

Spatial Analysis of Basin-Wide Extreme Daily Thunderstorm Precipitation over the Lake Urmia Region

Arabloiie 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: 10 Nov 2025, Revised: 28 Dec 2025, Accepted: 04 Jan 2026, Published online: 04 Jan 2026)

Abstract

The present study aims to investigate the spatial pattern of extreme daily thunderstorm precipitation events (≥ 10 mm) across the Lake Urmia region during the 2015–2024 period. To achieve this, daily precipitation records from 16 synoptic meteorological stations were assembled, and widespread thunderstorm events were identified using three simultaneous criteria: temporal concurrence of occurrence, extreme-intensity threshold, and spatial coverage. To address the limitations of interpolation over the lake surface, high-spatial-resolution (4×4 km) PERSIANN satellite precipitation products were subsequently extracted and processed for the same selected event days.

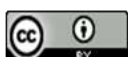
To uncover the dominant spatial configurations, a hybrid statistical-geospatial analytical framework was employed, consisting of third-quartile and standard-deviation diagnostics of raster precipitation fields. Furthermore, principal component analysis (PCA) was applied to the covariance matrix of the satellite-derived datasets to elucidate the spatial structure of the events.

The results reveal that the southern and southwestern sectors of Lake Urmia receive the highest amounts of extreme thunderstorm precipitation, whereas the eastern, northeastern, and especially northern sectors experience the lowest totals. The temporal distribution of the detected thunderstorm events is predominantly springtime (March–May), followed by secondary occurrences during winter (December–February). The integrated methodology adopted in this study effectively captures the spatial heterogeneity and dominant widespread patterns of thunderstorm precipitation with greater precision than ground-station-only analyses. These findings provide valuable insights for regional climate-change monitoring, the refinement of precipitation modeling systems, and planning initiatives aimed at the ecological restoration of Lake Urmia.

Keywords: Widespread Extreme Thunderstorm Precipitation; Statistical–Spatial Analyses; PERSIANN Satellite Precipitation Data; Lake Urmia Region

Cite this article: Arabloiie Moghaddam, A., Rasouli Piruzian, A. A. and Amini Nia, K. (2026). Spatial Analysis of Basin-Wide Extreme Daily Thunderstorm Precipitation over the Lake Urmia Region. (e238118). *Nivar*, (), e238118 doi: 10.30467/nivar.2026.558850.1359

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



واکاوی توزیع مکانی بارش‌های روزانه تندری حدی فراگیر در محدوده دریاچه ارومیه

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: ۱۴۰۴/۰۸/۱۹، بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷، پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴، انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴)

چکیده

هدف این پژوهش، تحلیل الگوی مکانی بارش‌های روزانه تندری حدی (مساوی و بیشتر از ۱۰ میلی‌متر) در محدوده دریاچه ارومیه طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۴ است. برای این منظور، ابتدا داده‌های بارش روزانه ۱۶ ایستگاه هواشناسی گردآوری و با اعمال سه شرط هم‌زمانی رخداد، شدت حدی و گسترش فضایی، رویدادهای تندری فراگیر شناسایی شد. سپس، به منظور رفع محدودیت‌های درونیابی در سطح دریاچه، داده‌های ماهواره‌ای پرشین^۱ با قدرت تفکیک مکانی بالا ۴ در ۴ کیلومتر استخراج و برای همان روزهای منتخب پردازش گردید. در ادامه، جهت آشکارسازی الگوهای مکانی غالب، یک رویکرد آماری-مکانی ترکیبی شامل تحلیل چارک سوم و انحراف معیار داده‌های رستری اعمال شد و برای تبیین ساختار فضایی بارش‌ها، تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ماتریس هم‌تغییرپذیری داده‌های ماهواره‌ای انجام گرفت. نتایج نشان داد نواحی جنوب و جنوب‌غرب دریاچه بیشترین مقادیر بارش‌های تندری حدی و بخش‌های شرق، شمال‌شرق و به‌ویژه شمال دریاچه کمترین مقدار را دریافت می‌کنند. همچنین، رخداد‌های تندری عمدتاً الگوی زمانی بهاره (مارس-می) و در مرتبه بعد زمستانه (دسامبر-فوریه) دارند. روش ترکیبی به کاررفته توانست ناهمگنی مکانی بارش‌های تندری و الگوهای غالب فراگیر را با دقت بیشتری نسبت به تحلیل صرف ایستگاه‌های زمینی آشکار سازد. دستاوردهای این مطالعه می‌تواند در پایش تغییرات اقلیمی منطقه، بهبود مدل‌های بارش و برنامه‌ریزی احیای دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: بارش‌های تندری حدی فراگیر، تحلیل‌های آماری-مکانی، داده‌های بارش ماهواره‌ای پرشین، محدوده دریاچه ارومیه

^۱ PERSIANN

استناد: عربلوی مقدم، امین، رسولی پیروزیان، علی اکبر و امینی نیا، کریم. (۱۴۰۴). واکاوی توزیع مکانی بارش‌های روزانه تندری حدی فراگیر در محدوده دریاچه ارومیه.

(e238118), نیوار, (), doi: 10.30467/nivar.2026.558850.1359

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



۱. مقدمه

در محدوده دریاچه ارومیه بارش‌های حدی در مقیاس روزانه در درجه اول به عنوان یک مسأله مهم هواشناسی محسوب می‌گردد. ضمناً، بررسی تغییرات زمانی و مکانی این نوع بارش‌ها در تحقیقات آب و هواشناسی کاربردی و مدل‌سازی تغییرات اقلیمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است رسولی (۱۳۸۴)، رسولی و همکاران (۱۳۹۰)، موقری و همکاران (۲۰۲۳). در منطقه شمال‌غرب در طول سال برخی از بارش‌های شدید در نتیجه وقوع سیستم‌های جوی همرفتی اتفاق می‌افتد قدرتی و همکاران (۱۴۰۳). تعدادی محدودی از این نوع بارش‌ها شدیدتر بوده و می‌توانند بادهای مخرب، تگرگ و باران شدید ایجاد نموده و در مواقعی باعث وقوع سیلاب‌های ناگهانی و در نتیجه خسارات قابل توجهی بر تاسیسات شهری و محصولات کشاورزی وارد نمایند رسولی (۱۳۹۰)، قاسمی‌فر و همکاران (۲۰۲۵). هر چند اغلب حوادث تندری با مقادیر بارش قابل توجهی همراه نیستند، اما این نوع بارش‌ها سهم قابل توجهی از بارش‌های سالانه را به خود اختصاص می‌دهند که معمولاً در فصول بهار و تابستان شمال‌غرب کشور حادث می‌گردند اشرفی (۱۳۸۹)، عساکره و همکاران (۱۳۹۰)، رسولی و همکاران (۱۳۹۷). بنابر اهمیت موضوع تحقیق در همین ارتباط به یافته‌های چند تحقیق خارجی و داخلی اشاره می‌گردد.

رسولی^۲ و چوینگ^۳ (۲۰۱۳) در بررسی توزیع زمانی و مکانی بارش‌های تندری شدید فصول بهار و تابستان منطقه سیدنی استرالیا متوجه شدند که این نوع بارش‌ها به ویژه در طی ساعات بعد از ظهر و غروب بیشتر در نواحی ساحلی و مرتفع منطقه رخ می‌دهند. در تحقیقی دیگر سنروی^۴ و بالیتق^۵

(۲۰۱۴) فعالیت طوفان‌های رعد و برقی را در جنوب آفریقا و استرالیا در فصل تابستان را مقایسه نموده و به این نتیجه رسیدند که علیرغم تشابهات وقوع رعد و برق بین دو منطقه مورد مطالعه توزیع زمانی و مکانی آنها دارای تفاوت‌هایی مشخصی هستند. کاراجیان نیداس^۶ و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از داده‌های ماهواره ای راداری وقوع رعدوبرق در منطقه مینلند یونان را بررسی و دریافتند که بیشترین فراوانی وقوع رعدوبرق در محدوده ماه‌های می تا سپتامبر اتفاق می‌افتد. اخیراً، یانگ و همکاران (۲۰۲۳) با پردازش ترکیبی (همجوشی) تصاویر ماهواره های کالیپسو/ کلاست^۷ و مودیس^۸ ساختارهای ابرهای همرفتی را مطالعه و اذعان نمودند که در بررسی سلول‌های همرفتی با استناد به دماهای روشنایی خاص مراکز همرفتی برای هر سلول ابری خاص با دقت بالا قابل شناسایی است. یادآور می‌گردد، در تحقیق حاضر، داده‌های سنجنده دقیق ماهواره پرشین بنام تخمینگر بارش بر اساس نرخ باران طیف مادون قرمز پویا مورد تحلیل قرار گرفت که در مقایسه با سایر داده‌های ماهواره‌ای با فرکانس لحظه‌ای بالا مشاهدات دقیق تری را ارائه می‌کند. در نتیجه، تأخیر در دریافت داده‌های بارش توسط این سیستم از زمان وقوع بارندگی بسیار کم و میزان خطاها و عدم قطعیت‌های ناشی از پردازش تصاویر مادون قرمز با اتخاذ تکنیک‌های متنوع در حداقل مقادیر می‌باشد. بنابراین، داده‌های سنجنده مورد نظر با وضوح مکانی بالا (حدود ۰.۰۴ در ۰.۰۴ درجه یا حدود ۴ در ۴ کیلومتر) امکان مدل‌سازی بارش‌های شدید در مقیاس منطقه‌ای را ممکن می‌سازد نگوین و همکاران (۲۰۲۰). به چند نمونه از تحقیقات انجام شده در

² Rasouli

³ Cheung

⁴ Sen Roy

⁵ Balling

⁶ Karagiannidis

⁷ Cloud Sat/CALIPSO

⁸ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

داخل کشور نیز به اختصار اشاره می‌گردد. در محدوده کشور ایران، جوانمرد و همکاران (۱۳۹۰) و رئیس پور و همکاران (۱۴۰۲) در بررسی توزیع زمانی و مکانی مقدار بارش‌های همرفتی و پوششی با استناد به داده‌های ماهواره‌ای نشان دادند که این نوع بارش‌ها اغلب در فصل بهار و تابستان حادث می‌گردند. رسولی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی به بررسی بارش‌های نیشان استان آذربایجان شرقی در طول دوره آماری ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۱ پرداختند. در این تحقیق تغییرات روند بارندگی‌های نیشان با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و تخمین گر شیب تجزیه و تحلیل گردید. سپس برای پیش‌بینی تغییرات بارش‌های نیشان طی سال‌های آتی از مدل سری‌های زمانی آریمان^۹ بر اساس آزمون‌های ناپارامتریک، استفاده شد. عزیززاده و همکاران (۱۳۹۷)، گرمی و همکاران (۱۴۰۱) احتمال وقوع روزهای همراه با توفان تندی در تبریز در فصل بهار را با به کارگیری قوانین احتمالاتی و با استفاده از تکنیک زنجیره مارکف مورد تحلیل قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که ماه می بیشترین فراوانی توفان تندی را دارد. سلیقه و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی ویژگی‌های زمانی بارش‌های بیش از پنج میلیمتر را بررسی و با تعیین سهم بارش‌های همرفتی بهاری ایستگاه تبریز براساس داده‌های جوبالا نمودارهای اسکیتی را طراحی و مقادیر شاخص‌های ناپایداری را محاسبه نمودند. نتایج نهایی مبین نقش عامل همرفت در وقوع بارش‌های بهاری به ویژه در ماه‌های می و ژوئن بود. رسولی و همکاران (۱۳۹۹) با هدف ارزیابی کارایی رادارهای داپلر در مطالعه و تحلیل بارش‌های شدید حوضه دریاچه ارومیه اقدام نمودند. برای این منظور خروجی محصولات برآورد بارش تجمعی رادار تبریز را با داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های سینوپتیک، مورد

