



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تحلیلی بر گرانیگاه بارش در شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی استان اردبیل

زینب حزب‌بوی^{۱*}، وحیده مرادزاده^۲، مهین حنیفه‌پور^۳، نازیلا علائی^۴

- ۱- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- ۳- دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ۴- دانشجوی دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

روند کاهش اندازه بارش در بسیاری از مناطق کشور از جمله استان‌های شمال غرب کشور سبب شده است تا بررسی روش‌های جدید به منظور تکمیل پایگاه‌های داده‌ای آبخیزهای کشور بیش از پیش ضروری شود. در این راستا، درک تغییرات گرانیگاه بارش به عنوان یک مفهوم نوظهور که نشان‌دهنده توزیع مکانی بلندمدت بارش منطقه‌ای است، برای مدیریت چالش‌های آبخیزداری از جمله کاهش اثرات خشک‌سالی، مهار سیلاب و حفاظت از منابع آب اهمیت دارد. به این منظور، این پژوهش با هدف تحلیل گرانیگاه بارش و ارتباط آن با توزیع مکانی شبکه باران‌سنجی در استان اردبیل انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای محاسبه گرانیگاه بارش، از آمار بارش ۴۹ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۴۵ ساله (۱۳۹۵-۱۳۵۰) استفاده شد. بر اساس اصل استخراج ایستگاه و با در نظر گرفتن منطقی بودن کمترین تراکم و یکنواختی، پنج ایستگاه به عنوان کمترین تعداد ممکن تعیین شد. سپس، تراکم ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ایستگاه به شکل تصادفی استخراج شد تا توزیع گرانیگاه بارندگی با تراکم شبکه ایستگاه‌ها مقایسه شود. برای پیاده‌سازی مدل مرکز ثقل، محاسبه بیضی انحراف

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: z.hazbavi@uma.ac.ir

استناد: حزب‌بوی، ز.، مرادزاده، و.، حنیفه‌پور، م.، علائی، ن. ۱۴۰۳. تحلیلی بر گرانیگاه بارش در شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی استان اردبیل. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۴): ۷۰-۵۴.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.364724.1570

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره ۳۷، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۴۵، زمستان ۱۴۰۳، صفحه‌های ۵۴ تا ۷۰.

© نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



استاندارد در محیط نرم‌افزار ArcMap10.8 انجام شد و برای تحلیل همبستگی متعارف (CCA) از XLSTAT در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که در بهار (فروردین تا خرداد)، جهت حرکت گرانیگاه بارش به‌طور قابل‌توجهی متفاوت بود و فاصله حرکت ۱۸/۱۷ کیلومتر برآورد شد. در تابستان (تیر تا شهریور)، حرکت گرانیگاه بارش عمدتاً ۲۰/۱۸ کیلومتر به سمت شمال بود. در پاییز (مهر تا آذر)، حرکت گرانیگاه بارش عمدتاً ۲۰/۴۸ کیلومتر به سمت جنوب بود و بیشترین فاصله حرکت در مقایسه با دیگر فصل‌ها، در فصل پاییز بود. در زمستان (دی تا اسفند)، جهت حرکت گرانیگاه بارش در جهت‌های متفاوتی بود و کمترین فاصله حرکت (۸/۳۵ کیلومتر) در مقایسه با دیگر فصل‌ها در فصل زمستان بود. جهت حرکت گرانیگاه بارش سالانه نیز عمدتاً به سمت جنوب-شرقی بود.

بیشترین فاصله حرکت گرانیگاه ۱۱۱/۷۸ کیلومتر به سمت شمال غربی در سال ۱۳۵۸ بود. همچنین، گرانیگاه بارش سالانه در استان اردبیل در سه دهه ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۰ عمدتاً به سمت شمال غربی و در دیگر دهه‌ها به سمت جنوب شرقی حرکت کرد. همبستگی میان تراکم شبکه ایستگاه‌ها با تغییرات گرانیگاه بارش، مثبت ($CCA=0/65$) در سطح معنی‌داری ۰/۵٪ بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

از میان تراکم‌های گوناگون ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰، بیشترین ضریب همبستگی متعارف با اندازه ۰/۸۰ برای تراکم ۴۰ ایستگاه به دست آمد و کمترین اندازه این ضریب برای کمترین تراکم ۵ ایستگاه با اندازه ۰/۰۴ بود. بر اساس نتایج این پژوهش، تغییرات حرکت الگوهای بارش که در دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی می‌تواند مؤثر باشد، مشخص شد. پیشنهاد می‌شود که ارتباط میان تغییر اقلیم و عامل‌های پستی‌بلندی با تغییرات مکانی-زمانی گرانیگاه بارش بررسی شود.

واژگان کلیدی: آبخیزهای کوهستانی، الگوی مکانی، تراکم ایستگاه‌ها، جهت حرکت بارش، خوشه‌بندی

مقدمه

و رونق جامعه ضروری است (سان و لوتز ۲۰۲۰؛ ژانگ و همکاران ۲۰۲۰؛ نظری پویا ۲۰۲۲). تحلیل شبکه می‌تواند به‌طور مؤثر و کارآمد برای تجزیه و تحلیل تبادل منابع و روابط میان ایستگاه‌های گوناگون بارش استفاده شود. افزون بر این، تحلیل شبکه بارش در برنامه‌ریزی شبکه حمل و نقل منطقه‌ای، امکانات ارتباطی و چیدمان مکانی جمعیت، صنعت و بوم‌شناسی نقش دارد (ژائو و همکاران ۲۰۱۸). در این راستا، مرکز ثقل شبکه به‌عنوان یک مفهوم فیزیکی، از مکانیک کلاسیک مشتق شده و بیان‌گر نقطه‌ای است که در آن هر بخش از یک جسم تحت تأثیر گرانش است. در بعد مکانی، مرکز ثقل منطقه‌ای^۱ درجه توافقی میان شاخص‌های توسعه منطقه‌ای و تحلیل مرکز را منعکس می‌کند که برای تحلیل سیالیت و تجمع عناصر منطقه‌ای در مکان مناسب است. در بعد زمانی، تغییر پویای مرکز ثقل منطقه‌ای نشان‌دهنده تضاد و انتقال توزیع عناصر منطقه‌ای است که به تعمیم مسیر، وضعیت و روند توسعه منطقه‌ای کمک می‌کند (بارمپاس و همکاران ۲۰۱۷، چن و همکاران ۲۰۱۷).

وجود پایگاه‌های اطلاعات دقیق بارش در مقیاس آبخیز برای برنامه‌ریزان، مدیران و سیاست‌گذاران سرزمین به‌منظور پایش مؤثر رخدادهای حدی از جمله سیل و خشک‌سالی ضروری است. از سوی دیگر، انجام پژوهش‌های آبخیزداری مرتبط مانند پیش‌بینی مؤلفه‌های آب‌شناسی، ارزیابی تغییرات اقلیمی، آمادگی و سازگاری در برابر بلاها و ارزیابی سلامت آبخیز اهمیت زیادی دارند (بلیانی و سلیقه ۲۰۱۷؛ ژو و همکاران ۲۰۲۱؛ بریج و همکاران ۲۰۲۴). بارش، یکی از متغیرهای مهم در چرخه آب و انرژی در کره زمین است (تیواری و همکاران ۲۰۲۲؛ تانگ و همکاران ۲۰۲۳) و نقش حیاتی در تولیدات کشاورزی و تأمین منابع آب خانگی دارد (جالوتا و همکاران ۲۰۰۶). همچنین، این متغیر یکی از داده‌های مهم ورودی به سامانه آب‌شناختی است و به‌عنوان شاخصی برای تشخیص اندازه تغییرات اقلیمی در یک منطقه یا کشور استفاده می‌شود (کاناروزو و همکاران ۲۰۰۶؛ سان و لوتز ۲۰۲۰). بر این اساس، آگاهی از رفتار زمانی-مکانی بارش در برنامه‌ریزی‌های محیطی و آبخیزداری، حفاظت از بوم‌سازگان‌ها، حفظ کشاورزی

1- Regional center of gravity

۲۰۲۰، از روش بررسی الگوهای حرکت گرانیگاه بارش و تجزیه و تحلیل کمی اثرات گرمای ENSO (ال‌نینو-نوسانات جنوبی) استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند بارش در ۶۱ سال گذشته به شکل ناچیزی کاهش یافته است. با این حال، تفاوت‌های قابل توجهی در طرح‌های توزیع مکانی بارش میان مراحل گوناگون رشد وجود دارد. آدو و همکاران (۲۰۲۱) توزیع مکانی و روند زمانی بارش نیجریه از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۳ را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که بارش و شدت آن از نظر مکانی در سراسر نیجریه گوناگون بود. همچنین، روند CWD (روزهای مرطوب متوالی) به شکل قابل توجهی نزولی بود در حالی که در تمام مناطق، روند CDD (روزهای خشک متوالی) به شکل قابل توجهی صعودی بود. این تغییرات مکانی و زمانی نشان داد که آب و هوای نیجریه به سمت شرایط گرم‌تر و خشک‌تر در حال تغییر است که می‌توان این موضوع را به تغییرات آب و هوایی ناشی از گرمایش جهانی نسبت داد.

