

Analysis of Precipitation Trend in the Qezel Owzan Basin over the Past Thirty Years

Mohammad Saligheh  ¹ | Zahra Bigom Hejazizadeh  ¹ | Alireza Karbalai Dorri  ² | Elham Lotfi  ³

1. Professor of Climatology, Kharazmi University, Tehran, Iran

2. Assistant Professor of Climatology, Kharazmi University, Tehran, Iran

3. M.Sc. Student of Climatology, Kharazmi University, Tehran, Iran

Article Info:

Article type:

Research Article

Date:

Received: 2025.05.31

Received: 2025.07.01

Accepted: 2025.07.06

Published:

Keywords:

Trend, Climate change, Precipitation, Mann–Kendall test

Abstract: In recent decades, examining precipitation trends at local and basin scales has become increasingly important for water-resources management and climate-vulnerability assessment. This study aims to analyze the temporal and spatial patterns of precipitation in the Qezel-Owzan Basin during the period 1994–2023. Monthly and annual precipitation data from ten selected meteorological stations were compiled, quality-controlled, and interpolated into continuous precipitation surfaces using the IDW method within a GIS environment. To identify long-term statistical trends, the Mann–Kendall test and Sen’s slope estimator were applied, allowing the detection of significant directional changes. Results indicate that the long-term mean annual precipitation of the basin is approximately 350 mm. The most pronounced declines were observed in the southern and southeastern sectors of the basin, whereas stations located in the higher northern elevations recorded more moderate variations. Spatial analysis further suggests that declining precipitation patterns are associated with reduced moisture influx from Mediterranean systems, increased frequency of short-term droughts, and shifts in winter circulation regimes. These findings highlight rising pressure on both surface and groundwater resources and underscore the need for adaptive planning based on future climate scenarios. The outcomes of this research can assist basin managers, agricultural planners, and water-policy stakeholders in developing strategies to enhance resilience under ongoing climatic changes.

Cite this article: Saligheh, M., Bigom Hejazizadeh, Z., Karbalai Dorri, A., Lotfi, E. (2025). Analysis of Precipitation Trend in the Qezel Owzan Basin over the Past Thirty Years. *Climat Change and Climat Disasters*, 4(7), 361-389.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan



Extended Abstract

Introduction

Climate change is one of the most important environmental challenges of the present century, with widespread impacts on the hydrological cycle, water resources, agriculture, and ecosystems. Changes in the temporal and spatial patterns of precipitation and temperature can lead to an increase in extreme climatic events, alterations in the frequency and intensity of droughts and floods, and serious challenges in water resources management. In arid and semi-arid regions, including large parts of Iran, climate variability and change are of particular importance due to limited water resources and the strong dependence of human activities on climatic conditions. Investigating trends in climatic variables using statistical approaches can provide valuable information about the direction and magnitude of climate changes and contribute to effective future planning.

The present study aims to investigate temporal and spatial trends in climatic variables, particularly precipitation

and temperature, using statistical trend analysis methods. The study attempts to identify the dominant patterns of climate variability by analyzing observed climatic data from meteorological stations and evaluating the changes that have occurred during the study period.

Materials and Methods

In this study, climatic data recorded at meteorological stations within the study area were used. The analyzed variables included precipitation and temperature parameters at different temporal scales. After data collection, quality control procedures and preparation of the time series were performed, and the required datasets were extracted for trend analysis.

The non-parametric Mann–Kendall test was applied to detect the presence of trends in the climatic time series. Due to its independence from the assumption of data normality and its robustness against outliers, this method is widely used in climate change studies. In addition, Sen's slope estimator was employed to determine the magnitude and rate of changes in climatic variables over

time. This method provides an estimation of the increasing or decreasing rate of trends in long-term climatic series.

To evaluate spatial variations, the results of statistical analyses were further examined through spatial interpolation and climatic mapping techniques in order to identify the distribution patterns of climatic changes across the study region.

Results and Discussion

The results indicated that the climatic variables in the study area have experienced considerable temporal and spatial variations during the analyzed period. The temperature trend analysis revealed an increasing trend in a considerable number of stations. Rising temperature can enhance evaporation and evapotranspiration rates, reduce soil moisture availability, and increase pressure on water resources. These findings are consistent with regional and global studies reporting a general increase in surface temperature due to climate change.

The analysis of precipitation trends showed that rainfall variations do not

follow a uniform pattern throughout the study area. Some regions exhibited decreasing trends, while others showed weak changes or no statistically significant trends. This spatial variability highlights the influence of several factors, including topography, geographical location, and atmospheric circulation systems, on precipitation distribution patterns. The results of the Mann–Kendall test indicated that some observed changes were statistically significant and could not be attributed solely to natural climate variability. Furthermore, Sen's slope values demonstrated that the magnitude of climatic changes varied among different stations, with some areas experiencing stronger rates of change compared to others.

Spatial analysis showed that climate change impacts are not uniformly distributed across the region. Local characteristics such as elevation, geographical conditions, and proximity to moisture sources can influence the intensity and direction of climatic changes. Therefore, regional differences should be

considered in climate impact assessments and adaptation strategies.

Conclusion

The findings of this study demonstrate that climate change has influenced the main climatic elements, particularly temperature and precipitation, in the study area. The observed increase in temperature may result in higher water demand, reduced water availability, and changes in environmental conditions. In addition, variations in precipitation patterns emphasize the need for improved water resources management and climate adaptation planning.

The application of statistical methods such as the Mann–Kendall test and Sen’s slope estimator provides an

effective approach for identifying climatic trends and evaluating the magnitude of changes over time. The results of this research can support decision-making processes related to water resources management, agricultural planning, reduction of vulnerability to extreme climatic events, and environmental policy development.

Overall, the findings highlight the importance of continuous monitoring of climatic variables and assessment of long-term trends to improve understanding of future climate changes and to develop appropriate adaptation strategies.

Keywords::

Trend, Climate change, Precipitation, Mann–Kendall test



تحلیل روند بارش حوضه قزل‌اوزن در سی سال اخیر

محمد سلیقه^۱ ✉ | زهرا بیگم حجازی زاده^۱ | علیرضا کربلایی درئی^۲ | الهام لطفی^۳ ^{ID}

۱. استادیاب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۲. استادیاب آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۳. کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۰

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۵

انتشار:

واژگان کلیدی:

روند، تغییر اقلیم، بارش، آزمون من-کندال

چکیده: در دهه‌های اخیر، بررسی روند تغییرات بارش در مقیاس‌های محلی و حوضه‌ای اهمیت ویژه‌ای در مدیریت منابع آب و ارزیابی آسیب‌پذیری اقلیم داشته است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل روند زمانی و فضایی بارش در حوضه آبریز قزل‌اوزن طی دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۳ انجام شد. برای این منظور، داده‌های بارش ماهانه و سالانه ده ایستگاه منتخب گردآوری و پس از کنترل کیفیت، با استفاده از روش درون‌یابی IDW در محیط GIS به نقشه‌های پیوسته بارش تبدیل شد. به منظور ارزیابی روند بلندمدت، از آزمون من-کندال و برآورد گر شیب سن استفاده گردید که امکان شناسایی تغییرات معنادار و جهت روند را فراهم می‌سازد. نتایج نشان داد میانگین بلندمدت بارش سالانه حوضه حدود ۳۵۰ میلی‌متر است. بیشترین کاهش در بخش‌های جنوبی و جنوب‌شرقی حوضه مشاهده شد، در حالی که ایستگاه‌های واقع در نواحی مرتفع شمالی تغییرات ملایم‌تری را ثبت کرده‌اند. تحلیل مکانی حاکی از آن است که الگوهای کاهشی بارش با کاهش رطوبت ورودی سامانه‌های مدیترانه‌ای، افزایش فراوانی خشکسالی‌های کوتاه‌مدت و تغییرات الگوهای گردشی در فصول سرد ارتباط دارند. این یافته‌ها بیانگر افزایش فشار بر منابع آب سطحی و زیرزمینی و ضرورت برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریوهای اقلیمی آینده است. نتایج مطالعه می‌تواند برای مدیران حوضه، برنامه‌ریزان بخش کشاورزی و سیاست‌گذاران منابع آب در جهت اتخاذ تصمیم‌های سازگار با تغییر اقلیم مفید واقع شود.

استناد: سلیقه، محمد، بیگم حجازی زاده، زهرا، کربلایی درئی، علیرضا، لطفی، الهام. (۱۴۰۴). تحلیل روند بارش حوضه قزل‌اوزن در سی سال اخیر. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، ۴(۷)، ۳۶۱-۳۸۹.

© نویسندگان .

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان



۱. مقدمه

تغییرپذیری زمانی و مکانی بارش یکی از مؤلفه‌های اساسی در سامانه‌های اقلیمی به شمار می‌رود و نقشی تعیین‌کننده در پایداری منابع آب، توازن بیلان هیدرولوژیکی و الگوهای بهره‌برداری انسانی ایفا می‌کند. در دهه‌های اخیر، بروز نوسانات شدید بارش، افزایش فراوانی خشکسالی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت و تغییر الگوهای گردش جوّی سبب شده است تا تحلیل روند بارش به یکی از محورهای اصلی پژوهش‌های اقلیم‌شناسی و مدیریت آب تبدیل شود. شناسایی روندهای بلندمدت می‌تواند نه تنها ماهیت تغییرات اقلیمی را روشن سازد، بلکه زمینه را برای پیش‌بینی مخاطرات هیدرولوژیکی، تدوین سیاست‌های سازگاری و برنامه‌ریزی پایدار فراهم آورد. بارش به‌عنوان یکی از بنیادی‌ترین عناصر چرخه هیدرولوژیکی، نقش تعیین‌کننده‌ای در تعادل اکولوژیک،

پایداری منابع آب و برنامه‌ریزی‌های محیط‌زیستی و کشاورزی ایفا می‌کند. تغییرات در الگوهای بارش، نه تنها بر رژیم جریان رودخانه‌ها، آبخوان‌ها و پوشش گیاهی اثرگذار است، بلکه بر وقوع مخاطراتی همچون سیلاب، فرسایش خاک، خشکسالی و نوسانات شدید منابع آب نیز تأثیر مستقیم دارد. در دهه‌های اخیر، شواهد علمی گسترده‌ای نشان می‌دهد که سامانه اقلیم جهانی به‌طور بارزی دستخوش تغییر شده و این تغییرات به‌خصوص در پارامترهای بارشی شدت یافته است (IPCC, 2021). افزایش دما، تغییر الگوهای گردش عمومی جو، تشدید رخدادهای حدی و بی‌نظمی زمانی-فضایی بارش، از پیامدهای اصلی این تغییرات محسوب شود (Westra et al., 2014). ایران، به‌عنوان کشوری واقع در کمربند خشک و نیمه‌خشک، به‌شدت نسبت به تغییرات بارشی حساس است و روندهای

اقليمی دهه‌های اخیر در آن با کاهش متوسط بارش، افزایش تبخیر و تعرق، و وقوع خشکسالی‌های مکرر و فراگیر همراه است (Tabari; ۲۰۲۰). مطالعات متعددی نیز بر تشدید خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در کشور، همراه با تغییر ساختار زمانی بارش و افزایش رخدادهاي کوتاه‌مدت اما شديد، تأکید کرده‌اند (AghaKouchak & Madani; ۲۰۱۸).

