

Seasonality Analysis of Extreme Flood in
Urmia Lake Basin Using Circular StatisticsR. Samadi^{1*}, Y. Dinpashoh², and A. Fakheri-Fard³

Abstract

One of the important consequences of the climate change on extreme floods is the change in their frequency, timing and magnitude. In this research, the seasonality of flood in the Urmia Lake basin was analyzed based on the extreme flood data from 14 stations. This work was done in the statistical period of 2003-2019 using the new method of circular statistics. The uniformity of occurrence time of extreme floods (OTEF) was examined by Rayleigh-test and Kuiper-test, in three significance levels of 0.1, 0.05 and 0.01. The slope of the trend lines for the OTEF were estimated using the modified Sen's estimator. The results of the Kuiper test indicated that there is no uniformity in the OTEF. It was found that there are two distinct flood seasons in the region including a) late March to mid-May (S1) and b) mid-September to early December (S2). The mean of seasonal strength index of events was equal to $\bar{r} = 0.695$. By dividing the year into above mentioned seasons, this index was obtained as 0.9 for the first season and 0.78 for the second season. The two eastern and western parts of the Urmia Lake had same seasonality strength in S1. However, in S2 the seasonality of the western part of the lake was stronger than the eastern part. In S1, on average, the OTEF in 40% of the stations had a negative trend while for the rest it showed a positive trend. For S2 the stations with negative and positive trends were respectively 11% and 78% of the total.

Keywords: Seasonal Strength, Directional Statistics, Modified Sen Estimator Slope, Rayleigh, Kuiper.

Received: January 23, 2023

Accepted: May 10, 2023

تحلیل فصلی بودن سیلاب‌های حدی در حوضه دریاچه
ارومیه با استفاده از آمار دایره‌ایرقیه صمدی^{۱*}، یعقوب دین‌پژوه^۲ و احمد فاخری فرد^۳

چکیده

از پیامدهای مهم تغییرات اقلیمی روی سیلاب‌های حدی تغییر در فراوانی، زمان ظهور آن‌ها و مقدار آن‌ها است. در این پژوهش، تحلیل فصلی سیلاب‌های حدی حوضه دریاچه ارومیه با بکارگیری داده‌های ۱۴ ایستگاه هیدرومتری انجام شده است. این کار با استفاده از روش نوین آمار دایره‌ای در دوره آماری ۲۰۰۳-۲۰۱۹ انجام شد. یکنواختی زمان وقوع رویدادهای حدی با دو روش ریلیه و کایپر در سه سطح معنی‌داری ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ مورد آزمون قرار گرفت. از روش تخمین‌گر شیب سن اصلاح شده برای تخمین شیب خط روند زمان وقوع رویدادهای حدی استفاده شد. نتایج آزمون کایپر حاکی از عدم وجود یکنواختی در زمان وقوع رخداد‌های حدی سیلاب بود. معلوم شد که در منطقه، دو فصل سیلابی متمایز شامل الف) اواخر اسفند تا اواسط اردیبهشت (S1) و ب) اواسط شهریور تا اوایل آذر (S2) وجود دارد. میانه شاخص قدرت فصلی رویدادها برابر با $\bar{r} = 0.695$ بود. پس از تفکیک سال به دو فصل مورد اشاره، این رقم برای فصل اول ۰/۹ و برای فصل دوم ۰/۷۸ بدست آمد. قدرت فصلی S1 در دو بخش غربی و شرقی دریاچه ارومیه مشابه بود، ولی در فصل S2 بخش غربی دریاچه ارومیه قدرت فصلی بیشتری نسبت به بخش شرقی آن داشت. بطور میانگین، روند تغییرات زمان وقوع رخدادها در فصل S1 در ۴۰٪ ایستگاه‌ها منفی بود و ۶۰٪ بقیه روند مثبت داشتند. این رقم برای فصل S2 بترتیب ۱۱٪ برای روند نزولی و ۷۸٪ برای روند صعودی حاصل شد.

کلمات کلیدی: قدرت فصلی، آمار جهت‌دار، تخمین‌گر سن اصلاح شده، ریلیه، کایپر.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۲/۲۰

1- Ph.D. student, Water Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: Samadi.2017@yahoo.com

2- Professor, Water Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: dinpazhoh@tabrizu.ac.ir

3- Professor, Water Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: fakheri@tabrizu.ac.ir

*- Corresponding Author

Dor: [20.1001.1.17352347.1402.19.2.9.6](https://doi.org/10.17352/347.1402.19.2.9.6)

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲- استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳- استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۲ امکان‌پذیر است.



لازم است رویدادهای مربوط به سیلاب هم از نظر زمانی و هم از نظر مکانی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بررسی و تحلیل شود.

هدف این تحقیق، مطالعه تغییر در زمان وقوع سیلاب‌های حدی در دریاچه ارومیه است. برای این کار ابتدا حداکثر دبی‌های روزانه بالاتر از حد آستانه یا POT¹ با روش آماری جدید موسوم به آمار جهت‌دار² یا آمار دایره‌ای³ در هر یک از ایستگاه‌های آب‌سنجی انتخاب شده و سپس تحلیل‌های لازم صورت گرفته است. در انتخاب ایستگاه‌های هیدرومتری تلاش شده است که جریان آنها به صورت طبیعی بوده و تحت تاثیر سدسازی‌ها قرار نگیرد.

نظر به اینکه تحلیل زمان وقوع و نظم رویدادهای حدی هیدرولوژیکی، با کاربرد آمار دایره‌ای میسر است (Mardia, 1999). بنابراین از این روش در تشخیص زمان وقوع سیلاب‌های حدی، که برای حفظ جان ساکنین نواحی پایین‌دست ایستگاه هیدرومتری و نیز جلوگیری از خسارات سیل بویژه بخش کشاورزی و دامداری بسیار مهم است، استفاده شده است. استفاده از آمار دایره‌ای در تحلیل فصلی سیلاب‌ها نوآوری این مطالعه است. این نکته که زمان وقوع دبی سیل با تغییرات اقلیمی چگونه تغییر می‌کنند در سال‌های اخیر توجه بسیاری از محققین را در جهان به خود جلب کرده است (Black & Werritty, 1997; Blöschl et al., 2017). بنابراین زیست‌بوم‌هایی مانند حوضه دریاچه ارومیه که یکی از آسیب‌پذیرترین نواحی کشور در قبال تغییرات اقلیمی محسوب می‌شود (بدلیل خشکی دریاچه ارومیه) نیازمند تحلیل‌های بیشتر در زمینه سیلاب‌ها است.

Mardia (1999) تئوری آمار جهت‌دار را به‌عنوان یک علم جدید منشعب از آمار ارائه کرد. در این مقاله از این روش نوین در تحلیل زمان وقوع سیلاب‌های حدی حوضه دریاچه ارومیه استفاده شده است. اخیراً تحقیقات زیادی در زمینه کاربرد آمار دایره‌ای توسط محققین انجام شده‌است (Parajka et al., 2010; Koutroulis et al., 2010; Villarini, 2016; Jeneiová et al., 2016; Blöschl et al., 2017; Zhang et al., 2017; Hodgkins et al., 2017; Maria et al., 2017; Burn & Whitfield, 2018).

در مطالعه‌ای Parajka et al. (2010) برای تحلیل تفاوت‌های رژیم‌های بلند مدت بارندگی و سیلاب‌های شدید در محدوده آلفین-کارپاتیان⁴ از شاخص‌های فصلی و الگوهای گردش جوی و روش خوشه‌بندی برای درک فرآیند اصلی تولید سیل استفاده کردند. Koutroulis et al. (2010) به مطالعه فصلی بودن سیلاب و

تحلیل فصلی بودن سیلاب‌های حدی در مدیریت منابع آب هر منطقه از جمله در حوضه دریاچه ارومیه از اهمیت روزافزونی برخوردار است. این حوضه در سال‌های اخیر با چالش شدید کمبود آب ناشی از گرم شدن هوا و کاهش بارندگی مواجه شده است. کاهش سطح آب دریاچه ارومیه یکی از مظاهر مهم این چالش محسوب می‌شود که با افزایش ساخت و سازهای مربوط به سدها جهت ذخیره‌سازی آب و استفاده از آن در کشاورزی تشدید شده است. تشدید چرخه هیدرولوژیکی به‌عنوان یکی از پیامدهای تغییرات اقلیمی منجر به تغییر در تکرر وقوع سیلاب‌ها از نظر زمان وقوع و مقدار آنها شده است. سیلاب‌ها از جمله، مخاطرات طبیعی هستند که در نواحی مختلف با اقلیم‌های متفاوت عکس‌العمل‌های متفاوتی به تغییرات اقلیمی نشان می‌دهند (Burn and Whitfield, 2018). به‌عنوان مثال سیلاب‌های فروردین سال ۹۸ در شیراز، پل دختر، معمولان و استانهای لرستان و خوزستان در چند دهه اخیر بی‌سابقه بوده است. دریاچه ارومیه به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های شور مهم جهان در دو دهه اخیر با افت شدید سطح آب مواجه شده است (Eimanifar and Mohebbi, 2007; Bostan and Akyürek, 2007; Golabian, 2011; Hassanzadeh et al., 2012; Salehi Babil et al., 2012). اخیراً مطالعاتی از دیدگاه‌های مختلف در رابطه با کاهش سطح آب دریاچه ارومیه و مشکل بحران خشکی در حوضه آن صورت گرفته (است; Delavar et al., 2007; Hassanzadeh et al., 2012; Noury et al., 2014; Radmanesh et al., 2022; Schulz et al., 2020; Bozorg Haddad et al., 2020 & 2022). در زمینه فصلی بودن پدیده‌های هیدرولوژیکی و روند تغییرات مولفه‌های مختلف سیکل هیدرولوژی مطالعات مختلفی انجام شده است (Black & Werritty, 1997; Ouarda et al., 2006; Ali et al., 2013; Sathish & Babu, 2017; Hsu et al., 2021; Alifujiang et al., 2020). مدیریت منابع آب در بخش‌های مختلف مثل کشاورزی، صنعت و شرب مستلزم دانستن زمان تغییر در وقوع سیلاب‌ها به‌خصوص سیلاب‌های حدی، برای جلوگیری از آسیب‌های آن در حوضه مذکور است. از طرف دیگر، به‌منظور جبران کسری تراز آب دریاچه، لازم است تدابیر لازم برای هدایت سیلاب‌های مخرب به دریاچه اتخاذ شود. این امر زمانی میسر است که موقعیت زمانی وقوع سیلاب‌ها با توجه به آمار ثبت شده تاریخی در ایستگاه‌های آب‌سنجی شناسایی شود. واضح است که سیلاب‌ها از لحاظ زمان وقوع نیز نسبت به تغییر اقلیم حساس هستند. نظر به اینکه در حوضه مذکور مطالعه‌ای روی زمان وقوع سیلاب‌ها با روش آمار دایره‌ای انجام نشده است و از طرف دیگر انتظار می‌رود که آثار تغییر اقلیم در مورد رویدادهای حدی از نقطه‌ای به نقطه دیگر نیز تغییر کند. بنابراین،

با داده‌های POT سیلاب بررسی نمودند. نتایج حاکی از تغییر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها به صورت زنجیره‌ای از برفی به باران‌زا بود. Do et al. (2023) مدلی را با مجموعه داده‌های جدید G-SIM برای شناسایی عوامل کلیدی فصلی سیل در سراسر جهان ارائه دادند. ایشان این مدل را به گونه‌ای طراحی کردند که پیش‌بینی زمان وقوع سیل را بصورت تابعی از اطلاعات اقلیمی میسر می‌کند. افزون بر این، مدل واسنجی شده می‌تواند با سناریوهای مختلف تغییر اقلیم زمان وقوع سیل را پیش‌بینی کند. در سال‌های گذشته، در ایران مطالعات متعددی در رابطه با میزان سیلاب و روند تغییرات مقادیر آن صورت گرفته است. از جمله (Zohrabi et al. (2011) Davangeh et al. (2011) و (Modarres et al. (2016) نیز تعدادی از مطالعات نیز مربوط به حوضه دریاچه ارومیه است که از آن جمله می‌توان به کارهای (Shirzad & Hesari (2016) Esfandyari et al. (2020) و (Sakizadeh et al. (2023) اشاره کرد. به طوری 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 سیلاب حدی بر مبنای مدل‌سازی POT و بکارگیری آمار جهت‌دار در ایران و بویژه حوضه دریاچه ارومیه توجهی نشده است. این مطالعه تلاش دارد آمار دایره‌ای را که بیانگر خوبی از مشابهت زمان وقوع رخداد‌های حدی هیدرولوژیکی در طول دوره آماری است، در تحلیل خواص فصلی رویدادهای حدی سیلاب حوضه دریاچه ارومیه بکار بگیرد. علت استفاده از روش POT بجای مقادیر حداکثر سالانه^۶ (MA) در مدل‌سازی رویدادهای حدی سیلاب، انعطاف‌پذیری روش POT است و این انتخاب بیان جامع‌تری از فرآیندهای هیدرولوژیکی حدی فراهم می‌کند (Lang, 1999). مدل POT علاوه بر مقادیر حدی، تعداد سالانه مقادیر حداکثر روزانه بالاتر از آستانه را نیز در نظر می‌گیرد (Bezak et al., 2014).

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه دریاچه ارومیه است. این حوضه در شمالغرب 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 نشان می‌دهد. بارش در شمال غرب ایران به خصوص منطقه مورد مطالعه، در مقیاس سالانه در برخی از ایستگاه‌ها (مانند تبریز) روند منفی و در برخی دیگر (مانند مهاباد) روند مثبت داشته است. در برخی دیگر نیز (مانند ارومیه و مراغه) روند بارش هر چند منفی ولی از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (Mirabassi

خصوصیات هیدرومتئورولوژیکی آن با استفاده از شاخص‌های فصلی براساس داده‌های روزانه بارندگی و جریان در جزیره کرت پرداختند. مطالعه ایشان براساس آمار دایره‌ای، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل هیدرومتئورولوژیکی بود. نتایج نشان داد فصلی بودن رویداد سیلاب با فصلی بودن حداکثر بارش روزانه نوامبر و دسامبر همخوانی دارد. Villarini (2016) فصلی بودن سیلاب را در قاره آمریکا با استفاده از آمار داده‌های جهت‌دار مورد مطالعه قرار داد. نتایج حاکی از فصلی بودن خیلی قوی سیلاب‌ها در سطح منطقه بود که منعکس‌کننده تفاوت‌ها در مکانیسم تولید سیلاب بود. (Jeneiová et al. (2016) در مطالعه‌ای تغییرپذیری مکانی سیلاب در ۸۸ حوضه بالادست رودخانه دانوب با شرایط فیزیوگرافیک مختلف را بررسی نمودند. ارزیابی آنها نیز بر اساس آمار دایره‌ای بود. نتایج حاکی از آن است که در آلپ، فصلی بودن سیل رویدادهای زمستانی غالب است و تمرکز فصلی سیلاب‌های تابستانی با افزایش میانگین ارتفاع حوضه‌ها افزایش می‌یابد. Blöschl et al. (2017) تأثیر تغییر اقلیم بر روی زمان وقوع حداکثر سیلاب سالانه مطالعه نمودند. نتایج نشان داد گرمتر شدن هوا عامل رخداد سیل زود هنگام 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 زود هنگام سیل به دلیل رخداد زود هنگام حداکثر رطوبت خاک می‌باشد. Zhang et al. (2017) به مطالعه تغییرات فصلی زمان وقوع اوج سیلاب و تغییرپذیری داده‌های تقویمی اوج سیلاب در جنوب چین با استفاده از روش آمار دایره‌ای و روش من-کندال^۵ (MK) پرداختند. نتایج نشانگر خاصیت فصلی قوی در داده‌ها بود. همچنین خاصیت فصلی اوج سیلاب و مقادیر حدی بارندگی در منطقه ناهمگن بودند و قابل ارائه الگوی مکانی نبودند. از دلایل آن تأثیر قابل توجه جریانات حاره‌ای گزارش گردید. (Hodgkins et al. (2017) تغییرپذیری وقوع سیلاب‌های بزرگ در آمریکای شمالی و اروپا را مطالعه نمودند. این مطالعه بر اساس رویدادهای بیش از حد آستانه سیل معین انجام شد. طبق نتایج رگرسیون لوجستیک، معلوم شد که رابطه بین وقوع سیلاب‌های اصلی و نوسانات شاخص چند دهه‌ای اقیانوس اطلس معنی‌دار می‌باشد. (Maria et al. (2017) به مطالعه فصلی بودن مقادیر حداکثر سالانه بارش و رواناب روزانه و کنترل آنها در پرو و اتریش پرداختند. نتایج حاکی از تغییرات مکانی بسیار زیاد خصوصیات فصلی در پرو نسبت به اتریش (به دلیل تنوع زیاد اقلیم و توپوگرافی) بود. (Burn & Whitfield (2018) در مطالعه‌ای، تغییرات ایجاد شده روی رژیم سیلاب را با استفاده از معیارهای فصلی، براساس آمار جهت‌دار و

بارندگی قابل ملاحظه‌ای وجود داشت آن رخداد صحیح تلقی می‌شد در غیر این صورت از سری داده‌ها حذف می‌شد.

