

Analysis of temporal and spatial changes in extreme precipitation in the Urmia Lake area during the last decade

Arabloiue Moghaddam, A.¹  | Rasouli, A.²  | Aminiya, K.³ 

1. Department of Meteorology, Mara.C., Islamic Azad University, Marand, Iran.

2. School of Geosciences, Macquarie University Sydney, Australia.

3. Department of Geography, Ah.C., Islamic Azad University, Ahar, Iran.

Corresponding Author E-mail: rasouli@tabrizu.ac.ir

(Received: 30 Agu 2025, Revise: 28 Sep 2025, Accepted: 04 Oct 2025, Published online: 21 Mar 2026)

Abstract

Analyzing the spatiotemporal variations of extreme precipitation is of great importance for enhancing the resilience of socio-ecological systems and their associated infrastructure. This is due to the impacts of climate change and the potential increase in heavy rainfall events, droughts, and summer storms. Therefore, this study investigates the temporal and spatial changes in extreme precipitation (exceeding 10 mm and 20 mm) at meteorological stations within the Lake Urmia basin over the recent decade (2015–2024). For this purpose, the temporal variations of precipitation series at 17 meteorological stations around Lake Urmia were first examined statistically and graphically using the Modified Mann-Kendall test, Sen's Slope Estimator, and regression slope analysis. Subsequently, based on the findings from the previous stages, spatial statistics were generalized and visualized for the counties surrounding Lake Urmia. The spatial distribution of extreme precipitation revealed that over the past decade, the highest frequency of such events occurred in the southwest of Lake Urmia, specifically in the counties of Oshnavieh, Piranshahr, and Mahabad. In contrast, the results indicated the lowest frequency of extreme precipitation in the eastern and northeastern parts of the lake, including the counties of Shabestar, Tabriz, Sahand, Azarshahr, and Ajabshir. The final time series results also showed an increasing trend in extreme precipitation at most of the studied stations. The most significant changes, based on the Mann-Kendall statistic and Sen's slope, were observed at the Malkan and Oshnavieh stations, with Sen's slopes of 0.44 and 0.33, respectively. Overall, based on the spatial distribution, the variations in extreme precipitation within the Lake Urmia basin can be classified into three general categories: significant increasing trend (south and southwest of the lake), non-significant increasing trend (north and southeast of the lake), and non-significant decreasing trend (east of the lake).

Keywords: Extreme precipitation, Urmia Lake area, Mann-Kendall and Sen's Slope Tests

Cite this article: Arabloie Moghaddam,A. , Rasouli Pirouzian, A. and Amini Nia,K. (2026). Analysis of Temporal and Spatial Changes in Extreme Precipitation in the Urmia Lake area During the Last Decade. *Nivar*, 50(132-133), 18-35. doi: 10.30467/nivar.2025.543532.1353

E-mail: E-mail: (1) aminarablu1365@gmail.com (3) karimaminini@gmail.com



تحلیل تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های حدی در محدوده دریاچه ارومیه طی دهه اخیر

امین عربلوی مقدم^۱ | علی اکبر رسولی پیروزیان^۲ | کریم امینی نیا^۳

۱. گروه آب و هواشناسی، واحد مرند، دانشگاه آزاد اسلامی، مرند، ایران.

۲. دانشکده علوم زمین، دانشگاه مک کواری سیدنی، استرالیا.

۳. گروه جغرافیا، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: rasouli@tabrizu.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲، انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱)

چکیده

تحلیل تغییرات زمانی و مکانی بارش حدی به منظور افزایش انعطاف پذیری سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی و زیرساخت‌های آن‌ها تحت تاثیر تغییرات اقلیمی و همچنین به دلیل افزایش احتمالی بارش‌های سنگین، خشکسالی و رخداد طوفان‌های تابستانی دارای اهمیت زیادی است. لذا، در این پژوهش به بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های حدی (بیش از ۱۰ و ۲۰ میلیمتر) ایستگاه‌های هواشناسی واقع در محدوده دریاچه ارومیه طی دهه اخیر (۲۰۱۵ الی ۲۰۲۴) پرداخته شد. بدین منظور، ابتدا با استفاده از آزمون‌های من-کندال اصلاح شده، تخمینگر شیب سن و شیب رگرسیون بصورت آماری و گرافیکی تغییرات زمانی سری‌های بارش در ۱۷ ایستگاه هواشناسی پیرامون دریاچه ارومیه بررسی شد. سپس، از طریق تحلیل یافته‌های مراحل قبلی تلاش شد تا آماره‌های مکانی با تعمیم به محدوده شهرستان‌های حاشیه اطراف دریاچه ارومیه و در شهرستان‌های اشنویه، پیرانشهر و مهاباد مشاهده شده است. برعکس، نتایج نشان دهنده کمترین فراوانی بارش‌های حدی در جنوب غرب دریاچه ارومیه و در شهرستان‌های اشنویه، پیرانشهر و مهاباد مشاهده شده است. برعکس، نتایج نشان دهنده کمترین فراوانی بارش‌های حدی نیز در محدوده شرق و شمال شرق دریاچه ارومیه و شهرستان‌های شبستر، تبریز سهند، آذرشهر و عجب شیر می‌باشد. نتایج نهایی در سری‌های زمانی نیز نشان دهنده تغییرات افزایشی در روند بارش‌های حدی در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه است. بیشترین تغییرات براساس آماره من کندال و شیب سن مربوط ایستگاه‌های ملکان و اشنویه به ترتیب با شیب سن برابر با ۰/۴۴ و ۰/۳۳ است. در مجموع، با توجه به توزیع مکانی می‌توان تغییرات بارش‌های حدی در محدوده دریاچه ارومیه را در سه گروه کلی با روند افزایشی معنی‌دار (جنوب و جنوب غرب دریاچه)، افزایشی غیرمعنی‌دار (شمال و جنوب شرق دریاچه) و کاهش‌ی غیرمعنی‌داری (شرق دریاچه) طبقه‌بندی نمود.

کلید واژه‌ها: بارش‌های حدی، محدوده دریاچه ارومیه، آزمون‌های من کندال و شیب‌سن

استناد: عربلوی مقدم، امین، رسولی پیروزیان، علی اکبر و امینی نیا، کریم. (۱۴۰۵). تحلیل تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های حدی در محدوده دریاچه ارومیه طی دهه اخیر.

نیوار، ۵۰(۱۳۲-۱۳۳)، ۱۸-۳۵. doi: 10.30467/nivar.2025.543532.1353

رایانامه: (۱) aminarablu1365@gmail.com (۳) karimaminini@gmail.com

ناشر: سازمان هواشناسی کشور.



DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2025.543532.1353>

۱. مقدمه

در مقیاس جهانی و منطقه‌ای تغییرات اقلیمی یک موضوع برجسته در دهه گذشته بوده است. از مهمترین عناصر آب و هوایی مرتبط با تغییرات اقلیمی می‌توان به بارش به ویژه بارش‌های حدی اشاره نمود (مونجو و مارتین وید، ۲۰۱۶). در دهه‌های گذشته، تحلیل‌های بلندمدت تغییر اقلیم، بیشتر بر روی تغییرپذیری در ارزش میانگین پارامترهای اقلیمی متمرکز بودند و تحلیل داده‌های حدی کمتر مورد توجه قرار می‌گرفت (موبرگ و جونز^۱، ۲۰۰۵). در صورتی که تغییرات اقلیمی بیشتر رخدادهای حدی اقلیمی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (لنر و همکاران، ۲۰۰۶). بر این اساس از نظر بسیاری از محققان از مهم‌ترین نشانه‌های تغییر اقلیم، می‌توان به مقوله تغییرات در حدی‌های اقلیمی به ویژه تغییرات در بارش‌های حدی استناد نمود چراکه هر گونه تغییر در فراوانی یا شدت رخدادهای حدی، می‌تواند اثرات عمیقی بر محیط طبیعی و جوامع انسانی داشته باشد. (عزیززاده و جوان، ۱۳۹۸)

پارامترهای اقلیمی در کشور ایران در مقیاس زمان و مکان به دلایل زیادی تغییر می‌کنند که باید نحوه تغییرات آنها براساس مشاهدات و با بهره‌گیری از روش‌های آماری تعیین شود. (علیجانی، ۱۳۸۳، رسولی و همکاران، ۱۳۹۱). تحلیل روند از جمله مهمترین روش‌های آماری است که به طور گسترده برای ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم به ویژه بارش‌های روزانه بر روی سری‌های زمانی مانند سری‌های مشاهداتی بارش حدی در نقاط مختلف ایران استفاده شده است. (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷). روش‌های متعددی به منظور اثبات وجود روند معنی‌دار در یک سری زمانی متغیر اقلیمی (به ویژه بارش‌های حدی) وجود دارد که از مهمترین آنها می‌توان به روش من-کندال به عنوان یک روش شناخته شده ناپارامتریک استناد نمود. (رسولی، ۱۳۸۲). این روش به طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های

زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است. این آزمون در سال ۲۰۱۸ به وسیله سازمان جهانی هواشناسی پیشنهاد و در بررسی معنی‌داری روند سری‌های تحلیل بارش‌های حدی به کرات و در موارد مختلف استفاده شده است. (سازمان هواشناسی جهانی^۲، ۲۰۱۸).

