

بنابراین، ناهمگنی روزانه بارندگی در طول یکسال با بهترین میزان درصد بارندگی‌های ۱۵ درصد از روزهای بارانی در منطقه مورد مطالعه دارای ارتباط است و فصلی بودن توزیع بارندگی در طول یکسال را می‌توان با ناهمگنی بارندگی روزانه توجیه کرد.

واژه‌های کلیدی: بارش، شاخص تمرکز بارندگی، منحنی لورنز، استان آذربایجان غربی

توزیع مکانی شاخص‌های تمرکز بارندگی روزانه و ماهانه در ایستگاه‌های باران‌سنجی استان آذربایجان غربی

ایوب میرزایی حسنلو^۱، هیراد عبقری^{۲*} و مهدی عرفانیان^۲
تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۰۴

مقدمه

قرار گرفتن ایران روی کمربند خشک جهانی موجب شده است که نوسانات بارندگی در ایران شدید باشد [۱۴ و ۱۶]. جهان با توجه به تأثیر تغییرات اقلیمی، با مشکلات شدید سیل و خشکسالی روبه‌رو شده است. پیش‌بینی‌های روزانه و شدت بارش در برنامه‌ریزی‌ها اقداماتی است که باید برای غلبه بر این مسائل اتخاذ گردد و تجزیه و تحلیل تمرکز شدت بارش نیز در برنامه‌ریزی منابع آب کمک می‌کند [۲۰]. تغییرپذیری شدید درون‌سالی و بین‌سالی بارندگی یکی از ویژگی‌های آب و هوایی ایران به‌شمار می‌رود. به طور کلی آب و هوای ایران به‌ویژه از نظر بارندگی دارای تغییرات مکانی بسیاری است [۶]. بارش یکی از مهم‌ترین عناصر اقلیمی است که به‌طور مستقیم بر منابع آب تأثیر می‌گذارد [۲۳]. که یکی از مهم‌ترین راه‌حل‌ها برای کاهش روند گرم شدن جو جهانی، اصلاح چرخه آب است که بارش نقطه کلیدی در این کاهش روند را دارد [۱۲]. مسائل ناشی از تغییرات بارش، به‌ویژه مشکلات ناشی از سیل و خشکسالی و نیز اثرات زیست‌محیطی کاهش بارش موجب افزایش اهمیت و توجه به مطالعات بارش در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی شده است [۸ و ۱۷]. زیرا اطلاعات در مورد تغییر الگوهای بارندگی نقطه شروع برای ارزیابی دقیق منابع آب، کنترل سیلاب و خشکسالی، درک تغییرات آب و هوایی و مدیریت کارآمد آب است [۲۷]. افق‌های بارش تأثیر زیادی بر روی انسان می‌گذارد و مطالعه الگوی منظم عوامل هواشناسی و هیدرولوژیکی از اهمیت حیاتی برخوردار است. وقایع شدید هیدرولوژیکی مربوط به بارندگی و جریان می‌تواند باعث تلفات زیادی در زندگی انسان و افزایش هزینه‌های ناشی از آن شود [۹]. تمرکز زیاد بارندگی می‌تواند باعث ایجاد سیل و خشکسالی شود که انتظار می‌رود فشار قابل توجهی بر منابع آب وارد کند. بدین منظور برای بررسی تمرکز بارندگی از شاخص‌های مختلف استفاده شده است و از این میان، دو نوع شاخص تمرکز بارش به طور گسترده‌ای اعمال شده است.

چکیده

بارش یک متغیر هواشناسی است که به‌طور عمده در مقیاس‌های روزانه، فصلی، ماهانه و سالانه مورد مطالعه قرار می‌گیرد و درک تغییرات بارش در بازه‌های زمانی مختلف و همبستگی آن‌ها برای ارزیابی خطر سیلاب و استفاده از منابع آب از اهمیت زیادی برخوردار است. درصد بالای تمرکز کل بارش سالانه، در چند روز بسیار بارانی می‌تواند خطر بروز سیل و فرسایش خاک را افزایش دهد. لذا در این پژوهش الگوی مکانی تمرکز بارش، با استفاده از شاخص تمرکز بارندگی روزانه (CI) و شاخص تمرکز بارندگی ماهانه (PCI) در مقیاس سالانه و فصلی در ۲۶ ایستگاه باران‌سنجی استان آذربایجان غربی در مدت ۴۱ سال (۱۳۹۷-۱۳۵۶) ارزیابی شد. سپس نقشه پهنه‌بندی تمرکز بارندگی در مقیاس‌های سالانه و فصلی با استفاده از روش کوکریجینگ معمولی با متغیر کمکی ارتفاع تهیه شد. نتایج پهنه‌بندی تمرکز بارندگی نشان داد که بر اساس شاخص CI در مقیاس سالانه ایستگاه آلاسقل در جنوب شرقی استان و ایستگاه‌های بدوی، سیاه‌چشمه و رازی در غرب استان دارای تمرکز بارندگی یکنواخت بوده، اما بر اساس شاخص PCI قسمت‌های شمال و شمال‌غرب استان دارای توزیع یکنواخت‌تری از بارندگی ماهانه نسبت به سایر مناطق مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی بوده است. شاخص‌های تمرکز بارندگی در سایر ایستگاه‌ها دارای مقادیر نسبتاً نزدیکی بوده و تفاوت زیادی نداشته که نشان از همبستگی مثبت بین دو شاخص است، که شاخص CI متناسب با PCI بوده است. هم‌چنین نتایج نشان داد که تغییرات سالانه مقادیر CI با درصد بارش‌های سالانه که طی ۱۵ درصد از روزهای بارانی رخ می‌دهد بیش‌ترین ارتباط را دارد.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه ارومیه، ایران
۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران
و نویسنده مسئول: Email: h.abghari@urmia.ac.ir

نوع اول شاخص تمرکز بارندگی (PCI)^۱ نشان دهنده میزان توزیع کل بارش سالانه در طی ۱۲ ماه است، در حالی که نوع دوم شاخص تمرکز بارش روزانه (CI)^۲ برای ارزیابی توزیع روزهای بارندگی شدید به مقدار کل بارندگی است. مطالعات در مورد بزرگی و فرکانس بارندگی شدید برای طراحی سازه‌های محافظت در برابر سیل، برای اهداف کشاورزی و همچنین برای تعیین کمیت اصلاح آب و هوا یا تغییر اقلیمی ضروری است [۲۵]. ساختار زمانی بارندگی، به عنوان مثال، در مقیاس روزانه، از اهمیت حیاتی برخوردار است، نه تنها برای مطالعه عوامل آب و هوایی مانند شدت بارندگی و بارندگی شدید و دوره‌های خشک و خشکسالی، بلکه در رابطه با خاک و اکوسیستم‌ها (فرسایش، بیابان زایی)، مدیریت منابع آب، سیلاب و طغیان، طراحی سیستم‌های زهکشی، در دسترس بودن و ایمنی سیستم‌های حمل و نقل، برنامه‌ریزی شهری و موارد دیگر تجزیه و تحلیل بارندگی روزانه حائز اهمیت است [۲، ۴، ۱۳ و ۱۵]. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های تغییر آب و هوا که نیازمند بررسی دقیق‌تر است، بررسی توزیع زمانی بارش و تغییرات تاریخی آن است. با توجه به تأثیرات بارندگی بر منابع آب مانند آب زیرزمینی، ذخایر آب سطحی و برف، استفاده از شاخص‌هایی برای بیان تغییرات آن ضروری به نظر می‌رسد. از جمله این شاخص‌ها می‌توان، به شاخص بارش استاندارد شده (SPI) شاخص تمرکز بارش (PCI) و شاخص تمرکز (CI) اشاره نمود. نتایج حاصل از محاسبه PCI می‌تواند برای برنامه‌های مدیریتی هیدرولوژی، منابع آب و محیطی به عنوان یک ابزار هشدار دهنده برای آمادگی در مواجهه با سیل یا فرسایش مورد استفاده قرار گیرد [۱]. توزیع نامتعادل بارندگی به معنی بروز خشکسالی بوده و ممکن است بارشی کم‌تر از مقدار میان‌گین منطقه سبب بروز سیلاب‌های خطرناک نیز گردد [۱۰]. هم‌چنین می‌تواند موجب کاهش عملکرد محصولات زراعی از طریق کاهش ذخیره رطوبت موجود در زمین و افزایش تعداد دوره‌های آبیاری گردد. علاوه بر این توزیع نامتعادل بارندگی به معنی بروز خشکسالی است. در نهایت این امر سبب افزایش تدابیر حفاظتی در حوضه به منظور حفظ سازه‌های آبی خواهد شد [۲۲]. علیجانی و همکاران [۳]، شدت بارندگی‌های ایران را در ۹۰ ایستگاه سینوپتیک مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که پراکندگی بارش در کل کشور نامنظم بوده و ایستگاه‌های حاشیه دریای خزر، کوه‌های زاگرس، و شمال‌غرب کشور بیش‌ترین سهم بارندگی را داشته، و در معرض بارندگی‌های شدید قرار دارند. لی و همکاران [۱۱]، مقادیر CI را در سرتاسر سین کیانگ چین در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۸ محاسبه کردند نتایج نشان داد که کم‌ترین مقدار CI در ایستگاه‌های جنوبی و بیش‌ترین مقدار CI در ایستگاه‌های شمالی سین جیانگ دیده می‌شود. کورتزی و همکاران [۵]، با استفاده از شاخص CI پراکندگی و الگوی بارش روزانه اروپا را در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۱ مورد بررسی قرار دادند با توجه به مقادیر شاخص تمرکز، بالاترین تمرکز روزانه و فصلی