در چنین شرایطی، تحلیل روندهای بارشی در مقیاس حوضه، یکی از مهم‌ترین ابزارهای مدیریت پایدار منابع آب محسوب می‌شود. حوضه آبریز قزل‌اوزن، به‌عنوان بزرگ‌ترین زیرحوضه سفیدرود و یکی از نواحی دارای تنوع قابل توجه توپوگرافیک و اقلیمی، اهمیت ویژه‌ای در توازن آب کشور دارد. گستره وسیع ارتفاعی، تنوع مکانی بارش و نقش آن در تأمین آب کشاورزی و شرب، ضرورت بررسی دقیق روندهای بارشی در این حوضه را افزایش می‌دهد. اگرچه در سال‌های اخیر مطالعات متعددی به بررسی تغییرات بارش و خشکسالی در ایران پرداخته‌اند، بسیاری از این پژوهش‌ها بر مقیاس‌های منطقه‌ای یا دوره‌های زمانی محدود متمرکز بوده‌اند و کمتر به تحلیل همزمان روندهای زمانی و الگوهای فضایی در حوضه‌های بزرگ آبریز پرداخته‌اند (Raziei et al. ۲۰۱۴; Hosseinzadeh et al. ۲۰۱۱; Tabari & Talaee).

همچنین نبود بررسی‌های جامع که همزمان تحلیل زمانی روند و ارزیابی فضایی تغییرات بارش را تلفیق کند، یکی از خلأهای پژوهشی مهم در این حوضه به شمار می‌رود. برای تحلیل روند داده‌های اقلیمی، روش‌های ناپارامتریک نظیر آزمون من-کندال (Mann-Kendall) به دلیل عدم وابستگی به توزیع نرمال داده‌ها، حساسیت پایین به داده‌های پرت و توانایی در ارزیابی روندهای خطی و غیرخطی، در پژوهش‌های اخیر جایگاه ویژه‌ای یافته‌اند.

(Yue & Wang, ۲۰۰۴). علاوه بر تحلیل‌های آماری، در سال‌های اخیر استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تلفیق نتایج آزمون‌های روند و بررسی ساختار مکانی تغییرات اقلیمی افزایش یافته است. چنین ترکیبی امکان نمایش فضایی شدت روند، تحلیل ناهمگنی مکانی و بررسی ارتباط تغییرات اقلیمی با ویژگی‌های محیطی را فراهم می‌سازد و در مطالعات اخیر تغییر اقلیم و مخاطرات هیدرولوژیکی کاربرد گسترده‌ای یافته است (Raziei & Saghaifan, ۲۰۲۱).

مطالعات جدید نشان داده‌اند که ترکیب روش‌های آماری و GIS نه تنها به درک بهتر رفتار مکانی-زمانی پارامترهای اقلیمی کمک می‌کند، بلکه توان پیش‌بینی و مدیریت خطر را نیز ارتقا می‌دهد (Seneviratne et al., ۲۰۲۱). با توجه به اهمیت هیدرولوژیک و اقلیمی حوضه قزل‌اوزن، نقش آن در تأمین آب منطقه و حساسیت به نوسانات بارشی، انجام یک مطالعه جامع با رویکرد تلفیقی آماری-مکانی ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر تحلیل روندهای بلندمدت بارش طی دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۳ با استفاده از آزمون‌های من-کندال، و تبیین الگوی فضایی تغییرات بارش در محیط GIS است. نتایج این پژوهش می‌تواند درک بهتری از پویایی اقلیمی حوضه ارائه دهد، نواحی دارای روندهای مثبت یا منفی را شناسایی کند، و مبنایی برای برنامه‌ریزی منابع آب، مدیریت خشکسالی و کاهش آسیب‌پذیری در برابر تغییر اقلیم فراهم آورد (Seneviratne et al., ۲۰۲۱; IPCC, ۲۰۲۱).

۲. داده‌ها و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

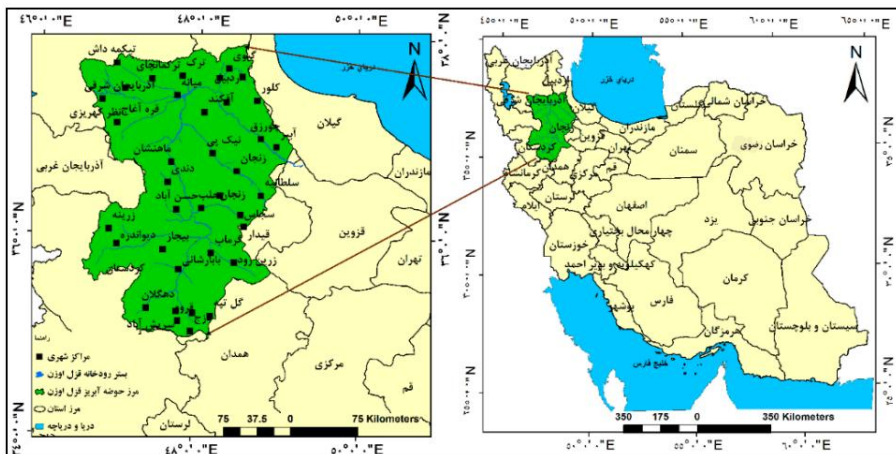
حوضه آبریز قزل‌اوزن یکی از گسترده‌ترین و مهم‌ترین حوضه‌های هیدرولوژیکی

در تأمین آب منطقه و

تعیین‌کننده‌ای در شکل‌دهی به رژیم هیدرولوژیکی حوضه ایفا می‌کنند. وجود اختلاف ارتفاع قابل توجه، ناهمگونی اقلیمی و تنوع کاربری اراضی باعث شده است که تغییرات بارش، اثرات گسترده‌ای بر منابع آب سطحی، کشاورزی، زیست‌بوم‌ها و برنامه‌ریزی توسعه منطقه‌ای داشته باشد. حساسیت این حوضه به نوسانات اقلیمی و فشارهای انسانی، بررسی دقیق روندهای بارشی را به ضرورتی اساسی برای مدیریت پایدار منابع آب تبدیل کرده است.

شمال غرب ایران است که از نظر موقعیت جغرافیایی بخشی از استان‌های کردستان، زنجان، گیلان و آذربایجان شرقی را دربر می‌گیرد.

این حوضه به دلیل تنوع قابل توجه در توپوگرافی، از ارتفاعات بلند و سرد شمالی تا دشت‌های کم‌ارتفاع جنوبی، الگوهای بارشی متنوع و پیچیده‌ای را تجربه می‌کند. منبع اصلی تغذیه بارش در این منطقه سامانه‌های مدیترانه‌ای است که عمدتاً در فصول سرد سال فعالیت دارند و نقش



شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه حوضه قزل

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	کد ایستگاه
زنجان	۳۶/۶۶	۴۸/۵۲	۱۶۳۸	۴۰۷۲۹
اردبیل	۳۸/۲۵	۴۸/۲۹	۱۳۵۱	۴۰۷۰۸
رشت	۳۸/۳۲	۴۹/۶۲	۴	۴۰۷۱۹
خدا بنده	۳۶/۰۷	۴۸/۳۵	۲۰۵۰	۴۰۷۳۳
میانه	۳۷/۴۲	۴۷/۷۳	۱۱۰۰	۴۰۷۱۹
بیجار	۳۵/۸۸	۴۸/۶۲	۱۹۴۰	۴۰۷۴۸
خلخال	۳۷/۶۰	۴۸/۵۰	۱۸۴۳	۴۰۷۱۷
زرینه	۳۶/۶۰	۴۶/۹۱	۲۲۰۰	۴۰۷۴۹
قروه	۳۵/۱۸	۴۷/۷۸	۱۹۰۴	۴۰۷۷۲
منجیل	۳۶/۷۴	۴۹/۴۰	۳۹۶	۴۰۷۲۰

مختصات جغرافیایی، عرض جغرافیایی

ایستگاه‌ها بین ۳۵/۱۸ تا ۳۸/۸۸ درجه

شمالی و طول جغرافیایی آن‌ها بین

۴۷/۷۸ تا ۴۹/۶۲ درجه شرقی است. این

گستره نشان‌دهنده تنوع نسبتاً زیاد در

شمال غرب کشور و به‌ویژه در محدوده

حوضه آبریز قزل‌اوزن است. به‌عنوان مثال،

ایستگاه اردبیل با عرض ۳۸/۲۵ درجه و

طول ۴۸/۲۹ درجه در محدوده شمال شرقی

حوضه قرار دارد، در حالی که ایستگاه قروه

با عرض ۳۵/۱۸ درجه و طول ۴۷/۷۸ درجه

جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های حوضه‌ی

قزل‌اوزن را نشان می‌دهد. همان‌طور که

مشاهده می‌شود، ایستگاه‌های منتخب

در گستره‌های شمال تا جنوب غرب حوضه

پراکنده‌اند و به‌طور کلی از نظر موقعیت‌های

جغرافیایی و ارتفاع، تغییرات قابل توجهی

دارند. این ایستگاه‌ها شامل زنجان، اردبیل،

رشت، خدا بنده، میانه، بیجار، خلخال، زرینه،

قروه و منجیل هستند که هر کدام نقش

مهمی در پایش شرایط اقلیمی و

هیدرولوژیکی منطقه ایفا می‌کنند. از

در منطقه جنوب‌غربی حوضه واقع شده است. این پراکندگی باعث می‌شود که موقعیت‌ها را به‌خوبی شناخت و مناطق سردی شمال و مناطق نسبتاً خشک جنوبی را به‌خوبی نمایان سازند.

ارتفاع از سطح دریا نیز اختلاف چشمگیری میان ایستگاه‌ها وجود دارد. ارتفاع کمترین ایستگاه (رشت) حدود ۴ متر و بالاترین ارتفاع مربوط به ایستگاه زرینه ۲۲۰۰ متر است. این تغییر ارتفاع نقش مهمی در تنوع اقلیمی، میزان بارش در ایستگاه‌ها ایفا می‌کند. به‌طور کلی، ایستگاه‌های مرتفع‌تر مانند زرینه، خدابنده و بیجار اقلیم خنک‌تر و دارای فضای ذخیره‌سازی بوده و ایستگاه‌های کم‌ارتفاع‌تر مانند رشت، منجیل و قروه، شرایط گرم‌تری را تجربه می‌کنند.