تحقیقات متعددی در ارتباط با موضوع بارش‌های حدی و نحوه تغییرات پارامترهای مرتبط در سراسر دنیا صورت گرفته که تقریباً قریب به اتفاق آنها معتقد به ظهور برخی ناهنجاری‌ها در مقوله این نوع بارش‌ها هستند (ناستوس و همکاران، ۲۰۱۳). در این راستا پینکسوار و همکاران در سال ۲۰۱۹ تغییرات مرتبط با نمایه‌های حدی بارش در لهستان را به کمک داده‌های ایستگاهی ارزیابی کردند. یافته‌ها نشان داد که نمایه مربوط به روزهای متوالی خشک در نیمه تابستانی سال در بسیاری از ایستگاه‌ها و نمایه‌ی روزهای همراه با بارش‌های سنگین در ایستگاه‌های واقع در شمالغرب منطقه مورد مطالعه روندی افزایشی داشته است. رسولی و همکاران در سال ۲۰۲۱ توزیع مکانی شاخص تراکم بارش‌های روزانه در منطقه شهری سیدنی استرالیا را با استفاده از روش‌های آماری کوواریانس و میزان خود همبستگی مکانی مورد بررسی قرار دادند و بیان نمودند که از مدل‌های نهایی می‌توان برای شناسایی ماهیت و مکانیسم‌های باران‌های سیل آسا در محدوده کلان شهر سیدنی استفاده نمود. حجازی زاده و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های حدی با استفاده از آزمون من کندال در خاورمیانه و شمال آفریقا پرداختند. بر اساس نتایج با حرکت از شمال به جنوب و از غرب به شرق منطقه مورد مطالعه تمامی شاخص‌های حدی مورد بررسی دارای روند افزایشی هستند. بودا و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی روند بارندگی‌های حدی فصل بهار در طول ۵۵ سال گذشته در پنسیلوانیا

^۱Moberg and Jones

^۲ World Meteorological Organization (WMO)

در ایران با استفاده از مدل رگرسیونی چندکی در یک دوره آماری ۵۰ ساله (۲۰۲۱-۱۹۷۱) پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص های حدی تعداد روزهای با حداقل ۱۰ و ۲۰ میلیمتر در شمال و شمال غرب ایران روند نزولی داشته است. جمالی و همکاران (۱۴۰۳) به ارزیابی مکانی و زمانی روند شاخص های حدی دما و بارش در ایران در دوره ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۰ پرداختند. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه های کشور بارش کاهش و دما افزایش داشته است.

کاهش و یا افزایش بارش های سنگین در شمال غرب ایران به ویژه حاشیه دریاچه ارومیه با مقوله های متعددی نظیر ذخایر و منابع آب سطحی به ویژه تغییرات آب دریاچه ارومیه در ارتباط می باشد. این دریاچه در دهه های اخیر دچار بحران کم آبی و خشکی نسبی شده است (رسولی و همکاران، ۱۳۹۵). لذا مدیریت صحیح منابع آبی در این منطقه از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد. چرا که طی سال های گذشته ظهور تغییرات در الگوهای بارش های حدی، تبعات محیطی اقتصادی و اجتماعی زیادی (به دلیل عدم برنامه ریزی صحیح و مدیریت منابع آب) در پی داشته است. اولین گام در اعمال مدیریت صحیح منابع آب نیز تحلیل بارش های قابل استحصال به ویژه تغییرات بارش های حدی می باشد و شناسایی ویژگی های بارش های حدی از اهمیت ویژه ای در سیاست گذاری ها و برنامه ریزی های بخش های مختلف، به ویژه مقوله مطالعات تغییرات اقلیمی در محدوده دریاچه ارومیه برخوردار است. لذا در این پژوهش به بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش های حدی در محدوده دریاچه ارومیه در طول دهه اخیر (۲۰۲۴-۲۰۱۵) پرداخته شده است.

۲. مواد و روش ها

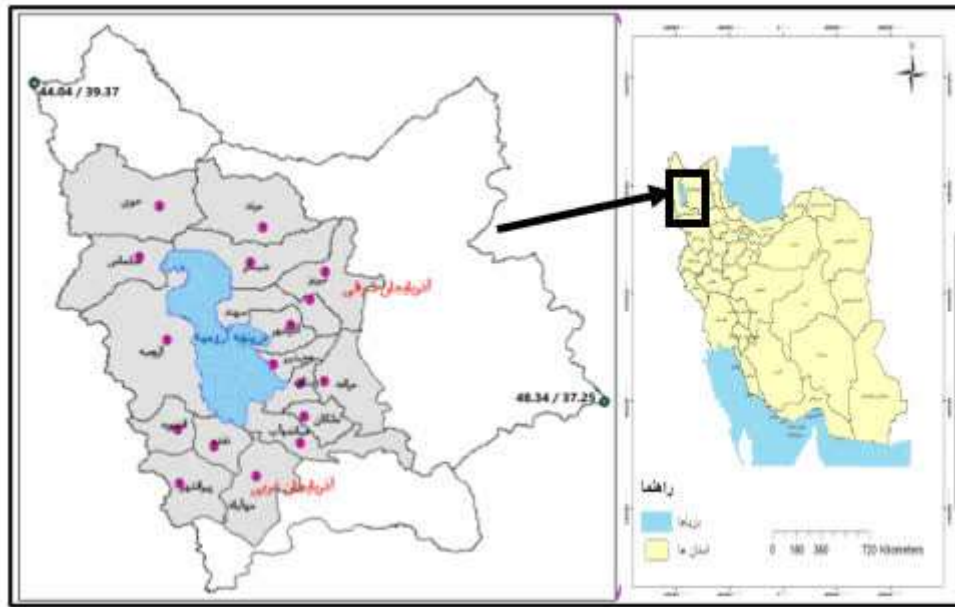
۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه پژوهش، شامل دریاچه ارومیه و شهرستان های واقع در اطراف آن در شمال غرب کشور است. به منظور رسیدن به اهداف پژوهش از داده های بارش روزانه ۱۷ ایستگاه سینوپتیک و اقلیم شناسی واقع در استان های آذربایجان شرقی (۹ ایستگاه) و آذربایجان غربی (۸ ایستگاه)