1. Precipitation Concentration Index
2. Concentration index

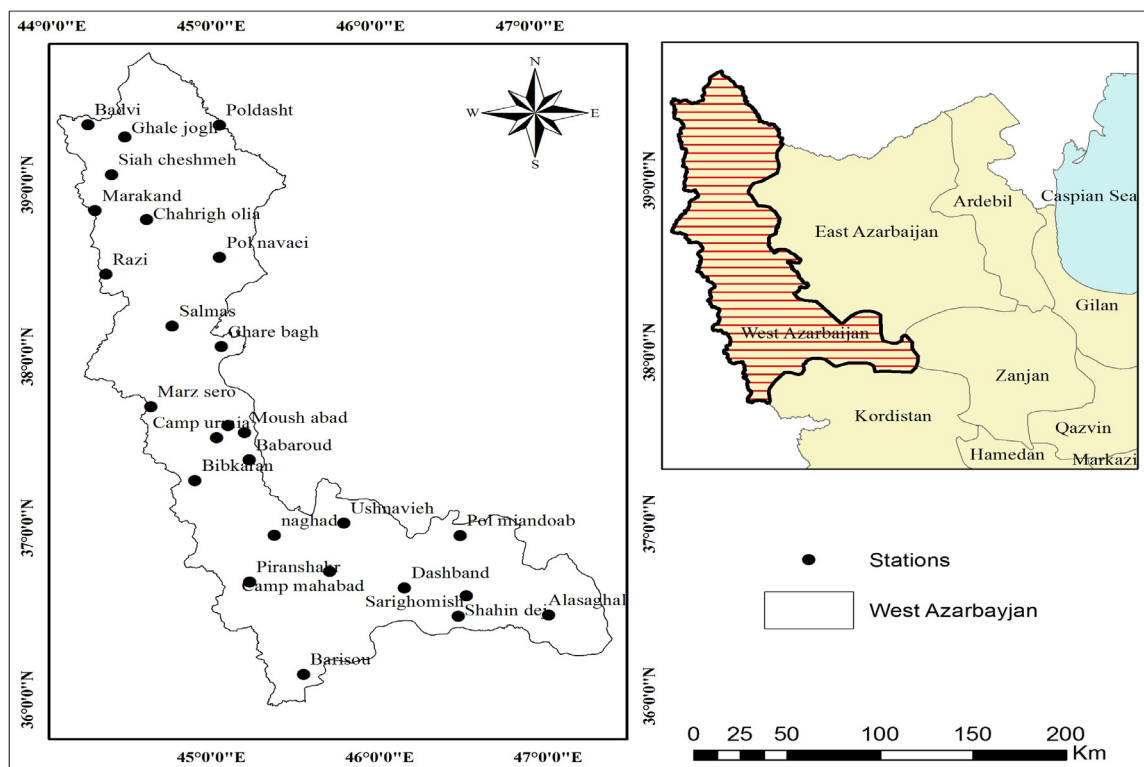
بارش‌ها در حوزه مدیترانه غربی و عمدتاً در سواحل و فرانسه مشاهده شد. آدگان و همکاران [۱]، شاخص PCI را در دو مقیاس، فصلی و سالانه طی بازه‌ی ۱۹۷۴-۲۰۱۱ برای دو منطقه در نیجریه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج برای این مناطق نشان داد که به ترتیب ۸۷ درصد و ۷۱ درصد از سال‌های مورد بررسی در منطقه اول و دوم در محدوده تمرکز متوسط قرار دارد. والی و همکاران [۲۶]، در بخشی از مطالعات خود، برای نشان دادن الگوی بارندگی در آیالات آندراپراش برای بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۱ در دو مقیاس سالانه و فصلی از شاخص PCI استفاده کردند نتایج حاصله نشان‌دهنده وجود یک توزیع نامنظم بارندگی در این منطقه است. خلیلی و همکاران [۱۰]، پراکنش بارندگی ماهانه و سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک ایران طی نیم قرن اخیر در دو بازه ۲۵ ساله مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر بی‌نظمی شدید بارش در مناطق مرکزی و جنوبی کشور، از جمله ایستگاه‌های کرمان، بندر عباس، یزد، زاهدان، شهرکرد، بیرجند، بوشهر، اهواز، اصفهان است. رضانی و همکاران [۲۲]، به مطالعه و بررسی شاخص CI حوزه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۲۰۱۳ تا ۱۹۸۴ پرداختند. نتایج بررسی شاخص تراکم در سطح حوضه مورد مطالعه نشان داد که بارش روزانه حوضه دریاچه ارومیه در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در وضعیت منظم و به شدت نامنظم قرار ندارد. تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در وضعیت نسبتاً منظم، تراکم متوسط و نسبتاً نامنظم از نظر توزیع بارش روزانه قرار دارند. در این بین بیش‌تر ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر توزیع بارش روزانه در طبقه تراکم متوسط قرار دارند. نظر نژاد و همکاران [۱۸]، جهت بررسی شاخص PCI داده‌های بارندگی ۶۶ ایستگاه باران‌سنجی استان آذربایجان غربی در سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۹۳ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که مقادیر شاخص تمرکز در دامنه ۱۲ - ۲۲ است که بر این اساس، توزیع بارش در ۷۹ درصد ایستگاه‌ها نسبتاً فصلی، ۲۰ درصد ایستگاه‌ها دارای توزیع فصلی و تنها در یک ایستگاه توزیع کاملاً فصلی است. رسولی و همکاران [۲۴]، به بررسی توزیع مکانی شاخص تمرکز بارش روزانه در ۲۳ ایستگاه سینوپتیک شمال‌غرب ایران طی دوره ۲۰۱۵ تا ۱۹۵۱ پرداختند. نتایج نشان داد که دامنه مقادیر CI برای محدوده مورد نظر بین ۰/۵۷ تا ۰/۶۷ ایستگاه خوی تا ۰/۶۷ ایستگاه ماکو و میانگین ۰/۶۱ برای تمام ایستگاه‌ها محاسبه شد و هم‌چنین پهنه‌بندی شاخص CI نشان داد که قسمت شمال‌غرب محدوده مورد مطالعه به نمایندگی ایستگاه ماکو از نظر توزیع بارش روزانه در طول سال نسبت به سایر مناطق، به‌ویژه مناطق مرکزی مانند تبریز توزیع یکنواختی ندارد و در مقایسه با میانگین CI کل کشور محدوده شمال‌غرب توزیع بارش یکنواخت‌تری داشته است. با توجه به اهمیت پراکنش بارندگی و نقش باران در تدوین برنامه‌های مدیریتی، بررسی تغییرات پراکنش بارندگی در استان آذربایجان غربی دارای اهمیت است. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات مکانی شاخص تمرکز بارندگی روزانه و ماهانه در ۲۶ ایستگاه باران‌سنجی استان آذربایجان غربی در بازه ۴۱ ساله (۱۳۹۷-۱۳۵۶) است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان غربی در شمال غربی کشور قرار دارد. طول مرزهای آبی و خاکی استان با کشورهای همسایه ۹۶۷ کیلومتر است. این استان بین ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. شمالی‌ترین و غربی‌ترین نقطه کشور شهر ماکو بوده، که در این استان قرار دارد. مساحت استان با احتساب دریاچه ارومیه ۴۳۶۶۰ کیلومتر مربع است که برابر با ۲/۶۵ درصد مساحت

کل کشور است. میانگین کلی بارش ۳۷۳/۳ میلی‌متر، دمای متوسط ۱۱/۹، رطوبت نسبی ۵۷ درصد، ساعات آفتابی ۲۸۲۲/۸ و نیز ۷۰ درصد مساحت آن دارای اقلیمی تقریباً نیمه خشک تا نیمه مرطوب با زمستان‌های سرد است [۷]. در این پژوهش از داده‌های روزانه بارندگی ۲۶ ایستگاه باران‌سنجی استان آذربایجان غربی در دوره آماری مشترک ۴۱ ساله (۱۳۹۷-۱۳۵۶) استفاده شده است. موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های بررسی شده به شرح شکل (۱) و جدول (۱) است.



شکل ۱: موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی

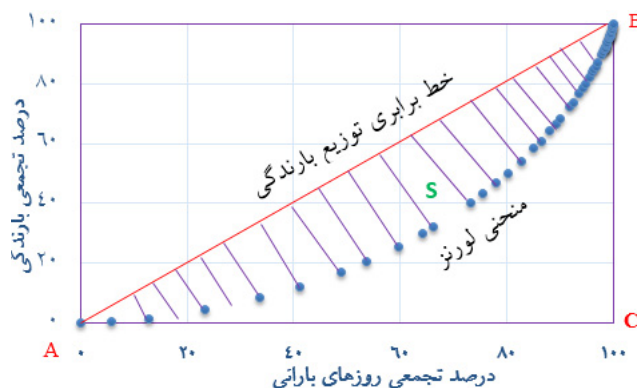
جدول ۱: مشخصات آماری ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی در دوره آماری ۱۳۵۶-۱۳۹۷

ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	متوسط بارندگی (میلی‌متر)	ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	متوسط بارندگی (میلی‌متر)
اشنویه	۱۴۶۸	۴۵°-۰۵'	۳۷°-۰۲'	۴۱۷/۷	سلماس	۱۳۷۹	۴۴°-۴۶'	۳۸°-۱۱'	۲۴۸/۰۲
آلاسفل	۱۷۰۰	۴۶°-۳۸'	۳۹°-۳۷'	۳۸۳/۲	سیاه‌چشمه	۱۸۷۱	۴۴°-۲۳'	۳۳°-۰۴'	۳۳۸/۳۲
بابارود	۱۲۸۵	۴۵°-۱۱'	۳۸°-۴۴'	۳۲۶/۲۱	شاهین دژ	۱۶۸۸	۴۶°-۳۲'	۳۶°-۳۶'	۲۸۸/۶۳
بدوی	۱۸۶۶	۴۴°-۱۴'	۳۹°-۲۱'	۳۸۳/۲۳	قره باغ	۱۴۸۴	۴۵°-۰۴'	۳۸°-۰۴'	۳۰۹/۰۴
بریسو	۱۰۳۷	۴۵°-۳۳'	۳۶°-۰۹'	۶۵۶/۸۵	قلعه جوق	۱۳۲۹	۴۴°-۲۸'	۳۹°-۱۷'	۳۳۹/۱۶
بیکران	۱۴۷۳	۴۴°-۵۴'	۳۷°-۱۴'	۵۳۱/۰۸	کمپ ارومیه	۱۳۸۹	۴۵°-۰۲'	۳۷°-۳۲'	۳۶۴/۶۵
پل میاندواب	۱۲۹۵	۴۶°-۰۳'	۳۶°-۵۷'	۲۸۹/۸۵	کمپ مه‌باد	۱۳۵۰	۴۵°-۴۳'	۳۶°-۴۶'	۳۴۹/۸۱
پل نوایی	۱۰۶۲	۴۵°-۰۳'	۳۸°-۳۵'	۲۱۳/۳۲	مرکند	۹۲۳	۴۵°-۱۷'	۳۸°-۵۲'	۲۵۰/۶۶
پلدشت	۸۳۰	۴۵°-۰۵'	۳۹°-۲۱'	۲۰۳/۳۷	مرز سرو	۱۶۲۸	۴۴°-۳۸'	۳۷°-۴۳'	۳۵۳/۰۵
پیرانشهر	۱۴۴۴	۴۵°-۱۴'	۳۶°-۴۰'	۶۳۱/۳۵	موش آباد	۱۲۸۱	۴۶°-۳۸'	۳۷°-۴۲'	۲۳۳/۸۷
دشبند	۱۶۱۸	۴۵°-۵۶'	۴۰°-۳۸'	۳۸۶/۶۱	نقده	۱۳۰۶	۴۲°-۳۸'	۳۶°-۵۸'	۳۲۹/۰۴
رازی	۲۰۳۷	۴۴°-۲۱'	۳۸°-۲۹'	۳۰۸/۴۰	چهریق علیا	۱۶۱۱	۴۴°-۳۶'	۳۵°-۰۵'	۳۴۱/۷۸
ساریقمیش	۱۸۳۳	۲۹°-۴۶'	۲۹°-۳۶'	۳۵۴/۵۲	گل‌مانخانه	۱۲۸۰	۴۵°-۱۵'	۳۷°-۳۶'	۲۳۶/۸۰

خورده به مساحت مثلث ABC بدست می آید.

$$\text{Gini index} = \frac{2s}{10000} \quad (8)$$

شاخص تمرکز بارندگی از منحنی لورنز استخراج می شود. این منحنی سهم درصد تجمعی روزهای بارانی را از درصد تجمعی بارندگی نشان می دهد. درصدهای تجمعی روزهای بارندگی بر روی محور افقی و درصدهای تجمعی بارندگی متناظر با آن روی محور عمودی درج و با اتصال نقاط دارای این مختصات، منحنی مربوطه رسم می شود (شکل ۲).



شکل ۲: منحنی لورنز ایستگاه باران سنجی اشنویه

شاخص تمرکز بارندگی PCI

شاخص PCI به عنوان شاخصی برای مشخص نمودن جنبه توزیع زمان بارندگی در طول سال مورد استفاده قرار گرفته می شود. این شاخص امکان طبقه بندی داده های بارش بر اساس فصلی بودن یا نبودن را فراهم می کند. شاخص PCI از طریق روابط (۹) و (۱۰) زیر بدست می آید [۱۹].

$$PCI_{\text{annual}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{(P)^2} * 100 \quad (9)$$

$$PCI_{\text{seasonal}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{(P)^2} * 25 \quad (10)$$

PI مقدار بارش ماه I ام و p نیز میزان کل بارش سالانه است. الیور [۱۹]، یک طبقه بندی برای مقادیر PCI ارائه کرد که بر مبنای آن مقادیر کم تر از ۱۰ نشان دهنده توزیع یکنواخت، مقادیر ۱۱-۱۵ نشان دهنده توزیع نسبتاً فصلی بارش و مقادیر ۱۶-۲۰ نشان دهنده توزیع فصلی و مقادیر بیش از ۲۰ نشان دهنده توزیع کاملاً فصلی است. شاخص PCI فاکتور تاثیرگذار در پدیده فرسایش و بیابان زایی است. بارش های سنگین ظرفیت انتقال رسوب را افزایش می دهد و بنابراین به طور مستقیم و اثرگذاری پایدار اکوسیستم ها را تحت تاثیر قرار می دهد به ویژه وقتی با عوامل دیگر (چرای بیش از حد، تغییر کاربری اراضی) همراه شود [۲۲].

روش مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل بارش روزانه شاخص تمرکز CI است، که اولین گام، طبقه بندی بارش روزانه در کلاس های یک میلی متر در روز، با شروع از طبقه ای که دارای کم ترین مقدار بارندگی روزانه [۰/۹-۰/۱]، [۱/۹-۱]، [۲/۹-۲] تا طبقه ای که بیش ترین مقدار بارندگی روزانه را شامل می شود. سپس به منظور بررسی تاثیر مقادیر مختلف بارش روزانه و بررسی سهم مقادیر بالای بارش نسبت به کل بارش ها، درصد بارش تجمعی (Y_i) و درصد تجمعی روزها (X_i) در طول رخدادهای بارش، با توجه به روابط (۱) و (۲) محاسبه شد [۱۳].

$$X_i = \frac{\sum_{j=1}^i n_j}{\sum_{j=1}^n n_j} \quad (1)$$

$$Y_i = \frac{\sum_{j=1}^i P_j}{\sum_{j=1}^n P_j} \quad (2)$$

جایی که PI و NI تعداد روزهای بارندگی و بارندگی آن هاست، به ترتیب برای هر کلاس I و N تعداد کل دسته های غیر صفر است. در مرحله دوم فرض می شود که XI و YI با یک رابطه مثبت نمایش داده می شود. به طور کلی، منحنی نمایی از رابطه (۳) بدست می آید [۱۳].

$$y = ax * \exp^{bx} \quad (3)$$

جایی که a و b ثابت هستند که می توانند با استفاده از روش حداقل مربعات روابط (۵) و (۶) برآورد شوند. در نهایت، CI با استفاده از رابطه (۴) بدست می آید [۱۳].

$$CI = \frac{5000 - S}{5000} \quad (4)$$

S محدوده ای است که توسط منحنی نمایشگر و خط $Y = 0$ محاسبه می شود که می تواند از طریق انتگرال قطعی منحنی نمایشی رابطه (۳) در بین مقادیر بین صفر تا ۱۰۰ محاسبه شود. مقدار CI محدوده بین خط $Y = X$ و منحنی نمایشی است، تقسیم بر مساحت مثلث (۵۰۰۰) که در آن قرار داده شده است. مقدار CI بین صفر و یک نشان دهنده درصدی از منطقه بین خط $Y = X$ و منحنی نمایشی نسبت به مساحت مثلث است. مقادیر a و b با استفاده از روش میانگین حداقل مربعات از روابط (۵) و (۶) به دست می آید [۱۳].

$$\ln a = \frac{\sum x_i^2 \sum \ln y_i + \sum x_i \sum \ln x_i - \sum x_i^2 \sum \ln x_i - \sum x_i \sum x_i \ln y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (5)$$

$$b = \frac{n \sum x_i \ln y_i + \sum x_i \sum \ln x_i - n \sum x_i \ln x_i - \sum x_i \sum \ln y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (6)$$

هنگامی که هر دو مقدار ثابت تعیین می شود انتگرال منحنی نمایی بین صفر تا ۱۰۰، ناحیه S زیر منحنی است [۱۳].

$$A' = \left[\frac{a}{b} e^{bx} \left(x - \frac{1}{b} \right) \right]_0^{100} \quad (7)$$

بنابراین مقادیر شاخص CI کسری از مقدار S سطح مثلث تشکیل شده در پایین نمودار است و از نسبت مساحت قسمت هاشور

جدول ۲: طبقه بندی شاخص تمرکز بارندگی [۱۹]

مقدار	توزیع
<۱۰	یکنواخت
۱۱-۱۵	تمرکز متوسط بارندگی
۱۶-۲۰	توزیع نامنظم
>۲۰	بی نظمی زیاد

جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و به‌منظور تبدیل داده‌های نقطه‌ای شاخص‌های CI و PCI، به اطلاعات نقشه‌ای و مقایسه آن‌ها با یکدیگر در محیط GIS، به دلیل کوهستانی بودن منطقه و تاثیر ارتفاع بر بارندگی از روش درون‌یابی کوکریجینگ معمولی^۱ استفاده شد. پهنه‌بندی مکانی در محیط نرم افزار Arc GIS نسخه ۱۰/۲ انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل آماری مبتنی بر مجموعه داده‌های بارندگی روزانه دارای ارزش علمی و عملی در زمینه مدیریت منابع آب در مقیاس حوضه و حفاظت از محیط زیست است. در این پژوهش با بررسی صحت داده‌ها و با توجه به طول دوره آماری ایستگاه‌ها، دوره آماری (۴۱ ساله) بین سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۹۷ به‌عنوان دوره شاخص ۲۶ ایستگاه باران‌سنجی استان آذربایجان غربی انتخاب شد. و با استفاده از داده‌های بارندگی روزانه و ماهانه به ترتیب شاخص CI و PCI در مقیاس سالانه و فصلی در سطح ایستگاه‌های باران‌سنجی استان آذربایجان غربی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در جدول (۴) ارائه شد.

نحوه محاسبه شاخص تمرکز بر اساس مطالعات مارتین وید [۱۳]، به‌عنوان نمونه برای ایستگاه باران‌سنجی اشنویه تشریح، و نتایج آن در جدول (۳) ارائه شد. در ستون اول جدول طبقه‌بندی‌ها به ترتیب صعودی کلاسه‌بندی شده و ستون دوم میانه آن کلاسه‌ها را نشان می‌دهد. در ستون سوم NI تعداد روزهای بارش ثبت شده در هر کلاس یا فرکانس مطلق، ذکر شده است. به‌طور مثال در ایستگاه باران‌سنجی اشنویه پس از ۴۱ سال (دوره مورد مطالعه) ۱۱۸ روز بارانی با مقداری از ۰/۱ تا ۰/۹ ثبت شده است؛ و در مجموع ۲۰۱۴ روز بارانی در طول دوره مورد مطالعه بوده است. ستون چهارم فرکانس تجمعی روزهای بارانی و ستون پنجم فرکانس تجمع بارندگی را نشان می‌دهند و ستون پنجم از ضرب ستون دوم در ستون سوم به دست خواهد آمد و همچنین ستون هفتم که درصد تجمعی روزهای بارندگی است از تقسیم ستون تجمعی روزهای بارندگی به مجموع روزهای بارندگی ضرب در ۱۰۰ و همچنین ستون هشتم که درصد تجعی بارندگی است از تقسیم تجمعی مقدار

1. Ordinary CoKriging

بارندگی بر مجموع بارندگی ضرب در ۱۰۰ حاصل می‌شود. تفسیر دو ستون آخر به این صورت است که ۵/۹ درصد روزهای بارانی ۰/۹ میلی‌متر یا کم‌تر از آن فقط ۰/۳ از کل مقدار بارندگی را تشکیل می‌دهد.

