

# The Effect of Climatic Conditions on Spatio-Temporal Changes and biophysical Characteristics of cities Using Satellite Images

**Bahare sadat mousavi** - Department of Geographical Information System and Remote Sensing, Faculty of Geography, University of Tehran, Teharn, Iran.

**Ata Abdollahi kakroodi**<sup>1</sup> - Department of Geographical Information System and Remote Sensing, Faculty of Geography, University of Tehran, Teharn, Iran.

**Samane Arvandi** - Ministry of Agriculture-Jahad, Deputy of water and soil, Karaj, Iran.

Received: 18 September 2022      Accepted: 6 January 2023

## Highlights

- Using the quantitative method of oppression analysis of tall buildings, one can judge the location of an urban tall building.
- A quantitative study of the psychological effects of tall buildings can be a complementary method to laboratory studies in this field.
- Using the EFA method, the underlying characteristics of perceptual-psychological variables were grouped in terms of quality as pleasant, depressing, green, or remarkable.

## Extended abstract

### Introduction

Globally, the physical growth of cities is recognized as a major threat to natural and ecological resources, with a variety of effects including land use change, increased pollution, increased earth surface temperatures, and climate change in both urban and non-urban areas. Planning to minimize the negative environmental effects of urban growth can be aided by quantifying and monitoring the changes caused by urban development in the Tasseled cap of the surface. Urban management and planning can also be derived from the quantitative and qualitative effects of climatic conditions on the type and amount of changes in the Tasseled cap of the surface due to physical expansion of the cities. Furthermore, weather conditions are the primary and effective factor on the type and amount of changes in the Tasseled cap properties of the surface. Considering field measurement is a time-consuming and expensive technique, remote sensing technology will be helpful and effective to overcome this challenge because of its large and continuous coverage, immediate access, and availability of data at various local, regional, and global scales.

### Theoretical Framework:

Urbanization leads to an increase in land surface temperature (LST). In general, at the patch scale, the more compact the urban growth, the more easily the surface warmed. In most temperature zones, it was found that edge expansion and infilling had significant and favorable correlations with LST. Positive correlations were found in the warm temperature and plateau climatic zones, while negative correlations were seen in the subtropical and intermediate temperature zones, indicating that the influence of outliers on LST had opposite effects in these regions. The findings also demonstrated that LST was significantly influenced in diverse ways by patch area, industrial firm density, population density, and road density. This study further verified the existence of a scale effect; moreover, the results of patch-scale research based on the microscopic perspective were deemed to be more accurate. Overall, understanding the quantitative relationships

<sup>1</sup> Responsible author: a.a.kakroodi@ut.ac.ir

between UGP and LST is helpful for assessing the complexity of urban climates and for providing a scientific basis for planners and urban managers to optimize urban layouts, (Rao et al., 2021: 105314).

### Methodology:

The physical development of cities and their impact on the surface's Tasseled cap have been the subject of numerous studies. This research was conducted with the aim of investigating the effect of different climatic conditions on the changes in Tasseled cap by using remote sensing. The cities of Kashan, Bandar Anzali, and Sirjan were chosen as the study regions for this research because of their diversity in geographical features, climatic features, and land cover. So, between 1991 and 2021, the effects of various climatic conditions and changes in thermal temperature on these cities were examined. For this purpose, satellite images of Landsat 5 TM sensor and Landsat 8 OLI sensor used.

### Conclusion:

This study investigated the effect of climatic conditions on the spatial and temporal changes in Tasseled cap, including LST, in three cities in Iran: Kashan, Sirjan, and Bandar Anzali. The results showed that urban expansion has led to an increase in LST in all three cities. However, the increase in LST was more pronounced in Kashan, which has a hot and dry climate, than in Sirjan and Bandar Anzali, which have more humid climates. This is because the reduction of vegetation cover in urban areas reduces evaporation and transpiration, which leads to an increase in surface temperature.

The study also found that the changes in other Tasseled cap indices, such as brightness and wetness, were also affected by climatic conditions. In the humid cities of Bandar Anzali and Sirjan, the increase in LST was accompanied by an increase in brightness and wetness. This is because the presence of vegetation helps to reflect sunlight and retain moisture, which helps to cool the surface. In contrast, in the hot and dry city of Kashan, the increase in LST was accompanied by a decrease in brightness and wetness.

The findings of this study suggest that the planning and management of urban areas should take into account the local climatic conditions. In hot and dry climates, it is important to preserve vegetation cover to help reduce surface temperatures. In humid climates, it is important to design urban spaces in a way that maximizes the benefits of vegetation, such as shading and moisture retention.

The study also suggests that future studies should consider the effects of climatic conditions on the changes in Tasseled cap in different cities. This will help to improve our understanding of the relationship between urban development and climate change.

**Key words:** Urban development, spatio-temporal variations, land surface temperature, and Tasseled cap properties

**Citation:** Sadat Mousavi, B., kakroodi, A., Arvandi, S. (2023). The Effect of Climatic Conditions on Spatio-Temporal Changes and biophysical Characteristics of cities Using Satellite Images (Case Study: Kashan, Shirgah, Bandar Anzali cities, Iran), Motaleate Shahri, 12(48), 99–112. <https://doi.org/10.34785/J011.2022.023.112>.

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



# تأثیر شرایط اقلیمی بر تغییرات مکانی-زمانی و ویژگی‌های بیوفیزیکی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

نمونه مورد مطالعه: شهرهای کاشان، شیرگاه، بندرانزلی

بهاره سادات موسوی - دانشجوی دکتری، گروه سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.  
عطاءالله عبداللهی کاکرودی<sup>۱</sup> - دانشیار، گروه سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.  
سمانه ارون‌دی - دکتری علوم و مهندسی آب، معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۲۷ شهریور ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: ۲۶ دی ۱۴۰۱

## چکیده

گسترش فیزیکی شهری بر تغییرات مکانی و زمانی در خواص بیوفیزیکی سطح (از جمله دمای سطح زمین) تأثیرگذار بوده و منجر به افزایش دمای سطح طی سال‌های پایش شده است. به طوری که نتایج حاصله در هر سه شهر مورد مطالعه طی سال‌های پایش، روند افزایشی دمای سطح زمین را نشان می‌دهد. بررسی‌ها در شهرها نشان داد که رشد شهری با توجه به محیط جغرافیایی و شرایط طبیعی هر منطقه از الگوهای متفاوتی پیروی می‌کند. براین اساس، تغییرات مکانی و زمانی در خواص بیوفیزیکی سطح در میان شهرهای انتخاب شده متفاوت بود. این تفاوت ناشی از شرایط اقلیمی، محیطی و پوشش زمین بود. با توجه به شرایط اقلیمی، میانگین سربسزی در مناطق با هوای مرطوب (بندرانزلی و شیرگاه) با مناطق با هوای گرم و خشک (کاشان) متفاوت بود. با کاهش پوشش گیاهی سطح، میزان تبخیر و تعرق سطحی کاهش یافته و در نتیجه گرما و خشکی سطح افزایش می‌یابد. میزان سبزینگی در هر سه شهر مورد مطالعه طی سال‌های پایش، روند کاهشی داشته که می‌تواند به دلیل پدیده گسترش شهری باشد. نتایج حاصل از شاخص درختندگی نشان داد در شهرهای مرطوب یعنی بندرانزلی و شیرگاه میزان درختندگی که ناشی از عوارض شهری بوده، روند افزایشی داشته است. نتایج حاصل از شاخص آب و رطوبت نیز طی سال‌های پایش در شهرهای شیرگاه و بندرانزلی (شهرهای مرطوب) روند افزایشی داشته است. به طور کلی با کاهش سبزینگی، درختندگی، رطوبت و دمای سطح زمین در شهرهای کاشان و شیرگاه افزایش یافته ولی به نظر می‌رسد تأثیر اقلیم محلی و دریا منجر به تعدیل دما در بندرانزلی شده است. نزدیکی به دریا و بالابودن رطوبت<sup>۲</sup> باعث شده پوشش گیاهی در طی سال‌های پایش کاهش چشمگیری نداشته باشد و در نتیجه منجر به تعدیل دمای سطح شده و از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ نتایج مربوط به LST تنها یک درجه افزایش دما را نشان می‌دهد. در نتیجه افزایش پوشش گیاهی می‌تواند منجر به افزایش رطوبت آب و در نتیجه کاهش دمای سطح شود.

**واژگان کلیدی:** دمای سطح زمین، خصوصیات بیوفیزیکی سطح، تغییرات مکانی و زمانی، توسعه شهری، سنجش از دور.

## نکات برجسته

- گسترش فیزیکی شهری بر تغییرات مکانی و زمانی در خواص بیوفیزیکی سطح (از جمله دمای سطح زمین) تأثیرگذار بوده و منجر به افزایش دمای سطح شده است.
- بررسی‌ها در شهرها نشان داد که رشد شهری با توجه به محیط جغرافیایی و شرایط طبیعی هر منطقه از الگوهای متفاوتی پیروی می‌کند.
- با توجه به شرایط اقلیمی، میانگین سربسزی در مناطق با هوای مرطوب (بندرانزلی و شیرگاه) با مناطق با هوای گرم و خشک (کاشان) متفاوت بود.

