

Estimating Land Surface Temperature Using a Mono-Window Algorithm and Examining Its Relationship with Land Uses in Arid and Semi-Arid Regions

Zahra Parvar¹, Maryam Morovati^{2*}

1. Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Golestan, Iran.

2. Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.

*Corresponding Author: mymorovati@ardakan.ac.ir

Received date: 02/06/2026

Accepted date: 08/07/2026



[10.22034/jdmal.2026.2090450.1530](https://doi.org/10.22034/jdmal.2026.2090450.1530)

Abstract

Despite progress in understanding how land use and land cover change relate to land surface temperature, more regional studies are needed in arid and semi-arid areas. This study investigates the link between LULC changes and LST in Baft, Sirjan, and Bardsir counties in Kerman Province, Iran, from 2000 to 2025. LST was derived from Landsat images using the Mono- Window algorithm, with thermal zones classified into five categories via the Natural Breaks method. Additionally, CHIRPS rainfall data obtained through Google Earth Engine were used to analyze summer rainfall variability. Results showed that built-up areas expanded from 21,187ha in 2000 to 25,300 ha in 2025, while bare lands and rangelands declined. Zone 5, the hottest thermal zone, was dominant throughout, with maximum LST rising significantly from around 60°C in 2000 to 66°C in 2025. Bare land consistently exhibited the highest average LST, and built-up areas were warmer than natural covers like rangelands and orchards. LULC distribution in thermal zones revealed that bare lands contributed most to Zone 5, while orchards and agricultural lands mainly occupied Zones 2 to 4. Summer precipitation showed a slight but highly variable increasing trend; however, extreme rainfall events did not prevent the continued rise in LST. These results indicate that, under the region's climate conditions, surface physical properties and land cover types have a greater impact than seasonal soil moisture, and increased summer rainfall cannot offset the warming caused by land conversion.

Keywords: Thermal zoning, Natural breaks, Precipitation trend, Landsat, Google Earth Engine

How to cite this article

Parvar Z., and Morovati, M. (2026). Estimating Land Surface Temperature Using a Single-Window Algorithm and Examining Its Relationship with Land Uses in Arid and Semi-Arid Regions. *Desert Management*, 14(1), 61-84. DOI: [10.22034/jdmal.2026.2090450.1530](https://doi.org/10.22034/jdmal.2026.2090450.1530)



Extended Abstract

Introduction

Changes in terrestrial systems directly impact regional climate and ecosystem services (1, 2). In recent decades, LULC change has been recognized as a key factor influencing local and regional environmental and climate shifts (5, 23, 33). Population growth, urban expansion, and vegetation degradation disrupt surface energy balance, affecting land surface temperature (LST) (28). LST, also known as radiative surface temperature (6, 27), depends on near- surface temperature and longwave radiation exchange (37). Unlike air temperature from meteorological stations, satellite- derived LST allows detailed spatial analysis and is vital for understanding LULC effects (21). Remote sensing provides reliable global and regional LST data (35), supported by numerous validation studies (3, 31, 34). Applications include monitoring urban heat islands, heatwaves, and agricultural mapping (14). The relationship between LULC and LST is well- known: built- up areas tend to be warmer, while water bodies and vegetation tend to be cooler (13, 24, 38). Globally, expansion of built-up areas raises LST, and vegetation loss worsens surface warming (16, 11). In Iran, studies show significant LULC effects on LST, especially in arid regions, though some estimation challenges remain (30, 36, 15, 28). Urban growth is a primary factor driving thermal changes (18), but the LULC- LST link can vary due to topographic influences (12). Most previous research in Iran's arid zones focused on pairwise LULC- LST relationships over limited periods; this study introduces a novel approach by combining time- series satellite data with spatial analysis to quantify each LULC class's contribution to thermal zones. Kerman Province, with its diverse topography, urban centers, agriculture, and rangelands, is highly susceptible to LULC changes. This research aims to improve understanding of how different land uses influence thermal behavior in arid and semi-arid areas, particularly across Baft, Bardsir, and Sirjan counties, which have diverse land use patterns. Ultimately, the study seeks to quantify the role of various LULC classes in surface temperature patterns, identify thermal hotspots, prioritize land use types for management, and support sustainable land use planning in arid and semi- arid environments.

Material and Methods

This research was carried out in the counties of Baft, Sirjan, and Bardsir, covering 3,085,425 hectares in Kerman Province, Iran (Fig 1). Landsat satellite images—Landsat 5 TM for 2000, Landsat 8 OLI for 2014, and Landsat 8/9 OLI for 2025—were obtained via Google Earth Engine (GEE). All images underwent atmospheric correction and were resampled to a 30-meter resolution. To reduce seasonal variability, summer images were selected, and median composites were created for each year. Moreover, CHIRPS rainfall data supported analysis of rainfall trends (refer to Table 1). The study consisted of four main phases: (1) land use/land cover (LULC) mapping from Landsat data, (2) land surface temperature (LST) extraction using the mono-window algorithm, (3) analyzing the spatial relationship between LULC and LST, and (4) examining rainfall trends. For LULC classification, a hybrid approach integrating supervised, unsupervised, and decision tree methods was employed. False-color composite bands 543 and auxiliary layers like NDVI and NDWI improved class discrimination. The final map comprised six classes (Table 2). Accuracy was validated with 300 reference points chosen through stratified random sampling, referencing high-resolution Google Earth images, Sentinel-2 data, and regional maps. The Kappa coefficient measured classification accuracy. The mono-window algorithm was used to derive LST from Landsat thermal bands, chosen for its proven high accuracy with Landsat data. LST values were categorized into five thermal zones using the Natural Breaks Jenks method. To explore LULC-LST relationships, the percentage contribution of each LULC class within each thermal zone was calculated with ArcGIS's Tabulate Area tool. Finally, summer precipitation trends were analyzed using CHIRPS satellite data in GEE, aiming to identify climatic factors driving changes in LULC and LST.

Results

The LULC maps for 2000, 2014, and 2025 (Fig 2) achieved overall accuracies of 89.3%, 88.3%, and 94.3%, with Kappa coefficients of 87.2%, 86.0%, and 93.2%, respectively, confirming their suitability for further analyses (Table 1 Appendix). Over the 25-year period, built-up areas expanded from 21,187 to 25,300 hectares, while barren and rangeland areas generally declined (Table 3). Croplands increased from 2000 to 2014 but decreased from 2014 to 2025, reflecting a shift from cropland use to infrastructure development. The LST maps for these years (Fig 3) indicated that thermal zone 5—the hottest—consistently covered the largest area (Table 4). The maximum LST rose from 60°C in 2000 to 63°C in 2014 and 66°C in 2025, pointing to regional warming. The average LST by land cover type (Fig 4) showed barren land had the highest temperatures (~52.0°C, 54.9°C, and 56.4°C), followed by built-up areas, with cropland, orchards,

and rangelands maintaining lower temperatures. The distribution of land cover across thermal zones (Table 5) revealed barren land dominated zone 5, while orchards and cropland were mainly found in cooler to mid-range zones 2 and 4. Built-up areas were mostly located in zones 3 and 4, which are mid to warmer zones. Summer precipitation data (Fig 5) exhibited significant interannual variability with an overall upward trend, although precipitation remained relatively low in arid and semi-arid regions.

Discussion

These sharp fluctuations reflect rising climate instability in this dry and semi-dry area and suggest a risk of flash floods after prolonged dry spells. The concurrent rise in land surface temperature (LST), linked to expanding urban areas and decreasing natural vegetation, confirms the classic heat island effect in arid and semi-arid regions. Notably, bare land, rather than urban surfaces, becomes the hottest zone due to its low albedo and minimal heat capacity, which intensifies solar radiation absorption. Interestingly, extreme summer rainfall events have not stopped the upward LST trend, indicating that radiation and land cover outweigh seasonal soil moisture in these latitudes. This aligns with past research in Iran's arid zones like the Yazd-Ardakan Plain but differs from semi-humid areas where precipitation moderates temperature more effectively. Specifically, in Baft, Sirjan, and Bardsir, increased summer rainfall cannot offset the warming caused by converting rangelands to built or bare lands.

Conclusion

This research highlights important considerations for land management in arid and semi-arid regions. Barren lands are identified as the primary sources of heat buildup; thus, urban or industrial policies that turn barren areas into impervious surfaces without adding vegetation could intensify heat. Conversely, cultivating agriculture and gardens around hot zones can help reduce heat, especially when supported by sustainable irrigation practices.

Keywords: Thermal Zoning, Natural Breaks, Precipitation Trend, Landsat, Google Earth Engine

