کند، دمای سطح زمین استخراج شده با استفاده از آن معتبرتر و دقیق‌تر است (قربان نیا خیبری و همکاران، ۱۳۹۶: ۵۷). روش پنجره مجزا بر مبنای تلفیق دو باند حرارتی استوار هست در واقع این روش با استفاده از تلفیق باندهای حرارتی مجاور سعی در کاهش تأثیرات اتمسفری دارد. از مزایای این روش می‌توان به عدم نیاز این روش به پروفیل اتمسفری دقیق و همچنین کارآمدی روش برای تمامی سنسورها با حداقل دو باند حرارتی اشاره کرد. وابستگی این روش به اطلاع از ضریب

1. Heat Islands
2. Thermal Remote Sensing
3. Split-Window
4. Dual-Angle
5. Single-Channel

گسیل و وابستگی ضرایب هر مدل به نوع منطقه را می‌توان از محدودیت‌های این روش دانست. این روش اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط Anding و Kauth ارائه شد (جویباری و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۱۶).

محدوده مورد مطالعه

کلان‌شهر اهواز با موقعیت ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی، به‌عنوان مرکز استان خوزستان شناخته می‌شود. این شهر با مساحت ۲۱۹۰۱/۰۳ هکتار و ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا، در بخش جلگه‌ای خوزستان واقع شده است (شکل ۱). شهر اهواز به دلیل واقع شدن در یک موقعیت خاص جغرافیایی، شرایط توپوگرافی و سامانه‌های جوی مؤثر بر منطقه شرایط زیست‌اقليمی ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است. میانگین سالانه دمای شهر ۳۲/۸ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر دمای آن ۳۸/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل دمای آن ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد است.

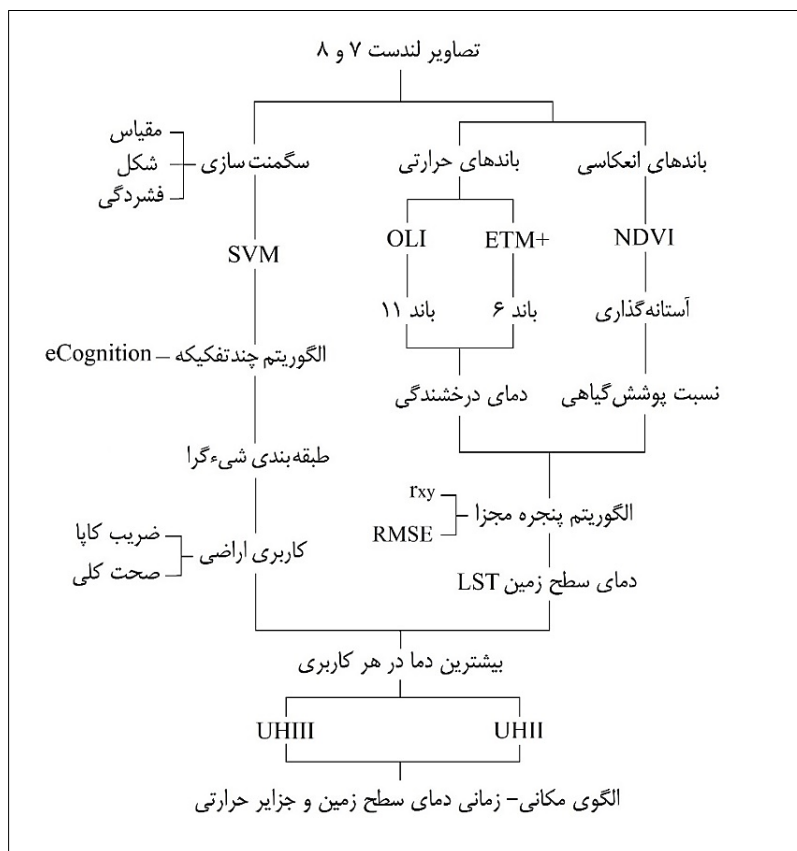


شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

در این مطالعه، ابتدا وضعیت تغییرات کاربری در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ بررسی شده و در ادامه جهت ارزیابی ارتباط تغییرات کاربری با دمای سطح زمین، بیشترین دما در هر کاربری تعیین و سپس میزان تغییرات آن بررسی و در نهایت با استفاده از آن، نواحی مستعد تشکیل جزایر حرارتی ارزیابی شد. پژوهش حاضر علاوه بر بررسی اثر تغییرات کاربری بر دمای سطح زمین، به معرفی و استفاده از شاخص‌های UHIII و UHIII برای تحلیل مکانی-زمانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی توجه داشته است (شکل ۲). تصاویر ETM+ لندست ۷ تاریخ ۲۵/۰۵/۲۰۰۲ و OLI/TIRS لندست ۸ دو تاریخ ۲۰/۰۵/۲۰۱۳ و ۱۰/۰۶/۲۰۲۰ در ردیف و گذر ۱۶۵/۳۸ از سایت USGS تهیه شد. جمع‌آوری نمونه از منطقه با استفاده از بازدید میدانی و GPS انجام شد. دو سوم این داده‌ها به عنوان نمونه آموزشی، وارد طبقه‌بندی شدند. سپس با

استفاده از یک سوم داده‌های باقیمانده (نمونه‌های کنترلی) و ماتریس خطا، اعتبارسنجی برای روش طبقه‌بندی انجام شد.

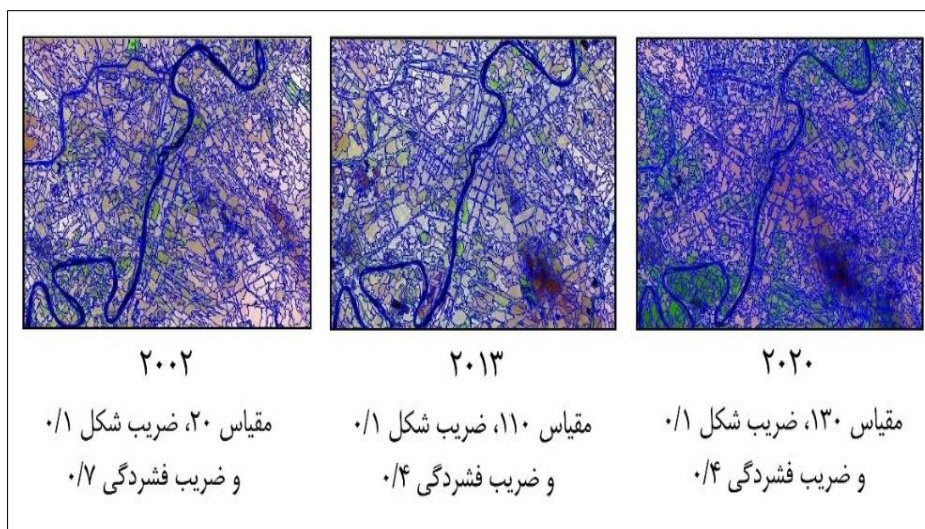


شکل ۲. دیاگرام مراحل انجام تحقیق

تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

در نرم‌افزار eCognition محدوده نمونه‌های آموزشی با شیء‌های تصویری^۱ نمونه مشخص می‌شوند (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۸۹). در پژوهش حاضر، پس از اینکه نمونه‌های آموزشی با GPS طی عملیات میدانی جمع‌آوری شد، در نرم‌افزار eCognition بر سطح تصویر پیاده شده و شیء‌های متناظر آن‌ها به عنوان نمونه‌های آموزشی برای هر کلاس انتخاب شد. در طبقه‌بندی شیء‌گرا، اطلاعات طیفی با اطلاعات مکانی ادغام گردیده و پیکسل‌ها بر اساس شکل، بافت و تن خاکستری در سطح تصویر با مقیاس مشخص، قطعه‌بندی شده و طبقه‌بندی تصویر بر اساس این قطعه‌ها انجام می‌شود (اصغری سراسکانرود و امامی، ۱۳۹۸). فرآیند طبقه‌بندی شیء‌گرا در سه مرحله کلی قابل انجام است که شامل سیگمنت‌سازی^۲، طبقه‌بندی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی می‌باشد (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۶). برای سیگمنت‌سازی از الگوریتم چندتفکیکه^۳ استفاده شد. در این پژوهش، بر اساس سعی و خطا و بررسی بصری نتیجه سیگمنت‌سازی، مقادیر پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی در نرم‌افزار eCognition تعیین شد (شکل ۳).

1. Image Object
2. Segmentation
3. Multi-resolution Algorithm



شکل ۳. سیگمنت‌سازی تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی شیء‌گرا

در مرحله پردازش شیء‌گرا، سیگمنت‌های تصویری موجود بر اساس درجه عضویت آن‌ها به طبقات مختلف نسبت داده شد و هریک از شیء‌های تصویری در این روش بر اساس بیشترین درجه عضویت یک کلاس خاص و بر اساس منطق فازی^۱، طبقه‌بندی شد (اندربانی و همکاران، ۱۳۹۶). در این پژوهش، نقشه‌های کاربری به چهار کلاس پوشش گیاهی، نواحی بایر، نواحی ساخته‌شده و پهنه‌های آب، طبقه‌بندی شدند. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از پردازش شیء‌گرا تاکنون با بهره‌گیری از تکنیک‌های مختلف به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۶). در این رابطه، الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان^۲ (SVM) از طبقه‌بندی‌های نظارت‌شده است که در سال ۱۹۶۵ میلادی توسط پژوهشگر روسی ولادیمیر نامویچ و پینک ارائه گردید. این الگوریتم به‌خوبی می‌تواند پردازش‌های مربوط به طبقه‌بندی شیء‌گرا را انجام دهد (روستائی و همکاران، ۱۳۹۷) و در بسیاری از تحقیقات، به‌عنوان دقیق‌ترین روش معرفی شده است (حاجی بیگلر و همکاران، ۱۳۹۸؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Jonsson, 2015; Brain, 2011). در این پژوهش، طبقه‌بندی با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در نرم‌افزار eCognition با نمونه‌های تعلیمی صورت گرفت و در آن شیء‌های تصویری بر اساس الگوریتم چندتفکیکه به کلاس‌های طبقه‌بندی اختصاص یافت. پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، دقت طبقه‌بندی انجام‌شده با استفاده از ماتریس خطا، صحت کلی و ضریب کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت.