۲.۲. داده‌ها

برای انجام این پژوهش، داده‌های بارش ماهانه ده ایستگاه منتخب در محدوده حوضه آبریز قزل‌اوزن طی دوره زمانی

۱۹۹۴ تا ۲۰۲۳ گردآوری شد. داده‌ها پس از استخراج از منابع سازمان هواشناسی کشور، تحت کنترل کیفیت اولیه قرار گرفتند تا مقادیر گم‌شده، ناهمخوانی‌ها و خطاهای احتمالی شناسایی و اصلاح شوند. سپس، داده‌های معتبر به‌صورت سری‌های زمانی منسجم سازمان‌دهی شده و مبنای تحلیل‌های آماری و مکانی قرار گرفتند. انتخاب بازه ۳۰ ساله امکان بررسی تغییرات اقلیمی بلندمدت و استخراج الگوهای معنی‌دار را فراهم ساخت. همچنین، داده‌های ایستگاهی پس از پردازش اولیه برای تولید سطوح پیوسته بارش در محیط GIS و استفاده در تحلیل‌های فضایی به کار گرفته شد، تا نمایی دقیق‌تر از تغییرات مکانی بارش در سطح حوضه حاصل شود.

۲.۳. روش‌ها

۲.۳.۱. آزمون من-کندال اصلی

به‌منظور بررسی روند تغییرات زمانی بارش در ایستگاه‌های منتخب، از آزمون

ناپارامتریک «من-کندال» (Mann-Kendall) استفاده شد. این روش یکی از پرکاربردترین ابزارها در مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی برای شناسایی روندهای یکنواخت (صعودی یا نزولی) در سری‌های زمانی است)

(Kendall ۱۹۷۵; Mann, ۱۹۴۵) این آزمون به دلیل عدم نیاز به فرض نرمال بودن داده‌ها و مقاومت بالا در برابر مقادیر پرت و توزیع‌های غیر گاوسی، برای تحلیل متغیرهای اقلیمی نظیر بارش بسیار مناسب است (Yue et al., ۲۰۰۲).

(معادله ۱)

$$Sg_k = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n Sgn(Xjgk - Xjgk) \quad A1 \leq i < j \leq n$$

$Sgn(\theta)$ تابع علامت بوده که به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$Sgn(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta < 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta > 0 \end{cases}$$

برای تعداد داده‌های نمونه بزرگ‌تر از ۱۰، آماره S تقریباً دارای توزیع نرمال با

میانگین صفر و واریانس مشخص است و آماره استاندارد Z از آن به دست می‌آید. مقدار $Z > 0$ بیانگر روند افزایشی و $Z < 0$ نشان‌دهنده روند کاهشی است. در سطح اطمینان ۹۵٪، اگر مقدار عددی Z از ۱٫۹۶ بیشتر یا از ۱٫۹۶- کمتر باشد، فرض صفر رد شده و روند معنی‌دار تلقی می‌شود.

۲.۳.۲. تحلیل‌های مکانی در محیط

GIS

برای تحلیل فضایی تغییرات بارش در سطح حوضه آبریز قزل‌اوزن، از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به منظور پردازش داده‌های ایستگاهی، تولید لایه‌های پیوسته بارش و استخراج الگوهای مکانی روند استفاده شد. ابتدا مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های باران‌سنجی و داده‌های پردازش‌شده حاصل از آزمون‌های آماری، شامل آماره‌های من-کندال و شیب سن، در قالب یک پایگاه داده مکانی سازمان‌دهی شدند. سپس برای نمایش پیوسته پراکنش

بارش، از روش‌های درون‌یابی متداول نظیر وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) به‌دلیل سادگی، دقت مناسب و کاربرد گسترده آن در داده‌های اقلیمی استفاده گردید. این روش امکان تبدیل داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌ها به سطوح رستری با تفکیک مکانی یکنواخت را فراهم کرد. پس از تولید لایه‌های رستری بارش، نقشه‌های روند با تلفیق نتایج آزمون من-کندال و شیب سن ایجاد شدند تا شدت، جهت و معناداری روندهای بارشی در طول دوره مورد مطالعه به‌صورت مکانی نمایش یابد. برای ارزیابی ارتباط نتایج آماری با ویژگی‌های فیزیوگرافیک، لایه‌های توپوگرافی، مدل ارتفاع رقومی (DEM) و مرز حوضه نیز در محیط GIS مورد استفاده قرار گرفتند. در نهایت، نقشه‌های خروجی با انجام طبقه‌بندی، نمادگذاری و تحلیل هم‌پوشانی، امکان مقایسه فضایی الگوهای تغییرات بارش و شناسایی نواحی با روندهای بارشی مثبت یا منفی را فراهم ساختند. این تحلیل‌های مکانی نقش مهمی در تفسیر جامع تغییرات زمانی-فضایی بارش و شناخت مناطق حساس حوضه ایفا کردند.

۳. یافته‌ها و نتایج

حوضه آبریز قزل‌اوزن یکی از حوضه‌های مهم هیدرولوژیکی در شمال‌غرب و غرب ایران است که نقش بسزایی در منابع آبی، کشاورزی، و منابع طبیعی ایفا می‌کند. تغییرات اقلیمی و نوسانات بارشی در این حوضه طی دهه‌های اخیر، نگرانی‌هایی را درخصوص منابع پایدار آب و امنیت در این منطقه به‌وجود آورده است.

به همین منظور، تحلیل روند تغییرات در این حوضه، برای درک بهتر رفتار اقلیمی و برنامه‌ریزی‌های آینده، بسیار مهم است. در این مطالعه، از روش آماری من-کندال برای تحلیل روند تغییرات در بازه زمانی ۱۹۹۴ تا

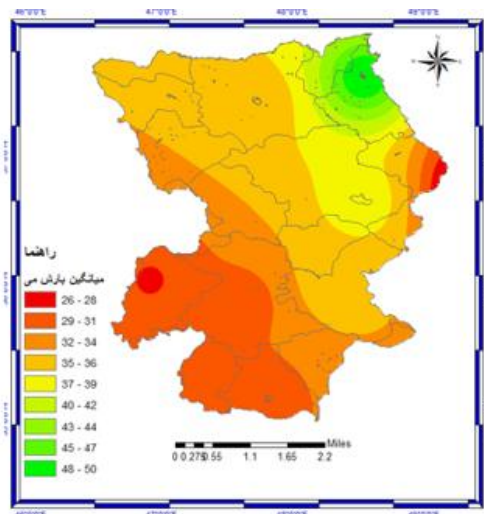
۲۰۲۳ استفاده شده و نتایج آن به صورت میانگین کلی بین ایستگاه‌ها در بازه‌ای نقشه‌های فضایی نمایش داده شده است. حدود ۴ تا ۶۵ میلی‌متر در نوسان است، و بر اساس جدول (۲)، میانگین بارش ماهانه حوضه قزل‌اوزن روندی کاملاً فصلی دارد؛ بیشترین بارش در ماه‌های فروردین (به‌ویژه ایستگاه خداپنده با ۶۶/۶۷ میلی‌متر) و اسفند تا اردیبهشت مشاهده می‌شود، در حالی‌که کمترین مقادارها مربوط به ماه‌های تیر و مرداد هستند (اغلب کمتر از ۱۰ میلی‌متر).

میانگین کلی بین ایستگاه‌ها در بازه‌ای حدود ۴ تا ۶۵ میلی‌متر در نوسان است، و ایستگاه اردبیل در اغلب ماه‌ها بیشترین مقدار را دارد. این الگو نشان‌دهنده‌ی تمرکز بارش در نیمه‌ی سرد سال و کاهش شدید در تابستان است که با اقلیم کوهستانی شمال غرب ایران سازگار بوده و بیانگر تغییرات شدید فصلی بارش در حوضه قزل‌اوزن می‌باشد.

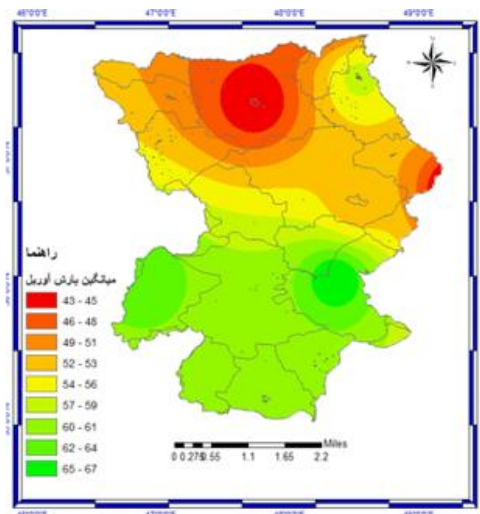
جدول ۲: میانگین بارش ماهانه (میلی‌متر) حوضه قزل‌اوزن

نام ایستگاه	اردبیل	بیجار	خلخال	زنجان	قروه	منجیل	میانه	خداپنده	رشت	زربنه
ژانویه	۲۸/۲۲	۳۷/۳۲	۷۴/۲۷	۹۸/۲۴	۸۸/۲۸	۱۷/۲۰	۳۵/۲۷	۸۳/۳۶	۱۲۳/۴۰	۸۹/۳۲
فوریه	۹۳/۲۳	۱۲/۳۶	۴۷/۴۳	۸۰/۳۱	۳۸/۱۰	۵۲/۲۵	۲۶/۰۳	۵۰/۰۶	۱۲۸/۶۴	۸۴/۴۶
مارس	۳۲/۹۰	۴۳/۴۷	۱۴/۴۳	۱۸/۳۴	۴۷/۷۷	۲۲/۲۹	۶۵/۳۱	۲۱/۵۲	۱۰۲/۲۰	۴۱/۵۳
آوریل	۳۸/۶۰	۶۰/۲۰	۱۳/۵۷	۲۹/۵۱	۴۷/۶۰	۶۷/۳۴	۷۹/۴۲	۶۷/۶۶	۴۵/۶۵	۴۲/۶۳
می	۵۹/۳۷	۲۹/۸۷	۶۰/۴۹	۴۵/۳۸	۳۰/۸۰	۹۶/۱۹	۴۰/۳۴	۷۹/۳۵	۳۲/۲۵	۱۰/۲۸
ژوئن	۱۶/۱۲	۵۶/۵	۴۵/۱۴	۹۳/۸	۶۸/۱	۷۶/۳	۲۹/۷	۹/۰۲	۴۷/۲۸	۸۴/۴
ژوئیه	۲۴/۷	۵۷/۳	۳۶/۱۰	۹۳/۷	۳۷/۱	۹۸/۳	۳۸/۵	۱۳/۷	۵۷/۵۶	۵۱/۲
آگوست	۷۹/۴	۵۳/۳	۳۸/۱۰	۵۰/۳	۱/۷۷	۱۸/۱	۱۸/۳	۲۰/۵	۳۰/۶۴	۵۷/۳
سپتامبر	۱۳/۱۰	۴۴/۲	۶۵/۸	۹۹/۲	۷۱/۱	۹۱/۱	۲۵/۵	۱۷/۲	۱۲۳/۲۳	۲۶/۳
اکتبر	۷۳/۳۰	۲۰/۲۶	۴۹/۳۲	۱۹/۲۱	۶۶/۲۸	۳۲/۱۷	۱۷/۰۳	۱۷/۲۹	۲۰۴/۸۶	۷۴/۳۶
نوامبر	۹۶/۲۹	۵۵/۴۸	۶۵/۴۰	۷۴/۳۵	۹۷/۴۲	۴۵/۳۴	۳۲/۰۳	۸۷/۴۹	۲۰۰/۲۶	۴۸/۴۸
دسامبر	۴۹/۱۹	۷۱/۳۳	۳۲/۲۷	۳۶/۲۷	۵۶/۳۳	۲۰/۲۸	۲۵/۸۱	۲۶/۴۳	۱۴۷/۴۷	۹۱/۳۸