مقایسه و ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد که رادار داپلر می‌تواند با دقت نسبتاً بالا و دید وسیع، ابزار مناسبی در جهت برآورد بارش‌های همرفتی باشد. اما در مناطق کوهستانی و مرتفع (مانند کوهستان سهند)، با توجه به اثر مسدود کنندگی امواج، در برخی نواحی مقدار خطا به میزان زیادی افزایش می‌یابد. در ادامه، محققان داخلی با استناد به داده‌های ماهواره‌ای تحقیقات متعددی را انجام دادند که به اختصار به چند نمونه اشاره می‌شود. غضنفری مقدم و همکاران (۱۳۹۰) و یوسف نژاد و همکاران (۱۴۰۳) در مطالعه تخمین بارش‌های روزانه خراسان شمالی ابتدا مدل بارندگی منتج از طریق سیستم پرشین^{۱۰} را طراحی و سپس با نتایج حاصله از روش‌های درونیایی (دو روش رایج کریجینگ و روش معکوس فواصل) مقایسه نمودند. نتایج تحلیل‌های آماری، همبستگی معنی‌داری را با خروجی‌های تصاویر ماهواره‌ای پرشین را نشان داد. محققان ذریبط اظهار نمودند که استناد به تصاویر ماهواره‌ای - با دارا بودن پوشش یکنواخت و پیوسته‌ای از سطح زمین دارای قدرت تفکیک مکانی بالا- می‌تواند با نتایج دقیق تری همراه باشد. یادآور می‌گردد که مدل پرشین بر اساس الگوریتم تخمین بارندگی و با بکارگیری شبکه عصبی مصنوعی توسط دانشگاه آریزونا در کشور آمریکا طراحی و به جامعه جهانی ارائه شده است. سروشیان و همکاران (۲۰۰۲)، جفرینو^{۱۱} و همکاران (۲۰۲۴) و جوان و همکاران (۱۳۹۷)، در تحقیقی، با پردازش تصاویر ماهواره TRMM^{۱۲} و با بکارگیری الگوریتم‌های مختلف مدل مفهومی ابرهای منتج به بارش‌های شش ساعته در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را طراحی نمودند. اعتبارسنجی این داده‌ها با استناد به داده‌های ایستگاه‌های زمینی و تصاویر ماهواره متوس^{۱۳} در فواصل زمانی شش ساعته انجام شد. نتایج

⁹ Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA)

¹⁰ PERSIANN

¹¹ Ceferino

¹² Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

¹³ Meteosat

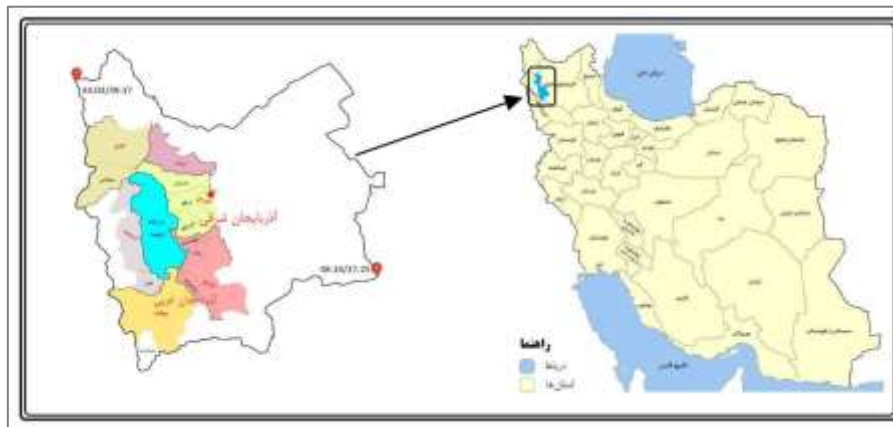
الگوریتم‌های متعدد، امکان پیش‌بینی‌های صحیح بارش‌های مذکور از طریق این نوع سنجنده تا ۷۹ درصد افزایش می‌یابد.

۲. مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده اصلی مورد مطالعه شامل دریاچه ارومیه و شهرستان‌های واقع در اطراف آن می‌باشد. دریاچه ارومیه به عنوان بزرگترین دریاچه کشور در شمال غرب ایران واقع شده است دلاور و همکاران، (۱۳۹۰). که در حال حاضر با توجه به تغییرات اقلیمی به‌مراه رخداد خشک‌سالی‌های شدید سال‌های اخیر و بهره‌برداری‌های بی‌رویه در شرف خشک شدن کامل می‌باشد. بنابراین، بررسی نوسانات بارش‌های تندری حدی فراگیر آن به لحاظ ماهیت و موقعیت این مجموعه آبی منحصر بفرد در سال‌های اخیر اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. توسط شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه (ایستگاه‌های هواشناسی و شهرستان‌های حاشیه دریاچه ارومیه واقع در استان‌های آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی) ارائه شده است.

تحقیق بیانگر مطابقت قابل قبول داده‌های بارش برآورد شده با مقادیر ثبت شده ایستگاه‌های زمینی بود. سبحانی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی، از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و تصاویر ماهواره‌ای به منظور برآورد آب قابل بارش از باندهای ۱۷ و ۱۸ سنجیده مودیس استفاده نمودند. نتایج تحلیل داده‌های زمینی نشان داد که بیشترین بارش‌های شدید در ایستگاه خلخال و کمترین آن در ایستگاه مشکین شهر در فصل بهار و اوایل تابستان اتفاق می‌افتد. ضمناً، نتایج حاصله حاکی از این واقعیت بود که بارش‌های رعد و برقی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های حاصل از برداشت‌های زمینی مطابقت قابل قبولی دارند. در سال‌های اخیر، غضنفری و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی تلاش نمودند تا بر مبنای داده‌های ماهواره زمین ایستای متئوست، الگوریتمی را ارائه و مناطق مستعد آغازش همرفت از نظر زمان و محل تشکیل شناسایی و در جهت تقویت و بهبود صدور هشدارهای بهنگام به صورت کوتاه مدت فصول بهار و تابستان استان تهران را پیش‌بینی نمایند. نتایج نشان داد که با بکارگیری



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی و شهرستان‌های حاشیه دریاچه ارومیه

از انتخاب محدوده مورد مطالعه بررسی تفاوت‌های توزیع مکانی بارش‌های تندری حدی فراگیر بر اساس تحلیل بارش‌های روزانه ایستگاه‌های هواشناسی مستقر در منطقه و مقایسه آن با بارش‌های معادل ماهواره‌ای پرشین است.

از لحاظ شرایط اقلیمی محدوده مورد مطالعه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل است که در این نوع اقلیم متوسط میزان بارش در منطقه مابین ۲۵۰ الی ۳۵۰ میلیمتر تخمین زده شده است که بخش عمده بارش‌ها از فصل پاییز تا اواسط بهار رخ می‌دهد رسولی، (۱۳۹۰). هدف اصلی

۲-۲ داده های تحقیق:

در تحقیق حاضر، در مرحله اول بارش‌های روزانه حدود ۱۶ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در بازه زمانی سال ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۴ میلادی، از سازمان هواشناسی کشور دریافت و بر اساس اهداف تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفتند. در اصل مجموع بارش تجمعی (۲۴ ساعته) اندازه گیری شده در هر ایستگاه هواشناسی که راس ساعت معینی (ساعت ۰۶ UTC) به وقت گرینویچ اندازه گیری و ثبت می‌شود (سازمان جهانی هواشناسی). به عنوان بارش روزانه در فایل‌های رقومی در فرمت نرم افزار اکسل در اختیار محققان قرار می‌گیرد با هدف شناسایی بارش‌های تندری حدی فراگیر در محدوده مورد مطالعه سه شرط اولیه اعمال شدند. بر اساس شرط اول، بارش‌های روزانه با ماهیت تندری مساوی و بیشتر از ده میلیمتر در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی استخراج و در پایگاه

اطلاعاتی ذخیره شدند. سپس، ایستگاه‌های هواشناسی مورد نظر بر اساس موقعیت جغرافیایی و شباهت‌های ذاتی (ویژگی‌های آمار توصیفی و منحنی‌های بارش نرمال^{۱۴}) در چهار محدوده اصلی (شمال، شمال‌شرق، جنوب و جنوب‌غرب) دسته بندی شدند. در نهایت، بر اساس شرط سوم، حوادث بارشی انتخاب شدند که همزمان حداقل در سه ناحیه از نواحی چهارگانه مرجع بطور مستقل مشاهده شده باشند و بارش تندری ثبت شده در آنها مساوی و یا بیشتر از ۱۰ میلیمتر بوده است. با اعمال این شروط امکان انتخاب حوادث بارش تندری حدی و البته گسترش یافته در کل محدوده مورد مطالعه فراهم گردید. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه و نحوه دسته بندی آنها در جهات چهارگانه جغرافیایی در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه دسته بندی شده در نواحی چهارگانه

ایستگاه هواشناسی	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	ناحیه بندی
خوی	۴۴/۹۶	۳۸/۵۶	۱۱۰۳/۴	شمال
مرند	۴۵/۷۷	۳۸/۴۱	۱۵۵۰	
شبستر	۴۵/۶۳	۳۸/۱۸	۱۳۵۰	شرق
تبریز	۴۶/۲۴	۳۸/۱۲	۱۳۶۱	
سهند	۴۶/۱۲	۳۷/۹۳	۱۶۴۱	
عجبشیر	۴۵/۸۵	۳۷/۵	۱۳۱۱	
بناب	۴۶/۰۵	۳۷/۳۷	۱۲۸۱	
مراغه	۴۶/۱۵	۳۷/۳۴	۱۳۴۴	
ملکان	۴۶/۰۸	۳۷/۱۵	۱۳۰۲	
میاندوآب	۴۶/۰۵	۳۸/۹۷	۱۲۹۱	جنوب
مهاباد	۴۵/۷۱	۳۶/۷۵	۱۳۵۱/۴	
نقده	۴۵/۴۱	۳۶/۹۴	۱۳۰۷	
پیرانشهر	۴۵/۱۵	۳۶/۷	۱۴۴۳/۵	
اشنویه	۴۵/۱۴	۳۷/۰۵	۱۴۱۵/۹	غرب
ارومیه	۴۵/۰۵	۳۷/۶۶	۱۳۲۸	
سلماس	۴۴/۸۴	۳۸/۲۱	۱۳۳۹/۳	

تحلیل‌های مکانی مختلف انتخاب شدند. در جدول (۲) ویژگی‌های آماری بارش‌های تندری منتخب درج شده است.