پرداختند. نتایج نشان داد نسبت شدت های بارش ۱۵ دقیقه ای به مجموع بارش روزانه مربوطه افزایش یافته است. رودریگز و سریزو (۲۰۲۵) به تحلیل روند بارش حدی و نوسانات اقلیمی در شبه جزیره یوکاتان پرداختند. یافته ها نشان دهنده تغییرات مکانی و زمانی قابل توجه در بارش در سراسر منطقه است. به طوری که نتایج روند مثبتی در کل بارش و بارش های شدید را نشان می دهند. رضایی و همکاران (۱۳۹۶) روند تغییرات بارش حوضه دریاچه ارومیه در دو مقیاس سالانه و ماهانه را با استفاده از آزمون من - کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که حوضه دریاچه ارومیه در طی دوره مورد بررسی (۱۳۹۲-۱۳۶۳) ترکیبی از روند کاهشی و افزایشی را تجربه کرده است. جوان و عزیزاده (۱۳۹۸) به منظور شناخت روند شاخص های حدی بارش در حوضه دریاچه ارومیه از یازده شاخص بارش حدی و آزمون من - کندال استفاده کردند. نتایج نشان داد که به جز شاخص حداکثر طول دوره خشک تمام شاخص ها در حوضه دریاچه ارومیه دارای روند کاهشی هستند. قلی پور و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی روند بارش های حدی در استان خراسان جنوبی با استفاده از ۱۱ شاخص مختلف حدی و آزمون من کندال پرداختند. نتایج کاهش چشمگیر و معناداری در بارش سالانه در کل سطح استان و روزهایی با بارش بیشتر از ۱۰ میلی متر را نشان داد. موقری و جوان (۱۴۰۲) با هدف ارزیابی تغییرات بارندگی و پیش بینی بارش های شدید در حوضه دریاچه ارومیه شاخص های مرتبط با تغییرات بارندگی را در ۸ ایستگاه سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه برای سه دوره زمانی مختلف انجام دادند. نتایج نشان داد که میانگین بارندگی در دهه اخیر در محدوده مورد مطالعه در حال افزایش است. ابراهیمی و همکاران (۱۴۰۲) با دیدگاه پیش نگر بارش های فرین در حوضه دریاچه ارومیه تحت شرایط تغییر اقلیم و با بکارگیری مدل های همادی و سنجه های مختلف ثابت نمودند که در حوضه دریاچه ارومیه روزهای همراه با بارش سنگین و خیلی سنگین بیشتری را در آینده نزدیک تجربه خواهد نمود. میرزائی حسنیو (۱۴۰۳) به تحلیل روند میانگین سالانه بارش و شاخص های حدی بارش

زمانی و مکانی بارش‌های حدی در محدوده مورد مطالعه بر اساس تحلیل بارش‌های روزانه حدی ایستگاه‌های هواشناسی مستقر در منطقه است.

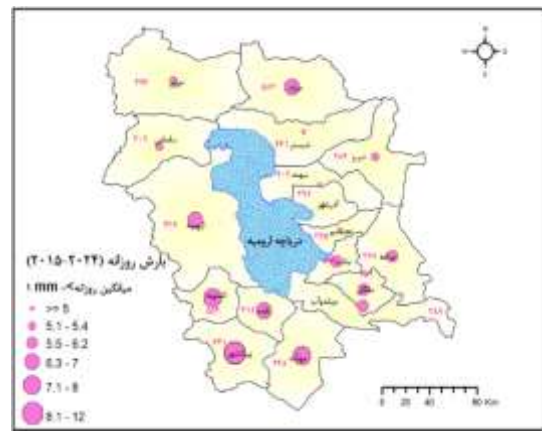
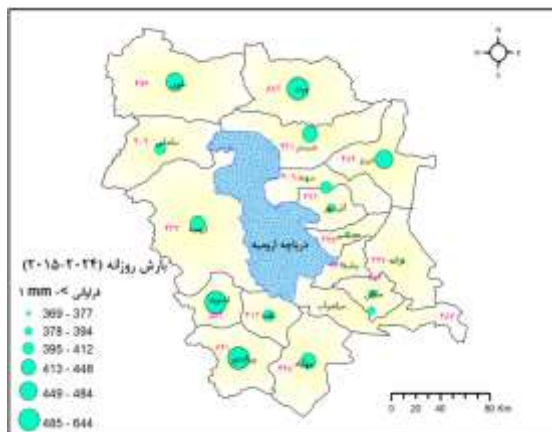
در حاشیه دریاچه ارومیه در طول دوره آماری (۲۰۱۵-۲۰۲۴) استفاده شد. موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در شکل (۱) آورده شده است. علت اصلی انتخاب محدوده مورد مطالعه بررسی تفاوت‌های توزیع

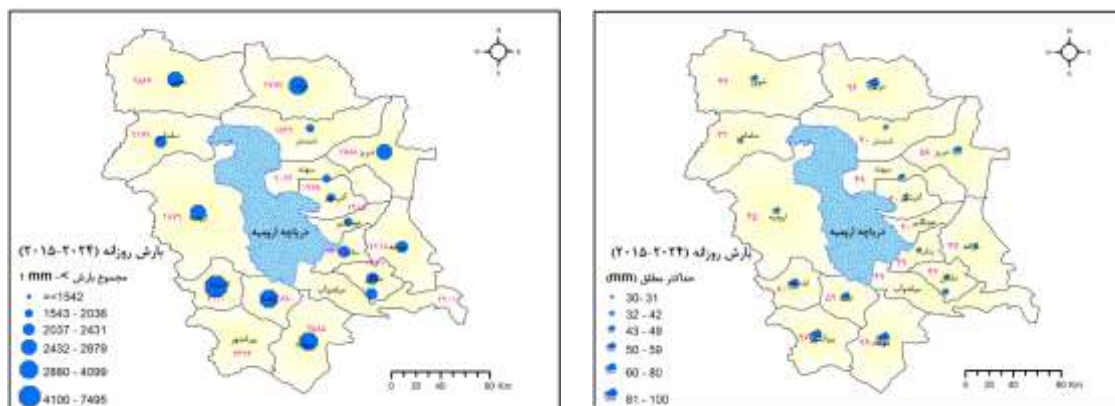


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

تشخیص است. بطوریکه بیشترین مقادیر و فراوانی بارش‌های روزانه در جنوب غرب و کمترین میزان نیز در شرق و شمال شرق محدوده مورد مطالعه ثبت گردیده است.

برخی ویژگی‌های بارش‌های ثبت شده در محدوده مورد مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد که طی دهه گذشته الگوهای توزیع مختلفی قابل





شکل ۲: توزیع بارش های روزانه بیش از یک میلیمتر طی دوره آماری ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۴ در حاشیه دریاچه ارومیه

$$S = \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{Sign}(X_j - X_i)$$

جایی که: X_j و X_i به ترتیب مقادیر داده ها در سال j ام و i ام هستند. تابع علامت نیز طبق رابطه (۲) محاسبه می شود.

$$\text{Sign}(X_j - \quad (2)$$

$$X_i) = \begin{cases} +1; & \text{if } X_j - X_i > 0 \\ 0; & \text{if } X_j - X_i = 0 \\ -1; & \text{if } X_j - X_i < 0 \end{cases}$$

اگر کمتر از ده نقطه داده در سری زمانی وجود داشته باشد، مقدار $|S|$ به طور مستقیم با توزیع S مقایسه می شود. اگر بیش از ده نقطه داده وجود داشته باشد، مقدار آماره S بر اساس میانگین و واریانس همانطور که در معادلات (۳) و (۴) نشان داده شده است، توزیع می شود.

$$(3)$$

$$E(S) = 0$$

$$\text{Var}(S) = \quad (4)$$

$$\frac{m(-1)(2m+5) - \sum_{k=1}^n k1(k1-1)(2k1+5)}{18}$$

که در آن k تعداد گروه های دارای گره (داده های پشت سر هم یک گره ایجاد می کنند)، $k1$ طول k امین گروه گره دار می باشد. در نهایت آماره Z آزمون ناپارامتری من-کندال با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می شود.

۲-۲. آزمون من-کندال

آزمون ناپارامتریک من-کندال ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۷۵، بسط و توسعه یافت (Gaddikeri et al. 2023). این روش به طور گسترده ای در تحلیل روند سری های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می شود (Ankrah et al. 2023)، که وجود یک روند را در یک سری زمانی با فرض صفر، مبنی بر عدم وجود روند مقایسه می کند. مزیت این تحلیل وابسته نبودن آن به توزیع آماری خاص و اثر پذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی است. (Gaddikeri et al. 2023) این آزمون با استفاده از دو سری زمانی متوالی (X_j و X_i) از n نقطه داده در یک سری تعیین می شود. هر مقدار داده متوالی در یک سری زمانی معین با سایر داده های سری مقایسه می شود؛ مقدار آماری S با بررسی ترتیب داده ها در سری زمانی محاسبه می شود. در این روش، هر مقدار داده با مقادیر بعدی مقایسه می شود به طوری که اگر مقدار بعدی بزرگ تر باشد، S یک واحد افزایش می یابد و اگر کوچک تر باشد، یک واحد کاهش پیدا می کند. در نهایت، مقدار آماری S با محاسبه مجموع این افزایش ها و کاهش ها به دست می آید. بنابراین، استاتیک آزمون من-کندال با استفاده از رابطه (۱) همانطور که در زیر بیان می شود، محاسبه می شود.

