

**Analysis of the Time Interval Between the Occurrence of Peak Flood and the Peak of Meteorological Drought in Karkheh Watershed**A. Bahrami<sup>1\*</sup>, R. Modares<sup>2</sup>, S. Soltani<sup>3</sup>, and P. Mohit Esfahani<sup>4</sup>**Abstract**

In the present study, the variable of the time interval between the peak flood and the peak of drought is investigated in thirteen sub-basins of Karkheh basin. Since the time interval variable from the flood peak and the peak of previous drought has a discrete nature, eight well-known discrete probability distribution functions were tested for frequency analysis. In general, the results of the research showed that in most of the studied small and fourth-degree basins, with the increase in the intensity of annual droughts, the corresponding peak flood discharges will decrease up to  $SPI = -1$ , and after that, as the droughts continue to intensify ( $SPI < -1$ ), the discharges will decrease. The flood peak will increase with an exponential and quadratic pattern. While in large and the third-degree basins, with the intensification of drought, the peak discharges of floods will also decrease. The results of the frequency analysis determined that the probability distribution functions of DPO and NBI have the most appropriate fits to the time interval variable between the peak of flood and the peak of drought. Based on the frequency analysis, it was found that the time interval between the peak of flood and the peak of drought is approximately 6 to 8 months. The defined variable reflects the interaction and impact of two extreme events of flood and drought in a basin.

**Keywords:** The Distance Between Floods and Droughts, Discrete Probability Distribution Functions, Limit Events, Karkheh Basin.

Received: June 5, 2023

Accepted: September 5, 2023

**تحلیل فاصله زمانی بین وقوع اوج سیل تا اوج خشکسالی هواشناسی در حوضه آبخیز کرخه**آناهیتا بهرامی<sup>۱\*</sup>، رضا مدرس<sup>۲</sup>، سعید سلطانی<sup>۳</sup> و پوریا محیط اصفهانی<sup>۴</sup>**چکیده**

در پژوهش حاضر متغیر فاصله زمانی بین دبی اوج سیلاب تا اوج خشکسالی هواشناسی در سیزده زیر حوضه کرخه، بررسی شد. از آنجایی که متغیر فاصله زمانی از اوج سیل تا اوج خشکسالی پیش از آن دارای ماهیت گسسته است برای تحلیل فراوانی هشت تابع توزیع احتمال گسسته مشهور مورد آزمون قرار گرفتند. بطور کلی نتایج پژوهش نشان داد که به صورت مشترک در اغلب حوضه‌های کوچک و درجه چهار مورد مطالعه، با افزایش شدت خشکسالی‌های سالانه تا  $SPI = -1$  دبی‌های اوج سیلاب متناظر کاهش پیدا خواهند کرد و پس از آن با ادامه تشدید خشکسالی‌ها ( $SPI < -1$ ) دبی‌های اوج سیلاب با یک الگو نمایی و درجه دو افزایش پیدا خواهند کرد. در حالی که در حوضه‌های بزرگ و درجه سه با تشدید خشکسالی دبی‌های اوج سیلاب نیز کاهش خواهند یافت. نتایج تحلیل فراوانی مشخص کرد که توابع توزیع احتمال DPO و NBI دارای مناسب‌ترین برازش‌ها به متغیر فاصله زمانی بین اوج سیلاب تا اوج خشکسالی هستند. براساس تحلیل فراوانی‌های صورت گرفته مشخص شد که فاصله زمانی بین اوج سیلاب تا اوج خشکسالی تقریباً بین ۶ الی ۸ ماه است. متغیر تعریف شده بازگو کننده اثر متقابل و اثرگذاری دو رویداد حدی سیل و خشکسالی در یک حوضه است.

**کلمات کلیدی:** فاصله سیل تا خشکسالی، توابع توزیع احتمال گسسته، رویدادهای حدی، حوضه کرخه.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۳/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۶/۱۴

1- M.Sc. in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: Anahitab46@gmail.com

2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

3- Professor, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

4- M.Sc. Graduate, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

\* - Corresponding Author

Doi: [10.22034/IWRR.2023.178611](https://doi.org/10.22034/IWRR.2023.178611)

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

\* - نویسنده مسئول

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



## ۱- مقدمه

کاهش سطح پوشش برف و رخداد خشک‌سالی‌های متعدد همراه بوده‌اند. در سیلاب استان خوزستان که از حدود ۸ فروردین با بالا آمدن آب پشت سدها و از ۱۳ فروردین با آب‌گرفتگی وسیع دشت سیلابی رودخانه‌های کرخه، دز، کارون و در نهایت رودخانه جراحی به وقوع پیوست، در دشت خوزستان که بیشترین میزان آب‌گرفتگی از آن گزارش شد.

از سوی دیگر در دهه اخیر این ناحیه خشک‌سالی‌های زیادی را نیز به خود دیده است. طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱، یک دوره بازگشت شدید خشک‌سالی ۴۰ ساله نیمی از استان‌های کشور را تحت تأثیر قرار داد و زیان بخش کشاورزی بیش از ۱۰ میلیارد دلار برآورد شد. اکثر رودخانه‌ها و دریاچه‌های اصلی کشور در این دوره خشک‌سالی کاملاً خشک شدند (Foltz, 2002) و کاهش تولید ناخالص داخلی (GDP<sup>1</sup>) حدود ۴/۴ درصد گزارش شد. دوره خشک‌سالی شدید اخیر (۲۰۰۹-۲۰۰۷) کشور را در مقیاسی بزرگتر از دوره خشک‌سالی قبلی ویران کرد. خسارت ۱۹ میلیارد دلاری در بخش کشاورزی طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ گزارش شده است و میانگین کاهش ۲۰ درصدی بارندگی در سال ۲۰۰۸ در مقایسه با میانگین ۳۰ ساله گزارش شده است. شدت خشک‌سالی در نواحی شمال غرب تا جنوب غرب کشور نسبت به سایر نقاط کشور در سال ۱۳۸۸ بیشتر بود و به سمت مرکز ایران حرکت کرد. با وجود این اثرات خشک‌سالی، مطالعات بسیار کمی روند خشک‌سالی را در ایران نشان داده است. برای مثال Raziei et al. (2009) و Abarghouei et al. (2011) تغییرات شاخص بارش استاندارد شده (SPI<sup>2</sup>) را به عنوان یک شاخص خشک‌سالی برای مناطق مختلف ایران نشان داد. با این حال، آنها این واقعیت را در نظر نگرفتند که SPI به جای شدت خشک‌سالی، شرایط مرطوب و خشک را نشان می‌دهد.

با وجود مطالعات گوناگونی که در سراسر جهان به تشریح و بررسی هر کدامیک از این دو پدیده پرداخته‌اند. ارتباط زمانی وقوع این دو رویداد حدی نسبت به یکدیگر در بین این مطالعات مورد توجه قرار نگرفته است. شناخت و آگاهی از اثر متقابل بین این دو رویداد حدی می‌تواند در برخی از موارد از مطالعه رفتاری این رویدادها به صورت انفرادی حائز اهمیت بیشتری است. از این حیث در این پژوهش سعی شده است تا با تعریف یک متغیر جدید اثر متقابل این دو رویداد حدی بیان شود.

هدف اصلی این تحقیق مطالعه فاصله زمانی بین وقوع اوج سیلاب و اوج خشک‌سالی پیش از آن در حوضه آبخیز کرخه و سپس تحلیل روند فاصله زمانی بین وقوع سیل و خشک‌سالی در حوضه کرخه،

سیلاب و خشک‌سالی دو پدیده حدی هستند که همواره در اکثر مناطق جهان رخ می‌دهند. این سیلابها با خسارات متعدد اقتصادی، محیطی، سازه‌ای و انسانی همراه هستند. سیلابهای تاریخی مانند سال ۱۳۴۷، ۱۳۵۸، ۱۳۷۱، ۱۳۷۲، ۱۳۷۷، ۱۳۸۳، ۱۳۸۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ از جمله سیلابهای بزرگ در ایران به ویژه شمال و جنوب غرب هستند که خسارات هنگفتی ایجاد کرده‌اند. به عنوان مثال سیلاب سال ۱۳۹۸، ۲۵ استان از ۳۱ استان کشور را تحت تأثیر قرار داد؛ اما عمده خسارات در استانهای، خوزستان، گلستان لرستان و فارس رخ داد و منجر به آبگرفتگی گسترده اراضی کشاورزی در حد ۵۰۰ هزار هکتار تخریب و آبگرفتگی مساکن، تخریب سازه‌های آبی ارتباطی و کشته شدن حدود ۱۰۰ نفر شد و از نظر اقتصادی بر اساس برآوردهای اولیه خسارتی ۳۰ تا ۳۵ هزار میلیارد تومان وارد نموده است. یافته‌های تحقیقات گوناگون در سطح جهان بیانگر افزایش این پدیده حدی است که در بسیاری از موارد علل رخداد آن را تغییرات اقلیمی تغییر الگوهای بارشی ذوب ناگهانی برف و یخچال‌ها، خشک‌سالی‌های متوالی، تخریب گسترده پوشش زمین و تغییرات گسترده کاربری اراضی می‌دانند ( Xu et al., 2017; Turkington et al., 2016; Gao et al., 2020). تجزیه و تحلیل‌های آماری مربوط به رخدادهای حدی تاریخی جهانی نشان می‌دهند که روند خشک‌سالی‌ها و سیلاب‌ها نسبت به قرن بیستم به دلیل گرم‌تر شدن کره زمین و افزایش شدت بارش‌ها در حال افزایش هستند ( Hirabayashi et al., 2013; Ghasemi & Moghoi, 2017). نتیجه یافته‌های بررسی روند تغییرات داده‌های حداکثر دبی در آلمان (Petrow & Merz 2009) در چین و در حوضه‌های آبی مکونگ و پرل براهماپوترا و قو (Delgado et al., 2010; Zhi- Yong et al., 2013; Apurv et al., 2015; Gao et al., 2020) حوضه رودخانه هورون در میشیگان آمریکا (Xu et al., 2017) رودخانه یانگ در تایلند (Shrestha & Lohpaisannkrit, 2017) نشان دادند که هرچند متوسط دبی سالانه دارای روند کاهشی هستند اما دبی حداکثر دارای روند افزایشی بوده و پیش‌بینی‌ها بر اساس مدل‌های تغییر اقلیم و سناریوهای آن بیانگر تداوم روند افزایشی دبی حداکثر است. در مناطق با اقلیم خشک و نیمه خشک مانند ایران میانگین آبدی ماهانه و سالانه رودخانه‌های حوضه‌های آبی شمال غرب کشور (Mir abbasi & Din Pazhoh, 2010)، رودخانه مارون (Maroufi & Tabari, 2011)، رودخانه کشف‌رود (Vafakhah et al., 2012) رودخانه‌های استان سیستان و بلوچستان (Ansari et al., 2016) و رودخانه‌های استان چهارمحال و بختیاری (Ghasemi & Moghoi, 2017) روند کاهشی دارند. در حالی که مقادیر دبی حداکثر و بارشهای حداکثر روزانه در بیشتر مناطق دارای روند افزایشی با

تحلیل اثرات خشک‌سالی‌ها بر روی بزرگی سیلاب‌های حوضه کرخه و تحلیل فصل سیل و خشک‌سالی در حوضه کرخه می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۱-۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه کرخه در غرب کشور یکی از حوضه‌های باز ایران است که در تقسیم‌بندی حوضه‌های آبخیز ایران، حوضه فرعی به شمار می‌رود و زیرمجموعه حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان است. حوضه کرخه بین مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و ۳۰ درجه و ۹۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۹۵ دقیقه شمالی قرار دارد. مساحت این حوضه بالغ بر ۵۱۳۴۸ کیلومتر مربع است که به لحاظ وسعت بسیار بزرگ است و از شرایط آب و هوایی متنوعی برخوردار است. دشت خوزستان و قسمت‌های جنوبی حوضه، دارای اقلیم نیمه‌خشک با زمستان‌های ملایم و

تابستان‌های گرم و طولانی است. این در حالی است که بخش‌های شمالی و مناطق کوهستانی دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های ملایم هستند. درجه حرارت در سطح حوضه نیز متغیر بوده و از حداقل ۲۵- درجه تا حداکثر ۵۰ درجه سانتی‌گراد در طول سال تغییر می‌کند. متوسط سالانه ریزش‌های جوی در حوضه آبریز کرخه ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلیمتر در سال متغیر بوده و معمولاً نیمی از کل بارندگی سالانه در زمستان و پس از آن نازل می‌شود. بیش‌ترین بارندگی مربوط به فصل پاییز و بهار است. حوضه آبریز کرخه از نظر آب و هوایی به اقلیم ویژه دریای مدیترانه تعلق دارد. حوضه آبریز کرخه بزرگ شامل بیش از نیمی از استان‌های لرستان و کرمانشاه و بخش‌هایی از استان‌های کردستان، همدان، ایلام و خوزستان است. موقعیت جغرافیایی این حوضه به همراه شبکه آبراه‌ای و ارتفاعی آن در شکل ۱ نمایش داده شده است (Khushal Dastjardi et al., 2013).

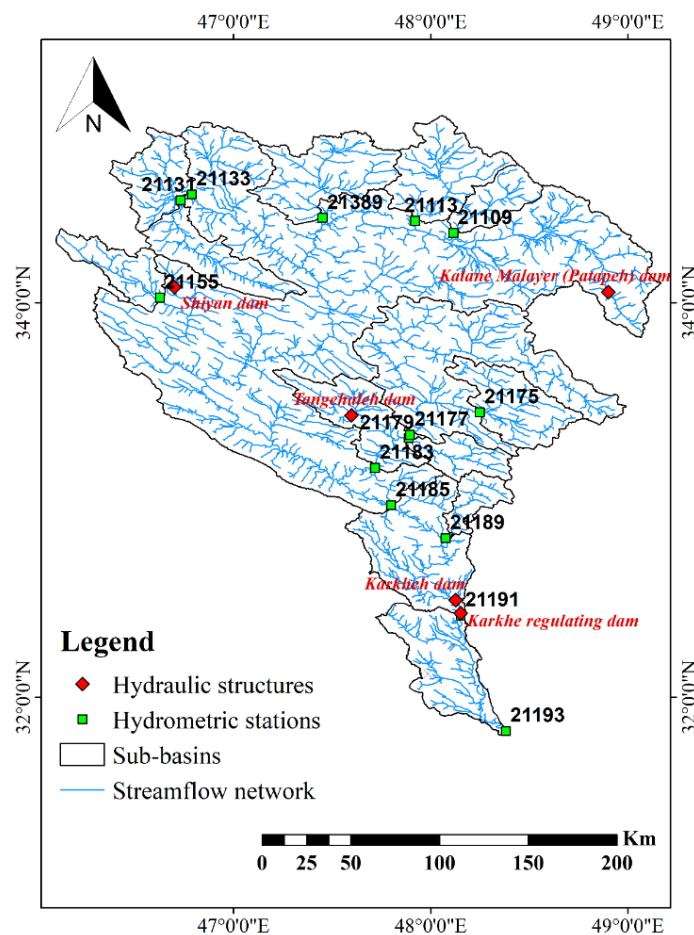


Fig. 1- Location of hydrometric stations, studied sub-basins, waterway network and hydraulic structures in the studied area

شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری، زیرحوضه‌های مورد مطالعه، شبکه آبراه‌ای و سازه‌های هیدرولیکی در منطقه مورد مطالعه

## ۲-۲- داده و اطلاعات

در پژوهش حاضر بطور کلی دو نوع داده مورد بررسی قرار گرفت. یکی سری زمانی شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد با مقیاس زمانی دوازده ماهه؛ است؛ چراکه مقیاس زمانی دوازده ماهه بیانگر یک چرخه هیدرولوژیکی کامل بوده و می‌تواند آب‌های سطحی را نیز تحت تأثیر قرار دهد. متغیر دیگر شامل مشاهدات دبی اوج لحظه‌ای سالانه برای بررسی شرایط سیلابی حوضه‌های مورد مطالعه بود.

## ۳-۲- تعریف متغیر فاصله زمانی بین اوج یک سیلاب تا اوج خشک‌سالی

پژوهش حاضر بر روی تعریف و تحلیل فراوانی متغیر "فاصله زمانی بین اوج سیل تا اوج خشک‌سالی پیش از آن" تمرکز دارد. برای درک بهتر تعریف این متغیر در شکل ۲ نمای معرف این متغیر ترسیم شده است. در این شکل ستون‌های آبی رنگ بیانگر زمان و بزرگی دبی‌های اوج سیلاب هستند ( $Q_i$ ). منحنی قرمز رنگ نیز شاخص SPI است که تغییرات شرایط خشک‌سالی را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل ۲ مشخص است ممکن هست برای همه وقایع سیلاب داده فاصله زمانی اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی پیش از آن وجود نداشته باشد؛ چرا که

ممکن است مانند وقایع  $Q_2$  و  $Q_4$  در شکل ۲ پیش از دبی اوج سیلاب خشک‌سالی رخ نداده باشد. بنابراین متغیر فاصله زمانی بین اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی با ذکر چند تبصره می‌تواند این گونه تعریف شود که:

۱- تعداد ماه‌ها از ماه وقوع اوج سیلاب تا ماه وقوع اوج خشک‌سالی (منفی‌ترین عدد شاخص SPI پیش از آن سیلاب که از یک آستانه مشخص برای شاخص SPI کمتر باشد) که در شکل ۲ با نماد  $I^i$  نمایش داده شده است؛

۲- برای مستقل در نظر گرفته شدن اثر هر خشک‌سالی بر هر سیلاب، فاصله زمانی از تاریخ وقوع دبی اوج سیلاب، حداکثر تا تاریخ سیلاب قبلی شمارش خواهد شد و خشک‌سالی‌های پیش‌تر از این بازه بی اثر در نظر گرفته خواهند شد؛

۳- در صورت عدم وقوع خشک‌سالی بین دو واقع سیلاب این متغیر فاقد مقدار بوده و اتفاق نیافتاده است؛

۴- حداقل مقدار متغیر مورد نظر برابر ۱ ماه و در صورت وقوع اوج سیلاب و خشک‌سالی در یک ماه (هم‌زمان) خواهد بود؛

۵- حداکثر مقدار عددی برای این متغیر برابر ۲۳ ماه است که بیانگر حداکثر فاصله زمانی ممکن برای وقوع دو سیلاب طی دو سال آبی متوالی است (از ماه اول سال آبی اول تا ماه آخر سال آبی دوم).

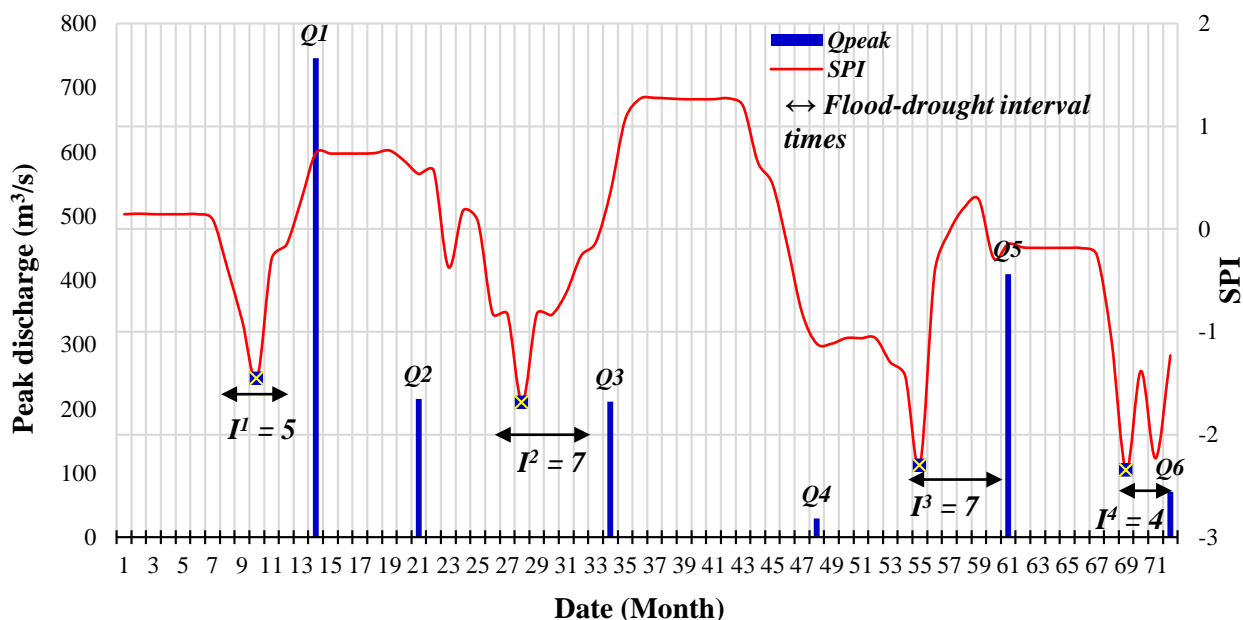


Fig. 2- The representative display of the variable of the time interval between the peak of flood and its preceding peak of drought

شکل ۲- نمایش معرف متغیر فاصله زمانی بین اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی قبل از آن

#### ۴-۲- تحلیل روند

توابع مذکور دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که می‌توانند طیف گسترده‌ای از حالات مختلف متغیرهای گسسته را پوشش دهند (Rigby et al., 2019). این انعطاف‌پذیری به ویژه برای توزیع‌های چند پارامتری مثل DPO, PIG, NBI و GPO بیشتر است.

وجود روند معنی‌دار و بویژه روند کاهشی برای داده‌های فاصله زمانی بین اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی پیش از آن می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. چراکه وجود روند کاهشی برای این متغیر فرصت را برای اقدامات مدیریتی پیش از وقوع سیل محدود خواهد کرد. لذا در این پژوهش برای بررسی وجود روند معنی‌دار برای متغیر مذکور از آزمون روند من-کندال<sup>۳</sup> استفاده شد (Kendall, 1948; Mann, 1945). بطور کلی آزمون من-کندال مطابق با روابط مربوطه قابل محاسبه خواهد بود. محاسبات مربوط به تحلیل روند نیز توسط بسته محاسباتی "trend" در محیط نرم‌افزار R انجام شد.

#### ۵-۲- تحلیل فراوانی

علاوه بر این در جدول ۱ ضابطه امید ریاضی هر کدام از توزیع‌های مورد بررسی ارائه شده است. امید ریاضی یک متغیر تصادفی بیانگر این مفهوم است که اگر یک آزمایش تصادفی را به تعداد دفعات زیاد تکرار کنیم، میانگین اعداد مشاهده شده، امید ریاضی نامیده می‌شود. برای محاسبه این میانگین بایستی کلیه اعداد مشاهده را با هم جمع نموده و تقسیم بر تعداد دفعات تکرار آزمایش تصادفی نماییم. حال از آنجایی که داده‌های ما از متغیر فاصله زمانی بین اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی پیش از آن تنها یک نمونه کوچک از جامعه آماری این متغیر است، می‌توان مقدار میانگین این متغیر برای جامعه آماری آن را از طریق پارامترهای تابع توزیع احتمال و رابطه امید ریاضی آن برآورد نمود.

فاصله زمانی بین اوج یک سیلاب تا اوج خشک‌سالی پیش از آن یک متغیر گسسته است و بنابراین هشت تابع توزیع احتمال گسسته مشهور به شرح جدول ۱ در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. هر کدام از

**Table 1- Characteristics of discrete probability distribution functions investigated in this research (Rigby et al. 2019)**

جدول ۱- مشخصات توابع توزیع گسسته احتمال مورد بررسی در این پژوهش (Rigby et al., 2019)

Probability distribution function	Abbreviation name	(PDF) Probability density function $P(Y=y) =$	Expected value $E(Y) =$
Logarithmic	LO	$\frac{\alpha\mu^y}{y}, \alpha = -[\ln(1-\mu)]^{-1}$	$\alpha\mu(1-\mu)^{-1}$
Poisson	PO	$\frac{e^{-\mu}\mu^y}{y!}$	$\mu$
Double Poisson	DPO	$c(\mu, \sigma)\sigma^{-1/2}e^{-\mu/\sigma}\left(\frac{\mu}{y}\right)^{y/\sigma}\frac{e^{y/\sigma-y}y^y}{y!}$	$\mu$
Poisson-inverse Gaussian	PIG	$c(\mu, \sigma) = \left[ \sum_{y=0}^{\infty} \sigma^{-1/2}e^{-\mu/\sigma}\left(\frac{\mu}{y}\right)^{y/\sigma}\frac{e^{y/\sigma-y}y^y}{y!} \right]^{-1}$ $\left(\frac{2\alpha}{\pi}\right)^{1/2}\frac{\mu^y e^{1/\sigma} K_{y-0.5}(\alpha)}{y!(\alpha\sigma)^y}$ $\alpha^2 = \sigma^{-2} + 2\mu\sigma^{-1}$ $K_{\lambda}(t) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} x^{\lambda-1} \exp\left\{-\frac{1}{2}t(x+x^{-1})\right\} dx$	$\mu$
Generalized Poisson	GPO	$\left(\frac{\mu}{1+\sigma\mu}\right)^y \frac{(1+\sigma y)^{y-1}}{y!} \exp\left[\frac{-\mu(1+\sigma y)}{1+\sigma\mu}\right]$	$\mu$
Geometry	GEOMo	$\mu(1-\mu)^y$	$(1-\mu)\mu^{-1}$
Negative binomial type I	NBI	$\frac{\Gamma(y+\sigma^{-1})}{\Gamma(\sigma^{-1})\Gamma(y+1)}\left(\frac{\sigma\mu}{1+\sigma\mu}\right)^y\left(\frac{1}{1+\sigma\mu}\right)^{1/\sigma}$	$\mu$
Negative binomial type II	NBII	$\frac{\Gamma(y+\mu\sigma^{-1})}{\Gamma(\mu\sigma^{-1})\Gamma(y+1)}\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}\right)^y\left(\frac{1}{1+\sigma}\right)^{\mu/\sigma}$	$\mu$

$\mu$  و  $\sigma$  به ترتیب پارامترهای موقعیت و مقیاس توابع توزیع احتمال می‌باشند که از طریق تابع حداکثر درستنمایی برآورد می‌شوند.

$\mu$  and  $\sigma$  refer respectively to the Location and Scale parameters of the probability distribution functions which are estimated by Maximum likelihood function.

در شکل (۳-ب) فراوانی وقوع خشک‌سالی‌ها بر حسب وقایع خشک‌سالی با آستانه  $SPI12 < -1$  محاسبه شد که نمودی از یک چرخه کامل هیدرولوژیکی است. بررسی‌های فصل‌بندی خشک‌سالی‌ها نشان داد که در منطقه کرخه خشک‌سالی‌ها دارای رفتار فصلی خاصی نیستند. این یکنواختی در فراوانی وقوع خشک‌سالی باتوجه به تعریف مفهوم خشک‌سالی قابل توجیه است؛ چرا که خشک‌سالی پدیده‌ای مستقل از زمان و مکان است. بنابراین احتمال رخداد این پدیده در ماه‌های مختلف در یک منطقه یکسان است.

### ۳-۲- تغییرات روند فاصله سیل و خشک‌سالی

نتایج این پژوهش نشان داد که روند افزایشی یا کاهش‌ی معنی‌دار و مشهودی برای متغیر فاصله زمانی در حوضه‌های مورد مطالعه وجود ندارد. مطابق با نتایج پژوهش تنها حوضه‌ای که روند کاهش‌ی هرچند غیر معنی‌دار برای متغیر فاصله زمانی دبی اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی در آن مشاهده شد حوضه چولهول (۱۷۹-۲۱) بود. در این حوضه هرچند که روند کاهش‌ی برای متغیر مذکور غیر معنی‌دار بود؛ اما آماره آزمون روند برای تمامی مقیاس‌های خشک‌سالی دارای علامت منفی (روند کاهش‌ی) بود. لذا لازم است تا اقدامات مدیریتی برای کاهش خطر سیل<sup>۵</sup> پس از مشاهده اوج خشک‌سالی در این حوضه برای کوتاه مدت صورت گیرد. در اغلب حوضه‌های مورد مطالعه امید ریاضی متغیر فاصله زمانی بین دبی اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی پیش از آن ۶ الی ۸ ماه است.

بطور سنتی تابع توزیع مناسب برای متغیرهایی از جنس شمارش<sup>۴</sup> تابع توزیع پواسون (PO) و هندسی (GEOM) است (Hothorn & Everitt, 2006). با این وجود بسته به ویژگی‌های متغیر مورد نظر که می‌تواند چولگی و یا کشیدگی خاصی داشته باشد، در همه موارد نمی‌توان از توابع توزیع احتمال پواسون یا هندسی استفاده کرد؛ چراکه این توابع دارای تنها یک پارامتر هستند و لذا انعطاف‌پذیری این توابع برای توجیه فضای احتمالاتی متغیرهای دارای چولگی و کشیدگی محدود است. از این حیث در پژوهش حاضر از چندین تابع توزیع گسسته احتمال دو پارامتری با انعطاف‌پذیری بیشتر استفاده شد.

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- تغییرات فصل سیل و خشک‌سالی

با توجه به اطلاعات موجود از زمان وقوع خشک‌سالی‌ها و دبی‌های اوج سیلاب در حوضه درصد فراوانی هر یک از وقایع مذکور در ماه‌های مختلف برآورد شد و نتایج در شکل ۳ ارائه شد. تحلیل رفتار فصلی سیلاب‌ها شکل (۳-ا) به خوبی نشان داد که این پدیده در منطقه کرخه دارای الگوی فصلی و شرایط قطبی است. به عبارت دیگر احتمال رخداد وقایع سیلابی (دبی‌های حداکثر لحظه‌ای) در برخی از مواقع سال بیشتر است. این امر نیز باتوجه به ویژگی‌های این پدیده و عوامل مولد آن (مانند فصل بارش و بارش‌های حداکثر) قابل توجیه است. به طوریکه بیشترین فراوانی وقوع دبی اوج سیلاب در حوضه‌های مورد مطالعه به ترتیب طی ماه‌های فروردین، اسفند، اردیبهشت و آذر ماه رخ داده است.

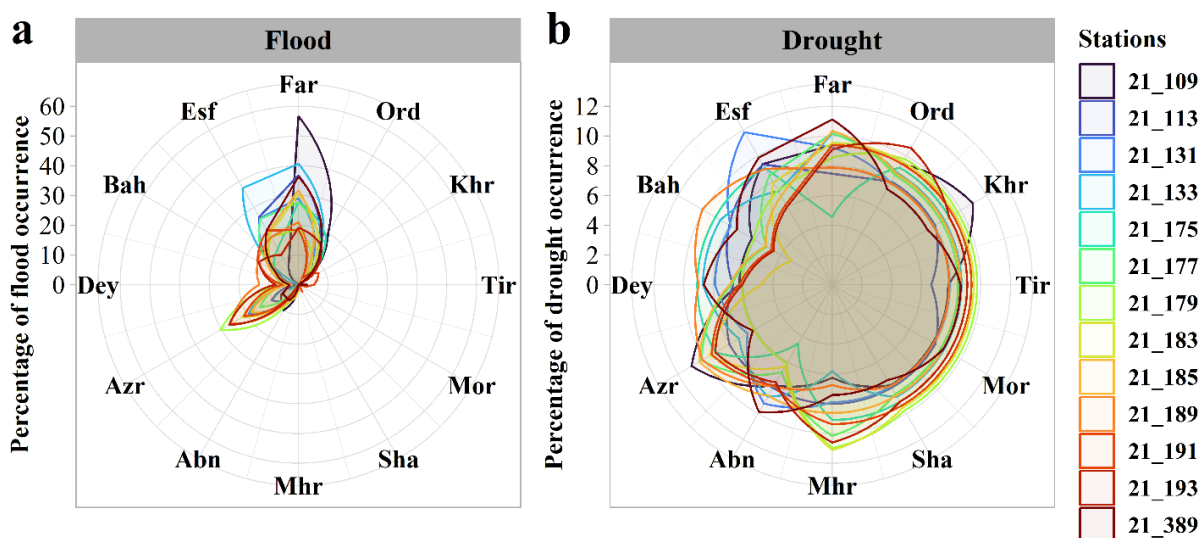


Fig. 3- Percentage frequency of flood and drought extreme events in Karkheh basin  
شکل ۳- درصد فراوانی وقایع حدی اتفاقی افتاده سیل و خشک‌سالی در حوضه کرخه

### ۳-۳- تحلیل ارتباط سیل و خشک‌سالی

نقطه خروجی شود. از سوی دیگر ممکن است در یک یا چند زیرحوضه کوچک در این حوضه‌های بزرگ، خشک‌سالی‌ها باعث تنزل شرایط پوشش گیاهی و متعاقباً افزایش پتانسیل سیلخیزی حوضه‌ها شده باشد، اما از آنجایی که وسعت حوضه زیاد است شرایط و تنوع بارش و متعاقباً رواناب‌های تشکیل شده می‌تواند در بخش‌های مختلف یک حوضه بزرگ متفاوت و متنوع باشد. به عبارت ساده‌تر ممکن است با افزایش پتانسیل سیلخیزی زیرحوضه‌ها تحت تأثیر خشک‌سالی‌ها نه تنها بارش‌های شدید ناگهانی بلکه بارش‌هایی با شدت خفیف‌تر نیز در برخی از زیرحوضه‌ها منجر به شکل‌گیری سیلاب‌های بزرگ تنها در ابعاد زیرحوضه‌ها شوند- برای مثال در زیرحوضه‌های آفرینه چولهول (۱۷۹-۲۱)، آفرینه کشکان (۱۷۷-۲۱) و چمانجیر (۱۷۵-۲۱) که جزو زیرحوضه‌های کوچکتر در حوضه‌های بزرگ جلوگیر (۱۸۵-۲۱)، پای‌پل (۱۹۱-۲۱) و عبدالخان (۱۹۳-۲۱) هستند- اما این تغییرات در مقابل تغییرات دبی‌های اوج سیلاب در نقطه خروجی حوضه بزرگ و اصلی که دبی اوج در آن ناشی از مشارکت دبی جریان در تمامی زیرحوضه‌ها است. از آنجایی که ممکن است بارش مؤثری برای تشکیل رواناب در همه زیرحوضه‌های کوچک رخ نداده باشد، قابل ملاحظه نخواهند بود. لیکن از این حیث می‌توان توجیه کرد که چرا در حوضه‌های بزرگ با افزایش شدت خشک‌سالی در مقیاس حوضه دبی‌های اوج سیلاب نیز کاهش پیدا خواهند کرد.

### ۳-۴- تحلیل فراوانی فاصله زمانی بین دبی اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی پیش از آن

تحلیل فراوانی متغیر فاصله زمانی بین دبی اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی پیش از آن نشان داد که در تمامی حوضه‌های مورد مطالعه این متغیر تصادفی حداقل از یک تابع توزیع احتمال خاص پیروی می‌کند. این امر به تنهایی می‌تواند بیانگر معنی‌داری این متغیر هیدرولوژیکی و وجود یک جامعه آماری برای آن باشد؛ چراکه در صورت تصادفی بودن اعداد به ثبت رسیده برای این متغیر نمی‌توانست جامع آماری برای آن در نظر گرفت که بتوان ویژگی‌های آن را از روی تابع توزیع احتمال برآورد نمود. مطابق با نتایج بدست آمده از جدول ۲ به ترتیب توابع توزیع احتمال دابل پواسون (DPO) و باینومیل منفی نوع اول (NBI) هر کدام با فراوانی انتخاب به عنوان بهترین تابع توزیع ۳۴/۶ درصد از ۵۲ مرتبه برازش توابع توزیع احتمال به عنوان مناسب‌ترین توزیع‌ها قابل برازش به داده‌های متغیر فاصله زمانی بین دبی اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی پیش از آن در منطقه کرخه انتخاب شدند. این توابع جزو توزیع‌های دو پارمتری هستند و به همین سبب انعطاف‌پذیری بیش‌تری نسبت به بسیاری از توزیع‌های گسسته به‌ویژه توزیع‌های تک پارمتری مانند پواسون و هندسی دارند.

بررسی‌ها و ترسیم نمودارهای پراکنش نقطه‌ای بین شاخص خشک‌سالی و دبی‌های اوج سیلاب (شکل ۴) نشان داد که در حوضه‌های کوچک و واقع در بالادست که دارای سیستم زهکشی ساده‌تری نسبت به حوضه‌های بزرگ در منطقه هستند، صرف‌نظر از چند مشاهده نامتعارف یک الگو و ارتباط مشترک بین این دو پدیده در اغلب حوضه‌ها قابل مشاهده است. بطوریکه با کاهش مقادیر شاخص بارش استاندارد که بیانگر افزایش بزرگی خشک‌سالی هستند تا حدود مقدار عددی  $SPI = -1$  (آستانه شروع خشک‌سالی) دبی‌های اوج سیلاب متناظر کاهش پیدا خواهند کرد و پس از آن با ادامه کاهش مقادیر شاخص بارش استاندارد یا به عبارت دیگر تشدید خشک‌سالی‌ها دبی‌های اوج سیلاب به صورت ناگهانی و با یک الگونمایی و درجه دو غیرخطی افزایش پیدا خواهند کرد. بطوریکه در چند حوضه درجه چهار شکل (4a) (مانند حوضه‌های دوآب مرک (۱۳۳-۲۱)، آفرینه کشکان (۱۷۷-۲۱) و حیدرآباد (۱۸۹-۲۱)) سیلاب‌هایی با بزرگی دبی اوج بیش از صدک ۹۰ام، ۹۵ام و ۹۹ام تنها در برخی کلاس‌های خشک‌سالی از نظر شاخص بارش استاندارد رخ داده‌اند (خشک‌سالی‌ها با کلاس متوسط و شدید). این الگو از این منظر ممکن است نشأت گرفته شده باشد که در شرایط خشک‌سالی‌ها شرایط پوشش گیاهی در حوضه‌ها دچار نزول شده و بنابراین پتانسیل سیلخیزی حوضه‌ها نه تنها نسبت به بارش‌های شدید و ناگهانی بلکه نسبت به بارش‌ها با شدت کمتر نیز در این شرایط خشک افزایش یافته است و متعاقباً مقدار رواناب تولید شده نسبت به بارش‌های مؤثر افزایش یافته و بنابراین سیلاب‌های نسبتاً بزرگتری در شرایط خشک‌سالی حاصل شده است.

از سوی دیگر در حوضه‌های بزرگ (درجه سه و بالاتر) شکل (4b) با سیستم زهکشی پیچیده و بزرگ، الگوی اثر متقابل سیل و خشک‌سالی متفاوت از حوضه‌های کوچک است. برای نمونه نتایج نشان داد که در حوضه‌های بزرگ جلوگیر (۱۸۳-۲۱)، پای‌پل (۱۹۱-۲۱) و عبدالخان (۱۹۳-۲۱) که وسعتی بیش از سی هزار کیلومتر مربع دارند، بر خلاف حوضه‌های کوچک درجه چهار، با کاهش مقدار عددی شاخص بارش استاندارد (تشدید خشک‌سالی) به صورت پیوسته دبی‌های اوج سیلاب نیز کاهش خواهند یافت. تفاوت در الگو رفتاری اثر متقابل دو رویداد حدى سیل و خشک‌سالی در حوضه‌های بزرگ و درجه سه نسبت به سایر حوضه‌های کوچک‌تر و درجه چهار از دو منظر قابل بحث است. از یک منظر ممکن است این امر بخاطر وسعت زیاد حوضه‌ها باشد؛ چراکه ممکن است شرایط خشک‌سالی در سطح حوضه‌های وسیع منجر به افت جریان‌های پایه در زیرحوضه‌های آنها و متعاقباً کاهش سهم زیرحوضه‌ها برای مشارکت در تشکیل دبی‌های اوج سیلاب در



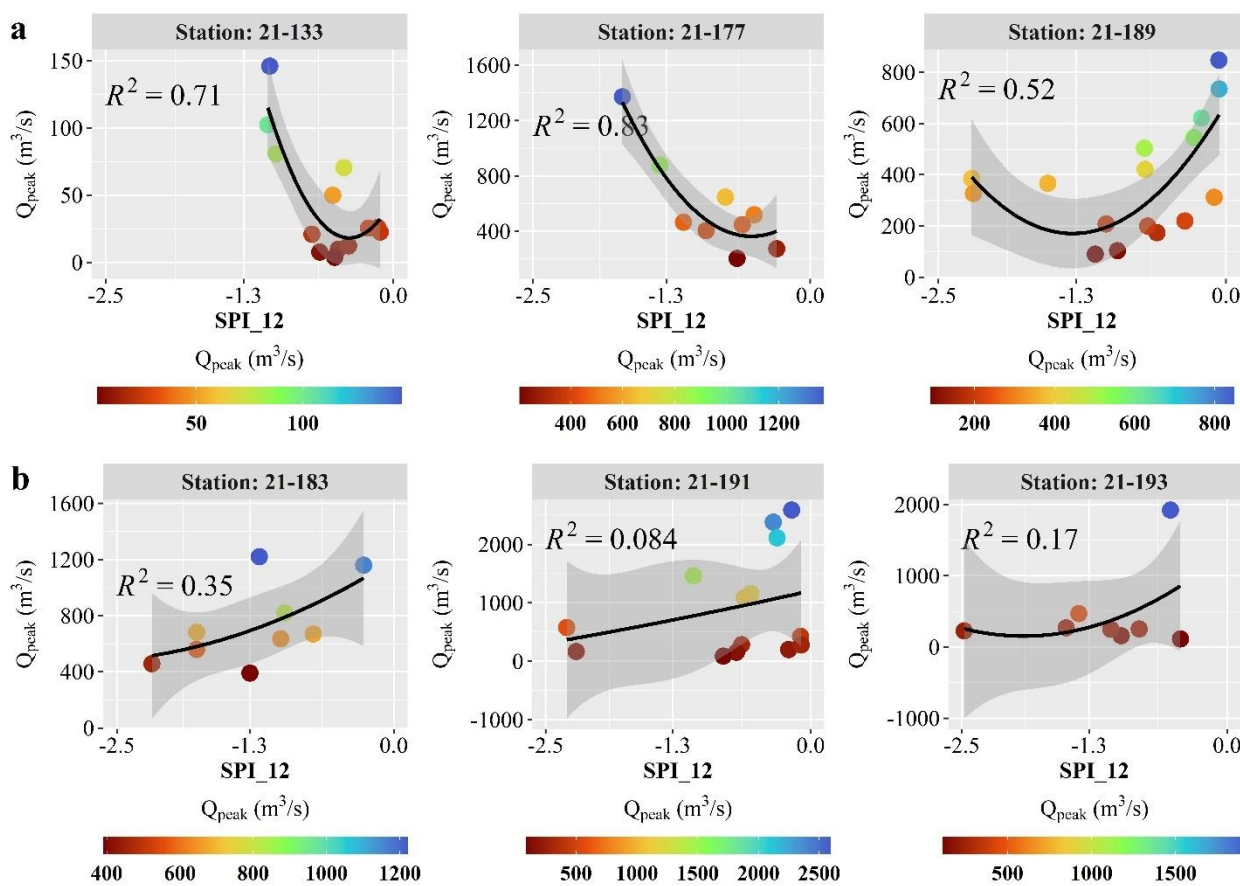


Fig. 4- Scatter plot between the peak flow of floods and drought conditions of each water year based on the twelve-month SPI ending in September in the Karkheh basin.

شکل ۴- نمودار پراکنش نقطه‌ای بین دبی اوج سیلاب‌ها و شرایط خشک‌سالی هر سال آبی بر اساس SPI دوازده ماهه منتهی به ماه شهریور در حوضه کرخه

Table 2- The best distribution function for the time interval between the peak of flood and drought based on the goodness of fit tests used

جدول ۲- بهترین تابع توزیع فاصله زمانی بین اوج سیل تا خشک‌سالی براساس آزمون‌های نکویی برازش مورد استفاده

Station	Distribution	Parameters		Information criterion statistics		Kolmogorov-Smirnov test	
		Sigma	Mu	BIC	AIC	p.value	Statistics
21-109	NBI	0.388	6.333	72.20	71.23	0.87	0.17
21-113	GPO	0.09	7.44	95.59	94.04	0.51	0.21
21-131	PIG	0.412	6.729	89.557	88.141	0.753	0.174
21-133	NBI	0.250	5.500	99.00	97.22	0.624	0.177
21-175	PIG	0.305	7.413	31.14	31.92	0.983	0.207
21-177	DPO	2.153	7.451	89.01	87.60	0.909	0.145
21-179	GPO	0.098	5.588	93.60	91.93	0.784	0.159
21-183	NBII	2.341	5.687	92.41	90.87	0.893	0.144
21-185	DPO	1.31	6.155	73.57	72.29	0.493	0.222
21-189	DPO	2.489	6.529	88.37	86.96	0.676	0.186
21-191	NBI	0.379	6.417	72.20	71.23	0.96	0.15
21-193	NBI	0.223	6.250	47.11	46.95	0.93	0.19
21-389	NBI	0.153	6.053	104.21	102.32	0.61	0.17



در جدول ۲ علاوه بر نمایش گرافیکی از آزمون آماری کلموگروف اسمیرونف<sup>۶</sup> از آماره‌های اطلاعات آکائیک<sup>۷</sup> و بی‌زین<sup>۸</sup> (AIC و BIC) نیز برای انتخاب تابع توزیع مناسب استفاده شده است. فرض صفر برای آزمون کلموگروف اسمیرونف تبعیت داده‌ها از تابع توزیع تتوری مورد نظر است، بنابراین چنانچه مقدار آماره این آزمون برای یک مجموعه داده از مقدار بحرانی آنها کمتر باشد یا مقدار p-value این آزمون برای یک مجموعه داده از مقدار خطای نوع اول (عمدتاً  $\alpha = 0.05$ ) بیشتر باشد فرض صفر برای این آزمون تأیید خواهد شد. در غیر این صورت نمی‌توان توزیع مورد نظر را برای برازش به داده‌ها انتخاب نمود.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هر چند تابع توزیع احتمال پواسون و تا حد بسیار کمتری تابع توزیع احتمال هندسی می‌توانند فضای احتمالاتی متغیر فاصله زمانی بین دبی اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی پیش از آن را در اغلب حوضه‌ها مدل کنند، اما بر اساس آماره‌های آزمون‌های نکویی برازش انجام شده به وضوح مشخص شد که این توابع در اغلب موارد در مقایسه با سایر توابع احتمال دو پارامتری شکست می‌خورند و نمی‌توانند به‌عنوان بهترین تابع توزیع قابل برازش انتخاب شوند.

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

بطور خلاصه در پژوهش حاضر سعی شد تا نگرش جدید و فعل و انفعالی<sup>۹</sup> به دو رویداد حدی سیل و خشک‌سالی معرفی شود. در این نگرش نه تنها برای مطالعه رویدادهای حدی سیل و خشک‌سالی بلکه برای مطالعه جامع‌تر هر رویداد حدی دیگری پیشنهاد می‌شود که بجای مطالعه انفرادی پدیده‌های حدی، با یک دیدگاه چند جانبه و فعل و انفعالی به مطالعه رویدادهای حدی پرداخته شود. در یک دیدگاه فعل و انفعالی اثرات مستقیم و غیر مستقیم یک یا چند رویداد (حدی) بر روی یک یا چند رویداد حدی دیگر لحاظ خواهد شد. بطور کلی زمانی که یک یا چند رویداد حدی منجر به تشدید یا تعدیل یک یا چند رویداد حدی دیگر شوند پدیده مورد نظر را یک واقعه ترکیبی<sup>۱۰</sup> می‌نامند. مطالعه وقایع ترکیبی در سال‌های اخیر نظر بسیاری از محققین و مدیران را به خود جذب کرده است. همچنین برای مطالعه وقایع ترکیبی لازم است تا متغیرهای جدید چند بعدی و روش‌های چند متغیره بکار گرفته شود.

در پژوهش حاضر ضمن تعریف متغیر فاصله زمانی دبی اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی پیش از آن، بررسی‌های متنوعی بر روی این متغیر انجام شد. روند افزایشی یا کاهش‌ی معنی‌دار و مشهودی برای این متغیر

در حوضه‌های مورد مطالعه وجود ندارد. وجود روند معنی‌دار افزایشی برای این متغیر بدین معنی خواهد بود که در حوضه مورد نظر فرصت برای برنامه‌ریزی و اقدامات مدیریتی برای کاهش خطرات و خسارات سیل پس از مشاهده یک اوج خشک‌سالی در آینده امکانپذیرتر خواهد بود. این در حالی است که در صورت وجود روند کاهش‌ی معنی‌دار برای متغیر فاصله زمانی دبی اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی پیش از آن، اقدامات مدیریتی و برنامه‌ریزی‌ها جهت کاهش خطرات و خسارت سیل باید برای حداقل زمان ممکن صورت گیرد؛ چراکه در این حالت وقوع سیلاب‌ها در زمان کمتری پس از ثبت اوج خشک‌سالی مورد انتظار خواهد بود. به‌عبارت دیگر فرصت بازیابی جامعه و ساکنین محلی از اثرات یک پدیده حدی تا وقوع پدیده حدی بعدی کمتر خواهد بود. همچنین مدیریت ریسک بلایای طبیعی دارای فرصت کمتری برای بازسازی فیزیکی مناطق آسیب دیده و بازیابی روانی ساکنین منطقه خواهد داشت.

براساس تحلیل فراوانی‌های صورت گرفته مشخص شد که در زیرحوضه‌های رودخانه بزرگ کرخه امید ریاضی متغیر فاصله زمانی بین اوج سیلاب تا اوج خشک‌سالی تقریباً بین ۶ الی ۸ ماه است و محتمل‌ترین اعداد برای این متغیر بر اساس توزیع‌های چگالی (PDFs;  $P(X = x)$ ) عمدتاً بین ۳ تا ۸ ماه با متوسط احتمال چگالی حدود ۱۰ درصد است. همچنین شایان ذکر است که بر اساس توزیع‌های احتمال تجمعی (CDFs;  $P(X \leq x)$ ) نتایج نشان داد که بطور متوسط در زیرحوضه‌های رودخانه کرخه در ۹۰ درصد مواقع فاصله زمانی بین اوج یک خشک‌سالی تا اوج سیلاب پس از آن از ۱۲ ماه تجاوز نخواهد کرد ( $P(X \leq 12)$ ) و بطور متوسط تنها در ۶/۶۵ درصد مواقع دو رویداد سیل و خشک‌سالی به‌صورت هم‌زمان در یک ماه رخ خواهند داد ( $P(X = 1)$ ).

از سوی دیگر با توجه به اینکه بارش‌های روزانه شدید و متوالی علت اصلی وقوع سیلابها و به ویژه سیلابهای سال ۱۳۹۸ در غرب کشور بوده است (Mehdi Nasab, 2020)، اهمیت تحلیل فراوانی صحیح این متغیر در منطقه مورد مطالعه بیش از پیش مشخص میشود. اخیراً نیز متغیر حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته را به عنوان یکی از پارامترهای مهم در تحلیل فراوانی منطقه‌ای مدل‌سازی سیلاب‌های حوضه کرخه و معرفی کردند.

متغیر تعریف شده فاصله زمانی از اوج خشک‌سالی تا اوج سیلاب بازگو کننده اثر متقابل و اثرگذاری دو رویداد حدی سیل و خشک‌سالی در یک حوضه است. این متغیر می‌تواند آگاهی ما را از سازو کار و رفتار

## پی‌نوشت‌ها

- 1- Gross Domestic Product
- 2- Standardized Precipitation Index (SPI)
- 3- Mann-Kendall
- 4- Count Data
- 5- Flood Mitigation
- 6- Kolmogorov-Smirnov Test
- 7- Akaike Information Criterion
- 8- Bayesian Information Criterion
- 9- Interactive
- 10- Compound Events

دو رویداد حدی سیل و خشک‌سالی نسبت به یکدیگر افزایش دهد. برای مثال در حوضه‌هایی که خشک‌سالی‌ها به‌صورت یک عامل مؤثر بر روی سیلخیزی حوضه اثر گذار هستند (مانند تنزل پوشش گیاهی و رطوبت خاک) نسبت به حوضه‌هایی که خشک‌سالی‌ها چندان تأثیری بر روی پوشش گیاهی و شرایط سیلخیزی حوضه‌ها ندارند، در مدت زمان کمتری پس از ثبت اوج یک خشک‌سالی می‌بایست در انتظار وقوع اوج یک سیلاب بود. این متغیر بیانگر زمان در دسترس برای بازیابی جامعه و ساکنین محلی از اثرات یک پدیده حدی خشک‌سالی تا وقوع پدیده حدی بعدی (سیلاب) خواهد بود. به‌عبارت دیگر متغیر فاصله زمانی از اوج خشک‌سالی تا اوج سیلاب می‌تواند تعیین‌کننده افق زمانی برای برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات مدیریتی به‌منظور مدیریت بحران این دو رویداد حدی و به‌ویژه سیلاب باشد. بنابراین این متغیر می‌تواند به‌عنوان یک متغیر کلیدی و مهم برای مدیریت بحران و برنامه‌ریزی برای کاهش سیل و حتی هشدار سریع سیلاب مورد استفاده محققین و مدیران و تصمیم‌گیران قرار گیرد.

با توجه به نتایج این مطالعه، پیشنهاد می‌شود از سایر روش‌های مدل‌سازی برای تجلیل رابطه سیل و خشک‌سالی استفاده شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود که اثر خشک‌سالی‌ها بر پوشش گیاهی حوضه‌ها و اثر ترکیبی آن بر روی سیل و زمان وقوع آن در یک مطالعه جامع مورد بررسی قرار گیرد. در پژوهش متغیر فاصله زمانی بین دو رویداد حدی برای سیل و خشک‌سالی در نظر گرفته شد، در حالی که می‌توان این متغیر برای انواع رویدادهای حدی و حتی در حالت ترکیبی چند رویدادی نیز محاسبه و مورد بررسی قرار داد. پیشنهاد می‌شود که در آینده مطالعاتی بر مبنای فاصله زمانی بین انواع دیگر خشک‌سالی، مانند هیدرولوژیک و اکولوژیک و تأثیر آنها بر واقعه سیل مورد مطالعه قرار گیرد.

## ۵- مراجع

- Abarghouei HB, Zarch MAA, Dastorani MT, Kousari MR, Zarch MS (2011) The survey of climatic drought trend in Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 25(6):851-863
- Ansari M, Nouri GH, fotouhi S (2016) Investigating the trend of changes in temperature, precipitation and discharge using a non-parametric man Kendal test. *Watershed Management* 14(7):152-158 (In Persian)
- Apurv T, Mehrotra R, Sharma A, Goyal MK, Dutta S (2015) Impact of climate change on floods in the Brahmaputra basin using CMIP5 decadal predictions. *Journal of Hydrology* 52(7):281-291
- Delgado JM, Apel H, Merz B (2010) Flood trends and variability in the Mekong River. *Hydrology and Earth System Sciences* 14(3):407-418
- Foltz RC (2002) Iran's water crisis: cultural, political, and ethical dimensions. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 15(4):357-380
- Gao CH, He ZH, Pan S, Xuan W, Xu YP (2020) Effects of climate change on peak runoff and flood levels in Qu River Basin, East China. *Journal of Hydro-environment Research* 28(5):34-47
- Ghasemi AR, Moghoi M (2017) Investigating the changes in river flow in the Chaharmahal o Bakhtiyari province. *Geographic Information Quarterly* 26(102):174-163 (In Persian)
- Hirabayashi Y, Mahendran R, Koirala S, Konoshima L, Yamazaki D, Watanabe S, & Kanae S (2013) Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change* 3(9):816
- Hothorn T, & Everitt BS (2006) *A Handbook of statistical analyses using R*. Chapman and Hall/CRC.
- Kendall MG (1948) *Rank correlation methods*. Charles Griffin, London, 4-11
- Khushal Dastjardi J, Ghayor H, and Moradi M (2013) Investigating the impact of drought on underground water in the Dehgolan watershed-Kurdistan. *Natural Geography Research (Geographic Research)* 44(79):19-36
- Ma Y, Yang Y, Wang C (2019) How essential of the balance between large and small scale features to reproduce precipitation during a sudden sharp turn from drought to flood. *Climate Dynamics* 52(7):5013-5029
- Mann HB (1945) Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*:245-259
- Maroufi S, Tabari H (2011) Revealing the trend of river flow changes using parametric and non-parametric methods. *Geographic Information Quarterly* 26(101):125-146
- Milly P C D, Wetherald RT, Dunne KA, Delworth TL (2002) Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature* 415(6871):514
- Mehdi Nasab M (2020) Survey of 1 April flood in Kashkan Catchment in Lorestan Province and presenting solutions. *Journal of Environment and Suprasectorial Development* 5(67):17-30 (In Persian )
- Mir Abbasi R, Din Pazhoh Y (2010) Analysis of the changes in the water level of rivers in the northwest of Iran in the last three decades. *Iran-Water Resource Research* 24(4):757-768 (In Persian)
- Petrow T, Merz B (2009) Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951- 2002. *Journal of Hydrology* 371(1-4):129-141
- Raziei T, Saghafian B, Paulo AA, Pereira LS, Bordi I (2009) Spatial patterns and temporal variability of drought in western Iran. *Water Resources Management* 23(3):439-455
- Rigby R A, Stasinopoulos MD, Heller GZ, & De Bastiani F (2019) *Distributions for modeling location, scale, and shape: Using GAMLSS in R*. CRC Press
- Shrestha S, Lohpaisankrit W (2017) Flood hazard assessment under climate change scenarios in the Yang River Basin, Thailand. *International Journal of Sustainable Built Environment* 6(2):285-298
- Turkington T, Breinl K, Ettema J, Alkema D, Jetten V (2016) a new flood type classification method for use in climate change impact studies. *Weather and Climate Extremes* 14(3):1-16
- Vafakhah M (2012) Analysis of rainfall and flow trends in the river basin. *Geography & Development* 10(29):77-90 (In Persian)
- Xu X, Wang YC, Kalcic M, Muenich RL, Yang YE, & Scavia D (2017) Evaluating the impact of climate change on fluvial flood risk in a mixed-used watershed. *Environmental Modelling & Software* 122:104031
- Zhi-Yong, W, Gui-Hua L, Zhi-Yu L, Jin-Xing W, Heng X (2013) Trends of extreme flood events in the Pearl River basin during 1951-2010. *Advances in Climate Change Research* 4(2):110-116