

کاربرد آمار دایره‌ای در تحلیل فصلی زمان وقوع بارندگی‌های حدی در حوضه دریاچه ارومیه

رقیه صمدی^{۱*}، یعقوب دین پژوه^۲ و احمد فاخری فرد^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۵)

چکیده

یکی از پارامترهای هیدرولوژیک تأثیرگذار در مدیریت سیستم‌های منابع آب، تغییر در مقدار و زمان وقوع بارندگی‌های حدی است. در این پژوهش تحلیل فصلی بودن زمان وقوع بارندگی‌های حدی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های حدی بارش‌های روزانه ۳۰ ایستگاه باران‌سنجی در دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۹۱ و کاربرد آمار دایره‌ای انجام شد. یکنواختی زمان وقوع رویدادهای حدی با روش‌های ریلیسه و کاپیر در سطوح ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ مورد آزمون قرار گرفت. از تخمین‌گر شیب سن اصلاح شده برای تخمین شیب خط روند زمان وقوع رویدادهای حدی استفاده شد. یکنواختی در زمان وقوع رخداد‌های حدی بارش در هر سه سطح توسط آزمون‌های یکنواختی رد شد. نتایج حاکی از وجود دو فصل قوی رخداد‌های بارش‌های حدی شامل اواخر زمستان و اوایل بهار و دیگری فصل پاییز است. طبق نتایج، میانه شاخص قدرت فصلی رویدادها در حالت کلی برابر با ۰/۳ بود که پس از تفکیک کل سال به دو فصل متمایز، این رقم برای فصل بهار ۰/۸۲ و فصل پاییز ۰/۹ به دست آمد. قدرت فصلی فصل بهار در دو بخش غربی و شرقی دریاچه ارومیه مشابه بود، ولی در فصل پاییز بخش غربی دریاچه قوی‌تر از شرق آن دیده شد. در فصل بهار به طور میانگین در ۴۰٪ ایستگاه‌ها، زمان وقوع رخدادها دارای روند منفی و ۶۰٪ بقیه روند مثبت داشتند. این رقم برای فصل پاییز به ترتیب ۷۷٪ برای روند نزولی و ۲۷٪ برای روند صعودی حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: آمار دایره‌ای، بارش حدی، دریاچه ارومیه، قدرت فصلی

۱. دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، آذربایجان شرقی، ایران.

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، آذربایجان شرقی، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Samadi.2017@yahoo.com

مقدمه

تغییرات اقلیمی در هر منطقه می‌تواند فراوانی و شدت رویدادهای حدی را تغییر دهد (۷ و ۹). بدیهی است که تأثیر مستقیم مقادیر حدی بر سیستم‌های اجتماعی و اکولوژیکی قابل اغماض نیست. بنابراین، هنگام طراحی و بهینه‌سازی زیرساخت‌های آبی، تأثیرات تغییر اقلیم بر مقادیر حدی هیدرولوژیک مانند رویدادهای بارش شدید باید در نظر گرفته شود (۳۰). در مطالعات پیشین تحلیل رویدادهای حدی بارندگی، اغلب به شدت بارش تمرکز می‌شد، هر چند بعدها مدت و مقدار بارش نیز مورد اهمیت واقع شد. اما با توجه به تأثیر مستقیم زمان وقوع بارندگی‌های حدی و تغییرات فصلی آن در دسترسی مکانی و زمانی منابع آب، مطالعه این مؤلفه اهمیت بیشتری می‌یابد. تحلیل زمان وقوع بارندگی‌های حدی در کنار در نظر گرفتن مقدار آن بینش عمیق‌تری در رابطه با مدیریت سیلاب‌ها، بحران‌های حاصل از آن، جلوگیری از صدمات ناشی از ضربات بارش به گیاه، مدیریت آبیاری در کشاورزی، تخصیص بهینه منابع آب بین مصرف‌کنندگان، توسعه طرح‌های حفاظت شهری و حفاظت از اکوسیستم‌های رودخانه‌ای ایجاد می‌کند و در نتیجه منجر به مدیریت بهتر سیستم‌های منابع آبی می‌شود (۵، ۱۰ و ۱۸). یکی از ابزارهای مهم در تحلیل بارش‌های حدی استفاده از آمار دایره‌ای است. ماردیا (۲۴) تئوری آمار جهت‌دار را به‌عنوان یک علم جدید منشعب از آمار ارائه کرد. با کاربرد آمار دایره‌ای، زمان وقوع و نظم رویدادهای حدی هیدرولوژیک بخصوص در زمینه تحلیل فصلی بودن، قابل ارزیابی و تحلیل است. در این مقاله از این روش نوین در تحلیل زمان وقوع بارندگی‌های حدی حوضه دریاچه ارومیه استفاده شده است. اخیراً پژوهش‌های زیادی در زمینه کاربرد آمار دایره‌ای توسط پژوهشگران انجام شده است (۶، ۲۷، ۱۹، ۱۴، ۳۳، ۸، ۳۴، ۱۸، ۲۲، ۱۱ و ۲). کسوترولیس و همکاران (۱۹) به مطالعه فصلی بودن بارندگی حدی، سیلاب و خصوصیات هیدرومتئورولوژیکی آن در جزیره کورت پرداختند. مطالعه ایشان بر اساس آمار دایره‌ای، تحلیل

خوشه‌بندی و تحلیل هیرومتئورولوژیکی بود. ایشان با محاسبه شاخص‌های فصلی نشان دادند که بزرگ‌ترین رویدادها در ماه‌های نوامبر - دسامبر متمرکز شده‌اند. دهاکال و همکاران (۱۴) با استفاده از روش آمار دایره‌ای ناپارامتری، نایستایی فصلی را در مقادیر حدی بارندگی در سراسر ایالت مین مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس روش ناپارامتری چگالی دایره‌ای، نایستایی داده‌ها اثبات و معلوم شد که برخی ایستگاه‌ها یک جهش معنی‌دار به‌سوی فصل بهار در اواخر دوره داشتند و برخی ایستگاه‌ها الگوی فصلی چند-مدی (Multimodal) را از خود نشان دادند. بلوشل و همکاران (۸) با ارائه یک الگو تأثیر تغییر اقلیم روی زمان وقوع بیشترین سیلاب سالانه را در اروپا بررسی کردند. ایشان با استفاده از آمار دایره‌ای اثر عوامل تأثیرگذار روی سیل را مانند ذوب برف، بارش و بیشترین رطوبت خاک قبل از سیلاب در سراسر اروپا به‌طور منطقه‌ای تحلیل کردند. نتایج نشان داد گرم‌تر شدن هوا عامل رخداد سیل زودهنگام در فصل بهار در شمال شرق اروپا بوده است. در زمستان در اطراف دریای شمال و برخی از بخش‌های سواحل مدیترانه علت تأخیر زمانی وقوع سیل، طوفان‌های تأخیری مرتبط با گرمایش قطبی در زمستان بوده است. در غرب اروپا نیز رخدادهای زودهنگام سیل به دلیل رخداد زودهنگام بیشترین رطوبت خاک است. گو و همکاران (۱۸) در مطالعه‌ای، فصلی بودن و نایستایی در زمان وقوع بارندگی‌های حدی را با داده‌های بیشترین بارش سالانه، POT و روش آمار دایره‌ای در سراسر چین بررسی کردند. نتایج نشان داد حالت فصلی بودن قوی به دلیل توزیع نامتقارن دایره‌ای در بیشتر بخش‌های منطقه حاکم است. همچنین در نیمی از ایستگاه‌ها نایستایی قوی در داده‌های حدی بارندگی به اثبات رسید. ماریا و همکاران (۲۲) به مطالعه فصلی بودن مقادیر بیشینه سالانه دو پارامتر بارش و رواناب در مقیاس روزانه و کنترل آنها در طول دو بخش در پرو و یک بخش در اتریش پرداختند. بر اساس مطالعات ایشان در دشت‌های خشک‌پرو در شمال، قدرت فصلی رواناب کمتر از بارندگی است. در ارتفاعات پرو در جنوب نیز، قدرت فصلی

هیدرولوژیک به همراه سایر عوامل تأثیرگذار می‌تواند توجیه علمی مناسب‌تری از تغییرات خصوصیات فصلی سیلاب تحت تأثیر تغییر اقلیم را فراهم کند. این مطالعه تلاش دارد آمار دایره‌ای را در تحلیل رویدادهای بارش‌های حدی حوضه دریاچه ارومیه به کار گیرد.

مواد و روش‌ها

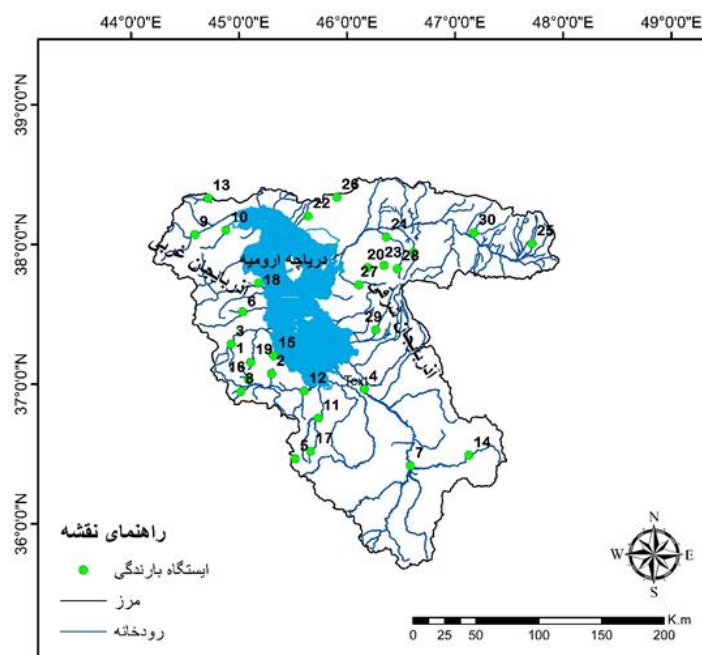
در این پژوهش متوسط زمان وقوع مقادیر بارندگی‌های حدی و روند تغییرات آن در حوضه دریاچه ارومیه بررسی شده است. همچنین شاخص‌های فصلی بودن رویدادهای حدی بارش بر مبنای آمار دایره‌ای، تحلیل شد. ارزیابی فصلی بودن بارندگی‌های حدی در حوضه مذکور هم از نظر مکانی و هم از نظر زمانی با نقشه‌های مختلف تحلیل شد. علاوه بر این، در مطالعه حاضر از روش POT برای انتخاب رویدادهای حدی در مدل‌سازی پدیده بارش‌های حدی استفاده شده است. زیرا مدل‌سازی سری‌های POT انعطاف‌پذیرتر از سری‌های بیشینه سالانه بوده و بیان جامع‌تری از فرایندهای هیدرولوژیک حدی را فراهم می‌کند (۲، ۱۸ و ۲۹). مدل POT علاوه بر مقادیر حدی بارش، تعداد رخداد‌های بالاتر از حد آستانه انجام‌یافته در یک سال را مدنظر قرار می‌دهد (۵). هدف از این مطالعه استفاده از آمار دایره‌ای در تحلیل زمان وقوع بارش‌های حدی در حوضه دریاچه ارومیه است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه دریاچه ارومیه است. این حوضه در شمال غرب ایران و در حفاصل طول جغرافیایی 44° تا 48° شرقی و عرض جغرافیایی 35° تا 38° شمالی قرار دارد. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه را همراه با شبکه آبراه‌های آن نشان می‌دهد. میانگین بارش سالانه این منطقه حدوداً ۳۹۸ میلی‌متر است که در بین حوضه‌های منطقه ای ایران مقام دوم را دارد (۳ و ۱۷). میانگین دمای سالیانه آن حدود ۱۱ درجه سلسیوس است. هرچند این ارقام از نقطه‌ای به نقطه دیگر داخل حوضه

رواناب ماهانه بیشتر از بارندگی یا مشابه آن است. در اتریش، قدرت فصلی در پدیده رواناب بیشتر از بارندگی بود و بیشترین رواناب ماهانه و سیل در یک فصل در کوه‌های آلپ رخ می‌دهد. در مناطق پست، فصلی بودن سیل به‌طور عمده توسط بارش شدید تابستان و تأثیر متقابل آن با رطوبت بیشتر خاک کنترل می‌شود. نتایج حاکی از تغییرات مکانی بسیار زیاد در خصوصیات فصلی بارش در پرو نسبت به اتریش (به‌دلیل تنوع زیاد اقلیم و توپوگرافی) بود. آلودا و دهاکال (۲) به بررسی فصلی بودن بر اساس خصوصیات احتمالی زمان وقوع بارش حدی در شرق ایالات متحده پرداختند. ایشان با روش چگالی دایره‌ای کرنال، حالت‌های توزیعی زمان وقوع بیشینه بارش سالانه (AMP) را بررسی کردند. نتایج نشان داد خاصیت فصلی در سراسر ایالات متحده، میانگین وقوع خود را در تابستان نشان می‌دهد و فصلی بودن وقوع AMP در منطقه مرکزی شرقی شمالی قوی است. نتایج روش چگالی دایره‌ای اعمال شده برای توزیع زمان وقوع AMP نشان داد که حدود ۹۰ درصد از ایستگاه‌ها دارای دو یا سه حالت فصلی AMP در منطقه هستند. از نظر مکانی نیز عدم انسجام فضایی تغییرات فصلی گزارش شد. در بیشتر ایستگاه‌ها حالت فصلی قوی، به‌طور عمده در فصل تابستان و پاییز دیده شد.

