

Spatio-Temporal Analysis of Temperature and Precipitation Variability and Its Impact on Rainfed Wheat Production (Case Study: Khuzestan, Ilam, and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Provinces)

Forough Mohammadi Ravari¹, Kamal Omidvar^{2*} , GholamAli Mozaffari³, Ahmad Mazidi⁴, Iman Rosta⁴

1. Ph.D. student of Climatology, Yazd University, Yazd, Iran

2. Corresponding Author, Professor of climatology and faculty member of the Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran

Email: Komidvar@yazd.ac.ir ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4956-3002>

3. Professor of climatology and faculty member of the Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran

4. Associate Professor of Climatology, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: ---

Revised: ---

Accepted: ---

Published: ---

Keywords:

Temperature and precipitation variability; Rainfed wheat; Harvested area; Khuzestan, Ilam, and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad provinces.

ABSTRACT

Increasing temperature and irregular precipitation patterns, particularly in semi-arid regions, are among the most important limiting factors for rainfed wheat production. This crop is highly dependent on the amount and seasonal distribution of rainfall as well as soil moisture storage, and any changes in temperature or precipitation timing can directly affect crop growth duration, phenological stages, and final yield. This study investigates the spatiotemporal variations of temperature and precipitation and evaluates their impacts on harvested area and production of rainfed wheat in Khuzestan, Ilam, and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad provinces. To achieve this, station-based temperature and precipitation data, agricultural statistics, and remote sensing datasets, including CHIRPS monthly precipitation, land surface temperature, and MODIS NDVI, were used. The results indicated that the mean annual temperature increased by approximately 0.2 to 0.4 °C over the study period. In contrast, annual precipitation trends were not statistically significant, and interannual variability dominated precipitation patterns. R² analysis revealed that climatic variables have a limited effect on the harvested area of rainfed wheat (R² < 0.02), while their influence on yield variability is more pronounced. Specifically, in Khuzestan, R² values were 0.14 for temperature and 0.095 for precipitation; in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, precipitation showed an R² of 0.147; and in Ilam, a very weak relationship was observed (R² ≈ 0.015). Overall, these findings suggest that climatic variability exerts a stronger influence on wheat yield than on cultivated area, highlighting the sensitivity of rainfed agricultural systems to temperature and precipitation fluctuations.

How to Cite: Last Name, Initial., Last Name, Initial., & Last Name, Initial. (2021). Title of paper. *Journal of Natural Environmental Hazards*, -- (--), ---.



© The Author/Authors

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 00000000000000000000

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Climate change is one of the most critical global challenges of the present century, exerting profound impacts on natural and human systems, particularly the agricultural sector (IPCC, 2014). Global evidence indicates that these changes have disrupted biological and production cycles (Parmesan & Yohe, 2003). In semi-arid regions, where agriculture is predominantly rainfed, crop production is highly dependent on climatic conditions and even minor variations in temperature or seasonal precipitation patterns can reduce yield, increase production variability, and exacerbate food insecurity (Arnell, 1999). Rainfed wheat, as a strategic crop, exhibits high sensitivity to thermal and moisture stress; rising temperatures can shorten its growth period, disrupt phenological stages, and consequently reduce final yields (Alizadeh-Dehkordi et al., 2024; Ensan et al., 2025). In Iran, studies have demonstrated that increasing temperatures and precipitation variability, particularly in rainfed areas, play a significant role in the instability of wheat production (Kiani-Ghaleh Sard et al., 2019; Amiri & Eslamian, 2010). However, a substantial portion of previous research has either focused solely on climatic trends or analyzed the effects on yield and harvested area without spatial differentiation (Nazari-Pour et al., 2014). This study, therefore, focuses on the southwestern Zagros region of Iran, considering temperature and precipitation as independent variables and the harvested area and production of rainfed wheat as dependent variables.

DATA AND METHODOLOGY

In this study, using an applied-analytical approach based on quantitative methods, the spatiotemporal variations of temperature and precipitation and their effects on the harvested area and production of rainfed wheat were investigated in Khuzestan, Ilam, and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad provinces. Climatic data, including monthly temperature and precipitation, were obtained from meteorological stations of the Iran Meteorological Organization for the period 1995–2024, while agricultural data on rainfed wheat, including harvested area and production, were collected from the Ministry of Agriculture for the period 2000–2024. For spatial analysis, remote sensing data were employed, including CHIRPS monthly precipitation at 0.05° spatial resolution, MODIS NDVI vegetation index at 250 m spatial resolution, and MODIS land surface temperature (LST) for day and night at 1 km spatial resolution for the period 2000–2024. Temporal trends of climatic variables were analyzed using the non-parametric Mann–Kendall test, with the test statistics calculated and trend significance evaluated (Equations 1–4). Data processing, analysis, and preparation of spatial maps were performed within a Geographic Information System (GIS) environment. To assess the impact of climatic variables on rainfed wheat production indicators, statistical analyses and temporal variation plots were conducted using Microsoft Excel.

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

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

$$(3) \quad \text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(rn-5) - \sum t_m t_m (t_m-1)(t_m+5)}{18}$$

$$(4) \quad z = \begin{cases} 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases}$$

RESULTS AND DISCUSSION

The Mann–Kendall test for the annual mean temperature in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, Ilam, and Khuzestan provinces over the period 1995–2024 indicated an increasing temperature trend in all three provinces, with the highest test statistics recorded in the final years of the study period. This trend was statistically significant in Khuzestan, whereas in Ilam and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, despite the upward direction, it was not statistically significant. Conversely, the Mann–Kendall test for annual precipitation revealed no statistically significant trends in any of the provinces, with precipitation variations mainly characterized by fluctuations and episodic anomalies during the study period. Analysis of the harvested area of rainfed wheat over 2000–2024 showed a generally increasing trend with interannual fluctuations in Khuzestan, a significant decline after 2017 in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, and a relatively stable harvested area with limited fluctuations in Ilam. Rainfed wheat production exhibited the highest annual yields in Khuzestan with notable variability, whereas in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad and Ilam, production showed high fluctuations, with very low values recorded in some years. Land surface temperature (LST) analysis revealed the lowest values in winter and the highest in summer, with extensive lowland areas of Khuzestan and the region experiencing very high temperature classes during the warm season. The seasonal precipitation pattern indicated a peak in winter, a decline in spring, a resurgence in autumn, and minimum values in summer. Temporal variations of the NDVI index over 2000–2024 showed a gradual increase from winter to late summer, followed by a decline toward the end of the year. Coefficient of determination (R^2) analysis indicated that in Khuzestan, temperature and precipitation explained approximately 14% and 9.5% of the variability in rainfed wheat production, respectively, whereas their contribution to harvested area changes was negligible. In Ilam, R^2 values for all variables were below 0.02, while in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, precipitation ($R^2 = 0.1468$) had the largest contribution to production variability. The influence of climatic variables on harvested area was very limited in all three provinces (Table 1).

Table 1. Coefficients of determination (R^2) between rainfed wheat production and harvested area with temperature and precipitation over 2000–2024

Parameter	Production in Khuzestan	Harvest level in Khuzestan	Production in Ilam	Harvest level in Ilam	Production in Kohgiluyeh & Boyer-Ahmad	Harvest level in Kohgiluyeh & Boyer-Ahmad
Temperature	0.1414	0.0114	0.003	0.0046	0.057	0.0119
Precipitation	0.095	0.000	0.015	0.0093	0.1468	0.0012

CONCLUSION

The results of this study indicate that the gradual increase in temperature has been the most influential climatic factor affecting the rainfed wheat farming system in the southern Zagros region during 1995–2024. The Mann–Kendall test confirmed an upward temperature trend in Khuzestan, Ilam, and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad provinces, while annual precipitation exhibited no statistically significant trend and was primarily influenced by interannual variability. These conditions suggest that climate warming, even without a significant reduction in rainfall, can affect the stability of rainfed wheat production through increased evapotranspiration, reduced soil moisture storage, and intensified heat stress. Coefficient of determination (R^2) analysis showed that temperature and precipitation have a very limited contribution in explaining variations in harvested area across all three provinces ($R^2 < 0.02$), but they play a greater role in explaining fluctuations in production; in Khuzestan, both temperature and precipitation, and in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, precipitation, accounted for the largest share of production variability, whereas the climatic influence in Ilam was negligible. Remote sensing findings also revealed that increased land surface temperatures in spring and summer, along

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

with gradual declines in effective autumn and winter precipitation, were associated with reductions in NDVI and instability in vegetation biomass. Overall, the study indicates that climate warming, combined with rainfall variability, poses a significant threat to the sustainability of rainfed wheat production in the southern Zagros, emphasizing the need for implementing climate adaptation strategies in this region.

ETHICAL CONSIDERATIONS

Conflict of Interest Statement: The authors declare no conflict of interest.

Ethical Statement: This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors sincerely acknowledge the valuable support and assistance of the Iran National Science Foundation (INSF). This research was financially supported by INSF under Research Project No 4043429.

REFERENCES


References [in Persian]

- Kiani-Ghaleh Sard, S., Shahreki, J., Akbari, A., & Sardarshahri, A. (2019). Assessing the impacts of climate change on food security in Iran. *Natural Environmental Hazards*, 8(22), 19–40. <https://sid.ir/paper/395464/fa> [In Persian]
- Nazari-Pour, H., Doustkhamian, M., Asadi, A., & Bayat, A. (2014). Climatic regionalization of southern and southwestern Iran using a regional planning approach. *Regional Planning*, 4(15), 119–132. <https://sid.ir/paper/230513/fa> [In Persian]

References [in English]

- Arnell, N. W. (1999). Climate change and global water resources. *Global Environmental Change*, 9, S31–S49.
- Amiri, M. J., & Eslamian, S. S. (2010). Investigation of climate change in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 3(4), 208–216.
- Alizadeh-Dehkordi, P., Kamkar, B., & Nehbandani, A. (2024). The effect of climate change on the future of rainfed wheat cultivation in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 687–709. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02728-2>
- Ensan, E., Ansari, V., & Salami, H. (2025). Dryland wheat yield and yield variability responses to climate change across climatic zones in Iran. *Scientific Reports*, 15(1), 41974. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-25950-0>
- IPCC. (2014). *Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Parnesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37–42.

بررسی تغییرات مکانی-زمانی دما و بارش و تأثیر آن بر تولید گندم دیم (مطالعه موردی: کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان و ایلام)

فروغ محمدی راوری^۱، کمال امیدوار^{۲*} , غلامعلی مظفری^۳، احمد مزیدی^۴، ایمان روستا^۴

۱. دانشجوی دکتری تخصصی اقلیم شناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲. استاد اقلیم شناسی و عضو هیات علمی گروه جغرافیا دانشگاه یزد، یزد، ایران (نویسنده مسئول)

ایمیل: Komidvar@vazd.ac.ir ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4956-3002>

۳. استاد اقلیم شناسی و عضو هیات علمی گروه جغرافیا دانشگاه یزد، یزد، ایران

۴. دانشیار اقلیم شناسی و عضو هیات علمی گروه جغرافیا دانشگاه یزد، یزد، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ---/---/---</p> <p>تاریخ ویرایش: ---/---/---</p> <p>تاریخ پذیرش: ---/---/---</p> <p>تاریخ انتشار: ---/---/---</p> <p>واژه‌های کلیدی: تغییرات دما و بارش، استان‌های خوزستان، ایلام و کهگیلویه و بویراحمد، گندم دیم، سطح برداشت.</p>	<p>افزایش دما و تغییرات نامنظم بارش‌ها، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک - مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید گندم دیم هستند. این محصول به شدت به مقادیر و توزیع فصلی بارش و رطوبت ذخیره‌شده خاک وابسته است و هرگونه تغییر در دما یا زمان‌بندی بارش‌ها می‌تواند مستقیماً طول دوره رشد، مراحل- مراحل رشد گیاه و عملکرد نهایی آن را تحت تأثیر قرار دهد. - این پژوهش به تحلیل مکانی-زمانی تغییرات دما و بارش و ارزیابی اثرات آن‌ها بر سطح برداشت و تولید گندم دیم در استان‌های خوزستان، ایلام و کهگیلویه و بویراحمد می‌پردازد. برای این منظور از داده‌های ایستگاهی دما و بارش، داده‌های کشاورزی و داده‌های سنجنده از دور شامل بارش ماهانه CHIRPS، دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجنده MODIS استفاده شد. یافته‌ها نشان دادند که میانگین دمای سالانه در این دوره ۰٫۲ تا ۰٫۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. اما روند تغییرات سالانه بارش فاقد معناداری آماری بوده و نوسانات بین‌ساله بر الگوی بارش غالب بوده است. نتایج تحلیل R^2 نشان داد که تغییرات اقلیمی تأثیر محدودی بر سطح برداشت گندم دیم دارند ($R^2 < 0.02$)، اما در تبیین نوسانات تولید محصول نقش بیشتری مشاهده شد؛ به گونه‌ای که در خوزستان R^2 دما ۰٫۱۴ و R^2 بارش ۰٫۰۹۵، در کهگیلویه و بویراحمد R^2 بارش ۰٫۱۴۷ و در ایلام $R^2 \approx 0.015$ گزارش شده است. این نتایج نشان‌دهنده آن است که تغییرات اقلیمی تأثیر بیشتری بر عملکرد و میزان تولید گندم دیم نسبت به سطح زیرکشت اعمال می‌کنند.</p>

استناد: نام خانوادگی، نام؛ نام خانوادگی، نام؛ و نام خانوادگی، نام (۱۴۰۰). عنوان مقاله. مخاطرات محیط طبیعی، ---. (---).