## ۱. مقدمه

دمایی را نشان داد. همچنین نمایانگر تأثیر متضادی بر دمای سطح زمین، همبستگی منفی در مناطق نیمه گرمسیری و دمای متوسط و همبستگی مثبت در مناطق آب و هوایی گرم و فلات بود (Rao, et al., 2021). براساس تفاوت ویژگی‌های بیوفیزیکی بین زمین‌های ساخته‌شده و ساخته‌نشده برای مدل‌سازی شدت جزیره حرارتی سطحی یک رویکرد جدید ارائه شد. برای انجام این کار از مجموعه داده‌های متعددی مانند تصاویر Landsat و داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی محلی برای دوره زمانی ۲۰۱۷-۱۹۸۵ برای آمل استفاده شد. دمای سطح زمین از الگوریتم تک کانال و جزیره حرارتی سطوح شهری<sup>۱</sup> با استفاده از شاخص نسبت جزیره گرمای شهری سطحی و همچنین ویژگی‌های بیوفیزیکی سطح محاسبه شد. در نهایت، براساس مدل تنظیم حداقل مربعات، ضریب تأثیر تفاوت هر یک از پارامترهای بیوفیزیکی بین زمین ساخته‌شده و ساخته‌نشده در جزیره حرارتی سطوح شهری محاسبه شد. نتایج نشان داد که میانگین دمای سطح زمین ساخته‌شده از دمای سطح زمین ساخته‌نشده ۲٫۹ درجه سانتیگراد بیشتر است. در منطقه مورد مطالعه، جزیره حرارتی سطوح شهری براساس زمان در ۲۰۱۷-۱۹۸۵ تغییر می‌کند. انحراف معیار تفاوت بین ویژگی‌های روشنایی، سربیزی و رطوبت سطح زمین‌های ساخته‌شده و ساخته‌نشده به ترتیب ۰٫۲۶، ۰٫۷۶ و ۱٫۱۷ بود. نتایج مدل LSA نشان داد که تفاوت در روشنایی زمین ساخته‌شده و ساخته‌نشده نسبت به دو پارامتر سبزی و رطوبت تأثیر بیشتری بر جزیره حرارتی سطوح شهری دارد. ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا بین جزیره حرارتی سطوح شهری مشاهده شده و محاسبه مبتنی بر LSA برای مجموعه آموزشی به ترتیب ۰٫۸۰، ۰٫۰۶ و برای مجموعه تست ۰٫۷۵ و ۰٫۰۸ بود. نتایج این مطالعه حاکی از تأثیر معنادار تفاوت در خصوصیات بیوفیزیکی زمین بر جزیره حرارتی سطوح شهری و اثربخشی مدل ارائه شده در مطالعه برای مدل‌سازی جزیره حرارتی سطوح شهری بود (Karimi Firozjaeia, et al., 2020). تأثیر تغییرات کاربری پوشش زمین بر دمای سطح زمین در منطقه شهری (CMA) Chattogram در جنوب شرقی بنگلادش ارزیابی شد. این محققان از تصاویر Landsat-5 TM و Landsat-8 OLI برای استخراج شش دسته غالب با کاربری پوشش زمین<sup>۲</sup> و دمای سطح زمین در یک دوره ۲۸ ساله استفاده نمودند. طبقه‌بندی جنگل تصادفی برای استخراج دسته‌های کاربری پوشش زمین و الگوریتم‌های تک کاناله<sup>۳</sup> و پنجره مجزا<sup>۴</sup> برای استخراج دمای سطح زمین در سال‌های مربوطه استفاده شدند. سه پارامتر بیوفیزیکی مانند شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده<sup>۵</sup>، شاخص تفاوت نرمال شده آب اصلاح شده<sup>۶</sup> و شاخص تفاوت عادی سازی شده<sup>۷</sup> که نشان‌دهنده سه دسته LULC غالب از تصاویر برای ارزیابی تعامل آنها استخراج شد. ماتریس‌های

دمای سطح زمین از مؤلفه‌های مهم اقلیم در هر منطقه و کنترل‌کننده فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و محیط زیستی بر روی زمین است (Guha, et al., 2020). گسترش فیزیکی شهرها در سطح جهانی به عنوان یک تهدید بزرگ برای منابع طبیعی و اکولوژیکی با پیامدهای متعددی مانند تغییر کاربری زمین، افزایش آلودگی و تغییرات آب و هوایی در مناطق شهری و غیر شهری شناخته شده است (Wang, et al., 2018:526-534). این تغییرات گسترده انسانی با پیامدهای ناخواسته و ناخوشایند مانند تخریب محیط زیست در مقیاس‌های مختلف محلی، منطقه‌ای و جهانی همراه است که در نهایت منجر به تنزل کیفیت زندگی می‌شود. تبدیل پوشش طبیعی زمین به یک منطقه ساخته شده تغییراتی را در خواص بیوفیزیکی سطح ایجاد می‌کند (Karimi Firozjaeia, et al., 2020). به طور مشابه، سایر عوامل انسانی مانند فعالیت‌های صنعتی، حمل و نقل، انتشار دی اکسید کربن و مصرف انرژی درجه تغییر در خواص بیوفیزیکی سطح را در طول روز و شب افزایش می‌دهند (Khamchiangta & Dhakal, 2021). کمی‌سازی و پایش تغییرات خواص بیوفیزیکی ناشی از رشد شهری می‌تواند به برنامه‌ریزی تلاش‌ها برای کاهش اثرات منفی زیست محیطی رشد شهری کمک کند (Karimi Firozjaeia, et al., 2020). شرایط آب و هوایی عامل اصلی مؤثر بر نوع و میزان تغییرات در خواص بیوفیزیکی سطح است. بنابراین مدیریت و برنامه‌ریزی شهری می‌تواند براساس درک کامل تأثیرات کمی و کیفی شرایط اقلیمی بر نوع و میزان تغییرات خصوصیات بیوفیزیکی سطحی به دلیل گسترش فیزیکی شهرها صورت گیرد. چهار ویژگی اصلی بیوفیزیکی سطح وجود دارد که عبارتند از: دمای سطح زمین، روشنایی، سبزی و رطوبت. اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی این پارامترها در سطح شهر در مقیاس مناسب براساس اندازه‌گیری‌های میدانی بسیار دشوار و حتی غیرممکن است (Karimi Firozjaeia, et al., 2020). اندازه‌گیری میدانی به طور کلی یک استراتژی بسیار زمان‌بر و پرهزینه است. فناوری سنسجش از دور به دلیل پوشش گسترده و مستمر، دسترسی فوری و دسترسی بودن داده‌ها در مقیاس‌های مختلف محلی، منطقه‌ای و جهانی می‌تواند برای غلبه بر این چالش بسیار مفید و مؤثر باشد.

## ۲. چارچوب نظری

مطالعات متعددی تأثیر گسترش فیزیکی شهرها بر خواص بیوفیزیکی سطح را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج بررسی تفاوت در خواص بیوفیزیکی سطحی بین مناطق ساخته شده و غیر ساخته شده در آمل نشان داد که این شهر در سه دهه گذشته، گسترش فیزیکی قابل توجهی را تجربه کرده است. در طول دوره مطالعه، میانگین دمای سطح زمین و روشنایی روند افزایشی و سبزی و مرطوبی روند کاهشی داشتند. علاوه بر این، میانگین دمای سطح زمین مناطق ساخته شده ۲٫۹°C بیشتر از مناطق غیر ساخته شده بود (Karimi Firozjaeia, et al., 2020). استفاده از یک مدل رگرسیون خودهمبستگی فضایی برای انجام تحقیقات تجربی بر روی ۳۳۸ شهر در چین به منظور تعیین کمیت روابط بین الگوی رشد شهری و دمای سطح زمین در سال ۲۰۱۵، همبستگی مثبت و معنی‌داری با دمای سطح زمین در اکثر مناطق

- 1 SUHII
- 2 Land Use Land Cover (LULC)
- 3 Single-Channel
- 4 Split-Window
- 5 NDVI
- 6 MNDWI
- 7 NDBI

OLI ماهواره لندست بود. نتایج نشان داد که شیان شهرنشینی قوی را در ۳۰ سال گذشته با افزایش ۶۹٫۶ درصدی در منطقه شهری تجربه کرده است. الگوی گسترش شهری از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ گسترش لبه در مناطق مرکزی است، در حالی که از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ به طور غالب گسترش لبه به سمت مناطق بیرونی است. از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ پوشش گیاهی به شدت در مناطق بیرونی شیان کاهش یافته است. یک رابطه هم‌افزایی بین گسترش شهری و LST وجود دارد و پوشش گیاهی می‌تواند اثرات LST را تا حدی کاهش دهد (Ullah, et al., 2020: 583).

در یک تحقیق با بررسی رابطه بین دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک، در کاربری‌های اراضی منطقه زهک دشت، دقت طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال با بررسی داده‌های حقایق زمینی، تصاویر TM و OLI، طی سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۱، ۲۰۱۸ محاسبه شد. نتایج نشان داد، ارتباط دمای سطح زمین و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی فاقد همبستگی است. همبستگی بین دمای سطح زمین و شاخص تفاضلی نرمال شده رطوبت معکوس و منفی شد. بر اثر عوامل پدیدآورنده خشکسالی هیدرولوژیکی و شرایط اقلیمی ناشی از کاهش بارندگی، افزایش دمای هوا و وزش طوفان‌های گرد و غبار، زادآوری و رشد گیاهان کاهش یافته است؛ بنابراین به دلیل فقدان پوشش گیاهی مناسب، پوشش گیاهی در کاهش دمای سطح زمین منطقه مورد مطالعه تأثیری ندارد (Hashemi, et al., 2022).

ناهمگونی مکانی و زمانی دمای سطح شهری در شهر ژنگزو در طول تابستان ۲۰۱۳-۲۰۲۰ بررسی و از مدل ژئودیتکتور برای آشکارکردن کمی عوامل اصلی تأثیرگذار دمای سطح شهری استفاده شد. نتایج نشان داد محیط حرارتی شهری در مرکز شهر ژنگزو که در مناطق تجاری و پرجمعیت متمرکز است، از شمال غربی - جنوب شرقی شهر از ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ همراه با توسعه شهری افزایش دما دارد. در میان عوامل مؤثر بر دمای سطح شهری، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده و رطوبت کلاهیک منگوله‌ای به شدت با محیط حرارتی شهری همبستگی منفی دارند، در حالی که شاخص ایجاد اختلاف نرمال شده و عناصر انسانی به شدت همبستگی مثبت دارند. کاهش محیط حرارتی شهری می‌تواند با سازوکار تعامل عوامل مثبت و منفی آغاز شود. آنها همچنین ایده‌های جدیدی را برای تحلیل سازوکار الگوهای تکامل مکانی و زمانی محیط حرارتی شهری تحت محدودیت‌های چند عاملی و تصمیم‌هایی را برای ارتقای توسعه شهری سبز و پایدار ارائه دادند (Zhao, et al., 2022).