بر اساس شرایط مذکور، بارش‌های منتخب در مجموع به تعداد ۱۶ روز از پایگاه اطلاعات موجود استخراج و با هدف گزینش بارش‌های ماهواره ای معادل و در نهایت به منظور

¹⁴ Normalized Rainfall Curves (NRC)

جدول ۲: داده‌های بارش تندری منتخب مشاهده شده در ایستگاه‌های هواشناسی در چهار ناحیه اصلی

مجموع بارش	سلماس	ارومیه	اشنویه	پیرانشهر	نقده	جنوب			شرق			شمال			ایستگاه های هواشناسی				
						مهاباد	میاندوآب	ملکان	مراغه	بناب	عجبشیر	سهند	تبریز	شستر		مرند	خوی		
۱۰۱	۰	۰	۱۰	۱۳/۱	۱۱	۰	۰	۰	۲۰	۱۲	۱۷	۰	۱۷/۴	۰	۰	۰	۴	Apr	۲۰۱۵
۳۱۵	۲۱	۲۵	۴۵/۴	۲۳	۱۵	۲/۹	۲۰	۲۳	۱۴	۲۹	۲۸	۲۳	۲۲/۸	۲۳	۳/۲	۹	۱۱	May	۲۰۱۵
۱۳۰	۳۰	۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵/۰۲	۰	۲	۱۱	۲۷	۴۵/۷	Aug	۲۰۱۵
۱۱۱	۱۴/۶	۱۹/۴	۱۰	۴	۱۰	۵	۱	۰	۲	۰	۱	۰	۱۴	۶	۱	۱۱	۳/۲	Apr	۲۰۱۶
۳۴۴	۱۴/۹	۳۱	۲۵	۴۲	۱۴	۱۵/۸	۷	۱۰	۱۴/۸	۱۲	۴	۴۹	۵۸	۱۲	۱۷	۱۷	۱۷	Apr	۲۰۱۷
۳۲۳	۱۶	۱۴	۱	۴۸	۳۱	۲۹	۱۶/۶	۱۷	۲۹/۶	۱۶/۶	۱	۲۹	۲۵/۳	۲	۱۹	۲۸	۳۰	Mar	۲۰۱۸
۱۱۰	۵/۵	۱۱/۱	۶	۳۶	۱۰	۱۵/۶	۶	۹	۱۴	۸	۸/۸	۷	۴/۱	۰	۰	۰	۵	May	۲۰۱۸
۱۰۳	۱۶	۴۵	۰	۴۸	۰	۱۵	۷	۹	۱۲	۱۴	۰	۳۴	۳۲	۴۰	۲۸/۲	۱۸	۱۷	Apr	۲۰۱۹
۹۰/۸	۰	۰	۱۰/۷	۱۵	۹/۱	۱۴	۱۷	۱۶	۶/۱	۸	۳/۲	۳	۲	۰	۷	۰	۱۰	May	۲۰۱۹
۲۰۱	۲۰/۱	۸	۹	۲۴	۱۰	۱۱/۲	۷/۷	۸/۶	۹/۳	۱۴	۱۲	۱۲	۸/۲	۶	۱۳	۳۴	۶	May	۲۰۲۰
۱۱۷	۱	۴	۱۸	۸	۱۰	۱۲	۸/۹	۴	۱/۷	۱۶	۱۲	۵	۷	۷	۶	۰	۲۸	Apr	۲۰۲۱
۱۰۶	۴/۲	۱۰	۹	۲۳	۳	۱۲	۷	۱۵	۵	۱/۶	۲/۱	۸/۴	۱/۷۱	۵/۴	۵	۶/۵	۷	May	۲۰۲۱
۲۵۶	۱۷/۲	۲۹	۲۴/۷	۲۲/۸	۲۱	۸	۸/۴	۱۷	۲۳	۲۶	۲۷	۱۵	۸/۱	۱۰	۱۰	۲۲	۳۱	Oct	۲۰۲۱
۴۵۸	۱۲/۰/۱	۳۸	۵۹	۴۴	۴۴	۵۱	۱۰	۱۹	۳۷	۲۵	۲۷	۱۸/۶	۱۵	۲۴	۵	۴	۱۷	Dec	۲۰۲۱
۳۵۱	۲۱/۶	۲۴	۳۲	۳۴	۳۵/۴	۳۶	۱۵	۱۹	۲۰	۱۹	۲۰	۱۶	۶/۲	۱۴	۲۲	۱۶/۶	۲۰	May	۲۰۲۳
۳۲۲	۲۷/۲	۲۶/۲	۳۶	۳۶/۸	۲۲/۷	۲۰	۳۴	۳۴	۲۴	۳۰	۲۱/۱	۱۴/۱	۱۱	۱۴	۱۹	۱۰/۴	۱۰	Apr	۲۰۲۴
۲۰۹	۲۰۹	۲۴۹	۲۵۱	۳۷۹	۲۱۴	۲۴۸	۱۵۹	۱۸۸	۲۲۸	۲۲۳	۱۸۱	۱۹۲	۲۰۹	۹۹/۸	۱۹۸	۲۱۱	مجموع بارش		
۱۴	۱۴	۱۶/۶	۱۹/۳	۲۷/۱	۱۶/۵	۱۵/۵	۱۰/۶	۱۳/۴	۱۵/۲	۱۴/۹	۱۲/۹	۱۳/۷	۱۶/۱	۷/۱۳	۱۲/۴	۱۵/۱	مجموع بارش		
۳۰	۳۰	۳۸	۵۹	۸۵	۴۴	۵۱	۳۴	۳۴	۳۷	۳۰	۲۸	۴۹	۵۸	۲۴	۲۸/۲	۴۵/۷	حداکثر بارش		
۹/۳۹	۹/۳۹	۱۱/۵	۱۶/۹	۲۱	۱۲/۴	۱۳/۱	۸/۶۱	۹/۲۹	۱۰/۳	۹/۵۲	۱۰/۱	۱۲/۶	۱۳/۸	۶/۷۵	۸/۵۵	۱۳/۳	انحراف معیار		
۶۷/۳	۶۷/۳	۶۹/۱	۸۷/۷	۷۷/۷	۷۵/۳	۸۴/۵	۸۱/۵	۶۹/۳	۶۷/۸	۶۴	۷۸	۹۱/۵	۸۵/۸	۹۴/۶	۶۹	۸۸/۵	ضریب تغییرات		
۲۱	۲۱	۲۶/۲	۲۸/۵	۳۸/۱	۲۶	۱۹	۱۶/۶	۱۹	۲۳	۲۵	۲۲/۶	۱۹/۷	۲۰/۱	۱۲/۵	۱۹	۲۳/۵	چارک سوم		

بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی (با توسعه الگوریتم‌های ریاضی) و با پردازش طیف مادون قرمز با تفکیک مکانی بالا (۰.۰۴ در ۰.۰۴ درجه یا ۴ در ۴ کیلومتر) تولید می‌گردند. این نوع داده‌ها، برای مدلسازی های هیدرولوژیکی، تخمین بارش‌های منطقه‌ای و بررسی تغییرات اقلیمی در سطوح ناحیه‌ای، منطقه‌ای و بین‌المللی مورد استناد قرار گرفته است (سوروشیان و همکاران (۲۰۱۴) و نگوین و همکاران (۲۰۲۰)).

شرق، جنوب، غرب، و دریاچه ارومیه) بین اغلب نمونه‌های مورد نظر بود.

در مرحله دوم، با هدف آشکارسازی الگوها و روابط آماری- مکانی بارش‌های تندری حدی در محدوده مورد مطالعه یک روش ترکیبی شامل چارک‌های سوم (بیشتر از ۷۵ درصد توزیع مکانی داده‌ها) و مقادیر انحراف معیار اول (حدود ۶۸ درصد) از داده‌های بارش معادل در فرمت رستری در محیط برنامه‌های الحاقی نرم افزار ArcGIS محاسبه گردید. هدف اصلی از بکارگیری این روش شناسایی توزیع الگوهای مختلف آمار- مکانی غالب بارش ماهواره‌ای معادل در محدوده مورد مطالعه بود. به منظور افزایش دقت نتایج نهایی توابع جانبی پایتون^{۱۸} و مدلساز^{۱۹} در محیط‌های نرم افزاری اجرا و نقشه‌های توزیع مکانی بارش معادل تولید شدند رسولی و همکاران (۱۳۹۳).

در مرحله سوم، روش تحلیل چند وجهی مولفه‌های اصلی^{۲۰} به عنوان یک روش بهینه ریاضی-گرافیکی در مدلسازی پراکنش مکانی بارش‌های معادل رستری شد. با کاربرد این روش، اولاً، امکان کاهش حجم داده‌های انبوه در فرمت رستری چند بعدی، از طریق محاسبه ماتریس کوواریانس و بردارهای ویژه، به شش مولفه اصلی ممکن شد داراند و

با توجه به اهداف تحقیق حاضر، داده‌های بارش ماهواره‌ای معادل از سیستم پرشین بر اساس روزهای منتخب مورد استناد و پردازش قرار گرفتند. این سیستم توسط مرکز سنجش هیدرومتئورولوژی کالیفرنیا کشور آمریکا توسعه یافته است. از اهداف اصلی این مرکز می‌توان به تولید محصولات ماهواره‌ای متنوع به ویژه بارش معادل در مقیاس جهانی و منطقه‌ای اشاره نمود نگوین^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۹). یادآور می‌گردد از مهمترین محصولات سیستم پرشین می‌توان به شاخص پوشش ابری^{۱۶} و بارش معادل^{۱۷} اشاره نمود، که با

۲-۳ روش‌های تحقیق:

به منظور شناخت منطقی از توزیع مکانی بارش‌های تندری فراگیر در محدوده مورد مطالعه، در مرحله اول، مشاهدات بارش‌های تندری در هر ایستگاه هواشناسی بطور مجزا تحلیل و آماره‌های توصیفی مانند: مجموع، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات محاسبه گردید. سپس، در محیط نرم افزار ArcGIS امکان نمادسازی و تعمیم آماره‌های مذکور به محدوده شهرستان‌های تابعه میسر شد. با بررسی آماره‌های مکانی مربوطه در قالب نقشه‌های رقمی منتخب تفاوت‌های قابل توجهی در توزیع مکانی حوادث تندری این شناسایی گردید. در این مرحله، اقدام به طراحی هیچ نوع الگویی از نحوه توزیع مکانی بارش‌های تندری در روی دریاچه ارومیه نگردید چرا که به دلیل ظهور خطاهای مختلف ناخواسته از روش‌های درون‌یابی متعدد خطی و غیرخطی استفاده نگردید رسولی و همکاران (۲۰۲۰). اما بر مبنای حوادث مورد نظر داده‌های روزانه هم تاریخ از سیستم ماهواره‌ای پرشین مورد استناد قرار گرفت تا توزیع مکانی بارش‌های تندری معادل برای کل منطقه مورد مطالعه مدلسازی گردد. همانند بارش‌های زمینی نمونه‌های بارش ماهواره‌ای نیز نشان‌دهنده پراکنش مکانی معنی دار با لحاظ مناطق پنجگانه (شمال،

¹⁵ Nguyen

¹⁶ PERSIANN-Cloud Classification System (PERSIANN-CCS)