تیواری و همکاران (۲۰۲۲) اهمیت گره در شبکه باران‌سنج و تأثیر تفکیک زمانی و تراکم باران‌سنج را کمی‌سازی کردند. در این پژوهش، از مفهوم شبکه‌های پیچیده ۶۹۲ باران‌سنج در آبخیز رود گانگا برای ارزیابی عملکرد گروه هواشناسی هند (IMD^۵) استفاده شد. آن‌ها مرکزیت درجه مبتنی بر نظریه شبکه پیچیده (DC^۶)، ضریب خوشه‌بندی (CC^۷) و اطلاعات متقابل (MI^۸) را به عنوان سنج‌هایی برای تعیین کمیت تغییرپذیری بارش مرتبط با تمام باران‌سنج‌های شبکه در نظر گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که وضوح زمانی به شدت بر اهمیت یک گره در شبکه باران‌سنج تأثیرگذار بود. افزون بر این، متیبا و همکاران (۲۰۲۳) الگوی مکانی-زمانی یک رویداد بارش که بیش از ۷۵۰۰ زمین‌لغزش را در مقیاس منطقه‌ای با مساحت ۴۰۰ کیلومتر مربع در ژاپن موجب شده بود، را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تراکم زمین‌لغزش‌ها با افزایش دوره بازگشت بارش در بازه‌های زمانی گوناگون افزایش یافت. افزون بر این، با افزایش تراکم زمین‌لغزش، تعداد زمین‌لغزش‌های نسبتاً بزرگ (تقریباً با مساحت بیش از ۴۰۰ مترمربع) افزایش یافت.

مدل مرکز ثقل^۲ با اندازه‌گیری جهت حرکت مکانی و فاصله هندسی مرکز ثقل هر پدیده یا متغیر (از جمله بارش و ایستگاه اندازه‌گیری آن)، می‌تواند به طور دقیق قانون تکامل مکانی آن را ارائه دهد. تجزیه و تحلیل این مدل می‌تواند به طور شهودی مسیر متحرک طرح مکانی را منعکس کند، اما تأثیر آن تنها در شرایط خاصی آشکار است (چای و همکاران ۲۰۲۲). در سال‌های اخیر برخی از پژوهشگران از جمله، لیو و همکاران (۲۰۱۲) مرکز ثقل فرسایندگی باران و چن و همکاران (۲۰۱۷)، ژائو و همکاران (۲۰۱۸) و فلاح قالدی و کدخدا (۲۰۱۷) مرکز ثقل بارش را در مقیاس‌های زمانی و مکانی گوناگون تجزیه و تحلیل کرده‌اند. در این راستا، گرانیگاه بارش^۳ به عنوان نقطه‌ای تعریف می‌شود که در آن گشتاور بارش روی یک صفحه مکانی تمایل به رسیدن به تعادل به یک گشتاور معین در منطقه را دارد (سان و همکاران، ۲۰۱۴). گرانیگاه می‌تواند منعکس‌کننده توزیع کلی بارش در منطقه باشد و روند توزیع آن منعکس‌کننده پراکندگی، انتقال و توزیع غالبیت بارش است که به تجزیه و تحلیل تفاوت و تعادل بارش منطقه‌ای کمک می‌کند. توزیع مکانی شبکه ایستگاه‌ها (تراکم و یکنواختی)^۴ مستقیماً بر گرانیگاه بارش تأثیر می‌گذارد (چن و همکاران ۲۰۱۷، ژائو و همکاران ۲۰۱۸، وانگ و همکاران ۲۰۲۰، چای و همکاران ۲۰۲۲).

پژوهش‌هایی که به طور مشخص در زمینه تحلیل گرانیگاه بارش و مدل مرکز ثقل انجام شده، بسیار محدود است. با این حال، تغییرات مکانی و زمانی بارش که به عنوان داده ورودی اصلی در تحلیل گرانیگاه بارش به شکل‌های گوناگون در پژوهش‌های آبخیزداری ارزیابی شده است. در این راستا، رن و همکاران (۲۰۱۵) به طور جامع تغییرات الگوی بارش بلندمدت در چین را ارزیابی کردند و تغییرات مکانی قابل توجهی را مشاهده کردند. به طوری که روند بارش در بخش‌های جنوبی شمال شرق، شمال و جنوب غربی چین کاهش یافته بود و در مناطق ساحلی جنوب شرقی، پایین دست رود یانگ‌تسه و شمال غربی چین این روند افزایش قابل توجهی داشت. همچنین، وانگ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های روزانه بارش برای تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی بارش در طول فصل رشد ذرت تابستانی در دشت چین شمالی از سال ۱۹۶۰ تا

2- Center of gravity model

3- Precipitation barycenter

4 -Density and uniformity

5 - Indian Meteorological Department

6 - Degree Centrality

7 - Clustering Coefficient

8 - Mutual Information

روزانه بارش در ایستگاه همدید شیراز با رویکرد فراکتالی از داده‌های روزانه بارش در یک دوره ۵۸ ساله (۱۳۹۲-۱۳۳۵) از سازمان هواشناسی استان فارس برای بررسی ساختار حاکم بر بارش استفاده کردند. همچنین، نواقص آماری با استفاده از نسبت اختلاف و وایزای خطی اصلاح شد. نتایج آنها نشان داد که بارش در ایستگاه‌های همدید شیراز با اعمال ساختارهای جبری فراکتالی از منطق فراکتالی در دوره اول پیروی نکرد. همچنین، بر پایه نتایج دوره دوم، مشابه دوره اول، ساختار بارش با منطق فراکتالی خاصی مطابقت نداشت. به بیان دیگر، سنجه منطق حاکم بر بارش در دوره‌های اول و دوم از حالت تعادلی به حالت غیرتعادلی تغییر یافت. اما برخلاف دو دوره پیشین، منطق فراکتال در دوره سوم ادامه یافت. نظری پویا (۲۰۲۲) نیز اثر ۱۶ نشانک اقلیمی بر بیشترین اندازه‌ها و فراوانی بارش‌های یک، دو و سه روزه و همچنین ماهانه بارش استان همدان را در دوره آماری ۲۰۱۳-۱۹۷۷ ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین تأثیر در ماه‌های مهر، آبان، آذر، بهمن، فروردین و اردیبهشت بود. در فصل پاییز تأثیر نشانک‌های اقلیمی MEI، NINO1+2، NINO3، NINO3.4، NINO4 و ONI بر بارش بیش از دیگر نشانک‌های اقلیمی مطالعه شده بود. همچنین بررسی بیشترین بارش ۱، ۲ و ۳ روزه و فراوانی روزه‌های با بارش ۱ و ۲ روزه نشان داد که در ماه‌های گوناگون بیشترین تأثیرپذیری از نشانک‌های اقلیمی MEI، NINO1+2، NINO3، NINO3.4، NINO4 و ONI بود.

سرانجام می‌توان گفت که کمبود بارش در بلندمدت به تدریج محیط را تسخیر کرده و در شرایط نبودن ارزیابی مناسب از گرانیگاه آن در شبکه باران‌سنجی در مقیاس محلی و منطقه‌ای و نبودن مدیریت مبتنی بر دانش صحیح به یک بلای طبیعی تبدیل می‌شود. در سال‌های اخیر، منطقه شمال غرب کشور از جمله استان اردبیل با ناهنجاری‌های اقلیمی و افت سطح آب‌های زیرزمینی بر اثر کاهش بارش، برداشته‌های غیراصولی از منابع آب و تغییرات کاربری روبه‌رو بوده است (مصطفی‌زاده و مهری ۲۰۱۸، مصطفی‌زاده و همکاران ۲۰۲۱). این رخدادها منطقه را به‌سوی بحران آب در آینده پیش می‌برند. براین اساس، می‌توان با تحلیل گرانیگاه بارش ویژگی‌های توزیع بارش منطقه‌ای را نشان داد و مسیرهای پویایی منعکس‌کننده پراکندگی، انتقال و توزیع غالب بارش را برای مدیران منابع آب تبیین کرد. با توجه به این‌که تاکنون پژوهشی در این زمینه برای استان اردبیل انجام نشده است، این پژوهش با هدف ارزیابی مدل حرکت گرانیگاه بارش و رابطه آن با توزیع مکانی شبکه ایستگاه‌های استان اردبیل انجام شد. امید است تا نتایج این پژوهش در راستای توسعه