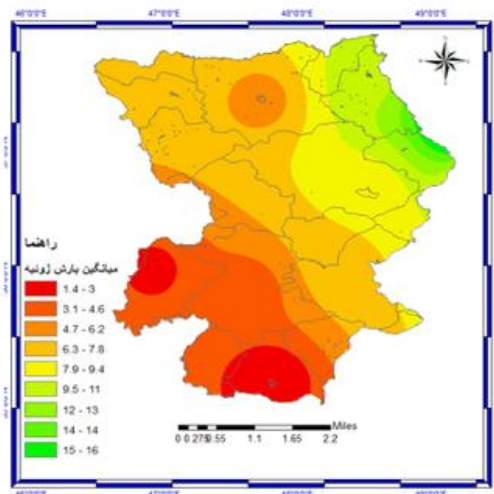
بر اساس نقشه‌های میانگین بارش فصلی حوضه قزل‌اوزن نشان‌دهنده الگوی اقلیمی کاملاً منظم و وابسته به تغییرات فصلی است. فصل بهار بیشترین میزان بارش را دارد و مناطق شمالی و شمال‌شرقی با مقادیر حدود ۵۰ تا ۸۰ میلی‌متر پربارش‌تر از سایر بخش‌ها هستند، در حالی که بخش‌های جنوبی با میانگین ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر بارش کمتری دارند که این تفاوت مکانی عمدتاً به اثر ارتفاعات و جریان‌های مرطوب غربی نسبت داده می‌شود. در فصل تابستان شدت بارش به حداقل مقدار خود می‌رسد و سراسر حوضه با میانگین کمتر از ۱۰ تا ۲۵ میلی‌متر بسیار خشک است؛ رنگ‌های غالب نارنجی و قرمز در نقشه‌های هم‌بارش نشان‌دهنده کاهش چشمگیر نزولات جوی و استیلای اقلیم خشک و گرم تابستانه هستند. با آغاز پاییز بارش‌ها روند افزایشی پیدا می‌کنند و به حدود ۲۰ تا ۶۰ میلی‌متر می‌رسند، نواحی شمالی بارش بیشتری را تجربه می‌کنند و به تدریج زمینه ورود به فصل‌های مرطوب فراهم می‌شود. در زمستان الگوی بارش مشابه بهار است ولی شدت آن اندکی کمتر بوده و مقادیر بین ۳۰ تا ۸۰ میلی‌متر نوسان دارند؛ بیشترین بارش در ارتفاعات شمالی و کمترین در قسمت‌های جنوبی ثبت می‌شود. به‌طور کلی، توزیع بارش سالانه در حوضه قزل‌اوزن به‌صورت فصلی متغیر است، به‌گونه‌ای که از زمستان تا بهار بیشترین مقدار بارش رخ می‌دهد، در تابستان به حداقل رسیده و در پاییز به‌صورت تدریجی افزایش می‌یابد. این توالی بیانگر غلبه سیستم‌های مدیترانه‌ای در نیمه سرد سال و استیلای توده‌های گرم و خشک در تابستان بوده و نشان‌دهنده الگوی بارش کوهستانی با ناهمگنی مکانی واضح است.