¹⁷ PDIR-Now

¹⁸ Python

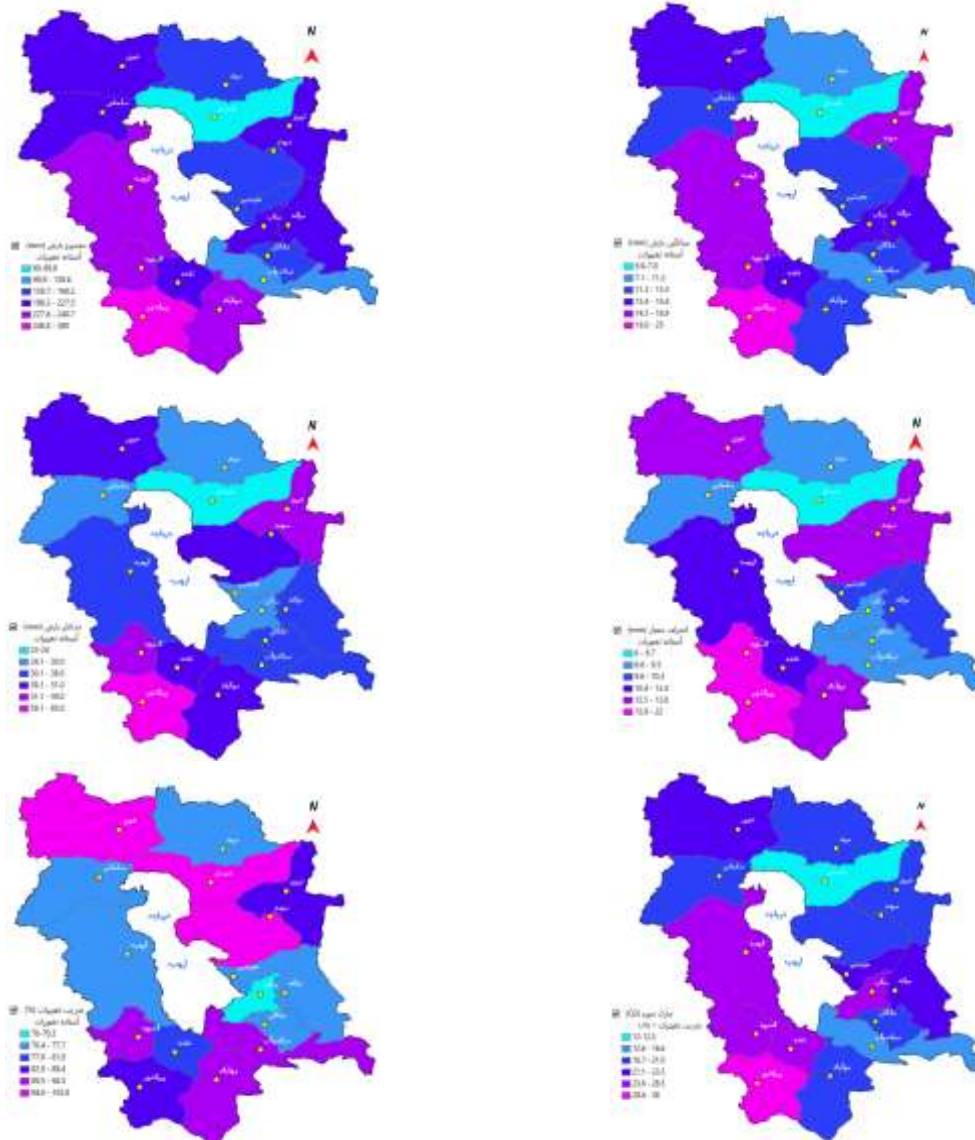
¹⁹ Model Builder

²⁰ Multidimensional Principal Components Analysis

۳- بحث:

با بکارگیری روش‌های مختلف تحلیلی ذکر شده در تحقیق فوق، نتایج مختلفی از نحوه پراکنش مکانی بارش‌های تندری حدی قابل عرضه می‌باشد. در مرحله نخست، شاخص‌های توزیع آماری- مکانی بارش‌های تندری در ایستگاه‌های هواشناسی از جمله مجموع، میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات و چارک سوم محاسبه و با تعمیم نتایج حاصله به محدوده شهرستان‌های تابعه بصورت نقشه‌های متنوع ارائه گردید (شکل ۲).

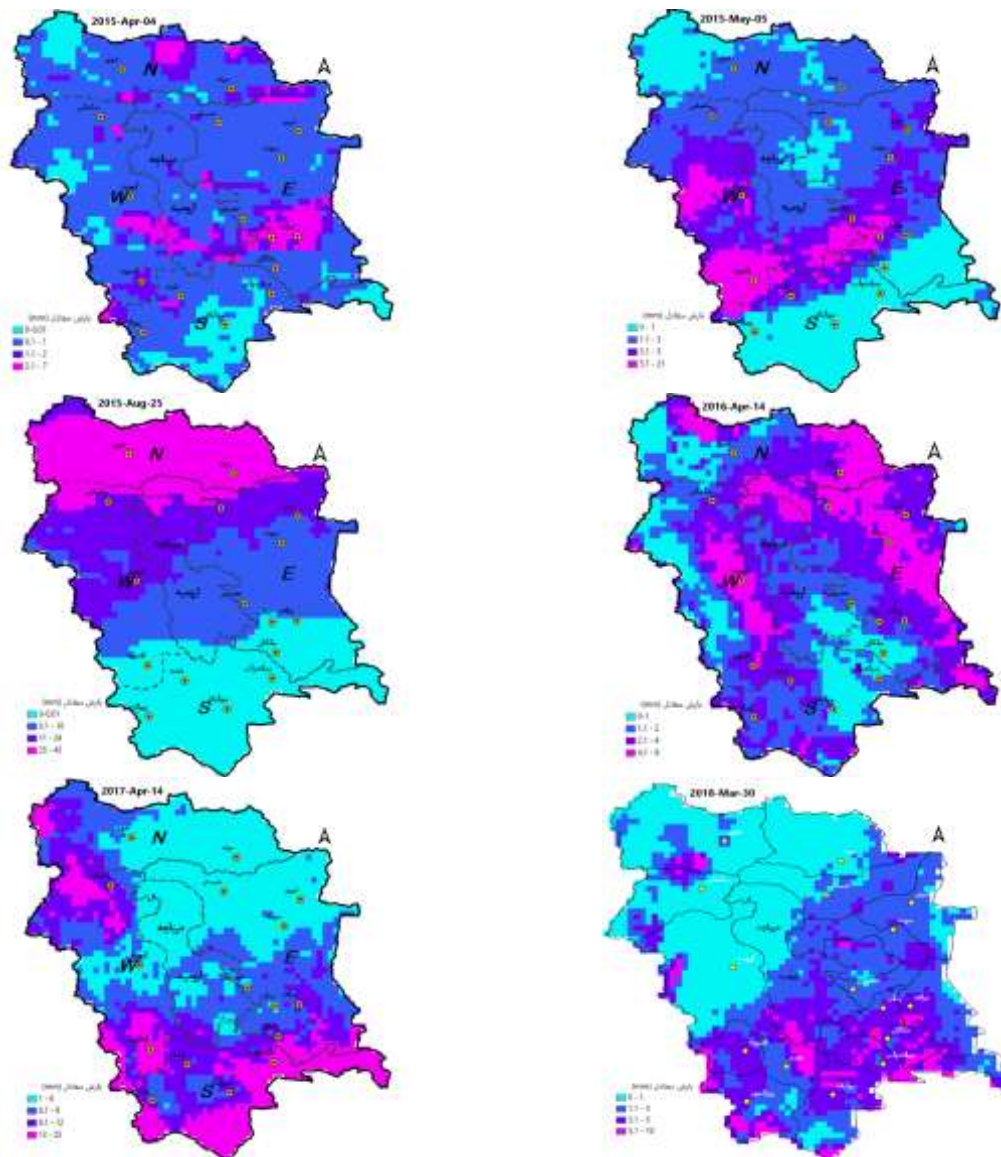
همکاران (۲۰۱۵). ثانیاً، با شناخت مولفه‌های اصلی، امکان آشکارسازی ویژگی‌های توزیع مکانی مقادیر بارش‌های معادل تندری در کل محدوده مورد مطالعه شامل دریاچه ارومیه فراهم شد. یادآور می‌شود در پردازش تصاویر مستخرج از سیستم پرشین با هدف کاهش ابعاد و استخراج ویژگی‌های مهم تولید مقادیر ویژه (بردارهای ویژه و مقادیر ویژه) تحقیقات متعددی در کشور ایران صورت گرفته است. مسعودیان (۱۳۸۴)، شیروانی و ناظم اسادات (۱۳۹۱)، شاهدوستی و قاسمیان (۲۰۱۶) و خارجی، جولیف و کادیما (۲۰۱۶)، وانگ و خیاو (۲۰۲۱).