و عدم وجود روند در سری داده‌های بارش حدی دلالت دارد و پذیرش فرض یک مبنی بر رد فرضیه صفر دلالت نموده و دلیلی بر وجود روند معنی‌دار (مثبت و یا منفی) در سری داده‌ها خواهد بود. از مهمترین پارامترهای آماری مورد نیاز در آزمون من-کندال می‌توان به ضریب تاو-کندال، شیب سن، واریانس مشاهدات و سطح معنی‌داری استناد نمود که بر اساس طرح مقدار سطح معنی‌داری آلفا آزمون من-کندال کنترل می‌گردد.

در مرحله بعدی تابع تخمینگر شیب سن^۱ به منظور مشخص شدن بزرگی تغییرات روند در سری بارش‌های حدی (شیب تغییرات روند) به عنوان یک روش شناخته شده غیرپارامتریک مورد استناد قرار گرفت (سن، ۱۹۶۸). جهت برآورد نمودن شیب واقعی یک روند در یک سری زمانی، استفاده از روش ناپارامتریک سن می‌تواند یکی از روش‌های مناسب در این زمینه باشد. این روش نیز همانند بسیاری دیگر از روش‌های ناپارامتریک همچون من-کندال بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات سری زمانی استوار است. این روش زمانی $f(t) = Qt + B$ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که روند موجود در سری زمانی یکی روند خطی باشد. این بدین معناست که f_i برابر است با: Q ، شیب خط روند و B ، مقدار ثابت است. در اصل شیب سن یک روش ناپارامتریک است که برای تخمین شیب روند در یک سری زمانی پیشنهاد داده شده است، که به دلیل کارایی مناسب به طور گسترده‌ای در ادبیات مربوط به اقلیم و هیدرولوژی استفاده شده است. در این روش فرض می‌گردد که یک رابطه خطی به صورت $f(t) = Qt + B$ بین داده‌های تحلیل شده وجود دارد. در این رابطه، Q همان شیب و B عرض از مبدأ می‌باشد. برای تعیین شیب در هر سطح اطمینان، ابتدا باید شیب هر جفت داده با استفاده از معادله (۹) محاسبه شود:

$$Q_i = (x_j - x_k) / (j - k) \quad 1 \leq j, k \leq n \quad (9)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

مقادیر منفی و مثبت Z به ترتیب بیانگر روند کاهشی و روند افزایشی در سری داده‌ها است. با توجه به سطح اطمینان ۹۵ درصد اگر $|Z| > 1/96$ باشد، فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند در سری زمانی مورد مطالعه، رد می‌شود و وجود روند در سری داده‌ها پذیرفته می‌شود.

۳.۳ داده‌ها و روش پژوهش

در این مطالعه داده‌های بارش روزانه (\geq بیشتر و یا مساوی یک میلیمتر) ثبت شده در ۱۷ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۴ جهت بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های حدی جمع آوری و مورد تحلیل قرار گرفت. بدین منظور ابتدا با هدف بررسی تغییرات زمانی بارش‌های حدی (۱۰ و ۲۰ میلیمتر) مشاهدات مربوطه در محیط نرم افزار اکسل وارد و نمودارهای مربوطه طراحی گردید. در مرحله بعد با بهره برداری از تابع XLSTAT از توابع الحاقی نرم افزار اکسل، آزمون ناپارامتری من-کندال و تخمینگر شیب سن اجرا شد. (Solaimani, et al., 2024) یادآور می‌گردد در دهه‌های گذشته این آزمون به طور وسیعی در مطالعات هیدرولوژی، کلیماتولوژی و متئورولوژی خارج و داخل کشور مورد استفاده قرار گرفته است. (علیچانی و همکاران، ۱۳۹۱). شرط لازم برای استفاده از این آزمون عدم وجود خودهمبستگی در سری زمانی داده‌ها می‌باشد، با این حال ممکن است داده‌های بارش دارای خود همبستگی معنی‌دار باشند. بنابراین باید ابتدا اثر خودهمبستگی داده‌ها حذف گردد تا بتوان از آزمون من-کندال استفاده نمود (ملکی نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). البته توسط برخی محققان این نوع آزمون‌های غیرپارامتریک بطور گسترده‌ای در مطالعاتی که نیاز به فرض نرمال بودن داده‌ها ندارد مورد بهره برداری قرار گرفته است (احمدی و همکاران، ۲۰۱۵). در این آزمون فرض صفر بر تصادفی بودن

¹. Sen's Slope

۴. نتایج و بحث

بررسی ویژگی های بارش حدی (بیش از ۱۰ و ۲۰ میلیمتر) در ایستگاه های هواشنای واقع در حاشیه دریاچه ارومیه نشان داد که بیشترین فراوانی بارش های حدی مربوط به جنوب و جنوب غرب دریاچه ارومیه (به عنوان مثال ایستگاه های پیرانشهر اشنویه و مهاباد) و کمترین فراوانی نیز مربوط به غرب (ایستگاه سلماس) و شرق دریاچه (ایستگاه های شبستر و عجبشیر) است. بررسی اجمالی ویژگی های بارش های حدی در دو طرف دریاچه نشان دهنده آن است که درصد بارش های بیش از ۱۰ و ۲۰ میلیمتر در ایستگاه های استان آذربایجان غربی به مراتب بیشتر از استان آذربایجان شرقی است و برعکس درصد بارش های کمتر از ۱۰ میلیمتر در استان آذربایجان غربی کمتر از آذربایجان شرقی است (جدول ۱).

در معادله فوق، Z و k رتبه هر جفت داده و n تعداد کل داده ها در سری زمانی است. لازم به ذکر است، در صورتیکه سری زمانی دارای n مشاهده باشد، آنگاه تعداد کل جفت ها برابر $N = n(n-1)/2$ خواهد بود. Q_{50} شیب روند موجود در سطح اطمینان ۵۰ درصد یا همان میانه شیب های به دست آمده است و طبق رابطه خطی بیان شده، عرض از مبدأ متناظر با Q_{50} میانه مقادیر $xi - Q_{50} * ti$ خواهد بود. شیب روند متناظر با سطح اطمینان های مختلف دیگر نیز با همین شیوه قابل برآورد است. در مرحله نهایی انواع پارامترهای مرتبط با بارش های حدی به همراه نتایج حاصله از روش های آماری در محیط نرم افزار ArcGIS جمع و نقشه های توزیع مکانی طراحی و تولید شد.

جدول ۱: آماره های پارامترهای بارش های حدی مشاهده شده در ایستگاه های هواشناسی حاشیه دریاچه ارومیه

ایستگاه هواشناسی	مجموع بارش بیش از ۱ میلیمتر	مجموع بارش های روزانه بیش از ۱۰ میلیمتر	مجموع بارش های روزانه بیش از ۲۰ میلیمتر	میانگین بارش های روزانه بیش از ۱۰ میلیمتر	میانگین بارش های روزانه بیش از ۲۰ میلیمتر	مجموع فراوانی بارش های روزانه بیش از ۱۰ میلیمتر	میانگین فراوانی بارش های روزانه بیش از ۱۰ میلیمتر
خوی	۲۵۶۳	۱۲۵۱.۷	۳۸۴.۵	۱۵.۶	۲۷.۵	۸۰	۱۵
سلماس	۲۱۴۹	۹۵۶.۷	۲۲۰.۱	۱۵.۲	۲۴.۵	۶۳	۱۰
ارومیه	۲۸۷۹	۱۶۰۵.۷	۸۴۰.۳	۱۸.۵	۲۹	۸۷	۳۰
اشنویه	۴۱۰۰	۲۶۵۴.۴	۱۳۴۸.۱	۱۹	۳۲.۱	۱۳۹	۴۳
نقده	۲۸۸۰	۱۶۸۷.۳	۷۴۵.۱	۱۷.۶	۲۸.۷	۹۶	۲۷
پیرانشهر	۷۴۹۱	۲۲۱۹.۹	۳۸۴۱.۱	۲۲.۹	۳۶.۲	۱۵۹	۱۰۶
مهاباد	۳۵۸۵	۲۳۴۰.۷	۱۱۴۲.۹	۱۸.۳	۳۱.۷	۱۲۸	۳۷
میاندوآب	۲۲۰۱	۱۰۳۵	۴۹۴.۳	۱۷.۵	۲۹.۱	۵۹	۱۸
مرند	۳۷۷۳	۲۱۲۶.۶	۸۷۳.۸	۱۷.۴	۳۰.۱	۱۲۲	۳۰
شبستر	۱۵۷۲	۸۲۰.۷	۲۲۲	۱۵.۵	۲۷.۸	۵۳	۹
تبریز	۲۵۵۸	۱۰۷۸	۲۹۹.۱	۱۶.۳	۲۷.۲	۶۶	۱۲
سهند	۲۹۳۶	۸۴۷.۹	۲۷۹.۵	۱۶.۳	۲۸	۵۲	۱۱
آذرشهر	۱۹۷۶	۸۰۳.۲	۲۸۰.۷	۱۶.۲	۲۶.۸	۴۹	۱۱.۵
عجبشیر	۱۹۱۵	۲۵۸.۵	۲۸۱.۹	۱۶.۲	۲۵.۶	۴۷	۱۲
بناب	۲۲۱۶	۱۰۹۴.۸	۳۷۴.۶	۱۶.۱	۲۶.۸	۶۸	۱۵
مراغه	۲۲۱۸	۱۰۸۱.۴	۴۱۲.۵	۱۶.۴	۲۵.۸	۶۶	۱۷
ملکان	۲۴۳۱	۱۲۸۳.۳	۵۳۷.۲	۱۷.۶	۲۸.۳	۷۳	۴۲



