

Research Article

Vol. 39, No. 3, Jul.-Agu. 2025, p. 313-327

Analysis of Temperature and Precipitation Trends and Their Impact on the Reproductive and Vegetative Thresholds and Cultivation Range of Jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.)

M. Asadi ^{1*}

1- Department of Geography Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran

(*- Corresponding Auteur Email: Asadi.m@cfu.ac.ir)

Received: 03 March 2025

Revised: 01 April 2025

Accepted: 24 June 2025

Available Online: 24 June 2025

How to cite this article:

Asadi, M. (2025). Analysis of temperature and precipitation trends and their impact on the reproductive and vegetative thresholds and cultivation range of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.). *Journal of Water and Soil*, 39(3), 313-327. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.2025.92455.1473>

Introduction

Human activities and the substantial increase in greenhouse gas concentrations-particularly carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O) have exacerbated global warming and triggered significant alterations in climatic patterns. Consequently, climate change has emerged as a critical challenge for natural resource management and agricultural systems in recent decades. These changes, especially temperature and precipitation fluctuations, directly impact plant phenological and vegetative cycles and may even shift the suitable geographical ranges for cultivating certain plant species. Among these species is *Ziziphus jujuba* Mill. (Family: Rhamnaceae), a medicinally valuable plant that exhibits relative adaptability to arid and semi-arid climates, such as those in Iran. However, it remains vulnerable to climate change impacts. Historically cultivated in South Khorasan Province, this region now accounts for over 72% of Iran's jujube production. Investigating climatic trends and their effects on the reproductive and vegetative thresholds of *Ziziphus jujuba* is both scientifically and practically significant. Such analyses enhance our understanding of regional climate change dynamics and facilitate predictive assessments of its agricultural consequences. Therefore, the objective of the present study was to identify the reproductive and vegetative thresholds of jujube throughout the year in the counties of South Khorasan Province and to spatially analyze these thresholds in terms of temperature and precipitation, both under baseline conditions and future scenarios influenced by trends in temperature and precipitation changes.

Material and Methods

In this study, the modified Mann-Kendall test, Sen's slope estimator, and linear regression analysis were employed to analyze trends in data related to determining the cultivation range of the jujube plant. The study data included monthly temperature and precipitation averages from seven synoptic stations within the study area, covering a statistical period of 25 years from 2000 to 2024. These data were extracted from the National Meteorological Organization and served as the foundation for the study. Station data were converted into z-scores using the modified Mann-Kendall test in Minitab software. Additionally, linear trends of variables such as minimum temperature, maximum temperature, mean temperature, precipitation, sunshine hours, and hot days, along with their corresponding slopes, were examined.



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jsw.2025.92455.1473>

Results and Discussion

Jujube plants, like other plant species, require specific temperature ranges for optimal growth during different vegetative and reproductive stages. This study examined the thermal thresholds that impact the growth of jujube trees. It was found that 25°C was the threshold at which reproductive growth stops, while 40°C was the threshold for the cessation of vegetative growth. Additionally, the biological zero for jujube growth had been established at 11°C, and this plant can tolerate low temperatures down to -33°C. Some studies have even reported the plant's ability to withstand temperatures as low as -40°C. In this research, each of the seven studied stations in the region was individually analyzed in terms of maximum temperatures and critical points leading to the cessation of vegetative and reproductive growth.

Conclusion

The findings revealed that the Zirkuh station, with an average annual precipitation of 182.8 mm, received the highest rainfall among the studied stations. Nevertheless, even at this station, jujube plants required supplementary irrigation of 267.2 mm. Fortunately, the region's climatic conditions were characterized by rare and minimal summer rainfall, a phenomenon that could otherwise cause fruit cracking, making this area particularly suitable for jujube cultivation. Analysis of climatic data from 2000 to 2024 demonstrated significant spatial heterogeneity in temperature trends. Modified Mann-Kendall test results indicated a warming trend across all stations, with the most pronounced increase observed in Nehbandan station (3.43°C) and the least in Zirkuh station (0.94°C). These spatial variations can be attributed to altitudinal differences, geographical positioning, and localized microclimatic conditions. Sen's slope estimator corroborated these findings, showing the steepest positive slope in Ferdows station (0.24) and the gentlest in Khosf station (0.03). Linear regression analysis revealed a decadal temperature increase ranging from 0.07°C in Birjand and Zirkuh stations to 2.48°C in Nehbandan station. Statistical analysis of p-values demonstrated significant spatial patterns in temperature changes. While northern and central stations (e.g., Birjand, Boshruyeh, and Ghaen; $p \leq 0.05$) show no significant trend, southern stations, particularly Nehbandan ($p \leq 0.02$), exhibited statistically significant warming. Regarding precipitation, all stations showed decreasing trends, with a maximum reduction in Nehbandan (-3.32 mm) and a minimum in Birjand (-0.63 mm). Sen's slope analysis indicated the steepest decline in Ferdows (-0.34) and the mildest in Zirkuh (-0.13). Regression analysis estimates an annual precipitation decreased ranging from 0.04 mm/decade in Zirkuh to 1.80 mm/decade in Ghaen. Statistically, northern and central stations ($p \leq 0.05$) show significant drying trends, while southern stations like Nehbandan ($p = 0.28$) exhibited no statistically significant trend.

Keywords: Jujube, Precipitation, South Khorasan, Temperature, Trend analysis

تحلیل روند تغییرات دمایی و بارشی و تأثیر آن بر آستانه‌های زایشی و رویشی و محدوده کشت گیاه عناب

مهدی اسدی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۳

چکیده

در این مطالعه، آستانه‌های زایشی و رویشی گیاه عناب در طول فصول مختلف در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی بررسی شد و تغییرات روند دما و بارش تحلیل و پهنه‌بندی گردید. داده‌های مورد استفاده شامل میانگین ماهانه دما و بارش، ساعت آفتابی و روزهای داغ از ۷ ایستگاه همدید با دوره آماری ۲۵ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴) بود که از سازمان هواشناسی کشور استخراج شد. برای تحلیل روند، از آزمون‌های من-کندال تصحیح شده، تخمین گر شیب سن و رگرسیون خطی استفاده شد. نتایج نشان داد که به جز ایستگاه‌های نهبندان (در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست) و بشرویه (در جولای)، سایر ایستگاه‌ها در هیچ زمانی از نظر دمای حداکثر دچار توقف رویشی نشدند. با این حال، تمام ایستگاه‌ها از ماه مارس تا اکتبر از نظر رشد زایشی متوقف شدند. بیشترین دمای ثبت شده در جنوب شرقی استان، به‌ویژه در ایستگاه نهبندان، مشاهده شد، درحالی که مناطق مرکزی، شمال و شمال شرق از نظر دمایی مستعدتر بودند. بررسی بارش سالانه نشان داد که ایستگاه زیرکوه با ۱۸۲/۸ میلی‌متر بارش سالانه، بیشترین میزان را دارد، که بیانگر نیاز عناب به آبیاری مکمل ۲۶۷/۲ میلی‌متری است. تحلیل مقادیر P-value برای میانگین دما نشان‌دهنده تغییرات فضایی معنادار است، به‌طوری که ایستگاه‌های بیرجند، بشرویه و قاین ($p \leq 0.05$) در شمال و مرکز استان، فاقد روند معناداری آماری بوده است، درحالی که ایستگاه‌های جنوبی‌تر مانند نهبندان ($p = 0.02$) دارای روند قوی معناداری آماری در سطح ۹۵٪ اطمینان می‌باشد. همچنین تحلیل مقادیر P-value برای میانگین بارش نشان‌دهنده این است که ایستگاه‌های بیرجند، بشرویه، زیرکوه و قاین ($p \leq 0.05$) در شمال و مرکز استان، روند قوی معناداری آماری بوده است، درحالی که ایستگاه‌های جنوبی‌تر مانند نهبندان ($p = 0.28$) فاقد روند معناداری آماری در سطح ۹۵٪ اطمینان می‌باشد. همچنین از نظر نمره Z من-کندال تصحیح شده بیشترین میزان افزایش دما در ایستگاه نهبندان با مقدار ۳/۴۳ و کمترین آن در ایستگاه زیرکوه با مقدار ۰/۹۴ مشاهده شده است. در مورد روند بارش، نتایج آزمون من-کندال تصحیح شده حاکی از کاهش بارش در تمامی ایستگاه‌ها طی دوره مورد بررسی است. بیشترین کاهش بارش در ایستگاه نهبندان با مقدار ۳/۳۲ و کمترین کاهش در ایستگاه بیرجند با مقدار ۰/۶۳ ثبت شده است. در کل کاهش بارش، افزایش ساعات آفتابی و روزهای داغ، نشان‌دهنده تشدید تابش خورشید، تبخیر-تعرق و خشکی محیط است. در کنار کاهش بارش، روند افزایشی ساعات آفتابی و روزهای داغ حاکی از افزایش میزان تابش خورشید و افزایش میزان تبخیر-تعرق و خشکی بیشتر محیط است.

