

تحلیل روند بارندگی و شاخص تمرکز بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه

ایوب میرزایی حسنلو^۱، دکتر هیراد عبقری^{۲*}، دکتر مهدی عرفانیان^۳

چکیده

جغرافیا و توسعه، شماره ۵۹، تابستان ۱۳۹۹
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۰۵
صفحات: ۲۱-۴۰

دریاچه ارومیه، در طی سال‌های اخیر با نوسانات شدید بارندگی مواجه بوده است که رقوم ارتفاعی سطح تراز آب دریاچه ارومیه سیر نزولی پیدا کرده است که برخی از پژوهشگران کاهش بارندگی را یکی از دلایل اصلی آن می‌دانند که به نظر می‌رسد بررسی تغییرات روند بارش‌های ماهانه و سالانه حوضه دریاچه ارومیه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. در این پژوهش بارندگی ماهانه، فصلی، سالانه و همچنین شاخص تمرکز بارش PCI در مقیاس سالانه و فصلی در ایستگاه‌های سینوپتیک (تبریز، ارومیه، تکاب، مهاباد، اهر، سراب، سهند، میانه) در حوضه دریاچه ارومیه از سال (۲۰۱۳-۱۹۸۸) بررسی شد. سپس برای تحلیل روند بارندگی و تحلیل روند شاخص PCI از آزمون من-کندال و شیب-سن و آزمون من-کندال دنباله‌ای برای شناسایی نقاط جهش استفاده شد. نتایج نشان داد، در بین ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه ۷ ایستگاه، براساس آماره آزمون من-کندال روند کاهشی غیرمعنی‌دار و ۲ ایستگاه (تبریز و سراب) دارای روند افزایشی غیرمعنی‌داری است. اکثر ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه روند کاهشی بارندگی ماهانه در ماه‌های (ژانویه، نوامبر، دسامبر) و همچنین در ماه‌های (می، آگوست، سپتامبر) در بیشتر ایستگاه‌ها روند افزایشی مشاهده شده است. براساس آزمون سن-سیل و در سطح اطمینان ۹۵ درصد، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کاهش بارندگی سالانه به ترتیب در ایستگاه مهاباد و ارومیه اتفاق افتاده است و هیچ‌کدام از ایستگاه‌های سینوپتیک دارای توزیع زمانی یکنواخت نبوده ($PCI < 10$) و فقط ایستگاه اهر مقدار بارندگی سالانه، دارای توزیع بارندگی متوسط است. تحلیل روند بارش فصلی نشان داد که در فصل زمستان که تأمین‌کننده بخش زیادی از نیاز آبی دریاچه ارومیه است، بیشتر ایستگاه‌های سینوپتیک دارای روند کاهشی غیرمعنی‌دار هستند.



واژه‌های کلیدی:

تحلیل روند، شاخص PCI، حوضه دریاچه ارومیه.

مقدمه

زیست‌محیطی- اقتصادی از اهمیت شایان توجهی برخوردار است (عساکره و رزمی، ۱۳۹۰: ۹۹). یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های اقلیمی هر منطقه مقدار بارندگی آن است. این مشخصه اقلیمی از بی‌ثبات‌ترین متغیرهای اقلیمی است که بر منابع آب یک منطقه به‌طور جدی تأثیرگذار است (Rezai & Abed, 2010: 41). 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؛ ازجمله این شاخص‌ها می‌توان به شاخص

روند نزولی تراز دریاچه ارومیه طی سال‌های اخیر نگرانی‌های جدی زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی را به دنبال داشته است. یکی از ویژگی‌های ذاتی چرخه اتمسفری، نوسانات در مقدار متغیرهای هواشناسی هر نقطه از زمین است. تغییر رژیم بارش، علاوه بر اثرات قابل توجه زیست‌محیطی، از طریق تغییر در کمیت و کیفیت منابع آب، تأثیر غیرقابل‌انکاری در اقتصاد جامعه دارد؛ از این رو، تحلیل بارش و بررسی نوسانات احتمالی و تاریخ تغییر ناگهانی آن به لحاظ

تأثیرات تغییر اقلیم روی این متغیرها و پیش‌بینی اثر این تغییرات می‌تواند از اهمیت زیادی برخوردار باشد. روش‌های مختلفی برای بررسی وجود روند در سری‌های زمانی وجود دارد (Yue et al, 2002: 259). یکی از روش‌های متداول برای تحلیل سری‌های زمانی هیدرولوژیکی، بررسی وجود یا نبود روند در آن‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری است. اصولاً وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد (Carrthers & Brooks, 1953: 412). تاکنون روش‌های آماری متعددی در جهت تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه شده‌است که این روش‌ها در دو دسته کلی روش‌های پارامتری و غیرپارامتری قابل تقسیم‌بندی هستند که روش‌های غیرپارامتری (من-کندال و سیل-سن) از کاربرد وسیع‌تری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردار هستند و هنگام استفاده از آن‌ها بایستی داده‌ها تصادفی و دارای توزیع نرمال باشد. از طرف دیگر، آزمون‌های غیرپارامتری در صورت تصادفی بودن داده‌ها قابل استفاده‌اند و به نرمال بودن داده‌ها حساس نیستند (Chen et al, 2007:176). حجام و همکاران (۱۳۸۷)، روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه ایران مرکزی را با استفاده از روش‌های ناپارامتری من-کندال و برآوردکننده شیب سن، مطالعه کردند. آن‌ها معتقدند که با توجه به ناکافی بودن تعداد سری‌های دارای روند معنی‌دار نسبت به سری‌های فاقد روند، نمی‌توان روند خاصی را بر بارندگی‌های فصلی و سالانه منطقه مورد مطالعه نسبت داد.

آروین همکاران (۱۳۹۵)، با بررسی روند برخی عناصر اقلیمی در استان چهارمحال و بختیاری، با بررسی نقشه‌های هم‌روند بارش براساس تحلیل‌های ناپارامتری در استان نشان داد که بارش فقط در ماه‌های مارس به‌عنوان پرباران‌ترین ماه در برخی

استاندارد بارش (SPI) و شاخص تراکم بارندگی (PCI) اشاره کرد. شاخص (SPI⁺) از جمله شاخص‌های کاربردی در اکثر مطالعات کاربردی بوده‌است؛ در حالی که شاخص PCI در سال‌های اخیر معرفی و مورد توجه قرار گرفته‌است (Khalili et al, 2015: 1315). شاخص تراکم بارش یک شاخص مناسب از توزیع زمانی باران است که عموماً در مقیاس‌های سالیانه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Vali et al, 2013: 55). افزایش مقدار این ضریب، بدین معنی است که بارش پراکندگی کمی در منطقه داشته‌است. به‌علاوه، شاخص تراکم بارش بخشی از شاخص مشهور فوریه با یک پیشینه قوی در آنالیز سیستم‌ها است (Luis et al, 2011:1261).

نتایج حاصل از محاسبه PCI می‌تواند برای برنامه‌های مدیریتی هیدرولوژیک، منابع آب و محیطی به‌عنوان یک ابزار هشداردهنده برای آمادگی در مواجهه با سیل یا فرسایش مورد استفاده قرار بگیرد (Adegun et al, 2012: 385). همچنین می‌توان از این مفهوم در برنامه‌ریزی‌های آبیاری و طراحی سیستم‌های نوین استفاده کرد. توزیع نامتعادل بارش می‌تواند موجب کاهش عملکرد محصولات زراعی از طریق کاهش ذخیره رطوبت موجود در زمین و افزایش تعداد دوره‌های آبیاری شود. علاوه بر این، توزیع نامتعادل بارندگی به معنی بروز خشکسالی بوده و ممکن است بارشی کمتر از مقدار میانگین منطقه سبب بروز سیلاب‌های خطرناک شود؛ چراکه رطوبت خاک کاهش یافته و در نتیجه پوشش گیاهی از بین می‌رود. در نهایت این امر سبب افزایش تدابیر حفاظتی در حوضه به‌منظور حفظ سازه‌های آبی خواهد شد (Vali et al, 2013: 55). بارندگی و دما از مهم‌ترین پارامترهای اقلیم‌شناسی هستند؛ بنابراین بررسی

من-کندال، سیل-سن و رگرسیون خطی پرداختند و دریافتند که روند بارش سالانه در اکثریت ایستگاه‌ها منفی بوده است و نیز گزارش کردند که روند بارش در فصول بهار و زمستان منفی بوده است. همچنین، نتایج به دست آمده به وسیله روش‌های پارامتری و ناپارامتری بسیار به همدیگر نزدیک بودند و همچنین ذکر کردند که بارش سالانه در بیشتر ایستگاه‌های ایران دارای روند غیرمعنی‌داری است.