۲-۳- روش کار

در این پژوهش، از سری داده‌های POT برای تخمین زمان متوسط وقوع رویدادهای حدی سیلاب استفاده شد. ابتدا با بکاربردن آمار کلاسیک، هیستوگرام رویدادهای حدی ایستگاه‌ها با در نظر گرفتن یک حد آستانه‌ای رسم شد. که بعد از مشخص شدن فصول در هر ایستگاه، حداقل ۱۰ داده برای هر فصل (به منظور تحلیل‌های فصلی دقیق‌تر) موجود باشد. برای هر یک از ایستگاه‌ها، در طول دوره آماری سیلاب حدی نمودار هیستوگرام رسم شد.

۲-۳-۱- محاسبه شاخص‌های فصلی

در روش آمار دایره‌ای با انتخاب مبدا زمان روی دایره واحد، برای مشخص کردن زمان وقوع رویداد نام بر روی یک دایره با شعاع واحد در مختصات قطبی با زاویه θ (رادیان) از رابطه زیر استفاده می‌شود (شکل ۲) (Cunderlik & Ouarda, 2009):

(and Dinpazhooh, 2012). ۳۰٪ ایستگاه‌های آب سنجی رودخانه‌های آذربایجان شرقی، روند کاهشی معنی‌دار برای میانگین جریان روزانه رودخانه‌ها داشته‌اند (Ghezel saflo et al., 2012).

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، دبی حداکثر روزانه سیلاب‌ها است. آمار داده‌ها که شامل سری‌های زمانی سیلاب و تاریخ وقوعشان از سال ۲۰۰۳ تا سال ۲۰۱۹ بودند، از سازمان آب منطقه‌ای استانهای آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی تهیه شدند. تعداد ۱۴ ایستگاه در داخل حوضه برای مطالعه انتخاب شد. این ایستگاه‌ها براساس مناسب‌ترین پراکنندگی و با شرط قرار داشتن در بالادست سدها و کیفیت دوره آماری انتخاب شدند. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در جدول ۱ آورده شده است. در پیش پردازش داده‌ها نمودار زمان وقوع هر سیل در روی محیط دایره رسم شد. برخی از رخدادها که بنظر غیرعادی می‌نمود (در زمان خارج از فصل بارندگی ثبت شده بود) مشکوک قلمداد می‌شد و چنانچه در یک یا دو روز قبل از آن

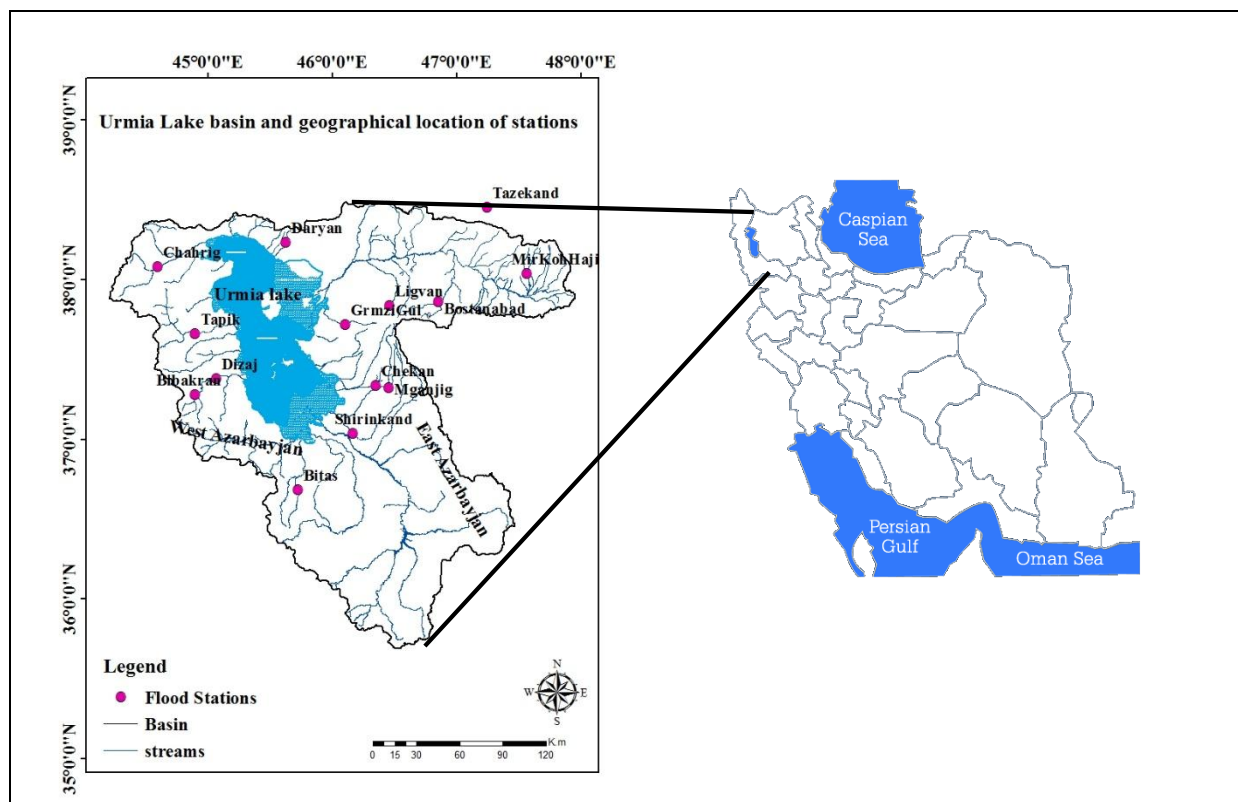


Fig. 1- Urmia Lake basin and geographical location of the selected stations

شکل ۱- حوضه آبریز دریاچه ارومیه و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب

Table 1- Geographical characteristics of the stations in the studied area

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

Station	Latitude	Longitude	Station	Latitude	Longitude
Bibakran	37.28	44.9	Ligvan	37.83	46.43
Bitas	36.68	45.7	GrmziGul	37.72	46.08
Tapik	37.67	44.9	Shirinkand	37.03	46.13
Chahrig	38.08	44.6	Daryan	38.23	45.62
Dizaj	37.38	45.07	Chekan	37.33	46.32
MirKoh Haji	38.02	47.52	Tazekand	38.43	47.22
Mganjig	37.32	46.42	Bostanabad	37.85	46.82

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 می‌دهند (Mardia, 1999). هرچه \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.

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

در این مطالعه، شاخص \bar{r} از رابطه زیر بدست آمد (Blöschl et al., 2017):

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

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 (Dhakal et al., 2015):

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

۲-۳-۲- معیارهای ارزیابی یکنواختی زمان وقوع سیلاب‌های حدی در طول دوره آماری

تشخیص دقیق ماهیت داده‌ها برای ارزیابی دقیق فصلی ضروری است. برای ارزیابی یکنواختی وقوع سیلاب‌های حدی در یک دوره آماری از دو روش پرکاربرد شامل: تست ریلیه^۲ و تست کایپر^۱ استفاده شد (Dhakal et al., 2015). در این دو آزمون فرض صفر چنین تعریف شد: رویدادهای حدی در طول دوره آماری، بطور یکنواخت در طول سال ظاهر می‌شوند. فرض مخالف بصورت «رویدادهای حدی در طول دوره آماری، بطور یکنواخت ظاهر نمی‌شوند» تعریف شد.

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

که در آن $lenYr$ برابر تعداد روزهای یکسال (۳۶۵ یا ۳۶۶ درسال کبیسه)، D_j شماره روز ژولوسی که مقدار آن برای اول ماه ژانویه برابر یک و برای آخر دسامبر $lenYr$ در نظر گرفته شده است. مختصات دکارتی میانگین زمان وقوع سیلاب‌های حدی با \bar{x} و \bar{y} نشان داده شد که مقادیر آنها برای n رویداد حدی از رابطه زیر به دست آمد (Blöschl et al., 2017):

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

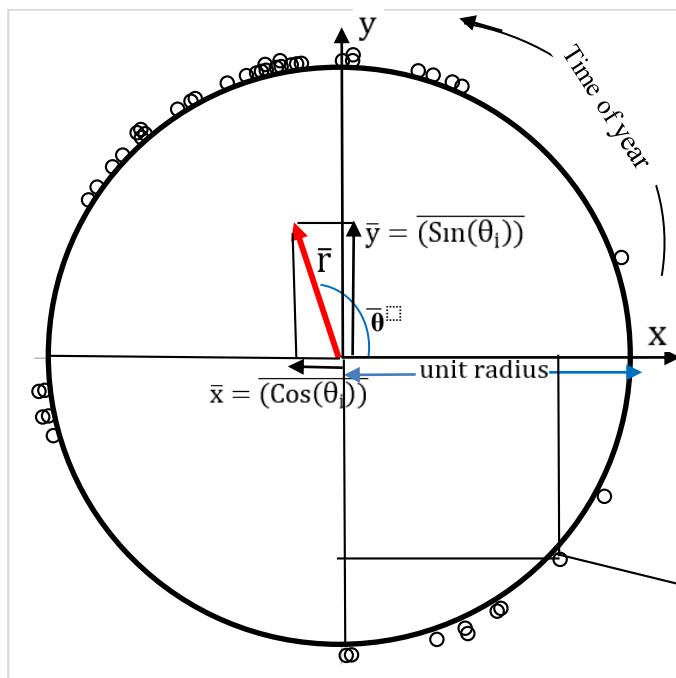
$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin(\theta_i) \quad (3)$$

که در آن \bar{x} و \bar{y} مؤلفه‌های افقی و قائم بردار میانگین زمان وقوع رویداد حدی را نشان می‌دهد. در مختصات قطبی این زمان با $\bar{\theta}$ نشان داده می‌شود که از رابطه زیر حاصل شد (Blöschl et al., 2017):

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

برای حالتی که \bar{x} منفی می‌شود مقدار $\bar{\theta}$ از رابطه ۵ به دست می‌آید (Mardia & Jupp, 1999). لازم به توضیح است که $\bar{\theta}$ به معنی میانگین حسابی زمان وقوع n رویداد حدی با مقادیر $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ نیست. $\bar{\theta}$ 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 برآیند برابر با \bar{r} و زمان وقوع آن $\bar{\theta}$ است (Parajka et al., 2010).

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 به صورت یکنواخت روی محیط دایره با فاصله مساوی از هم پخش شده‌اند (Mardia, 1999). به عبارت دیگر، همه وقایع حدی بطور



The point on the unit circle is equal to the timing of the hydrological extreme event, the dashed lines are the x and y components for each event and \bar{r} is the mean vector of the sample with n events.

Fig. 2- Schematic representation of events on the circumference of a circle with a unit radius

شکل ۲- نمایش شماتیکی رویدادها روی محیط دایره با شعاع واحد

در روابط بالا θ_i ، زاویه نظیر هر رویداد حدی (ام) در دایره به شعاع واحد و n ، تعداد رویدادها می‌باشد. در روش کاپیر مقدار V محاسبه شده با مقدار نظیر V بحرانی (جدول کاپیر (Mardia, 1999)) در سطح معنی‌داری α مقایسه می‌شود (Dhakal et al., 2015). 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 ۱۰٪ برای تست‌ها استفاده شد.

۲-۳-۳- تخمین گر شیب سن اصلاح شده^{۱۱}

در این پژوهش برای تحلیل روند زمان وقوع رویدادهای حدی از روش غیرپارامتری اصلاح‌شده تخمین گر شیب سن (Blöschl et al., 2017) استفاده شد. این روش قدرتمند بوده و نیازی به بازسازی مقادیر گمشده ندارد و ضمناً به داده‌های پرت نیز حساسیت ندارد. برآوردگر شیب خط روند که با β نشان داده می‌شود و آن میانه شیب‌های جزیی همه جفت رویداد حدی ممکن (i و j) را از رابطه زیر بدست می‌دهد (Blöschl et al., 2017):

$$\beta = \text{median} \left(\frac{D_j - D_i + K}{j - i} \right); \quad (13)$$

$$K = \begin{cases} -\bar{m} & \text{if } D_j - D_i > \frac{\bar{m}}{2} \\ \bar{m} & \text{if } D_j - D_i < -\frac{\bar{m}}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

۲-۳-۳-۱- تست ریلیه: در این آزمون آماره آزمون که با Z نشان داده می‌شود از رابطه ۸ بدست می‌آید. توزیع این آماره برای نمونه‌های بزرگ توزیع کای اسکوار با درجه آزادی دو است. آماره Z محاسبه شده با مقدار کی دو 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 کی دو بحرانی باشد. تست ریلیه برای رد (یا تأیید) وجود الگوهای تک-مدی^۹ (غیریکنواختی) قدرتمند است ولی تست کاپیر وجود الگوی تک-مدی و الگوهای چند-مدی^{۱۰} را نیز می‌تواند آزمایش کند (Dhakal et al., 2015).