در ایران نیز عساکره و سیفی‌پور (۲۰۱۳) در توصیف مکانی سالانه بارش نتیجه گرفتند که گرانیگاه بارش‌های سالانه در مختصات شمالی و شرقی رخ داد. تغییرات مکانی این مرکز ثقل در مسیر سامانه‌های پرشمار بارش ایران زمین بود. ناپایستگی مکانی مرکز ثقل در راستای محور شمال غرب-جنوب شرق، بیان‌گر جابه‌جایی بیش‌تر این مرکز در امتداد نامبرده بود. تحلیل همبستگی مکانی نیز بیان‌گر رابطه مکانی در شعاع حدود ۱۲ کیلومتری بود. مدل برازش داده‌شده بر داده‌های مکانی نشان‌دهنده بزرگی اثر شیب و جهت‌گیری آن بر اندازه بارش بود. فرهنگی و همکاران (۲۰۱۶) فراوانی و توزیع مرکز ثقل بارش‌های تابستانه در زاگرس جنوبی با ۵۴۰ ایستگاه با طول دوره آماری ۵۱ سال (۱۳۹۰-۱۳۴۰) را تحلیل کردند. نتایج آنها نشان داد که بیشینه فراوانی‌ها از نظر زمانی در مرداد و از نظر مکانی در نیمه جنوب شرقی محدود بود و در شرق فارس و بخش‌هایی از هرمزگان و در نزدیکی قلمرو موسمی‌ها بود. همچنین، مرکز ثقل بارش نیز با بیشترین تعداد در محل رخداد بیشترین فراوانی بارش جای گرفتند که بیانگر نظم بیش‌تر در بارش‌های این بخش از محدوده بود و احتمالاً تحت تأثیر عامل‌های همدید مشترک و منظمی به‌وجود آمده اند. فلاح‌قاهری و کدخدا (۲۰۱۷) رفتار عمومی بارش دشت مشهد را با استفاده از روش‌های آمار مکانی ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد که گرانیگاه بارش‌های سالانه نیم‌قرن اخیر دشت مشهد ۳/۸۳ کیلومتر جابه‌جایی داشته است و توزیع جهت‌دار آن، بزرگی اثر شیب و جهت‌گیری آن بر اندازه بارش را نشان داد. همچنین، فاصله استاندارد بارش دشت مشهد در دهه پنجم (۱۳۹۲-۱۳۸۲) در مقایسه با دهه اول (۱۳۵۲-۱۳۴۲) به اندازه ۱۲۵۴/۵۷ واحد تغییر کرد. زندکریمی و همکاران (۲۰۱۸) توزیع مکانی و بهینه‌سازی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی استان کردستان را با استفاده از پراکنش خطای کریجینگ تحلیل کردند. در این پژوهش، وضعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی استان کردستان و ظرفیت بهینه‌سازی موقعیت آن‌ها با استفاده از روش‌های زمین‌آمار بر مبنای پراکنش خطای کریجینگ و با در نظر گرفتن پستی‌بلندی منطقه بررسی شد. نتایج آنها نشان داد که بلندی‌ها بیشترین سهم را در ایجاد خطای برآورد بارش داشتند و با حذف ایستگاه‌هایی که در موقعیت مناسبی نبودند، می‌توان هزینه نگهداری ایستگاه‌ها را کاهش داد. همچنین، با حذف یا جابه‌جایی هشت ایستگاه از ایستگاه‌های موجود و اضافه کردن ۲۸ ایستگاه جدید به شبکه باران‌سنجی، اندازه‌های میانگین پراکنش خطا ۱۱٪ کاهش یافت که بیشترین کاهش در بخش‌های مرکزی استان با ۲۴/۰۳٪ بود. همچنین، نارنگی‌فرد و همکاران (۲۰۲۰) در واکاوی و آشکارسازی

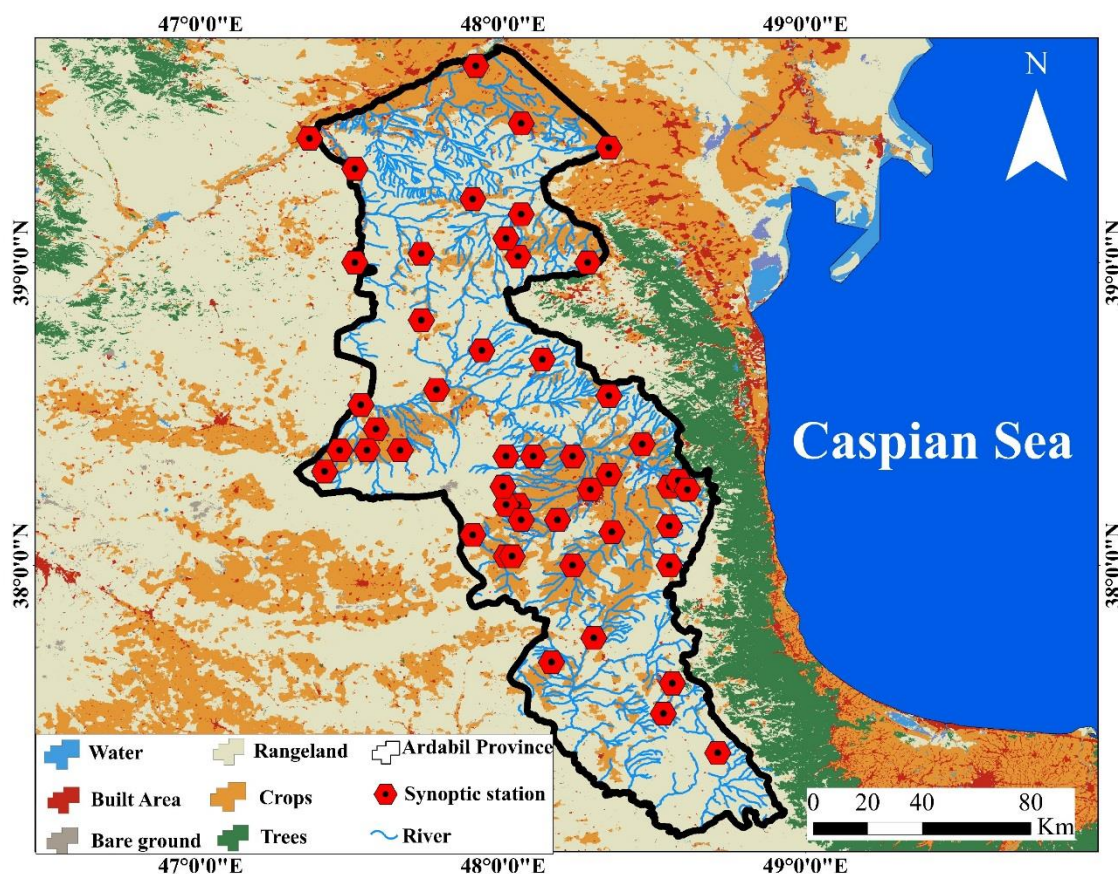
میانگین میان ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال نوسان دارد (خروشی و همکاران ۲۰۱۷). تعداد روزهای همراه با بارش در شهر اردبیل به‌طور میانگین برابر با ۱۰۰ روز در سال است. میانگین سالانه بارش در غرب، جنوب و شمال استان به‌ترتیب در حدود ۵۰۰-۴۰۰ میلی‌متر، ۳۵۰ میلی‌متر و ۲۴۰-۲۱۰ میلی‌متر برآورد شده است. کمترین و بیشترین روزهای بارش نیز به‌ترتیب مربوط به شمال و شرق استان است (مصطفی‌زاده و مهری ۲۰۱۸، مصطفی‌زاده و همکاران ۲۰۲۱). نمایی کلی از استان اردبیل و موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی بررسی شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

و بازنگری برنامه‌های آب‌بخزرداری و آمایش سرزمین در بخش‌های گوناگون مفید باشد.

روش پژوهش

منطقه مطالعه شده

استان اردبیل در شمال‌غربی فلات ایران میان مختصات $37^{\circ}45'$ تا $39^{\circ}42'$ عرض شمالی و $47^{\circ}03'$ تا $48^{\circ}55'$ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ است. این استان از شمال با جمهوری آذربایجان، از شرق با استان گیلان، از جنوب با استان زنجان و از غرب با استان آذربایجان شرقی هم‌جوار است. استان اردبیل جزء نواحی سردسیر کوهستانی به‌شمار می‌آید و اندازه نزولات جوی آن به‌طور



شکل ۱- نمایی کلی از استان اردبیل و موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی بررسی شده.

Figure 1- A general view of Ardabil Province and the location of the investigated rain gauge stations.

تحلیل تجمع، حرکت و توزیع غالبیت بارش استفاده شد. در این مدل، گرانیگاه بارش با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شد (ما و همکاران ۲۰۲۰).

مدل مرکز ثقل

در این پژوهش، برای تجزیه و تحلیل تفاوت و تعادل بارش در استان اردبیل، مدل مرکز ثقل برای تجزیه و

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2)$$

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (1)$$

یک دوره معین، از روش بیضی انحراف استاندارد برای تحلیل جهت و روند توزیع آن به شرح مراحل زیر استفاده شد (یوان و همکاران ۲۰۲۰):
مرحله ۱: مرکز بیضی با استفاده از رابطه های ۳ تا ۶ مشخص شد:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}, \quad (5)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} \quad (6)$$

X و Y: نشان دهنده مختصات طول و عرض جغرافیایی گرانیگاه بارش، Xi و Yi: مختصات طول و عرض جغرافیایی ایستگاه باران سنجی، i و Pi: اندازه بارش ایستگاه باران سنجی i است.

