

Spatial Analysis of Daily Precipitation in West Azerbaijan Based on Percentile Classification and Geostatistical Methods

yusefzadeh, A.¹  | Rasouli, A.² 

1. Department of Meteorology, Mara.C., Islamic Azad University, Marand, Iran
2. School of Geosciences, Macquarie University, Sydney, Australia

Corresponding Author E-mail: aliyusefzadeh1353@gmail.com

(Received: 11 May 2026, Revised: 22 Jun 2026, Accepted: 27 Jun 2026, Published online: 27 Jun 2026)

Abstract

Daily precipitation, particularly intense and extreme rainfall events, plays a critical role in the occurrence of hydrological hazards, especially in mountainous regions. However, relying solely on mean-based indices or fixed thresholds is insufficient to fully capture the actual behavior of such events. The present study aims to investigate the spatial patterns of daily precipitation in West Azerbaijan Province using percentile classification and geostatistical methods. For this purpose, daily precipitation records from 17 meteorological stations during the period 2004–2024 were analyzed after excluding precipitation amounts below 1 mm. The precipitation data were classified into four categories: minimum to mean, mean to the 75th percentile, 75th to 90th percentile, and 90th to 100th percentile. Subsequently, geostatistical tools including histograms, quantile–quantile (Q–Q) plots, trend analysis, Moran’s spatial autocorrelation index, and various kriging interpolation methods were employed to evaluate the spatial structure of precipitation. The results indicated that all percentile classes exhibited non-normal distributions and nonlinear spatial trends. Furthermore, Moran’s index confirmed the presence of significant clustered spatial patterns across all classes. Analysis of the interpolated maps revealed that spatial dependence decreased with increasing precipitation intensity, and the precipitation distribution pattern gradually shifted from relatively continuous structures to more heterogeneous and localized patterns. In particular, precipitation events within the 90th–100th percentile class exhibited the highest degree of spatial heterogeneity. The proposed approach provides a more comprehensive understanding of the spatial behavior of daily precipitation and can contribute to improved flood management and water resources planning.

Keywords: Daily precipitation spatial analysis; Geostatistical methods. Percentile classification; West Azerbaijan meteorological stations

Cite this article: yusefzadeh, A and rasouli pirouziyan, A. (2026). Spatial Analysis of Daily Precipitation in West Azerbaijan Based on Percentile Classification and Geostatistical Methods. *Journal of the Nivar*, (). DOI: 10.30467/nivar.2026.581316.1377

Email: (2) rasouli@tabrizu.ac.ir



Publisher: Iran Meteorological Organization
DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2026.581316.1377>

Print ISSN: 1735-0565
Online ISSN: 2645-3347

تحلیل مکانی بارش‌های روزانه آذربایجان غربی براساس طبقه‌بندی صدکی و روش‌های زمین‌آماري

علی یوسف زاده^۱ | علی اکبر رسولی پیروزیان^۲

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

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

رایانامه نویسنده مسئول: aliyusefzadeh1353@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۱، بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱، پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۶، انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۴/۰۶)

چکیده

بارش‌های روزانه به‌ویژه رخدادهای شدید و حدی، نقش تعیین‌کننده‌ای در بروز مخاطرات هیدرولوژیکی به‌ویژه در مناطق کوهستانی دارند. با این حال، اتکای صرف به شاخص‌های مبتنی بر میانگین یا آستانه‌های ثابت، قادر به نمایش کامل رفتار واقعی این رخدادها نیست. هدف پژوهش حاضر بررسی الگوی مکانی بارش‌های روزانه استان آذربایجان غربی بر اساس طبقه‌بندی صدکی و کاربرد روش‌های زمین‌آماري است. بدین منظور، داده‌های بارش روزانه ۱۷ ایستگاه هواشناسی طی دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۴ پس از حذف مقادیر کمتر از یک میلی‌متر بررسی و در چهار طبقه شامل حداقل تا میانگین، میانگین تا صدک ۷۵، صدک ۷۵ تا ۹۰ و صدک ۹۰ تا ۱۰۰ طبقه‌بندی شدند. سپس با استفاده از ابزارهای زمین‌آماري شامل هیستوگرام، نمودارهای چندک-چندک، تحلیل روند، شاخص خودهمبستگی مکانی موران و روش‌های مختلف کریجینگ، ساختار مکانی بارش‌ها ارزیابی گردید. نتایج نشان داد تمامی طبقات صدکی دارای توزیع غیرنرمال و روندهای مکانی غیرخطی هستند. همچنین شاخص موران وجود الگوی خوشه‌ای معنی‌دار را در همه طبقات تأیید کرد. بررسی نقشه‌های درونیایی نشان داد با افزایش شدت بارش، وابستگی مکانی کاهش یافته و الگوی توزیع بارش‌ها از حالت نسبتاً پیوسته به الگوهای ناهمگن و موضعی تغییر می‌کند؛ به‌طوری‌که بارش‌های صدک ۹۰ تا ۱۰۰ بیشترین ناهمگنی مکانی را نشان دادند. این رویکرد امکان شناخت دقیق‌تر رفتار مکانی بارش‌های روزانه و کاربرد آن در مدیریت سیلاب و برنامه‌ریزی منابع آب را فراهم می‌سازد.

کلیدواژه‌ها: ایستگاه‌های هواشناسی آذربایجان غربی، تحلیل مکانی بارش‌های روزانه، روش‌های زمین‌آماري، طبقه‌بندی صدکی

۱. مقدمه

بارش یکی از عناصر کلیدی اقلیمی است که توزیع مکانی و زمانی آن نقش مهمی در مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی کشاورزی، تحلیل مخاطرات طبیعی و سیاست‌گذاری‌های توسعه‌ای ایفا می‌کند (رسولی و همکاران، ۱۳۹۲). استان آذربایجان غربی در شمال‌غرب ایران و در مجاورت دریاچه ارومیه قرار گرفته و به دلیل تنوع ناهمواری‌ها، اختلاف ارتفاع

قابل توجه و تأثیرپذیری از سامانه‌های بارشی مدیترانه‌ای و شمال‌غربی، دارای الگوهای بارشی پیچیده و متغیر است. بارش‌های روزانه از مهم‌ترین پدیده‌های اقلیمی به شمار می‌روند، زیرا نقش تعیین‌کننده‌ای در وقوع سیلاب‌های ناگهانی، فرسایش خاک و مدیریت منابع آب دارند (جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۹). در تحلیل‌های آماری بارش‌های حدی، معمولاً از شاخص‌هایی مانند صدک‌های بارش برای شناسایی شدت و رفتار رخدادهای بارشی استفاده

استناد: یوسف زاده، علی و رسولی پیروزیان، علی اکبر. (۱۴۰۵). تحلیل مکانی بارش‌های روزانه آذربایجان غربی براساس طبقه‌بندی صدکی و روش‌های زمین‌آماري. مجله

نیوار، (۲)، DOI: 10.30467/nivar.2026.581316.1377

رایانامه: rasouli@tabrizu.ac.ir (۲)



می‌شود (محمدي و همکاران، ۱۳۹۶). این شاخص‌ها نسبت به آستانه‌های ثابت، توانایی بیشتری در نمایش تغییرپذیری مکانی بارش دارند و امکان مقایسه شرایط اقلیمی متفاوت را فراهم می‌سازند.

مطالعات نشان داده‌اند که استان آذربایجان غربی به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص و تأثیرپذیری از سامانه‌های جوی مختلف، دارای توزیع مکانی ناهمگون بارش است (رسولی و همکاران، ۱۳۹۸). در این منطقه، بارش‌های حدی معمولاً با تغییرات شدید مکانی همراه هستند و نقش مهمی در بروز مخاطرات هیدرولوژیکی دارند (خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۵). این ویژگی‌ها ضرورت تحلیل دقیق ساختار فضایی بارش را دوچندان می‌کند.

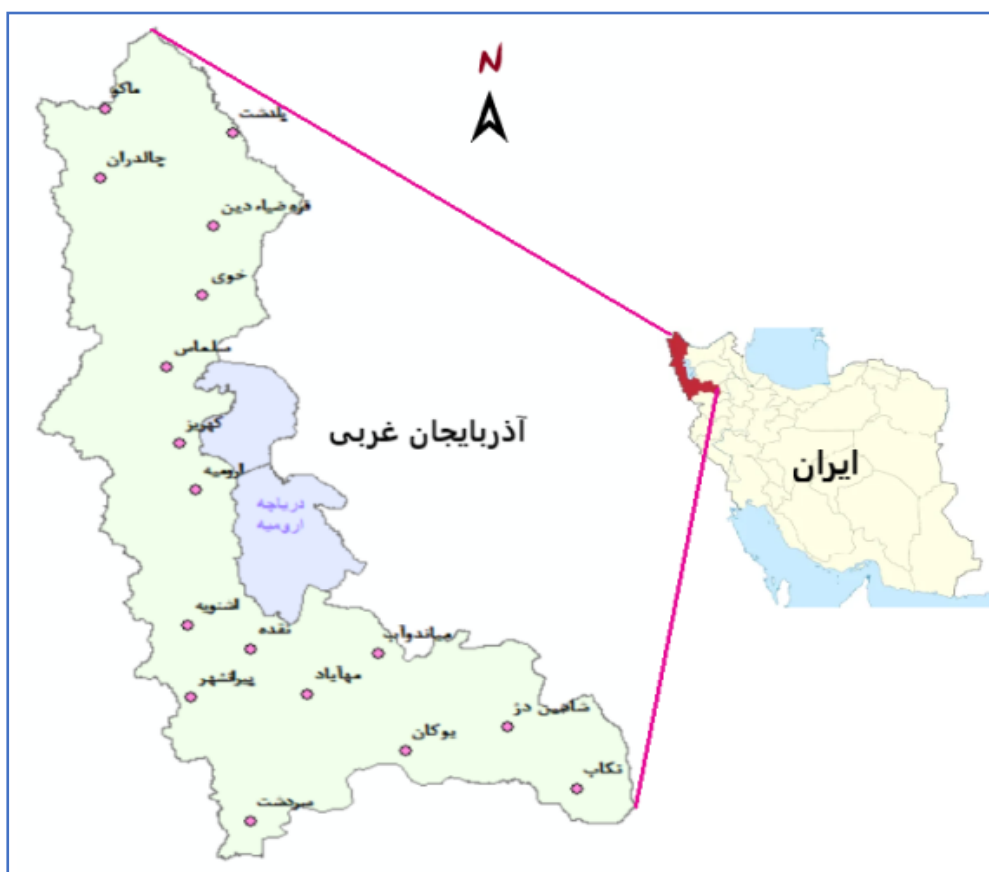
مطالعات متعددی در زمینه تحلیل بارش‌های حدی و الگوهای مکانی بارش در ایران و سایر نقاط جهان انجام شده است. محمدي و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات شاخص‌های حدی بارش روزانه را در ایران بررسی کرده و وجود روندهای معنادار در برخی مناطق را گزارش کردند. رسولی و همکاران (۱۳۹۸) با تحلیل الگوهای مکانی بارش در شمال غرب ایران، نقش عوامل توپوگرافی و سامانه‌های جوی را در توزیع بارش مورد تأکید قرار دادند. همچنین عساکره و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از روش‌های تحلیل فضایی، رفتار مکانی بارش‌های شدید را در غرب کشور بررسی کردند. در مطالعات بین‌المللی نیز Cavazos et al. (2020) و Portalanza et al. (2025) نشان داده‌اند که تغییر اقلیم می‌تواند موجب تغییر در شدت، فراوانی و الگوی مکانی بارش‌های حدی

شود. با وجود این مطالعات، بررسی ساختار فضایی بارش‌های روزانه بر پایه طبقه‌بندی صدکی و تحلیل تفاوت‌های مکانی طبقات مختلف شدت بارش با استفاده از روش‌های زمین‌آماري، به‌ویژه در استان آذربایجان غربی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است که همین امر خلأ پژوهشی این مطالعه را تشکیل می‌دهد.