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

مقدمه

آب‌وهوا به‌عنوان محرک اصلی فرآیندهای زیستی، عملکرد افراد و اکوسیستم‌ها را کنترل کرده و بر جنبه‌های مختلف زندگی بشر تأثیر می‌گذارد. به همین دلیل، تغییرات آب‌وهوایی می‌تواند تأثیرات عمیقی بر عوامل اکولوژیکی و اجتماعی داشته باشد (پیترسون و همکاران^۱، ۲۰۱۱؛ پارمیسون و یوهه^۲، ۲۰۰۳). همچنین تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی قرن بیست‌ویکم، تأثیرات گسترده‌ای بر جنبه‌های مختلف زندگی انسان‌ها، به‌ویژه امنیت غذایی، داشته است. در ایران، به‌عنوان کشوری با اقلیم‌های متنوع و وابستگی قابل‌توجه به کشاورزی، این تغییرات می‌توانند پیامدهای جدی بر تولید محصولات کشاورزی، به‌ویژه غلات، داشته باشند. در ایران، به‌عنوان کشوری با تنوع اقلیمی بالا و وابستگی قابل‌توجه به بخش کشاورزی، تغییرات دما و الگوهای بارش می‌توانند پیامدهای چشمگیری بر تولید محصولات زراعی، به‌ویژه گندم دیم، داشته باشند. اهمیت این مسئله در استان‌های ایلام، خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد، که بخش قابل‌توجهی از تولید گندم آن‌ها به شرایط بارشی و نوسانات اقلیمی وابسته است، دوچندان می‌شود. تغییرات اقلیمی نیز می‌توانند تولید کشاورزی و در پی آن عوامل وابسته به کشاورزی مانند امنیت غذایی و رفاه اقتصادی را تحت تأثیر قرار دهند (کیانی قلعه سرد، ۱۳۹۸). با این حال، اکثر مطالعات بر تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات میانگین‌های آب و هوایی تمرکز دارند، در حالی که بر اساس خروجی مدل‌های آب و هوایی، این تغییرات نسبت به تغییرپذیری‌های اقلیمی قوی‌تر هستند. با تمرکز فقط بر تغییرات میانگین‌های آب و هوایی، اثرات کامل تغییرات آب و هوایی بر سیستم‌های بیولوژیکی و انسانی ممکن است نادیده گرفته شود. در واقع، تغییرپذیری اقلیمی و رویدادهای آب‌وهوایی را می‌توان در قالب تغییرات توزیع احتمال بررسی کرد (IPCC، ۲۰۱۴). تغییرات اقلیمی نیز می‌توانند تولید کشاورزی و در پی آن عوامل وابسته به آن مانند امنیت غذایی و رفاه اقتصادی را تحت تأثیر قرار دهند (کیانی قلعه سرد، ۱۳۹۸). با این حال، بخش عمده‌ای از مطالعات پیشین عمدتاً بر تغییرات میانگین‌های متغیرهای اقلیمی تمرکز داشته‌اند، در حالی که بر اساس خروجی مدل‌های اقلیمی، تغییرپذیری و نوسانات اقلیمی می‌توانند اثرات شدیدتر و معنادارتری بر سامانه‌های طبیعی و انسانی داشته باشند. تمرکز صرف بر میانگین‌ها ممکن است موجب نادیده گرفتن اثرات رویدادهای حادی و تغییرات در ساختار توزیع متغیرهای اقلیمی شود. در واقع، تغییرپذیری اقلیمی و رویدادهای حادی را می‌توان در قالب تغییرات در توزیع آماری متغیرهای اقلیمی بررسی کرد (IPCC، ۲۰۱۴). این تغییرات و نوسانات آب‌وهوایی تأثیرات زیادی بر محیط‌زیست و توسعه اجتماعی جوامع در حال رشد دارد (آرنیل^۳، ۱۹۹۹). علاوه بر این، تغییرات آب و هوایی و نوسانات آن به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین تهدیدات برای بشریت در قرن بیست و یکم شناخته می‌شود (میشرا و همکاران^۴، ۲۰۱۰). در حال حاضر، تغییر اقلیم با عواقبی چون خشک شدن زمین‌ها، از بین رفتن محصولات کشاورزی، افزایش سطح آب دریاها، کاهش منابع آب شیرین و تخریب زندگی اجتماعی و اقتصادی انسان‌ها همراه است. از آنجا که منطقه زاگرس یکی از -مناطق عمده تولیدکننده گندم در ایران است، هرگونه کاهش در تولید این محصول می‌تواند به بحران امنیت غذایی منجر شود. علاوه بر این، ایران به‌دلیل کمبود منابع آب، مشکلات جدی در تأمین نیازهای آبی کشاورزی دارد، که این مسئله با توجه به تغییرات اقلیمی پیچیده‌تر شده است. پژوهش‌های متعددی در این موضوع انجام شده است که در ادامه به مواردی از آن اشاره خواهد شد.

¹ Peterson et al

² Parmesan, C. & Yohe., G

³ Arnell

⁴ Mishra et al

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

در مطالعه‌ای که توسط (کوتسویلی و همکاران^۱، ۲۰۲۱) انجام شد، تأثیر تغییرات اقلیمی بر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه کالونی در یونان با استفاده از مدل HEC-HMS و سیستم LARS-WG مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد مدل LARS-WG در شبیه‌سازی دما و بارندگی به ترتیب با ضریب تبیین ۰.۹۹۷ و ۰.۹۸۳ بسیار مطلوب است. همچنین، این نتایج افزایش تدریجی تغییرات در پیش‌بینی فصلی و سالانه دبی‌های بلندمدت در فصل پاییز و کاهش آن در تابستان را نشان می‌دهد، در حالی که تلفات تبخیر و تعرق واقعی با افزایش آهنگ روبرو بوده است. همچنین (ژانگ و همکاران^۲، ۲۰۲۲) در تحقیقی به بررسی روند تغییرات اقلیمی در مقیاس ملی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که سناریوهای انتشار در آینده می‌تواند به طور قابل توجهی بر ۶۸ تا ۵۷ درصد از کل جهان تا سال ۲۰۵۰ و ۸۶ تا ۸۸ درصد تا سال ۲۱۰۰ تأثیر بگذارد. آنها همچنین تأکید کردند که تغییرات انسانی به طور میانگین در طول یک دهه، از حدود تغییرات طبیعی سیاره فراتر خواهد رفت. در پژوهشی دیگر، (بتیانی و همکاران^۳، ۲۰۱۸) به ارزیابی تغییرات دما در سطح جهانی پرداختند و نتایج نشان داد که حداکثر تغییرپذیری دما ممکن است تا ۱۵ درصد در مناطق آمازون و جنوب آفریقا و ۱۰ درصد در سواحل هند و جنوب شرقی آسیا افزایش یابد. این افزایش دما می‌تواند به خشکی خاک و تغییر در ساختار جوی منجر شود. همچنین، خارج از مناطق استوایی، تغییرات دما به دلیل کاهش گرادیان دمایی و کاهش سطوح یخی دریاها به‌طور میانگین کمتر خواهد بود. در نهایت، کشورهایی که بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر رویدادهای حدی دارند، شدیدترین تغییرات را متحمل خواهند شد، که این مسئله به تشدید نابرابری‌های ناشی از تغییرات اقلیمی منجر می‌شود. (کیچامو و همکاران^۴، ۲۰۱۸) در تحقیقی در شرق کنیا نشان دادند که درک کشاورزان از تغییرات آب و هوایی تحت تأثیر تجربیات گذشته آنها از رویدادهای حدی آب و هوایی قرار دارد که بر سطوح تولید و درآمد آنها تأثیرگذار است. و (ماکوندا و همکاران^۵، ۲۰۱۴) نیز به بررسی آسیب‌پذیری و سازگاری کشاورزان خرده‌مالک دیم در زامبیا پرداختند و نتایج نشان داد که کشاورزانی که وابسته به باران هستند، به شدت در معرض شوک‌های آب و هوایی قرار دارند و میزان آسیب‌پذیری آنها بسته به نوع کشت در هر بخش کشاورزی-اکولوژیکی متفاوت است. ارزیابی سناریوها نشان داد که حدود ۷۰ درصد از کشاورزان زامبیا با مشکلات جدی در سازگاری با تغییرات آب و هوایی مواجه هستند، که این مسئله تأثیر عمیقی بر امنیت غذایی آنها دارد. همچنین، ۶۶ درصد از کشاورزان قادر به یافتن جایگزین‌های زراعی مناسب نبوده‌اند. این در حالی است که آفریقا به‌عنوان منطقه‌ای آسیب‌پذیر به دلیل تغییرات آب و هوایی، با چالش‌هایی مانند فقر شدید، زیرساخت‌های ضعیف و وابستگی بالا به کشاورزی بارانی مواجه است. در پژوهشی که توسط کاظمی و همکاران (۱۴۰۱) انجام شد، به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در شهرهای تهران و یزد برای بازه زمانی ۲۰۳۶ تا ۲۰۶۵ با استفاده از مدل LARS-WG پرداخته شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در آینده دما در هر دو شهر به‌طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت. همچنین تغییرات بارندگی در ماه‌های مختلف نوساناتی دارد، اما به‌طور کلی میزان بارش سالانه در تهران بین ۲۰ تا ۴۰ درصد و در یزد بین ۴۳ تا ۴۹ درصد افزایش خواهد داشت. عرب سلغار و همکاران (۱۴۰۱) نیز در مطالعه‌ای به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز رودخانه دز پرداختند و از مدل‌های SDSM و LARS-WG استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده دقت مناسب هر دو مدل در

¹ Koutsovoli et al

² Zhang et al

³ Bathiany et al

⁴ Kichamu, et al

⁵ Makondo et al

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی بود. بر اساس این شبیه‌سازی، میزان بارندگی در دوره‌های آتی در سطح حوضه بین ۳/۶- تا ۷/۱۵+ درصد نسبت به دوره پایه تغییر خواهد کرد. همچنین حداکثر دما بین ۱/۳- تا ۳/۹ و حداقل دما بین ۱/۵ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد نوسان خواهد داشت. همچنین مظفری و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی تغییرات زمانی و مکانی خصوصیات خشکسالی هواشناسی در ایران تحت تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم به این نتیجه رسیدند که مناطق جنوبی کشور بیشترین آسیب‌پذیری را از این تغییرات خواهند داشت. بررسی مدل SDSM در مقایسه تغییرات پارامترهای اقلیمی در جبهه شمالی و جنوبی البرز نشان داد که بارش و دما در هر دو جبهه افزایش خواهد یافت، اما شدت این افزایش در جبهه جنوبی بیشتر است. همچنین، شهرکی و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم در ایران با استفاده از رویکرد تابع تولید تصادفی نشان دادند که اثرگذاری شاخص‌های اقلیمی دما و بارش ماهیتی منطقه‌ای داشته و مناطق مختلف کشور بسته به شرایط اقلیمی خود واکنش متفاوتی نسبت به تغییرات آب‌وهوایی نشان می‌دهند. نتایج این پژوهش همچنین بیانگر آن است که تغییرات بین‌سالی اقلیم و نوسانات دما و بارش می‌توانند بر عملکرد و ریسک تولید گندم اثرگذار باشند. در این تحقیق، تغییرات مکانی-زمانی مؤلفه‌های اقلیمی دما و بارش در استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان و ایلام طی دوره آماری مورد مطالعه بررسی شده و اثر این تغییرات بر میزان تولید و سطح برداشت گندم دیم با استفاده از تحلیل‌های آماری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج این پژوهش می‌تواند در شناسایی حساسیت تولید گندم دیم به تغییرات اقلیمی و ارائه راهکارهای سازگاری در منطقه غرب و جنوب‌غرب ایران مؤثر باشد.

