

## Detection of the Interactions between Climate Change Impacts and Land Surface/Land Use in Golestan Province over the Past Two Decades (2000-2020)

Abdolazim Ghanghermeh<sup>1\*</sup> , Gholamreza Roshan<sup>1</sup>, Mosib Rajabali<sup>2</sup>

*1. Corresponding Author, Associate Professor of Climatology, Department of Geography, Golestan University, Gorgan, Iran*

*Email: [a.ghangherme@gu.ac.ir](mailto:a.ghangherme@gu.ac.ir)    ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5866-4972>*

*2. Master student of Climatology, Golestan University, Gorgan, Iran*

Article Info	ABSTRACT
<p><b>Article type:</b> <b>Research Article</b></p> <p><b>Article history:</b>  <b>Received:</b> 20 November 2024  <b>Revised:</b> 10 March 2025  <b>Accepted:</b> 30 April 2025  <b>Published:</b> 22 December 2025</p> <p><b>Keywords:</b>            Climate Change, Land Cover/Land Use, Golestan Province, Temperature, Precipitation.</p>	<p>Climate change and land cover and land use change are two interconnected phenomena that significantly impact each other and the environment. This study examines the reciprocal effects of these phenomena in the Golestan Province over the past two decades. The data used included satellite images of temperature, precipitation, vegetation index (NDVI), and land cover/use data for the years 2000 and 2020. The findings revealed that 10.4% of the province's land area has experienced land cover/use change, with barren land being the most affected. In contrast, sparse vegetation and forest cover showed the greatest increase in area. Long-term droughts and the Caspian Sea's water level reduction were identified as the primary drivers behind the conversion of water bodies to other land cover types. Climatically, there has been a significant increase in night-time temperatures across most areas of the province, particularly in the eastern half, central areas, and foothills. Conversely, a decrease in nighttime temperatures has been observed along the eastern coast owing to the Caspian Sea retreat, as well as a sporadic increase in daytime temperatures in certain areas. Additionally, a reduction in annual precipitation has been detected in the northern and eastern parts of the province, which are mainly classified as arid and semiarid regions. The analysis indicates that the correlation between nighttime temperature and land cover changes is of primary importance, while annual precipitation also plays a significant role in land cover changes to a lesser extent. This study provides evidence of the mutual influence between climate change and land cover in Golestan Province, indicating that drought, temperature rise, and changes in precipitation patterns have led to land-use changes, while land-use changes may also affect local climate patterns.</p>

**How to Cite:** Ghanghermeh, A. , Roshan, G. and Rajabali, M. (2025). Detection of the Interactions between Climate Change Impacts and Land Surface/Land Use in Golestan Province over the Past Two Decades(2000-2020). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 14(46), 105-124.



© The Author/Authors

**Publisher:** University of Sistan and Baluchestan

**DOI:** 10.22111/jneh.2025.50298.2082

## **EXTENDED ABSTRACT**

### **INTRODUCTION**

Climate change, one of the most critical environmental challenges, has had profound effects on ecosystems, natural vegetation, and biological resources in this region, with rising temperatures, reduced precipitation, and extreme weather events. Land use changes, which involve the conversion of forests, rangelands, and wetlands into agricultural and residential land, have also directly and indirectly affected local and regional climate patterns. These changes can alter temperature, precipitation, surface runoff, and albedo. Such transformations, particularly the formation of urban heat islands and increased flood risks, pose serious threats to ecosystems and human activities. This study aims to assess the interactions between climate change, land surface cover, and land-use changes in Golestan Province over the past two decades.

### **DATA AND METHODS**

In this study, we utilized climate data, including temperature, precipitation, and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), to examine land-use and surface-cover changes in Golestan Province over the period from 2000 to 2020. Land Surface Temperature (LST) data, consisting of night and day measurements with a spatial resolution of 1000 m, and NDVI data were extracted through Google Earth Engine satellite monitoring. Monthly precipitation data with a spatial resolution of 4000 m were gathered from the University of California database from 2001 to 2020. To validate these variables, synoptic station data from the Golestan Province were employed.

To evaluate land surface cover changes, land use data were categorized into eight main classes: agricultural land, tree cover, mosaic tree-shrub and grassland-shrubland, grassland, sparse vegetation, urban areas, bare areas, and water bodies. The Change Detection tool in ArcGIS Pro 3.1 was utilized to analyze land-use changes by comparing surface-cover maps from 2000 to 2020 using the Categorical Change method, which revealed shifts in land-use categories. To analyze climate change trends, temporal and spatial data were converted into the netCDF format and analyzed using the Create Space Time Cube by Aggregating Points tool in the space-time pattern mining extension. The Mann-Kendall statistic was applied to assess trend changes by calculating the difference between each pair of temporal observations, and based on the number of increasing or decreasing data points, the S statistic and variance were calculated. To determine the significance of the trend, the Z statistic was used with threshold values at 90%, 95%, and 99% confidence levels.

### **RESULTS**

The results of this study indicate that Golestan Province has experienced significant changes in land cover and use over the past two decades. Approximately 10.4% of the province's area has undergone land-use changes, primarily involving reductions in barren land, surface water bodies, agricultural land, and shrublands, while sparse vegetation, tree cover, and urban areas have expanded. Notably, the conversion of 201.7 hectares of urban land to sparse vegetation reflects an increase in green spaces within residential areas. Climate analysis reveals an upward trend in nighttime temperatures across a substantial portion of the province, with over 70% of the area experiencing higher nighttime temperatures. This increase could lead to adverse effects on the vegetation cover and water resources. Additionally, a noticeable decrease in precipitation was observed, especially in the dry and semi-arid northern and eastern areas. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) also indicated an upward trend in vegetation cover, particularly in the mountainous regions of the south and west of the province.

## **DISCUSSION AND CONCLUSION**

Overall, these findings underscore the complex relationship between climate change and land-use patterns. Climate change, through warming and decreased rainfall, has altered land-cover patterns, and land-use changes have also impacted the local microclimate. These results highlight the importance of comprehensive natural resource management in Golestan Province, emphasizing the need for strategic planning to mitigate the adverse effects of climate and human-induced changes in the region's ecosystem.

## **REFERENCES**

### **References (in Persian)**

- Razmi, R., Asakereh, H., & Masoodian, S. A. (2023). An Explanation of the Impact of Changes in climate elements on land-use changes in the Karoon River Basin. *Geographical Studies of Coastal Areas Journal*, 3(4), 69-89. [In Persian]
- Ebrahimi, A., Safar Rad, T., & Janbaz-Qobadi, G. (2023). Evaluation of land use changes and its effect on surface albedo and surface temperature Case study: Cities from Sari to Chalous. *Physical Geography*, 16(1), 1-14. [In Persian]
- Moradi, G., & Hasani, A. (2022). Extraction and Identification of Land Surface Temperature and Explaining Its Relationship with Urban Land Use (A Case Study of Districts 1 And 21 of Tehran). *Environmental-based Territorial Planning*, 15(58), 81-102. [In Persian]
- Barzgar, A., & Kamkar, B. (2007). Ecological Consequences of Climate Change on the Relationships between Weeds and Crops in Agricultural Agro-Ecosystems. In *Second National Conference on Ecological Agriculture of Iran*. [In Persian]
- Eskandari, S., Jafari, M., Ahangaran, Y., & Ahmadloo, F. (2023). Climate change is an influential factor in increasing fires in the eastern Hyrcanian vegetation area. *Iran Nature*, 8(5), 23-30. [In Persian]

### **References (in English)**

- Bounoua, L., DeFries, R., Collatz, G. J., Sellers, P., & Khan, H. (2002). Effects of land cover conversion on surface climate. *Climatic Change*, 52, 29-64.
- Boisier, J. P., de Noblet-Ducoudré, N., Pitman, A. J., Cruz, F. T., Delire, C., Van den Hurk, B. J. J. M., ... & Voldoire, A. (2012). Attributing the impacts of land-cover changes in temperate regions on surface temperature and heat fluxes to specific causes: Results from the first LUCID set of simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D12).
- Hashim, B. M., Al Maliki, A., Sultan, M. A., Shahid, S., & Yaseen, Z. M. (2022). Effect of land use land cover changes on land surface temperature during 1984–2020: A case study of Baghdad city using Landsat image. *Natural Hazards*, 112(2), 1223-1246.
- Li, D., Tian, P., Luo, H., Hu, T., Dong, B., Cui, Y., ... & Luo, Y. (2020). Impacts of land use and land cover changes on regional climate in the Lhasa River basin, Tibetan Plateau. *Science of the Total Environment*, 742, 140570.
- Dissanayake, S., Asafu-Adjaye, J., & Mahadeva, R. (2017). Addressing climate change cause and effect on land cover and land use in South Asia. *Land Use Policy*, 67, 352-366.
- Turner, D. P., Conklin, D. R., & Bolte, J. P. (2015). Projected climate change impacts on forest land cover and land use over the Willamette River Basin, Oregon, USA. *Climatic change*, 133, 335-348.
- Nunes, L. J., Meireles, C. I., Gomes, C. J. P., & Ribeiro, N. M. A. (2021). The impact of climate change on forest development: a sustainable approach to management models applied to Mediterranean-type climate regions. *Plants*, 11(1), 69.
- Ojima, D. S., Aicher, R., Archer, S. R., Bailey, D. W., Casby-Horton, S. M., Cavallaro, N., ... & Washington-Allen, R. A. (2020). A climate change indicator framework for rangelands and pastures of the USA. *Climatic change*, 163, 1733-1750.
- Yan, J., Zhang, G., Deng, X., Ling, H., Xu, H., & Guo, B. (2019). Does climate change or human activity lead to the degradation of the grassland ecosystem in a mountain-basin system in an arid region of China? *Sustainability*, 11(9), 2618.
- Klingelhöfer, D., Müller, R., Braun, M., Brüggmann, D., & Groneberg, D. A. (2020). Climate change: Does international research fulfil global demands and necessities? *Environmental Sciences Europe*, 32, 1-21.
- Kheyri, Y., Shayesteh, A., & Sharafati, A. (2023). Quantification of the meteorological and hydrological droughts links over various regions of Iran using gridded datasets. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(32), 79049-79066.
- Jing, Q., He, J., Li, Y., Yang, X., Peng, Y., Wang, H., ... & Zhang, X. (2024). Analysis of the spatiotemporal changes in global land cover from 2001 to 2020. *Science of The Total Environment*, 908, 168354.
- Hashim, J. H., & Hashim, Z. (2016). Climate change, extreme weather events, and human health implications in the Asia Pacific region. *Asia Pacific Journal of Public Health*, 28(2\_suppl), 8S-14S.
- Corbau, C., Zambello, E., Rodella, I., Utizi, K., Nardin, W., & Simeoni, U. (2019). Quantifying the impacts of human activities on the evolution of Po delta territory during the last 120 years. *Journal of Environmental Management*, 232, 702-712.
- Mayou, L. A., Alamdari, N., Ahmadisharaf, E., & Kamali, M. (2024). Impacts of future climate and land use/land cover change on urban runoff using fine-scale hydrologic modeling. *Journal of Environmental Management*, 362, 121284.
- Bjorkman, A. D., & Wulff, A. (2021). A reflection on four impactful *Ambio* papers: The biotic perspective: This article belongs to *Ambio's* 50th Anniversary Collection. Theme: Climate change impacts. *Ambio*, 50(6), 1145-1149.