شکل ۴: تغییرات زمانی بارش های حدى (بیش از ۱۰ و ۲۰ میلی متر) در استان های آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی (حداکثرهای بارش حدى برای هر سال درج شده است)

جنوب غرب دریاچه ارومیه بارش های حدى (بیشتر از ۱۰ میلی متر) بصورت معنی دار روند افزایشی دارند. به عنوان مثال ایستگاه های اشنویه، نقره، مهاباد و پیرانشهر و همچنین

بررسی روند تغییرات بارش های حدى با استفاده از آزمون من کندال و شیب سن و ضریب رگرسیون نیز نشان داد که در منطقه مورد مطالعه در اغلب ایستگاه های واقع در جنوب و

ایستگاه واقع در شرق دریاچه ارومیه شامل ایستگاه‌های تبریز، سهند، آذرشهر و عجبشیر دارای تغییرات کاهشی (بدون قرارگیری در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد) هستند. با توجه به نتایج حاصل می‌توان با تعمیم نتایج ذکر شده در فوق را به شهرستان‌های محدوده دریاچه ارومیه روند تغییرات در بارش‌های حدی را در سه گروه کلی باروند افزایشی معنی‌دار (جنوب‌غرب و جنوب)، افزایشی غیر معنی‌دار (شمال و جنوب شرق) و کاهشی غیر معنی‌داری (شرق) دریاچه ارومیه طبقه‌بندی نمود. بطور حتم تغییرات مکانی بارش‌های حدی بصورت قابل توجهی این نوع تغییرات را آشکار می‌سازد.

میان‌دوآب، ملکان و بناب با مقادیر ضریب p کمتر از حد آلفا (۰/۰۵) دارای روند افزایشی معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد می‌باشند. نتایج حاصل از اجرای روش‌های شیب سن و ضریب رگرسیون این نتیجه را تایید می‌نمایند. بیشترین و کمترین شیب تغییرات افزایشی معنی‌دار نیز به ترتیب مربوط با ایستگاه‌های ملکان با شیب سن برابر با ۰/۴۴ و بناب با شیب سن ۰/۰۱ است. در برخی دیگر از ایستگاه‌های هواشناسی (مثلاً شبستر، سلماس و مرند) تغییرات بارش‌های حدی نیز بصورت افزایشی (بدون قرارگیری در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد) است. ایستگاه‌هایی همچون خوی، ارومیه و مراغه نیز تا حدودی بدون تغییرات قابل توجه بوده‌اند. در نهایت ۴

جدول ۲: پارامترهای منتج از اجرای آزمون‌های من-کندال و سن بر روی بارش‌های بیش از ۱۰ میلی‌متر در ایستگاه‌های هواشناسی حاشیه دریاچه ارومیه

ایستگاه هواشناسی	ضریب تاو من-کندال	شیب سن	ضریب p	ضریب رگرسیون	علامت روند	جهت روند
خوی	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۰۰۶	*	بدون تغییر
سلماس	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۷۰	۰/۰۰۲	+	صعودی
ارومیه	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۴۵	*	بدون تغییر
اشنویه	۰/۲۳	۰/۳۳	۰/۰۰	۰/۰۹۸	+	صعودی
نقده	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۰۱	۰/۰۴۰	+	صعودی
پیرانشهر	۰/۰۶	۰/۱۷	۰/۰۲	۰/۰۴۱	+	صعودی
مهاباد	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۰۰	۰/۰۵۶	+	صعودی
میان‌دوآب	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۰۲	۰/۱۰۳	+	صعودی
مرند	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۲۴	۰/۰۰۶	+	صعودی
شبستر	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۰۴	+	صعودی
تبریز	-۰/۰۱	-۰/۲۰	۰/۹۵	۰/۰۰۵	-	نزولی
سهند	-۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۳۰	۰/۰۰۴	-	نزولی
آذرشهر	-۰/۱۴	-۰/۰۷	۰/۱۹	۰/۰۲۲	-	نزولی
عجبشیر	-۰/۱۸	-۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۴۱	-	نزولی
بناب	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۲۳	+	صعودی
مراغه	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۰۲۶	*	بدون تغییر
ملکان	۰/۲۴	۰/۴۴	۰/۰۰	۰/۰۷۶	+	صعودی

* آلفا مساوی ۵ صدم و سطح اطمینان آزمون ۹۵ درصد می‌باشد.

نتایج به صورت مدل‌های مکانی ارائه گردد. شکل ۵ توزیع مکانی آماره‌های بارش‌های روزانه بیشتر از ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این بخش تلاش گردید برخی ویژگی‌های بارش‌های روزانه (مشاهده شده از

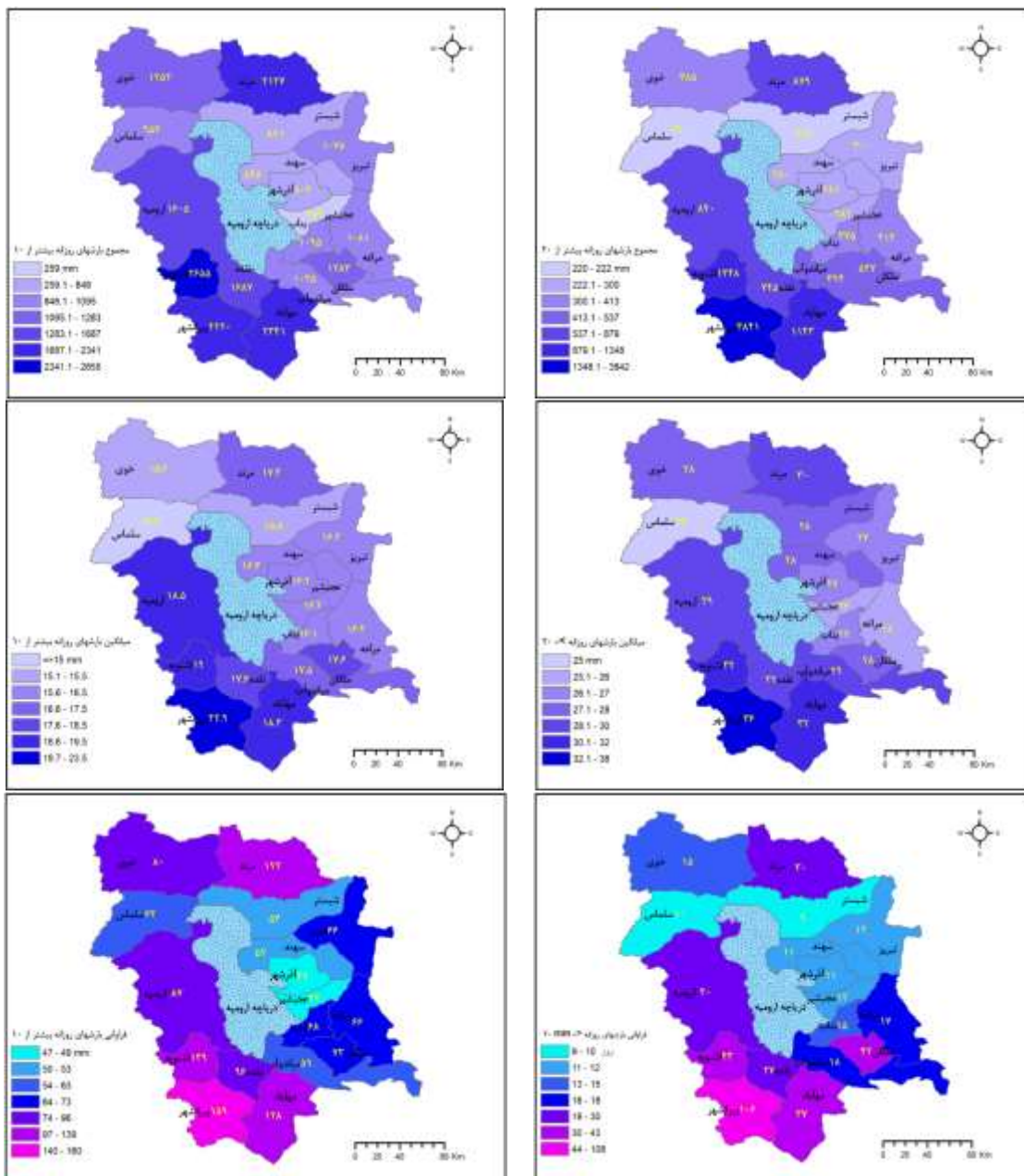
در ادامه ضمن تولید پایگاه‌های اطلاعاتی مورد نیاز از محدوده مورد مطالعه تلاش شد تا نحوه توزیع مکانی بارش‌های حدی و نتایج آزمون‌های من-کندال و سن و سایر پارامترهای مختلف در محیط نرم افزار ArcGIS تحلیل و