تحقیقی براساس مشاهدات دمای سطح زمین با طیف‌سنجی تصویربرداری با وضوح متوسط، بر تفاوت دمای روز و شب تمرکز شد. نتایج نشان داد که دمای سطح زمین در نواحی گسترش شهری تقریباً در همه شهرهای چین در سه دوره از چهار دوره به جز روزهای زمستانی کمتر از دمای مراکز شهر بود. برای ویژگی‌های زمانی، بزرگترین SUHD در شب زمستان رخ داده است، به دنبال آن شب تابستان، روز تابستان و روز زمستان. سپس ویژگی‌های فضایی SUHD را بر روی شهر و سطح منطقه گسترش شهری شهرها براساس میانگین اختلاف دمایی بین مراکز شهر و مناطق گسترش شهری به دو خوشه اصلی گروه‌بندی شدند که ناهمگونی فضایی قابل توجهی را نشان می‌دهند. SUHD شهرهای مرطوب عمدتاً از صفر درجه سانتیگراد تا دو درجه سانتیگراد در چهار زمان مختلف متغیر بود؛ در حالی که دمای شهرهای خشک از

سطح کلاس برای ارزیابی رابطه آنها با دمای سطح زمین و جزیره گرمایی شهری<sup>۱</sup> استخراج شدند و این ماتریس‌ها بیشتر در توسعه یک مدل ریاضی برای ارائه یک راه‌حل احتمالی برای کاهش اثر UHI استفاده شدند. نتیجه نشان داد که مساحت شهری (مساحت ساخته شده و سطح غیرقابل نفوذ) در CMA با نرخ قابل توجه، ۳٫۵۵ کیلومتر مربع در سال در حال افزایش است. میانگین LST منطقه شهری از سال ۱۹۹۰، ۲۰۱۷ درجه سانتیگراد و تا سال ۲۰۱۸، ۲۵٫۸۳ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. رابطه بین شاخص‌های بیوفیزیکی مورد مطالعه و LST نشان داد که شاخص تفاضلی نرمال شده ساخت و ساز به طور مثبت بر LST تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل اثر UHI تعداد واحدهای اداری در حال رشد را از نظر تشدید LST نشان داد (Sanjoy, et al., 2020). محققان با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه، رابطه بین متغیرهای مؤثر و دمای هوای بیشینه و کمینه روزانه در ایستگاه‌های زمینی را بررسی کردند. نتایج حاصل از ارزیابی کمی دمای سطح زمین حاصل از تصاویر سنجنده مادیس، در حوضه آبخیز طالقان در دوره زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ نشان داد، بین دمای هوای بیشینه و کمینه روزانه در ایستگاه‌های زمینی، با دمای سطح روز و شب و NDVI حاصل از سنجنده مادیس، همبستگی معنی‌داری وجود دارد؛ از این رو می‌توان با تبدیل دمای سطح زمین حاصل از تصاویر سنجنده مادیس، دمای هوا را با دقت بالا در مقیاس روزانه و ماهیانه، برای استفاده در پژوهش‌های گوناگون، تخمین زد (Tavoosi, et al., 2023).

در تحقیق دیگری نحوه ارتباط میان دمای سطح زمین با طبقات ریخت‌شناسانه محیط انسان ساخت مطابق با الگوی عرصه‌های اقلیم محلی را برای توصیف شکل و عملکرد شهرها در مطالعات اقلیم شهری مطالعه و ارزیابی کردند. مناطق شهری تهران در مجموع به هدفه طبقه مربوط به هندسه احجام ساختمانی و پوشش اراضی، توسط ابزارهای پایش شهری و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در طول یک سال طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که بیشترین شدت جزایر حرارتی مربوط به عرصه‌های فاقد ساختار ساختمانی و همچنین ساختارهای درشت‌دانه و صنعتی بوده و کمترین تفاوت با میانگین دمای کلیه سطوح شهری تهران مربوط به طبقات با ساختارهای بلندمرتبه فشرده و کوتاه‌مرتبه پراکنده است. همچنین ساختارهای کوتاه‌مرتبه و میان‌مرتبه فشرده کمترین میانگین دمایی را در طول سال در کل شهر داشته‌اند (Ameri, et al., 2020). مطالعه اثرات گسترش شهری بر دمای سطح زمین و پوشش گیاهی شهر شیان چین با استفاده از تکنیک‌های یکپارچه سنسج از دور<sup>۲</sup> و سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۴</sup> انجام شد. این مطالعه بر روی تغییرات کاربری اراضی<sup>۵</sup> در شش منطقه شهر شیان، چین در سه دهه گذشته (۱۹۸۷-۲۰۱۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat متمرکز شد. تصاویر استفاده شده از نقشه‌برداری موضوعی (TM)، نقشه‌برداری موضوعی پیشرفته ETM و تصویرگر زمین عملیاتی

- 1 Urban heat island (UHI)
- 2 Normalized Difference Built-up Index (NDBI)
- 3 remote sensing (RS)
- 4 geographic information system (GIS)
- 5 LULC

مثبت بودند، ضریب همبستگی، NDBI، مسکن و تراکم و نسبت جرم-فضا همبستگی منفی داشتند. همچنین بررسی الگوی کاربری اراضی و ارتباط آن با LST نشان داد که اراضی بایر، فضاهای صنعتی و سبز تأثیر منفی قابل توجهی بر LST دارند. همچنین مناطق مسکونی با تراکم ساختمانی متوسط و بالا باعث کاهش دمای سطح شدند. در کنار آن، باغ‌های متراکم، تراکم کمتر جاده‌ها و مناطق توسعه یافته‌تر، LST را در شیراز، یک محیط شبه-شهری نیمه خشک در ایران، کاهش دادند (Azhdari, et al., 2018: 853). شهر نانجینگ در چین برای نشان دادن روند گسترش شهری و همچنین تغییر دمای سطح زمین در یک دوره زمانی طولانی انتخاب گردید. تصاویر ماهواره‌ای چندزمانی Landsat TM/ETM به دست آمده در آوریل یا می در سال‌های ۱۹۸۵، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۹ برای مستندسازی تغییرات پوشش زمین و دمای سطح زمین (LST) با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان و پردازش تصویر حرارتی استفاده شد. نتایج نشان داد که شهر نانجینگ به سرعت در طول دوره مطالعه گسترش یافت، افزایش LST بیشتر به دلیل تبدیل تغییر LULC بود. این مطالعه نشان داد که شهرنشینی با تبدیل پوشش گیاهی زمین، با پیامدهای منفی برای تنوع زیستی و تغییرات آب و هوایی محلی مرتبط است (Wang, et al., 2018: 526). تغییرات در پدیده‌های LST و UHI برای شهر جیپور طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ بررسی شد و توزیع مکانی و تغییرات زمانی LST را در زمینه تغییرات LULC تجزیه و تحلیل گردید. نتایج نشان داد که شهر جیپور در دهه گذشته شاهد رشد قابل توجهی بوده که تأثیر مشخصی بر تغییرات LST داشته است. دمای کلی تابستان به طور متوسط ۲٫۹۹ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. حومه‌های جدید شهر ۲ تا ۴ درجه سانتیگراد افزایش LST را ثبت کردند. تغییر LST با تغییر در پوشش گیاهی رابطه معکوس دارد و با وسعت منطقه ساخته شده رابطه مثبت دارد. نتایج نشان داد که UHI شهر جیپور تشدید شده و در مناطق جدید گسترش یافته است (Jalan & Sharma, 2014). در تحقیق دیگری هشت تصویر ماهواره‌ای دوره گرم سال شهر اراک طی بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۷ با استفاده از داده‌های سنجنده‌های (TM) لندست‌های ۴ و ۵ استخراج شد. سپس شاخص‌های تفاضل پوشش گیاهی نرمال و دمای سطح زمین و شاخص پراکندگی عرصه حرارتی شهر با ارزیابی اکولوژی شاخص و آریانس زمینه حرارتی شهر محاسبه شد. براساس نتایج حاصل از پردازش تصاویر، مکان‌های دارای جزیره حرارتی، چگونگی تغییرات دمایی شهر، ارتباط بین تغییرات دمای سطح زمین با پوشش سطحی بررسی و جزایر حرارتی شهری اراک شناسایی و تحلیل شدند. تحلیل نقشه‌های دمایی مشخص کرد که کاربری‌های مسکونی به سرعت پیشرفت نموده‌اند و کاربری‌های صنعتی در حاشیه‌های شهر به ویژه در منطقه یک شهرداری باعث افزایش دما در آن مناطق شده‌اند. تغییرات مقیاس زمانی الگوهای دمایی اراک نشان داد که از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۷ در منطقه یک شهرداری شرق و شمال شرقی اراک حدود ۳٫۴ درصد بر مساحت طبقه چهارم دمایی ۴۱ تا ۴۸ درجه سانتیگراد افزوده است و الگوهای حرارتی در منطقه یادشده بیشترین شدت دمایی را داشته است. در منطقه دو و سه شهرداری که جزو بافت قدیمی و با تراکم شدید است، کاربری‌های مسکونی مشخص و از نظر پوشش

۲- درجه سانتیگراد تا ۴ درجه سانتیگراد توزیع شد. به طور کلی، SUHD شهرهای دارای آب و هوای مرطوب در روز قوی‌تر، اما در شب ضعیف‌تر بود و با سرعت بیشتری کاهش یافت. پس از شهری شدن پوشش زمین هنگام مقایسه SUHD در سال‌های مختلف توسعه، نتایج نشان داد که مناطقی که قبلاً توسعه یافته بودند، SUHD ضعیف‌تری داشتند (Zhao, et al., 2020: 8965). محققان در پژوهش دیگری به بررسی تعیین کمیت تأثیر شهرنشینی بر دمای سطح زمین و محیط، ایالت Yobe، نیجریه پرداختند. داده‌های سنجنش از راه دور نقشه برداری موضوعی پیشرفته (Landsat 7 (ETM+) در آوریل ۲۰۰۳، آوریل ۲۰۰۸ و Landsat 8 OLI در آوریل ۲۰۱۵ همراه با داده‌های هواشناسی برای مطالعه LST استفاده شد. اعتبارسنجی با داده‌های هواشناسی موجود ایستگاه‌ها انجام شد. افزایش پوشش گیاهی در Potiskum و Environs مشاهده شد که بر LST تأثیر دارد. LST در مناطق شهری به دلیل جنگل‌کاری و اتخاذ سیاست‌های خوب برای مبارزه با افزایش دما در مناطق شهری ارزش پایینی را نشان داد. بنابراین کلاس‌های طبقه بندی LST از ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد و بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد کاهش سطح تحت پوشش را از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۵ نشان دادند. مقادیر LST نیز به ترتیب در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۵ مشاهده شد (Ahmed Hassan, et al., 2012). مطالعه الگوهای مکانی-زمانی گسترش شهری برای یانگون و نای پی تاو و تأثیر آن بر محیط منطقه‌ای بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ صورت پذیرفت. هدف، بررسی نیروهای محرک مختلف توسعه شهری و پیامدهای زیست محیطی آنها در طول اقتصاد انتقالی میانمار بود. پارامترهای زیست محیطی که در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفتند شامل پنج مجموعه از محصولات زمینی مودیس سنجنش از دور که عبارتند از: دمای سطح زمین، درصد پوشش درخت<sup>۱</sup>، تبخیر و تعرق<sup>۲</sup>، بهره‌وری اولیه خالص اکوسیستم زمینی<sup>۳</sup> و عمق نوری آئروسول<sup>۴</sup> بودند. با استفاده از تکنیک تحلیل روند سری زمانی برای بررسی پیامدهای محیطی، نتایج نشان داد مناطق ساخته شده در نای پی تاو و یانگون به ترتیب افزایش نمایی و چند جمله‌ای را نشان می‌دهند. هر دو شهر گسترش وسیع شهری را تجربه کرده‌اند، اما با ویژگی‌های مکانی و زمانی متفاوت و تأثیرات آنها بر محیط منطقه متفاوت است. توسعه شهری نای پی تاو عمدتاً توسعه زیرساخت‌های شهری ناشی از دولت بود. گسترش یانگون عمدتاً ناشی از فشار جمعیت و مهاجرت از مناطق روستایی است. گسترش شهری در یانگون عمدتاً به دلیل بازسازی و نوسازی در طول دوره مطالعه بود (Wang, et al., 2018: 765). در پژوهشی، از شاخص‌های طیفی و منظر و متغیرهای مورفولوژیکی (تراکم قطعه، تراکم مسکن، تراکم جاده، نسبت مساحت و نسبت جرم به فضا)، الگوی کاربری زمین برای بررسی همبستگی مورفولوژی شهری با LST استفاده شد. متغیرهای منظر و ریخت‌شناسی از لندست ۵ مرکز آمار ایران و طرح جامع شیراز تهیه شد. نتایج نشان داد که متغیرها همبستگی نسبت قوی با LST دارند. در حالی که LSI و تراکم جاده

- 1 PTC
- 2 ET
- 3 NPP
- 4 AOD

تغییرات دمای سطح زمین و بررسی همبستگی آن با کربن پدراخته شد. نتایج نشان داد که زمین شهری بیشتر از ۷۰/۵ درصد از ناحیه مرکزی شهر را در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ اشغال خواهد کرد، در حالی که زمین‌های سبز و مناطق آبی کاهش خواهند یافت و با گسترش زمین شهری، زمین سبز و مناطق آبی با دمای پایین در حال کوچک شدن است. نتایج برازش رگرسیون همبستگی نیز نشان داد که بین انتشار کربن و دمای سطح زمین همبستگی معنی‌داری وجود دارد (Zhang, etal, 2023). با توجه به بررسی پیشینه تحقیقات انجام شده، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر شرایط مختلف اقلیمی بر تغییرات خصوصیات بیوفیزیکی سطح با استفاده از سنجش از دور انجام شد.

### ۳. روش

#### ۳/۱. منطقه مورد مطالعه

مناطق مورد مطالعه در این تحقیق، براساس تنوع شرایط جغرافیایی، شرایط اقلیمی و پوشش زمین انتخاب شدند. براین اساس شهرکاشان به دلیل داشتن نوع خاک ماسه‌ای، بندرانزلی به دلیل نزدیکی به دریا و شیرگاه به دلیل داشتن پوشش جنگلی در نظر گرفته شدند تا تأثیر شرایط اقلیمی متفاوت و تغییرات دمایی و حرارتی در سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ بر این شهرها مورد بررسی قرار گیرد (تصویر شماره ۱).

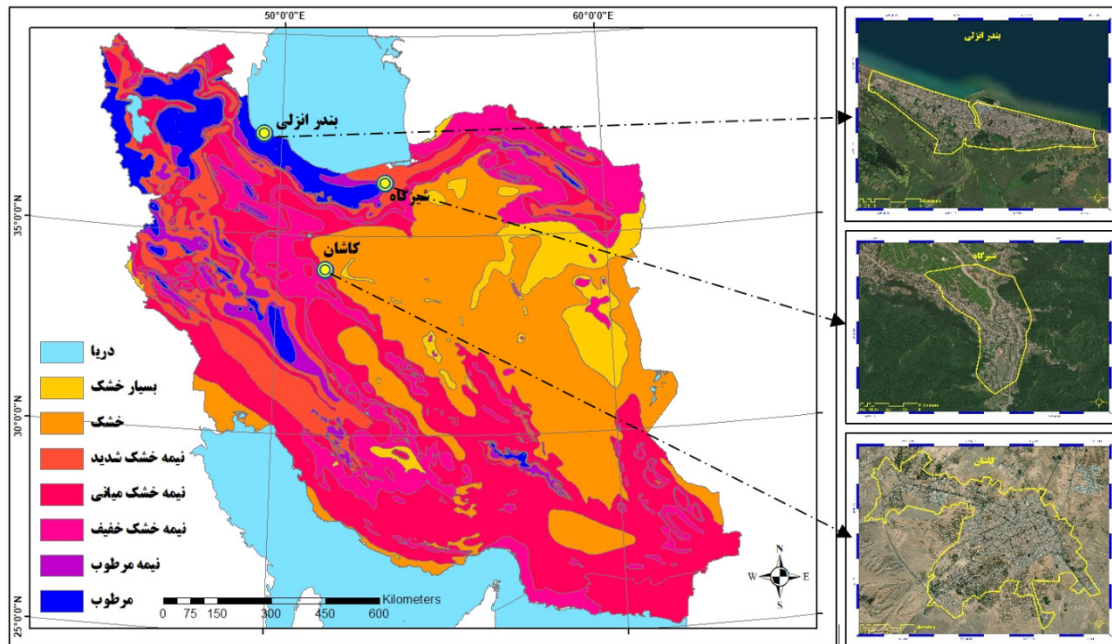
شهرکاشان، مرکز شهرستان کاشان در استان اصفهان است. اقلیم این شهر دارای دو بخش کوهستانی و کویریست که این ویژگی باعث شده همزمان آب و هوای متفاوتی را در مناطق اطراف آن رؤیت کرد. مناطق کویری در بخش شمالی و شرقی و هوای کوهستانی در بخش جنوبی و غربی آن قرار دارد. این شهر در طول جغرافیایی ۵۱/۲۷ و عرض جغرافیایی ۳۳/۵۹ متر ارتفاع از سطح دریا واقع شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد، شهرستان کاشان با برخورداری از ۹۲۰ هزار و ۳۹۵ نفر جمعیت، حدود ۳/۳ جمعیت استان اصفهان را در اختیار دارد. در حال حاضر وسعت کل شهر کاشان هشت هزار و ۳۸۲ هکتار است.

بندر انزلی در ساحل دریای خزر و در استان گیلان واقع شده است. مختصات جغرافیایی آن در طول ۳۷ درجه و ۶۷ دقیقه و عرض ۷۸ درجه و ۶۷ دقیقه واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریاهای آزاد منفی ۲۸ متر است. میزان بارندگی شهرستان بندرانزلی تا هفت هزار و ۷۷۶ میلی‌متر نیز گزارش شده است. بیشترین مقدار بارش در طول سال مربوط به ماه‌های شهریور و مهر است. میزان رطوبت نسبی سالیانه به طور متوسط در حدود ۸۷ تا ۷۸ درصد و میانگین دمای سالانه بندرانزلی ۷۹/۶ درجه سانتیگراد است. شهر شیرگاه مرکز شهرستان سوادکوه شمالی در استان مازندران است که از جنوب به شهرستان سوادکوه و از شمال به شهرستان قائم‌شهر راه دارد. این شهر همچنین از سمت شرق به شهرستان ساری و از سمت غرب به شهرستان بابل راه دارد. شیرگاه با طول و عرض جغرافیایی ۳۶/۲۹ و ۵۲/۸۸، در ارتفاع ۲۳۸ متری از سطح دریاهای آزاد واقع شده است.

#### ۳/۲. داده‌های تحقیق

در این مطالعه به منظور دستیابی به مجموعه داده‌های سنجش از دور، تصاویر ماهواره‌ای شهرهای کاشان، بندرانزلی و شیرگاه، شامل

گیاهی فقیر است که باعث تجمع دماهای نسبتاً بالا در این مناطق شده است. در منطقه چهار و پنج به دلیل وجود پوشش گیاهی انبوه، میزان تجمع جزایر حرارتی کم بوده و همواره دمای پایین‌تر ثبت داشته است. در حاشیه‌های شهری به دلیل کمربند شمالی و ترافیک و تردد ماشین‌های سنگین، جزایر حرارتی به صورت نواری شده است. براساس نتایج حاصل از شاخص (UTFVI) در حاشیه‌های شهر، به علت وجود تجمع جزایر حرارتی، وضعیت دمای بحرانی آزاردهنده حاکم است. اما در مکان‌های با پوشش گیاهی و تعدیل دما، به‌ویژه منطقه ۴ و ۵ وضعیت بحرانی کم بوده است (Halabian, etal, 2021: 122). محققان با در نظر گرفتن که عامل تأثیرگذار شیب، جهت، دمای هوا، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده، بارش، شاخص نور شبانه، تراکم لکه، سطح متوسط لکه و شاخص تجمع، به بررسی تغییرات دمای سطح زمین در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰، با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندل، شیب سن، همراه با شاخص هرس، پرداختند. نتایج نشان داد که میانگین دمای سطح زمین تراکم شهری در تمام فصول، روند افزایشی دارد، خاک برهنه و زمین چمن اثر گرم شدن و زمین کشاورزی اثر خنک‌کنندگی داشت. نتایج تشخیص عامل نشان داد که دمای هوا، فسفر و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده عوامل غالب تأثیرگذار بر تغییرات فضایی دمای سطح زمین بودند. نتایج تشخیص برهمکنش نشان داد که برهمکنش بین دمای هوا و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده بیشترین معنی را دارد (Zhang, etal, 2022: 2). براساس محاسبات انجام شده در تحقیق، داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه به طور کلی همسو با نتایج حاصل از داده‌های سنجش از دور بودند. مقایسه دماهای اندازه‌گیری ایستگاه‌های سینوپتیک همزمان با گذر ماهواره از روی منطقه با دماهای سطحی محاسبه شده تصویر صورت گرفت و بین داده‌ها همخوانی نسبی موجود بود با این تفاوت که دماهای سطحی تصویر به دلیل رابطه با کاربری اراضی و جزایر حرارتی با دماهای اندازه‌گیری شده اختلاف ۱ تا ۳۳ درجه‌ای داشتند (Hajiloo, etal, 2014). بررسی رابطه بین کاربری پوشش زمین، ارتفاع و دمای سطح زمین و محرک‌های تغییرات مکانی و زمانی از دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ نشان داد که دمای سطح زمین طی این دوره به طور قابل توجهی تغییر کرده و نسبت پوشش گیاهی، به ویژه اجزای جنگل، در همان گستره زمانی کاهش یافته است. رابطه آماری معنی‌داری بین کاربری پوشش زمین، ارتفاع و دمای سطح زمین مشاهده شد. با این حال، رابطه بین ارتفاع و دمای سطح زمین بسیار ضعیف بود. از نظر زمانی، قدرت رابطه بین متغیرها و همچنین عملکرد پیش‌بینی‌کننده مدل کلی در طول سال‌ها نوسان داشته است. از نظر فضایی، قدرت رابطه بین کاربری پوشش زمین، ارتفاع و دمای سطح زمین به طور قابل توجهی متفاوت بود. کاربری پوشش زمین تقریباً منجر به ۲۶ تا ۶۴ درصد از کل تغییرات دمای سطح زمین در شهر در سال‌های پایش می‌شود. توزیع فضایی کاربری زمین و تأثیرات آنها بر دمای سطح زمین می‌تواند در شناسایی مناطقی که نیاز به توجه دارند، مفید باشد. رابطه مشاهده شده بین کلاس‌های کاربری زمین مربوطه را می‌توان در استراتژی‌های برنامه‌ریزی شهری برای اطمینان از توسعه شهری پایدار گنجانده (Elijah, etal, 2022). در تحقیق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی-اتوماتای سلولی و الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ به پیش‌بینی



تصویر شماره ۱۵: موقعیت جغرافیایی شهرهای مورد مطالعه

شود که هیچگونه عوامل مخل در آن وجود نداشته باشد. برای شناسایی دمای سطحی، باندهای حرارتی قابل استفاده بوده و باندهای انعکاسی نیز به منظور اعمال شاخص‌ها برای پردازش تصویر به کار گرفته می‌شود. داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست در باند ۶ و داده‌های سنجنده ETM+ در باند ۸ و داده‌های سنجنده OLI/TIRS در باند ۱۱ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ سنجنده TM و لندست ۸ سنجنده OLI از دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۱، از وب سایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده داندلود و تهیه شد (<https://landsat.usgs.gov/landsat-data-access>) (جدول شماره ۱). نحوه انتخاب تصاویر با توجه به مقیاس توزیع زمانی و عوامل تأثیرگذار بر میزان واضح بودن تصویر مثل اغتشاشات جوی و پوشش ابرهای سطوح مختلف جوی صورت گرفت و کوشش شد تصاویری انتخاب

جدول شماره ۱۵: اطلاعات تصاویر لندست به دست آمده از سایت USGS در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱

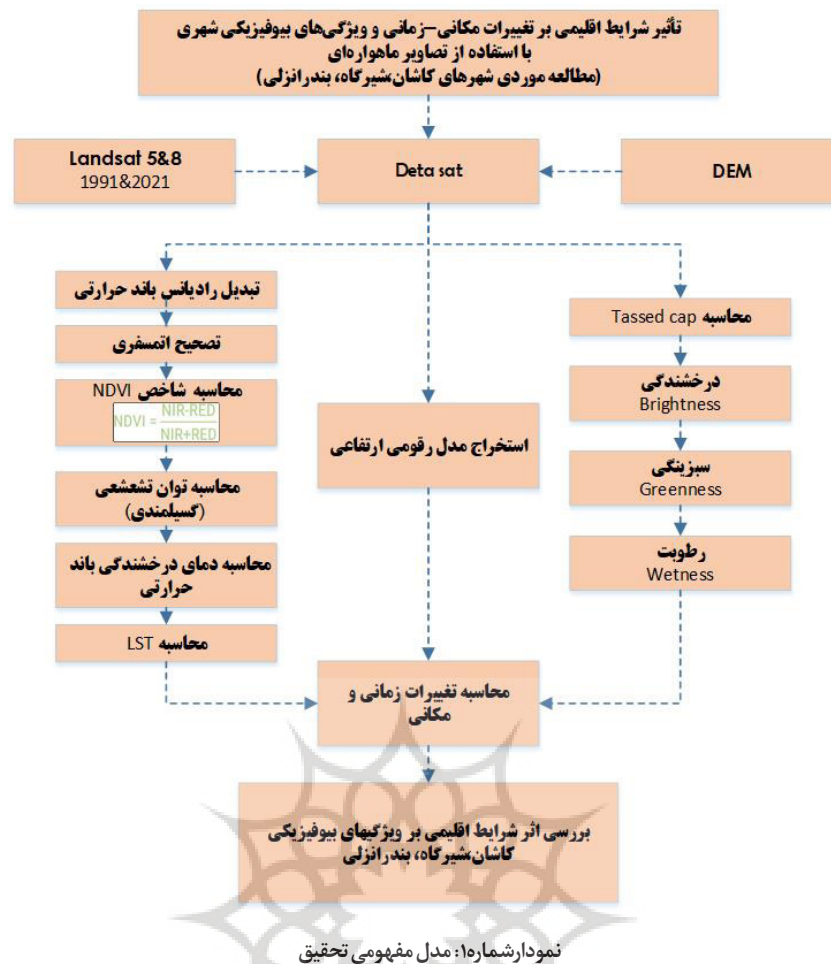
No	Date		Satellite	Sensor
1	Aug	1991	Landsat 5	TM
2	Aug	1991	Landsat 5	TM
3	Aug	1991	Landsat 5	TM
4	Aug	2021	Landsat 8	OLI
5	Aug	2021	Landsat 8	OLI
6	Aug	2021	Landsat 8	OLI

هندسه دید حسگر، نور خورشید و اثر توپوگرافی برای باندهای نوری در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین ابتدا با استفاده از نرم‌افزار انوی ۳ هر یک از شش تصویر مربوط به شهرهای کاشان، بندرانزلی و شیرگاه در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ تبدیل به رادیانس و سپس تصحیحات اتمسفری در تمامی باندها اعمال شد. نمودار شماره ۱۵ نیز مدل مفهومی تحقیق را نشان می‌دهد.

### ۳.۳. پیش پردازش داده‌ها

داده‌های حاصل از تصویربرداری ماهواره‌های سنجنده از دور پیش از مرحله استخراج اطلاعات، تصحیح می‌شوند که این مرحله تصحیحات با عنوان پیش پردازش شناخته می‌شود. در این مرحله، خطاهای هندسی و رادیومتریکی تصاویر اصلاح می‌شوند. براین اساس قبل از محاسبه و استخراج پارامترها لازم است تصحیحات خاصی در تصاویر ماهواره‌ای انجام شود. برای این منظور ابتدا اثر جوی،





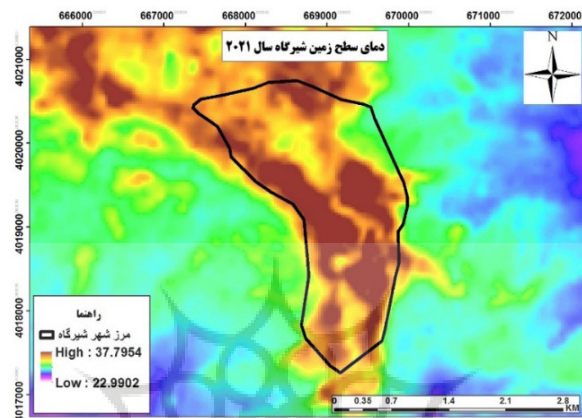
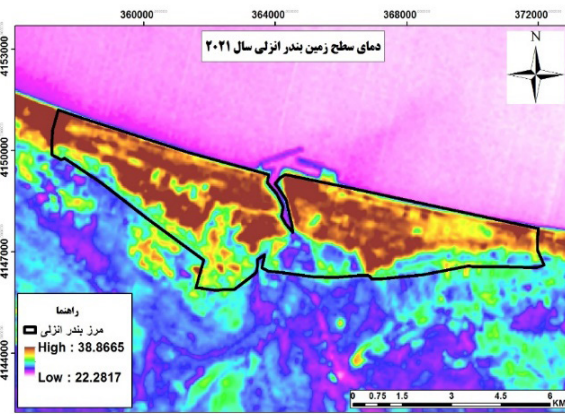
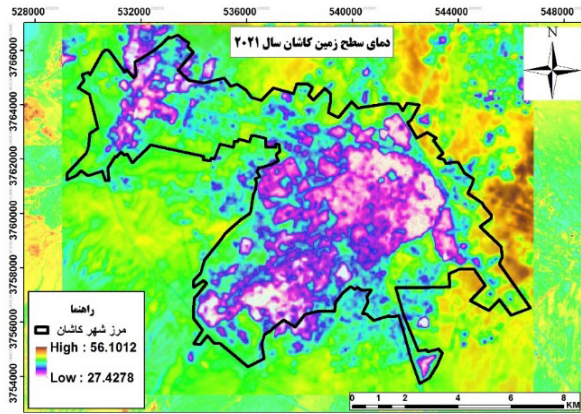
#### ۴. بحث

مطالعات متعددی تأثیر گسترش فیزیکی شهرها بر خواص بیوفیزیکی سطح را مورد بررسی قرار داده‌اند. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر شرایط اقلیمی مختلف بر تغییرات دمای سطح زمین با استفاده از سنجنش از دور انجام شد. بدین منظور پس از پیش پردازش و پردازش داده‌ها، دمای سطح زمین و خصوصیات بیوفیزیکی<sup>۳</sup> با استفاده از نرم‌افزار انوی به دست آمد.

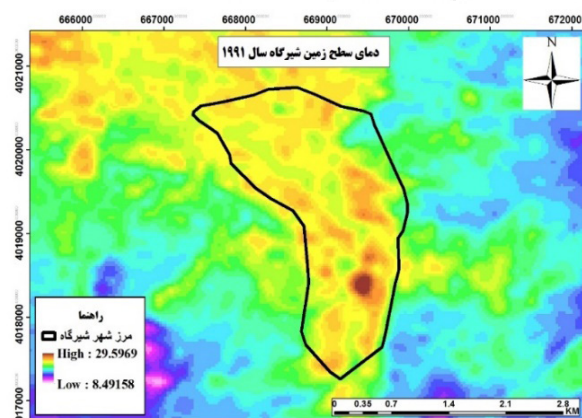
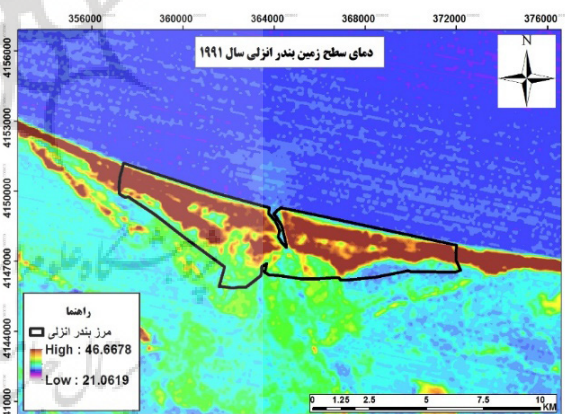
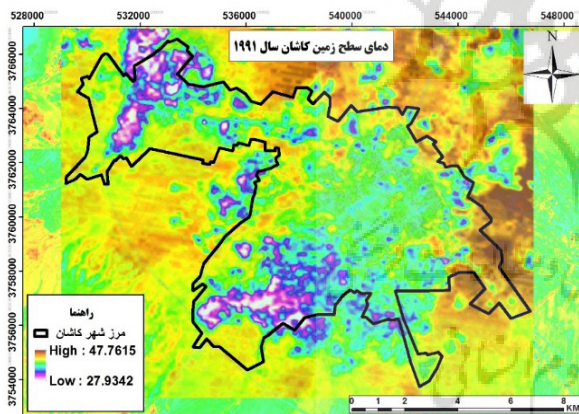
#### ۴.۱. محاسبه LST

پس از پیش پردازش تصاویر، فرآیندهای لازم برای استخراج داده‌ها از جمله محاسبه دمای سطح زمین انجام می‌شود. به منظور محاسبه LST با استفاده از عموم الگوریتم‌ها استفاده ترکیبی از باندهای حرارتی و چندطیفی ضروری است. مراحل لازم برای محاسبه دمای سطح زمین که باید در هر شرایطی اعمال شوند شامل تصحیح اتمسفری باندهای چندطیفی، محاسبه شاخص NDVI، محاسبه گسیلمندی، محاسبه رادیانس باند حرارتی، محاسبه دمای درخشندگی باند حرارتی و محاسبه دمای سطح زمین هستند. مهم‌ترین و دقیق‌ترین الگوریتم‌هایی که در حال حاضر برای محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شوند عبارتند از: الگوریتم تک کاناله، الگوریتم پنجره مجزا، الگوریتم تک پنجره<sup>۱</sup>، الگوریتم پلانک

معکوس<sup>۲</sup> و RTE. برای محاسبه دمای سطح زمین عوامل مختلفی از جمله اثر جذب اتمسفری، گسیل امواج الکترومغناطیسی، اثر توپوگرافی سطح زمین (زبری و صافی)، گسیلمندی و زمان در نظر گرفته می‌شوند. در این تحقیق برای محاسبه دمای سطح زمین از روش تک کاناله استفاده شد، تصاویر شماره ۲ و ۳ نتایج محاسبه دمای سطح زمین را نشان می‌دهند. نتایج تصاویر شماره ۲ و ۳ نشان داد، بیشترین دمای سطح زمین در بندرانزلی به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ به مقدار ۴۶ و ۳۸ درجه سانتیگراد است. همچنین نتایج حاصل از جدول شماره ۲ نشان داد، در سال ۱۹۹۱ میانگین حاصل از LST برابر ۲۶/۵۷ و در سال ۲۰۲۱ به مقدار ۲۵/۳۴ است که نمایانگر کاهش دمای سطح زمین است. در شهر کاشان نیز بیشترین دمای سطح زمین به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ به مقدار ۴۷ و ۵۶ درجه سانتیگراد، است. در سال ۱۹۹۱ میانگین حاصل از LST برابر ۴۰/۷۸ و در سال ۲۰۲۱ به مقدار ۴۶/۹۰ است که نمایانگر افزایش دمای سطح زمین است. همچنین میزان بیشترین دمای سطح زمین در شیرگاه به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ به مقدار ۲۹ و ۳۷ درجه سانتیگراد است. در سال ۱۹۹۱ میانگین حاصل از LST برابر ۱۹/۳۴ و در سال ۲۰۲۱ به مقدار ۲۷/۹۷ است که نمایانگر افزایش دمای سطح زمین است. بدین ترتیب در بین شهرهای مورد مطالعه، بیشترین میانگین LST در شهر کاشان (۴۶/۹۰) است. در شهرهای کاشان و شیرگاه از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ دمای سطح زمین روند افزایشی داشته است.



تصویر شماره ۲: محاسبه دمای سطح زمین (LST) برای سال ۲۰۲۱



تصویر شماره ۳: محاسبه دمای سطح زمین (LST)، شهر کاشان، سال ۱۹۹۱

جدول شماره ۲: تغییرات پارامترهای استخراج شده از تصاویر لندست، در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱

نام شاخص‌ها	شهر بندرانزلی				شهر کاشان				شهر شیرگاه			
	سال ۱۹۹۱		سال ۲۰۲۱		سال ۱۹۹۱		سال ۲۰۲۱		سال ۱۹۹۱		سال ۲۰۲۱	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
LST	۲۶,۵۷	۲,۵۰	۲۵,۳۴	۲,۶۶	۴۰,۷۸	۳,۰۴	۴۶,۹۰۸	۳,۵۷	۱۹,۳۴	۲,۴۰۸	۲۷,۹۷	۲,۰۱
NDVI	۰,۰۳	۰,۳۰	۰,۲۳	۰,۴۲	۰,۱۲	۰,۰۹	۰,۱۰۹	۰,۱۰۲	۰,۶۹	۰,۱۰۳	۰,۷۳	۰,۱۱
Brightness	۰,۱۷	۰,۱۴	۰,۳۲	۰,۲۶	۰,۵۲	۰,۱۲	۰,۴۵	۰,۱۰۱	۰,۳۷	۰,۱۳	۰,۳۹	۰,۰۷
Greenness	۰,۱۷	۰,۱۵	۰,۱۳	۰,۱۱	۰,۰۷	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۲۷	۰,۰۷	۰,۲۵	۰,۰۵
Wetness	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۱۸	۰,۱۷	۰,۰۸	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۷	۰,۰۴	۰,۱۲	۰,۰۶

جدول شماره ۳: تغییرات پارامترهای استخراج شده از تصاویر لندست، در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱

نام شاخص‌ها	شهر بندرانزلی				شهر کاشان				شهر شیرگاه			
	سال ۱۹۹۱		سال ۲۰۲۱		سال ۱۹۹۱		سال ۲۰۲۱		سال ۱۹۹۱		سال ۲۰۲۱	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
LST	۴۶,۶۶	۲۱,۰۶	۳۸,۸۶	۲۲,۲۸	۴۷,۷۶	۲۷,۹۳	۵۶,۱	۲۷,۴۲	۲۹,۵۹	۸,۴۹	۳۷,۷۹	۲۲,۹۹
NDVI	۰,۶۰	-۰,۳۷	۰,۹۷	-۱	۰,۶۶	-۰,۰۲	۰,۸۸	-۰,۴۰	۰,۸۵	۰,۱۰	۰,۸۶	-۰,۳۲
Brightness	۱,۰۱	۰,۰۰۳	۱,۳۲	۰,۰۰۱	۱,۶۴	۰	۲,۱۳	۰	۲,۲۷	۰,۰۱	۱,۰۴	۰,۰۱
Greenness	۰,۵۸	-۰,۰۰۸	۰,۴۹	۰,۰۱	۰,۵۲	-۰,۰۴	۰,۴۴	-۰,۲۶	۰,۷۷	-۰,۰۰۸	۰,۵۵	-۰,۰۰۲
Wetness	۰,۰۵	-۰,۷۹	۰,۰۳	-۰,۹۸	۰,۱۶	-۰,۵۲	۰,۱۶	-۰,۰۶	۰,۱۵	-۰,۰۶۷	۰,۰۳	-۰,۸۲

#### ۴,۲. محاسبه شاخص Tasseled Cap

یکی از شاخص‌های طیفی تخصصی در سنجش از دور که به صورت خاص برای تصاویر ماهواره‌ای Landsat کاربرد دارد، شاخص Tasseled Cap است. در این شاخص با استفاده از ضرایب ثابت بر روی تصاویر بازتاب سطحی، امکان محاسبه مؤلفه‌های مختلفی فراهم می‌شود که هر یک از آنها برای شناسایی یک پدیده خاص کاربرد دارد. خروجی حاصل از این شاخص، امکان جداسازی پوشش‌های اصلی سطح زمین اعم از آب، خاک و پوشش گیاهی را به خوبی فراهم کرده و در زمینه‌های مختلفی به صورت کاربردی استفاده می‌شود. مهم‌ترین کاربردهای این شاخص، جداسازی پوشش‌های اصلی سطح زمین، طبقه‌بندی کاربری و پوشش‌های سطح زمین، اندازه‌گیری سبزیگی و پایش تغییرات گیاه، جداسازی و مطالعه کاربری شهری، جداسازی و پایش آب‌های سطحی و ... است.