شیفته صومعه^۴ و همکاران (۲۰۱۲)، تغییرات بارش ۲۸ ایستگاه سینوپتیک ایران را طی دوره ۱۳۸۵-۱۳۴۶ در ابعاد زمانی و مکانی بررسی کردند. آن‌ها پی بردند که روند بارش سالانه در بیشتر ایستگاه‌های مطالعاتی، کاهش و در سه ایستگاه در شمال غربی ایران، کاهش معنی‌دار است و در سری‌های فصلی، روندهای بارش بهار و زمستان نسبت به فصل تابستان و پاییز در بیشتر مواقع منفی بوده است. آدگان^۵ و همکاران (۲۰۱۲)، شاخص PCI را در دو مقیاس فصلی و سالانه طی بازه ۲۰۱۱-۱۹۷۴ برای دو منطقه در نیجریه محاسبه کردند. نتایج محاسبه PCI برای این منطقه نشان داد که به ترتیب، ۷۱ و ۸۷ درصد از سال‌های مورد بررسی در منطقه اول و دوم در محدوده تمرکز متوسط قرار می‌گیرند. والی^۶ و همکاران (۲۰۱۳)، در بخشی از مطالعه خود، الگوی بارندگی در ایالت آندهرآ پرادش برای بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۱ در دو سطح سالانه و فصلی از شاخص PCI استفاده کردند. نتایج به دست آمده توسط این شاخص، یک توزیع نامنظم بارندگی با محدوده مقادیر ۱۶ تا ۳۵ را حاصل کرد. جین^۷ و همکاران (۲۰۱۳)، در مطالعه‌ای تغییرات بلندمدت بارش و دمای شمال غرب هند را مورد بررسی قرار دادند. این محققان از روش من-کندال در تشخیص روند

نواحی شمالی و جنوبی استان، از روند معنی‌دار کاهشی پیروی می‌کند و به جز در محدوده بسیار کوچکی در ماه اکتبر و مقیاس سالانه، در بقیه ماه‌ها روند مشخص ندارند. عرفانیان و بابایی (۱۳۹۵)، به تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع و بارندگی پنج ایستگاه همدید حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۶ پرداختند. نتایج نشان داد که براساس آزمون SMK در سری بارندگی، ایستگاه‌های خوی و تبریز در سال ۱۹۸۳ دارای نقطه جهش با روند نزولی هستند که این روند در ایستگاه خوی معنی‌دار است. همچنین، نقطه جهش در هیچ‌یک از نمودارهای تبخیر و تعرق معنی‌دار نیست. قادرپور و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی تحلیل روندهای مکانی و زمانی مجموعه‌ای از سری داده‌های بارش با استفاده از آزمون من-کندال و سن-سیل پرداخته که نتایج نشان می‌دهد، بیشتر روندها در مقیاس سالانه و فصلی غیرمعنی‌دارند علیجانی^۱ و همکاران (۲۰۰۸)، 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 شمال غرب کشور بیش‌ترین سهم بارندگی را داشته و در معرض بارندگی‌های شدید قرار دارند. لویس^۲ و همکاران (۲۰۱۱)، مقادیر متوسط سالانه، فصلی و بازه‌های مرطوب و خشک از شاخص تراکم بارش را در مجاورت اسپانیا برای دو دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۷۶ و ۱۹۷۵-۱۹۶۴ مورد مطالعه قرار دادند. تحلیل‌های دو زیر بازه، تغییرات قابل توجه باران اتفاق افتاده در اسپانیا از سال ۱۹۴۶ تا ۲۰۰۵ را نشان داد. طبری و حسین‌زاده طلایی^۳ (۲۰۱۱)، در مطالعه‌ای به بررسی روند بارش ۴۱ ایستگاه در سراسر ایران طی دوره ۱۳۸۴-۱۳۴۵ با استفاده از آزمون‌های

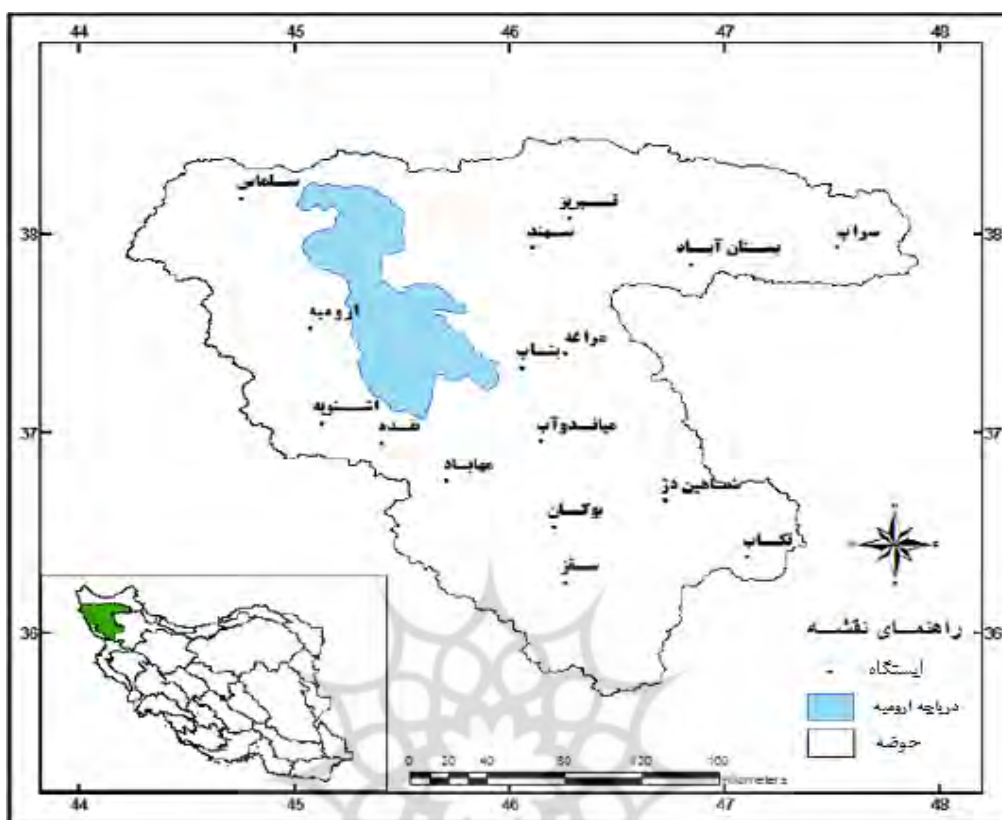
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه دارای مساحت تقریبی ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع است. این حوضه در سه استان آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان واقع شده است که بخشی از مشخصات آن در زیر ارائه می‌شود:

حوضه دریاچه ارومیه مشتمل بر ۶۵ درصد مناطق کوهستانی، ۲۵ درصد کوهپایه و دشت و ۱۰ درصد دریاچه ارومیه است. این حوضه درون‌گراست و رودخانه‌های حوضه مازاد جریانات خود را به دریاچه ارومیه تخلیه می‌کنند. از میان ۲۴ دشت واقع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، ۵ دشت ارومیه، تسوج، آذرشهر، شبستر و شیرامین دارای شرایط بحرانی هستند. همچنین دشت‌های تبریز، عجب‌شیر و سلماس در آستانه بحران قرار دارند. از نظر فرسایش خاک و تولید رسوب حوضه، وضعیت اسفناکی دارد؛ به نحوی که ۵۰ درصد (حدود ۲/۵ هکتار) تحت فرسایش شدید قرار دارد. تغییر کاربری اراضی و توسعه اراضی کشاورزی از مهم‌ترین عوامل افزایش مصرف آب در حوضه دریاچه ارومیه است؛ به نحوی که مجموع اراضی زراعت آبی و باغات ۳۳۵ هزار هکتار در سال ۱۳۵۳ به ۴۶۲ هزار هکتار در سال ۱۳۸۸ افزایش یافته است (نگاه اجمالی به وضعیت دریاچه ارومیه و راهکارهای پیشنهادی علاج بخش آن، وزارت نیرو؛ شرکت مهندسی مشاوران، ۱۳۹۲).

بهره‌برده و در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بارش، در دوره آماری ۱۸۷۱ تا ۲۰۰۸ هیچ‌گونه روند معنی‌داری مشاهده نکردند؛ اما دما در هر سه مقیاس زمانی، روند افزایشی را تجربه کرده بود. چن^۱ و همکاران (۲۰۱۴)، روند تغییرات بارش، دما و رواناب حوضه آبریز یانگ‌تسه چین را در دوره آماری ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۱ با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در مطالعه خود نشان دادند که میانگین دما روندی افزایشی داشته، بارش هیچ‌گونه تغییرات معنی‌داری را تجربه نکرده و رواناب از روندی افزایشی برخوردار بوده است. خلیلی^۲ و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ۳۴ ایستگاه سینوپتیک مرزی ایران در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۶ شاخص تراکم بارش را محاسبه و روند تغییرات آن در دو مقیاس سالانه و فصلی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پهنه‌بندی شاخص موردنظر در مقیاس سالانه نشان داد که پراکندگی بارندگی در دو زیر بازه ۲۵ ساله از الگوی یکسان پیروی می‌کند. همچنین براساس نتایج به‌دست‌آمده، در مناطق مرکزی و جنوبی کشور؛ شامل کرمان، بندرعباس، یزد، زاهدان، شهرکرد، بیرجند، بوشهر، اهواز و اصفهان PCI شاخص نشان‌دهنده وجود بی‌نظمی زیاد و پراکندگی بالا در ریزش‌های جوی بوده و در هیچ‌یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه، تمرکز یکنواخت ($PCI < 10$) در مقیاس سالانه مشاهده نشد. با توجه به بحران کم‌آبی دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر و توجه به اهمیت مقدار بارندگی و پراکنش مقدار بارندگی در هر منطقه در اتخاذ تصمیمات مدیریتی هیدرولوژیک، منابع آب، هدف از این مطالعه، محاسبه بارندگی، شاخص تمرکز بارندگی (PCI) و تحلیل روند آن‌ها در سطح حوضه دریاچه ارومیه است.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی در حوضه دریاچه ارومیه با دوره آماری (۱۹۸۸-۲۰۱۳)

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	ارومیه	۳۷° ۴۰' N	۴۵° ۳' E	۱۳۲۸
۲	تبریز	۳۸° ۰۵' N	۴۷° ۷۰' E	۱۳۶۱
۳	تکاب	۳۶° ۲۳' N	۴۶° ۱۷' E	۱۷۶۳
۴	مهاباد	۳۶° ۴۵' N	۴۵° ۴۳' E	۱۶۴۱
۵	اهر	۳۸° ۲۶' N	۴۷° ۴' E	۱۳۹۰
۶	سراب	۳۷° ۵۶' N	۴۷° ۳۲' E	۱۶۸۲
۷	سهند	۳۷° ۵۶' N	۴۶° ۷' E	۱۶۴۱
۸	میانه	۳۷° ۲۷' N	۴۷° ۴۲' E	۱۱۱۰

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

دوره آماری ۲۶ ساله به منظور بررسی تراکم بارش انتخاب شد. جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد

در این پژوهش از بین ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در حوضه دریاچه ارومیه، ۸ ایستگاه سینوپتیک دارای

مطالعه و شکل ۱، موقعیت این ایستگاه‌ها را در سطح حوضه دریاچه ارومیه نشان می‌دهد.