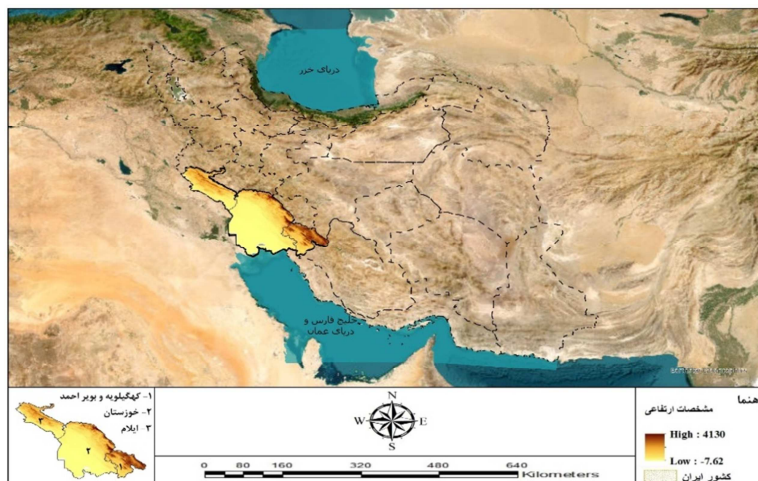
هدف این پژوهش، تحلیل تغییرات مکانی-زمانی دما و بارش در استان‌های ایلام، خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد و ارزیابی اثر آن‌ها بر تغییرات تولید و سطح برداشت گندم دیم است؛ به‌گونه‌ای که رابطه بین نوسانات اقلیمی و عملکرد تولید این محصول در مناطق مورد مطالعه به‌صورت کمی و معنادار بررسی شود.

معرفی منطقه مورد مطالعه

کشور ایران با وسعتی معادل ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع در غرب قاره آسیا و منطقه خاورمیانه واقع شده است. استان کهگیلویه و بویراحمد با مساحتی حدود ۱۶۲۴۹ کیلومتر مربع در امتداد رشته‌کوه‌های زاگرس واقع شده و از شمال به چهارمحال و بختیاری، از غرب به خوزستان، از جنوب به بوشهر و از شرق به فارس و اصفهان محدود می‌شود. این استان دارای ذخایر آب و جنگل‌های بلوط است که ۵۶ درصد از مساحت آن را پوشش می‌دهند. اقلیم کهگیلویه و بویراحمد سرد و کوهستانی است و در زمستان‌ها بارش برف و در تابستان‌ها هوای معتدل دارد. اقتصاد این استان بر پایه‌ی کشاورزی (به ویژه کشاورزی دیم و محصول گندم)، باغداری و دامداری استوار است. خوزستان با مساحتی حدود ۶۴۰۵۷ کیلومتر مربع در جنوب غربی ایران و در کرانه‌ی خلیج فارس واقع شده است. این استان از شمال با لرستان، از شمال شرق با چهارمحال و بختیاری، از شرق با کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب شرق با بوشهر، از جنوب با خلیج فارس و از غرب با عراق هم‌مرز است. خوزستان دارای دو منطقه جغرافیایی کوهستانی در شمال و شرق و جلگه‌ای در جنوب است. رودخانه‌های مهمی مانند کارون، کرخه و دز در این استان جریان دارند که نقش حیاتی در کشاورزی و صنعت منطقه ایفا می‌کنند. اقلیم خوزستان گرم و مرطوب بوده و در تابستان‌ها دما به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد-اقلیم خوزستان گرم و مرطوب بوده و میانگین دمای سالانه آن در حدود ۲۷ درجه سانتی‌گراد است، به‌طوری‌که در فصل تابستان دماهای بسیار بالا و شرایط حرارتی شدید در این منطقه مشاهده می‌شود. ایلام نیز با

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

وسعتی معادل ۲۰۱۳۳ کیلومتر مربع، استانی کوهستانی در غرب ایران و هم‌مرز با عراق است. این استان در دامنه‌های زاگرس قرار دارد و دارای اقلیمی نیمه‌خشک با زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل است. رودخانه‌های سیمره و کنگیر از منابع آبی مهم ایلام به‌شمار می‌روند. اقتصاد این استان عمدتاً بر پایه‌ی کشاورزی دیم و دامداری استوار است. (نظری پور و همکاران، ۱۳۹۳) (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه مشخصات ارتفاعی، منبع: نویسندگان

داده‌ها و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های اقلیمی و کشاورزی می‌باشد. داده‌های اقلیمی دما و بارش ماهانه از سازمان هواشناسی کشور طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۵-۲۰۲۴) گردآوری شد. همچنین، داده‌های کشاورزی مرتبط با سطح زیرکشت و میزان تولید گندم دیم از وزارت جهاد کشاورزی طی دوره آماری ۲۵ ساله (۲۰۰۰-۲۰۲۴) استخراج گردید. به‌منظور بررسی تغییرات زمانی، از تحلیل روند زمانی برای شناسایی روند تغییرات دما و بارش در طول دوره مورد مطالعه استفاده شد. برای تحلیل فضایی اثرات اقلیمی، داده‌های بارش ماهانه سنجنده CHIRPS با تفکیک مکانی ۵ کیلومتر از پایگاه داده (<https://disc.gsfc.nasa.gov>) NASA دریافت شد. همچنین، داده‌های پوشش گیاهی NDVI سنجنده MODIS با دوره زمانی ۱۶ روزه و وضوح مکانی ۲۵۰ متر و داده‌های دمای سطح زمین روز و شب سنجنده MODIS با دوره زمانی ۸ روزه و وضوح مکانی ۱ کیلومتر از پایگاه داده LP DAAC (<https://lpdaac.usgs.gov>) طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۴ مورد استفاده قرار گرفت. کلیه داده‌های مکانی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پردازش، تحلیل و نقشه‌های مربوط به تغییرات بارش، دما، پوشش گیاهی و دمای سطح زمین تهیه شد. علاوه بر این، داده‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار Excel تجزیه و تحلیل شده و نتایج حاصل به‌صورت نمودارها و نقشه‌های تحلیلی جهت بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر تولید گندم دیم ارائه گردید.

آزمون آماری من-کندال

در این پژوهش، آزمون من-کندال (Mann-Kendall) به‌عنوان روش اصلی شناسایی روند مورد استفاده قرار گرفته است. این آزمون یکی از پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری در علوم محیطی، هواشناسی و هیدرولوژی است (Lettenmaier and Wallis, 1994). آزمون من-کندال ابتدا توسط Mann در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

Kendall در سال ۱۹۷۵ توسعه یافت. از مزایای این آزمون می‌توان به مناسب بودن آن برای سری‌های زمانی فاقد توزیع آماری خاص و اثرپذیری بسیار کم از مقادیر حدی اشاره کرد.

فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. آماره آزمون منکندال (S)، با استفاده از روابط زیر به دست می‌آید و با میانگین صفر و پراش محاسبه شده به طور مجانی دارای توزیع به هنجار می‌باشد.

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

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

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(n-5) - \sum t_m t_m (t_m - 1)(t_m + 5)}{18}$$

T_m ، برای نمایش طول m امین گره در سری‌های زمانی داده‌ها استفاده می‌شود. گره موقعی ایجاد می‌شود که دو داده با مقدار مساوی پشت سرهم در سری زمانی وجود داشته باشند. طول گره برابر تعداد تکرار داده‌های مساوی می‌باشد. اگر اندازه نمونه بزرگ‌تر از ۱۰ باشد، آن‌گاه آمار آزمون در رابطه‌ی زیر به صورت یک متغیر به هنجار معیار شده محاسبه می‌شود:

$$z = \begin{cases} 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s < 0 \end{cases}$$

بنابراین در آزمون روند یابی دو دامنه، اگر قدر مطلق آماره آزمون بزرگ‌تر از عدد جدول به هنجار ($z > z_{\alpha/2}$) در سطح معنی‌داری α باشد آن‌گاه فرض H_0 رد می‌شود. $Z_{\alpha/2}$ نقطه بحرانی توزیع به هنجار معیار می‌باشد که بالادست آن به میزان $\alpha/2$ احتمال وجود دارد. مقادیر S مثبت و منفی به ترتیب نشان‌دهنده روند افزایشی و کاهشی در سری زمانی داده‌ها می‌باشد. این زمان رخداد نقطه تقاطع منحنی‌های پیشرو و پسرو آماره آزمون در نظر گرفته می‌شود. به منظور معنی‌داری در سطح خطای ۵ درصد آماره‌ی مثبت یا منفی آزمون باید از عدد $\pm 1/96$ گذشته و در آن قسمت بماند.

پایگاه بارش CHIRPS

پایگاه بارش CHIRPS پایگاهی با بیش از سی سال اطلاعات بارش است. اطلاعات بارش این پایگاه از سال ۱۹۸۱ به بعد موجود است. این پایگاه عرض جغرافیایی بین 50°S - 50°N و تمام طول‌های جغرافیایی را پوشش می‌دهد. تفکیک مکانی اطلاعات بارش این پایگاه ۰/۰۵ درجه است که بر اساس اطلاعات ماهواره‌ای و ایستگاهی تهیه شده است. اطلاعات پایگاه CHIRPS در مطالعات ارزیابی روند و پایش خشکسالی استفاده می‌شود (Maidment et al, 2015:8157). نسخه دوم این اطلاعات در فوریه ۲۰۱۵ ارائه شده است و در مقیاس زمانی شش ساعته تا سه ماهه موجود است.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)

این شاخص توسط Toker معرفی شده است و از معروف‌ترین، ساده‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌هایی است که در زمینه‌ی مطالعات پوشش گیاهی شناخته شده است (کاسا^۱، ۱۹۹۰). این شاخص به صورت معادله زیر تعریف می‌گردد (حسینی و همکاران، ۲۰۱۱).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

که در آن NIR، بازتاب در باند فرورسرخ نزدیک و RED، انعکاس در باند سرخ است. از دیدگاه نظری مقدار این شاخص در محدوده +۱ و -۱ می‌باشد. مقادیر این شاخص برای پوشش گیاهی متراکم به سوی یک میل می‌کند ولی ابر، برف و آب با مقادیر منفی مشخص می‌شوند. سنگ‌ها و خاک‌های بایر که واکنش‌های طیفی مشابه در دو باند مورد استفاده دارند با مقادیر نزدیک به صفر دیده می‌شوند. در این شاخص خاک معمولی، معادل یک منظور می‌شود (چوبین^۲ و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۰۵۳). هر قدر فاصله‌ی شاخص یک پیکسل بالاتر از اندازه‌ی خاک باشد نشان‌دهنده‌ی تراکم پوشش گیاهی است (Allison, Brown et al. 1989: 1965).

شاخص دمای سطح زمین (LST)^۳

دمای سطح زمین یکی از پارامترهای مهم کنترل فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی زمین است به‌طوری‌که باعث تغییر در دمای هوای پایین‌ترین لایه‌های اتمسفر شهر می‌گردد (Voogt & Oke, 2003:370). در این پژوهش دمای سطح زمین در چهار فصل با استفاده از رابطه‌های (۶-۲) محاسبه شده است.

$$Winter\ LST = \frac{\sum_{i=1}^{12} LST_i}{12} \quad (2)$$

$$Spring\ LST = \frac{\sum_{i=13}^{24} LST_i}{12} \quad (3)$$

$$Summer\ LST = \frac{\sum_{i=25}^{46} LST_i}{12} \quad (4)$$

$$Fall\ LST = \frac{\sum_{i=37}^{46} LST_i}{12} \quad (5)$$

$$Yearly\ LST = \frac{\sum_{i=1}^{46} LST_i}{46} \quad (6)$$

که در این روابط n ، تصاویر هر سال براساس تاریخ شماره گذاری می‌باشد.

یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از نمودارهای آزمون من-کندال برای میانگین دمای استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، ایلام و خوزستان طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۵-۲۰۲۴) نشان‌دهنده‌ی یک روند افزایشی پیوسته در دما است. در استان کهگیلویه و بویراحمد، تغییرات جهشی در سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۶ و ۲۰۲۴ مشاهده می‌شود؛ اگرچه نوساناتی در مقدار آماره آزمون وجود دارد، ولی به طور کلی منحنی دما روند افزایشی دارد و در سال‌های پایانی دوره (۲۰۲۱-۲۰۲۴) به

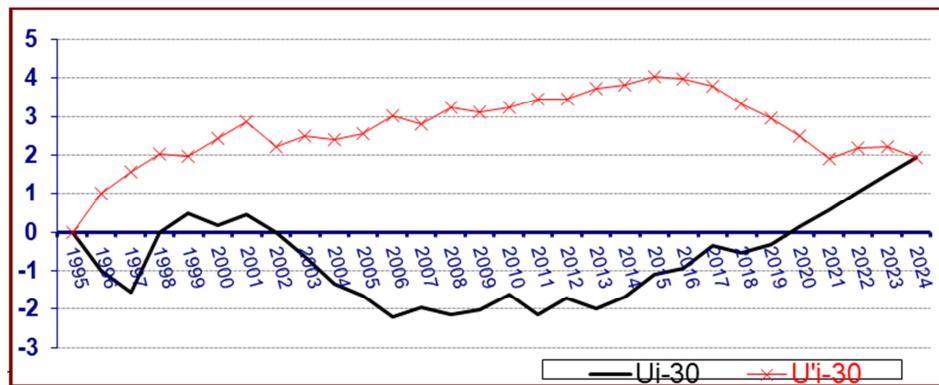
¹-kassa

²-Choubin

³-Land Surface Temperature

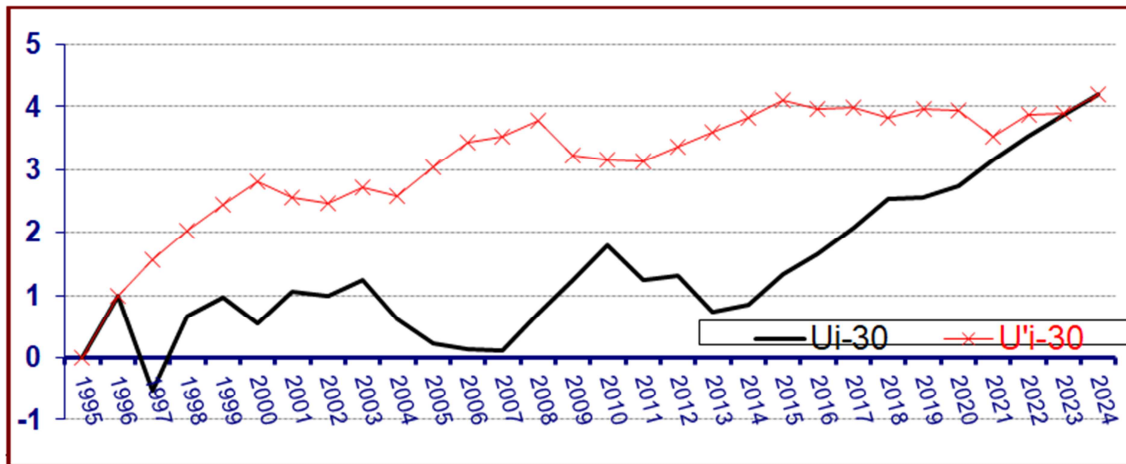
این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

بالاترین مقادیر خود رسیده است. در استان‌های ایلام و خوزستان، مقدار آماره آزمون در سال‌های ابتدایی دوره (۱۹۹۵-۲۰۰۲) به تدریج افزایش یافته که نشان‌دهنده آغاز روند صعودی دما در منطقه است. هرچند نوسانات جزئی در طول دوره مشاهده می‌شود، منحنی کلی دما در این استان‌ها نیز روند افزایشی دارد و در سال‌های پایانی (۲۰۱۵-۲۰۲۴) به بالاترین مقدار خود رسیده است. در خوزستان، منحنی‌های U و U' در خارج از محدوده با یکدیگر برخورد کرده‌اند که نشان‌دهنده وجود روند معنادار است، در حالی که در ایلام و کهگیلویه و بویراحمد چنین برخوردی مشاهده نشده و این امر بیانگر نبود روند معنادار آماری است؛ با این حال، جهت کلی نمودار در تمامی استان‌ها افزایش پیوسته دما را تأیید می‌کند. به طور کلی، نتایج حاکی از آن است که این سه استان طی سه دهه اخیر با گرمایش تدریجی و پیوسته‌ای مواجه بوده‌اند که می‌تواند با تغییرات اقلیمی و گرمایش منطقه‌ای ناحیه زاگرس مرتبط باشد (شکل‌های ۲ تا ۴). نتایج حاصل از آزمون من-کندال برای میانگین دمای استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، ایلام و خوزستان طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۵-۲۰۲۴) نشان‌دهنده یک روند افزایشی کلی در دما است. در استان کهگیلویه و بویراحمد، تغییرات جهشی در برخی سال‌ها از جمله ۱۹۹۵، ۱۹۹۶ و ۲۰۲۴ مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از رخدادهای حدی دمایی، ناهنجاری‌های اقلیمی و تغییرات کوتاه‌مدت در الگوهای گردش جوی باشد؛ پدیده‌ای که در مطالعات پیشین نیز به آن اشاره شده و افزایش رخدادهای حدی دمایی و ناپایداری‌های حرارتی در ایران و ناحیه زاگرس را تأیید کرده‌اند (کمالی و همکاران، ۲۰۲۰). با وجود این نوسانات، روند کلی سری زمانی افزایشی است و در سال‌های پایانی دوره (۲۰۲۱-۲۰۲۴) بیشترین مقادیر دما ثبت شده است. در استان‌های ایلام و خوزستان نیز افزایش تدریجی آماره آزمون از ابتدای دوره (۱۹۹۵-۲۰۰۲) نشان‌دهنده آغاز روند صعودی دما بوده و هرچند نوساناتی در طول دوره مشاهده می‌شود، اما روند کلی دما در این مناطق نیز افزایشی است و در سال‌های پایانی (۲۰۱۵-۲۰۲۴) به بیشینه خود رسیده است. در تحلیل آزمون من-کندال، U و U' به ترتیب بیانگر حد بالایی و حد پایینی آماره آزمون در سری زمانی هستند که عبور و تقاطع آن‌ها نشان‌دهنده معنی‌داری یا عدم معنی‌داری روند است. بر این اساس، در استان خوزستان برخورد منحنی‌های U و U' در خارج از حدود بحرانی مشاهده می‌شود که بیانگر وجود روند معنادار افزایشی است، در حالی که در استان‌های ایلام و کهگیلویه و بویراحمد چنین وضعیتی مشاهده نشده و روند از نظر آماری معنادار نیست. با این حال، جهت کلی تغییرات در هر سه استان حاکی از افزایش تدریجی و پایدار دما طی سه دهه اخیر است که می‌تواند با گرمایش منطقه‌ای و تغییرات اقلیم در ناحیه زاگرس مرتبط باشد (شکل‌های ۲ تا ۴).

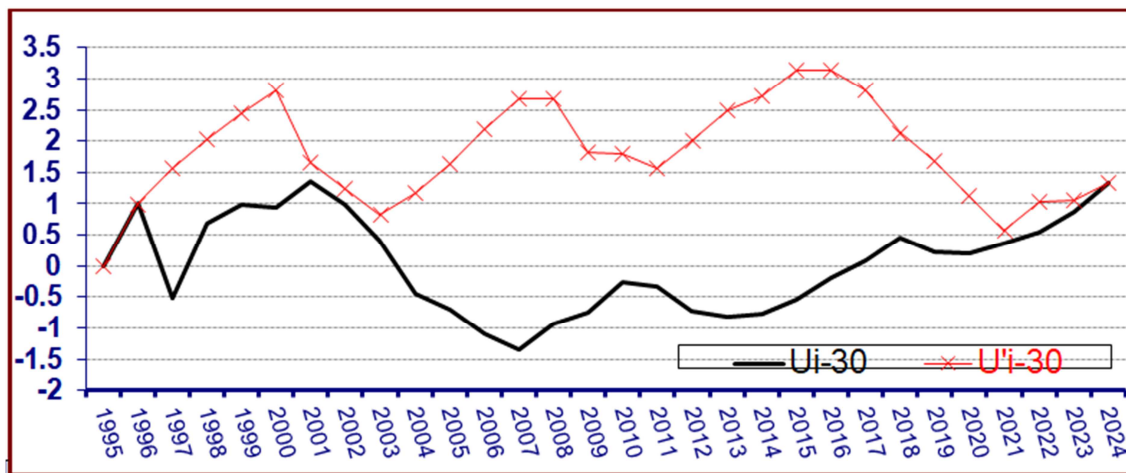


شکل ۲: روند دما به روش منکندال در استان ایلام طی دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۲۴

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۳: روند دما به روش منکندال در استان خوزستان طی دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۲۴

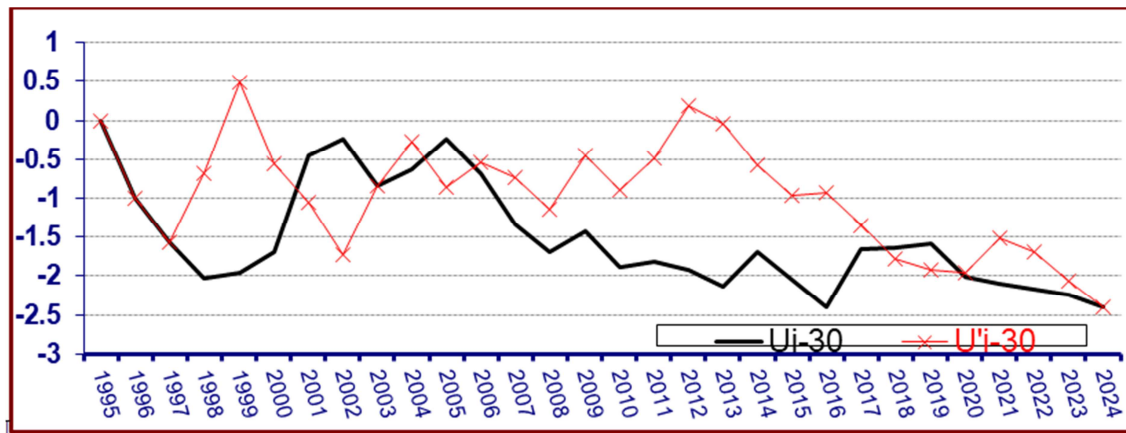


شکل ۴: روند دما به روش منکندال در استان کهگیلویه و بویراحمد طی دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۲۴