واژه‌های کلیدی: بارش، تحلیل روند، خراسان جنوبی، دما، عناب

مقدمه

گرمایش جهانی و بروز تغییرات عمده در الگوهای آب‌وهوایی شده‌اند (Pawlak & Kołodziejczak, Alston & Pardey, 2014). لذا تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی در مدیریت منابع طبیعی و کشاورزی مطرح شده است. این تغییرات، به‌ویژه نوسانات دما و بارش، تأثیرات مستقیمی بر چرخه‌های زایشی و رویشی گیاهان داشته و حتی ممکن است محدوده‌های جغرافیایی مناسب برای کشت برخی گونه‌های گیاهی را درگون سازد. در این میان، درخت عناب با نام علمی *Ziziphus jujuba* Mill، متعلق به خانواده Rhamnaceae، به‌عنوان یک گونه با ارزش

فعالیت‌های بشری و افزایش چشمگیر غلظت گازهای گلخانه‌ای نظیر دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن، موجب تشدید پدیده

۱- گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۱۴۶۶۵-۸۸۹، تهران، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: Asadi.m@cfu.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jsw.2025.92455.1473>

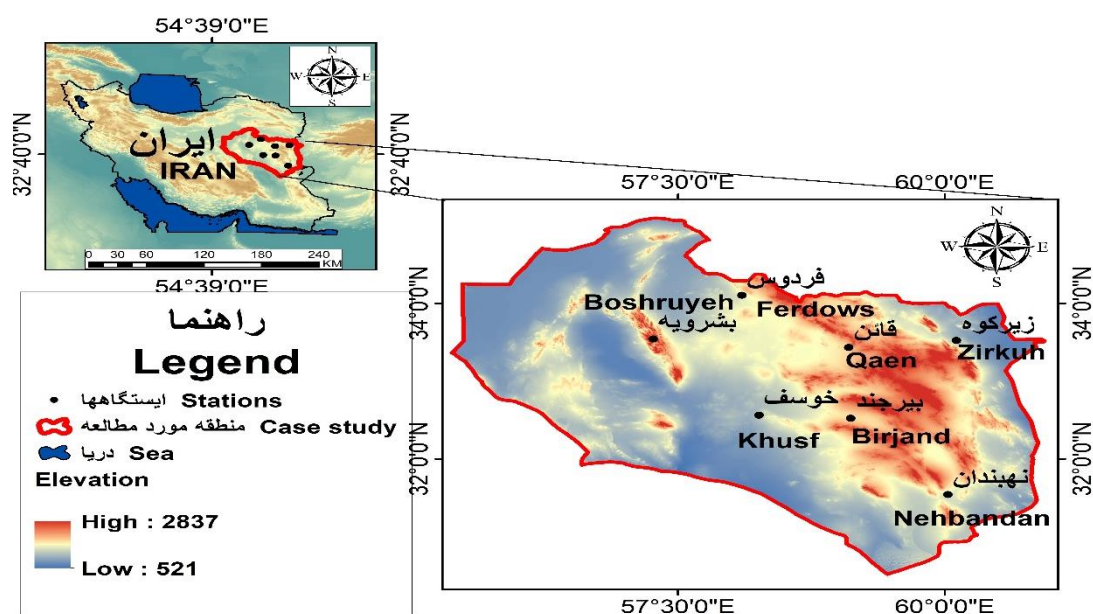
استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان بارش با ضریب ۰/۲۹۸ مهم‌ترین معیار در تعیین مناطق مناسب کشت پسته است. معروفی و همکاران (Maroofi et al., 2024) در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی بوم‌شناختی و تعیین الگوی فضایی کشت محصولات زراعی و باغی در منطقه ۳ آمایش کشور پرداختند. این منطقه از نظر شاخص‌های بوم‌شناختی بسیار متنوع بوده و پهنه‌های مختلفی از جمله مناطق مناسب برای تغییر الگوی کشت، توسعه باغات گرمسیری، و توسعه اگریتوریسم را شامل می‌شود. با توجه به پیشینه تحقیق مشخص می‌شود که تمامی پژوهش‌های قبلی به‌نوعی به بررسی محدوده کشت محصول پرداختند و تنش‌های زایشی و رویشی محصول در دماها و بارش‌های مختلف در طول فصل‌های سال مورد توجه قرار نگرفته است که پارامتری بسیار مهم در کیفیت و کمیت محصول محسوب می‌گردد. بنابراین هدف پژوهش حاضر این است که ضمن شناسایی آستانه‌های زایشی و رویشی محصول عنب در طول فصول سال در شهرستان‌های سطح استان خراسان جنوبی، آن را از نظر دما و بارش تحت تأثیر تغییرات روند دمایی و بارشی مورد پهنه‌بندی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان جنوبی با مساحتی بالغ بر ۱۵۱۱۹۳ کیلومتر مربع به‌عنوان سومین استان پهناور، در شرق کشور و بین مدارهای ۵۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته واقع شده است (شکل ۱). این استان از شرق با افغانستان، از شمال با خراسان رضوی، از غرب با استان‌های یزد و کرمان و از جنوب با سیستان و بلوچستان همسایه است. از نظر توپوگرافی، تنوع ارتفاعی قابل‌توجهی در این استان مشاهده می‌شود که از مناطق پست و دشت‌های خشک مانند دشت لوت تا ارتفاعات مهمی همچون رشته‌کوه‌های باقران و قائن (با ارتفاع بیش از ۲۸۰۰ متر) گسترده شده است. این تنوع ارتفاعی سبب ایجاد تفاوت‌های اقلیمی محلی شده، به‌طوری‌که در نواحی پست و جنوبی، اقلیم خشک و گرم بیابانی حاکم است، درحالی‌که مناطق مرتفع‌تر شمالی و مرکزی از اقلیم خشک و معتدل‌تر برخوردارند. میانگین بارش سالانه در این استان بین ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر متغیر بوده و دمای آن در برخی مناطق به‌ویژه در تابستان‌ها به بیش از ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. این شرایط جغرافیایی و اقلیمی، استان خراسان جنوبی را به منطقه‌ای حساس در برابر تغییرات آب‌وهوایی تبدیل کرده و تأثیر مستقیمی بر الگوی کشت محصولات باغی از جمله عنب دارد (Khosravei & Akbari, 2009).

دارویی (Shen et al., 2009; Cheng et al., 2000)؛ به‌دلیل سازگاری نسبی با شرایط خشک و نیمه‌خشک، از جمله ایران، در معرض تأثیرپذیری از این تغییرات قرار دارد (Waqas et al., 2024; Zittis et al., 2022; Ghasemnejad, Khoshbakht, Mahmoudi, & Sayahnia, 2024). از آنجایی که کشت این درخت از دیرباز در استان خراسان جنوبی رواج داشته و امروزه بیش از ۷۲ درصد تولید عنب ایران در این استان متمرکز است (Rad, Asareh, Vazifeshenas, Kavand, & Soltani Gerdeframarzi, 2020). شناسایی روند تغییر اقلیم و تحلیل اثرات آن بر آستانه‌های زایشی و رویشی عنب از جنبه‌های علمی و کاربردی حائز اهمیت بوده و به درک بهتر الگوهای تغییر اقلیم در منطقه و پیش‌بینی اثرات آن بر کشاورزی کمک کند. بر اساس پیش‌بینی‌های هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم، ایران در یک قرن آینده با افزایش دمای ۴ درجه سلسیوس مواجه خواهد شد. این تغییرات دمایی همراه با کاهش نزولات جوی و افزایش میزان تبخیر-تعرق، پیامدهای نامطلوبی را برای بخش کشاورزی به همراه خواهد داشت (Hoseini, Nazari, & Araghejad, 2013). این شرایط منجر به تغییر در الگوهای بارش و دما، جابه‌جایی زمان کاشت و برداشت محصولات، و کاهش بهره‌وری کشاورزی خواهد شد (Bouteska, Sharif, Bhuiyan, & Abedin, 2024). چنین تغییراتی نه‌تنها بر عملکرد و تولید محصولات کشاورزی تأثیر منفی می‌گذارند، بلکه امنیت غذایی و معیشت کشاورزان را نیز با مخاطره مواجه می‌کنند. همچنین، تغییر اقلیم بلندمدت بر بازارهای داخلی محصولات کشاورزی و توزیع درآمد بین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان تأثیرگذار خواهند بود (Saleem et al., 2024). این در حالی است که پیش‌بینی‌ها حاکی از افزایش ۷۰ درصدی تقاضا برای غلات تا سال ۲۰۵۰ است، که این رقم در کشورهای کمتر توسعه‌یافته به دو برابر خواهد رسید (Hunter, Smith, Schipanski, Atwood, & Mortensen, 2017). بنابراین، ضروری است که سیاست‌ها و برنامه‌های پژوهشی در سطح ملی و جهانی، تمرکز بیشتری بر بخش کشاورزی داشته باشند تا از پیامدهای منفی تغییر اقلیم جلوگیری شود (Chang, 2003). اگرچه تحقیقات گسترده‌ای در مورد خواص دارویی عنب انجام شده، اما مطالعات محدودی در زمینه تعیین محدوده‌های مناسب کشت این محصول صورت گرفته است. در این راستا، اشرفی و همکاران (Ashrafi, Mikaniki, & Dehghani, 2013) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت عنب در خراسان جنوبی پرداختند. نتایج نشان داد که حدود ۲۰ درصد از مساحت این استان (۹۴۱۱۲ کیلومتر مربع) برای کشت عنب مناسب یا بسیار مناسب است. میرزاده و همکاران (Mirzadeh, Faizizadeh, Amiri, & Dehghani, 2023) در استان آذربایجان شرقی، امکان‌سنجی کشت پسته را با



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه
Figure 1- Study area

به دلیل تأثیرپذیری کم از مقادیر فرین که ممکن است در برخی سری‌های زمانی مشاهده شوند، مورد توجه قرار گرفته است (Xue et al., 2023). از آنجایی که در پژوهش حاضر از من- کندال تصحیح شده استفاده می‌گردد لذا برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد من- کندال به منابع مربوطه (Bambang, Saravanan, Reddy, Kendall, 1975; Mann, 1945& Abijith, 2023) مراجعه گردد.

