

پایش خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های SDI و GRI در حوزه آبخیز رودخانه اعظم هرات استان یزد

- ❖ قاسم مرتضایی فریزهندی*؛ دانشیار پژوهشکده مطالعات توسعه سازمان جهاد دانشگاهی تهران، مأمور در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
- ❖ مریم میراکبری؛ دانشجوی دکتری بیابانزدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

خشکسالی یک پدیده طبیعی و قابل تکرار است. در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های SDI و GRI وضعیت خشکسالی هیدرولوژیک ارزیابی و با شاخص‌های خشکسالی هواشناسی مقایسه شد. در محیط MATLAB شاخص GRI تعیین گردید. مطابق نتایج، شاخص GRI در طی دوره آماری (۱۳۸۰-۱۳۹۴)، حداکثر شدت خشکسالی، ۷۳/۲۵- و حداکثر تداوم خشکسالی ۷۹ ماه می‌باشد. این مقادیر در مقایسه با شاخص SDI در مقیاس زمانی یک‌سان و دوره آماری مشترک از مقادیر بالاتر برخوردار می‌باشد. فراوانی گروه‌های مختلف شاخص GRI در دوره آماری ۳۵ ساله نشان داد که خشکسالی نرمال دارای بیشترین درصد فراوانی می‌باشد. شاخص SDI از حداکثر تداوم بالاتری در مقیاس‌های زمانی پایین نسبت به شاخص‌های خشکسالی هواشناسی برخوردار است. فراوانی گروه‌های خشکسالی بر اساس شاخص SDI در دوره آماری برای مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه گردید. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که SPEI در مقیاس ۲۴ و ۴۸ ماهه با ۳ ماه تأخیر با شاخص GRI بیشترین همبستگی را دارد که حاکی از تأثیرگذاری خشکسالی هواشناسی بعد از گذشت دو سال و بیشتر بر منابع آب‌زیرزمینی می‌باشد. اطلاع از فاصله زمانی بین وقوع خشکسالی هواشناسی به عنوان عامل اصلی دیگر خشکسالی‌ها، به مدیران و برنامه‌ریزان کمک خواهد کرد، تا اقدامات مدیریتی لازم جهت مقابله با خشکسالی ناشی از کمبود منابع آبی سطحی و زیرزمینی به عمل آورند.

کلید واژگان: شاخص SDI، شاخص GRI، همبستگی متقابل، خشکسالی هیدرولوژیکی، حوزه رودخانه اعظم هرات

۱. مقدمه

کمبود و نوسانات شدید نزولات جوی، مواجه شدن با پدیده خشکسالی را امری اجتناب‌ناپذیر تلقی می‌کند. وقوع خشکسالی از ویژگی‌های اصلی آب و هوای ایران محسوب می‌شود که هم در قلمرو آب‌وهوای خشک و هم مرطوب قابل مشاهده است. این حالت در نتیجه وجود نوسانات آب‌وهوایی شدید در مقیاس‌های زمانی مختلف حاصل می‌شود. خشکسالی حالتی نرمال و مستمر از اقلیم است. خشکسالی بایستی در مقایسه با شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی متوسط در دراز مدت مورد ارزیابی قرار گیرد. تعیین مشخصه‌های خشکسالی به صورت عینی بسیار مشکل است، از این رو شاخص‌های خشکسالی برای ارزیابی ارائه شده‌اند.

برای ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی به دلیل پیچیدگی این پدیده شاخص جامع و کاملی ارائه نشده است [۹]. بدین صورت شاخص‌های متعددی در نقاط مختلف جهان برای تعیین خشکسالی هیدرولوژیکی ارائه گردیده است. یکی از پرکاربردترین این شاخص‌ها، شاخص جریان استاندارد (SDI) می‌باشد [۱۸]. این شاخص برای تجزیه و تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی بر مبنای جریان رودخانه به عنوان منبع آب سطحی می‌باشد. رودخانه‌ها در مناطق خشک اغلب فصلی بوده و در اکثر مواقع سال خشک می‌باشند، به طوری که فعالیت‌های کشاورزی در اکثر این مناطق وابسته به استفاده از منابع آب‌یرزمینی است. لذا کاربرد شاخصی که بر مبنای جریان سطحی باشد چندان مناسب نیست و لازم است در کنار این شاخص از شاخصی استفاده شود که منابع آب‌یرزمینی را لحاظ کند تا بدین صورت نوسانات سفره‌های آب‌یرزمینی نیز بررسی شود. براین اساس [۱۴] شاخص منابع آب‌یرزمینی (GRI) را جهت بررسی نوسانات سطح سفره‌های آب‌یرزمینی و تجزیه و تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی ارائه دادند. شاخص SPEI به عنوان یک شاخص جدید در جمهوری چک مورد بررسی قرار گرفت به طوری که نتایج نشان داد صرف‌نظر از مقیاس زمانی،