شاخص تمرکز بارندگی^۱

شاخص PCI (Oliver, 1980) به‌عنوان شاخصی برای مشخص کردن جنبه توزیع زمان بارندگی در طول سال مورد استفاده قرار گرفته می‌شود. این شاخص امکان طبقه‌بندی داده‌های بارش براساس فصلی بودن یا نبودن را فراهم می‌کند. شاخص PCI از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

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

PI مقدار بارش ماه I و p نیز میزان کل بارش سالانه است. براساس فرمول پیشنهادی، کمینه مقدار نظری، PCI ۸/۳ بوده که یکنواختی کامل در توزیع بارندگی را در هر فصل نشان می‌دهد (به این معنی است که مقدار یکسان بارندگی در هر یک از ماه‌های فصل اتفاق می‌افتد). مقدار ۱۶/۷ برای PCI نشان می‌دهد که کل بارندگی در ۱/۲ از بازه زمانی تمرکز یافته‌است و مقدار ۲۵ برای این شاخص، نشان‌دهنده این امر است که کل بارندگی در ۱/۳ بازه زمانی رخ داده‌است. براساس این دسته‌بندی، الیور (۱۹۸۰)، پیشنهاد کرد که مقادیر PCI کم‌تر از ۱۰، یک توزیع یکنواخت از بارندگی (تمرکز کم بارندگی) را نشان می‌دهد. مقادیر PCI از ۱۱ تا ۱۵، تمرکز متوسط بارندگی و مقادیر ۱۶ تا ۲۰ این شاخص نیز توزیع نامنظم بارندگی باشند. مقادیر بالای ۲۰ این شاخص نیز یک بی‌نظمی زیاد از توزیع بارندگی (تمرکز زیاد باران) را نشان می‌دهد (لویس و همکاران، ۲۰۱۱). شاخص PCI فاکتور تأثیرگذار در پدیده فرسایش و بیابان‌زایی است.

بارش‌های سنگین، ظرفیت انتقال رسوب را افزایش می‌دهد و بنابراین به‌طور مستقیم و اثرگذار پایداری اکوسیستم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌ویژه وقتی با عوامل دیگر (چرای بیش‌ازحد، تغییر کاربری اراضی، و غیره) همراه شود (De Luis et al, 2000: 287).

جدول ۲: طبقه‌بندی شاخص تمرکز بارندگی PCI

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

مأخذ: Oliver, 1980

تحلیل روند سری‌های زمانی

هدف از آزمون روند این است که وجود یا نبود سیر صعودی یا نزولی در سری داده‌ها مشخص شود. با توجه به اینکه در روش‌های پارامتری فرضیاتی نظیر نرمال بودن، ایستایی و مستقل بودن متغیرها وجود داشته و این فرضیات اغلب برای متغیرهای هیدرولوژیکی اعتبار ندارد؛ از روش ناپارامتری من-کندال که کاربرد بیشتری در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی دارد، می‌توان استفاده کرد. در ضمن روش‌های ناپارامتری در جهت بررسی روند نسبت به روش‌های پارامتری حساسیت کمتری به مقادیر حدی دارند. همچنین آزمون ناپارامتری را می‌توان برای سری زمانی داده‌ها، بدون در نظر گرفتن خطی یا غیرخطی بودن روند به کار برد (Abghari et al, 2013:53).

آزمون من-کندال^۲

به‌منظور تشخیص روند در سری‌های زمانی متغیرهای آب‌وهواشناسی از آزمون‌ها مختلفی استفاده می‌شود که این آزمون‌ها به دو دسته پارامتری و غیرپارامتری قابل تفکیک می‌شوند. آزمون‌های پارامتری

امین گروه و Z مقدار آماره آزمون من-کندال است. در صورت مثبت بودن آماره Z ، روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. اگر قدر مطلق آماره Z در سطح معنی‌داری 0.05 بزرگ‌تر از $1/96$ باشد، در این صورت فرض صفر رد شده و درحقیقت روند وجود داشته و معنی‌دار است. مقدار منفی آماره Z نشان‌دهنده روند کاهشی و مقدار مثبت Z نشان‌دهنده روند افزایشی است (سبزی‌پور و شادمانی، ۱۳۹۰: ۱۲۶).

آزمون من-کندال دنباله‌ای^۱

در بررسی زمان شروع روند از آزمون من-کندال دنباله‌ای استفاده شد. معادله آن به صورت زیر است:

$$U(T) = \frac{T_j - E(T)}{\sqrt{\text{Var}(T_j)}} \quad (7)$$

$U(T)$ عبارت است از متغیر استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار یک. $E(t)$ میانگین $\text{Var}(T_j)$ واریانس آماره آزمون است (دودانگه و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۱۸). $U'(T)$ نیز همانند $U(T)$ محاسبه می‌شود. با این تفاوت که سری داده‌ها معکوس می‌شود. اگر دنباله $U(T)$ ، $U(T)$ به صورت نموداری ترسیم شود، در صورتی که دو نمودار در خارج از $1/96$ و $-1/96$ همدیگر را قطع کنند، روند معنی‌دار خواهد بود که به آن نقطه جهش گفته می‌شود؛ در صورتی که $U(T) > 1/96$ آنگاه روند افزایشی و در $U(T) < -1/96$ روند نزولی است. برای $-1/96 < U(T) < 1/96$ نمی‌توان روند معنی‌داری تصور کرد.

روش سن - سیل^۲

یک شاخص بسیار مفید در آزمون من-کندال، شیب SEN است که بزرگی روند یکنواخت را نشان می‌دهد.

نسبت به آزمون‌های غیرپارامتری توان بیشتری در تشخیص روند دارا هستند و هنگام استفاده از آن‌ها بایستی داده‌ها تصادفی مستقل و دارای توزیع نرمال باشند. از طرف دیگر، آزمون‌های غیرپارامتری در صورت تصادفی بودن داده‌ها قابل استفاده‌اند و به نرمال بودن داده‌ها حساس نیستند (Chen H et al, 2007: 408). روابط مربوط برای تعیین مقادیر آماره من-کندال به صورت زیر است:

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک داده‌های بارندگی با یکدیگر و شاخص PCI در ایستگاه‌های سینوپتیک ارومیه، تبریز، سهند، سراب، میانه، اهر، تکاب، مهاباد، دارای آمار ۲۶ ساله طی دوره (۲۰۱۳-۱۹۸۸) و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S که از رابطه ۲ به دست می‌آید.

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (x_j - x_i) = 0 \\ 1 & \text{اگر } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{var}(s) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (4)$$

$$\text{VAR}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (5)$$

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{اگر } s > 0 \\ 0 & \text{اگر } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{اگر } s < 0 \end{cases} \quad (6)$$

که در روابط فوق N تعداد داده مشاهده‌ای (طول دوره آماری)، XI و XJ به ترتیب I امین و J امین داده مشاهده‌ای و Q تعداد گروه‌های ایجاد شده (با داده‌های برابر و بیشتر از دو عضو)، TP تعداد داده‌های برابر در

بی بعد از I است. با اعمال این رابطه برای هر جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده به دست می‌آید که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند β حاصل می‌آید. مقدار مثبت β حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن نشان‌دهنده نزولی بودن روند است.

نتایج

- تحلیل روند بارندگی

با توجه به جدول (۳)، بیشترین ضریب تغییرات بارندگی سالیانه مربوط به ایستگاه ارومیه و کمترین ضریب تغییرات بارندگی سالیانه مربوط به ایستگاه تبریز است.

این آزمون از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی هیدرولوژیکی بهره می‌گیرد. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و نبود روند در سری داده‌های هیدرولوژیکی دلالت دارد. پذیرش فرض یک یا به عبارت دیگر رد فرض صفر، دال بر وجود روند در سری زمانی داده‌های هیدرولوژیکی است. اساس محاسبه این روش بر محاسبه یک شیب میانی برای سری زمانی و قضاوت کردن در مورد معنی داری شیب به دست آمده در سطوح اطمینان مختلف است (SEN, 1968 & Theil, 1956).

$$\beta = \left[\frac{X_i - X_j}{I - J} \right] \quad j > i \quad (8)$$

که در این رابطه، X_i و X_j به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان I و J بوده و I یک واحد زمانی

جدول ۳: مشخصات آماری بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه (۱۹۸۸-۲۰۱۳)

ایستگاه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	بارندگی سالانه	ضریب تغییرات
ارومیه	۶۸/۶۶	۱۳۹/۱۶	۱۸/۷۰	۶۸/۶۶	۳۰۶/۴۰	۰/۳۱۵
تکاب	۸۹/۵۸	۱۲۳/۶۸	۱۸/۶۹	۵۵/۲۱	۲۸۷/۱۴	۰/۲۵۵
مهاباد	۱۳۵/۵۱	۱۶۳/۴۴	۸/۹۱	۸۸/۱۰	۳۹۸/۹۷	۰/۲۶۳
اهر	۵۶/۷۶	۱۲۸/۳۳	۳۵/۴۲	۶۴/۹۷	۲۸۵/۴۸	۰/۱۸۷
تبریز	۵۶/۱	۱۱۵/۸	۲/۵	۴۸/۹	۲۴۱/۲	۰/۰۸۹
سراب	۴۱/۷۶	۱۱۴/۶۹	۷۰/۶۹	۴۹/۲۵	۲۴۳/۳۱	۰/۲۰۰
سهند	۵۳/۹	۱۱۱/۶	۵۰/۵	۴۶/۷	۲۲۸/۴	۰/۳۰۲
میانه	۸۷/۷۲	۱۱۹/۷۵	۵۰/۷۸	۵۴/۴۲	۲۰۸/۳۳	۰/۲۶۰

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

جدول ۴: مقادیر آماره Z آزمون من-کنندال داده‌های بارندگی فصلی و سالانه در سطح اطمینان ۹۵٪

ایستگاه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
تکاب	+۱/۵۷	+۰/۰۶۲	+۰/۰۰۳	-۰/۲۸۶	-۰/۰۹۵
مهاباد	-۰/۰۱۵	-۰/۰۶۲	-۰/۰۶۵	-۰/۳۰۵	-۰/۱۸۸
اهر	+۰/۰۰۳	+۰/۰۲۸	-۰/۱۰۸	-۰/۱۳۲	-۰/۱۰۲
تبریز	+۰/۰۴۰	+۰/۰۰۹	-۰/۱۲۶	+۰/۰۵۸	+۰/۰۱۵
سراب	+۰/۱۲۶	+۰/۰۰۹	+۰/۰۱۲	-۰/۱۲۰	+۰/۰۵۵
سهند	-۰/۱۳۸	+۰/۰۲۷	-۰/۲۳۶	-۰/۲۶۱	-۰/۲۹۸
میانه	+۰/۱۴۴	+۰/۰۴۹	-۰/۰۴۶	-۰/۴۲۷	-۰/۱۵۷
ارومیه	+۰/۰۴۹	+۰/۰۳۱	+۰/۰۴۰	-۰/۲۱۸	-۰/۰۲۸