آزمون من- کندال تصحیح شده

داده‌های سری زمانی اغلب تحت تأثیر همبستگی سریالی (به عنوان خودهمبستگی نیز شناخته می‌شود) قرار دارند. هنگامی که داده‌ها تصادفی نباشند و تحت تأثیر خودهمبستگی باشند، از آزمون‌های اصلاح شده من- کندال برای تشخیص روند استفاده کرد. حامد و رائو (Hamed & Rao, 1998) روش اصلاح واریانس را برای حل مشکل همبستگی سریالی در تحلیل روند پیشنهاد کرده‌اند. در این روش، ابتدا روند داده‌ها حذف شده و سپس حجم نمونه مؤثر با استفاده از رتبه‌های ضرایب همبستگی سریالی معنی‌دار محاسبه می‌گردد که در نهایت برای اصلاح واریانس افزایش یافته (یا کاهش یافته) آماره آزمون مورد استفاده قرار می‌گیرد (رابطه ۱).

$$Var(S)^* = Var(S) \frac{n}{n^*} \quad (1)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad (2)$$

که در آن r_i ضریب خودهمبستگی با تأخیر i می‌باشد (Rao, Hamed, & Chen, 2003).

داده‌ها و روش کار

در این پژوهش، برای تحلیل روند داده‌های مرتبط با تعیین محدوده کشت گیاه عناب، از آزمون‌های من-کندال تصحیح شده، تخمین گر شیب سن و روش رگرسیون خطی استفاده شد. داده‌های مورد بررسی شامل میانگین ماهانه دما و بارش ۷ ایستگاه همدید (بیرجند، قاین، بشرویه، زیرکوه، فردوس، خوسف، و نهبندان) به همراه داده‌های تأثیرگذار در رشد و نمو گیاه عناب (ساعات آفتابی و روزهای داغ) در منطقه مورد مطالعه بود که دوره آماری ۲۵ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ میلادی را پوشش می‌داد. این داده‌ها از سازمان هواشناسی کل کشور استخراج شده و مورد مطالعه قرار گرفتند. داده‌های ایستگاهی با استفاده از آزمون من-کندال تصحیح شده در نرم افزار Rstudio به نمره z تبدیل شدند. علاوه بر این، روند خطی متغیرهایی همچون دمای کمینه، دمای بیشینه، میانگین دما، بارش، ساعات آفتابی و روزهای داغ به همراه شیب خط مربوطه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای تهیه نقشه پراکنش فضایی دما و بارش از نرم افزار ARCGIS استفاده گردید.

آزمون من- کندال

آزمون من- کندال نخستین بار توسط Mann در سال ۱۹۴۵ معرفی شد و پس از آن توسط Kendall در سال ۱۹۷۵ گسترش و بهبود یافت (Serrano, Mateos, & Garcia, 1999). از جمله مزایای اصلی این روش، قابلیت استفاده آن برای سری‌های زمانی است که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند. همچنین، این روش

تخمین‌گر شیب سن

روند اندازه‌گیری شده با استفاده از تخمین‌گر سن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Sen, 1968). این رویکرد، مشابه روش من-کندال تصحیح‌شده، بر پایه مفهوم تفاوت‌های بین مشاهدات در یک سری زمانی استوار است. در این روش، شیب بین هر جفت از نقاط داده در سری زمانی محاسبه شده و سپس میانگین شیب‌های محاسبه‌شده استخراج می‌شود. در نهایت، با استفاده از روابطی که در ادامه ارائه می‌شوند، در مورد معناداری شیب نهایی قضاوت صورت می‌گیرد (برای کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه به این منبع (Sen, 1968) مراجعه گردد).

روش رگرسیون خطی

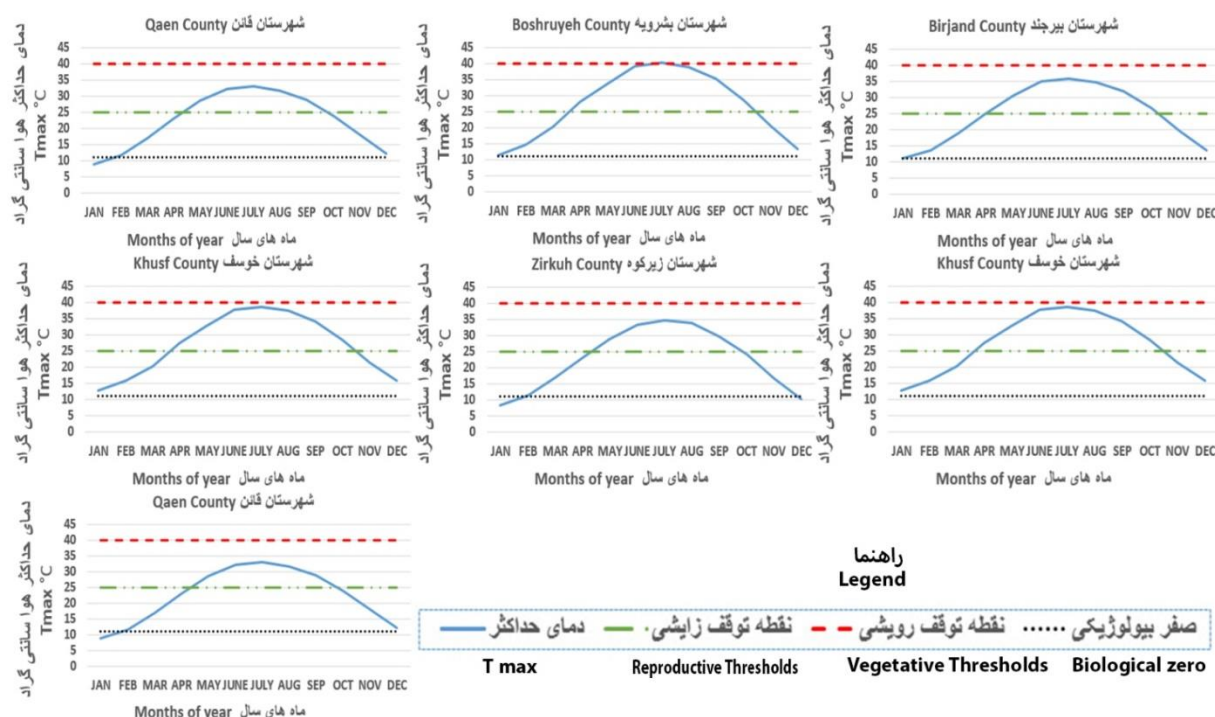
برای تحلیل و شناسایی روند در سری‌های زمانی، از آزمون‌های من-کندال تصحیح‌شده، تخمین‌گر شیب سن و رگرسیون خطی استفاده شده است. پارامترهای آماری حاصل از رگرسیون خطی، تغییرات زمانی میانگین شیب را در متغیرهای مورد مطالعه نشان می‌دهند. مقادیر مثبت نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی بیانگر روند کاهشی هستند (Tabari & Marofi, 2010). کل تغییرات در دوره مورد مطالعه با ضرب شیب در تعداد سال‌ها محاسبه شده است. همچنین، در این پژوهش برای بررسی معناداری روند در سطح ۰/۰۵، از P-value استفاده شد که نشان‌دهنده معنی‌داری آماری همبستگی است.