این شاخص دارای قابلیت تشخیص شدت خشکسالی تحت تأثیر شرایط افزایش دمایی در دهه‌های ۱۹۸۰، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ می‌باشد. همچنین ارزیابی خشکسالی در این دوره‌ها در نتیجه افزایش تبخیر-تعرق پتانسیل می‌باشد [۲۰]. محقق دیگر [۱۹] تحلیل منطقه‌ای خشکسالی هیدرولوژیکی را با استفاده از شاخص جریان پایه در حوزه سفیدرود انجام داد. شاخص جریان پایه با استفاده از داده‌های دبی روزانه ۲۸ ایستگاه آب‌سنجی در سه منطقه همگن که با روش تحلیل خوشه‌ای تعیین شدند، محاسبه شد. نتایج نشان داد میانگین منطقه‌ای شاخص جریان پایه سالانه در دوره آماری بلند مدت ثابت می‌باشد. در مطالعه‌ای [۱] به خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در استان گیلان با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد و بارش مؤثر (هواشناسی) و شاخص‌های جریان رودخانه‌ای (SDI) و سطح آب (SWI) پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که رابطه زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در بازه زمانی ۱۲ ماهه حداکثر است و مقدار این همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود [۷]. افزایش دمای کره زمین در سال‌های اخیر با استفاده از مدل‌های تغییر اقلیم توسط محققان متعددی گزارش شده است [۲۰]. تأثیر خشکسالی اقلیمی و آب‌شناختی بر روی منابع آب‌یرزمینی در محدوده دشت یزد-اردکان در دوره آماری ۳۰ ساله مورد بررسی قرار گرفته و جهت تحلیل خشکسالی‌ها از دو شاخص SPI و GRI در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه استفاده گردید.

مطابق نتایج برخی تحقیقات [۸] با افزایش پایه زمانی، ضریب همبستگی بین دو شاخص SPI و GRI افزایش می‌یابد. طبق مطالعات فوق تأخیر زمانی بین دو شاخص سالی اقلیمی و هیدرولوژیکی در اردکان یزد ۱ تا ۲ سال برآورد گردید. همچنین نتایج بررسی تغییرات سطح آب‌یرزمینی حاکی از روند نزولی آن بوده و متوسط افت سطح سفره در طول دوره آماری نیم متر در سال گزارش شده است.

شاخص‌های SPI و مقادیر نرمال شده رواناب (SRI) پرداختند. نتایج نشان داد SPI در مقیاس‌های کوچکتر یک شاخص مناسبی برای ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی در حوزه‌های کوچک می‌باشد و SPI با مقیاس بزرگ در حوزه‌های بزرگتر مناسب است. طبری و همکاران [۲۴] اقدام به ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SDI در شمال غرب ایران کردند که بر اساس نتایج بدست آمده تقریباً تمام ایستگاه‌ها تحت تأثیر خشکسالی شدید هستند. در تحقیقی [۴] توسط دو شاخص SPI و GRI به بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی در دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۰ در دشت الشتر پرداختند. همبستگی SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف با تأخیر و بدون تأخیر زمانی با متوسط سطح آب‌زیرزمینی و شاخص GRI بررسی شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد شاخص SPI در مقیاس ۲۴ ماهه بدون تأخیر با متوسط سطح آب‌زیرزمینی و شاخص GRI در سطح ۰/۰۱ دارای همبستگی است که تأثیر خشکسالی هواشناسی را بر منابع آب زیرزمینی تأیید می‌کند. همچنین رابطه همبستگی بین متوسط سطح آب‌زیرزمینی و شاخص SPI ۲۴ ماهه نشان داد ۶۴ درصد واریانس میانگین سطح سفره آب زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی هواشناسی قرار می‌گیرد و ۳۶ درصد مابقی تحت تأثیر فاکتورهای دیگر خواهد بود. در مطالعه‌ای [۳] ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی را با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد و دبی استاندارد (SDI) پرداخته شد. به طوری که این ارتباط در مقیاس ۳ ماهه حداکثر رابطه معنی‌داری را دارا می‌باشد. در تحقیقی دیگر [۵] تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی را با استفاده از دو شاخص SPI و SPEI در شرایط تغییر اقلیم در منطقه‌ای در چین بررسی کردند. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد SPEI در شرایط تغییر اقلیم نسبت به SPI قابلیت بهتری در نشان دادن وضعیت خشکسالی دارد. بر اساس نتایج شاخص SPEI شده، مدت و فراوانی خشکسالی در