محاسبه دمای سطح زمین

در این پژوهش، استخراج دمای سطح زمین با الگوریتم پنجره مجزا انجام گرفت. این الگوریتم از جمله روش‌های مهم در برآورد دمای سطح زمین به حساب می‌آید که نسبت به سایر روش‌ها از دقت بهتری برای محاسبه دمای سطح زمین برخوردار می‌باشد (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴)، مبنای الگوریتم پنجره مجزا تفاوت جذب در دو باند مختلف در روزنه جوی است. با اجرای این روش، اثر اتمسفر از اندازه‌گیری‌ها حذف می‌شود و دما محاسبه می‌گردد (حیدری و آخوندزاده هنزائی، ۱۳۹۹). در این پژوهش، برای محاسبه دمای سطح زمین در تصویر سنجنده ETM+ لندست ۷، از باند ۶ (مادون قرمز حرارتی) استفاده شد. در این سنجنده

1. Fuzzy Logic
2. Support Vector Machine

توان تفکیک زمینی باند ترمال به ۶۰ متر بهبود یافته است (علوی پناه و همکاران، ۱۳۸۵). اعداد رقومی^۱ (DN) تصاویر با استفاده از رابطه ۱ به رادیانس تبدیل و نیز دمای درخشندگی تصاویر محاسبه گردید (رابطه ۲). براساس نتایج مطالعات Sekertekin و Bonafoni (۲۰۲۰)، Wang و همکاران (۲۰۱۹) و Almodaresi و همکاران (۱۳۹۳)، نقشه LST تهیه شده با باند حرارتی ۱۱ تصاویر OLI/TIRS لندست ۸، از اعتبار بالاتری نسبت به باند حرارتی ۱۰ برخوردار بوده و نتایج دقیقی تولید می‌کند. لذا برای تخمین دمای سطح زمین در تصویر OLI از باند ۱۱ استفاده شد.

$$\lambda = [(L_{MAX} - L_{MIN}) / (QCAL_{MAX} - QCAL_{MIN})] \times (DN - QCAL_{MIN}) + L_{MIN} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$T_B = K_2 / \ln [(K_1/L_\lambda) + 1] \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه ۱، L_{MAX} و L_{MIN} به ترتیب مقادیر بیشترین و کمترین رادیانس باندهای حرارتی تصاویر را نشان می‌دهند و $QCAL_{MAX}$ و $QCAL_{MIN}$ مقادیر بزرگ و کوچک اعداد رقومی باندهای حرارتی است (جدول ۱). این مقادیر از هدر فایل تصاویر استخراج شد. در رابطه ۲، مقادیر T_B ، K_1 ، K_2 و L_λ به ترتیب دمای مؤثر در ماهواره بر حسب کلونین (K)، ثابت کالیبراسیون اول، ثابت کالیبراسیون دوم و رادیانس طیفی پیکسل موردنظر است (Bastiaanssen et al., 1998).

جدول ۱. مقادیر $QCAL_{MAX}$ ، $QCAL_{MIN}$ ، K_2 ، K_1

سنجنده	K_1	K_2	$QCAL_{MAX}$	$QCAL_{MIN}$
ETM+	۶۶۶/۰۹	۱۲۸۲/۷۱	۲۵۵	۱
OLI	۷۷۴/۸۸۵۳	۱۳۲۱/۰۷۸۹	۶۵۵۳۵	۱

در روش‌های استخراج LST نیاز است تابش طیفی^۲ و دمای درخشندگی^۳ باندهای حرارتی تصویر محاسبه شوند. همه اجسامی که دمای آن‌ها بالای صفر مطلق باشد از خود حرارت گسیل می‌کنند. بر این مبنا، علائم رسیده به سنجنده می‌توانند با استفاده از رابطه ۳ به تابش در سطح سنجنده (یا تابش طیفی) تبدیل شوند (راهنمای لندست ۸):

$$L_\lambda = ML \times QCAL + AL \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه، L_λ تابش طیفی در بالای اتمسفر، ML عامل مقیاس سازی ضربی باند خاص، AL عامل مقیاس سازی افزایشی باند خاص و $QCAL$ عدد رقومی (DN) باند موردنظر است. مرحله بعد تبدیل تابش به دمای درخشندگی در سنجنده است (رابطه ۴).

$$T_{sensor} = K_2 / \ln (K_1/L_\lambda + 1) \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه، T_{sensor} دمای درخشندگی بر حسب درجه کلونین، L_λ تابش طیفی، \ln لگاریتم نپرین، K_1 و K_2 ثابت‌های کالیبراسیون سنجنده هستند که از فایل مرجع برداشت شدند (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۵).

محاسبه شاخص پوشش گیاهی

با توجه به اینکه شاخص پوشش گیاهی نقش عمده‌ای در نقل و انتقال انرژی بین زمین و اتمسفر دارد و آثار متفاوتی بر روی عناصر اقلیمی از جمله دمای پیرامون خود می‌گذارد؛ در نتیجه می‌توان آن را به‌عنوان یکی از فاکتورهای تأثیرگذار در محاسبه دمای سطح زمین (LST) به حساب آورد (فیضی زاده و همکاران، ۱۳۹۴). شاخص پوشش گیاهی NDVI که بر

1. Digital Number
2. Spectral Radiance
3. Brightness Temperature

ارزش‌های طیفی استوار است، به‌طور گسترده برای شناسایی شرایط رشد پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد (ناطقی و همکاران، ۱۳۹۵). این شاخص از معروف‌ترین و ساده‌ترین شاخص‌های گیاهی مورد استفاده است که برحسب دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک به‌صورت زیر تعریف می‌شود (رابطه ۵):

$$NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED) \quad \text{رابطه (۵)}$$

این شاخص دارای مقادیر نرمال در دامنه بین -۱ و +۱ است که بررسی و نمایش مقادیر را به‌راحتی امکان‌پذیر می‌سازد (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۷). مقادیر منفی در این شاخص حاکی از عدم حضور پوشش گیاهی و مقادیر مثبت مناطقی با پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص تحت تأثیر عواملی قرار می‌گیرد و در دمای منطقه تأثیرگذار می‌باشد. به‌طوری‌که مناطق دارای پوشش گیاهی و آب به دلیل داشتن رطوبت نسبی از دمای کمتری نسبت به مناطق عاری از پوشش گیاهی و آب برخوردار هستند (فیضی زاده و همکاران، ۱۳۹۴).

نسبت پوشش گیاهی^۱

از مقادیر نسبت پوشش گیاهی، توان تشعشعی^۲ محاسبه می‌شود که یکی از گام‌های اساسی در استخراج دمای سطح زمین به شمار می‌رود (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۸). با استفاده از روابط ۶ و ۷، نسبت پوشش گیاهی و توان تشعشعی باندهای حرارتی محاسبه شد.

$$P_V = [(NDVI-NDVI_{MIN}) / (NDVI_{MAX}-NDVI_{MIN})]^2 \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{veg} P_V + \varepsilon_{soil} (1-P_V) \quad \text{رابطه (۷)}$$

مقدار P_V نسبت پوشش گیاهی، $NDVI_{MAX}$ و $NDVI_{MIN}$ به ترتیب بیشترین و کمترین شاخص پوشش گیاهی، و در رابطه ۵، ε ، ε_{veg} و ε_{soil} به ترتیب توان تشعشعی، توان تشعشعی خاک و توان تشعشعی پوشش گیاهی است. یکی از روش‌های محاسبه توان تشعشعی خاک و پوشش گیاهی، استفاده از روش آستانه گذاری شاخص $NDVI$ است؛ به این صورت که $NDVI < 0.2$ نشان‌دهنده خاک لخت است و توان تشعشعی خاک لخت لحاظ می‌شود و $NDVI > 0.5$ نشان‌دهنده پهنه‌های با پوشش گیاهی فراوان است و توان تشعشعی پوشش گیاهی برای آن فرض می‌شود (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۱). پس از انجام این مراحل، دمای سطح زمین با استفاده از رابطه ۸ استخراج و برای تبدیل درجه کلین به سلسیوس از رابطه ۹ استفاده شد (Artis & Carnahan, 1982).

$$LST = T_B / [1 + (L\lambda \times T_B / \rho) \ln \varepsilon] \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$T_c = LST - 273.15 \quad \text{رابطه (۹)}$$

در رابطه ۸، LST دمای سطح زمین (درجه کلین)، λ طول موج باند حرارتی (۱۱/۴۵ میکرومتر)، ρ برابر با $10^{-2} \times 1/438$ و ε توان تشعشعی است (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۹۵).