۲. روش تحقیق

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان غربی در شمال غرب ایران واقع شده و از نظر اقلیمی و جغرافیایی تحت تأثیر تنوع توپوگرافی و سامانه‌های جوی مختلف قرار دارد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۱). این استان دارای شبکه‌ای از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک بوده که داده‌های آن‌ها در تحلیل‌های اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۰). توسط شکل ۱ موقعیت جغرافیایی آذربایجان غربی در کشور ایران به همراه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مربوطه نمایش داده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان آذربایجان غربی در کشور ایران با تاکید بر مکان‌مایی ایستگاه‌های هواشناسی

همکاران، ۱۳۹۵). در مجموع ایستگاه‌های هواشناسی واقع در مناطق جنوب‌غربی استان بیشترین مقدار بارشهای سالانه را دریافت می‌نمایند که موجب ایجاد اقلیم خاص و قلمرو محیطی متفاوتی نسبت به سایر مناطق استان شده است.

۲-۲ داده‌های تحقیق

در این مطالعه، از داده‌های بارش روزانه ۱۷ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی استان آذربایجان غربی طی دوره آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۴ استفاده شد. با توجه به تفاوت در طول دوره آماری ایستگاه‌ها و وجود داده‌های ناقص در برخی ایستگاه‌ها، داده‌ها پس از کنترل کیفیت و همگن‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند (سازمان هواشناسی ایران، ۱۴۰۴). ویژگی‌های آماری بارشهای ثبت شده در (جدول ۱) به اختصار ذکر شده است.

استان آذربایجان غربی در یک منطقه کوهستانی واقع شده است و جریانات هوای مرطوبی که از طرف منابع رطوبتی مانند دریای مدیترانه و اقیانوس اطلس بطرف منطقه هدایت میگردد بر روی اقلیم این استان تاثیر بسیاری دارد. کوه‌های مرتفع سیلوانه (امتداد رشته کوه زاگرس) که در محدوده غربی این استان واقع شده‌اند تا حدودی مانع ورود توده‌های هوای باران زامی شوند. اما مناطق واقع در محدوده جنوبی این استان به دلیل شرایط توپوگرافیک مساعد در اثر ورود توده های مرطوب با منشاء مدیترانه دارای بارندگی های قابل توجهی نسبت به شمال آن دارند (عزیززاده و جوان، ۱۳۹۲). بطور کلی، استان آذربایجان غربی آب و هوای متنوعی دارد که بیشتر تحت تأثیر جریانات هوای مرطوب اقیانوس اطلس و دریای سیاه (از شمال‌غرب) و دریای مدیترانه (از غرب استان) می باشد. بطور کلی میزان بارندگی سالانه استان از شمال به جنوب و از غرب به شرق کاهش می‌یابد و در سواحل دریاچه ارومیه به حداقل خود می‌رسد (فرج زاده و

تحلیل مکانی بارش‌های روزانه آذربایجان غربی براساس طبقه‌بندی صدکی و روش‌های زمین‌آماري...../ یوسف زاده و پیروزیان

جدول ۱: مشخصات کلی ایستگاه‌های هواشناسی استان آذربایجان غربی به‌مراه آماره‌های (مقدار و درصد بارش) مربوطه

درصد آستانه ۴	درصد آستانه ۳	درصد آستانه ۲	درصد آستانه ۱	صدک ۹۰ الی ۱۰۰	صدک ۷۵ الی ۹۰	میانگین تا صدک ۷۵	میانگین تا حد اقل تا میانگین	مجموع بارش بیش از یک میلیمتر	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ایستگاه هواشناسی
۳۲/۵	۲۵/۳	۹/۳	۳۲/۹	۲۰۸۸	۱۶۲۶	۵۹۴	۲۱۰۷	۶۴۱۵	۱۴۱۱	۳۹/۳۷۹	۴۴/۴۹۲	ماکو
۲۸/۹	۲۴/۸	۱۳/۳	۳۲/۹	۷۳۲	۶۲۸	۳۳۷	۸۳۳	۲۵۳۰	۸۳۰	۳۹/۳۱۹	۴۵/۰۶۷	پلدشت
۳۴/۹	۲۱/۳	۱۲/۳	۳۱/۵	۲۶۸۲	۱۶۳۵	۹۴۷	۲۴۱۶	۷۶۸۰	۱۸۸۸	۳۹/۰۶۰	۴۴/۴۰۷	چالدران
۳۲/۷	۲۶/۴	۷/۷	۳۳/۱	۲۰۱۹	۱۶۲۹	۴۷۸	۲۰۴۵	۶۱۷۱	۱۱۷۱	۳۸/۸۸۳	۴۵/۰۱۷	قره ضیال‌الدین
۳۷/۵	۲۲/۸	۶/۲	۳۳/۵	۲۰۶۰	۱۲۵۵	۳۴۲	۱۸۳۹	۵۴۹۷	۱۱۹۷	۳۸/۵۵۸	۴۴/۹۹۵	خوی
۳۲/۳	۲۶/۵	۶/۹	۳۴/۴	۱۵۳۱	۱۲۵۸	۳۲۶	۱۶۳۱	۴۷۴۵	۱۳۷۹	۳۸/۲۱۶	۴۴/۸۴۸	سلماس
۴۳/۰	۲۴/۷	۵/۱	۲۷/۲	۲۰۲۱	۱۱۵۹	۲۳۷	۱۲۷۸	۴۶۹۵	۱۳۳۶	۳۷/۸۶۷	۴۴/۹۵۰	کهریز
۳۸/۱	۲۴/۳	۶/۶	۳۰/۹	۲۳۷۶	۱۵۱۶	۴۱۲	۱۹۲۷	۶۲۳۲	۱۳۳۵	۳۷/۶۵۹	۴۵/۰۵۵	ارومیه
۳۵/۳	۲۸/۰	۷/۲	۲۹/۵	۲۸۳۰	۲۲۴۲	۵۷۷	۲۳۵۹	۸۰۰۸	۱۴۱۴	۳۷/۰۳۳	۴۵/۰۸۳	اشنویه
۳۷/۰	۲۵/۴	۶/۰	۳۱/۶	۱۹۶۸	۱۳۵۳	۳۱۹	۱۶۸۴	۵۳۲۴	۱۲۷۰	۳۶/۹۶۷	۴۶/۰۵۰	میاندوآب
۳۴/۵	۲۶/۹	۷/۶	۳۱/۰	۲۲۴۰	۱۷۵۰	۴۹۷	۲۰۱۴	۶۵۰۱	۱۳۰۷	۳۶/۹۴۶	۴۵/۴۱۳	نقده
۳۶/۳	۲۶/۳	۸/۵	۲۸/۸	۲۸۰۲	۲۰۳۱	۶۵۹	۲۲۲۱	۷۷۱۴	۱۳۵۲	۳۶/۷۵۳	۴۵/۷۱۵	مهاباد
۳۸/۳	۲۶/۱	۹/۸	۲۵/۹	۵۵۸۵	۳۸۰۴	۱۴۳۶	۳۷۷۴	۱۴۶۰۰	۱۴۴۴	۳۶/۷۰۰	۴۵/۱۳۳	پیرانشهر
۳۴/۹	۸۲۴	۸/۶	۳۱/۷	۱۹۷۴	۱۴۰۴	۴۸۶	۱۷۹۱	۵۶۵۴	۱۳۶۹	۳۶/۶۶۷	۴۶/۷۳۳	شاهین دژ
۳۵/۵	۲۵/۰	۸/۸	۳۰/۷	۲۴۴۳	۱۷۱۸	۶۰۷	۲۱۱۴	۶۸۸۱	۱۳۸۶	۳۶/۵۲۷	۴۶/۲۳۲	بوکان
۳۴/۱	۲۴/۴	۹/۹	۳۱/۶	۲۱۵۶	۱۵۴۶	۶۲۶	۲۰۰۳	۶۳۳۱	۱۸۱۷	۳۶/۳۹۶	۴۷/۰۹۹	تکاب
۳۵/۴	۲۸/۳	۱۰/۷	۲۵/۶	۶۰۷۲	۴۸۶۱	۱۸۳۲	۴۳۹۳	۱۷۱۵۸	۱۵۵۷	۳۶/۱۴۸	۴۵/۴۸۶	سردشت

یادآور می‌گردد، در (جدول ۱) ردیف ایستگاه‌های هواشناسی بر اساس عرض جغرافیایی آنها از شمال به جنوب استان آذربایجان غربی تنظیم شده است. ضمناً نوع کاربری همه ایستگاه‌ها به غیر از ایستگاه کهریز (حالت خودکار) و میاندوآب (با کاربری کشاورزی) مشاهدات بارش‌های روزانه در حالت سینوپتیک اصلی و یا تکمیلی ثبت شده‌اند. در مرحله آماده‌سازی داده‌ها، پس از کنترل کیفیت و حذف داده‌های ناقص، مقادیر آستانه‌های بارش روزانه (برای هر ایستگاه بطور جداگانه) در محیط نرم افزار اکسل با اعمال توابع خاص استخراج گردید. ضمناً، برای تفکیک،

آستانه‌های آماری بارش‌های روزانه ابتدا داده‌های بارش روزانه به ازای هر ایستگاه مرتب و بعد از حذف بارش‌های کمتر از یک میلیمتر آماره‌های مندرج در (جدول ۲) استخراج گردید. توجه اولیه به داده‌های مندرج در (جدول ۲) نشان‌دهنده اختلاف قابل توجه بارش‌های ثبت شده در ایستگاه‌های شمالی با ایستگاه‌های جنوبی محدوده مورد مطالعه (به ویژه ایستگاه‌های پیرانشهر و سردشت) با لحاظ آماره‌های مربوطه می‌باشد. در این حالت بارش‌های روزانه نه به‌عنوان یک متغیر یکنواخت، بلکه به‌عنوان طیفی از فرآیندهای طبقه‌بندی شده قابل تحلیل شدند.