برخی دیگر از محققان [۱۲] برای ارزیابی و تحلیل زمانی وقوع خشکسالی از دو شاخص SPI و SDI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه استفاده کردند. در این تحقیق از داده‌های بارندگی و دبی حوزه آبخیز کشکان در دوره آماری (۱۳۴۸-۱۳۹۱) استفاده شده است. بررسی همبستگی بین دو شاخص SPI و SDI نشان داد بیشترین همبستگی بین دو مقیاس ۹ و ۱۲ ماهه با سطح معنی‌داری ۹۹ و ۹۵ درصد وجود دارد. همچنین بیشترین همبستگی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در همان ماه یا با تأخیر زمانی ۱ یا ۲ ماهه مشاهده گردیده است. در تحقیقی دیگر [۲۲] از شاخص‌های SPI و SDI برای تحلیل زمانی وقوع خشکسالی‌ها و تأثیر آن بر کاهش آبدی دریاچه کیو خرم آباد استفاده کردند. در این تحقیق ارتباط بین دو شاخص بر اساس داده‌های بارندگی و دبی جریان تعیین شد. نتایج حاصله نشان داد رابطه زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار است که در بازه زمانی ۶ ماهه حداکثر مقدار را دارا می‌باشد. همچنین خشکسالی سبب کاهش آب دریاچه گشته که این تأثیر در همان ماه و یا با ۱ ماه تأخیر بر آبدی دریاچه تأثیر گذار بوده است. برخی محققان [۶] خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی را توسط سه شاخص RDI، SPI و SDI در دشت بم مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد مشخصه‌های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی هواشناسی بر اساس دو شاخص SPI و RDI تفاوت معنی‌داری داشتند.

همچنین مشخصه‌های خشکسالی بر اساس دو شاخص RDI و SDI بیشترین شباهت را دارا می‌باشند. نتایج آزمون همبستگی متقابل نشان‌دهنده ضرایب بالای همبستگی میان شاخص‌های SDI و SPI و RDI به صورت هم‌زمان در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه می‌باشد.

محققان دیگری نیز [۱۱] به بررسی ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی توسط

ما بین وقوع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیک وجود دارد، فرصت مناسبی خواهد بود تا بر نامهریزان و مدیران در سیستم های منابع آب استراتژی های لازم را در قالب مدیریت ریسک خشکسالی انجام دهند.

۲. روش شناسی

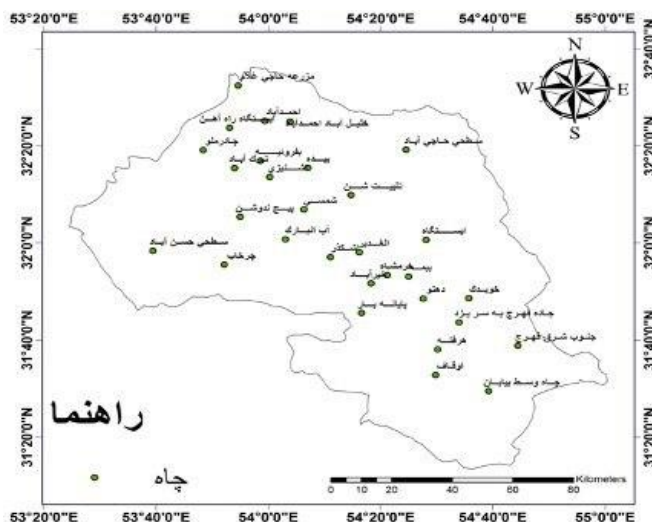
پژوهش حاضر شامل دو بخش اصلی می باشد. بخش اول محاسبه شاخص های خشکسالی هیدرولوژی، بخش دوم ارزیابی و بررسی ارتباط میان شاخص ها می باشد. داده های بارندگی و دمای محدوده مطالعاتی مربوط به حوزه آبخیز رودخانه اعظم هرات در استان یزد می باشد که دارای عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی با وسعتی برابر ۱۰۸۵ کیلومتر مربع، ارتفاع متوسط حدود ۲۲۰۰ متر و متوسط بارندگی سالانه ۲۳۰ میلی متر می باشد. جهت تحلیل مشخصه های خشکسالی هیدرولوژی از داده های ۵ ایستگاه های سینوپتیک و ۴ ایستگاه باران سنجی حوزه رودخانه اعظم هرات یزد استفاده شد (شکل ۱). موقعیت چاه های پیژومتریک منطقه مطالعاتی نیز در شکل ۲ ارائه شده است.