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

جدول ۵: مقادیر β آزمون سین-سیل داده‌های بارندگی فصلی و سالانه در سطح اطمینان ۹۵٪

ایستگاه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
تکاب	+۱/۰۰۱	+۰/۱۷	+۰/۲۱۱	-۲/۰۲۳	-۰/۵۸۵
مهاباد	-۰/۲۶	-۰/۰۸	-۰/۹۴	-۲/۲۶۳	-۳/۲۶۴
اهر	+۰/۰۰۶	+۰/۰۱۶	-۰/۷۶۳	-۰/۴۸۷	-۰/۸۶۰
تبریز	+۰/۳۵۲	+۰/۰۲۳	-۰/۵۴۳	+۰/۴۲۴	+۰/۲۳۱
سراب	+۱/۱۲۲	+۰/۰۲۲	+۰/۲۰۲	-۰/۲۱۳	+۰/۶۹۱
سهند	-۰/۸۳۲	-۰/۸۳۳	-۱/۲۶	-۰/۹۶۶	-۲/۱۱۳
میانه	+۰/۸۸۷	+۰/۱۰۰	-۰/۳۶۶	-۲/۵۳	-۱/۴۴۳
ارومیه	+۰/۴۹۸	+۰/۰۰۷	+۰/۴	-۱/۲	-۰/۲۷۰

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

ایستگاه مهاباد و ارومیه با شیب تغییرات (-۳/۳۶۴) و (-۰/۲۷۰) است. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه فقط ایستگاه‌های تبریز و سراب روند افزایش بارش بارندگی سالانه با شیب تغییرات، به ترتیب (+۰/۲۳۱) و (+۰/۶۹۱) نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبوده‌است.

با توجه به نتایج جداول (۴) و (۵) و آزمون من-کندال از ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه ۷ ایستگاه روند کاهش بارش سالانه را نشان می‌دهند و فقط ۲ ایستگاه سراب و تبریز روند افزایشی داشته‌اند. براساس نتایج به‌دست‌آمده از روش سن-سیل، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کاهش بارندگی سالانه به ترتیب در

جدول ۶: مقادیر آماره Z آزمون من-کندال بارندگی ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه در سطح اطمینان ۹۵٪

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
تکاب	-۰/۲۰۰	-۰/۰۶۲	-۰/۲۹۵	+۰/۰۲۵	+۰/۲۳۴	+۰/۰۴۶	-۰/۰۰۳	+۰/۰۴۳	-۰/۰۸۰	-۰/۱۳۶	+۰/۱۲۶	-۰/۰۵۵
مهاباد	-۰/۲۲۸	-۰/۱۳۸	-۰/۱۹۴	-۰/۰۷۱	+۰/۱۹۴	-۰/۱۳۴	-۰/۰۱۸	-۰/۰۲۲	+۰/۱۵۹	-۰/۰۴۰	-۰/۰۰۹	-۰/۲۸۶
اهر	-۰/۰۴۶	+۰/۱۸۸	-۰/۳۰۵	+۰/۱۵۷	+۰/۰۳۸	+۰/۰۸۳	-۰/۰۵۲	-۰/۰۰۹	+۰/۰۴۱	-۰/۲۱۲	+۰/۰۶۵	-۰/۰۷۱
تبریز	+۰/۰۰۳	+۰/۲۰۶	-۰/۱۰۶	+۰/۱۰۸	+۰/۰۴۶	-۰/۰۸۰	+۰/۰۲۵	-۰/۰۴۲	+۰/۲۳۷	-۰/۰۰۹	-۰/۰۲۸	-۰/۱۶۹
سراب	-۰/۱۲۷	+۰/۱۹۸	-۰/۳۱۷	+۰/۱۸۸	۰	+۰/۰۳۴	+۰/۰۰۹	+۰/۱۲۸	+۰/۱۲۶	-۰/۰۱۲	+۰/۰۰۲	+۰/۱۳۸
سهند	-۰/۱۹۷	-۰/۰۲۲	-۰/۴۱۵	-۰/۰۰۳	-۰/۲۱۶	+۰/۰۰۹	-۰/۰۴۴	+۰/۰۰۶	+۰/۳۰۶	+۰/۱۶۶	-۰/۰۷۷	-۰/۱۱۴
میانه	-۰/۲۶۲	-۰/۰۲۵	-۰/۴۱۵	-۰/۰۳۷	+۰/۲۵۹	+۰/۱۵۱	+۰/۰۳۰	+۰/۰۷۲	+۰/۰۴۱	-۰/۰۹۹	+۰/۰۹۲	-۰/۰۹۲
ارومیه	-۰/۰۵۵	-۰/۲۳۷	-۰/۱۶۳	-۰/۰۳۱	+۰/۰۶۲	+۰/۰۱۵	-۰/۰۹۸	+۰/۰۴۰	+۰/۱۴۱	-۰/۰۰۶	+۰/۱۱۱	-۰/۱۳۸

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

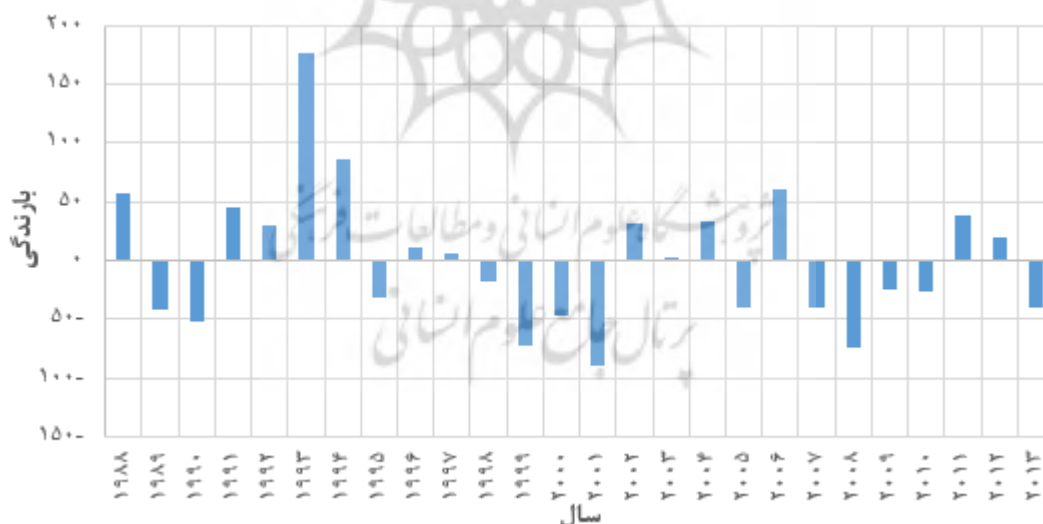
جدول ۷: مقادیر β سن-سیل بارندگی ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه در سطح اطمینان ۹۵٪

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
تکاب	-۱/۷۵	-۰/۶۷۲	-۰/۶۶۹	+۰/۱۱۸	+۰/۲	+۰/۰۰۲	۰	۰	۰	۰	+۰/۵۹۱	+۰/۵۲۱
مهاباد	-۰/۸۶	-۰/۵۲۶	-۱/۰۴۲	-۰/۴۳	+۰/۸۷۸	-۰/۰۲۵	۰	۰	۰	-۰/۱۷۷	-۱/۰۹	-۱
اهر	-۰/۰۹۱	+۰/۴۳۷	-۰/۷۸۳	+۰/۴۷۹	+۰/۲۲	-۰/۳۰۴	+۰/۰۱۶	۰	+۰/۰۰۶	-۰/۵۰۹	+۰/۱۹	-۰/۱۴
تبریز	+۰/۰۰۹	+۰/۴۹۳	-۰/۵۴۲	+۰/۵۱۶	-۰/۲۳۵	-۰/۱۳۱	+۰/۰۰۶	۰	+۰/۰۳۶	-۰/۰۳۳	-۰/۰۳۲	-۰/۴۳۳
سراب	-۰/۱۹۴	+۰/۲۶	-۰/۵	+۱/۱۵۲	+۰/۵۰۱	+۰/۰۵۳	۰	+۰/۰۶	+۰/۰۱۷	-۰/۰۲۹	+۰/۰۴۴	+۰/۲
سهند	-۰/۳۸۳	-۰/۰۴	-۰/۹۹۸	+۰/۰۱۱	-۰/۸۲۲	+۰/۰۰۱	-۰/۰۱۸	۰	+۰/۰۲۶	-۰/۳۲۲	-۰/۳۶۱	-۰/۳۱۳
میانه	-۰/۸۴۷	-۰/۰۵	-۱/۶۵۸	-۰/۱۴۶	+۰/۸۳۸	+۰/۱۷۴	۰	۰	۰	-۰/۴۲۳	+۰/۶۴۳	-۰/۴۵۷
ارومیه	-۰/۱۷۵	-۰/۶۵۷	-۰/۶۶۹	+۱/۸۱	+۰/۰۲	+۰/۰۲۰	۰	۰	۰	۰	+۰/۵۹۱	+۰/۵۲۱

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

همخوانی داشته‌است؛ همچنین در ماه‌های می، آگوست و سپتامبر بیشتر ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی بارندگی ماهانه بوده‌اند. هرچند که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبوده‌است. بر این اساس بیش‌ترین مقدار روند افزایشی مطابق با آزمون سن-سیل در ایستگاه سراب در ماه آوریل (۱/۱۵۲) در سطح اطمینان ۵ درصد و کم‌ترین روند مقدار نزولی در بارش ماهانه (۱/۶۵۸)، در ماه می و ایستگاه میانه بوده‌است؛ همچنین بیش‌ترین روند افزایشی بارندگی سالانه در ایستگاه سراب و کم‌ترین مقدار روند نزولی در ایستگاه مهاباد بوده که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده‌است. در عین حال وجود روند افزایشی معنی‌دار مطابق با دو آزمون من-کندال و سیل-سن در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها در مقیاس سالانه، ماهانه و فصلی مشاهده نشده‌است.