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

۲-۳-۳-۲- تست کاپیر: آماره این آزمون که با V نشان داده می‌شود، از روابط زیر محاسبه شد (Mardia & Jupp, 1999):

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

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

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

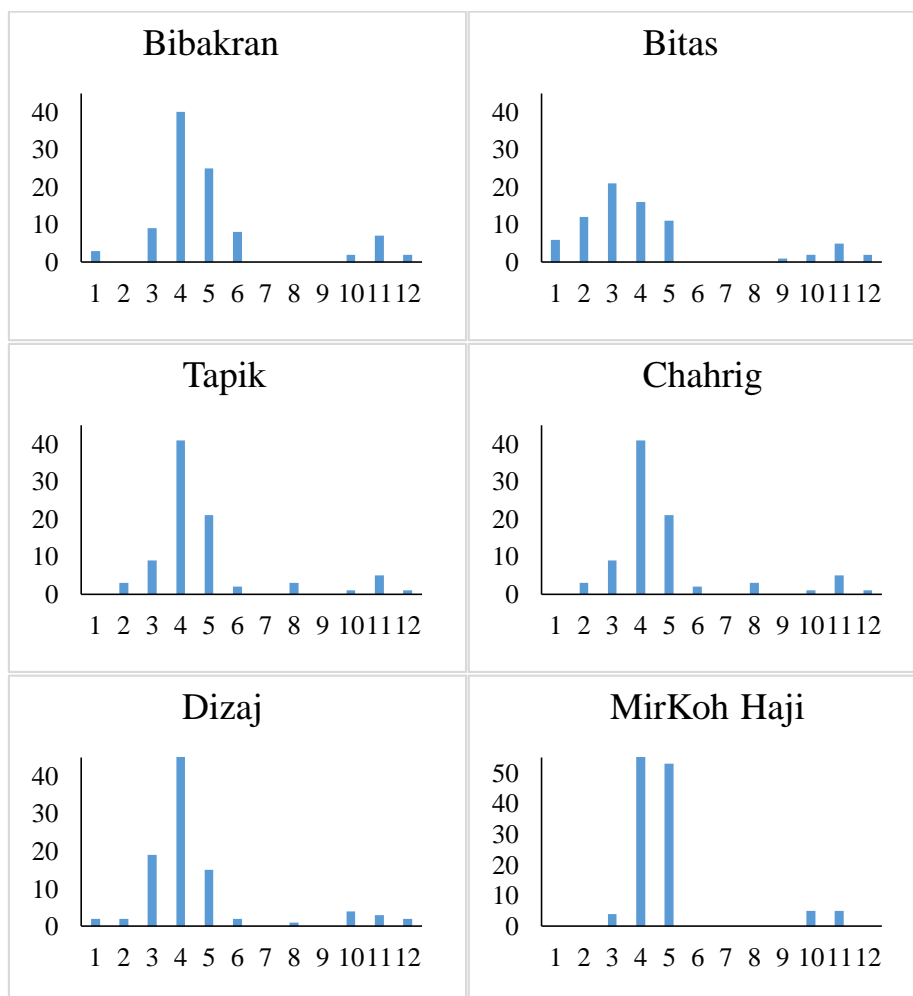
$$U_i = \frac{\theta_i}{2\pi}; \quad i = 1, \dots, n \quad (12)$$

۳- نتایج و بحث

شکل ۳ نمودار هیستوگرامی داده‌های زمان وقوع سیلاب‌های حدی مربوط به ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این نمودارها بر اساس آمار کلاسیک خطی تنظیم شده‌اند که نشان‌دهنده تعداد ماهانه رخداد‌های حدی در دوره آماری در هر یک از ایستگاه‌ها است. این نمودارها بیانگر توزیع غیر یکنواخت زمان وقوع رویدادها در منطقه است که در دو فصل قابل رویت است: فصل اول سیلاب‌های مربوط به اواخر زمستان و اوایل بهار (S1) که شامل ماه‌های مارس تا می (اسفند الی اردیبهشت) می‌شود. البته در ماه جون (خرداد) به جز ایستگاه‌های بیبکران، لیقوان و بستان‌آباد که تعداد انگشت شمار رخداد (≤ 5)، در طول دوده آماری دیده می‌شود در سایر ایستگاه‌ها یا شامل رخداد در ماه مذکور نیستند یا اگر هم باشد یک مورد بوده که قابل اغماض است.

در این رابطه، \bar{m} متوسط تعداد روزهای سال در طول دوره مورد مطالعه و D_j : شماره روز ژولیبوسی رویداد حدی z ام است. k نقش تعدیل کننده ماهیت دایره‌ای رخدادها در تاریخ تقویمی را دارد (Blöschl et al., 2017). در اینجا β دارای واحد (روز در سال) است. مقادیر مثبت β نشان‌دهنده شیب‌های روبه بالا و مقادیر منفی نشان‌دهنده شیب‌های رو به پایین است.

Cunderlik & Ouarda (2009) معتقدند که اگر در تاریخ وقوع رویدادهای حدی حالت چند-مدی وجود داشته باشد، روند داده‌های مربوط به زمان وقوع رخداد و البته مقدار آن باید بطور جداگانه در هر فصل مجزا تجزیه و تحلیل شود. لذا در این پژوهش بعد از انجام تست‌های مربوطه تمامی محاسبات شاخصهای فصلی و تحلیل‌های روند برای فصول سیلابی متمایز جداگانه انجام شد.



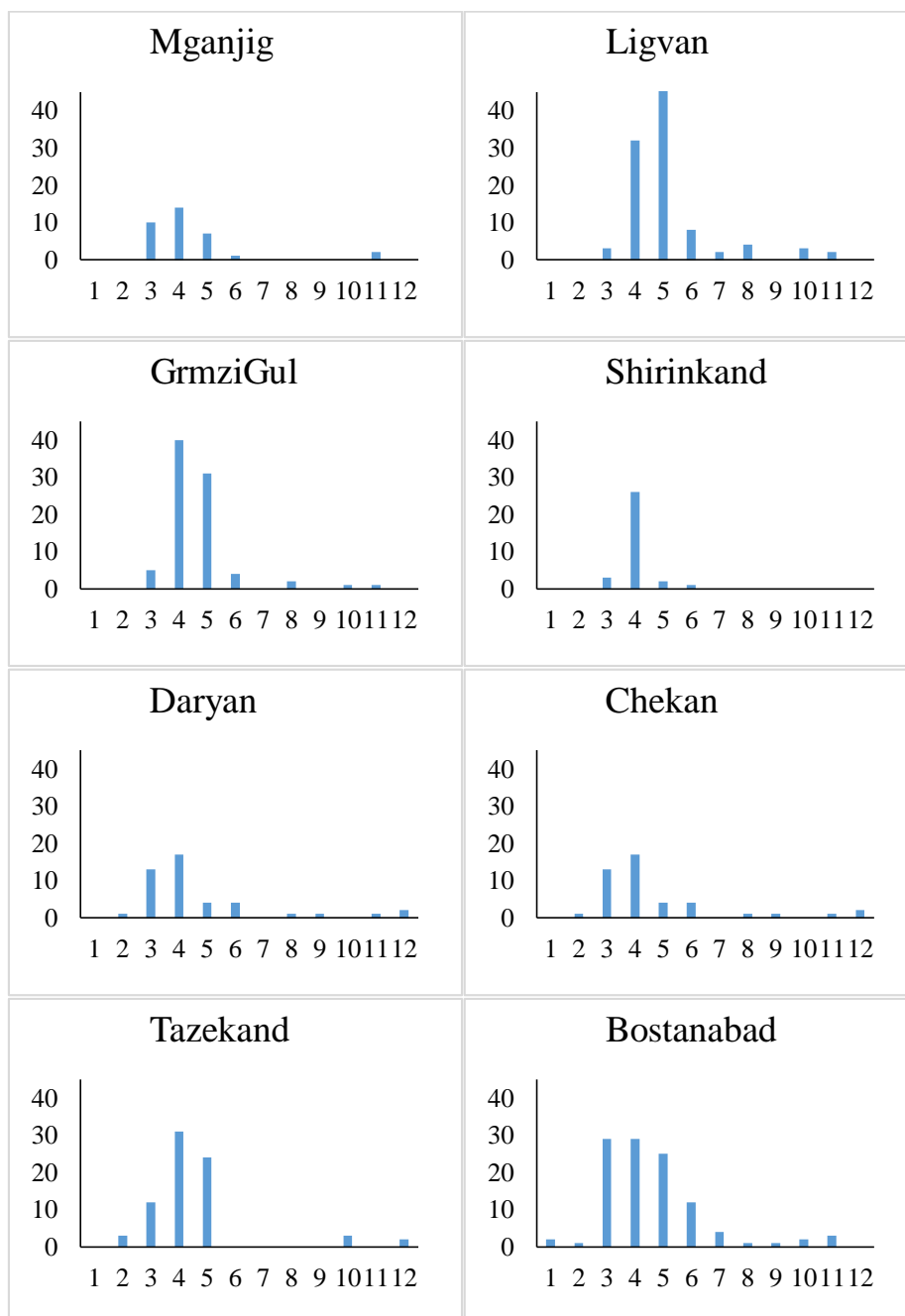


Fig. 3- Pattern of the number of events in the selected stations in the statistical period (horizontal axis: month of the year, vertical axis: number of events per month)

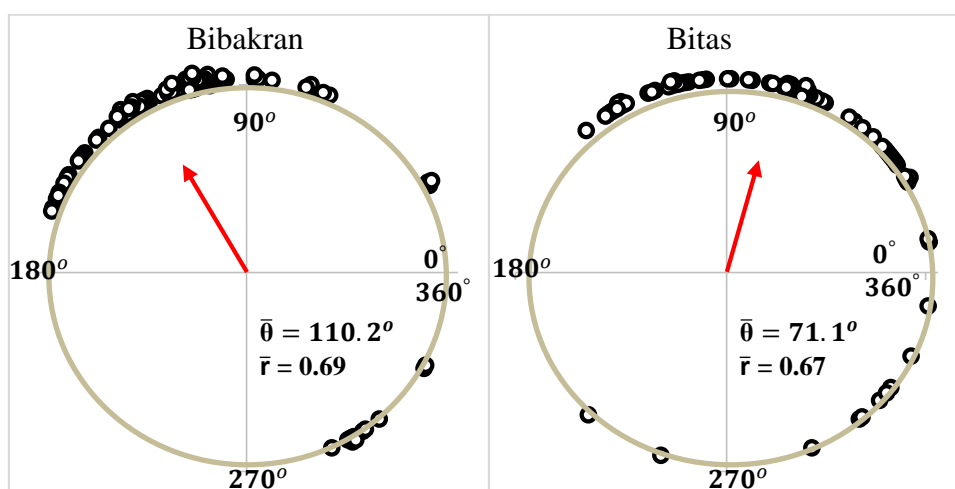
شکل ۳- الگوی تعداد رخدادها در ایستگاه‌های منتخب در دوره آماری (محور افقی: ماه سال، محور عمودی: تعداد رخداد در ماه)

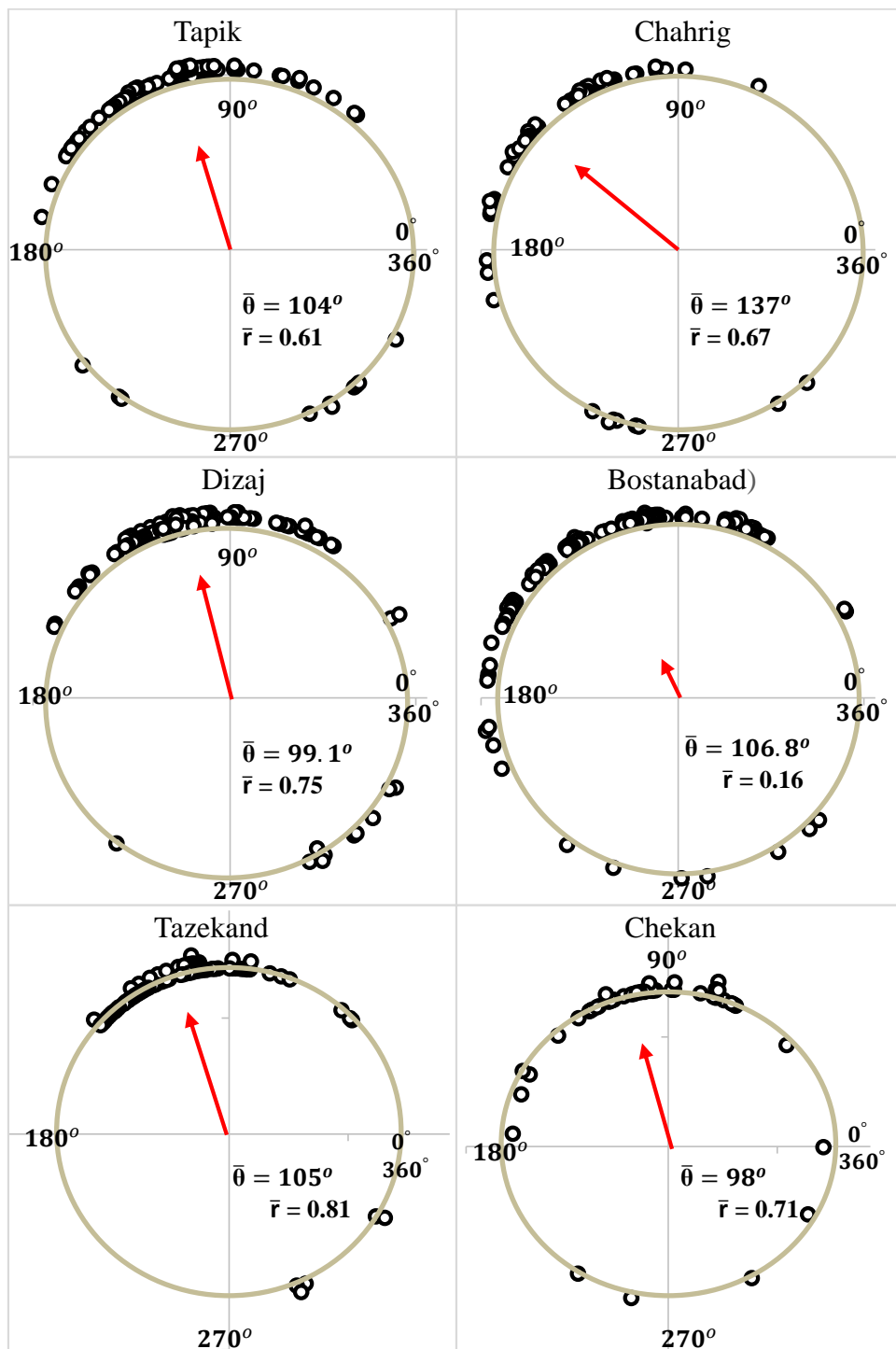
گرفت که مدالیت‌ه رویدادهای حدی سیلاب ایستگاه‌ها از لحاظ خاصیت فصلی بصورت دو-مدی^{۱۲} است. ولی دو ایستگاه شیرین‌کند و مغانجیق از نظر مدالیت‌ه، تک-مدی هستند.

فصل دوم (S2) رخدادهایی است که از اواخر آگوست تا نوامبر در پاییز اتفاق می‌افتد که فصلی بسیار ضعیف بوده و مجموعاً دارای ۱۰ یا ۱۱ رخداد در هر ایستگاه در طول دوره آماری بوده و در بعضی ایستگاه‌ها (شیرین‌کند و مغانجیق) بدون رخداد سیلاب حدی است. می‌توان نتیجه

شکل ۴ نمودارهای دایره‌ای توزیع رخدادهای حدی سیلاب را در یکایک ایستگاه‌های منتخب نشان می‌دهد. به‌طوریکه از این شکل نیز می‌توان نتیجه گرفت، رویدادهای حدی سیلاب 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{r} برآیند همه n رخداد سیلاب 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 $\bar{\theta}$ ، D_j و \bar{r} مقادیر هر یک از شاخص‌های $\bar{\theta}$ ، D_j و \bar{r} هم برای کل مجموعه رخدادها در طول سال (total) و هم برای دو فصل سیلاب مجزا S1 و S2 آورده شده است. نمودارهای دایره‌ای توزیع رویدادهای حدی سیلاب برای یکایک متناظر ایستگاه‌ها در دو فصل S1 و S2 به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است. پارامترهای $\bar{\theta}$ ، D_j و \bar{r} خلاصه‌ای توصیفی بر اساس آمار دایره‌ای را از تغییرات سیلاب حدی برای دوره آماری (۱۹۹۱-۲۰۱۸) ارائه می‌کنند (جدول ۲). اگر کل سال را بدون فصل‌بندی در نظر بگیریم مقادیر $\bar{\theta}$ منطقه مورد مطالعه از ۷۱/۱ تا (۱۳۷) درجه در بخش غربی دریاچه از ۷۱/۱ تا ۱۳۷ و در بخش شرقی از ۷۷/۷ تا ۱۲۹) تغییر می‌کند. به‌عبارت دیگر، میانگین زمان رخداد سیلاب حدی از لحاظ تقویمی از ۱۳ مارس ($D_j=72/1$) تا ۱۹ می ($D_j=139$) تغییر می‌کند. در واقع، همانطور که از نمودارهای هیستوگرامی شکل ۳ مشخص است در تمامی ایستگاه‌ها اغلب وقایع حدی از اواخر زمستان (دهه سوم اسفند) تا اواسط بهار (۱۹ می) اتفاق

افتاده است. نمودارهای دایره‌ای ایستگاه‌ها (شکل ۴) نیز آن را تأیید می‌کنند. با توجه به جدول ۲ و شکل ۴ بیشترین مقدار \bar{r} مربوط به شیرین کند ($\bar{r}=0/96$) بوده که انتظار می‌رود دارای کمترین مقدار آماره csd ($\text{csd}=0/28$) باشد. این نشان می‌دهد که شیرین کند در بین همه ایستگاه‌ها قویترین حالت فصلی را برای سیلاب‌های حدی دارا می‌باشد و حاکی از وقوع متمرکزتر سیلاب حدی نسبت به سایر ایستگاه‌ها در منطقه است. از طرفی، ایستگاه دریان و بستان‌آباد با کمترین مقدار \bar{r} ($\bar{r}=0/16$) دارای بیشترین مقدار آماره csd (بترتیب $\text{csd}=1/42$ و $\text{csd}=1/9$) می‌باشد که از نظر قدرت فصلی در کمترین حالت قرار دارد. همانطور که از جدول می‌توان استنباط کرد، با افزایش مقادیر \bar{r} مقادیر متناظر csd کاهش می‌یابد. طبق جدول ۲ ایستگاه‌های شیرین کند و لبقوان دارای کمترین مقادیر ضریب پراکندگی ($\text{csd}=0/28$) و $\text{csd}=0/68$) هستند. شکل ۴ نیز مؤید این مطلب است؛ به‌طوریکه در هر دو ایستگاه علاوه بر اینکه تجمع رویدادها در سه ماهه دوم سال (فصل بهار) بوده، رخدادها با قدرت بیشتری متمرکز هستند. افزون بر آن در ایستگاه شیرین کند عدم رخداد سیلاب حدی در فصل (S2) دلیل خاصیت فصلی بالا در این ایستگاه و در ضمن تک-مدی بودن است. به‌دلیل کوچک بودن مساحت حوضه دریاچه ارومیه و مشابهت اقلیم ایستگاه‌های این منطقه، تفاوت چشمگیری در مقادیر \bar{r} و csd دیده نمی‌شود و متعاقب آن فصول ایجاد شده در تمامی ایستگاه‌های منطقه یکسان است (بجز ایستگاه شیرین کند) و لکن قدرت فصلی بودن رویدادهای حدی ایستگاه‌ها باهم متفاوت است.