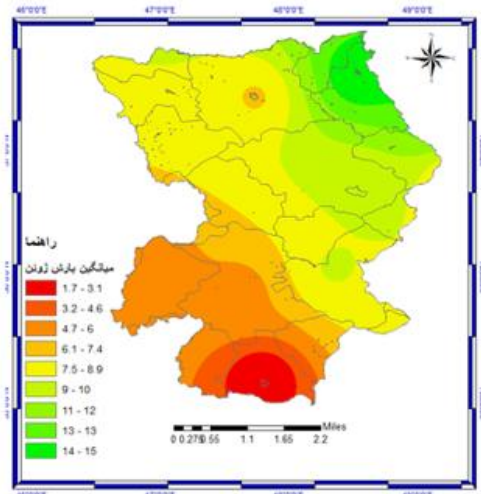
شکل ۳: نقشه میانگین بارش ماه می



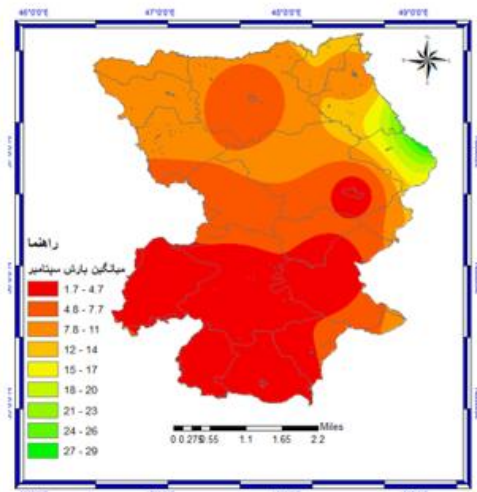
شکل ۲: نقشه میانگین بارش ماه آوریل



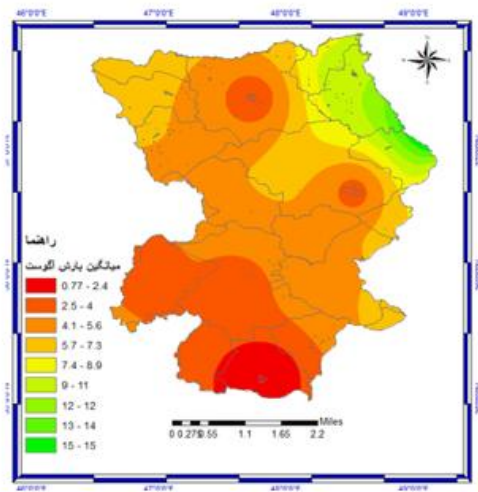
شکل ۵: نقشه میانگین بارش ماه ژوئیه



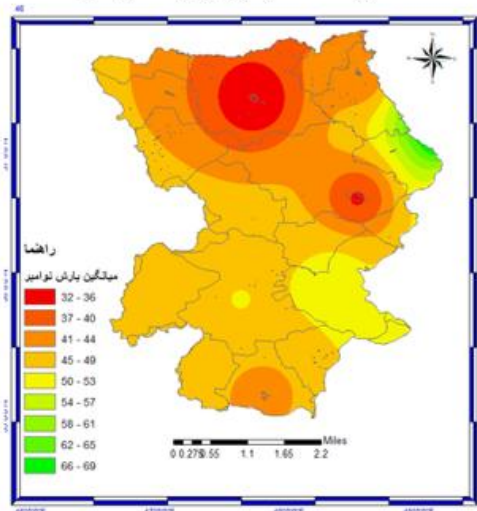
شکل ۴: نقشه میانگین بارش ماه ژوئن



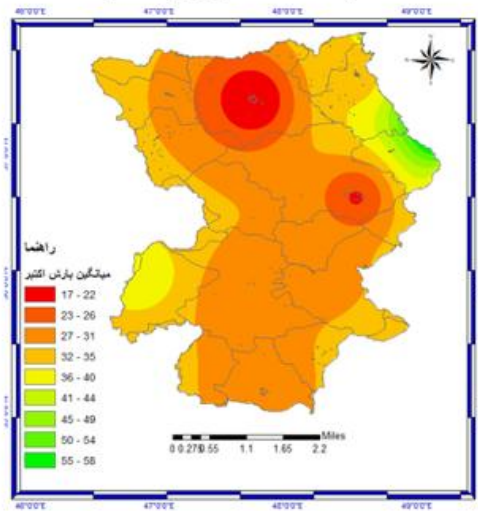
شکل ۷: نقشه میلنگین بارش ماه سپتامبر



شکل ۶: نقشه میلنگین بارش ماه آگوست



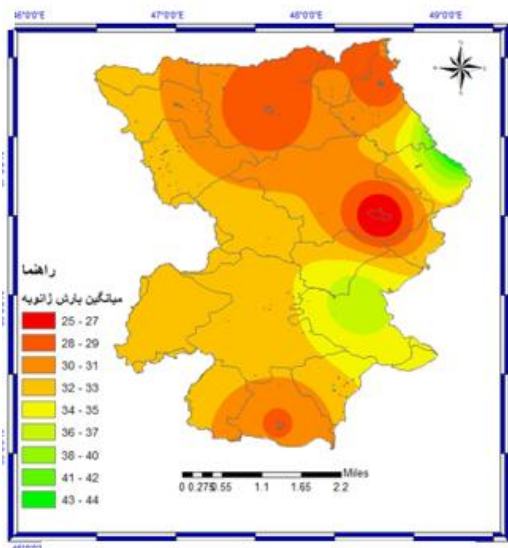
شکل ۹: نقشه میلنگین بارش ماه نوامبر



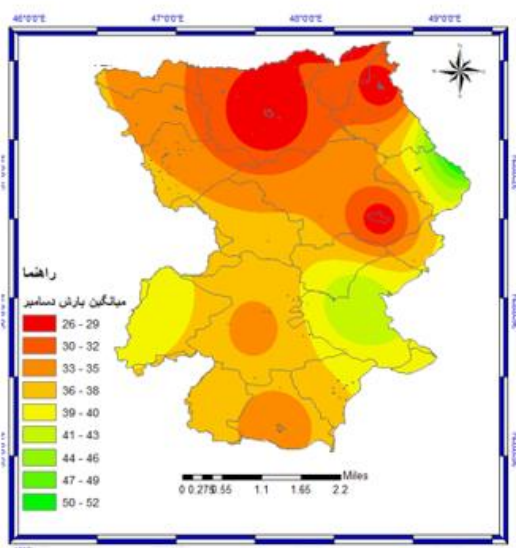
شکل ۸: نقشه میلنگین بارش ماه اکتبر

براساس جدول (۳) نتایج آزمون ناپارامتری

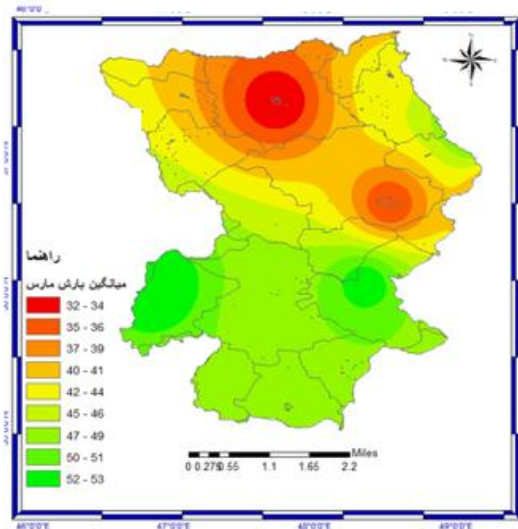
مقیاس ماهانه، کاهشی و با شدت متفاوت



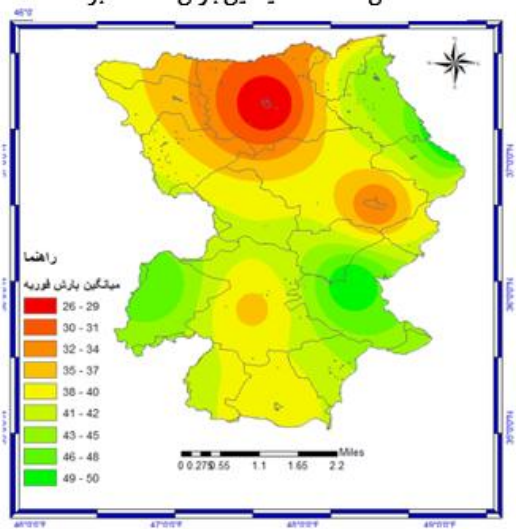
شکل ۱۱: نقشه میانگین بارش ماه ژانویه



شکل ۱۰: نقشه میانگین بارش ماه دسامبر



شکل ۱۳: نقشه میانگین بارش ماه مارس



شکل ۱۲: نقشه میانگین بارش ماه فوریه

در ایستگاه‌های مختلف است. در ماه‌های

من‌کندال در حوضه قزل‌اوزن حاکی از آن

آوریل، می و ژوئن آماره Z در اکثر ایستگاه‌ها

است که روند غالب تغییرات بارش در

منفی بوده و در ماه می ایستگاه رشت به مقدار ۲/۶۱- می رسد که از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار تلقی می شود. این کاهش در ماه ژوئن نیز ادامه می یابد و ایستگاه رشت با ۲/۵۳- میانگین حوضه‌ای ۰/۹۵- بیانگر تضعیف قابل توجه بارش در ماه ژوین و ژوئیه است. ماه سپتامبر با میانگین آماره ۱/۱۳+ در سطح حوضه، بیشترین شدت کاهش را در میان تمام ماه‌های سال نشان می دهد که می تواند با کاهش فعالیت سامانه‌های بارش‌زای پاییزه مرتبط باشد. در تقابل با این روند، ماه اوت با مقدار ۳/۱۵+ در ایستگاه خلخال و میانگین حوضه‌ای ۱/۲۰+ روند افزایشی معناداری را نشان می دهد. در مجموع براساس میانگین سالانه حوضه، ایستگاه‌های قروه (با شدیدترین میزان کاهش)، زرینه، بیجار، خداوند، اردبیل، رشت، زنجان و میانه همگی دارای مقادیر منفی هستند که نشان دهنده تمایل عمومی

اقلیم این مناطق به سمت خشکی یا کاهش بارش در طول دوره آماری مورد نظر است. در مقابل، تنها دو ایستگاه منجیل و خلخال دارای روند افزایشی (مقادیر مثبت) هستند که در این میان، ایستگاه منجیل بیشترین میزان رشد مثبت بارش را در میان تمامی ایستگاه‌ها نشان می دهد. بررسی مقادیر شیب سن بارش در جدول (۴) در ایستگاه‌های حوضه قزل اوزن نشان می دهد که الگوی تغییرات زمانی بارش از ناهمگنی مکانی و فصلی قابل توجهی برخوردار است. بیشترین شیب تغییرات افزایشی بارش در ایستگاه رشت مشاهده می شود، به طوری که شیب سن در ماه‌های ژانویه، فوریه و نوامبر به ترتیب برابر با ۱/۱۴، ۱/۸۸ و ۱/۳۰ بوده که بیانگر تشدید بارش در بخش‌های شمالی حوضه است. پس از آن، ایستگاه منجیل نیز در ماه نوامبر با شیب ۰/۹۵ و فوریه با شیب ۰/۴۱ تغییرات افزایشی قابل ملاحظه‌ای را نشان می دهد. در مقابل، برخی ایستگاه‌ها

شیب تغییرات کاهشی بارزتری دارند؛ (ژوئن تا اوت) در اکثر ایستگاه‌ها نزدیک به به‌عنوان نمونه در ایستگاه رشت مقدار شیب در سپتامبر به ۲/۳۸- و در ژوئن به ۱/۲۱- می‌رسد که بیشترین مقادیر منفی جدول را تشکیل می‌دهد. همچنین در ایستگاه‌های خدابنده، میانه و قروه در ماه‌های بهاری مقادیر منفی متعددی مشاهده می‌شود؛ به‌عنوان مثال شیب سن در ماه مه برای خدابنده ۵۵/۰-، در میانه ۱۲/۰- و در قروه ۳۷/۰- است که نشان‌دهنده کاهش بارش‌های بهاره در بخش‌های مرکزی حوضه می‌باشد. از سوی دیگر، مقادیر شیب سن در ماه‌های تابستان

(ژوئن تا اوت) در اکثر ایستگاه‌ها نزدیک به صفر است؛ به‌طوری‌که در ماه اوت مقادیر بین ۱۷/۰- در خلخال تا ۰/۰۲- در اردبیل نوسان دارد که بیانگر نبود روند مشخص در بارش‌های تابستانه است. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که افزایش بارش عمدتاً در ماه‌های سرد سال و به‌ویژه در ایستگاه‌های شمالی و متأثر از رطوبت دریای خزر رخ داده، در حالی که بخش‌های داخلی حوضه عمدتاً با کاهش بارش در فصل بهار مواجه بوده‌اند؛ موضوعی که می‌تواند حاکی از تغییر در الگوی فصلی بارش و تمرکز بیشتر بارندگی‌ها در نیمه سرد سال باشد.

نام ایستگاه	اردبیل	میانه	خلخال	بیجار	زربنه	قروه	رشت	منجیل	خدابنده	زنجان
ژانویه	-۰/۱۱	-۱/۶۱	-۰/۶۸	-۰/۲۵	-۱/۶۶	۰/۶۹	۱/۲۱	۰/۴۶	-۰/۸۹	-۰/۴۳
فوریه	۱/۳۷	۰/۷۳	۱/۴۳	۱/۴۴	۰/۹۴	۰/۱۱	۰/۸۸	۱/۱۴	-۰/۳۶	۰/۲۸
مارس	-۱/۵۶	-۰/۳۶	۱/۱۳	-۰/۴۳	۰/۰۹	-۱/۰۷	۰/۱۷	۰/۰۲	-۰/۶۶	-۰/۰۲

آوریل	-۰/۵۸	-۰/۷۷	-۰/۴۱	-۰/۹۶	-۱/۵۶	-۰/۵۱	-۰/۳۲	-۰/۷۳	-۰/۵۱	-۰/۵۱
می	-۰/۴۳	۰/۲۴	-۰/۹۰	-۱/۶۳	-۱/۲۲	-۱/۰۳	-۲/۶۱	-۰/۸۱	-۱/۱۱	-۰/۴۳
ژوئن	-۰/۳۲	۰/۰۸	-۰/۶۴	-۱/۳۳	-۱/۳۷	-۱/۸۶	-۲/۵۳	-۰/۵۱	-۱/۰۹	-۰/۹۶
ژوئیه	-۰/۵۳	-۰/۶۹	-۰/۹۲	-۱/۰۱	-۰/۶۸	-۰/۸۴	۱/۶۳	۰/۶۹	۰/۳۴	-۰/۵۶
آگوست	۰/۳۹	۱/۱۳	۳/۱۵	۱/۴۴	۱/۲۹	-۰/۱۱	-۱/۳۸	۱/۸۹	۱/۲۴	۰/۹۸
سپتامبر	-۰/۸۶	-۱/۵۲	-۰/۸۸	-۱/۸۹	-۱/۰۵	-۰/۸۸	-۱/۱۱	-۱/۴۴	-۱/۳۵	-۱/۳۷
اکتبر	۱/۰۹	۰/۸۶	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۷۳	۰/۰۸	۰/۰۹	۱/۱۴	۰/۱۳	۰/۳۹
نوامبر	-۱/۲۶	-۰/۰۲	-۰/۱۳	۰/۵۱	۰/۹۲	-۰/۳۶	۰/۵۱	۱/۵۰	۰/۶۲	۰/۳۸
دسامبر	۰/۵۱	۱/۲۸	۰/۷۹	۰/۷۳	۰/۱۰	۰/۶۲	۰/۲۱	۰/۶۲	۰/۵۱	۰/۵۸
میانگین	-۰/۱۹	-۰/۰۵	۰/۲۰	-۰/۲۷	-۰/۲۸	-۰/۵۶	-۰/۱۸	۰/۳۳	-۰/۲۶	-۰/۱۳