جداول ۷ و ۶ به ترتیب نتایج آماره آزمون سن-سیل و من-کندال بارندگی ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه در سطح اطمینان ۵ درصد در بازه زمانی (۱۹۸۸-۲۰۱۳) را نشان می‌دهد که هیچ‌کدام از ایستگاه‌های مورد بررسی معنی‌دار نبوده‌اند و در عین حال آزمون من-کندال روند افزایشی در ماه‌های (می، ژوئن، نوامبر) در ایستگاه تکاب (می، سپتامبر) در ایستگاه مهاباد و در ایستگاه اهر و سهند بیشتر ماه‌های سال روند کاهشی در بارندگی ماهانه مشاهده شد. در ایستگاه سراب فقط در سه ماه (اکتبر، ژانویه و مارس) روند کاهشی مشاهده شده و مابقی ماه‌ها روند افزایشی داشته‌اند. در ایستگاه‌های سینوپتیک دریاچه ارومیه ماه‌های دسامبر ژانویه و فوریه که فصل زمستان است، بیشتر ایستگاه‌ها در این ماه‌ها روند کاهشی بارندگی داشته‌اند که با نتایج جدول (۴)



شکل ۲: تفاوت بارندگی سالانه ایستگاه‌ها با میانگین بلندمدت بارندگی حوضه دریاچه ارومیه (۱۹۸۸-۲۰۱۳)

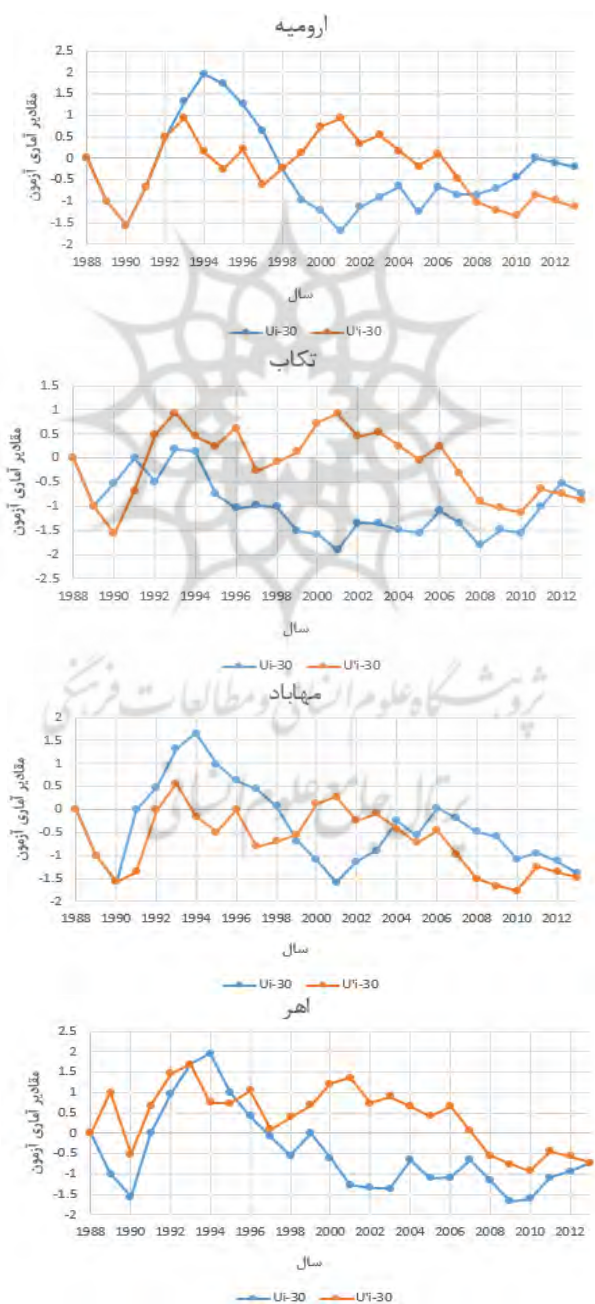
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

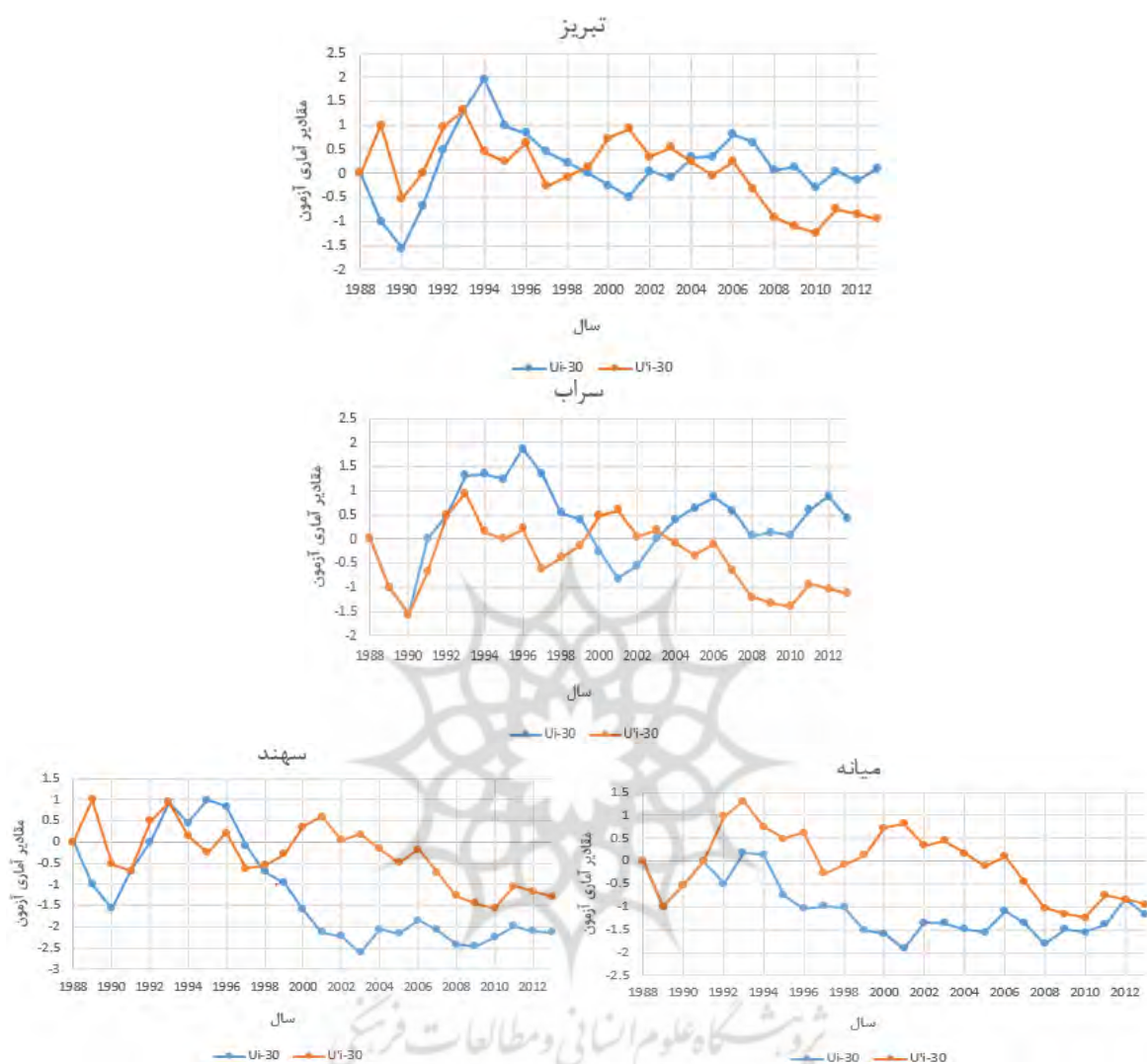
مقادیر بارش سالانه کم شد. شکل (۲) ارزیابی نتایج حاصل از رسم نمودار تغییرات بارش سالانه نسبت به میانگین بلندمدت نشان داد که در طول دوره آماری مورد مطالعه ۱۴ سال مقدار بارش سالانه کمتر از میانگین بارش بلندمدت بوده‌است. همچنین شدیدترین

برای تعیین میزان تغییرات بارش در طول دوره آماری در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، نمودار تغییرات بارش متوسط سالانه در طول دوره آماری (۲۰۱۳-۱۹۸۸) ترسیم شد. برای تعیین سال‌های ترسالی و خشکسالی مقدار میانگین درازمدت (۲۷۳/۶۱) از

داده‌است. طولانی‌ترین دوره خشکسالی در دوره زمانی مورد مطالعه در بازه ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۲ در حوضه دریاچه رخ داده‌است. بیش از ۳۶ درصد از سال‌های خشک در این دوره مشاهده شد و بیش‌ترین مقدار بارندگی در سال ۱۹۹۳ و کم‌ترین مقدار آن در سال ۲۰۰۱ رخ داده‌است.