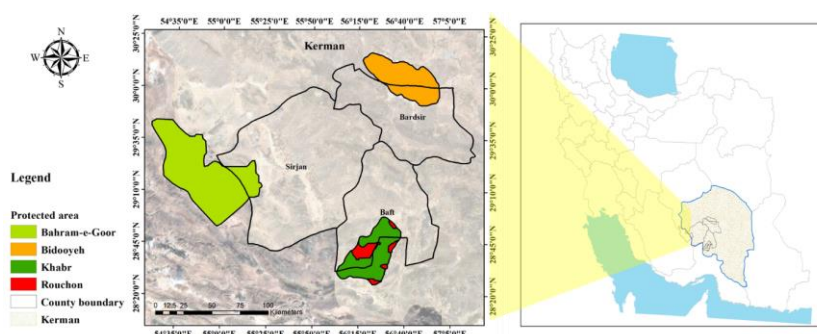


Fig 1. Location map of the Study area

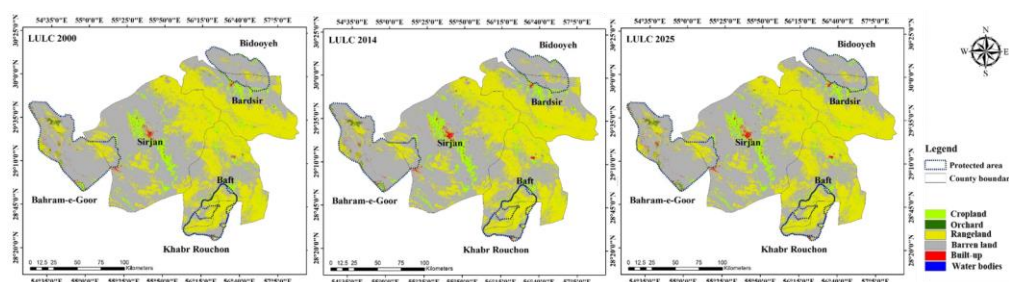


Fig 2. LU/LC maps for 2000, 2014, and 2025

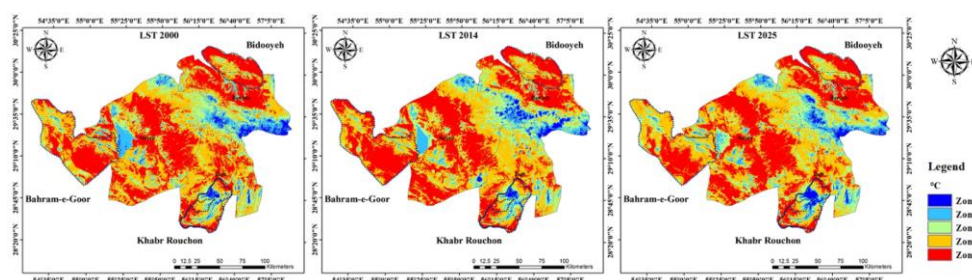
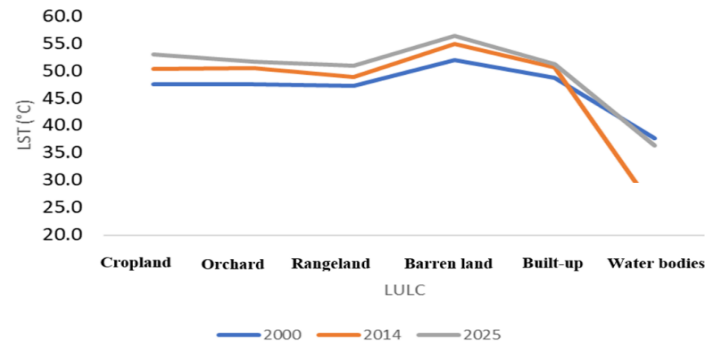
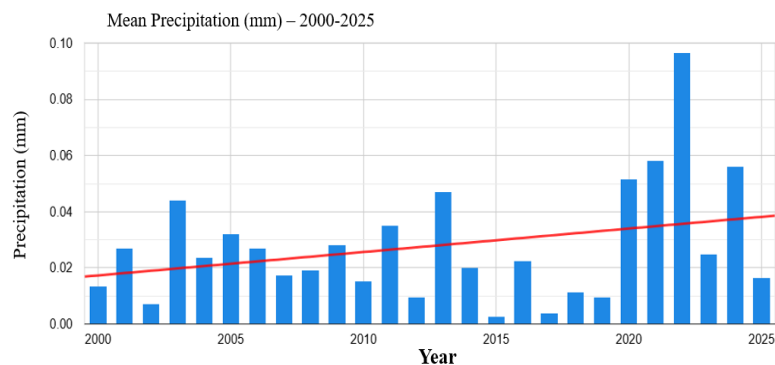


Fig 3. Land Surface Temperature classification for 2000, 2014, and 2025**Fig 4. LST variations across LU/LC classes for 2000, 2014, and 2025****Fig 5. Precipitation variations during summer from 2000 to 2025 (mm)****Table 1. Data used in this study**

Sensor	Date and Time of Image Acquisition (UTC)	Spatial Resolution	Source
Landsat 5 TM	2000	Multispectral: 30 m Thermal: 120 m (resampled to 30 m)	https://earthexplorer.usgs.gov
Landsat 8 OLI/TIRS	2014	Multispectral: 30 m Thermal: 100 m (resampled to 30 m)	https://earthexplorer.usgs.gov
Landsat 9 OLI/TIRS	2025	Multispectral: 30 m Thermal: 100 m (resampled to 30 m)	https://earthexplorer.usgs.gov
CHIRPS	2000–2025	5 km	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data

Table 2. Description of LU/LC classes

LULC Class	Description
Cropland	Farmlands, cultivated crops
Orchard	Gardens, forests, planted trees, dense vegetation cover
Rangeland	Dense and sparse pastures, shrublands
Barren land	Unvegetated or abandoned lands
Built-up	Urban and rural residential areas, impervious surfaces
Water bodies	Water bodies (rivers, lakes, reservoirs)

Table 3. Area (hectares) and percentage of LULC classes

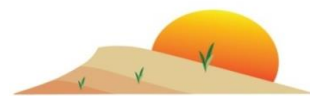
LULC Class	2000		2014		2025	
	Area (ha)	Percent	Area (ha)	Percent	Area (ha)	Percent
Cropland	193,466	6.3	207,556	7.6	201,506	6.5
Orchard	19,401	0.6	20,018	0.6	19,906	0.6
Rangeland	1,114,363	36.1	1,110,422	36.0	1,117,223	36.2
Barren land	1,736,905	56.3	1,722,647	55.8	1,721,174	55.8
Built-up	21,188	0.7	24,726	0.8	25,301	0.8
Water bodies	104	0.003	55	0.002	316	0.01
Total	3,085,425	100	3,085,425	100	3,085,425	100

Table 4. Area (hectares) of thermal zones

Zone	2000	2014	2025
	Area (ha)	Area (ha)	Area (ha)
ZONE 1	74,690	79,086	71,925
ZONE 2	262,681	240,216	251,185
ZONE 3	526,155	526,091	560,946
ZONE 4	1,079,674	1,078,976	1,089,183
ZONE 5	1,142,228	1,161,059	1,112,189

Table 5. Percentage of LULC classes across different thermal zones

Thermal Zone	Cropland	Orchard	Rangeland	Built-up	Water bodies
2000					
ZONE1	0.17	0.02	2.19	0.01	0.002
ZONE2	0.67	0.06	5.46	0.07	0.001
ZONE3	1.78	0.21	11.57	0.22	0.000
ZONE4	2.79	0.29	13.52	0.27	0.00
ZONE5	0.87	0.05	3.44	0.11	0.00
2014					
ZONE1	0.18	0.02	2.17	0.01	0.002
ZONE2	0.75	0.05	5.40	0.08	0.00
ZONE3	1.92	0.19	11.49	0.26	0.00
ZONE4	3.02	0.32	13.47	0.31	0.00
ZONE5	0.85	0.06	3.45	0.14	0.00
2025					
ZONE1	0.15	0.02	2.04	0.03	0.01
ZONE2	0.67	0.09	6.28	0.17	0.00
ZONE3	1.54	0.24	11.89	0.24	0.00
ZONE4	2.92	0.25	12.29	0.28	0.00
ZONE5	1.25	0.06	3.71	0.10	0.00



برآورد دمای سطح زمین با خوارزمیک تک پنجره و ارتباط آن با کاربری‌های اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک

زهرا پرور^۱، مریم مروتی^{۲*}

۱. گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

پژوهشکده آب، انرژی و محیط‌زیست، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

* نویسنده مسئول: mymorovati@ardakan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۱۷



[10.22034/jdmal.2026.2090450.1530](https://doi.org/10.22034/jdmal.2026.2090450.1530)

چکیده

باوجود پیشرفت در درک رابطه تغییر کاربری‌ارضی با دمای سطح زمین، این رابطه در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیازمند بررسی منطقه‌ای بیشتر است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل ارتباط میان تغییر کاربری‌ارضی و دمای سطح زمین در شهرستان‌های بافت، سیرجان و بردسیر استان کرمان در بازه ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۴ انجام شد. برای استخراج دمای سطح زمین از تصاویر لندست و خوارزمیک (الگوریتم) تک پنجره استفاده شد و پهنه‌بندی حرارتی با روش شکست طبیعی در پنج طبقه انجام شد. همچنین داده‌های بارش CHIRPS در سامانه گوگل ارث انجین برای واکاوی تغییر بارش تابستانه به‌کارگرفته شد. نتایج نشان داد که مساحت مناطق ساخته‌شده از ۲۱۱۸۷ha در سال ۱۳۷۹ به ۲۵۳۰۰ha در ۱۴۰۴ افزایش یافت، درحالی‌که اراضی بدون پوشش (بایر) و مرتعی، روند کاهشی داشتند. طبقه ۵ داغ‌ترین پهنه در هر سه سال، پهنه غالب دمایی بود و بیشینه دمای سطح زمین روندی صعودی و معنی‌دار از حدود ۶۰°C در ۱۳۷۹ به ۶۶°C در ۱۴۰۴ نشان داد. بیشترین میانگین دمای سطح زمین در هر سه سال به‌طور پیوسته مربوط به اراضی بدون پوشش بود. تحلیل پراکنش کاربری‌ها در پهنه‌های حرارتی نشان داد که اراضی بدون پوشش بیشترین سهم را در پهنه ۵ دارند، درحالی‌که باغ و اراضی کشاورزی در پهنه‌های ۲ تا ۴ متمرکز شده‌اند. بررسی بارش تابستانه حاکی از روندی ملایم اما بسیار نوسانی بود؛ رخداد بارش‌های شدید نتوانست روند افزایشی دمای سطح زمین را متوقف کند. این یافته نشان می‌دهد که در اقلیم حاکم بر منطقه، ویژگی‌های فیزیکی سطح و نوع پوشش اراضی بر رطوبت فصلی خاک برتری دارند و حتی افزایش بارش تابستانه نیز نمی‌تواند اثر گرمایش ناشی از تبدیل کاربری را جبران کند.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی حرارتی، شکست طبیعی، روند بارش، لندست، گوگل ارث انجین

استناد به این مقاله

پرور، زهرا و مروتی، مریم. (۱۴۰۵). برآورد دمای سطح زمین با خوارزمیک تک پنجره و ارتباط آن با کاربری‌های اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک. مدیریت بیابان، ۱۴(۱)، ۶۱-۸۴. DOI: [10.22034/jdmal.2026.2090450.1530](https://doi.org/10.22034/jdmal.2026.2090450.1530)



■ مقدمه

تغییرات در سامانه زمینی مستقیماً بر آب‌وهوای منطقه، عملکرد بوم‌سازگان و خدمات آن تأثیر می‌گذارد (۱، ۴). در دهه‌های اخیر، تغییرات کاربری/پوشش اراضی (LULC)^۱ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات محیطی و اقلیمی در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای شناخته شده است (۵، ۲۳، ۳۳).

رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی، تخریب پوشش‌های طبیعی و افزایش سطوح نفوذناپذیر مانند آسفالت و بتن، توازن انرژی سطح زمین را برهم زده و پارامترهای اقلیمی از جمله دمای سطح زمین (LST)^۲ را تحت تأثیر قرار داده‌اند (۲۷). LST به‌عنوان متغیر کلیدی در مدل‌سازی تبادل انرژی و آب، پیش‌بینی‌های جوی و بررسی‌های اقلیمی نقشی حیاتی دارد (۲۰). باتوجه به محدودیت‌های اندازه‌گیری‌های زمینی، سنجش‌ازدور تنها راهکار پایش LST در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی است. در این فرآیند، سنجنده‌های ماهواره‌ای با دریافت تابش حرارتی دریافتی توسط سنجنده تعدیل شده توسط جو، دمای میانگین هر واحد شبکه (پیکسل) را برآورد می‌کنند (۷). LST که دمای تابشی یا دمای محسوس سطح نیز نامیده می‌شود (۶، ۲۶)، بر اساس دمای نزدیک به سطح و تبادل تابش موج بلند بین جو و سطح برآورد می‌شود (۳۷). برخلاف دمای هوای اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی، LST حاصل از تصاویر ماهواره‌ای امکان تحلیل مکانی دقیق‌تری را فراهم می‌آورد. بنابراین در مناطق با پوشش گیاهی متراکم، این دما به‌طور عمده نمایانگر دمای تاج پوشش و در زمین‌های بایر، نشان‌دهنده دمای لایه سطحی خاک است (۱۷). لذا متغیر کلیدی برای درک تأثیر LULC است (۲۱) و امروزه به یکی از موضوعات مهم علمی تبدیل شده است (۲۲). سنجش‌ازدور راهی مؤثر برای دستیابی به LST در مقیاس جهانی و منطقه‌ای است (۳۵) و ماهواره‌های سنجش‌ازدور با پوشش گسترده خود، امکان بازبینی منظم یک منطقه را دارند (۸، ۲۴). بسیاری از بررسی‌ها، قابلیت اطمینان داده‌های LST حاصل از تصاویر ماهواره‌ای را در مقایسه با اندازه‌گیری‌های میدانی

تأیید کرده‌اند (۳، ۳۱، ۳۴).