بیضی انحراف استاندارد (SDE)

در این پژوهش، برای یک خوشه از نقاط ثقل بارش در

$$SDE_x = \sqrt{\frac{[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2]}{N}}, \quad (3)$$

$$SDE_y = \sqrt{\frac{[\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2]}{N}} \quad (4)$$

مرحله ۲: زاویه جهت بیضی θ با استفاده از رابطه های ۷ تا ۱۰ تعیین شد:

$$B = \sqrt{(\sum_{i=1}^N \bar{X}_i^2 - \sum_{i=1}^N \bar{Y}_i^2)^2 + 4(\sum_{i=1}^N \bar{X}_i \bar{Y}_i)^2} \quad (9) \quad \tan \theta = \frac{A+B}{C} \quad (7)$$

$$C = 2 \sum_{i=1}^N \bar{X}_i \bar{Y}_i \quad \bar{X}_i = X_i - \bar{X}, \bar{Y}_i = Y_i - \bar{Y} \quad (10) \quad A = (\sum_{i=1}^N \bar{X}_i^2 - \sum_{i=1}^N \bar{Y}_i^2) \quad (8)$$

مرحله ۳: طول محورهای اصلی و فرعی بیضی از روی رابطه های ۱۱ و ۱۲ محاسبه می شود:

$$\sigma_y = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{X}_i \sin \theta + \bar{Y}_i \cos \theta)^2}{N}} \quad (12) \quad \sigma_x = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{X}_i \cos \theta - \bar{Y}_i \sin \theta)^2}{N}}, \quad (11)$$

در توزیع مکانی شبکه های ایستگاهی گوناگون است. هر چه ضریب همبستگی متعارف بزرگ تر باشد، اندازه نظری گرانیگاه بارش به اندازه واقعی تقریبی نزدیک تر است (یوان و همکاران ۲۰۲۰). در این پژوهش، برای تحلیل همبستگی متعارف (CCA) از XLSTAT استفاده شد. برای اندازه های طول و عرض جغرافیایی به دست آمده در بخش گرانیگاه های بارش، ضریب همبستگی متعارف برای سال های گوناگون استخراج شد (رابطه ۱۳).

Xi و Yi: مختصات طول و عرض جغرافیایی گرانیگاه بارش، SDEy و SDEx: مختصات مرکزی بیضی، \bar{X}_i و \bar{Y}_i : به ترتیب تفاوت میان میانگین حسابی طول و عرض مختصات گرانیگاه بارش، σ_x و σ_y : به ترتیب طول محورهای اصلی و فرعی بیضی، N: تعداد گرانیگاه های بارش است.

تحلیل همبستگی متعارف (CCA)

تجزیه و تحلیل همبستگی متعارف (CCA) نشان دهنده نزدیکی میان گرانیگاه بارش نظری و گرانیگاه واقعی تقریبی

$$\rho = \frac{a^T \sum_{XY} b}{\sqrt{a^T \sum_{XX} a} \sqrt{b^T \sum_{YY} b}} \quad C = \sum_{XX}^{1/2} a, \quad d = \sum_{YY}^{1/2} b \quad (13)$$

و یکنواختی، پنج ایستگاه به عنوان کمترین تعداد ایستگاه تعیین شدند. سپس، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ایستگاه به شکل تصادفی استخراج شدند تا توزیع گرانیگاه بارندگی با تراکم شبکه ایستگاه ها مقایسه شود.

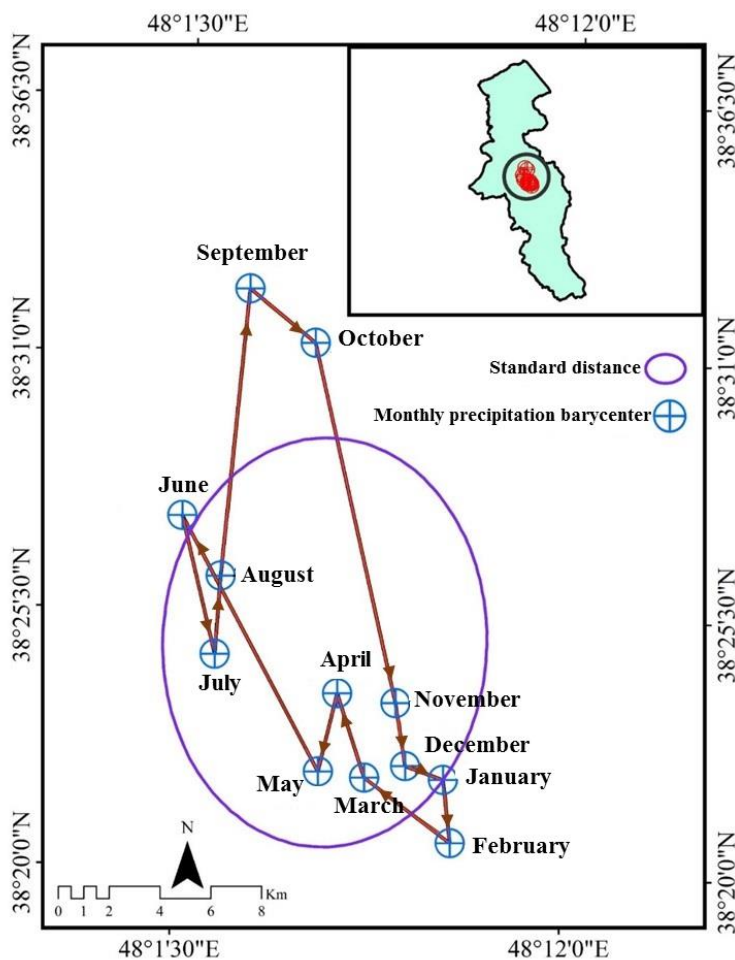
گرانیگاه بارش، که از آمار بارش ۴۹ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۴۶ ساله (۱۳۹۵-۱۳۵۰) محاسبه شد، اندازه واقعی تقریبی نامیده می شود. بر اساس اصل استخراج ایستگاه و با در نظر گرفتن منطقی بودن کمترین تراکم

نتایج و بحث

نتایج پراکنش گرانیگاه بارش ماهانه

گرانیگاه بارش ماهانه در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین، جهت حرکت و فاصله برای هر ماه نسبت به ماه پیشین در جدول ۱ آورده شده است. برای تجزیه و تحلیل بهتر جهت و پراکنندگی گرانیگاه بارش ماهانه در استان اردبیل، یک بیضی انحراف استاندارد سطح اول برای ۱۲ گرانیگاه بارش ایجاد شد. نتایج نشان داد که گرانیگاه‌های بارش ماهانه در استان اردبیل عمدتاً در شهر اردبیل و مشگین‌شهر توزیع شده‌اند (شکل ۲). گرانیگاه بارش در دی کمترین فاصله (۱/۵۸ کیلومتر) و در خرداد بیشترین فاصله (۱۴/۶۱ کیلومتر) را پیمود. جهت حرکت گرانیگاه بارش در ماه‌های مهر، آبان، آذر، بهمن، اردیبهشت و تیر به

سمت جنوب بود. در بهار (فروردین تا خرداد)، جهت حرکت گرانیگاه بارش به‌طور قابل توجهی تغییر کرد. هیچ جهت اصلی وجود نداشت و فاصله حرکت ۱۸/۱۷ کیلومتر بود. در تابستان (تیر تا شهریور)، گرانیگاه بارش عمدتاً ۲۰/۱۸ کیلومتر به سمت شمال حرکت کرد. در پاییز (مهر تا آذر)، گرانیگاه بارش عمدتاً ۲۰/۴۸ کیلومتر به سمت جنوب حرکت کرد و بیشترین فاصله حرکت در مقایسه با دیگر فصل‌ها در فصل پاییز بود. در زمستان (دی تا اسفند)، گرانیگاه بارش در جهت‌های متفاوت حرکت کرد و کمترین فاصله حرکت (۸/۳۵ کیلومتر) در مقایسه با دیگر فصل‌ها در فصل زمستان بود (جدول ۱).



شکل ۲- گرانیگاه بارش ماهانه و جهت حرکت آن.
Figure 2- Monthly precipitation barycenter and its movement direction.

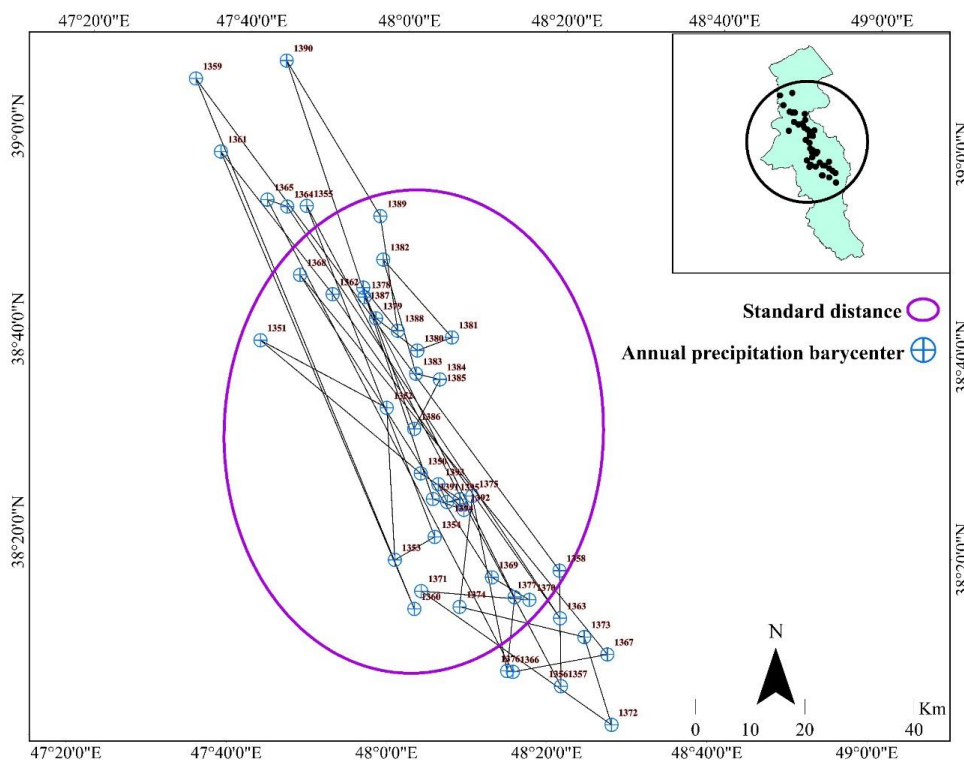
جدول ۱- جهت و فاصله حرکت بارش ماهانه در ایستگاه‌های باران‌سنجی استان اردبیل.