نتایج و بحث

بررسی آستانه دمایی رویشی و زایشی گیاه عناب در دوره پایه

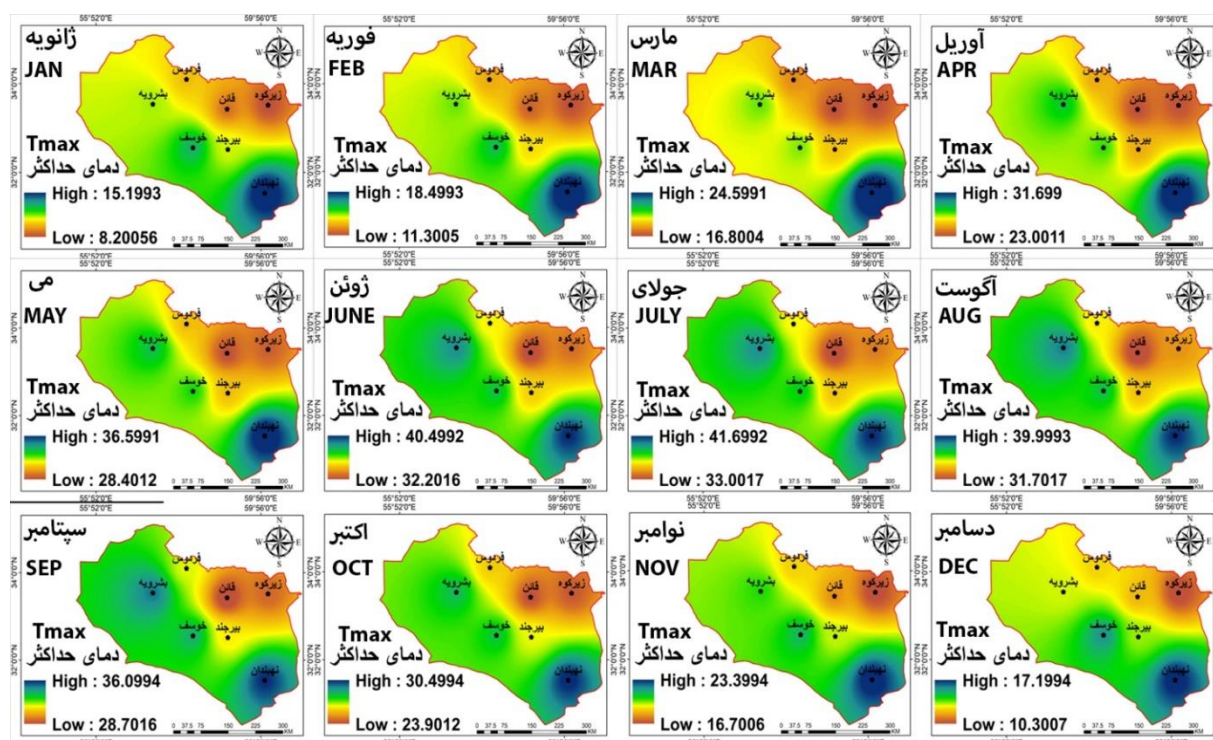
گیاه عناب، مانند سایر گونه‌های گیاهی، برای رشد بهینه خود نیازمند محدوده‌های دمایی مشخصی در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی است (لازم به ذکر است در این پژوهش منظور از آستانه دمایی توقف رویشی: عبارت است از حداکثر دمایی که گیاه برای رشد و توسعه اندام‌های رویشی (مانند برگ و ساقه) می‌تواند تحمل کند؛ و آستانه دمایی توقف زایشی: عبارت است از حداکثر دمایی که در آن فرآیندهای زایشی (مانند گلدهی و تشکیل میوه) در گیاه متوقف می‌شود). در این پژوهش، آستانه‌های دمایی مؤثر بر رشد عناب بر اساس پژوهش‌های قبلی انجام یافته مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲) و مشخص شد که دمای ۲۵ درجه سلسیوس به‌عنوان نقطه توقف رشد زایشی و دمای ۴۰ درجه سلسیوس به‌عنوان نقطه توقف رشد رویشی این گیاه در نظر گرفته می‌شود (Yang, Jin, Fan, Hao, & Niu, 2021; Hao, Yang, Fan, Zeng, & Jin, 2021). علاوه بر

این، صفر بیولوژیکی رشد عناب ۱۱ درجه سلسیوس تعیین شده است و این گیاه توانایی تحمل دماهای پایین تا منفی ۳۳ درجه سلسیوس را دارد (Wang et al., 2022). برخی مطالعات حتی تحمل دماهای تا منفی ۴۰ درجه سلسیوس را نیز برای این گیاه گزارش کرده‌اند (Hao et al., 2021). در این تحقیق، هر یک از ۷ ایستگاه مورد مطالعه در منطقه به‌صورت جداگانه از نظر دماهای حداکثر و نقاط بحرانی که منجر به توقف رشد زایشی و رویشی می‌شوند، تحلیل شدند (شکل ۲). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی خراسان جنوبی به‌طور کلی برای رشد رویشی گیاه عناب در طول سال مناسب است، به‌جز در ایستگاه‌های نهبندان (در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست) و بشرویه (در ماه جولای) که به‌دلیل دمای بسیار بالا، کمبود رطوبت و تنش گرمایی، رشد رویشی متوقف می‌شود (شکل ۲). این محدودیت‌ها منطبق با ویژگی‌های اقلیمی مناطق گرم و خشک است که در اوج تابستان با استرس آبی و حرارتی مواجه می‌شوند. از سوی دیگر، توقف رشد زایشی در تمام ایستگاه‌ها از اواخر مارس تا اوایل نوامبر نشان‌دهنده آن است که فنولوژی زایشی عناب بیشتر تحت تأثیر طول روز و دما قرار دارد و به‌دلیل نیاز سرمایی (Chilling Requirement) و محدودیت‌های فیزیولوژیک، تنها در ماه‌های سرد سال (نوامبر تا مارس) امکان گل‌دهی و میوه‌دهی وجود دارد. این یافته‌ها بر اهمیت مدیریت آبیاری و انتخاب ارقام مقاوم به گرما در کشت عناب در مناطق گرمسیری مانند خراسان جنوبی تأکید می‌کند. برای تحلیل دقیق‌تر توزیع فضایی دماهای حداکثر در منطقه، نقشه‌های پراکنش دمای حداکثر به‌صورت ماهانه و سالانه ترسیم شد (شکل‌های ۳ و ۴). تحلیل نتایج پژوهش نشان می‌دهد که توزیع فضایی دماهای حداکثر در خراسان جنوبی تحت تأثیر عوامل جغرافیایی-اقلیمی کلیدی قرار دارد: بالاترین دماها در جنوب شرقی استان (نهبندان) منطبق بر ویژگی‌های مناطق پست کویری با تابش مستقیم خورشید، کاهش ابرناکی و تأثیر منطقه پرفشار جنب حاره است، درحالی‌که مناطق مرکزی، شمالی و شمال شرقی به دلیل ارتفاع بالاتر، تعدیل دمایی ناشی از توده‌های کوهستانی (مانند رشته‌کوه قاین) و همچنین رطوبت نسبی مناسب‌تر، شرایط بهینه‌تری برای کشت عناب دارند. این گیاه با نیاز آبی متوسط و تحمل به گرمای خشک، در مناطق با دمای حداکثر متعادل‌تر و اختلاف شبانه‌روزی بالاتر (ویژگی مناطق مرکزی استان) عملکرد بهتری نشان می‌دهد. بنابراین، یافته‌ها از تأثیر هم‌زمان ارتفاع، موقعیت جغرافیایی و الگوهای گردش جوی بر پراکنش دمایی و انتخاب نقاط مستعد کشت حکایت دارد. این نتایج با یافته‌های پژوهش اشرفی و همکاران (Ashrafi et al., 2013) که با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به بررسی توان اکولوژیک و پهنه‌بندی کشت عناب در خراسان جنوبی پرداختند، همخوانی دارد.



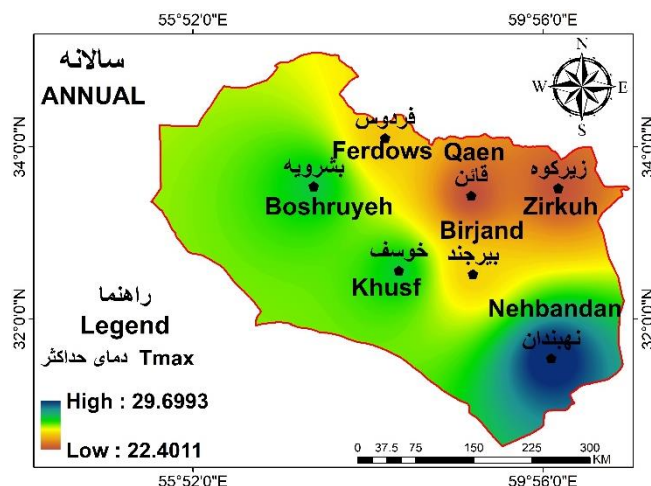
شکل ۲- نمودار آستانه‌هایی دمایی توقف رشد رویشی و زایشی گیاه عناب در منطقه مورد مطالعه

Figure 2- Diagram of temperature thresholds for stopping vegetative and reproductive growth of jujube plants in the study area



شکل ۳- پراکنش دمای بیشینه در منطقه مورد مطالعه بر اساس آمار دوره پایه در ماه‌های سال

Figure 3- Distribution of maximum temperatures in the study area based on base period statistics for the months of the year



شکل ۴- پراکنش دمای بیشینه سالانه در منطقه مورد مطالعه بر اساس آمار دوره پایه

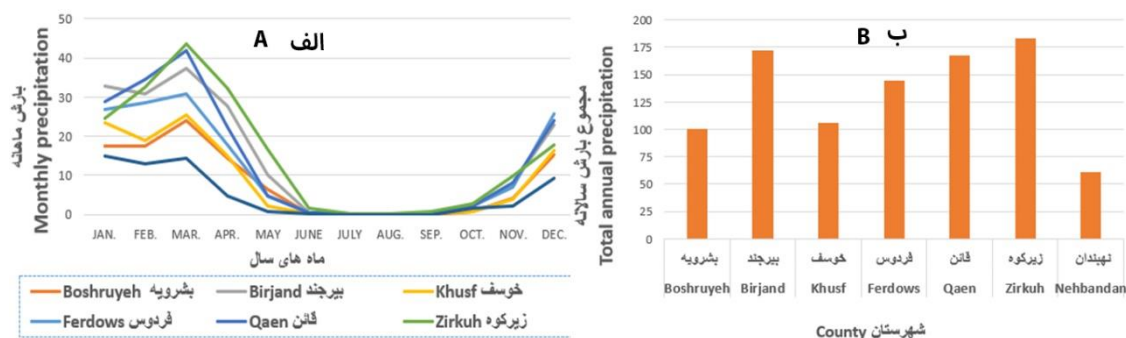
Figure 4- Distribution of annual maximum temperature in the study area based on base period statistics

است (شکل ۵ ب). همچنین، باید توجه داشت که بارش در فصل تابستان می‌تواند برای درخت عنب مخرب باشد، زیرا موجب ترک‌خوردگی میوه‌های آن می‌شود. از آنجاکه در تابستان بارش قابل توجهی در منطقه رخ نمی‌دهد یا بسیار ناچیز است (شکل ۵ الف)، این منطقه به‌عنوان محیطی ایده‌آل برای کشت عنب در نظر گرفته می‌شود.