محدوده شرق و شمال شرق دریاچه ارومیه به ویژه شهرستان‌های شبستر، تبریز، سنند، آذرشهر و عجبشیر ثبت شده است. شاید این نوع پراکنش بارش‌های حداقل به نقش منفی دریاچه ارومیه (از طریق تاثیرگذاری بر روی ویژگی‌های فیزیکی ابرهای باران زا) در روند کاهش چشم گیر بارش‌های حدی مرتبط باشد.

سال ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۴) در دو حالت نقطه‌ای (فقط ایستگاه‌های هواشناسی) و همین‌طور تعمیم داده شده به حدود هر شهرستان نمایش داده شود. با توجه به نقشه‌های مختلف توزیع بارش‌های حدی مشخص گردید که طی یک دهه گذشته بیشترین بارش‌های مورد نظر در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه در شهرستان‌های اشنویه، پیرانشهر و مهاباد مشاهده شده است. برعکس کمترین بارش‌های حدی در

بارش‌های روزانه حدی بیش از ۱۰ میلی‌متر

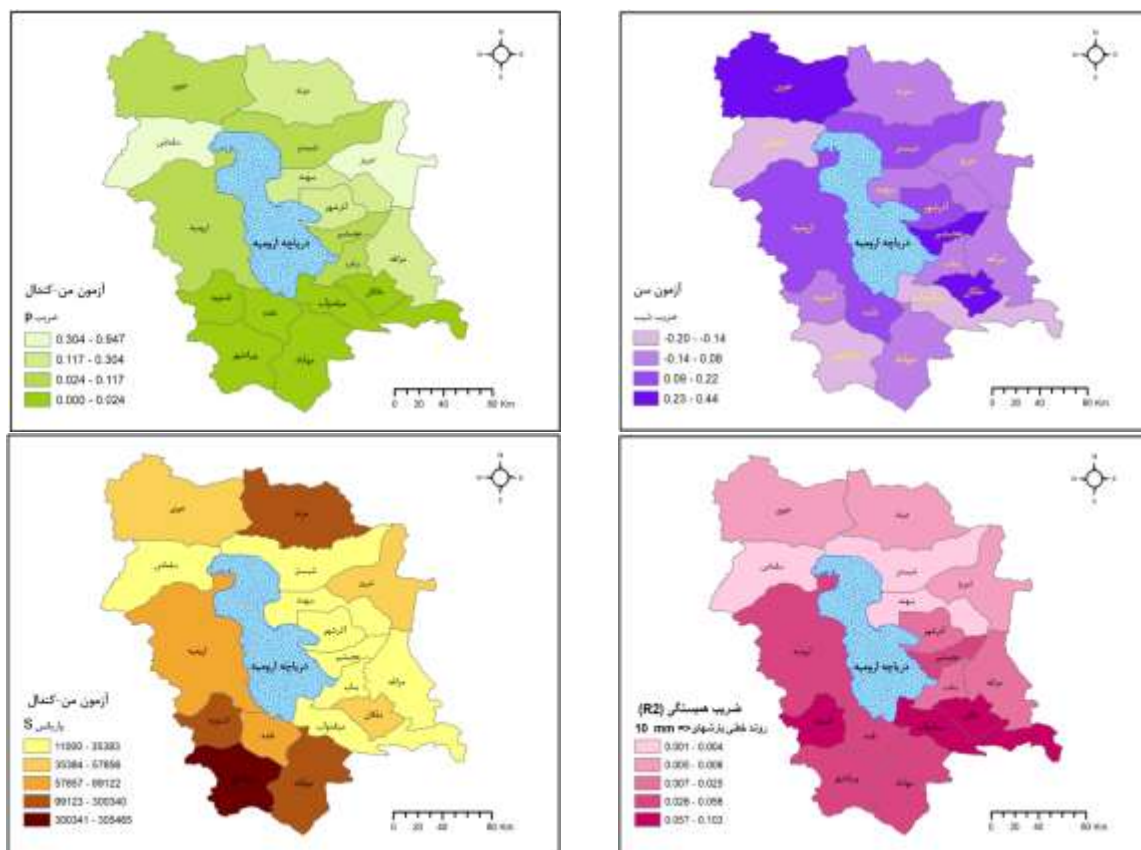
بارش‌های روزانه حدی بیش از ۲۰ میلی‌متر



شکل ۵: توزیع مکانی آماره‌های بارش‌های روزانه حدی (۱۰ و ۲۰ میلی‌متر) شهرستان‌های اطراف دریاچه ارومیه طی دوره ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۴

این روند افزایشی در شمال شرق و شرق دریاچه ارومیه در شهرستان‌هایی مانند تبریز، سهند، آذرشهر و عجبشیر می‌توان تغییرات کاهشی در بارش‌های حدی را (در مواردی به صورت معنی‌دار) ملاحظه نمود. یادآور می‌شود که به غیر از چند شهرستان (مثلاً خوی) که هیچ روندی خاصی در آنها دیده نمی‌شود بقیه مناطق مورد مطالعه دارای روندهای افزایشی و یا کاهشی هستند که شاید بتوان با تغییر سطح معنی‌داری مثلاً (آلفا ۰/۱۰-) این نوع تغییرات را از نظر آماری آشکار نمود (شکل ۶).

توزیع مکانی نتایج حاصل بر مبنای آزمون‌های من-کندال و شیب سن نشان داد که فراوانی و مقادیر روزهای بارش‌های حدی در طول یک دهه گذشته در محدوده مورد مطالعه با روندهای افزایشی و کاهشی همراه بوده است. به طور معنی‌دار مقادیر p در شهرستان‌های واقع در نواحی جنوبی (مهاباد و نقده) به ویژه جنوب غربی (اشنویه و پیرانشهر) کمتر از سطح اطمینان (آلفا ۰/۰۵-) می‌باشد که مشخص کننده روند افزایشی در بارش‌های حدی این مناطق است. این شاخص توسط سایر ضرایب آماری از جمله آزمون سن و ضریب رگرسیون خطی مورد تایید قرار می‌گیرد. برعکس