کاربرد داده‌های LST در مطالعات متعددی نشان داده شده است؛ از جمله پایش اثرات گرمایش جهانی بر دریاچه‌ها، کمی کردن جزیره گرمایی شهری، تحلیل امواج گرما و در کشاورزی برای پهنه‌بندی نیاز حرارتی محصولات (۱۴). در این میان، رابطه میان تغییرات LULC و LST به یکی از محورهای اساسی پژوهش‌های محیطی تبدیل شده است. نوع LULC تأثیر مستقیمی بر الگوهای مکانی-زمانی LST دارد: افزایش سطوح ساخته‌شده با افزایش دما همراه است و مناطق شهری بیشترین مقدار دمایی را نشان می‌دهند، در حالی که پهنه‌های آبی و پوشش‌های گیاهی متراکم کمترین دما را دارند. بررسی‌های پیشین این رابطه را از زوایای مختلف بررسی کرده‌اند (۱۳، ۲۴، ۳۸) و در ادامه مروری بر مهم‌ترین یافته‌ها ارائه می‌شود.

برخی مطالعات نشان داده‌اند که افزایش سطوح ساخته‌شده و نفوذناپذیر معمولاً با افزایش LST همراه است و مناطق شهری در میان انواع مختلف کاربری‌ها بیشترین مقادیر دمایی را به خود اختصاص می‌دهند، در حالی که پهنه‌های آبی و پوشش‌های برفی کمترین دما را نشان می‌دهند (۱۹). همچنین نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در مناطق مختلف جهان حاکی از آن است که کاهش پوشش‌های گیاهی و افزایش اراضی بایر و مناطق شهری موجب تشدید گرمایش سطحی و افزایش شدت جزایر حرارتی می‌شود (۱۱، ۱۶).

در ایران نیز تغییرات LULC و پیامدهای حرارتی آن به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. بررسی تغییرات دو دهه‌ای LULC در منطقه طشک-بختگان و مهارلو نشان داد که بخش قابل‌توجهی از اراضی کشاورزی به مرتع تبدیل شده و هم‌زمان میانگین LST افزایش یافته است. این مطالعه همچنین نشان داد که اراضی بایر و مناطق شهری بالاترین دما را دارا بوده و بین شاخص پوشش گیاهی و LST رابطه‌ای منفی و قوی برقرار است (۲۹). در بررسی دیگری در شمال‌غرب ایران مشخص شد که رفتار حرارتی کاربری‌های مختلف به ویژگی‌های فیزیکی سطح، به‌ویژه

¹ Land Use Land Cover (LULC)

² Land Surface Temperature

ضریب بازتاب سطح وابسته است؛ به طوری که پهنه‌های آبی کمترین دما و برخی کاربری‌ها نظیر مراتع و حتی جنگل‌ها در شرایط خاص می‌توانند مقادیر بالاتری از LST را تجربه کنند (۳۶).

علاوه بر نوع کاربری، ویژگی‌های بیوفیزیکی سطح زمین نیز نقش مهمی در کنترل دمای سطح ایفا می‌کنند. نتایج پژوهشی در ایران نشان داد که الگوی همبستگی میان آلبدو سطح زمین^۱ و دمای سطح زمین می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر برای تشخیص تغییرات محیطی مورد بهره‌گیری قرارگیرد. بر اساس این پژوهش، ایجاد همبستگی مثبت میان LSA و LST در پهنه‌های خشک‌شده نشانه‌ای از بیابان‌زایی است، در حالی که در مناطق مرتفع، بازخورد برف- آلبدو سطح نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییرات دمایی دارد (۱۵). از سوی دیگر، بررسی‌ها نشان داده‌اند کاهش پوشش جنگلی با افزایش LST همراه است و اراضی کشاورزی به دلیل رطوبت بیشتر خاک و تبخیر-تعرق بیشتر، دمای کمتری نسبت به دیگر کاربری‌ها دارند (۳۲).

در مناطق خشک و بیابانی، برآورد دقیق دمای سطح زمین با چالش‌هایی نظیر کمبود داده‌های باکیفیت در برخی بازه‌های زمانی و خطاهای ناشی از تصحیح جوّی همراه است. در این زمینه، پژوهش انجام‌شده در دشت یزد-اردکان نشان داد که بازسازی داده‌های حرارتی ماهواره‌ای می‌تواند روندهای واقعی تغییرات دمایی را با دقت مناسبی آشکار سازد. نتایج پژوهش فوق نشان داد که اراضی بایر و تپه‌های ماسه‌ای در طول روز بیشترین دما را دارند و مناطق مسکونی در طول شب گرمای بیشتری را حفظ می‌کنند (۲). رشد شهرنشینی نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تغییر الگوهای حرارتی سطح زمین شناخته می‌شود. نتایج مطالعه‌ای در مناطق شهری ایران نشان داد که مناطق ساخته‌شده بیشترین نوسانات حرارتی سالانه را تجربه می‌کنند و وجود فضاهای سبز در مجاورت آن‌ها می‌تواند شدت این نوسانات را کاهش دهد. همچنین شبیه‌سازی توسعه شهری بیانگر آن است که گسترش بی‌رویه مناطق شهری بدون توسعه هم‌زمان فضاهای سبز

موجب تشدید شرایط حرارتی در آینده خواهد شد (۱۸). باوجود پیشرفت‌های قابل‌توجه در شناخت رابطه میان LULC و LST، برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که این ارتباط خطی و یکنواخت نیست. برای مثال، در شهرستان دنا رابطه‌ای مثبت میان شاخص پوشش گیاهی و LST مشاهده شد که علت آن تأثیر غالب عامل ارتفاع بر الگوهای دمایی منطقه است (۱۲). این یافته ضرورت انجام بررسی‌های بیشتر در این حوزه را دوچندان می‌کند. از طرفی در حالی که اغلب پژوهش‌های پیشین در مناطق خشک ایران به بررسی رابطه دوتایی کاربری و دما در یک بازه زمانی محدود پرداخته‌اند، رویکرد متفاوت پژوهش حاضر در ترکیب هم‌زمان داده‌های ماهواره‌ای سری زمانی با تحلیل الگوی مکانی و کمی‌سازی سهم هر طبقه کاربری در پهنه‌های حرارتی است. این رویکرد امکان شناسایی دقیق‌تر نقاط داغ حرارتی و اولویت‌بندی کاربری‌های بحرانی را فراهم می‌کند.

استان کرمان به دلیل قرارگیری در کمربند خشک و نیمه‌خشک ایران، تنوع توپوگرافی قابل‌توجه، وجود مراکز شهری و صنعتی، اراضی کشاورزی گسترده و پهنه‌های وسیع مرتعی و بایر، از جمله مناطق حساس نسبت به تغییرات LULC و تغییرات حرارتی سطح زمین محسوب می‌شود. با توجه به تنوع کاربری‌های اراضی و تفاوت‌های اقلیمی و توپوگرافی در شهرستان‌های بافت، بردسیر و سیرجان، پژوهش حاضر می‌کوشد تا با ارائه الگوهای مکانی LST و واکاوی سهم هر یک از طبقات کاربری در پهنه‌های حرارتی، درک موجود از رفتار حرارتی کاربری‌های مختلف در مناطق خشک و نیمه‌خشک را توسعه دهد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند مبنایی برای اولویت‌بندی مناطق بحرانی از نظر تنش حرارتی و ارائه راهکارهای کاربردی در مدیریت بهینه‌ی پوشش اراضی باشد.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۳۰۸۵۴۲۵ ha شامل شهرستان‌های بافت، سیرجان و بردسیر در محدوده

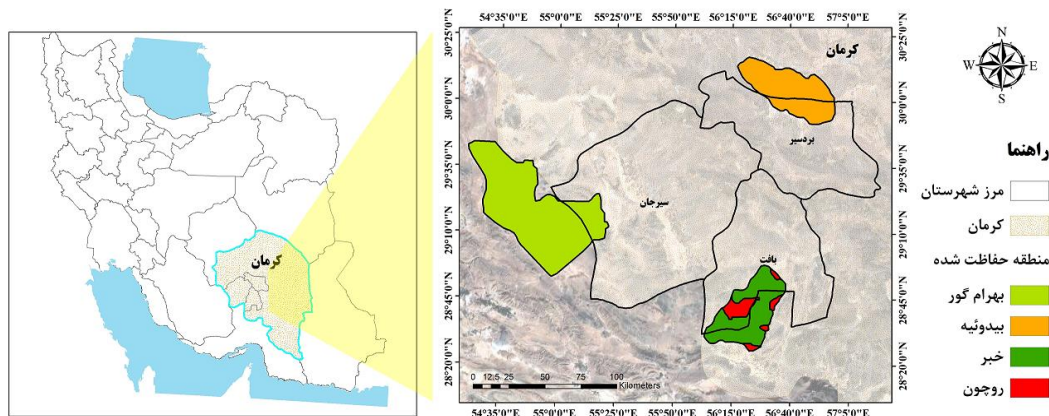
¹ Land Surface Albedo

داده‌ها و روش کار

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده برای تهیه نقشه‌های LULC شامل لندست ۵ برای سال ۲۰۰۰ میلادی معادل ۱۳۷۹ شمسی، و لندست ۸ برای سال ۲۰۱۴ (۱۳۹۳) و لندست ۹/۸ سال ۲۰۲۵ (۱۴۰۴) بودند. تمامی تصاویر در سطح ۲ در تابستان و با اعمال تصحیحات جوی و اتمسفری از بستر گوگل ارث انجین تهیه شدند. به منظور تحلیل همزمان، کلیه تصاویر LST و LULC با دقت مکانی ۳۰m یکسان‌سازی شدند. به منظور کاهش تأثیر تغییرات فصلی، تصاویر مربوط به بازه زمانی تابستان هر سال فیلتر شد و مقدار میانه در فصل تابستان محاسبه شد و در پایان نقشه LST از تصاویر لندست در تابستان و با کمینه ابر تهیه شد. برای تحلیل تغییرات بارش از تصاویر CHIRPS در بستر گوگل ارث انجین استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر در جدول ۱ نشان داده شده است.