خشکسالی به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ در مناطق اطراف حوضه دریاچه ارومیه رخ داده‌است و همچنین در طول دوره آماری ۱۲ سال مقدار بارش سالانه بیشتر از میانگین بارش بلندمدت بوده‌است و بیش‌ترین ترسالی‌ها به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۳، ۱۹۹۴، ۲۰۰۶ در حوضه دریاچه ارومیه رخ





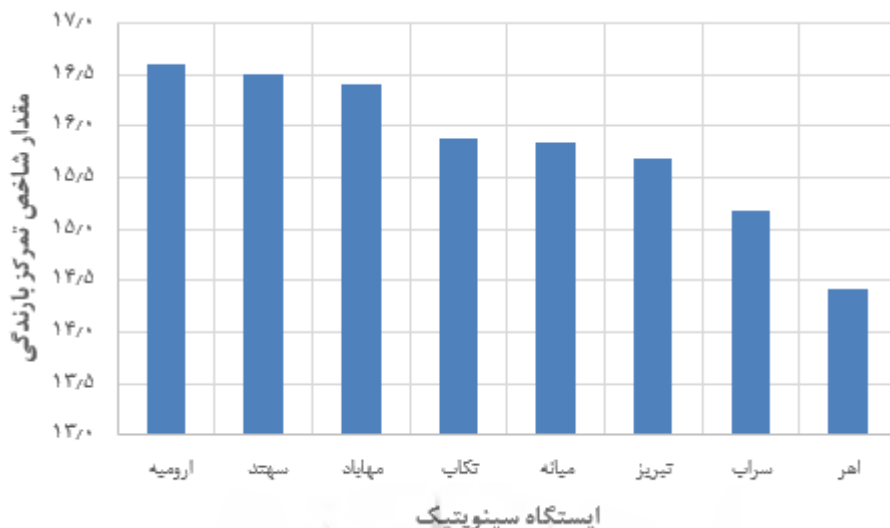
شکل ۳: نمودارهای $U(T)$ و $U(T)$ برای سری زمانی بارندگی سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

جهش معنی‌دار نزولی دیده‌می‌شود. با توجه به شکل (۷) چون خطوط $U(T)$, $U(T)$ در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در محدوده $+1/96$ و $-1/96$ - همدیگر را قطع کرده‌اند؛ بنابراین در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه تغییر جهش وجود دارد. به دلیل اینکه این منحنی‌ها خارج از محدوده هیچ برخوردی با هم ندارند، یا به‌طور کلی از این محدوده خارج نشده‌اند؛ بنابراین بارندگی در این ایستگاه‌ها فاقد روند معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

شکل (۳) بررسی رفتار تغییرات مولفه‌های $U(T)$, $U(T)$ مربوط به سری زمانی بارندگی سالانه نشان داد، وجود روند افزایشی در هیچ‌یک از ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه از خط $U(T)$ از $-1/96$ و $+1/96$ خارج نشده‌است. در ایستگاه سینوپتیک تبریز در سال ۲۰۰۴ یک جهش معنی‌دار افزایش دیده‌می‌شود. در ایستگاه سهند یک جهش معنی‌دار نزولی در سال ۱۹۹۸ دیده‌می‌شود. همچنین ایستگاه سینوپتیک سراب در سال ۲۰۰۳ یک جهش معنی‌دار افزایش و در ایستگاه سینوپتیک ارومیه در سال ۲۰۰۸ یک

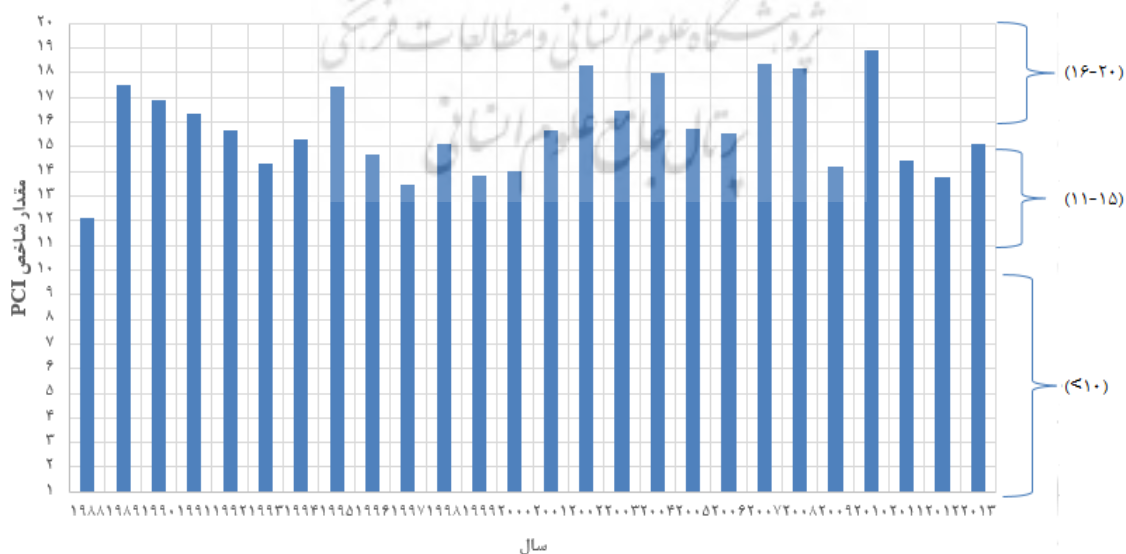
- تحلیل روند شاخص تمرکز بارندگی PCI



شکل ۴: میانگین سالانه شاخص PCI در ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

مهاباد دارای توزیع نامنظم بارندگی هستند و ایستگاه سینوپتیک ارومیه دارای بیشترین بی‌نظمی در بین ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه است و در بین ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها دارای توزیع بارندگی یکنواخت نبوده‌است.

با توجه به شکل (۴) مشاهده می‌شود که شاخص تمرکز بارندگی در شهرستان اهر کمتر از ۱۵ و دارای تمرکز بارندگی متوسط بوده و همچنین ایستگاه‌های سینوپتیک سراب، تبریز، تکاب و میانه به ترتیب پراکنش بارندگی آن‌ها افزایش یافته‌است و سهند و

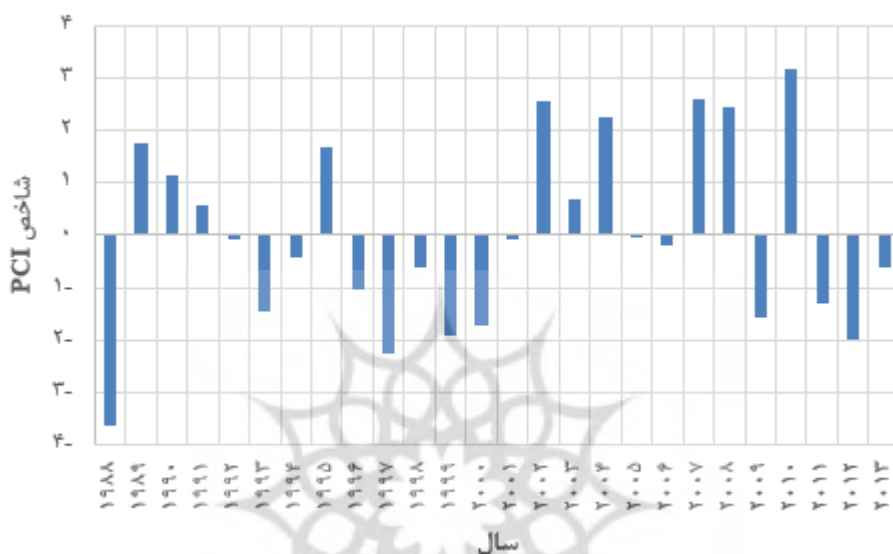


شکل ۵: مقدار PCI سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

بارش سالانه دارای پراکنش نامنظم بوده و بیشترین تمرکز بارندگی یکنواخت در بین سال‌های (۲۰۰۱-۱۹۶۶) بوده و همچنین سال ۱۹۸۸ شاهد کمترین مقدار شاخص PCI بوده است.

با توجه به شاخص تمرکز بارندگی سالانه در شکل (۵)، در هیچ‌یک از سال‌های دوره زمانی مورد مطالعه، بارندگی یکنواخت مشاهده نشده است و در ۴۴ درصد از سال‌های مورد مطالعه مقدار تمرکز بارندگی سالانه متوسط (۱۵-۱۱) بوده و ۵۴ درصد مابقی سال‌ها



شکل ۶: تفاوت PCI سالانه با متوسط بلندمدت PCI در ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه (۱۹۸۸-۲۰۱۳)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

که در سال ۱۹۸۸ شاخص PCI کمترین مقدار (۱۲/۰۶) و بارندگی پراکنش یکنواخت‌تری داشته است؛ همچنین در سال ۲۰۰۲ دارای بیشترین مقدار PCI (۱۸/۸۴) که بیان‌کننده بی‌نظمی زیاد در پراکنش بارندگی بوده است و طولانی‌ترین دوره‌ای که بارندگی دارای پراکنش یکنواخت‌تری بوده است، در بازه زمانی ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۱ و طولانی‌ترین دوره‌ای که بارندگی از بی‌نظمی بیشتری برخوردار بوده است، در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ بوده است.

برای تعیین تغییرات شاخص PCI سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه، نمودار تغییرات شاخص PCI سالانه (افزایشی یا کاهش) ترسیم شد. بدین منظور، مقدار میانگین درازمدت ۲۶ ساله (۱۵/۸۲) از مقدار میانگین PCI سالانه هر ایستگاه کسر شد. شکل (۶) ارزیابی نتایج حاصل از رسم نمودار تغییرات PCI سالانه نسبت به میانگین بلندمدت نشان می‌دهد که در ۲۶ سال مورد مطالعه، ۱۵ سال آن شاخص PCI سالانه کمتر از (۱۵/۸۲) بوده و ۱۱ سال مابقی PCI بیشتر از (۱۵/۸۲) بوده است که نشان‌دهنده این است