تحلیل روند

به‌منظور بررسی روند افزایشی یا کاهشی پارامترهای اقلیمی مؤثر بر رشد عنب در دوره پایه در منطقه مورد مطالعه، از روش‌های آماری مختلفی شامل آزمون من-کندال تصحیح‌شده (با استفاده از آماره Z)، تخمین گر شیب سن (Qmed)، شیب رگرسیون خطی (b) و P-value استفاده شد. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها برای هر یک از پارامترهای اقلیمی به تفکیک محاسبه و در جداول مجزا ارائه گردید.

بررسی همه‌ی ابعاد مرتبط با رشد گیاه عنب نشان می‌دهد که آستانه‌های رویشی و زایشی این گیاه از نظر حداکثر دمای فصل تابستان در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، فراتر از مقادیر ثبت‌شده در دوره پایه بر اساس داده‌های هواشناسی قرار دارد. در ادامه، میزان بارش مطلوب برای رشد مناسب عنب در منطقه نیز مورد تحلیل قرار گرفته است (شکل ۳). بر اساس مطالعات پیشین، مقدار بارش مورد نیاز برای رشد مطلوب عنب در طول دوره رشد آن (از زمان کاشت در اوایل اسفند تا برداشت در اواخر شهریور) حدود ۴۵۰ میلی‌متر برآورد شده است (Song & Bai, 2015). با این حال، در برخی مناطق، این گیاه حتی با بارندگی حدود ۲۰۰ میلی‌متر و به‌صورت دیم نیز قادر به رشد است (Ghous & Haderbadi, Ashrafi et al., 2013). با تحلیل داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌های منطقه، مشخص شد که بیشترین میزان بارش مربوط به ایستگاه زیرکوه با مقدار ۱۸۲/۸ میلی‌متر در سال است. این میزان بارش نشان می‌دهد که برای دستیابی به رشد بهینه عنب، استفاده از آبیاری تکمیلی ضروری



شکل ۵- میزان بارش ماهانه (الف) و سالانه (ب) در منطقه مورد مطالعه

Figure 5- Monthly (a) and annual (b) precipitation in the study area

بررسی روند تغییرات دماهای کمینه و بیشینه

بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده با استفاده از آزمون من-کندال تصحیح‌شده، مقادیر Z مربوط به دمای کمینه در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ روندی افزایشی را نشان می‌دهند (جدول ۱). بیشترین میزان افزایش در ایستگاه نهبندان با مقدار ۳/۶۲ و کمترین افزایش در ایستگاه زیرکوه با مقدار ۰/۹۸ مشاهده شده است. این تفاوت‌ها عمدتاً ناشی از عوامل جغرافیایی همچون ارتفاع، فاصله از منابع رطوبتی و تأثیرات محلی خاص هر منطقه است. این نتایج با یافته‌های بارانی و کرمی (Barani & Karami, 2019) که افزایش دمای کمینه را در منطقه خراسان گزارش کرده‌اند، هم‌خوانی دارد و نشان‌دهنده گسترده‌ی این پدیده در سطح منطقه است. همچنین، تحلیل شیب سن نشان می‌دهد که بیشترین شیب مثبت خط روند مربوط به ایستگاه فردوس با مقدار ۰/۲۷ و کمترین شیب مثبت متعلق به ایستگاه بیرجند با مقدار ۰/۰۹ است. بر اساس شیب رگرسیون خطی، نرخ افزایش سالانه دمای کمینه در بازه‌ای بین ۰/۴۸+ درجه سلسیوس در هر دهه برای ایستگاه زیرکوه تا ۱/۵۱+ درجه سلسیوس در هر دهه برای ایستگاه فردوس متغیر است. تحلیل مقادیر P-value برای دمای کمینه در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده تغییرات فضایی معناداری است. بر اساس نتایج، ایستگاه‌های شمالی و مرکزی استان (بیرجند و قاین با $p=0/08$ و $p=0/11$ ، خوسف با $p=0/06$) فاقد روند معناداری آماری در دمای کمینه می‌باشند، درحالی‌که این روند در ایستگاه‌های جنوبی‌تر (بشرویه $p=0/02$ ، زیرکوه $p=0/03$) با سطح معناداری کمتری همراه است. ایستگاه فردوس ($p=0/05$) در مرز معناداری قرار

دارد و تنها ایستگاه نهبندان ($p=0/01$) دارای افزایش معناداری آماری قوی بوده که نشان‌دهنده افزایش اثر پرفشار جنب‌حاره‌ای و تفاوت‌های ارتفاعی و توپوگرافی در استان است. نتایج نشان‌دهنده این است که منطقه از نظر دمایی تحت تأثیر عواملی همچون اختلاف ارتفاع، موقعیت توپوگرافی و تأثیر سیستم‌های جوی منطقه‌ای است که منجر به تغییرپذیری فضایی در روندهای دمایی شده است. در مورد دمای بیشینه نیز نتایج آزمون من-کندال تصحیح‌شده حاکی از روند افزایشی در تمامی ایستگاه‌ها طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ است (جدول ۱). بیشترین افزایش در ایستگاه نهبندان با مقدار ۳/۶۶ و کمترین افزایش در ایستگاه زیرکوه با مقدار ۱/۱۳ ثبت شده است. تحلیل شیب سن نشان می‌دهد که بیشترین شیب مثبت خط روند مربوط به ایستگاه زیرکوه با مقدار ۰/۲۰ و کمترین شیب مثبت متعلق به ایستگاه قائن با مقدار ۰/۰۸ است. بر اساس شیب رگرسیون خطی، نرخ افزایش سالانه دمای بیشینه در محدوده‌ای بین ۰/۴۷+ درجه سلسیوس در هر دهه برای ایستگاه زیرکوه تا ۱/۷۵+ درجه سلسیوس در هر دهه برای ایستگاه خوسف متغیر است. تحلیل مقادیر P-value برای دمای بیشینه در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده تغییرات فضایی معناداری است، به‌طوری‌که ایستگاه‌های بیرجند، خوسف و قاین ($p \leq 0/05$) در شمال و مرکز استان، فاقد روند معناداری آماری بوده است، درحالی‌که ایستگاه‌های جنوبی‌تر مانند نهبندان ($p=0/04$) دارای روند قوی معناداری آماری در سطح ۹۵٪ اطمینان می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که گرمایش در مناطق شمالی و مرکزی خراسان جنوبی با اطمینان آماری بالاتری رخ داده است (جدول ۱).

جدول ۱- بررسی روند دماهای کمینه و بیشینه در بازه‌ی آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۴

Table 1- Review of the trend of minimum and maximum temperatures in the statistical period 2000-2024

ایستگاه‌ها Stations	دمای کمینه Minimum temperature (°C)				ایستگاه‌ها Stations	دمای بیشینه Maximum temperature (°C)			
	(Z)	(Qmed)	(b)	(p)		(Z)	(Qmed)	(b)	(p)
بیرجند Birjand	1.11	0.09	0.82	0.08	بیرجند Birjand	1.93	0.13	1.57	0.12
قاین Qaen	2.47	0.14	0.75	0.11	قاین Qaen	1.36	0.08	1.15	0.06
بشرویه Boshruyeh	3.31	0.11	1.14	0.02	بشرویه Boshruyeh	3.07	0.15	0.86	0.08
زیرکوه Zirkuh	0.98	0.17	0.48	0.03	زیرکوه Zirkuh	1.13	0.20	0.47	0.03
خوسف Khusf	2.75	0.24	0.66	0.06	خوسف Khusf	2.45	0.18	1.75	0.11
فردوس Ferdows	3.44	0.27	1.51	0.05	فردوس Ferdows	1.98	0.09	0.69	0.05
نهبندان Nehbandan	3.62	0.19	0.64	0.01	نهبندان Nehbandan	3.66	0.16	1.23	0.04

بررسی روند تغییرات میانگین دما و بارش

بررسی روند تغییرات دما و بارش در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده الگوهای متفاوتی است. بر اساس آزمون من-کندال تصحیح‌شده، میانگین دما در تمامی ایستگاه‌ها روندی افزایشی داشته است (جدول ۲). بیشترین میزان افزایش دما در ایستگاه نهبندان با مقدار ۳/۴۳ و کمترین آن در ایستگاه زیرکوه با مقدار ۰/۹۴ مشاهده شده است. این تفاوت در مقادیر افزایشی دما را می‌توان به عواملی همچون موقعیت جغرافیایی، ارتفاع، فاصله از منابع رطوبتی و شرایط محلی هر منطقه نسبت داد. نتایج حاصل از تخمین گر شیب سن نیز نشان می‌دهد که بیشترین شیب مثبت خط روند دما مربوط به ایستگاه فردوس با مقدار ۰/۲۴ و کمترین شیب مثبت متعلق به ایستگاه خوسف با مقدار ۰/۰۳ است. بر اساس تحلیل رگرسیون خطی، میزان افزایش سالانه دما در محدوده‌ای بین ۰/۰۷+ درجه سلسیوس در هر دهه برای ایستگاه‌های بیرجند و زیرکوه تا ۲/۴۸+ درجه سلسیوس در هر دهه برای ایستگاه نهبندان متغیر است. علاوه بر این، تحلیل مقادیر P-value برای میانگین دما نشان‌دهنده تغییرات فضایی معناداری است، به‌طوری‌که ایستگاه‌های بیرجند، بشرویه و قاین ($p \leq 0/05$) در شمال و مرکز استان، فاقد روند معناداری آماری بوده است، درحالی‌که ایستگاه‌های جنوبی‌تر مانند نهبندان ($p = 0/02$) دارای روند قوی معناداری آماری در سطح ۹۵٪ اطمینان می‌باشد. در مورد روند بارش، نتایج آزمون من-کندال تصحیح‌شده (مقادیر Z) حاکی از کاهش بارش در تمامی ایستگاه‌ها طی دوره مورد بررسی است (جدول ۲). بیشترین کاهش بارش در ایستگاه نهبندان با مقدار ۳/۳۲- و کمترین کاهش