جغرافیایی ۳۰°۲۰' شمالی، ۵۴°۱۳' شرقی تا ۲۸°۲۰' شمالی، ۵۷°۲۲' شرقی در استان کرمان می‌شود. این منطقه به دلیل تنوع بالای سیمای سرزمین، تفاوت‌های اکولوژیکی چشمگیر و وجود چهار منطقه مهم تحت حفاظت شامل پارک ملی خبر، پناهگاه حیات وحش روچون، منطقه حفاظت‌شده بیدوئیه و بخشی از بهرام‌گور انتخاب شد (شکل ۱). استان کرمان با دارا بودن پهنه‌های گسترده کویری، دشت‌های خشک و ارتفاعات سردسیر، تنوع اقلیمی زیادی دارد. میانگین بارندگی سالانه آن mm ۱۴۵ است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، استان کرمان در محدوده‌ی اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار می‌گیرد (۹).

این شرایط، بستری مناسب برای تحلیل فرآیندهای بوم‌سازگانی به‌ویژه بررسی مکانی-زمانی LST فراهم می‌آورد و می‌تواند الگویی برای مدیریت پایدار سرزمین در مناطق با اقلیم مشابه خشک و نیمه‌خشک ارائه دهد.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر

سنجنده	تاریخ و زمان دریافت تصویر (UTC)	توان تفکیک	توضیحات
لندست ۵	میانگین تمام تصاویر	چند طیفی: ۳۰ متر	
سنجنده TM	موجود در تابستان ۱۳۷۹	حرارتی: ۱۲۰m بازمنه‌برداری شده به ۳۰m	https://earthexplorer.usgs.gov
لندست ۹/۸	میانگین تابستان ۱۳۹۳	چند طیفی: ۳۰ متر	
سنجنده TIRS/OLI	میانگین تابستان ۱۴۰۴	حرارتی: ۱۰۰m بازمنه‌برداری شده به ۳۰ m	
CHIRPS	تابستان ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۴	km۵	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data

جداگانه با روش‌های نظارت‌شده و نظارت‌نشده تهیه شدند. سپس با بهره‌گیری از شاخص‌های NDVI و NDWI به کمک درخت تصمیم، از میان طبقات تفکیک‌شده در هر روش، طبقه‌هایی که دقت بیشتری داشتند انتخاب و در پایان نقشه کاربری اراضی با ۶ طبقه تولید شد (جدول ۲). ارزیابی دقت، یکی از مراحل ضروری در فرآیند طبقه‌بندی است. در پژوهش حاضر، به منظور ارزیابی صحت نقشه‌های تولیدی، از ۳۰۰ نقطه مرجع با روش نمونه‌گیری طبقه‌بندی‌شده تصادفی استفاده شد. تطبیق این نقاط با واقعیت زمینی از طریق پیمایش میدانی و برداشت مختصات با GPS در منطقه انجام شد. علاوه بر آن، برای افزایش دقت و پوشش نقاط، از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی زیاد گوگل ارث، تصاویر سنتینل-۲ و نقشه‌های پایه معتبر برای تأیید پایانی بهره‌گیری شد. ضریب کاپا نیز برای سنجش میزان انطباق بین نقشه طبقه‌بندی‌شده و داده‌های مرجع محاسبه شد. ضریب کاپا به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری میزان انطباق بین نقشه طبقه‌بندی‌شده و داده‌های مرجع فراتر از توافق تصادفی استفاده شد. این ضریب در دامنه صفر تا ۱ قرار دارد که مقادیر نزدیک به ۱ نشان‌دهنده توافق عالی است.

بازیابی دمای سطح زمین

خوارزمیک‌های مختلفی برای برآورد LST پیشنهاد شده است (۲۶). در پژوهش حاضر خوارزمیک تک پنجره به دلیل دقت زیاد برای تصاویر لندست سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۴ اجرا شد. محاسبه خوارزمیک تک پنجره از تصاویر لندست (۲۸، ۳۰) در رابطه زیر نشان داده شده است (رابطه ۲):

رابطه ۲

$$LST (T_s) = BT / (1 + \lambda \times \left(\frac{BT}{\rho} \right) \times \ln(\epsilon_\lambda))$$

BT دمای روشنایی LST سنجنده به کلون، λ طول موج رادیانس، ρ مقدار ضریب $\rho = \frac{hc}{\sigma} = 1.438 \times 10^{-2} \text{ mk}$ که ثابت پلانک، c ثابت بولتزمن، σ سرعت نور است، و ϵ_λ مقدار گسیلمندی است.

پژوهش حاضر در چهار مرحله اصلی انجام شد:

گام اول: نقشه‌های LULC از تصاویر ماهواره‌ای لندست تهیه شد.

در گام دوم: LST با استفاده از باندهای حرارتی تصاویر لندست و با کمک خوارزمیک تک پنجره به‌دست آمد.

در گام سوم: تجزیه و تحلیل فضائی و بررسی ارتباط LST و LULC انجام شد.

و در گام چهارم تحلیل تغییرات بارش منطقه مورد مطالعه صورت گرفت.

تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی

در پژوهش حاضر، به‌منظور تهیه نقشه‌های LULC با دقت زیاد برای سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۴، چارچوب طبقه‌بندی ترکیبی متشکل از روش‌های نظارت‌شده، نظارت‌نشده و طبقه‌بندی مبتنی بر درخت تصمیم^۱ پیاده‌سازی شد (۲۴).

تصاویر ماهواره‌ای لندست با ترکیب باندی کاذب ۵۴۳ برای تهیه نقشه‌های LULC استفاده شد. علاوه بر باندهای طیفی اصلی، جهت بهبود جداسازی طبقات، لایه‌های کمکی زیر نیز به‌عنوان ورودی طبقه‌بندی اضافه شدند: شاخص تفاوت نرمال‌شده پوشش گیاهی^۲ (۱۷، ۳۱) برای جداسازی طبقات دارای پوشش گیاهی متراکم از سطوح فاقد پوشش و شاخص تفاوت نرمال‌شده آب^۳ (۱۰)، برای جداسازی دقیق پهنه‌های آبی از سایر طبقات (رابطه ۱):

رابطه ۱

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$$

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

همچنین، از نقشه‌های آماده LULC با قدرت تفکیک مکانی ۳۰m شامل محصول جهانی GLC-FCS30 30m نیز به‌عنوان داده کمکی برای تعیین نمونه‌های تعلیمی و بهبود فرآیند طبقه‌بندی استفاده شد.

در فرآیند طبقه‌بندی نقشه‌های LULC اولیه به‌صورت

^۱ Decision Tree

^۲ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

^۳ Normalized Difference Water Index NDWI

^۴ Kappa Coefficient

اقلیمی مؤثر بر LULC و LST، پویایی بارش به‌ویژه در فصل تابستان (که بیشترین تأثیر را بر تنش آبی و تخریب پوشش گیاهی دارد)، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای CHIRPS^۲ در محیط GEE مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از قابلیت‌های پردازشی GEE، داده‌های بارش برای بازه‌های زمانی مورد نظر استخراج و مقادیر میانگین از کل بارش تابستان محاسبه شد. در پایان، به‌منظور نمایش روند تغییرات بارش در طول سال‌های مورد بررسی، نمودار مربوطه مستقیماً در محیط GEE رسم و تحلیل شد.

■ نتایج

تغییرات کاربری و پوشش اراضی

نقشه‌های LULC در منطقه مورد مطالعه از سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۴ در بازه زمانی ۲۵ ساله در شکل ۲ ارائه شده است.

جزئیات ماتریس خطای طبقه‌بندی برای سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۴ در جدول ۱ پیوست ارائه شده است. نتایج ارزیابی دقت نشان داد که نقشه‌های LULC به ترتیب برای سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۴ دارای درستی کل ۸۹/۳٪، ۸۸/۳٪، ۹۴/۳٪ و ضریب کاپا ۸۷/۲٪، ۸۶٪، ۹۳/۲٪ می‌باشند که حاکی از دقت کافی آن‌ها برای تحلیل‌های بعدی است.

تغییرات مساحت کاربری‌های مختلف در سه مقطع زمانی ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۴ در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در بازه ۲۵ ساله از ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۴، سیمای سرزمین با تغییرات تدریجی مواجه است. به‌طور کلی، کاربری‌های انسان‌ساخت از ۲۱۱۸۷ha به ۲۵۳۰۰ha رسیدند و آب روند افزایشی داشت که نشان‌دهنده توسعه فعالیت‌های انسانی است، در حالی که کاربری‌های بایر و مرتع با نوسانات جزئی، کاهش کلی را تجربه کرده‌اند؛ این تغییرات در مجموع بیانگر فشار بیشتر بر اراضی طبیعی و گسترش زیرساخت‌های انسانی در طول دوره مورد مطالعه بود.

دمای روشنایی (BT) دمایی است که یک جسم سیاه به آن نیاز دارد تا بتواند همان مقدار تابش را در واحد سطح به‌اندازه جسم مورد مشاهده ساطع کند. از رابطه ۳ می‌توان برای محاسبه دمای روشنایی در همه داده‌های لندست استفاده کرد (۲۶).

رابطه ۳

$$BT = \frac{K2}{n \left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1 \right)}$$

در این رابطه L_λ رادیانس طیفی بالای اتمسفر ($W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$) و $K1$ و $K2$ مقدارهای ثابت کالیبراسیون باندهای حرارتی هستند

بررسی ارتباط تغییرات LST و LULC

در این بخش، برای بررسی ارتباط تغییرات LULC و LST در سه بازه زمانی، ابتدا نقشه‌های LST تهیه و سپس به‌منظور مقایسه زمانی، در پنج طبقه حرارتی از خنک‌ترین تا گرم‌ترین طبقه‌بندی شدند. ابتدا با استفاده از روش شکست طبیعی^۱ محدوده‌های حرارتی هر یک از دوره‌ها تعیین و پس از مقایسه مرزهای به‌دست‌آمده، مرزهای مشترک و قابل مقایسه برای هر سه دوره تعیین شد. سپس، این مرزهای ثابت بر نقشه‌های LST هر سه سال اعمال گردید.

سپس بر اساس این طبقه‌بندی و طبقات کاربری موجود سهم هر کلاس در هر طبقه حرارتی به دست آمد. متعاقب آن، با به‌کارگیری ابزار Tabulate Area در نرم‌افزار ArcGIS، سهم درصدی هر کلاس از LULC موجود در هر یک از طبقات حرارتی شناسایی شده، محاسبه و تحلیل شد.