خروجی‌های شاخص پوشش گیاهی Tasseled Cap شامل الگویتیم‌های درختان، سبزیگی و رطوبت هستند که به واسطه درختان، قابلیت شناسایی بهتر عوارض، پدیده‌های خاک و همچنین محدوده‌های شهری فراهم می‌گردند. سبزیگی<sup>۱</sup> که با استفاده از آن امکان مشاهده و تشخیص بهتر پوشش گیاهی و ارزیابی تراکم پوشش گیاهی در نواحی مختلف میسر می‌شود و شاخص آب و رطوبت<sup>۲</sup> که با استفاده از آن امکان شناسایی رطوبت فراهم می‌شود. تصویر شماره ۴ نتایج محاسبه شاخص Tasseled Cap را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۲ و ۳ نیز تغییرات پارامترهای استخراج شده از تصاویر لندست مربوط به شهرهای مورد مطالعه (بندرانزلی، کاشان و شیرگاه) را در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ نشان می‌دهند. این جداول نشان‌دهنده میانگین و انحراف معیار حاصل از شاخص نرمال شده پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، نتایج خروجی‌های حاصل از شاخص Tasseled Cap شامل درختان، سبزیگی و رطوبت هستند.

باتوجه به نتایج تصویر شماره ۴ و جدول شماره ۲، میانگین درختان

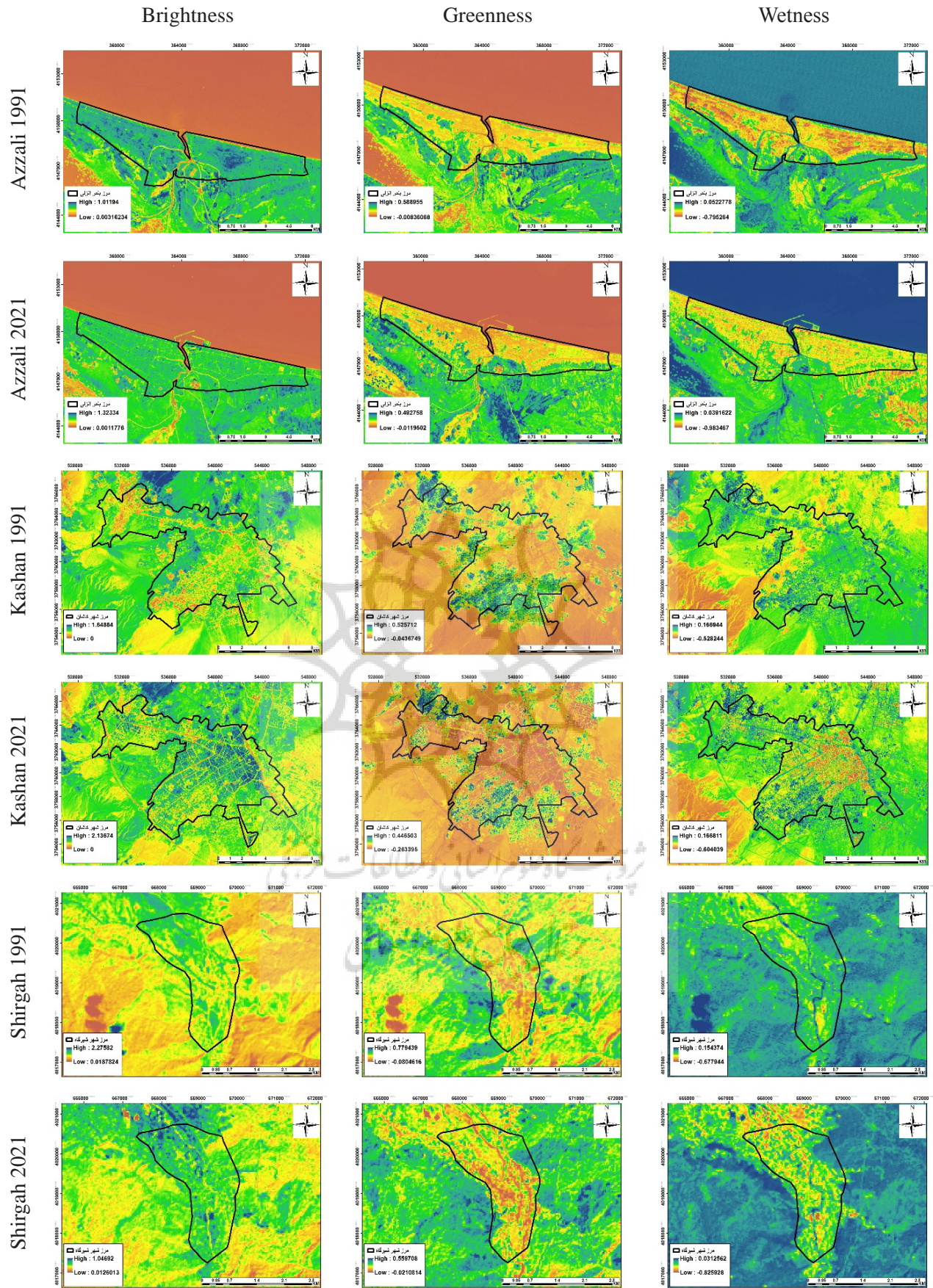
- 1 Brightness
- 2 Greenness
- 3 Wetness

در بندرانزلی به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ به مقدار ۰/۱۷ و ۰/۳۲ است. همچنین در سال ۱۹۹۱ میانگین حاصل از درختان شیرگاه برابر ۰/۵۲ و در سال ۲۰۲۱ به مقدار ۰/۴۵ است. در شیرگاه نیز میانگین درختان، به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ برابر ۰/۳۷ و ۰/۳۹ است. نتایج نشان می‌دهد، میزان درختان طی سال‌های پایش در شهرهای شیرگاه و بندرانزلی روند افزایشی داشته است. در کاشان بیشترین میزان درختان در سال ۲۰۲۱ مقدار ۲/۱۳ محاسبه شد که نسبت به سال ۱۹۹۱ که به مقدار ۱/۶۴ است، روند افزایشی داشته است.

نتایج مربوط به سبزیگی نیز در تصویر شماره ۴ و جدول شماره ۲ نشان داد، میانگین سبزیگی در بندرانزلی به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ به مقدار ۰/۱۷ و ۰/۱۳ است. همچنین در سال ۱۹۹۱ میانگین حاصل از سبزیگی شیرگاه برابر ۰/۰۷ و در سال ۲۰۲۱ به مقدار ۰/۰۳ و در شیرگاه نیز میانگین سبزیگی، به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ برابر ۰/۲۷ و ۰/۲۵ است. نتایج نشان داد در هر سه شهر مورد مطالعه میزان سبزیگی در سال‌های پایش روند کاهشی داشته است.

نتایج حاصل از رطوبت در تصویر شماره ۴ و جدول شماره ۲ نشان داد، میانگین رطوبت در بندرانزلی طی سال‌های پایش افزایش داشته و به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ به مقدار ۰/۰۲ و ۰/۱۸ و در سال ۱۹۹۱ میانگین حاصل از رطوبت شیرگاه برابر ۰/۰۸ و در سال ۲۰۲۱ به مقدار ۰/۰۵ و در شیرگاه نیز میانگین رطوبت، به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱ برابر ۰/۰۷ و ۰/۱۲ بوده که نمایانگر روند افزایشی Wetness در شهر شیرگاه است.

به طور کلی نتایج نشان داد، در بندرانزلی، طی سال‌های پایش، دمای سطح زمین یک درجه کاهش داشته و رطوبت و درختان افزایش یافته و میزان سبزیگی کاهش چشمگیری نداشته است. در شهر کاشان نیز از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ درختان، سبزیگی و رطوبت کاهش داشته و دمای سطح زمین ۶ درجه افزایش یافته است. در شهر شیرگاه هم با کاهش درختان، سبزیگی، رطوبت و درجه دمای سطح زمین ۸ درجه افزایش یافته است.



تصویر شماره ۴: محاسبه تغییرات مکانی زمانی و ویژگی های بیوفیزیکی در شهرهای مورد مطالعه در سال های ۱۹۹۱ و ۲۰۲۱