در سال‌های گذشته، در ایران مطالعات متعددی در رابطه با میزان بارندگی و روند تغییرات مقادیر آن صورت گرفته است از جمله (۱، ۲۳، ۲۶ و ۲۸) تعدادی از مطالعات نیز مربوط به حوضه دریاچه ارومیه است که از آن جمله می‌توان به کارهای فرج‌زاده (۱۵) و واحد دوست (۳۲) اشاره کرد. به‌طوری که می‌توان فهمید اغلب مطالعات مربوط به ایران رویدادهای حدی را با آمار کلاسیک بررسی کرده‌اند. در مطالعات مذکور تاکنون نسبت به زمان وقوع و تحلیل فصلی بارندگی حدی بر مبنای مدل‌سازی POT و به‌کارگیری آمار جهت‌دار در ایران و به‌ویژه حوضه دریاچه ارومیه توجهی نشده است. با توجه به اینکه بارندگی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده سیلاب است، بنابراین مطالعه در مورد فصلی بودن این متغیر



شکل ۱. حوضه آبریز دریاچه ارومیه و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه

آماری انتخاب شدند. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در جدول ۱ آورده شده است.

روش مطالعه

در این پژوهش، از سری داده‌های اوج‌های بزرگ‌تر از حد آستانه (POT) برای تخمین زمان متوسط وقوع رویدادهای حدی بارندگی استفاده شد. ابتدا با به‌کار بردن آمار کلاسیک هیستوگرام رویدادهای حدی ایستگاه‌ها رسم شد. برای این کار بایستی کلیه مشاهدات هر ایستگاه مربوط به بارش‌های روزانه در کل دوره آماری به ترتیب نزولی مرتب شوند. سپس یک حد آستانه‌ی دلخواه (مانند رویداد نظیر صدک ۹۰) در نظر گرفت. در این پژوهش داده‌هایی که بزرگ‌تر از این حد آستانه بود شمارش شد. اگر این تعداد کمتر از تعداد سال‌های آماری می‌شد حد آستانه اندکی پایین آورده می‌شد (مثلاً رویداد نظیر صدک ۸۷) طوری که در نهایت تعداد داده‌ها بالاتر از این حد تقریباً با تعداد سال‌ها برابر شود. در این حالت کمیت نظیر صدک انتخاب شده به‌عنوان حد آستانه (POT) در نظر گرفته شد. آنگاه داده‌های هر سال در طول دوره آماری که بالاتر از POT بودند در نظر گرفته شدند و مورد تحلیل قرار گرفتند.

متغیر است. اختلاف ارتفاع موجود در این حوضه حدود ۲۵۷۶ متر است. تراز کف دریاچه حدود ۱۲۶۸ متر است. مساحت حوضه ۵۲۷۰۰ کیلومتر مربع است که حدود ۳/۲ درصد مساحت کل کشور را در بر می‌گیرد. مهم‌ترین رودخانه‌های این حوضه شامل نازلوچای، باراندوزچای، آجی‌چای، زرنه‌رود، سیمینه‌رود، مه‌بادچای و زولاچای است (۳ و ۱۷). بارش در شمال‌غرب ایران به‌خصوص منطقه مورد مطالعه، در مقیاس سالانه در برخی از ایستگاه‌ها (مانند تبریز) روند منفی و در برخی دیگر (مانند مه‌باد) روند مثبت داشته است. در برخی دیگر نیز (مانند ارومیه و مراغه) روند بارش هر چند منفی ولی از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (۲۵). ۳۰٪ ایستگاه‌های آب‌سنجی رودخانه‌های آذربایجان شرقی، روند کاهش معنی‌دار برای میانگین جریان روزانه رودخانه‌ها داشته‌اند (۱۶). داده‌های مورد استفاده در این مطالعه بارندگی‌های روزانه است. آمار داده‌ها که شامل سری‌های زمانی بارش و تاریخ وقوعشان از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۱۸ بودند، از سازمان آب استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی تهیه شدند. تعداد ۳۰ ایستگاه داخل حوضه برای مطالعه انتخاب شد. این ایستگاه‌ها بر اساس مناسب‌ترین پراکنندگی و کیفیت دوره

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱ هاشم‌آباد (بیبکران)	۳۷/۳	۴۴/۹۳	۱۶ آفان	۳۶/۵۳	۴۵/۶۴
۲ یونسلو	۳۷/۰۹	۴۵/۲۹	۱۷ آباجالو سفلی	۳۷/۷۴	۴۵/۱۷
۳ میانداب	۳۶/۹۷	۴۶/۱۲	۱۸ آق- بولاغ	۱۷/۳۷	۴۵/۱
۴ گاگش اولیا	۳۶/۴۸	۴۵/۵	۱۹ بستان آباد	۳۷/۸۵	۴۶/۱۷
۵ کمپ (ارومیه)	۳۷/۵۳	۴۵/۰۳	۲۰ تبریز	۳۸/۰۶	۴۶/۳۴
۶ شهید کاطمی	۳۶۶/۴۲	۴۶/۵۲	۲۱ دریان	۳۸/۲۲	۴۵/۶۳
۷ درود (شیخان)	۳۶/۹۶	۴۵/۰۱	۲۲ زینجناب	۳۷/۸۶	۴۶/۳۱
۸ چهریق- علیا	۳۸/۰۸	۴۴/۶	۲۳ سعیدآباد	۳۷/۹۵	۴۶/۵۸
۹ تمر (ارومیه)	۳۸/۱۲	۴۴/۸۸	۲۴ سهزاب	۳۷/۹۹	۴۷/۶۶
۱۰ پل سرخ (مهاباد)	۳۶/۷۷	۴۵/۷۱	۲۵ شوردرق	۳۸/۳۵	۴۵/۸۹
۱۱ پل بهراملو	۳۶/۹۶	۴۵/۵۸	۲۶ قرمزی گل	۳۷/۷۲	۴۶/۰۸
۱۲ اوریان	۳۸/۳۵	۴۴/۷۲	۲۷ لیقوان	۳۷/۸۳	۴۶/۴۳
۱۳ آلا سقل	۳۶/۴۹	۴۷/۰۴	۲۸ مراغه	۳۷/۴	۴۶/۲۳
۱۴ چشمه‌دول (اسلام‌آباد)	۳۷/۲۲	۴۵/۳۲	۲۹ مهربان	۳۸/۰۸	۴۷/۱۳
۱۵ گلارچای (اشنویه)	۳۷/۰۴۵	۴۵/۰۹	۳۰ ینگجه	۳۷/۵۴	۴۶/۱۵

برای هر یک از ایستگاه‌ها، در طول دوره آماری فصلی بودن بارندگی حدی با رسم هیستوگرام تعداد رویدادها در ماه‌های مختلف سال ارزیابی شد، تا شباهت‌ها و یا تفاوت‌های موجود در خاصیت فصلی بارندگی حدی در بین ایستگاه‌ها روشن‌تر شود.

برای تحلیل خصوصیات فصلی بودن بارش حدی از آمار دایره‌ای (۲۴) استفاده شد. شباهت زمان وقوع رخداد‌های حدی هیدرولوژیک در یک سال در طول دوره آماری با این روش به وضوح قابل بررسی است (۱۲). در روش گفته شده با انتخاب مبدأ زمان روی دایره واحد، برای مشخص کردن زمان وقوع رویداد نام روی یک دایره با شعاع واحد در مختصات قطبی با زاویه θ_i (رادیان) از رابطه زیر استفاده می‌شود (شکل ۲) (۴، ۵، ۸، ۱۳ و ۲۰):

$$\theta_i = D_i \left(\frac{2\pi}{\text{lenYr}} \right) \quad (1)$$

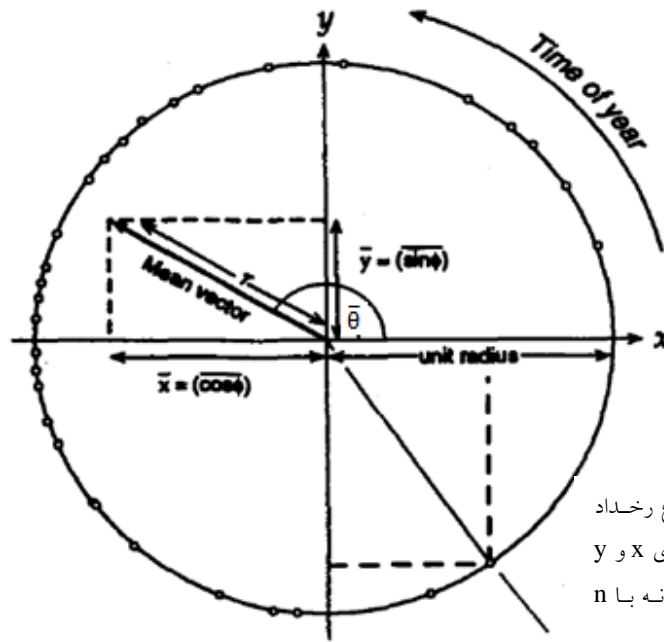
که در آن lenYr برابر تعداد روزهای یک سال (۳۶۵ یا ۳۶۶ روز در سال کبیسه)، D_i شماره روز ژولپوسی که مقدار آن برای اول ماه ژانویه برابر یک و برای آخر دسامبر lenYr در نظر گرفته شده است. مختصات دکارتی میانگین زمان وقوع رگبارهای حدی با \bar{x} و \bar{y} نشان داده شد که مقادیر آنها برای n رویداد حدی از رابطه زیر به دست آمد (۸):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Cos}(\theta_i) \quad (2)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Sin}(\theta_i) \quad (3)$$

که در آن \bar{x} و \bar{y} مؤلفه‌های افقی و قائم بردار میانگین زمان وقوع n رویداد حدی را نشان می‌دهد. در مختصات قطبی این زمان با $\bar{\theta}$ نشان داده می‌شود که از رابطه زیر حاصل شد (۸):

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) \quad (4)$$



نقطه روی دایره واحد معادل زمان وقوع رخداد هیدرولوژیک، خطوط خط تیره نیز مؤلفه‌های X و Y برای هر رویداد و \bar{r} میانگین برداری نمونه با n

شکل ۲. نمایش شماتیکی وقوع مشاهدات حدی روی محیط دایره با شعاع واحد (۵)

می‌دهند (۲۱). هر چه \bar{r} به صفر نزدیک شود، قدرت فصلی بودن رویدادهای حدی کمتر و برعکس، هر چه \bar{r} به یک نزدیک شود، قدرت فصلی بودن رویدادها بیشتر است. بنابراین، قدرت فصلی بودن رویدادهای حدی از روی \bar{r} قابل ارزیابی است.

در این مطالعه، شاخص \bar{r} از رابطه زیر به دست آمد (۸):

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (6)$$

در روش دایره‌ای انحراف معیار استاندارد رویدادهای حدی با نماد csd نشان داده می‌شود. این کمیت شاخصی از میزان پراکندگی زمان وقوع رویدادهای حدی است که از رابطه زیر محاسبه شد (۱۴ و ۲۱):

$$\text{csd} = \sqrt{-2 \ln(\bar{r})} \quad (7)$$

تشخیص دقیق ماهیت داده‌ها برای ارزیابی دقیق فصلی ضروری است. برای ارزیابی یکنواختی وقوع بارش‌های حدی در یک دوره آماری از دو روش پر کاربرد شامل: تست ریلیه (Rayleigh-Test) و تست کایپر (Kuiper-Test) استفاده شد (۱۴ و ۲۱). در این دو آزمون فرض صفر چنین تعریف شد: رویدادهای حدی در طول دوره آماری، به‌طور یکنواخت در طول سال ظاهر می‌شوند. فرض مخالف نیز به‌صورت

برای حالتی که \bar{x} منفی می‌شد مقدار $\bar{\theta}$ از رابطه ۵ به دست می‌آمد (۲۱). لازم به توضیح است که $\bar{\theta}$ به معنی میانگین حسابی زمان وقوع n رویداد حدی با مقادیر θ_1 و θ_2 و $\theta_{n...}$ نیست.

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) + \pi \quad (5)$$

$\bar{\theta}$ در واقع زاویه امتداد بردار میانگین \bar{r} با محور x ها در جهت خلاف عقربه‌های ساعت است (شکل ۲)، که میانگین زمان وقوع n رویداد حدی را در طول دوره آماری در یک ایستگاه نشان می‌دهد. طول این بردار برابر با \bar{r} و زمان وقوع آن $\bar{\theta}$ است (۲۴).

در آمار دایره‌ای \bar{r} شاخصی است که معیار تمرکز n رویداد حدی را مشخص می‌کند، طوری که اگر $\bar{r} = 0$ باشد، آنگاه نقاط نظیر رویدادها به‌صورت یکنواخت روی محیط دایره با فاصله مساوی از هم پخش شده‌اند (۲۱). به‌عبارت دیگر، همه وقایع حدی به‌طور یکنواخت و با فاصله زمانی مساوی از هم در طول دوره آماری اتفاق می‌افتند. از طرفی، برای حالتی که $\bar{r} = 1$ باشد همه n رخداد حدی در طول دوره آماری در یک روز خاص روی

۱۰٪ برای تست‌ها استفاده شد.