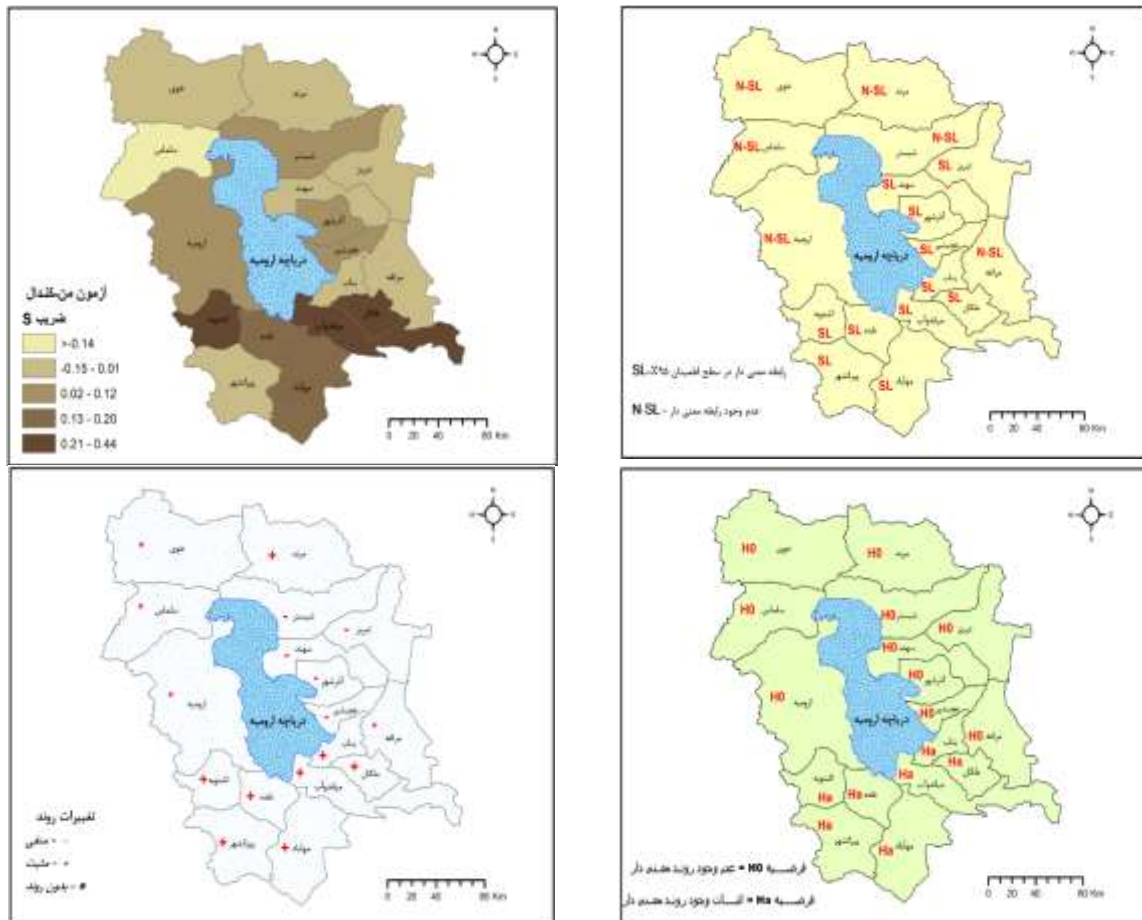
شکل ۶: تغییرات مکانی ضرایب حاصل از اعمال آزمون‌های من-کندال و شیب سن در ایستگاه‌های پیرامونی دریاچه ارومیه (۲۰۱۵ الی ۲۰۲۴)

با تحلیل‌های آماری از جمله نوع روند (ضریب S) روابط معنی‌دار سطح اطمینان (SL & N_SL) جهت روند (+, -), * & در نهایت فرضیه‌های صفر (H_0) و جانشین (H_a) طراحی و ارایه گردد. در یک نگاه اجمالی خروجی اغلب

در نهایت به منظور آشکارسازی تغییرات مکانی نشانه‌های منتج از آزمون من-کندال در محدوده‌های پیرامونی دریاچه ارومیه (۲۰۱۵ الی ۲۰۲۴) تلاش شد تا در محیط ArcGIS Catalog ورژن ۱۰.۴ (Esri, 2024) انواع نقشه‌های مرتبط

اقليمی نتوان همه آنها را با استناد به مدل های آماری و گرافیکی مستند و تایید نمود (شکل ۷).

این نوع روش ها بطور واضح وجود تغییرات در بارش های حدی منطقه مورد مطالعه را ثابت می کند. با این وجود شاید به دلایل خاصی از جمله پیچیده گی های خاص در سیستم های



شکل ۷: تغییرات مکانی نشانه های منتج از آزمون من-کنندال در محدوده شهرستان های پیرامونی دریاچه ارومیه

همکاران (۱۴۰۳) در بررسی توزیع مکانی و زمانی روند شاخص های حدی دما و بارش در ایران مطابقت دارد.

نتایج حاصل با مطالعات رضانی و همکاران (۱۳۹۶)، جوان و عزیزاده (۱۳۹۸) و جوان و موقری (۱۴۰۲) مبنی بر روندهای کاهشی و افزایشی بارش در حوضه دریاچه ارومیه و همچنین مطالعات میرزائی حسنلو (۱۴۰۳) و جمالی و

۵. نتیجه گیری

مکانی بارش های حدی در حاشیه دریاچه ارومیه پرداخته شد. بدین منظور داده های بارش ۱۷ ایستگاه سینوپتیک و اقلیم شناسی در طول دوره آماری (۲۰۱۵-۲۰۲۴) مورد تحلیل قرار گرفت. آستانه های روزانه بارش های حدی منطقه مورد مطالعه به روش توزیع تعمیم یافته به میزان ۱۰ و ۲۰ میلی متر برآورد گردید. روند بارش های حدی برای هر ایستگاه در

بارش های حدی یکی از مهمترین پیامدهای تغییر اقلیم در محدوده شمالغرب به ویژه محدوده دریاچه ارومیه است. طی سال های گذشته به دلیل عدم برنامه ریزی صحیح و مدیریت منابع آب به ویژه بارش های قابل توجه حدی، تبعات محیطی اقتصادی و اجتماعی زیادی را در پی داشته است. لذا با توجه به اهمیت موضوع در این پژوهش به تحلیل تغییرات زمانی و

منابع

- Ahmad, I., Tang, D., Wang, T., Wang, M., & Wagan, B. (2015). Precipitation trends over time using Mann-Kendall and spearman's rho tests in swat river basin, Pakistan. *Advances in Meteorology*. <https://doi.org/10.1155/2015/431860>
- Alijani, B. (2004). *Climate of Iran* (6th ed.). Payame Noor University Press. <http://noo.rs/s9woN> (Corrected from Alizadeh)
- Alijani, B., Mahmoudi, P., & Chougan, A. (2012). Investigating the trend of annual and seasonal precipitation changes in Iran using the non-parametric method (Sen's slope estimator). *Journal of Climatological Research*, (9), 23-42. <https://www.magiran.com/p1160558>. (In Persian)
- Ankrah, J., Monteiro, A., & Madureira, H. (2023). Spatiotemporal characteristics of meteorological drought and wetness events across the coastal savannah agroecological zone of Ghana. *Water*, 15(1), 211. <https://doi.org/10.3390/w15010211>
- Azizi, Q., & Rowshani, M. (2008). Study of climate change on the Caspian Sea coasts using Mann-Kendall method. *Geographical Research*, (64). (In Persian)
- Azizizadeh, M., & Javan, K. (2019). Trend analysis of extreme precipitation indices in the Lake Urmia basin and its relationship with teleconnection patterns. *Geography and Planning*, 23(70), 21. <https://www.magiran.com/com/p2109203>. (In Persian)
- Buda, A. R., Millar, D. J., Kennedy, C. D., Welsh, M. K., & Wiegman, A. R. H. (2024). Trends in extreme rainfall over the past 55 years suggest springtime sub-hourly rainfall extremes have intensified in Mahantango Creek, Pennsylvania. *Scientific Reports*, 14(1), 2783. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79196-3>
- Calma, J., & Fajardo, S. M. (2025). Climate trend analysis using Mann-Kendall and Sen's slope estimator tests in طول دوره آماری مورد پژوهش با استفاده از روش من کندال شناسایی و مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد:
 - در دوره مورد مطالعه بیشترین فراوانی و میانگین بارش‌های حدی در ابتدا مربوط به محدوده‌های جنوب و جنوب غرب دریاچه ارومیه بود البته کمترین مقدار بارش‌های حدی با ظهور تغییرات منفی در دریافت بارش‌های حدی در شرق و شمال شرق دریاچه ارومیه حادث شده است.
 - بررسی رخداد بارش‌های حدی طی دوره طول آماری نشان داد که نمی‌توان خشک شدن دریاچه ارومیه را منحصرأ به کاهش بارش‌های روزانه به ویژه طی دهه گذشته نسبت داد. چرا که علیرغم کاهش نسبی بارش‌های حدی در شرق و شمال شرق دریاچه فراوانی و روند بارش‌های حدی در نیمه‌های جنوبی و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه روند افزایشی داشته است.
 در مجموع با توجه به نتایج حاصل از توزیع زمانی و مکانی می‌توان تغییرات در بارش‌های حدی در حاشیه دریاچه ارومیه را در سه گروه کلی با روند افزایشی معنی‌دار (جنوب غرب و جنوب)، افزایشی غیر معنی‌دار (شمال و جنوب شرق) و کاهش‌ی غیر معنی‌داری (شرق) دریاچه ارومیه طبقه‌بندی نمود.