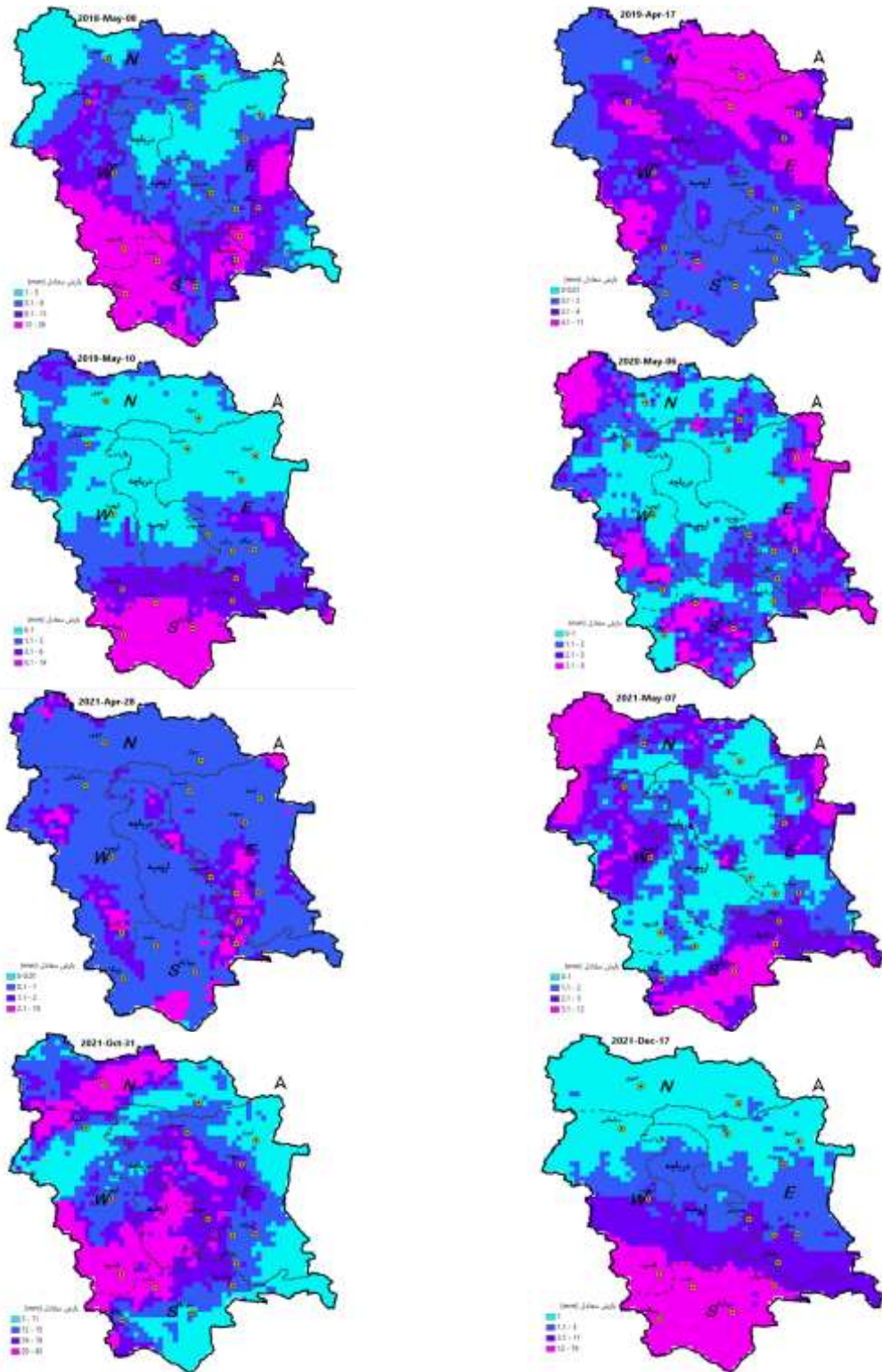


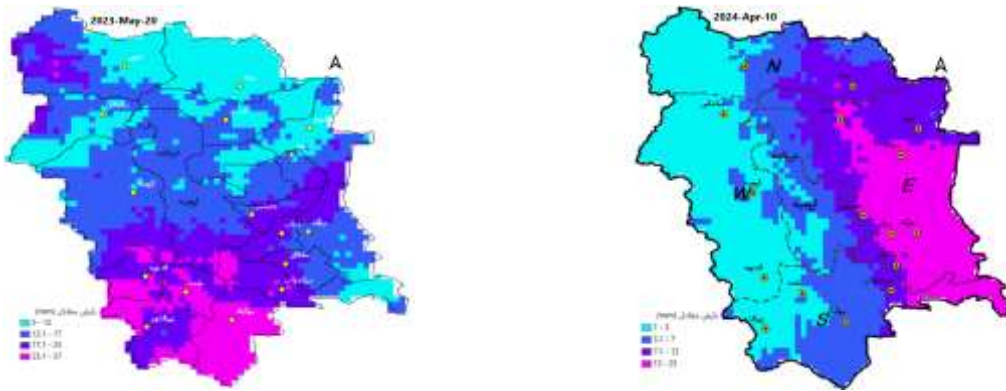
شکل شماره ۲: توزیع آماره‌های مکانی بارش‌های تندری منتج از ایستگاه‌های هواشناسی در محدوده مورد مطالعه

گیری از داده‌های همه ایستگاه‌های هواشناسی در تحقیق جاری، امکان برآورد توزیع این نوع بارش‌ها بر روی دریاچه ارومیه مقدور نبود، چرا که با اعمال روش‌های درونیایی مختلف امکان ظهور خطاهای ناخواسته در نتایج نهایی محتمل بود. از این رو، با پردازش داده‌های ماهواره‌ای پرشین توزیع مکانی بارش‌های معادل برای هر حادثه بارش تندی تهیه تا تغییرات مکانی مقادیر این نوع بارش‌ها در کل محدوده مورد مطالعه با همدیگر مقایسه شوند شکل (۳).

با بررسی نتایج حاصله مشخص می‌گردد، که آماره‌های مکانی بارش‌های تندی طی دوره آماری ۱۰ ساله توزیع مکانی یکسانی نداشته‌اند، بطوریکه مقادیر مجموع و میانگین بارش تندی شدیدتر در جنوب و جنوب غرب محدوده مورد مطالعه حادث و مناطق شرق و شمال شرق با حداقل بارش‌های تندی متاثر شده‌اند. ضمناً، سایر آماره‌های مکانی نظیر مقادیر ضرایب انحراف معیار و چارک‌های بارش‌های تندی حدی دارای تفاوت‌های قابل توجهی هستند. علیرغم بهره

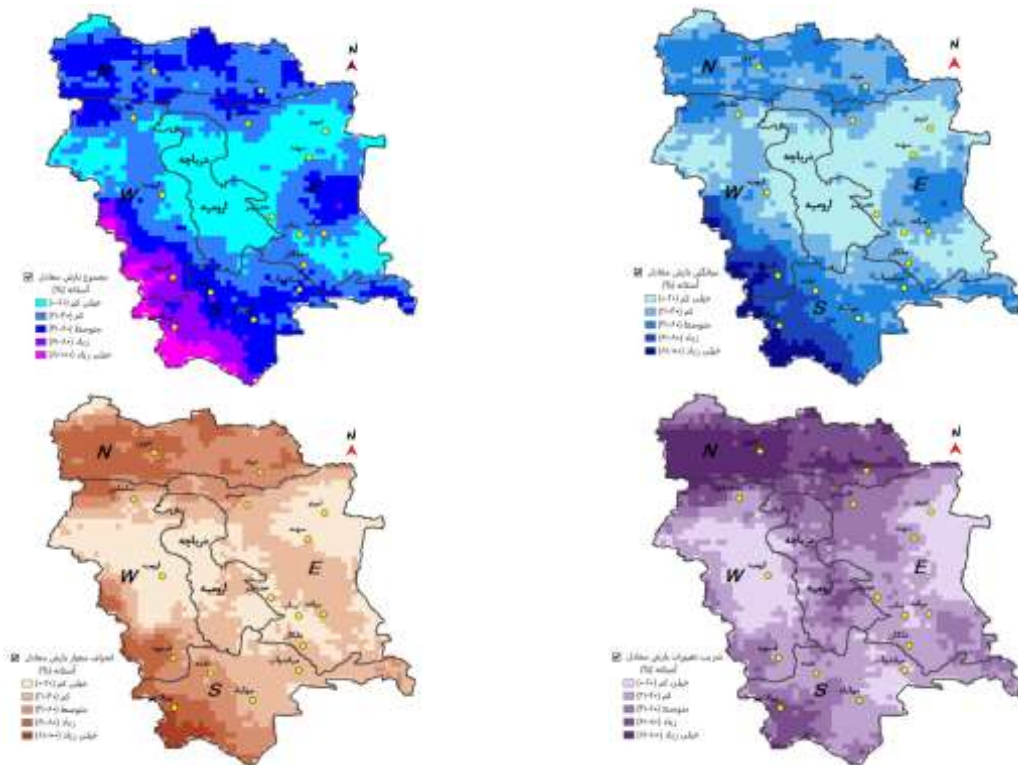






شکل ۳: توزیع مکانی بارش‌های تندی معادل ماهواره‌ای منتخب در محدوده مورد مطالعه

بر اساس داده‌های ارایه شده در شکل (۳)، شاخص‌های آماری مختلفی نظیر: مجموع، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات محاسبه و با آستانه‌گذاری یکسان نمایش داده شده است (شکل ۴). در این مدل‌ها حداکثر بارش‌های تندی حدی فراگیر در محدوده جنوب و جنوب‌غرب و مقادیر حداقلی در روی دریاچه ارومیه و شرق محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌گردد.



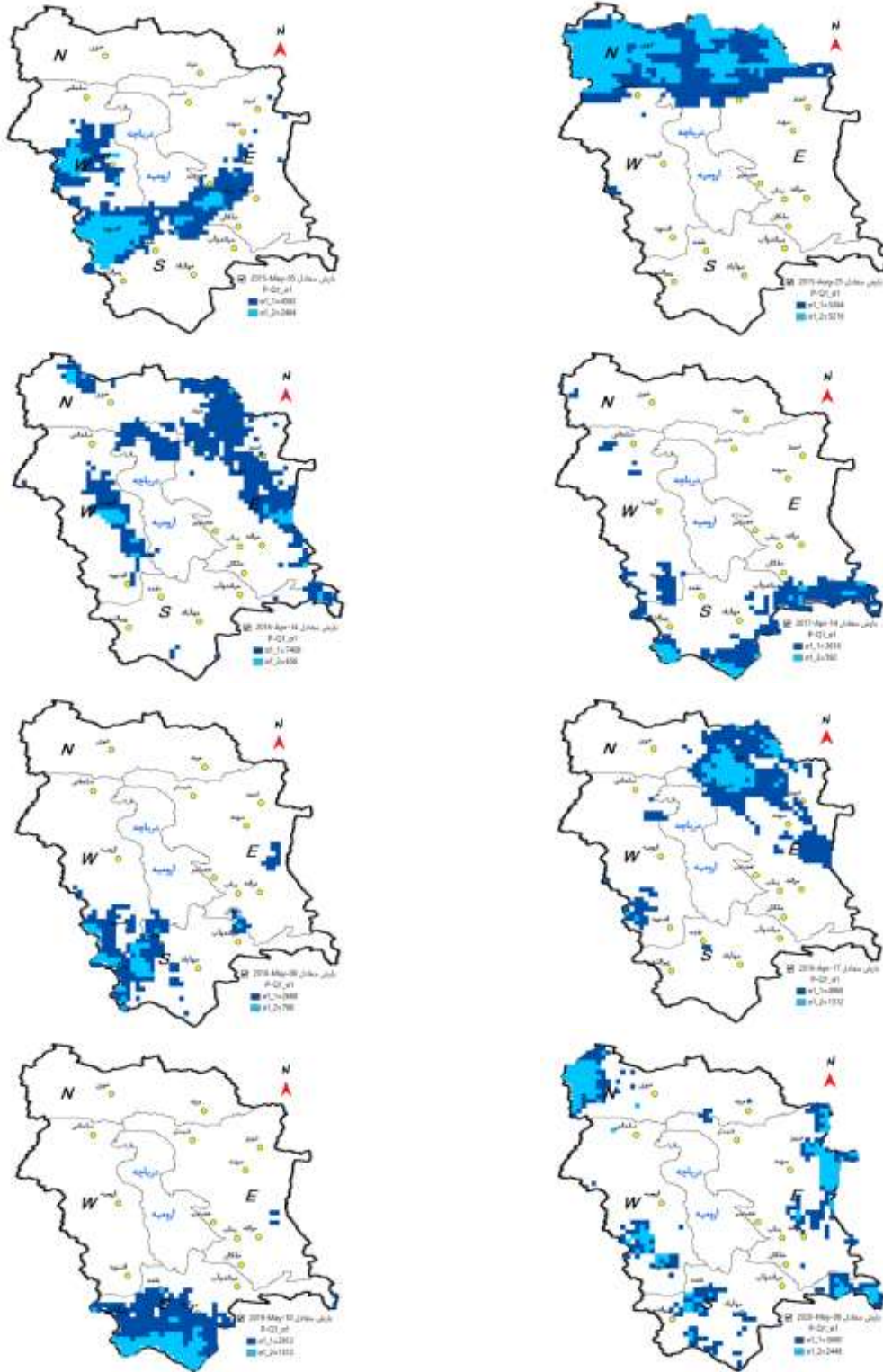
شکل ۴: توزیع آماری مکانی مربوط به بارش‌های تندی حدی در محدوده مورد مطالعه