منطقه مورد مطالعه به صورت ۱ ماهه و ۳ ماهه از شمال به سمت جنوب منطقه افزایش یافته است. برخی مطالعات اثر خشکسالی ناشی از افزایش دما بر محصولات کشاورزی را به وضوح نشان می دهند [۱۳]. برخی دیگر از محققان [۲] دو شاخص خشکسالی هیدرولوژیک SDI و GRI را در مقیاس های زمانی مختلف برای ارزیابی خشکسالی در حوزه رودخانه کریشنا در یک دوره آماری ۳۶ ساله (۱۹۷۲-۲۰۰۷) مقایسه کردند. نتایج این مقایسه نشان داد همبستگی خوبی (۶۷ درصد) بین دو شاخص در مقیاس ۹ ماهه وجود دارد که با افزایش مقیاس زمانی به ۱۲ ماهه این ارتباط بیشتر می شود.

به طور کلی هدف از این مطالعه در ابتدا تحلیل خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از شاخص های مختلف و تعیین مناسب ترین شاخص جهت بررسی خشکسالی در منطقه مطالعاتی می باشد. در نهایت تعیین ارتباطی که بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیک وجود دارد به ما کمک می کند تا به فاصله زمانی و یا تأخیری که بین زمان وقوع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیک پی ببریم. اطلاع از این فاصله زمانی به مدیران و برنامه ریزان برای مقابله با تأثیرات منفی ناشی از وقوع خشکسالی هواشناسی کمک خواهد کرد و از اثرات احتمالی ناشی از خشکسالی هیدرولوژیک در آینده جلوگیری می کند، چرا که اطلاع از تأخیری که



شکل ۱. موقعیت استان یزد و حوزه آبخیز رودخانه اعظم هرات



شکل ۲. موقعیت بیژومترهای منطقه مطالعاتی

۲.۱. تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی توسط

است.

شاخص‌های SDI و GRI

$$GRI = \frac{D_{ij} - m_{im}}{\sigma}$$

(۱)

در این رابطه D_{ij} سطح آب در ماه i ام و چاه j ام، m_{im} میانگین فصلی و σ انحراف معیار داده‌های سطح آب در ماه i می‌باشد. GRI یک شاخص کاهش سطح سفره و یک معیار غیرمستقیم از میزان تغذیه سفره و یک منبع غیرمستقیم از خشکسالی خواهد بود. از آنجایی که سطح سفره از سطح زمین در جهت پایین‌اندازگیری می‌شود بنابراین، مقادیر مثبت نشانه وقوع خشکسالی و مقادیر منفی حاکی از عدم وقوع خشکسالی می‌باشد.

۳. نتایج

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص SDI در جدول ۱ ارائه شده است. در مقایسه با شاخص خشکسالی هواشناسی، شاخص SDI نسبت به SPI از مقادیر شدت بالاتری برخوردار است (جدول ۱). لذا می‌توان انتظار داشت که رابطه شاخص‌های SDI و SPEI از مقدار مناسب‌تری نسبت به SPI برخوردار

جهت محاسبه مشخصه‌های خشکسالی هیدرولوژیکی توسط شاخص جریان استاندارد (SDI) نیاز به داده‌های دبی جریان می‌باشد. مقادیر شاخص SDI همانند SPI محاسبه شد با این تفاوت که تابع توزیع لوگ پیرسون به داده‌های دبی جریان براساس آزمون‌های آماری اندرسون-دارلینگ، کلموگراف-اسمیرنوف برازش داده شد [۲۱].

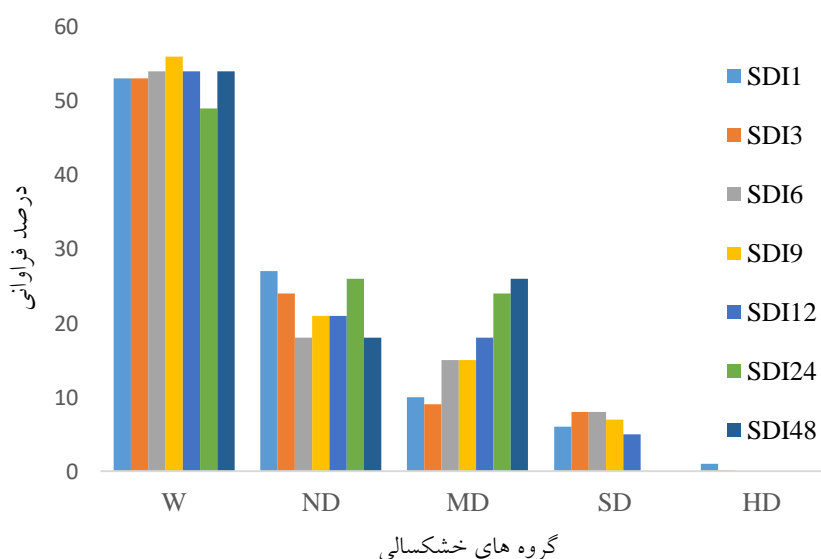
با در نظر گرفتن اینکه حوزه رودخانه اعظم هرات در یک منطقه خشک واقع شده است و این رودخانه تنها در فصول مرطوب سال و در صورت بارش نزولات جوی دارای جریان است. جهت تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی باید نوسانات سفره آب زیرزمینی بررسی شود [۱۵]. لذا از شاخص GRI که نوسانات سطح سفره آب زیرزمینی را جهت استخراج مشخصه‌های خشکسالی هیدرولوژیکی در نظر می‌گیرد، استفاده گردید [۱۸]. این شاخص با استاندارد کردن سطح آب سفره زیرزمینی بدست می‌آید. بدین صورت که از اختلاف میان سطح آب سفره و میانگین بلندمدت آن با تقسیم بر انحراف معیار سطح، شاخص سطح آب استاندارد بدست می‌آید. برای نرمال کردن یک تابع ناقص گاما همانند شاخص SPI مورد نیاز