مقادیر شاخص تمرکز بارندگی روزانه (CI) و ماهانه (PCI) و مقدار بارندگی بر حسب (میلی‌متر) و ضریب تغییرات مقدار بارندگی و همچنین میانگین روزهای بارندگی و مقادیر a و b که با استفاده از روابط (۵، ۶) برای بدست آوردن مقادیر درصدی از مقدار بارندگی که در ۲۵ یا ۱۵ درصد از کل روزهای بارندگی اتفاق افتاده است در جدول (۴) آورده شده است. که دو ستون آخر مربوط به درصد بارندگی‌های است که در ۲۵ و ۱۵ درصد از کل روزهای بارانی رخ داده است. کل روزهای مورد مطالعه ۱۴۹۶۵ (۴۱×۳۶۵) روز بوده که ۲۰۱۴ روز دارای بارندگی بوده است. در ایستگاه اشنویه ۶۷/۳۵ درصد از مقدار بارندگی در ۲۵ درصد روز از روزهای بارانی یعنی در ۵۰۳ روز و ۴۹/۳۱ درصد از مقدار بارندگی در ۱۵ درصد از روزهای بارانی یعنی در ۳۰۲ روز اتفاق افتاده است که بیش‌ترین درصد میانگین روزهای بارانی (N) به ترتیب در قره باغ، پلدشت و سلماس و بدوی و کم‌ترین مقدار نقده، بابارود و اشنویه مشاهده شده است. شاخص تمرکز بارندگی روزانه و ماهانه در مقیاس سالانه (جدول ۴) محاسبه شده و مقادیر آن در شکل (۲) پهنه‌بندی شده است که بر اساس شاخص CI کم‌ترین مقدار در آلسقل در جنوب شرقی استان آذربایجان غربی و بیش‌ترین مقدار در گل‌مانخانه و کمپ مهاباد در جنوب استان بوده، و بیش‌تر ایستگاه‌ها در محدوده تمرکز (۰/۳۵ تا ۰/۵۰) است که با نتایج رمضانی و همکاران تطابق دارد. بر اساس پژوهش‌های مارتین وید [۱۳]، مقادیر بیش‌تر شاخص CI ($CI > 0.61$) بیانگر تمرکز بالای بارش روزانه بوده و در ایستگاه‌های با $CI > 0.61$ تقریباً ۷۰٪ از بارش‌های نزولی در ۲۵٪ از روزهای بارانی متمرکز شده است که این نشان از بارش‌های سهمگین در منطقه است که در هیچ کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه مقدار CI سالانه از ۶۱ درصد، بیش‌تر نبوده، در نتیجه بارندگی تهاجمی و شدت نامنظم را در سطح استان آذربایجان غربی شاهد نبوده است. که هر چه شاخص تمرکز به یک نزدیک‌تر شود بیانگر تمرکز بیش‌تر بارندگی و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد تمرکز بارندگی کم‌تر خواهد بود و بارندگی پراکنش یکنواخت‌تری خواهد داشت. بر اساس شاخص PCI بیش‌ترین مقدار در گل‌مانخانه در شرق، و ساریقمیش در جنوب شرقی استان و کم‌ترین مقدار در بدوی، سیاه‌چشمه و رازی در شمال استان بوده، که نشان از بارندگی یکنواخت‌تر بوده، یا به عبارتی توزیع بارندگی محدود به چند ماه نبوده و در بین ماه‌ها سال پراکنش بیش‌تری داشته است که با نتایج نظرنژاد و همکاران [۱۸]، مبنی بر این‌که در بخش‌های شمالی استان ارومیه، توزیع نسبتاً فصلی بارش و در حالی‌که در مناطق جنوبی توزیع فصلی بارش را نشان می‌دهد تطابق دارد. هم‌چنین بر اساس نتایج جدول (۴) بیش‌ترین مقدار بارندگی در پیرانشهر و بریسو در

جدول ۳: توزیع فراوانی در کلاس‌های ۱ میلی‌متر، فرکانس تجمعی نسبی X و درصد مربوطه از مجموع بارش Y

$\sum p_i$	$\sum n_i$	p_i	n_i	Midpoint	Class
$\sum p_i (\%) = y$	$\sum n_i (\%) = x$				
۰/۳	۵/۹	۵۹	۵۹	۵/۰	۰/۱-۰/۹
۱/۵	۱۲/۸	۲۶۷/۵	۲۰۸/۵	۱/۵	۱-۱/۹
۴/۵	۲۳/۴	۸۰۵	۵۳۷/۵	۲/۵	۲/۲/۹
۸/۵	۳۳/۶	۱۵۲۲/۵	۷۱۷/۵	۳/۵	۳-۳/۹
۱۲/۳	۴۱/۱	۲۲۰۲	۶۷۹/۵	۴/۵	۴-۴/۹
۱۷/۱	۴۸/۹	۳۰۶۵/۵	۸۶۳/۵	۵/۵	۵-۵/۹
۲۰/۶	۵۳/۸	۳۷۰۲/۵	۶۳۷	۶/۵	۶-۶/۹
۲۵/۷	۵۹/۸	۴۶۱۰	۹۰۷/۵	۷/۵	۷-۷/۹
۲۹/۸	۶۴/۱	۵۳۴۹/۵	۷۳۹/۵	۸/۵	۸-۸/۹
۳۲/۱	۶۶/۳	۵۷۶۷/۵	۴۱۸	۹/۵	۹-۹/۹
۴۰/۳	۷۳/۲	۷۲۳۷/۵	۱۴۷۰	۱۰/۵	۱۰-۱۰/۹
۴۳/۲	۷۵/۵	۷۷۵۵	۵۱۷/۵	۱۱/۵	۱۱-۱۱/۵
۴۶/۹	۷۸/۱	۸۴۱۷/۵	۶۶۲/۵	۱۲/۵	۱۲-۱۲/۹
۶۴	۸۸/۱	۱۱۴۹۲	۵۷۷/۵	۱۷/۵	۱۷-۱۷/۹
۶۶/۴	۸۹/۲	۱۱۹۱۷/۵	۴۲۵/۵	۱۸/۵	۱۸-۱۸/۹
۸۵/۸	۹۶/۸	۱۵۴۰۱/۵	۱۹۹/۵	۲۸/۵	۲۸-۲۸/۹
۸۷	۹۷/۱	۱۵۶۰۸	۲۰۶/۵	۲۹/۵	۲۹-۲۹/۹
۸۹/۵	۹۷/۹	۱۶۰۶۵/۵	۴۵۷/۵	۳۰/۵	۳۰-۳۰/۹
۹۳/۱	۹۸/۸	۱۶۷۰۵	۳۷/۵	۳۷/۵	۳۷-۳۷/۹
۹۳/۳	۹۸/۹	۱۶۷۴۳/۵	۳۸/۵	۳۸/۵	۳۸-۳۸/۹
۹۳/۵	۹۸/۹	۱۶۷۸۳	۳۹/۵	۳۹/۵	۳۹-۳۹/۹
۹۴/۷	۹۹/۲	۱۶۹۸۵/۵	۲۰۲/۵	۴۰/۵	۴۰-۴۰/۹
۹۸	۹۹/۸	۱۷۵۷۶/۵	۵۷/۵	۵۷/۵	۵۷-۵۷/۹
۹۹/۱	۹۹/۹	۱۷۷۷۵	۱۳۳	۶۶/۵	۶۶-۶۶/۹
۹۹/۵	۱۰۰	۱۷۸۵۰/۵	۷۵/۵	۷۵/۵	۷۵-۷۵/۹
۱۰۰	۱۰۰	۱۷۹۴۳	۹۲/۵	۹۲/۵	۹۲-۹۲/۹

به‌ترتیب در داشبند، ساریقمیش و سلماس و کم‌ترین مقدار در کمپ ارومیه، قلعه‌جوق و پلدشت مشاهده شده است.