بررسی تغییرات بارش

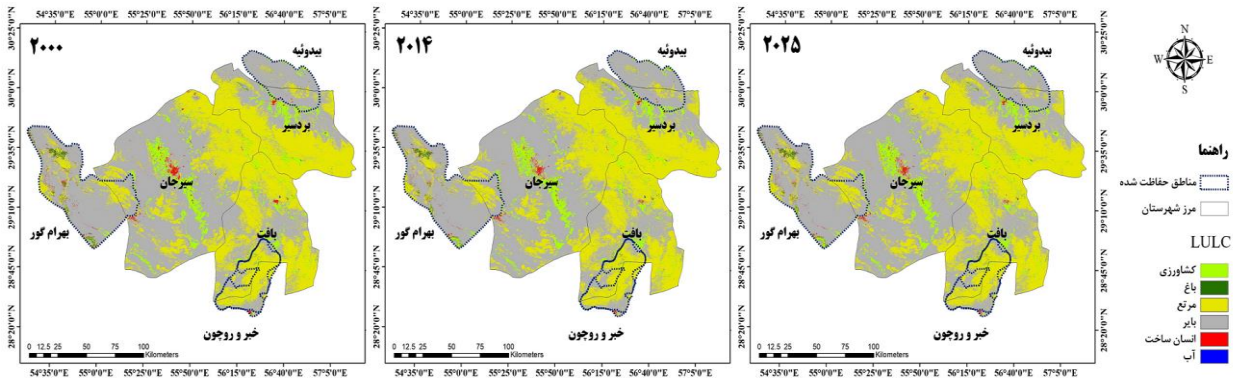
درک تغییرات LULC و LST، تنها نیمی از تصویر اقلیمی منطقه را ترسیم می‌کند. برای تکمیل این تصویر و ایجاد پیوند میان خشکی سطح و کاهش منابع آبی، لازم است تا الگوهای بارش نیز در کنار آنها قرارگیرد. بنابراین، در این مرحله از پژوهش، برای شناخت بهتر محرک‌های

² Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data

¹ Natural breaks (Jenks)

جدول ۲. طبقات مورد استفاده در تهیه نقشه کاربری اراضی

طبقه کاربری	توضیحات
کشاورزی	اراضی زراعی
باغ	باغ، جنگل، درخت کاری شده، پوشش گیاهی انبوه
مرتع	مراعات انبوه و تنک، بوته زار
بایر	اراضی بدون پوشش یا رها شده
انسان ساخت	مناطق مسکونی شهری و روستایی، سطوح انسان ساخت
آب	پهنه های آبی (رودخانه، دریاچه، مخزن)



شکل ۲. نقشه های LULC سال های ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۴

جدول ۳. مساحت (هکتار) و درصد کاربری ها

طبقه	۱۳۷۹		۱۳۹۳		۱۴۰۴	
	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد
کشاورزی	۱۹۳۴۶۶	۶/۳	۲۰۷۵۵۶	۶/۷	۲۰۱۵۰۶	۶/۵
باغ	۱۹۴۰۱	۰/۶	۲۰۰۱۸	۰/۶	۱۹۹۰۶	۰/۶
مرتع	۱۱۴۳۶۳	۳۶/۲	۱۱۱۰۴۲۲	۳۶	۱۱۱۷۲۲۳	۳۶/۲
بایر	۱۷۳۶۹۰۵	۵۶/۳	۱۷۲۲۶۴۷	۵۵/۸	۱۷۲۱۱۷۴	۵۵/۸
انسان ساخت	۲۱۱۸۷	۰/۷	۲۴۷۲۶	۰/۸	۲۵۳۰۱	۰/۸
آب	۱۰۳	۰/۰۰۳	۵۵	۰/۰۰۲	۳۱۶	۰/۰۱

منطقه است. هرچند کاهش اراضی بایر را می توان نشانه ای از افزایش سطح زیر کشت یا احیای اراضی تلقی کرد، اما روند تغییرات عمدتاً بیانگر جایگزینی اراضی طبیعی و نیمه طبیعی با سطوح انسان ساخت و کشاورزی است که می تواند زمینه ساز تخریب تدریجی اکوسیستم منطقه باشد.

دمای سطح زمین

LST با استفاده از خوارزمیک تک پنجره به دست آمد. پهنه بندی حرارتی با استفاده از روش شکست طبیعی برای سه سال انجام شد. پس از مقایسه مرزهای به دست آمده، مرزهای مشترک و قابل مقایسه برای هر

در تحلیل کوتاه مدت، بازه نخست از ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ با گسترش فعالیت های کشاورزی و ساخت و ساز همراه بود که موجب کاهش اراضی بایر و مرتعی شد؛ اما در بازه دوم از ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۴، روند تغییرات تغییر جهت داد؛ به طوری که اراضی کشاورزی و باغی با کاهش مواجه شدند، اراضی بایر روند نزولی خود را حفظ کردند و همزمان پهنه های آبی و تداوم رشد زیرساخت های انسان ساخت رخ داد؛ که نشان دهنده تغییر اولویت های کاربری از بهره برداری زراعی به سمت توسعه زیرساختی در سال های اخیر است. در مجموع، افزایش مساحت انسان ساخت و کشاورزی در کنار کاهش اراضی بایر نشان دهنده مداخله فزاینده انسانی در

رطوبتی برای پوشش گیاهی و نیاز به منابع آب بیشتر را به همراه داشته باشد.

بررسی میانگین LST بر اساس LULC در طول سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۴، روند صعودی دما را در تمامی طبقات نشان می‌دهد که این امر با گرمایش عمومی منطقه همخوانی دارد (شکل ۴). در هر سه سال بیشترین میانگین دما به‌طور مداوم در کاربری بایر به ترتیب 52°C ، $54/9^{\circ}\text{C}$ و $56/4^{\circ}\text{C}$ مشاهده می‌شود. این امر نشان‌دهنده حساسیت بالای این نوع کاربری به افزایش دما و احتمالاً تأثیرپذیری بیشتر از تنش‌های حرارتی است. پس‌از آن، انسان‌ساخت نیز دمای بیشتری نسبت به پوشش‌های طبیعی مانند مرتع و باغ نشان می‌دهد.

میانگین دمای آب در سال ۱۳۹۳ حدود $24/7^{\circ}\text{C}$ و در سال ۱۴۰۴ حدود $36/4^{\circ}\text{C}$ است، هرچند به دلیل سطح بسیار محدود پهنه‌های آبی، این مقادیر می‌تواند با خطای ناشی از پیکسل‌های مجاور همراه باشد. کاربری‌های کشاورزی، باغ و مرتع نیز افزایش دما را تجربه کرده‌اند که این موضوع می‌تواند بیانگر تأثیر کلی تغییرات اقلیمی بر این مناطق نیز باشد.

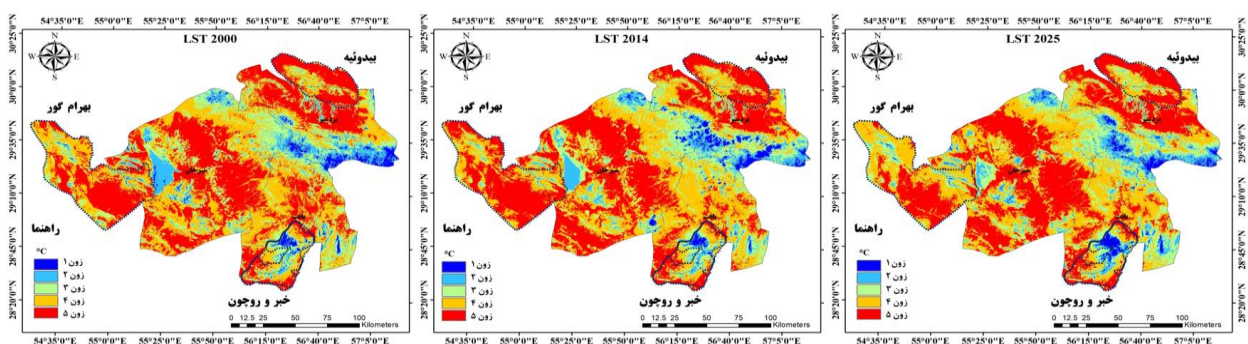
جدول ۴. مساحت طبقه‌های حرارتی

طبقه	دما	۱۳۷۹	۱۳۹۳	۱۴۰۴
طبقه ۱	>37	۷۴۶۹۰	۷۹۰۸۶	۷۱۹۲۵
طبقه ۲	۳۷-۴۵	۲۶۲۶۸۱	۲۴۰۲۱۶	۲۵۱۱۸۵
طبقه ۳	۴۵-۵۰	۵۲۶۱۵۵	۵۲۶۰۹۱	۵۶۰۹۴۶
طبقه ۴	۵۰-۵۴	۱۰۷۹۶۷۴	۱۰۷۸۹۷۶	۱۰۸۹۱۸۳
طبقه ۵	$54 <$	۱۱۴۲۲۲۸	۱۱۶۱۰۵۹	۱۱۱۲۱۸۹

سه دوره تعیین شد. در پایان، این مرزهای ثابت بر نقشه‌های LST هر سه سال اعمال شد. نقشه LST برای سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۴ به همراه مساحت آنها در ۵ طبقه حرارتی به ترتیب در شکل ۳ و جدول ۴ نشان داده شده است.

نتایج نشان داد که در هر سه سال، طبقات میانی یعنی ۳ تا ۵ تا بیشتر بخش عمده‌ای از مساحت منطقه را پوشش می‌دهند و در میان آنها، طبقه ۵ که داغ‌ترین محدوده است، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است؛ بنابراین می‌توان گفت این طبقه، طبقه غالب حرارتی منطقه است. مقایسه مساحت طبقات در سال‌های مختلف نیز بیانگر آن است که توزیع فضایی LST در طول زمان تغییر کرده، اما همچنان تمرکز اصلی دما در طبقات بیشتر حفظ شده است. این موضوع نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه، پهنه‌های با دمای سطحی بیشتر سهم غالبی از سطح زمین را تشکیل می‌دهند و الگوی حرارتی غالب، به سمت شرایط گرم‌تر متمایل است.

همچنین بررسی روند حداکثر LST در منطقه مورد بررسی، افزایش قابل‌توجهی را طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۴ نشان می‌دهد. بیشینه دمای ثبت‌شده در سال ۱۳۷۹ حدود 60°C بود که این مقدار در سال ۱۳۹۳ به 63°C و در سال ۱۴۰۴ به 66°C افزایش یافت. این روند افزایشی در دمای بیشینه، به‌ویژه در فصل تابستان که اوج گرمای سالانه رخ می‌دهد، حاکی از تشدید گرمایش منطقه‌ای است. افزایش میانگین و حداکثر دما در تابستان می‌تواند پیامدهای متعددی از جمله افزایش تبخیر، تنش

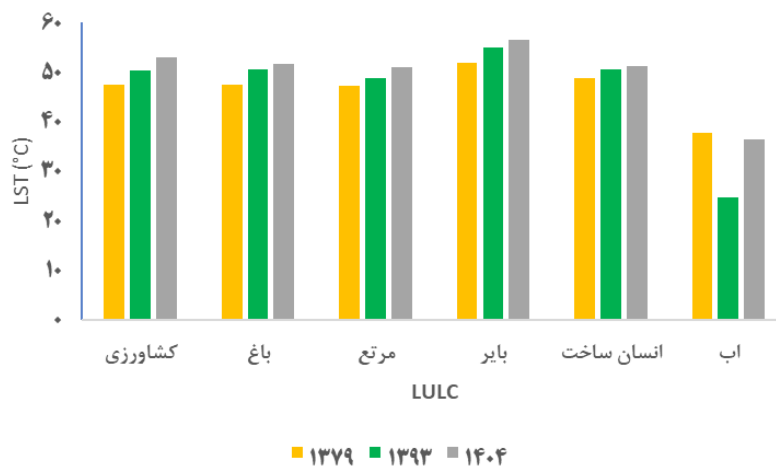


شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی شده LST را برای سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۴

تغییرات LST و LULC

دارد. کاربری آب در همه سال ها سهم بسیار ناچیزی دارد و در طبقات گرم تر تقریباً به صفر می رسد، بنابراین می توان نتیجه گرفت که نواحی با دمای بیشتر عمدتاً فاقد پهنه های آبی هستند. مناطق انسان ساخت نیز بیشتر در طبقات میانی و گرم ترند و بیشترین مقدار آنها در طبقه ۴ ثبت شده است؛ این موضوع می تواند بیانگر نقش این کاربری ها در تشدید دمای سطحی باشد.

