

بررسی ارتباط زمانی رخداد خشکسالی هواشناختی و خشکسالی آب‌های سطحی (مطالعه موردی: حوضه بیلوردی-دوزدوزان)

عطیه وکیلی فرد^۱، اسماعیل اسدی*^۲، کیومرث ابراهیمی^۳، احمد فاخری فرد^۴، صابره دربندی^۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۵

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه تبریز
 - ۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
 - ۳- دانشیار گروه مهندسی آب، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، کرج
 - ۴- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
- *مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: esasadiesmaeil@gmail.com

چکیده

با توجه به اهمیت منابع آب و تأثیر کمی و کیفی آن بر اکوسیستم و فعالیت‌های زیستی، مطالعه در زمینه خشکسالی به منظور مدیریت منابع آب بسیار ضروری می باشد. هدف از این پژوهش، تعیین ارتباط زمانی بین دو رخداد خشکسالی‌های هواشناختی و هیدرولوژیکی در دوره آماری ۱۶ ساله در حوضه بیلوردی-دوزدوزان با استفاده از متغیرهای بارش و جریان آب سطحی ۴ ایستگاه هیدرومتری و ۴ ایستگاه اقلیمی می باشد. بدین منظور از دو شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص رواناب استاندارد شده (SRI) استفاده شد. بیشترین همبستگی بین دو خشکسالی هواشناختی و هیدرولوژیکی (در سطح ۹۹ درصد) در مقیاس زمانی ۶ ماهه رخ داد. همچنین نتایج حاصل از بررسی خشکسالی هواشناختی منطقه ای حوضه و خشکسالی هیدرولوژیکی در خروجی حوضه در ایستگاه مرکید، نشان‌گر بیشترین ارتباط معنی دار آنها در سطح ۹۹ درصد ($r=0.771$) در مقیاس زمانی ۹ ماهه بوده است. نتایج حاکی از آن بود که عوامل مؤثر در بررسی ارتباط بین دو شاخص خشکسالی، فاصله از ایستگاه باران‌سنجی، مشخصات جغرافیایی و توپوگرافی حوضه می باشد.

واژه‌های کلیدی: حوضه بیلوردی-دوزدوزان، خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده، شاخص رواناب استاندارد شده

Investigation of Temporal Relation between Occurrence of Meteorological and Hydrological Droughts (Case study: Bilverdi-Doozduzan Basin)

Vakilifard A¹, Asadi E^{2*}, Ebrahimi K³, Fakheri Fard A⁴, Darbandi S³

Received: 17 December 2015 Accepted: 14 January 2017

¹M.Sc Student, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

²Assist. Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

³Assoc. Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran

⁴Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

*Corresponding Author, Email: esasadi@gmail.com

Abstract

Due to the importance of water resources and their qualitative and quantitative effects on ecosystems and biological activities, study about drought is very necessary for water resources management. The aim of this study was to determine the temporal relation between the occurrence of meteorological and hydrological droughts in Bilverdi-Doozduzan basin during a 16-year period, using precipitation and surface flow data obtained from 4 climatic and 4 hydrometric stations. For this purpose, the Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Run-off Index (SRI) were used. The maximum correlation between meteorological and hydrological droughts (at 99% confidence level) was found for 6 month time intervals. Also the results gained from investigating regional meteorological drought and hydrological drought in basin outlet, indicated the maximum correlation at confidence level of 99% ($r=0.771$) in 9 month time interval. The results indicated that the distance from precipitation and hydrometric stations, geographical properties and basin topography were effective factors in the investigation of two drought indices relation.

Keywords: Bilverdi-Doozduzan Basin, Drought, Standardized precipitation index, Standardized runoff index

مقدمه

آب در هر کشور و منطقه‌ای به عنوان یک سرمایه ملی محسوب می‌شود و دارای چنان ارزشی است که زندگی موجودات زنده به آن وابسته است. بنابراین خشکسالی و کمبود آب می‌تواند موجب بروز بحران‌های جدی در زندگی شود (کارآموز و عراقی‌نژاد ۱۳۸۹). تا کنون بسیاری از محققان تعاریف مختلفی برای خشکسالی ارائه کردند. برخی خشکسالی را پدیده‌ای خزنده دانستند (اشگرطوسی ۱۳۸۲ و علیزاده ۱۳۸۹). در واقع خشکسالی از مزمن‌ترین و زیان‌بارترین بلایای طبیعی است و در یک دسته‌بندی کلی به چهار نوع

هواشناختی^۱، هیدرولوژیکی^۲، کشاورزی^۳ و اجتماعی-اقتصادی^۴ تقسیم شده است (اسمیت ۱۹۹۸). انواع خشکسالی‌ها دارای ارتباط زمانی و مکانی با یکدیگر می‌باشند (حیدری و همکاران ۱۳۸۸). یک خشکسالی شدید یا همه جانبه را نیز می‌توان مجموع طی شدن این چهار نوع خشکسالی در چهار مرحله دانست (علیزاده ۱۳۸۹). غالباً خشکسالی‌ها از خشکسالی هواشناختی آغاز شده و به ترتیب به هیدرولوژیکی، کشاورزی و در نهایت خشکسالی اجتماعی-اقتصادی ختم می‌شود

¹ Meteorological drought

² Hydrological drought

³ Agricultural drought

⁴ Socio-economic drought

خشکسالی حوضه بوده است. سلیمانی سردو و بهره-مند (۲۰۱۳) با اشاره به همبستگی بالای دو شاخص SPI و شاخص خشکسالی جریان^۷ (SDI) به تحلیل خشکسالی حوضه هلیلرود واقع در استان کرمان پرداختند. نتایج آنها حاکی از خشکسالی‌های با شدت مختلف در این حوضه بود. مقایسه دو شاخص SPI و SRI نشان دهنده ارتباط قوی آن دو در این حوضه بود. آذره و همکاران (۲۰۱۴) به محاسبه دو شاخص SPI و SDI به منظور بررسی ارتباط بین اثر خشکسالی بر آب‌های سطحی حوضه سد کرج پرداختند. بدین منظور همبستگی پیرسون به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی در سطح ۹۹٪ باهم در ارتباط هستند که بیشترین ارتباط مشاهده شده در مقیاس زمانی ۳ ماهه بوده است. توکارکزیک و زالینسکا (۲۰۱۴) به تحلیل بارش، کمبود آب و طبقه‌بندی شرایط هیدرومتئورولوژی با به کارگیری دو شاخص SPI و SRI و روش زنجیره مارکف در دو حوضه در لهستان پرداختند. نتایج نشان داد که اغلب در لهستان خشکسالی هواشناختی به خشکسالی هیدرولوژیکی در همان ماه تبدیل می‌شود. حیدری و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دو شهرستان ارومیه و خوی نشان دادند که در شهرستان ارومیه خشکسالی هیدرولوژیکی با تأخیر زمانی یک ماهه و در خوی با تأخیر زمانی دو ماهه نسبت به خشکسالی هواشناسی بروز کرده است. قاسمیان و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی ارتباط خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی استان خراسان شمالی با استفاده از شاخص SPI، بیشترین ارتباط خشکسالی و ترسالی‌های هیدرولوژیکی را بین رودخانه شیرآباد و

(آذره و همکاران ۲۰۱۴). شاخص‌های خشکسالی معمولاً توابعی از بارش، دما، دبی‌های رودخانه یا دیگر متغیرهای قابل اندازه‌گیری هیدرولوژیکی هستند (سامختین و هوقس ۲۰۰۷، شوکلا و وود ۲۰۰۸) که در تحلیل کمی و تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار مهم ارزیابی شده‌اند (سیلوا ۲۰۰۳). تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه بررسی ارتباط زمانی خشکسالی هواشناختی و کمبود منابع آب سطحی انجام شده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود.