جنوب استان و کم‌ترین مقدار در پلدشت و پل نوایی در جنوب شمال استان رخ داده است، که بیش‌ترین ضریب تغییرات بارندگی

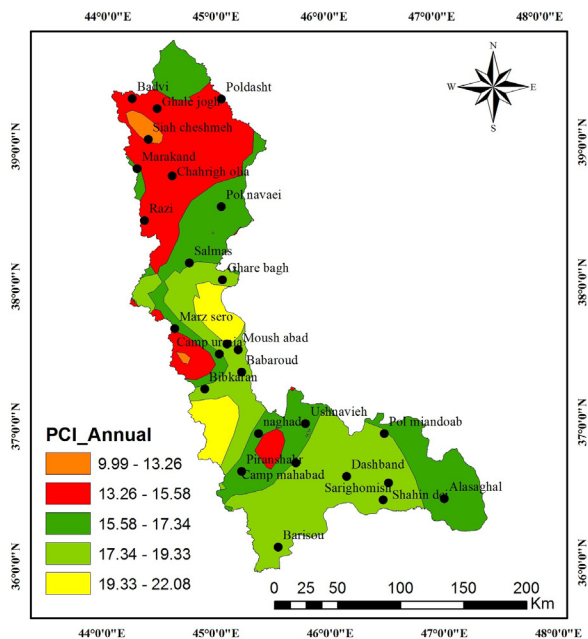
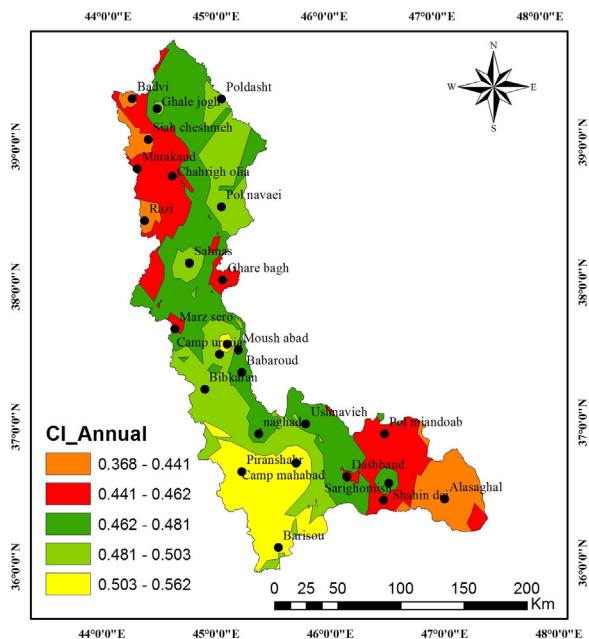
جدول ۴: مقادیر A و B و شاخص‌های تمرکز بارندگی سالانه و درصد بارش برای ۱۵ و ۲۵ درصد از روزهای بارانی و متوسط بارش سالانه

ایستگاه	A	B	CI	PCI	متوسط بارندگی	متوسط روزهای بارانی	ضریب تغییرات	۱۵ درصد روزهای بارانی	۲۵ درصد روزهای بارانی
اشنویه	۰/۰۹۲۴	۰/۰۱۰۳	۰/۴۷	۱۷/۱۹	۴۱۷/۷	۲۷	۳۰	۳۱/۴۹	۶۷/۳۵
آلاسقل	۰/۱۷۲۴	۰/۰۰۷۷	۰/۳۵	۱۶/۲۲	۳۸۳۸/۲	۴۴	۲۸	۵۵/۴۵	۶۸/۷۷
بابارود	۰/۰۹۲۵	۰/۰۱۰۲	۰/۴۷	۱۸/۱۹	۲۵۹/۰۳	۲۸	۲۹	۴۶/۲۰	۶۵/۷۰
بدوی	۰/۱۳۴۲	۰/۰۰۸۷	۰/۴۲	۱۳/۶	۳۲۳/۸۳	۶۶	۲۹	۵۴/۴۵	۶۵/۹۶
بریسو	۰/۰۷۲۳	۰/۰۱۱۳	۰/۵۱	۱۸/۰۳	۶۵۶/۸۵	۳۷	۲۸	۱۷/۴۸	۶۷/۳۵
بیبکران	۰/۰۹۳۲	۰/۰۱۰۲	۰/۴۹	۱۷/۹۶	۵۳۱/۰۸	۳۸	۳۶	۱۷/۴۸	۶۸/۶۲
پل میانداوب	۰/۱۲۳۴	۰/۰۰۹۰	۰/۴۴	۱۷/۴۰	۲۸۹/۸۱۵	۵۷	۳۰	۱/۴۵	۶۵/۲۲
پل نوایی	۰/۰۸۳۰	۰/۰۱۰۶	۰/۵۱	۱۶/۷۴	۲۱۳/۳۲	۵۵	۲۷	۴۷	۶۵/۳۱
پلدشت	۰/۰۹۹۵۵	۰/۰۰۹۸	۰/۴۹	۱۴/۶۳	۲۰۳/۳۷	۷۹	۲۶	۱۵/۴۶	۶۴/۰۴
پیرانشهر	۰/۰۴۱۸	۰/۰۱۳۷	۰/۵۷	۱۶/۹۳	۶۳۱/۳۵	۴۷	۲۹	۴۵/۵۰	۶۹/۳۴
داشنبند	۰/۱۱۳۷	۰/۰۰۹۳	۰/۴۵	۱۸/۴۰	۳۸۶/۶۱	۳۴	۴۲	۶۵/۴۶	۶۷/۱۵
رازی	۰/۲۰۹۷	۰/۰۰۶	۰/۳۹	۱۴/۲۱	۳۰۸/۴۰	۵۴	۳۱	۳۹/۹۳	۵۷/۹۶
ساریقمیش	۰/۱۱۷۹	۰/۰۰۹۱	۰/۴۵	۱۸/۹۰	۳۵۴/۵۲	۳۴	۴۰	۵۵/۴۶	۶۷/۰۳
سلماس	۰/۰۷۵۹	۰/۰۱۰۹	۰/۵۳	۱۷/۲۳	۲۴۸/۰۲	۴۲	۳۷	۴۹/۰۱	۶۷/۱۶
سیاه‌چشمه	۰/۱۳۴۱	۰/۰۰۸۷	۰/۴۲	۱۳/۱۸	۳۳۸/۳۲	۶۵	۲۸	۶۰/۴۴	۶۴/۸۹
شاهین دژ	۰/۰۷۹۹۹	۰/۰۱۰۸	۰/۵	۱۸/۴۳	۲۸۸/۶۳	۴۳	۳۲	۴۹/۴۴	۶۷/۸۴
قره باغ	۰/۱۲۳۳	۰/۰۰۹۱	۰/۴۲	۱۸/۷۰	۳۰۹/۰۴	۳۱	۳۱	۵۲/۴۳	۶۵/۲۶
قلعه جوق	۰/۰۸۲۸	۰/۰۱۰۷	۰/۵۱	۱/۴۰۹	۳۳۹/۱۶	۷۹	۲۵	۱۲/۴۷	۶۵/۳۹
کمپ ارومیه	۰/۰۹۳۶	۰/۰۱۰۱	۰/۴۹	۱۷/۰۹	۳۶۴/۶۵	۴۹	۲۵	۸۵/۴۷	۶۷/۰۴
کمپ مهاباد	۰/۰۵۳۹	۰/۰۱۲۴	۰/۵۶	۱۷/۴۲	۳۴۹/۸۱	۵۶	۲۶	۲۶/۵۰	۶۸/۲۹
مراکند	۰/۱۰۵۹	۰/۰۰۹۷	۰/۴۵	۱۵/۷۲	۲۵۰/۶۶	۴۷	۲۸	۰۳/۴۵	۶۴/۱۴
مرز سرو	۰/۱۲۰۰	۰/۰۰۹۱	۰/۴۵	۱۵/۹۷	۳۵۳/۰۵	۴۳	۲۷	۲۲/۴۷	۶۷/۷۴
موش آباد	۰/۱۲۰۰	۰/۰۰۹۰	۰/۴۵	۱۸/۱۶	۲۳۳/۸۷	۳۴	۳۰	۵۴/۴۷	۶۸/۱۵
نقده	۰/۱۲۳۴	۰/۰۰۸۹	۰/۴۴	۱۶/۴۱	۳۲۹/۰۴	۳۶	۳۰	۰۳/۴۷	۶۶/۸۶
چهریق علیا	۰/۱۱۲۴	۰/۰۰۹۳	۰/۴۶	۱۴/۳۹	۳۴۱/۷۴	۶۱	۳۱	۱۴/۴۶	۶۵/۱۸
گلمانخانه	۰/۰۵۶۰	۰/۰۱۲۳	۰/۵۶	۱۹/۲۳	۲۳۶/۸۰	۲۵	۳۰	۶۱/۴۰	۶۲/۷۳

شاخص تمرکز بارندگی روزانه (CI) در مقیاس فصلی

نتایج شاخص تمرکز بارندگی روزانه در سطح استان آذربایجان غربی در فصل بهار در شکل (۲) نشان می‌دهد که در هیچ کدام

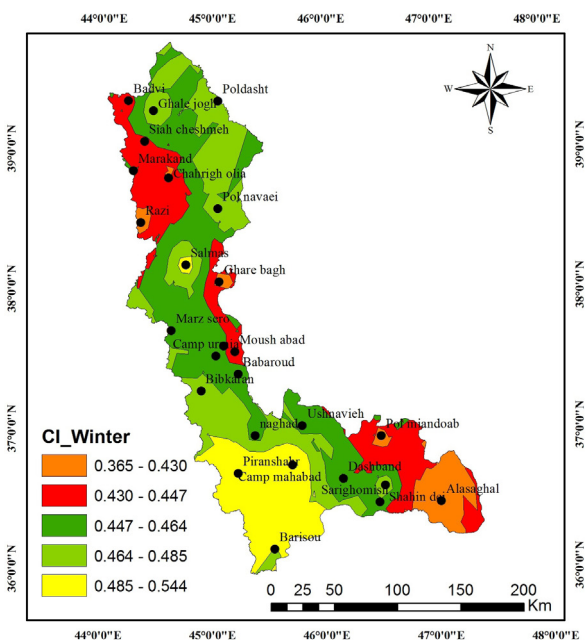
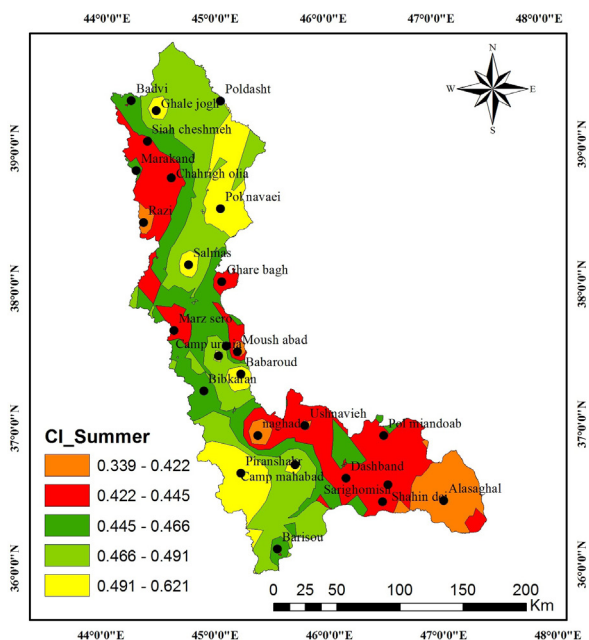
از ایستگاه‌ها شاخص تمرکز $CI > 0.61$ مشاهده نشده است که در ایستگاه‌های آلاسقل و ساریقمیش در جنوب شرق و در ایستگاه‌های رازی، سیاه‌چشمه، و بدوی تمرکز بارندگی روزانه یکنواخت‌تر و در