Table 1- The direction and distance of monthly precipitation migration in the rain gauge stations of Ardabil Province.

Month	Longitude	Latitude	Movement direction	Movement distance (km)
October	48.08	38.52	Northeast	3.35
November	48.12	38.39	Southeast	14.61
December	48.13	38.37	Southeast	2.52
January	48.15	38.37	East	1.58
February	48.15	38.34	Southeast	2.52
March	48.11	38.37	Southwest	4.25
April	48.10	38.40	Northwest	3.50
May	48.09	38.37	Southeast	3.19
June	48.02	38.46	Northwest	11.48
July	48.04	38.41	Southeast	5.65
August	48.04	38.44	Northwest	3.11
September	48.05	38.54	Northwest	11.43

گرمی، نبر و نمین توزیع شده‌اند (شکل ۳). گرانیگاه بارش سالانه اکثراً در جهت جنوب‌شرقی حرکت کرد. بیشترین فاصله حرکت گرانیگاه ۱۱۱/۷۸ کیلومتر به سمت شمال غربی در سال ۱۳۵۸ بود. بنابراین، جهت حرکت گرانیگاه بارش سالانه در استان اردبیل در دو دهه ۱۳۶۰-۱۳۵۰ اکثراً به سمت شمال‌غربی و در دیگر دهه‌ها به سمت جنوب‌شرقی بود.

نتایج پراکنش گرانیگاه بارش سالانه و دهک حرکت گرانیگاه بارش سالانه در استان اردبیل از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۵ در شکل ۳ نشان داده شده است. برای تجزیه و تحلیل کمی روند جهت حرکت و خوشه‌بندی گرانیگاه بارش، یک بیضی انحراف استاندارد مرتبه اول با ۴۶ گرانیگاه بارش ایجاد شد. نتایج نشان داد که گرانیگاه‌های سالانه بارش در استان اردبیل عمدتاً در شهر اردبیل، مشگین‌شهر،



شکل ۳- مسیر حرکت گرانیگاه بارش سالانه در استان اردبیل از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۵.

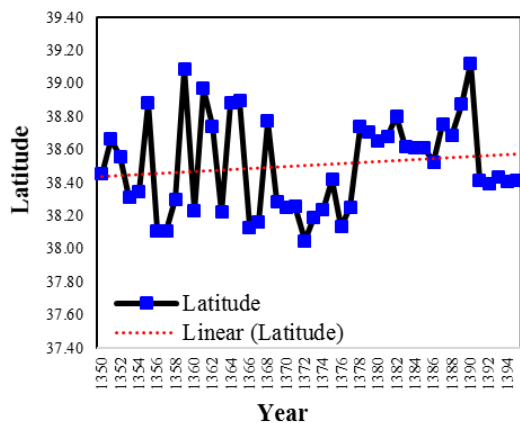
Figure 3- Migration path of annual precipitation barycenter in Ardabil Province from 1971 to 2016.

جغرافیایی توزیع شدند. همچنین، مشخص شد که از ۴۶ سال بررسی شده، سال‌های ۱۳۵۱، ۱۳۵۲، ۱۳۵۵، ۱۳۵۹، ۱۳۶۱، ۱۳۶۲، ۱۳۶۴، ۱۳۶۵، ۱۳۶۸، ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۵، ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ میان ۳۸/۴۰ تا ۳۹/۱۰ متر عرض جغرافیایی بودند. سال‌های ۱۳۵۰ و ۱۳۸۶ در ۳۸/۴۰ متر عرض جغرافیایی و دیگر سال‌ها میان ۳۸/۰۰ تا ۳۸/۴۰ متر عرض جغرافیایی بودند. تغییرات فاصله میان گرانیگاه بارش و ضریب همبستگی متعارف در ایستگاه‌های باران‌سنجی در شکل ۵ نشان داده شده است.

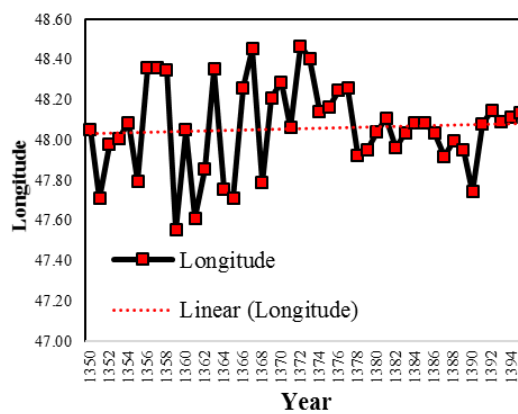
با افزایش فاصله شبکه ایستگاه‌ها، ضریب همبستگی متعارف افزایش یافت. اندازه‌های تغییرات ضریب همبستگی متعارف در فاصله صفر تا ۰/۱۶ کیلومتر، میان صفر تا ۰/۱۳ به‌دست آمد. هر چه توزیع فاصله ایستگاه‌های باران‌سنجی یکنواخت باشد اندازه‌های همبستگی هم افزایش می‌یابد. روند تغییرات فاصله و ضریب همبستگی متعارف افزایشی بود (شکل ۵).

بر اساس شکل ۳، حرکت گرانیگاه بارش در دهه ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۰ با طول ۵۰۵/۸۲ کیلومتر به سمت شمال‌غربی و در دهه ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۰ با طول ۵۶۷/۶۵ کیلومتر عمدتاً به سمت جنوب‌شرقی بوده است. همچنین، جهت حرکت گرانیگاه بارش در دهه ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰ با طول ۲۴۲/۹۹ کیلومتر به سمت جنوب‌شرقی بود. جهت حرکت گرانیگاه در دهه ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ با طول ۱۳۰/۳۴ کیلومتر عمدتاً به سمت جنوب‌شرقی و در دوره ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ با طول ۱۳۸/۱۴ کیلومتر به سمت جنوب‌شرقی بود.

نتایج تحلیل ۴۶ سال بررسی شده نشان داد که سال‌های ۱۳۵۴، ۱۳۵۶ تا ۱۳۵۸، ۱۳۶۳، ۱۳۶۴، ۱۳۶۷، ۱۳۶۹، ۱۳۷۰، ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۷، ۱۳۸۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ میان ۴۸/۰۰ تا ۴۸/۵۰ متر طول جغرافیایی بودند و سال‌های ۱۳۵۰، ۱۳۶۰، ۱۳۷۱، ۱۳۸۴، ۱۳۸۵، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ در ۴۸/۰۰ متر طول جغرافیایی بودند (شکل ۴). دیگر سال‌ها نیز میان ۴۷/۵۵ تا ۴۸/۵۰ متر طول



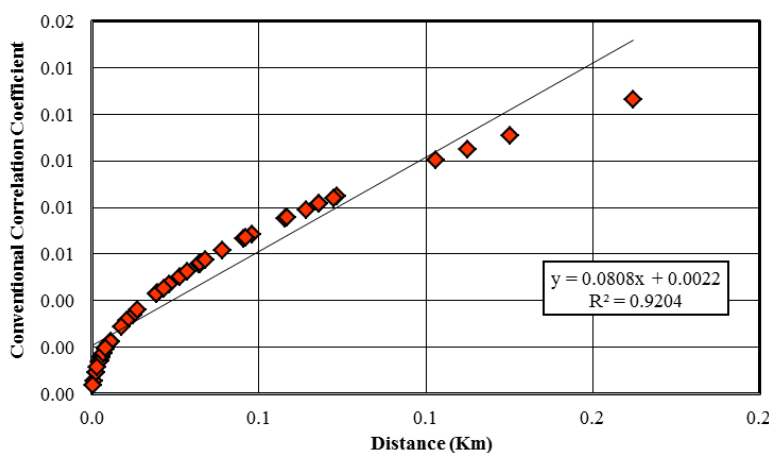
(ب)



(الف)

شکل ۴- تغییرات (الف) طول جغرافیایی و (ب) عرض جغرافیایی گرانیگاه بارش از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۵.

Figure 4- Changes in (a) longitude and (b) latitude of the precipitation barycenter from 1971 to 2016.