ویسنت سرانو و لوپز مورنر (۲۰۰۵) در بررسی خشکسالی اسپانیا به مقایسه شاخص بارش استاندارد شده^۵ (SPI) با متغیرهای هیدرولوژیکی پرداختند. نتایج نشان داد که جریان‌های سطحی با مقیاس زمانی کوتاه مدت SPI (۱ ماهه الی ۳ ماهه) و منابع آب زیرزمینی با دوره‌های طولانی‌تر آن (۷ تا ۱۰ ماهه) بیشترین همبستگی را دارند. شوکلا و وود (۲۰۰۸) در منطقه‌ای با رژیم برفی به بررسی اثر بارش به عنوان یک عامل اقلیمی با استفاده از شاخص SPI بر عامل هیدرولوژیکی رواناب سطحی پرداختند. آنها با تمرکز بر رفتار شاخص رواناب استاندارد شده^۶ (SRI) در طول دوره خشک، به این نتیجه رسیدند که هر دو شاخص SPI و SRI در دوره طولانی مدت رفتار یکسانی دارند به طوری که با کاهش مقیاس زمانی، تفاوت‌های عمده‌ای در دو شاخص دیده شد. نتایج تحقیق آنها همچنین نشان داد که بین شاخص SPI-12 و SRI-1 همبستگی مناسبی معادل با ضریب تبیین ($R^2=0/9$) وجود داشته است و بررسی دو شاخص در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر نیز حاکی از آن بود که تغییرات ماهانه SRI نسبت به SPI بسیار کمتر بوده است. جانگ (۲۰۱۲) در بررسی مکانی خشکسالی در حوضه آبریز رودخانه ویلامت آمریکا از دو شاخص SPI و SRI استفاده کرد. نتایج او نشان داد که استفاده از این دو شاخص به خوبی بیان‌گر

⁵Standardized precipitation index

⁶ Standardized runoff index

⁷Streamflow drought index

از نظر جغرافیایی بین عرض‌های شمالی ۲۲°-۳۸° تا ۴۷°-۳۷° و طول شرقی ۴۷° - ۴۶° تا ۳۰' - ۴۷° قرار دارد. مهم‌ترین رودخانه منطقه مورد مطالعه، تلخه‌رود (آجی‌چای) که با امتداد جنوب شرقی-شمال غربی از محور میانی دشت عبور می‌کند. این حوضه از نظر اقلیم‌نمای آمبرژه در اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار داشته و دمای متوسط سالانه در ارتفاعات و دشت این محدوده مطالعاتی به ترتیب معادل ۷/۷ °C و ۸/۸ °C برآورد شده است. ارتفاع بارش سالانه محدوده بیلوردی-دوزدوزان ۲۹۱/۷۰ mm و ارتفاعات ۳۰۵/۴۵ mm است (بی‌نام ۱۳۹۱).

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

این شاخص به منظور تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه) توسط مکی و همکاران (۱۹۹۳) توسعه داده شده است و تاکنون در پژوهش‌های بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است. در محاسبه این شاخص ابتدا باید توزیع آماری مناسب، به داده‌های بلندمدت بارش برآزش داده شود و سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل شود.

به تجربه ثابت شده است که توزیع احتمال بارش در اکثر مواقع از توزیع احتمال گاما پیروی می‌کند. تابع چگالی احتمال توزیع گاما به صورت زیر است:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x > 0 \quad [1]$$

در این رابطه، x مقدار متغیر، α پارامتر شکل، β پارامتر مقیاس توزیع و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است که رابطه آن به صورت زیر است:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad [2]$$

بهینه نیز از طریق روابط زیر به α پارامترهای دست می‌آیند:

ایستگاه بجنورد مشاهده کردند. شاهرخوند و همکاران (۱۳۸۸) ضریب همبستگی بین بارش و خشکسالی هیدرولوژیک در حوضه رودخانه خرم‌آباد را بررسی کردند. نتایج حاکی از ارتباط معنی‌دار بارش و نمره Z دبی سالانه و بارش ماه‌های آبان، آذر و اردیبهشت با نمره Z دبی این ماه‌ها در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد بود. مفیدی‌پور و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از شاخص SPI و SDI با ارزیابی و تحلیل زمانی وقوع خشکسالی‌ها و استفاده از همبستگی پیرسون در حوضه اترک پرداختند و اذعان داشتند که رابطه معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد در مقیاس زمانی ۳ ماهه، بیشینه می‌باشد. محمودی و زینی‌وند (۱۳۹۲) با محاسبه دو شاخص SPI و SDI در مقیاس‌های زمانی مختلف و همبستگی پیرسون به تحلیل خشکسالی هواشناختی و هیدرولوژیکی حوضه کشکان واقع در استان لرستان پرداختند. نتایج آنها حاکی از همبستگی بالا در سطح معنی‌داری ۹۹٪ و ۹۵٪ در دو بازه زمانی ۹ ماهه و ۱۲ ماهه در همان ماه یا با تأخیر یک تا دو ماه بوده است.

هدف از مقاله حاضر، بررسی اثر کاهش بارش بر نوسانات هیدرولوژیکی منابع آب سطحی حوضه بیلوردی-دوزدوزان با استفاده از دو شاخص خشکسالی SPI و SRI در مقیاس‌های زمانی مختلف می‌باشد. چگونگی تأثیرپذیری خشکسالی‌های جریان از خشکسالی هواشناختی و تعیین ضریب همبستگی بین شاخص خشکسالی هواشناختی و هیدرولوژیکی در منطقه نیز با استفاده از ضریب پیرسون مشخص خواهد شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