اعتبارسنجی دمای سطح زمین

در این پژوهش، از ضریب همبستگی پیرسون (r_{xy}) مطابق رابطه ۱۰، برای بررسی رابطه دمای سطح زمین با دمای هوا و خطای $RMSE$ مطابق رابطه ۱۱، برای مقایسه دمای محاسبه شده از الگوریتم پنجره مجزا و دمای اندازه‌گیری شده میدانی استفاده شد.

$$r_{xy} = S_{xy} / S_x S_y \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

1. Vegetation Proportion
2. Radiated Power

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

که در رابطه ۱۰، S_{xy} ، S_x و S_y به ترتیب کوواریانس میان x و y ، انحراف معیار x و انحراف معیار y می‌باشند (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۹۵). در رابطه ۱۱، A_t مقدار واقعی دما در ایستگاه‌های هواشناسی، F_t مقدار پیش‌بینی شده و به دست آمده از الگوریتم پنجره مجزا و N تعداد کل ایستگاه‌های هواشناسی است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۹).

محاسبه شدت جزایر حرارتی

شدت جزایر حرارتی (UHII) در این مطالعه با استفاده از رابطه ۱۲ و همچنین شاخص شدت جزایر حرارتی (UHIII) بر اساس رابطه ۱۳ استخراج شد. گفتنی است شاخص‌های UHII و UHIII دمای سطح زمین را با استفاده از مقادیر پوشش گیاهی یک ناحیه ارزیابی و بیشترین دما را در طبقات با پوشش گیاهی کم، متوسط و زیاد بررسی و با توجه به تأثیرات پوشش گیاهی بر دمای سطح زمین، شدت جزایر حرارتی را ارزیابی می‌کند (Feng et al., 2014; Chen and Zhang, 2017).

$$UHII = T_{OA} - T_{MH} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

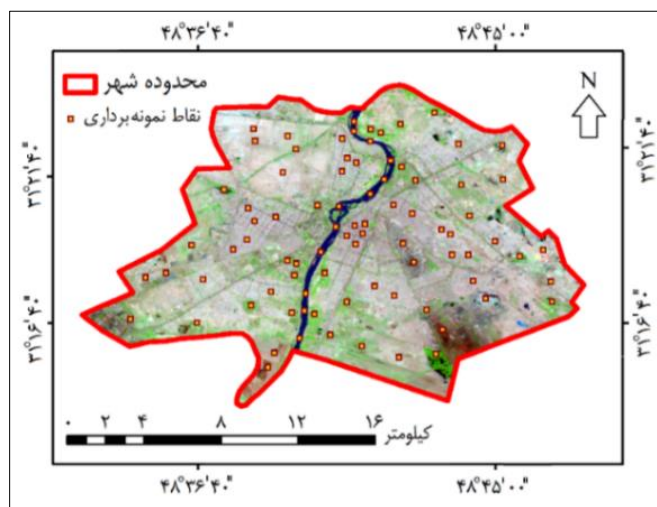
$$UHIII = (T_{OA} - T_{MH}) / T_{MH} = UHII / T_{MH} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

در این روابط، T_{OA} دمای سایر نواحی، و T_{MH} دمای نواحی با پوشش گیاهی زیاد است. این شاخص توزیع فضایی شدت جزایر حرارتی را محاسبه می‌کند (Feng et al., 2014). ارزش‌های بزرگ‌تر از ۰/۵ در این شاخص، نشان‌دهنده شدت جزایر حرارتی در مقیاس‌های زمانی مختلف است (Chen & Zhang, 2017).

یافته‌ها

بررسی تغییرات کاربری اراضی

در مرحله سیگمنت‌سازی، وزن پارامترهای مقیاس، شکل، فشردگی و باندهای تصویری، به شکل محسوسی در کیفیت تصویر تأثیر گذاشته و از این یافته می‌توان به توجیه افزایش کیفیت سیگمنت‌سازی استفاده کرد. پس از طبقه‌بندی تصاویر، صحت نقشه‌ها با نمونه‌های کنترلی بررسی شد. در برداشت نمونه از منطقه سعی شد تا نمونه‌ها از پراکنش مناسبی برخوردار باشند. با رعایت فواصل نمونه‌برداری محل نمونه‌ها در سطح هر کاربری به صورت تصادفی انتخاب شد (شکل ۴).

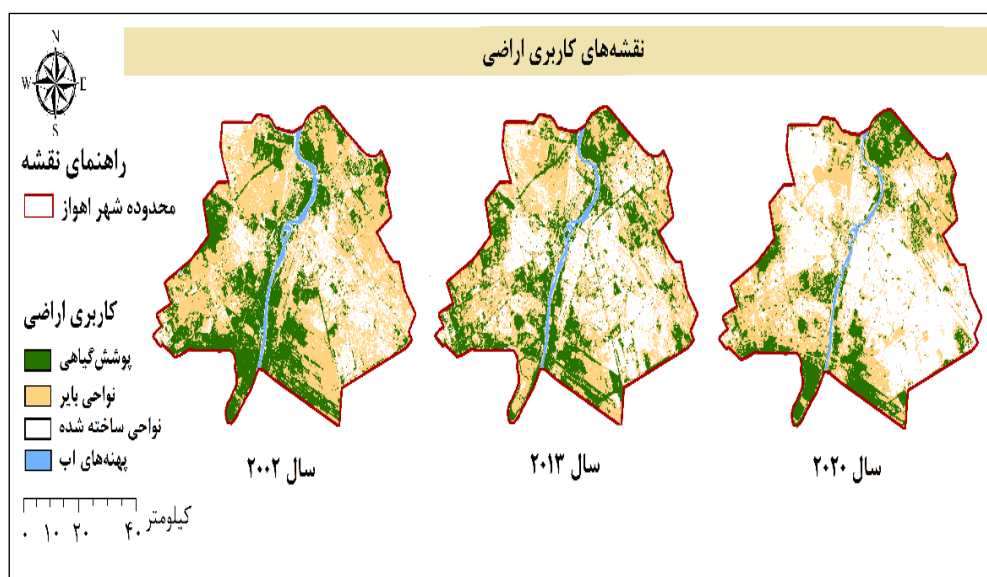


شکل ۴. موقعیت نقاط نمونه‌برداری

براساس نتایج اعتبارسنجی، ضرایب کاپا و صحت کلی برای نقشه‌های کاربری سال ۲۰۰۲ به ترتیب ۷۴ و ۷۶ درصد، برای سال ۲۰۱۳ به ترتیب ۷۸ و ۸۵ درصد و برای سال ۲۰۲۰ به ترتیب ۸۸ و ۹۳ درصد بوده است، بنابراین طبقه‌بندی از دقت خوبی برخوردار بوده است. در این پژوهش، هریک از نقشه‌های حاصله به چهار کلاس شامل پوشش گیاهی، نواحی بایر، نواحی ساخته‌شده و پهنه‌های آب تفکیک گردید (شکل ۵). مشخصات کلاس‌های کاربری در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. کاربری‌های طبقه‌بندی‌شده در تصاویر ماهواره‌ای

کلاس	کاربری
پوشش گیاهی	پارک‌ها، مجتمع‌های درختی، چمن، باغات و فضای سبز
نواحی بایر	فضاهای باز و نواحی بدون پوشش گیاهی اطراف شهر
نواحی ساخته‌شده	مناطق مسکونی، مراکز تجاری و صنعتی، خیابان‌ها و راه‌های ارتباطی
پهنه‌های آب	رودخانه کارون



شکل ۵. نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰

با توجه به نتایج به دست آمده، مساحت نواحی ساخته‌شده و نواحی بایر افزایش و مساحت پوشش گیاهی و پهنه‌های آب کاهش یافته است. به طوری که میزان تغییرات افزایشی کاربری نواحی ساخته‌شده که یکی از علل افزایش دمای سطح زمین است، از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ حدود ۵۷۷۹/۶۹ هکتار و روند کاهش پوشش گیاهی در همین دوره ۳۲۰۰/۱۵ هکتار بوده است. افزایش نواحی بدون پوشش گیاهی، یکی دیگر از دلایل افزایش دمای سطح زمین در این ناحیه است. براساس نتایج حاصله، نواحی بایر از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ ۲۵۲۱/۶۶ هکتار افزایش یافته است. در همین دوره زمانی، پهنه‌های آب حدود ۵۷/۸۹ هکتار از مساحت خود را از دست داده‌اند. میزان این تغییرات در بازه‌های زمانی مختلف در جدول ۳، آورده شده است.