هواشناسی، شاخص SDI از تغییر پذیری بالاتری در دوره آماری برخوردار است. فراوانی گروه‌های خشکسالی بر اساس شاخص SDI در دوره آماری برای مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه گردید که نتایج آن به صورت نمودار در شکل ۳ نشان داده شده است. بر این اساس دو طبقه خشکسالی نرمال و متوسط از فراوانی بالاتری نسبت به دیگر گروه‌ها برخوردار هستند.

باشد. شاخص SDI از حداکثر تداوم بالاتری در مقیاس‌های زمانی پایین نسبت به شاخص‌های SPI و SPEI برخوردار است. همچنین روند تغییرات شاخص SDI در مقیاس‌های زمانی مختلف بررسی شد که بر اساس نتایج حاصل از آزمون من-کندال در تمام مقیاس‌های زمانی روند معنی‌داری وجود دارد که در مقایسه با شاخص‌های خشکسالی

جدول ۱. مشخصه‌های خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص SDI

شاخص	SDI1	SDI3	SDI6	SDI9	SDI12	SDI24	SDI48
مجموع طول دوره خشک	۱۴۹	۱۴۸	۱۴۶	۱۵۶	۱۶۹	۱۶۹	۱۶۴
حداکثر تداوم	۵۶	۵۴	۵۴	۶۴	۶۱	۵۸	۶۲
حداکثر شدت	-۶۶.۹۹	-۶۸.۲۸	-۶۹.۴۴	-۷۳.۶۹	-۷۲.۴۲	-۶۳.۹	-۴۸.۴



شکل ۳. فراوانی گروه‌های خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص SDI

درون‌یابی معکوس فاصله استفاده گردید و مقادیر متوسط ماهانه سطح آب‌زیرزمینی از نقشه‌های حاصل استخراج گردید. بر اساس رابطه شاخص GRI در محیط برنامه MATLAB دوره‌های خشکسالی تعیین گردید. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شاخص GRI در جدول ۲ ارائه

۳.۱. ارزیابی خشکسالی براساس نوسانات سفره

آب زیرزمینی

جهت ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی براساس نوسانات سفره آب زیرزمینی، سطح متوسط آب زیرزمینی در کل حوزه تعیین شد که برای این منظور از روش

آماري مشترك از مقادير بالاتر برخوردار مي باشد. همچنين فراواني گروه‌هاي مختلف شاخص GRI در دوره آماري محاسبه شد كه بر اين اساس خشكسالي نرمال داراي بيشتري درصد فراواني مي باشد (شكل ۴).

شده است. بر اساس اين شاخص، حداكثر شدت خشكسالي وقوع يافته در طول دوره آماري ۷۳/۲۵- و حداكثر تداوم خشكسالي ۷۹ ماه مي باشد. اين مقادير در مقايسه با شاخص SDI در مقاياس زماني يك سان و دوره

جدول ۲. مشخصه‌هاي خشكسالي هيدرولوژيكي توسط شاخص GRI

۸۲	مجموع طول دوره خشك
۷۹	حداكثر تداوم
-۷۳.۲۵	حداكثر شدت
-۱.۶۷	حداكثر مقدار
%۵۰	فراواني خشكسالي



شكل ۴. فراواني گروه‌هاي خشكسالي آب‌يرزميني براساس شاخص GRI

مقادير منطقه‌اي پارامترهاي نظير بارندگي وجود دارد كه از پر کاربردترين روش‌ها، روش تيسن و روش‌هاي درون‌يابي زمين آمار مي باشد. روش تيسن به دليل وجود اختلاف ارتفاع در نقاط مختلف حوزه و عدم پوشش مثلث‌هاي حاصل از آن در سطح حوزه مناسب نمي باشد. از اين رو، جهت تخمين مقادير متوسط بارش و دما در سطح كل حوزه از روش‌هاي زمين آمار استفاده شد. از بين روش‌هاي موجود روش معكوس فاصله انتخاب گرديد. در اين روش از فاصله به عنوان وزن متغير معلوم در پيش‌بيني نقاط

۳.۲. ارزيابي خشكسالي منطقه‌اي

جهت تجزيه و تحليل خشكسالي‌ها در سطح حوزه و همچنين مقايسه بهتر شاخص‌هاي خشكسالي نياز به داشتن يك سري زماني واحدی از شاخص‌ها در كل حوزه مي باشد. بدین منظور، نياز به تعيين مقادير متوسط پارامترهاي دما و بارندگي در سطح حوزه جهت محاسبه شاخص‌هاي خشكسالي در كل حوزه به صورت منطقه‌اي مي باشد. روش‌هاي متعددی در منابع مختلف جهت تعيين

درون یابی شده حاصل از روش معکوس فاصله با مقادیر هر ایستگاه محاسبه شد که نتایج حاصل در جدول (۳) ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده مقادیر درون یابی شده برای کل حوزه از همبستگی قابل قبولی با هر یک از ایستگاهها برخوردار می باشد.

اندازه گیری نشده استفاده می شود. با استفاده از روش معکوس فاصله اقدام به تعیین مقادیر متوسط بارش و دما به صورت ماهانه در سطح حوزه گردید. بدین صورت که مقدار متوسط حاصل از نقشه های درون یابی به عنوان متوسط ماهانه بارش و یا دما در کل دوره آماری در نظر گرفته شد. جهت مقایسه و ارزیابی، همبستگی میان مقادیر

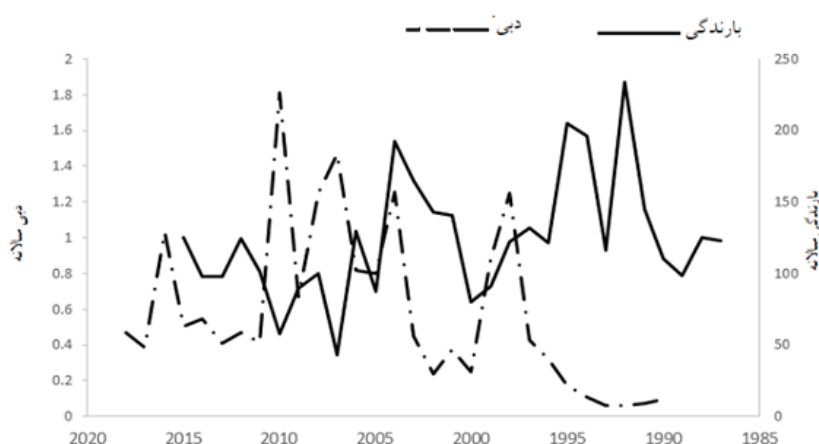
جدول ۳. مقایسه مقادیر متوسط دما و بارش در سطح حوزه با ایستگاه های موجود در حوزه مورد مطالعه

پارامتر	بوانات	هرات	مروست	نی ریز	شهربابک
بارش	۰/۸۲	۰/۸	۰/۸	۰/۷۰	۰/۶۹
دما	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷
پارامتر	مزيجان*	منج*	چاهک*	بندپاین*	
بارش	۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۹۳	۰/۹۴	
دما	-	-	-	-	-

* ایستگاه فاقد داده دما (باران سنجی)

دبی جریان پرداخته می شود. بدین صورت که هر زمان که مقدار بارندگی کاهش یافته، چه مدت زمان طول خواهد کشید تا تأثیر خود را بر روی آب های سطحی بگذارد. شکل ۵ نوسانات بارندگی و دبی در هر دو حالت در دوره آماری مشترک را نشان می دهد. همان طور که مشخص است نوسانات دبی و بارش تقریباً رفتار مشابهی دارند.

جهت بررسی و تعیین اثرات کمبود بارش به عنوان عامل اصلی دوره های خشکسالی، بر منابع آب سطحی رابطه بارندگی و دبی با استفاده از همبستگی پیرسون ارزیابی شد و توسط همبستگی متقابل میزان تأثیر بارندگی بر دبی برآورد گردید. در واقع با استفاده از این روش به جستجوی کمبود آب و در واقع تأخیر زمانی در



شکل ۵. نوسانات بارندگی و دبی سالانه در دوره آماری

محاسبه گردید.

نتایج حاصل از محاسبه همبستگی متقابل بین بارندگی و دبی با ۵ تأخیر زمانی نشان داد بیشترین تأثیر بارش بر دبی در همان ماه و یک ماه تأخیر می باشد (جدول ۴). بدین مفهوم که دبی جریان در زمان بارش و یک ماه بعد از بارش بیشترین تأثیر را از بارندگی دارد.