- Jiang, F., Deng, M., Long, Y., & Sun, H. (2022). Spatial pattern and dynamic change of vegetation greenness from 2001 to 2020 in Tibet, China. *Frontiers in Plant Science*, 13, 892625.
- Nguyen, P., Ombadi, M., Gorooh, V. A., Shearer, E. J., Sadeghi, M., Sorooshian, S., ... & Ralph, M. F. (2020). Persian dynamic infrared-rain rate (PDIR-now): A near-real-time, quasi-global satellite precipitation dataset. *Journal of hydrometeorology*, 21(12), 2893-2906.
- Ghanghermeh, A., Roshan, G., Asadi, K., & Attia, S. (2024). Spatiotemporal Analysis of Urban Heat Islands and Vegetation Cover Using Emerging Hotspot Analysis in a Humid Subtropical Climate. *Atmosphere*, 15(2), 161.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۴۶، شماره پیاپی ۰۴، دی ۱۴۰۴

## آشکار سازی پیامدهای متقابل تغییرات اقلیمی بر پوشش سطحی و کاربری اراضی در استان گلستان طی دو دهه اخیر

عبدالعظیم قانقرمه <sup>1\*</sup>، غلامرضا روشن <sup>۱</sup>، مصیب رجیلی <sup>۲</sup>

۱. دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان (نویسنده مسئول)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5866-4972> ایمیل: [a.ghangherme@gu.ac.ir](mailto:a.ghangherme@gu.ac.ir)

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آب و هواشناسی دانشگاه گلستان

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>تغییر اقلیم و پوشش سطحی/تغییر کاربری اراضی دو پدیده به هم پیوسته هستند که تأثیرات عمیقی بر یکدیگر و بر محیط‌زیست می‌گذارند. این مطالعه به بررسی پیامدهای متقابل این دو پدیده در استان گلستان طی دو دهه گذشته می‌پردازد. داده‌های مورد استفاده شامل تصاویر ماهواره‌ای دما، بارش، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و همچنین داده‌های مربوط به پوشش سطحی/کاربری اراضی سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ می‌باشد. یافته‌ها نشان می‌دهد که ۱۰٫۴ درصد از اراضی استان دچار تغییر پوشش سطحی/کاربری شده و بیشترین سهم مربوط به اراضی بایر بوده است. در مقابل، پوشش گیاهی تنک و پوشش درختی بیشترین افزایش مساحت را تجربه کرده‌اند. خشک‌سالی‌های طولانی مدت و کاهش سطح آب دریای خزر عامل اصلی تبدیل بدنه‌های آبی به پوشش‌های دیگر بوده‌اند. از نظر اقلیمی، در اکثر مناطق استان گلستان به‌ویژه در نیمه شرقی، بخش‌های میانی و کوهپایه‌ای افزایش معنی‌داری در دمای شبانه مشاهده شده است. در مقابل، در سواحل شرقی به دلیل پس‌روی دریای خزر کاهش دمای شبانه و در برخی مناطق افزایش پراکنده دمای روزانه گزارش شده است. همچنین، کاهش بارش سالانه در نیمه شمالی و شرقی استان که بیشتر جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند، آشکار شده است. تجزیه و تحلیل نشان داد که همگامی دمای شبانه با تغییرات پوشش سطحی از درجه اول اهمیت برخوردار بوده و بارش سالانه در مرتبه بعد نقشی قابل توجه در تغییرات پوشش سطحی ایفا می‌کند. این مطالعه شواهدی از تأثیرگذاری متقابل تغییرات اقلیمی و پوشش سطحی در استان گلستان ارائه می‌دهد. به طوری که خشک‌سالی، افزایش دما و تغییر الگوی بارش به تغییر کاربری اراضی منجر شده و در مقابل، تغییر کاربری اراضی نیز می‌تواند بر الگوهای اقلیمی محلی تأثیر بگذارد.</p>	<p>نوع مقاله: <b>مقاله پژوهشی</b></p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱</p> <p><b>واژه‌های کلیدی:</b> تغییرات اقلیمی، پوشش سطحی/کاربری اراضی، استان گلستان، دما، بارش.</p>

استناد: قانقرمه، عبدالعظیم، روشن، غلامرضا و رجیلی، مصیب. (۱۴۰۴). آشکار سازی پیامدهای متقابل تغییرات اقلیمی بر پوشش سطحی و کاربری اراضی در استان گلستان طی دو دهه اخیر. *مخاطرات محیط طبیعی*. ۱۴ (۴۶)، ۱۲۴-۱۰۵

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© نویسنده/ نویسندگان  
DOI: 10.22111/jneh.2025.50298.2082



## مقدمه

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی، تأثیرات عمیقی بر کره زمین و ساکنان آن دارد (کلینگلهوفر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). پوشش سطحی زمین که شامل جنگل‌ها، مراتع، تالاب‌ها و ... می‌شود، نقشی حیاتی در حفظ تعادل اکوسیستم‌ها، تنظیم آب‌وهوا و تأمین منابع زیستی ایفا می‌کند (جینگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۴). تغییر اقلیم از طریق افزایش دما، خشک‌سالی، سیل و سایر پدیده‌های شدید آب‌وهوایی به‌طور مستقیم پوشش سطحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (هاشیم و هاشیم<sup>۳</sup>، ۲۰۱۶). این امر می‌تواند منجر به پیامدهای مختلفی از جمله از بین رفتن جنگل‌ها، تخریب مراتع، خشکی تالاب‌ها، کاهش زمین‌های قابل‌کشت، مهاجرت، تغییر در الگوهای کشاورزی و غیره شود (کورباو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). پیامدهای این تغییرات نه‌تنها محیط‌زیست را به‌طور کلی تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه بر زندگی انسان نیز اثرات منفی بسیاری دارد. درک این پیامدها و اتخاذ تدابیر لازم برای مقابله با آنها امری ضروری است. تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین (LULC<sup>۵</sup>) بر آب‌وهوا در مقیاس محلی، منطقه و جهانی تأثیر دارد، به‌طوری‌که در مقیاس محلی LULC می‌تواند منجر به تغییرات قابل‌توجهی در دما، بارش، رواناب سطحی، سیل و آلودگی شود (میو<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۴). اثرات LULC بر آب‌وهوا بسته به نوع تغییر، مانند تبدیل جنگل به مزارع یا شهر، متفاوت است. LULC می‌تواند اثرات قابل‌توجهی بر میکروکلیمای محلی داشته باشد، به‌عنوان مثال گرم شدن جزیره‌های حرارتی در مناطق شهری. در مقیاس منطقه‌ای LULC می‌تواند بر الگوهای آب‌وهوایی منطقه‌ای، مانند گردش باد و تشکیل ابر تأثیر بگذارد (بونوا<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۲). اثرات منطقه‌ای LULC پیچیده‌تر از اثرات محلی و درک کامل آنها دشوارتر است (بوزیر<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۲) و درنهایت در مقیاس جهانی تأثیر تغییر LULC بر آب‌وهوای میانگین جهانی کمتر آشکار خواهد شد. با این حال، LULC می‌تواند اثرات قابل‌توجهی بر آب‌وهوای جهانی در مقیاس‌های طولانی‌مدت داشته باشد. تغییر کاربری زمین و پوشش زمین اثرات پیچیده و متقابل بر آب‌وهوا دارد. مطالعات مختلفی در این موضوع انجام شده است از جمله پونتیس<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۸) معتقدند که تغییر کاربری و پوشش زمین در مکزیک بر الگوهای مواجهه با رویدادهای آب‌وهوایی شدید در مناطق مختلف اکولوژیکی تأثیر می‌گذارد. تخریب جنگل‌های هیرکانی در ایران منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (کامیاب و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین، افزایش دما با کاهش بارش منجر به کاهش تولید و افزایش بارش و باد منجر به افزایش تولید زراعی می‌شود (بارانی و همکاران، ۲۰۱۹). افزایش اراضی بایر و کاهش پوشش گیاهی (دشت مغان) سبب بیابان‌زایی می‌شود (میردیلیمی و همکاران، ۲۰۲۰). در فصل گرم سال، تفاوت دمای بین انواع مختلف پوشش اراضی (مانند جنگل، مزارع، شهرها) کمتر است. در حالی‌که در فصل سرد سال، تفاوت دمای بین انواع مختلف پوشش اراضی بیشتر می‌شود (حیدری و همکاران، ۲۰۲۴)؛ بزومی و همکاران، ۲۰۲۴). در کل، افزایش اراضی ساخته‌شده در ایران (مازندران) با افزایش آلودگی و دمای سطح زمین همراه است (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۲۳). در شبه‌قاره هند، تغییرات کاربری زمین و پوشش زمین، سبب تغییر اقلیم از طریق افزایش رواناب سطحی و کاهش تبخیر و تعرق، تغییرات

<sup>1</sup> Klingelhöfer

<sup>2</sup> Jing

<sup>3</sup> Hashim, J. H., & Hashim, Z.