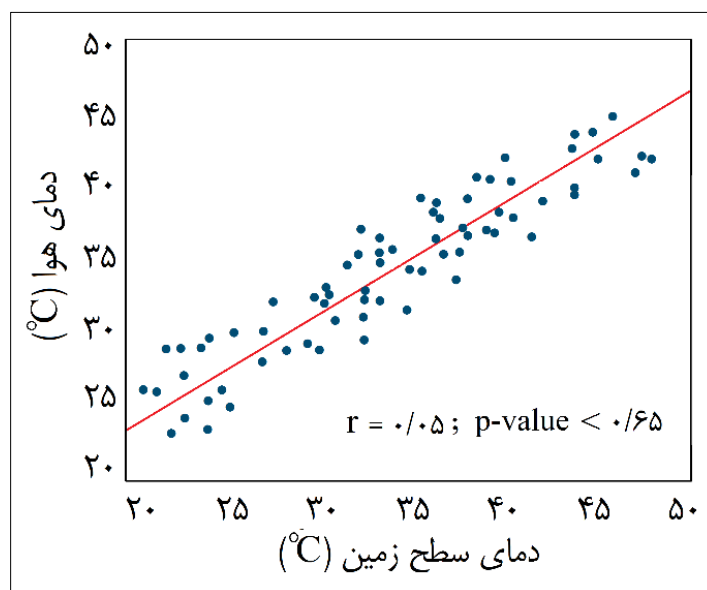
جدول ۳. مساحت کاربری اراضی در هر سال و میزان تغییرات آن‌ها

سال	مساحت کاربری اراضی (هکتار)			
	پهنه‌های آب	نواحی ساخته‌شده	نواحی بایر	پوشش گیاهی
۲۰۰۲	۴۳۲/۲۰	۴۳۳۹/۲۴	۷۷۱۰/۹۰	۶۸۹۷/۰۴
۲۰۱۳	۴۱۳/۹۴	۶۹۴۴/۱۶	۸۹۸۵/۵۴	۵۵۵۷/۳۹
۲۰۲۰	۳۷۴/۳۱	۱۰۱۱۸/۹۳	۱۰۲۳۲/۵۶	۳۶۹۶/۸۹
۲۰۱۳-۲۰۰۲	-۱۸/۲۶	+۲۶۰۴/۹۲	+۱۲۷۴/۶۴	-۱۳۳۹/۶۵
۲۰۲۰-۲۰۱۳	-۳۹/۶۳	+۳۱۷۴/۷۷	+۱۲۴۷/۰۲	-۱۸۶۰/۵۰
۲۰۲۰-۲۰۰۲	-۵۷/۸۹	+۵۷۷۹/۶۹	+۲۵۲۱/۶۶	-۳۲۰۰/۱۵

نتایج بررسی دمای سطح زمین

اعتبارسنجی نتایج الگوریتم مورد استفاده

دمای سطح زمین و دمای هوا دو متغیر محیطی متفاوت بوده که به با یکدیگر همبستگی دارند (ولی و همکاران، ۲۰۱۹). جهت بررسی رابطه دمای سطح زمین با دمای هوا بین این مقادیر، ضریب همبستگی پیرسون تعیین شد. برای تعیین ضریب همبستگی از مقادیر دمای موجود در ایستگاه هواشناسی اهواز مربوط به تاریخ اخذ تصاویر استفاده شده و سپس میانگین دمای هوا در هر سال مشخص و در ادامه ضریب همبستگی بین میانگین دمای هوا با میانگین دمای سطح زمین تعیین شد. ضریب همبستگی پیرسون بین این مقادیر ۰/۶۵ درصد در سطح ۰/۰۵ (در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۰) به دست آمده که ارتباطی مثبت را نشان می‌دهد (شکل ۶).



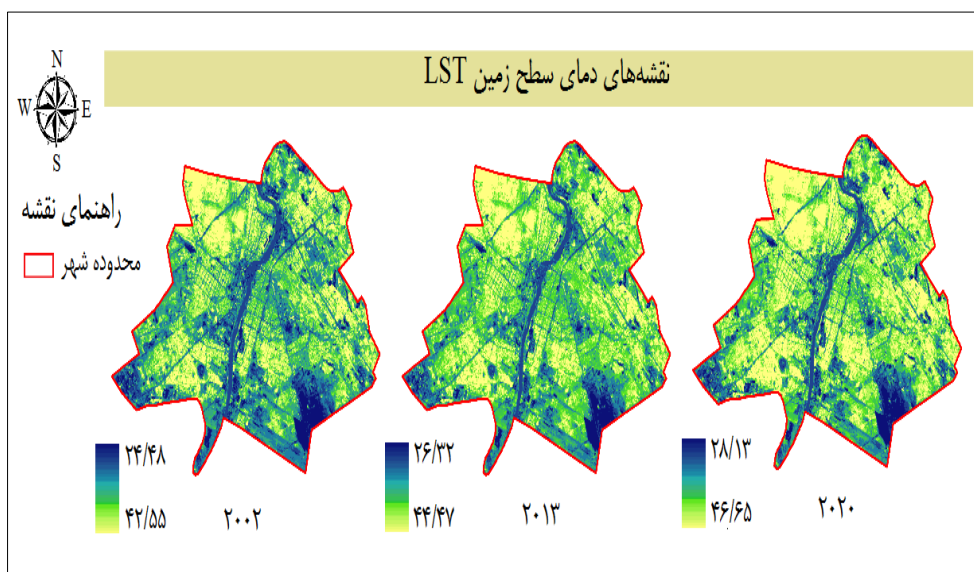
شکل ۶. رابطه بین دمای سطح زمین (LST) و دمای هوا

همبستگی مثبت بین دمای هوا و دمای سطح زمین، با نتایج مطالعه Mutiibwa و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. به صورتی که آن‌ها گزارش کردند بدون لحاظ داشتن اثرات فاکتورهای محیطی تغییرات دمای سطح زمین قادر به بیان دلیل افزایش دمای هوا خواهد بود. پس از تخمین دمای سطح زمین از تصاویر لندست، در نقاط برداشت زمینی اقدام به استخراج دما از نقشه‌های دمای سطح زمین گردید و سپس اقدام به برآزش رابطه بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمین زده‌شده دمای

سطح زمین از تصاویر لندست گردید. در این مطالعه، مقادیر خطای RMSE در مقایسه دمای محاسبه شده از الگوریتم پنجره مجزا و دمای میدانی، برای سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۱/۷۹، ۱/۶۶ و ۰/۹۸ درجه به دست آمد که بیانگر دقت الگوریتم پنجره مجزا در تخمین LST بوده است.

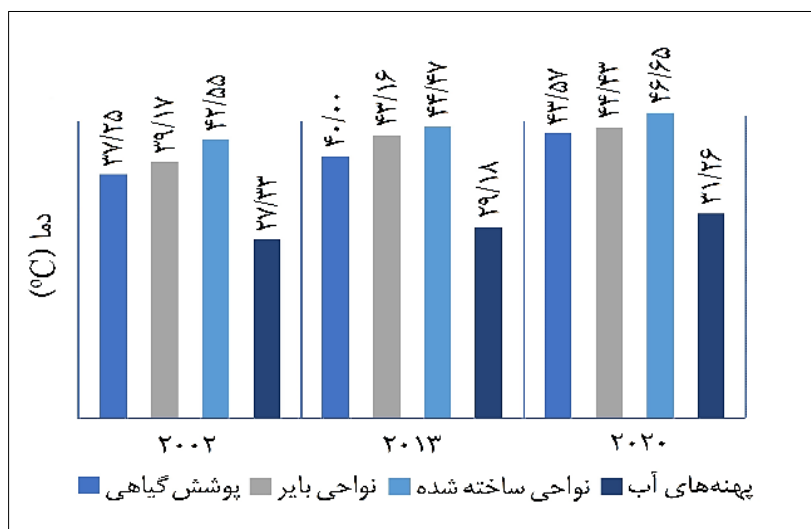
استخراج نقشه‌های دمای سطح زمین

با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و محاسبه روابط ریاضی، مقادیر لازم برای محاسبه دمای سطح زمین به دست آمدند. با جایگذاری کردن این مقادیر در فرمول محاسبه دمای سطح زمین، دمای منطقه در تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. مقادیر دما در تصاویر سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۷. نقشه‌های دمای سطح زمین در سال‌های مختلف

مقادیر LST در تصویر سال ۲۰۰۲ بین ۲۴/۴۸ تا ۴۲/۵۵، در تصویر سال ۲۰۱۳ بین ۲۶/۳۲ تا ۴۴/۴۷ و در تصویر سال ۲۰۲۰ بین ۲۸/۱۳ تا ۴۶/۶۵ درجه سلسیوس در نوسان بوده است. در سال ۲۰۰۲، دما در پوشش گیاهی بین ۳۱/۶۴ تا ۳۷/۲۵ درجه، در نواحی بایر بین ۳۵/۲۴ تا ۳۹/۱۷ درجه، در نواحی ساخته‌شده بین ۳۸/۳۰ تا ۴۲/۵۵ درجه و در پهناهای آب بین ۲۴/۴۸ تا ۲۷/۳۳ درجه سلسیوس متغیر بوده است. در سال ۲۰۱۳، دما در پوشش گیاهی بین ۳۲/۱۷ تا ۴۰ درجه، در نواحی بایر بین ۳۶/۷۷ تا ۴۳/۱۶ درجه، در نواحی ساخته‌شده بین ۴۰/۲۴ تا ۴۴/۴۷ درجه و در پهناهای آب بین ۲۶/۳۲ تا ۲۹/۱۸ درجه در نوسان بوده است. همچنین در سال ۲۰۲۰، دما در پوشش گیاهی بین ۳۳/۶۷ تا ۴۳/۵۷ درجه، در نواحی بایر بین ۳۶/۹۸ تا ۴۴/۴۳ درجه، در نواحی ساخته‌شده بین ۴۲/۰۹ تا ۴۶/۶۵ درجه و در پهناهای آب بین ۲۸/۱۳ تا ۳۱/۲۶ درجه متغیر بوده است. بر اساس نتایج، کمترین دما در پهناهای آب و بیشترین دما در نواحی ساخته‌شده بوده است. نتایج بررسی دمای سطح زمین، روندی افزایشی دما را طی دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد. استخراج بیشترین دمای هر کاربری (شکل ۸۹)، وضعیت دما را در هر کاربری مشخص می‌کند.