جدول ۳: روند من-کندال بارش حوضه قزل اوزن

جدول ۴: مقادیر شیب سن بارش حوضه قزل اوزن

نام ایستگاه	اردیبل	بیجار	خلخال	زنجان	قروه	منجیل	میانه	خدابنده	رشت	زربنه
ژانویه	-۰/۱۰	-۰/۰۹	-۰/۰۷	-۰/۱۵	-۰/۴۳	۰/۱۳	-۰/۶۲	-۰/۳۴	۱/۱۴	-۰/۶۸
فوریه	۰/۳۳	۰/۴۰	-۰/۸۴	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۴۱	۰/۲۶	-۰/۰۷	۱/۸۸	-۰/۴۳
مارس	-۰/۴۲	-۰/۲۴	۰/۴۶	-۰/۰۲	-۰/۶۹	۰/۰۱	-۰/۱۹	-۰/۳۱	۰/۲۰	۰/۰۶
آوریل	-۰/۲۳	-۰/۹۷	-۰/۲۶	-۰/۳۴	-۰/۴۵	-۰/۳۱	-۰/۵۱	-۰/۴۱	-۰/۲۲	-۱/۵۱
می	-۰/۱۵	-۰/۸۶	-۰/۴۳	-۰/۲۰	-۰/۳۷	-۰/۲۶	۰/۱۲	-۰/۵۵	-۱/۲۱	-۰/۳۷
ژوئن	-۰/۰۷	-۰/۰۴	-۰/۰۷	-۰/۰۳	-۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۵	-۱/۷۱	-۰/۰۶
ژوئیه	-۰/۴۰	۰/۰۰	-۰/۲۴	-۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۱۳	-۰/۰۱
آگوست	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۴۵	۰/۰۰
سپتامبر	-۰/۱۴	۰/۰۰	-۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۱	-۰/۱۰	-۰/۰۱	-۲/۳۸	۰/۰۰
اکتبر	۰/۴۶	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۲۴	-۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۴۴	۰/۲۲
نوامبر	-۰/۵۰	۰/۳۷	-۰/۰۷	۰/۳۵	-۰/۲۱	-۰/۹۵	-۰/۰۲	۰/۴۹	۱/۲۰	۰/۵۲
دسامبر	۰/۱۷	۰/۴۶	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۲۲	-۰/۴۶	۰/۳۳	۰/۵۱	۰/۱۴

فصول بیشترین شدت کاهش بارش را

بررسی الگوهای بارش در فصل تابستان در

تجربه کرده و تضعیف تدریجی بارش‌ها،

حوضه قزل‌اوزن بر اساس جدول (۳) و با

سیمای اقلیمی حوضه را به سمت خشکی

توجه به شکل‌های (۱۵، ۱۶، ۱۷) آشکار

بیشتر سوق داده است. ارزیابی نتایج آزمون

می‌کند که این فصل در مقایسه با دیگر

من-کندال برای سه‌ماهه‌ی تابستان نشان می‌دهد که روند کاهش بارش از ماه ژوئن با بیشترین شدت آغاز می‌شود؛ سپس در ژوئیه اندکی تعدیل می‌یابد و نهایتاً در اوت به کم‌دامنه‌ترین مقدار خود می‌رسد. این تغییر تدریجی، بازتابی از کاهش تأثیر سامانه‌های بارش‌زا و غلبه‌ی الگوهای واچرخندی بر منطقه در فصل گرم سال است. ماه ژوئن آغازگر روند شدید کاهش بارش است؛ ماهی که در همه‌ی ایستگاه‌های حوضه با روند منفی همراه بوده و میانگین آماره‌ی آن بیش از سایر ماه‌های تابستان شدت دارد. در این ماه بیشترین مقدار منفی آماره در ایستگاه قروه با ۱/۸۶- و پس از آن در زنجان با ۱/۳۷- ثبت شده است که نشان‌دهنده‌ی آسیب‌پذیری بیشتر بخش‌های جنوبی و مرکزی حوضه است. در مقابل، ایستگاه‌های شمالی همچون رشت با مقدار ۰/۵۲- روندی بسیار ضعیف‌تر را تجربه کرده‌اند.

نقشه‌های پهنه‌بندی نیز این نابرابری مکانی را تأیید کرده و تمرکز هسته‌های شدید کاهش را در جنوب و جنوب‌شرقی حوضه به نمایش می‌گذارند. با ورود به ژوئیه، روند کاهش بارش همچنان پابرجاست اما شدت آن نسبت به ژوئن کمتر می‌شود. مقادیر Z در این ماه بین ۰/۵۲- در رشت تا ۱/۶۳- در قروه نوسان دارد و میانگین حوضه به حدود ۱/۰۶- می‌رسد. اگرچه بار دیگر قروه بیشترین کاهش را تجربه می‌کند، اما شدت روند در بیشتر ایستگاه‌ها نسبت به ماه پیشین کاهش یافته و الگوهای مکانی نیز نشان می‌دهند که بخش‌های شمالی حوضه به مراتب پایدارتر هستند و کاهش‌ها بیشتر در جنوب متمرکز است. در ماه اوت، روند کاهشی بارش به کمترین مقدار خود در فصل تابستان می‌رسد. مقدار Z در این ماه در بازه‌ای میان ۰/۶۲- تا ۱/۱۴- قرار می‌گیرد و میانگین کلی حوضه برابر حدود ۰/۹۵- است که نشان‌دهنده‌ی ثبات بیشتر

شرایط در پایان فصل است. نقشه‌های پهنه‌بندی نیز مؤید آن است که گستره‌ی کاهش شدید در جنوب محدودتر شده و بخش‌های شمالی و مرکزی حوضه شرايطی نزدیک به ثبات را نشان می‌دهند. فصل تابستان در حوضه‌ی قزل‌اوزن با الگوی ناهمگون و شدت‌گرفته‌ی کاهش بارش همراه است؛ به‌طوری‌که ایستگاه‌های جنوبی، به‌ویژه قروه با دامنه‌ی تغییراتی بین ۱/۸۶- تا ۱/۱۴-، بالاترین حساسیت را به کاهش بارش نشان می‌دهند، در حالی‌که ایستگاه‌های شمالی همچون رشت در بازه‌ی ۰/۵۲- تا ۰/۶۲- کمترین شدت کاهش را ثبت کرده‌اند. این الگوی فضایی-زمانی گواهی است بر استمرار خشکی تابستانه و تضعیف بارش‌های گرم‌فصل طی سال‌های اخیر، امری که می‌تواند مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی‌های اقلیمی منطقه را بیش از پیش تحت تأثیر قرار دهد.

در فصل پاییز، با توجه شکل‌های (۱۸، ۱۹، ۲۰) روند بارش بر پایه آزمون من-کندال نشان می‌دهند که حوضه‌ی قزل‌اوزن وارد مرحله‌ای از گذار اقلیمی بین خشکی تابستان و ترسالی زمستان می‌شود؛ اما این گذار، چنان‌که داده‌ها و نقشه‌های پهنه‌بندی روشن می‌سازند، الگوی مکانی نسبتاً ناهمگنی دارد. نتایج جدول آماره‌ها نشان می‌دهد که روند کلی بارش در فصل پاییز گرایش به کاهش دارد، ولی شدت این روند در بخش‌های مختلف حوضه متفاوت است. میانگین آماره‌ی Z برای فصل حدود ۰/۹۱- برآورد شده و بیانگر کاهش خفیف تا متوسط بارش در مقیاس حوضه‌ای است. در ماه سپتامبر، آغاز فصل، شرایط هنوز تحت تأثیر خشکی تابستان پیشین قرار دارد. در این ماه تقریباً همه‌ی ایستگاه‌ها روندی منفی ثبت کرده‌اند. ایستگاه قروه با Z برابر ۱/۳۸- و ایستگاه زنجان با Z حدود

۱/۲۶- بیشترین میزان کاهش را نشان داده‌اند، که این امر با لکه‌های قرمز و نارنجی جنوب حوضه در نقشه‌ی پهنه‌بندی کاملاً منطبق است. در مقابل، ایستگاه‌های شمالی مانند رشت ۰/۴۵- و منجیل ۰/۵۸- روند منفی خفیف‌تری داشته‌اند. این تفاوت بیانگر سلطه‌ی الگوهای خشک جنوب‌غربی و پایداری نسبی رطوبت در شمال متاثر از دریای خزر است. ماه اکتبر را می‌توان نقطه‌ی تعادل اقلیمی فصل دانست؛ ماهی که در آن شدت کاهش بارش در بخش‌های جنوبی هنوز قابل‌توجه است، اما پهنه‌ی شمال و مرکز نشانه‌هایی از بهبود را نشان می‌دهد. در این ماه مقدار آماره‌ی Z برای قروه به حدود ۱/۱۷- کاهش یافته و زنجان ۰/۹۴-، در حالی که ایستگاه‌های بیجار و ابهر روندی میانه در حدود ۰/۸۵- تا ۰/۷۵- را ثبت کرده‌اند. شمال حوضه، به‌ویژه ایستگاه‌های رشت و منجیل، تغییر جهت ملایمی را به سمت افزایش بارش نشان می‌دهند) به ترتیب ۰/۱۸+ و ۰/۲۴+، آن‌چنان که در نقشه (۲۳)، رنگ‌های سبز روشن بر پهنه‌های شمال شرقی ظاهر شده است. این تحول مکانی بیانگر آغاز نفوذ جریان‌ات مرطوب خزری و تعدیل شرایط خشک تابستانی در اکتبر است. در ماه نوامبر، روند کلی بارش در حوضه اندکی به سمت مثبت تغییر جهت می‌دهد. کاهش‌ها در جنوب و جنوب‌غرب محدودتر شده و شمال و شمال شرقی با تثبیت مقادیر مثبت، وضعیت ترسالتی را تجربه می‌کنند. طبق داده‌های جدول، ایستگاه قروه همچنان با ۰/۹۸- دارای روند منفی است، اما زنجان به ۰/۶۳- و بیجار به ۰/۵۲- رسیده‌اند، که نشان از تعدیل محسوسی دارد. در همین حال، ایستگاه‌های رشت و منجیل بالاترین مقادیر مثبت را ثبت کرده‌اند، به ترتیب ۰/۳۴+ و ۰/۴۲+، ناحیه‌ی شمالی حوضه را به کانون رطوبتی پاییز بدل ساخته‌اند. نقشه‌ی روند نوامبر با لکه‌ی

سبز تیره در شمال حوضه، این تغییر اقلیمی را به روشنی نمایان می کند فصل پاییز نشان می دهد که گرچه میانگین روند بارش فصل هنوز منفی است، اما الگوی تغییر در طول ماه ها حاکی از کاهش تدریجی شدت افت بارش و حرکت به سمت شرایط پایداری و مرطوب تر در نیمه ی شمالی حوضه است. در مجموع، ایستگاه های جنوبی مانند قروه، زنجان و بیجار بیشترین کاهش را در سراسر فصل تجربه کردند، در حالی که ایستگاه های شمالی مانند رشت و منجیل کمترین کاهش و حتی افزایش بارش را ثبت کردند. در مجموع، فصل پاییز در حوضه ی قزل اوزن مرحله ی گذار از خشکی تابستان به ترشدگی زمستان را رقم می زند؛ مرحله ای که در آن روندهای آماری از منفی شدید در ابتدای فصل، به پایداری و حتی مقادیر مثبت در انتهای آن تغییر می کنند. چنین ساختاری نه تنها بازتابی از رفتار زمانی سامانه های بارش است، بلکه الگوی فضایی مشخصی از تباین جنوب و شمال حوضه را آشکار می سازد؛ تباینی که درک آن برای تحلیل پویایی منابع آب و ارزیابی خطر خشکی های منطقه ای در سال های آینده ضرورتی انکارناپذیر دارد.