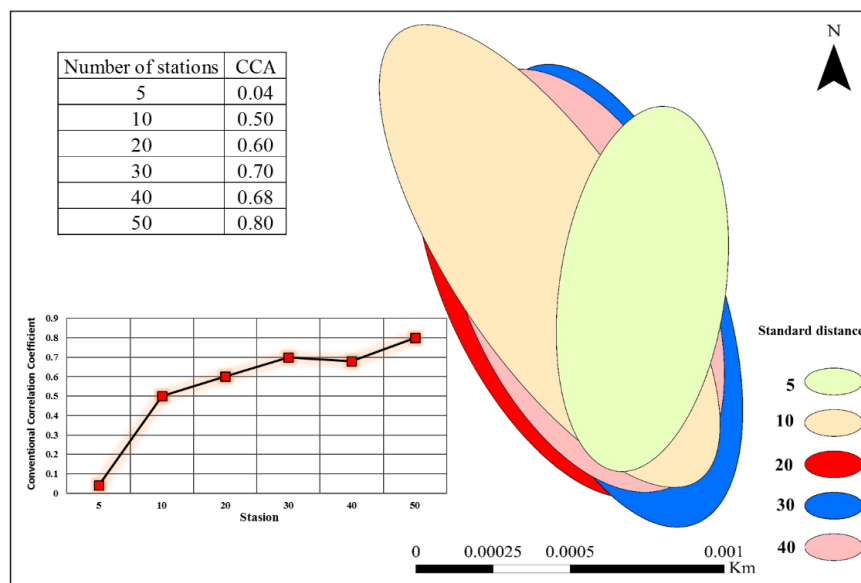
شکل ۵- تغییرات فاصله میان گرانیگاه بارش و ضریب همبستگی متعارف در ایستگاه‌های باران‌سنجی.

Figure 5- Changes in the distance between the precipitation barycenter and the conventional correlation coefficient in rain gauge stations.

گرانیکه بارش به‌طور کلی به سمت شمال غربی حرکت کرد. توزیع مکانی عموماً در جهت شمال غربی بود. اندازه بیضی انحراف استاندارد از طول ۴۸/۲۵ در تراکم ۵ به ۴۸/۰۵ در تراکم ۴۰ ایستگاه رسید. بر اساس نتایج تغییرات در تراکم شبکه‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ در طول‌های جغرافیایی به ترتیب ۴۸/۲۵، ۴۷/۹۵، ۴۷/۹۷، ۴۸/۱۶، ۴۸/۰۶ متر و در عرض جغرافیایی ۳۸/۴۸، ۳۸/۵۹، ۳۸/۵۰، ۳۸/۴۶ و ۳۸/۵۱ متر تغییر کرد. همچنین، از عرض ۳۸/۴۸ به ۳۸/۵۱ حرکت کرد. برای تراکم‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ تقریباً ۲ متر تغییر مسیر داد. نتایج نشان داد که تراکم بیش‌تر شبکه ایستگاه‌ها جهت حرکت بیضی انحراف استاندارد را به یک سمت واحد سوق داد.

تغییرات ضریب همبستگی متعارف در تراکم‌های گوناگون شبکه ایستگاهی

در این پژوهش، پنج گروه از توزیع شبکه ایستگاه‌ها با تراکم گوناگون (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰) انتخاب شد و بیضی انحراف استاندارد در هر سطح از تراکم رسم شد و ضریب همبستگی متعارف آن‌ها محاسبه شد (شکل ۶). نتایج نشان داد که شکاف مکانی برای گرانیکه بارش در تراکم شبکه ۵ می‌تواند به ده‌ها کیلومتر برسد و جهت پراکندگی گروه نقطه گرانیکه بارش تا حدودی متفاوت بود. بیضی انحراف استاندارد گرانیکه بارش عمدتاً میان ۴۳/۲۵ متر شمالی و ۳۸/۴۸ متر جنوبی بود. افزون بر این، با افزایش تراکم شبکه ایستگاه‌ها، بیضی انحراف استاندارد

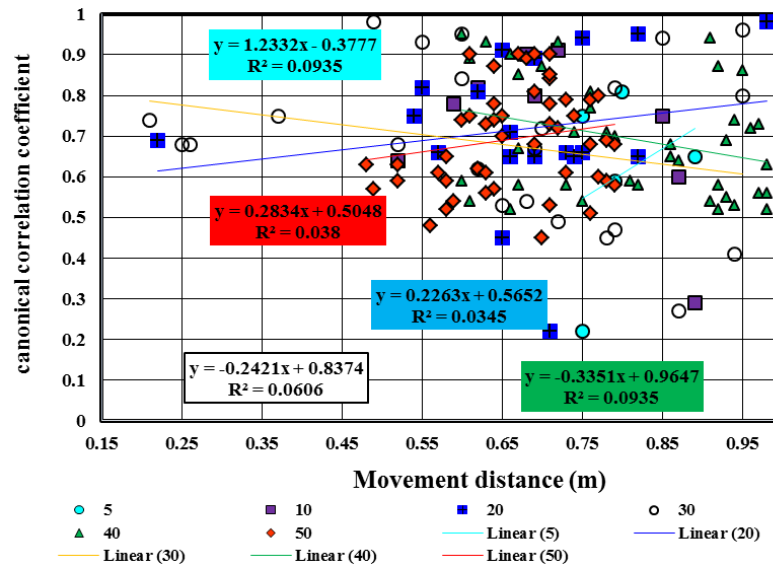


شکل ۶- تغییرات ضریب همبستگی متعارف (CCA) و مسیر حرکت بیضی انحراف استاندارد تحت تغییرات تراکم ایستگاه‌ها.

Figure 6- Changes in the canonical correlation coefficient (CCA) and the migration path of the standard deviation ellipse under stations density variation.

تراکم شبکه ایستگاه‌ها کم‌تر باشد، نقاط در نمودار پراکنده‌تر شده و روند ضریب همبستگی متعارف آن‌ها کاهشی خواهد شد. همچنین، هرچه شبکه ایستگاه‌ها یکنواخت‌تر باشد، ضریب همبستگی متعارف، بیش‌تر می‌شود.

تغییرات ضریب همبستگی متعارف و فاصله تحت تأثیر تراکم شبکه ایستگاه‌های هواشناسی گوناگون در شکل ۷ نشان داده شده است. روند ضریب همبستگی متعارف در تراکم شبکه ایستگاه‌های گوناگون، افزایشی بود. هرچه



شکل ۷- تغییرات ضریب همبستگی متعارف بر اساس فاصله حرکت تحت تأثیر تراکم‌های گوناگون از شبکه باران‌سنجی.

Figure 7- Changes of the canonical correlation coefficient based on the movement distance under the influence of different densities of the rain gauge network.

بادخیز بودن برخی مناطق در استان اردبیل، می‌توان این مسئله را در پژوهش جداگانه‌ای بررسی کرد. در این پژوهش، گرانیگاه بارش ماهانه در جهت جنوب‌شرقی-شمال‌غربی در مقایسه با شمال‌شرقی-جنوب‌غربی پراکندگی بیشتری نشان داد. این افزایش ناهمگنی در توزیع مکانی گرانیگاه بارش ماهانه ممکن است در افزایش تهدیدهای خشکسالی و سیل اثرگذار باشد. برای تصمیم‌گیری در زمینه اقدام‌های بهتر در راستای مهار بلاهای طبیعی و کاهش اثرات فعالیت‌های انسانی در استان اردبیل، مدیران و مسئولان امر بایستی به این گونه تغییرات باید به‌عنوان یک خطر برای محیط زیست به‌ویژه در آبخیزهای شهری پرجمعیت توجه نمایند. در این راستا، در تحلیل فراوانی و توزیع گرانیگاه بارش‌های تابستانه در ۵۴۰ ایستگاه در محدوده زاگرس جنوبی، بیشترین فراوانی گرانیگاه بارش از نظر زمانی، مردادماه بود. همچنین، در ارزیابی رفتار عمومی بارش دشت مشهد نتایج نشان داد که گرانیگاه بارش سالانه نیم‌قرن اخیر دشت مشهد ۳/۸۳ کیلومتر جابه‌جایی داشته است و توزیع جهت‌دار گویای بزرگی اثر شیب و جهت‌گیری آن بر اندازه بارش بوده است (فلاح‌قاله‌ری و کدخدا ۲۰۱۷).

از نظر مقیاس بارش سالانه، مفهوم مرکز ثقل تعیین می‌کند که توزیع گرانیگاه بارش به ناحیه‌ای با بارش بیش‌تر گرایش دارد (لینگ و همکاران ۲۰۲۱). تمرکز گرانیگاه‌های سالانه بارش بیشتر در شهر اردبیل، مشگین‌شهر، گرمی، نیر و نمین مشاهده شد. بیضی‌های استاندارد ماهانه و سالانه نیز بخش‌های مرکزی استان را عمدتاً در بر گرفته‌اند. هر چند اندازه بیضی استاندارد در مقیاس سالانه بزرگ‌تر از

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که بارش یکی از مؤلفه‌های مهم چرخه آب‌شناسی در مقیاس آبخیز است و اندازه و شدت آن در مقیاس‌های زمانی و مکانی گوناگون تغییر می‌کند، از این‌رو، شناخت تغییرات گرانیگاه آن در مدیریت جامع آبخیزهای کشور به‌ویژه از دیدگاه منابع آب اهمیت ویژه‌ای دارد. در استان اردبیل به‌سبب وجود شرایط خاص و راهبردی از نظر منابع آبی و تولید محصولات آبربر کشاورزی و دامی این اهمیت دوچندان است. همان‌گونه که در منابع گوناگون (ژائو و همکاران ۲۰۱۸؛ وانگه و همکاران ۲۰۲۰، لینگ و همکاران ۲۰۲۱) گزارش شده است، گرانیگاه پراکندگی مکانی بارش (مرکز ثقل یا مرکز میانگین) نشان‌دهنده نقطه‌ای است که در آن بارندگی محدوده مطالعه شده به تعادل می‌رسد و گشتاور ناشی از میدان گرانشی در مرکز ثقل، برابر با صفر است. در این پژوهش، گرانیگاه‌های بارش و فاصله حرکت آن‌ها در ماه‌های گوناگون کاملاً متفاوت بود. برای نمونه، گرانیگاه بارش در دی کمترین فاصله (۱/۵۸ کیلومتر) و در خرداد بیشترین فاصله (۱۴/۶۱ کیلومتر) را پیمود. جهت حرکت گرانیگاه بارش در ماه‌های مهر، آبان، آذر، بهمن، اردیبهشت و تیر به سمت جنوب بود. همچنین، جهت حرکت گرانیگاه بارش در دو ماه متوالی مرداد و شهریور به سمت شمال و سرانجام، در اسفند به سمت شمال‌غربی و در دی به سمت جنوب بود. ژانگ و همکاران (۲۰۲۰) دلیل اختلاف در حرکت نقاط گرانیگاه بارش ماهانه را به گردش بادها نسبت دادند؛ به‌طوری که آنها گزارش کردند شدت تأثیر گردش باد نقش مهمی در توزیع بارش منطقه‌ای داشت. بر این اساس با توجه به

افزایش تراکم بیشتر از ۱۱۰ ایستگاه افزایش قابل توجهی در اندازه‌ی ضریب همبستگی ایجاد نکرد. بر پایه‌ی نتایج این پژوهش، می‌توان گفت که حرکت الگوی توزیع مکانی گرانیگاه‌های بارش ماهانه شمال‌غربی-جنوب‌شرقی بود. این تغییر جهت در گرانیگاه بارش بر تغییر رفتار مؤلفه‌های آب‌شناختی (رواناب و فرسایش خاک) به‌ویژه در آبخیزهای نابودشده یا با پاسخ آب‌شناختی سریع، تأثیرگذار خواهد بود (لیو و همکاران ۲۰۱۲؛ سان و لوتز ۲۰۲۰). همچنین، توزیع عمده‌ی گرانیگاه‌های بارش سالانه عمدتاً در شهر اردبیل، مشگین‌شهر، گرمی، نیر و نمین است. از میان تراکم‌های گوناگون ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰، بیشترین ضریب همبستگی متعارف با اندازه‌ی ۰/۸۰ برای تراکم ۴۰ ایستگاه به‌دست آمد و کمترین اندازه‌ی این ضریب برای کمترین تراکم ۵ ایستگاه با اندازه‌ی ۰/۰۴ بود. می‌توان نتیجه گرفت که در شرایطی که از توزیع شبکه‌ی ایستگاهی یکنواخت‌تر و متراکم‌تر، استفاده شود، ضریب همبستگی متعارف بیش‌تر شده و گرانیگاه بارش محاسبه‌شده به اندازه‌ی واقعی تقریبی نزدیک‌تر خواهد شد. بر پایه‌ی نتایج این پژوهش، تغییرات حرکت الگوهای بارش که در مدیریت منابع آبخیزهای استان اردبیل و دیگر استان‌های هم‌جوار و با شرایط مشابه، که در دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی می‌تواند مؤثر باشد، مشخص شد. پیشنهاد می‌شود برای تکمیل نتایج این پژوهش و تصمیم‌گیری در زمینه‌ی اقدام‌های راهبردی آبخیزداری، ارتباط میان مؤلفه‌های تغییر اقلیم، پوشش گیاهی و پستی‌بلندی با تغییرات مکانی-زمانی گرانیگاه بارش و عامل فرساینده‌ی باران بررسی شود.

اندازه آن در مقیاس ماهانه بود اما، هم‌جهت (جهت کلی شمالی-جنوبی) به‌دست آمد. به‌طور کلی، جهت حرکت گرانیگاه بارش سالانه به‌جز در دهه‌ی ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۰، اکثراً در جهت جنوب‌شرقی بود. بر این اساس، توزیع مکانی بارش در جنوب‌شرقی استان اردبیل افزایش یافت و در ایستگاه‌های شمال‌غربی استان کاهش یافت. این‌گونه تغییرات مکانی به‌وسیله‌ی لینگ و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش شده است. همچنین، بلیانی و سلیقه (۲۰۱۷) با تحلیل داده‌های ۳۷ ایستگاه در منطقه شمالی خلیج-فارس گزارش کردند که گرانیگاه و بیضی‌های استاندارد بارش در محدوده‌های پربارش و در مسیر اصلی سامانه‌های ورودی بارش بودند. این پژوهشگران گزارش کردند از آنجایی که ماه‌های اصلی بارش دی‌ماه تا اسفندماه بود، بیش‌تر بارش‌های جوی در این ماه‌ها رخ داد و با گرانیگاه‌های بارش نیز تطابق داشت. این پژوهش‌گران نیز تغییرات قابل توجهی در مرکز ثقل بارش و اندازه‌ی کشیدگی بیضی استاندارد مشاهده نکردند. یافته‌های این پژوهشگران با نتایج این پژوهش مطابقت ندارد. در این پژوهش، ضریب همبستگی متعارف متناظر بزرگ‌تر مربوط به تراکم بیش‌تر شبکه ایستگاه‌ها بود و گرانیگاه بارش محاسبه‌شده به اندازه‌ی تقریبی حقیقی نزدیک‌تر به‌دست آمد. تغییرات زیاد گرانیگاه و تغییر کشیدگی بیضی استاندارد بارش از تراکم ۵ تا تراکم ۴۰ مشاهده شد. از این‌رو می‌توان گفت که شرایط شبکه‌ی باران‌سنجی بر تغییرات مرکز ثقل بارش تأثیرگذار بود که با نتایج پژوهش‌های لینگ و همکاران (۲۰۲۱) در چین مطابقت دارد. این پژوهشگران نشان دادند که با افزایش تراکم شبکه ایستگاه‌ها از ۲۰ به ۱۹۰، ضریب همبستگی متعارف نیز افزایش یافت. هر چند

- Asakereh H, SeifiPour Z. 2013. Description of spatial structure of annual precipitation of Iran. *Geographical Research*, 28(4): 15-30. (In Persian).
- Audu MO, Ejembi E, Igbawua T. 2021. Assessment of spatial distribution and temporal trends of precipitation and its extremes over Nigeria, *American Journal of Climate Change*, 10(2021):331-352. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2021.103016>
- Balyani S, Salighe M. 2017. Exploratory spatial data analysis of monthly and seasonal precipitation changes in Mond and Helle basins. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(100): 111-127. (In Persian). <https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.24810>
- Barmpas G, Kopsacheilis A, Politis I. 2017. Small scale intervention in a major city center interchange: economic, environmental and sustainability analysis. *Transportation Research Procedia*, 24(2017): 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.066>
- Burbidge R, Paling C, Dunk RM. 2024. A systematic review of adaption to climate change impacts in the aviation sector. *Transport Reviews*, 44(1): 8-33. <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2220917>
- Cannarozzo M, Noto LV, Viola F. 2006. Spatial distribution of rainfall trends in Sicily. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31(18): 1201-1211. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2006.03.022>
- Chai D, Du J, Yu Z, Zhang D. 2022. City network mining in China's Yangtze River economic belt based on "two-way time distance" modified gravity model and social network analysis. *Frontiers in Physics*, 10(2022): 1-22. <https://doi.org/10.3389/fphy.2022.1018993>
- Chen S, Li L, Li J, Liu J. 2017. Analysis of the temporal and spatial variation characteristics of precipitation in the Lancang River basin over the past 55 years. *Journal of Geo-Information Science*, 19(03): 365-373. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1047.2017.00365>
- Fallah Ghalhari G, Kadkhoda E. 2017. the evaluation of the spatial structure of Mashhad Plain precipitation in the last Half-Century. *Hydrogeomorphology*, 4(11): 39-57. (In Persian). <https://doi.org/10.1001.1.23833254.1396.4.11.3.4>
- Farhadi N, Gandomkar A, Montazeri M. 2016. Analysis of the frequency and central distribution of average summer rainfall in Southern Zagros. *Geographical Notion*, 8(16): 21-41. (In Persian).
- Gong JX. 2002. Clarifying the standard deviational ellipse. *Geographical Analysis*, 34(2): 155-67. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2002.tb01082.x>
- Jalota SK, Sood A, Chahal GBS, Choudhury BU. 2006. Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.)-wheat (*Triticum aestivum* L.) system as influenced by deficit irrigation. soil texture and precipitation. *Agricultural Water Management*, 84 (1-2): 137-146. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.02.003>
- Khorooshi S, Mostafazadeh R, Esmali Ouri A. 2017. Spatiotemporal assessment of the hydrologic river health index variations in Ardabil Province Water-