برپایه طبقه بندی و طبقه های کاربری موجود سهم هر طبقه در هر طبقه به دست آمد. درصد کاربری ها در طبقات مختلف حرارتی در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به جدول و توزیع کاربری ها در طبقات حرارتی مختلف، می توان گفت الگوی پراکنش کاربری ها با افزایش LST از طبقه ۱ به طبقه ۵ تغییر محسوسی



شکل ۴. تغییرات LST در سه سال بر اساس طبقه های کاربری

جدول ۵. درصد کاربری ها در طبقه مختلف حرارتی

طبقات حرارتی	کشاورزی	باغ	مرتع	بایر	مناطق انسان ساخت	آب
۱۳۷۹						
طبقه ۱	۰/۱۷	۰/۰۲	۲/۱۹	۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۰۰۲
طبقه ۲	۰/۶۷	۰/۰۶	۵/۴۶	۱/۵۲	۰/۰۷	۰/۰۰۱
طبقه ۳	۱/۷۸	۰/۲۱	۱۱/۵	۳/۳۰	۰/۲۲	۰
طبقه ۴	۲/۷۹	۰/۲۹	۱۳/۵	۱۸/۱۶	۰/۲۷	۰
طبقه ۵	۰/۸۶	۰/۰۵	۳/۴۴	۳۳/۲۳	۰/۱۱	۰
۱۳۹۳						
طبقه ۱	۰/۱۸	۰/۰۲	۲/۱۷	۰/۱۸	۰/۰۱	۰/۰۰۲
طبقه ۲	۰/۷۵	۰/۰۵	۵/۴	۱/۵۰	۰/۰۸	۰
طبقه ۳	۱/۹۲	۰/۱۹	۱۱/۵	۳/۱۹	۰/۲۶	۰
طبقه ۴	۳/۰۲	۰/۳۲	۱۳/۴	۱۷/۸۴	۰/۳۱	۰
طبقه ۵	۰/۸۵	۰/۰۶	۳/۴۵	۳۳/۱	۰/۱۴	۰
۱۴۰۴						
طبقه ۱	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۱
طبقه ۲	۰/۶۷	۰/۰۹	۶/۲۸	۰/۹۳	۰/۱۷	۰
طبقه ۳	۱/۵۴	۰/۲۴	۱۱/۹	۴/۲۸	۰/۲۴	۰
طبقه ۴	۲/۹۲	۰/۲۵	۱۲/۲۹	۱۹/۵	۰/۲۸	۰
طبقه ۵	۱/۲۵	۰/۰۶	۳/۷۱	۳۰/۹	۰/۱	۰

نوسانات قابل توجهی بین سال‌های مختلف مشاهده می‌شود که بیانگر تغییرپذیری بارش تابستانه در منطقه است.

مقایسه مقادیر نشان می‌دهد که میانگین بارش روزانه تابستانه از 0.1 mm در روز در سال 2000 (1379) به 0.2 mm در روز در سال 2014 (1393) رسیده است. در سال‌های بعد، نوسان قابل توجهی در مقدار بارش مشاهده شد و روند افزایشی آن در اواخر دوره شدت بیشتری یافت. بیشترین مقدار میانگین روزانه بارش تابستانه در کل دوره مطالعه در سال 2022 (1401)، با 0.9 mm در روز، ثبت شد. پس از این اوج، بارش روزانه تابستان در سال‌های پایانی دوره کاهش یافت، به گونه‌ای که مقدار آن در سال 2025 به سطحی نزدیک به مقادیر ابتدای دوره بازگشت. در مجموع، این الگو بیانگر افزایش نسبی بارش تابستانه همراه با نوسانات قابل توجه بین‌سالی در منطقه مورد مطالعه است.

■ بحث و نتیجه‌گیری

باوجود پیشرفت‌های قابل توجه در شناخت رابطه میان LULC و LST، این ارتباط همواره ساده و یکنواخت نیست و بررسی‌های مختلف در مقیاس‌های مکانی گوناگون نتایج متفاوتی را گزارش کرده‌اند. با این حال، در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، مطالعات محدودی به بررسی هم‌زمان الگوهای مکانی LST و پراکنش کاربری‌های مختلف در مقیاس محلی پرداخته‌اند و نقش کاربری‌هایی نظیر اراضی بایر و سطوح انسان‌ساخت در تشدید دمای سطحی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه با تنوع توپوگرافی و اقلیمی، بستری مناسب برای بررسی این روابط فراهم می‌کند. پژوهش حاضر با هدف برآورد LST با استفاده از خوارزمیک تک‌پنجره‌ای و بررسی ارتباط آن با انواع کاربری‌های اراضی در شهرستان‌های بافت، بردسیر و سیرجان انجام شد تا ضمن شناسایی الگوهای مکانی دما، به ارتقای دانش موجود در زمینه رفتار حرارتی کاربری‌های مختلف در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک نماید.

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که تغییرات LULC در بازه 1379 تا 1404 در شهرستان‌های بافت، بردسیر و

کاربری بایر در تمام سال‌ها بیشترین سهم را در طبقه ۵ حرارتی داشته و پس از آن در طبقه ۴ قرار گرفته است؛ بنابراین طبقه حرارتی ۵ را می‌توان ناحیه غالب برای زمین‌های بایر دانست، یعنی جایی که به دلیل نبود پوشش گیاهی و قرارگیری بیشتر در معرض تابش، LST بیشتر است. مرتع نیز در طبقه‌های حرارتی ۳ تا ۵ سهم قابل توجهی دارد و بیشترین حضور آن در طبقه حرارتی ۴ و سپس طبقه حرارتی ۵ مشاهده می‌شود. این مسئله نشان می‌دهد که مراتع در نواحی با دمای متوسط تا زیاد گسترده‌اند و نقش مهمی در ساختار حرارتی منطقه دارند. در مقابل، باغ‌ها و اراضی کشاورزی بیشتر در طبقات ۲ تا ۴ تمرکز دارند و سهم آن‌ها در طبقه ۵ کمتر است (جدول ۵)؛ بنابراین می‌توان گفت این دو نوع کاربری بیشتر با نواحی خنک‌تر یا با دمای متوسط سازگارتر هستند. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دما، سهم کاربری‌های کم پوشش‌تر مانند بایر و تا حدی مرتع بیشتر می‌شود، در حالی که کاربری‌های دارای پوشش گیاهی متراکم‌تر مانند باغ در طبقات خنک‌تر و میانی حضور پررنگ‌تری دارند. این الگو در هر سه سال 1379 ، 1393 و 1404 تقریباً حفظ شده و تنها تغییرات جزئی در شدت حضور هر کاربری دیده می‌شود.

روند بارش تابستانه

در بخش قبل، نقش کاربری‌های مختلف در تشدید یا تعدیل دمای سطح زمین بررسی شد. اما برای درک بهتر علت‌شناسی این الگوهای حرارتی، لازم است تا وضعیت بارش به‌عنوان عامل اصلی تأمین رطوبت و تعدیل دما در منطقه نیز مورد ارزیابی قرارگیرد. از آنجا که بارش‌های تابستانه نقش کلیدی در تغذیه آب‌های سطحی، حفظ رطوبت خاک و استمرار پوشش گیاهی به‌ویژه مراتع و باغ دارند، بررسی روند آن در بازه ۲۵ ساله می‌تواند تفسیر دقیق‌تری از تغییرات مشاهده‌شده در LST و LULC ارائه دهد.

تغییرات زمانی میانگین روزانه بارش در فصل تابستان (تیر، مرداد و شهریور) در دوره مورد مطالعه در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس داده‌های CHIRPS، اگرچه روند کلی مقادیر بارش در این دوره افزایشی است،

سیرجان با روند تدریجی اما پایدار از گرمایش سطحی همراه بوده است. افزایش بیشینه LST از حدود 60°C در سال ۱۳۷۹ به 66°C در سال ۱۴۰۴ بیانگر تشدید قابل توجه گرمایش سطحی در مقیاس بلندمدت است. این تغییر ناشی از تغییرات گسترده در سطح کاربری اراضی در سطح منطقه در مطالعه حاضر بود. این روند با نتایج بررسی‌های انجام شده در مناطق خشک و نیمه خشک ایران هم‌راستا است که افزایش LST را عمدتاً به تغییرات LULC و کاهش پوشش‌های طبیعی نسبت داده‌اند (۲۲).

از منظر توزیع مکانی، نتایج پهنه‌بندی حرارتی نشان داد که طبقه ۵ به عنوان گرم‌ترین طبقه در هر سه مقطع زمانی بیشترین گستره را به خود اختصاص داده و عملاً به عنوان طبقه غالب حرارتی منطقه عمل می‌کند. پایداری این الگو در طول ۲۵ سال نشان می‌دهد که سامانه حرارتی منطقه به وضعیت نسبتاً پایدار و گرم^۱ متمایل شده است. این وضعیت نشان دهنده تداوم الگوی غالب پهنه‌های گرم، ساختار حرارتی و شرایط تبخیر و تعرق منطقه در طول دوره مورد مطالعه حاضر است. این یافته با بررسی‌های جهانی نیز سازگار است که نشان می‌دهند گسترش سطوح نفوذناپذیر و کاهش پوشش‌های طبیعی موجب افزایش پایدار گرمای محسوس و تضعیف تبادل انرژی نهان در سطح زمین می‌شود (۲، ۱۶، ۳۲). تحلیل کاربری‌های اراضی نشان داد که اراضی بایر در تمام سال‌ها بیشترین میانگین LST را ثبت کرده‌اند که حدود 52°C تا $56/4^{\circ}\text{C}$ بود. این الگو را می‌توان با ویژگی‌های فیزیکی اراضی بایر، از جمله رطوبت پایین، تبخیر-تعرق محدود و ویژگی‌های متفاوت بازتاب سطح، تبیین کرد؛ این شرایط می‌تواند سهم گرمای محسوس را افزایش داده و به دمای سطح بالاتر منجر شود. در پژوهش حاضر، اراضی بایر بالاترین میانگین LST را در هر سه مقطع زمانی نشان دادند. این یافته با نتایج مطالعات مشابه در مناطق خشک ایران که دمای سطح بالاتر را در اراضی بایر گزارش کرده‌اند، هم‌راستا است (۲۲).