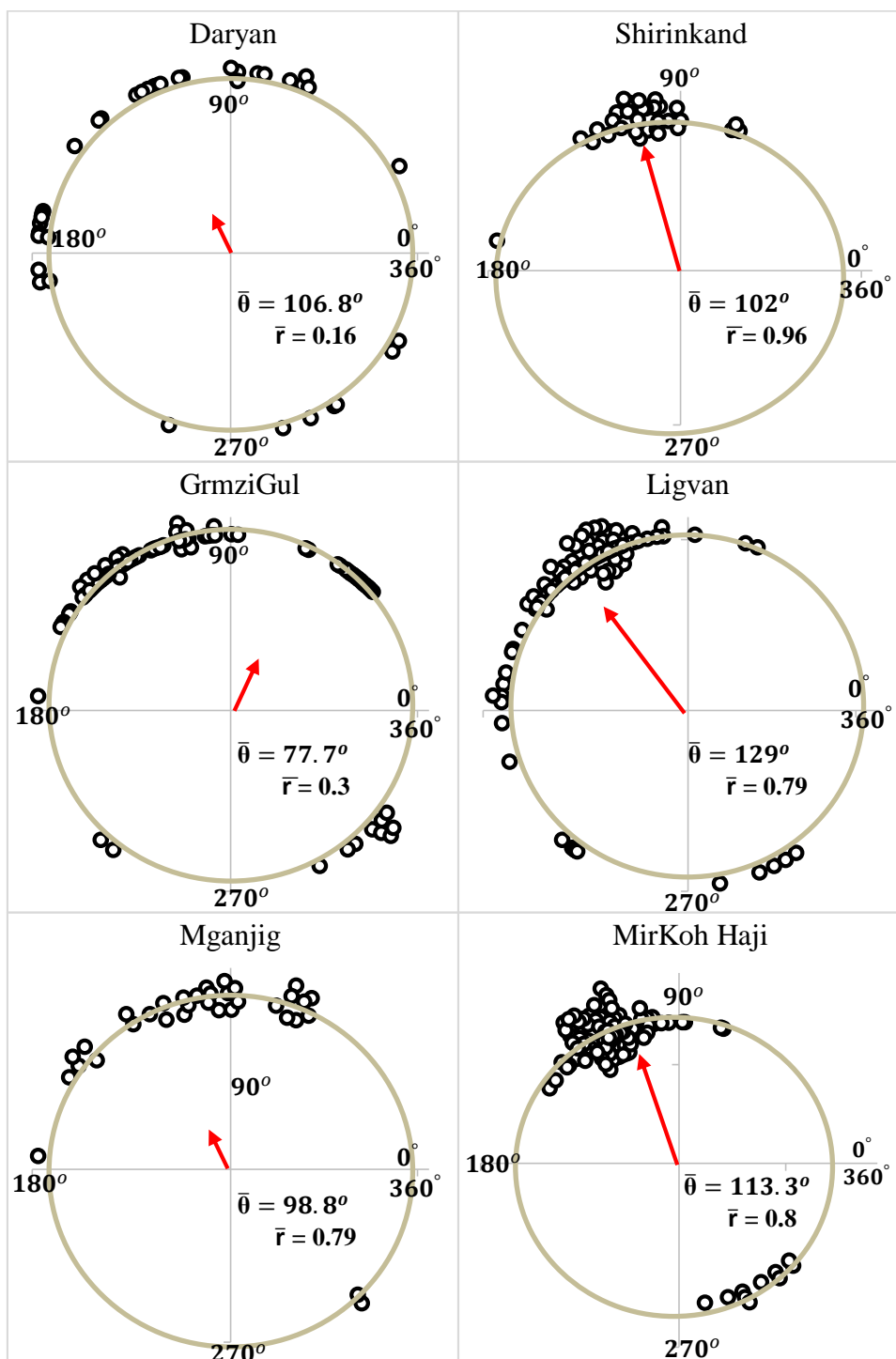


Fig. 4- Circular graph of the data for the selected stations (without seasonality)
 شکل ۴- نمودار دایره‌ای داده‌ها در ایستگاه‌های منتخب (بدون فصل‌بندی)

Table 2- Summary of seasonal calculations of \bar{r} , $\bar{\theta}$ and csd in the area

جدول ۲- خلاصه محاسبات فصلی \bar{r} و $\bar{\theta}$ و csd در منطقه

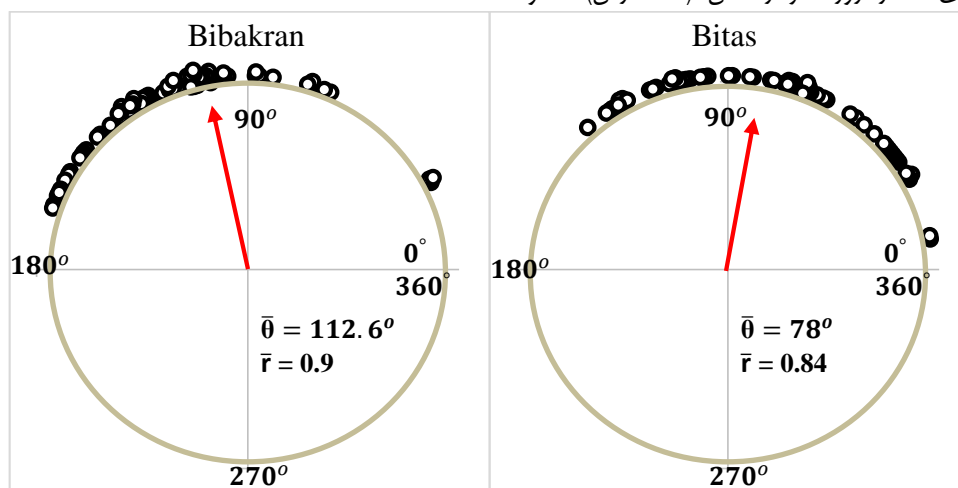
Stations	$\bar{\theta}$ (degree)						\bar{r}			csd		
	Total		S1		S2		Total	S1	S2	Total	S1	S2
	$\bar{\theta}$	D_j	$\bar{\theta}$	D_j	$\bar{\theta}$	D_j						
Bibakran	110.2	111.8	112.6	114.2	326	330.7	0.68	0.9	0.7	0.86	0.45	0.82
Bitas	71.1	72.1	78	79.1	307	311.5	0.67	0.84	0.82	0.9	0.58	0.62
Tapik	104	105.5	108	109.6	272	276	0.61	0.9	0.76	0.99	0.41	0.73
Chahrig	137	139	125.9	127.7	244.8	248.4	0.67	0.91	0.78	0.89	0.43	0.71
Dizaj	99.1	100.5	101.7	103.2	304.3	308.7	0.75	0.92	0.95	0.76	0.41	0.44
MirKoh	113.3		114.5		301.2		0.8	0.95	0.97			
Haji		114.9		116.2		305.6				1.55	0.29	0.2
Mganjig	98.8	100.2	101	102.5	311	315.5	0.79	0.89	0.99	0.77	0.46	0.01
Ligvan	129	130.9	124	125.8	253	256.7	0.79	0.94	0.75	0.68	0.34	0.75
GrmziGul	77.7	78.8	107	108.6	303	307.4	0.3	0.84	0.84	1.55	0.59	0.58
Shirinkand	102	103.5	102	103.5	---	---	0.96	0.96	---	0.28	0.28	---
Daryan	106.8	108.4	115	116.7	272	276	0.16	0.78	0.59	1.42	0.71	1.02
Chekan	98	0.99	100	101.5	297	301.3	0.71	0.88	0.69	1.59	0.49	0.85
Tazekand	105	106.5	106.7	108.2	308.9	313.4	0.81	0.93	0.95	1.65	0.38	0.31
Bostanabad	106.8	108.4	106.5	108	249.2	252.8	0.16	0.84	0.68	1.9	0.88	0.58

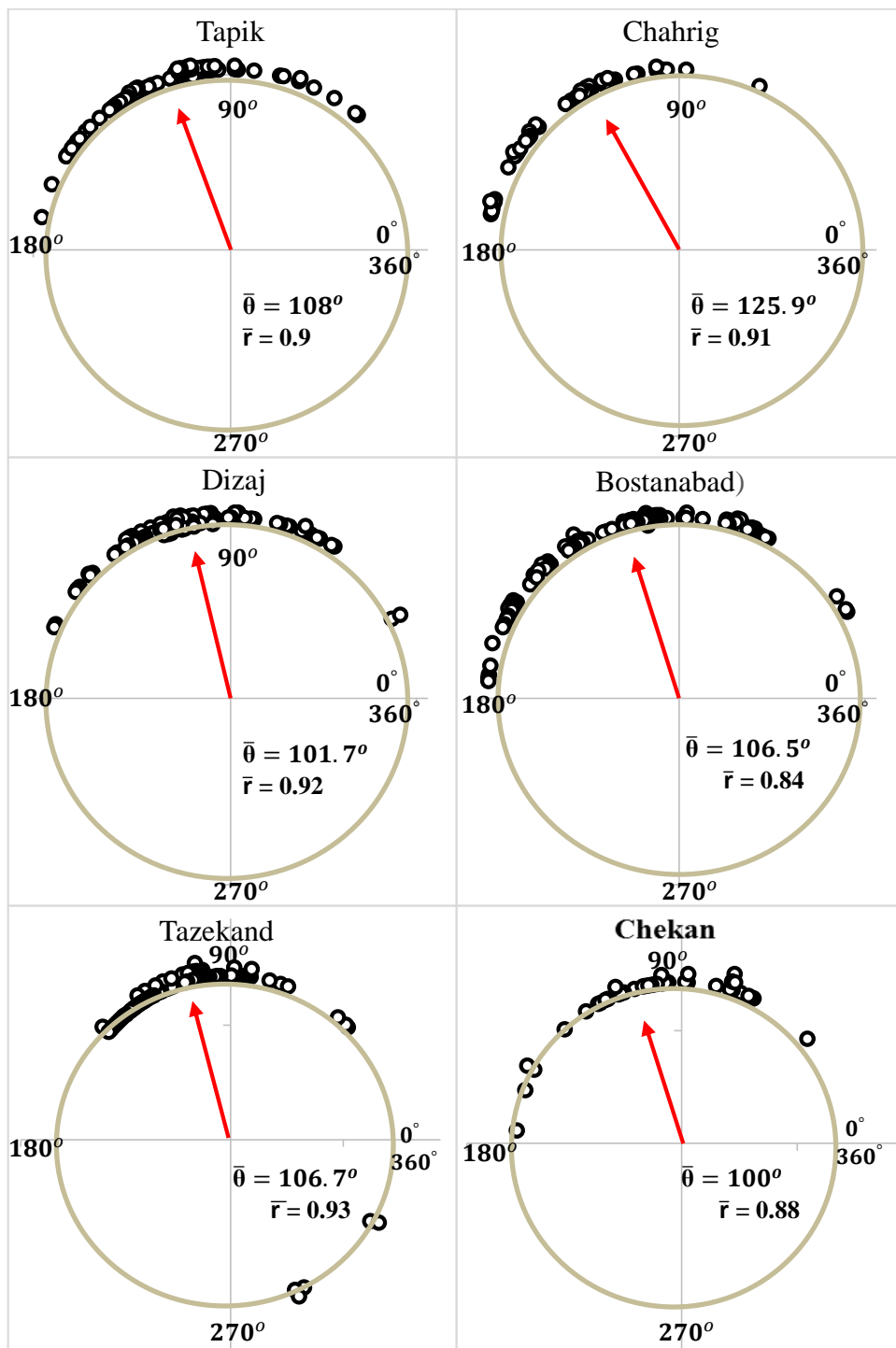
توجه: نمادهای D_j ، S1 و S2 برترتیب نشان دهنده شمارنده روز از ابتدای سال میلادی، فصل اول و فصل دوم سیلاب‌های حدی هستند.

Note: D_j is the day counter from the 1st day of the Gregorian Calendar and S1 and S2 are the extreme flood seasons

اردیبهشت (۸ می) برای بخش غربی دریاچه و در بخش شرقی حوضه از نیمه دوم فروردین تا اواسط اردیبهشت (۴ می) اتفاق می‌افتد. همچنین در فصل S1 مقادیر \bar{r} کل منطقه در بازه ۰/۹۶-۰/۷۸ تغییر می‌کند طوری که دامنه تغییرات آن در بخش غربی دریاچه ۰/۹۲ تا ۰/۸۴ و در بخش شرقی ۰/۹۶ تا ۰/۷۸ است. این نتیجه حاکی از مشابهت تمرکز رخدادهای حدی سیلاب در هر دو بخش شرقی و غربی حوضه است.