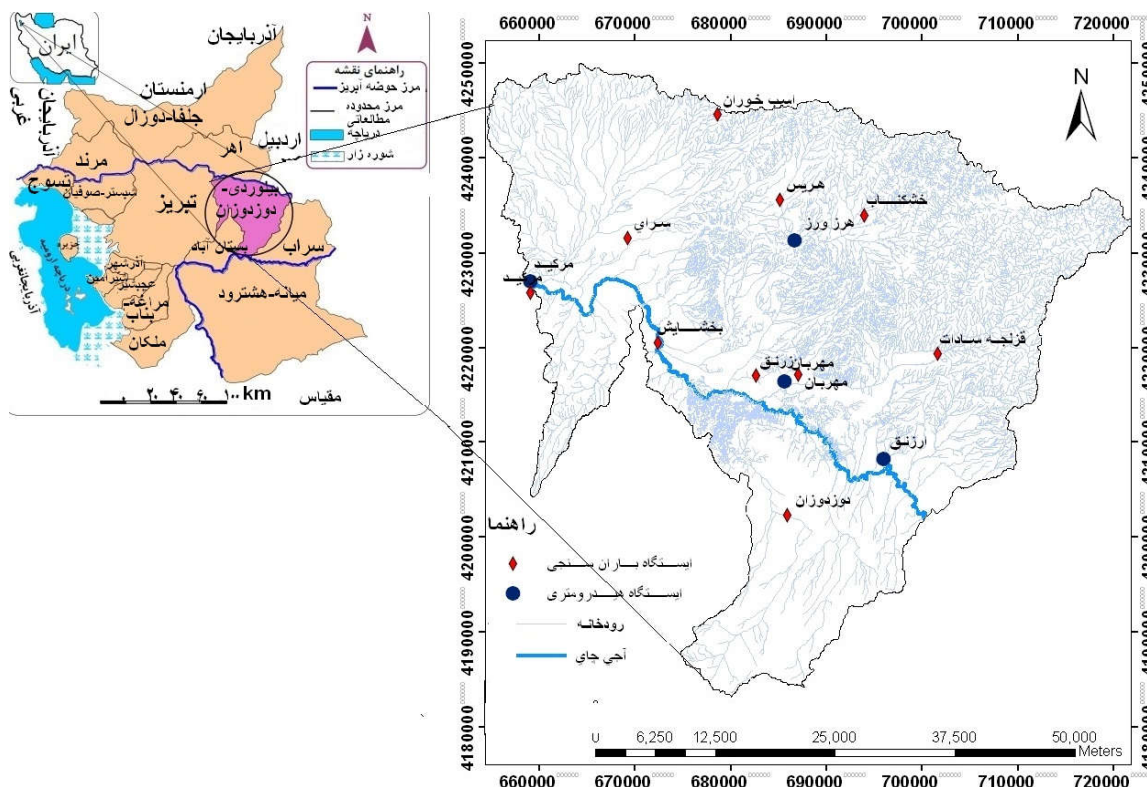
دشت بیلوردی-دوزدوزان از غرب به تبریز، از شرق به سراب، از شمال به مشکین‌شهر، اهر و ارتفاعات قوشه‌داغ و از جنوب به محدوده مطالعاتی میانه و ارتفاعات سهند (بستان‌آباد) محدود شده است.

که در آن، N تعداد مشاهدات و \bar{x} میانگین سری داده‌ها می‌باشد.

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad [۳]$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad [۴]$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{N} \quad [۵]$$



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی، هیدرومتری و محدوده کلی دشت بیلوردی-دوزدوزان.

شوند. از آنجایی که تابع گاما برای $X=0$ تعریف نشده است و داده‌های بارندگی همیشه در برگیرنده تعداد زیادی مشاهده با بارندگی صفر می‌باشد؛ احتمال تجمعی بارندگی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$H(x) = q + (1-q)F(x) \quad [۷]$$

در معادله ۷، q احتمال وقوع بارندگی صفر در سری داده‌ها می‌باشد که از تقسیم تعداد صفر بر تعداد کل داده‌ها به دست می‌آید ($q = \frac{Z_0}{N}$). با محاسبه معادله ۷ و با استفاده از معادلات ۸ و ۹ توزیع نرمال (Z) با میانگین صفر و انحراف معیار یک به دست خواهد آمد (مک کی ۱۹۹۳):

برای محاسبه شاخص SPI، پس از محاسبه جداگانه پارامترهای α و β برای هر سری بارش، از تابع توزیع احتمال تجمعی استفاده می‌شود که احتمال تجمعی از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad [۶]$$

بایستی انتقال تابع احتمال تجمعی از تابع گامای بدست آمده به توزیع استاندارد تجمعی با میانگین صفر و انحراف معیار یک صورت پذیرد. بهترین حالت انتقال یک متغیر از توزیع آماری به توزیع آماری دیگر، انتقال هم احتمال می‌باشد. در انتقال هم احتمال، احتمال‌های کمتر یا مساوی دو متغیر از دو توزیع، برابر فرض می-

شاخص رواناب استاندارد شده (SRI)

شاخص رواناب استاندارد شده (SRI) توسط شوکلا و ود (۲۰۰۸) ارائه شد. این شاخص بر پایه شاخص SPI استوار است. لذا جهت محاسبه این شاخص، دقیقاً همانند محاسبات در شاخص SPI عمل می شود، فقط با این تفاوت که به جای داده‌های بارش، از سری داده‌های رواناب سطحی به‌عنوان داده ورودی استفاده می‌شود. در این شاخص، همچون شاخص SPI، پیش فرض اولیه توزیع مناسب برای سری داده‌ها، توزیع گاما می‌باشد. علت ارائه و استفاده از این شاخص سادگی و دقت عمل آن است به‌طوری‌که حتی از شاخص پالم نیز مناسب‌تر ارزیابی شده است. بررسی خشکسالی هواشناختی و هیدرولوژیکی در حوضه بیلوردی- دوزدوزان، با استفاده از دو شاخص SPI و SRI در بازه‌های زمانی ۱، ۲، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه صورت پذیرفت.

$$Z = \text{SPI} = \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad [8]$$

$$Z = \text{SPI} = \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad 0.5 < H(x) < 1 \quad [9]$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{H(x)^2}\right)} \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad [10]$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} \quad 0.5 < H(x) \leq 1 \quad [11]$$

که در آن، C_0 ، C_1 ، C_2 ، d_1 ، d_2 و d_3 ضرایب ثابت به ترتیب برابر $C_0 = 2.5165$ ، $C_1 = 0.8029$ ، $C_2 = 0.0103$ ، $d_1 = 1.4328$ ، $d_2 = 0.1893$ ، $d_3 = 0.0013$ می‌باشد.

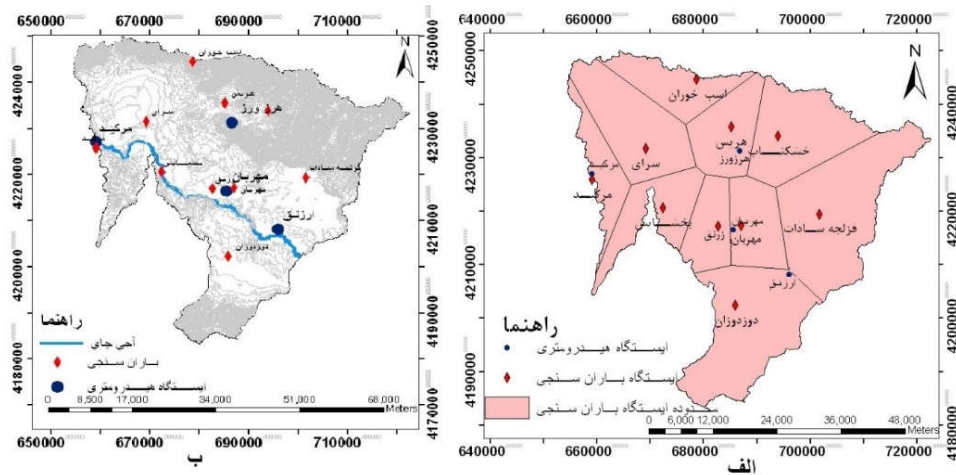
بدین ترتیب SPI نرمال شده، تبدیل به نمره Z نرمال می‌گردد که منعکس‌کننده مقدار انحرافات بالاتر و یا پایین‌تر از میانگین می‌باشد. بر طبق تعریف مککی و همکاران (۱۹۹۳) اگر این شاخص منفی باشد، دوره خشکی آغاز شده و هر جا به صفر برسد، خشکی پایان یافته است.