فصل زمستان در حوضه ی قزل اوزن فصلی است که انتظار می رود سامانه های بارشی مدیترانه ای و بادغربی نقش پررنگ تری پیدا کنند و بتوانند بخشی از کسری رطوبت نیمه گرم سالی را جبران کنند؛ اما روندهای بلندمدت بارش نشان می دهد که چهره ی زمستان نیز یکپارچه و هماهنگ نیست. نقشه های پهنه بندی حاصل از آزمون من-کندال برای سه ماه دسامبر، ژانویه و فوریه، الگویی آشکار از تباین جنوب و شمال، و گذار تدریجی از کاهش به پایداری و در نهایت افزایش بارش را در پهنه ی حوضه ترسیم می کنند. مقدار میانگین Z فصل در حدود -0.78 برآورد می شود، با این حال

پراکندگی مکانی نشان می‌دهد که بارش زمستان در بخش‌های مختلف رفتار بسیار متفاوتی داشته است. ماه دسامبر در آغاز فصل، تصویری نسبتاً ناهمگون از روند بارندگی ارائه می‌دهد. جنوب حوضه، به‌ویژه نواحی منطبق با ایستگاه‌های قروه، لکه‌های قرمز پررنگی را نشان می‌دهد که مطابق آن‌ها مقدار Z برای قروه حدود $1/45-$ برآورد می‌شود و این ایستگاه بیشترین کاهش بارش را در ماه نخست زمستان تجربه کرده‌اند. این کاهش شدید با خشکسالی‌های پاییز در جنوب پیوستگی دارد و نشان می‌دهد که ورود سامانه‌های بارشی آغاز زمستان نتوانسته بر الگوی خشک انباشته‌شده غلبه کند. در مقابل، شمال حوضه به‌ویژه حوالی ایستگاه‌های رشت، منجیل، با لکه‌های سبز پررنگ، روندی مثبت را تجربه می‌کنند. مقدار Z برای رشت حدود $0/42+$ و برای منجیل $0/35+$ تخمین زده می‌شود؛ پدیده‌ای که بیانگر آغاز فعال‌شدن جریانات خزری و تقویت رطوبت‌گیری در شمال حوضه است. با ورود به ماه ژانویه، دگرگونی بارزتری در نقشه روند به چشم می‌خورد. شدت کاهش بارش در جنوب حوضه کاهش یافته و پهنه‌های قرمز جای خود را به نارنجی و زرد می‌دهند. ایستگاه قروه با Z برابر $1/18-$ و زنجان با $0/95-$ هنوز روند منفی دارند، اما کاهش آن‌ها نسبت به دسامبر روشن است. در بخش‌های مرکزی حوضه—نواحی منطبق با ایستگاه‌های ابهر و بیجار—مقادیر Z نزدیک به صفر (حدود $0/32-$ تا $0/18-$) مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی پایداری بارش و نبود روند معنادار در این ماه است. در شمال اما، روند مثبت تقویت شده است. ایستگاه‌های رشت و منجیل با مقادیر Z در حدود $0/53+$ و $0/41+$ نشان می‌دهند که نیمه‌ی شمالی حوضه در ژانویه بیش از هر زمان دیگری از زمستان، وارد الگوی ترسالی شده است.

لکه‌های سبز پهنه‌ی شمالی نقشه ژانویه گواه روشنی بر این تحول مکانی‌اند. ماه فوریه نقطه‌ی اوج تضاد اقلیمی زمستان در قزل‌اوزن است؛ ماهی که در آن روندهای مثبت در شمال به بیشترین گستره‌ی خود می‌رسند و در مقابل، جنوب همچنان گرایش به کاهش بارش را حفظ می‌کند، اگرچه شدت آن نسبت به دو ماه قبل تعدیل یافته است. در این ماه، ایستگاه‌های جنوبی مانند قروه و زنجان به ترتیب مقادیر Z برابر $-0/92$ و $-0/75$ دارند، که نشان‌دهنده‌ی تداوم کاهش ملایم است. اما شمال حوضه، به‌ویژه پیرامون ایستگاه‌های رشت، منجیل با لکه‌های سبز پهن و گسترده، بیشترین افزایش بارش را ثبت می‌کند. مقدار Z در این ماه برای رشت $+0/62$ ، برای منجیل حدود $+0/48$ برآورد می‌شود. نقشه‌ی فوریه با لکه‌ی سبز تیره در شمال‌مرکز حوضه به‌روشنی بیانگر تثبیت بارش‌های زمستانی در شمال و

تقویت نقش جریان‌های خزری است. در جمع‌بندی فصل زمستان می‌توان گفت که ساختار بارش در حوضه‌ی قزل‌اوزن در این فصل الگویی دوپاره و متضاد دارد. جنوب حوضه، شامل قروه، زنجان و بیجار بیشترین کاهش را در طول زمستان تجربه کرده و میانگین Z ماهانه در این بخش‌ها بین $-0/90$ تا $-1/30$ -نوسان دارد. در مقابل، شمال حوضه شامل رشت، منجیل طی هر سه ماه زمستان روندی مثبت را ثبت کرده و میانگین Z آن‌ها در حدود $+0/40$ تا $+0/50$ گرفته است. این تفاوت نه‌تنها بیانگر نقش تعیین‌کننده‌ی سامانه‌های خزری در رطوبت‌گیری شمال حوضه است، بلکه نشان می‌دهد که جنوب و جنوب‌غرب حوضه همچنان در معرض خشکی‌های ساختاری باقی مانده و سامانه‌های غربی نتوانسته‌اند کاهش‌های بلندمدت را جبران کنند.

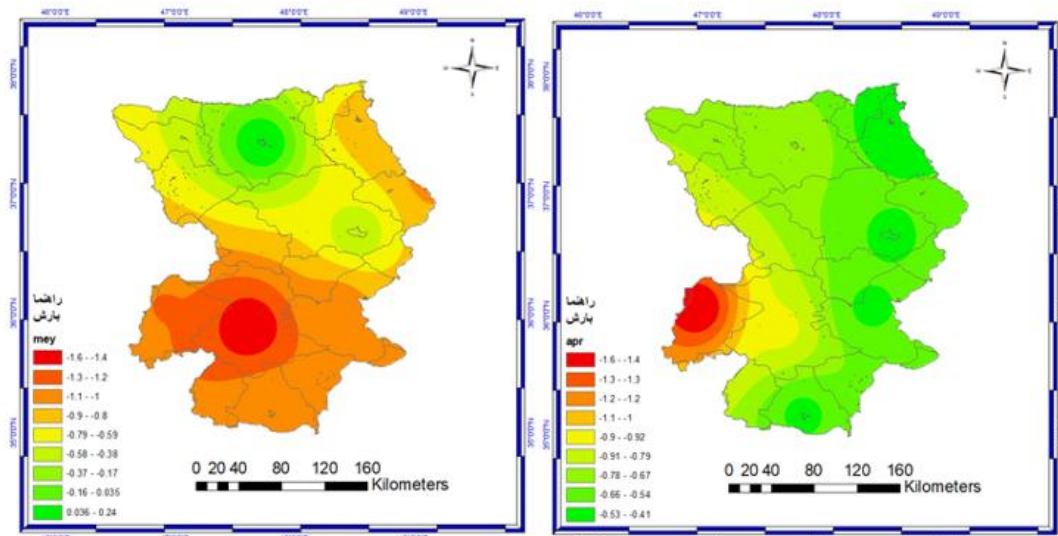
۴. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که روند بارش در حوضه قزل‌اوزن از الگوی یکپارچه پیروی نمی‌کند؛ به‌گونه‌ای که بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی حوضه طی دهه‌های اخیر با روند افزایشی بارش به‌ویژه در زمستان روبه‌رو بوده‌اند، در حالی که نواحی جنوبی و جنوب‌غربی هم‌چنان روندهای منفی یا کاهش ملایم بارش را تجربه می‌کند. تحلیل آزمون من-کندال در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه نشان داد که گرچه جنوب حوضه در ابتدای فصل بیشترین کاهش را ثبت کرده است، اما شمال حوضه در تمام ماه‌های زمستان روند افزایشی پایدار و معنادار داشته است، این افزایش بارش زمستانی را می‌توان با تغییر در الگوهای گردش جوی، جابه‌جایی مسیر سامانه‌های باران‌زا و تغییرات اقلیمی منطقه‌ای مرتبط دانست (Zarenistanak et al., ۲۰۱۴; Lionello et al., ۲۰۱۶).

تضاد شدید شمال و جنوب قزل‌اوزن با یافته‌های پژوهش‌های گسترده‌تر در ایران هم‌خوانی دارد. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که طی چند دهه اخیر، بخش‌هایی از شمال و شمال‌غرب ایران از پایداری یا افزایش نسبی بارش برخوردار بوده‌اند، در حالی که بسیاری از مناطق مرکزی و جنوبی کشور روند کاهشی بارش را تجربه کرده‌اند (Tabari & Hosseinzadeh Talaei, ۲۰۱۱; Raziei et al., ۲۰۱۴). این الگو در مقیاس منطقه‌ای نیز با یافته‌های مطالعات شرق مدیترانه سازگار است؛ جایی که گرمایش سطحی، افزایش دینامیک پرفشار جنب‌حاره‌ای و تغییر مسیر تراف‌های مدیترانه‌ای موجب کاهش بارش در عرض‌های میانی پایین و افزایش بارش در نواحی خزری و اوراسیایی شده است (Kelley et al., ۲۰۱۵). تحلیل‌های این پژوهش نشان می‌دهد که تقویت رطوبت زمستانی در شمال حوضه قزل‌اوزن می‌تواند