<sup>4</sup> Corbau

<sup>5</sup> Land Use and Land Cover

<sup>6</sup> Mayou

<sup>7</sup> Bounoua

<sup>8</sup> Boisier

<sup>9</sup> Pontifes

زمانی بارش شده است (شارما<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۴؛ گیرما<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۳؛ پال<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). در قاره آفریقا به خصوص نیجریه کاهش شدید پوشش جنگلی و افزایش مساحت مناطق شهری و دیگر کاربری‌ها، بیشتر تحت تأثیر تغییرات بارش و فعالیت‌های انسانی بوده است. این روند در آینده نیز ادامه خواهد داشت (آکینتویی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین، در غرب آفریقا تغییرات شدید اقلیمی مانند تغییرات دما و بارش می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر پوشش زمین داشته است. این تغییرات به‌ویژه در تبدیل اراضی کشاورزی، جنگل‌ها و دیگر انواع پوشش‌های طبیعی به تأثیرات اقلیمی بستگی دارد (مورتی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین، ساور<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۲۴) معتقدند ازدست-دادن تالاب در والدیویا، شیلی، منجر به افزایش حجم و مدت سیل شده است. وو<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۲۲) دریافتند که محرک اصلی تغییرات کاربری زمین و کیفیت زیستگاه در حوضه آبخیز رودخانه وی چین فعالیت‌های انسانی، بارش و دما هستند. لی<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۲۰) نیز معتقدند که تغییر کاربری از مزارع به مناطق شهری در تبت، سبب اصلی افزایش دمای تابستان است و همچنین، جنگل کاری دمای بهار و زمستان را در این مناطق افزایش می‌دهد. با مطالعه شهرنشینی در شهر بغداد مشخص شد که گسترش مناطق بایر عامل اصلی افزایش دمای سطح زمین است (هاشم و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین، در تهران نیز مناطق با کاربری صنعتی و بدون پوشش گیاهی، دمای سطحی بالاتری دارند (مرادی و همکاران، ۲۰۲۲). مرادی و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که توسعه شهری بدون برنامه‌ریزی مناسب می‌تواند منجر به افزایش دمای سطح زمین شود. درنهایت، براتی و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که تغییر کاربری اراضی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم، بر انتشار CO2 تأثیر می‌گذارد.

ازطرف دیگر، پیامد تغییر اقلیم بر پوشش سطحی، کاربری زمین و اکوسیستم‌ها، یکی از موضوع‌های موردبحث در دنیای کنونی است. شارما و همکاران (۲۰۲۲) در سطح جهانی نشان دادند که تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم دو عامل اصلی کاهش تنوع زیستی هستند. ازجمله پیامدهای تغییر اقلیم، تغییر در نوع پوشش گیاهی است. به‌طوری‌که ترنر<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۵) تغییر نوع غالب پوشش گیاهی در حوضه رودخانه ویلامت به سمت درختان همیشه‌سبز و پهن‌برگ سازگار با آب‌وهوای گرم‌تر تأیید کردند. نونس<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۲۱) معتقدند تنوع زیستی جنگل‌های مدیترانه‌ای به‌دلیل افزایش دما و کاهش بارش در حال کاهش است. یان<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۹)، دلیل کاهش پوشش گیاهی علفزار در کوهستان‌های چین را خشکی و کم شدن رطوبت خاک می‌دانند. یکی دیگر از پیامدهای تغییر اقلیم، تغییر در کاربری زمین است. به‌طوری‌که گسترش زمین‌های زراعی به‌دلیل تغییرات اقلیمی منجر به جنگل‌زدایی در جنوب آسیا شده است (دیسانایکه<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). ازطرف دیگر، کاهش بارش در حوضه آبریز کارون، تغییر کاربری زمین را به دنبال داشته است (رزمی و همکاران، ۲۰۲۲). ازجمله پیامدهای مهم تغییر اقلیم، افزایش آتش‌سوزی‌ها در پوشش‌های سطحی می‌باشد. بر این اساس، ترنر و همکاران (۲۰۱۵) با مطالعه آتش‌سوزی در

<sup>1</sup> Sharma

<sup>2</sup> Girma

<sup>3</sup> Pal

<sup>4</sup> Akintuyi

<sup>5</sup> Mortey

<sup>6</sup> Sauer

<sup>7</sup> Wu

<sup>8</sup> Li

<sup>9</sup> Turner

<sup>10</sup> Nunes

<sup>11</sup> Yan

<sup>12</sup> Dissanayake

حوضه رودخانه ویلامت، به این نتیجه رسیدند که تحت تأثیر تغییر اقلیم، آتش‌سوزی‌ها افزایش خواهد یافت. این مسئله را اسکندری و همکاران (۲۰۲۳) در ناحیه رویشی هیرکانی شرقی تأیید نمودند. بنابراین، مقابله با اثرات تغییر اقلیم یکی از ضروریات عصر حاضر می‌باشد (بیورکمن<sup>۱</sup> و همکاران: ۲۰۲۱). از جمله این موارد می‌توان به مدیریت کاربری زمین، مدیریت منابع آب، استفاده از ارقام سازگار و مشارکت جهانی در این زمینه اشاره نمود، به طوری که طبق نظر دیسانایکه و همکاران (۲۰۱۷) با افزایش کشاورزی و بهبود بهره‌وری می‌توان از تبدیل جنگل‌ها و مراتع به زمین‌های زراعی جلوگیری کند. یان<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۹) معتقدند با مدیریت منابع آب، پوشش‌های گیاهی نواحی کوهستانی را کنترل نمود. همچنین، برزگر و همکاران (۲۰۰۷) استفاده از ارقام سازگار گیاهان زراعی را برای مقابله با اثرات منفی تغییر اقلیم لازم می‌دانند. در پایان لازم به توضیح است که برای کاهش اثرات تغییرات اقلیم از طریق اقدامات سازگاری می‌توان پیامد آن را کاهش داد (عباس و همکاران، ۲۰۲۲). بر این اساس، هدف اصلی این مطالعه، شناسایی پیامد تغییر اقلیم بر پوشش سطحی/کاربری اراضی یا برعکس تغییرات پوشش سطحی/کاربری اراضی بر تغییر اقلیم در استان گلستان چگونه بوده است.

### داده‌ها و روش پژوهش

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل دو گروه متغیرهای اقلیمی دما، بارش و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و همچنین، پوشش سطحی زمین/کاربری اراضی تقریباً در تمامی این متغیرها برگرفته شده از پایش‌های ماهواره‌ای می‌باشد. در این مطالعه، از داده‌های آماده شده دمای سطح زمین<sup>۳</sup> برای شب و روز و همچنین شاخص پوشش گیاهی (NDVI) ماهواره مودیس<sup>۴</sup> با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متری و همچنین به صورت ماه - سال از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ انتخاب گردید. این داده‌ها از وب سامانه گوگل ارث انجین<sup>۵</sup> با استفاده از کدی که برای این منظور آماده شد، دریافت گردید (جیانگ و همکاران، ۲۰۲۲). دومین داده مربوط به بارش می‌باشد که توسط پایگاه دانشگاه کالیفرنیا<sup>۶</sup> با قدرت تفکیک ۴۰۰۰ متری به صورت ماهانه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ آماده شده است. این داده سنجش‌زدوری با تلفیق شبکه عصبی و باند مادون قرمز برای بارش در تعقیب زمان واقعی<sup>۷</sup> با قدرت تفکیک ۴۰۰۰ متر تهیه شده است (نگوین و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین، برای اعتبارسنجی متغیرهای دما و بارش، از داده‌های ۱۰ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور در سطح استان گلستان نیز استفاده شد و در نهایت، سومین داده‌ای که در این پژوهش به منظور ارزیابی تغییرات پوشش سطحی زمین/کاربری اراضی برای دوره زمانی ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ با قدرت تفکیک ۳۰۰ متری پایگاه کوپرنیکس<sup>۸</sup> استفاده نمودیم. در ادامه، برای ارزیابی بهینه تغییرات پوشش سطحی/کاربری اراضی، در مرحله اول نقشه پوشش اراضی به هشت کلاس تقلیل داده شد که شامل کاربری‌های زراعی، پوشش درختی، ترکیب درخت-درختچه و پوشش علفی، ترکیب بوته‌زار و علفزار، پوشش گیاهی با تراکم کم، مناطق سکونتگاهی، اراضی بایر و در نهایت پهنه آبی را در بر می‌گیرد. در ادامه، برای بررسی تشخیص تغییرات از ابزار Change Detection با روش

1 Bjorkman

2 Yan

3 Land Surface Temperature (LST)

4 MODIS satellite

5 Google Earth Engine

6 <https://chrsdata.eng.uci.edu>

7 The Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Dynamic Infrared Rain Rate near real-time (PDIR-Now)

8 <https://cds.climate.copernicus.eu>

Categorical Change در محیط Arcgis pro 3.1 بهره گرفته شد. برای انجام این کار، پوشش سطحی زمین/کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ مورد مقایسه قرار گرفتند؛ اما برای بررسی روند تغییرات متغیرهای اقلیمی با استفاده از نرم‌افزار ArcGisPro، داده‌های موردنظر در قالب ساختار زمانی و مکانی به فایل‌های netcdf تبدیل شدند و سپس با استفاده از ابزار Create Space Time Cube By Aggregating Points در افزونه Space time pattern mining یک مکعب زمانی و مکانی شبکه‌ای ایجاد شد. بر این اساس روند تغییرات در هر کلاس (bin) مکعب، به صورت نقاط شمارش می‌شوند و در نهایت، روند مقادیر bin در طول زمان در هر مکان با استفاده از آماره Mann-Kendall برآورد می‌شود. در روش منکندال، ابتدا اختلاف بین هر یک از مشاهدات با تمام مشاهدات پس‌از آن محاسبه شده و پارامتر S مطابق رابطه زیر به دست می‌آید (قانقرمه و همکاران، ۲۰۲۴):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

که n تعداد مشاهدات سری و  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده‌های z ام و k ام سری می‌باشند. تابع sgn نیز به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{for } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{for } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{for } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

در مرحله بعد محاسبه واریانس S توسط یکی از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{for } n > 10 \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - (n2+5)}{18} \quad \text{for } n < 10 \quad (4)$$