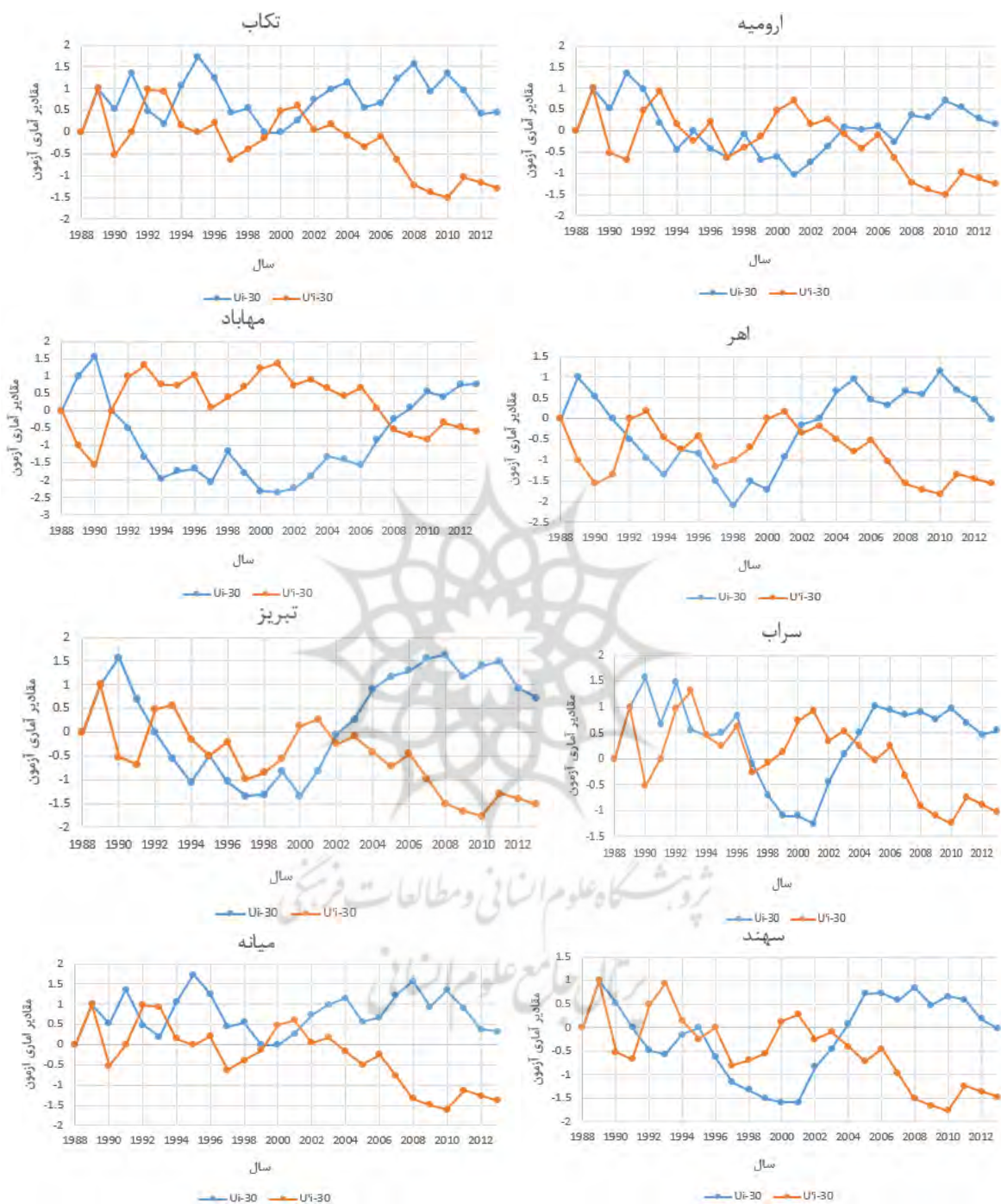
جدول ۸: بررسی روند شاخص PCI سالانه و فصلی ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه در سطح اطمینان ۹۵٪

ایستگاه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه
ارومیه	+۰/۰۳۱	-۰/۰۵۲	+۰/۰۰۶	-۰/۰۸۹	+۰/۰۲۸
نکاب	+۰/۱۰۲	-۰/۰۲۸	+۰/۰۴۴	+۰/۰۷۱	+۰/۰۷۱
مهاباد	+۰/۰۵۸	-۰/۱۶۹	+۰/۲۰۸	+۰/۳۴۲	+۰/۱۱۴
اهر	-۰/۰۱۵	+۰/۱۲۶	+۰/۱۰۸	+۰/۰۴۰	+۰/۰۰۳
تبریز	+۰/۰۴۶	+۰/۰۰۳	-۰/۱۲۰	-۰/۰۳۴	+۰/۰۱۵
سراب	-۰/۱۲۶	-۰/۰۴۰	-۰/۰۷۱	+۰/۰۰۳	+۰/۰۷۷
سهند	+۰/۱۵۱	-۰/۱۳۸	-۰/۱۹۲	-۰/۰۲۸	+۰/۰۰۹
میانه	+۰/۰۵۶	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۶	+۰/۲۸	+۰/۵۲

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

در فصل تابستان نیمی از ایستگاه‌های سینوپتیک روند افزایش و مابقی ایستگاه‌ها روند کاهشی غیرمعنی‌داری در روند تغییرات شاخص PCI داشته‌اند و هم‌چنان در فصل زمستان دو ایستگاه اهر و سراب، روند کاهشی و مابقی ایستگاه‌ها روند افزایشی غیرمعنی‌داری در روند تغییرات شاخص PCI داشته‌اند که نشان‌دهنده افزایش بی‌نظمی بارندگی در فصل زمستان در ایستگاه‌های سینوپتیک است. همچنین در فصل بهار دو ایستگاه اهر و تبریز، دارای روند افزایشی در تغییرات شاخص PCI داشته‌اند و در فصل پاییز سه ایستگاه روند کاهش و مابقی، روند افزایشی غیرمعنی‌داری را تجربه کرده‌اند.

با توجه به جدول (۸) می‌توان مشاهده کرد که همه ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه در مقیاس سالانه، روند افزایشی غیرمعنی‌داری در شاخص تمرکز بارندگی داشته‌اند که به معنی افزایش بی‌نظمی بارندگی سالانه در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه است و ایستگاه سینوپتیک مهاباد در طول دوره مورد مطالعه دارای بیش‌ترین مقدار بارندگی (۳۹۸/۹۷) بوده است و با توجه به روند تغییرات شاخص PCI در این ایستگاه (۰/۱۱۴) می‌توان مشاهده کرد که دارای بیش‌ترین مقدار بی‌نظمی بارندگی سالانه بوده است. ایستگاه سینوپتیک اهر روند تغییرات شاخص PCI آن دارای کم‌ترین مقدار بی‌نظمی پراکنش بارندگی (۰/۰۰۳) بوده است.



شکل ۷: نمودارهای $U(T)$ و $\hat{U}(T)$ برای سری زمانی PCI سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه

تهیه و ترسیم: نگارنگان، ۱۳۹۷

نشده‌است. در ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز و اهر در سال ۲۰۰۲ که معادل سال ۱۳۸۱ است، یک جهش معنی‌دار کاهش رخ داده‌است؛ همچنین ایستگاه تکاب و میانه در سال ۲۰۰۲ یک جهش معنی‌دار افزایش

بررسی رفتار تغییرات مؤلفه‌های $U(T)$, $\hat{U}(T)$ مربوط به سری زمانی شاخص PCI سالانه نشان داد، وجود روند افزایشی در هیچ‌یک از ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه $U(T)$ از خط $-1/96$ و $+1/96$ خارج

دریاچه ارومیه، ۱۰ ایستگاه از ۲۱ ایستگاه استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان روند کاهشی داشتند و ایستگاه ارومیه روند کاهشی معنی‌دار داشته‌است؛ ولی ایستگاه‌های تبریز و اهر هیچ‌گونه روند معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) نداشته‌اند. در همین خصوص میرعباسی و دین‌پژوه (۱۳۹۱) نشان دادند که در ارومیه، تبریز، اهر و مراغه روند کاهشی معنی‌دار حاکم است؛ در حالی که در این پژوهش صورت‌گرفته ایستگاه تبریز روند صعودی و غیرمعنی‌داری (در سطح ۵ درصد) داشته‌است که به‌نظر می‌رسد عدم تطابق دقیق نتایج به‌علت تفاوت در دوره آماری موجود یا روش مورد مطالعه است. همچنین با تحلیل بارندگی ماهانه مشاهده شد، در اکثر ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه، بارندگی ماهانه در ماه‌های (ژانویه، نوامبر، دسامبر) روند کاهشی و در ماه‌های (می، آگوست، سپتامبر) در بیش‌تر ایستگاه‌ها روند افزایشی مشاهده شده‌است که با نتایج قنبرلو (۱۳۹۱)، تحلیل روند بارندگی ۳۰ ساله براساس تئوری موجک که در مقیاس ماهانه ۵۴/۵ درصد ایستگاه‌ها دارای روند نزولی است، همخوانی دارد. نتایج به‌دست‌آمده از آزمون من-کندال دنباله‌ای مبین این است که بارندگی ماهانه در ارومیه و سهند دارای جهش نزولی و در تبریز و سراب دارای جهش صعودی در مقدار بارندگی سالانه است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از روش سن-سیل، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کاهش بارندگی سالانه به‌ترتیب در ایستگاه‌های مهاباد و ارومیه با شیب تغییرات (۳/۳۶۴-) و (۰/۲۷۰+) است و فقط ایستگاه‌های تبریز و سراب روند افزایشی بارندگی سالانه داشته و هیچ‌کدام از ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه دارای توزیع بارندگی یکنواختی نبوده و فقط شهرستان اهر دارای توزیع بارندگی متوسط بوده‌است؛ همچنین میانگین شاخص تمرکز بارش، (۱۵/۸۲) بوده و الگوی بارش به‌صورت فصلی بوده، که با نتایج پژوهش خلیلی و همکاران (۱۳۹۵) که با بررسی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور در دوره آماری ۵۰ ساله نشان دادند

داشته‌است و ایستگاه‌های سراب و ارومیه در سال ۲۰۰۴ که معادل سال ۱۳۸۳ یک جهش معنی‌دار افزایش داشته‌اند. ایستگاه مهاباد در سال ۲۰۰۸ یک جهش معنی‌دار کاهشی داشته و ایستگاه سهند در سال ۲۰۰۴ یک جهش معنی‌دار کاهشی داشته‌است.