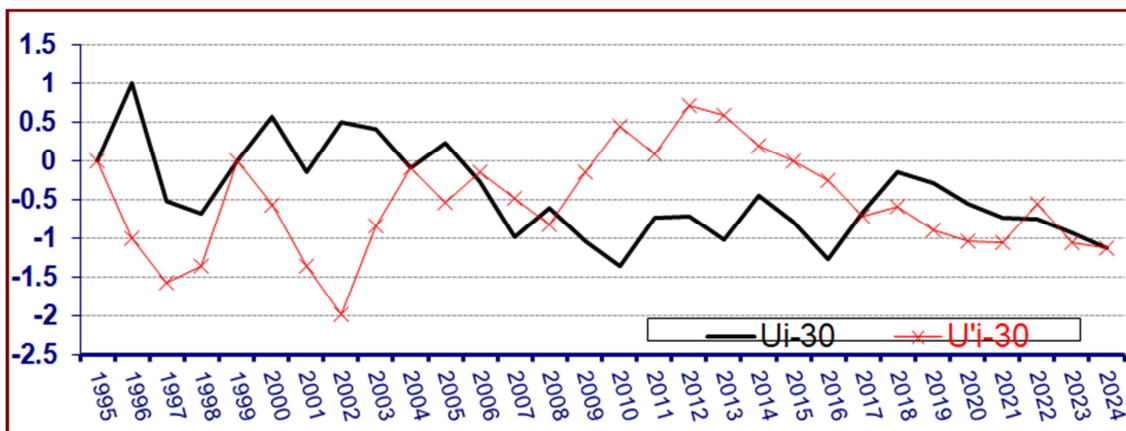
نتایج حاصل از نمودارهای آزمون من-کندال برای میانگین بارش سالانه استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، ایلام و خوزستان طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۵-۲۰۲۴) نشان‌دهنده‌ی عدم وجود روند معنی‌دار در تغییرات بارش این استان‌ها است. در سال‌های ابتدایی دوره، نوسانات بارشی قابل توجهی مشاهده شد؛ به طوری که مقدار آماره در سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۰۱ به کمینه خود رسید. علاوه بر این، در ایلام تغییرات جهشی در سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۶، ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۴، در خوزستان تغییر جهش در سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۹، ۲۰۰۵، ۲۰۰۸، ۲۰۱۷، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۴ رخ داد. به طور کلی، تغییرات بارش در این استان‌ها روندی نسبتاً نوسانی را دنبال می‌کند و افزایش‌ها و کاهش‌های مقطعی در مقدار آماره دیده می‌شود، اما جهت کلی منحنی ثبات و روند مشخصی ندارد. در مقایسه با نتایج آزمون دما، منحنی‌های U و U' در نمودار بارش این استان‌ها در خارج از محدوده معنی‌داری با یکدیگر برخورد ندارند؛ بنابراین از نظر آماری روند بارش غیرمعنی‌دار است و نمی‌توان جهت افزایشی یا کاهش‌ی مشخصی برای این دوره تعیین کرد. در کهگیلویه و بویراحمد نیز تغییرات جهشی در سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۶، ۱۹۹۷، ۲۰۰۱، ۲۰۰۴، ۲۰۱۸، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۴ مشاهده شد. به طور کلی، تغییرات بارش در این استان نیز روندی نوسانی دارد و افزایش‌ها و کاهش‌های مقطعی در مقدار آماره دیده می‌شود، اما منحنی کلی روند مشخص و پایدار را نشان

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

نمی‌دهد. مشابه سایر استان‌ها، منحنی‌های U و U' در خارج از محدوده معنی‌داری با یکدیگر برخورد نداشته و بنابراین روند بارش از نظر آماری برای این استان نیز غیرمعنی‌دار است (شکل‌های ۵ تا ۷). نتایج حاصل از آزمون من-کندال برای میانگین بارش سالانه استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، ایلام و خوزستان طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۵-۲۰۲۴) نشان‌دهنده عدم وجود روند معنی‌دار در تغییرات بارش در هر سه استان است. به طور کلی، سری زمانی بارش در این مناطق دارای ماهیت نوسانی بوده و شامل افزایش‌ها و کاهش‌های مقطعی است، اما این نوسانات فاقد جهت‌گیری مشخص و پایدار در طول دوره مورد مطالعه هستند. در هر سه استان، اگرچه در برخی سال‌ها تغییرات ناگهانی و مقادیر حدی در آماره آزمون مشاهده می‌شود، اما این تغییرات به یک روند منسجم افزایشی یا کاهشی منتهی نمی‌شود. همچنین بر اساس نتایج آزمون، برخورد معنادار منحنی‌های U و U' در محدوده آماری مشاهده نشده و در نتیجه، روند بارش از نظر آماری در هیچ‌یک از استان‌ها معنادار نیست. در مجموع، برخلاف نتایج مربوط به دما، بارش در مناطق مورد مطالعه طی دوره آماری دارای رفتار ناپایدار اما بدون روند مشخص بوده و نمی‌توان جهت تغییرات آن را به صورت افزایشی یا کاهشی قطعی تفسیر کرد (شکل‌های ۵ تا ۷).

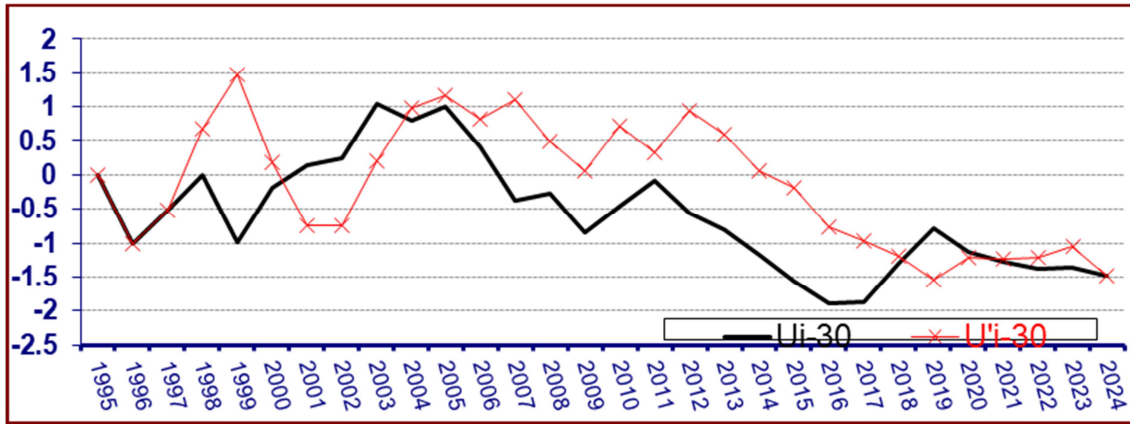


شکل ۵: روند بارش به روش منکندال در استان ایلام طی دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۲۴



شکل ۶: روند بارش به روش منکندال در استان خوزستان طی دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۲۴

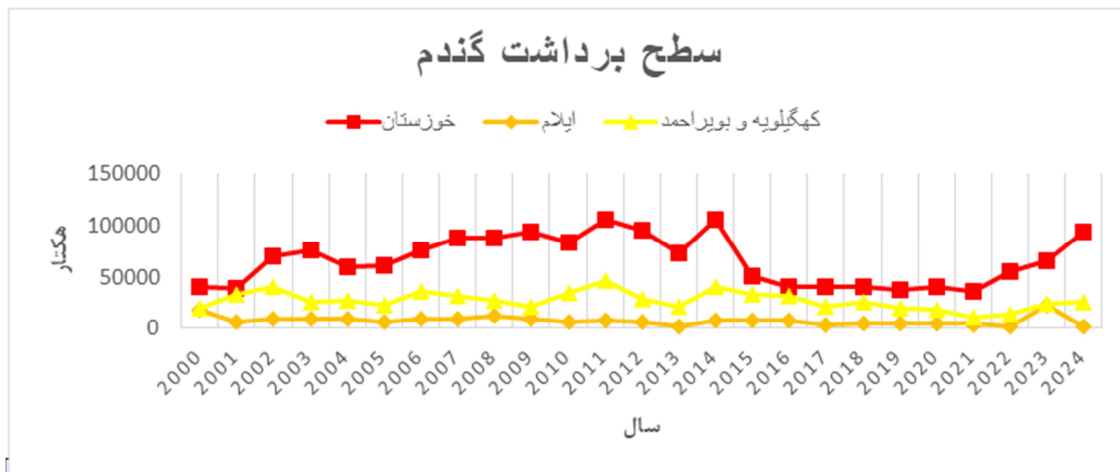
این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۷: روند بارش به روش منکندال در استان کهگیلویه و بویر احمد طی دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۲۴

بررسی روند سطح برداشت گندم دیم طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ در استان‌های خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد و ایلام نشان می‌دهد که الگوهای تغییرات در این مناطق به شدت تحت تأثیر نوسانات بارشی، کاهش بارش مؤثر پاییزه و رخداد خشکسالی‌های متوالی دهه ۲۰۱۰ بوده است. در استان خوزستان سطح برداشت از حدود ۴۰ هزار هکتار در سال ۲۰۰۰ آغاز شده و با روندی افزایشی تا اوج ۱۰۰ هزار هکتار در سال‌های ۲۰۱۴ پیش رفته است. اگرچه در سال‌های خشک مانند ۲۰۱۸ و ۲۰۲۱ کاهش‌هایی مشاهده می‌شود، اما در سال ۲۰۲۴ همچنان سطحی بیش از ۹۰ هزار هکتار ثبت شده که نشان‌دهنده پایداری نسبی و توان بازیابی بالای این استان در برابر تنش‌های اقلیمی است. در استان کهگیلویه و بویراحمد، سطح برداشت گندم دیم طی دوره مورد مطالعه روندی کاهشی و نوسانی را نشان می‌دهد. این شاخص که در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ به طور میانگین در حدود ۳۰ تا ۴۰ هزار هکتار قرار داشته است، از سال ۲۰۱۷ به بعد کاهش محسوسی را تجربه کرده و در سال ۲۰۲۴ به کمتر از ۲۵ هزار هکتار رسیده است. بر اساس مقایسه میانگین دوره پیش و پس از سال ۲۰۱۷، میزان کاهش سطح برداشت در این استان حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد برآورد می‌شود که نشان‌دهنده حساسیت بالای تولید گندم دیم به شرایط خشکسالی و کاهش بارش‌های فصلی در این منطقه است. در استان ایلام برخلاف سایر استان‌ها دامنه نوسان بسیار محدود مشاهده می‌شود. سطح برداشت عمدتاً در محدوده ۵ تا ۱۵ هزار هکتار پایدار بوده و تنها افزایش موقتی در سال ۲۰۲۳ ثبت شده که ناشی از بارش پاییزه مناسب بوده است و در سال ۲۰۲۴ به مقدار پایه بازگشته است. این روند نشان می‌دهد که ایلام اگرچه ظرفیت تولید گسترده‌ای ندارد، اما ثبات نسبی بیشتری نسبت به استان‌های دیگر دارد. در مجموع، الگوی کلی نشان می‌دهد که استان‌های پربارش‌تر و دارای مزیت اکولوژیک مانند خوزستان و تا حدی ایلام قادر به حفظ یا بازسازی سطح برداشت خود هستند؛ در حالی که استان کهگیلویه و بویراحمد شدیدترین واکنش را نسبت به کاهش بارش، خشکسالی‌های دهه ۲۰۱۰ و افت رطوبت خاک نشان داده و به‌عنوان نقاط داغ آسیب‌پذیری اقلیمی شناخته می‌شوند (شکل ۸).

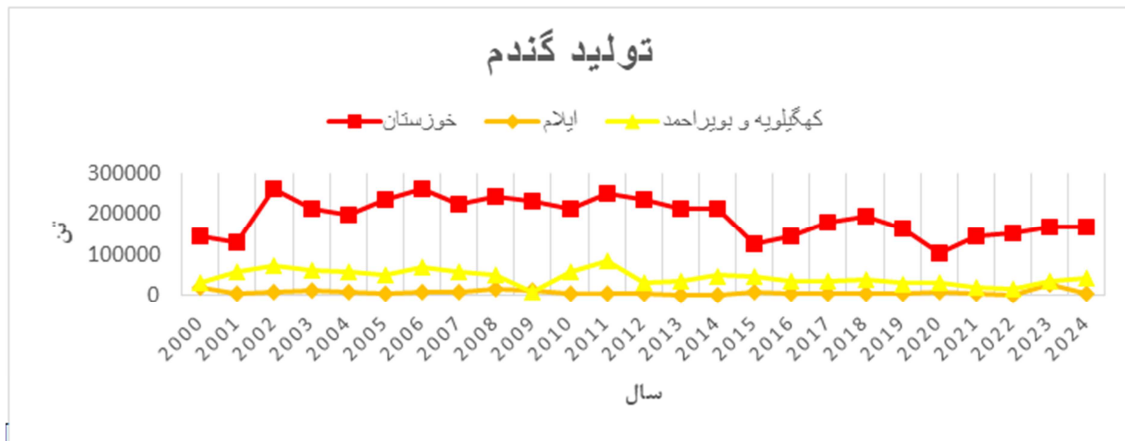
این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۸: میزان سطح برداشت گندم طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۴

بررسی روند زمانی تولید گندم طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که استان خوزستان با دارا بودن بالاترین متوسط تولید سالانه، نقش مسلطی در نظام دیم‌کاری منطقه ایفا کرده است. الگوی تغییرات این استان بیانگر وقوع دو سیکل عمده است: سیکل نخست (۲۰۰۰-۲۰۱۴) با میانگین سالانه حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ هزار تن و نوسانات چشمگیر همراه بوده و اوج تولید در سال‌های پربارش نظیر ۲۰۰۲، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱ ثبت شده است؛ در حالی که افت‌های شدیدی در سال‌های خشک همچون ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ مشاهده می‌شود که ارتباط مستقیمی با رخداد‌های اقلیمی همچون تشدید خشکسالی‌ها، موج‌های گرمایی و سیلاب‌های فصلی دارد. پس از ۲۰۱۴، تولید خوزستان به‌ویژه در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ کاهش قابل‌توجهی نشان داده و این امر با دوره خشکسالی فراگیر جنوب‌غرب کشور همخوان است، به‌طوری که کاهش بارندگی و افزایش دمای متوسط، سیستم دیم‌زار وسیع خوزستان را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. در استان کهگیلویه و بویراحمد نیز گرچه میانگین تولید پایین‌تر است، اما دامنه نوسانات بسیار شدید بوده و جهش‌های تولید در سال‌های تر مانند ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ احتمالاً ناشی از افزایش بارش مؤثر یا اصلاح الگوی کشت بوده، در حالی که افت‌های متوالی طی دوره ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ بیانگر آسیب‌پذیری زیاد این مناطق نسبت به کمبود بارش، تشدید تنش گرمایی و کاهش طول دوره رشد است. الگوی استان ایلام نیز مشابه بوده اما با دامنه نوسان کمتر؛ با این تفاوت که کاهش تولید تا نزدیک صفر در برخی سال‌ها (مانند ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴) نشان‌دهنده وقوع خشکسالی‌های شدید و محدودیت‌های ساختاری دیم‌کاری در این استان‌ها است (شکل ۹).