که n و m معرف تعداد دنبال‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های بارزش یکسان در یک دنباله می‌باشد و در نهایت نیز آماره Z به کمک یکی از روابط زیر استخراج می‌شود:

$$Z = \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{for } S > 0 \quad (4)$$

$$Z = 0 \quad \text{for } S = 0$$

$$Z = \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{for } S < 0$$

با فرض دو دامنه آزمون روند، فرضیه صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که شرط زیر برقرار باشد:

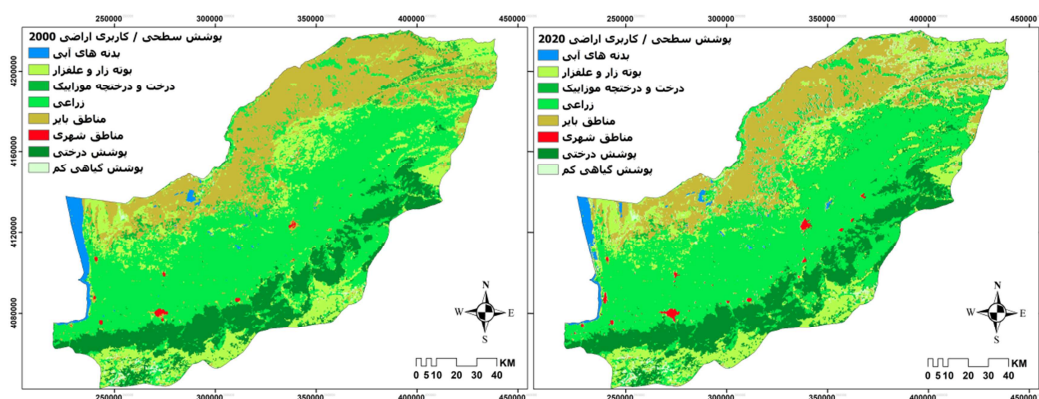
$$|Z| < Z_{a/2} \quad (5)$$

که a سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و  $Z_a$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری a می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، a/2 استفاده می‌شود. البته لازم به یادآوری است این خروجی لایه نقشه به روش منکندال در قالب ۷ طبقه (bin) می‌باشد که مقادیر منفی برای نمایش روند کاهش و مثبت نیز روند افزایشی را نشان می‌دهد. در کل بدون روند با طبقه (۰)، روند افزایش/کاهش با  $\pm 1$  در سطح ۹۰٪،  $\pm 2$  با ۹۵٪ و  $\pm 3$  با ۹۹٪ اطمینان قابل تشخیص است.

## نتایج و بحث

## تغییرات پوشش سطحی زمین استان گلستان

شکل شماره ۱، نقشه پوشش سطحی/کاربری اراضی استان گلستان را برای دو سال ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در هر دو سال موردنظر، بیشترین وسعت اراضی استان گلستان به زراعت اختصاص یافته است و در مرحله بعد، اراضی بایر قرار دارند. مطابق جدول ۱ مشخص می‌شود که در طی ۲۰ سال، ۰٫۳۵٪ از اراضی زراعی، ۰٫۵۱٪ از بوته‌زار و علفزار، ۴٫۱۷٪ از اراضی بایر و درنهایت ۰٫۴۲٪ از پهنه‌های آبی (از جمله خزر) کاهش یافته است. درحالی‌که ۱٫۵۱٪ به اراضی درختی، ۰٫۳۸٪ به ترکیب درخت و درختچه، ۲٫۷۴٪ به پوشش گیاهی تنک و ۰٫۸۱٪ به مناطق شهری افزوده شده است.



شکل ۱: پوشش سطحی / کاربری اراضی سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰

جدول ۱: مقایسه درصد مساحتی پوشش سطحی و کاربری اراضی بین سال ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ استان گلستان

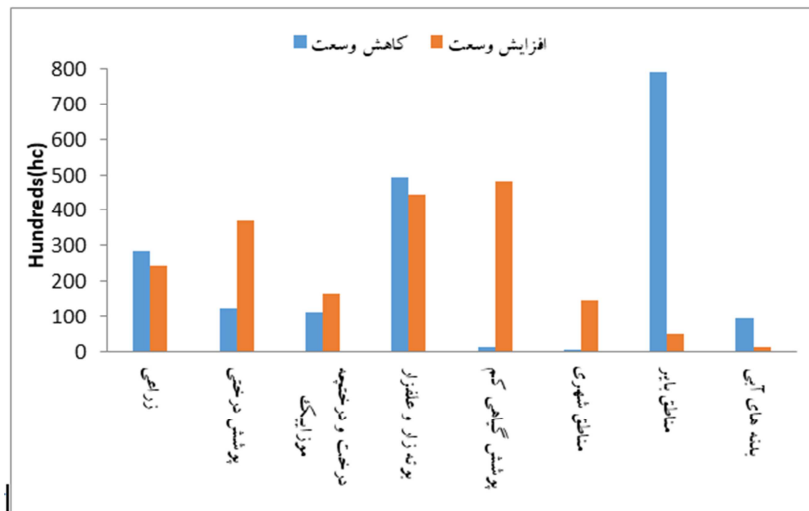
VALUE	کاربری/پوشش	سال ۲۰۰۰	سال ۲۰۲۰	تغییر
۱	زراعی	۴۴/۵۷	۴۴/۲۲	-۰/۳۵
۲	پوشش درختی	۱۳/۳۲	۱۴/۸۳	۱/۵۱
۳	ترکیب درخت و درختچه	۲/۰۱	۲/۳۹	۰/۳۸
۴	بوته‌زار و علفزار	۱۶/۱۷	۱۵/۶۶	-۰/۵۱
۵	پوشش گیاهی تنک	۰/۶۲	۳/۳۶	۲/۷۴
۶	مناطق شهری	۰/۲	۱/۰۱	۰/۸۱
۷	مناطق بایر	۲۱/۷	۱۷/۵۳	-۴/۱۷
۸	پهنه‌های آبی	۱/۴۲	۱	-۰/۴۲

بر اساس تجزیه و تحلیل تغییرات صورت‌گرفته در کاربری اراضی استان بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰، ۱۰٫۴ درصد از مساحت استان دچار تغییر در نوع پوشش زمین شده است. همچنین، طبق جدول ۲ مشخص می‌شود که طی این دوره، بیشترین تغییر مساحتی به‌ترتیب در مناطق بایر با ۷۸۹۷۷ هکتار، بوته‌زار و علفزار با ۴۹۳۷۵ هکتار، اراضی زراعی با ۲۸۴۲۰ هکتار، پوشش درختی با ۱۲۲۷۱ هکتار، ترکیب درخت و درختچه با ۱۱۱۵۲ هکتار، پهنه‌های آبی با ۹۴۳۸ هکتار، پوشش گیاهی تنک با ۱۳۲۵ هکتار و مناطق شهری با ۲۰۲ هکتار به پوشش‌های سطحی/کاربری‌های دیگر تبدیل شده است. به‌عنوان نمونه، ۳۰۲۰۳٫۹۷ هکتار از اراضی بایر به پوشش گیاهی تنک،

۲۸۸۹۲٫۸۹ هکتار به بوته‌زار و علفزار و ۱۲۲۳۳٫۴۳ هکتار به مناطق شهری تغییر یافته است. همچنین، مساحت اراضی بوته‌زار و علفزار به پوشش گیاهی تنک به میزان ۱۳۶۷۹٫۸۱ هکتار، زراعی به میزان ۱۳۴۷۴٫۴۵ هکتار، پوشش درختی به میزان ۱۰۶۷۰٫۷ هکتار و ترکیب درخت و درختچه به میزان ۱۰۵۲۸٫۸۶ هکتار تبدیل شده است. علاوه بر این، بیشترین تغییر کاربری از اراضی زراعی به مساحت ۲۴۳۷۴٫۵ هکتار به اراضی درختی صورت گرفته است. همچنین ۴۸۶۳٫۷۳ هکتار از اراضی درختی به زراعی، ۴۹۲۵٫۰۷ هکتار به اراضی ترکیب درخت و درختچه و ۲۴۸۲٫۳۹ هکتار به بوته‌زار و علفزار تغییر یافته است. از سوی دیگر، ۸۳۸۶٫۷۲ هکتار از اراضی ترکیب درخت و درختچه به بوته‌زار و علفزار و ۱۵۵۸٫۴۶ هکتار به پوشش گیاهی تنک تبدیل شده است. با توجه به تناسب پوشش سطحی/کاربری، تبدیل به حالت‌های دیگر طبق جدول ارائه شده متفاوت است. از جمله موارد قابل توجه، مربوط به مناطق شهری است که در این زمینه ۲۰۱۰٫۷ هکتار به پوشش گیاهی تنک تبدیل شده است. به عبارت دیگر، در محدوده‌های مسکونی، فضای سبز گسترش یافته است. در استان گلستان از یک طرف با توجه به خشک‌سالی‌های گسترده و طولانی مدت و از طرف دیگر کاهش سطح آب دریای خزر، سبب شده است (خیروری و همکاران، ۲۰۲۳) که از پهنه‌های آبی معادل ۲۷۸۷٫۳۱ هکتار به مناطق بایر، ۲۴۸۵٫۰۵ هکتار به بوته‌زار و علفزار، ۱۷۴۰٫۰۵ هکتار به پوشش گیاهی تنک و در نهایت ۱۳۷۵٫۶۵ به اراضی زراعی تبدیل شده است. در مجموع، بر اساس شکل ۲ مشاهده می‌شود که بیشترین کاهش وسعت در درجه اول مربوط به اراضی بایر و سپس به ترتیب مربوط به آب‌های سطحی، زمین‌های زراعی، بوته‌زارها و علفزارها است. در مقابل، بیشترین افزایش وسعت به ترتیب مربوط به پوشش گیاهی تنک، پوشش درختی، مناطق شهری و اراضی ترکیب درخت و درختچه بوده است.