جدول ۱- طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI و SRI (میشرا و همکاران ۲۰۰۷).

کلاس‌بندی شاخص‌ها SRI, SPI	وضعیت خشکسالی
بزرگتر یا مساوی از ۲	مرطوب شدید
۱/۵۰ تا ۱/۹۹	مرطوب متوسط
۱ تا ۱/۵۰	کمی مرطوب
۰/۹۹ - تا ۰/۹۹	نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	خشک ضعیف
-۱/۵۰ تا -۱/۹۹	خشک متوسط
کوچکتر یا مساوی -۲	خشک شدید

استان آذربایجان شرقی در طول دوره ۱۳۹۲-۱۳۷۶ مورد استفاده قرار گرفت. جهت بررسی ارتباط زمانی دو شاخص SPI و SRI از ماتریس همبستگی پیرسون استفاده شد.

در این پژوهش، داده‌های ماهانه بارش ایستگاه‌های دوزدوزان، مهربان، هریس و مرکید و داده‌های دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری ارزنق، مهربان، هرزورز و مرکید وابسته به سازمان آب منطقه‌ای



شکل ۲- الف محدوده هر ایستگاه باران‌سنجی ب- نقشه توپوگرافی حوضه بیلوردی دوزدوزان.

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی رابطه خشکسالی به دو صورت عمل شد: در حالت اول، مقایسه SPI هر یک از ایستگاه‌های بارانسنجی در شعاع تأثیر با SRI ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در محدوده بارش در دو حالت با اعمال تأخیر زمانی و بدون تأخیر زمانی صورت پذیرفت. در حالت دوم، مقایسه SPI حاصل از میانگین بارش ناحیه‌ای شده کل حوضه بیلوردی-دوزدوزان با ایستگاه هیدرومتری خروجی حوضه (مرکید) انجام شد. شعاع تأثیر هر ایستگاه باران‌سنجی به‌روش چند ضلعی تیسن در شکل (۲-الف) نشان داده شده است. شاخص SPI از داده‌های بارش ماهانه برای هر ایستگاه باران‌سنجی محدوده آن ایستگاه هیدرومتری قرار داشت؛ محاسبه شد. شاخص SRI نیز از داده‌های جریان ماهانه برای هر چهار ایستگاه هیدرومتری محاسبه شد. لازم به ذکر است که آزمون داده پرت (نمودار جعبه‌ای^۸) و همگنی داده‌ها (آزمون من-ویتنی^۹) قبل از محاسبه شاخص‌ها صورت پذیرفته بود. در نهایت ارتباط شاخص SPI با شاخص SRI با استفاده از ماتریس همبستگی پیرسون و بهره‌گیری از نرم‌افزار آماری SPSS بررسی شد (جداول ۲ تا ۱۰). جداول ۲ تا ۵ نتایج همبستگی بین دو شاخص SPI و SRI را در

سطوح ۹۹٪ و ۹۵٪ در مقیاس‌های زمانی ۱، ۲، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه با اعمال تأخیرهای زمانی ۱ ماهه تا ۳ ماهه نشان می‌دهند. همان‌طور که جداول ۲ تا ۵ نشان می‌دهند، خشکسالی هواشناختی در حوضه در همان دوره اثر خود را بر منابع آب سطحی می‌گذارد، به‌طوری‌که در تمام ایستگاه‌ها، ارتباط خشکسالی هواشناختی با هیدرولوژیکی در مقیاس زمانی ۱ ماهه معنی‌دار بوده است و این بدین معنی است که اثر بارش بر جریان سطحی در حوضه بیلوردی-دوزدوزان مشهود است. با توجه به این جداول (۲ تا ۵) بیشترین همبستگی مثبت در سطح معنی‌داری ۹۹٪ در ایستگاه هیدرومتری ارزنق در بازه زمانی ۳ ماهه (جدول ۲)، ایستگاه‌های هیدرومتری مهربان و مرکید در بازه زمانی ۲۴ ماهه (جداول ۳ و ۵) و در ایستگاه هرزورز (جدول ۴) در بازه زمانی ۶ ماهه رخ داده است. بنابراین در این حوضه خشکسالی هواشناختی غالباً در همان ماه به خشکسالی آب‌های سطحی منجر شده است که این نتیجه با نتایج حاصل از پژوهش توکارکزیک و زالینسکا (۲۰۱۴) در دو حوضه در لهستان مطابقت دارد.

^۸ Cox-Box

^۹ Mann-Whitney

جدول ۲- ماتریس همبستگی پیرسون دو شاخص SPI ایستگاه دوزوزان و SRI ایستگاه بارانسنجی ارزنق با اعمال تأخیرهای زمانی ۱ تا ۳ ماهه.

دوره زمانی	همان دوره	۱ ماه تأخیر	۲ ماه تأخیر	۳ ماه تأخیر
۱ ماهه	۰/۱۷۱*	۰/۰۲۱	۰/۱۱۱	-۰/۰۲۱
۲ ماهه	-۰/۲۳۱**	۰/۱۱۲	۰/۰۵۴	۰/۰۱۳
۳ ماهه	-۰/۳۱۶**	۰/۱۶۴	۰/۰۴۸	-۰/۰۵۷
۶ ماهه	-۰/۲۸۱**	-۰/۱۴۶**	۰/۰۱۰	-۰/۱۲۱
۹ ماهه	۰/۱۴۳	-۰/۰۰۷	-۰/۱۰۴	-۰/۲۱۰*
۱۲ ماهه	۰/۰۳۰	-۰/۰۷۱	-۰/۱۷۵	-۰/۲۷۸**
۲۴ ماهه	-۰/۱۷۷*	-۰/۲۴۰*	-۰/۳۰۲**	-۰/۳۶۲**
۴۸ ماهه	-۰/۶۱۶**	-۰/۶۴۹**	-۰/۶۸۰**	-۰/۷۱۲**

* - همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی دار است ** - همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی

جدول ۳- ماتریس همبستگی پیرسون دو شاخص SPI ایستگاه مهربان و SRI ایستگاه مهربان با اعمال تأخیرهای زمانی ۱ تا ۳ ماهه.

دوره زمانی	همان دوره	۱ ماه تأخیر	۲ ماه تأخیر	۳ ماه تأخیر
۱ ماهه	۰/۲۶۸**	۰/۱۳۲	۰/۰۲۹	-۰/۰۴۰
۲ ماهه	-۰/۳۴۲**	۰/۱۹۵**	-۰/۰۴۵	-۰/۰۰۴
۳ ماهه	-۰/۳۹۶**	۰/۲۵۷**	۰/۱۲۹	۰/۰۰۴
۶ ماهه	۰/۴۸۲	۰/۳۷۴**	۰/۲۶۸**	۰/۱۷۲*
۹ ماهه	-۰/۴۳۹**	۰/۳۵۷**	۰/۲۶۸**	۰/۲۰۲**
۱۲ ماهه	-۰/۴۶۱**	۰/۴۰۶**	۰/۳۴۵**	۰/۲۸۷**
۲۴ ماهه	-۰/۶۱۳**	۰/۹۷۷**	۰/۹۴۰**	۰/۹۰۱**
۴۸ ماهه	-۰/۳۹۳**	۰/۴۰۵**	۰/۴۱۵**	۰/۴۲۷**

* - همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی دار است ** - همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی دار است

جدول ۴- ماتریس همبستگی پیرسون دو شاخص SPI ایستگاه هریس و SRI ایستگاه هرزورز با اعمال تأخیرهای زمانی ۱ تا ۳ ماهه.

دوره زمانی	همان دوره	۱ ماه تأخیر	۲ ماه تأخیر	۳ ماه تأخیر
۱ ماهه	۰/۲۵۱*	۰/۰۶۸	-۰/۰۸۳	-۰/۰۷۶
۲ ماهه	-۰/۳۲۶**	۰/۱۴۰	۰/۰۶۰	-۰/۰۸۸
۳ ماهه	-۰/۳۳۰**	۰/۱۸۵*	۰/۰۱۶	-۰/۰۹۳
۶ ماهه	-۰/۳۵۰**	-۰/۲۲۵**	۰/۱۰۴	-۰/۰۲۱
۹ ماهه	-۰/۲۹۷**	۰/۱۶۸*	۰/۰۴۵	-۰/۰۸۶
۱۲ ماهه	۰/۱۸۵*	-۰/۰۸۸	-۰/۰۰۹	-۰/۱۰۷
۲۴ ماهه	-۰/۱۳۶	-۰/۱۱۰	۰/۰۷۲	۰/۰۳۱**
۴۸ ماهه	-۰/۰۱۶	-۰/۰۱۳**	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴

* - همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی دار است ** - همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی دار است

جدول ۵- ماتریس همبستگی پیرسون دو شاخص SPI ایستگاه مرکید و SRI ایستگاه مرکید با اعمال تأخیرهای زمانی ۱ تا ۳

ماهه.

دوره زمانی	همان دوره	۱ ماه تأخیر	۲ ماه تأخیر	۳ ماه تأخیر
۱ ماهه	۰/۳۲۳**	۰/۱۸۹*	۰/۲۸۰**	۰/۱۷۱*
۲ ماهه	۰/۴۶۴**	۰/۳۴۶**	۰/۳۰۲**	۰/۲۲۸**
۳ ماهه	۰/۵۳۹**	۰/۴۰۰**	۰/۳۱۰**	۰/۲۰۵**
۶ ماهه	۰/۵۷۶**	۰/۴۸۴**	۰/۳۸۱**	۰/۲۸۶**
۹ ماهه	۰/۵۹۷**	۰/۵۲۶**	۰/۴۴۶**	۰/۴۶۶**
۱۲ ماهه	۰/۵۹۳**	۰/۵۴۷*	۰/۴۸۴*	۰/۴۲۴**
۲۴ ماهه	۰/۶۲۳**	۰/۵۸۰**	۰/۵۳۰**	۰/۴۸۲**
۴۸ ماهه	۰/۵۶۸**	۰/۵۳۷**	۰/۵۰۰**	۰/۴۶۳**

* - همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی دار است ** - همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی دار است

همان‌طور که جداول ۲ تا ۵ نشان داد لزومی بر اعمال تأخیر زمانی در جریان سطحی وجود نداشته و اثر خشکسالی هواشناختی بر منابع آب سطحی حوضه بیلوردی- دوزدوزان در همان ماه دارای بیشترین میزان همبستگی بوده است. جداول ۶ تا ۹ نشان‌دهنده ارتباط زمانی دو شاخص SRI با شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی متفاوت و بدون اعمال تأخیر زمانی می‌باشد که نمودارهای مربوط به آن در شکل‌های ۳ تا ۶ آورده شده است. در تمام ایستگاه‌ها در سطح ۹۹٪

بیشترین همبستگی بین دو شاخص در بازه زمانی ۶ ماهه رخ داده است و هرچه بازه‌های زمانی از ۶ ماهه بیشتر می‌شود، همبستگی‌ها کمتر و گاهی از مثبت به همبستگی منفی تبدیل می‌شود. به طوری که تا مقیاس زمانی ۶ ماهه همبستگی‌ها در حال افزایش بوده و با گذر از بازه‌های زمانی کمتر همبستگی کاهش می‌یابد که این نتیجه با نتایج ویسنت سرانو و لویز مورنر (۲۰۰۵) در اسپانیا، مطابقت دارد.

جدول ۶- ماتریس همبستگی پیرسون دو شاخص SRI ارزنق با SPI ایستگاه دوزدوزان در مقیاس‌های زمانی مختلف.

SPI-48	SPI-24	SPI-12	SPI-9	SPI-6	SPI-3	SPI-1	
۰/۱۹۸	۰/۱۲۶	۰/۲۸۴**	۰/۳۸۰**	۰/۴۰۳**	۰/۴۸۱**	۰/۱۸۸	SRI-1
۰/۲۵۰*	۰/۱۵۵	۰/۳۵۹**	۰/۴۴۷**	۰/۵۲۸**	۰/۴۳۳**	۰/۱۳۰	SRI-3
۰/۲۵۰*	۰/۱۵۵	۰/۳۵۹**	۰/۴۴۷**	۰/۵۲۸**	۰/۴۳۳**	۰/۱۳۰	SRI-6
۰/۲۸۶**	۰/۳۳۰**	۰/۳۵۵**	۰/۲۶۹**	۰/۱۲۱	-۰/۰۷۰	-۰/۰۱۵	SRI-9
۰/۲۵۳*	۰/۳۲۹**	۰/۱۵۹	۰/۰۲۷	-۰/۱۰۲	-۰/۱۱۱	-۰/۱۰۳	SRI-12
-۰/۰۹۱	-۰/۰۵۷	-۰/۳۱۵**	-۰/۲۷۸**	-۰/۲۲۸*	-۰/۲۲۶*	-۰/۱۶۸	SRI-24
-۰/۶۲۶**	-۰/۶۱۶**	-۰/۳۹۰**	-۰/۳۵۲**	-۰/۲۸۷**	-۰/۱۸۸	-۰/۱۲۴	SRI-48

* - همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی دار است ** - همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی دار است

جدول ۷- ماتریس همبستگی پیرسون دو شاخص SRI ایستگاه مهربان و SPI ایستگاه مهربان در مقیاس‌های زمانی مختلف.

SPI-48	SPI-24	SPI-12	SPI-9	SPI-6	SPI-3	SPI-1	شاخص‌ها و دوره‌ها
۰/۰۶۵	۰/۲۱۹**	۰/۳۴۱**	۰/۳۷۶**	۰/۴۰۸**	۰/۴۳۲**	۰/۲۳۹**	SRI-1
۰/۰۶۵	۰/۳۰۹**	۰/۴۱۴**	۰/۴۶۵**	۰/۴۹۴**	۰/۳۵۷**	۰/۰۹۶	SRI-3
۰/۰۳۰	۰/۳۶۸**	۰/۴۲۸**	۰/۴۷۷**	۰/۴۱۲**	۰/۱۳۲	۰/۰۳۰	SRI-6
۰/۰۷۴	۰/۳۶۴**	۰/۳۴۷**	۰/۲۸۹**	۰/۱۳۹	۰/۰۳۰	۰/۰۱۷	SRI-9
۰/۰۴۷	۰/۴۰۱**	۰/۲۶۱**	۰/۱۲۶	۰/۰۲۸	۰/۰۴۲	۰/۰۷۹	SRI-12
۰/۱۱۰	۰/۴۱۲**	۰/۱۳۴	۰/۰۹۵	۰/۰۵۰	۰/۰۳۴	۰/۰۵۵	SRI-24
۰/۴۳۰**	۰/۴۰۱**	۰/۱۵۷	۰/۱۴۱	۰/۱۲۴	۰/۰۹۵	۰/۰۴۳	SRI-48

*- همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است **- همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است

جدول ۸- ماتریس همبستگی پیرسون دو شاخص SRI ایستگاه هرزورز و SPI ایستگاه هریس در مقیاس‌های زمانی مختلف.

SPI-48	SPI-24	SPI-12	SPI-9	SPI-6	SPI-3	SPI-1	
۰/۱۸۰*	۰/۲۰۵*	۰/۳۴۲**	۰/۴۲۳**	۰/۳۶۹**	۰/۲۸۷**	۰/۲۸۷**	SRI-1
۰/۲۲۷**	۰/۳۰۷**	۰/۴۵۵**	۰/۵۰۸**	۰/۴۶۹**	۰/۳۲۷**	۰/۱۱۱	SRI-3
۰/۱۶۷*	۰/۳۰۴**	۰/۴۳۰**	۰/۴۷۶**	۰/۳۶۱**	۰/۰۹۴	۰/۰۰۷	SRI-6
۰/۰۷۸**	۰/۲۱۰**	۰/۳۱۱**	۰/۲۹۱**	۰/۱۲۵	۰/۰۲۲	۰/۰۳۲	SRI-9
۰/۰۵۹	۰/۲۱۰*	۰/۱۵۲	۰/۰۳۵	۰/۰۹۱	۰/۱۵۰	۰/۱۵۳	SRI-12
۰/۱۲۶	۰/۰۴۰	۰/۱۳۷	۰/۰۸۷	۰/۰۹۳	۰/۱۴۱	۰/۱۰۱	SRI-24
۰/۰۴۹	۰/۰۵۸	۰/۰۱۴	۰/۰۶۷	۰/۰۰۱	۰/۰۶۰	۰/۰۲۷	SRI-48

*- همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است **- همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است

جدول ۹- ماتریس همبستگی پیرسون دو شاخص SRI ایستگاه مرکید و SPI ایستگاه مرکید در مقیاس‌های زمانی مختلف.

SPI-48	SPI-24	SPI-12	SPI-9	SPI-6	SPI-3	SPI-1	
۰/۲۵۸**	۰/۲۵۴*	۰/۲۵۹**	۰/۳۴۴**	۰/۴۱۹**	۰/۵۹۲**	۰/۳۳۵**	SRI-1
۰/۳۱۱**	۰/۲۹۹**	۰/۳۴۳**	۰/۴۳۴**	۰/۵۳۷**	۰/۶۱۵**	۰/۲۶۹**	SRI-3
۰/۳۹۳**	۰/۴۳۲**	۰/۶۰۵**	۰/۶۸۰**	۰/۶۶۴**	۰/۴۳۱**	۰/۲۳۲*	SRI-6
۰/۴۷۸**	۰/۵۳۱**	۰/۷۰۲**	۰/۶۵۴**	۰/۴۶۵**	۰/۲۹۲**	۰/۲۰۵*	SRI-9
۰/۵۲۹**	۰/۵۸۰**	۰/۶۵۸**	۰/۵۰۴**	۰/۳۴۱**	۰/۲۳۷*	۰/۱۲۴	SRI-12
۰/۷۴۴**	۰/۶۵۲**	۰/۳۵۴**	۰/۲۵۱*	۰/۱۳۷	۰/۰۴	۰/۰۳۱	SRI-24
۰/۵۷۴**	۰/۰۱۲	۰/۱۹۳	۰/۲۳۸*	۰/۲۵۵*	۰/۲۲۶*	۰/۱۶۷	SRI-48

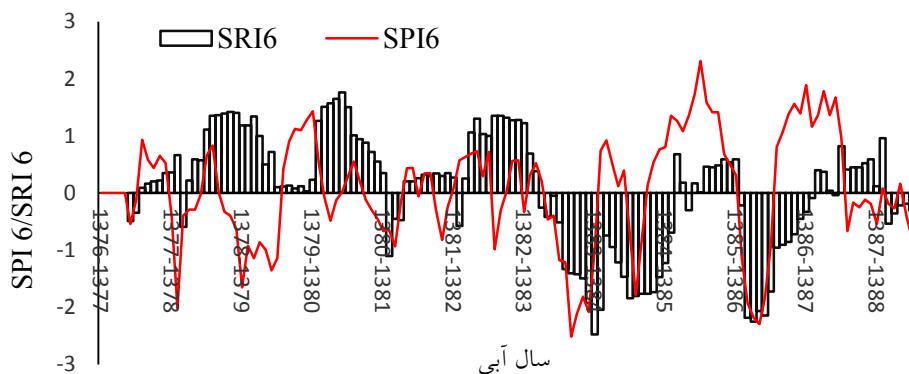
*- همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است **- همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است

هیدرومتری مرکید و باران‌سنجی مرکید ملاحظه شد. از عللی که موجب این بیشینه همبستگی شده است، می‌توان به داشتن کوتاه‌ترین فاصله مکانی بین دو ایستگاه

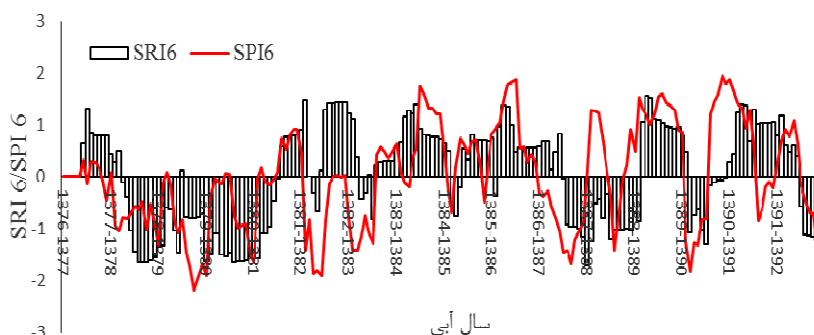
بیشترین همبستگی در SPI-6 و SRI-6 (هم-مقیاس به لحاظ دوره زمانی) بین خشکسالی هواشناختی و هیدرولوژیکی در منطقه، بین دو ایستگاه -

شده تا تمامی محاسبات مربوط به این ایستگاه از سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۸۱ انجام شود. این درحالی است که سایر ایستگاه‌ها در یک دوره آماری ۱۶ ساله و شروع از سال ۱۳۷۷-۱۳۷۶ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بنابراین طول دوره آماری نیز بر همبستگی‌های به‌دست آمده بی‌تاثیر نبوده است. همان‌طور که شوکلا و وود (۲۰۰۸) اشاره کردند طول دوره آماری در بررسی نوسانات هیدرولوژیکی بسیار مؤثر می‌باشد و بررسی ارتباط کمبود بارش بر رواناب در طول دوره‌های آماری طولانی‌مدت معتبرتر هستند.

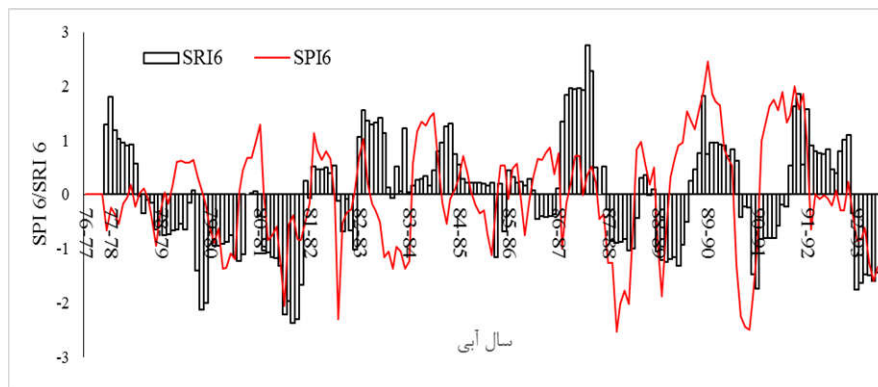
هیدرومتری مرکید و باران‌سنجی مرکید اشاره نمود. کمترین میزان همبستگی‌ها در هر مقیاس زمانی نیز در ایستگاه هیدرومتری ارزنق دیده شده است که این امر را با دو دلیل می‌توان توجیه نمود: اول این که فاصله دو ایستگاه هیدرومتری ارزنق و باران‌سنجی دوزدوزان بیشتر از هر جفت دیگر از ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری این محدوده بوده و دوم این‌که طول دوره آماری مورد بررسی در این ایستگاه، دوره زمانی کوتاه‌تری (۱۲ سال) می‌باشد. احداث ایستگاه هیدرومتری ارزنق در سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۸۱ موجب



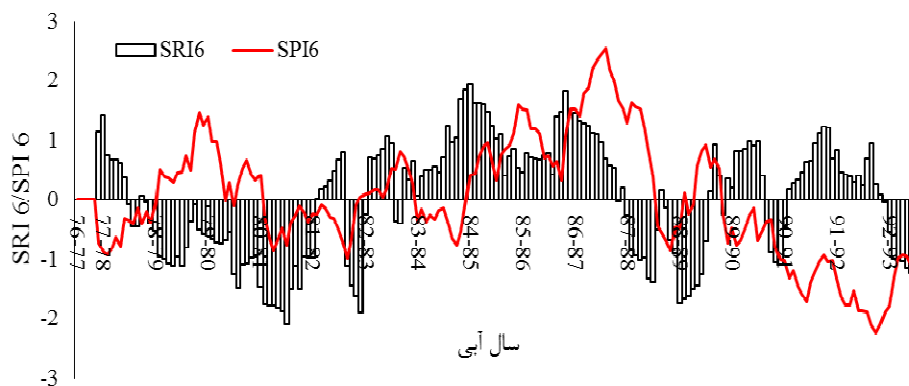
شکل ۳- مقایسه شاخص SPI-6 ایستگاه دوزدوزان و SRI-6 ایستگاه ارزنق.



شکل ۴- مقایسه شاخص SPI-6 ایستگاه مهربان و SRI-6 ایستگاه مهربان.



شکل ۵- مقایسه شاخص SPI-6 ایستگاه هریس و SRI-6 ایستگاه هرزوزن.



شکل ۶- مقایسه شاخص SPI-6 ایستگاه مرکید و SRI-6 ایستگاه مرکید.

و زینی‌وند (۱۳۹۲) در حوضه کشکان مطابقت دارد. در شکل ۷ انطباق خشکسالی هواشناختی و هیدرولوژیکی در مقیاس زمانی ۹ ماهه در حوضه بیلوردی-دوزدوزان به خوبی نشان داده شده است. نتایج حاصل از مقایسه دو شاخص SPI و SRI که در مقیاس زمانی ۶ ماهه و ۹ ماهه به بیشترین میزان همبستگی معنی‌دار (در سطح ۹۹ درصد) منجر شده است با نتایج تحقیقات شوکلا و وود (۲۰۰۸) و محمودی و زینی‌وند (۱۳۹۲) همخوانی دارد که مربوط به مشخصات جغرافیایی، توپوگرافی منطقه و رژیم برفی آن می‌باشد.

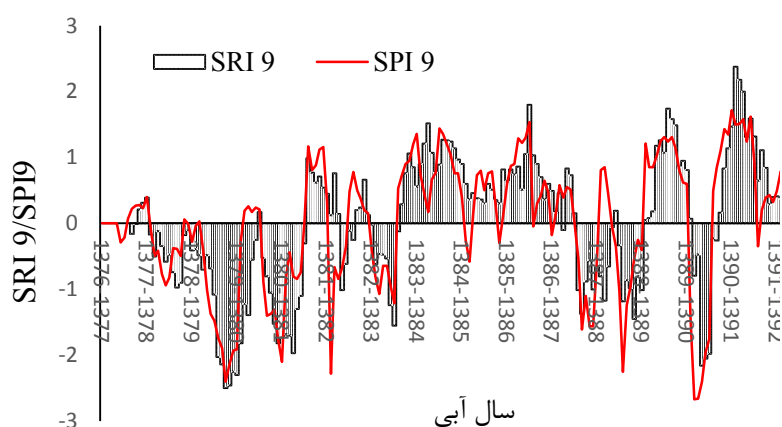
جدول ۱۰ نیز همبستگی میان شاخص SPI حاصل از میانگین وزنی بارش (از طریق تیسن‌بندی) در کل حوضه را با شاخص SRI حاصل از داده‌های دبی ماهانه ایستگاه خروجی (مرکید) نشان می‌دهد. بر طبق این جدول، بارش میانگین با رواناب خروجی حوضه در کل دوره‌های زمانی دارای همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۹٪ می‌باشند. بیشینه همبستگی هم‌مقیاس زمانی شاخص SPI حاصل از میانگین وزنی بارش کل حوضه با شاخص SRI حاصل از جریان خروجی از حوضه (در ایستگاه مرکید) در مقیاس زمانی ۹ ماهه رخ داده است. که این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات محمودی

جدول ۱۰- ماتریس همبستگی پیرسون شاخص SPI دشت بیلوردی- دوزدوزان و SRI ایستگاه مرکید.

SPI-48	SPI-24	SPI-12	SPI-9	SPI-6	SPI-3	SPI-1	
۰/۲۸۷**	۰/۴۶۱**	۰/۴۹۳**	۰/۴۹۸**	۰/۴۹۸**	۰/۵۹۲**	۰/۴۳۳**	SRI-1
۰/۳۲۹**	۰/۵۵۹**	۰/۵۹۶**	۰/۶۷۷**	۰/۷۶۵**	۰/۶۳**	۰/۲۹۵**	SRI-3
۰/۲۸۵**	۰/۶۳۲**	۰/۷۰۴**	۰/۶۸۱**	۰/۵۲۸**	۰/۳۳۸**	۰/۱۰۲	SRI-6
۰/۳۵۵**	۰/۶۲۰**	۰/۸۲۴**	۰/۷۷۱**	۰/۱۲۱	۰/۴۵۰**	۰/۲۳۸**	SRI-9
۰/۲۸۹**	۰/۷۱۳**	۰/۷۲۹	۰/۳۸۵**	-۰/۱۰۲	۰/۲۰۶	۰/۰۹۰	SRI-12
۰/۲۴۵**	۰/۷۳۴**	۰/۵۳۶**	۰/۳۰۰**	-۰/۲۲۸*	۰/۱۴۷	۰/۰۵۶	SRI-24
۰/۷۱۳**	۰/۶۹۷**	-۰/۳۳۷**	۰/۲۰۶*	-۰/۲۸۷**	۰/۱۴۰	۰/۰۹۴	SRI-48

**- همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی دار است

*- همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی دار است



شکل ۷- مقایسه شاخص SPI-9 حوضه بیلوردی-دوزدوزان و SRI-9 ایستگاه مرکید.

نتیجه گیری کلی

با توجه به اهمیت خشکسالی به خصوص در مدیریت و تخصیص منابع آب در شرایط بحرانی، پایش پارامترهای اقلیمی و برهم کنش آن‌ها بر هم به خصوص در شرایط خشکی از موضوعات مهم پیش آگاهی پدیده‌های طبیعی می‌باشد. در این پژوهش، به منظور بررسی چگونگی تأثیرپذیری خشکسالی هیدرولوژیکی از خشکسالی هواشناختی، تحلیل دوره‌های خشک و تر بر مبنای بارش و جریان در حوضه بیلوردی - دوزدوزان به ترتیب با استفاده از شاخص‌های SPI و SRI انجام پذیرفت. ماتریس همبستگی پیرسون ارتباط معنی‌داری (در سطح ۹۹٪) بین خشکسالی هواشناختی و هیدرولوژیکی در مقیاس زمانی ۶ ماهه در بررسی

ارتباط هر ایستگاه باران‌سنجی با ایستگاه هیدرومتری واقع در آن محدوده و بیشترین ارتباط معنی دار (در سطح ۹۹٪) در مقیاس زمانی ۹ ماهه در بررسی بارش کل حوضه و جریان خروجی از حوضه را نشان داد. همبستگی مثبت معنی‌دار بدین مفهوم بوده که کاهش بارندگی، موجب کاهش دبی شده است؛ یا به عبارت دیگر خشکسالی هواشناختی در حوضه بیلوردی-دوزدوزان موجب خشکسالی هیدرولوژیکی و کاهش جریان‌ات سطحی این حوضه شده است. نتایج به دست آمده از مقایسه دو شاخص با مقیاس‌های زمانی مختلف نسبت به مقایسه دو شاخص با در نظر گرفتن تأخیر، نتیجه بهتری در پی دارد، زیرا اولاً با وجود در نظر گرفتن تأخیر زمانی، در بیشتر نقاط حوضه بیشترین میزان

شرقی به‌خصوص خانم مهندس مهمان‌نواز و تمامی همکاران ایشان، به‌خاطر مساعدت های لازم در اخذ آمار و اطلاعات حوضه بیلوردی-دوزدوزان کمال سپاسگزاری را داشته باشند.

همبستگی در سطح ۹۹٪ در همان ماه حاصل شده است و ثانیاً با حذف تأخیرهای زمانی همبستگی معنی‌دار (در سطح ۹۵٪ و ۹۹٪) در مقیاس زمانی کمتری رخ داده است.

تشکر و قدردانی: نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از پرسنل محترم سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان-

منابع مورد استفاده

- اشگرطوسی ش، ۱۳۸۲. پیش‌بینی خشکسالی در استان خراسان و بهینه‌سازی الگوی کشت جهت سازگاری با آن. پایان-نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
- بی‌نام، ۱۳۹۱. گزارش بیان منابع و مصرف محدوده مطالعاتی بیلوردی-دوزدوزان (۳۰۲۰). ویرایش دوم، شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی.
- حیدری م، فرخی ا، تنیان س و حصاری ب. ۱۳۸۸. تحلیل خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از نرم-افزار DIP (مطالعه موردی: ارومیه و خوی). صفحه‌های ۴۴ تا ۵۳، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، ۲ تا ۳ اردیبهشت. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- شاهرخ‌وندی س م، لشتی‌زند م و خاکپور م، ۱۳۸۸. بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی و ارتباط آن با بارش در حوضه رودخانه خرم‌آباد. فصل‌نامه جغرافیایی آمایش، شماره ۶، صفحه‌های ۱۴۵ تا ۱۵۵.
- علیزاده ا، ۱۳۸۹. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
- قاسمیان د، طارمی سمیرمی م، چزگی ج و بروغنی م، ۱۳۸۸. بررسی ارتباط خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی استان خراسان شمالی با استفاده از شاخص SPI. صفحه‌های ۳۳ تا ۴۲ دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، ۲۶-۲۵ اردیبهشت، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان.
- کارآموز م و عراقی‌نژاد ش، ۱۳۸۹. هیدرولوژی پیشرفته انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- مفیدی پور ع، یزدی شیخ و، اونق م، سعدالدین ا، ۱۳۹۱. بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز اترک. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال سوم، شماره ۵، صفحه‌های ۱۶ تا ۲۶.
- محمودی ز و زینی وند ح، ۱۳۹۳. بررسی ارتباط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی، مطالعه موردی: حوضه آبخیز کشکان استان لرستان. نشریه منابع آب و توسعه، سال دوم، شماره ۳، صفحه‌های ۱۵۰ تا ۱۶۱.
- Azareh A, Rahdari MR, Rafiei-Sardoie E and Azariya-Moghadam F, 2014. Investigating the relationship between hydrological and meteorological droughts in Karaj dam Basin. Euro. J. Exp. Bio. 4(3):102-107.
- Jung W, 2012. Climate change impact on spatial patterns in drought risk in Willamette River basin, Oregon, USA. Theor. App. Climatol. 108: 355-371.
- McKee TB, Doeskin NJ and Kleist J, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Pp. 179-184. 8th Conference on Applied Climatology. 17-22 January Anaheim, California, USA.
- Mishra AK, Desai VR, and Singh VP, 2007. Drought forecasting using a hybrid stochastic and neural network model. Journal of Hydrologic Engineering 12(6): 626-638.

- Samkhtin VU, and Hughes DA, 2007. Automated estimation and analyses of meteorological drought characteristics from monthly rainfall data. *Environmental Modelling & Software* 22: 880-890.
- Silva VPR, 2003. On climate variability in northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, 54(2): 256-367.
- Smith K, 1998. *Environmental Hazards*, Rutledge, New York. 79 p.
- Soleimani-Sardou F, and Bahremand A, 2013. Hydrological drought analysis using SDI index in Halilrud basin of Iran. *International Journal of Environmental Resources Research* 3: 279-288.
- Shukla SH, and Wood AW, 2008. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters* 35: 1-7
- Tokarczyk T, Szalinska W, 2014. Combined analysis of precipitation and water deficit for drought hazard assessment. *Hydrological Sciences Journal* 59(9): 1675-1689.
- Vicente-Serrano SM, and Lopez-Moreno JI, 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences* 9: 523-533.