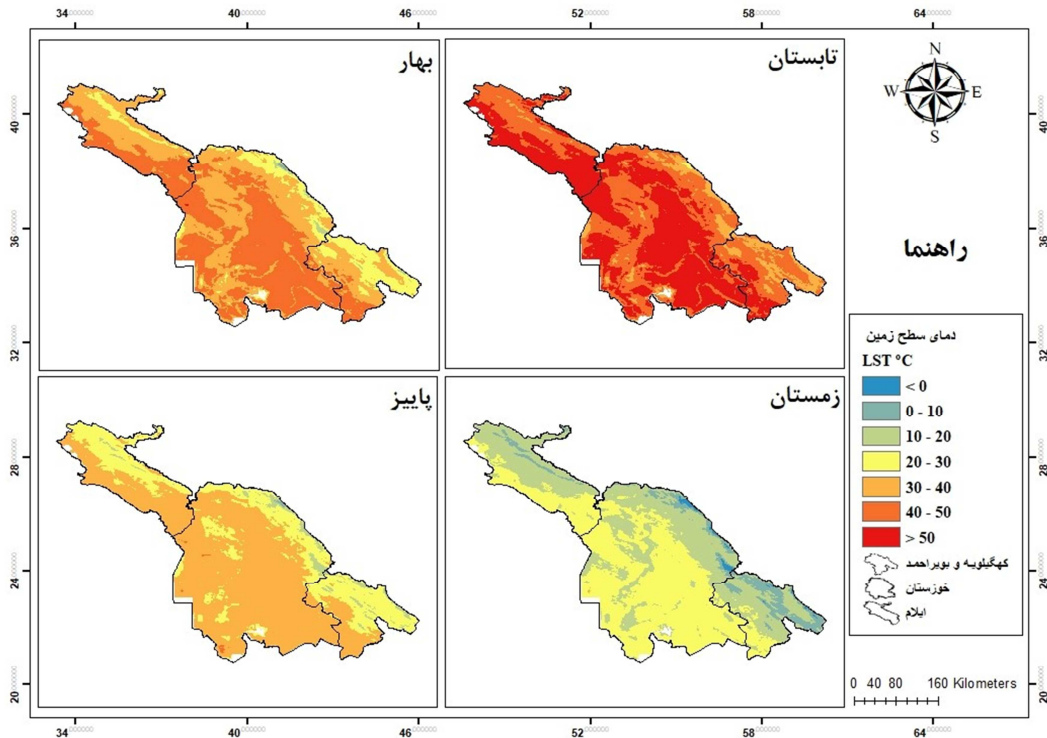
این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۹: میزان تولید گندم دیم طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۴

نقشه‌ی فصلی دمای سطح زمین نشان می‌دهد که الگوی حرارتی این مناطق دارای نوسانات فصلی شدید و گرادیان مکانی مشخصی است. در فصل زمستان، دمای سطح زمین عمدتاً در بازه ۰ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارد و در نواحی مرتفع استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و شمال ایلام، لکه‌هایی با دمای نزدیک به صفر یا کمتر نیز مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده کنترل شدید ارتفاع و عرض جغرافیایی بر رژیم حرارتی است. این شرایط اگرچه رشد رویشی گندم دیم را محدود می‌کند، اما برای تأمین نیاز سرمایی و استراحت فیزیولوژیک گیاه ضروری است. در فصل بهار، افزایش تدریجی دما موجب انتقال گسترده مقادیر LST به کلاس ۲۰-۳۰ و ۳۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌شود؛ به‌ویژه در خوزستان و مناطق کم‌ارتفاع ایلام که دما سریع‌تر افزایش می‌یابد. این شرایط حرارتی معمولاً همزمان با بیشترین فعالیت فتوسنتزی گندم دیم است، اما در سال‌هایی که دمای بهاری به محدوده بالای ۳۵-۴۰ درجه نزدیک شده، تنش گرمایی زودرس و تسریع فنولوژی مشاهده می‌شود. در تابستان، بیشترین شدت تنش حرارتی رخ می‌دهد؛ به‌طوری که بخش وسیعی از خوزستان و حتی نواحی مرکزی کهگیلویه و بویراحمد در کلاس بیش از ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند. این وضعیت نشان‌دهنده توقف کامل فعالیت زراعی دیم و افزایش تبخیر-تعرق بالقوه است. در پاییز، کاهش محسوس دما سبب استقرار مقادیر LST عمدتاً در بازه ۲۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌شود که از نظر حرارتی شرایط مناسبی برای جوانه‌زنی و سبز شدن گندم دیم فراهم می‌کند. به‌طور کلی، الگوی فصلی LST نشان می‌دهد که افزایش دمای بهاره و تابستانه طی دوره مورد بررسی می‌تواند از طریق افزایش تبخیر، کاهش رطوبت ذخیره‌ای خاک و کوتاه شدن فصل رشد، نقش مهمی در کاهش عملکرد و سطح برداشت گندم دیم ایفا کند (شکل ۱۰).

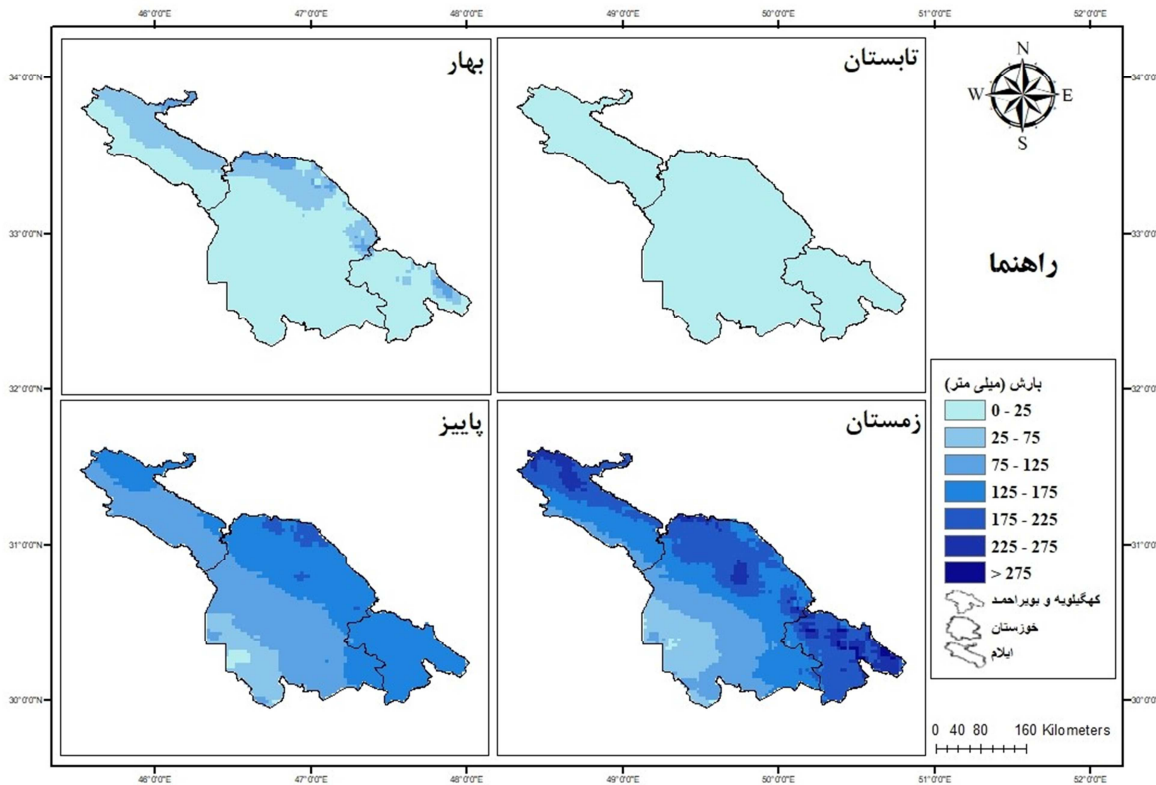
این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۱۰: میانگین فصلی دمای سطح زمین طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۴

الگوی فصلی بارش در منطقه مورد مطالعه دارای تمرکز شدید در نیمه سرد سال است. در فصل زمستان، بیشترین مقادیر بارش مشاهده می‌شود و بخش وسیعی از منطقه در کلاس‌های ۱۲۵ تا ۲۲۵ میلی‌متر و حتی بیش از ۲۷۵ میلی‌متر قرار دارد، به‌ویژه در نواحی مرتفع کهگیلویه و بویراحمد و شمال ایلام. این بارش‌ها نقش کلیدی در تغذیه رطوبت خاک، افزایش ذخیره آب و پشتیبانی از رشد بهاره گندم دیم دارند. در فصل بهار، بارش کاهش می‌یابد و عمدتاً در بازه ۲۵ تا ۷۵ میلی‌متر قرار می‌گیرد؛ با این حال، همین مقدار بارش برای مراحل حساس ساقه‌رفتن و خوشه‌دهی گندم دیم بسیار تعیین‌کننده است. در فصل پاییز، بارش مجدداً افزایش یافته و در کلاس‌های ۷۵ تا ۱۲۵ میلی‌متر متمرکز می‌شود که نقش اساسی در تاریخ کاشت، سبز شدن و تعیین سطح برداشت نهایی دارد. در مقابل، تابستان خشک‌ترین فصل منطقه است و بارش‌ها عمدتاً کمتر از ۲۵ میلی‌متر بوده و نقشی در چرخه تولید گندم دیم ایفا نمی‌کنند. تحلیل کمی بارش فصلی نشان می‌دهد که کاهش تدریجی بارش‌های مؤثر پاییزه و زمستانه طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۴، همراه با افزایش دما، یکی از مهم‌ترین عوامل افت سطح برداشت و ناپایداری تولید گندم دیم در استان‌های مرتفع و نیمه‌خشک زاگرس بوده است (شکل ۱۱).