جدول ۲: مقایسه تغییرات پوشش سطحی/کاربری اراضی سال ۱۹۹۲ نسبت به ۲۰۲۰

ردیف	کاربری/پوشش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۱	زراعی		۴۸۶۳/۷۳	۵۳/۲۸	۱۳۴۷۴/۴۵	۱۵۶/۲۱	۰	۴۴۹۷/۷۱	۱۳۷۵/۶۵
۲	پوشش درختی	۲۴۳۷۴/۵		۲۱۸/۰۴	۱۰۶۷۰/۷	۲۲/۵۹	۰	۱۵۳۶/۰۱	۱۸۷/۶۱
۳	ترکیب درخت و درختچه	۳۵۰/۲۱	۴۹۲۵/۰۷		۱۰۵۲۸/۸۶	۱۲۸/۶۲	۰	۵۹۲/۱۵	۸۸/۶۲
۴	بوته‌زار و علفزار	۱۱۵۳/۰۵	۲۴۸۲/۳۹	۸۳۸۶/۷۲		۹۸۰/۱	۰	۲۸۸۹۲/۸ ۹	۲۴۸۵/۰۵
۵	پوشش گیاهی کم	۷۴۲/۴۴	۰	۱۵۵۸/۴۶	۱۳۶۷۹/۸۱		۲۰۱/۷	۳۰۲۰۳/۹ ۷	۱۷۴۰/۰۵
۶	مناطق شهری	۱۱۷۵/۳۷	۰	۱۲/۸۳	۳۳۶/۵۸	۱۵/۲۸		۱۲۲۳۳/۴ ۳	۷۷۳/۸۷
۷	مناطق بایر	۴۳۲/۸۷	۰	۹۰۷/۷۸	۶۰۱/۵۳	۲۲/۶۸	۰		۲۷۸۷/۳۱
۸	پهنه‌های آبی	۱۹۱/۹۲	۰	۱۵/۱۷	۸۳/۵۶	۰	۰	۱۰۲۰/۸۹	



شکل ۲: مقایسه افزایش و کاهش وسعت انواع پوشش سطحی/کاربری اراضی سال ۲۰۰۰ نسبت به ۲۰۲۰

### بررسی تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی

ارزیابی میزان تطابق بارش و دمای اندازه‌گیری شده بین داده سنجنده‌ها با ایستگاه‌های هواشناسی جدول ۳، مقایسه دمای روزانه سطح زمین ماهواره مادیس با دمای خاک عمق ۵ سانتی‌متری در ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان گلستان را نشان می‌دهد. دوره آماری ایستگاه‌های مشاهداتی ستون (OBC) متفاوت است. با وجود این، یک رابطه قابل قبول و معنی‌دار بین دمای ماهواره‌ای و دمای ایستگاهی وجود دارد. به طوری که مشاهده می‌شود  $R^2$  و Adjusted  $R^2$  در تمام موقعیت‌های ایستگاهی در بالاترین سطح و با کمترین اختلاف قرار دارند. همچنین، میانگین خطا نشان می‌دهد که کمترین مقادیر RMSE و MSE روزانه به ترتیب ۱۰۳۵۶ و ۱۰۸۳۸ در ایستگاه بندرگز و بیشترین مقادیر آنها به ترتیب ۶۰۸۳۶ و ۶۱۰۲ در ایستگاه مراوه‌تپه است. علاوه بر آن، معیار دوربین واتسون (Dw) به عنوان یکی از روش‌های تشخیص وابستگی بین باقی‌مانده‌های مدل‌های رگرسیونی، نشان‌دهنده وجود رابطه رگرسیونی معنی‌داری بین ایستگاه‌ها است. دامنه عددی آن در ایستگاه مراوه‌تپه بین ۰.۰۹ تا ۱۰۸۲۵ می‌رسد. لازم به یادآوری است که در ایستگاه مینودشت، دمای روزانه داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه، رابطه معناداری مشاهده نمی‌شود که از جمله دلایل آن می‌توان به کوتاه بودن دوره آماری ایستگاه اشاره کرد؛ اما در حالت شبانه، کمترین مقادیر خطای MSE و RMSE به ترتیب ۱۰۱۴۸ و ۱۰۰۷۱ در ایستگاه مراوه‌تپه و بیشترین مقادیر آن به ترتیب ۱۰۹۷۹ و ۱۰۴۰۷ در ایستگاه هاشم‌آباد گرگان مشاهده می‌شود. همچنین، آماره Dw نشان می‌دهد که کمترین مقدار آن در اینچه‌برون معادل ۰.۰۹۹ و بیشترین آن در علی‌آبادکتول معادل ۱۰۷۵۵ است. در مجموع، شواهد نشان‌دهنده وجود رابطه معنی‌داری بین دمای عمق ۵ سانتی‌متری خاک با دمای سطح زمین (LST) است. مطابق جدول ۴، کارایی بارش ماهواره‌ای با موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مشخص می‌گردد که از ۱۰ ایستگاه، ۶ ایستگاه رابطه معناداری را نشان می‌دهند. از جمله دلایل پایین بودن رابطه بین موقعیت ایستگاهی و ماهواره، می‌توان به ماهیت تصادفی و تغییرپذیری مکانی شدید متغیر بارش اشاره کرد. با این وجود، در ایستگاه‌های علی‌آبادکتول، گرگان، هاشم‌آباد گرگان، کلاله، مراوه‌تپه و بندر ترکمن رابطه معنی‌داری بین این دو متغیر مشاهده می‌شود.

جدول ۳: تطابق دمای روزانه سطح زمین (ماهواره مادیس) با دمای خاک ایستگاه‌های هواشناسی

p-value	DW	RMSE	MSE	Adjusted R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	LST	Station
۰,۰۷۰	۱,۷	۱,۱۲	۱,۲۴	۰,۹۷۴	۰,۹۷۴	شب	علی آباد کتول
**۰,۰۰۰	۱,۱۸۶	۱,۸۶	۳,۴۷۹	۰,۹۸	۰,۹۹	روز	
**۰,۰۰۱	۱,۳۴۳	۱,۲۹۹	۱,۶۸۷	۰,۹۷۴	۰,۹۷	شب	بندرگز
**۰,۰۰۰	۱,۰۹۳	۱,۳۶	۱,۸۳۸	۰,۹۷۱	۰,۹۷۱	روز	
**۰,۰۰۰	۱,۶۷۲	۱,۲۰۶	۱,۴۴	۰,۹۷۹	۰,۹۷۹	شب	گنبدکاووس
**۰,۰۰۰	۱,۲۴	۲,۲۲۲	۴,۹۳۹	۰,۹۶۷	۰,۹۶۷	روز	
**۰,۰۰۰	۱,۱۴۲	۱,۳۰۳	۱,۶۹۸	۰,۹۷۴	۰,۹۷۴	شب	گرگان
**۰,۰۰۰	۱,۰۲۳	۲,۰۱۸	۴,۷۷۳	۰,۹۹	۰,۹۹	روز	
**۰,۰۰۰	۱,۱	۱,۴۰۷	۱,۹۷۹	۰,۹۶۹	۰,۹۷	شب	گرگان (هاشم آباد)
**۰,۰۰۰	۱,۲۰۲	۲,۰۳	۴,۱۲۲	۰,۹۷	۰,۹۷	روز	
**۰,۰۰۰	۱,۰۹۹	۱,۲۰۸	۱,۴۹	۰,۹۸۲	۰,۹۸۳	شب	اینچه برون
**۰,۰۰۰	۱,۰۹۱	۲,۲۳۹	۰,۰۱۳	۰,۹۷۴	۰,۹۷۴	روز	
**۰,۰۰۰	۱,۴۱	۱,۱۸۳	۱,۴	۰,۹۷۸	۰,۹۷۸	شب	کلاله (فرودگاه)
**۰,۰۰۰	۱,۳۱	۲,۰۸۶	۴,۳۲	۰,۹۶	۰,۹۶۶	روز	
**۰,۰۰۰	۱,۳۱۲	۱,۰۷۱	۱,۱۴۸	۰,۹۸۳	۰,۹۸۳	شب	مراوه تپه
**۰,۰۰۰	۰,۹۸	۲,۶۱	۶,۸۳۶	۰,۹۶۴	۰,۹۶۴	روز	
**۰,۰۰۳	۱,۳۹۴	۱,۱۴۱	۱,۳۰۳	۰,۹۷۴	۰,۹۷۴	شب	مینودشت
۰,۲۱۷	۱,۸۲	۱,۶۴۴	۲,۷۰۲	۰,۹۹	۰,۹۹	روز	
**۰,۰۰۰	۱,۲۱۴	۱,۲۴	۱	۰,۹۷۸	۰,۹۷۸	شب	بندر ترکمن
**۰,۰۰۰	۰,۷۳	۱,۷۹۳	۳,۲۱۶	۰,۹۶۱	۰,۹۶۱	روز	

\*\* معنی‌داری در سطح بیش از ۹۵٪

جدول ۴: تطابق بارش ماهواره‌ای با بارش ایستگاه‌های هواشناسی

p-value	DW	RMSE	MSE	Adjusted R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	Station
**۰,۰۱۹	۱,۶۷۹	۲۱,۳۳۸	۴,۳۲۴	۰,۲	۰,۲	علی آباد کتول
۰,۱۳۱	۱,۷	۱۸,۳۹	۳۳۳,۳۹۹	۰,۱۶۸	۰,۱۷۸	بندرگز
۰,۳۶۲	۱,۹۳	۱۸,۶۰۸	۳۴۶,۲۷۴	۰,۲۴۱	۰,۲۴۴	گنبدکاووس
**۰,۰۰۳	۱,۷۴	۲۱,۸۲۱	۴۷۶,۱۶۳	۰,۱۹۲	۰,۱۹	گرگان
**۰,۰۰۱	۱,۱	۲۲,۴۰۳	۱,۹۱۴	۰,۱	۰,۱۶	گرگان (هاشم آباد)
۰,۷۱	۲,۱۴۱	۱۲,۰۱۲	۱۴۴,۲۸۴	۰,۲۶۸	۰,۲۷۶	اینچه برون
**۰,۰۰۴۸	۱,۷	۱۹,۱۱۹	۳۶,۴۱	۰,۲۳	۰,۲۳۴	کلاله (فرودگاه)
**۰,۰۰۱	۱,۷	۱۶,۴۳۶	۲۷۰,۱۴۷	۰,۲۸	۰,۲۶۱	مراوه تپه
۰,۰۰۶۷	۱,۶۶۳	۱۸,۰۰۶	۳۲۴,۲۲۱	۰,۲۷۳	۰,۲۸۲	مینودشت
**۰,۰۱۴	۱,۶۲	۱۹,۰۶۱	۳۶۳,۳۳۳	۰,۱۶۶	۰,۱۷۱	بندر ترکمن