جدول ۲: آستانه‌های آماره‌های بارش به‌مراه کاربردهای مربوطه

آستانه (طبقه)	حدود تغییرات بارش به میلیمتر	نام‌گذاری فیزیکی طبقات	کاربرد پیشنهادی
کل داده‌ها	حد اقل (۱ میلیمتر) الی حداکثر مقادیر بارش	شامل همه آستانه‌ها	ایجاد پایگاه داده‌های اصلی
۱	حد اقل الی میانگین هر سری آماری	ضعیف-متوسط	آستانه بارش‌های حد اقل
۲	مقادیر میانگین الی صدک ۷۵	متوسط-نسبتاً شدید	آستانه بارش‌های متوسط
۳	مقادیر صدک ۷۵ الی ۹۰	شدید	آستانه بارش‌های شدید
۴	مقادیر صدک ۹۰ الی ۱۰۰	بسیار شدید (حدی)	آستانه بارش‌های بسیار شدید

بارش‌های جمع‌آوری شده در پایگاه داده پس از بررسی اولیه، به زیرگروه‌های مختلف شامل بارش‌های حداقل تا میانگین، میانگین تا صدک ۷۵، صدک ۷۵ تا ۹۰ و صدک ۹۰ تا ۱۰۰ طبقه‌بندی شدند. همچنین در این مطالعه، بارش‌های کمتر از ۱ میلی‌متر حذف گردید. این تصمیم با هدف کاهش نویز داده‌ها، تمرکز بر رخداد‌های مؤثر بارش و بهبود تفکیک‌پذیری رخداد‌های بارشی اتخاذ شد. با این حال، با توجه به شرایط اقلیمی نیمه‌خشک بخش‌هایی از استان آذربایجان غربی، حذف بارش‌های خفیف می‌تواند منجر به از دست رفتن برخی رخداد‌های رطوبتی کم‌مقدار اما تکرارشونده شود. بنابراین، این انتخاب با در نظر گرفتن هدف مطالعه (تمرکز بر بارش‌های مؤثر در ایجاد رواناب و رخداد‌های حدی) انجام شده و نه به عنوان یک رویکرد کلی برای تمام مطالعات اقلیمی. در واقع، هدف اصلی این پژوهش تحلیل ساختار فضایی بارش‌های مؤثر و شدید بوده است که نقش غالبی در فرآیندهای هیدرولوژیکی منطقه دارند.

۳-۲ روش‌های تحقیق:

به منظور رسیدن به اهداف تحقیق جاری روش‌های متعدد زمین آماری و درونیابی متعددی صورت گرفت که به اختصار کلیات هر کدام از آنها ارائه می‌گردد. در مرحله اول، با هدف شناسایی نحوه توزیع بارش‌های منتخب ابزار هیس‌توگرام در محیط نرم افزار ArcGIS بکار گرفته شد که نتیجه آن تولید مدلی است که می‌تواند بیانگر توزیع نرمال و یا چوله در سری داده‌های بارش باشد (Chun and Griffith, 2013). به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، مجموعه‌ای از روش‌های زمین‌آماري و تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله نخست، برای بررسی اولیه شکل توزیع داده‌های بارش، از هیس‌توگرام در محیط در مرحله بعدی، به منظور درک بهتر آستانه‌های بارش و ماهیت رفتاری دقیق آنها، از روش تحلیل الگوی موران محلی استفاده شد (Ma, 2019). یادآور می‌شود در دهه‌های اخیر، سناریوهای مختلفی در زمینه تحلیل الگوهای بارش شاخص‌های متنوعی بسط داده شده که از جمله می‌توان به شاخص جهانی موران اشاره نمود که نتیجه حاصله آماره

نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد که امکان ارزیابی بصری چولگی و پراکندگی داده‌ها را فراهم می‌سازد (Chun and Griffith, 2013). با این حال، به منظور بررسی دقیق‌تر نرمال بودن داده‌ها، علاوه بر تحلیل هیس‌توگرام، از آزمون‌های آماری نرمالیتی نیز استفاده گردید تا تصمیم‌گیری درباره ضرورت تبدیل داده‌ها با دقت بیشتری انجام شود. در این مطالعه، هیس‌توگرام به عنوان ابزار مقدماتی برای شناسایی ساختار توزیع داده‌ها و آزمون‌های آماری به عنوان معیار اصلی تصمیم‌گیری در خصوص نرمال بودن و انتخاب روش تبدیل مانند (Box-Cox) مورد استفاده قرار گرفتند.

در مرحله بعد، به منظور شناخت بیشتر توزیع آستانه‌های بارش از روش چندک-چندک استفاده شد تا امکان مقایسه داده‌های بارش در هر آستانه با مدل توزیع نرمال میسر گردد. در این نوع مدل خروجی هر نقطه معرف بارش متعلق به یک ایستگاه هواشناسی است که هر چقدر به خط نرمال نزدیک تر باشد درجه نرمال بودن توزیع مربوطه بیشتر خواهد بود. در ارتباط با بارش‌های مورد استناد مطالعه جاری در انتهای نمودارهای مربوطه انحراف شدید ملاحظه شد که نشان‌دهنده رفتار غیرنرمال مشاهدات بود.

در ادامه روش تحلیل روند به منظور شناخت میزان و جهت روند در آستانه‌های بارش (بطور جداگانه) بررسی شد. این ابزار یک مدل سه بعدی متحرک از بارش‌های ذریع را ارایه و امکان نمایش موقعیت ایستگاه‌های ثبت بارش (بهمراه مقدار بارش مربوطه) در صفحه مختصات X و Y را فراهم می‌آورد. در بالای هر نمایه مربوطه مقادیر بارش نمایش داده می‌شود که در صورت وجود روند در مقادیر بارشها توسط مولفه‌های خطی و یا غیرخطی در ساختاری مدل مربوطه قابل مشاهده می‌گردد (Mitchell, 2015).

های عددی مختلفی است که به عنوان امتیاز استاندارد بر آن اساس میتوان درجه پراکنده یا متمرکز بودن داده‌های مکانی استناد نمود. برای محاسبه شاخص موران، ابتدا امتیاز استاندارد محاسبه و در مرحله بعد، به ارزیابی و معنادار بودن شاخص مربوطه معادله ۱ مبادرت شد.

معادله ۱

بارش در نقطه x_0 به صورت ترکیب خطی توسط معادله ۴ قابل ارائه است.

معادله ۴

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

در معادله فوق $\hat{Z}(x_0)$ برابر با مقدار برآوردی آستانه بارش در نقطه مجهول، پارامتر $Z(x_i)$ معرف مقدار مشاهده‌شده آستانه بارش در ایستگاه i ، λ_i برابر با وزن‌های مدل کریجینگ و متغیر n نشانگر تعداد ایستگاه‌های ثبت بارش می باشد. در مرحله محاسبه وزن‌ها در محیط نرم افزار ArcGIS به گونه‌ای عمل شد تا تخمین مقادیر بارش در نقاط مجهول با حداقل تورش و واریانس خطا باشد. باید یادآور شد که پایه اساسی درونیابی مدل کریجینگ ساختار وابستگی فضایی است که بعنوان نیم-واریوگرام شناخته شده و توسط معادله ۵ قابل طرح است.

معادله ۵

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$$

در اجرا معادله تجربی ۶ مورد استناد قرار گرفت.

معادله ۶

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$

در معادله فوق پارامتر h نشان دهنده فاصله مکانی، $N(h)$ معرف تعداد جفت نقاط (ایستگاه‌های ثبت بارش) در فاصله h می باشد. در محیط نرم افزاری مدل‌های رایج برازشهای مختلفی از جمله مدل کروی - نمایی و گاوسی قابل استناد می باشد.

از آنجائیکه بارشهای مورد تحلیل توزیع غیر نرمالی داشتند آنها به کمک تطبیق روش باکس-کاکس قبل از اعمال مدل واریوگرام و کریجینگ نرمال سازی شدند. ضمناً به منظور کاهش مقدار خطا در مراحل توسعه مدل‌های مختلف

$$I = \frac{n \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

که در آن پارامتر n نشان دهنده تعداد ایستگاه‌های ثبت بارش (به تعداد ۱۷)، x_i معرف مقدار بارش در ایستگاه i ، پارامتر $\bar{x}$ مساوی با میانگین بارش ثبت شده در هر ایستگاه، متغیر w_{ij} مساوی با وزن مکانی بین i و j و در نهایت مقدار S_0 که از معادله ۲ حاصل می گردد.

معادله ۲

$$S_0 = \sum_i \sum_j w_{ij}$$

ضمناً برای شناسایی خوشه‌های مکانی به معادله ۳ استناد گردید.

معادله ۳

$$I_i = (x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})$$

در این مرحله، چندین روش متداول درونیابی مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس مطالعات پیشین و ویژگی‌های داده‌های بارش، روش کریجینگ به عنوان روش مناسب برای تحلیل الگوی فضایی صدک‌های بارش انتخاب شد. در مطالعات آینده، ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف درونیابی و تحلیل خطای آنها می‌تواند به بهبود دقت نتایج کمک کند. کریجینگ نوعی روش درونیابی زمین آماری است که از مدل‌های آماری برای تخمین مقدار یک سطح پیوسته (توزیع مکانی بارش) در مکان‌های نمونه برداری نشده بر اساس مقادیر نقاط نمونه اطراف (ایستگاه‌های هواشناسی) استفاده می کند. ضمن اینکه مدل کریجینگ یک روش قدرتمند و انعطاف‌پذیر است که می‌تواند برای مدل‌سازی روابط فضایی پیچیده بین متغیرها استفاده شود و به‌ویژه در مواردی که نقاط نمونه دارای ساختار خودهمبستگی فضایی دارند، قابل اعتماد می باشد. در مطالعات متعددی به ساختار و کاربرد روش کریجینگ اشاره شده است (Oliver and Kriging, 1990) در این روش مقدار برآوردی از مقادیر

مدلسازی صدکهای بارش مختلف روشهای متنوع کریجینگ مطابقت داده شده است و ویژگی های اصلی آنها به اختصار در (جدول ۳) ارائه شده است.

کریجینگ باید نقش پارامترهای دیگر مانند میزان ناگت و سیل برآورد و در روند اجرای دقیق مدل های مختلف کریجینگ معمولی با دقت لحاظ گردد (Royle et al. 1981). با توجه به این مهم که در مطالعه حاضر به منظور

جدول ۳: انواع مدل کریجینگ مطابقت داده شده به آستانه های بارش

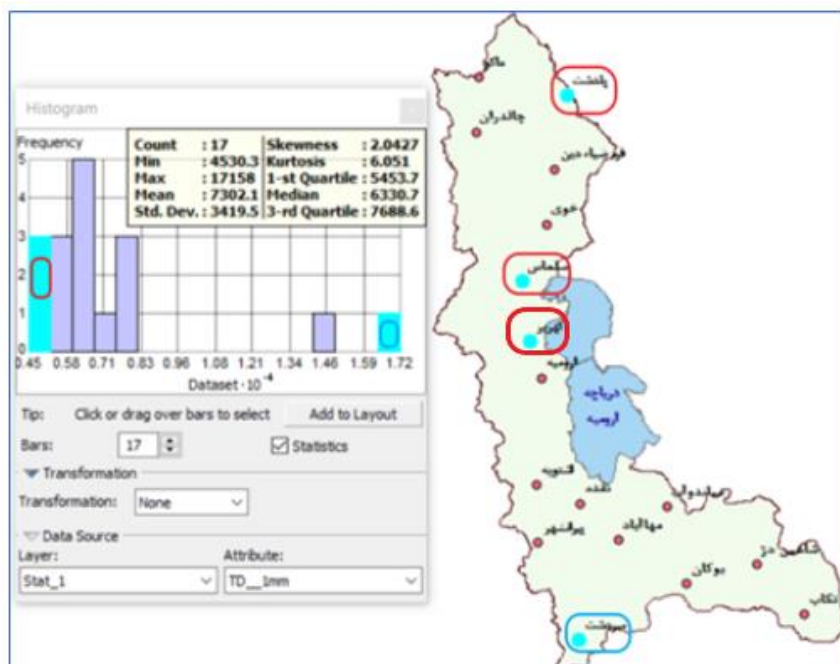
آستانه بارش	نوع مدل	معادله	جنبه های کاربردی
مجموع بارشها	کریجینگ ساده	$Z_{OK}^*(x) = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot Z(x_i) + [1 - \sum_{i=1}^n \omega_i(x)]m$	در آن مقدار میانگین متغیری ثابت تصادفی میباشد. این روش معمولاً در مواقعی استفاده میشود که تغییرات مقادیر Z آنها در اطراف مقدار ثابت معلومی انجام گیرد
صدک اول	کریجینگ معمولی (عام)	$Z_{KT}^*(x) = \sum_{i=1}^n \omega_i(x) \cdot Z(x_i)$	دربرگیرنده حالتی است که در آن میانگین بارش محلی در محدوده جستجو متغیر است. در این روش تغییرات میانگین نسبت به مکان در نظر گرفته شده و مقدار روند یک ترکیب خطی نامعلوم از توابع معلوم محاسبه می گردد.
صدک دوم	کریجینگ رگرسیون	$\hat{Z}_1(x_0) = \sum \lambda_i Z_1(x_i) + \sum \alpha_j Z_2(x_j)$	مطابقت تغییرات سطحی بارش با داده های ارتفاعی هر ایستگاه ثبت کننده بارش در این مدل لحاظ گردید.
صدک های سوم و چهارم	کوکریجینگ	$\gamma_{12}(h) = \frac{1}{2} E[(Z_1(x) - Z_1(x+h))(Z_2(x) - Z_2(x+h))]$	در این مدل به دلیل بکارگیری متغیر کمکی ارتفاع، واریوگرام متغیرهای اصلی و کمکی و کراس-واریوگرام محاسبه گردید.