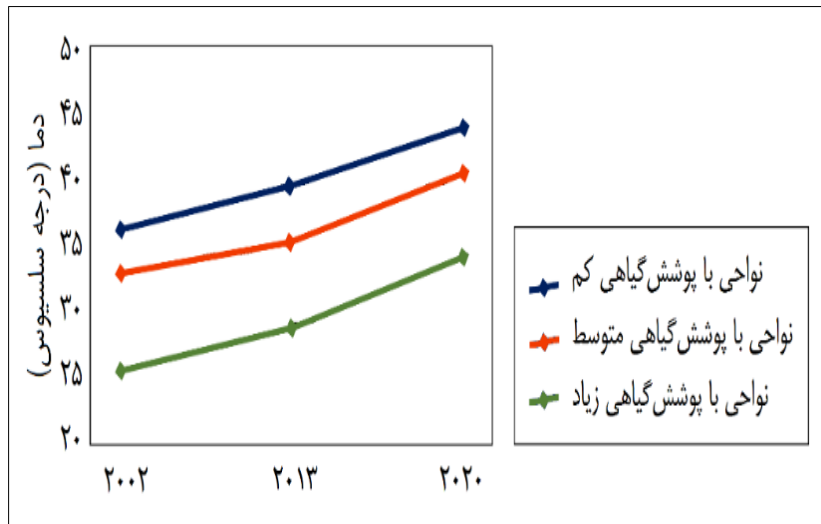
شکل ۸. بیشترین دما در طبقات کاربری‌ها (درجه سلسیوس)

پس از استخراج مقادیر LST، بیشترین دمای هر کاربری مشخص شد که نتایج حاکی از روند افزایشی دما در تمام کاربری‌ها بوده است. بر اساس این نتایج، روند کاهشی پوشش گیاهی تأثیر مستقیمی برافزایش دمای سطح زمین در این کاربری داشته است و با بررسی نتایج دمای سطح زمین مشخص می‌شود دمای این کاربری از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ حدود ۶/۳۲ درجه بیشتر شده است. با بررسی بیشترین دما در کاربری پوشش گیاهی به وضوح دیده می‌شود در سال ۲۰۰۲ که پوشش گیاهی نسبت به سال ۲۰۲۰ وضعیت بهتری داشته، دمای سطح زمین در این کاربری کم بوده است؛ اما در گذر زمان با تخریب و کاهش پوشش گیاهی، دما روندی افزایشی را در این نواحی داشته است. در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰، دمای سطح زمین در پهنه‌های آب حدود ۳/۹۳ درجه افزایش داشته، اما مقادیر دما در آن نسبت به دیگر کاربری‌ها کمتر بوده است. ظرفیت حرارتی زیاد آب منجر به کاهش دمای سطحی این پوشش‌ها نسبت به سایر کاربری‌ها می‌شود (رئیدی و احمدی، ۲۰۱۹). طی دوره زمانی ۱۸ ساله، دمای سطح زمین در مناطق ساخته شده و نواحی بایر به ترتیب ۴/۱۰ و ۵/۲۶ درجه افزایش یافته است. با بررسی بیشترین دما در این کاربری‌ها مشخص می‌شود؛ ارتباط مستقیمی بین افزایش دما با رشد نواحی ساخته شده و نواحی بایر وجود داشته است؛ به طوری که در سال ۲۰۰۲ که مناطق ساخته شده و نواحی بایر کمتر بوده، دمای این نواحی نیز کم بوده است. از بین عوامل ذکر شده، گسترش نواحی شهری و از بین رفتن پوشش گیاهی تأثیر بسزایی در افزایش دمای سطح زمین در دوره مورد مطالعه داشته است. تبدیل چشم‌اندازهای طبیعی شامل آب، خاک و گیاه (عوامل تأثیرگذار بر تعدیل و کاهش دمای سطح زمین) به چشم‌انداز مصنوعی شامل سیمان، آسفالت، خیابان، سنگفرش، مواد شیمیایی و فلزات، بعضی تغییرات را در جذب، پخش و بازتابش نور خورشید را ایجاد می‌کند و هم‌زمان با رشد و توسعه شهر موجب نگهداشت دما و افزایش دمای سطح زمین در این نواحی می‌شود و ادامه این روند به ایجاد یا تشدید پدیده جزایر حرارتی شهری می‌انجامد.

بررسی مکانی-زمانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی

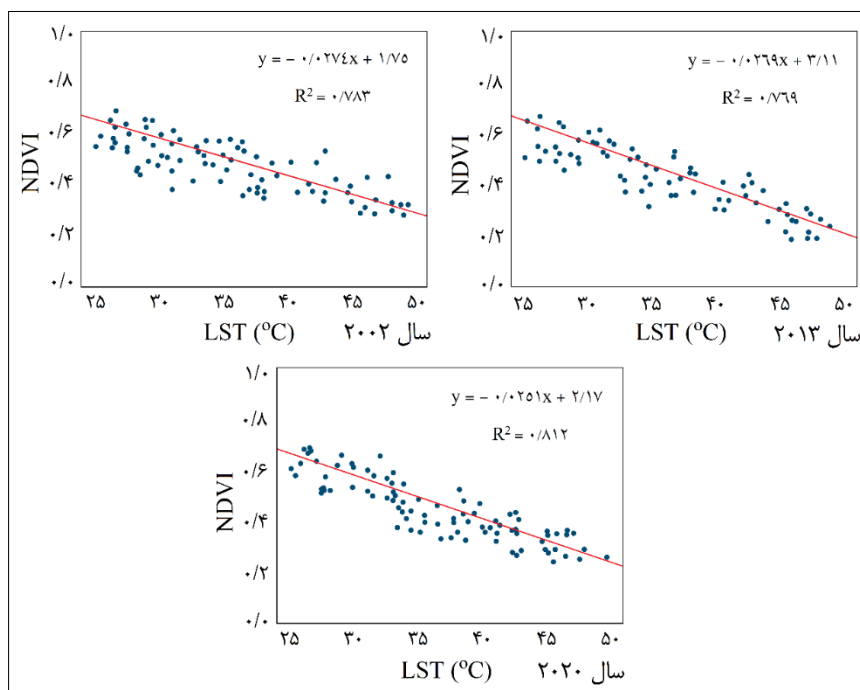
به منظور بررسی الگوهای مکانی-زمانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی، ابتدا با استفاده از مقادیر عددی شاخص NDVI وضعیت پوشش گیاهی منطقه در هر سال به سه طبقه پوشش گیاهی کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی شده و سپس دمای سطح زمین در هر طبقه مشخص گردید. همان‌طور که در شکل ۹ ملاحظه می‌شود، بیشترین دما در طبقه با

پوشش گیاهی کم اتفاق افتاده و طبقه با پوشش گیاهی زیاد، کمترین دما را در مقایسه با دو طبقه دیگر داشته است. این موضوع، تأثیرات کاهش پوشش گیاهی را بر افزایش دمای سطح زمین نشان می‌دهد.



شکل ۹. دمای طبقات پوشش گیاهی در دوره زمانی مورد مطالعه

پوشش گیاهی می‌تواند میزان گرمای ذخیره شده در خاک و ساختارهای سطحی را از طریق تعرق کاهش دهد (ولی و همکاریان، ۱۳۹۸). در مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم (NDVI بیشتر)، به این دلیل که پوشش گیاهی بیشتر منجر به تبخیر و تعرق بیشتر و انتقال دما و سرد شدن زمین شده میزان LST کاهش می‌یابد (Tian et al., 2017). در این پژوهش، برای ارزیابی رابطه بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی، می‌توان با روش‌های آماری میزان همبستگی این دو عامل را مورد بررسی قرار داد. این امر از طریق تجزیه و تحلیل رگرسیونی و مقایسه مقادیر دو متغیر LST و شاخص NDVI صورت گرفت. در شکل ۱۰، مقادیر دو متغیر LST و شاخص NDVI ارائه شده و میزان همبستگی این دو عامل مورد بررسی قرار گرفت. با به‌کارگیری این نمودارها می‌توان تغییرات دمای سطح زمین را در صورت تغییرات پوشش گیاهی پیش‌بینی نمود.



شکل ۱. تحلیل همبستگی دو متغیر دمای سطح زمین و شاخص NDVI

براساس نتایج، همبستگی بین این دو شاخص ($P < 0.01$) معنی‌دار و رگرسیون بین آن‌ها نشان‌دهنده همبستگی معکوس بود؛ به طوری که در مناطق با NDVI کم، دمای سطح زمین حداکثر و در مناطق با NDVI زیاد، دمای سطح زمین حداقل بود. شیب منفی این نمودارها، گویای ارتباط منفی قوی دمای سطح زمین با پوشش گیاهی بوده است. لذا پوشش گیاهی نقش مهمی در جلوگیری از تشکیل و یا کاهش شدت پدیده جزیره حرارتی ایفا می‌کند. نتایج مطالعات Alemu (۲۰۱۹) و Wang و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان داد که NDVI دارای همبستگی خطی معکوس با دمای سطح زمین است. بررسی الگوهای مکانی-زمانی جزایر حرارتی با محاسبه شاخص‌های UHII و UHIII صورت گرفت. نتایج بررسی شدت جزایر حرارتی (UHIII) برای سال‌های مورد مطالعه در جدول ۴، آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود افزایش شدت جزایر حرارتی با کاهش پوشش گیاهی رابطه مستقیم داشته است.