- sheds. Iranian Journal of Ecohydrology, 4(2): 379-393. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ije.2017.6147>
- Ling M, Han H, Yu L, Tang S. 2021. Precipitation barycenter and relationship to the spatial distribution of station networks on the Huang-Huai-Hai Plain, China. Journal of Water and Climate Change, 12(8): 3839-3850. <https://doi.org/10.2166/wcc.2021.353>
- Liu B, Tao H, Song C, Guo B, Shi Z. 2012. Study on annual variation of rainfall erosivity in southwest China using gravity center model. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 28(21): 113-120. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2012.21.016>
- Ma W, Yu Y, Meng W, Fan J. 2020. Comparative analysis of city connection network based on gravity model and Baidu Index in Wuhan urban agglomeration. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 446(2020): 1-5. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/446/2/022050>
- Mostafazadeh R, Mehri S. 2018. Trends in variability of flood coefficient in river gauge stations of Ardabil Province. Iran. Journal of Watershed Management Research, 9(17). 82-95. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.29252/jwmr.9.17.82>
- Mostafazadeh R, Moradzadeh V, Alaei N, Hazbavi Z. 2021. Determining long-term memory using Hurst index for precipitation and discharge time series of selected stations in Ardabil Province. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 11 (2): 113-131. (In Persian). <https://doi.org/10.30495/wsrecj.2021.19217>
- Mtibaa S, Tsunetaka H. 2023. Revealing the relation between spatial patterns of rainfall return levels and landslide density. Earth Surface Dynamics, 11(2023): 461-474. <https://doi.org/10.5194/esurf-11-461-2023>
- Narangifard M, Fatemi M, Kamaneh A, Talebi M.S. 2020. Detection of daily precipitation structure in Shiraz Synoptic Station. Geography and Planning, 24(72): 385-403. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/gp.2020.1085>
- Nazaripouya H. 2022. The effect of several climatic signals on rainfall features using factor analysis and multivariate regression methods (Case of Hamadan Province, Iran). Journal of Agricultural Meteorology, 10(1): 17-27. (In Persian). <https://doi.org/10.22125/agmj.2022.140963.1021>
- Ren G, Ren Y, Zhan Y, Sun X, Liu Y, Chen Y, Wang T. 2015. Spatial and temporal patterns of precipitation variability over mainland China: II: recent trends. Advances in Water Science, 26(4): 451-465. <https://doi.org/10.14042/j.cnki.32.1309.2015.04.001>
- Sun L, Hao Z, Wang J, Nistor I, Seidou O. 2014. Assessment and correction of TMPA products 3B42RT and 3B42V6. Journal of Hydraulic Engineering, 46(10): 1135-1146. <https://doi.org/10.13243/j.cnki.slxb.2014.10.001>
- Sun Z, Lotz T. 2020. Linking meteorological patterns shift to hydrological extremes in a lake watershed across the mid-high latitude transition region. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 34(2020): 1121-1134. <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01822-z>
- Tan XH, Yong B, Ren LL. 2018. Error features of the hourly GSMaP multi-satellite precipitation estimates over nine major basins of China. Hydrology Research,

- 49(3): 761–779. <https://doi.org/10.2166/nh.2017.263>
- Tang GQ, Clark MP, Papalexiou SM, Ma ZQ, Hong Y. 2020. Have satellite precipitation products improved over last two decades? A comprehensive comparison of GPM IMERG with nine satellite and reanalysis datasets. *Remote Sensing of Environment (RSE)*, 240 p. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111697>
- Tiwari Sh, Jha SK, Singh A. 2022. Quantification of node importance in rain gauge network: influence of temporal resolution and rain gauge density. *Scientific Reports*, 10(2020): 1-17. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66363-5>
- Tong TH, Nguyen TTN, Nguyen QK. 2023. Development of method to optimize rain gauge station location in Darang river basin using spatial interpolation technique. *Journal of Science and Technique-Section on Special Construction Engineering*, 6(02):21-36. <https://doi.org/10.56651/lqdtu.jst.v6.n02.736.sce>
- Wang Y, Chen X, Yan F. 2015. Spatial and temporal variations of annual precipitation during pp .1960–2010 in China. *Quaternary International*, 380(2015): 5-13. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.12.047>
- Wanghe K, Guo X, Wang M, Zhuang H, Ahmad S, Khan TU, Li K. 2020. Gravity model toolbox: An automated and open-source ArcGIS tool to build and prioritize ecological corridors in urban landscapes. *Global Ecology and Conservation*, 22(2020): 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01012>
- Yuan J, Bian Z, Yan Q, Gu Z, Yu H. 2020. An approach to the temporal and spatial characteristics of vegetation in the growing season in western China, *Remote Sensing*, 12 (6): 1-16. <https://doi.org/10.3390/rs12060945>
- Zandkarimi A, Mokhtari D, Zandkarimi S. 2018. The spatial analysis and optimization of rain gauging station network in Kurdistan Province using the Kriging Error Variance. *Journal of Geographical Data (SEPEHR)*, 27(105): 115-126. (In Persian). <https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.31479>
- Zhang L, Xin Z, Zhou H. 2020. Assessment of TMPA 3B42V7 and PERSIANN-CDR in driving hydrological modeling in a semi-humid watershed in northeastern China. *Remote Sensing*, 12 (19): 1-20. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12193133>
- Zhao Z, Luo Y, Yu J, Luo X, Yang Y. 2018. Analysis of precipitation variation characteristics and barycenter shift in Guizhou Plateau during 1960–2016, *Journal of Geo-Information Science*, 20 (10): 1432–1442. <https://doi.org/10.12082/dqxxkx.2018.180215>
- Zhou W, Zhu, Z, Xie Y, Cai Y. 2021. Impacts of rainfall spatial and temporal variabilities on runoff quality and quantity at the watershed scale. *Journal of Hydrology*, 603 (2021): 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127057>



An Analysis on the Precipitation Barycenter in the Network of Rain Gauge Stations of Ardabil Province

Zeinab Hazbavi ^{1*}, Vahideh Moradzadeh ², Mahin Hanifepour ³, Nazila Alaei ⁴

- 1- Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
- 2- Former M.Sc. Student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
- 3- Former Ph.D. Student, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
- 4- Ph.D. Student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

The decreasing trend of precipitation in many regions of the country, including the northwestern provinces, has made it more necessary to investigate new methodologies to complete the databases of the country's watersheds. In this regard, understanding the changes in precipitation barycenters, as an emerging concept, that indicates the long-term spatial distribution of regional precipitation is especially important for the administration of watershed management issues such as reducing drought effect, flood control, and water resource conservation. To this end, the present study analyzes the precipitation barycenter and its relationship with the spatial distribution of the rain gauge network in Ardabil Province.

Materials and Methods

To calculate the precipitation amount, the statistics of 49 meteorological stations during the statistical period of 45 years (1971-2016) were used. Based on the principle of station extraction and considering the rationality of the lowest density and uniformity, five stations were determined as the minimum possible number. Then, densities of 10, 20, 30, and 40 stations were extracted randomly to compare the distribution of precipitation centroids with the density of the station network. The statis-

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: z.hazbavi@uma.ac.ir

Citation: Hazbavi, Z., Moradzadeh, V., Hanifepour, M., Alaei, N. 2024. An Analysis on the Precipitation Barycenter in the Network of Rain Gauge Stations of Ardabil Province. *Watershed Management Research*. 37(4): 54-70.

DOI: 10.22092/WMRJ.2024.364724.1570

Received: 19 December 2023, **Received in revised form:** 30 January 2024, **Accepted:** 20 February 2024

Published online: 01 January 2025

Watershed Management Research, VOL. 37, No.4, Ser. No:145, Winter 2025, pp.54-70.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)



tics above were used to implement the gravity center model, calculate the standard deviation ellipse in the ArcMap 10.8 software environment, and conventional correlation analysis on monthly, seasonal, and annual time scales using XLSTAT.

Results and Discussion

The results showed that in spring (April to June), the direction of movement of the precipitation barycenter was significantly different and the movement distance was 18.17 km. In summer (July to September), the precipitation barycenter mainly moved 20.18 km to the north. In autumn (October to December), the precipitation barycenter mainly moves 20.49 km to the south and has the longest movement distance among the seasons. In winter (December to March), the precipitation barycenter moves in different directions and has the smallest movement distance (8.35). The annual precipitation barycenter migrated mostly in the southeast direction. The maximum migration of barycenter for 1979 was towards the northwest with 111.78 km. Besides, the annual precipitation barycenter in Ardabil Province in the three decades of 1971-1981 migrated mostly to the northwest and in the other decades to the southeast. The station network density was positively correlated with changes in the precipitation barycenter ($CCA = 0.65$ at a significance level of 5%).

Conclusion and Suggestion

The highest conventional correlation coefficient of 0.80 was obtained for the density of 40 stations among different densities of 5, 10, 20, 30, 40, and 50, and the lowest coefficient of 0.04 was obtained for the minimum density of 5 stations. Based on the results of this study, changes in the movement of precipitation patterns that can be effective in drought and wet periods were identified. It is suggested that the relationship between climate change and elevation factors with spatial-temporal changes in the precipitation center of gravity be investigated.

Keywords: Clustering, Migration direction, Mountainous watersheds, Spatial pattern, Stational density