نرم افزار ArcGIS تهیه شد (شکل ۲). نتایج نشان می دهد که توزیع بارش در ایستگاه های مورد مطالعه یکنواخت نبوده و پراکندگی قابل توجهی بین ایستگاه ها وجود دارد. ایستگاه های پلدشت، سلماس و کهریز که در نواحی شمالی و مرکزی استان قرار دارند، دارای کمترین مقادیر بارش تجمعی هستند، در حالی که ایستگاه سردشت در جنوب استان بیشترین مقدار بارش را ثبت کرده است. این الگو بیانگر نقش مهم عوامل توپوگرافی و افزایش ارتفاع در افزایش بارش های منطقه ای است. همچنین اختلاف قابل توجه بین ایستگاه ها نشان دهنده ناهمگنی مکانی بارش در استان آذربایجان غربی می باشد.

یادآور می گردد بر اساس موقعیت کوهستانی شمال غرب ایران و همینطور دریاچه ارومیه در هر چهار طبقه صدکی بارش با شدت کم و زیاد وجود روندها ملاحظه شد که لزوم افزودن ارتفاع (بصورت نقطه ای و لایه ارتفاعی) به عنوان متغیر کمکی در مدلسازی مکانی به ویژه کوکریجینگ را فراهم ساخت (رسولی و همکاران، ۱۳۹۰).

۳. یافته های تحقیق:

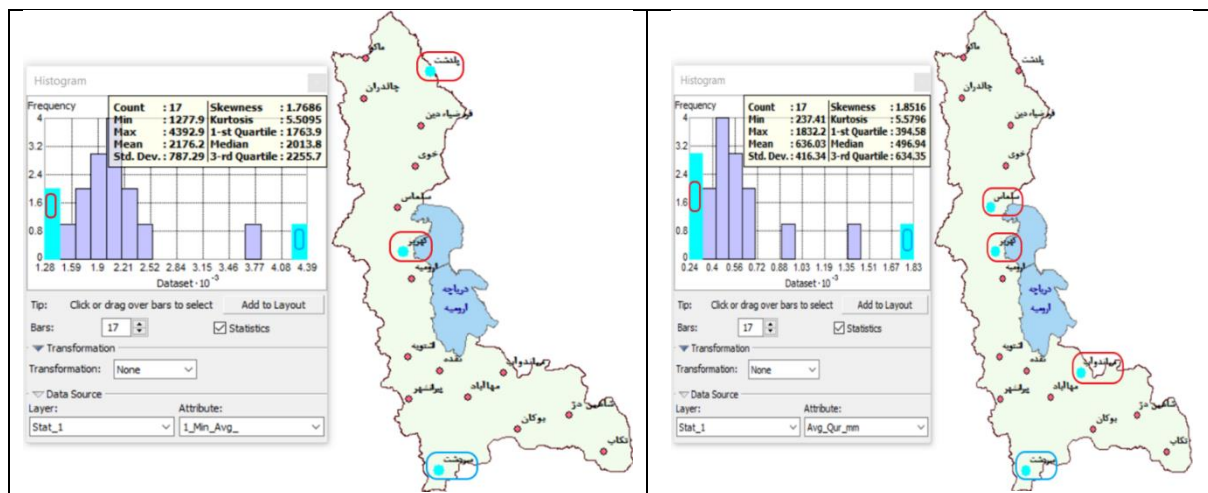
در گام نخست، به منظور بررسی توزیع کلی بارش های روزانه (بیشتر از ۱ میلی متر)، هیستوگرام مجموع بارش ها در محیط

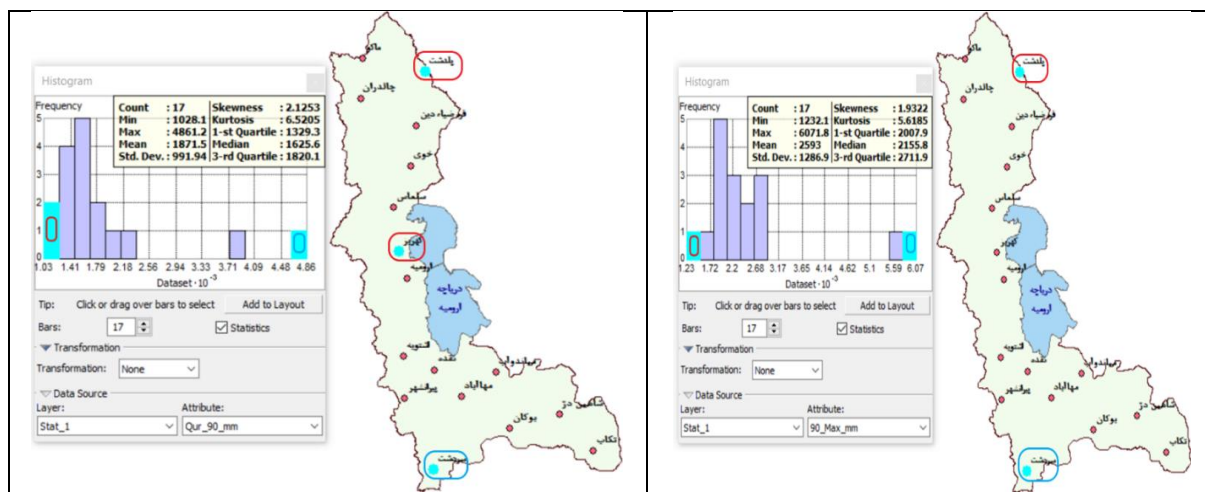


شکل ۲: هیستوگرام توزیع کل بارشهای بیشتر از یک میلیمتر در محدوده مورد مطالعه

رخدادها دارند، اما نقش مهمی در افزایش میانگین بارش ایفا می‌کنند. همچنین تفاوت‌های اندک بین طبقات صدکی نشان‌دهنده تداوم ساختار نامتقارن بارش در کل دامنه داده‌ها می‌باشد.

با تفکیک داده‌ها به چهار طبقه صدکی، هیستوگرام‌های مربوطه ترسیم گردید (شکل ۳). نتایج نشان می‌دهد که در تمامی طبقات صدکی، توزیع بارش‌ها دارای چولگی مثبت بوده و از توزیع نرمال فاصله دارند. این موضوع بیانگر آن است که رخداد‌های بارشی شدید سهم کمتری از تعداد کل

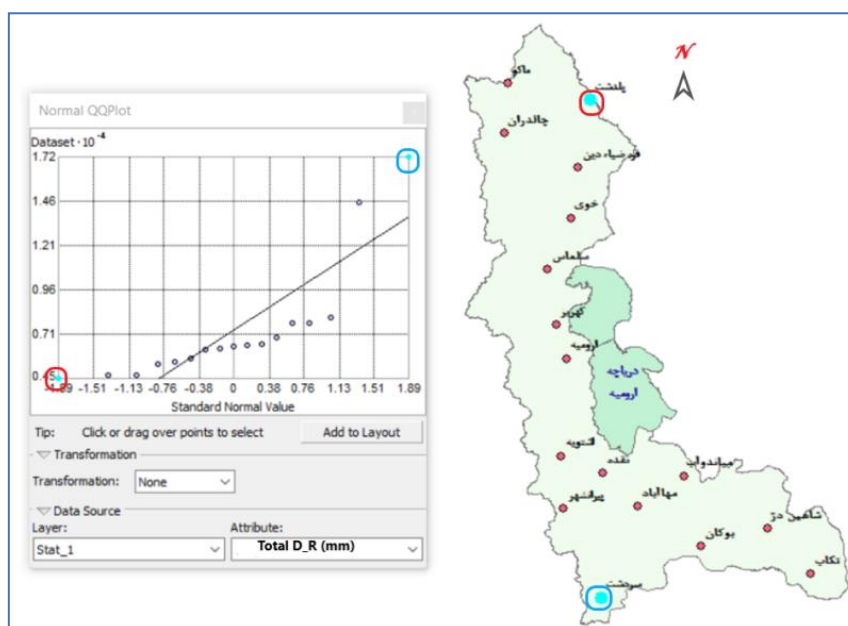




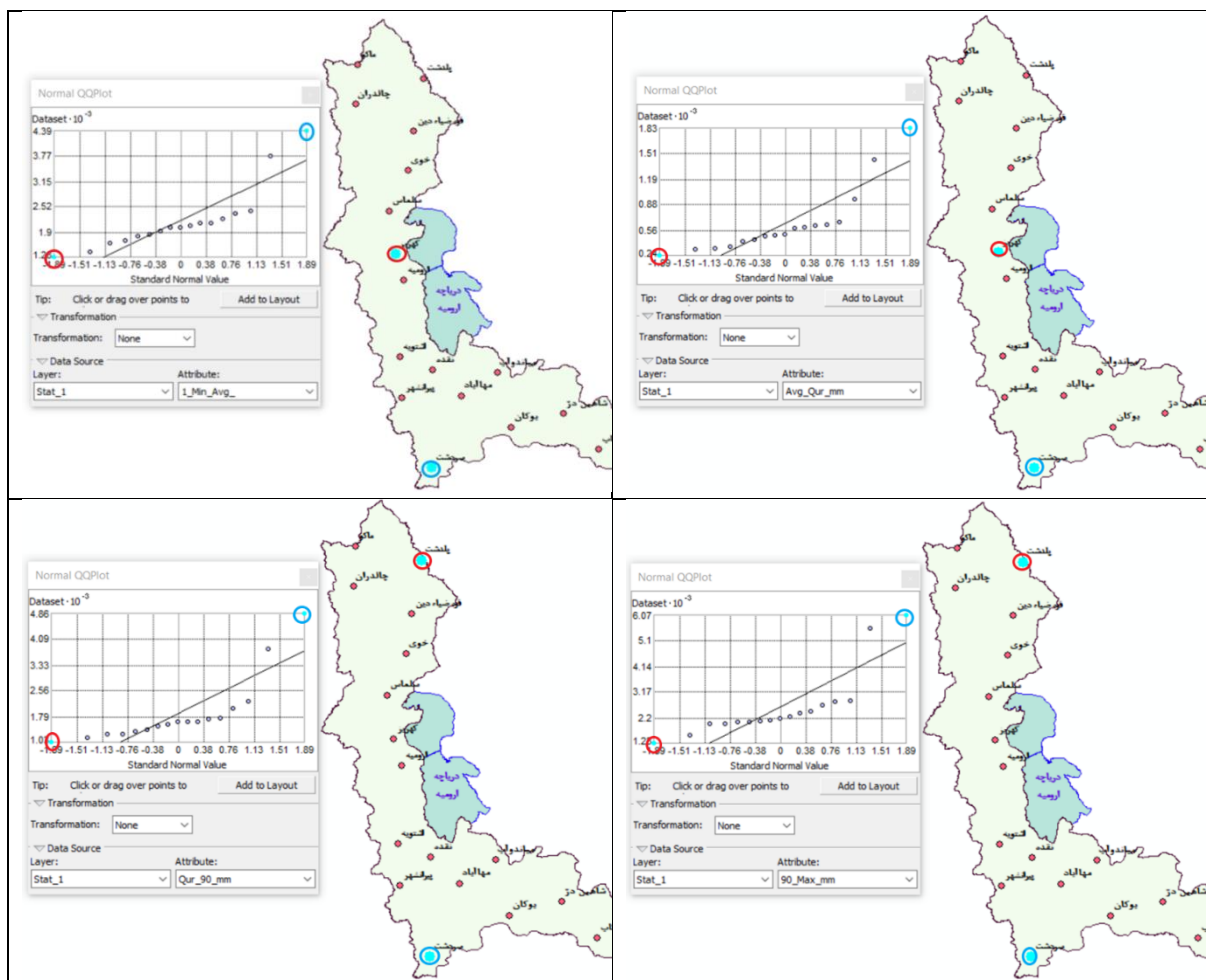
شکل ۳: هیستوگرام های توزیع کل بارش های چهار طبقه صدکی در محدوده مورد مطالعه