طبق جدول ۲ و نمودارهای شکل ۵ می‌توان ادعا کرد که در S1 مقادیر $\bar{\theta}$ همه ایستگاه‌ها از ۷۸ تا ۱۲۵/۹ (در بخش غربی دریاچه از ۷۸ تا ۱۲۵/۹ و در بخش شرقی از ۱۰۰ تا ۱۲۴) متغیر است. یعنی میانگین زمان رخداد سیلاب حدی از لحاظ تقویمی از ۲۰ مارس ($D_j=79/1$) تا ۸ می ($D_j=127/7$) (در بخش غربی دریاچه از ۲۰ مارس تا ۸ می و در بخش شرقی از ۱۱ آوریل تا ۴ می) تغییر می‌کند. چنانچه از نمودارهای دایره‌ای هم قابل مشاهده است، میانگین زمان وقوع رخدادهای حدی S1 از روز آخر زمستان (۲۰ مارس) تا اواسط





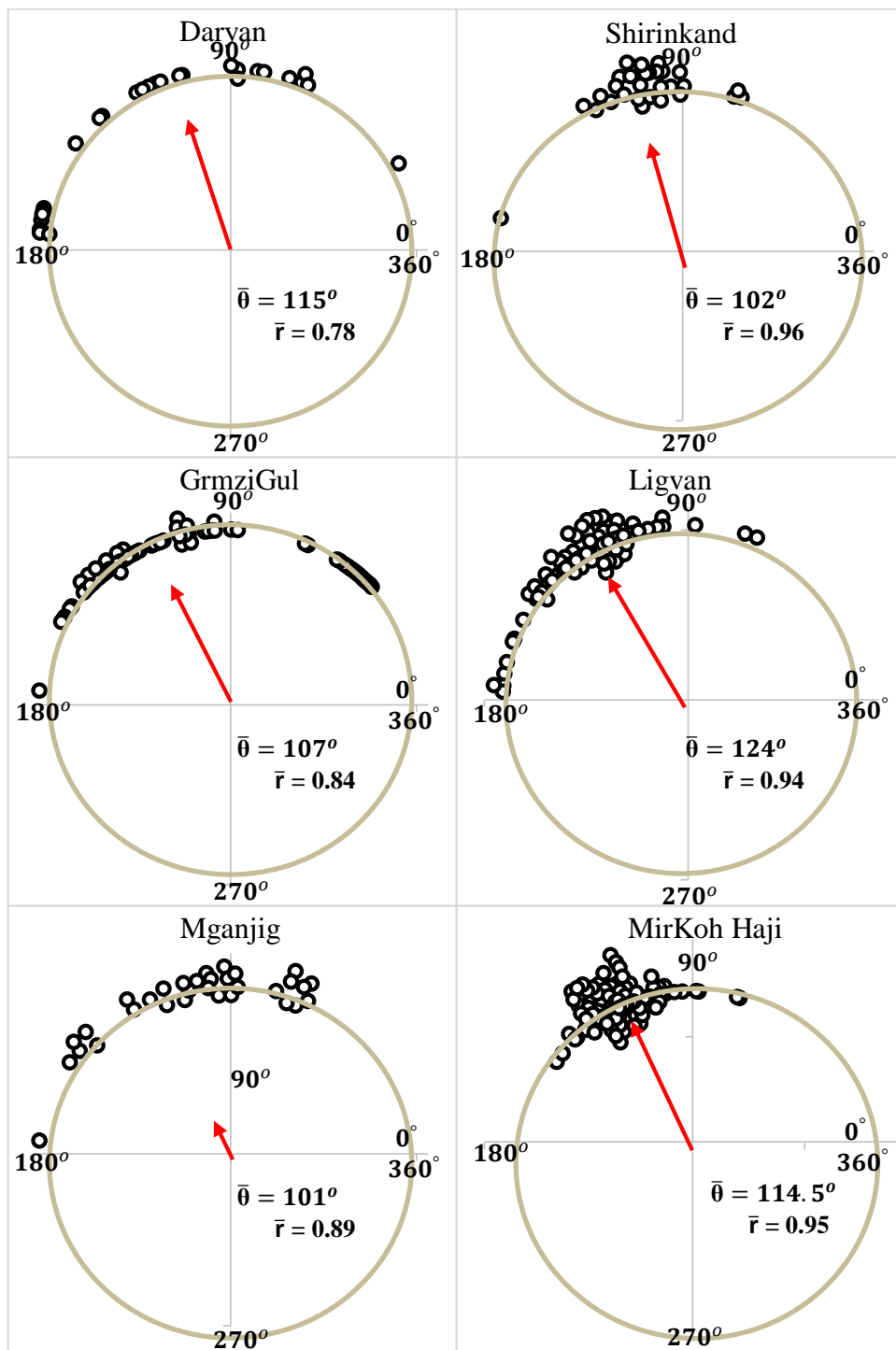
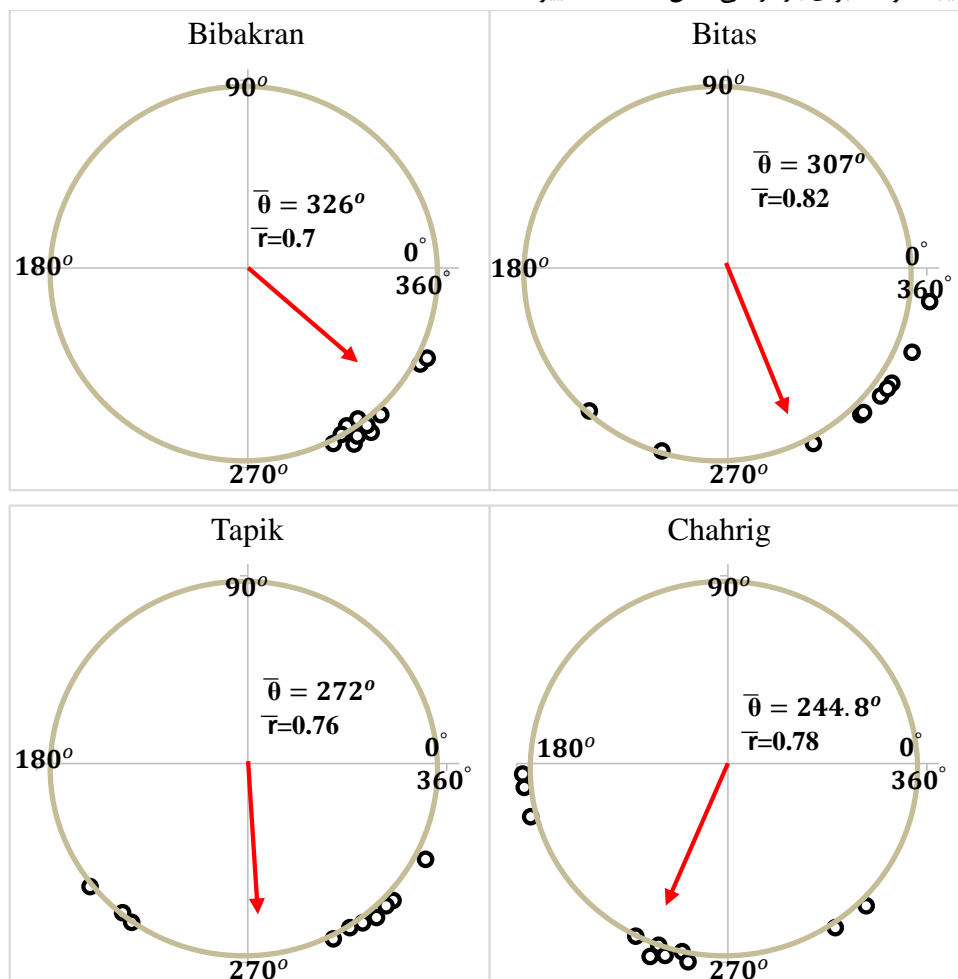


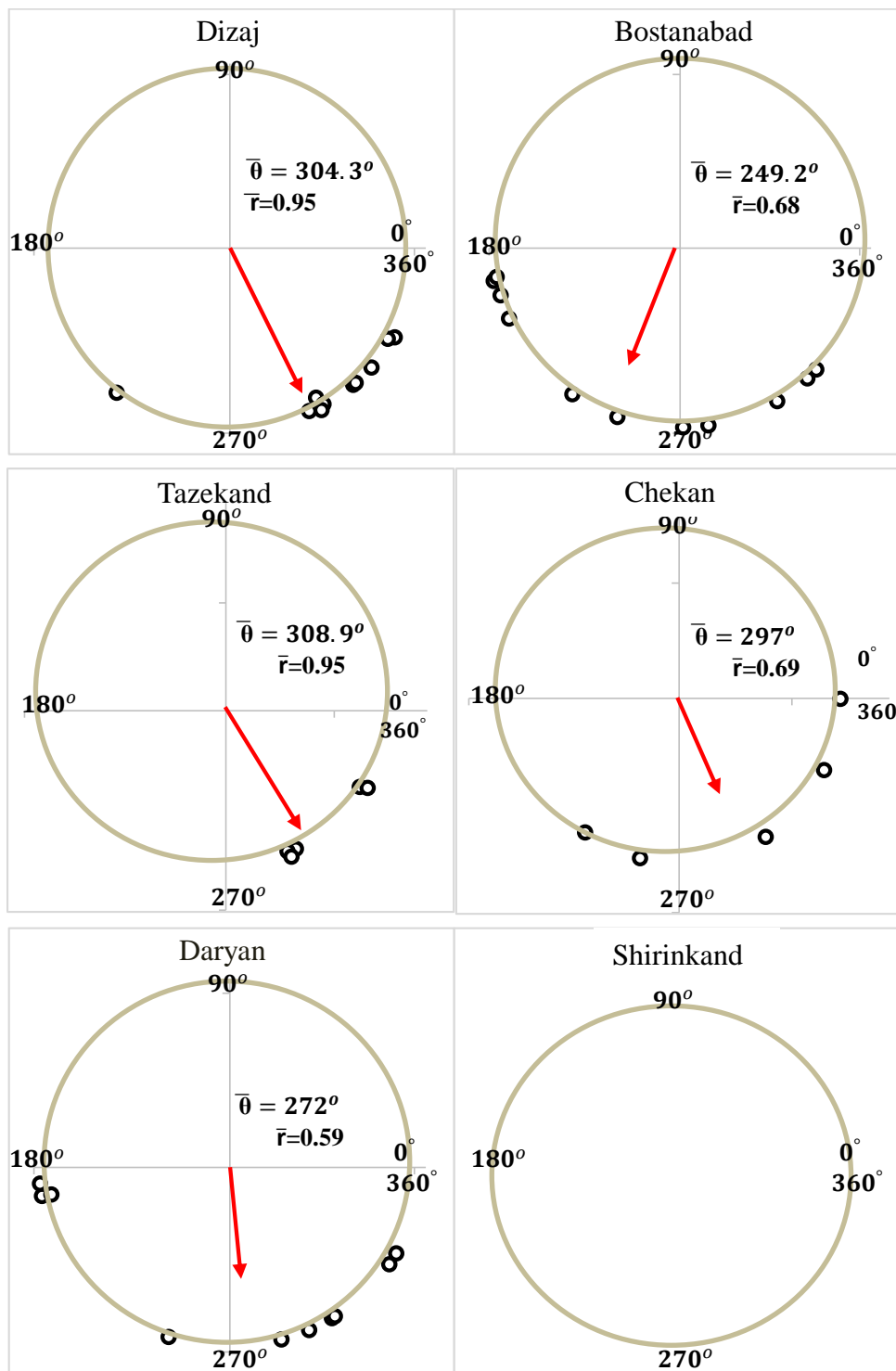
Fig. 5- Circular graph of the data of S1 in the selected stations

شکل ۵- نمودار دایره‌ای داده‌های S1 در ایستگاه‌های منتخب

مقادیر $\bar{\theta}$ کل منطقه از $244/8$ تا 326 درجه تغییر می‌کند. در بخش غربی دریاچه این دامنه از $244/8$ تا 326 درجه و در بخش شرقی آن از $249/2$ تا $308/9$ درجه تغییر می‌کند. یعنی بازه میانگین زمانی وقایع حدی در بخش غربی از لحاظ تقویمی از ۵ سپتامبر ($D_j=248/4$) تا ۲۷ نوامبر ($D_j=330/7$) (در بخش غربی دریاچه از ۵ سپتامبر تا ۲۷ نوامبر و در بخش شرقی از ۱۰ سپتامبر تا ۹ نوامبر) تغییر می‌کند. چنانچه از نمودارهای دایره‌ای هم قابل مشاهده است (شکل ۶) در واقع میانگین زمان وقوع رخدادهای حدی سیلاب فصل S2 از نیمه شهریور (۵ سپتامبر) تا ششم آذر (۲۷ نوامبر) تغییر می‌کند. این زمان برای بخش غربی دریاچه از ۱۶ شهریور تا ۶ آذر بوده و برای بخش شرقی دریاچه از ۱۹ شهریور تا اواسط پاییز (۱۸ آبان) می‌باشد.

بیشترین مقدار \bar{r} در این فصل مربوط به ایستگاه شیرین‌کند ($\bar{r}=0/96$) است که در بخش شرقی دریاچه قرار دارد. در این ایستگاه کمترین مقدار شاخص csd ($csd=0/28$) را دارد که نشان می‌دهد در بین ایستگاه‌ها قوی‌ترین حالت فصلی رخدادهای حدی سیلاب در فصل S1 متعلق به آن می‌باشد. از طرفی ایستگاه دریان واقع در شرق منطقه کمترین مقدار \bar{r} ($\bar{r}=0/78$) و دومین مقدار ماکزیموم csd ($csd=0/71$) را بعد از بستان‌آباد ($csd=0/88$) دارا بوده که حاکی از کم بودن قدرت فصلی رویدادهای سیلاب حدی در آن است. با توجه به دامنه تغییرات معیار تمرکز (\bar{r}) در هر دو بخش غربی و شرقی می‌توان نتیجه گرفت قدرت فصلی رخدادهای سیلاب حدی در فصل S1 کم و بیش در منطقه مشابه است. همانطور که از جدول ۲ و نمودارهای رسم شده در شکل ۶ می‌توان نتیجه گرفت، برای بازه زمانی فصل S2





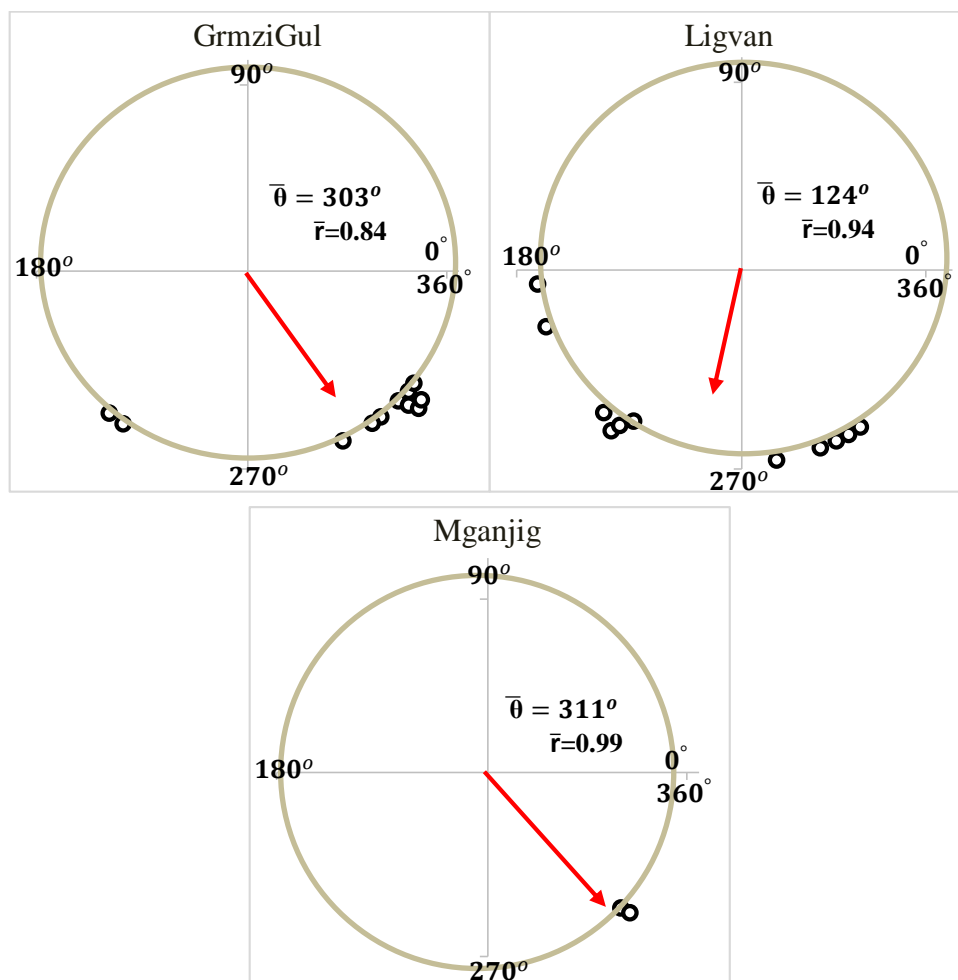


Fig. 6- Circular graph of the data of S2 in the selected stations
 شکل ۶- نمودار دایره‌ای داده‌ها S2 در ایستگاه‌های منتخب