ایستگاه بیرجند با مقدار ۰/۶۳- ثبت شده است. تحلیل شیب سن نیز نشان می‌دهد که بیشترین شیب منفی خط روند بارش مربوط به ایستگاه فردوس با مقدار ۰/۳۴- و کمترین شیب منفی متعلق به ایستگاه زیرکوه با مقدار ۰/۱۳- است. بر اساس داده‌های رگرسیون خطی، میزان کاهش سالانه بارش در محدوده‌ای بین ۰/۰۴- میلی‌متر در هر دهه برای ایستگاه زیرکوه تا ۱/۸۰- میلی‌متر در هر دهه برای ایستگاه قائن متغیر بوده است. تحلیل مقادیر P-value برای میانگین بارش نشان‌دهنده تغییرات فضایی معناداری است، به‌طوری‌که ایستگاه‌های بیرجند، بشرویه و زیرکوه و قاین ($p \leq 0/05$) در شمال و مرکز استان، روند قوی معناداری آماری بوده است، درحالی‌که ایستگاه‌های جنوبی‌تر مانند نهبندان ($p = 0/28$) فاقد روند معناداری آماری در سطح ۹۵٪ اطمینان می‌باشد (جدول ۲).

بررسی روند تغییرات ساعات آفتابی و روزهای داغ

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، مقادیر Z آزمون من-کندال تصحیح‌شده برای ساعات آفتابی و روزهای داغ در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ روندی صعودی را نشان می‌دهد. در مورد ساعات آفتابی، بیشترین افزایش در ایستگاه نهبندان با مقدار ۰/۹۷ و کمترین افزایش در ایستگاه زیرکوه با مقدار ۰/۱۷ مشاهده شده است. بر اساس تحلیل شیب سن، بیشترین شیب مثبت خط روند ساعات آفتابی مربوط به ایستگاه نهبندان با مقدار ۰/۴۹ و کمترین شیب مثبت مربوط به ایستگاه زیرکوه با مقدار ۰/۰۳ است.

جدول ۲- بررسی روند پارامترهای میانگین دما و بارش در بازه‌ی آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۴

Table 2- Review of the trend of average temperature and precipitation parameters in the statistical period 2000-2024

ایستگاه‌ها Stations	میانگین دما Average temperature (°C)				ایستگاه‌ها Stations	بارش Precipitation (mm)			
	(Z)	(Qmed)	(b)	(p)		(Z)	(Qmed)	(b)	(p)
بیرجند Birjand	2.17	0.17	0.07	0.08	بیرجند Birjand	-0.63	0.27	-0.19	0.04
قاین Qaen	1.84	0.11	0.62	0.09	قاین Qaen	-2.44	0.35	-1.80	0.00
بشرویه Boshruyeh	2.61	0.07	0.21	0.07	بشرویه Boshruyeh	-1.87	0.51	-0.35	0.05
زیرکوه Zirkuh	0.94	0.05	0.07	0.01	زیرکوه Zirkuh	-0.98	-0.13	-0.04	0.01
خوسف Khusf	3.15	0.03	1.17	0.00	خوسف Khusf	-2.76	-0.23	-0.56	0.08
فردوس Ferdows	2.01	0.34	1.34	0.03	فردوس Ferdows	-2.12	-0.34	-0.36	0.12
نهبندان Nehbandan	3.43	0.22	2.48	0.02	نهبندان Nehbandan	-3.32	0.28	-0.17	0.28

همچنین، نتایج حاصل از شیب رگرسیون خطی نشان می‌دهد که میزان افزایش سالانه ساعات آفتابی در محدوده‌ای بین ۰/۰۴ دقیقه در هر دهه برای ایستگاه زیرکوه تا ۱/۷۸ دقیقه در هر دهه برای ایستگاه نه‌بندان متغیر بوده است. در خصوص روزهای داغ، که به‌عنوان شاخصی مهم در اقلیم کشاورزی برای ارزیابی درجه روزهای مؤثر بر رشد گیاهان شناخته می‌شوند، بیشترین افزایش در ایستگاه نه‌بندان با مقدار ۳/۳۸ و کمترین افزایش در ایستگاه زیرکوه با مقدار ۰/۲۷ ثبت شده است. تحلیل شیب سن برای روزهای داغ نیز حاکی از آن است که بیشترین شیب مثبت خط روند متعلق به ایستگاه نه‌بندان با مقدار ۰/۲۱ و کمترین شیب مثبت مربوط به ایستگاه فردوس با مقدار ۰/۰۲ است. بر اساس یافته‌های شیب رگرسیون خطی، میزان افزایش سالانه دمای کمینه در محدوده‌ای بین ۰/۸۹ درجه سلسیوس در هر دهه برای ایستگاه نه‌بندان تا ۲/۶۷ درجه سلسیوس در هر دهه برای ایستگاه نه‌بندان متغیر بوده است. در نهایت، تحلیل مقادیر P-value برای ساعات آفتابی و روزهای داغ نشان‌دهنده این است که ایستگاه‌های نه‌بندان و خوسف ($p \leq 0.05$) در جنوب و مرکز استان، روند قوی معناداری آماری بوده است، درحالی‌که ایستگاه‌های شمالی-تر مانند بیرجند، قائن و بشرویه ($p > 0.05$) فاقد روند معناداری آماری در سطح ۹۵٪ اطمینان می‌باشد (جدول ۳).

روند تغییرات پارامترهای تأثیرگذار در رشد گیاه عناب

جدول ۳- بررسی روند پارامترهای ساعات آفتابی و روزهای داغ در بازه‌ی آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۴

Table 3- Review of the trend of sunny hours and hot days parameters in the statistical period 2000-2024

ایستگاه‌ها Stations	ساعات آفتابی Sunshine hours (hour)				ایستگاه‌ها Stations	روزهای داغ Hot days (day)			
	(Z)	(Qmed)	(b)	(p)		(Z)	(Qmed)	(b)	(p)
بیرجند Birjand	0.44	0.41	0.17	0.19	بیرجند Birjand	1.51	0.19	1.05	0.09
قاین Qaen	0.29	0.22	0.33	0.07	قاین Qaen	1.74	0.09	0.91	0.08
بشرویه Boshruyeh	0.67	0.34	0.85	0.15	بشرویه Boshruyeh	2.92	0.07	1.39	0.11
زیرکوه Zirkuh	0.17	0.03	0.04	0.09	زیرکوه Zirkuh	0.27	0.12	0.89	0.01
خوسف Khusf	0.83	0.21	0.97	0.01	خوسف Khusf	1.88	0.08	2.21	0.00
فردوس Ferdows	0.74	0.07	0.54	0.11	فردوس Ferdows	1.13	0.02	1.11	0.15
نه‌بندان Nehbandan	0.97	0.49	1.78	0.03	نه‌بندان Nehbandan	3.38	0.21	2.67	0.04

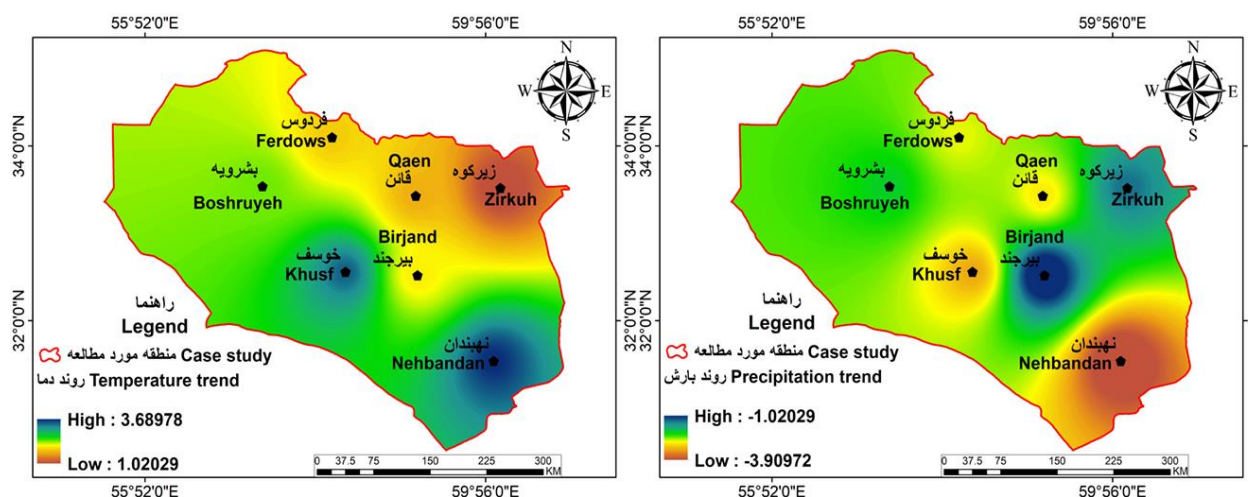
در نهایت، پس از تحلیل جداگانه کلیه پارامترهای اقلیمی با استفاده از مقادیر آماری Z من-کندال تصحیح‌شده، تخمین‌گر شیب سن (Qmed)، شیب رگرسیون خطی (b) و P-value، روند تغییرات پارامترهای اقلیمی مؤثر بر رشد گیاه عناب بر اساس روش من-کندال تصحیح‌شده ارزیابی شد (جدول ۴). همان‌گونه که در جدول ۴ قابل مشاهده است، کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه در مناطق کشت عناب در دوره پایه، برای پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، ساعات آفتابی، روزهای گرم و میانگین دما، روندی افزایشی را نشان می‌دهند. این روند افزایشی در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار بوده است. علاوه بر این، نتایج حاصل از روش من-کندال تصحیح‌شده بیانگر آن است که پارامتر بارش در تمامی ایستگاه‌ها در دوره پایه دارای روندی کاهشی است که این روند نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار به دست آمده است.