تخمین‌گر شیب سن اصلاح شده: در این پژوهش برای تحلیل روند زمان وقوع رویدادهای حدی از روش غیر پارامتری اصلاح‌شده تخمین‌گر شیب سن (۸، ۲۹ و ۳۱) استفاده شد. این روش قدرتمند بوده و نیازی به بازسازی مقادیر گمشده ندارد و در ضمن به داده‌های پرت نیز حساسیت ندارد. برآوردگر شیب خط روند که با β نشان داده می‌شود و آن میانه شیب‌های جزئی همه جفت رویداد حدی ممکن (i و j) را از رابطه زیر به دست می‌آید (۸):

$$\beta = \text{menian} \left(\frac{D_j - D_i + K}{j - i} \right); \quad K = \begin{cases} -\bar{m} & \text{if } D_j - D_i > \frac{\bar{m}}{2} \\ \bar{m} & \text{if } D_j - D_i < -\frac{\bar{m}}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

\bar{m} : متوسط تعداد روزهای سال در طول دوره مورد مطالعه

D_j : شماره روز ژولوسی رویداد حدی j ام

که در آن k نقش تعدیل‌کننده ماهیت دایره‌ای رخدادها را در تاریخ تقویمی دارد (۸). در اینجا β دارای واحد (روز در سال) است. مقادیر مثبت β نشان‌دهنده شیب‌های رو به بالا و مقادیر منفی نشان‌دهنده شیب‌های رو به پایین است.

کاندرلیک و اوآردا (۱۳) معتقدند که اگر در تاریخ وقوع رویدادهای حدی حالت چند-مدی (multi-modal) وجود داشته باشد، روند داده‌های مربوط به زمان وقوع رخداد و البته مقدار آن باید به‌طور جداگانه در هر فصل بارشی مجزا تجزیه و تحلیل شود. بنابراین در این پژوهش بعد از انجام تست‌های مربوطه تمامی محاسبات شاخص‌های فصلی و تحلیل‌های روند برای فصول بارشی متمایز، جداگانه انجام شد. در این پژوهش محاسبات تحت نرم‌افزار متلب (R2015b) صورت گرفته است.

نتایج

در شکل ۳ الگوی ماهانه تعداد رخداد‌های حدی بارش در طول دوره آماری در یکایک ایستگاه‌ها نشان داده شده است. از این شکل

«رویدادهای حدی در طول دوره آماری، به‌طور یکنواخت ظاهر نمی‌شوند» در نظر گرفته شد.

تست ریلیه: در این آزمون آماره آزمون که با Z نشان داده می‌شود از رابطه ۹ به دست می‌آید. توزیع این آماره برای نمونه‌های بزرگ توزیع کای اسکوار با درجه آزادی دو است. آماره Z محاسبه شده با مقدار نظیر در جدول کای اسکوار مستخرج از جدول مقایسه می‌شود. فرض صفر (مبنی بر یکنواختی توزیع رویدادها در طول دوره آماری) رد می‌شود، اگر مقدار آماره Z محاسبه شده بزرگ‌تر از مقدار کای اسکوار بحرانی باشد. تست ریلیه برای رد (یا تأیید) وجود الگوهای تک-مدی (غیریکنواختی) قدرتمند است ولی تست کایپر وجود الگوی تک-مدی و الگوهای چند-مدی را نیز می‌توانند آزمایش کنند (۱۴).

$$Z = 2n\bar{r}^2 \quad (8)$$

تست کایپر: آماره این آزمون که با V نشان داده می‌شود، از رابطه زیر محاسبه شد (۲۱).

$$V = V_n \left(\sqrt{n} + 0.155 + \frac{0.24}{\sqrt{n}} \right) \quad (9)$$

که در آن:

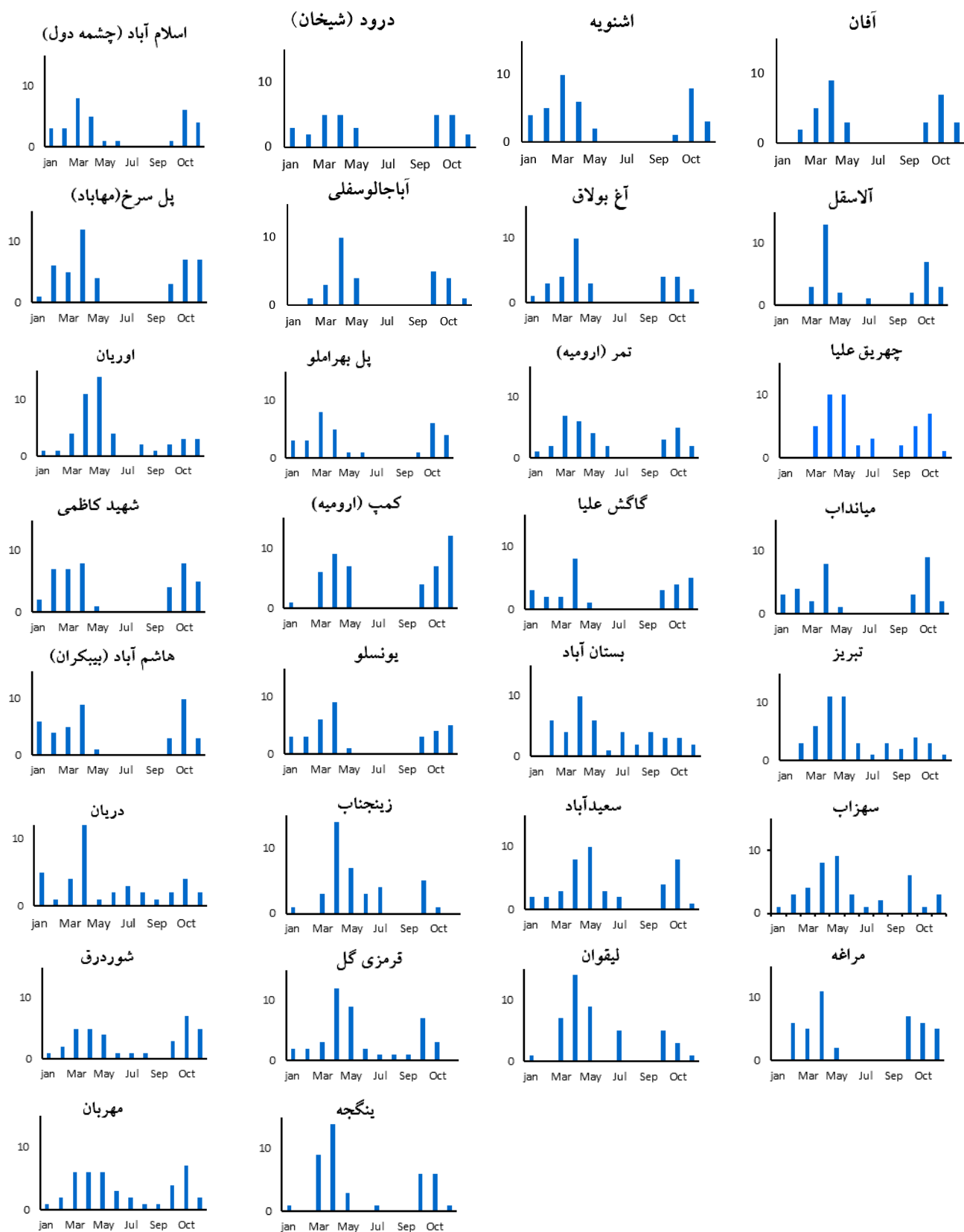
$$V_n = D_n^+ + D_n^- \quad (10)$$

$$\begin{cases} D_n^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - U_i \right\} \\ D_n^- = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ U_i - \frac{i-1}{n} \right\} \end{cases} \quad (11)$$

که در آن:

$$U_i = \frac{\theta_i}{2\pi} \quad i = 1, \dots, n \quad (12)$$

در روابط بالا θ_i ، زاویه نظیر هر رویداد حدی (i ام) در دایره به شعاع واحد و n ، تعداد رویدادهاست. در روش کایپر مقدار V محاسبه شده با مقدار نظیر V بحرانی (جدول کایپر (۲۱)) در سطح معنی‌داری α مقایسه می‌شود (۱۴). اگر V محاسبه شده بزرگ‌تر از مقدار نظیر مستخرج از جدول باشد، آنگاه فرض صفر رد می‌شود. در این مطالعه از سطوح معنی‌داری ۱٪، ۵٪ و



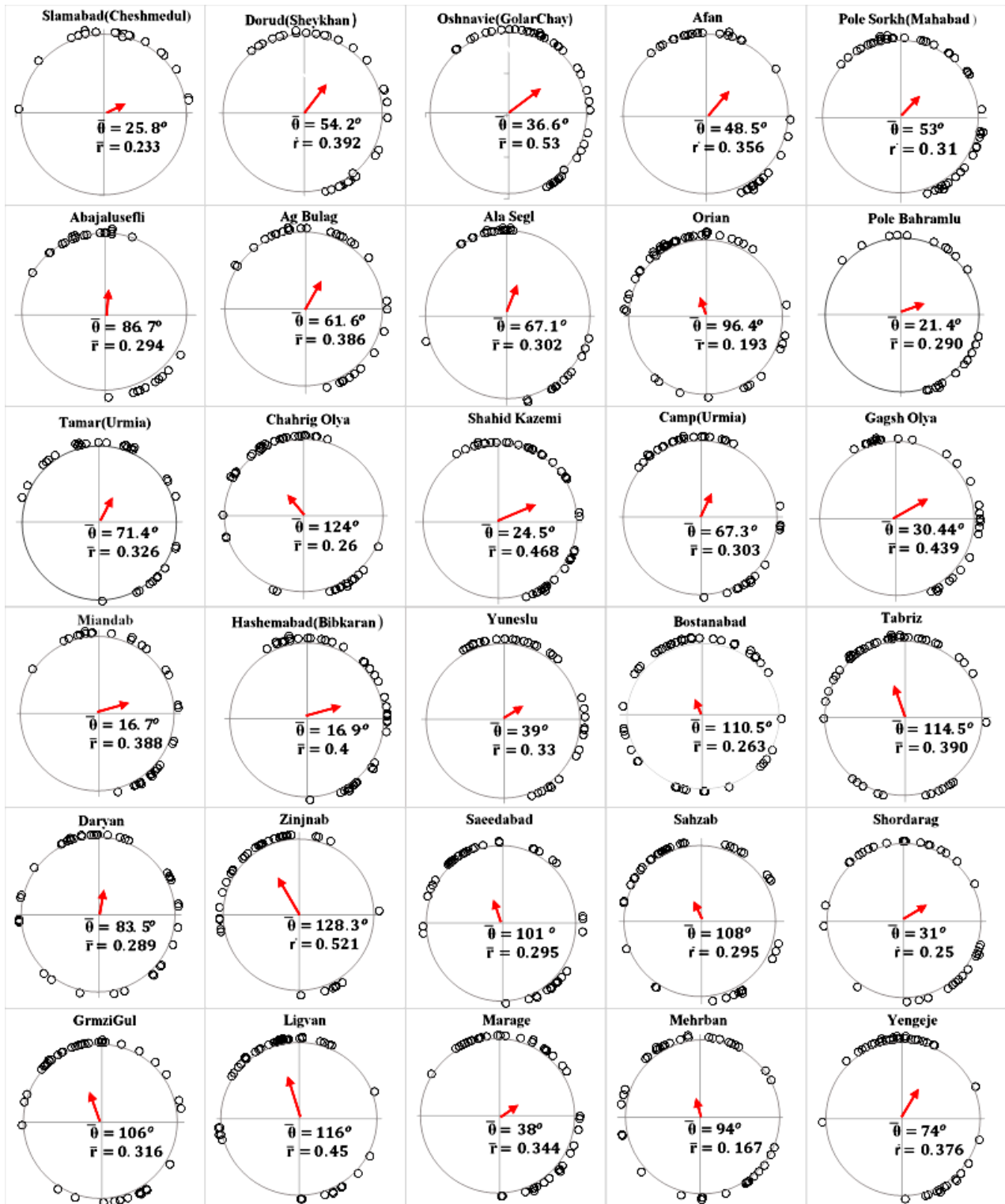
شکل ۳. نمودار هیستوگرامی رخدادهای حدی بارندگی در طول دوره آماری. محور افقی ماه‌های سال و محور عمودی تعداد رویدادها در هر ماه است