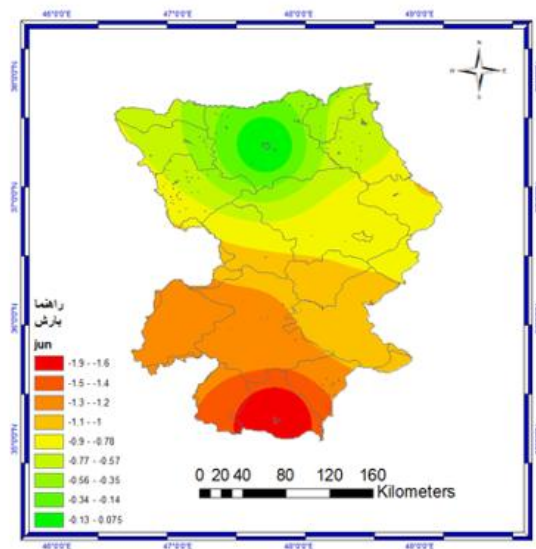
نقش مهمی در تأمین رواناب، شارژ آبخوان ها و پایداری منابع آب داشته باشد. اما در مقابل، تداوم روندهای منفی در جنوب حوضه که به‌ویژه در پاییز و زمستان نمایان بوده است خطر تشدید فشارهای هیدرولوژیکی، افت منابع آب زیرزمینی و افزایش آسیب‌پذیری هیدرو-اقلیمی را بالا می‌برد. از این رو، نتایج پژوهش حاضر ضمن تأیید مطالعات مشابه، ضرورت بازنگری در سیاست‌های مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی سازگاری اقلیمی را مورد تأکید قرار می‌دهد؛ سیاست‌هایی که باید

مبتنی بر واقعیت ناهمگونی فضایی بارش، شکنندگی جنوب حوضه، و اهمیت حیاتی بارش زمستان در تأمین آب سالانه باشد. به‌صورت کلی، می‌توان نتیجه گرفت که حوضه قزل‌اوزن در حال گذار به الگوی اقلیمی نوسانی‌تری است. الگویی که در آن افزایش بارش‌های شمالی هم‌زمان با کاهش‌های جنوبی، تصویری ناهمگون و پویا از آینده هیدرولوژیکی منطقه ترسیم می‌کند؛ تصویری که برنامه‌ریزی منابع آب، آبخیزداری و مدیریت ریسک خشکسالی باید به‌طور جدی به آن توجه کند.

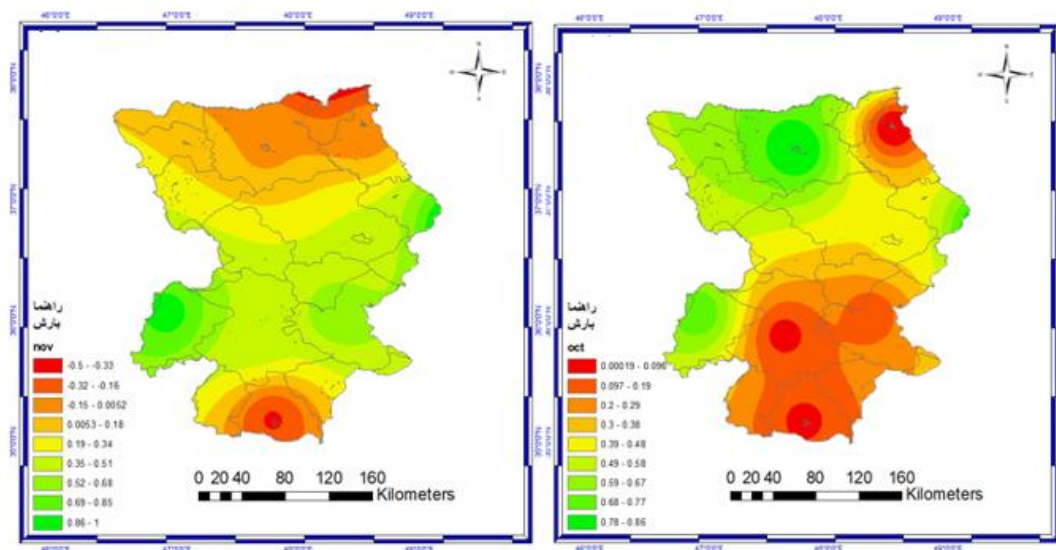


شکل ۱۵: نقشه من-کندال بارش ماه می

شکل ۱۴: نقشه من-کندال بارش ماه آوریل

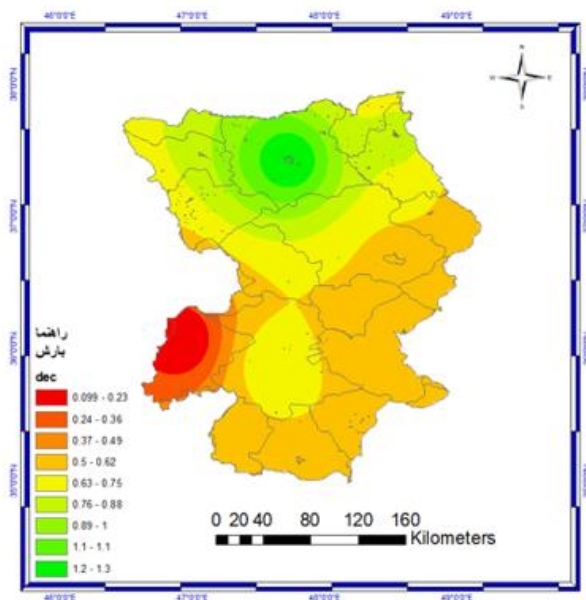


شکل ۱۶: نقشه من-کندال بارش ماه ژوئن

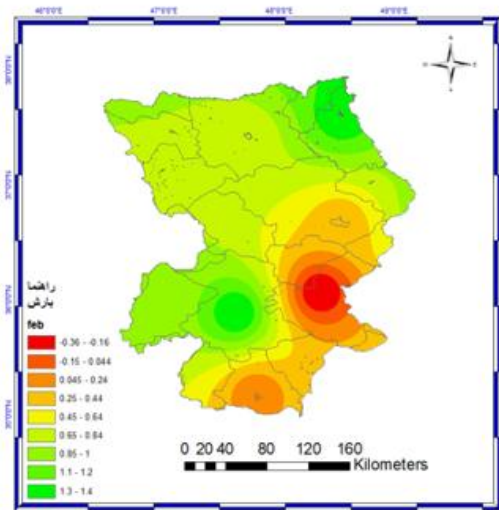


شکل ۲۰: نقشه من-کندال بارش ماه اکتبر

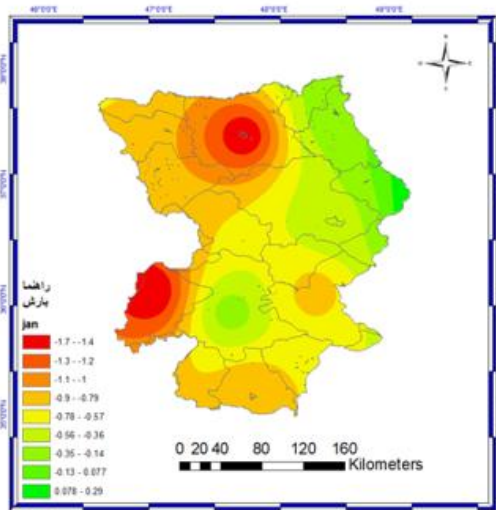
شکل ۲۱: نقشه من-کندال بارش ماه نوامبر



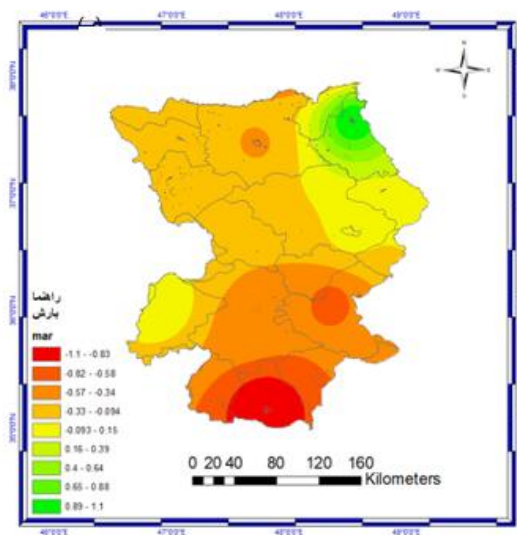
شکل ۲۲: نقشه من-کندال بارش ماه دسامبر



شکل ۲۴: نقشه من-کندال بارش ماه فوریه



شکل ۲۳: نقشه من-کندال بارش ماه ژانویه



شکل ۲۵: نقشه من-کندال بارش ماه مارس

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان های تأمین مالی دریافت نکرده است.
تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
برگرفته از پایان نامه / رساله: این مقاله برگرفته از پایان نامه الهام لطفی بوده است.

References

- AghaKouchak, A., & Madani, K. (2018). *Climate change and water challenges in Iran. Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 60(6), 24–35.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). **Climate change 2021: The physical science basis**. Cambridge University Press.
- Kelley, C. P., Mohtadi, S., Cane, M. A., Seager, R., & Kushnir, Y. (2015). *Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112*(11), 3241–3246.
- Kendall, M. G. (1975). **Rank correlation methods* (4th ed.)*. Charles Griffin.
- Lionello, P., Abrantes, F., Gacic, M., Planton, S., Trigo, R., & Ulbrich, U. (2016). *The climate of the Mediterranean region: Research progress and climate change impacts. *Regional Environmental Change*, 16*(6), 1485–1497.
- Raziei, T., Bordi, I., & Pereira, L. S. (2009). *An application of the SPI to analysis of drought in Iran. *Water Resources Management*, 23*(5), 987–1001.
- Raziei, T., Saghaifan, B., Paulo, A. A., Pereira, L. S., & Bordi, I. (2014). *Spatial patterns and temporal trends of precipitation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 115*(3–4), 531–540.
- Raziei, T., & Saghaifan, B. (2021). *Trends in meteorological drought characteristics across Iran under climate variability. *Theoretical and Applied Climatology*, 145*(1–2), 567–582.
- Seneviratne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., et al. (2021).

- Weather and climate extreme events in a changing climate. In V. Masson-Delmotte et al. (Eds.), *Climate change 2021: The physical science basis* (pp. 1513–1766). Cambridge University Press.*
- Tabari, H. (2020). *Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability.* *Scientific Reports, 10*, 13768.
 - Tabari, H., & Hosseinzadeh Talaei, P. (2011). *Temporal variability of precipitation over Iran: 1966–2005.* *Journal of Hydrology, 396*(3–4), 313–320.
 - Westra, S., Fowler, H. J., Evans, J. P., Alexander, L. V., Berg, P., Johnson, F., Kendon, E. J., Lenderink, G., & Roberts, N. M. (2014). *Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. Reviews of Geophysics, 52(3), 522–555.*
 - Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). *Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series.* *Journal of Hydrology, 259*(1–4), 254–271.
 - Yue, S., & Wang, C. Y. (2004). *The Mann–Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series.* *Water Resources Management, 18*(3), 201–218.
 - Zarenistanak, M., Dhorde, A. G., & Kripalani, R. H. (2014). *Trend analysis and change point detection of annual and seasonal precipitation and temperature series over southwest Iran.* *Journal of Earth System Science, 123(2), 281–295.*