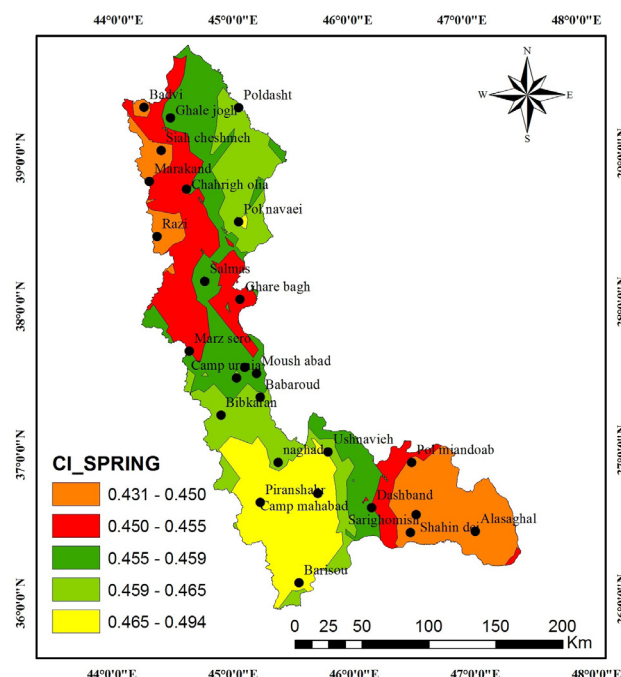
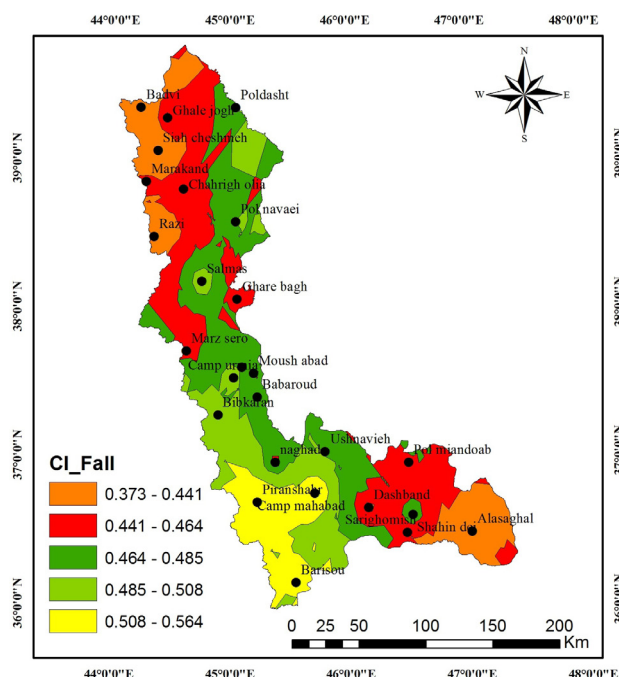


شکل ۲: نقشه‌های پهنه‌بندی شده‌ی شاخص CI و PCI در مقیاس سالانه

آلاسقل، نقده، موش‌آباد و رازی و بیش‌ترین مقدار این شاخص در دو فصل پاییز و تابستان در قسمت‌های جنوب استان خصوصا در پیرانشهر و کمپ مهاباد مشاهده شد.

ایستگاه‌های کمپ مهاباد و پیرانشهر تمرکز بارندگی دارای بی‌نظمی بیش‌تر و در بقیه ایستگاه‌ها ۰/۴۰ تا ۰/۵۵ بوده است و در فصل زمستان ایستگاه آلاسقل دارای کم‌ترین مقدار (۰/۳۵) و قسمت‌های از شمال و جنوب استان خصوصا کمپ مهاباد و پیرانشهر از بی‌نظمی بیش‌تری برخوردار بوده است. کم‌ترین مقدار شاخص تمرکز در فصل پاییز در آلاسقل، رازی و سیاه‌چشمه و در فصل تابستان در



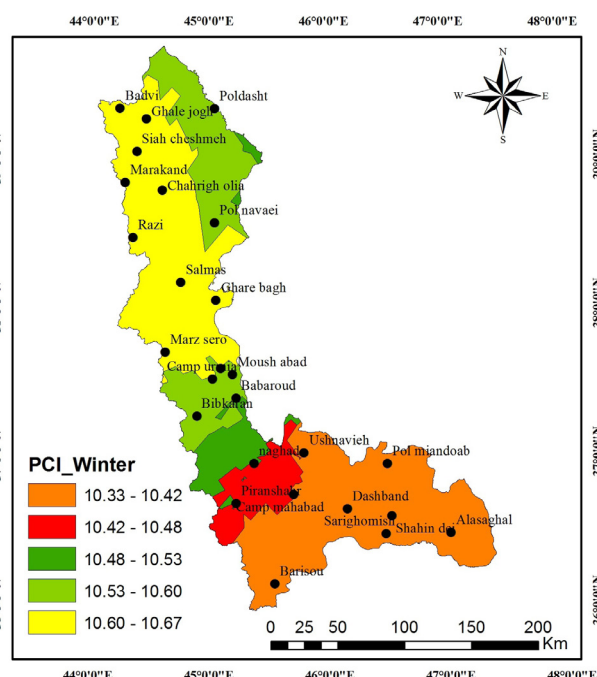
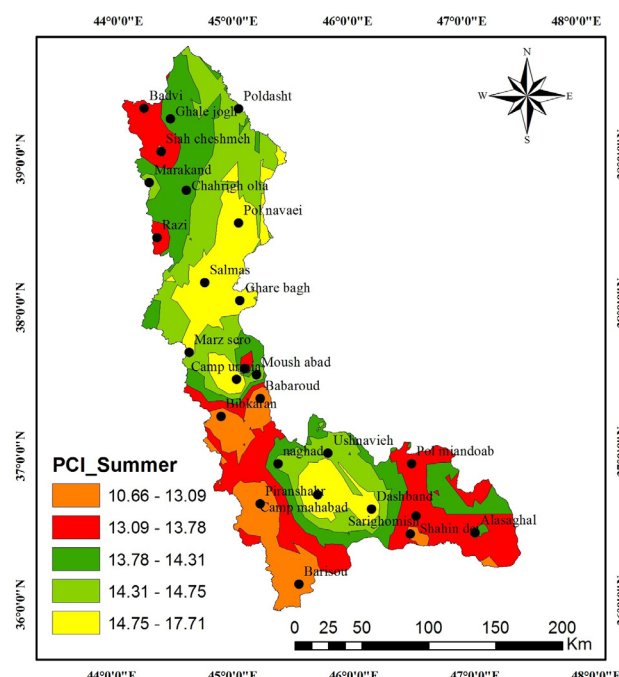


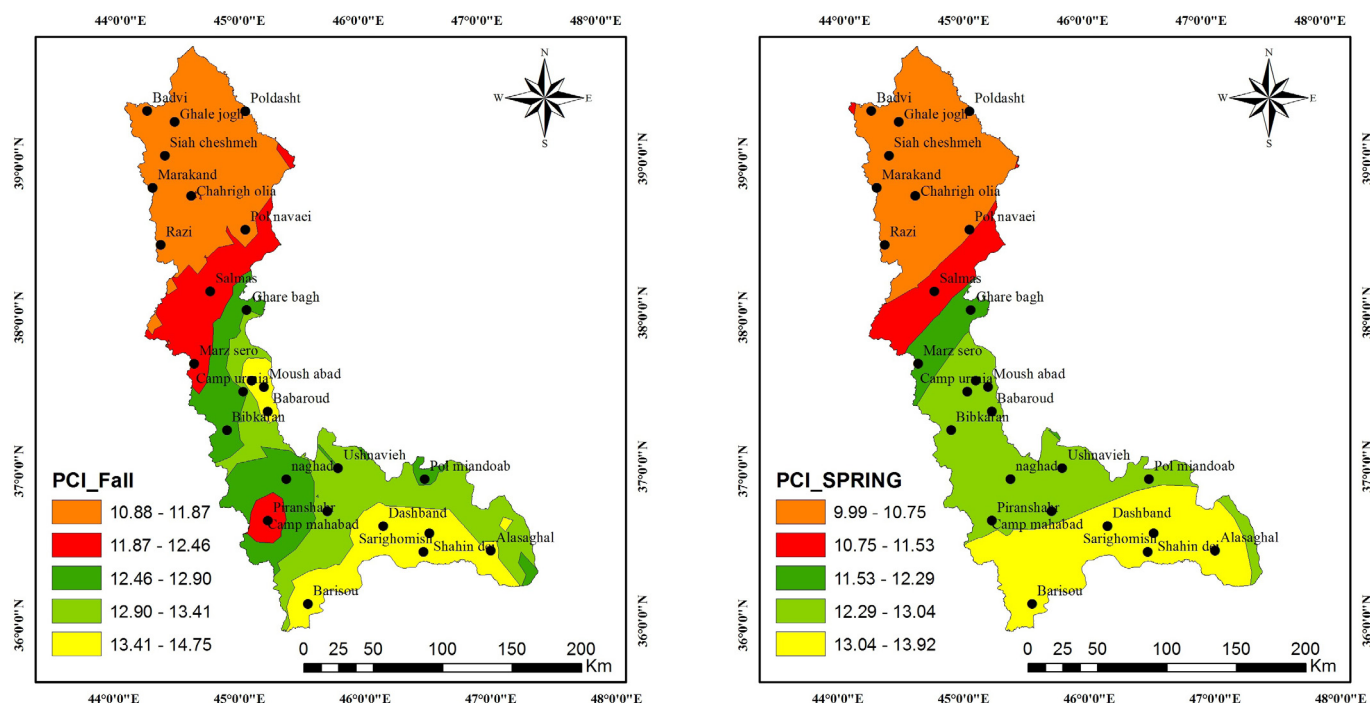
شکل ۳: نقشه‌های پهنه‌بندی شده‌ی شاخص CI در مقیاس فصلی

ایستگاه‌های مورد مطالعه است. در فصل پاییز قسمت‌های شمال از پراکنش بهتری نسبت به جنوب و جنوب شرقی برخوردار است و اما در فصل زمستان قسمت‌های جنوبی استان نسبت به شمال و مرکز استان از توزیع بارندگی یکنواخت‌تر و بهتر برخوردار است و در فصل تابستان به غیر از ایستگاه‌های بریسو، بابارود، پیرانشهر و گل‌مانخانه سایر ایستگاه‌ها در سطح حوزه از پراکنش بارندگی مناسبی برخوردار نبوده‌اند.