دایره‌ای از تغییرات بارندگی حدی برای دوره آماری (۱۹۹۱-۲۰۱۸) ارائه می‌کند (جدول ۲). اگر کل سال را بدون فصل‌بندی در نظر بگیریم مقادیر $\bar{\theta}$ منطقه مورد مطالعه از ۱۶/۷ تا ۱۲۸/۳ درجه (در بخش غربی دریاچه از ۱۶/۷ تا ۱۲۴ و در بخش شرقی از ۳۱/۱ تا ۱۲۸/۳) تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، میانگین زمان رخداد بارندگی حدی از لحاظ تقویمی از ۱۷ ژانویه ($D_j=17$) تا ۱۰ آوریل ($D_j=130$) تغییر می‌کند. در واقع، همان‌طور که از نمودارهای هیستوگرامی شکل ۳ هم مشخص است در تمامی ایستگاه‌ها اغلب وقایع حدی از اواسط زمستان (۱۷ ژانویه) تا اوایل بهار (۱۰ آوریل) اتفاق افتاده است. نمودارهای دایره‌ای ایستگاه‌ها (شکل ۴) نیز آن را تأیید می‌کنند. با توجه به جدول ۲ و شکل ۴ بیشترین مقدار \bar{T} مربوط به اشنویه ($\bar{T}=0/53$) بوده که انتظار می‌رود دارای کمترین مقدار آماره $csd = 1/138$ باشد. این نشان می‌دهد که اشنویه در بین همه ایستگاه‌ها قوی‌ترین حالت فصلی را برای بارش‌های حدی داراست و حاکی از وقوع متمرکزتر بارندگی حدی نسبت به سایر ایستگاه‌ها در منطقه است. از طرفی، ایستگاه مهربان با کمترین مقدار \bar{T} ($\bar{T}=0/17$) دارای بیشترین مقدار آماره $csd = 1/88$ است که از نظر قدرت فصلی در کمترین حالت قرار دارد. همان‌طور که از جدول می‌توان استنباط کرد، با افزایش مقادیر \bar{T} ، مقادیر متناظر csd کاهش می‌یابد. طبق نمودارهای هیستوگرام ایستگاه‌های اوریان، چهریق‌اولیا، بستان‌آباد، تبریز، دریان چند رخداد در فصل تابستان داشتند که این امر موجب بروز پراکندگی بیشتر رخدادها در طول دوره آماری شده است (شکل ۳). این اختلاف نموداری در ستون total جدول ۲ نیز قابل استنباط است که در آن مقادیر csd این سه ایستگاه نسبت به بقیه بیشتر است. شاید به دلیل کوچک بودن مساحت حوضه دریاچه ارومیه و مشابهت اقلیم ایستگاه‌های این منطقه، گرچه تفاوت چشم‌گیری در مقادیر \bar{T} ، csd دیده نمی‌شود و متعاقب آن فصول ایجاد شده در تمامی ایستگاه‌های منطقه یکسان است ولی قدرت فصلی بودن رویدادهای حدی ایستگاه‌ها با هم متفاوت است.

می‌توان دید که عدم یکنواختی در زمان وقوع رویدادهای حدی بارش در منطقه مورد مطالعه حاکم است. به عبارت بهتر، فصل‌هایی متمایز خاصیت فصلی بصورت دو-مدی (bimodal) است.

در غرب دریاچه ارومیه رویدادهای حدی بارندگی در دو فصل با مدهای مختلف (از لحاظ اندازه) طی سال روی می‌دهند. فصل اول شامل بارش‌هایی است که در اواخر زمستان و اوایل بهار ظاهر می‌شوند ($S1$) و دیگری مربوط به رخدادهایی است که در فصل پاییز ($S2$) پس از یک دوره خشکی ممتد به وقوع می‌پیوندند. تنها در دو ایستگاه اوریان و چهریق‌علیا علاوه بر فصول نام‌برده در ماه‌هایی از تابستان نیز رخدادهای حدی (به تعداد کمی) ظاهر شده‌اند. در ناحیه شرق دریاچه دو فصل $S1$ و $S2$ به راحتی قابل تشخیص است (به جز ۳ ایستگاه تبریز، بستان‌آباد و دریان) که بارش‌های حدی در فصل تابستان نیز روی داده است. با اغماض از رویدادهای استثنایی در تابستان می‌توان نتیجه گرفت که مدالیته رویدادهای حدی بارش ایستگاه‌ها از لحاظ شکل ۴ نمودارهای دایره‌ای توزیع رخدادهای حدی بارش را در یکایک ایستگاه‌های منتخب نشان می‌دهد. به طوری که از این شکل نیز می‌توان نتیجه گرفت، رویدادهای حدی بارش اکثر ایستگاه‌ها در دو فصل متمایز روی می‌دهد. زیرا نقاط روی پیرامون دایره واحد در دو بخش متمایز متمرکز شده‌اند. در این شکل بردار \bar{T} برابند همه n رخداد بارش را نشان می‌دهد که زاویه آن با محور افقی نشان‌دهنده میانگین زمان وقوع همه رویدادها و اندازه آن بیانگر میزان یکنواختی توزیع رخدادها در طول سال است.

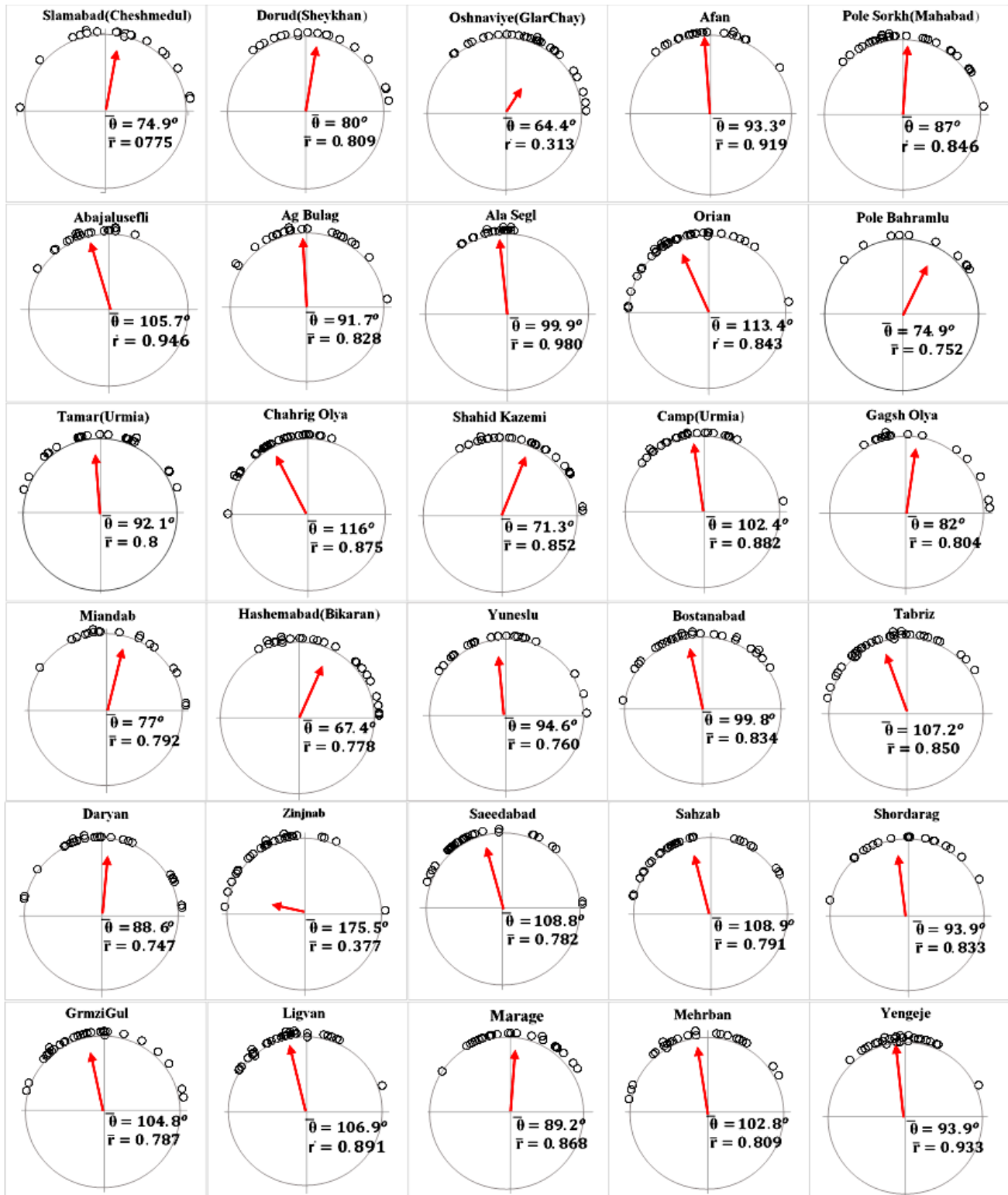
جدول ۲ مقادیر شاخص‌های ارزیابی \bar{T} ، $\bar{\theta}$ ، D_j و csd را برای ایستگاه‌های منتخب نشان می‌دهد. در این جدول مقادیر هر یک از شاخص‌های \bar{T} ، $\bar{\theta}$ ، D_j و csd هم برای کل مجموعه رخدادها در طول سال (total) و هم برای دو فصل بارشی مجزا $S1$ و $S2$ آورده شده است. نمودارهای دایره‌ای توزیع رویدادهای حدی بارش برای یکایک ایستگاه‌ها در دو فصل $S1$ و $S2$ به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است. پارامترهای \bar{T} ، $\bar{\theta}$ ، D_j و csd خلاصه‌ای توصیفی بر اساس آمار



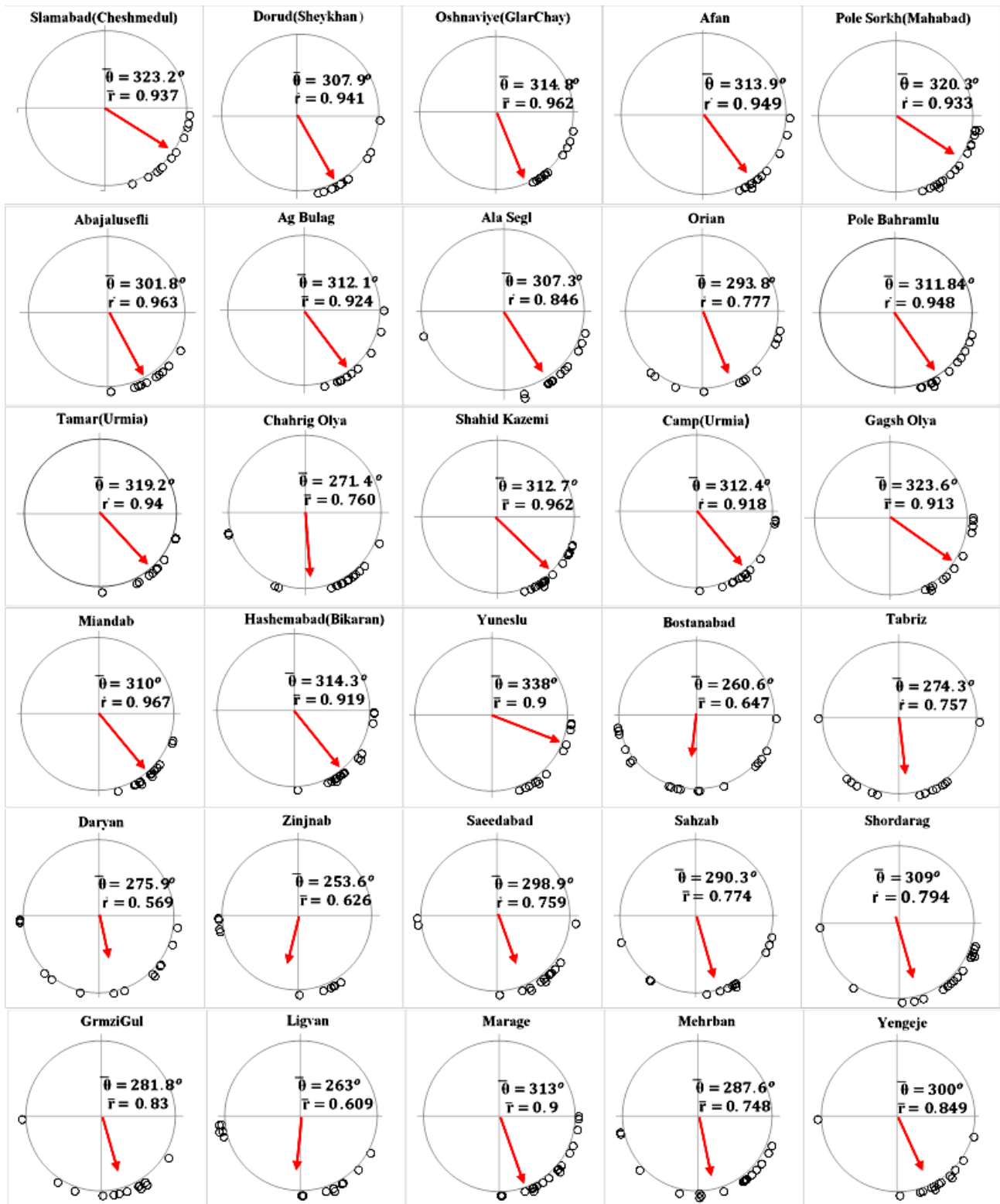
شکل ۴. نمودار دایره‌ای توزیع کل داده‌های زمان وقوع رخدادها در ایستگاه‌های منطقه ($\bar{\theta}$ = میانگین زمان وقوع همه رخدادها در طول دوره آماری و \bar{r} = معیار تمرکز داده‌ها)

جدول ۲. نتایج محاسبات شاخص‌های فصلی \bar{r} (معیار تمرکز) و $\bar{\theta}$ (میانگین زمان وقوع رخدادها) و csd (انحراف معیار استاندارد) برای ایستگاه‌های منطقه

csd			\bar{r}			$\bar{\theta}$						ایستگاه‌ها
S2	S1	Total	S2	S1	Total	S2		S1		Total		
						Dj	$\bar{\theta}$	Dj	$\bar{\theta}$	Dj	$\bar{\theta}$	
۰/۳۵	۰/۷۲	۱/۷۱	۰/۹۴	۰/۷۷	۰/۲۳	۳۲۸	۳۲۳/۲	۷۶	۷۴/۹	۲۶	۲۵/۸	اسلام‌آباد (چشمه‌دول)
۰/۳۲	۰/۶۵	۱/۳۷	۰/۹۵	۰/۸۱	۰/۳۹	۳۱۲	۳۰۷/۹	۸۱	۸۰	۵۵	۵۴/۲	درود(شیخان)
۰/۲۸	۱/۵۳	۱/۱۳۸	۰/۹۶	۰/۳۱	۰/۵۳	۳۱۹	۳۱۴/۸	۶۵	۶۴/۴	۳۷	۳۶/۶	اشنویه (گلارچای)
۰/۳۲	۰/۴۱	۱/۴۳	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۳۶	۳۱۸	۳۱۳/۹	۹۵	۹۳/۳	۴۹	۴۸/۵	آفان
۰/۳۸	۰/۵۷	۱/۵۳	۰/۹۳	۰/۸۵	۰/۳۱	۳۲۵	۳۲۰/۳	۸۸	۸۷	۵۴	۵۳	پل سرخ (مهاباد)
۰/۲۸	۰/۳۲	۱/۵۷	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۲۹	۳۰۶	۳۰۱/۸	۱۰۷	۱۰۵/۷	۸۸	۸۶/۷	آباجالوسفلی
۰/۴۱	۰/۶۱	۱/۳۷	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۳۹	۳۱۷	۳۱۲/۱	۹۳	۹۱/۷	۶۲	۶۱/۶	آق بولاغ
۰/۵۷	۰/۲	۱/۵۵	۰/۸۵	۰/۹۸	۰/۳	۳۱۲	۳۰۷/۳	۱۰۱	۹۹/۹	۶۸	۶۷/۱	آلا سقل
۰/۷	۰/۵۹	۱/۸۲	۰/۷۸	۰/۸۴	۰/۱۹	۲۹۸	۱۹۳/۸	۱۱۵	۱۱۳/۴	۹۸	۹۶/۴	اوریان
۰/۳۲	۱/۷۶	۱/۵۷	۰/۹۵	۰/۷۵	۰/۲۹	۳۱۶	۳۱۱/۸	۷۶	۷۴/۹	۲۲	۲۱/۴	پل بهراملو
۰/۳۵	۰/۶۷	۱/۴۹	۰/۹۴	۰/۸	۰/۳۳	۳۲۴	۳۱۹/۲	۹۳	۹۲/۱	۷۲	۷۱/۴	تمر (ارومیه)
۰/۷۴	۰/۵۳	۱/۶۴	۰/۷۶	۰/۸۷	۰/۲۶	۲۷۵	۲۷۱/۴	۱۱۸	۱۱۶	۱۲۶	۱۲۴	چهریق علیا
۰/۲۸	۰/۵۷	۱/۲۳	۰/۹۶	۰/۸۵	۰/۴۷	۳۱۷	۳۱۲/۷	۷۲	۷۱/۳	۲۵	۲۴/۵	شهید کاظمی
۰/۴۱	۰/۵	۱/۵۵	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۳	۳۱۷	۳۱۲/۴	۱۰۴	۱۰۲/۴	۶۸	۶۷/۳	کمپ (ارومیه)
۰/۴۳	۰/۶۷	۱/۲۸	۰/۹۱	۰/۸	۰/۴۴	۳۲۸	۳۲۳/۶	۸۳	۸۲	۳۱	۳۰/۴۴	گاگش علیا
۰/۲۵	۰/۶۹	۱/۳۷	۰/۹۷	۰/۷۹	۰/۳۹	۳۱۴	۳۱۰	۷۸	۷۷	۱۷	۱۶/۷	میانداب
۰/۴۱	۰/۷	۱/۳۵	۰/۹۲	۰/۷۸	۰/۴	۳۱۹	۳۱۴/۳	۶۸	۶۷/۴	۱۷	۱۶/۹	هاشم آباد (ببکران)
۰/۴۶	۰/۷۴	۱/۴۹	۰/۹	۰/۷۶	۰/۳۳	۳۴۳	۳۳۸	۹۶	۹۴/۶	۳۹	۳۹	یونسلو
۰/۹۳	۰/۶۱	۱/۶۴	۰/۶۵	۰/۸۳	۰/۲۶	۲۶۴	۲۶۰/۶	۱۰۱	۹۹/۸	۱۱۲	۱۱۰/۵	بستان آباد
۰/۷۴	۰/۵۷	۱/۳۷	۰/۷۶	۰/۸۵	۰/۳۹	۹۶	۹۴/۳	۱۰۹	۱۰۷/۲	۱۱۶	۱۱۴/۵	تبریز
۱/۰۶	۰/۷۶	۱/۵۷	۰/۵۷	۰/۷۵	۰/۲۹	۹۷	۹۵/۹	۹۰	۸۸/۶	۸۵	۸۳/۵	دریان
۰/۹۶	۱/۳۹	۱/۱۴	۰/۶۳	۰/۳۸	۰/۵۲	۲۵۷	۲۵۳/۶	۱۷۸	۱۷۵/۵	۱۳۰	۱۲۸/۳	زینجان
۰/۷۴	۰/۷	۱/۵۷	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۲۹	۳۰۳	۲۹۸/۹	۱۱۰	۱۰۸/۸	۱۰۲	۱۰۱/۱	سعیدآباد
۰/۷۲	۰/۶۹	۱/۵۷	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۲۹	۱۱۲	۱۱۰/۳	۱۱۰	۱۰۸/۹	۱۰۹	۱۰۷/۹	سهباز
۰/۶۹	۰/۶۱	۱/۶۶	۰/۷۹	۰/۸۳	۰/۲۵	۳۱۴	۳۰۹/۳	۹۵	۹۳/۹	۳۱	۳۱/۱	شوردرق
۰/۶۱	۰/۶۹	۱/۵۱	۰/۸۳	۰/۷۹	۰/۳۲	۲۸۶	۲۸۱/۸	۱۰۶	۱۰۴/۸	۱۰۸	۱۰۶/۷	قرمزی گل
۰/۹۹	۰/۴۸	۱/۲۶	۰/۶۱	۰/۸۹	۰/۴۵	۲۶۷	۲۶۳	۱۰۸	۱۰۶/۹	۱۱۷	۱۱۵/۷	لیقوان
۰/۴۶	۰/۵۳	۱/۴۷	۰/۹	۰/۸۷	۰/۳۴	۳۱۷	۳۱۳	۹۰	۸۹/۲	۳۹	۸۳/۳	مراغه
۰/۷۶	۰/۶۵	۱/۸۸	۰/۷۵	۰/۸۱	۰/۱۷	۲۹۲	۲۸۷/۶	۱۰۴	۱۰۲/۸	۹۵	۹۳/۸	مهربان
۰/۵۷	۰/۳۸	۱/۳۹	۰/۸۵	۰/۹۳	۰/۳۸	۳۰۴	۳۰۰	۹۵	۹۳/۹	۷۵	۷۴/۱	ینگجه



شکل ۵. نمودار دایره‌ای توزیع زمان وقوع رخداد‌های فصل ۱ در ایستگاه‌های منطقه ($\bar{\theta}$ = میانگین زمان وقوع همه رخدادها در طول دوره آماری و \bar{r} = معیار تمرکز داده‌ها)



شکل ۶. نمودار دایره‌ای توزیع زمان وقوع رخدادها فصل ۲ در ایستگاه‌های منطقه ($\bar{\theta}$ = میانگین زمان وقوع همه رخدادها در طول دوره آماری و \bar{r} = معیار تمرکز داده‌ها)

طبق جدول ۲ و نمودارهای شکل ۵ می‌توان ادعا کرد که در S1 مقادیر $\bar{\theta}$ همه ایستگاه‌ها از ۶۴/۴ تا ۱۷۵/۵ (در بخش غربی دریاچه از ۶۴/۴ تا ۱۱۶ و در بخش شرقی از ۸۸/۶ تا ۱۷۵/۵) متغیر است. یعنی میانگین زمان رخداد بارندگی حدی از لحاظ تقویمی از ۶ مارس ($D_j=65$) تا ۲۷ ژوئن ($D_j=178$) (در بخش غربی دریاچه از ۶ مارس تا ۲۸ آوریل و در بخش شرقی از ۳۱ مارس تا ۲۷ ژوئن) تغییر می‌کند. چنانچه از نمودارهای دایره‌ای هم قابل مشاهده است، میانگین زمان وقوع رخدادهای حدی S1 از ماه آخر زمستان (۶ مارس) تا ماه آخر بهار (۲۷ ژوئن) برای بخش غربی دریاچه و در بخش شرقی حوضه از آخرین روز زمستان تا اواخر بهار اتفاق می‌افتد. همچنین در فصل S1 مقادیر \bar{T} کل منطقه در بازه (۰/۹۸ - ۰/۳۱) تغییر می‌کند به طوری که دامنه تغییرات آن در بخش غربی دریاچه (۰/۹۸ - ۰/۳۱) و در بخش شرقی (۰/۹۳ - ۰/۳۸) است. این نتیجه حاکی از مشابهت تمرکز رخدادهای حدی بارش در هر دو بخش شرقی و غربی حوضه است. بیشترین مقدار \bar{T} مربوط به ایستگاه آلاسکل ($\bar{T} = 0/98$) است که در بخش غربی دریاچه قرار دارد. این ایستگاه کمترین مقدار شاخص csd (۰/۲) را دارد که نشان می‌دهد در بین ایستگاه‌ها قوی‌ترین حالت فصلی رخدادهای حدی بارش در فصل S1 متعلق به آن است. از طرفی ایستگاه اشنویه واقع در غرب منطقه کمترین مقدار \bar{T} ($\bar{T} = 0/31$) و بیشترین مقدار csd (۱/۵۳) را دارا بوده که حاکی از کم بودن قدرت فصلی رویدادهای بارشی حدی در آن است. با توجه به دامنه تغییرات معیار تمرکز (\bar{T}) در هر دو بخش غربی و شرقی می‌توان نتیجه گرفت قدرت فصلی رخدادهای بارشی حدی در فصل S1 کم و بیش در منطقه مشابه است.

با توجه به نتایج به دست آمده از لحاظ تمرکز رخدادها می‌توان نتیجه گرفت که قدرت فصلی در بخش غربی بیش از بخش شرقی است. در فصل S2 بیشترین مقدار \bar{T} مربوط به ایستگاه میاناداب ($\bar{T} = 0/97$) واقع در بخش غربی (جنوب دریاچه ارومیه) بوده که دارای کمترین مقدار csd (۰/۲۵) است. رخدادهای حدی این ایستگاه بیشترین تمرکز را در فصل S2 داراست. این فصل در منطقه مورد مطالعه از اول پاییز تا اواسط ماه آخر پاییز است. علاوه بر آن، معیار تمرکز رخدادها (\bar{T}) در فصل S2 در سه ایستگاه شهید کاظمی، آباجالوسفلی و اشنویه نیز با اختلاف جزئی برابر ۰/۹۶ و در ایستگاه‌های آقان و پل بهراملو مقدار ۰/۹۵ است، که نشان‌دهنده تمرکز قوی رخدادها در یک بازه زمانی خاص در ناحیه غربی است. ایستگاه دریان واقع در شرق (شمال دریاچه) کمترین مقدار \bar{T} را دارد که در آن $\bar{T} = 0/57$ و شاخص انحراف معیار استاندارد آن (۱/۰۶) csd (=) است که حاکی از این واقعیت است که در ایستگاه دریان قدرت فصلی رخدادهای حدی بارش در پایین‌ترین سطح خود در مقایسه با ایستگاه‌های حوضه قرارداد. در واقع در فصل S2 حالت فصلی بخش غربی قوی‌تر از شرق حوضه است.

در شکل ۵ طول بردار \bar{T} نسبت به شکل ۴ بزرگ‌تر است. این نشان می‌دهد که بعد از فصل بندی بارش‌های منطقه به دو فصل، رخدادهای بارش‌های حدی در فصل S1 در مقایسه با

همان‌طور که از جدول ۲ و نمودارهای رسم شده در شکل ۶ می‌توان نتیجه گرفت، برای بازه زمانی فصل S2 دامنه تغییرات مقادیر $\bar{\theta}$ کل منطقه از ۲۵۳/۶ تا ۳۳۸ درجه تغییر می‌کند. در بخش غربی دریاچه این دامنه از ۲۷۱/۴ تا ۳۳۸ درجه و در بخش شرقی آن از ۲۵۳/۶ تا ۳۱۳ درجه تغییر می‌کند. یعنی بازه میانگین زمانی وقایع حدی از لحاظ تقویمی از ۱۴ سپتامبر

همان‌طور که از جدول ۲ و نمودارهای رسم شده در شکل ۶ می‌توان نتیجه گرفت، برای بازه زمانی فصل S2 دامنه تغییرات مقادیر $\bar{\theta}$ کل منطقه از ۲۵۳/۶ تا ۳۳۸ درجه تغییر می‌کند. در بخش غربی دریاچه این دامنه از ۲۷۱/۴ تا ۳۳۸ درجه و در بخش شرقی آن از ۲۵۳/۶ تا ۳۱۳ درجه تغییر می‌کند. یعنی بازه میانگین زمانی وقایع حدی از لحاظ تقویمی از ۱۴ سپتامبر

روند تغییرات زمان وقوع رویدادهای حدی بارش منفی بوده یعنی زمان وقوع رخداد‌های حدی به سمت مبدأ (به عقب) کشیده شده است. در ضمن در ۶۱٪ ایستگاه‌ها شیب مذکور مثبت بوده که حاکی از این واقعیت است که زمان وقوع رخداد‌های بارش کم و بیش به جلو کشیده شده‌اند. به عبارت دیگر زمان وقوع از مبدأ مختصات دور شده و رویدادها دیرتر به وقوع می‌پیوندند. در فصل S1 نتایج مربوط به بخش شرقی نشان داد که پنج ایستگاه (۴۲٪) دارای شیب تغییرات منفی و هفت ایستگاه (۵۸٪) دارای شیب تغییرات مثبت بودند. به طوری که از شکل ۷ نیز می‌توان دید، در فصل S2 در بخش غربی دریاچه ۸۹٪ ایستگاه‌ها دارای شیب منفی بوده و در ۱۱٪ ایستگاه‌ها شیب تغییرات مثبت بود. در حالی که در همین فصل در بخش شرقی حوضه ۴۲٪ ایستگاه‌ها دارای شیب روند منفی و ۵۰٪ ایستگاه‌ها روند مثبت داشتند و یک ایستگاه (قرمزی گل) بدون تغییر و دارای شیب صفر بود. در واقع، در بخش شرقی در هر دو فصل S1 و S2 شرایط مشابهی از نظر تعداد ایستگاه با شیب تغییرات منفی (۴۲٪) و بیش از نیمی از ایستگاه‌ها شیب تغییرات مثبت (۵۵٪) داشتند، ولی در بخش غربی دریاچه، تعداد ایستگاه با شیب نزولی در فصل S1 (۳۹٪) کمتر از فصل S2 (۸۹٪) و تعداد ایستگاه با شیب صعودی در فصل S1 (۶۱٪) بیشتر از فصل S2 (۱۱٪) است. برای کل منطقه، در فصل S1 درصد ایستگاه‌ها با شیب‌های منفی و مثبت به ترتیب ۴۰٪ و ۶۰٪ بود در حالی که، در فصل S2 و درصد ایستگاه‌ها با شیب‌های منفی و مثبت به ترتیب ۷۷٪ و ۲۷٪ بود. علاوه بر آن برای هر دو فصل S1 و S2 تغییرات همسو (از نظر مثبت و منفی بودن تغییر در هر دو فصل مربوط به هر یک از ایستگاه‌ها) در ایستگاه‌های بخش غربی ۲۸٪ و تغییرات غیرهمسو ۷۲٪ و تغییرات مثبت و منفی همسو در ایستگاه‌های بخش شرقی ۳۳٪ و تغییرات غیرهمسو ۵۸٪ است. شکل ۷ نتایج به دست آمده را روی منطقه مورد مطالعه توصیف می‌کند. در شکل ۷ نقشه ایستگاه‌های منتخب در حوضه آبریز دریاچه

حالتی که فصل‌بندی انجام نشده باشد، از قدرت فصلی بیشتری برخوردار است. همچنین دامنه تغییر در زاویه $\bar{\theta}$ ایستگاه‌ها نیز در فصل S1 نسبت به حالتی که فصل‌بندی انجام نشده باشد کوچک‌تر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پس از فصل‌بندی، رویدادهای حدی در فصل S1 (و فصل S2) از تمرکز زمانی بیشتری برخوردار شده‌اند.

نتایج تست‌های یکنواختی ریلیر و کایپر برای کل رخداد‌های حدی بارندگی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. به طوری که می‌توان استنباط کرد، غیریکنواختی رویدادهای بارش تمامی ایستگاه‌های منطقه در سطح معنی‌داری $\alpha=0/1$ مورد تأیید هر دو آزمون قرار گرفته‌اند. در آزمون کایپر، عدم وجود یکنواختی در زمان وقوع رخداد‌های بارشی در هر سه سطح ۱٪، ۵٪ و ۱۰٪ تأیید شده است. این نتیجه حاکی از وجود دو یا چند فصل متمایز در طول سال برای زمان وقوع رخداد‌هاست. به همین دلیل، در مطالعه حاضر کل رویدادها به دو فصل متمایز شامل S1 و S2 تفکیک شد. رویدادهایی که زمان وقوع آنها از $D_j = 1$ تا $D_j = 182/625$ بود، در فصل S1 و سایر رویدادها در فصل S2 قرار گرفتند. آنگاه شاخص‌های \bar{r} ، $\bar{\theta}$ و csd آنها برای هر فصل جداگانه حساب شد.

هر چند در تست ریلیر آزمون یکنواختی برای همه ایستگاه‌ها به جز پنج مورد در سطح معنی‌داری ۱۰٪ و ۵٪ رد شد ولی در سطح ۱٪، در ۶۰٪ ایستگاه‌ها یکنواخت بودند که در واقع نتیجه این آزمون فقط عدم وجود حالت تک-مدی (Unimodal) را تأیید می‌کند. نتیجه این آزمون به تنهایی برای پذیرش یکنواختی توزیع داده‌ها کافی نیست و باید یکنواختی رویدادها توسط تست کایپر نیز ثابت شود که محاسبات خلاف آن را نشان دادند. نمودارهای دایره‌ای شکل ۴ نیز آن را تأیید می‌کنند. نتایج حاکی از وجود حالت دو-مدی (Bimodal) است.

جدول ۴ خلاصه نتایج محاسبات شیب سن را نشان می‌دهد. به طوری که می‌توان از جدول استنباط کرد، برای فصل S1 در بخش غربی دریاچه در ۳۹٪ ایستگاه‌ها شیب

جدول ۳. نتایج تست‌های ریلیر و کوپر برای تأیید یا رد یکنواختی در سطح معنی‌داری ($\alpha=0.01, 0.05, 0.1$) و POT متعلق به هر ایستگاه

POT	تست کاپیر			تست ریلیه			
	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	
۰/۹۴	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	یکنواخت	یکنواخت	اسلام‌آباد (چشمه‌دول)
۰/۹۶	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	درود (شیخان)
۰/۹۶	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	اشنویه (گلارچای)
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	آفان
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	پل سرخ (مهاباد)
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	آباجالوسفلی
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	آق بولاغ
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	آلا سقل
۰/۹۴	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	اوریان
۰/۹۶	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	پل بهراملو
۰/۹۵	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	تمر (ارومیه)
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	چهریق علیا
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	شهید کاظمی
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	کمپ (ارومیه)
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	گاگش علیا

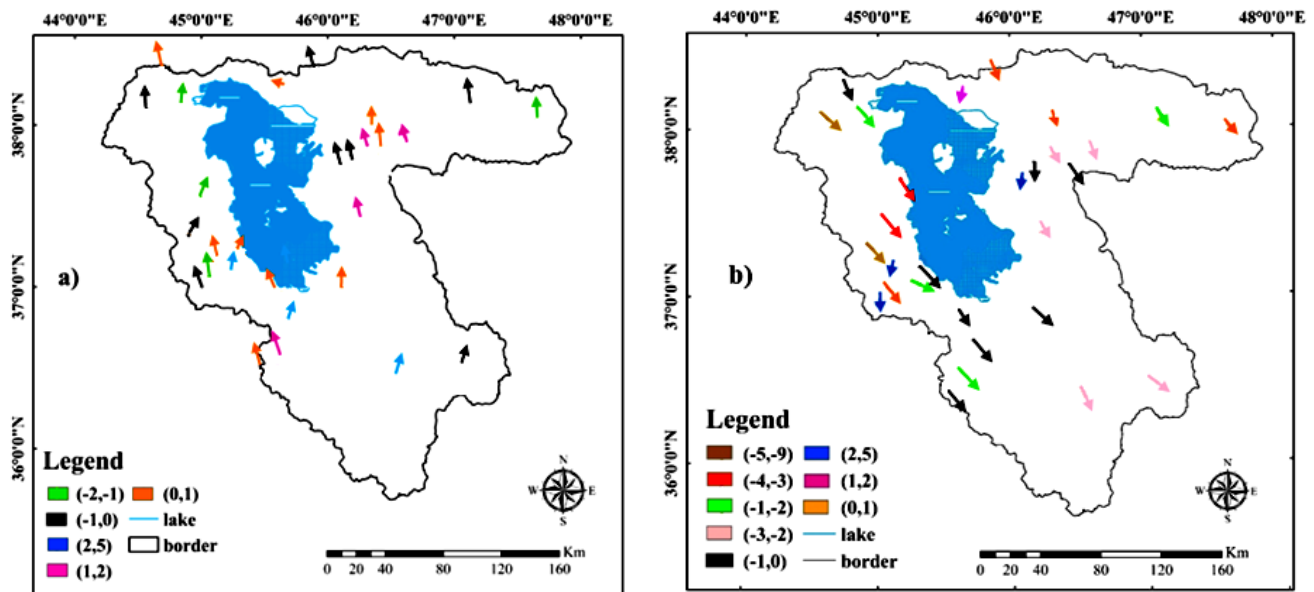
جدول ۳. نتایج تست‌های ریلیر و کوپر برای تأیید یا رد یکنواختی در سطح معنی‌داری ($\alpha=0.01, 0.05, 0.1$) و POT متعلق به هر ایستگاه (ادامه)

POT	تست کاپیر			تست ریلیه			
	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	میانداب
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	هاشم‌آباد (بیبکران)
۰/۹۵	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	یونسلو
۰/۹۷۵	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	بستان‌آباد
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	تبریز
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	دریان
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	زینجناب
۰/۹۷۵	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	سعیدآباد
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	سهزاب
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	شوردرق
۰/۹۶	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	قرمزی‌گل
۰/۹۸	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	لیقوان
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	مراغه
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	مهربان
۰/۹۷	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (چند-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	غیر یکنواخت (تک-مدی)	ینگجه

جدول ۴. نتایج آمارهای S (شیب Sen) و Z (من-کندال) زمان بارش شدید ایستگاه‌های منتخب در حوضه دریاچه ارومیه در هر دو فصل S1، S2 و کل سال

Z (Mann-Kendall)			S (Sen Slope)			ایستگاه‌ها
Total	Season 1	Season 2	Total	Season 1	Season 2	
-۱/۵۱	-۰/۷	-۱/۵۶	۰/۱۵	-۰/۸۳	-۵/۳۳	اسلام‌آباد (چشمه‌دول)
۲/۲۷*	۲/۶۹**	-۱/۱۷	۰/۸۲	۴/۶۲	-۱/۷۷	درود (شیخان)
-۰/۴۵	۰/۸۱	-۰/۳۴	۱/۲۵	۰/۷۹	-۰/۴۸	اشنویه (گلارچای)
۱/۰۲	۰/۸۱	-۰/۲۴	-۰/۲۴	۰/۹	-۰/۳۸	آفان
۰/۳۸	۰/۳۸	-۰/۳۷	-۰/۱۸	۰/۴	-۰/۶۸	پل سرخ (مهاباد)
۰/۲	-۱/۱	-۱/۴۳	۰/۲۴	-۱/۱	-۳/۳۳	آباجالوسفلی
۱/۰۹	۲/۰۹*	-۱/۴۳	۱/۷۳	۲/۸۳	-۲/۷۵	آق‌بولاغ
۰/۳۴	-۰/۷۲	۱/۳۴	۰	-۰/۳	۳/۰۵	آلاسقل
۱/۱۴	۰/۳۱	-۱/۷۱	۰/۵۲	-۰/۱	-۹	اوریان
-۰/۴۸	۰	-۱/۱	-۰/۷۵	-۱/۲	-۱/۳۵	پل بهراملو
۱/۱	۱/۲۷	۰	۰/۲۱	۲/۱۷	-۰/۱۷	تمر (ارومیه)
۱/۱۳	۰/۳۶	۰	۰/۳۶	۰/۰۴	-۰/۶۹	چهریق علیا
۰/۳۳	۰/۰۵	-۱/۰۷	-۰/۵۴	۰/۰۹	-۱	شهید کاظمی
-۰/۳۹	-۰/۱۱	-۱/۹۲	۰/۲۹	-۰/۱۸	-۲/۵	کمپ (ارومیه)
-۰/۹۷	۰	-۰/۴۱	۰/۶۴	۰/۰۵۶	-۰/۵۲	گاگش علیا
-۰/۲۸	-۰/۳۸	۰/۹۹	۰/۵۴	-۱	۰/۷۵	میانداب
۱/۲۵	۱/۵۲	-۱/۵۸	-۰/۳	۱/۵	-۱/۷۶	هاشم‌آباد (بیبکران)
-۰/۵۳	۲/۰۹*	۲/۵۴**	۱	۱/۱۸	-۳/۹۲	یونسو
۱/۹	۰/۸۲	۱/۲۲	۱/۰۶	۰/۸۶	۳/۵	بستان‌آباد
-۱/۲۷	-۰/۷۱	-۰/۷۷	-۰/۱۴	-۰/۴۷	-۱	تبریز
۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۳۳	دریان
۱/۰۱	۰/۹۷	۰/۳۶	۰/۵	۰/۷۲	۱	زینجناب
۱/۲	۱/۶۲	-۱/۷۹	۸	۱/۵	-۲/۳	سعیدآباد
۲/۵۶**	۱/۶۴	-۱/۳۴	۰/۷۷	۱/۸	-۲/۲۲	سهزاب
-۱/۱۲	-۰/۸۳	۰/۴۹	۳	-۱/۷۳	۰/۶۴	شوردرق
-۰/۸۲	-۰/۸۹	۰	-۰/۲۳	-۰/۵۲	۰	قرمزی‌گل
۱/۶۷	-۰/۸۲	۱/۵۹	-۰/۰۸	۰/۵	۴/۷۵	لیقوان
۱/۱۴	۰/۴۵	-۰/۳۸	-۰/۰۶	۰/۵۹	-۰/۶۷	مراغه
۰/۲۵	۱/۲۲	-۰/۹۹	۱	۱/۷۳	-۲/۳	مهربان
-۱/۱۸	-۰/۴۶	-۱/۱	۰/۲۳	-۰/۳۷	-۱/۷۵	ینگجه

توجه: ارقام پررنگ بدون ستاره نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱۰٪ و * و ** به ترتیب در سطوح ۵٪ و ۱٪ معنی‌داری را نشان می‌دهند.



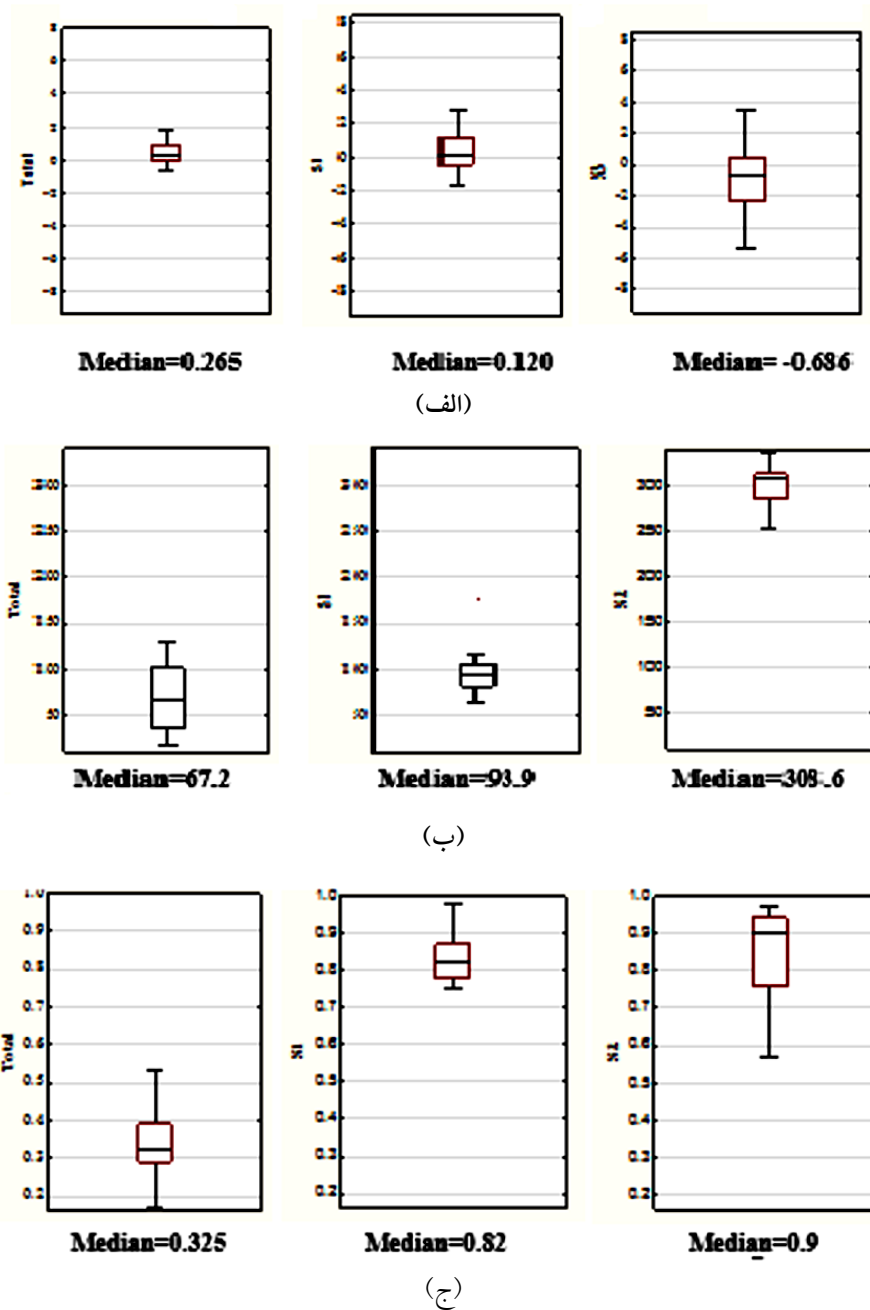
شکل ۷. تغییرات مکانی شاخص‌های فصلی و شیب تغییرات زمان رویدادهای شدید بارش طی دوره آماری (۱۳۷۰-۱۳۹۰) در حوضه دریاچه ارومیه در: الف) فصل S1 و ب) فصل S2 (طول، جهت و رنگ بردارها \bar{D}_1 ، \bar{D}_2 و S (day/year) هستند).

بدون فصل‌بندی (کلی)، S1 و S2 به ترتیب، معادل ۰/۲۶، ۰/۱۲ و ۰/۶۹- حاصل شد. همان‌گونه که از شکل‌های ۸-الف، ۸-ب و ۸-ج به وضوح می‌توان دید، واریانس شیب‌ها در حد فاصل چارک اول و سوم برای حالت کلی ۰/۲۸ و برای S1 و S2 به ترتیب برابر با ۰/۴۹ و ۰/۷ است. تغییرات غیرهمسو در شیب سن مربوط به دو فصل چه در بخش غربی (۷۲٪) و چه در بخش شرقی (۵۸٪) زیاد است. در حالت بدون تفکیک فصول از هم، این تغییرات همدیگر را خنثی خواهد کرد. بنابراین واریانس شیب‌ها در حالت بدون فصل‌بندی کمتر از واریانس هر دو فصل است.

جدول ۵ نتایج آماره‌های $\bar{\theta}_{median}$ و \bar{f}_{median} (مربوط به میانه‌های مقادیر شاخص‌های $\bar{\theta}$ و \bar{f}) را برای کل ایستگاه‌های منطقه در سه حالت شامل کل رخدادها (بدون فصل‌بندی)، S1 و S2 نشان می‌دهد. به طوری که از این جدول می‌توان نتیجه گرفت مقدار \bar{f}_{median} برای حالت بدون فصل‌بندی به مراتب کمتر از مقادیر نظیر در فصول S1 و S2 است. این نشان می‌دهد که اگر همه رویدادها را در کل سال در نظر بگیریم رویدادهای مختلف متناظر زمان‌های وقوع مختلف روی \bar{f}_{median} تأثیر

ارومیه که در آن جهت بردار میانگین، زمان وقوع رخدادهای حدی بارش، اندازه آن و نیز اندازه معیار تمرکز \bar{f} برای ایستگاه‌های منتخب در طول دوره آماری قابل مشاهده است. هرچه اندازه بردار بزرگ‌تر باشد به معنای قدرت تمرکز بیشتر رویدادها و فصلی بالا است. همچنین در این شکل هر رنگ نشان‌دهنده یک محدوده شیب خاص برای شیب خط روند تغییرات زمان وقوع رخدادهاست. یعنی در هر ایستگاه میانگین زمان وقوع رخدادهای بارش حدی در چه روزی اتفاق می‌افتد و چقدر این رخدادها در این زمان متمرکزترند و این زمان وقوع با چه نرخ در سال (با مقیاس روز در سال) در حال تغییر است.

شکل‌های ۸-الف، ۸-ب و ۸-ج به ترتیب، باکس پلات مقادیر شیب خط روند، $\bar{\theta}$ و \bar{f} ایستگاه‌های منتخب را برای کل سال، فصل اول و دوم نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل ۸-الف می‌توان دید شیب خط روند تغییرات زمان وقوع بارش‌های حدی ایستگاه‌ها در حالت کلی (بدون فصل‌بندی) از رقم ۰/۷۵- تا ۱/۷۳ تغییر می‌کند. در حالی که، پس از فصل‌بندی رخدادها این شیب در فصل S1 از ۱/۷۳- تا ۴/۶۵ و در فصل S2 از ۵/۳۳- تا ۳/۵ تغییر می‌کند. میانه شیب‌ها برای حالت



شکل ۸: نمودارهای باکس پلات شاخص‌های مختلف ایستگاه‌های انتخاب شده: الف) شیب‌های خط روند، ب) مقادیر $\bar{\theta}$ و ج) مقادیر \bar{r}

جدول ۵. نتایج آماری باکس پلات شاخص‌های $\bar{\theta}$ و \bar{r} برای کل رخدادهای حدی بارش در دوره آماری Total و فصول S1 و S2

(S2) \bar{r}	(S1) \bar{r}	(Total) \bar{r}	(S2) $\bar{\theta}$	(S1) $\bar{\theta}$	(Total) $\bar{\theta}$	
۰/۹۰	۰/۸۲	۰/۳۲۵	۳۰۸/۶	۹۳/۹	۶۷/۲	Median
(۰/۹۴-۰/۷۶)	(۰/۸۷-۰/۷۸)	(۰/۳۹-۰/۲۹)	(۳۱۳/۹-۲۸۷/۶)	(۱۰۵/۷-۸۲)	(۱۰۱/۱-۳۶/۶)	Q3-Q1
(۰/۹۷-۰/۵۷)	(۰/۹۸-۰/۷۵)	(۰/۵۳-۰/۱۷)	(۳۳۸-۲۵۳/۶)	(۱۱۶-۶۴/۴)	(۱۲۸/۳-۱۶/۷)	Max-Min

توجه: فصل S1 رخدادهایی را شامل می‌شود که در شش ماه اول سال روی می‌دهد و فصل S2 رویدادهای نظیر در شش ماه دوم را دربرمی‌گیرد.

در دو بخش غربی و شرقی حوضه است. معیار تمرکز \bar{T} برای فصل S1 در بخش غربی دریاچه در بازه (۰/۹۸ - ۰/۳۱) و در بخش شرقی در بازه (۰/۹۳ - ۰/۳۸) متغیر است. نتایج حاکی از آن است که در فصل S1 هر دو بخش غربی و بخش شرقی از لحاظ تمرکز رخدادها و قدرت فصلی تفاوت چندانی ندارند. معیار تمرکز \bar{T} برای فصل S2 در بخش غربی دریاچه در بازه (۰/۹۷ - ۰/۰۷) و در بخش شرقی در بازه (۰/۰۹ - ۰/۵۹) متغیر است این نشان می‌دهد که از لحاظ تمرکز رخدادهای بارش حدی در فصل S2 قدرت فصلی در بخش غربی بیش از بخش شرقی آن است. در فصل S1 در بخش غربی دریاچه شیب سن ۳۹٪ ایستگاه‌ها و در بخش شرقی ۴۲٪ ایستگاه‌ها دارای شیب خط روند منفی بوده یعنی زمان وقوع رخدادهای حدی بارش در طول زمان به عقب کشیده شده‌اند. ۶۱٪ ایستگاه‌ها در بخش غربی و ۵۸٪ ایستگاه‌ها در بخش شرقی دارای شیب تغییرات مثبت بوده که حاکی از تاخر زمانی رخدادهای حدی بارش هستند. همچنین برای فصل S2 در ۸۹٪ ایستگاه‌ها در بخش غربی و در بخش شرقی ۴۲٪ ایستگاه‌ها شیب تغییرات به صورت منفی بوده و شیب تغییرات مثبت بخش غربی ۱۱٪ و بخش شرقی ۵۰٪ (یک ایستگاه بدون تغییر) است.

بحث و نتیجه‌گیری

در ایران با توجه به اقلیم منطقه، شواهد و مطالعه حاضر دو فصل به طور کامل مجزای بارش با توجه به نمودارهای دایره‌ای (شکل ۴) قابل تشخیص است (فصل اول در بازه اواخر زمستان تا اوایل بهار و فصل ثانویه در پاییز اتفاق می‌افتد). علاوه بر مقدار و زمان وقوع رویدادهای حدی، افزایش یا کاهش آب قابل بارش نیز (به عنوان یک فرایند هیدرولوژیک)، از پیامدهای تغییر اقلیم به حساب می‌آید (۸). در واقع عوامل تغییر در میزان آب قابل بارش در دو فصل ایجاد شده متفاوت است. علاوه بر آن در توزیع یکنواخت رویدادهای حدی بارش، مقدار کمیت r به سمت صفر گرایش دارد و برعکس مقدار csd بیشتر است ولی در توزیع تک-مدی عکس آن پیش‌بینی می‌شود که

گذاشته و آن را نسبت به هر یک از حالت‌های S1 و S2 کاهش می‌دهد. پس از فصل‌بندی مقادیر \bar{T}_{median} برای S1 برابر ۰/۸۲ و برای S2 برابر ۰/۹ شده است که به مراتب از حالت کلی بیشتر است و نشان می‌دهد که رویدادهای حدی بارش فصل S1 و S2 دارای تمرکز بیشتری در مقایسه با کل رویدادها بوده است. همچنین مقدار $\bar{\theta}_{median}$ برای حالت بدون فصل‌بندی (۶۷/۲) کمتر از حالت فصل S1 (۹۳/۹) و S2 (۳۰۸/۶) و از نظر مکانی روی نمودار دایره‌ای در حد واسط $\bar{\theta}_{median}$ مربوط به این دو فصل است. این نشان می‌دهد که اگر همه رویدادها را در کل سال در نظر بگیریم رویدادهای مختلف متناظر زمان‌های وقوع مختلف روی $\bar{\theta}_{median}$ تأثیر گذاشته و آن را نسبت به هر یک از حالت‌های S1 و S2 تغییر می‌دهد. به عبارت بهتر شاخص‌های فصلی مربوط به کل رخدادها نمی‌توانند به روشنی بیانگر شرایط حاکم بر رویدادهای حدی و تغییرات آنها در طول زمان باشند. با توجه به تحلیل فصلی داده‌های حدی بارندگی حوضه دریاچه ارومیه، خاصیت فصلی دو-مدی در ناحیه مورد مطالعه غالب است. در ضمن با استفاده از آمار دایره‌ای شاخص‌های ارزیابی \bar{T} ، $\bar{\theta}$ و csd برای هر یک از ایستگاه‌ها، هم در حالت بدون فصل‌بندی و هم برای هر یک از دو فصل متمایز S1 و S2 جداگانه تحلیل شدند. دامنه تغییرات مقادیر میانگین زمان رخداد بارندگی حدی در بازه زمانی فصل S1 در بخش غربی دریاچه از ۶ مارس تا ۲۸ آوریل (از اوایل ماه آخر زمستان تا آخر ماه اول بهار) و در بخش شرقی تقریباً یک ماه دیرتر (یعنی از ۳۱ مارس) شروع شده و تا ۲۷ ژوئن (از آخرین روز زمستان تا اواخر بهار) ادامه دارد. این دامنه برای بازه زمانی فصل S2 در بخش غربی دریاچه از ۲ اکتبر تا ۹ دسامبر (از اول پاییز تا اواسط ماه آخر پاییز) ادامه دارد. این دامنه در بخش شرقی حدود ۱۶ روز زودتر آغاز می‌شود. یعنی میانگین زمان وقوع رخداد بارش‌های حدی در شرق دریاچه ارومیه از ۱۴ سپتامبر تا ۱۳ نوامبر (از نیمه دوم ماه آخر تابستان تا اواسط پاییز) متغیر است. نوع تغییرات \bar{T} برای S1 در هر دو بخش (شرق و غرب) مشابه بوده که نشان‌دهنده قدرت فصلی مشابه بارش‌های حدی

اگر در تاریخ وقوع رویدادهای حدی حالت چند-مدی وجود داشته باشد، روند داده‌های مربوط به زمان وقوع رخداد باید به‌طور جداگانه در هر فصل بارشی مجزا تجزیه و تحلیل شود. بنابراین در این پژوهش فقط به محاسبه و تحلیل شاخص‌های دایره‌ای در کل دوره آماری بسنده نشد. بدین منظور بعد از انجام آزمون‌های مربوطه، تمامی محاسبات شاخص‌های فصلی و تحلیل‌های روند برای فصول بارشی متمایز جداگانه انجام شده است.

با توجه به نتایج حاصل شده رویدادهای بارش شدید و با قدرت فصلی به نسبت ضعیف نیز در برخی نواحی دیده می‌شود. این وقوع به نسبت تصادفی رژیم‌های بارش شدید، پتانسیل ایجاد چالش‌هایی را برای مدیریت سیستم‌های منابع آبی در حوضه‌های رودخانه‌ای و به‌خصوص کنترل سیلاب در نقاط شهری فراهم آورده است. ولی در مناطقی که حالت فصلی قوی رخ داده است تصمیم‌گیری برای مدیران منابع آبی راحت‌تر خواهد بود.

نشان می‌دهد حالت فصلی قوی بر داده‌ها حاکم است. در این دو حالت محاسبه شاخص‌های فصلی \bar{r} ، $\bar{\theta}$ و csd گویای شرایط حاکم بر توزیع داده‌ها خواهد بود. ولی در حالت چند-مدی و دو-مدی کمیت csd افزایش و r کاهش می‌یابد و نشان می‌دهد که تاریخ وقوع رویدادهای حدی دارای دامنه بسیار وسیع است و بنابراین $\bar{\theta}$ محاسبه شده تخمین شفافی از شرایط حاکم بر توزیع داده‌ها نخواهد بود و یک شاخص گمراه‌کننده از فصل غالب است و توصیف‌گر خوبی از ماهیت مدهای فصلی ترجیحی نخواهد بود (۱۴). این امر باعث ایجاد چالش در تحلیل‌های مرتبط با زمان وقوع رخداد‌های بارشی خواهد شد. در بیشتر مطالعات پیشین این مورد مهم در نظر گرفته نشده است. در برخی موارد بر اساس فرض یکنواختی توزیع رخدادها مطالعه به انجام رسیده و با هیچ آزمونی ماهیت داده‌ها ارزیابی نشده است (۱۸ و ۲۲) در برخی موارد (۸) فقط ایستگاه‌هایی مورد مطالعه بودند که از نظر آماری، آزمون یکنواختی در موردشان تأیید شده بود. پیرو (۱۴)،

منابع مورد استفاده

1. Alavinia, S.H. and M. Zarei. 2020. Analysis of spatial changes of extreme precipitation and temperature in Iran over a 50-year period. *International Journal of Climatology* 41: 1-21.
2. Aljoda, A and N. Dhakal. 2023. Examining seasonality based on probabilistic properties of extreme precipitation timing in the eastern United States. *Atmosphere* 14: 366.
3. Babamiri, O., Y. Dinpashoh and E. Asadi. 2013. Calibration and evaluation of seven radiation-based reference crop evapotranspiration methods at Urmia lake basin. *Water and Soil science* 23(4): 143-158. (In Persian).
4. Bayliss, A. C. and R. C. Jones. 1993. Peaks-Over-Threshold Flood Database: Summary Statistics and Seasonality. Institute of Hydrology, Wallingford, UK, IH Report No. 121, pp: 61.
5. Beguería, S. Angulo-Martínez, M., S. M. Vicente-Serrano, J. I. López-Moreno and A. El-Kenawy. 2010. Assessing trends in extreme precipitation events intensity and magnitude using non-stationary peaks-over-threshold analysis. *International Journal of Climatology* 31: 2102-2114.
6. Bezak, N., M. Brilly and M. Šraj. 2014. Comparison between the peaks-over-threshold method and the annual maximum method for flood analysis. *Hydrological Sciences Journal* 59:959-977.
7. Black, A. R. and A. Werritty. 1997. Seasonality of flooding: a case study of North Britain. *Journal of Hydrology* 195:1- 25.
8. Blöschl, G., J. Hall, J. Parajka, R. A. Perdigão, B. Merz, B. Arheimer, G. T. Aronica, A. Bilibashi, O. Bonacci, M. Borga, I. Čanjevac. 2017. Changing climate shifts timing of European floods. *Science* 357:588-590.
9. Burn, D. 1997. Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *Journal of Hydrology* 202: 12-230.
10. Burn, D. H., M. Sharif and K. Zhang. 2010. Detection of trends in hydrological extremes for Canadian watersheds. *Hydrological Processes* 24: 1781- 1790.
11. Burn, D. H. and P. H. Whitfield. 2018. Changes in flood events inferred from centennial length streamflow data records. *Advances in Water Resources* 121: 333-349.

12. Cunderlik, J. M., T. B. M. J. Ouarda and B. Bobée. 2004. On the objective identification of flood seasons. *Water Resources Research* 40: 1-12
13. Cunderlik, J. M. and T.B.M.J. Ouarda. 2009. Trends in the timing and magnitude of floods in Canada. *Journal of Hydrology* 375: 471-480.
14. Dhakal, N., S. Jain, A. Gray, M. Dandy and E. Stancioffl. 2015. Nonstationarity in seasonality of extreme precipitation: A nonparametric circular statistical approach and its application. *Water Resources Research* 51: 4499-4515.
15. Farajzadeh, J., A. Fakheri Fard and S. Lotfi. 2014. Modeling of monthly rainfall and runoff of Urmia lake basin using "feed-forward neural network" and "time series analysis" model. *Water Resources and Industry* 7: 38-48.
16. Ghezeli saflo, M., Y. Dinpashoh, M. A. Gorban and A. Fakheri Fard. 2012. Trend analysis of streamflows in east Azarbayjan province. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering* 35: 71-82.
17. Ghorbani Aghdam, M., Y. Dinpazhoh, A. Fakheri Fard and S. Darbandi. 2012. Regionalization of Urmia lake basin from the view of drought using factor analysis. *Journal of Water and Soil* 26(5):1268-1276. (In Persian).
18. Gu, X. Q. Zhang, V. P. Singh and P. Shi. 2017. Nonstationarity in timing of extreme precipitation across China and impact of tropical cyclones. *Global and Planetary Change* 149: 153-165.
19. Koutroulis, A. G., I. K. Tsanis and I. N. Daliakopoulos. 2010. Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete. *Journal of Hydrology* 394: 90-100.
20. Lang, M., T. B. M. J. Ouarda and B. Bobée 1999. Towards operational guidelines for over-threshold modeling. *Journal of Hydrology* 225: 103-117.
21. Mardia, K. V. and P. E. Jupp. 1999. Statistics of directional data. Wiley Press New York.
22. Maria, M., C. Gaudry, D. Gutknecht, J. Parajka, A. P. Rui and G. Blöschl. 2017. Seasonality of runoff and precipitation regimes along transects in Peru and Austria. *Journal of Hydrology, Hydromechanics* 65: 347-358.
23. Mansouri Daneshvar, M. R., M. Ebrahimi and H. Nejadsoleymani. 2019. An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research*: 8: 1-10.
24. Mardia, K. V. 1972. Statistics of Directional Data. Academic Press, England.
25. Mirabassi, R. and Y. Dinpazhoo. 2012. Trend analysis of precipitation of NW Iran over the past half of the century. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering* 35: 59-73.
26. Mohammadi, H., G. Azizi, F. Khoshakhlagh and F. Ranjbar. 2017. Analysis of daily precipitation extreme indices trend in Iran. *Physical Geography Research* 49(1): 21-37 (In Persian)
27. Parajka, J., S. Kohnová, G. Bálint, M. Barbuc, M. Borga, P. Claps, S. Cheval, A. Dumitrescu, E. Gaume, K. Hlavčová, R. Merz, G. Pfaundler, G. Stancalie, J. Szolgay, and G. Blöschl. 2010. Seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine-Carpathian range. *Journal of Hydrology* 394: 78-89.
28. Rahimi, M. and S. Sadat Fatemi. 2019. Mean versus extreme precipitation trends in Iran over the period 1960-2017. *Pure and Applied Geophysics* 176: 3717-3735.
29. Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379-1389.
30. Tabari, H., R. De Troch, O. Giot, R. Hamdi, P. Termonia, S. Saeed, E. Brisson, N. V. Lipzig and P. Willems. 2016. Local impact analysis of climate change on precipitation extremes: are high-resolution climate models needed for realistic simulations. *Hydrology and Earth System Sciences* 20: 3843-3857.
31. Theil, H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. *Indagationes Mathematicae* 12: 173
32. Vaheddoost, B. and H. Aksoy. 2017. Structural characteristics of annual precipitation in Lake Urmia basin. *Theoretical and Applied Climatology* 128: 919-932.
33. Villarini, G. 2016. On the seasonality of flooding across the continental United States. *Advances in Water Resources* 87: 80-91.
34. Zhang, Q., X. Gu, V. P. Singh, P. Shi and M. Luo. 2017. Timing of floods in southeastern China: Seasonal properties and potential causes. *Journal of Hydrology* 552: 732-744.

Application of Circular Statistics in Seasonality Analysis of Extreme Precipitation Occurrence Time in Urmia Lake Basin

R. Samadi^{*1}, Y. Dinpashoh², A. Fakheri Fard²

(Received: March 14-2023 ; Accepted: June 26-2023)

Abstract

A hydrological parameter affecting the management of water resource systems is changes in the amount and occurrence time of extreme precipitation (OTEP). In this research, the seasonality of precipitation in the Lake Urmia (LU) basin was analyzed using the daily extreme precipitation data of 30 rain gauges in the statistical period of 1991-2018. The uniformity of OTEP was tested by Rayleigh and Kuiper's tests at 0.1, 0.05, and 0.01 levels. The slope of the trend line for OTEP was estimated using the modified Sen slope estimator. The uniformity of OTEP was rejected at each level. The results revealed two strong seasons: late winter and early spring (S1) and autumn (S2) for OTEP. The results showed a general median seasonality index of 0.3, which changed to 0.82 and 0.9 for S1 and S2, respectively, after dividing the whole year into two seasons. The seasonal strength of S1 was similar in both the western and eastern parts of LU, but the west of the lake was stronger than the eastern part in S2. In S1, negative and positive trends in the OTEP were observed on average in 40% and 60% of the stations, respectively, with corresponding values of 77% and 27% for S2, respectively.

Keywords: Circular statistics, Extreme precipitation, Lake Urmia, Seasonality strength

1. Ph.D Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, East Azerbaijan, Iran.

2. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, East Azerbaijan, Iran.

*: Corresponding author, Email: Samadi.2017@yahoo.com