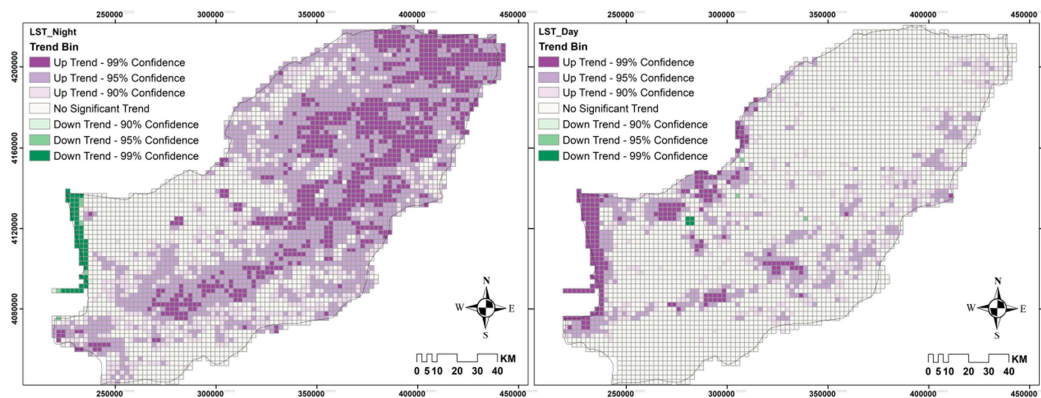
\*\* معنی‌داری در سطح بیش از ۹۵٪

### روند تغییرات دمای سطح زمین در استان گلستان

شکل شماره ۳ نشان می‌دهد که دامنه تغییرات دمای شبانه گسترده‌تر از دمای روزانه است. این موضوع معمولاً به دلیل تأثیر بیشتر تابش خورشید، پوشش ابر و باد بر دمای روزانه است؛ در حالی که در شب، زمین گرمای ذخیره شده در طول روز را به تدریج از دست می‌دهد و دیگر تابش خورشیدی دریافت نمی‌کند. در کل، مطابق شکل، روند افزایشی معنی‌داری در دمای شبانه در بخش قابل توجهی از نیمه شرقی استان، به ویژه در مناطق مرکزی و کوهپایه‌ای مشاهده می‌شود. از طرف دیگر، با توجه به کاهش تدریجی سطح آب دریا خزر در طی ۲۰ سال گذشته، مناطق سواحل شرقی در هنگام شب شاهد روند کاهشی دما هستند. در کل، نقشه روند دمای روزانه نشان می‌دهد که

افزایش دما به‌طور غیریکنواخت و بیشتر در نیمه غربی استان، در مرز شمالی، سواحل شرقی خزر و همچنین در نواحی مرکزی و کوهپایه‌ای رخ داده است.

طبق جدول شماره ۵ در طول شب، حدود ۷۲٫۶۳ درصد از مساحت استان در طی ۲۰ سال گذشته شاهد روند افزایشی معنی‌دار دما (با سطوح اطمینان ۹۰٪، ۹۵٪ و ۹۹٪) بوده است و تنها ۱٫۱۵ درصد کاهش دما داشته است؛ اما در طول روز، فقط در ۲۸٫۴۵ درصد از مساحت استان روند افزایشی مشاهده می‌شود. درحالی‌که ۷۱٫۵۵ درصد از مساحت استان در طول روز هیچ روند خاصی را نشان نمی‌دهد.



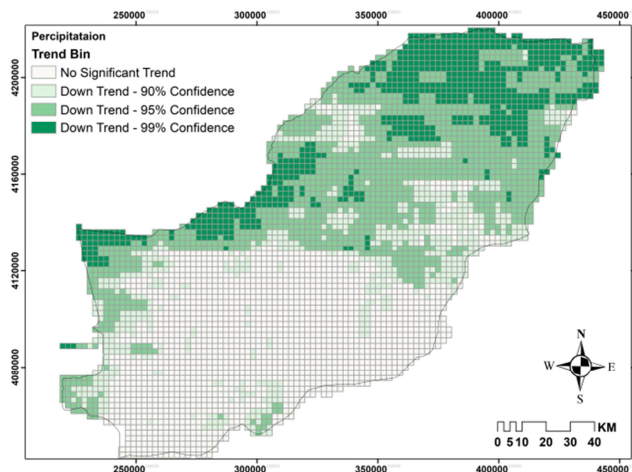
شکل ۳: نقشه‌های روند تغییرات دمای روزانه (LST\_Day) و شبانه (LST\_Night) استان گلستان (۲۰۰۰-۲۰۲۲)

جدول ۵: سطح اطمینان روند تغییرات مساحتی دمای روزانه و شبانه استان گلستان (۲۰۰۰-۲۰۲۲)

id	Trend Bin	Night(hc)	Day(hc)	Night(%)	Day(%)
۱	Down Trend - 99% Confidence	۲۴۲۷۸	۲۰۲۳	۱/۱۵	۰/۱
۲	Down Trend - 95% Confidence	۳۰۳۵	۱۵۱۷	۰/۱۴	۰/۰۷
۳	Down Trend - 90% Confidence	۲۰۲۲	۰	۰/۱	۰
۴	No Significant Trend	۵۴۶۲۶۴	۱۵۰۱۷۲۰	۲۵/۹۷	۷۱/۳۹
۵	Up Trend - 90% Confidence	۳۲۸۲۶۴	۲۶۴۰۲۸	۱۵/۶	۱۲/۵۵
۶	Up Trend - 95% Confidence	۷۷۸۴۲۶	۲۲۸۶۲۲	۳۷	۱۰/۸۷
۷	Up Trend - 99% Confidence	۴۲۱۳۳۲	۱۰۵۷۱۲	۲۰/۰۳	۵/۰۳

### روند تغییرات بارش در استان گلستان

شکل شماره ۴ نقشه روند تغییرات بارش سالانه در استان گلستان طی ۲۰ سال گذشته را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نقشه مشاهده می‌شود، بخش اعظم نیمه شمالی و شرقی استان با روند کاهشی بارش مواجه بوده است. این مناطق به‌طور کلی در طول سال بارش کمتری دریافت می‌کنند؛ بنابراین می‌توان گفت بیشتر نواحی که روند کاهشی را نشان می‌دهند، جزو مناطق خشک استان گلستان محسوب می‌شوند. در مجموع، مطابق جدول شماره ۶، ۶۲/۱۸ درصد از مساحت استان گلستان با سطح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد، از روند کاهشی بارش پیروی می‌کند. درحالی‌که ۳۷/۸۲ درصد از مساحت استان روند مشخصی را نشان نمی‌دهد.



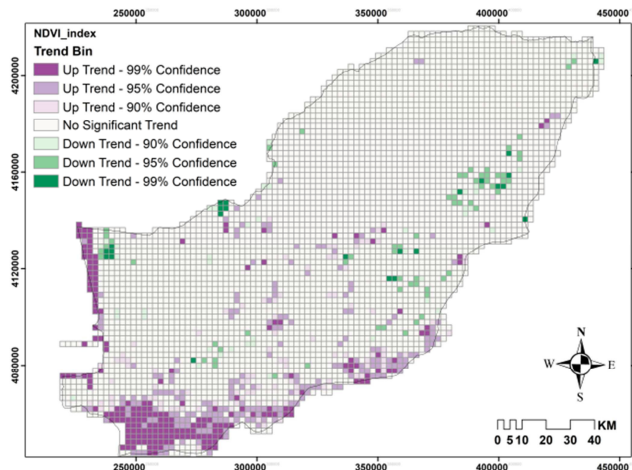
شکل ۴: نقشه روند تغییرات بارش استان گلستان (۲۰۰۰-۲۰۲۲)

جدول ۶: سطح اطمینان روند تغییرات مساحتی بارش استان گلستان (۲۰۰۰-۲۰۲۲)

id	Trend Bin	Percipitaaion(hc)	Percipitaaion(%)
۱	Down Trend - 99% Confidence	۳۵۳۵۵۴	۱۶/۸۱
۲	Down Trend - 95% Confidence	۶۲۷۱۹۲	۲۹/۸۱
۳	Down Trend - 90% Confidence	۳۲۷۲۵۳	۱۵/۵۶
۴	No Significant Trend	۷۹۵۶۲۴	۳۷/۸۲
۵	Up Trend - 90% Confidence	.	.
۶	Up Trend - 95% Confidence	.	.
۷	Up Trend - 99% Confidence	.	.

### روند تغییرات شاخص NDVI

شکل شماره ۵ نقشه پراکنش روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی را به صورت میانگین سالانه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این شاخص در نواحی جنوبی و نیمه غربی استان، به‌طور متمرکز در محدوده‌های کوهستانی البرز و همچنین سواحل شرقی دریای خزر، روند افزایشی دارد. از طرف دیگر، در سایر نواحی استان هم روند افزایشی و هم روند کاهش‌ی به‌صورت خیلی جزئی و پراکنده دیده می‌شود. در کل، مطابق جدول شماره ۷، ۸۴٫۴ درصد از سطح استان برای این شاخص روند خاصی را نشان نمی‌دهد؛ در حالی که ۱۲٫۳۶ درصد از سطح استان روند افزایشی و تنها در ۳٫۲۵ درصد از سطح استان روند کاهش‌ی مشاهده می‌شود.