## ۵. نتیجه گیری

توسعه بی‌رویه و ناپایدار در منطقه شهری موجب تغییرات گسترده در ساختار سیمای سرزمین و به تبع آن در عملکردهای اکولوژیکی مؤثر آن شده و افت کیفیت محیط زیستی را به همراه داشته است. منطقه شهری به عنوان متمرکزترین زیستگاه انسانی در فلات مرکزی ایران، از مشکلات بی شماری همچون آلودگی هوا، آب، صدا، منظر و غیره، ناشی از عملکرد نابسامان فرآیندهای اکولوژیکی مؤثر رنج می‌برد. گسترش فیزیکی شهری بر تغییرات مکانی و زمانی در خواص بیوفیزیکی سطح، از جمله LST تأثیرگذار بوده و منجر به افزایش دمای سطح طی سال‌های پایش شده است. افزایش دمای اتمسفر و سطح شهرها نسبت به پیرامون غیر شهری (ظهور پدیده جزایر حرارتی شهری) یکی از عملکردهای منفی این تغییرات گسترده ساختار سیمای سرزمین است که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. به طوری که نتایج حاصله در هر سه شهر مورد مطالعه طی سال‌های پایش، روند افزایشی دمای سطح زمین را نشان می‌دهد. بررسی‌ها در شهرها نشان داد که رشد شهری با توجه به محیط جغرافیایی و شرایط طبیعی هر منطقه از الگوهای متفاوتی پیروی می‌کند. براین اساس، تغییرات مکانی و زمانی در خواص بیوفیزیکی سطح در میان شهرهای انتخاب شده متفاوت بود که این تفاوت ناشی از شرایط اقلیمی، محیطی و پوشش زمین است. با توجه به شرایط اقلیمی، میانگین سرسبزی در مناطق با هوای مرطوب (بندر انزلی و شیرگاه) با مناطق با هوای گرم و خشک (کاشان) متفاوت بود. با کاهش پوشش گیاهی سطح، میزان تبخیر و تعرق سطحی کاهش یافته و در نتیجه گرما و خشکی سطح افزایش می‌یابد. میزان سبزیگی در هر سه شهر مورد مطالعه طی سال‌های پایش روند کاهشی داشته که می‌تواند به دلیل پدیده گسترش شهری باشد. نتایج حاصل از شاخص درخشندگی نشان داد در شهرهای مرطوب یعنی بندرانزلی و شیرگاه میزان درخشندگی که ناشی از عوارض شهری است، روند افزایشی داشته است. نتایج حاصل از شاخص آب و رطوبت نیز طی سال‌های پایش در شهرهای شیرگاه و بندرانزلی (شهرهای مرطوب) روند افزایشی داشته است. به‌طور کلی با کاهش سبزیگی، درخشندگی، رطوبت و دمای سطح زمین در شهرهای کاشان و شیرگاه افزایش یافته ولی به نظر می‌رسد، تأثیر اقلیم محلی و دریا منجر به تعدیل دما در بندر انزلی شده است. نزدیکی به دریا و بالابودن رطوبت باعث شده پوشش گیاهی در طی سال‌های پایش کاهش چشمگیری نداشته باشد و در نتیجه منجر به تعدیل دمای سطح شده و از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ نتایج مربوط به LST تنها یک درجه افزایش دما را نشان می‌دهد. در نتیجه افزایش پوشش گیاهی می‌تواند منجر به افزایش رطوبت آب و در نتیجه کاهش دمای سطح شود. این مطالعه با هدف بررسی اثر شرایط آب و هوایی متفاوت بر تغییرات در خواص بیوفیزیکی سطح ناشی از گسترش شهری انجام شده است. وجه تمایز این مطالعه نسبت به مطالعات قبلی، ارزیابی تأثیر شرایط اقلیمی متفاوت بر تغییرات خصوصیات بیوفیزیکی ناشی از رشد فیزیکی شهرهاست.

همچنین با توجه به این که شهرهای مورد مطالعه در این تحقیق، در اقلیم‌های متفاوت قرار گرفته‌اند، نتایج حاصله نشان داد که گسترش فیزیکی شهرها در هر کدام از شهرهای مورد مطالعه طی سال‌های پایش (۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱) در دما و خصوصیات بیوفیزیکی سطح تأثیر متفاوت

داشته که نمایانگر این است که برنامه‌ریزی در این شهرها با توجه به شرایط اقلیمی هر شهر باید متفاوت باشد و مدیران و برنامه‌ریزان شهری باید شرایط اقلیمی را در نظر بگیرند. همچنین طراحی فضای شهری بر اساس شرایط اقلیمی هر منطقه، برای کنترل و بهبود شرایط حرارتی محیط شهری از اهمیت بالایی برخوردار است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، شرایط اقلیمی و تغییرات پوشش اراضی ناشی از رشد فیزیکی شهرها، برای شهرهای مختلف در نظر گرفته شود.

**References:**

- Ahmed Hassan, A., Sudhir Kumar, S., Mukesh, K., Mustapha Saleh, M., Rimuka, D., (Bloodless) Deepak, L. (2020). Impact of urbanization and land cover change on urban climate: Case study of Nigeria, *Urban Climate* 32, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100600>.
- Ameri, P., Pourdeihimi. Sh., Mashayekh Faridani, Sm. (2021). The Effects of Urban Geometrical Properties on Land Surface Temperature; the Case of the Tehran Metropolitan Area, *Soffeh*, Volume 31, Issue 1, Pages 59-77, <https://doi.org/10.52547/sofeh.31.3.59>, [in Persian].
- Azhdari, A., Soltani, A., Alidadi, M. (2018). Urban Morphology and Landscape Structure Effect on Land Surface Temperature: Evidence from Shiraz, a Semi-arid City, *Sustainable Cities and Society*, 41, 853-864, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.06.034>, [in Persian].
- Elijah A, Njoku., David E, Tenenbaum. (2022). Quantitative assessment of the relationship between land use/land cover (LULC), Topographic Elevation and Land Surface Temperature (LST) in Ilorin, Nigeria, *Remote Sensing Applications: Society and Environment* (27), <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100780>.
- Guha, S., & Govil, H. (2020). An assessment on the relationship between land surface temperature and normalized difference vegetation index, *Environment. Journal of Development and Sustainability*, 23, 1944-1963, <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03458-8>.
- Hajiloo, M., Almodaresi, SA., Sarkargar Ardakani, A. (2014). Monitoring the Surface Temperature of the Earth and Investigating the Relationship Between Land Use and Surface Temperature Using ETM and OLI sensors (case study Qom province), *The first conference on the use of advanced spatial models (Remote Sensing and GIS) in Land Management, Islamic Azad University Yazd Branch* [in Persian].
- Halabian, a., Parvin, N., Naghibzade, R. (2021). Analysis of the spatial and temporal variations in the thermal patterns of the Arak City in Iran using satellite image processing, (30): 122-139, <https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.247885>, [in Persian].
- Hashemi, Z., Soodaei zadeh, H., Mokhtari, MH. (2022). Investigation of the Relationship between Land Surface Temperature with Vegetation and Surface Moisture in the Land Use of Zahak Area of Sistan Plain Using Landsat Satellite Images, <https://doi.org/10.52547/gisj.14.1.21> [in Persian].
- Jalan, S., Sharma, K. (2014). Spatio-Temporal Assessment of Land Use/ Land Cover Dynamics and Urban Heat Island of Jaipur City Using Satellite Data, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-8, ISPRS Technical Commission VIII Symposium, Hyderabad, India*, pp 767-772.
- Karimi Firozjaeia, M., Fatholouloumib, S., Kiavarza, M., Jokar Arsanjanic, J., Alavipanaha, SK. (2020). Modelling surface heat island intensity according to differences of biophysical characteristics: A case study of Amol city, Iran, *Ecological Indicators*, Volume 109, 105816, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105816>.
- Khamchiangta, D., Dhakal, S. (2021). Future urban expansion and local climate zone changes in relation to land surface temperature: Case of Bangkok Metropolitan Administration, Thailand, *Urban Climate*, 37, 100835, ISSN 2212-0955, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100835>
- Rao, Y, Jingyi. D, Deyi. D., Qingsong. H. (2021). Effect of urban growth pattern on land surface temperature in China: A multi-scale landscape analysis of 338 cities” *Land Use Policy*, 103, 105314, ISSN 0264-8377, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105314>.
- Shatarian, M., Heidari Sorshjani, R., Falahati, F. (2020). Evaluation of Quality of Life Indexes with Approach Healthy City (Case study: Worn Tissue of Kashan City). *Journal of Urban Social Geography*, 7(1), 65-80, <https://doi.org/10.22103/JUSG.2020.2005>, [in Persian].
- Roy, S., Panditb, S., Akter Eva, E., Bagmard, Md., Sh H., Papiac, M., Banikf, L., Dube, T., Rahmanh. F., Razii. MA. (2020). Examining the nexus between land surface temperature and urban growth in Chattogram Metropolitan Area of Bangladesh using long term Landsat series data, 32,100593, ISSN 2212-0955, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100593>.

- Tavvoosi, M., Vafakhah, M., Moosavi, V. (2023). Estimation of Maximum and Minimum Daily Air Temperature Using Modis Surface Temperature Products, <https://doi.org/10.52547/gisj.14.4.53>, [in Persian].
- Ullah, M., Li, J., Wadood, B. (2020). Analysis of Urban Expansion and its Impacts on Land Surface Temperature and Vegetation Using RS and GIS, A Case Study in Xi'an City, China. *Earth Syst Environ* 4, 583–597, <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00166-6>.
- Wang, S., Qifang, Ma., Haiyong, D., Hanwei, L. (2018). Detection of urban expansion and land surface temperature change using multi-temporal landsat images, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 128, pp 526-534, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.05.011>.
- Wang, C., Soe, W M., Fan, P., Stuhlmacher, M., Yang, J. (2018). The impact of urban expansion on the regional environment in Myanmar: a case study of two capital cities” *Landscape Ecol: Springer Science Business Media B.V., part of Springer Nature*, 33: 765-782, <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0632-1>.
- Zhao, Y., Wu, Q., Wei, P., Zhao, H., Zhang, X., Pang, C. (2022). Explore the Mitigation Mechanism of Urban Thermal Environment by Integrating Geographic Detector and Standard Deviation Ellipse (SDE). *Remote Sens.* 14, 3411, <https://doi.org/10.3390/rs14143411>.
- Zhao, J., Le, Y., Yidi, X., Xuecao, L., Yuyu, Z., Dailiang, P., Han, L., Xiaomeng, H., Zheng, Z., Dong, W., Chao, R., Peng, G. (2020). Exploring difference in land surface temperature between the city centres and urban expansion areas of China's major cities, *International Journal of Remote Sensing*, 41:23, 8965-8985, <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1797216>.
- Zhang, M., Al Kafy, A., Xiao, P., Han, S., Zou, Sh., Saha, M., Zhang, Ch., Tan, Sh. (2023). Impact of urban expansion on land surface temperature and carbon emissions using machine learning algorithms in Wuhan, China, *Urban Climate* 47, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101347>.
- Zhang, X., Kasimu, A., Liang, H., Wei, B., Aizizi, Y. (2022). Spatial and Temporal Variation of Land Surface Temperature and Its Spatially Heterogeneous Response in the Urban Agglomeration on the Northern Slopes of the Tianshan Mountains, Northwest China. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 11;19(20):13067, <https://doi.org/10.3390/ijerph192013067>.



نحوه ارجاع به مقاله:

موسوی، بهاره سادات؛ عبداللهی کاکرودی، عطاءالله؛ اروندي، سمانه (۱۴۰۲) تأثیر شرایط اقلیمی بر تغییرات مکانی-زمانی و ویژگی های بیوفیزیکی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره ای (نمونه مورد مطالعه: شهرهای کاشان، شیرگاه، بندرانزلی)، مطالعات شهری، 12 (48)، 99-112. <https://doi.org/10.34785/J011.2022.023.112>

**Copyrights:**

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