نتایج تحلیل روند پارامترهای اقلیمی مؤثر بر رشد گیاه عناب حاکی از آن است که دمای هوا، به‌عنوان یکی از کلیدی‌ترین عوامل اقلیمی تأثیرگذار بر رشد این گیاه، در دوره پایه روندی صعودی را تجربه کرده است. این افزایش دما در مناطق کشت عناب نیز به‌وضوح قابل مشاهده است و می‌توان آن را در راستای پدیده گرمایش جهانی تفسیر نمود. از طرف دیگر، بررسی روند بارش نشان‌دهنده کاهش معنادار میزان نزولات جوی است که بیانگر تشدید خشکی و وقوع پدیده خشکسالی در مناطق تحت کشت عناب می‌باشد.

جدول ۴- روند تغییرات پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در رشد گیاه عناب بر اساس روش من - کندال تصحیح شده

Table 4- Trend of changes in climatic parameters affecting jujube plant growth based on the Modified Mann-Kendall method

ایستگاه Station	دمای کمینه Minimum temperature (°C)	دمای بیشینه Maximum temperature (°C)	میانگین دما Average temperature (°C)	بارش Precipitation (mm)	ساعات آفتابی Sunshine hours (hour)	روزهای داغ Hot days (day)
بیرجند Birjand	1.11	1.93	2.17	-0.63	0.44	1.51
قاین Qaen	2.47	1.36	1.84	-2.24	0.29	1.74
بشروییه Boshruyeh	3.31	3.07	2.61	-1.87	0.67	2.92
زیرکوه Zirkuh	0.98	1.13	0.94	-0.98	0.17	0.27
خوسف Khusf	2.75	2.45	3.15	-2.76	0.83	1.88
فردوس Ferdows	3.44	1.98	2.01	-2.12	0.74	1.13
نهبندان Nehbandan	3.62	3.66	3.43	-3.32	0.97	3.38



شکل ۶- تغییرات مکانی روند دما و بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم

Figure 6 - Spatial Variability Trends of temperature and precipitation under the influence of climate change

نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که ایستگاه زیرکوه با میانگین بارش سالانه ۱۸۲/۸ میلی‌متر، بیشترین میزان بارندگی را در بین ایستگاه‌های مورد بررسی به خود اختصاص داده است. این در حالی است که حتی در این ایستگاه نیز گیاه عناب به آبیاری تکمیلی به میزان ۲۶۷/۲ میلی‌متر نیاز دارد. خوشبختانه شرایط اقلیمی منطقه به‌گونه‌ای است که بارش‌های تابستانه که می‌تواند موجب ترک‌خوردگی میوه شود، در این ناحیه بسیار نادر و کم‌مقدار است که این ویژگی، منطقه را به محیطی ایده‌آل برای کشت عناب تبدیل

در نتیجه، برای مدیریت کارآمد و پایدار این مناطق در آینده، تمرکز بر مدیریت بهینه منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار است. علاوه بر کاهش بارش، روند صعودی ساعات آفتابی و افزایش تعداد روزهای داغ نیز حاکی از تشدید تابش خورشید، افزایش نرخ تبخیر-تعرق، و تشدید شرایط خشکی محیطی است. این تغییرات نه تنها می‌تواند منجر به گسترش آفات و بیماری‌های گیاهی شود، بلکه فشار مضاعفی بر منابع آبی وارد کرده و نیاز به افزایش دفعات آبیاری را به همراه خواهد داشت. در ادامه، پراکنش مکانی دما و بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم در مقایسه با دوره پایه مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس این تحلیل، بیشترین تغییرات روندی در بخش جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه پیش‌بینی شده است (شکل ۶).

دارای روند افزایشی دمای هوای بوده است. بررسی روند بارش نیز بیانگر کاهش بودن روند آن بود که می‌توان آن را نشانه‌ای از کاهش باران در مناطق کشت گیاه عناب در نظر گرفت. همچنین بر اساس بررسی‌های صورت گرفت در مورد آستانه‌های دمایی محصول عناب به‌جز دو ایستگاه‌های نهبندان (ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست) و بشرویه (ماه جولای) که از نظر رشد رویشی دچار توقف می‌شود سایر ایستگاه‌ها در هیچ زمانی از نظر حداکثر دما دچار توقف رویشی نمی‌شوند. در مقابل تمامی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه بدون استثنا از ماه مارس تا ماه اکتبر از نظر رشد زایشی دچار توقف می‌شوند. در ادامه برای درک بهتر توزیع فضایی دمای حداکثر در منطقه مورد مطالعه نقشه پراکنش دمای حداکثر در منطقه مورد مطالعه نیز در ماه‌های مختلف سال و در نهایت به‌صورت سالانه رسم گردید. همچنین بر این اساس نقشه توزیع مکانی دما حداکثر مشخص گردید که بیشینه دمایی منطقه مورد مطالعه بیشتر در جنوب شرقی استان خراسان جنوبی که ایستگاه منتخب نهبندان در آن قرار دارد اتفاق افتاده است. همچنین مناطق مرکزی، شمال، و شمال شرق مناطق مستعد از نظر دمایی می‌باشند. این بخش از پژوهش حاضر با پژوهش‌های مذکور (Gholipour, Mousavi Bayegi, Abedini, Mousavi Babaeian, & Jabbari Nooghabi, 2021; Baygi, Khashei Siuki, & Selahvarzi, 2020) که در آن به افزایش بودن روند دمای حداکثر و کاهش بودن بارش استان خراسان جنوبی اذعان شده است، تطابق دارد. بررسی تمامی جوانب نشان می‌دهد که آستانه‌های رویشی و زایشی گیاه عناب از نظر بیشینه دمایی در فصل تابستان در تمامی ایستگاه‌ها بر اساس محاسبات صورت گرفته دارای روند افزایشی می‌باشد لذا برای مدیریت بهتر محدوده کشت عناب در آینده در منطقه مورد مطالعه حتماً باید مدیریت منابع آب را نیز در نظر گرفت. همچنین در کنار کاهش بارش، روند افزایشی ساعات آفتابی و روزهای داغ حاکی از افزایش میزان تابش خورشید و افزایش میزان تبخیر-تعرق و خشکی بیشتر محیط است.

کرده است. تحلیل داده‌های اقلیمی در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ نشان‌دهنده ناهمگونی فضایی قابل‌توجه در روند تغییرات دماست. نتایج آزمون من-کندال اصلاح‌شده بیانگر روند افزایشی دما در تمامی ایستگاه‌ها می‌باشد که بیشترین میزان آن در ایستگاه نهبندان با ۳/۴۳ درجه و کمترین آن در ایستگاه زیرکوه با ۰/۹۴ درجه مشاهده شده است. این تغییرات مکانی را می‌توان ناشی از تفاوت‌های ارتفاعی، موقعیت جغرافیایی و شرایط میکروکلیمایی هر منطقه دانست. برآوردهای تخمین‌گر شیب سن نیز مؤید این نتایج است، به‌طوری‌که بیشترین شیب مثبت مربوط به ایستگاه فردوس (۰/۲۴) و کمترین مقدار مربوط به ایستگاه خوسف (۰/۰۳) بوده است. تحلیل رگرسیون خطی نشان می‌دهد که نرخ افزایش دما در دهه اخیر از ۰/۰۷ درجه در ایستگاه‌های بیرجند و زیرکوه تا ۲/۴۸ درجه در ایستگاه نهبندان متغیر بوده است. از منظر آماری، بررسی مقادیر P-value بیانگر الگوی فضایی معناداری در تغییرات دماست. درحالی‌که ایستگاه‌های شمالی و مرکزی مانند بیرجند، بشرویه و قاین ($p \leq 0/05$) روند معناداری نشان نمی‌دهند، ایستگاه‌های جنوبی به‌ویژه نهبندان ($p \leq 0/02$) از روند افزایشی معناداری برخوردار هستند. در مورد بارش‌ها، نتایج حاکی از روند کاهشی در تمامی ایستگاه‌هاست. بیشترین کاهش در نهبندان (۳/۳۲-) و کمترین کاهش در بیرجند (۰/۶۳-) ثبت شده است. تحلیل شیب سن نیز بیشترین کاهش را برای فردوس (۰/۳۴-) و کمترین کاهش را برای زیرکوه (۰/۱۳-) نشان می‌دهد. بر اساس تحلیل رگرسیون، نرخ کاهش بارش از ۰/۰۴ میلی‌متر در دهه در زیرکوه تا ۱/۸۰ میلی‌متر در دهه در قاین متغیر بوده است. از نظر آماری، ایستگاه‌های شمالی و مرکزی ($p \geq 0/05$) روند کاهشی معناداری را نشان می‌دهند، درحالی‌که این روند در ایستگاه‌های جنوبی مانند نهبندان ($p = 0/28$) فاقد معناداری آماری است. جمع‌بندی نتایج حاصل از تحلیل روند پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در روند رشد گیاه عناب بیانگر این بود که دمای هوا به‌عنوان یکی از مؤثرترین و مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در روند رشد گیاه عناب، دارای روند افزایشی بوده و در همین راستا نیز مناطق کشت محصول عناب نیز