شکل ۵: نقشه روند تغییرات شاخص NDVI استان گلستان (۲۰۰۰-۲۰۲۲)

جدول ۷: سطح اطمینان روند تغییرات مساحتی NDVI استان گلستان (۲۰۰۰-۲۰۲۲)

id	Trend Bin	NDVI(hc)	NDVI(%)
۱	Down Trend - 99% Confidence	۱۲۱۳۹	۰/۵۸
۲	Down Trend - 95% Confidence	۳۲۸۷۷	۱/۵۶
۳	Down Trend - 90% Confidence	۲۳۲۶۷	۱/۱۱
۴	No Significant Trend	۱۷۷۵۳۵۸	۸۴/۴
۵	Up Trend - 90% Confidence	۵۲۶۰۳	۲/۵
۶	Up Trend - 95% Confidence	۱۰۳۶۸۹	۴/۹۳
۷	Up Trend - 99% Confidence	۱۰۳۶۸۹	۴/۹۳

### تلفیق تغییرات اقلیمی با پوشش سطحی

نتایج تحلیل تغییرات شاخص پوشش گیاهی (NDVI) نشان‌دهنده تفاوت‌های بارز در روند تغییرات پوشش سطحی در مناطق مختلف است. بر اساس جدول شماره ۸، روند کاهش NDVI بیشتر در اراضی زراعی (۶۴/۷٪)، درختی (۱۴٪)، ترکیب درخت و درختچه (۸/۵٪) و بایر (۶/۲٪) مشاهده می‌شود. این کاهش می‌تواند ناشی از تغییرات کاربری اراضی به کاربری‌های انسانی مانند توسعه کشاورزی و شهری و همچنین استفاده نادرست از منابع طبیعی باشد. در مقابل، روند افزایشی NDVI به‌ویژه در پهنه‌های آبی (۴۲/۱٪)، زراعی (۳۴/۴٪)، پوشش گیاهی تنک (۷/۳٪)، بوته‌زار و علفزار (۴/۹٪)، ترکیب درخت و درختچه (۴/۶٪) و درختی (۴/۲٪) قابل مشاهده است. این افزایش‌ها احتمالاً نتیجه اقدامات حفاظتی، احیای اراضی و یا اینکه به‌خصوص در ارتباط با پهنه‌های آبی عقب‌نشینی دریای خزر در غرب استان گلستان است. از سوی دیگر، روند تغییرات بارش نیز کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. بیشترین کاهش بارش در اراضی بایر (۷۴/۴٪)، ترکیب درخت و درختچه (۱۰/۹٪)، پهنه‌های آبی (۶/۵٪)، بوته‌زار و علفزار (۳/۵٪) و اراضی زراعی (۲/۴٪) مشاهده می‌شود. این کاهش در بارش می‌تواند تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌ها و پوشش گیاهی این مناطق باشد و به چالش‌های زیست‌محیطی دامن بزند. اما برعکس روند افزایشی دمای شبانه در تغییرات پوشش سطحی نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات در اراضی بایر با ۵۴/۹٪ و زراعی با

۲۷/۸٪ مشاهده می‌شود. پس از آن، ترکیب درخت و درختچه با ۸/۵٪ و درختی با ۵/۲٪ قرار دارند. درحالی‌که تغییرات در بوته‌زار و علفزار، پوشش گیاهی تنک و پهنه به کمترین وسعت می‌رسد. این تغییرات نشان‌دهنده تأثیر بیشتر دمای شبانه بر اراضی بایر و زراعی است، در حالی که تأثیر آن در سایر پوشش‌های سطحی کمتر بوده است. همین حالت در دمای روزانه با نسبت کمتری دیده می‌شود و حتی در بعضی از پوشش‌های سطحی مانند اراضی زراعی متفاوت عمل کرده است. تفاوتی که در دمای شبانه و روزانه دیده می‌شود در این است که اهمیت مساحتی شبانه در تبدیل پوشش سطح خیلی زیاد می‌باشد و از طرف دیگر، تفاوت مساحتی برای پوشش سطحی در شب با روز حاکی از آن است که تابش روزانه معمولاً توسط تابش مستقیم خورشید کنترل می‌شود. در کل، می‌توان گفت که دمای شبانه در همگامی تغییرات پوشش سطحی در بالاترین درجه اهمیت قرار دارد و در مرحله دوم نیز حالت کاهش بارش نقش قابل‌قبولی را در تغییرات پوشش سطحی بازی می‌کند. اما روند افزایشی دمای شبانه هم‌زمان با تغییرات پوشش سطحی، نقشی بس مهم ایفا می‌کند. این پدیده در مورد دمای روزانه با شدت کمتری مشاهده می‌شود و حتی در برخی از پوشش‌های سطحی مانند زمین‌های زراعی، روندی متفاوت دارد. تفاوت اساسی بین دمای شبانه و روزانه در این است که وسعت تغییرات شبانه در پوشش سطحی، اهمیتی بسیار زیاد دارد. از سوی دیگر، تفاوت در وسعت تغییرات پوشش سطحی بین شب و روز نشان‌دهنده‌ی این است که تابش روزانه بیشتر توسط تابش مستقیم خورشید کنترل می‌شود. در مجموع، می‌توان گفت که دمای شبانه در همگامی با تغییرات پوشش سطحی، از بالاترین درجه اهمیت برخوردار است. در مرتبه‌ی دوم، کاهش بارش نقشی قابل‌توجه در این تغییرات ایفا می‌کند.

جدول ۸: مقایسه مساحت روند تغییرات متغیرهای اقلیمی با پوشش سطحی استان گلستان در دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۱

Variable	Down Trend(P value =0.05)				Up Trend(P value=0.05)			
	NDVI	Percipitaitaion	LSTNight	LSTDay	NDVI	Percipitaitaion	LSTNight	LSTDay
زراعی	۱۳۹۲,۰۱	۲۴۰۴,۰۹	۱۲,۳۴	۱۳۹,۰۶	۳۲۱۷,۷۶	.	۳۲۰۲۳,۲۴	۴۸۳,۱۴
مناطق بایر	۱۳۴,۳۹	۷۳۹۶۱,۲۷	.	۴۶۲,۰۳	۲۳۲,۳۳	.	۶۳۲۴۶,۸۴	۱۲۱۶۴,۰۴
ترکیب درخت و درختچه	۱۸۱,۷۷	۱۰۸۰۴,۰۴۶	۷,۶۱	۱۹۰,۶۲	۴۲۸,۰۱	.	۹۸۳۳,۰۶	۱۶۱۲,۰۱۴
بوته‌زار و علفزار	۱۱,۰۹	۳۴۹۰,۰۲۷	۹۶,۰۴	۱۷,۰۱	۴۶۲,۰۴۷	.	۳۸۴۸,۰۰۱	۸۸۱۴,۰۲۶
پوشش گیاهی کم	۲۹,۰۸	۸۰۶,۳۱	.	۲,۰۸۳	۶۸۲,۰۷	.	۹۱,۰۳	۳۷,۰۳
پوشش درختی	۳۰,۲	۱۴۷۸,۰۶۸	۷,۶۷	۱	۳۸۸,۰۴۲	.	۶۰۱۴,۰۶	۱۷۶۹,۰۳۲
مناطق شهری	۱۷,۰۸۷	۴۱,۰۶۸	.	.	.	.	۱۶۲,۰۱۲	۸۷,۰۷
پهنه‌های آبی	۸۲,۰۳۴	۶۴۴۸	۶۹,۰۸۴	۰,۰۹۳	۳۹۳۲,۰۲۲	.	۳۳,۰۸۲	۹۲۴۶,۰۱۱

### نتیجه‌گیری

در دو دهه گذشته، معادل ۱۰/۴ درصد از اراضی استان گلستان دچار تغییر پوشش سطحی/کاربری شده است. بیشترین کاهش مساحت مربوط به اراضی بایر (۷۸۹۷۷ هکتار) بوده و پهنه‌های آبی، زراعی، بوته‌زار و علفزار قرار دارند. در مقابل، پوشش گیاهی تنک (۱۳۲۵ هکتار) بیشترین افزایش مساحت را تجربه کرده و به ترتیب پوشش درختی، مناطق شهری و اراضی ترکیب درخت و درختچه در رده‌های بعدی قرار دارند. نکته قابل‌توجه این است که ۲۰/۱۷ هکتار از مناطق شهری به پوشش گیاهی تنک تبدیل شده است که نشان‌دهنده افزایش فضای سبز در مناطق مسکونی است. خشک‌سالی‌های طولانی‌مدت و کاهش سطح آب دریای خزر، عامل اصلی تبدیل پهنه‌های آبی به پوشش‌های دیگر بوده‌اند. در کل، از جمله علل احتمالی این تغییرات می‌توان به موارد متعددی از جمله خشک‌سالی،

افزایش دما، تغییر الگوی بارش، افزایش تقاضا برای زمین در بخش‌های کشاورزی، سکونتگاهی و زیرساختی و تغییر در الگوی مصرف و سبک زندگی اشاره کرد. با این حال، در بیشتر موارد، تغییرات مشاهده شده در مؤلفه‌های غیر اقلیمی نیز پیامد خود تغییر اقلیم هستند. بررسی مؤلفه‌های اقلیمی نشان داد که روند افزایشی معنی‌داری در دمای شبانه در اکثر مناطق استان، به خصوص در نیمه شرقی، بخش‌های میانی و کوهپایه‌ای رخ داده است. در مقابل، کاهش دمای شب در سواحل شرقی به دلیل پس‌روی دریای خزر، افزایش پراکنده دمای روزانه در نیمه غربی، مرز شمالی، سواحل شرقی خزر و نواحی میانی و کوهپایه‌ای مشاهده شده است. همچنین، کاهش بارش سالانه در نیمه شمالی و شرقی استان که بیشتر جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند، آشکار شده است. این تغییرات نشان‌دهنده‌ی اثر تغییرات اقلیمی بر استان گلستان است. افزایش دما و کاهش بارش می‌تواند پیامدهای منفی برای منابع آب، کشاورزی و اکوسیستم‌های طبیعی استان داشته باشد.