محدودیت‌های پژوهش:

 - با توجه به محدودیت‌های موجود در داده‌ها، پژوهش حاضر در بازه ۱۰ ساله انجام شده است.
 - در داده‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه، داده گمشده وجود داشت.
 پیشنهادات:
 - در پژوهش‌های آینده از ایستگاه‌هایی استفاده گردد که دارای بانک دیتای حداقل ۳۰ ساله می‌باشند.
 - از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان در سیاست گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بخش‌های مختلف در محدوده دریاچه ارومیه به ویژه مدیریت منابع آب و فعالیت‌های کشاورزی استفاده نمود.

- S. M. (2022). Spatiotemporal variations in precipitation extremes based on CMIP6 models and Shared Socioeconomic Pathway (SSP) scenarios over MENA. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(1), 1601. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10887-9>
16. Jain, S. K., Kumar, V., & Saharia, M. (2013). Analysis of rainfall and temperature trends in northeast India. *International Journal of Climatology*, 33(4), 968–978. <https://doi.org/10.1002/joc.3483>
 17. Jamali, M., Goharri, S. A., & Akhavan Sarraf, G. (2024). Spatial and temporal evaluation of extreme temperature and precipitation indices in Iran under the influence of climate change. *Water and Irrigation Management*, 14(3), 743–752. <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.374814.1156>. (In Persian)
 18. Javan, J., & Azizizadeh Varzaqan, M. (2019). Trend of extreme precipitation indices in the Lake Urmia basin and its relation to teleconnection patterns. *Geography and Planning*, (70). <https://www.magiran.com/p2109203>. (In Persian)
 19. Kliengchuay, W., Mingkhwan, R., Kiangkoo, N., Suwanmanee, S., Sahanavin, N., Kongpran, J., ... & Tantrakarnapa, K. (2024). Analyzing temperature, humidity, and precipitation trends in six regions of Thailand using innovative trend analysis. *Scientific Reports*, 14(1), 7800. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57980-5>
 20. Lehner, B., Doll, P., & Alcamo, J. (2006). Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*, 75, 273–299. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-6338-4>
 21. Maleki Nejad, H., Soleimani Motlagh, M., Jaidari, A., & Shater Abshouri, S. (2013). Trend analysis of precipitation and drought changes using Mann-Kendall and Sen tests in Tehran province. *Nivar central Luzon, Philippines. Interdisciplinary Research Review*, 20(1). <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/jtir/article/view/250008>
 9. Chandniha, S. K., Meshram, S. G., Adamowski, J. F., & Meshram, C. (2017). Trend analysis of precipitation in Jharkhand State, India. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(1), 261–274. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1875-x>
 10. Ebrahimi, N., Zarrin, A., Mofidi, A., & Dadashi Rudbari, A. (2023). Forecasting extreme precipitation in Lake Urmia basin under climate change conditions. *Journal of Water and Soil*, 37(1), 769–785. <https://doi.org/10.22067/jsw.2023.81891.1270> (In Persian)
 11. Esri. (2024). ArcGIS Pro (Version 3.3) [Computer software]. Environmental Systems Research Institute (ESRI). <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>
 12. Gajbhiye, S., Meshram, C., Singh, S. K., Srivastava, P. K., & Islam, T. (2016). Precipitation trend analysis of Sindh River Basin, India, from 102-year record (1901–2002). *Atmospheric Science Letters*, 17(1), 71–77. <https://doi.org/10.1002/asl.602>
 13. Gaddikeri, V., Sarangi, A., Singh, D. K., Jatav, M. S., Rajput, J., & Kushwaha, N. L. (2024). Trend and change-point analyses of meteorological variables using Mann–Kendall family tests and innovative trend assessment techniques in New Bhubania command (India). *Journal of Water and Climate Change*, 15(5), 2033–2058. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.462>
 14. Gholipour, J., Mousavi Baygi, M., Babaeian, I., & Jabbari Nouqabi, M. (2021). Investigating the trend of extreme precipitation events in South Khorasan province due to global warming (Climate period: 1989–2018). *Climatological Research*, 1400(46), 29–42. (In Persian)
 15. Hejazizadeh, Z., Hosseini, S. A., Karbalaee, A., Poorkarim, R., & Mousavi,

28. Ramezani, Y., Khashaei Sioveki, A., & Nazeri Tehroni, M. (2017). Investigating the temporal distribution of daily precipitation in the Lake Urmia basin using the concentration index. *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 24(5), 163–177. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2017.13260.2792>. (In Persian)
29. Rasouli, A. (2003). Preliminary time series analysis—Extraction of primary and secondary components of climatic elements in Tabriz city. *Nivar Journal*, (46 and 47). (In Persian)
30. Rasouli, A. A., Babaeian, I., Ghaemi, H., & Zavar Reza, P. (2012). Time series analysis of pressure of synoptic patterns effective on seasonal precipitation of Iran. *Journal of Geography and Development*, 10(27), 77–88. <https://doi.org/10.22111/gdij.2012.486>. (In Persian)
31. Rasouli, A. A., Erfanian, M., Sari Sarraf, B., & Javan, K. (2016). Evaluation of the conceptual cloud model in estimating six-hourly rainfall of the Lake Urmia basin. *Geography and Urban and Regional Planning*, (20). <https://doi.org/10.22111/gaij.2016.2708>
32. Rasouli, A. A., Cheung, K. K. W., Ji, F., & Lisa, T.-C. (2021). Spatial characteristics of precipitation in the greater Sydney metropolitan area as revealed by the daily precipitation concentration index. *Atmosphere*, 12(5), 627. <https://doi.org/10.3390/atmos12050627>
33. Rodríguez-González, M. P., & Cerezo-Mota, R. (2025). Trend analysis of extreme precipitation indices and climate oscillations over the Yucatan Peninsula for the period 1980–2010. *International Journal of Climatology*, 45(9), e8885. <https://doi.org/10.1002/joc.8885>
34. Sen, P. K. (1968). Asymptotically efficient tests by the method of n rankings. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 30(2), 331–349.
35. Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Scientific and Technical Journal, (80-81). http://nivar.irimo.ir/article_13186.html. (In Persian)
22. Moberg, A., & Jones, P. D. (2005). Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe 1901–1999. *International Journal of Climatology*, 25(9), 1149–1171. <https://doi.org/10.1002/joc.1163>
23. Movaghari, A., & Javan, K. (2023). Spatial distribution of the trend of extreme precipitation parameters in Northwest Iran and its relationship with the general circulation of the region. *Desert Management*, 10(4), 112-128. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2023.2007.679.1428>. (In Persian)
24. Monjo, R., & Martin-Vide, J. (2016). Daily precipitation concentration around the world according to several indices. *International Journal of Climatology*, 36(12), 3828–3838. <https://doi.org/10.1002/joc.4596>
25. Mirzaei Hasanloo, A., Erfanian, M., Javan, K., & Najafi, M. R. (2024). Trend analysis of extreme precipitation indices in Iran based on the multi-key regression model. *Environment and Water Engineering*, 10(4), 541–557. <https://doi.org/10.22034/ewe.2024.44117.7.1912>. (In Persian)
26. Nastos, P. T., Kapsomenakis, J., & Douvis, K. C. (2013). Analysis of precipitation extremes based on satellite and high-resolution gridded data set over Mediterranean basin. *Atmospheric Research*, 131, 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.04.009>
27. Pińskwar, I., Choryński, A., Graczyk, D., & Kundzewicz, Z. W. (2019). Observed changes in extreme precipitation in Poland: 1991–2015 versus 1961–1990. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, 773–787. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2372-1>

- Iran. *Weather and Climate Extremes*, 43, 100633.
<https://doi.org/10.1016/j.wace.2024.100633>.
- World Meteorological Organization. (2018). *WMO Guide to climatological practices* (2nd ed.).
- Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389.
<https://doi.org/10.2307/2285891>
36. Solaimani, K., Alijani, B., Almodaresi, S. A., & Darand, M. (2024). Evaluation of TerraClimate gridded data in investigating climate indices and their trends across