همبستگی بین مقادیر بارندگی و دبی به دو صورت پیوسته و گسسته بررسی شد. در حالت پیوسته همبستگی بین داده‌های بارندگی و دبی در سطح حوزه ۰/۵۶ با p -value ۰/۰۰۱ بدست آمد که بیان کننده همبستگی قابل قبولی بین بارندگی و دبی است. در حالت گسسته همبستگی بر اساس مقادیر ماهانه بارندگی و دبی

جدول ۴. ارتباط بارندگی و دبی در تأخیرهای زمانی مختلف

پارامتر	بدون تأخیر	۱ ماه تأخیر	۲ ماه تأخیر	۳ ماه تأخیر	۴ ماه تأخیر	۵ ماه تأخیر
بارندگی و دبی	۰.۷	۰.۶	۰.۵۴	۰.۴۳	۰.۲۹	۰.۲۱

می‌گذارد که با نتایج مطالعات مندی سکو^{۱۴}، مرتضایی و همکاران [۱۶] و مرتضایی [۱۷] نیز مطابقت دارد. دلیل همبستگی در این مقیاس را می‌توان تأخیر زمانی در نفوذ آب حاصل از باران و یا ذوب برف به اعماق زمین ذکر کرد. بنابراین با تعیین فاصله زمانی بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی می‌توان قبل از اینکه خشکسالی‌های هواشناسی طولانی مدت بر منابع آب سطحی و زیرزمینی تأثیرگذار شود، اقدامات لازم را جهت جلوگیری از اثرات سوء بر روی منابع آبی انجام داد که در مورد افت سطح آب زیرزمینی این مسئله قابل توجه است. در واقع با دانستن این فاصله زمانی به مدیران و برنامه‌ریزان این امکان داده می‌شود که بدانند در صورت آغاز خشکسالی هواشناسی چه مدت زمانی تا بروز خشکسالی هیدرولوژیکی و در نهایت کاهش منابع آب در اختیار دارند.

با این اوصاف هیو و ویلسون^{۱۰} اثبات کردند که تبخیر تفرق نقش مهمی در تغییرپذیری خشکسالی بر اساس بیلان رطوبت خاک دارد. اینکه چگونه تبخیر تفرق بر روی منابع آبی قابل استفاده می‌تواند تأثیرگذار باشد، به خوبی درک نشده است، خشکسالی به عنوان یکی از بلایای طبیعی دسته‌بندی می‌شود که تأثیرات عمده‌ای بر

۴. بحث و نتیجه‌گیری

خشکسالی به عنوان یکی از بلایای طبیعی دسته‌بندی می‌شود که تأثیرات عمده‌ای بر بخش‌های یک اکوسیستم می‌گذارد. گرچه امکان جلوگیری از وقوع آن وجود ندارد، اما می‌توان با اقداماتی اثرات منفی آن را کاهش داد. از آنجایی که منطقه مطالعاتی دارای یک بندخاکی بر روی رودخانه اعظم می‌باشد، لذا بررسی انواع خشکسالی‌ها از جمله خشکسالی هیدرولوژیکی حوزه از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد. بدین منظور در این مطالعه از دو شاخص SDI و GRI برای ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی استفاده شد. براساس نتایج شاخص خشکسالی هواشناسی SPEI همبستگی بالاتری با شاخص‌های SDI و GRI دارد، که دلیل آن، در نظر گرفتن تأثیر تبخیر و تفرق ناشی از افزایش دما می‌باشد. همچنین شاخص SDI بیشترین همبستگی را با شاخص SPEI در مقیاس‌های زمانی ۹ و ۱۲ ماهه دارد که با نتایج محمودی و زینی‌وند [۱۲] نیز مطابقت دارد. شاخص GRI بیشترین همبستگی را با شاخص SPEI ۲۴ و ۴۸ ماهه دارد. این بدان معناست که خشکسالی هواشناسی بعد از گذشت حداقل دو سال بر منابع آب زیرزمینی تأثیر

^{۱۰}Hu and Wilson

^{۱۴}Mendocino

هیدرولوژی یکی یزد" در پژوهشکده مطالعات توسعه سازمان جهاد دانشگاهی تهران است. بدینوسیله از حمایت‌های مادی و معنوی سازمان جهاد دانشگاهی تهران، مسئولین محترم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و گروه آموزشی احیاء مناطق خشک و بیابانی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، به دلیل همکاری قابل توجه در به ثمر رساندن نتایج تحقیقات فوق‌قدردانی می‌نماییم.

بخش‌های یک اکوسیستم می‌گذارد. گرچه امکان جلوگیری از وقوع آن وجود ندارد، اما می‌توان با اقداماتی اثرات منفی آن را کاهش داد.