نتیجه

پژوهش حاضر با هدف تجزیه و تحلیل بارندگی و شاخص تمرکز بارش PCI و تحلیل روند آن‌ها در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه با استفاده از آزمون من-کندال، شیب-سن و آزمون من-کندال دنباله‌ای در ۸ ایستگاه سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۲۶ ساله (۲۰۱۳-۱۹۸۸) صورت پذیرفت. با انجام روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند بر روی سری‌های زمانی بارش‌های فصلی و سالانه مشاهده شد که با توجه به اینکه در اکثر ایستگاه‌های سینوپتیک روند کاهشی در بارش سالانه مشاهده شده، اما هیچ‌کدام از این روندهای کاهشی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نبوده و ایستگاه تبریز و سراب روند افزایشی داشته‌است و همین دو ایستگاه در فصل بهار و زمستان که بارندگی بیشتری صورت می‌گیرد، روند افزایش داشته؛ ولی در مقیاس سالانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبوده‌است که با نتایج عرفانیان و بابایی (۱۳۹۵) که بیان کردند نتایج حاصل از اعمال آزمون من-کندال بر بارندگی سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه نشان از وجود یک روند کاهشی است که همه ایستگاه‌ها به‌جز مهاباد در فصل تابستان دارای روند افزایشی است، تطابق دارد. ناظری تهرودی و همکاران (۱۳۹۵)، نیز روند تغییرات ایستگاهی و منطقه‌ای بارش سالانه ۳۱ استان ایران را در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰ مطالعه کرده و نشان دادند که در سه استان آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان، روند کاهشی معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) وجود دارد؛ در حالی که بانان فردوسی و دین‌پژوه (۱۳۹۷) در پژوهش خود نشان دادند که در حوضه

- خلیلی، کیوان؛ محمد ناظری تهرودی؛ رسول میرعباسی نجفآبادی؛ فرشاد احمدی (۱۳۹۵). بررسی تمرکز زمانی و روند بارش زمستانی ایستگاه‌های مرزی ایران طی نیم قرن اخیر، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ۳۰، شماره ۴، صفحات ۱۳۲۱-۱۳۰۹.

[DOI: 10.22067/jsw.v30i4.45639](https://doi.org/10.22067/jsw.v30i4.45639)

- دودانگه، اسماعیل؛ سعید سلطانی؛ علی سرحدی (۱۳۹۰). بررسی روند مقادیر حدی جریان (جریان حداقل و سیل) در حوضه آبخیز سد سفیدرود علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره ۱۵، شماره ۵۸، صفحات ۲۲۹-۲۱۵.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=159828>

- سبزی پرور، علی اکبر؛ مجتبی شادمانی (۱۳۹۰). تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران. نشریه آب و خاک، دوره ۴، شماره ۲۵، صفحات ۸۳۴-۸۲۳.

<https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.10242>

- عرفانیان، مهدی؛ سحر بابایی حصار (۱۳۹۵). تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع و بارندگی در تعدادی از ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه آبریز دریاچه ارومیه. مجله پژوهش آب ایران، دوره ۱۰، شماره ۱، صفحات ۱۶۲-۱۵۳.

- عساکره، حسین؛ رباب رزمی (۱۳۹۰). تغییر رژیم بارش شمال غرب ایران، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره ۲، شماره (۷ و ۸) صفحات ۱۱۴-۹۹.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=195179>

- قادرپور، محسن؛ هیراد عبقری؛ حسین طبری (۱۳۹۵). ارزیابی روند مکانی بارش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۴۸، شماره ۴، صفحات ۶۴۳-۶۲۷.

[10.22059/jphgr.2016.60833](https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.60833)

که در مقیاس سالانه بخش بزرگی از جنوب و شرق کشور دارای الگوی بارش بسیار نامنظم است و در نقشه تهیه شده توسط ایشان محدوده حوضه دریاچه ارومیه دارای الگوی بارشی فصلی و نسبتاً فصلی است و همچنین با نتایج نظرزاد و همکاران (۱۳۹۷)، مبنی بر اینکه میانگین مقدار شاخص تمرکز بارندگی ۱۶/۶۶ و توزیع بارندگی به صورت فصلی بوده است، تطابق دارد. با توجه به اینکه این شاخص تغییرات پراکنش بارندگی در سطح منطقه را نشان می‌دهد؛ بنابراین اطلاعات به دست آمده از این شاخص در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

منابع

- آروین، عباسعلی؛ عبدالعظیم قانقرمه؛ داور حاجی‌پور؛ مهران حیدری (۱۳۹۵). بررسی روند تغییرات برخی عناصر اقلیمی در استان چهارمحال و بختیاری، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۶، شماره ۴۱، صفحات ۱۷۶-۱۵۳.

https://jgs.khu.ac.ir/browse.php?a_id=2658&sid=1&slc_lang=fa

- بانان فردسی، فاطمه؛ یعقوب دین‌پژوه (۱۳۹۷). تحلیل نوسانات بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه SMK در دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۵، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره ۲۲، شماره ۳، صفحات ۲۱۱-۱۹۷.

https://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?a_id=3538&sid=1&slc_lang=fa

- حجام، سهراب؛ یونس خوشخو؛ رضا شمس‌الدین وندی (۱۳۸۷). تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوضه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری. پژوهش‌های جغرافیایی، جلد ۴۰، شماره ۶۴، صفحات ۱۶۸-۱۵۷.

https://journals.ut.ac.ir/article_26912.html

- قنبرلو، زهرا (۱۳۹۱). تحلیل روند و پیش‌بینی بارندگی و دبی حوضه آبخیز دریاچه ارومیه با استفاده از تئوری موجک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه. صفحه ۸۶.

- میرعباسی، رسول؛ یعقوب دین‌پژوه (۱۳۹۱). تحلیل روند تغییرات بارش‌های شمال‌غرب ایران در نیم قرن گذشته، مجله علوم و مهندسی آبیاری. دوره ۳۵. شماره ۴. صفحات ۷۳-۵۹.

http://jise.scu.ac.ir/article_10799.html



- Brooks, C.E.P., & Carrthers, N (1953). Handbook of statistical methods in meteorology. H.M.S.O. London. 412 pp.
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/qj.49707934226>
- Chen, H., Guo, S., Xu, C.Y., & Singh, V.P (2007). Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff Hydrology, 344, PP.171-184.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.517.9135&rep=rep1&type=pdf>
- Chen, J., Wub, X., Finlayson, B., Webber, M., Wei, T., & Li, M (2014). Variability and trend in the hydrology of the Yangtze River, China: Annual precipitation and runoff. Journal of Hydrology 513, PP.403-412.
- De Luis, M., Raventos, J., Gonzalez-Hidalgo, J.C., Sanchez, J.R., & Cortina, J (2000). Spatial analysis of rainfall trends: a cause of study in Valencia region (Spain). International journal of climatology, 20, PP.1451-1469.
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1097-0088%28200010%2920%3A12%3C1451%3A%3AAID-JOC547%3E3.0.CO%3B2-0>
- Jain, S.K., Kumar, V., & Saharia, M (2013). Analysis of rainfall and temperature trends in northeast India. International Journal of Climatology, 33, PP.968- 978.
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.3483>
- Khalili, K., Nazeri Tahrudi, M., Mirabbasi, R., & Ahmadi, F (2015). "Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half century". Journal of Water and Soil, Vol. 30, Issue. 4, PP.1309-1321.
- Luis, M., Gonz´alez- Hidalgo, J. C., Brunetti, M., & Longares, L.A (2011). "Precipitation concentration changes in Spain 1946-2005". Natural Hazards Earth Systems Science, 11, PP.1259–1265.
<https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/1259/20>
<https://www.pacificclimate.org/~werner/zyp/Sen%201968%20JASA.pdf11/nhess-11-1259-2011.pdf>
- ناظری تهرودی، محمد؛ کیوان خلیلی؛ فرشاد احمدی (۱۳۹۵). تحلیل روند تغییرات ایستگاهی و منطقه‌ای بارش نیم قرن اخیر کشور ایران، نشریه آب و خاک. دوره ۳۰، شماره ۲، صفحات ۶۴۳-۶۵۴.
<https://jsw.um.ac.ir/article/view/39130>
- نظرزاد، حبیب؛ تارا شاه‌حسین؛ فرخ اسدزاده (۱۳۹۷). تغییرات مکانی و زمانی فرساینده‌ی باران در استان آذربایجان غربی، جغرافیا و پایداری محیط. پیاپی ۲۷، صفحات ۸۹-۹۹.
<https://www.magiran.com/paper/1891998>
- نگاه اجمالی به وضعیت دریاچه ارومیه و راهکارهای پیشنهادی علاج‌بخش آن، وزارت نیرو، شرکت مهندسی مشاور لار، ۱۳۹۲.
<http://www.lar-co.com/DouranPortal/documents/lakeUrmia1.pdf>
- Abghari, H., Tabari, H., & Hosseinzadeh Talae, P (2013). River flow trends in the west of Iran during the past 40 years: Impact of precipitation variability, Global and Planetary Change, 101, PP.52-60.
https://www.researchgate.net/publication/234061257_River_flow_trends_in_the_west_of_Iran_during_the_past_40_years_Impact_of_precipitation_variability
- Adegun, O., Balogun, I., & Adeaga, O (2012). "Precipitation concentration changes in Owerri and Enugu". Special Publication of the Nigerian Association of Hydrological Sciences, PP.383-391.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.971.6573&rep=rep1&type=pdf>
- Alijani, B., Brien, J., & Yarnal, B (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. Theoretical and Applied Climatology, 94, P.107- 124.
<https://scholar.google.com/citations?user=2EuZ00kAAAAJ&hl=en>

- Oliver, JE (1980). "Monthly precipitation distribution: a comparative index". The Professional Geographer, 32(3), PP.300-309.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.0033-0124.1980.00300.x>
- Rezai, P., & Abed, H (2010). Survey Least Temperature Change Trend in Station Rasht Synoptic with Accent on Glacial Period, Geography and Environmental Observations, 2, PP.39-48.
- Sen, P.K (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association.63, PP.1379-1389.
<https://www.pacificclimate.org/~werner/zy/Sen%201968%20JASA.pdf11/nhess-11-1259-2011.pdf>
- Shifteh Some'e, B., Ezani, A., & Tabari, H (2012). Spatiotemporal trends and change point of precipitation in Iran, Atmospheric Research, 113, PP.1-12.
- Tabari, H., & Hosseinzadeh Talaei, P (2011). Temporal variability of precipitation over Iran: 1966-2005, Journal of Hydrology, 396, PP.313-320.
https://www.researchgate.net/publication/251473268_Temporal_variability_of_precipitation_over_Iran_1966-2005
- Vali, M., Shanti Sree, K., & 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, Vol. 2, Issue. 5, PP.53- 61.
- Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho testes for detecting monotonic trends in hydrological series. Journal of Hydrology, 259, PP.254-271.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S022169401005947>