References

1. Abedini, E., Mousavi Baygi, M., Khashei Siuki, A., & Selahvarzi, Y. (2020). Investigating the trend of extreme climatic events in South Khorasan province. *Journal of Agricultural Meteorology*, 7(2), 55-66. (In Persian with English abstract)
2. Alston, J.M., & Pardey, P.G. (2014). Agriculture in the global economy. *Journal of Economic Perspectives*, 28(1), 121-146. <https://doi.org/10.1257/jep.28.1.121>
3. Ashrafi, A., Mikaniki, J., & Dehghani, M. (2013). Agro-ecological zoning and evaluation of ecological potencies of south Khorasan for Jujube plantation. *Geographical Planning of Space*, 3(7), 67-86. (In Persian with English abstract)
4. Bambang, I., Saravanan, S., Reddy, N.M., & Abijith, D. (2023). An investigation of the changing patterns of rainfall in the Indravathi subbasin utilizing the Mann-Kendall and Sen's slope methods. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1173, No. 1, p. 012036). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1173/1/012036>
5. Barani, N., & Karami, A. (2019). Annual trend analysis of climate parameters of temperature and precipitation in

- decuple agroecology regions of Iran. *Environmental Sciences*, 17(4), 75-90. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.29252/envs.17.4.75>
6. Bouteska, A., Sharif, T., Bhuiyan, F., & Abedin, M.Z. (2024). Impacts of the changing climate on agricultural productivity and food security: Evidence from Ethiopia. *Journal of Cleaner Production*, 449, 141793. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141793>
 7. Chang, C.C. (2003). The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture. *Agricultural Economics*, 27(1), 51-64. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2002.tb00104.x>
 8. Cheng, G., Bai, Y., Zhao, Y., Tao, J., Liu, Y., Tu, G., & Xu, X. (2000). Flavonoids from *Ziziphus jujuba* Mill var. *spinosa*. *Tetrahedron*, 56(45), 8915-8920. [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(00\)00842-5](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(00)00842-5)
 9. Ghasemnejad, A., Khoshbakht, K., Mahmoudi, H., & Sayahnia, R. (2024). Assessing the trends and drivers of agricultural land use change in the Ramsar County, northern Iran. *Environmental and Sustainability Indicators*, 22, 100410. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100410>
 10. Gholipour, J., Mousavi Bayegi, M., Babaeian, I., & Jabbari Nooghabi, M. (2021). Investigating the trend of extreme precipitation events South Khorasan province due to climate change. *Journal of Climate Research*, 1400(46), 29-42. (In Persian with English abstract)
 11. Ghous, K., & Haderbadi, Gh.R. (2013). Production d'épine-vinette, de safran et de jujube basée sur les connaissances autochtones et un aperçu de la culture du jujubier dans d'autres pays, Fakrbakr Publications, Khorasan du Sud, 180 pages. (In Persian with English abstract), <https://doi.org/10.3917/afd.madar.2013.01.0001>
 12. Hamed, K.H., & Rao, A.R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology*, 204(1-4), 182-196. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)
 13. Hao, Q., Yang, L., Fan, D., Zeng, B., & Jin, J. (2021). The transcriptomic response to heat stress of a jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivar is featured with changed expression of long noncoding RNAs. *PLoS One*, 16(5), e0249663. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249663>
 14. Hoseini, S.S., Nazari, M., & Araghinejad, S. (2013). Investigating the impacts of climate on agricultural sector with emphasis on the role of adaptation strategies in this sector. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 44(1), 1-16. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2013.36064>
 15. Hunter, M.C., Smith, R.G., Schipanski, M.E., Atwood, L.W., & Mortensen, D.A. (2017). Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. *Bioscience*, 67(4), 386-391. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix010>
 16. Kendall, M. (1975). *Rank Correlation Methods*. Griffin, London, 202 pp.
 17. Khosravei, M., & Akbarei, M. (2009). A study characteristic of Khorasan- South province drought climatology. *Geography and Development*, 7(14), 51-68. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1216>
 18. Mann, H.B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
 19. Maroofi, A., Azizpour, F., Omid Shahabadi, O., Hasanpour, S., Enayati, M., & Najafizadeh, Z. (2024). Ecological zoning and determination of cropping and orchard spatial pattern in the region 3 of Iran. *Village and Space Sustainable Development*, 5(1), 1-25. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/vssd.2023.5982.1162>
 20. Mirzadeh, N., Faizizadeh, B., Amiri, H., & Dehghani, V. (2023). Application of GIS and multi-criteria decision making method for investigating the feasibility of Pistachio cultivation (Case study: East Azerbaijan province). *Management of Natural Ecosystems*, 2(4), 38-51. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/emj.2024.714432>
 21. Pawlak, K., & Kołodziejczak, M. (2020). The role of agriculture in ensuring food security in developing countries: Considerations in the context of the problem of sustainable food production. *Sustainability*, 12(13), 5488. <https://doi.org/10.3390/su12135488>
 22. Rad, M., Asareh, M., Vazifeshenas, M., Kavand, A., & Soltani Gerdeframarzi, M. (2020). Evaluation of different levels of irrigation on evapotranspiration (ET), crop coefficient (Kc) and yield of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) under lysimetry conditions. *Water and Soil*, 34(4), 847-860. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.v34i4.86329>
 23. Rao, A.R., Hamed, K.H., & Chen, H.-L. (2003). Nonstationarities in hydrologic and environmental time series. Ringgold Inc., Portland, Oregon, 362 pp. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0117-5>
 24. Sabzghabae, A.M., Khayam, I., Kelishadi, R., Ghannadi, A., Soltani, R., Badri, S., & Shirani, S. (2013). Effect of *Zizyphus jujuba* fruits on dyslipidemia in obese adolescents: a triple-masked randomized controlled clinical trial. *Medical Archives*, 67(3), 156. <https://doi.org/10.5455/medarh.2013.67.156-160>
 25. Saleem, A., Anwar, S., Nawaz, T., Fahad, S., Saud, S., Ur Rahman, T., & Nawaz, T. (2024). Securing a sustainable future: the climate change threat to agriculture, food security, and sustainable development goals. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s43994-024-00177-3>
 26. Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American*

- Statistical Association, 63(324), 1379-1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
27. Serrano, A., Mateos, V.L., & Garcia, J.A. (1999). Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921–1995. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24(1-2), 85-90. [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(98\)00016-1](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(98)00016-1)
28. Shen, X., Tang, Y., Yang, R., Yu, L., Fang, T., & Duan, J.A. (2009). The protective effect of *Zizyphus jujube* fruit on carbon tetrachloride-induced hepatic injury in mice by anti-oxidative activities. *Journal of Ethnopharmacology*, 122(3), 555-560. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.01.027>
29. Song, X.I.A.O.Y.U., & Bai, P.E.N.G. (2015). Research experiment on infiltration and runoff in Jujube land of northern Shaanxi Province. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 368, 174-179. <https://doi.org/10.5194/piahs-368-174-2015>
30. Tabari, H., & Marofi, S. (2011). Changes of pan evaporation in the west of Iran. *Water Resources Management*, 25, 97-111. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9689-6>
31. Wang, Y., Wang, L., Tuerxun, N., Luo, L., Han, C., & Zheng, J. (2022). Extraction of jujube planting areas in sentinel-2 image based on NDVI threshold—A case study of Ruqiang County. In *2022 29th International Conference on Geoinformatics* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/Geoinformatics57846.2022.9963828>
32. Waqas, M., Naseem, A., Humphries, U.W., Hlaing, P.T., Shoaib, M., & Hashim, S. (2024). A comprehensive review of the impacts of climate change on agriculture in Thailand. *Farming System*, 100114. <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2024.100114>
33. Xue, Y., Song, D., Chen, J., Li, Z., He, X., Wang, H., & Sobolev, A. (2023). Integrated rockburst hazard estimation methodology based on spatially smoothed seismicity model and Mann-Kendall trend test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 163, 105329. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2023.105329>
34. Yang, L., Jin, J., Fan, D.Y., Hao, Q., & Niu, J.X. (2021). Transcriptome analysis of a jujube (*Ziziphus Jujuba* Mill.) cultivar response to heat stress. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-147915/v1>
35. Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., & Lelieveld, J. (2022). Climate change and weather extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of geophysics*, 60(3), e2021RG000762. <https://doi.org/10.1029/2021RG000762>