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

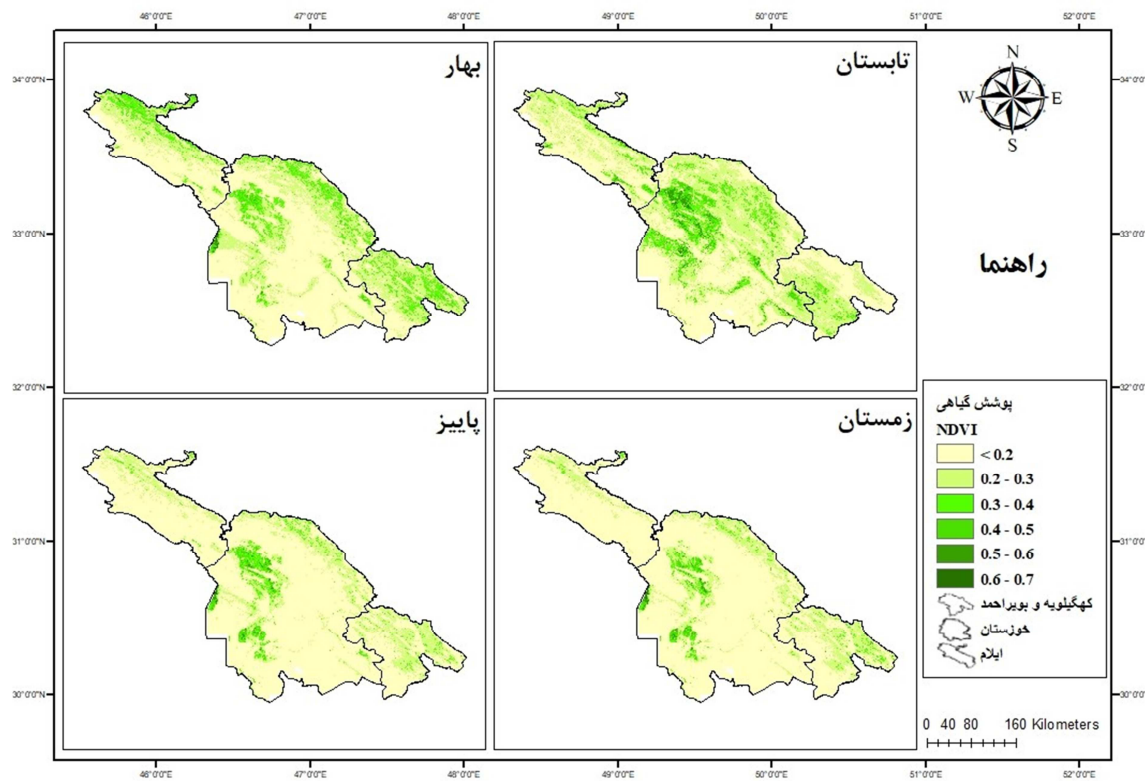


شکل ۱۱: بارش فصلی براساس داده‌های ماهواره CHIRPS طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۴

تحلیل تغییرات زمانی شاخص NDVI طی چرخه سالانه (میانگین دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۴) نشان‌دهنده الگوی فصلی کاملاً مشخص و وابسته به شرایط اقلیمی نیمه‌خشک زاگرس جنوبی است. در ماه‌های زمستانی و اوایل سال زراعی (ژانویه تا اوایل مارس)، مقادیر NDVI بسیار پایین و عمدتاً در بازه ۰,۰۳ تا ۰,۰۴ قرار دارد که بیانگر حداقل فعالیت فتوسنتزی، پوشش گیاهی پراکنده و حضور گندم دیم در مرحله خواب یا استقرار اولیه است. از اواخر مارس تا اواسط آوریل، همزمان با افزایش تدریجی دما و آغاز بارش‌های مؤثر بهاره، NDVI روند افزایشی ملایمی را تجربه کرده و از ۰,۰۶ در ۲۲ مارس به حدود ۰,۱۰ در اواخر آوریل می‌رسد که نشان‌دهنده شروع رشد رویشی و توسعه سطح سبزینه است. با ورود به ماه‌های می و ژوئن، افزایش بارش مؤثر زمستانه ذخیره‌شده در خاک و دمای مناسب باعث شتاب‌گیری رشد گیاه شده و NDVI به صورت جهشی از ۰,۱۶ در اوایل می به ۰,۳۷ در اواخر ژوئن افزایش می‌یابد. این بازه زمانی معادل مرحله بحرانی پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن گندم دیم است که بیشترین وابستگی را به رطوبت خاک دارد. تحلیل تغییرات زمانی شاخص NDVI طی چرخه سالانه (میانگین دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۴) نشان‌دهنده الگوی فصلی منظم و کاملاً وابسته به شرایط اقلیمی نیمه‌خشک زاگرس جنوبی است. در دوره زمستان و اوایل سال زراعی (ژانویه تا اوایل مارس)، مقادیر NDVI در پایین‌ترین سطح خود (حدود ۰,۰۳ تا ۰,۰۴) قرار دارد که بیانگر حداقل فعالیت فتوسنتزی، پوشش گیاهی بسیار محدود و قرارگیری گندم دیم در مراحل اولیه استقرار یا خواب زمستانه می‌باشد. با آغاز بهار و از اواخر مارس تا اواسط آوریل، همزمان با افزایش تدریجی دما و وقوع بارش‌های مؤثر، NDVI روندی افزایشی ملایم را نشان داده و از حدود ۰,۰۶ به نزدیک ۰,۱۰ می‌رسد که معرف شروع رشد رویشی و توسعه اولیه سطح سبزینه است. در ادامه و طی ماه‌های می و ژوئن، به دلیل بهبود شرایط رطوبتی خاک ناشی از بارش‌های

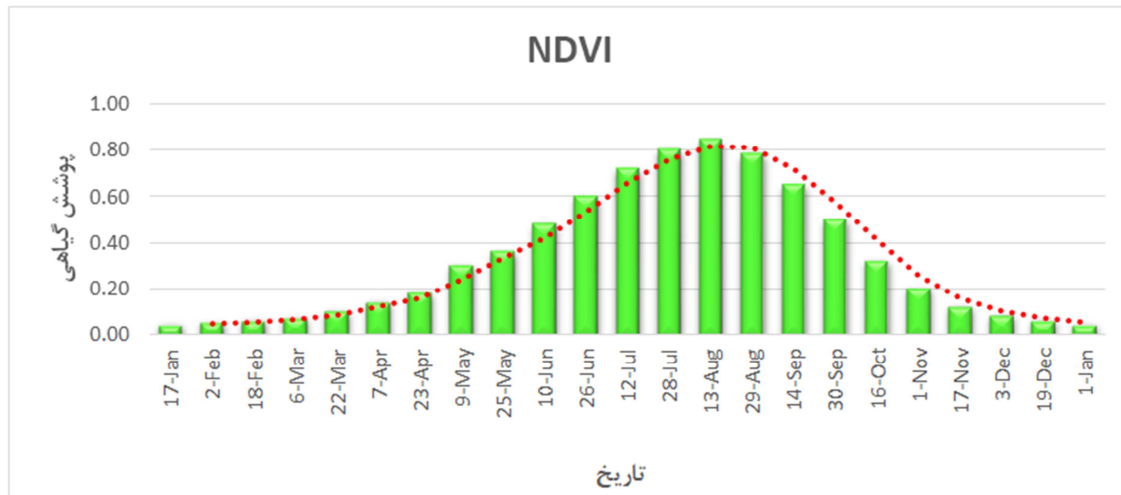
این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

زمستانه ذخیره‌شده و افزایش دما، رشد پوشش گیاهی شتاب گرفته و NDVI از حدود ۰,۱۶ به ۰,۳۷ افزایش می‌یابد؛ این دوره متناظر با مراحل حساس فنولوژیک پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن گندم دیم است که وابستگی بالایی به رطوبت خاک دارد. بیشترین فعالیت فتوسنتزی در دوره تابستان زودرس (جولای تا اواخر آگوست) مشاهده می‌شود؛ به‌گونه‌ای که میانگین فضایی NDVI در سطح منطقه افزایش یافته و به بیشینه خود در حدود ۰,۷۵ تا ۰,۸۵ می‌رسد. این مرحله بیانگر اوج توسعه بیوماس سبز و هم‌زمانی با مراحل پایانی رشد و رسیدگی محصول در شرایط اقلیمی مناسب است. پس از این مرحله، از اوایل سپتامبر روند کاهشی شاخص آغاز شده و کاهش تدریجی آن تا پایان فصل رشد، نشان‌دهنده ورود گیاه به مرحله رسیدگی، برداشت گندم دیم، خشک شدن پوشش گیاهی و افزایش سطوح بدون پوشش است. بازگشت NDVI به مقادیر پایین در انتهای سال زراعی نیز بیانگر پایان چرخه رشد و آغاز دوره رکود پوشش گیاهی در شرایط اقلیمی منطقه است. در مجموع، دامنه تغییرات NDVI طی دوره مورد مطالعه نشان‌دهنده حساسیت بالای سامانه‌های کشاورزی دیم و پوشش گیاهی منطقه نسبت به نوسانات اقلیمی، به‌ویژه تغییرات بارش مؤثر و دمای فصلی است؛ به‌گونه‌ای که الگوی مشاهده‌شده تطابق قابل توجهی با مراحل فنولوژیک گندم دیم در مناطق نیمه‌خشک غرب و جنوب‌غرب ایران دارد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).



شکل ۱۲: میانگین فصلی پوشش گیاهی طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۴

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۱۳: میانگین پوشش گیاهی طی دوره آماری ۲۰۲۴-۲۰۰۰

نتایج تحلیل ضرایب تعیین (R^2) نشان می دهد که نقش متغیرهای اقلیمی دما و بارش در تبیین تغییرات میزان تولید و سطح برداشت گندم در استان های خوزستان، ایلام و کهگیلویه و بویراحمد محدود و متغیر است. این موضوع بیانگر آن است که روابط بین متغیرهای اقلیمی و عملکرد گندم دیم ماهیتی صرفاً خطی و تک عاملی نداشته و تنها بخشی از تغییرات محصول توسط عوامل اقلیمی قابل توضیح است. در استان خوزستان، دما با مقدار $R^2=0.1414$ حدود ۱۴ درصد از تغییرات میزان تولید گندم دیم را تبیین می کند، در حالی که نقش آن در تبیین تغییرات سطح برداشت ناچیز است ($R^2=0.0114$) این نتایج نشان می دهد که اثر دما بیشتر در قالب تغییرات عملکرد محصول قابل مشاهده است تا تغییر در الگوی سطح زیرکشت. با این حال، پایین بودن مقادیر R^2 در کل تحلیل حاکی از آن است که عوامل غیر اقلیمی نظیر مدیریت زراعی، کیفیت خاک، دسترسی به نهاده ها و فناوری های تولید نیز نقش تعیین کننده ای در تغییرات تولید و سطح برداشت گندم دیم دارند و باید در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گیرند. بارش نیز در این استان با مقدار $R^2 = 0.095$ حدود ۹٫۵ درصد از تغییرات تولید را تبیین می کند، اما تأثیر آن بر سطح برداشت تقریباً صفر است ($R^2 = 0.000$)، که بیانگر وابستگی تولید به شرایط رطوبتی و در عین حال ثبات نسبی سطح زیرکشت است. در استان ایلام، مقادیر بسیار پایین ضرایب تعیین برای دما و بارش (حداکثر $R^2 = 0.015$) حاکی از آن است که تغییرات اقلیمی نقش بسیار محدودی در تغییرات میزان تولید و سطح برداشت گندم دیم دارند و بخش عمده نوسانات مشاهده شده احتمالاً ناشی از عوامل غیر اقلیمی نظیر مدیریت زراعی، ویژگی های خاک و سیاست های حمایتی است. این نتیجه نشان دهنده نوعی پایداری نسبی سیستم کشت دیم گندم در این استان در برابر نوسانات دما و بارش است. در کهگیلویه و بویراحمد، بارش با مقدار $R^2 = 0.1468$ بیشترین سهم را در تبیین تغییرات میزان تولید گندم دیم دارد و نشان می دهد که حدود ۱۵ درصد از نوسانات تولید تحت تأثیر تغییرات بارش قرار دارد، در حالی که نقش دما در تولید محدودتر است ($R^2 = 0.057$). با این حال، مشابه دو استان دیگر، تأثیر دما و بارش بر سطح برداشت در این استان بسیار ناچیز بوده و مقادیر R^2 کمتر از ۰٫۰۲ را نشان می دهد، که مؤید استقلال نسبی تصمیمات مربوط به سطح زیرکشت از شرایط اقلیمی کوتاه مدت است. به طور کلی، نتایج جدول بیانگر آن است که متغیرهای اقلیمی دما و بارش در استان های مورد مطالعه، بیش از آنکه بر سطح برداشت گندم دیم اثرگذار باشند، بر میزان تولید و عملکرد محصول تأثیر می گذارند و حتی در این حالت نیز سهم آن ها در تبیین

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

تغییرات تولید محدود و متوسط است. این یافته‌ها بر اهمیت نقش عوامل مدیریتی، فناوری‌های زراعی و سازگاری‌های محلی در کنار تغییرات اقلیمی در تعیین پایداری تولید گندم دیم در این منطقه تأکید دارد (جدول ۱).