در پژوهش حاضر، کاربری‌های دارای پوشش گیاهی نظیر باغ و کشاورزی همواره دمای کمتری نسبت به اراضی بایر و

انسان‌ساخت نشان دادند. این تفاوت ناشی از نقش فرآیند تبخیر-تعرق^۲ در تعدیل انرژی سطح و افزایش گرمای نهان است که موجب کاهش دمای محسوس سطح می‌شود. با این حال، افزایش تدریجی دما در این کاربری‌ها در دوره بررسی شده، نشان می‌دهد تأثیر تعدیل‌کنندگی پوشش گیاهی در حال تضعیف است که می‌تواند ناشی از کاهش کیفیت پوشش، افت رطوبت خاک یا فشار اقلیمی منطقه باشد. این نتایج با پژوهش‌های انجام شده در حوضه‌های خشک ایران از جمله سد ایلام نیز هم‌راستا است که نقش پوشش گیاهی را در کاهش LST تأیید کرده‌اند (۱۸).

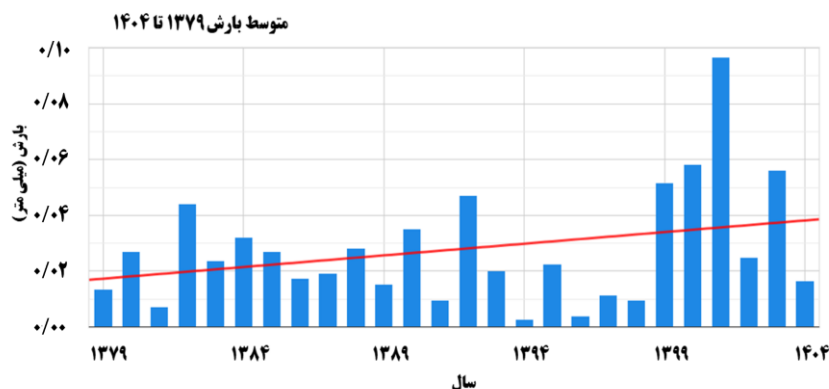
توزیع مکانی LULC در طبقات حرارتی نشان داد که با افزایش دما از طبقه حرارتی ۱ به طبقه حرارتی ۵، سهم اراضی بایر و مرتع افزایش یافته و در مقابل، کاربری‌های باغ و کشاورزی عمدتاً در طبقات حرارتی خنک‌تر و میانی متمرکز شده‌اند. این الگو بیانگر وجود یک رابطه ساختاری و غیر تصادفی بین شدت گرمایش سطحی و نوع کاربری است؛ به گونه‌ای که افزایش سطوح کم پوشش، مستقیماً با گسترش طبقات گرم‌تر هم‌پوشانی دارد. تداوم این الگو در هر سه مقطع زمانی نشان می‌دهد که ساختار حرارتی-کاربری منطقه از ثبات نسبی برخوردار بوده و تغییرات عمده بیشتر در شدت، نه در الگوی کلی رخ داده است.

در کنار این عوامل، بررسی روند بارش تابستانه نشان داد که علی‌رغم نوسان قابل توجه، روند کلی بارش اندکی افزایشی بوده است.

با این حال، این افزایش نتوانسته تأثیر گرمایش ناشی از تغییرات LULC را تعدیل کند. این موضوع نشان می‌دهد که در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک، کنترل غالب بر LST بیشتر ناشی از ویژگی‌های سطح و ساختار LULC است تا نوسان بارشی کوتاه‌مدت. به بیان دیگر، ساختار حرارتی منطقه نسبت به تغییرات بارش تابستانه کم‌حساسیت اما نسبت به تغییرات کاربری بسیار حساس است. الگوی بارش در پژوهش حاضر به دلیل تغییر اقلیم در مناطق مختلف روند متفاوتی نشان داده و این روند در منطق خشک نسبت به مناطق مرطوب تا حدی متضاد هم بوده است (۲۵).

² evapotranspiration

¹ hot-dominant stable state



شکل ۵. میانگین بارش روزانه (mm) در تابستان ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۴

لندست، ابزار قابل اعتمادی برای برآورد LST در مناطق خشک و نیمه خشک است. ترکیب این روش با تحلیل‌های LULC و طبقه‌بندی حرارتی امکان درک دقیق‌تری از روابط بین تغییرات سیمای سرزمین و رفتار حرارتی سطح فراهم می‌کند و می‌تواند مبنای مناسبی برای مدیریت پایدار LULC و کاهش ریسک گرمایش منطقه‌ای باشد.

یافته‌های پژوهش حاضر پیامدهای مشخصی برای مدیریت سرزمین در مناطق خشک و نیمه خشک دارد. نخست آنکه اراضی بایر به عنوان هسته‌های اصلی تولید گرما شناسایی شدند؛ بنابراین، هرگونه سیاست توسعه شهری یا صنعتی که منجر به تبدیل اراضی بایر به سطوح نفوذناپذیر بدون ایجاد پوشش گیاهی شود، موجب تشدید حرارتی بیشتری خواهد داشت. در مقابل، توسعه کشاورزی و باغ‌ها در حاشیه مناطق گرم می‌تواند نقش تعدیل‌کننده ایفا کند، مشروط بر آنکه با الگوهای پایدار آبیاری همراه باشد.

■ سپاسگزاری

بدین وسیله از تمام کسانی که ما را در این پژوهش یاری کردند صمیمانه قدردانی می‌شود.

از منظر فیزیکی، نتایج این بررسی را می‌توان در چارچوب توازن انرژی سطح زمین تبیین کرد. کاهش پوشش‌های طبیعی و افزایش اراضی بایر موجب کاهش سهم شار گرمای نهان و افزایش سهم شار گرمای محسوس شده است. در نتیجه، انرژی ورودی خورشیدی به جای مصرف در فرآیندهای تبخیر و تعرق، بیشتر موجب افزایش دمای سطح شده است. این تغییر در رژیم انرژی سطح با افزایش LST در تمامی طبقات کاربری هم‌خوانی دارد و نشان‌دهنده تغییر در کارکرد بیوفیزیک سطح زمین است.

در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که سامانه حرارتی منطقه به سمت یک رژیم گرم پایدار با حساسیت زیاد نسبت به تغییرات LULC حرکت کرده است. در این میان، اراضی بایر و انسان‌ساخت به عنوان کانون‌های اصلی تولید گرما و کاربری‌های باغ و کشاورزی به عنوان عوامل تعدیل‌کننده محدود عمل می‌کنند. با توجه به روند افزایشی LST و گسترش نسبی سطوح کم پوشش، در صورت تداوم الگوی فعلی، احتمال تشدید تنش حرارتی، افزایش تبخیر و کاهش تاب‌آوری بوم‌شناختی در منطقه وجود دارد.

در پایان، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که استفاده از خوارزمیک تک‌پنجره در بستر داده‌های

■ References

1. Aboelnour, M., & Engel, B. (2018). Application of remote sensing techniques and geographic information systems to analyze land surface temperature in response to land use/land cover change in Greater Cairo Region, Egypt. *Journal of Geographic Information System*, 10, 57–88. doi.org/10.4236/jgis.2018.101003

2. Aliabad, F. A., Zare, M., Malamiri, H. G., Pouriye, A., Shahabi, H., Ghaderpour, E., & Mazzanti, P. (2024). Reconstructing daytime and nighttime modis land surface temperature in desert areas using multi-channel singular spectrum analysis. *Ecological Informatics*, 83, Article 102830. doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102830
3. Azmi, R., Tekouabou Koumetio, C. S., Diop, E. B., & Chenal, J. (2021). Exploring the relationship between urban form and land surface temperature (LST) in a semi-arid region: Case study of Ben Guerir city, Morocco. *Environmental Challenges*, 5, Article 100229. doi.org/10.1016/j.envc.2021.100229
4. Cao, Q., Wu, J., Yu, D., Wang, R., & Qiao, J. (2020). Regional landscape futures to moderate projected climate change: A case study in the agro-pastoral transitional zone of North China. *Regional Environmental Change*, 20(2), Article 66. doi.org/10.1007/s10113-020-01661-2
5. Chaudhuri, G., & Clarke, K. C. (2019). Modeling an Indian megalopolis-a case study on adapting SLEUTH urban growth model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 77, Article 101358. doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.101358
6. Cheng, J., Meng, X., Dong, S., & Liang, S. (2021). Generating the 30-m land surface temperature product over continental China and USA from Landsat 5/7/8 data. *Science of Remote Sensing*, 4, Article 100032. doi.org/10.1016/j.srs.2021.100032
7. Dash, P., Göttsche, F. M., Olesen, F. S., & Fischer, H. (2002). Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice—Current trends. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2563–2594. doi.org/10.1080/01431160110115041
8. Ebrahimi, A., Motamedvaziri, B., Nazemosadat, S. M. J., & Ahmadi, H. (2021). Assessing the relationship between land surface temperature with vegetation and water area change in Arsanjan County, Iran. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11(4), 65–86. sid.ir/paper/393438/en. [In Persian].
9. Eskandari Damneh, H., Eskandari Damaneh, H., Cheraghi, M., Khosravi, H., & Adeli Sardooei, M. (2021). The effect of land use change on the formation of heat islands using remote sensing: Case study of Kerman. *Journal of Natural Environment*, 74(3), 614–628. doi.org/10.22059/jne.2022.327993.2258. [In Persian].
10. Gao, B.-C. (1996). NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. [doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
11. Gameda, D. O., Kenea, G., Teshome, B., Daba, G. L., Argu, W., & Roba, Z. R. (2024). Impact of land use and land cover change on land surface temperature: Comparative studies in four cities in southwestern Ethiopia. *Environmental Challenges*, 16, Article 101002. doi.org/10.1016/j.envc.2024.101002
12. Ghorbannia Kheybari, 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. envs.sbu.ac.ir/article_97845.html. [In Persian].
13. Guha, S., Govil, H., Dey, A., & Gill, N. (2018). Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 667–678. doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494
14. Hulley, G. C., Ghent, D., Göttsche, F. M., Guillevic, P. C., Mildrexler, D. J., & Coll, C. (2019). Land surface temperature. In G. C. Hulley & D. Ghent (Eds.), *Taking the temperature of the earth* (pp. 57–127). Elsevier. doi.org/10.1016/B978-0-12-814458-9.00003-4
15. Kefayat Motlagh, O. R., Nazaripour, H., Manavipour, S., Shafaie, V., & Movahedi Rad, M. (2026). Spatiotemporal signature of land cover change: Linking albedo and land surface temperature dynamics in Iran. *Frontiers in Remote Sensing*, 7, Article 1741055. doi.org/10.3389/frsen.2026.1741055
16. Khan, R., Li, H., Basir, M., Chen, Y. L., Sajjad, M. M., Haq, I. U., Ullah, B., Arif, M., & Hassan, W. (2022). Monitoring land use land cover changes and its impacts on land surface temperature over Mardan and Charsadda Districts, Khyber Pakhtunkhwa (KP), Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(6), Article 409. doi.org/10.1007/s10661-022-10072-1
17. McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. doi.org/10.1080/01431169608948714
18. Mokhtari, Z., Amani-Beni, M., Asgarian, A., Russo, A., Qureshi, S., & Karami, A. (2023). Spatial prediction of the urban inter-annual land surface temperature variability: An integrated modeling approach in a rapidly urbanizing semi-arid region. *Sustainable Cities and Society*, 93, Article 104523. doi.org/10.1016/j.scs.2023.104523