تشکر و قدردانی

بخشی از دستاوردهای پژوهشی مقاله فوق‌حاصل نتایج تحقیقات طرح پژوهشی "بررسی خشکسالی

References

- [1] Aghabeygi, M. 2015. Study of meteorological hydrological drought in Gilan Province using different indices. MSc dissertation. Hormozgan University. (In Persian)
- [2] Abhishek, A. Pathak, Channaveerappa, B.M. Dodamani. 2016. Comparison of two hydrological drought indices. *Journal of Perspectives in Science* 8: 626- 628.
- [3] Azareh, A. Rahdari, M. R. Rafiei, E. and Azaria, F. 2014. Investigate the relationship between hydrological and meteorological droughts in Karaj dam Basin. *Journal of European Journal of Experimental Biology* 4(3): 102- 107.
- [4] Chamanpira, Gh. Zehtabian, Gh. Ahmadi, H. and Malekian, A. 2014. Effect of Drought on Groundwater Resources; a Study to Optimize Utilization Management (Case Study: Alashtar Plain). *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 3(10): 48- 56.
- [5] Chunping, T. Jianping, Y. and Man, L. 2015. Temporal-Spatial Variation of Drought Indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui Autonomous Region, China. *Journal of Atmosphere* 6: 1399- 1421.
- [6] Eghtedarnejad, M. Bazrafshan, A. and Sadeghi, A. 2017. Evaluation of SPI, RDI AND SDI in analysis of characteristics of meteorological and hydrological drought (case study: Bam plain). *Journal of Science of soil and water* 26: 69- 81. (in Persian).
- [7] Ekrami, M. Malekinejad, H. Ekhtesasi, M. R. 2014. Investigation of the effect of meteorological and hydrological drought in ground water resources. *Journal of Iran Watershed Management Science and Engineering* 20: 47- 54. (In Persian)
- [8] Khosravi, H. Haydari, E. Zehtabian, Gh. and Bazrafshan, J. 2016, Analysis of spatial and temporal trends of groundwater index (GRI) , (Case study: Yazd-Ardakan plain) , *Iranian Journal of Range and Desert Research*, Vol. 22 No. (4). (in Persian).
- [9] Hayes, M. Svoboda M, Wall, N. and Widhalm, M. 2011. The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of American Meteorological Society* 92(4): 485- 488.
- [10] Hu, Q., and Wilson, G. D. 2000. Effect of temperature anomalies on the Palmer drought severity index in the central United States, *International Journal of Climatology*, 20, 1899-1911.
- [11] Lukas, A. and Vasiliades, L. 2005. Identification of the relationship between meteorological and hydrological drought. *Geophysic Research Letters*, 7: 1-10.
- [12] Mahmodi, Z. and Zeynivand, H. 2014. An Analysis of relationship between meteorological and hydrological drought, case study: Kashkan Watershed. *International Bulletin of Water Resources and Development* 2(3): 150- 162 (In Persian).
- [13] Martinez, J., Lopez, B. C., Adel, N., Badiella, L., and Ninyerola, M. (2008). Twentieth century increase of Scots pine radial growth in NE Spain shows strong climate interactions, *Global Change Biology*, 14, 2868-2881.

- [14] Mendocino, G. Senatore A. Versace P. 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*. 357(3-4): 282- 302.
- [15] Mohammadi, M. Moradi, H. Vafakhah, M. 2013. Local distribution and relation between meteorological and hydrological droughts in plain Arak. *Journal of Physical Geography* 15(5): 77- 84 (In Persian).
- [16] Mortezaei, F. G., R. Shahbazi, 2012. Survey indicators for assessing and mapping water and wind erosion desertification and provide sustainable development strategy. *Journal of Watershed Management Engineering Association Iran*, 6; 45-52.
- [17] Mortezaei, F. G, 2016, The impacts of different land use changes on natural rangelands on groundwater level using quantitative model WEAP (Case study: Chaharmahal Bakhtiari province, Iran), *Desert* 22-1 (2016)
- [18] Nalbantis, I. and Tsakiris G. 2009. Assessment of hydrological drought revisited. *Journal of Water Resources Management* 23: 881- 897.
- [19] Nosrati, K. 2013. Regional analysis of hydrological drought at Sefidrod watershed by base flow index. *Journal of rangeland and watershed management* 2(65): 257- 267(In Persian).
- [20] Shukla, S. and Wood, A. W. 2008. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters* 35(2): 1-7.
- [21] Soleymani, L. and Haghii Zadeh, A. 2016. Evaluation of the effect recent droughts on lake discharge reduction: case study: Lake Keeyow, Khorramabad. *International Bulltein of Water Resources and Development* 3: 99- 108(In Persian).
- [22] Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M. M. B., Miller Jr., H., L., and Chen, Z. Eds. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, 996 pages.
- [23] Tabari, H. Nikbakht, J. and Talaei, P. H. 2013. Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on stream flow drought index (SDI). *Journal of Water resources management* 27(1) (In Persian).