در پایان، با تلفیق تغییرات پوشش سطحی/کاربری و روند تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی، یافته‌ها نشان دادند که همگامی دمای شبانه با تغییرات پوشش سطحی از درجه اول اهمیت برخوردار بوده و بارش سالانه در مرتبه بعد نقشی قابل توجه در تغییرات پوشش سطحی ایفا می‌کند. تفاوت میان دمای شبانه و روزانه به‌ویژه در تأثیرگذاری بر پوشش‌های سطحی قابل توجه است. در حالی که تغییرات دمای شبانه در همگامی با تغییرات پوشش سطحی تأثیر بیشتری دارد، دمای روزانه تحت تأثیر تابش مستقیم خورشید قرار می‌گیرد و نسبت به تغییرات شبانه، تأثیر کمتری بر پوشش‌های سطحی دارد. این امر به‌ویژه در اراضی زراعی و دیگر پوشش‌های سطحی نمایان است. در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که دمای شبانه با تغییرات پوشش سطحی در استان گلستان هم‌راستا بوده و تأثیر عمده‌ای در این تغییرات ایفا کرده است. علاوه بر این، کاهش بارش‌ها نیز نقشی مهم در شکل‌گیری و تغییرات پوشش‌های سطحی ایفا کرده است. این مطالعه شواهدی از تأثیرگذاری متقابل تغییرات اقلیمی و پوشش سطحی در استان گلستان ارائه می‌دهد. به طوری که خشک‌سالی، افزایش دما و تغییر الگوی بارش به تغییر کاربری اراضی منجر شده و در مقابل، تغییر کاربری اراضی نیز می‌تواند بر الگوهای اقلیمی محلی تأثیر بگذارد. این مطالعه بر اهمیت درک این روابط پیچیده برای مدیریت پایدار منابع طبیعی در استان گلستان تأکید می‌کند. در نهایت، با اذعان به اثر متقابل تغییر اقلیم و تغییرات پوشش سطحی/کاربری اراضی در استان گلستان، نتایج یافته‌های این پژوهش با یافته‌های محققان پیشین در دو بخش هم‌خوانی دارد. تأثیر تغییر پوشش سطحی/کاربری اراضی بر تغییر اقلیم با یافته‌های بونوا و همکاران (۲۰۰۲)، بوزیر و همکاران (۲۰۱۲)، لی و همکاران (۲۰۲۰)، هاشم و همکاران (۲۰۲۲)، ابراهیمی و همکاران (۲۰۲۳) و مرادی و همکاران (۲۰۲۲) هم‌سو است. در حالی که پیامد تغییر اقلیم بر تغییر پوشش سطحی/کاربری اراضی نیز با یافته‌های دیسانایکه و همکاران (۲۰۱۷)، ترنر و همکاران (۲۰۱۵)، رزمی و همکاران (۲۰۲۲)، برزگر و همکاران (۲۰۰۷)، اسکندری و همکاران (۲۰۲۳)، نونس و همکاران (۲۰۲۱) و یان و همکاران (۲۰۱۹) هم‌خوانی دارد.

## منابع:

ابراهیمی، عباس؛ صفرراد، طاهر؛ جانبازقبادی، غلامرضا. (۲۰۲۳). ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر آلودگی سطحی و دمای سطح زمین (مطالعه موردی: شهرهای ساری تا چالوس). (جغرافیای طبیعی، ۱۶(۱)، صص: 1-14.

- اسکندری، سعیده؛ جعفری، مصطفی؛ آهنگران، یزدانفر؛ احمدلو، فاطمه. (۲۰۲۳). تغییر اقلیم، عاملی اثرگذار در افزایش آتش‌سوزی‌ها در ناحیه رویشی هیرکانی شرقی. *طبیعت ایران*، ۸(5)، صص: 23-30.
- برزگر، امیربهزاد؛ کامکار، بهنام. (۲۰۰۷، اکتبر). پیامدهای بوم‌شناختی تغییر اقلیم بر مناسبات علف‌های هرز و گیاهان زراعی در بوم‌نظام‌های کشاورزی. در دومین همایش ملی کشاورزی بوم‌شناختی ایران.
- رزمی، رباب؛ عساکره، حسین؛ مسعودیان، سید ابوالفضل. (۲۰۲۲). تبیین تأثیر تغییر عناصر اقلیمی بر تغییرات کاربری‌های سطح زمین در زیرحوضه‌های حوضه آبریز کارون. *مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی*، ۱۱(3)، صص: 69-89.
- مرادی، غلامرضا؛ حسنی، علیرضا. (۲۰۲۲). استخراج و شناسایی دمای سطحی زمین و تبیین ارتباط آن با کاربری اراضی شهری (نمونه موردی: مناطق ۱ و ۲۱ شهر تهران). *آمایش محیط*، ۱۵(58)، صص: 81-102.
- Akintuyi, A. O., Fasona, M. J., Ayeni, A. O., & Soneye, A. S. (2021). Land use/land cover and climate change interaction in the derived savannah region of Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(12), 848.
- Bounoua, L., DeFries, R., Collatz, G. J., Sellers, P., & Khan, H. (2002). Effects of land cover conversion on surface climate. *Climatic Change*, 52, 29-64.
- Boisier, J. P., de Noblet-Ducoudré, N., Pitman, A. J., Cruz, F. T., Delire, C., Van den Hurk, B. J. J. M., ... & Voltaire, A. (2012). Attributing the impacts of land-cover changes in temperate regions on surface temperature and heat fluxes to specific causes: Results from the first LUCID set of simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D12).
- Bjorkman, A. D., & Wulff, A. (2021). A reflection on four impactful Ambio papers: The biotic perspective: This article belongs to Ambio's 50th Anniversary Collection. Theme: Climate change impacts. *Ambio*, 50(6), 1145-1149.
- Corbau, C., Zambello, E., Rodella, I., Utizi, K., Nardin, W., & Simeoni, U. (2019). Quantifying the impacts of human activities on the evolution of Po delta territory during the last 120 years. *Journal of Environmental Management*, 232, 702-712.
- Dissanayake, S., Asafu-Adjaye, J., & Mahadeva, R. (2017). Addressing climate change cause and effect on land cover and land use in South Asia. *Land Use Policy*, 67, 352-366.
- Ghanghermeh, A., Roshan, G., Asadi, K., & Attia, S. (2024). Spatiotemporal Analysis of Urban Heat Islands and Vegetation Cover Using Emerging Hotspot Analysis in a Humid Subtropical Climate. *Atmosphere*, 15(2), 161.
- Girma, R., Moges, A., & Fürst, C. (2023). Integrated modeling of land degradation dynamics and insights on the possible future management alternatives in the Gidabo river basin, Ethiopian Rift Valley. *Land*, 12(9), 1809.
- Hashim, B. M., Al Maliki, A., Sultan, M. A., Shahid, S., & Yaseen, Z. M. (2022). Effect of land use land cover changes on land surface temperature during 1984–2020: A case study of Baghdad city using Landsat image. *Natural Hazards*, 112(2), 1223-1246.
- Hashim, J. H., & Hashim, Z. (2016). Climate change, extreme weather events, and human health implications in the Asia Pacific region. *Asia Pacific Journal of Public Health*, 28(2\_suppl), 8S-14S.
- Jing, Q., He, J., Li, Y., Yang, X., Peng, Y., Wang, H., ... & Zhang, X. (2024). Analysis of the spatiotemporal changes in global land cover from 2001 to 2020. *Science of The Total Environment*, 908, 168354.
- Jiang, F., Deng, M., Long, Y., & Sun, H. (2022). Spatial pattern and dynamic change of vegetation greenness from 2001 to 2020 in Tibet, China. *Frontiers in Plant Science*, 13, 892625.
- Klingelhöfer, D., Müller, R., Braun, M., Brüggmann, D., & Groneberg, D. A. (2020). Climate change: Does international research fulfil global demands and necessities? *Environmental Sciences Europe*, 32, 1-21.
- Kheyri, Y., Shayesteh, A., & Sharafati, A. (2023). Quantification of the meteorological and hydrological droughts links over various regions of Iran using gridded datasets. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(32), 79049-79066.
- Li, D., Tian, P., Luo, H., Hu, T., Dong, B., Cui, Y., ... & Luo, Y. (2020). Impacts of land use and land cover changes on regional climate in the Lhasa River basin, Tibetan Plateau. *Science of the Total Environment*, 742, 140570.
- Mayou, L. A., Alamdari, N., Ahmadisharaf, E., & Kamali, M. (2024). Impacts of future climate and land use/land cover change on urban runoff using fine-scale hydrologic modeling. *Journal of Environmental Management*, 362, 121284.
- Mortey, E. M., Annor, T., Arnault, J., Inoussa, M. M., Madougou, S., Kunstmann, H., & Nyantakyi, E. K. (2023). Interactions between climate and land cover change over West Africa. *Land*, 12(2), 355.
- Nunes, L. J., Meireles, C. I., Gomes, C. J. P., & Ribeiro, N. M. A. (2021). The impact of climate change on forest development: a sustainable approach to management models applied to Mediterranean-type climate regions. *Plants*, 11(1), 69.
- Nguyen, P., Ombadi, M., Gorooh, V. A., Shearer, E. J., Sadeghi, M., Sorooshian, S., ... & Ralph, M. F. (2020). Persian dynamic infrared-rain rate (PDIR-now): A near-real-time, quasi-global satellite precipitation dataset. *Journal of hydrometeorology*, 21(12), 2893-2906.
- Ojima, D. S., Aicher, R., Archer, S. R., Bailey, D. W., Casby-Horton, S. M., Cavallaro, N., ... & Washington-Allen, R. A. (2020). A climate change indicator framework for rangelands and pastures of the USA. *Climatic change*, 163, 1733-1750.
- Pontifes, P. A., García-Meneses, P. M., Gómez-Afiza, L., Monterroso-Rivas, A. I., & Caso-Chávez, M. (2018). Land use/land cover change and extreme climatic events in the arid and semi-arid ecoregions of Mexico. *Atmósfera*, 31(4), 355-372.
- Pal, S. C., Chowdhuri, I., Das, B., Chakraborty, R., Roy, P., Saha, A., & Shit, M. (2022). Threats of climate change and land use patterns enhance the susceptibility to future floods in India. *Journal of Environmental Management*, 305, 114317.

- Sharma, S. K., Sinha, R. K., Eldho, T. I., & Patel, H. M. (2024). Individual and Combined Impacts of Land Use/Cover and Climate Change on Water Balance Components of a Tropical River Basin. *Environmental Modeling & Assessment*, 29(1), 67-90.
- Sauer, J., Grimm, N. B., Barbosa, O., Cook, E. M., Mustafa, A., Kunkel, K., ... & Ballinger, A. (2024). Estimating combined effects of climate change and land cover change on water regulation services of urban wetlands in Valdivia, Chile. *Earth's Future*, 12(5), e2023EF003801.
- Turner, D. P., Conklin, D. R., & Bolte, J. P. (2015). Projected climate change impacts on forest land cover and land use over the Willamette River Basin, Oregon, USA. *Climatic change*, 133, 335-348.
- Yan, J., Zhang, G., Deng, X., Ling, H., Xu, H., & Guo, B. (2019). Does climate change or human activity lead to the degradation of the grassland ecosystem in a mountain-basin system in an arid region of China? *Sustainability*, 11(9), 2618.