حدی (دم های توزیع) بیشتر است. این موضوع نشان دهنده وجود رفتار حدی و غیرایستا در داده های بارش منطقه است که می تواند ناشی از تأثیر سامانه های بارشی مقطعی و شدید باشد.

به منظور بررسی نرمال بودن داده ها، نمودارهای چندک-چندک (Q-Q plot) برای کل داده ها و طبقات صدکی ترسیم شد (شکل های ۴ و ۵). نتایج نشان می دهد که داده های بارش در هیچ یک از ایستگاه ها و طبقات صدکی، انطباق کامل با توزیع نرمال ندارند و انحراف از خط نرمال در مقادیر



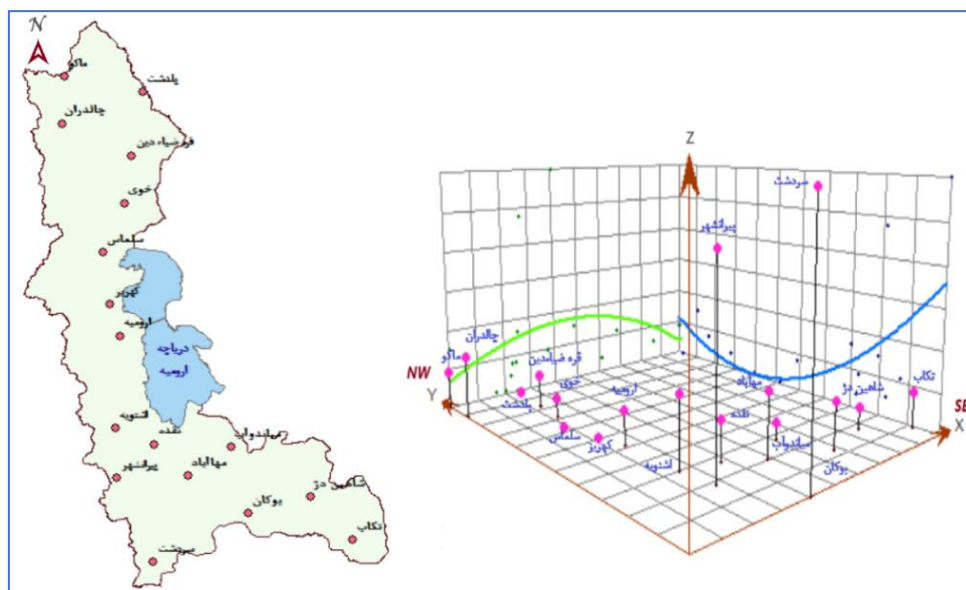
شکل ۴: نمودار چندک-چندک توزیع کل بارش های بیشتر از یک میلیمتر در محدوده مورد مطالعه



شکل ۵: نمودارهای چندک-چندک توزیع کل بارش‌های چهار طبقه بندی صدکی در محدوده مورد مطالعه

کمترین مقادیر را نشان می‌دهند. این اختلاف مکانی بیانگر نقش مهم ناهمواری‌ها، جهت‌گیری سامانه‌های بارشی و اثر ارتفاع در توزیع بارش است. همچنین وجود تغییرات غیرخطی در ساختار سه‌بعدی داده‌ها نشان‌دهنده پیچیدگی الگوی فضایی بارش در منطقه است.

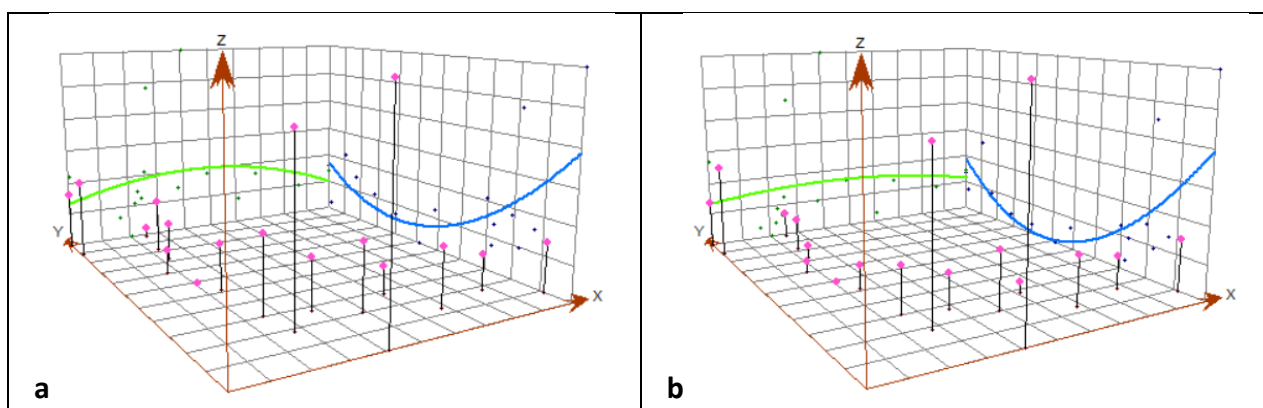
در مرحله بعد، به منظور بررسی الگوی فضایی و ساختار سه‌بعدی بارش‌ها در سطح ۱۷ ایستگاه مورد مطالعه، مدل سه‌بعدی شامل مجموع بارش و چهار طبقه صدکی طراحی شد (شکل ۶). نتایج نشان می‌دهد که ایستگاه‌های سردشت و پیرانشهر در جنوب استان دارای بیشترین مقادیر بارش هستند، در حالی که ایستگاه‌های شمالی مانند پلدشت و سلماس

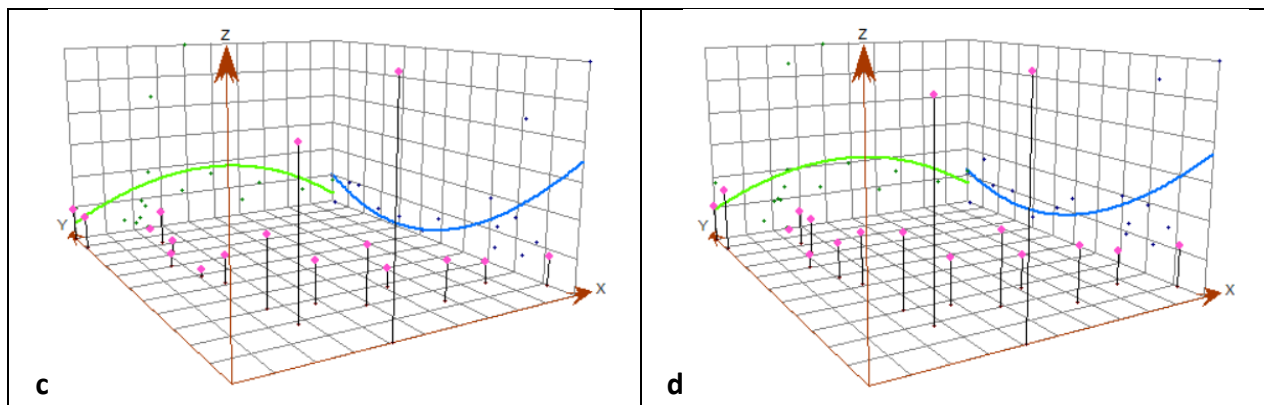


شکل ۶: تحلیل روند سه بعدی از آماره مجموع بارشهای روزانه (۲۰۰۴ الی ۲۰۲۴)

تغییرات اقلیمی و شرایط جوی مقطعی است. در مقابل، در صدک‌های پایین‌تر، الگوی تغییرات ملایم‌تر بوده و پایداری نسبی بیشتری در سری زمانی مشاهده می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که روند بارش در منطقه نه تنها خطی نیست، بلکه دارای رفتار پیچیده و وابسته به شدت رخدادهای بارشی است که ضرورت تحلیل تفکیکی بر اساس طبقات صدک‌ها را تأیید می‌کند.

به منظور بررسی روند تغییرات بارش در طبقات مختلف صدک‌ها، تحلیل روند به صورت مجزا برای هر یک از طبقات صدک‌ها انجام شد (شکل ۷). نتایج نشان می‌دهد که در تمامی طبقات صدک‌ها، رفتار داده‌ها دارای ماهیت غیرخطی بوده و تغییرات بارش در طول دوره زمانی یکنواخت نمی‌باشد. به ویژه در صدک‌های بالاتر، شدت نوسانات و تغییرات زمانی بیشتر بوده که بیانگر حساسیت بیشتر بارش‌های حادی به





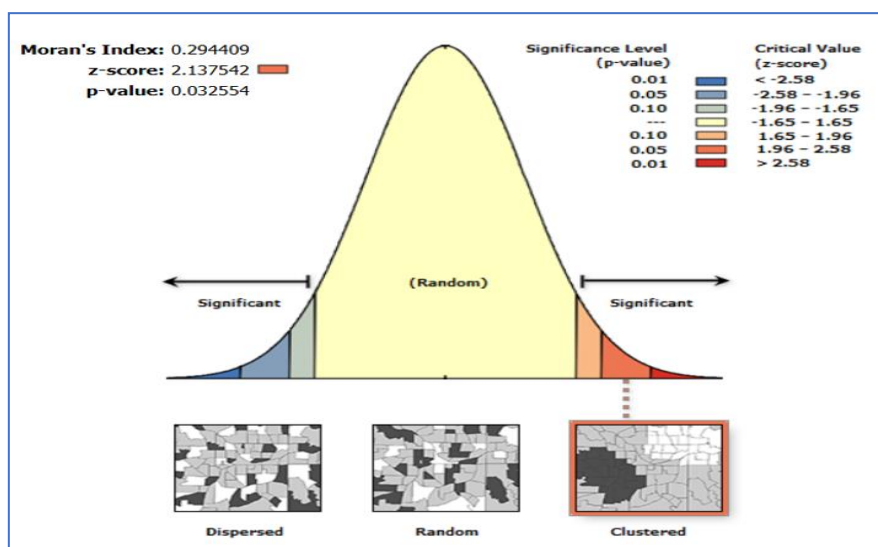
شکل ۷: نتیجه تحلیل روند آمار توزیع صدک‌های بارش (a) صدک اول، (b) صدک دوم، (c) صدک سوم و (d) صدک چهارم

الگوی پراکنده (Dispersed) در داده‌های مکانی است. در این مطالعه، شاخص موران به صورت جداگانه برای مجموع بارش‌ها و طبقات صدکی محاسبه گردید تا ساختار فضایی بارش‌ها در منطقه مورد بررسی قرار گیرد.