جدول ۴. نتایج شاخص شدت جزایر حرارتی

شاخص UHIII			NDVI	پوشش گیاهی
۲۰۲۰	۲۰۱۳	۲۰۰۲		
۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۰-۳۹/۲۱	کم
۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۰-۵۷/۳۹	متوسط
۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۰-۷۵/۵۷	زیاد

براساس نتایج، شدت جزایر حرارتی طی سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۲۰، روند رو به رشدی داشته و مقادیر UHIII در طبقه با پوشش گیاهی کم از ۰/۶۳ به ۰/۶۷، در طبقه با پوشش گیاهی متوسط از ۰/۵۷ به ۰/۶۱ و در طبقه با پوشش گیاهی زیاد از ۰/۵۱ به ۰/۵۴ رسیده است. بیشترین شدت جزایر حرارتی در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ به ترتیب در نواحی جنوبی، شرقی و شمال غربی شهر بوده است. وجود اراضی بایر و بدون پوشش گیاهی در نواحی جنوبی، استقرار صنایع تولیدکننده

گرما و گازهای گلخانه‌ای در نواحی شرقی و توسعه مناطق مسکونی و تجاری در نواحی شمال غربی، از عوامل اصلی تشدید جزایر حرارتی در این نواحی بوده است. پوشش گیاهی با توجه به نقش تعدیل‌کننده خود تأثیر زیادی در کاهش دمای سطح زمین و شدت جزایر حرارتی در این نواحی دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی و پایش تغییرات کاربری اراضی در شهر اهواز، روند افزایشی مساحت کاربری نواحی ساخته‌شده شامل مناطق مسکونی، مراکز تجاری و صنعتی، خیابان‌ها و راه‌های ارتباطی و کاربری نواحی بایر شامل فضاهای باز و نواحی بدون پوشش گیاهی را طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ نشان داد. طی همین دوره از مساحت پوشش گیاهی و پهنه‌های آب کاسته شد. براساس نتایج بررسی دمای سطح زمین، کمترین دما در پهنه‌های آب و بیشترین دما در نواحی ساخته‌شده بوده است. پس از تخمین دمای سطح زمین، بیشترین دمای هر کاربری مشخص شد که نتایج نشان‌دهنده روند افزایش دما در تمام کاربری‌ها بوده است. تغییرات کاربری اراضی، موجب افزایش دمای سطح زمین طی دوره زمانی ۱۸ ساله شده است؛ به طوری که با بررسی بیشترین دمای هر کاربری مشخص می‌شود بیشترین دما در مناطق ساخته‌شده و نواحی بایر روی داده است؛ که این موضوع به دلیل افزایش مساحت نواحی ساخته‌شده و نواحی بایر بوده است. کاهش پوشش گیاهی، تأثیر مستقیمی بر افزایش دمای سطح زمین در این کاربری داشته است. با بررسی بیشترین دما در کاربری پوشش گیاهی به وضوح دیده می‌شود در سال ۲۰۰۲ که پوشش گیاهی وضعیت بهتری داشته، دمای سطح زمین در این کاربری کم بوده است. اما در گذر زمان با کاهش پوشش گیاهی، دما روندی افزایشی را در این نواحی داشته است. جهت بررسی الگوهای مکانی-زمانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی از شاخص‌های NDVI، UHII، UHIII و مقادیر دمای سطح زمین استفاده شد. نتایج حاکی از دمای زیاد در طبقات با پوشش گیاهی کم است. به دلیل وجود همبستگی بین دمای سطح زمین و شاخص NDVI، لزوم و اهمیت حفاظت و نگهداری کاربری پوشش گیاهی به عنوان یک متغیر بسیار مهم جهت تعدیل دمای هوای شهر ضروری به نظر می‌رسد. براساس نتایج شاخص‌های UHII و UHIII شدت جزایر حرارتی طی دوره زمانی مورد مطالعه، روند افزایشی داشته و بیشترین شدت جزایر حرارتی در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ به ترتیب در نواحی جنوبی، شرقی و شمال غربی شهر بوده است. از شاخص‌های UHII، UHIII در مطالعات Shi و همکاران (۲۰۱۷) و شعبانی و همکاران (۱۳۹۷) استفاده و نتایج پذیرفته‌ای در زمینه پایش مکانی-زمانی دمای سطح زمین ارائه شده است؛ نتایج این مطالعات در راستای نتایج مطالعه حاضر بوده است. تأثیر تغییرات کاربری بر دمای سطح زمین نیز در مطالعات اکبری و همکاران (۱۳۹۴) و درویشی و همکاران (۱۳۹۸) همانند مطالعه حاضر نشان داده شده است؛ زیرا مقایسه نتایج این مطالعات با مطالعه حاضر، بیان‌کننده تأثیر کاهش پوشش گیاهی و رشد نواحی مسکونی بر افزایش دمای سطح زمین است. جزایر حرارتی شهر اهواز به طور عمده ناشی از نواحی مسکونی و تجاری، زمین‌های بایر و محدوده‌های صنعتی است که در رابطه با صنایع و نواحی مسکونی، توجه به پوشش گیاهی مناسب در مجاورت این گونه کاربری‌ها جهت کنترل اثرات منفی آن‌ها ضروری است. اراضی بایر به جهت شور بودن خاک، دارای قشری از نمک بوده و دارای عناصری همچون رس، سدیم، کلسیم با توان تشعشعی بالا می‌باشد، در نتیجه باعث تشعشعات حرارتی می‌شوند. به طور کلی، میزان تابعیت دما از کاربری اراضی تا حد زیادی در منطقه از پراکنش جغرافیایی زمین‌های بایر پیروی می‌کند. لذا ضروری است با مدیریت مناسب نسبت به تغییر کاربری آن‌ها اقدام صورت گیرد. این موضوع می‌تواند راهنمای تدوین برنامه‌های محیطی و طراحی روش‌های یکسان تقلیل کاهش دما همچون برنامه‌های فضای سبز بر مبنای سیاست‌های کلی پایداری محیط از قبیل

گسترش فضاهای سبز و ایجاد پارک و باغات در داخل و اطراف شهر، احداث آب‌نماها و دریاچه‌های مصنوعی در سطح شهر با پراکنش مناسب، استفاده از مبلمان شهر متناسب با اقلیم، استفاده از مصالح مناسب در نماسازی، استفاده از سنگفرش به‌جای آسفالت باشد.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

- ۱) ابراهیمی هروی، بهروز؛ رنگزن، کاظم؛ ریاحی بختیاری، حمیدرضا و تقی زاده، ایوب. (۱۳۹۵). تعیین مناسب‌ترین روش استخراج دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ در کلان‌شهر کرج. *سنجش از دور و GIS/ایران*، ۱ (۳)، ۷۶-۵۹.
- ۲) اصغری سراسکانرود، صیاد و امامی، هادی. (۱۳۹۸). پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و ETM، مطالعه موردی: (شهرستان اردبیل). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۹ (۵۳)، ۲۱۵-۱۹۵.
- ۳) اکبری، الهه؛ ابراهیمی، مجید؛ نژادسلیمانی، حمید و فیضی‌زاده، بختیار. (۱۳۹۴). ارزیابی دمای سطح زمین در ارتباط با روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان)، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۶ (۴)، ۱۷۰-۱۵۱.
- ۴) المدرسی، سیدعلی؛ رحیم‌آبادی، ابوالفضل و خضری، صادق. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی و مقایسه دمای سطح زمین با استفاده از دو باند حرارتی ۱۰ و ۱۱ تصویر لندست ۸، (مطالعه موردی شهرستان بهشهر). *نخستین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمایش سرزمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یزد*.
- ۵) انتظار، علیرضا؛ زندی، رحمان و خسروی، مریم. (۱۳۹۷). ارزیابی تغییرات فضایی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر لندست و مادیس، مطالعه موردی: استان فارس ۲۰۱۷-۱۹۸۶. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۱ (۴)، ۹۲۹-۹۴۰.
- ۶) احمدی، بهروز؛ قربانی، اردوان؛ صفراد، طاهر و سبحانی، بهروز. (۱۳۹۴). بررسی دمای سطح زمین در رابطه با کاربری و پوشش اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۶ (۱)، ۶۱-۷۷.
- ۷) اندریانی، صغری؛ نیکجو، محمدرضا؛ رضایی مقدم، محمدحسین و مختاری، داوود. (۱۳۹۶). تحلیل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های شیء‌گرا و زنجیره مارکف در حوضه آبریز زلیبیرچای واقع در آذربایجان شرقی و غربی. *جغرافیا و توسعه*، ۱۶ (۵۳)، ۵۰-۱۳۷.
- ۸) پورامین، کتابون؛ خاتمی، سید مهدی و شمس‌الدینی، علی. (۱۳۹۸). عوامل مؤثر بر شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری؛ با تأکید بر ویژگی‌ها و چالش‌های طراحی شهری. *گفت‌وگو طراحی شهری*، ۱ (۱)، ۶۹-۸۳.
- ۹) جویباری مقدم، یاسر؛ آخوندزاده، مهدی و سراجیان، محمدرضا. (۱۳۹۴). ارائه یک الگوریتم پنجره مجزا نوین به‌منظور تخمین دمای سطح زمین از داده‌های ماهواره لندست-۸. *علوم و فنون نقشه‌برداری*، ۵ (۱)، ۲۱۵-۲۲۶.
- ۱۰) حاجی بیگلر، محبوبه؛ بردی شیخ، واحد؛ معماریان، هادی و بایرام کمکی، چوقی. (۱۳۹۸). ارزیابی طبقه‌بندی نظارت‌شده شیء‌گرا و پیکسل‌پایه در استخراج کاربری اراضی بر مبنای دو شاخص اختلاف کمی و مکانی در حوزه آبخیز گرگان رود. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۰ (۴)، ۱-۲۰.
- ۱۱) حیدری، مسعود؛ و آخوندزاده هنزائی، مهدی. (۱۳۹۹). توسعه یک الگوریتم پنجره مجزا برای بازیابی دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۳. *مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، ۱ (۲)، ۹۳-۱۱۳.
- ۱۲) درویشی، شادمان؛ رشیدپور، مصطفی و سلیمانی، کریم. (۱۳۹۸). بررسی ارتباط تغییرات کاربری اراضی با دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مطالعه موردی: شهرستان مریوان. *جغرافیا و توسعه*، ۱۷ (۵۴)، ۱۴۳-۱۶۲.
- ۱۳) رضایی مقدم، محمدحسین؛ رضایی بنفشه، مجید؛ فیضی‌زاده، بختیار و نظم فر، حسین. (۱۳۹۸). طبقه‌بندی پوشش اراضی/