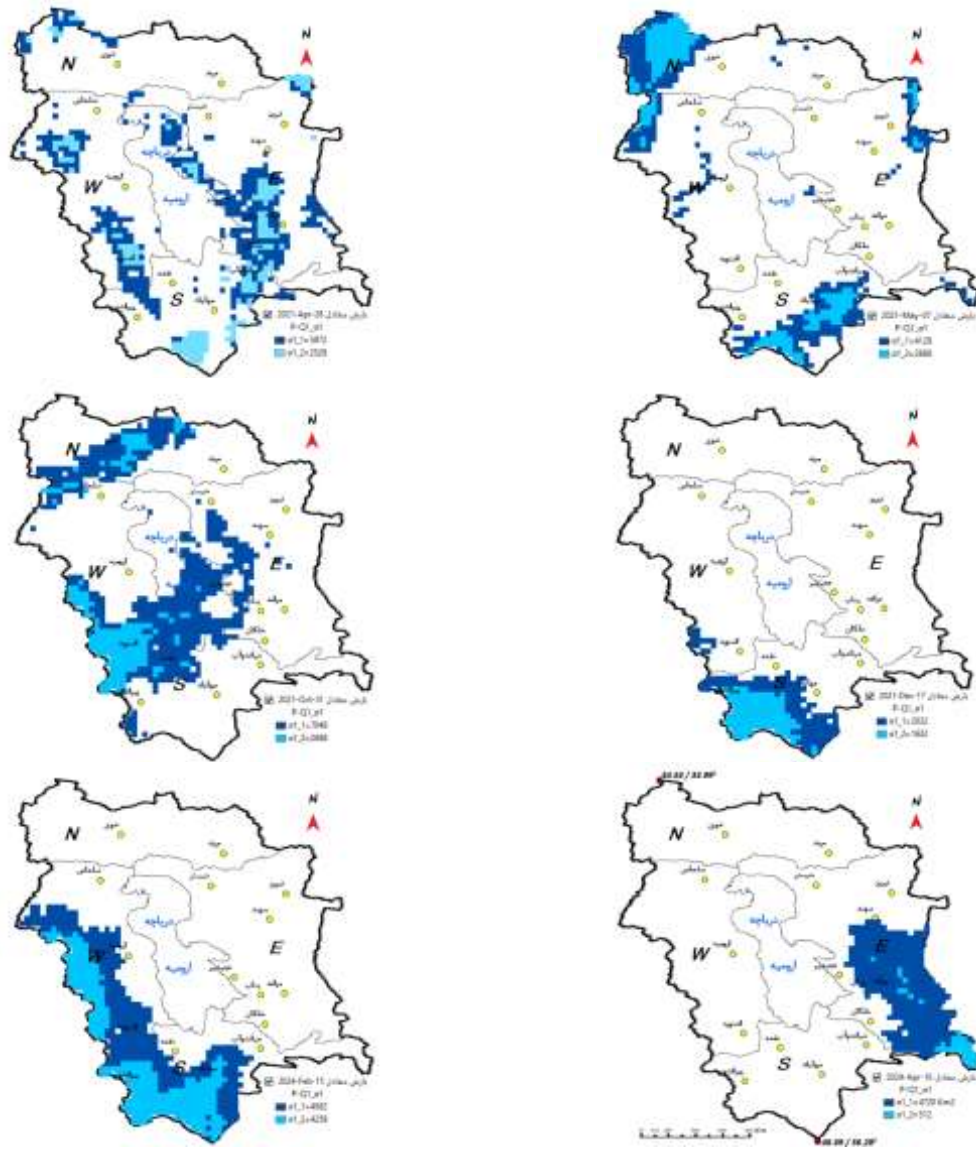
داده‌ها بیشتر از آنها باشند. سپس، مقادیر انحراف معیار سری‌های مربوطه (در دو کلاس Sd^1 و Sd^2 هر کدام با دارا بودن حدود ۳۴/۱ درصد (0 تا -1Q تا 0 تا +1Q) در مجموع ۶۴/۲ درصد از توزیع سری مشاهدات) بر اساس توابع آماری محاسبه و طبقه بندی شدند که مچیل نیز در سال ۲۰۰۵ به این روش اشاره نموده بود. با استناد به این روش ترکیبی، امکان

درگام بعدی، به منظور شناسایی و تفکیک محدوده‌های مکانی بارش‌های تندی حداکثری در هر حادثه، از هر فایل رستری بارش، یک رویکرد ترکیبی در محیط نرم‌افزار ArcGIS اعمال شد. به همین منظور، ابتدا از هر فایل رستری چارک‌های سوم (Q3) محاسبه گردید، به نحویکه ۷۵ درصد داده‌ها کمتر از سری بارش‌های مورد تحلیل و ۲۵ درصد

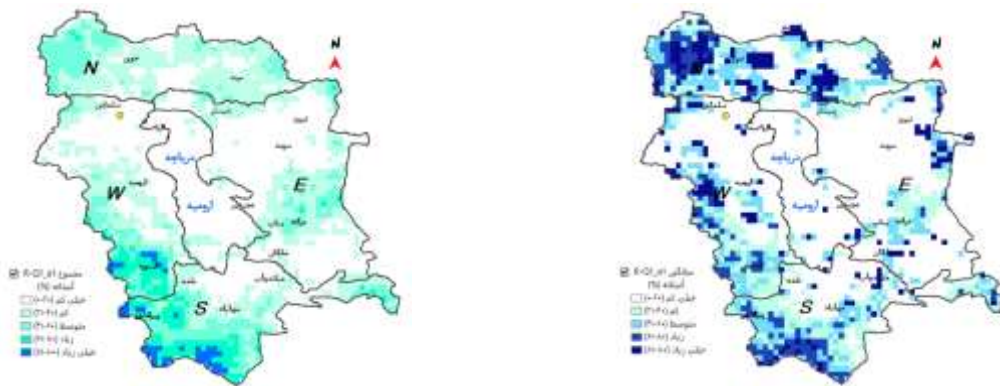
گرفته بود. چند نمونه از نتایج روش ترکیبی مذکور در شکل (۵) ارائه شده است.

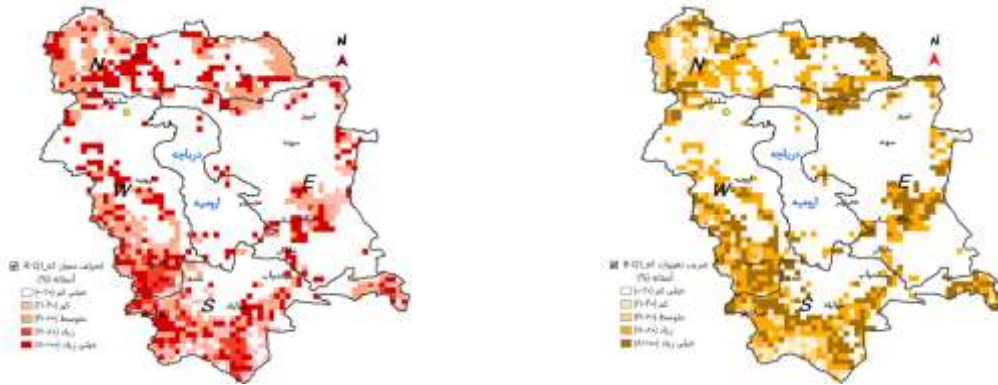
شناسایی الگوهای توزیع مکانی بارش‌های معادل تندری حداکثر غالب در کل محدوده مورد مطالعه میسر شد که این روش در تحقیق رسولی و همکاران در سال ۲۰۲۱ نیز انجام





شکل ۵: مقادیر مساحت بارش معادل (کیلومتر مربع) بر اساس تغییرات مکانی چارک‌ها و انحراف معیار بارش‌های تندی
 ضمناً، توسط شکل (۶) آماره‌های توصیفی منتج از تلفیق
 چارک‌ها و مقادیر انحراف معیار بارش‌های ماهواره‌ای معادل





شکل ۶: آماره‌های توصیف مکانی بارش معادل تندری مساوی و بیشتر از ۱۰ میلیمتر

اصلی بکار گرفته شد. دمشار^{۲۱} (۲۰۱۳) یادآور می‌گردد، این تکنیک میزان تعرض بین ویژگی‌های باندهای مختلف تصاویر چند طیفی را افزایش داده و شناسایی الگوهای اصلی در مطالعه حاضر را مهیا می‌سازد. به منظور شناسایی مغایرت‌ها و تشابهات ذاتی بین الگوهای بارش‌های معادل تندری روش تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی نمونه‌های داده‌های رستری در محیط مدلساز نرم افزار ArcGIS پیاده سازی و نتایج حاصله در جدول (۳) ارائه شد.

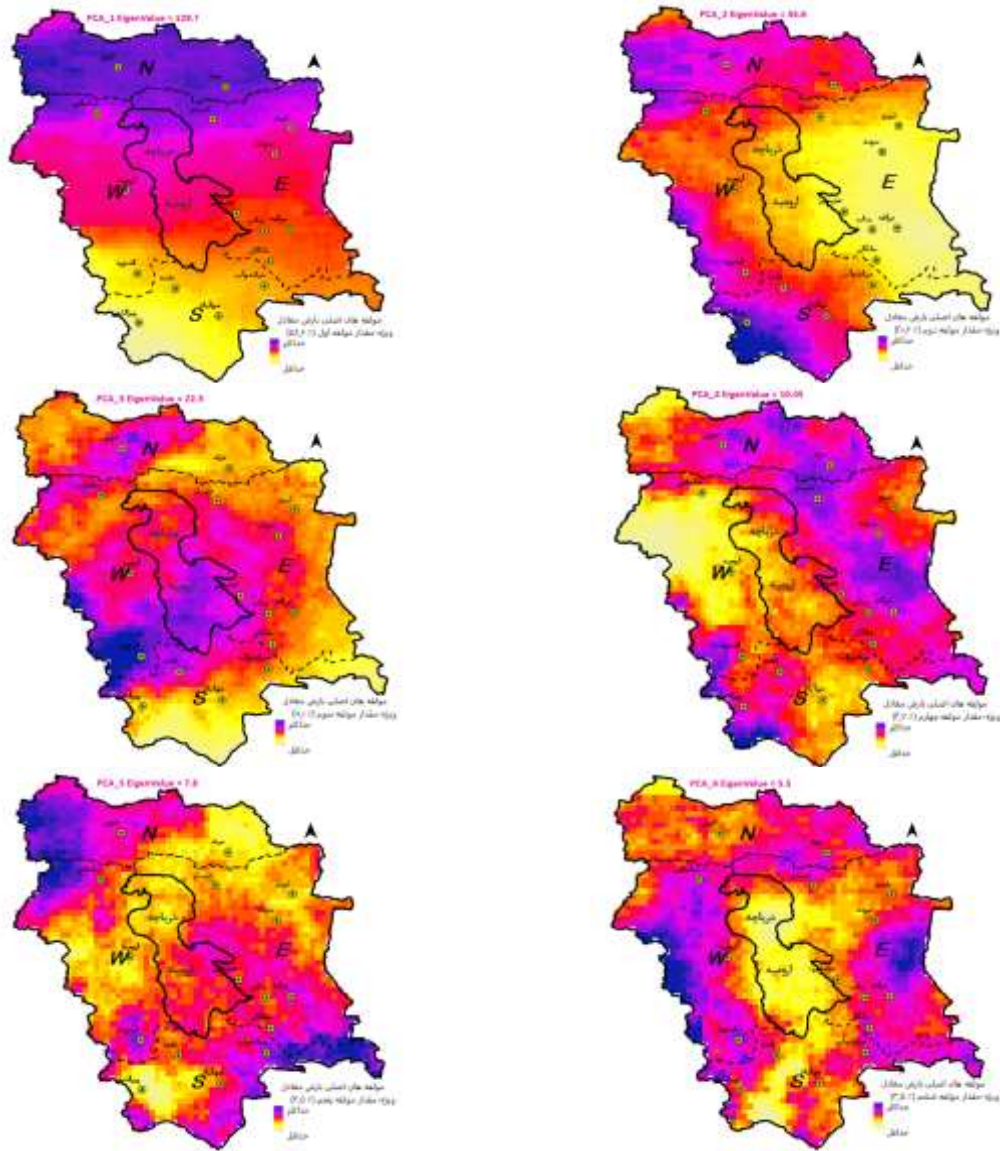
بر اساس توزیع مکانی بارش‌های تندری (اشکال ۵ و ۶)، مشخص می‌شود که بیشترین توزیع بارش تندری در محدوده جنوب غرب منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است. برعکس این فرآیند، مقادیر بارش معادل در شمال شرق نسبت به جنوب و غرب محدوده مورد مطالعه بسیار کاهش داشته است. ضمناً، بطور کاملاً مشهودی مقادیر حداقل بارش‌های معادل در روی دریاچه ارومیه مشاهده شده است. به منظور اطمینان از دقت یافته‌های آماره توصیفی به اجرای تحلیل‌های مکانی پیشرفته تری نیاز بود. بنابراین، با هدف برجسته نمودن ویژگی‌هایی اصلی توزیع مکانی بارش‌های معادل روش تحلیل مولفه‌های