یادآور می‌گردد شاخص موران الگوی داده‌ها را به صورت مکانی ارزیابی و پراکندگی، خوشه ای یا تصادفی بودن آنها را براساس موقعیت و مقادیر بارش‌ها، بیان میکند. توسط (شکل ۸) صحت آماری شاخص موران براساس امتیاز Z و مقدار p از طریق مقایسه با اعداد بحرانی مربوطه محاسبه شده است. در مورد مجموع بارش‌های روزانه مشاهده شده در استان آذربایجان غربی مقدار Z برابر با $2/13$ با سطح اطمینان $0/05$ نماینگر نابرابری توزیع بارش‌های کل می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل‌های توصیفی، مشخص شد که تمامی طبقات صدکی بارش علاوه بر برخورداری از روند غیرخطی، دارای ساختار توزیع غیرمقارن نیز هستند. بر این اساس، به منظور بررسی الگوهای مکانی و ارزیابی میزان خودهمبستگی فضایی داده‌ها، از شاخص‌های خودهمبستگی فضایی از جمله شاخص موران استفاده شد.

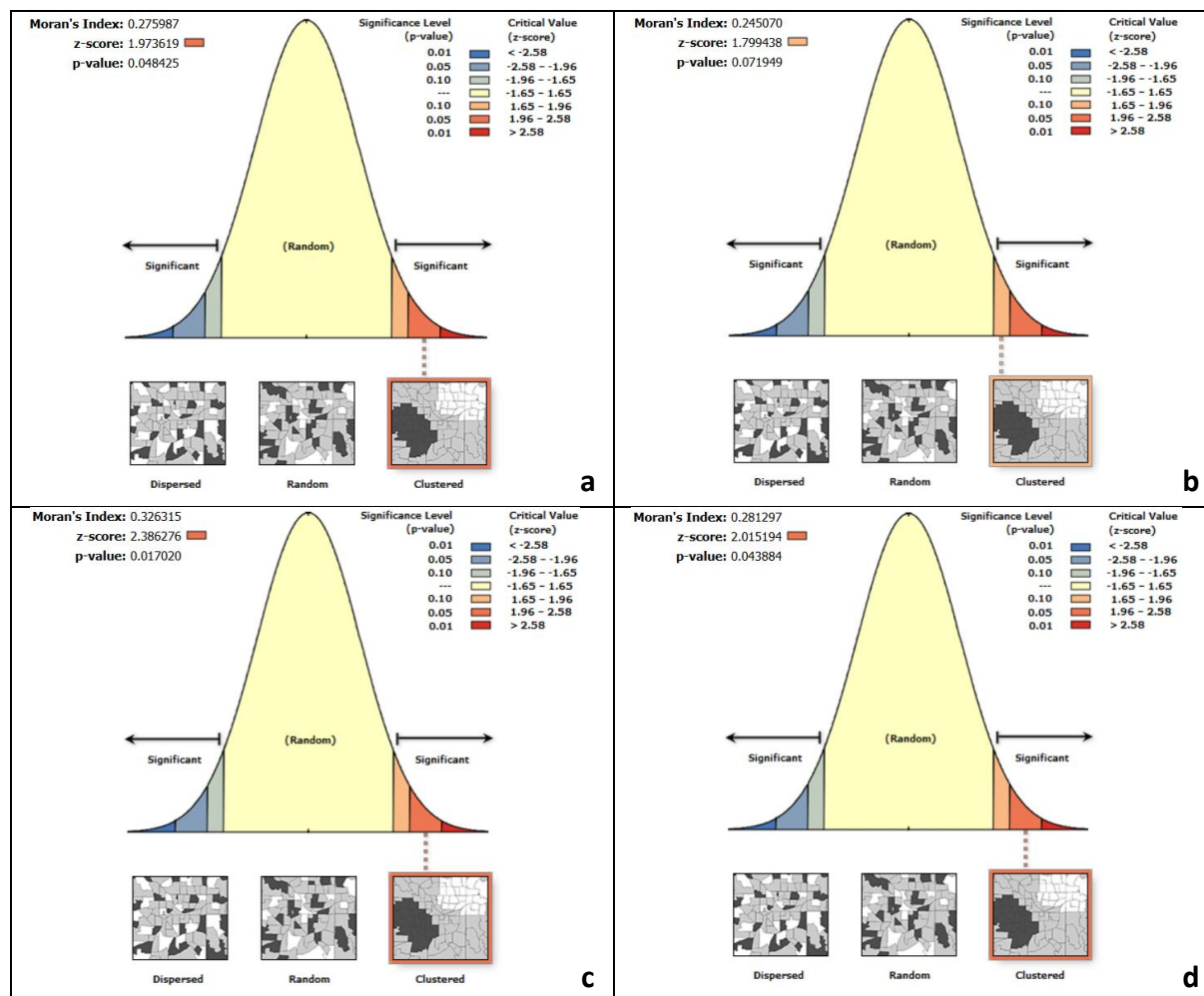
شاخص موران (Moran's I) یکی از مهم‌ترین شاخص‌های آمار فضایی است که برای سنجش میزان وابستگی مکانی بین مشاهدات به کار می‌رود. این شاخص نشان می‌دهد که مقادیر یک متغیر در فضا تا چه اندازه به مقادیر نقاط مجاور خود وابسته هستند. به عبارت دیگر، مقادیر مثبت این شاخص بیانگر وجود الگوی خوشه‌ای (Clustered)، مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده توزیع تصادفی و مقادیر منفی بیانگر



شکل ۸: نتیجه اعمال مدل موران بر مجموع بارش‌های بیشتر از یک میلیمتر کل استان آذربایجان غربی

نامتقارن و کلاستر شده البته با تغییراتی در مقادیر Z و سطوح اطمینان متغیر هستند (شکل ۹).

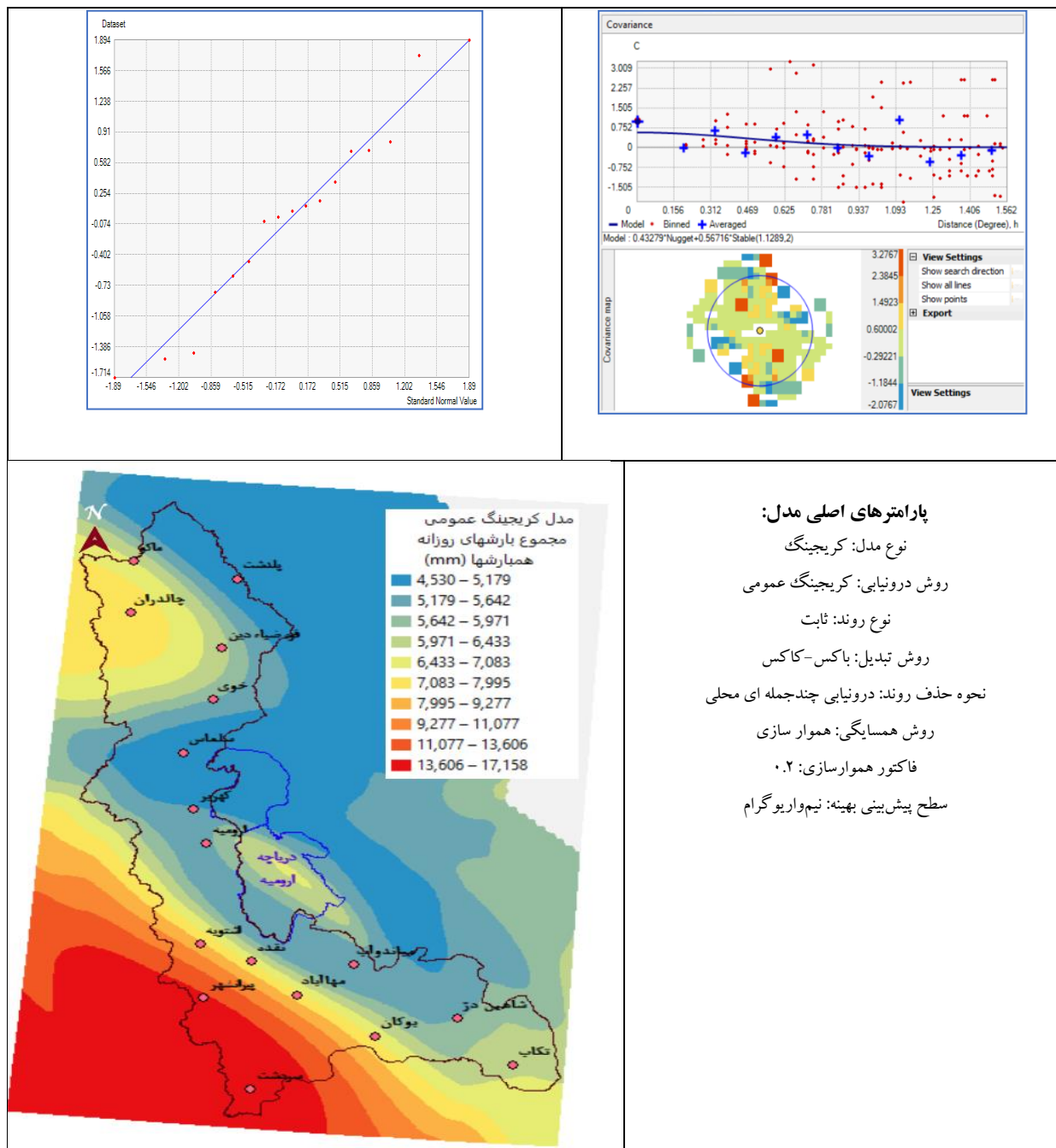
در ادامه با اعمال روش موران بر داده های صدکی مشخص می گردد که هر چهار صدک طبقه بندی شده دارای توزیع



شکل ۹: نتیجه اعمال مدل موران بر صدک های بارش روزانه (a) صدک اول، (b) صدک دوم، (c) صدک سوم و (d) صدک چهارم