- کاربری اراضی براساس تکنیک شیء گرا و تصاویر ماهواره‌ای، مطالعه موردی: استان آذربایجان غربی. پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، ۲۳ (۲)، ۱۹-۳۲.
- ۱۴) روستائی، شهرام؛ مختاری، داوود؛ ولی زاده کامران، خلیل و خدائی قشلاق، لایلا. (۱۳۹۷). مقایسه روش پیکسل پایه (بیشترین شباهت) و شیء گراء (ماشین بردار پشتیبان) در طبقه‌بندی کاربری اراضی (منطقه اهر- ورزقان). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱ (۱)، ۱۱۸-۱۲۹.
- ۱۵) سبزی پرور، علی‌اکبر؛ فخاری زاده شیرازی، الهام؛ ناظم السادات، سید محمدجعفر و رضایی، یوسف. (۱۳۹۵). اعتبارسنجی دمای سطح زمین از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و لندست-۵ (مطالعه موردی: مزارع گندم دشت مرودشت). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳ (۴)، ۲۵-۴۳.
- ۱۶) سلمانی، سعید؛ ابراهیمی، حمید؛ محمد زاده، کیوان و ولی زاده کامران، خلیل. (۱۳۹۶). ارزیابی تکنیک‌های مختلف طبقه‌بندی شیء گراء در استخراج کاربری اراضی از تصاویر ماهواره آیکونوس. اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۸ (۱۱۱)، ۲۰۵-۲۱۵.
- ۱۷) شعبانی، مرتضی؛ درویشی، شادمان و سلیمانی، کریم. (۱۳۹۸). بررسی آثار تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای زمانی- مکانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی؛ مطالعه موردی: شهرستان سفز. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۰ (۱)، ۳۷-۵۴.
- ۱۸) علوی پناه، سید کاظم؛ احسانی، امیر هوشنگ؛ متین فر، حمیدرضا؛ رفیعی امام، عمار و امیری، رضا. (۱۳۸۵). مقایسه محتوای اطلاعاتی باندهای سنجنده‌های TM و ETM در محیط‌های بیابانی و شهری ایران. پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۸ (۱)، ۴۷-۶۴.
- ۱۹) فیضی‌زاده، بختیار؛ دیده بان، خلیل و غلام نیا، خلیل. (۱۳۹۴). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا، مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد. اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۵ (۹۸)، ۱۷۱-۱۸۱.
- ۲۰) قربان‌نیا خیبری، وجیهه؛ میرسنجری، میرمهرداد؛ لیاقتی، هومان و آرمین، محسن. (۱۳۹۶). برآورد دمای سطح زمین کاربری اراضی و پوشش زمین شهرستان دنا با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و داده‌های ماهواره لندست ۸. علوم محیطی، ۱۵ (۲)، ۷۴-۵۵.
- ۲۱) کاظمی قراچه، محمد؛ سلیمانی، بهنام و فیضی زاده، بختیار. (۱۳۹۹). ارزیابی انواع الگوریتم‌های پنجره مجزا برای محاسبه دمای سطح زمین جهت تعیین بهترین الگوریتم برای تصاویر سنجنده مودیس. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۱ (۲)، ۱۰۶-۱۲۷.
- ۲۲) کیانی‌سلمی، الهام؛ و ابراهیمی، عطاالله. (۱۳۹۷). ارزیابی تأثیر توسعه شهری و تغییرات پوشش اراضی بر دمای سطح زمین در شهر شهرکرد. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۹ (۴)، ۱۰۲-۱۱۸.
- ۲۳) ناطقی، سعیده؛ نوحه‌گر، احمد؛ هوشنگ احسانی، امیر و بذرافشان، ام‌البنین. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات پوشش گیاهی براساس شاخص‌های گیاهی با استفاده از سنجش از دور. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۴ (۴)، ۷۷۸-۷۹۰.
- ۲۴) ولی، عباسعلی؛ رنجبر، ابوالفضل؛ مکرم، مرضیه و تاروی پناه، فریده. (۱۳۹۸). بررسی رابطه بین دمای سطح زمین، ویژگی‌های جغرافیایی و محیطی و شاخص‌های بیوفیزیکی با استفاده از تصاویر لندست. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰ (۳۶)، ۳۵-۵۸.
- ۲۵) هاشمی، سید محمود؛ علوی‌پناه، سید کاظم و دیناروندی، مرتضی. (۱۳۹۱). توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط‌زیست شهری با کاربرد سنجش از دور حرارتی. محیط‌شناسی، ۳۹ (۱)، ۸۱-۹۱.
- ۲۶) یوسفی، صالح؛ تازه، مهدی؛ میرزایی، سمیه؛ مرادی، حمیدرضا و توانگر، شهلا. (۱۳۹۳). مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵ (۳)، ۶۷-۷۶.

References

- 1) Ahmadi, B., Ghorbani, A., Safarrad, T., & Sobhani, B. (2015). Evaluation of surface temperature in relation to land use/cover using remote sensing data. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 6(1), 61-77. [In Persian]
- 2) Alemu, M. M. (2019). Analysis of spatio-temporal land surface temperature and normalized difference vegetation index changes in the Andassa watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. *Journal of Resources and Ecology*, 10(1), 77-86.

- 3) Almodaresi, A., RahimAbadi, A., & Khezri, S. (2014). Zoning and comparison of ground surface temperature using two thermal bands 10 and 11 Landsat 8 image (Case study of Behshahr city). *National Conference on the Application of Advanced Spatial Analysis Models (Remote Sensing and GIS) in Land Management, Islamic Azad University, Yazd Branch*. [In Persian].
- 4) Artis, D.A., & Carnahan, W. (1982). Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12 (4), 313-329.
- 5) Akbari, E., Ebrahimi, M., Fiezizadeh, B., & Nezhadsoleimani, H. (2016). Evaluating Land Surface Temperature related to the Land use Change Detection by Satellite Image (Case study: Taleghan Basin). *Geography and Environmental Planning*, 26(4), 151-170. [In Persian].
- 6) Andareiani, S., Nikgoo, M., Rezaei Moghaddam, M., & Mokhtari, D. (2018). Analysis of Land Use Change Using Object Oriented and Markov Chains in the Zilberhay Basin in East Azarbaijan and West. *Geography And Development Iranian Journal*, 16(53), 37-50. [In Persian]
- 7) Asghari, S., & Emami, H. (2019). Monitoring the earth surface temperature and relationship land use with surface temperature using of OLI and TIRS Image. *researches in Geographical Sciences*, 19 (53), 195-215. [In Persian]
- 8) Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., & Holtslag, A.A. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL), 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 12, 198-212.
- 9) Brian, W.S., Chen, Q., & Borger, M., (2011), A Comparison of Classification Techniques to Support Land Cover and Land Use Analysis in Tropical Coastal Zones. *Applied Geography*, 31(2), 525-532.
- 10) Chen, X., & Zhang, Y., (2017), Impacts of urban surface characteristics on spatiotemporal pattern of land surface temperature in Kunming of China. *Sustainable Cities and Society*, 32 (6), 87-99.
- 11) Darvishi, S., Rashidpour, M., & Soleimani, K. (2019). Analysis of Land Use Role in the Formation of Thermal Islets of Marivan County Using Landsat Satellite Images. *Geography and Development Iranian Journal*, 17(54), 143-162. [In Persian].
- 12) Ebrahimi Heravi B., Rangzan K., Riahi Bakhtiari H.R., & Taghi Zadeh A. (2016). Introducing the Most Appropriate Method to Extract Land Surface Temperature Using Landsat 8 Satellite Images in Karaj Metropolitan. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 8(3), 59-76. [In Persian].
- 13) Ebrahimi, A., & Kiani Salmi, E. (2019). Assessing the impact of urban expansion and land cover changes on land surface temperature in Shahrekord city. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 9(4), 102-118. [In Persian].
- 14) EPA. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. Urban Heat Island Basics. www.epa.gov. [Online] October 2008.
- 15) Entezari, A., Zandi, R., & Khosravian, M. (2019). Evaluation of spatial variations of vegetation and surface temperature using Landsat and midsize images, case study: Fars Province 1967-2017. *Watershed Engineering and Management*, 11(4), 929-940. [In Persian].
- 16) Feizizadeh, B., Didehban, K., & Gholamnia, K. (2016). Extraction of Land Surface Temperature (LST) based on Landsat Satellite Images and Split Window Algorithm Study area: Mahabad Catchment. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(98), 171-181. [In Persian].
- 17) Feng, H.H., Zhao, X.F., Chen, F., & Wu, L.C. (2014). Using land use change trajectories to quantify the effects of urbanization on urban heat island. *Advances in Space Research*, 53(3),

- 463-473.
- 18) Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordonez, J. (2013). The City and Urban Heat Islands: A Review of Strategies to Mitigate Adverse Effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25(25), 749-758.
 - 19) Ghorbannia, V., Mirsanjari, M., Liaghati, H., & Armin, M. (2017). Estimating land surface temperature of land use and land cover in Dena county using single window algorithm and landsat 8 satellite data. *Environmental Sciences*, 15(2), 55-74. [In Persian]
 - 20) Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X., & Zhang, X. (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning*, 135 (3),1-10.
 - 21) Halabian, A., & Soltani, Z. (2020). Analysis of spatial- temporal variation of urban thermal islands and landuse based on an environmental approach in Shiraz. *Urban Structure and Function Studies*, 7(24), 73-97. [In Persian].
 - 22) Hashemi, S., Alavipanah, S., & Dinarvandi, M. (2013). LST Assessment Using Thermal Remote Sensing in Urban Environment. *Journal of Environmental Studies*, 39(1), 81-92. [In Persian].
 - 23) Hajibigloo, M., Sheikh, V., Memarian, H., & Komaki, C. (2019). Determination of quantity and allocation disagreement indices in selection of appropriate algorithm for land use classification in pixel and objected base in Gorgarood river basin. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(4), 1-20. [In Persian]
 - 24) Heydari, M., & Akhoondzadeh Hanzaei, M. (2020). Development a split window algorithm to estimate land surface temperature from Sentinel -3 satellite data. *jgit*, 8 (2):93-113. [In Persian].
 - 25) How Jin, A., Darren Hasmadi, I., & Mohd Melissa Muharam, F. (2020). Land Use/Land Cover Changes and the Relationship with Land Surface Temperature Using Landsat and MODIS Imageries in Cameron Highlands, Malaysia. *Land*, 9(10), 1-23.
 - 26) Jonsson, L. (2015). *Evaluation of Pixel Based and Object Based Classification Methods for Land Cover Mapping with High Spatial Resolution Satellite Imagery*. in the Amazonas, Brazil.
 - 27) Jouybari Moghaddam, Y., Akhoondzadeh, M., & Saradjian, M. R. (2015). A Split-Window Algorithm for Estimating LST from Landsat-8 Satellite Images. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 5(1), 215-226. [In Persian].
 - 28) Kakehmami, A., Ghorbani, A., Asghari Sarasekanrood, S., Ghale, E., & Ghafari, S. (2020). Study of the relationship between land use and vegetation changes with the land surface temperature in Namin County. *Journal of RS and GIS for natural recources*, 11(2(39)), 27-48. [In Persian].
 - 29) Kazemi Garajeh, M., Salmani, B., & Feizizadeh, B., (2020). Evaluating the types of split window algorithms for calculating the land surface temperature to determine the best algorithm for MODIS sensor images. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11(2), 106-127. [In Persian].
 - 30) Khandelwal, S., Goyal, R., Kaul, N., & Mathew, A. (2017). Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*.
Khedmatzadeh, A., mousavi, M., Mohamadi Torkamani, H., & Mohammadi, M. (2021). An Analysis of Land Use Changes and Thermal Island Formation in Urmia City exclusion Using Remote Sensing. *Regional Planning*, 11(41), 119-134. [In Persian].
 - 31) Liu, L. & Zhang, Y. (2011). urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(7), 1535-1552.

- Mutiibwa, D., Strachan, S., & Albright, T. (2015) Land surface temperature and surface air temperature in complex terrain. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(10), 4762-4774.
- 32) Mitraka, Z., Chrysoulakis, N., Doxani, G., Del Frate, F., & Berger, M. (2015). Urban surface temperature time series estimation at the local scale by spatial-spectral unmixing of satellite observations. *Remote Sensing*, 7(4), 4139-4156.
- 33) Nateghi, S., Nohegar, A., Ehsani, A., & Bazrafshan, O. (2017). Evaluating the vegetation changes upon vegetation index by using remote sensing. *Pasture and desert research of Iran*, 24(4), 778-790. [In Persian].
- 34) Palafox-Juárez, E. B., López-Martínez, J. O., Hernández-Stefanoni, J. L. & Hernández-Núñez, H. (2021). Impact of Urban Land-Cover Changes on the Spatial-Temporal Land Surface Temperature in a Tropical City of Mexico. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 10, 76. <https://doi.org/10.3390/ijgi10020076> Academic Editors: Wolfgang Kainz and Diana Reckie.
- 35) Pouramin, K., Khatami, M., & Shams Al-Dini, A. (2019). Factors affecting the formation of urban thermal islands with emphasis on the features and challenges of urban design. *Urban Design Discourse*, 1(1), 69-83. [In Persian].
- 36) Rezaeimogadam, M. H., Rezaeibanfsh, M., Feizizadeh, B., & Nazmfar, H. (2011). Land use /land cover classification based on Object-oriented technique and satellite image Case study: West Azerbaijan Provinces. *Watershed Management Research (Pajouhesh-va-Sazandegi)*, 23(2), 19-32. [In Persian]
- 37) Reisi, M., Ahmadi, M., & Aye, L., (2019). Remote sensing for urban heat and cool islands evaluation in semi-arid areas. *Environmental Science and Management*, 5(3), 319-330.
- 38) Roostaei, S., Mokhtari, D., Valizadeh Kamran, K., Khodaei & Geshlag, L. (2019). Comparison of Pixel-based Algorithm (maximum likelihood) and Object-based Method (Support Vector Machine) in Classification of Land Use (Ahar-Varzeghan Area). *Quantitative Geomorphological Research*, 8(1), 118-129. [In Persian].
- 39) Rose, L., & Devadas, M. (2009). Analysis of Land Surface Temperature and Land Use/Land Cover Types Using Remote Sensing Imagery-A Case in Chennai City, India. *Conference: The Seventh International Conference on Urban, Yokohama, Japan*.
- 40) Sabziparvar, A.A., Fakharizadeh Shirazi, E., Nazemosadat, M.J., & Rezaei, Y. (2016). Validation of Land surface Temperature (LST) from Landsat-5 and MODIS Images (Case study: Wheat fields of Marvdasht Plain). *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(4), 25-43. [In Persian].
- 41) Salmani, S., Ebrahimy, H., Mohammadzade, K., & Valizadeh Kamran, K. (2019). Evaluating efficiency of object-based classification techniques used to extract land use from IKONOS satellite imageries. *Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(111), 205-215. [In Persian].
- 42) Shabani, M., Darvishan, S., & Solaimani, K. (2019). Investigating the Effects of Land Use Change on Spatiotemporal Patterns of Land Surface Temperature and Thermal Islands (Case Study: Saqqez County). *Geography and Environmental Planning*, 30 (1), 37-54. [In Persian].
- 43) Sekertekin, A. & Bonafoni, S. (2020). Land surface temperature retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over rural areas: assessment of different retrieval algorithms and emissivity models and toolbox implementation. *Remote Sensing*, 12(2), 1-32.
- 44) Shi, Y., Katzschner, L. & Ng, E., (2017). Modelling the fine-scale spatiotemporal pattern of urban heat island effect using land use regression approach in a megacity. *Science of the Total Environment*, 618 (15), 891-904.
- 45) Srivastava, P.K., Majumdar, T.J. & Bhattacharya, A.K., (2009). Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data.

Advances in space research, 4, 1563–1574.

- 46) Tian, Y., Bai, X., Wang, S., Qin, L., & Li, Y. (2017). Spatial-temporal changes of vegetation cover in Guizhou Province, Southern China. *Chinese Geographical Science*, 27(1), 25-38.
- 47) Vali, A., Ranjbar, A., Mokarram, M., & Taripanah, F., (2019). an investigation of the relationship between land surface temperatures, geographical and environmental characteristics, and biophysical indices from Landsat images. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10 (3), 35-58. [In Persian]
- 48) Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3), 370-384.
- 49) Wang, M., He, G., Zhang, Z., Wang, G., Wang, Z., Yin, R., Cui, S., Wu, Z. & Cao, X. (2019). a radiance-based split-window algorithm for land surface temperature retrieval: Theory and application to MODIS data. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 76, 204-217.
- 50) Wang, Y., Ch., B., Hu., S.W., Myint., Ch., Feng., Ch., Chow, W.T.L. & Passy, P.F. (2018). Patterns of land change and their potential impacts on land surface Temperature change in Yangon, Myanmar. *Science of The Total Environment*, 643, 738-750.
- 51) Wang, H., Zhang, Y., Tsou, J., & Li, Y., (2017), Surface urban heat island analysis of Shanghai (China) based on the change of land use and land cover. *Sustainability*, 9 (9), 1538.
- 52) Weng, Q., (2009), Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335-344.
- 53) Xu, H., Chen, Y., Dan, S., & Qiu, W. (2011). Spatial and temporal analysis of urban heat Island effects in Chengdu City by remote sensing. *In Geoinformatics, 2011 19th International Conference on (pp. 1-5). IEEE.*
- 54) Yousefi, S., Tazeh, M., Mirzaee, S., Moradi, H., & Tavangar, S. (2014). Comparison of different classification algorithms in satellite imagery to produce land use maps (Case study: Noor city). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(3), 67-76. [In Persian].
- 55) Yarahmadi, J., Rostamizad, G. & Saei, H. (2019). Detection of changes in forest cover in an object-oriented way using satellite images in the Ilgneh watershed of Arasbaran forest tea. *Conservation and Exploitation of Hyrcanian Forests*, 1(2), 59-70, [In Persian].
- 56) Zhang, X.X., Wu, P.F. & Chen, B. (2010). Relationship between vegetation greenness and urban heat island effect in Beijing City of China. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1438–1450.