شاخص تمرکز بارندگی ماهانه (PCI) در مقیاس فصلی

بر اساس نقشه پهنه‌بندی شاخص تمرکز بارندگی ماهانه PCI در فصل بهار که در شکل (۳) نشان داده شده است که، بخش عمده‌ای از مساحت استان در محدوده ۱۲ تا ۱۵ و ۱۰ تا ۱۲ است و فقط ایستگاه‌های محدودی مانند پلدشت، قلعه‌جوق و بدوی در شمال استان و چهریق علیا و رازی دارای پراکنش بارندگی بهتری است که شاهین‌دژ و ساریقمیش دارای بدترین پراکنش باران نسبت به سایر



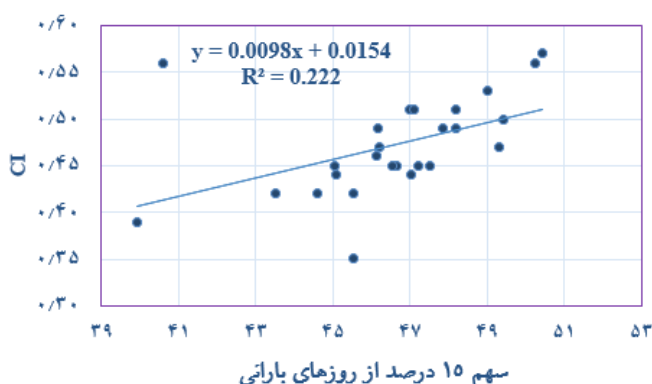
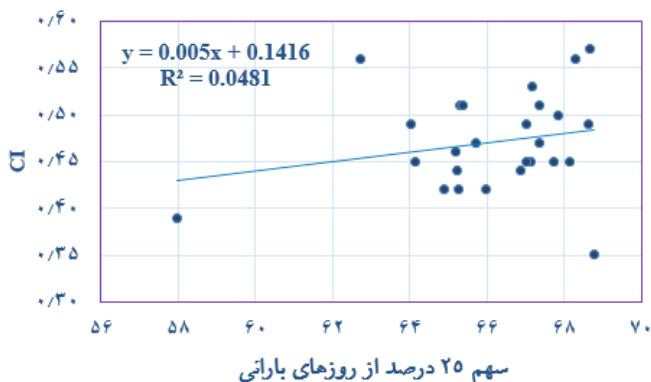


شکل ۴: نقشه‌های پهنه‌بندی شده‌ی شاخص PCI در مقیاس فصلی

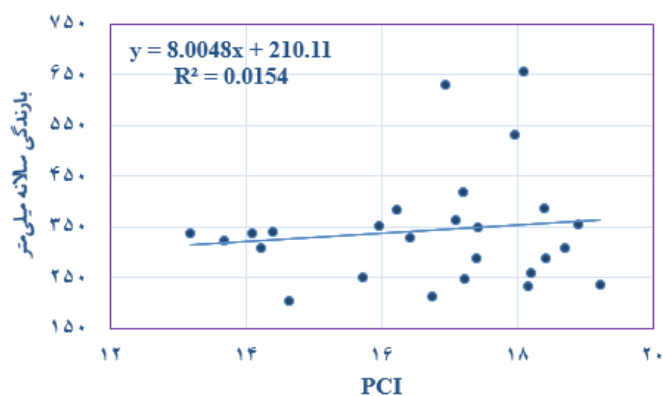
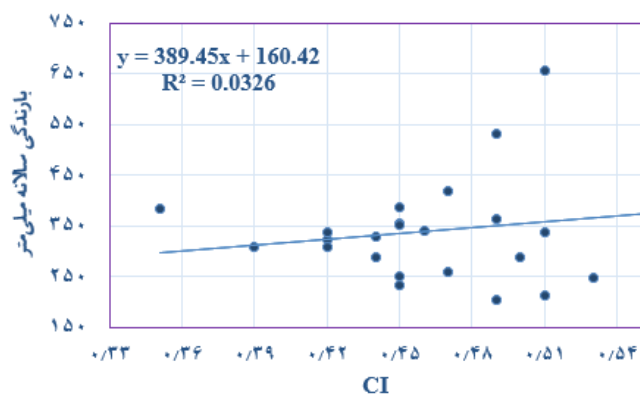
بارانی در منطقه مورد مطالعه را توجیه کرد که با نتایج پانگشی و همکاران [۲۱]، تطابق دارد.

با توجه به نتایج شکل (۶) که ارتباط بین بارندگی سالانه و شاخص‌های PCI و CI در مقیاس سالانه را نشان می‌دهد بین بارندگی سالانه و شاخص PCI و CI در سطح حوزه با توجه به ضریب تعیین پایین نمی‌توان ارتباط خاصی را متصور شود که با نتایج نظر نژاد و همکاران [۱۸]، مبنی بر این‌که شاخص تمرکز بارندگی از نظر آماری فاقد ارتباط معنی‌داری با مقدار بارش در استان آذربایجان غربی است، تطابق دارد.

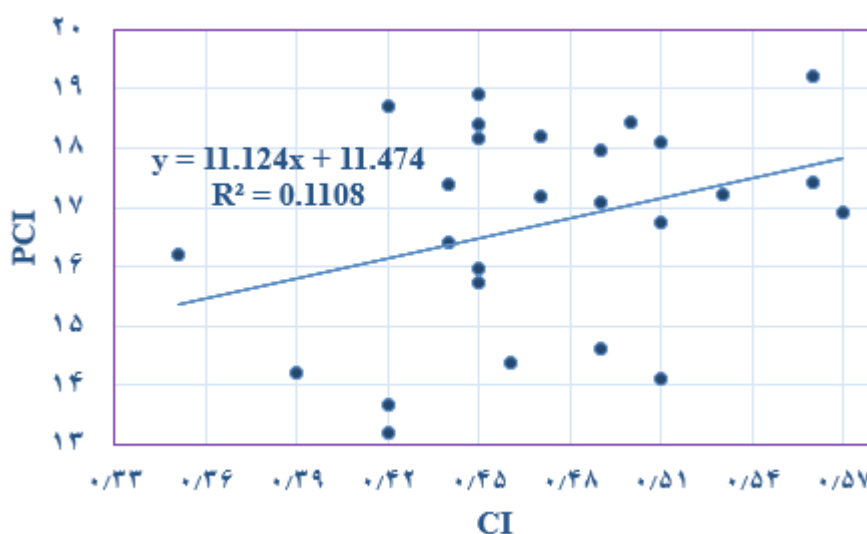
شکل (۵) ارتباط بین شاخص تمرکز بارندگی سالانه و سهم بارندگی که در ۲۵ و ۱۵ درصد از کل روزهای بارانی اتفاق افتاده است را نشان می‌دهد که هر چه مقدار بارانی که در ۱۵ درصد از روزهای بارانی رخ داده است افزایش یابد، مقدار CI نسبت به مقدار بارانی که در ۲۵ درصد از روزهای بارانی رخ می‌دهد بیش‌تر افزایش می‌یابد، لذا در ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی تغییرات سالانه مقادیر CI در طی سال‌های ۱۳۵۶-۱۳۹۷ با درصد بارش‌های سالانه که طی ۱۵ درصد از روزهای بارانی رخ می‌دهد بیش‌تر ارتباط دارد و می‌توان ناهمگنی روزانه بارندگی در طول یک‌سال را با درصد بارندگی ۱۵ درصد از روزهای



شکل ۵: ارتباط بین شاخص CI و سهم ۲۵ و ۱۵ درصد از روزهای بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی استان آذربایجان غربی



شکل ۶: ارتباط بین بارندگی سالانه و شاخص‌های CI و PCI در مقیاس سالانه در ایستگاه‌های باران‌سنجی استان آذربایجان غربی



شکل ۷: ارتباط بین شاخص CI و PCI در مقیاس سالانه در ایستگاه‌های باران‌سنجی استان آذربایجان غربی

است. در این پژوهش تمرکز بارندگی در مقیاس روزانه و ماهانه در ۲۶ ایستگاه باران‌سنجی استان آذربایجان غربی مورد بررسی قرار گرفت. از شاخص تمرکز بارندگی (PCI) برای ارزیابی فصلی بارش و از شاخص تمرکز (CI) به منظور بررسی تاثیرمقادیر مختلف بارش‌های روزانه و بررسی سهم مقادیر مختلف بارش اتفاق افتاده نسبت به کل بارش صورت گرفته، در طول رخداد بارندگی استفاده شد. که شاخص CI به علت استفاده از داده‌های بارندگی روزانه و تعداد روزهای بارندگی و همچنین مشخص نمودن درصد بارندگی و درصد روزهای بارانی هر طبقه بارندگی، شاخص بهتری نسبت به شاخص PCI در بررسی تمرکز بارندگی است. بر اساس طبقه‌بندی الیور الگوی تمرکز بارندگی سالانه در سطح استان فصلی بوده، که بیش‌ترین تمرکز بارندگی در شرق، و در جنوب شرقی استان و کم‌ترین مقدار در بدوی، سیاه‌چشمه و رازی در شمال استان بوده، که نشان از پراکنش بهتر بارندگی در ایستگاه‌های شمالی استان آذربایجان غربی است، و به ترتیب در فصل‌های زمستان و بهار نسبت به پاییز و تابستان بارندگی در استان یکنواخت‌تر بوه است و در هیچ یک از

موضوع مهمی دیگری که در ارتباط بین شاخص‌های تمرکز بارندگی حائز اهمیت است، این است که آیا ناهمگنی بارش ماهانه در یک‌سال را می‌توان با ناهمگنی بارش روزانه در منطقه مورد مطالعه توجیه کرد. شکل (۷) ارتباط بین شاخص CI و PCI در مقیاس سالانه در ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه را نشان می‌دهد که با توجه به ضریب تعیین R^2 رابطه‌ی خطی بین مقادیر CI و PCI برای ۲۶ ایستگاه باران‌سنجی، حدود ۱۱ درصد را نشان می‌دهد، که نشان از همبستگی مثبت (غیر معنی‌دار) بین دو شاخص است که شاخص CI متناسب با PCI بوده است، که به عبارتی فصلی بودن در توزیع بارندگی در درجه اول با ناهمگنی بارش روزانه در طول سال در ارتباط است.

نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل تمرکز بارش در طول سال به دلیل تأثیر زیاد آن بر پدیده‌های زیست محیطی مانند سیل، خشکسالی، فرسایش خاک، لغزش زمین، گرفتگی مخازن توسط رسوبات و غیره بسیار مهم

Azərbaycan province. Pajouhesh and Sazandegi, 65: 47-56. (In Persian).

9- Karl, TR. and Easterling, DR. 1999. Climate extremes: selected review and future research directions. *Clim Change*, 42(1): 309-325.

10- Khalili, K., Tahoudi, M.N., Mirabbasi, R. and Ahmadi, F. 2016. Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half century. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 30(4): 1205-1221.

11- Li, X., Jiang, F., Li, L. and Wang, G. 2011. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjian. *International Journal Climatology*, 31: 1679-1693.

12- Luis, MD., Gonzalez-Hidalgo, JC., Brunetti, M. and Longares, L.A. 2011. Precipitation concentration changes in Spain 1946-2005. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(5): 1259-1265.

13- Martin-vide, J. 2004. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in Peninsular Spain. *International Journal of Climatology*, 24: 959-971.

14- Mishra, Ashok. and Singh, Vijay P. 2010. A review of drought concepts, *Journal of Hydrology*, vol 391: 202-216.

15- Monjo, R.R. 2016. Measure of rainfall time structure using the dimensionless n-index. *Climate Research*, 67(1): 71-86.

16- Mostafazadeh, R., Vafakhah, M. and Zabihi, M. 2016. Analysis of Monthly Wet and Dry Spell Occurrence by using Power Laws in Golestan Province, Iran, *Eco Hydrology*, 2(4): 429-433. (In Persian).

17- Mostafazadeh, R., Zabihi, M. and Adhami, M. 2017. Spatial and temporal analysis of monthly precipitation variations in Golestan Province using fractal dimension, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 9(1): 34-45. (In Persian).

18- Nazarnejad, H., Shahhossein, T. and Asad zadeh, F. 2018. Spatial and temporal variations of rain erosion in West Azerbaijan Province. *Geography And Sustainability of Environmental*, 27(8): 89-99. (In Persian).

19- Oliver, JE. 1980. "Monthly precipitation distribution: a comparative index". *The Professional Geographer*, 32(3): 300-309.

20- Patel, N.R. and Shete, D.T. 2015. Analyzing Precipitation Using Concentration Indices for North Gujarat Agro Climatic Zone, India. *International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE 2015)*, Aquatic Procedia, 4: 917-924.

21- Peng, Sh., Xueyuan, Q., Xi, Ch., Mi, Zh. Z., Simin, Qu., Xinxin, Ma. and Zhicai, Zh. 2013. Spatial distribution and temporal trends in daily and monthly precipitation concentration indices in the upper reaches of the Huai River, China. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 28(2): 201-202

22- Ramazani, Y., sivaki, A. and Nazeritahrodi, M. 2017. Investigation of time distribution of daily precipitation of Lake Urmia basin using density index. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 22(5): 163-177. (In Persian).

23- Randall, D. A., Wood, R. A., Bony, S., Colman, R., Fichet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J., Stouffer, R.J., Sumi, A., and Taylor, K. E.: *Climate Models and Their Evaluation*, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment

ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی تمرکز بارندگی یکنواخت ($PCI < 10$) یافت نشد. نتایج بررسی شاخص تمرکز (CI) نشان داد که بارندگی روزانه در سطح استان آذربایجان غربی در وضعیت خیلی نامنظم قرار ندارد و کم‌ترین مقدار در آلاسقل در جنوب شرقی استان و بیش‌ترین مقدار در گلخانه و کمپ مهاباد در جنوب استان بوده است و با توجه به این‌که بیش‌تر ایستگاه‌ها در محدوده تمرکز بارش متوسط (0.35 تا 0.50) قرار داشته و در سطح استان آذربایجان غربی شاخص تمرکز روزانه از مقدار 0.61 بیش‌تر نبوده، در نتیجه ایستگاه‌های مورد بررسی شاهد بارش‌های سنگین و با شدت بالای نبوده است. در ایستگاه‌های که شاخص (CI) بیش‌تر از این مقدار باشد می‌توان نتیجه گرفت که در طول دوره‌های شدید بارش نیاز به سازه‌های نگهداری آب است و سپس این مقادیر بارش را می‌توان ذخیره کرد و در طول دوره‌های مورد نیاز می‌توان برای استفاده‌های موثر مورد استفاده قرار بگیرد. به طور کلی، مدیریت آب، کاربری اراضی و برنامه‌ریزی ارضی باید برای برنامه‌ریزی بهتر منابع آبی، کشاورزی، مسیرهای ارتباطی و غیره، تمرکز روزانه بارندگی را در نظر بگیرد.

منابع

1- Adegun, O., Balogun, I. and Adeaga, O. 2012. Precipitation Concentration Changes in Owerri and Enugu. *Hydrology for Disaster Management, Special Publication of the Nigerian Association of Hydrological Sciences*, 391- 383.

2- Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D.B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M. and Vazquez-Aguirre, J.L. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*. 111, D05109.

3- Alijani, B., O'Brien, J. and Yarnal, B. 2008. Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 94: 107- 124.

4- Benhamrouche, A., Bouchet, D., Hamadache, R., Bendahmane, L., Martin-Vide, J. and Teixeira Nery, J. 2015. Spatial distribution of the daily precipitation concentration index in Algeria. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(3): 617-625

5- Cortesi, N., Gonzalez-Hidalgo, J.C., Brunetti, M. and Martin-Vide, J. 2012. Daily precipitation concentration across Europe 1971-2010. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 12: 9. 2799-2810.

6- Domroes, M., Kaviani, M. and Schaefer, D. 1998. An analysis of Regional and Inter-annual Precipitation Variability over Iran using Multivariate Statistical Methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 61: 151-159.

7- General Meteorological Department of West Azerbaijan, *Journal of Applied Science, Meteorology of west Azerbaijan*, 16, winter 2018.

8- Ghavidel Rahimi, Y. 2005. The application of rainfall based criteria in studying of drought and wet years, case study: East

- 26- Vali, M., Shanti Sree, K. and Iyyanki, V.M.K. 2013. "Analysis of precipitation concentration index and rainfall prediction in various agro-climatic zones of Andhra Pradesh, India". International Research Journal of Environment Sciences, 2(5): 53- 61.
- 27- Wang, W., Shao, Q., Peng, S., Zhang, Z., Xing, W., An, G. and Yong, B. 2011. Spatial and temporal characteristics of changes in precipitation during 1957–2007 in the Haihe River basin, China. Stoch Environ Res Risk Assess, 25(7): 881–895.
- Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- 24- Rasouli, A.K., Ostadi, E. and Aziz Zade, M.R. 2019. Spatial distribution concentration index inside the Northwest of Iran, Journal of Geography and Planning, 33(69): 87-103. (In Persian).
- 25- Sarricolea, P.P. and Martin-Vide, J.J. 2014. Spatial analysis of rainfall daily trends and concentration in Chile. Investigaciones Geograficas, 47: 53–66.



Abstract

Spatial Distribution of Daily and Monthly Rainfall Concentration Indicators in Rain Gauge Stations of West Azerbaijan ProvinceA. Mirzayi Hasanlo¹, H. Abghari^{*2} and M. Erfanian²

Received: 2019/12/24 Accepted: 2020/07/25

Rainfall as a meteorological variable is studied in daily, quarterly, monthly and annual time scale, therefore understanding the changes in rainfall over different time periods is important to assess the risk of flooding and water resources management. Occurrence of a high percentage of rainfall in a short rainy day can increase the risk of flooding and soil erosion. Therefore, in this study, the spatial pattern of rainfall concentration was evaluated using daily rainfall concentration index (CI) and monthly rainfall concentration index (PCI) on an annual and seasonal scale in 26 rainfall stations of West Azerbaijan province for 41 years (1397-1356). Then, the zoning map of the concentration index on annual and seasonal scales were prepared using the Co-Kriging method and elevation data. According to the annual CI index, Alasgal station in the southeast of the province and primitive stations, Siah Cheshmeh and Razi in the west of the province had a uniform rainfall concentration, but according to PCI index, the northern and northwestern parts of West Azerbaijan province have more uniform distribution of monthly rainfall than the other study areas. The CIs at other stations had relatively similar values and did not differ much, indicating a positive correlation between the CI and PCI. The results also showed that annual changes in CI values are most associated with the percentage of annual rainfall that occurs during 15% of rainy days. Therefore, the daily heterogeneity of rainfall during a year is related to the best percentage of rainfall of 15% of rainy days in the study area, and the seasonal distribution of rainfall over a year can be justified to some extent by the heterogeneity of daily rainfall.

Keywords: Rainfall, Rainfall concentration index, Lorenz curve, West azerbaijan province

1- MSc Graduated in Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2- Associate Professor in Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran