



Research Article

Evaluation of the Time Occurrence Extreme Rainfall and Runoff Using Circular Statistics (Case study: Gavkhoni wetland)

R. Sedighpour¹, H. Rezaie^{2*} , H. Golmohammadi³

Received: March 16, 2024

Accepted: September 14, 2024

Revised: August 26, 2024

Published online: December 21, 2024

1- Ph.D Student, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran.

2- Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran.

3- Ph.D in Water Civil Eng., Deputy of the Country's Water Information and Data in Iran's Water Resources Management, Iran.

* Corresponding Author's, Email: h.rezaie@urmia.ac.ir

Abstract

Background and Objectives

Regarding water supply, water resource management is very important. Rainfall and floods are among the climate variables that play an important role in water management and agriculture. The inconsistency between the occurrence of the maximum rainfall and the flooding is one of the noteworthy manifestations of changes in land use. Knowing the reasons for the inconsistency between the time interval of rains and extreme floods can potentially be used to advance agricultural programs, water resources management, flood prevention, groundwater feeding, natural resources management, land use, industry and national economy should be important. Any extreme rainfall causes a flood at any subsequent time. In the case of annual analysis of the occurrence of extreme rainfall and floods, valuable information can be obtained from the state of land use or water resources.

Methodology

Today, various statistical methods along with efficient software are used to check rainfall and flood data. In the meantime, we can mention the method of directional statistics in MATLAB environment with coding, which has attracted the attention of many experts and researchers. In fact, circular statistics is a branch of statistics that is dedicated to the development of statistics and supports special data such as directional data. Therefore, for the statistical analysis of extreme data or any data that has a time frequency, the use of directional statistics, which is also called circular statistics, is applicable. In this study, Circular statistics have been used to investigate the range of time of occurrence and distribution of threshold data regarding rainfall and runoff from 21 rain gauge stations and 17 hydrometric stations in the Gavkhoni wetland.

Findings

The average index of seasonality (dispersion) of time occurrence in most stations is above 0.6 or (60%) and their variance is less than 0.4. Due to the fact that the rainfall in the region is recorded in the stations, the occurrence values of the maximum rainfall during different years have been almost without manipulation or any human factors (influenced by human factors). Therefore, the time of occurrence of maximum rainfall was mostly in the area of 0 to $-\pi/2$, and the highest value of $\bar{\theta}$ was from -81.80° to -19.65° for Lange and Isfahan stations, respectively. The average seasonality index (dispersion) of time occurrence was calculated from 0.27 at Diziche station to 0.87 at Ghale Shahrokh station. The input in some hydrometric stations has undergone changes in different years, or it may have been blocked or deviated before entering some stations. So the time of maximum runoff in those stations will not coincide with the time of rainfall. Therefore, the occurrence time of extreme floods is mostly scattered, and the highest value $\bar{\theta}$ of is calculated from 161.25° to -43.63° for Diziche and Heydari stations, respectively. In Gavkhoni wetland basin, 9 out of 17 stations are not affected by the dam and 8 other stations are affected by the dam (hydrometric stations immediately after the reservoir or diversion dam).



The Rayleigh test rejects the null hypothesis (non-uniformity of flood occurrence in the perimeter of the circle) in all the stations, except for Diziche station. For this reason, it is not possible to calculate the upper and lower confidence band at Diziche station.

Conclusion

The last hydrometric station for draining the runoff to the Gavkhoni lagoon is the Varzane station, which has an average seasonality index and the time of the maximum flood output on the 2nd day of the new year. In general, it is affected by the changes of land use in the catchment area. In almost three seasons, spring, autumn and winter, it has output and runoff **extreme** data, so it shows that the water resources stored upstream of Varzaneh station are consumed and the remaining sewage is discharged from the station with a very low flow rate and it is transferred to Gavakhuni wetland. Therefore, the reason for the dryness of the wetland is being deprived of the natural source of Zayandeh River and it can be concluded that with directional statistics and histogram curves of rainfall and runoff **extreme** data, land use changes can be detected compared to rainfall and runoff and from the average seasonality index. And another use of $\bar{\theta}$ indicates that the water intake valves for agricultural and industrial uses should be closed so that the runoff is transferred to the wetland.

Keywords: Circular statistics, Directional statistics, Gavkhoni wetland, Land-use, Seasonality index.



ارزیابی زمان وقوع بارندگی شدید و رواناب با استفاده از آمار دایره ای

(مطالعه موردی: تالاب گاوخونی)

رعنا صدیق پورا^۱، حسین رضایی^{۲*}، حسن گل محمدی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه آذربایجان غربی، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، آذربایجان غربی، ایران.

۳- دکتری مهندسی عمران آب، معاون اطلاعات و داده های آب کشور در مدیریت منابع آب ایران.

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: H.rezaie@urmia.ac.ir

چکیده

ناهماهنگی بین وقوع زمان بارندگی حدی و جاری شدن سیلاب، از مظاهر شایان توجه تغییرات در کاربری اراضی می باشد. در تحقیق حاضر، از ۲۱ ایستگاه باران سنجی و ۱۷ ایستگاه هیدرومتری در حوضه تالاب گاوخونی از داده های حدی استفاده شده تا علل خشک شدگی تالاب مورد ارزیابی قرار گیرد. متوسط وقوع زمانی هر پدیده حدی، باند اطمینان، واریانس، انحراف معیار و انحراف معیار استاندارد برای ایستگاه ها از آمار جهت دار و آزمون ریلیه برای تفسیر نتایج استفاده شده است. از آزمون ریلیه برای بررسی اینکه آیا جمعیت به طور یکنواخت در اطراف دایره توزیع شده است یا خیر استفاده شد. متوسط شاخص فصلی بودن (R ، پراکندگی) وقوع زمان بارش در کل ایستگاه های باران سنجی بیشتر از ۰/۶ (۶۰ درصد) محاسبه شد. محدوده ی بارش های حدی در تمام ایستگاه ها در بازه ۸۳ روز ($-۸۱/۸۰^0$) تا ۲۰ روز ($۱۹/۶۵^0$) قبل از سال جدید شمسی اتفاق می افتد. متوسط شاخص فصلی بودن برای ایستگاه های هیدرومتری وقوع زمان سیلاب حدی از ۰/۲۷ تا ۰/۸۷ متغیر می باشد. از میان ۱۷ ایستگاه هیدرومتری، خروجی ۹ ایستگاه تحت تاثیر سد مخزنی یا انحرافی موجود در بالادست نبوده که ضریب شاخص فصلی بودن آن ها بیشتر از ۰/۶ محاسبه شده است. نتایج آزمون ریلیه نشان داد که توزیع بارش و رواناب این حوضه یکنواخت نیست و دارای خاصیت فصلی است.

واژه های کلیدی: آمار جهت دار، آمار دایره ای، تالاب گاوخونی، شاخص فصلی بودن، کاربری اراضی

مقدمه

بارش، از مهمترین عناصر اقلیمی است و تغییرات آن می‌تواند تبعات منفی محیطی، اجتماعی، اقتصادی و حتی فرهنگی برای جوامع بشری داشته باشد. تغییرپذیری آن می‌تواند نقش مهمی در پیش‌بینی‌های اقلیمی و در نتیجه مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی‌های بهینه‌ی محیطی و اقتصادی و کشاورزی داشته باشد (گواتاکورتا و ساجی ۲۰۱۳). ایران یکی از کشورهایی است که در مناطق خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد. بارش برف و باران در بیشتر مناطق ایران به میزان اندکی بوده و با توجه به اینکه تالاب گاوخونی نیز در یکی از خشک‌ترین مناطق ایران (فلات داخلی) واقع شده است به دلایل متعدد همچون قطع پیوند جریان آب رودخانه زاینده‌رود، عدم اعمال مدیریت و حفاظت و اثرات سوء فعالیت‌های انسانی و تغییرات کاربری اراضی تخریب شده است و هم اکنون کاملاً خشک و مبدل به دشتی پوشیده از نمک گردیده است (حاجیان و همکاران ۲۰۱۴). میزان متوسط بارندگی در این حوضه ۲۹۶/۹ میلیون متر مکعب در سال است که از این مقدار ۱۰۵/۹ میلیون متر مکعب مربوط به بارش در دشت‌ها و ۱۹۱ میلیون مترمکعب شامل بارش در ارتفاعات می‌باشد (شرکت مدیریت منابع آب). اختلاف فاصله زمانی وقوع بارش و جاری شدن سیلاب می‌تواند بیانگر تغییرات کاربری و یا بهره‌برداری از مخازن را توجیه نماید. بنابراین آگاهی از دلیل عدم هماهنگی وقوع زمان بارش حدی و سیلاب حدی در نقاط مختلف حوضه تالاب گاوخونی می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مناسب در ارائه راهکارهای مدیریتی استفاده از منابع آب کمک نماید. در نهایت این امر منجر به افزایش تدابیر حفاظتی در عرصه‌های طبیعی و حوضه‌های آبخیز به‌منظور حفظ منابع آب و خاک خواهد شد. در واقع ارزیابی وقوع زمانی بین پدیده‌های هیدرولوژی می‌تواند بیانگر ارتباط تغییرات و

یا عدم تغییرات در مسیر رویدادهای طبیعی منطقه را مشخص نماید. برای مثال ایجاد سدهای مخزنی باعث قطع رواناب در پایین دست حوضه می‌گردد. برای تشخیص تغییرات عوامل انسانی از روش آمار دایره‌ای^۱ برای وقوع زمان هر یک از پدیده‌های استفاده می‌گردد.

امروزه روش‌های آماری مختلفی به همراه نرم-افزارهای کارآمد جهت بررسی داده‌های بارندگی و سیلاب بکار گرفته شده است. داده‌های آمار جهت‌دار در زمینه‌های مختلف علمی، همچون علوم کشاورزی و مهندسی، علوم اعصاب، روان‌شناسی، تحقیقات پزشکی و جانورشناسی استفاده می‌شود (حاجی‌زاده و سرمد ۲۰۱۳). در این میان می‌توان به روش آمار جهت‌دار در محیط متلب با کدنویسی را اشاره نمود که توجه بسیاری از کارشناسان و محققین را به خود جلب نموده است. در واقع آمار دایره‌ای زیر شاخه‌ای از آمار است که به توسعه آمار اختصاص دارد و داده‌های خاصی چون داده‌های جهت‌دار را حمایت می‌کند. داده‌های جهت‌دار داده‌هایی هستند که به دلیل ماهیت دایره‌ای که دارند با هر روش علمی آماری رایج، قابل بررسی نیستند. بنابراین برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حدی و یا هر داده‌ای که دارای فرکانس زمانی است، استفاده از آمار جهت‌دار که آمار دایره‌ای نیز نامیده می‌شود قابل استفاده می‌باشد.

از آمار بارش و رواناب می‌توان به اثر آن بر وضعیت آب‌شناختی حوضه‌های رودخانه‌ای پی برد و می‌توان به مدیریت ذخیره، توزیع و مصرف آب اشاره نمود. در واقع بایستی اذعان نمود که مدیریت و برنامه ریزی منابع آب از یکسو وابسته به زمین و از سوی دیگر چشم به آسمان دارد (عساکره ۲۰۰۴). بارش از تغییر پذیرترین پارامترهای جوی است که زمان و فصل آن هم دچار تغییر می‌گردد. شناخت دقیق سازوکار و نحوه تغییرات فصل بارندگی اهمیت بسیار دارد. متوسط

¹ Circle statistics

وقوع زمانی هر پدیده هیدرولوژیکی، شاخص فصلی بودن نامیده می شود و در واقع نشان دهنده وقوع آن پدیده در محدوده‌ای از روزهای سال می باشد. تأثیر قابل توجه این امر بر ذخیره منابع آب با افزایش شدید مصرف منتج از رشد جمعیت، رشد بی سابقه استانداردهای زندگی و نیز توسعه اقتصادی وخیم تر شده است (سینگ ۱۹۸۰). ماردیا (۱۹۷۲) و فیشتر (۱۹۹۳) از پیشگامان آمار دایره‌ای بودند که در زمینه آمار استنباطی و مباحث مربوط به همبستگی بین متغیرها، رگرسیون و ... به مطالعه پرداختند. آمار دایره‌ای در مطالعات هیدرولوژی مانند تحلیل‌های فصلی بودن وقایع هیدرولوژیکی از جمله سیلاب و بارندگی کاربرد دارد. همچنین آیودا (۱۹۷۰) و نیولت (۱۹۷۴) اولین تلاش‌ها را برای تعیین فصلی بودن بارندگی انجام دادند. آیودا (۱۹۷۰) فصلی بودن بارش‌ها را در نیجریه مورد بررسی قرار داد. وی نتیجه گرفت که با دور شدن از ساحل، میزان فصلی بودن افزایش پیدا می کند. همچنین ایشان نشان داد که میزان فصلی بودن از سمت جنوب به سمت استوا کمتر می شود و مقادیر فصلی بودن را در زامبیا تقریباً برابر با یک محاسبه نمود.

سچریبر و دموس (۱۹۹۷) با استفاده از روش آمار دایره‌ای فصلی بودن را برای میانگین سالانه حداقل دبی کل در ۱۶۹ حوضه آبریز در جنوب غربی آلمان مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها حاکی از آن بود که بارش‌های کم، از ماه سپتامبر تا اکتبر برای بخش‌های وسیعی از این منطقه (به جز رشته کوه‌های آلپ) تحت تأثیر جریان‌های کم زمستانی می باشند. مرز و همکاران (۲۰۱۲) به منظور ترسیم نقشه برداری برای تجسم الگوی مکانی فصلی بودن متغیرهای هیدرولوژیکی از یک تجزیه و تحلیل خوشه‌ای بر اساس آمار دایره‌ای رویدادهای سیلابی درون سالی استفاده کردند. آنها ثابت کردند که رویکرد فصلی بودن با روش آمار دایره‌ای در زمینه منطقه بندی سیلاب شدید در کشور استرالیا مفید است.

لاها و همکاران (۲۰۰۲) از روش آمار دایره‌ای برای شناسایی الگوی فصلی بودن یک سری داده دبی روزانه زمان بندی شده برای ۵۷ ایستگاه در اتریش در یک دوره ۲۰ ساله استفاده کردند. فصلی بودن تابستانی و زمستانی وابسته به مقدار دبی بوده و جریان‌های کم تابستانی به طور همزمان رخ می دهند. کوتولیس و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای به فصلی بودن سیلاب و خصوصیات هیدرومتئورولوژیکی جزیره کروواسی پرداختند. آنها از شاخص‌های فصلی روی داده‌های بارش و دبی جریان روزانه براساس آمار دایره‌ای و تحلیل خوشه‌ای استفاده کردند. نتایج آنها نشان دهنده هماهنگی فصلی بودن حداکثر بارش روزانه و سیلاب در ماه‌های نوامبر و دسامبر بود. همچنین آنها نشان دادند که، حداکثر جریان روزانه در این منطقه، تقریباً یک ماه دیرتر از حداکثر بارش روزانه اتفاق می افتد. فنگ و همکاران (۲۰۱۲)، تأثیر تغییرات وضعیت بارش و کاربری اراضی را بر رواناب و فرسایش خاک در حوضه تگا در شهر چین مورد بررسی قرار دادند. آنها نتایج را بر اساس مقدار، مدت و فراوانی بارش‌ها مورد ارزیابی قرار دادند. چن و همکاران (۲۰۱۳) برای شناسایی فصول سیلاب از روش آمار جهت دار استفاده کردند. آنها روش‌های RF^2 ، DS^2 و IDS^4 برای حوضه‌های مخزن گهپان و بایشان در چین اعمال کردند. نتایج آزمایش‌های آماری با استفاده از داده‌های مصنوعی نشان داد که دو نسخه از روش IDS رضایت بخش هستند. همچنین مشخص شد که روش IDS-II که بزرگی سیل را در نظر می گیرد، نسبت به روش IDS-I برتری دارد. نتایج آزمایش بر اساس داده‌های مصنوعی و داده‌های مشاهده شده نشان داد که روش IDS پیشنهادی منطقی است. در نهایت، روش IDS عینی است، زیرا می تواند فصلی بودن را از طریق محاسبه آماری به جای ارزیابی بصری شناسایی کند. داکل و همکاران (۲۰۱۵) نالیستایی فصلی

⁴ Improved Directional Statistics

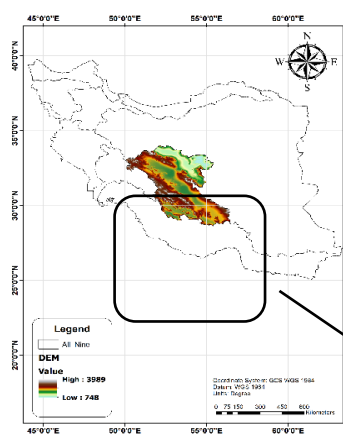
² Relative frequency

³ Directional statistics

مقادیر حدی بارندگی را با استفاده از روش ناپارامتری آمار دایره‌ای بررسی کردند. نتایج نشان داد که زمان وقوع بارش‌های حدی در برخی از ایستگاه‌ها جهش معنی‌داری به‌سوی فصل پاییز دارد. پاتیل (۲۰۱۵) تغییرات شاخص فصلی بودن بارش را در دوره ۳۲ ساله در سنگلی در ایالات ماهاراشترا در کشور هند مورد بررسی قرار دادند. آنها مشاهده کردند که مقدار شاخص فصلی بودن بارش یا درصد پراکندگی وقوع بارش بیشینه در هر ماه، ۸۷ درصد و نزدیک به ۱۰۰ درصد است. ویلارینی (۲۰۱۶) با استفاده از آمار دایره‌ای به تحلیل فصلی بودن سیلاب‌ها در قاره آمریکا پرداختند. نتایج ایشان گویای فصلی بودن قوی سیلاب‌ها در این منطقه بوده است. وی نشان داد که میانگین فصلی رویدادهای سیل به بازه زمانی از ماه آوریل تا ماه می تغییر می‌کند. توربی (۲۰۱۷) در تحقیقی به مطالعه تحلیل فراوانی و فصلی بودن رویدادهای سیل ناگهانی در اسلوونی پرداخت. نتایج ایشان نشان داد که روند خطی تعداد سیلاب‌ها، به صورت ناگهانی در حال افزایش است. منتهی از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. ۹۰ درصد سیلاب‌های ناگهانی در فصل تابستان و پاییز رخ می‌دهد که این امر نشان می‌دهد رژیم‌های دبی رودخانه و سیل بهم ارتباط ندارند. متی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از آمار دایره‌ای تغییرات فصلی سیل را در حوضه آبریز اسکاندیناوی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد خاصیت فصلی بودن شدید این حوضه متأثر از ذوب شدن برف است. این سیلاب‌ها در بهار و اوایل تابستان رخ می‌دهند. باقری گاوکش و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به تحلیل فصلی بودن سیل در ایران با روش آمار دایره‌ای پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که سیل در ایران دارای خاصیت فصلی بودن است به‌طوری که ۳۲ در زمستان و ۴۱ درصد در بهار و در فروردین ماه رخ می‌دهد. ترامبلی و همکاران (۲۰۲۳) در یک مطالعه، به بررسی تغییرات فصلی و تغییرات در فرآیند سیل در مدیرانه پرداختند. نتایج آنها گویای آن بود که در اکثر

حوضه‌ها سیل‌ها نسبت به سال‌های قبل کمی زودتر رخ می‌دهند. در واقع میانگین تاریخ سیلاب به طور متوسط یک ماه زودتر ظاهر می‌شود. قبله و همکاران (۲۰۱۵) توزیع زمانی و مکانی بارش در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه را با استفاده از داده‌های ماهانه ۲۸ ایستگاه سینوپتیک ماهانه در دوره آماری ۱۰ سال در دو مقیاس فصلی و سالانه مورد مطالعه قرار دادند. عدم تشابه رخداد بارش در بخش‌های مختلف آبریز دریاچه ارومیه از یافته‌های پژوهش آنها بوده و بر همین اساس، بیش‌ترین مقدار بارندگی در جنوب حوضه به وقوع پیوسته است که در واقع حدود ۳۴ درصد از منطقه مطالعاتی را تحت پوشش قرار می‌دهد. داده و همکاران (۲۰۲۰) شاخص فصلی بودن بارش را با استفاده از روش Markham در ۲۸ ایستگاه باران‌سنجی استان اردبیل در دوره آماری ۳۰ ساله محاسبه و توزیع مقادیر بارش را در ماه‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که بیشترین شاخص فصلی بودن مربوط به ایستگاه سرعین با مقدار ۰/۳۹ است، در حالی که کمترین مقدار شاخص فصلی بودن، مربوط به ایستگاه‌های سنین و شمشیرخانی با مقدار ۰/۱۸ است. همچنین مشخص کردند که متوسط رویداد ۲۰ ایستگاه در فصل زمستان، ۶ ایستگاه در فصل بهار و ۲ ایستگاه در فصل پاییز است. صمدی و همکاران (۲۰۲۳) به تحلیل فصلی سیلاب‌های حدی حوضه دریاچه ارومیه با بکارگیری داده‌های ۱۴ ایستگاه هیدرومتری پرداختند. آنها با استفاده از روش نوین آمار دایره‌ای در دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۹، تحلیل یکنواختی زمان وقوع رویدادهای حدی با دو روش ریلیه و کاپر در سه سطح معنی‌داری ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ مورد آزمون قرار دادند. نتایج آزمون کاپر نشان از عدم وجود یکنواختی در زمان وقوع رخداد‌های حدی سیلاب بود. میانه شاخص قدرت فصلی رویدادها برابر با $r = 0/695$ بدست آورده‌اند. مقادیر متفاوت اختلاف زمانی وقوع بارش حدی و رواناب حدی در شرایط نرمال یک حوضه، بیانگر اختلال در مسیر تخلیه سیلاب خروجی درحوضه

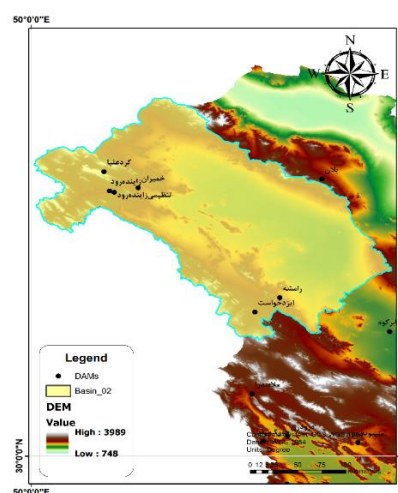
طول و عرض آن به ترتیب ۴۵ و ۲۵ کیلومتر می باشد. عمق آب حدود یک متر می باشد و این مقدار براساس میزان آب ورودی سالیانه متغیر است. تالاب گاوخونی در ناحیه‌ی بسته بین رشته کوه‌های زاگرس و کوه‌های مرکزی واقع شده است. این تالاب به صورت دریاچه کوچک است که در یک منطقه کویری واقع شده است که از اطراف ناهموارهای مختلف، تپه‌های شنی، گستره‌های نمکی و کویری و جنگل زار احاطه شده است. وسعت این تالاب حداکثر حدود ۴۷۶ کیلومتر مربع برآورد شده است. سه شاخه اصلی حوضه آبریز گاوخونی رودخانه-های زاینده‌رود، ایزدخواست و زرچشمه می باشد که اصلی ترین و مشهورترین رودی که به این تالاب می-ریزد، زاینده‌رود است.



و یا تغییرات کاربری اراضی است. هدف از تحقیق حاضر، استفاده از آمار جهت دار برای تشخیص زمان وقوع سیلابها و بارندگی است که اختلاف آنها بیانگر تغییرات در کاربری اراضی می باشد.

مواد و روشها

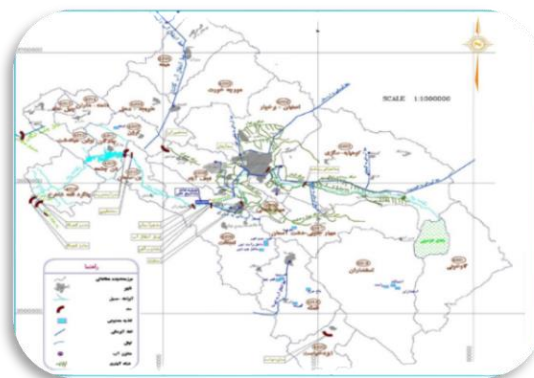
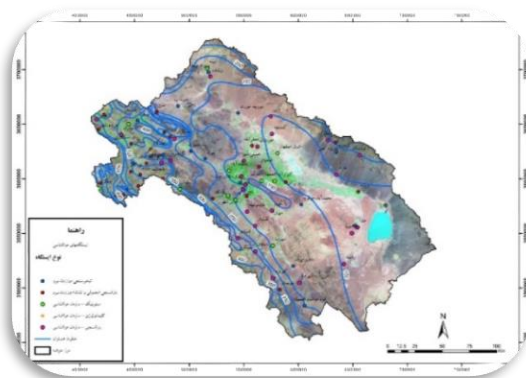
منطقه مورد مطالعه در تالاب گاوخونی در حد فاصل جغرافیایی ۰۲' و ۵۰° تا ۲۴' و ۵۳° طول شرقی و ۱۲' و ۳۱° تا ۴۲' و ۳۳° عرض شمالی واقع شده است که موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است. این تالاب در ۱۴۰ کیلومتری از جنوب شرقی اصفهان و همچنین ۳۰ کیلومتری از شهر ورزنه قرار دارد. ارتفاع متوسط تالاب از سطح دریا ۱۴۷۰ متر است و حداکثر



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

ایستگاه‌های هیدرومتری، باران سنجی و محل مخازن سد برای حوضه‌ی آبریز تالاب گاوخونی در شکل (۲) ارائه شده است.

حقابه تالاب گاوخونی متأثر از ورودی‌های آبریز و بارش می باشد. جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبریز تالاب، از داده‌های حدی سیلاب و بارش از آمار دایره‌ای (جهت دار) استفاده شده است که موقعیت



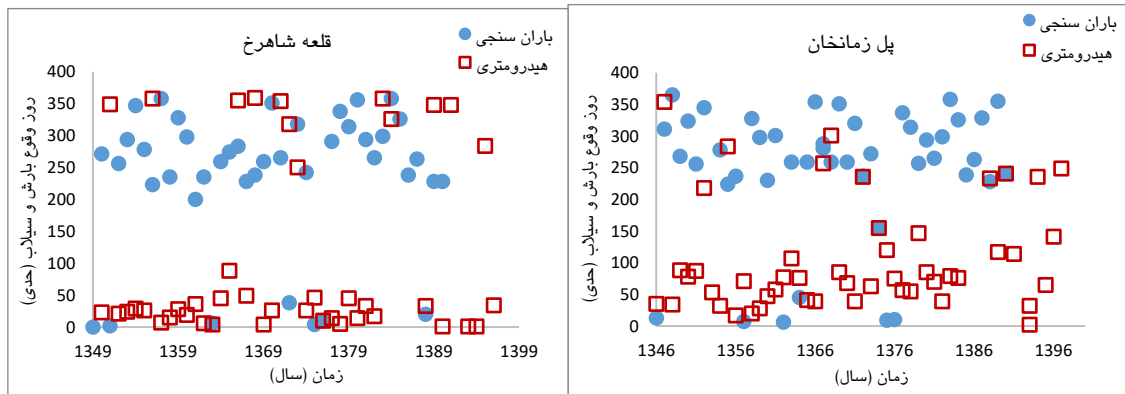
شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی حوضه تالاب گاوخونی (شرکت مدیریت منابع آب).

را تامین می‌کند) ولی در ایستگاه پل زمانخان پراکندگی وقوع بارش و سیلاب در بازه زمانی مشخصی دیده نمی‌شود و نشان‌دهنده‌ی ذخیره سیلاب و رهاسازی آن در زمان‌های مورد استفاده (به دلیل تغییر کارابری اراضی و یا موارد دیگر مصرف آب) بوده است. استفاده از آمار جهت‌دار اختلاف وقوع زمانی بارش و رواناب را دو ایستگاه را با تجزیه و تحلیل بهتر و ملموس‌تر مشخص می‌کند که در ادامه به مفاهیم آنها اشاره می‌گردد.

برای ارزیابی و تجزیه و تحلیل تمامی ایستگاه‌های هیدرومتری (۱۷ ایستگاه) و باران‌سنجی (۲۱ ایستگاه) حوضه آبریز تالاب گاوخونی از آمار دایره‌ای استفاده گردیده است. وقوع هر پدیده در روز از سال ماهیت تناوبی دارد. بنابراین می‌توان این ساختار را با تبدیل داده‌هایی از این نوع مانند روز سال، زمان روز یا ماه به جهت‌های زاویه‌ای به‌عنوان یک مقیاس معمولی، تبدیل کرد. برای این منظور از فرمول زیر استفاده شد:

از آمار دایره‌ای جهت بررسی محدوده‌ی زمان وقوع و پراکندگی داده‌های حدی در خصوص بارش و رواناب ایستگاه‌های موجود در حوضه آبریز تالاب استفاده شده است. وقوع داده‌های حدی بارش معمولاً متأثر از دستکاری بشر نبوده و هر سال در محدوده‌ی از زمان وقوع ماکزیم بارش منطقه به وقوع می‌پیوندد در پی وقوع آن بلافاصله اثر رواناب در ایستگاه هیدرومتری ثبت می‌گردد بررسی این داده‌ها بیانگر این است که ماکزیم سیلاب مرتبط با زمان وقوع بارش بایستی همخوانی داشته باشد.

برای نمونه در دو ایستگاه پل زمانخان و قلعه‌شاهرخ زمان وقوع سیلاب‌های حدی در مقابل بارش‌های حدی برای سال‌های متناظر که زمان وقوع ماکزیم بارش و رواناب حدی در طول ۳۶۵ روز از سال در محور Y و سال وقوع آنها در محور X در شکل ۳ ارائه شده است. در ایستگاه قلعه‌شاهرخ وقوع بارش‌ها، سیلاب‌ها در بازه زمانی کوتاه‌تری در هر سال از ایستگاه پل زمانخان خصوصاً در انتهای سال‌های ۱۳۸۶ به بعد ملاحظه می‌گردد، (سیلاب ناشی از بارش در رودخانه حقابه تالاب



شکل ۳- ارتباط زمان وقوع بارشها و سیلابهای حدی در دو ایستگاه قلعه شاهرخ و پل زمانخان.

بنابراین، R برآیند بردارها از معادله ۲ محاسبه می گردد:

$$R = \sum_{j=1}^n \cos(\theta_i) + i \sum_{j=1}^n \sin(\theta_i) \quad [4]$$

که در این رابطه $i = \sqrt{-1}$ می باشد (حاجی زاده و سرمد ۲۰۱۳).

$\bar{\theta}$ متوسط وقوع زمانی هر پدیده حدی را از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\bar{\theta} = \arg\{R\}$$

که به آن، آرگومان یا شناسه R می گویند (مردیا و جوپ ۱۹۹۹).

بنابراین، با توجه به معادله های زیر

$$\cos(\bar{\theta}) = \frac{C}{R}, \quad \sin(\bar{\theta}) = \frac{S}{R} \quad [5]$$

داریم:

$$\bar{\theta} = \arctan^* \left(\frac{S}{C} \right) \quad [6]$$

با توجه به اینکه $\bar{\theta}$ در چه ناحیه ای از دایره قرار می گیرد، از روابط زیر معین می گردد:

$$\bar{\theta} = \arctan \left(\frac{S}{C} \right) =$$

$$\theta = \frac{(360^\circ)(X)}{k} \quad [1]$$

که در آن θ محاسبه زاویه ای بر حسب درجه، X دوره زمانی (روز سال یا روز ماه) و k تعداد واحدهای زمانی در مقیاس اندازه گیری دایره ای است. در این مطالعه، k برابر با ۳۶۵ یا ۳۶۶ روز می باشد (حاجی زاده و سرمد ۲۰۱۳).

برای تجزیه و تحلیل داده های جهت دار ابتدا بایستی آنها را به مختصات قطبی انتقال داد. به این صورت که ابتدا یک دایره با شعاع واحد مشخص می گردد. سپس مختصات قطبی با زاویه ای (θ) و تقاطع آن با دایره واحد تعریف می شود. در نهایت از توابع کسینوس و سینوس برای قرار دادن این مکان (بر اساس زاویه و فاصله واحد) در فضای دکارتی استاندارد استفاده می شود. برای تمام داده های حدی ثبت شده در ایستگاه های باران سنجی و هیدرومتری، θ_i برای سال i ام وقوع تعیین می شود. لذا برای n سال، داده های مشاهده به تعداد n تا θ_i مشخص می گردد و از روابط زیر محاسبات عوامل شاخص پراکندگی، متوسط فراوانی و باند اطمینان ۹۵٪ وقوع زمانی و... صورت می گیرد:

$$R = (\sum_{i=1}^n \cos(\theta_i), \sum_{i=1}^n \sin(\theta_i)) = (C, S) \quad [2]$$

$$R = \|R_0\| = \sqrt{C^2 + S^2} \quad [3]$$

محاسبه شده که این کمیت شاخصی از میزان پراکندگی زمان وقوع رویدادهای حدی و در بازه ۰ تا ∞ متغیر است (برنز ۲۰۰۹).

$$S_0 = \sqrt{-2Ln\bar{R}} \quad [۱۱]$$

آزمون ریلیه یک آزمون آماری ساده است که برای داده‌های نمونه‌برداری نامنظم، غیرقطعی و توزیع غیریکنواخت استفاده می‌شود که از رابطه ۱۲ محاسبه می‌گردد. فرضیه‌های این آزمون بصورت زیر می‌باشد:

- ✓ فرض صفر: جمعیت به طور یکنواخت در اطراف دایره توزیع شده است.
- ✓ فرض یک: جمعیت به طور یکنواخت در اطراف دایره توزیع نشده است.

$$Z = 2n\bar{R}^2 \quad [۱۲]$$

در این رابطه، n تعداد داده‌های مشاهده شده می‌باشد. اگر مقدار Z محاسبه شده بزرگتر از مقدار Z بحرانی (در جدول ریلیه) باشد، فرضیه صفر رد می‌گردد (مردیا و جوپ ۱۹۹۹).

نتایج و بحث

برای ۲۱ ایستگاه باران‌سنجی و ۱۷ ایستگاه هیدرومتری با استفاده از کدنویسی متلب مقادیر $\bar{\theta}$ و مقادیر ۹۵٪، محدوده بالا و پایین و متوسط شاخص فصلی بودن، واریانس، انحراف معیار، انحراف معیار استاندارد و آماره آزمون ریلیه محاسبه و در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

$$\begin{cases} \arctan\left(\frac{S}{C}\right) & \text{if } C > 0, S \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{S}{C}\right) + \pi & \text{if } C < 0 \\ \arctan\left(\frac{S}{C}\right) + 2\pi & \text{if } C \geq 0, S < 0 \end{cases} \quad [۷]$$

از باند اطمینان، واریانس، انحراف معیار، انحراف معیار استاندارد و تست ریلیه^۵ برای تفسیر نتایج استفاده می‌گردد (حاجی‌زاده و سرمد ۲۰۱۳).

δ جذر واریانس آماره (θ) پراکندگی دایره‌ای، که در محاسبه فواصل اطمینان استفاده می‌شود، به صورت زیر تعریف می‌شود (برنز ۲۰۰۹):

$$\delta = \frac{1-\theta}{2\bar{R}^2} \quad [۸]$$

واریانس (V) نشان‌دهنده گستردگی داده‌ها در یک مجموعه است. واریانس دایره‌ای در بازه صفر تا یک می‌باشد (برنز ۲۰۰۹).

به‌طوریکه اگر همه نمونه‌ها در یک‌جهت قرار گیرند، واریانس کوچک و اگر به‌طور مساوی در اطراف دایره پخش شوند، واریانس آنها به حداکثر مقدار نزدیک خواهد شد (برنز ۲۰۰۹).

$$V = 1 - \bar{R} \quad [۹]$$

انحراف معیار زاویه‌ای (S) بر اساس محدوده R بین ۰ تا ۱ بایستی در بازه $[\sqrt{2}]$ و ۰ قرار گیرد که از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود (برنز ۲۰۰۹):

$$S_D = \sqrt{2(1 - \bar{R})} \quad [۱۰]$$

همچنین در روش آمار دایره‌ای انحراف معیار استاندارد رویدادهای حدی با نماد S_0 از رابطه ۱۱

⁵ Rayleigh test

جدول ۱- نتایج محاسبات آمار جهت‌دار برای رخداد بارش‌های حدی ایستگاه‌های باران‌سنجی.

ردیف	نام ایستگاه باران‌سنجی	دوره آماری	$\bar{\theta}$ روز	محدوده بالا 95%	محدوده پایین 95%	$(\bar{R})$	واریانس	S_D	S_0	آماره Z آزمون ریلیه
۱	دولت‌آباد	۱۳۷۱-۱۳۹۰	-۴۷/۸۳	-۱۸/۹۰	-۷۶/۷۶	۰/۶۰	۰/۴۰	۰/۹۰	۱/۰۲	۰
۲	اصفهان	۱۳۷۱-۱۳۹۰	-۱۹/۶۵	۵/۷۲	-۳۹/۶۰	۰/۶۹	۰/۲۹	۰/۷۶	۰/۸۲	۰
۳	فلاورجان	۱۳۴۵-۱۳۹۰	-۴۲/۹۷	-۲۸/۶۸	-۵۷/۲۷	۰/۷۳	۰/۳۱	۰/۷۹	۰/۸۷	۰
۴	گرماسه	۱۳۵۱-۱۳۶۵	-۳۵/۳۱	-۵/۹۰	-۶۴/۷۲	۰/۶۶	۰/۲۴	۰/۸۲	۰/۹۰	۰
۵	قلعه‌ناظر	۱۳۷۱-۱۳۹۰	-۴۵/۶۸	-۱۸/۳۰	-۷۳/۰۵	۰/۶۲	۰/۳۸	۰/۸۷	۰/۹۸	۰
۶	قلعه‌شاهرخ	۱۳۴۹-۱۳۹۰	-۶۸/۹۸	-۵۱/۱۷	-۸۶/۸۰	۰/۶۳	۰/۳۷	۰/۸۶	۰/۹۶	۰
۷	تنگ‌همگین	۱۳۸۲-۱۳۹۰	-۷۵/۹۴	-۴۹/۴۰	-۱۰۲/۴۷	۰/۸۳	۰/۱۷	۰/۵۸	۰/۶۰	۰
۸	ایزدخواست	۱۳۵۶-۱۳۹۰	-۳۴/۱۴	-۱۵/۰۳	-۵۳/۲۵	۰/۶۳	۰/۳۷	۰/۸۶	۰/۹۶	۰
۹	جبل	۱۳۵۶-۱۳۹۰	-۳۹/۶۵	-۲۲/۳۷	-۵۶/۹۳	۰/۶۵	۰/۳۵	۰/۸۴	۰/۹۴	۰
۱۰	جعفرآباد	۱۳۵۶-۱۳۹۰	-۳۱/۳۹	-۱۴/۱۸	-۴۸/۵۹	۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۸۱	۰/۹۰	۰
۱۱	لنج	۱۳۷۳-۱۳۹۰	-۸۱/۸۰	-۵۴/۷۰	-۱۰۸/۸۹	۰/۶۵	۰/۳۵	۰/۸۳	۰/۹۲	۰
۱۲	مارنان	۱۳۴۵-۱۳۵۲	-۴۸/۵۵	-۱۰/۴۷	-۸۳/۶۳	۰/۷۳	۰/۲۷	۰/۷۴	۰/۸۰	۰/۰۱
۱۳	محمدآباد	۱۳۷۲-۱۳۹۰	-۷۰/۱۱	-۴۰/۷۰	-۹۲/۵۳	۰/۷۳	۰/۲۷	۰/۷۳	۰/۷۹	۰
۱۴	ارگان	۱۳۷۱-۱۳۹۰	-۶۷/۹۴	-۴۶/۶۸	-۸۹/۲۱	۰/۷۴	۰/۲۶	۰/۷۱	۰/۷۷	۰
۱۵	پل‌کله	۱۳۴۶-۱۳۹۰	-۳۷/۶۰	-۲۱/۶۳	-۵۳/۵۷	۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۸۱	۰/۹۰	۰
۱۶	پل‌زمانخان	۱۳۴۵-۱۳۹۰	-۶۱/۲۳	-۴۴/۱۸	-۷۸/۲۹	۰/۶۲	۰/۳۸	۰/۸۷	۰/۹۷	۰
۱۷	سدتنظیمی	۱۳۴۵-۱۳۹۰	-۴۵/۶۸	-۲۷/۴۶	-۶۳/۹۱	۰/۶۰	۰/۴۰	۰/۹۰	۱/۰۱	۰
۱۸	تیران	۱۳۴۵-۱۳۹۰	-۴۵/۱۵	-۳۹/۲۱	-۶۹/۰۸	۰/۷۰	۰/۳۰	۰/۷۸	۰/۸۵	۰
۱۹	ورزنه	۱۳۴۶-۱۳۹۰	-۴۲/۹۹	-۲۷/۲۵	-۵۸/۷۳	۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۸۱	۰/۸۹	۰
۲۰	زیار	۱۳۴۸-۱۳۹۰	-۳۶/۵۸	-۱۹/۹۵	-۵۳/۲۱	۰/۶۳	۰/۳۷	۰/۸۶	۰/۹۶	۰
۲۱	کوهپایه	۱۳۵۲-۱۳۹۰	-۴۱/۵۹	-۲۲/۷۵	-۶۰/۴۳	۰/۶۲	۰/۳۸	۰/۸۷	۰/۹۷	۰

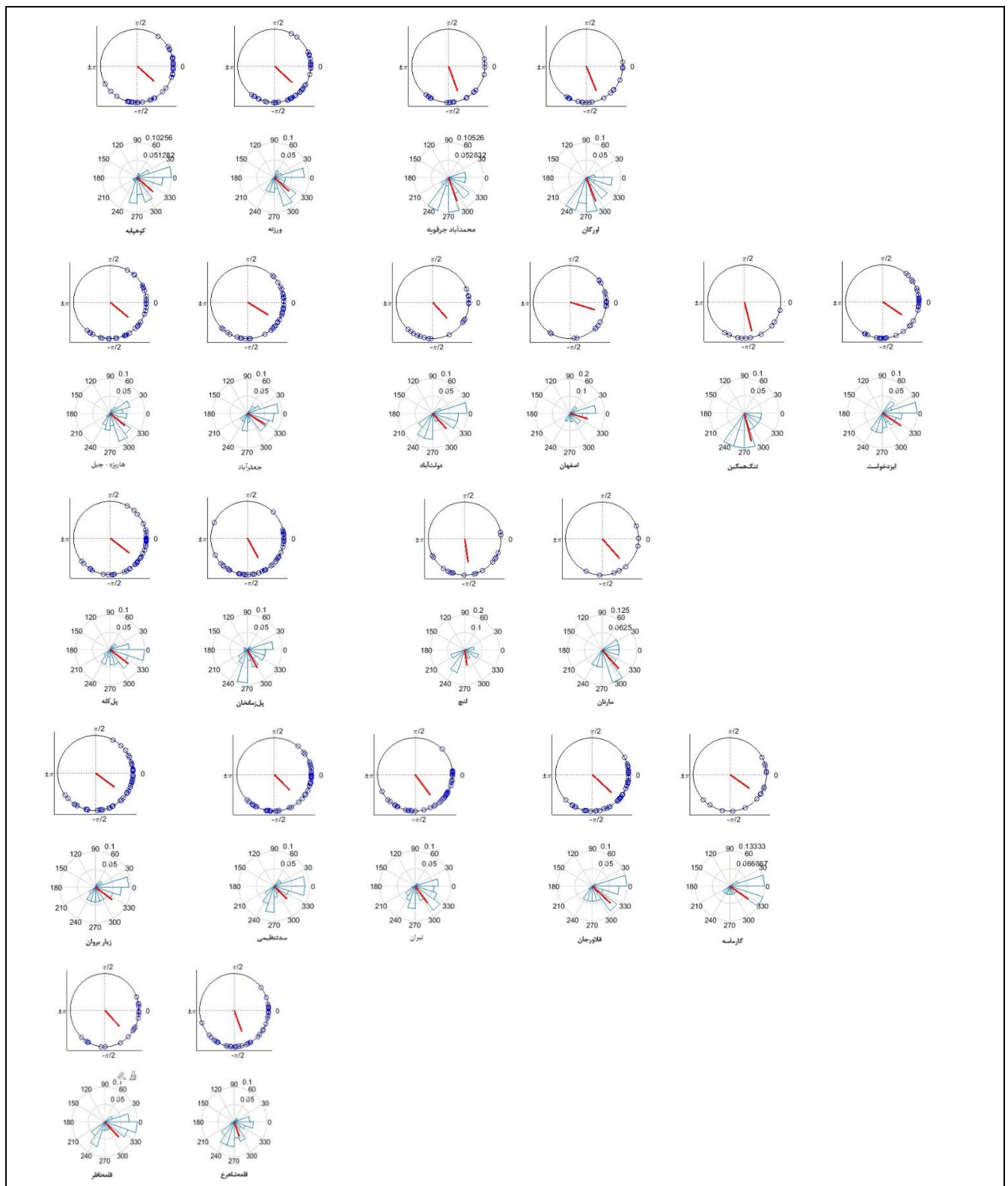
تعداد ۲۱ ایستگاه باران‌سنجی در داخل حوضه آبریز تالاب وجود دارد که متوسط مساحت حوضه به ازای هر ایستگاه باران‌سنجی ۱۲۸۰ کیلومتر مربع را شامل می‌شود. البته پراکندگی ایستگاه‌ها در حوضه یکسان نبوده و تغییراتی در مقادیر بارش و زمان‌های بارش به صورت جزئی وجود دارد. متوسط شاخص فصلی بودن (پراکندگی) وقوع زمان در اکثر ایستگاه‌ها بالای ۰/۶ یا (۶۰ درصد) و واریانس آن‌ها کمتر از ۰/۴ می‌باشد. به دلیل اینکه بارش در منطقه در ایستگاه‌ها ثبت می‌گردد مقادیر وقوع زمان بارش‌های حدی در طول سال‌های

مختلف تقریباً بدون دستکاری و یا هر گونه عوامل انسانی (متأثر از عوامل انسانی) بوده است. بنابراین زمان وقوع بارش‌های حدی اکثراً در ناحیه ۰ تا $-\frac{\pi}{2}$ بوده که بیشترین مقدار $\bar{\theta}$ از $-۸۱/۸۰^0$ تا $-۱۹/۶۵^0$ به ترتیب برای ایستگاه‌های لنج و اصفهان بوده است. در ایستگاه لنج، ۶۵ درصد بارش‌های ماکزیمم در روز ۸۲ ام و در اصفهان ۶۹ درصد بارش‌های ماکزیمم در روز ۲۰ ام قبل از سال شمسی جدید اتفاق می‌افتد. محدوده‌ی ماکزیمم اوج بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه زاینده رود در فاصله ۶۲ روز در منطقه صورت می‌گیرد. علت

تغییرات و نوسانات $\bar{\theta}$ در ایستگاه‌های باران‌سنجی بدلیل کوهستانی، ارتفاعات و دشتی بودن منطقه می‌باشد. ستون‌های ۵ و ۶ جدول ۹۵٪ باند اطمینان بالا و پایین را برای ایستگاه‌های مورد نظر نشان می‌دهد. کل وقوع زمان بارش‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده ۱۱۰ روز قبل از سال جدید تا ۶ روز از سال جدید به وقوع می‌پیوندد. (محدوده‌ی باند اطمینان پایین $108/89^0$ - در ایستگاه لنج و همچنین باند بالا در ایستگاه اصفهان $5/72^0$). نتایج آزمون ریلیه در ستون آخر جدول ۱ نشان‌دهنده رد فرض H_0 بوده و در نتیجه، توزیع ماکزیمم بارندگی‌ها به‌صورت یکنواخت در دایره (در طول سال) ملاحظه نمی‌گردد، بنابراین داری خاصیت فصلی بودن می‌باشد.

نتایج حاصل از هیستوگرام بارش‌های ماکزیمم و نمودار دایره‌ای برای تمام ایستگاه‌های باران‌سنجی در شکل ۴ ارائه شده است. منحنی‌های هیستوگرام بارش و متوسط زمان وقوع با نمودارهای دایره‌ای همخوانی لازم را نشان می‌دهد. منحنی هیستوگرام نشان‌دهنده تعداد فراوانی ماکزیمم بارش‌ها در محدوده‌ی معین در تمام ایستگاه‌ها است. $\bar{\theta}$ در واقع بیشترین فراوانی متوسط زمان وقوع بارش‌ها را براساس داده‌های ثبت شده در ایستگاه باران‌سنجی نشان می‌دهد. هر چه هیستوگرام به دایره‌ی بیرونی نزدیک باشد، نشان‌دهنده‌ی فراوانی بیشتر در آن محدوده بوده است و درصد متوسط شاخص فصلی بودن که در هر ایستگاه به‌صورت فلش قرمز رنگ را نشان می‌دهد، بیشتر از ۶۰ درصد محاسبه

شده است. نتیجه بارش‌های شدید ایجاد رواناب در رودخانه‌ها می‌باشد که در صورت وجود ایستگاه‌های هیدرومتری این مقادیر و زمان وقوع رواناب ثبت می‌گردد. در صورت عدم دخالت‌های سازه‌ای (سدهای مخزنی و انحرافی) و یا ذوب برف، بایستی زمان ثبت رواناب با زمان وقوع بارش دارای تاخیر زمانی منطقی باشد. بنابراین عامل R که دارای پراکندگی یا متوسط اخص فصلی بودن را در ایستگاه‌های هیدرومتری نشان می‌دهد، به تبع از بارش بایستی بالای ۶۰ درصد باشد. در صورتی که عوامل مختلفی از قبیل انحراف از رودخانه اصلی و یا ذخیره در مخازن باعث کاهش شاخص فصلی و حتی انحراف از $(\bar{\theta})$ خواهد بود. لذا در تمام رودخانه‌های حوضه آبریزی که ایستگاه هیدرومتری نصب شده است، محاسبات مربوط به آمار جدول شماره ۲ ارائه گردیده است. ۱۷ ایستگاه هیدرومتری در داخل حوضه آبریز تالاب گاوخونی وجود دارد. متوسط شاخص فصلی بودن (پراکندگی) وقوع زمان از ۰/۲۷ در ایستگاه دیزیچه تا ۰/۸۷ در ایستگاه قلعه شاهرخ محاسبه گردید. ورودی در بعضی از ایستگاه‌های هیدرومتری در سال‌های مختلف دستخوش تغییرات بوده است و یا قبل از ورود به بعضی از ایستگاه‌ها ممکن است ذخیره و یا منحرف شده باشد. لذا، زمان وقوع ماکزیمم رواناب در آن ایستگاه‌ها با زمان وقوع بارش همخوانی نخواهند داشت.



شکل ۴- نمودار دایره‌ای زمان رخدادهای حدی و منحنی‌های هیستوگرام در ایستگاه‌های باران‌سنجی ۲۱ گانه تالاب گاوخونی.

جدول ۲- نتایج محاسبات آمار جهت‌دار برای رخدادهای هیدرومتری حدی ایستگاه‌ها.

ردیف	نام ایستگاه باران‌سنجی	دوره آماری	$\bar{\theta}$ روز	باند بالا 95%	باند پایین 95%	$(\bar{R})$	واریانس	S_D	S_0	آماره Z تست ریلیه
۱	چلگرد	۱۳۵۴-۱۳۹۶	۴۰/۹۸	۵۷/۳۳	۲۴/۶۳	۰/۷۲	۰/۲۸	۰/۷۵	۰/۸۲	.
۲	قلعه‌شاهرخ	۱۳۵۰-۱۳۹۶	۱۱/۷۱	۲۲/۹۴	-۰/۴۸	۰/۸۷	۰/۱۳	۰/۵۲	۰/۵۳	.
۳	خرسانک	۱۳۸۲-۱۳۹۷	۲/۹۰	۲۲/۱۱	-۲/۴۴	۰/۷۸	۰/۲۲	۰/۶۷	۰/۷۱	.
۴	لنج	۱۳۵۹-۱۳۹۷	۲۶/۷۸	۶۲/۹۵	-۹/۳۸	۰/۳۹	۰/۶۱	۱/۱۰	۱/۳۷	.
۵	پل‌چوم	۱۳۶۴-۱۳۹۷	-۱/۹۷	۳۶/۴۷	-۴۰/۴	۰/۴۱	۰/۵۹	۱/۰۹	۱/۳۳	۰/۰۱
۶	پل‌کله	۱۳۲۷-۱۳۹۷	۳۹/۵۲	۵۷/۱۵	۲۱/۸۸	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۹۸	۱/۱۴	.
۷	موسیان	۱۳۷۴-۱۳۹۵	۱۷/۹۴	۶۸/۲۴	-۳۲/۳۶	۰/۴۲	۰/۵۸	۱/۰۸	۱/۳۲	۰/۰۴
۸	پل‌زمانخان	۱۳۲۷-۱۳۹۷	۴۶/۸۶	۶۴/۱۵	-۲۹/۶۵	۰/۵۳	۰/۴۷	۰/۹۷	۱/۱۲	.
۹	سدتنظیمی	۱۳۴۶-۱۳۹۷	۶۸/۶۵	۸۹	-۴۸/۳	۰/۵۳	۰/۴۷	۰/۹۷	۱/۱۲	.
۱۰	اسکندری	۱۳۴۹-۱۳۹۷	۹/۷۶	۲۴/۹۵	-۵/۴۲	۰/۶۹	۰/۳۱	۰/۷۸	۰/۸۵	.
۱۱	حیدری	۱۳۷۹-۱۳۹۶	-۴۳/۶۳	۱/۶۹	-۸۸/۹۵	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۹۸	۱/۱۴	۰/۰۳
۱۲	تنگ‌همگین	۱۳۷۲-۱۳۹۷	-۴/۸۵	۹۲/۰۶	۱۹/۱۶	۰/۴۹	۰/۵۱	۱/۰۱	۱/۱۹	۰/۰۲
۱۳	ورزنه	۱۳۲۷-۱۳۹۷	۱/۸۸	۱۹/۱۵	-۱۵/۴	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۹۹	۱/۱۲	.
۱۴	مندرجان	۱۳۷۱-۱۳۹۷	-۱۳/۶۵	۵/۸۸	-۳۳/۱۸	۰/۶۳	۰/۳۷	۰/۸۵	۰/۹۵	.
۱۵	اسفرجان	۱۳۶۲-۱۳۹۷	۳۴/۶۸	۵۱/۶۱	۷۱/۷۳	۰/۷۶	۰/۲۴	۰/۷۰	۰/۷۴	.
۱۶	ورودی سدخمیران	۱۳۷۴-۱۳۹۷	۱۱/۹۵	۴۱/۰۱	-۱۷/۱۲	۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۸۱	۰/۸۹	.
۱۷	دیزیچه	۱۳۸۱-۱۳۹۷	۱۶۱/۲۵	-	-	۰/۲۷	۰/۹۲	۱/۳۶	۲/۲۴	۰/۹

بنابراین زمان وقوع سیلاب‌های حدی اکثراً پراکنده بوده که بیشترین مقدار $\bar{\theta}$ از $۱۶۱/۲۵^0$ تا $۴۳/۶۳^0$ به- ترتیب برای ایستگاه‌های دیزیچه و حیدری محاسبه شده است. در ایستگاه دیزیچه، ۲۷ درصد سیلاب‌های ماکزیمم در روز ۱۶۳ ام بعد از سال شمسی جدید اتفاق می‌افتد و در ایستگاه حیدری، ۵۲ درصد سیلاب‌های ماکزیمم در روز ۴۴ ام قبل از سال جدید اتفاق می‌افتد. محدوده‌ی ماکزیمم پیک سیلاب‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه تالاب گاوخونی تقریباً در فاصله ۲۰۷ روز در منطقه صورت می‌گیرد. علت تغییرات و نوسانات زیاد $\bar{\theta}$ ناشی از انحراف مسیر انتقال سیلاب در بعضی از ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه می‌باشد. ستون‌های ۵ و

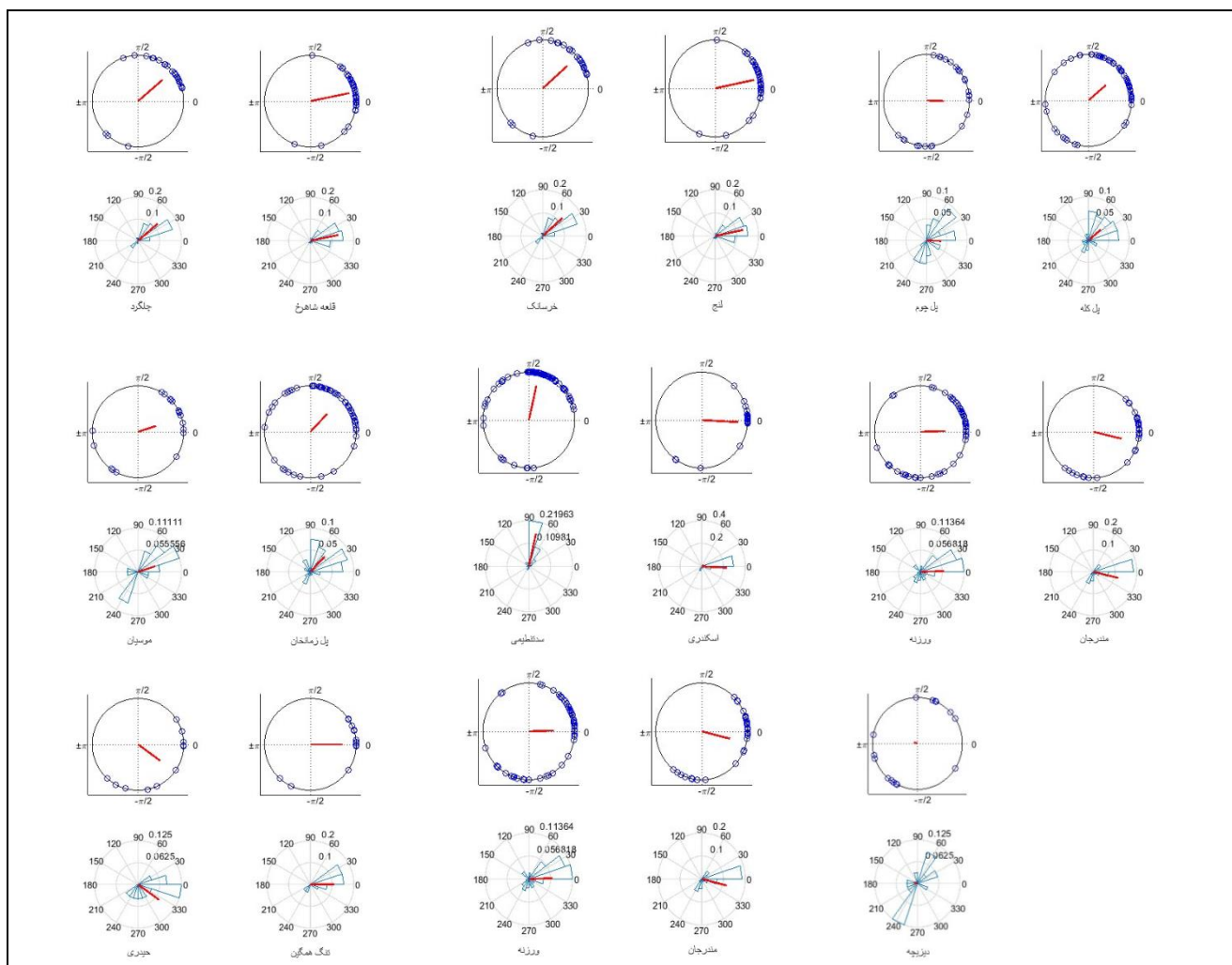
۶ جدول محدوده وقوع زمان ماکزیمم رواناب را با ۹۵٪ باند اطمینان بالا و پایین برای ایستگاه‌های مورد نظر نشان می‌دهد. محدوده باند بالا و باند پایین پارامتر $\bar{\theta}$ در ایستگاه تنگ‌همگین $۹۲/۰۶^0$ (۹۳ روز در سال جدید) تا $۸۸/۹۵^0$ (۹۰ روز قبل از سال جدید در ایستگاه حیدری) در فاصله‌ی ۱۸۳ روز محاسبه شده است. یعنی در بعضی از ایستگاه‌ها وقوع بارش و سیلاب حدی هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند در صورتی که در ایستگاه‌هایی که هیچگونه مخازن ذخیره و یا انحراف در مسیر سیلاب یا رواناب نداشته، محدوده‌ی باند بالا و پایین خیلی کوتاه‌تر بوده و وقوع زمان ماکزیمم و بارش همخوانی دارد. آزمون ریلیه در تمام ایستگاه‌ها فرض صفر را

(غیریکنواختی وقوع سیلاب در محیط دایره) بجز در ایستگاه دیزیچه رد می‌کند. به همین دلیل محاسبه باند اطمینان بالا و پایین در ایستگاه دیزیچه مقدور نمی‌باشد. در ایستگاه‌های باران سنجی، تمام $\bar{R}$ بالای ۶۰٪ را نشان می‌دهد و با ایستگاه‌های هیدرومتری بدون تاثیر از تغییرات کاربری و سازه‌های ذخیره‌ای همخوانی دارد. این مطالعه، $\bar{R}$ کمتر از ۶۰٪ در ایستگاه‌های هیدرومتری که معمولاً دستخوش تغییرات کاربری اراضی بوده را نشان می‌دهد که یکی از عوامل آن وقوع اختلاف تاخیر زمان بارندگی با زمان وقوع سیلاب است. برای اینکه نتایج جدول (۲) از نظر بصری قابل دید و قابل تحلیل باشد، نمودار دایره‌ای و هیستوگرام مربوطه به ایستگاه‌های ۱۷ گانه در شکل (۴) ارائه شده است.

همچنان که جدول ۲ در ستون ۴ و شکل ۴ نشان می‌دهد، زاویه ($\bar{\theta}$) در بازه ۱۶۱/۲۸ درجه تا (۴۳/۶۳-) (بازه زمانی ۲۰۷ روز) تقریباً ۵۷ درصدی از طول سال دارای محدوده‌ی زمانی وقوع ماکزیمم سیلاب می‌باشد. خصوصیات ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه‌ی آبریز گاوخونی را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم نمود:

۱. ایستگاه‌های هیدرومتری متأثر از وجود سد مخزنی یا انحرافی در بالادست
۲. ایستگاه‌های بدون تأثیر از سدهای مخزنی
۳. ایستگاه‌های خارج از رودخانه اصلی (زاینده‌رود)

بر اساس شکل ۴ در حوضه تالاب گاوخونی، ۹ ایستگاه از ۱۷ ایستگاه متأثر از سد نبوده و ۸ ایستگاه دیگر متأثر از سد (ایستگاه‌های هیدرومتری بلافاصله بعد از سد مخزنی یا انحرافی) قرار دارند. ایستگاهایی که خارج از رودخانه اصلی (زاینده رود) به تالاب گاوخونی جریان یابد، در این تحقیق مطالعه نشده است. لذا با بررسی جدول ۲، مقادیر متوسط شاخص پراکندگی زمان‌های وقوع سیلاب در ایستگاه‌های بدون تأثیرپذیری از سد، بدون تغییر کاربری یا بدون آبیگری در بالادست عدد بالای ۰/۶ را در محاسبات آمار دایره‌ای نشان می‌دهد. ۰/۶ یعنی بالای ۶۰ درصد، وقوع سیلاب در یک زمان خاص یا باند اطمینان بالا و پایین ($\bar{\theta}$) اتفاق می‌افتد. در شکل‌های بالا برای هر ایستگاه نمودارهای دایره‌ای و هیستوگرام زمان وقوع ارائه شده است. برای ایستگاه‌های دیزیچه، پل چوم، پل کله، موسیان، چلگرد، سد تنظیمی، لنج، پل زمانخان و ایستگاه ورزنه که ضریب پراکندگی کمتر از ۰/۶ بوده، مفهوم آن این است که زمان وقوع متوسط آن‌ها کمتر از ۶۰ درصد است و نشان دهنده دامنه‌ی وقوع ماکزیمم سیلاب در بازه زمانی بیشتر می‌باشد. ارزیابی همزمان دبی سیلاب و بارش حدی تابحال در این مورد تحقیقاتی انجام نشده است و تحقیق انجام شده در سیلابهای حدی حوضه دریاچه ارومیه در ارتباط با تغییرات فصلی بوده که مقادیر شاخص پراکندگی برای حوضه تالاب گاوخونی مشابه بدست آمده است (صمدی و همکاران ۲۰۲۳).



شکل ۴- نمودار دایره‌ای زمان رخدادهای حدی و منحنی‌های هیستوگرام در ایستگاه‌های ۱۸ گانه حوضه آبریز تالاب گاوخونی.

نتیجه‌گیری کلی

است در بالادست، سد مخزنی یا انحرافی وجود داشته باشد و باعث شود که این شاخص کمتر شود. براساس کمترین مقدار متوسط شاخص فصلی بودن بارش که برابر ۰/۶ بوده است، معیاری برای ایستگاه‌های هیدرومتری لحاظ گردید که متوسط شاخص فصلی بودن کمتر از آن در ایستگاه‌های هیدرومتری دلالت بر دستکاری، ذخیره و یا انحراف جریان آب در شبکه هیدروگرافی را نشان می‌دهد. این موضوع، با بررسی کامل بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری مورد تایید قرار گرفت و از ۱۷ ایستگاه هیدرومتری، بطور متوسط ۵۰

متوسط شاخص فصلی بودن در تمام ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری محاسبه گردید. محدوده این شاخص در ۲۱ ایستگاه باران‌سنجی بین ۰/۶۰ تا ۰/۸۳ و در ۱۷ ایستگاه هیدرومتری بین ۰/۲۷ تا ۰/۸۷ محاسبه گردید. معمولاً متوسط شاخص فصلی بودن در ایستگاه‌های باران‌سنجی به دلیل اینکه مستقیماً از نزولات جوی بوده و هیچگونه دخالت انسانی در وقوع آن تاثیر نداشته در نتیجه ضریب شاخص فصلی بودن بالاتری دارند. در صورتی که در ایستگاه‌های هیدرومتری ممکن

درصد از ایستگاه‌ها، متاثر از سد مخزنی و یا سد انحرافی بوده است به عبارتی حدود ۵۰ درصد حجم ورودی به تالاب انتقال نیافته است که یکی از دلایل خشیدگی تالاب گاوخونی را نشان می‌دهد.

منابع مورد استفاده

- Anonymous, 2023. Iran Water Resources Management Company.
- Asakareh H, 2004. Temporal-spatial changes of precipitation in Isfahan province during recent decades, Isfahan University Research Journal (Human Sciences) 18(1): 91-116 (In Persian with English abstract).
- Ayoade JO, 1970. The seasonal incidence of rainfall. Weather 25: 414–418.
- Bagheri Gavkosh M and Hosseini SM, 2022. Flood seasonality analysis in Iran. A Circular Statistics Approach Journal of Hydrologic Engineering 28(2): <https://doi.org/10.1061/JHYEFF.HEENG-5786>.
- Berens PH, 2009. CircStat: A MATLAB Toolbox for Circular Statistics. Journal of Statistical Software 31(10): 1-21.
- Chen L, Singh VP, Guo SL, Fang B and Liu P, 2013. A new method for identification of flood seasons using directional statistics. Hydrological Sciences Journal 58(1): 28–40.
- Daddeh F, Mostafazadeh R, Esmali Ouri A and Ghorbani A, 2019. Determining the seasonality of monthly rainfall using the Markham method in the Ardabil Province, Rain Gauge Stations. Journal of Spatial Planning 10(1): 29-42 (In Persian with English abstract).
- Dhakal N, Jain S, Gray A, Dandy M and Stancioff E, 2015. Nonstationary in seasonality of extreme precipitation. A nonparametric circular statistical approach and its application. Water Resources Research 51(6): 4499–4515.
- Fang NF, Shi ZH, Li L, Guo ZL, Liu, Q J and Ai L, 2012. The effects of rainfall regimes and land use changes on runoff and soil loss in a small mountainous watershed. Catena 99: 1–8.
- Fisher NI, 1993. Statistics Analysis of Circle Data. Cambridge University Press.
- Guhathakurta P and Saji E, 2013. Detecting changes in rainfall pattern and seasonality index vis-à-vis increasing water scarcity in Maharashtra. Journal of Earth System Science 122(3): 639–649.
- Hajiyani N and Hajiyani P, 2014. Zayandeh Rood Database Along with Graphic Analysis of Data. Parszeya Elm Afarin, Iran.
- Hajizade SH and Sarmad M, 2013. An introduction to circular data. Andishe-ye- Amari 38: 51-626-51(In Persian with English abstract).
- Koutroulise AG, Tsanis IK and Daliakopoulos IN, 2010. Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristic in the island of Crete. Journal of Hydrology 394:90-100.
- Laaha G, 2002. Modelling summer and winter droughts as a basis for estimating river low flows. In: Proceedings of the Fourth International FRIEND2002 Conference – Regional Hydrology. Bridging the Gap between Research and Practice, held at Cape Town, South Africa, March 2002, IAHS Publication 274: 289–295.
- Mardia KV and Jupp PE, 1999. Statistic of Direction Data. Wiley Press, 429P.
- Matti B, Dahlke H, Dieppois B, Lawler D and Lyon S, 2017. Flood seasonality across Scandinavia. Evidence of a shifting hydrograph. Journal of Hydrological Processes 31(24): 4354–4370.
- Merz R, Vorogushyn S, Uhlemann S, Delgado J and Hundercha Y, 2012. HESS opinions More efforts and scientific rigor are needed to attribute trends in flood time series. Hydrological Earth System Science 16: 1379–1387.
- Nieuwolt S, 1974. Seasonal rainfall distribution in Tanzania and its cartographic representation. Journal Article 28(3): 186 -194.
- Samadi R, Dinpashoh Y and Fakheri Fard A, 2023. Application of circular statistics in seasonality analysis of extreme precipitation occurrence time in Urmia Lake Basin. Water and Soil Science 27(3): 241-264 (In Persian with English abstract).
- Patil MK, 2015. Change in seasonality index of rainfall in Singli District. Indian Streams Research Journal 5(1): 1–7.
- Qiblah M, Jafarzadeh A and Pishnamaz Ahmadi M, 2014. International Conference on Sustainable Development with a Focus on Agriculture: Environment and Tourism 16-17 September 2015. Tabriz, Iran.

- Schreiber P and Demuth S. 1997. Regionalization of low flows in southwest Germany. *Hydrological Sciences Journal* 6: 845 -858.
- Singh RB, 2014. Trends and variability of monsoon and other rainfall seasons in western Himalaya, India. *Atmospheric Sciences Letters* 15: 218 -226.
- Tramblay Y, Arnaud P, Artigue G, Lang M, Paquet, E, Neppel L and Sauquet E, 2023. Changes in Mediterranean flood processes and seasonality. *Hydrology and Earth System Sciences* 27: 2973–2987.
- Trobec T, 2017. Frequency and seasonality of flash floods in Slovenia. *Geographical Pannonia* 21(4):198-211.
- Villarini G, 2016. On the seasonality of flooding across the continental United States. *Advances in Water Resources* 87: 80-91.