زمانی خاص در ناحیه شرقی است. در فصل S2 ایستگاه دریان واقع در شرق (شمال دریاچه) کمترین مقدار \bar{r} را دارد که در آن $\bar{r}=0/59$ و شاخص انحراف معیار استاندارد آن ($c_{sd}=1/02$) است که حاکی از این واقعیت است که در ایستگاه دریان قدرت فصلی رخدادهای حدی سیلاب در پایین‌ترین سطح خود در مقایسه با ایستگاه‌های حوضه قرار دارد. در واقع در فصل S2، هم ایستگاه‌های با خاصیت فصلی قوی و هم ایستگاه‌های با خاصیت فصلی ضعیف استقرار دارند. در شکل ۵ طول بردار \bar{r} نسبت به شکل ۴ بزرگتر است. این نشان می‌دهد که بعد از فصل‌بندی سیلاب‌های منطقه به دو فصل، رخدادهای سیلاب‌های حدی در فصل S1 در مقایسه با 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

مقادیر معیار تمرکز \bar{r} برای فصل S2 در بازه (0/99 و 0/59) متغیر است (تغییرات بخش غربی دریاچه (0/95-0/7) و بخش شرقی (0/99-0/59)). با توجه به نتایج بدست آمده از لحاظ تمرکز رخدادها می‌توان نتیجه گرفت که گرچه قدرت فصلی در بخش شرقی بیش از بخش غربی است، دامنه تغییرات شاخص فصلی در بخش شرقی بیشتر است و مقادیر کمتر را نیز شامل می‌شود. در فصل S2 بیشترین مقدار \bar{r} مربوط به ایستگاه مغانجیق ($\bar{r}=0/99$) واقع در بخش شرقی (جنوب دریاچه ارومیه) بوده که دارای کمترین مقدار $c_{sd}=0/01$ است. رخدادهای حدی این ایستگاه بیشترین تمرکز را در فصل S2 دارا است. ولی بدلیل تعداد رخداد حدی کم مورد تحلیل روند قرار نمی‌گیرد. علاوه بر آن، معیار تمرکز رخدادها (\bar{r}) در فصل S2 با اختلاف جزئی در ایستگاه‌های میرکوه حاجی برابر $\bar{r}=0/97$ و در تازه‌کند و دیزج نیز برابر 0/95 است، که نشان‌دهنده تمرکز قوی رخدادها در یک بازه

فصل‌بندی، رویدادهای حدی در فصل S1 (و فصل S2) از تمرکز زمانی بیشتری برخوردار شده‌اند.

نتایج تست‌های یکنواختی ریلیر و کاپیر برای کل رخدادهای حدی بارندگی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. به‌طوریکه قابل استنباط است، نتایج تست‌های ریلیر و کاپیر رویدادهای سیلاب تمامی ایستگاه‌های منطقه در هر سه سطح ۱٪، ۵٪، ۱۰٪ (به جز دو ایستگاه تازه‌کند و بستان‌آباد در سطح ۱٪ و ۵٪) معنی‌دار است. در واقع یکنواختی رویدادهای سیلاب تمامی ایستگاه‌های منطقه در سطوح معنی‌داری رد شده‌اند. این نتیجه حاکی از وجود دو یا چند فصل متمایز در طول سال برای زمان وقوع رخدادها می‌باشد. 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. سپس شاخص‌های \bar{x} ، $\bar{\theta}$ و \bar{csd} آنها برای هر فصل جداگانه حساب شد. هر چند در تست ریلیر آزمون یکنواختی برای همه ایستگاه‌ها به جز دو مورد رد شد. ولی در سطح ۱٪ در ۱۴٪ درصد ایستگاه‌ها و در سطح ۵٪ در ۷٪ درصد ایستگاه‌ها یکنواختی مورد تأیید بودند. بااستثناء دو ایستگاه مذکور نتیجه این آزمون در صورت تأیید، فقط عدم وجود حالت تک-مدی را تأیید می‌کند. نتیجه این آزمون به تنهایی برای پذیرش یکنواختی توزیع داده‌ها کافی نیست و باید یکنواختی رویدادها توسط تست کاپیر نیز ثابت شود که محاسبات خلاف آن را نشان دادند. بدلیل رد یکنواختی توسط آزمون کاپیر مدالیته

دو-مدی استنباط می‌گردد. نمودارهای دایره‌ای شکل ۴ نیز آن را تأیید می‌کنند. جدول ۴ خلاصه نتایج محاسبات شیب سن را نشان می‌دهد. به‌طوریکه می‌توان از جدول استنباط کرد، برای فصل S1 در بخش غربی دریاچه در ۴۰٪ ایستگاه‌ها شیب روند تغییرات زمان وقوع رویدادهای حدی سیلاب منفی بوده یعنی زمان وقوع رخدادها به سمت مبدأ (به عقب) کشیده شده است. ضمناً در ۶۰٪ ایستگاه‌ها شیب مذکور مثبت بوده که حاکی از این واقعیت است که زمان وقوع رخدادهای سیلاب کم و بیش به جلو کشیده شده‌اند. به‌عبارت 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 یک ایستگاه (۱۱٪) دارای شیب تغییرات منفی و هفت ایستگاه (۷۸٪) دارای شیب تغییرات مثبت بودند. یک مورد از ایستگاه‌ها نیز در این فصل دارای شیب صفر (بدون تغییر مثبت یا منفی) است. به‌طوریکه از شکل ۸ نیز می‌توان دید، در فصل S2 در بخش غربی دریاچه ۲۰٪ ایستگاه‌ها دارای شیب منفی بوده و در ۸۰٪ ایستگاه‌ها شیب تغییرات مثبت بود. در حالیکه در همین فصل در بخش شرقی حوضه ۲۲٪ ایستگاه‌ها دارای شیب روند منفی و ۵۶٪ ایستگاه‌ها روند مثبت داشتند. در دو ایستگاه مغانجیق و شیرین‌کند به‌علت کمبود داده حدی، شیب سن قابل محاسبه نبود. برای کل منطقه، در فصل S1 درصد ایستگاه‌ها با شیب‌های منفی و مثبت به ترتیب ۲۱٪ و ۷۱٪ بود (۷٪ نیز بدون تغییر) در حالی که، در فصل S2 و درصد ایستگاه‌ها با شیب‌های منفی و مثبت به ترتیب ۷٪ و ۶۴٪ بود (۱۴٪ بدلیل کمبود داده مورد محاسبه قرار نگرفت).

Table 3- The results of uniformity tests ($\alpha=0.01, 0.05, 0.1$) and POT for the selected stations
جدول ۳- نتایج تست‌های یکنواختی ($\alpha=0.01, 0.05, 0.1$) و POT ایستگاه‌ها

Stations	Rayleigh Test Statistic			Kuiper Test Statistic			POT		
	Z	$\alpha=0.01$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.1$	V	$\alpha=0.01$		$\alpha=0.05$	$\alpha=0.1$
Bibakran	91.7	S	S	S	13.2	S	S	S	0.4
Bitas	67.5	S	S	S	15	S	S	S	0.45
Tapik	64.3	S	S	S	12.6	S	S	S	0.38
Chahrig	50.8	S	S	S	9.7	S	S	S	0.6
Dizaj	114.4	S	S	S	14.9	S	S	S	0.4
MirKoh Haji	22.3	S	S	S	11.5	S	S	S	0.55
Mganjig	37.4	S	S	S	5	S	S	S	HoleData
Ligvan	125	S	S	S	625	S	S	S	0.2
GrmziGul	15.2	S	S	S	9.2	S	S	S	0.45
Shirinkand	59	S	S	S	5.5	S	S	S	0.6
Daryan	13.1	S	S	S	4.8	S	S	S	0.4
Chekan	7	S	S	S	4.3	S	S	S	HoleData
Tazekand	9.8	NS	S	S	5.7	S	S	S	HoleData
Bostanabad	5.7	NS	NS	S	2.9	S	S	S	0.28

$V_{(\alpha=0.01)} = 2.001$, $V_{(\alpha=0.05)} = 1.747$, $V_{(\alpha=0.1)} = 1.62$

$K^2_{(\alpha=0.01)} = 9.21$, $K^2_{(\alpha=0.05)} = 5.99$, $K^2_{(\alpha=0.1)} = 4.61$

S: Significant, NS: Nonsignificant

فصل دوم نشان می‌دهند. همانگونه که از شکل ۸-الف می‌توان مشاهده کرد شیب خط روند تغییرات زمان وقوع سیلاب‌های حدی ایستگاه‌ها در حالت کلی (بدون فصل‌بندی) از رقم ۰/۵۹ تا ۰/۹۹ تغییر می‌کند. در حالی که، پس از فصل‌بندی رخدادها این شیب در فصل S1 از ۰/۴۷ تا ۱/۰۲ و در فصل S2 از ۳/۵- تا ۱۱/۵ تغییر می‌کند. میانه شیب‌ها برای حالت بدون فصل‌بندی (کلی)، S1 و S2 به ترتیب، معادل ۰/۱۸۹، ۰/۲۲۶ و ۱/۴۵ حاصل شد.

همان‌گونه که از شکل‌های ۸-الف، ۸-ب و ۸-ج بوضوح می‌توان مشاهده کرد، واریانس شیب‌ها در حد فاصل چارک اول و سوم برای حالت کلی ۰/۱۴۶ و برای S1 و S2 به ترتیب برابر با ۰/۱۴۹ و ۳/۳۳۰ است. جدول ۵ نتایج آماره‌های $\bar{\theta}_{median}$ و $\bar{\tau}_{median}$ (مربوط به میانه‌های مقادیر شاخص‌های $\bar{\theta}$ و $\bar{\tau}$) 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 $\bar{\tau}_{median}$ برای حالت بدون فصل‌بندی به مراتب کمتر از مقادیر نظیر در فصول S1 و S2 است. این تفاوت نشان می‌دهد که اگر همه رویدادها را در کل سال در نظر بگیریم رویدادهای مختلف متناظر زمان‌های وقوع مختلف روی $\bar{\tau}_{median}$ تأثیر گذاشته و آن را نسبت به هر یک از حالت‌های S1 و S2 کاهش می‌دهد.

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 هریک از ایستگاه‌ها) در ایستگاه‌های بخش غربی ۴۰٪ و تغییرات غیرهمسو ۶۰٪ و تغییرات مثبت و منفی همسو در ایستگاه‌های بخش شرقی ۶۶٪ و تغییرات غیر همسو ۱۱٪ است.

شکل ۷ نتایج بدست آمده را روی منطقه مورد مطالعه توصیف می‌کند. در شکل ۷ نقشه ایستگاه‌های منتخب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را که در آن جهت بردار میانگین، زمان وقوع رخدادها، حدی سیلاب و اندازه آن، اندازه معیار تمرکز $\bar{\tau}$ 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 رخدادها است. یعنی در هر ایستگاه میانگین زمان وقوع رخدادهای سیلاب 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.

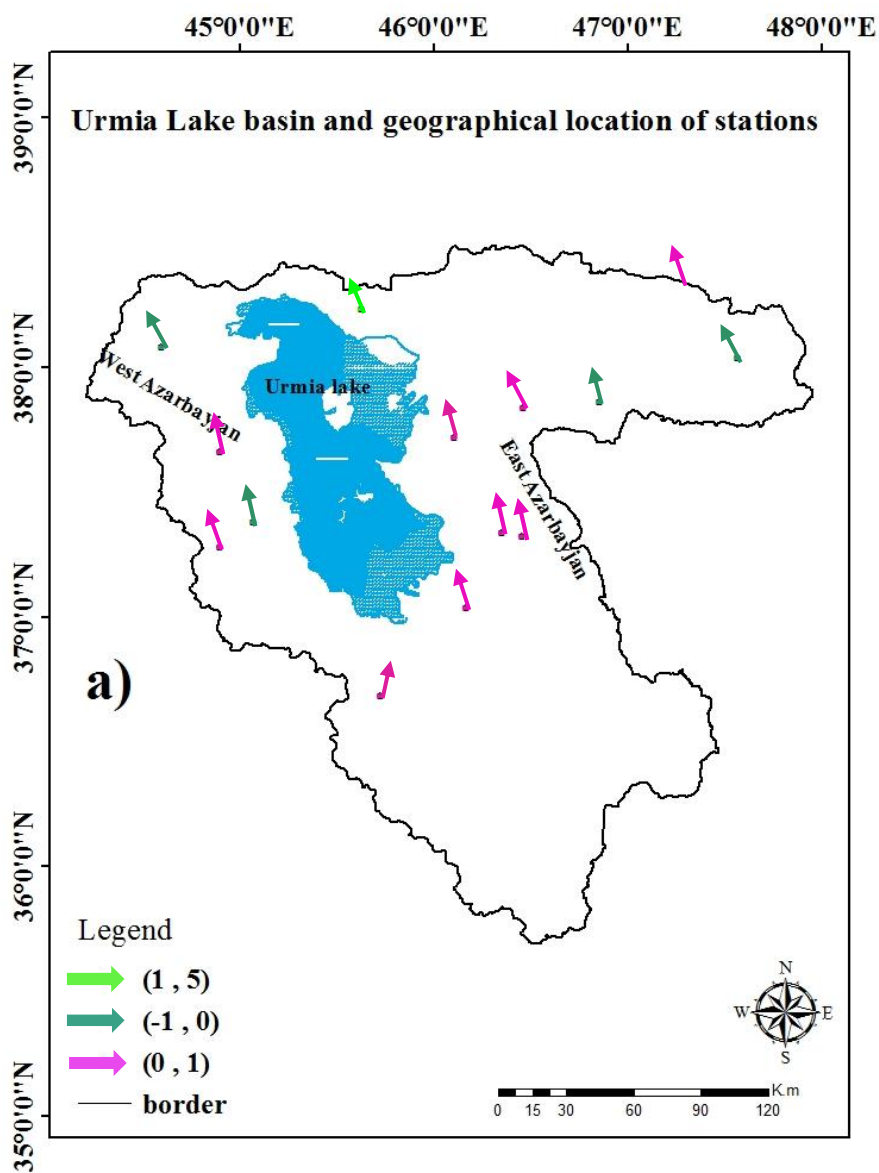
شکل‌های ۸-الف، ۸-ب و ۸-ج به ترتیب، باکس پلات مقادیر شیب خط روند، $\bar{\theta}$ و $\bar{\tau}$ ایستگاه‌های منتخب را برای کل سال، فصل اول و

Table 4- Results of S and Z of the timing of events in seasons S1 and S2 and the whole year
جدول ۴- نتایج آماره‌های S و Z زمان وقوع رخدادها در S1 و S2 و کل سال

Stations	S (SenSlope)			Z (Mann-Kendall)		
	Total	Season 1	Season 2	Total	Season 1	Season 2
Bibakran	0.359	0.444	1	-1.39	0.05	-1.07
Bitas	0.567	0.304	11	-1.91	-1.87	-1.43
Tapik	0.259	0.288	-3.5	0.29	0.73	-0.09
Chahrig	-0.179	-0.47	3	-0.62	0.14	0.78
Dizaj	0.179	-0.179	1	1.77	2.55*	0.72
MirKoh Haji	0.00	-0.011	-0.011	1.71	3.38**	0.00
Mganjig	0.2	0.12	----	0.0	0.18	----
Ligvan	0.176	0.164	1.5	1.68	2.13*	0.47
GrmziGul	0.609	0.667	1.4	3.10**	3.51***	1.09
Shirinkand	0.447	0.447	----	2.6*	2.6*	----
Daryan	0.00	1.02	11.5	0.75	1.19	1.35
Chekan	-4	0.138	32.83	0.94	0.34	----
Tazekand	0.667	0.779	10.33	-4.74***	5.47***	----
Bostanabad	0.049	0.00	-3.28	2.56*	2.74**	-0.47

توجه: ارقام پررنگ بدون ستاره نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۱۰٪ و همچنین ** و *** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۵٪ و ۱٪ می‌باشند

Note: Bold figures without asterisks indicate significance at the 10% level, and ** and *** indicate significance at the 5% and 1% levels, respectively.



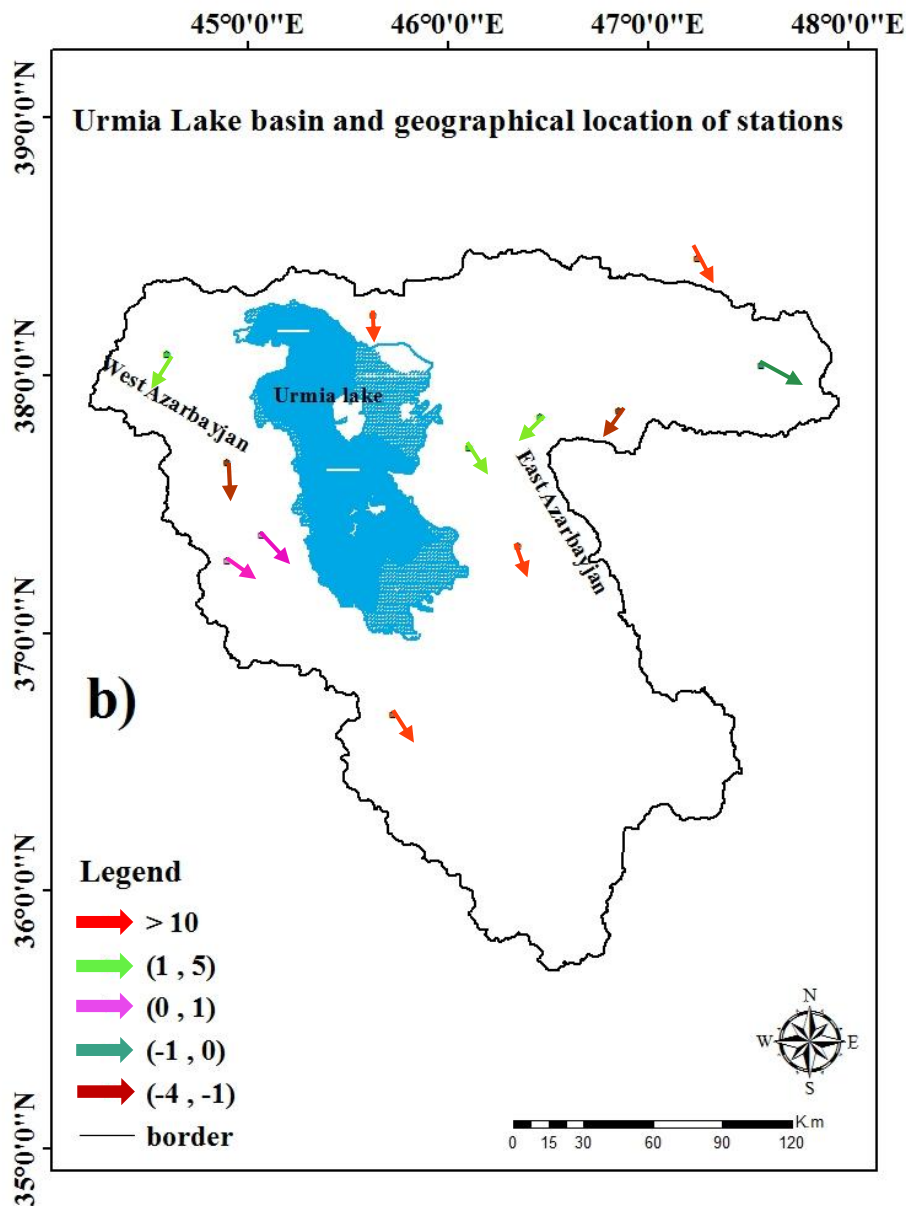


Fig. 7- Seasonality indexes and their changes: a) S1, b) S2 (Length, direction & color of vectors are \bar{r} , \bar{D}_j & $S(\text{day/year})$)
 شکل ۷- شاخص‌های فصلی و نحوه تغییرات آنها: a) S1، b) S2 (طول، جهت و رنگ بردارها \bar{r} ، \bar{D}_j و $S(\text{day/year})$ هستند)

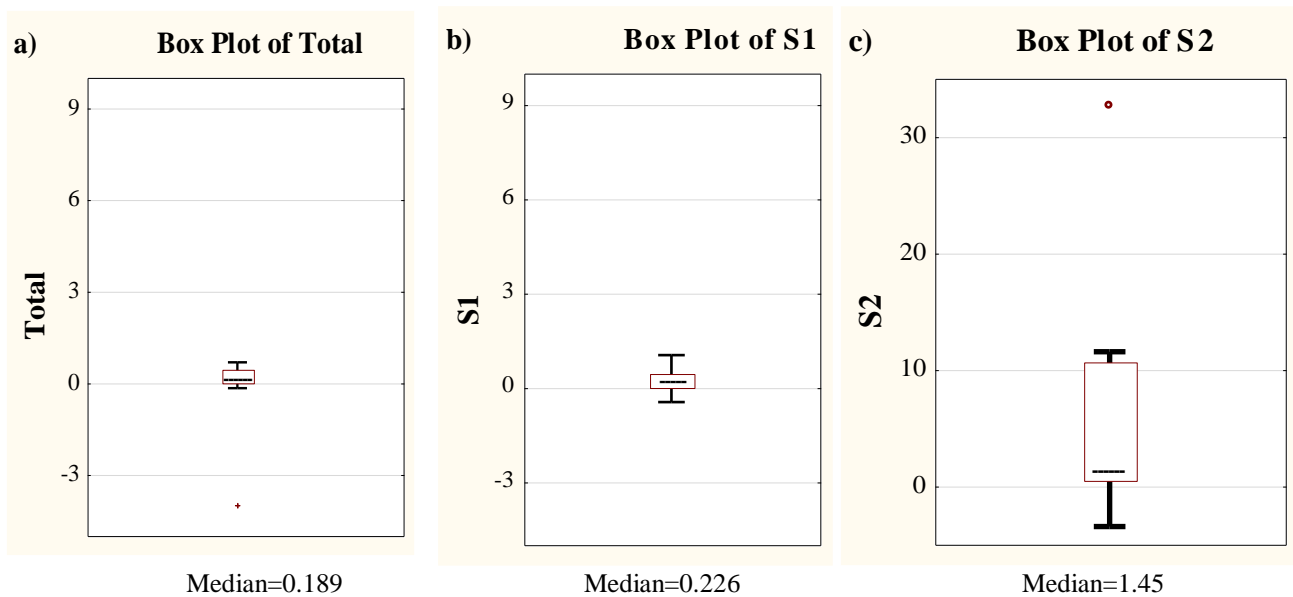


Fig. 8 a- Box plots of S of stations for the a) whole year, b) S1, c) S2
 شکل ۸ الف- باکس پلات S ایستگاهها (a- کل سال، S1 -b و S2 -c)

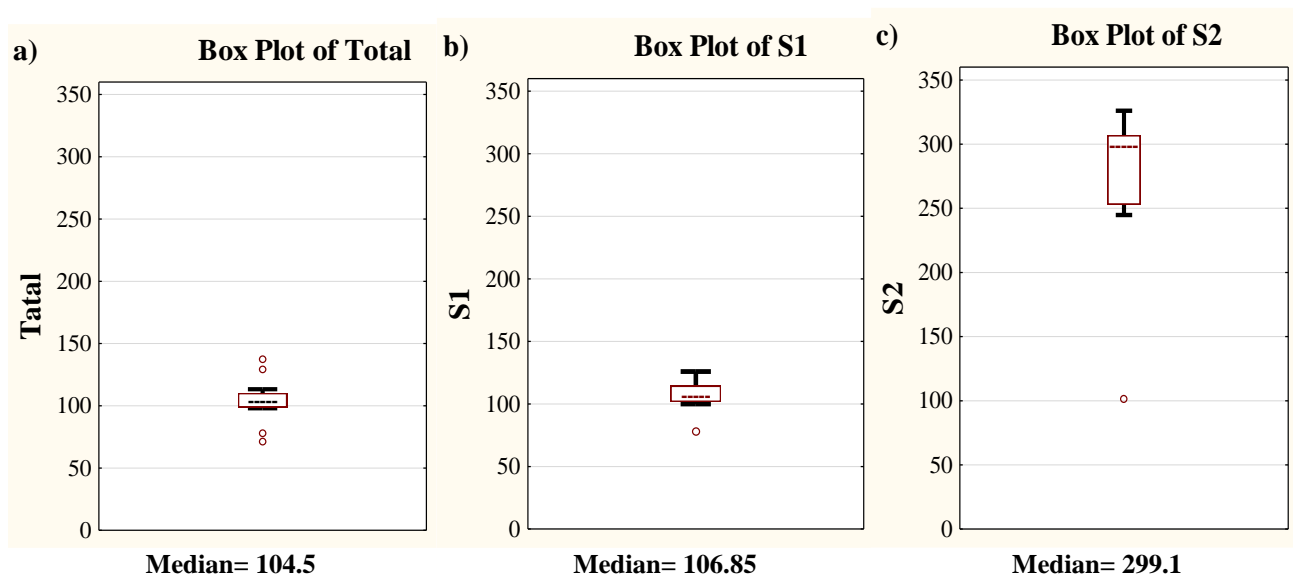


Fig. 8 b- Box plots of \bar{S} of stations for the a) whole year, b) S1, c) S2
 شکل ۸ ب- باکس پلات \bar{S} ایستگاهها (a- کل سال، S1 -b و S2 -c)

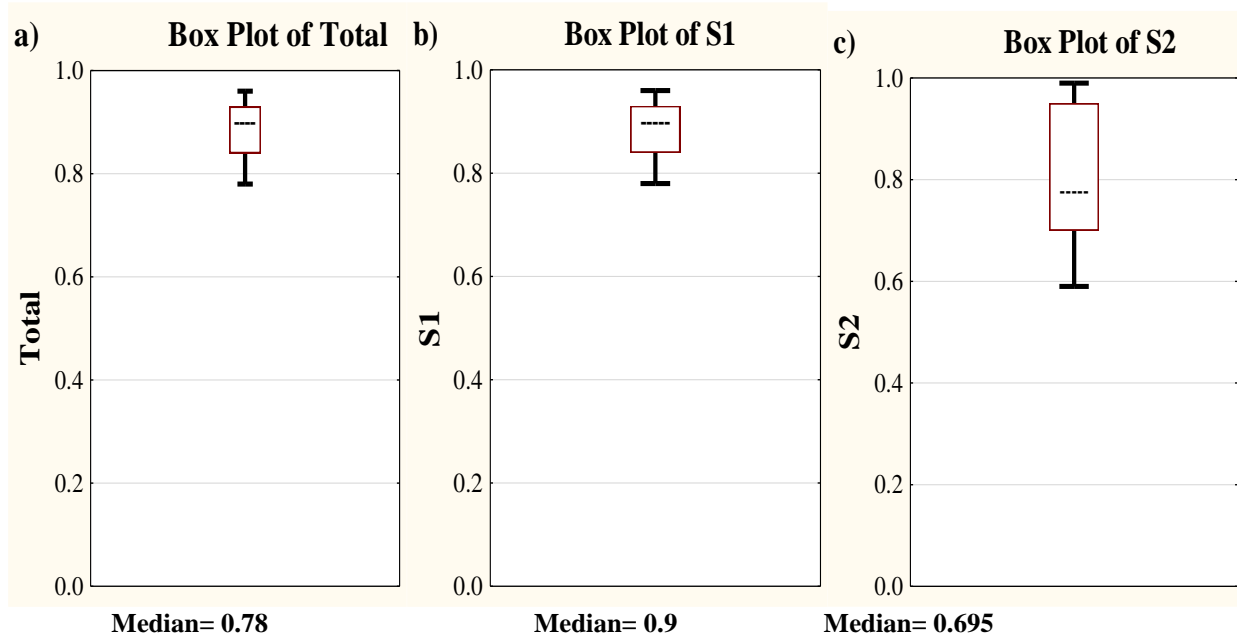


Fig. 8 c- Box plots of \bar{r} of stations for the a) whole year, b) S1, c) S2
 شکل ۸ ج- باکس پلات \bar{r} ایستگاه‌ها (a- کل سال، b- S1 و c- S2)

Table 5- Statistical results of box plot of $\bar{\theta}$ and \bar{r} indexes for the whole year, S1 and S2
 جدول ۵- نتایج آماری باکس پلات شاخص‌های $\bar{\theta}$ و \bar{r} رخدادها برای S1 و S2 و Total

	$\bar{\theta}$			\bar{r}		
	Total	S1	S2	Total	S1	S2
Median	104.5	106.85	299.1	0.695	0.9	0.78
Q3-Q1	(110.2 - 98.8)	(114.5 - 101.7)	(307 - 253)	(0.79 - 0.61)	(0.93 - 0.84)	(0.95 - 0.7)
Max-Min	(113.3 - 98)	(125.9 - 100)	(326 - 244.8)	(0.96 - 0.61)	(0.96 - 0.78)	(0.99 - 0.59)

۴- نتیجه گیری

مطالعه فصلی بودن زمان وقوع سیلاب‌های حدی برای مدیریت علمی منابع آبی در هر منطقه بویژه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه که از نظر اکولوژیکی بسیار حساس است از اهمیت فراوانی برخوردار است. با توجه به این واقعیت که بیلان آب حوضه مذکور در سالهای اخیر بشدت دستخوش تغییرات اقلیمی و بشری شده است، مطالعه زمان وقوع سیلاب‌های حدی از دیدگاه کنترل آب سیل از نظر جلوگیری از تلفات انسانی و خسارت مادی و هدایت آب به سمت دریاچه اهمیت دارد. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات ۱۴ ایستگاه آب‌سنجی واقع در حوضه دریاچه ارومیه زمان وقوع رویدادهای حدی مربوط به سیل تحلیل شد. در هر ایستگاه با روش POT تعدادی از سیلاب‌های بزرگ که دبی حداکثر روزانه آنها از حد آستانه‌ای بیشتر بوده است انتخاب شد. آنگاه

پس از فصل‌بندی مقادیر \bar{r}_{median} برای S1 برابر ۰/۹ و برای S2 برابر ۰/۷۸ شده است که بمراتب از حالت کلی بیشتر است و نشان می‌دهد که رویدادهای حدی سیلاب فصل S1 و S2 دارای تمرکز بیشتری در مقایسه با کل رویدادها بوده است. همچنین، مقدار $\bar{\theta}_{\text{median}}$ برای حالت بدون فصل‌بندی (۱۰۴/۵) کمتر از حالت فصل S1 (۱۰۶/۸۵) و S2 (۲۹۹/۱) و از نظر مکانی روی نمودار دایره‌ای در حد واسط $\bar{\theta}_{\text{median}}$ 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 $\bar{\theta}_{\text{median}}$ 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.