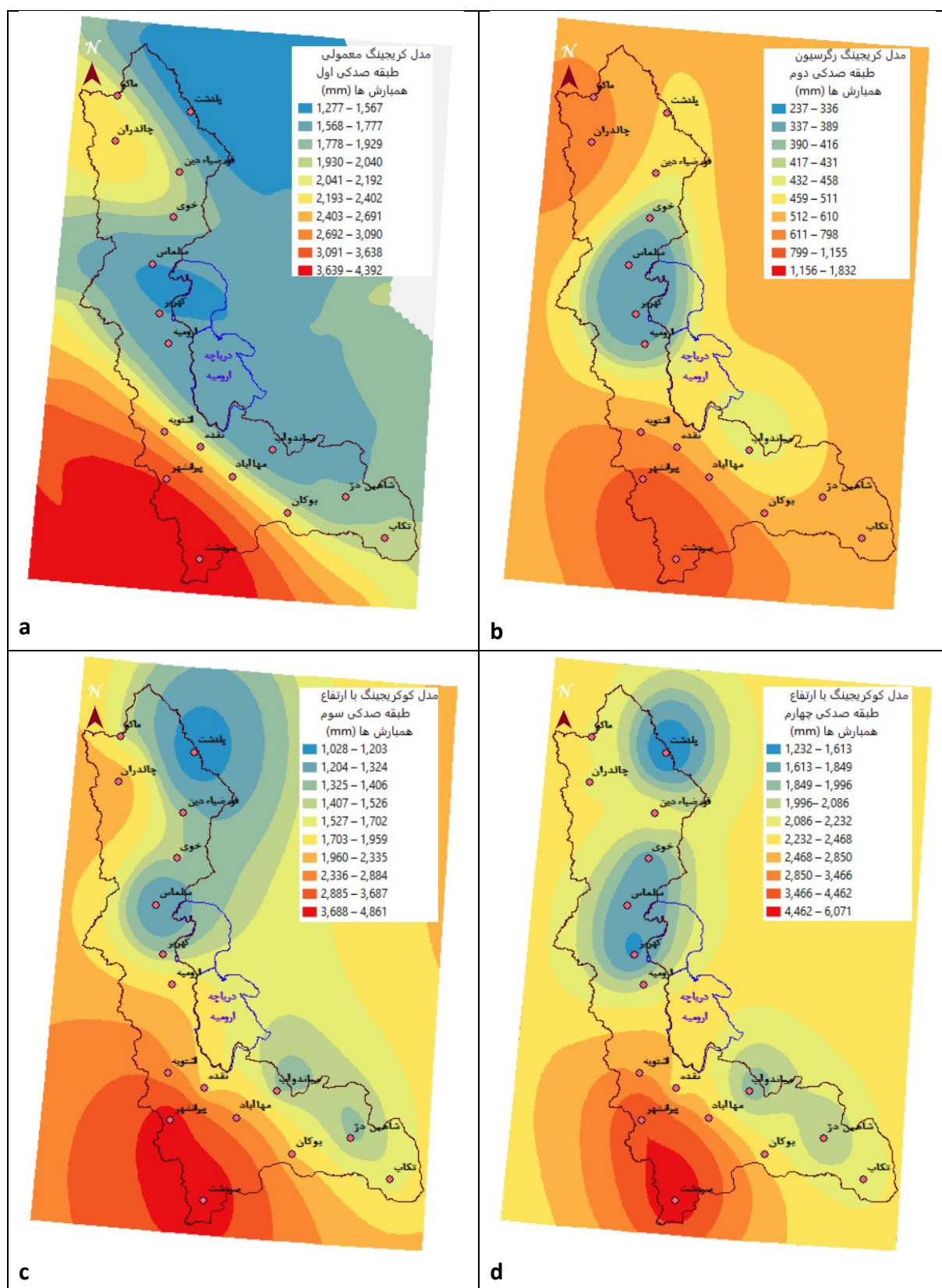
بعد از آگاهی از نتایج روش موران روش های کریجینگ متنوعی با هدف تولید نقشه های بارش روزانه اجرا و مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا مدل کریجینگ عمومی بر کل بارش های روزانه مشاهده شده اجرا و نتایج نهایی (با حداقل خطای موجود) نشان دهنده تطبیق خوب این مدل با واقعیت توزیع بارش های منطقه مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۱۰).

همچنانچه در (شکل ۹) مشخص است بیشترین مقدار Z در طبقه صدکی سه (صدک ۷۵ الی ۹۰ به مقدار ۲/۳۸ با سطح اطمینان ۰/۰۵) و حداقل مقدار Z در طبقه صدکی دو (بارش های میانگین تا ۷۵ درصد با مقدار Z برابر ۱/۸ و سطح اطمینان ۰/۱۰) ارزیابی می گردد. نتایج حاصله دلالت بر نحوه خوشه بندی بارش های کل و طبقه بندی صدکی می باشد (Rasouli, et al. 2021).



شکل ۱۰: مدل درونیابی کریجینگ عمومی مجموع بارشهای روزانه آذربایجان غربی ۲۰۰۴ الی ۲۰۲۴

در ادامه، انواع مختلف روش‌های کریجینگ شامل کریجینگ معمولی، کریجینگ رگرسیونی و کوکریجینگ (با استفاده از مدل ارتفاعی) برای طبقات صدکی مختلف اجرا و مقایسه شدند. نتایج حاصله در (شکل ۱۱) ارائه شده است.



شکل ۱۱: مدل‌های درونیابی کریجین و کوکریجینگ برای صدک‌های بارش روزانه (a) صدک اول، (b) صدک دوم، (c) صدک سوم و (d) صدک چهارم

نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌ها نشان داد که بسته به ویژگی آماری و ساختار فضایی هر طبقه، عملکرد روش‌ها متفاوت است. به‌طور کلی، روش کریجینگ معمولی در طبقات با ساختار فضایی ساده‌تر (صدک اول) عملکرد مناسبی داشته است، در حالی که در طبقات با پیچیدگی فضایی بیشتر (صدک‌های بالاتر)، استفاده از کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع منجر به کاهش خطای پیش‌بینی و بهبود دقت مدل گردید. بنابراین، کوکریجینگ در طبقات صدکی بالاتر به

عنوان روش برتر از نظر دقت فضایی شناسایی شد. همچنین بررسی توزیع بارش‌های روزانه در چهار طبقه مختلف نشان دهنده این واقعیت است که در طبقه صدکی اول توزیع بارش بصورت پیوسته و در محدوده وسیع‌تر گسترش یافته است اما با توجه تغییر در طبقه صدکی بارش‌ها الگوهای مرتبط دارای تغییرات قابل توجهی هستند که ویژگی‌های رفتاری آنها به اختصار در (جدول ۴) ارائه شده است.

جدول ۴: ویژگی‌های توصیفی صدک‌های مختلف بارش

طبقه صدکی بارش	الگوی رفتاری	محدوده گسترش	مقدار ناگت
حداقل - میانگین	پیوسته	بزرگ	پایین
میانگین - ۷۵ درصد	نیمه پیوسته	متوسط	متوسط
۷۵ الی ۹۰ درصد	ناهمگن	کوچک‌تر	بالا
۹۰ - ۱۰۰ درصد	موضعی	خیلی کوچک	بسیار بالا

۴. بحث و استدلال

تغییرات در رخداد‌های بارش آستانه‌ای در دهه‌های اخیر توجه بسیاری از پژوهشگران اقلیم و هیدرولوژی در کشورمان ایران را به خود جلب کرده است (سلیمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ عبقری و عرفانیان، ۱۴۰۲). در مناطق ناهمگن از نظر ارتفاع و شرایط سینوپتیکی فعال، تحلیل صرفاً مبتنی بر آستانه‌های مطلق نمی‌تواند بیانگر تفاوت‌های منطقه‌ای باشد. از این رو در تحقیق حاضر روش طبقه‌بندی صدکی بکارگرفته شد تا امکان بررسی تغییرات ساختار فضایی بارش‌های روزانه بر اساس مجموع بارش‌های روزانه در چهار طبقه صدکی تغییرات مکانی بارش‌های روزانه در محدوده استان آذربایجان غربی مدلسازی گردد. نتایج نشان دهنده این واقعیت است که ساختار توزیع مکانی بارش‌های روزانه در سطوح مختلف دارای شدت‌های متفاوتی هستند. به منظور توضیح نتایج حاصله دلایل متعددی قابل فرض می‌باشد.

دریای سیاه) قرار دارند بارش‌های روزانه نسبتاً قابل توجه در مناطق شمالی استان مانند ایستگاه‌های ماکو و چالدران ثبت می‌گردد. ورود این سامانه‌های بارشی به ویژه در فصول سرد می‌تواند با بارش برف و باران همراه باشد (نیری و همکاران، ۱۳۸۸). سامانه مهمی دیگری که می‌تواند بارش‌های شدید منطقه را موجب گردد سامانه مدیترانه‌ای است که با ورود از غرب کشور به منطقه می‌تواند باعث وقوع بارش‌های شدید به ویژه در شهرهای اشنویه پیرانشهر و سردشت گردد. این نوع سیستم‌ها با حرکت به شرق یا جنوب شرق کشور گسترش و در اغلب موارد از شدت آنها کاسته می‌گردد. ظهور هسته‌های بارش در محدوده شهرهای اشنویه پیرانشهر و به ویژه سردشت نقش مکانیسم وقوع بارش‌های اوروگرافیک را مطرح می‌سازد (عربلوی مقدم و همکاران، ۱۴۰۵). با عنایت بر مدل‌های توزیع بارش‌های صدکی سوم و چهارم وجود ناهمگنی بارش‌ها در مقیاس مکانی و ناهمسانگردی مرتبط با دینامیک سامانه‌های مدیترانه‌ای و ساختار توپوگرافیک منطقه مورد تاکید می‌باشد. یادآور می‌گردد هر دو سامانه در حرکت به سمت شرق به ویژه در محدوده‌های کم ارتفاع به ویژه در روی دریاچه ارومیه (ایستگاه‌های سلماس و کهریز) تضعیف شده بطوریکه منجر به کاهش شدید مقادیر بارش

در تبیین نتایج حاصله در مرحله اول نتایج حاصله را می‌توان به تأثیرپذیری منطقه از سامانه‌های بارشی شمال غرب (با شدت کمتر نسبت به سامانه‌های مدیترانه‌ای) اشاره نمود (علیچانی، ۱۳۸۱). در مواقعی که منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر سامانه‌های شمال غرب (با منشاء اسکاندیناوی و یا مرکز فشار ثانویه

کوکرچینگ نقش مهمی در تولید نقشه‌های دقیق‌تر از توزیع مکانی بارش‌های صدکی ایفا کرده است.

یافته‌های تحقیق بیانگر آن است که الگوی بارش در استان آذربایجان غربی تحت تأثیر همزمان عوامل سینوپتیکی و توپوگرافی قرار دارد. ورود سامانه‌های بارشی از غرب و شمال غرب در کنار تنوع ارتفاعی قابل توجه منطقه، موجب ایجاد ناهمگنی مکانی در شدت و توزیع بارش‌ها شده است. این ویژگی سبب می‌شود که بارش‌های شدید دارای ساختار فضایی پیچیده‌تر و وابستگی مکانی ضعیف‌تری نسبت به بارش‌های متوسط باشند.

بر این اساس، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش شدت بارش، میزان ناهمگنی مکانی نیز افزایش یافته و ساختار فضایی داده‌ها پیچیده‌تر می‌شود؛ به گونه‌ای که مدل‌سازی این دسته از داده‌ها نیازمند روش‌های پیشرفته‌تر زمین‌آماری است. در مقابل، بارش‌های متوسط از الگوی فضایی منظم‌تر و پایدارتری برخوردار بوده و با دقت بالاتری قابل مدل‌سازی هستند.