- 19 Nega, W., & Balew, A. (2022). The relationship between land use land cover and land surface temperature using remote sensing: systematic reviews of studies globally over the past 5 years. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42493–42508. doi.org/10.1007/s11356-022-19997-z
- 20 Norman, J. M., & Becker, F. (1995). Terminology in thermal infrared remote sensing of natural surfaces. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77(3–4), 153–166. [doi.org/10.1016/0168-1923\(95\)02259-Z](https://doi.org/10.1016/0168-1923(95)02259-Z)
- 21 Nugraha, A. S., Gunawan, T., & Kamal, M. (2019). Comparison of land surface temperature derived from Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI/TIRS for drought monitoring. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 313, Article 012041. doi.org/10.1088/1755-1315/313/1/012041
- 22 Parvar, Z., Mohammadzadeh, M., & Saeidi, S. (2024a). Effects of land use and land morphology on land surface temperature: A case study for Bojnourd City, North Khorasan. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 15(1), 118–138. doi.org/10.30495/girs.2022.1973023.2021. [In Persian].
- 23 Parvar, Z., Mohammadzadeh, M., & Saeidi, S. (2023). Quantitative assessment of spatio-temporal dynamics of land use/land cover and land surface temperature using different algorithms and Landsat imagery. *Journal of Natural Environment*, 76(2), 229–243. doi.org/10.22059/jne.2023.350109.2484. [In Persian].
- 24 Parvar, Z., Mohammadzadeh, M., & Saeidi, S. (2024b). Enhancing decision-making for climate change mitigation and sustainable urban growth. *Urban Climate*, 58, Article 102223. doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102223
- 25 Parvar, Z., Saeidi, S., & Mirkarimi, S. (2024). Integrating meteorological and geospatial data for forest fire risk assessment. *Journal of Environmental Management*, 358, Article 120925. doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120925
- 26 Parvar, Z., & Salmanmahiny, A. (2024). Pylst: a remote sensing application for retrieving land surface temperature (LST) from landsat data. *Environmental Earth Sciences*, 83(12), Article 373. doi.org/10.1007/s12665-024-11644-9
- 27 Parvar, Z., & Salmanmahiny, A. (2025a). Assessing and predicting habitat quality under urbanization and climate pressures. *Journal for Nature Conservation*, 86, Article 126903. doi.org/10.1016/j.jnc.2025.126903
- 28 Qin, Z., Karnieli, A., & Berliner, P. (2001). A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18), 3719–3746. doi.org/10.1080/01431160010006971
- 29 Rahimabadi, P. D., Liu, B., Azarnivand, H., Malekian, A., & Damaneh, H. E. (2024). The nexus between land use/cover changes and land surface temperature: Remote sensing-based two-decadal analysis. *Journal of Arid Environments*, 225, Article 105269. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105269
- 30 Rongali, G., Keshari, A. K., Gosain, A. K., & Khosa, R. (2018a). A mono-window algorithm for land surface temperature estimation from Landsat 8 thermal infrared sensor data: A case study of the Beas River Basin, India. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 26(2), 829–840.
- 31 Rongali, G., Keshari, A. K., Gosain, A. K., & Khosa, R. (2018b). Split-window algorithm for retrieval of land surface temperature using Landsat 8 thermal infrared data. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 2(2), Article 14. doi.org/10.1007/s41651-018-0021-y
- 32 Rostami, N., & Fathizad, H. (2022). Spatial and temporal changes of land uses and its relationship with surface temperature in western Iran. *Atmósfera*, 35(4), 701–717. doi.org/10.20937/atm.52985
- 33 Rwanga, S. S., & Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8(4), 611–622. doi.org/10.4236/ijg.2017.84033
- 34 Soydan, O. (2020). Effects of landscape composition and patterns on land surface temperature: Urban heat island case study for Nigde, Turkey. *Urban Climate*, 34, Article 100688. doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100688
- 35 Tanoori, G., Soltani, A., & Modiri, A. (2024). Machine learning for urban heat island (UHI) analysis: Predicting land surface temperature (LST) in urban environments. *Urban Climate*, 55, Article 101962. doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101962
- 36 Varamesh, S., Mohtaram Anbaran, S., Shirmohammadi, B., Al-Ansari, N., Shabani, S., & Jaafari, A. (2022). How do different land uses/covers contribute to land surface temperature and albedo? *Sustainability*, 14(24), Article 16963. doi.org/10.3390/su142416963
- 37 Yang, J., Zhou, J., Götsche, F.-M., Long, Z., Ma, J., & Luo, R. (2020). Investigation and validation of algorithms for estimating land surface temperature from Sentinel-3 SLSTR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 91, Article 102136. doi.org/10.1016/j.jag.2020.102136

- 38 Yeneneh, N., Elias, E., & Feyisa, G. L. (2022). Detection of land use/land cover and land surface temperature change in the Suha Watershed, north-western highlands of Ethiopia. *Environmental Challenges*, 7, Article 100523. doi.org/10.1016/j.envc.2022.100523
- 39 Zandi, R., & Shahriyar, F. (2025). Evaluation of time series relationship between land use changes and land surface temperature in desert cities: Case study of Yazd City. *Journal of Geography and Planning*, 29(91), 441–467. doi.org/10.22034/gp.2024.60544.3237. [In Persian].

پیوست

جدول ۱. ماتریس خطای طبقه‌بندی ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۴

واقعیت زمینی (۱۳۷۹)								
طبقات	کشاورزی	باغ	مرتع	بایر	انسان‌ساخت	آب	کل	صحت تولیدکننده (%)
کشاورزی	۴۳	۲	۱	۲	۲	۰	۵۰	۷۹/۶
باغ	۳	۴۴	۱	۲	۰	۰	۵۰	۸۸
مرتع	۳	۲	۴۲	۳	۰	۰	۵۰	۸۷/۵
بایر	۵	۲	۳	۴۰	۰	۰	۵۰	۸۵/۱
انسان‌ساخت	۰	۰	۱	۰	۴۹	۰	۵۰	۹۶/۱
آب	۰	۰	۰	۰	۰	۵۰	۵۰	۱۰۰
کل	۵۴	۵۰	۴۸	۴۷	۵۱	۵۰	۳۰۰	نقاط درست ۲۶۸
درستی کل (%)					۸۹/۳			
ضریب کاپا (%)					۸۷/۲			
واقعیت زمینی (۱۳۹۳)								
طبقات	کشاورزی	باغ	مرتع	بایر	انسان‌ساخت	آب	کل	صحت تولیدکننده (%)
کشاورزی	۴۲	۳	۳	۲	۰	۰	۵۰	۸۵/۷
باغ	۰	۴۹	۱	۰	۰	۰	۵۰	۸۷/۵
مرتع	۴	۱	۴۲	۳	۰	۰	۵۰	۸۷/۵
بایر	۱	۳	۰	۴۶	۰	۰	۵۰	۷۸
انسان‌ساخت	۰	۰	۲	۳	۴۱	۰	۵۰	۱۰۰
آب	۲	۰	۰	۵	۰	۴۵	۵۰	۱۰۰
کل	۴۹	۵۶	۴۸	۵۹	۴۱	۴۵	۳۰۰	نقاط درست ۲۶۵
درستی کل (%)					۸۸/۳			
ضریب کاپا (%)					۸۶			
واقعیت زمینی (۱۴۰۴)								
طبقات	کشاورزی	باغ	مرتع	بایر	انسان‌ساخت	آب	کل	صحت تولیدکننده (%)
کشاورزی	۴۸	۰	۰	۲	۰	۰	۵۰	۸۵/۷
باغ	۰	۵۰	۰	۰	۰	۰	۵۰	۱۰۰
مرتع	۱	۰	۴۵	۲	۲	۰	۵۰	۹۰
بایر	۳	۰	۲	۴۵	۰	۰	۵۰	۹۱/۸
انسان‌ساخت	۲	۰	۳	۰	۴۵	۰	۵۰	۹۵/۷
آب	۲	۰	۰	۰	۰	۵۰	۵۰	۱۰۰
کل	۵۶	۵۰	۵۰	۴۹	۴۷	۵۰	۳۰۰	نقاط درست ۲۸۳
درستی کل (%)					۹۴/۳			
ضریب کاپا (%)					۹۳/۲			

Appendix:

Table 1. Classification error matrices and accuracy assessment for the years 2000, 2014, and 2025.

(A) Ground Truth (2000)								
Classified Class	Agriculture	Orchard	Rangeland	Barren Land	Built-up	Water	Total	Producer's Accuracy (%)
Agriculture	43	2	1	2	2	0	50	79.6
Orchard	3	44	1	2	0	0	50	88.0
Rangeland	3	2	42	3	0	0	50	87.5
Barren Land	5	2	3	40	0	0	50	85.1
Built-up	0	0	1	0	49	0	50	96.1
Water	0	0	0	0	0	50	50	100.0
Total	54	50	48	47	51	50	300	
Correct Samples							268	
Overall Accuracy (%)							89.3	
Kappa Coefficient (%)							87.2	
(B) Ground Truth (2014)								
Classified Class	Agriculture	Orchard	Rangeland	Barren Land	Built-up	Water	Total	Producer's Accuracy (%)
Agriculture	42	3	3	2	0	0	50	85.7
Orchard	0	49	1	0	0	0	50	87.5
Rangeland	4	1	42	3	0	0	50	87.5
Barren Land	1	3	0	46	0	0	50	78.0
Built-up	0	0	2	3	41	0	50	100.0
Water	2	0	0	5	0	45	50	100.0
Total	49	56	48	59	41	45	300	
Correct Samples							265	
Overall Accuracy (%)							88.3	
Kappa Coefficient (%)							86.0	
(C) Ground Truth (2025)								
Classified Class	Agriculture	Orchard	Rangeland	Barren Land	Built-up	Water	Total	Producer's Accuracy (%)
Agriculture	48	0	0	2	0	0	50	85.7
Orchard	0	50	0	0	0	0	50	100.0
Rangeland	1	0	45	2	2	0	50	90.0
Barren Land	3	0	2	45	0	0	50	91.8
Built-up	2	0	3	0	45	0	50	95.7
Water	2	0	0	0	0	50	50	100.0
Total	56	50	50	49	47	50	300	
Correct Samples							283	
Overall Accuracy (%)							94.3	
Kappa Coefficient (%)							93.2	