جدول ۱: ضرایب تعیین (R^2) میزان تولید و برداشت گندم دیم با بارش و دما طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۴

پارامتر	سطح برداشت در کهگیلویه و بویراحمد	میزان تولید در کهگیلویه و بویراحمد	سطح برداشت در ایلام	میزان تولید در ایلام	سطح برداشت در خوزستان	میزان تولید در خوزستان
دما	۰,۰۱۱۹	۰,۰۵۷	۰,۰۰۴۶	۰,۰۰۳	۰,۰۱۱۴	۰,۱۴۱۴
بارش	۰,۰۰۱۲	۰,۱۴۶۸	۰,۰۰۹۳	۰,۰۱۵	۰,۰۰۰	۰,۰۹۵

نتیجه گیری

افزایش دما و بی‌ثباتی بارش، از مهم‌ترین چالش‌های نظام‌های دیم‌کاری در مناطق نیمه‌خشک جهان است گندم دیم به‌عنوان محصولی وابسته به بارش‌های فصلی و رطوبت ذخیره‌ای خاک، حساسیت بالایی نسبت به گرمایش، تغییر زمان‌بندی بارش و تشدید تنش‌های حرارتی دارد. در ناحیه زاگرس ایران، هم‌زمانی افزایش دما با کاهش بارش‌های مؤثر پاییزه و بهار می‌تواند مستقیماً بر استقرار، طول دوره رشد و عملکرد نهایی گندم دیم اثرگذار باشد و پایداری تولید این محصول را با مخاطره مواجه سازد. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مکانی-زمانی تغییرات دما و بارش و تبیین اثرات آن‌ها بر سطح برداشت و میزان تولید گندم دیم در استان‌های خوزستان، ایلام و کهگیلویه و بویراحمد انجام شد. برای دستیابی به اهداف پژوهش، از مجموعه‌ای از داده‌های اقلیمی و کشاورزی استفاده شد. داده‌های ایستگاهی دما و بارش به‌منظور تحلیل روندهای بلندمدت و ارزیابی تغییرات مشاهده‌ای در سطح ایستگاه‌های زمینی طی دوره ۱۹۹۵-۲۰۲۴ به‌کار گرفته شدند. همچنین داده‌های کشاورزی شامل سطح برداشت و تولید گندم دیم طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۴ جهت بررسی پاسخ سیستم‌های زراعی به تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت. در کنار داده‌های زمینی، از داده‌های سنجش‌ازدور نیز به‌منظور تکمیل تحلیل‌های مکانی-زمانی بهره گرفته شد؛ به‌طوری‌که داده‌های بارش ماهواره‌ای CHIRPS برای پوشش بهتر نواحی فاقد ایستگاه یا دارای داده‌های ناقص استفاده شدند، دمای سطح زمین به‌عنوان شاخصی برای بررسی شرایط حرارتی سطح زمین در مقیاس پیوسته مکانی-زمانی به‌کار رفت، و شاخص NDVI محصول MODIS نیز به‌عنوان شاخص استاندارد برای ارزیابی وضعیت و تغییرات پوشش گیاهی و فعالیت فتوسنتزی در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل روند زمانی با آزمون ناپارامتری من-کندال، بررسی‌های فضایی در محیط GIS و تحلیل‌های آماری کمی با بهره‌گیری از ضرایب تعیین (R^2) انجام شد تا ارتباط میان تغییرات اقلیمی و پاسخ سامانه‌های تولید گندم دیم به‌صورت یکپارچه ارزیابی گردد. نتایج نشان داد میانگین دمای سالانه در هر سه استان طی دوره ۱۹۹۵-۲۰۲۴ روندی افزایشی و پایدار داشته است. این افزایش در مقیاس بلندمدت حدود ۰,۲ تا ۰,۴ درجه سانتی‌گراد طی کل دوره برآورد می‌شود که معادل نرخ گرمایش حدود ۰,۰۷ تا ۰,۱۳ درجه سانتی‌گراد در هر دهه است و بیانگر گرمایش تدریجی اما پیوسته در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در مقابل، بارش سالانه روندی فاقد معناداری آماری داشته و تغییرات آن عمدتاً تحت تأثیر نوسانات بین‌سالی بوده است. نتایج تحلیل ضرایب تعیین (R^2) نشان داد که متغیرهای اقلیمی دما و بارش سهم محدودی در تبیین تغییرات سطح برداشت گندم دیم در هر سه استان دارند. ($R^2 < 0.02$) با این حال، نقش آن‌ها در تبیین تغییرات میزان تولید بیشتر بوده است؛ به‌طوری‌که در خوزستان، دما ($R^2 = 0.14$) و

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

بارش ($R^2 = 0.095$) سهم قابل توجه‌تری در نوسانات تولید داشتند، در حالی که در کهگیلویه و بویراحمد نقش بارش ($R^2 = 0.147$) برجسته‌تر بوده و در ایلام اثر متغیرهای اقلیمی بر تولید بسیار محدود (حداکثر $R^2 \approx 0.015$) مشاهده شد. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات دما و الگوهای بارش از عوامل کلیدی در ناپایداری تولید گندم در مناطق مورد مطالعه هستند و این نتایج با یافته‌های مطالعات پیشین در ایران و سایر مناطق دیم‌کاری هم‌راستا است. به‌عنوان نمونه، انسان و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که تغییرات اقلیمی در ایران می‌تواند تا دهه ۲۰۳۰ موجب کاهش عملکرد گندم دیم تا ۱۲٫۹ درصد در مناطق گرم و تا ۲۰٫۲ درصد در مناطق خشک و گرم شود که این امر به افزایش بی‌ثباتی تولید منجر می‌گردد. همچنین علیزاده و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که تغییر در توزیع زمانی بارش و افزایش دما اثرات منفی بر مراحل حساس رشد گندم داشته و کاهش عملکرد را تشدید می‌کند، حتی در شرایطی که تغییرات کل بارش از نظر آماری معنادار نباشد.

تقدیر و تشکر (حمایت مالی یا معنوی سازمانی)

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از زحمات و صبوری سردبیر و داوران محترم نشریه مخاطرات محیط طبیعی و از حمایت‌ها و پشتیبانی‌های ارزشمند بنیاد ملی علم ایران صمیمانه قدردانی نمایند. این پژوهش با حمایت مادی بنیاد ملی علم ایران (INSF) و در قالب طرح پژوهشی به شماره ۴۰۴۳۴۲۹ انجام شده است.

منابع

- سازمان جهادکشاورزی ایران، گزارش تولید محصولات کشاورزی و داده‌های بخش زراعت، (۱۴۰۳). www.maj.ir
- سازمان هواشناسی کشور، داده‌های هواشناسی طی دوره آماری ۳۰ ساله، (۱۴۰۳). <https://data.irimo.ir>
- شهرکی، جواد؛ صبوحی صابونی، محمود؛ و یعقوبی، مرتضی. (۱۳۹۶). تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم بلر و یکرد تابع تولید تصادفی. مخاطرات محیط طبیعی ۶(۱۱): 3074-3074. <https://doi.org/10.22111/jneh.2017.3074>
- عرب سلغار، علی اکبر، پرهت، جهانگیر، گودرزی، مسعود. (۱۴۰۱)، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو و مقیاس کاهی مدل‌های SDSM و LARS WG تحت سناریوهای واداشت تابشی در حوضه آبریز دز، فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۴(۵۵): ۱۴۹-۱۲۹. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/982816>
- کاظمی، رضا، خزائی، محمد رضا. (۱۴۰۱)، پیش‌بینی تغییر اقلیم تهران و یزد در آینده تحت سناریوهای RCP و توسط مدل LARS-WG، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست (JEST). <https://civilica.com/doc/1620296>
- کیانی قلعه سرد، سروش، شهرکی، جواد، اکبری، احمد، و سردار شهرکی، علی. (۱۳۹۸). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر امنیت غذایی ایران. مخاطرات محیط طبیعی، ۸(۲۲): ۱۹-۴۰. <https://sid.ir/paper/395464/fa>
- مظفری، الهام، بذرافشان، ام البنین، مرادی، نوازله. (۱۳۹۹)، تغییرات زمانی و مکانی خصوصیات خشکسالی هواشناسی در ایران تحت تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم، نشریه مدیریت بیابان، شماره ۱۶، پاییز و زمستان، صص ۱۶۸-۱۵۳. <https://doi.org/10.22034/jdml.2021.243146>
- نظری پور، حمید، دوستکامیان، مهدی، اسدی، آرزو، و بیات، علی. (۱۳۹۳). ناحیه بندی اقلیمی جنوب و جنوب غرب ایران با رویکرد برنامه ریزی منطقه ای. برنامه ریزی منطقه ای، ۴(۱۵): ۱۱۹-۱۳۲. <https://sid.ir/paper/230515/fa>
- Arnell, N. W. (1999). Climate change and global water resources. *Global Environmental Change*, 9, S31-S49.
- Amiri, M. J., & Eslamian, S. S. (2010). Investigation of climate change in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 3(4), 208-216.
- Alizadeh-Dehkordi, P., Kamkar, B., & Nehbandani, A. (2024). The effect of climate change on the future of rainfed wheat cultivation in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 687-709. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02728-2>

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

- Allison, E., et al. (1989). Monitoring drought-affected vegetation with AVHRR. In *Proceedings of the 12th Canadian Symposium on Remote Sensing and Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Vol. 4, pp. 1965–1967). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.1989.577746>
- Bathiany, S., Dakos, V., Scheffer, M., & Lenton, T. M. (2018). Climate models predict increasing temperature variability in poor countries. *Science Advances*, 4(5), eaar5809. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aar5809>
- Ensan, E., Ansari, V., & Salami, H. (2025). Dryland wheat yield and yield variability responses to climate change across climatic zones in Iran. *Scientific Reports*, 15(1), 41974. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-25950-0>
- Hosseini, S., et al. (2011). Estimating the relationship between vegetation dynamics and precipitation in central Iran. In *Proceedings of the International Conference*, Toledo, Spain.
- IPCC. (2014). *Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Kassa, A. (1990). *Drought risk monitoring for Sudan using NDVI* (Master's thesis). University College London.
- Kamali, S., Fattahi, E., & Habibi, M. (2025). Investigating the trend changes in temperature extreme indices in Iran. *Atmosphere*, 16(4), 483. <https://doi.org/10.3390/atmos16040483>
- Kichamu, E. A., Ziro, J. S., Palaniappan, G., & Ross, H. (2018). Climate change perceptions and adaptations of smallholder farmers in Eastern Kenya. *Environment, Development and Sustainability*, 20, 2663–2680.
- Koutsovili, E. I., Tzoraki, O., Theodossiou, N., & Gaganis, P. (2021). Numerical assessment of climate change impact on the hydrological regime of a small Mediterranean river, Lesvos Island, Greece. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 24(1), 28–48.
- Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., & Wallis, J. R. (1994). Hydroclimatological trends in the continental United States, 1984–1988. *Journal of Climate*, 7, 586–607.
- Maidment, R. I., et al. (2015). Recent observed and simulated changes in precipitation over Africa. *Geophysical Research Letters*, 42(19), 8155–8164. <https://doi.org/10.1002/2015GL065765>
- Makondo, C. C., Chola, K., & Moonga, B. (2014). Climate change adaptation and vulnerability: A case of rain-dependent smallholder farmers in selected districts in Zambia. *American Journal of Climate Change*, 3(4), 388–403.
- Mishra, A. K., Singh, V. P., & Jain, S. K. (2010). Impact of global warming and climate change on social development. *Journal of Comparative Social Welfare*, 26(2–3), 239–260.
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37–42.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. B. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton University Press.
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384.
- Zhang, G., Wang, H., Gan, T. Y., Zhang, S., Shi, L., Zhao, J., & Song, S. (2022). Climate change determines future population exposure to summertime compound dry and hot events. *Earth's Future*, 10(11), e2022EF003015.