تمرکز بر طبقات صدکی بالا (به‌ویژه صدک‌های ۹۰ تا ۱۰۰) از آن جهت اهمیت دارد که این طبقه نمایانگر رخدادهای حدی بارش است که سهم اصلی را در ایجاد رواناب‌های شدید، سیلاب‌های ناگهانی و مخاطرات هیدرولوژیکی ایفا می‌کنند. در واقع، اگرچه این رخدادها از نظر تعداد کم هستند، اما از نظر شدت و اثرگذاری هیدرولوژیکی بیشترین اهمیت را دارند و بخش عمده‌ای از ریسک سیلابی منطقه را تشکیل می‌دهند. از این رو، تحلیل دقیق این طبقه می‌تواند نقش کلیدی در مدیریت بحران و پهنه‌بندی خطر سیلاب داشته باشد. در نهایت، نتایج این پژوهش می‌تواند در حوزه‌های مدیریت منابع آب، پهنه‌بندی خطر سیلاب و مطالعات تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گیرد. در مطالعات آینده، به جای افزایش کلی تعداد ایستگاه‌ها، پیشنهاد می‌شود تمرکز بر بهبود پوشش مکانی در نواحی کم‌پوشش و کوهستانی استان آذربایجان غربی، به‌ویژه ارتفاعات غربی و جنوب غربی (نواحی پیرانشهر و سردشت)، در اولویت قرار گیرد. همچنین استفاده از داده‌های مکمل مانند محصولات

در همه صدک‌های مربوطه می‌گردد. به نظر می‌رسد رشته کوه‌های سیلوانه چند نوع تأثیر متفاوت بر روی بارشهای صدکی اعمال می‌نماید. اولین تأثیر این رشته کوه ایجاد گردایان ارتفاعی شدید از غرب به شرق به ویژه با تأکید بر نقش موثرتر توده‌های مدیترانه‌ای می‌باشد. دومین تأثیر این رشته کوه اعمال سایه بارشی بر روی دریاچه ارومیه است که اثر آن در مقادیر بارش‌های ثبت شده در ایستگاه‌های مستقر (سلماس و کهریز) در حاشیه دریاچه و مدل‌های آمار-مکانی ذیربط مشهود است. حال اگر فرض کنیم که بیشترین سهم در اخذ بارش‌های صدکی را توده‌های رسیده از شمال غرب با (منشاء اسکاندیناوی و دریای سیاه) و از جهت غرب (با منشاء مدیترانه‌ای) به عهده دارند می‌توان به دو استدلال قابل قبول در نحوه توزیع بارش‌های صدکی تأکید نمود. اولاً نتایج حاصله نشان دهنده این واقعیت هستند که قدرت و شدت توده‌های هوای با منشا مدیترانه‌ای در گسترش بارش‌های شدیدتر قوی‌تر از توده‌های هوای شمال غرب می‌باشد. شاهد این ادعا اخذ بیشترین بارش‌ها در همه صدکهای بارش در ایستگاه‌های اشنویه، پیرانشهر و سردشت دانست. ضمناً با این مکانیسم اولاً می‌توان ایجاد یک گردایان توزیع بارش با جهت‌گیری شمال غرب به جنوب غرب را توضیح نمود که می‌توان این نوع توزیع مکانی مقادیر بارش صدکی را ناشی از نقش مشترک توده‌های هوای رسیده به منطقه و تأثیرات پیچیده توپوگرافیک دانست (علیچانی، ۱۳۷۲؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۷).

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه مشخص شد که طبقه‌بندی صدکی بارش‌ها می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد کارآمد در تحلیل توزیع مکانی بارش‌های روزانه در مناطق دارای ناهمگنی اقلیمی مانند شمال غرب ایران مورد استفاده قرار گیرد. نتایج نشان داد که این روش در مقایسه با آستانه‌های ثابت، توانایی بیشتری در آشکارسازی الگوهای فضایی بارش و تفکیک بهتر شدت‌های مختلف بارش دارد. در این میان، استفاده از روش‌های زمین‌آماری به‌ویژه مدل‌های کریجینگ و

سنگین ایجاد ایستگاه‌های جدید، دقت مدل‌سازی بارش‌های حدی را بهبود بخشد.

ماهواره‌ای بارش و مدل‌های رقومی با تفکیک مکانی بالاتر می‌تواند تا حد زیادی محدودیت کمبود ایستگاه‌های زمینی را جبران کند. این رویکرد می‌تواند بدون تحمیل هزینه‌های

منابع

- 10.(EN) Cavazos, T., et al. (2020). Climate change and extreme precipitation variability and trends: A review. *Climate Dynamics*, 55, 1-20.
- 11.(FA) Chubeh, S., Farokhzadeh, B., Bazrafshan, E., & Hasanvand, H. (2024). Analysis of spatiotemporal changes of extreme precipitation indices under climate change influence in Iran. *Journal of Watershed Management Research*, 37(4), 34-53.
- 12.(EN) Chun, Y., & Griffith, D. A. (2013). *Spatial statistics and geostatistics: Theory and applications for geographic information science and technology* (SAGE Advances in Geographic Information Science and Technology Series, 1st ed., Kindle ed.). SAGE Publications Ltd.
- 13.(FA) Farajzadeh, H., Saligheh, M., & Alijani, B. (2016). Application of global thermal climate index in Iran from tourism perspective. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 5(7), 117-137.
- 14.(FA) Hejazi Zadeh, Z., Karbalaei, A., & Kazemi Azar, M. (2024). Analysis of climate change impact on extreme precipitation in East Azerbaijan Province. *Journal of Geography*, 22(83).
- 15.(FA) Iranian Meteorological Organization. (2021). *Climatic and geographical reports of the provinces*. Tehran: Iran Meteorological Organization.
- 16.(FA) Iranian Meteorological Organization. (2022). *Climate statistics and information of West Azerbaijan Province*. West Azerbaijan Province Meteorological Office.
- 17.(FA) Jahanbakhsh Asl, S., Behrouz Sari Sarraf, H., Asakereh, H., & Shirmohammadi, S. (2020). Analysis of spatiotemporal variations of critical precipitation (high extreme) in western Iran during 1965–2016. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, (1).
- 18.(FA) Khorshid Doost, A. M., Mofidi, A., Rasouli, A. A., & Azarm Kamel, A. (2016). Synoptic analysis of heavy spring rainfall mechanism in northwest Iran. *Journal of*
1. (FA) Abghari, H., & Erfanian, M. (2023). Investigation and clustering of spatiotemporal characteristics of precipitation in Iran using maximal overlap discrete wavelet transform and multiscale entropy. *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 12(38).
2. (FA) Alijani, B. (2002). *Synoptic climatology* (1st ed.). Tehran: SAMT Publications.
3. (FA) Arbelouie Moghaddam, A., Rasouli, A. A., & Amini Nia, K. (n.d.). Analysis of spatial distribution of widespread extreme thunderstorm daily precipitation in the Urmia Lake Basin. *Journal of Nivar*, (Forthcoming, Acceptance Code: NIVAR-2511-1359).
4. (FA) Arbelovi Moghaddam, A., Rasouli, A. A., & Amini Nia, K. (n.d.). Analysis of spatiotemporal changes of extreme precipitation in the Urmia Lake Basin over the last decade. *Journal of Nivar*, (Forthcoming, Acceptance Code: NIVAR-2508-1353).
5. (FA) Asakereh, H., Barzaman, S., & Shahbaei Kotenaei, A. (2019). Analysis of spatial pattern of spring precipitation in northwest Iran using spatial analysis methods. *Journal of Geography and Planning*, (74), 153-164.
6. (FA) Asakereh, H., & Razmi, R. (2011). *Climatology of precipitation in northwest Iran*. *Quarterly Journal of Geography and Development*, (25), 137-158.
7. (FA) Azizzadeh, M. R., & Javan, K. (2013). Zoning of climate-prone areas in northwest Iran for tourism development using effective temperature index. *Tourism and Future Perspective*, 3(2), 117-128.
8. (EN) Cavazos, T., Luna-Nano, R., & Valenzuela, E. (2020). Climatic trends and regional climate models intercomparison over the CORDEX-CAM (Central America, Caribbean, and Mexico) domain. *International Journal of Climatology*, 40(3), 1396-1420.
- 9.

- 28.(FA) Rabbani, F., & Mohammadi, S. (2016). Investigation and analysis of convective precipitation in northwest Iran. *Proceedings of the 3rd International Conference on Geographical Sciences*.
- 29.(FA) Rasouli, A. A., Babaeian, I., Ghaemi, H., & Zavareza, P. (2012). Time series analysis of pressure centers of synoptic patterns affecting seasonal precipitation in Iran. *Journal of Geography and Development*, 10(27), 77-88.
- 30.(FA) Rasouli, A. A., Nasiri, S., & Valizadeh Kamran, K. (2011). Modeling spatial distribution of heavy precipitation in mountainous areas of northwest Iran during 2010–2012. *Journal of Physical Geography Research*, (40), 414-417.
- 31.(FA) Rasouli, A. A., Ostadi, E., & Azizzadeh, M. R. (2019). Spatial distribution of daily precipitation concentration index in northwest Iran. *Journal of Geography and Planning*, (69).
- 32.(FA) Rasouli, A. A., Roshani, R., & Ghasemi, A. R. (2013). Analysis of temporal and spatial variations of annual precipitation in Iran. *Journal of Geographical Research*, (108), 1.
- 33.(EN) Rasouli, A. A., Cheung, K. K. W., Ji, F., & Lisa T.-C. (2021a). Spatial characteristics of precipitation in the Greater Sydney Metropolitan Area as revealed by the daily precipitation concentration index. *Atmosphere*, 12, 627.
- 34.(EN) Rasouli, A. A., Mammadov, G. S., & Asgarova, M. M. (2021b). Mastering spatial data analysis inside the GIS setting. *Azerbaijan State Pedagogical University, Faculty of History and Geography*.
- 35.(EN) Royle, A. G., Clausen, F. L., & Frederiksen, P. (1981). Practical universal kriging and automatic contouring. *Geoprocessing*, 1, 377-394.
- 36.(FA) Salimi Mestali, A., Khoshkhoo, Y., & Gholizadeh, M. H. (2019). Risk assessment and zoning of extreme precipitation occurrence in western Iran. *Journal of Water and Soil Conservation Research*, (1).
Natural Environmental Hazards, 5(8), 53-82.
- 19.(EN) Ma, Y. Z. (2019). *Quantitative geosciences: Data analytics, geostatistics, reservoir characterization and modeling* (1st ed., Kindle ed.). Springer.
- 20.(FA) Masoudian, A., & Darand, M. (2013). Identification and analysis of extreme precipitation events in Iran over recent decades. *Journal of Geography and Regional Development*, 11(20), 239-257.
- 21.(EN) Mitchell, A. (2015). *The ESRI guide to GIS analysis, Volume 2: Spatial measurements and statistics* (1st ed., Kindle ed.). Esri Press.
- 22.(FA) Mohammadi, H., Azizi, G., Khosh Akhlagh, F., & Ranjbar, F. (2017). Trend analysis of daily extreme precipitation indices in Iran. *Journal of Physical Geography Research*, 49(1), 21-37.
- 23.(FA) Mohammadi, H., Esmaeili Mahmoudabadi, A., Sadeghivar, F., & Jafari, A. (2018). Synoptic analysis of heavy precipitation in northwest Iran: Case study of heavy precipitation on November 11, 1993. *Proceedings of the 2nd National Conference on Iranian Climatology*.
- 24.(FA) Neyri, M., Azizi, G., & Rostami Jalilian, S. (2009). Synoptic analysis of heavy precipitation in western Iran (Case study: Precipitation period of March 7–14, 2005). *Journal of Physical Geography*, 1(4), 1-13.
- 25.(EN) Oliver, M. A. (1990). Kriging: A method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographic Information Systems*, 4, 313-332.
- 26.(EN) Portalanza, D., Torres-Ulloa, M., Alava, E., & J., J. (2025). Impacts of climate change on extreme weather indices in Ecuadorian cities: A socioeconomic analysis. *Weather and Climate Extremes*, 50, 100810.
- 27.(EN) Portalanza, J., et al. (2025). Projected changes in extreme precipitation patterns under climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, 650, 130-145.