از آمار دایره‌ای برای تحلیل شاخص‌های فصلی رویدادها بهره گرفته شد. نتایج حاکی از آن بود که در هر ایستگاه رویدادهای سیل در دو مقطع زمانی متمایز روی می‌دهد و امکان بررسی همه رویدادهای مربوط به سیل در حالت کلی منجر به خطای قابل ملاحظه خواهد بود. به عبارت بهتر رویدادهای سیلاب این حوضه متمرکز به الف) فصل بهار و ب) فصل پاییز است. در فصل بهار با توجه به رویدادهای بارشی سیلاب‌ها بیشتر در آخرین ماه زمستان آغاز شده و تا اواسط اردیبهشت ادامه می‌یابد. در حالی که در فصل پاییز آغاز سیلاب‌ها تقریباً مصادف با اواسط شهریور تا دهه اول آذر ماه است. در سیلاب‌های بهاری، ظهور سیلاب‌های بخش غربی در حدود ۲۰ روز زودتر از بخش شرقی تجربه می‌شود. در فصل پاییز این فاصله زمانی به ۳ روز کاهش می‌یابد. به عبارت بهتر آغاز سیلاب‌های پاییزه در حدود ۳ روز زودتر از بخش شرقی تجربه می‌شود. این نتیجه بنظر منطقی می‌باشد؛ زیرا سیستم‌های باران‌زای کشور که اغلب از دریای سیاه و دریای مدیترانه به ایران نفوذ می‌کنند ابتدا بخش‌های غربی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و سپس در راستای غرب به شرق حرکت می‌کنند. لازم به ذکر است که در مطالعه حاضر احتمال به عدم قطعیت‌ها در نتایج بدست آمده اشاره شود که شامل منابع متعدد از جمله عدم قطعیت در اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها، کوتاه بودن دوره آماری و منابع ناشناخته دیگر می‌باشد. واضح است که هر چه دوره آماری مورد بررسی کوتاه‌تر باشد داده‌های مورد استفاده نمونه کاملی از جامعه مورد مطالعه نمی‌باشد و در نتیجه عدم قطعیت در نتایج نیز تحت تأثیر آن واقع می‌شود. هر چه نمونه مشاهداتی طولانی‌تر باشد عدم قطعیت نیز کمتر خواهد بود.

نتایج این مطالعه حاکی از وجود خاصیت فصلی قوی در سیلاب‌های دریاچه ارومیه است که با نتایج تحقیقات دیگر از جمله Koutroulis et al. (2010)، Villarini et al. (2016)، Jeneiová et al. (2016) و Zhang et al. (2017) مطابقت دارد. هرچند وجود دو فصل متمایز در ظهور سیلاب‌های دریاچه ارومیه به اثبات رسید ولیکن میانگین زمان وقوع آنها در طول دوره آماری از یک ایستگاه به ایستگاه دیگر کم و بیش متفاوت است. این نتیجه با گزارشات مربوط به تحقیقات دیگر مانند Maria et al. (2017) و Blöschl et al. (2017) نیز همخوانی دارد. به عبارت دیگر این نتیجه نشانگر عدم وجود یکنواختی مکانی در روند تغییرات زمان وقوع سیلاب‌های حدی در ایستگاه‌های مختلف حوضه دریاچه ارومیه است. افزون بر این، در همه نواحی حوضه دریاچه ارومیه زمان آغاز رخدادهای سیل در طی زمان در یک جهت خاص مانند پسروری (یا پیشرویی) نسبت به گذشته نبوده است طوری که میانگین زمان رویدادهای سیل در پاره‌ای از ایستگاه‌ها زودتر از گذشته

رخ داده است درحالی‌که در پاره‌ای دیگر چندروز دیرتر نسبت به دوره‌های گذشته ظاهر می‌شود. این تغییرات ممکن است در نواحی مختلف حوضه به عوامل مختلف بستگی داشته باشد. از جمله این عوامل می‌توان به الف) تغییر میانگین دمای هوای ایستگاه‌ها تحت تاثیر تغییر اقلیم که منجر به ذوب زود هنگام برف در زمستان می‌گردد، ب) وقوع بارندگی‌های شدید و ناگهانی در تابستان و در نقاط مختلف حوضه که هر کدام دارای میزان رطوبت قبلی خاک متفاوت بوده و در عین حال دارای پوشش گیاهی متفاوتند و نیز توپوگرافی پیچیده در نقاط مختلف حوضه اشاره کرد. لازم به ذکر است که در یک مورد (ایستگاه شیرین‌کند در فصل پاییز) داده‌ای کافی برای تحلیل سیل وجود نداشت. که لازم است در مطالعات آتی با افزایش داده‌های ثبت شده مجدداً مورد بررسی قرار بگیرد.

در ایران با توجه به اقلیم منطقه و شواهد و مطالعه حاضر دو فصل کاملاً مجزای سیلاب با توجه به نمودارهای دایره‌ای قابل تشخیص است. ثانیاً عوامل ایجاد سیلاب در دو فصل ایجاد شده متفاوت است که ذکر شده اند. در ضمن در توزیع یکنواخت زمان وقوع رویدادهای حدی سیلاب، تمرکز رخدادها به سمت صفر گرایش دارد و برعکس پراکندگی بیشتر است. اما در توزیع تک-مدی عکس آن پیش‌بینی می‌شود که نشان می‌دهد حالت فصلی قوی بر داده‌ها حاکم است. در این دو حالت محاسبه شاخص‌های فصلی قدرت تمرکز، میانگین زمان وقوع و پراکندگی داده‌ها گویای شرایط حاکم بر توزیع داده‌ها خواهد بود. ولی در حالت چند-مدی و دو-مدی پراکندگی افزایش و قدرت تمرکز کاهش می‌یابد و نشان می‌دهد که تاریخ وقوع رویدادهای حدی دارای دامنه بسیار وسیع است و لذا میانگین زمان وقوع محاسبه شده تخمین شفافی از شرایط حاکم بر توزیع داده‌ها نخواهد بود و یک شاخص گمراه کننده از فصل غالب است و توصیف‌گر خوبی از ماهیت مدهای فصلی ترجیحی نخواهد بود (Dhakal et al., 2015). این امر باعث ایجاد چالش در تحلیل‌های مرتبط با زمان وقوع رخدادها خواهد شد. در اکثر مطالعات پیشین این مورد مهم در نظر گرفته نشده است. در برخی موارد براساس فرض یکنواختی توزیع رخدادها مطالعه به انجام رسیده و با هیچ تستی ماهیت داده‌ها ارزیابی نشده است (Gu et al., 2017; Maria et al., 2017). در برخی موارد (Blöschl et al., 2017) فقط ایستگاه‌هایی مورد مطالعه بودند که از نظر آماری، تست یکنواختی در موردشان تأیید شده بود. پیرو (Ouarda & Cunderlik, 2009) 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 مجزا تجزیه و تحلیل شود. لذا در این پژوهش

فقط به محاسبه و تحلیل شاخص‌های دایره‌ای در کل دوره آماری بسنده نشد. بدین منظور بعد از انجام تست‌های مربوطه تمامی محاسبات شاخص‌های فصلی و تحلیل‌های روند برای فصول بارشی متمایز جداگانه انجام شده است.

- 1- Peaks-Over-Threshold
- 2- Directional Statistics
- 3- Circular Statistics
- 4- Carpathian- Alpine
- 5- Mann Kendall
- 6- Maximum Annual
- 7- Rayleigh-Test
- 8- Kuiper-Test
- 9- Uni-Modal
- 10- Multi-Modal
- 11- Sen Estimator Slope
- 12- Bimodal

۵- تقدیر و تشکر

از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی که آمار داده‌ها را در اختیار نویسندگان قرار دادند سپاسگذاری می‌شود.

۶- مراجع

- Ali G, Tetzlaff D, Kruitbos L, Soulsby C, Carey S, McDonnell J, et al. (2013) Analysis of hydrological seasonality across northern catchments using monthly precipitation-runoff polygon metrics. *Hydrological Sciences Journal* 59(1):56-72
- Alifujiang Y, Abuduwaili J, & Ge Y (2021) Trend analysis of annual and seasonal river runoff by using innovative trend analysis with significant test. *Water* 13(1):95
- Anonymous (2019) Final report of crisis management. National Report of Floods
- Bayliss AC, Jones RC (1993) Peaks-over-threshold flood database: Summary statistics and seasonality. Institute of Hydrology, Wallingford, UK, IH Report No. 121, pp 61
- Bezak N, Brilly M, Šraj M (2014) Comparison between the peaks-over-threshold method and the annual maximum method for flood analysis. *Hydrological Sciences Journal* 59(5):959-977
- Black A R, & Werritty A (1997) Seasonality of flooding: A case study of North Britain. *Journal of Hydrology* 195(1-4):1-25
- Blöschl G et al. (2017) Changing climate shifts timing of European floods. *Science* 357(6351):588
- Bostan AP, Akyürek Z (2007) Exploring the mean annual precipitation and temperature values over Turkey by using environmental variables. *ISPRS: Visualization and Exploration of Geospatial Data, Stuttgart*
- Bozorg Haddad O, Dehghan P, Zolghadr Asli B, Singh VP, Xuefeng Chu, Hugo A (2022) Loaiciga system dynamics modeling of lake water management under climate change. *Nature Scientific Reports*: 1-17, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09212-x>
- Bozorg-Haddad O, Dehghan P, Zareie S, Loaiciga H A (2020) System dynamics applied to water management in lakes. *John Wiley & Sons* 69(4):956-966
- Burn D (1997) Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *Journal of Hydrology* 202(2):12-230
- Burn DH, Whitfield PH (2018) Changes in flood events inferred from centennial length streamflow data records. *Advances in Water Resources* 121:333-349
- Cunderlik JM, Ouarda TBMJ (2009) Trends in the timing and magnitude of floods in Canada. *Journal of Hydrology* 375: 471-480
- Davangah E, Soltani S, Sarhadi A (2012) Investigating the trend of extreme flow values (minimum flow and flood) in the Sefid Rood watershed. *Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources, Water and Soil Sciences* 58:215- 229 (In Persian)
- Delavar M, Morid S, Shafieiefar M, Moghaddammia A, Cluckie I D (2007) Simulation and analyses of uncertainty and sensitivity of the changes of the Urmia Lake Level to water budget components using ANNs and ANFIS. *Geophysical Research Abstracts* 9:05507
- Dhokal N, Jain S, Gray A, Dandy M, Stancioff E (2015) Nonstationarity in seasonality of extreme precipitation: A nonparametric circular statistical approach and its application. *Water Resources Research* 51:4499-4515
- Do H, Westra S, Leonard M, Gudmundsson L, Seneviratne S (2018) Global-scale prediction of flood timing using atmospheric reanalysis and the Global Streamflow Indices and Metadata (GSIM) archive. *Geophysical Research Abstracts* 20:1-19
- Eimanifar A, Mohebbi F (2007) Urmia Lake (northwest Iran): A brief review. *Aquatic Biosystems* 3(5):1-8
- Esfandiari Darabad F, Mostafazadeh R, Shahmoradi R, Nasiri Khiavi A (2020) The effect of dam construction on flood flow changes and water shortage indicators in the south of Lake Urmia. *Journal of Natural Environment Hazards* 24:1-14 (In Persian)
- Ghezel saflo M, Dinpashoh Y, Gorbani MA, Fakheri Fard A (2012) Trend Analysis of streamflows in east Azarbaijan province. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering* 35(1):71-82
- Golabian H (2011) Urmia Lake: hydro-ecological stabilization and permanence macro-engineering seawater in unique environments. Springer-Verlag, Berlin, pp 365-397
- Gu X, Zhang Q, Singh VijayP, Shi P (2017) Nonstationarity in timing of extreme precipitation across China and impact of tropical cyclones. *Global and Planetary Change* 149:153-165
- Hassanzadeh E, Zarghami M, Hassanzadeh Y (2012) Determining the main factors in declining the Urmia lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management* 26(2):129-145
- Hodgkins G A, Whitfield P H, Burn D H, Hannaford J, Renard B, Stahl K, Fleig, Madsen, A K H, Mediero L, Korhonen J, Murphy C W D (2017) Climate-driven variability in the occurrence of major floods

- across North America and Europe. *Journal of Hydrology* 552:704–717
- Hsu YJ, Fu Y, Bürgmann R, Hsu SY, Lin CC, Tang CH, & Wu YM (2020) Assessing seasonal and interannual water storage variations in Taiwan using geodetic and hydrological data. *Earth and Planetary Science Letters* 550:116532
- Jeneiová K, Kohnová S, Hall J, Parajka J (2016) Variability of seasonal floods in the Upper Danube River basin. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 64(4):357–366
- Koutroulis AG, Tsanis IK, Daliakopoulos IN (2010) Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete. *Journal of Hydrology* 394:90-100
- Lang M, Ouarda TBMJ, Bobee B (1999) Towards operational guidelines for over-threshold modeling. *Journal of Hydrology* 225(3–4):103–117
- Mardia KV (1999) *Statistics of directional data*. Academic Press, New York, NY
- Mardia KV, Jupp PE (1999) *Statistics of directional data*. Wiley Press, pp 429
- Maria M, Gaudry C, Gutknecht D, Parajka J, Rui AP, Blöschl G (2017) Seasonality of runoff and precipitation regimes along transects in Peru and Austria. *Journal of Hydrology, Hydromech* 65(4):347–358
- Modarres R, Sarhadi A, Burn DH (2016) Changes of extreme drought and flood events in Iran. *Global and Planetary Change* 144:67–81
- Mirabassi R, Dinpazhooh Y (2012) Trend analysis of precipitation of NW Iran Over the past half of the century. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering* 35(4):59-73
- Noury M, Sedghi H, Babazadeh H, Fahmi H (2014) Urmia Lake water level fluctuation hydro informatics modeling using support vector machine and conjunction of wavelet and neural network. *Water Resources* 41(3):261–269
- Ouarda TB, Cunderlik JM, St-Hilaire A, Barbet M, Bruneau P, & Bobée B (2006) Data-based comparison of seasonality-based regional flood frequency methods. *Journal of Hydrology* 330(1-2):329-339
- Parajka J S, Kohnová G, Bálint M, Barbuc M, Borga P, Claps S, Cheval A, Dumitrescu E, Gaume K, Hlavčová R, Merz M, Pfaundler G, Stancalie J, Blöschl G (2010) Seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine-Carpathian range. *Journal of Hydrology* 394(1-2):78-89
- Radmanesh F, Esmaeili-Gisavandani H, Lotfirad M (2022) Climate change impacts on the shrinkage of Lake Urmia. *Journal of Water and Climate Change* 13(6):2255–2277
- Salehi Babil S, Zeinalzadeh K, Hessari B (2018) The changes in the frequency of daily precipitation in Urmia Lake basin, Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 133:205–214
- Sakizadeh M, Milewski A, Sattari M T (2023) Analysis of long-term trend of stream flow and interaction effect of land use and land cover on water yield by SWAT Model and statistical learning in part of Urmia Lake Basin, Northwest of Iran. *Water* 15(4):690
- Sathish S, & Babu SK (2017) Stochastic time series analysis of hydrology data for water resources. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 263(4):042140, IOP Publishing
- Schulz S, Darehshouri S, Hassanzadeh E, Tajrishy M, Schüth C (2020) Climate change or irrigated agriculture- What drives the water level decline of Lake Urmia. *Scientific Reports* 10(1):1–10
- Shirzad R, Hesari B (2017) Investigation of the statistical trend of instant floods in the rivers of Urmia Lake basin. *The First International Climate Change Conference, Iran, 1-15 (In Persian)*
- Villarini G (2016) On the seasonality of flooding across the continental United States. *Advances in Water Resources* 87:80–91
- Zhang Q, Gu X, Singh VP, Shi P, Luo M (2017) Timing of floods in southeastern China: Seasonal properties and potential causes. *Journal of Hydrology* 552:732–744
- Zohrabi N, Sedghi H, Massah Bavani AR, Telvari AR, Abdoveis S (2011) Determining the temporal trend in annual maximum flood series in the Large Karoun river (Iran). *2nd International Conference on Environmental Science and Technology, IPCBEE vol.6, IACSIT Press, Singapore*