جدول ۳: مقادیر ویژه مولفه‌های اصلی بارش معادل بارش‌های تندری حدی

مرتب‌بندی مولفه اصلی	مقادیر ویژه	مقادیر ویژه %	مقادیر ویژه تجمعی %
۱	۱۳۰	۵۸/۶۰	۵۸/۶۰
۲	۴۵/۵۶	۲۰/۵۷	۷۹/۱۷
۳	۲۲/۳۵	۱۰/۰۹	۸۹/۲۶
۴	۱۰/۵۴	۴/۷۲	۹۳/۹۹
۵	۷/۸۳	۳/۵۳	۹۷/۵۲
۶	۵/۴۷	۲/۴۷	۱۰۰

و مقایسه این نوع تغییرات مولفه‌های اصلی مقادیر ویژه برای بارش‌های معادل تندری در شکل (۷) ارائه شده است.

در جدول فوق حدود ۸۹ درصد مقادیر ویژه بارش‌های معادل توسط سه مولفه اول تبیین شده است. به منظور آشکارسازی



شکل ۷: مولفه‌های اصلی (شش ویژه-مقدار) بارش‌های معادل با لحاظ حوادث بارش‌های تندی بیشتر از ۱۰ میلی‌متر طی سال‌های ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۴ میلادی

متغیر در دسته بندی‌های متعدد می‌باشند. رسولی و چونگ (۲۰۱۳) لذا، با بکارگیری این روش ضمن کاهش حجم داده‌های مربوطه به بارش‌های معادل تندی نحوه توزیع مولفه‌های اصلی (با تاکید بر سه مولفه اصلی) در محدوده‌های پنجگانه برآورد گردید جدول (۴).

در نهایت، با هدف شناسایی دقیق توزیع الگوهای مولفه‌های ۱ الی ۳ در محدوده مورد مطالعه (در ۵ ناحیه منتخب) چند الگوریتم مختلف نظیر جداول متقاطع شرط‌نچی و تابع تحلیلی چندبعدي از نوع خوشه‌ای اعمال شد. در واقع، هدف اصلی محاسبه میزان همبستگی (برقراری رابطه منطقی) بین دو یا چند ویژگی داده‌های تکراری است که هر کدام نماینده یک

جدول ۴: نتیجه بکارگیری روش مولفه‌های اصلی در تحلیل داده‌های بارش معادل

مؤلفه‌های اصلی بارش معادل	نواحی محدوده مورد مطالعه					ناحیه تحت تاثیر بارش اول
	شمال (N)	شرق (E)	جنوب (S)	غرب (W)	دریاچه ارومیه (L)	
PCA_1 مؤلفه اول	اول	دوم	*	سوم	*	شمال
PCA_2 مؤلفه دوم	دوم	*	اول	سوم	*	جنوب
PCA_3 مؤلفه سوم	سوم	*	*	اول	دوم	غرب

* الگوی مشاهده نشد.

و و مغایرت‌های قابل توجه در شاخص‌های تراکم بارش منطقه مورد مطالعه به عنوان مبنای مقایسه توزیع زمانی و مکانی بارش‌های حدی تنظیم شده است.

توسط شکل (۸) نواحی‌های چهارگانه منتخب در اطراف دریاچه ارومیه ارائه شده است. یادآور می‌گردد این نوع ناحیه بندی بر اساس موقعیت جغرافیایی ویژگی‌های آماری-مکانی



شکل ۸: محدوده مورد مطالعه شامل مناطق چهارگانه و دریاچه ارومیه

۴. نتایج

به منظور تحلیل ویژگی‌های مکانی بارش‌های تندری حدی و فراگیر در منطقه مورد مطالعه از تحلیل آماره‌های توصیفی استفاده گردید. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها، تلفیق چارک‌ها و انحراف معیار، و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (با کمی اختلاف در روش PCA) نشان‌داد تفاوت‌های قابل توجهی در توزیع مکانی این نوع بارش‌ها در محدوده مورد مطالعه وجود دارد. همچنین، نتایج تحلیل توزیع زمانی، مبین الگوی بهاره (مارس، آوریل و می) و در مرحله بعدی، الگوی زمستانه (دسامبر، ژانویه و فوریه) برای وقوع این بارش‌ها است. به منظور استدلال این تغییرات مکانی شدید، چندین عامل محیطی و سینوپتیک قابل طرح است:

۴- عوامل سینوپتیک و رطوبتی: توزیع مکانی بارش‌های

مورد نظر به شدت با فرارسیدن سامانه‌های سینوپتیک مختلف به منطقه مرتبط است برومند و عالی جهان، (۱۳۹۴). شمال غرب کشور به‌طور معمول تحت تأثیر سامانه‌های جوی از سه جهت شمال غرب (دریای سیاه)، غرب (مدیترانه) و شمال شرق (دریای خزر) قرار می‌گیرد لشکری و آقاسی، (۱۳۹۲). پژوهش‌های پیشین جهانبخش و همکاران، (۱۳۸۱)، لشکری و همکاران، (۱۳۹۲) تأیید می‌کنند که این سامانه‌ها نقش اصلی را در انتقال توده‌های هوای مرطوب و باران‌زا به منطقه ایفا می‌کنند.

۴- شرایط توپوگرافیک و محلی: ماهیت مکانی

بارش‌های تندری با شرایط توپوگرافیک محدوده مورد مطالعه ارتباط وثیقی دارد. علیرغم تأثیرپذیری همسان از

دریاچه ارومیه، طی یک دهه گذشته کمترین مقادیر بارش معادل را دریافت کرده‌اند، در حالی که نواحی جنوبی و جنوب‌غربی بیشترین حجم بارش‌های تندری حدی را تجربه کرده‌اند. علاوه بر این، در اغلب نمونه‌ها، سطح دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن شاخص‌های آماری و مکانی کمترین میزان بارش را به خود اختصاص داده است. یافته‌های مبتنی بر پردازش داده‌های ماهواره‌ای پرشین، ضمن ارائه درک دقیق‌تر از الگوی مکانی بارش‌های شدید در منطقه، می‌تواند در برنامه‌ریزی منابع آب، مدیریت مخاطرات هیدرولوژیکی نظیر وقوع سیلاب‌ها، پایش تغییرات اقلیمی و تدوین راهبردهای توسعه پایدار محیطی برای حوضه دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

1. Ashrafi, S. (2010). Rainfall zoning of northwestern Iran using cluster analysis and discriminant analysis. *Journal of Climatological Research, Issues 3-4*, 1-21. (In Persian)
2. Assakereh, H., & Razmi, R. (2011). Changes in the precipitation regime of northwestern Iran. *Journal of Climatological Research, 2(7-8)*, 99-114. (In Persian)
3. Azizzadeh, M., Javan, K., Rasouli, A., & Ostadi, A. (2018). Estimation of spring thunderstorm occurrence probability using the Markov chain model (Case study: Tabriz). *Natural Environment Hazards Quarterly, 7(18)*, 16. (In Persian)
4. Boroumand, A., Jahan, J., & Salahi, B. (2015). Extraction and analysis of synoptic patterns leading to thunderstorm events in the Ardabil Plain. *Journal of Physical Geography Research, 47(3)*, 399-419. (In Persian)
5. Ceferino-Hernández, L., Magaña-Hernández, F., Campos-Campos, E., Morosanu, G. A., Torres-Aguilar, C. E., Mora-Ortiz, R. S., & Díaz, S. A. (2024). Evaluation of PERSIANN satellite products in the Tuliya River basin, Mexico. *Remote Sensing, 16(14)*, 2596.
6. Darand, M., Masoodian, A., Nazari-pour, H., & Mansouri Daneshvar, M. R. (2015). Spatial and temporal trend analysis of temperature extremes based on Iranian climatic database. *Arabian Journal of Geosciences, 8(10)*, 8469-8480.
7. Delavar, M., Babaei, O., & Fattahi, E. (2014). Assessment of climate change impacts on Lake Urmia water level fluctuations. *Journal of*

سامانه‌های سینوپتیک، محدوده دریاچه ارومیه به دلیل تنوع ارتفاعی، عرض جغرافیایی، و دوری و نزدیکی به منابع رطوبتی می‌تواند دارای خرد بارش‌های تندری متعددی باشد جلالی (۱۳۸۵). همچنین، بارش حداقلی مشاهده شده در روی دریاچه توسط تصاویر ماهواره‌ای، احتمالاً به دلیل ارتفاع کم آن و احاطه شدن توسط ناهمواری‌های غربی (سیلوانا)، شمالی (میشو) و شرقی (سهند) توجیح می‌شود که می‌تواند موجب سایه کوهستانی (Orographic Shadow) و کاهش بارندگی در مرکز فرورفته شود رسولی و همکاران، (۱۳۹۳).

- تغییر در ماهیت فیزیکی ابرها: از دیگر عوامل مهم می‌توان به تغییر در ماهیت فیزیکی ابرهای حامل بارش‌های تندری اشاره کرد. نتایج بررسی‌های دیگر نیز کاهش معنی‌داری در الگوهای ابرناکی و مشخصات فیزیکی ابرها در شمال‌غرب کشور را نشان می‌دهد رسولی و همکاران، (۱۳۹۲). این تغییرات فیزیکی ابرها در نهایت به ظهور تغییرات معنی‌دار در توزیع زمانی و مکانی پوشش ابر و به تبع آن، تغییر در الگوی بارش‌های معادل منجر می‌شود میرموسوی (۱۴۰۳).

- اثر خشک شدن دریاچه ارومیه: خشک شدن دریاچه ارومیه نیز تأثیر قابل توجهی بر الگوهای بارش در منطقه دارد. کاهش رطوبت موجود در هوا (حداقل در مقیاس میکروکلیمایی) به دنبال خشک شدن دریاچه، می‌تواند بر وقوع بارش‌های همرفتی تأثیر منفی گذاشته و به کاهش ابرهای حامل و نهایتاً کاهش بارش‌های تندری در منطقه منجر شود خوش اخلاق و همکاران، (۱۳۹۲).

۵- نتیجه گیری:

هدف اصلی این پژوهش تحلیل و تبیین الگوی توزیع مکانی بارش‌های روزانه تندری حدی فراگیر در محدوده دریاچه ارومیه طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۴ بود. برای این منظور، داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های هواشناسی و بارش‌های معادل استخراج شده از محصولات ماهواره‌ای پرشین مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در رویدادهای منتخب، ناهمگنی مکانی معناداری در مقیاس منطقه‌ای و در پهنه‌های پنج‌گانه مطالعاتی وجود دارد. به‌طور مشخص، بخش‌های شمال‌شرق منطقه، به‌ویژه نواحی شمالی

- Climatological Research, 19, 53–65. (In Persian)
8. Demšar, U. (2013). Principal component analysis on spatial data: An overview. *Journal of Geographic Research*, 23(4), 234–245.
 9. Gerami, M. S., Karimi, M., Azizi, Q., & Refati, S. (2022). Synoptic analysis of widespread spring precipitation and thunderstorm events in northwestern Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 54(1). (In Persian)
 10. Ghazanfari, A., Sarmad, Q., & Mazraeh Farahani, M. (2022). Nowcasting the initiation of convection using satellite data. *Iranian Journal of Geophysics*, 16(3), 1–22. [In Persian]
 11. Ghazanfari Moghaddam, A., Alizadeh, A., Mousavi Baygi, F., Hosseini, B., & Banaian, A. (2011). Comparison of the PERSIANN model with interpolation methods for estimating daily precipitation (Case study: North Khorasan). *Journal of Water and Soil*, 25(1). [In Persian]
 12. Ghodrati, Z., Salahi, B., & Saber, M. (2024). Assessment of changes in the number of convective precipitation days in northwestern Iran using the Mann–Kendall test and Sen's slope estimator. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(4). (In Persian)
 13. Ghasemifar, E., Planche, C., Baray, J. L., Almazroui, M., & others. (2025). 25-years study (2000–2024) of extreme precipitation following heatwaves in the Middle East: Regional patterns, trends, and atmospheric drivers. *Atmospheric Research*.
 14. Jahanbakhsh Asl, S., & Zolfaghari, H. (2002). Analysis of synoptic patterns of daily rainfall in western Iran. *Geographical Research*, 63–64, 234–259. (In Persian)
 15. Jalali, A. (2006). Spatio-temporal analysis of thunderstorm rainfall in northwestern Iran (Doctoral dissertation). University of Tabriz, Iran. (In Persian)
 16. Javan, K., Rasouli, A., Erfanian, M., & Sari Sarraf, B. (2018). Comparative evaluation of rainfall estimation methods in the Lake Urmia basin. *Journal of Geography and Planning*, 22, 83–100. (In Persian)
 17. Javanmard, S., Golestani, S., & Abedini, Y. (2011). Spatio-temporal distribution of convective and stratiform rainfall over Iran using TMI–TRMM satellite data. *Proceedings of the Physics of Iran Conference*, 2716–2719. (In Persian)
 18. Jolliffe, I. T. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 374(2065), 20150202.
 19. Karagiannidis, A., Lagouvardos, K., & Kotroni, V. (2016). The use of lightning data and Meteosat infrared imagery for the nowcasting of lightning activity. *Atmospheric Research*, 168, 57–69.
 20. Khosh Akhlagh, F., Heydari, M. A., Ghiasolhosseini, M., & Karimi Dehbakhari, S. (2013). Statistical and synoptic investigation of thunderstorm precipitation in the Caspian Sea region. *Proceedings of the 2nd National Conference on Environmental Protection and Planning*, 1–10. (In Persian)
 21. Lashkari, H., & Aghasi, N. (2013). Synoptic analysis of thunderstorm events in Tabriz during 1996–2005. *Geography and Planning*, 45, 203–234. (In Persian)
 22. Masoudian, S. A. (2005). Identification of precipitation regimes in Iran using cluster analysis. *Geographical Research*, 52. (In Persian)
 23. Mirmousavi, S. H., & Heydari Monfared, Z. (2024). Spatio-temporal analysis of mean snow cover changes during cold seasons in northwestern Iran. *Nivar Journal*, 124–125, 84–104. (In Persian)
 24. Mitchell, A. (2005). *The ESRI guide to GIS analysis: Volume 2 – Spatial measurements and statistics*. ESRI Press.
 25. Movaghari, A. R., & Javan, Kh. (2023). Spatial distribution of changes in the trend of extreme precipitation indices in northwestern Iran. *Journal of Desert Meteorology and Applied Climatology*, 9(1), 21–38.
 26. Nguyen, P., Shearer, E. J., Tran, H., Ombadi, M., Hayatbini, N., Palacios, T., Huynh, P., Updegraff, G., Hsu, K., Kuligowski, B., Logan, W. S., & Sorooshian, S. (2019). The CHRS data portal: An easily accessible public repository for PERSIANN global satellite precipitation data. *Scientific Data*, 6, 180296.
 27. Nguyen, P., Ombadi, M., Goroooh, V. A., Shearer, E. J., Sadeghi, M., Sorooshian, S., Hsu, K., Bolvin, D., & Ralph, M. F. (2020). PERSIANN Dynamic Infrared–Rain Rate (PDIR-Now): A near-real-time, quasi-global satellite precipitation dataset. *Journal of Hydrometeorology*.
 28. Raespour, K., Ebrahimi Emad, Z., & Khosravi, M. (2023). Spatial analysis of precipitation distribution in Iran using GPM satellite data. *Climate Change and Weather Hazards*, 2(3), 714–724. (In Persian)

29. Rasouli, A. (2005). Modeling thunderstorm rainfall in Tabriz city from a flood risk perspective. Proceedings of the International Conference on Earth Hazards, Natural Disasters and Mitigation Strategies. University of Tabriz, Iran. (In Persian)
30. Rasouli, A. (2011). An introduction to satellite meteorology and climatology. Tabriz: University of Tabriz Press. (In Persian)
31. Rasouli, A. A., & Cheung, K. (2013). Spatial distribution of severe thunderstorm rainfall events throughout the GMSTWA and adjacent Tasman Sea. Proceedings of the 7th Annual CAWCR Workshop, Melbourne, Australia, 47.
32. Rasouli, A. A., & Mammadov, R. (2020). Preliminary satellite image analysis inside the ArcGIS setting. Lambert Academic Publishing.
33. Rasouli, A. A., Mammadov, G. Sh., & Asgarova, M. M. (2021). Mastering spatial data analysis inside the GIS setting. Azerbaijan State Pedagogical University.
34. Rasouli, A., Jahanbakhsh, S., & Ghasemi, A. (2014). Investigation of the relationship between key cloud parameters and daily precipitation in Iran. Geographical Research Quarterly, 112, 23–42. (In Persian)
35. Rasouli, A., Jalali, T., Sarafroozeh, F., & Esmailpour, M. (2015). Spatio-temporal changes and prediction of Nisan rainfall in East Azerbaijan Province. Scientific Research Journal of Geography, 52, 171–191. (In Persian)
36. Rasouli, A., Khorshidoost, A., & Fakhari Vahed, M. (2018). Analysis of lightning frequency distribution and its relationship with elevation in southeastern Iran. Scientific–Research Quarterly of Geographic Information, 106, 169–178. (In Persian)
37. Rasouli, A., Nasiri, S., & Valizadeh, K. (2011). Modeling the spatial distribution of thunderstorm rainfall in mountainous regions of northwestern Iran (2010–2012). Journal of Physical Geography Research, 40, 414–417. (In Persian)
38. Rasouli, A., Rostamzadeh, H., Sari Sarraf, B., & Omidfar, M. (2020). Evaluation of Doppler radar performance using synoptic station rainfall data in the Lake Urmia basin. Journal of Geography and Planning, 24(72), 247–266. (In Persian)
39. Rasouli, A., Roshani, R., & Ghasemi, A. (2013). Spatio-temporal variations of annual precipitation in Iran. Geographical Research, 28(1), 205–224. (In Persian)
40. Saliqe, M., Naserzadeh, M., & Ghaffari, A. (2018). Analysis of spring convective precipitation in northwestern Iran using instability indices. Journal of Geography and Planning Research, 64, 129–147. [In Persian]
41. Sen Roy, S., & Balling, R. C., Jr. (2014). Spatial patterns of diurnal lightning activity in southern Africa during austral summer. Atmospheric Research, 145, 182–188.
42. Shahdoosti, H. R., & Ghassemian, H. (2016). Combining the spectral PCA and spatial PCA fusion methods by an optimal filter. Information Fusion, 27, 150–160.
43. Shirvani, A., & Nazemolsadat, S. M. (2012). Rainfall zoning in Iran using principal component analysis and cluster analysis. Iranian Journal of Water Resources Research, 8(1), 81–85. (In Persian)
44. Sobhani, B., Safarian, V., & Deyham Sarikhan, R. (2019). Spatial modeling of thunderstorm rainfall using satellite imagery and precipitable water estimation. Journal of Urban Ecology Research, 19, 151–164. (In Persian)
45. Sorooshian, S., Gao, X., Hsu, K., Maddox, R. A., Hong, Y., Imam, B., & Gupta, H. V. (2002). Diurnal variability of tropical rainfall retrieved from combined GOES and TRMM satellite information. Journal of Climate, 15, 983–1001.
46. Sorooshian, S., Nguyen, P., Sellars, S., Braithwaite, D., AghaKouchak, A., & Hsu, K. (2014). Satellite-based remote sensing estimation of precipitation for early warning systems. In Extreme Natural Hazards, Disaster Risks and Societal Implications (pp. 99–111). Cambridge University Press.
47. Wang, X., & Xiaowei, Z. (2021). ℓ_2, p -norm based PCA for image recognition. International Journal of Computer Applications, 15(4), 37–42.
48. Yang, K., Wang, Z., Deng, M., & Dettmann, B. (2023). Combining CloudSat/CALIPSO and MODIS measurements to reconstruct convective cloud structure. Remote Sensing of Environment, 287, 113478.
49. Yousefnejad, R., Farajzadeh, M., & Ghooydell Rahimi, Y. (2024). Accuracy assessment of PERSIANN-family satellite precipitation data at daily, monthly, and annual scales in Iran. Journal of Applied Remote Sensing and GIS in Environmental Sciences, 4(13), 90–116.

واکاوی توزیع مکانی بارش‌های روزانه تندی حدی فراگیر در محدوده دریاچه ارومیه / علی اکبر رسولی و همکاران