

تعیین فاصله‌ی زمانی رخداد خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه‌ی آبخیز زاینده‌رود

۱- حمید بابایی، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده فناوری و مهندسی کشاورزی، کرج، دانشگاه تهران

hamidbabaei1@gmail.com

۲- شهاب عراقی‌نژاد، استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده فناوری و مهندسی کشاورزی، کرج، دانشگاه تهران

۳- عبدالحسین هورفر، استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده فناوری و مهندسی کشاورزی، کرج دانشگاه تهران

دریافت: ۱۳۸۹/۸/۱۱

پذیرش: ۱۳۹۰/۱/۳۱

چکیده

هدف از این تحقیق، تجزیه و تحلیل ارتباط بین رخداد خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه‌ی آبخیز سد زاینده رود با استفاده از متغیرهای مربوط است. شاخص‌های بارش استاندارد و ذخیره‌ی آب سطحی به ترتیب برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی استفاده گردید. بررسی خشکسالی در حوزه، وقوع این پدیده را در سال‌های مختلف در طول دوره‌ی آماری نشان داد. به طوری که مقیاس زمانی ۱۲ ماهه شاخص بارش استاندارد، وقوع خشکسالی شدید را در سال آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۹ در تمامی سطح حوزه نشان داد. نتایج بررسی شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی همچنین نشان داد که شدیدترین خشکسالی در فاصله زمانی آبان ۱۳۷۷ تا شهریور ۱۳۷۹ رخ داده است. افزون بر آن، بررسی ارتباط بین خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی نشان‌دهنده‌ی وجود فاصله‌ی زمانی در تشخیص خشکسالی به-وسیله‌ی این دو شاخص بوده، به طوری که فاصله‌ی زمانی خشکسالی‌های شناسایی شده بین ۳ تا ۱۱ ماه و با میانگین ۷ ماه متغیر است.

واژگان کلیدی: خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، شاخص ذخیره‌ی آب سطحی، زاینده رود

مقدمه

خشکسالی را می‌توان از چهار دیدگاه گوناگون تعریف نمود: خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی، خشکسالی کشاورزی و خشکسالی اقتصادی-اجتماعی. بر این اساس، خشکسالی هواشناسی زمانی رخ می‌دهد که بارندگی سالانه و یا هر زمان معین (ماهانه، فصلی) کمتر از میانگین درازمدت آن باشد. ادامه‌ی خشکسالی هواشناسی برای یک مدت زمان طولانی باعث وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی و کشاورزی می‌شود (Yildiz, 2009). سه خشکسالی نخست برشمرده شده در این طبقه‌بندی را به عنوان شاخص‌های محیطی و گروه سوم را به عنوان یک شاخص منابع آب می‌توان تعریف کرد. مطالعات نشان می‌دهد، افزون بر تأثیر عوامل محیطی، دخالت انسان در منابع آب (سطحی و زیرزمینی) نیز باعث بروز خشکسالی

خشکسالی از جمله بلایای طبیعی و بخش جدایی‌ناپذیر هر اقلیم است (Wilhite et al., 2005). خشکسالی را زمانی می‌توان به‌عنوان یک فاجعه تلقی کرد که تقاضای آب از سوی جوامع بشری و زیست محیطی در امتداد رخداد خشکسالی، افزایش پیدا کند (Lloyd-Hughes et al., 2002; Tsakiris et al., 2007). تعیین زمان شروع و پایان خشکسالی مشکل است و تأثیرهای آن به-تدریج برای یک دوره بلندمدت روی هم انباشت شده و برای سال‌های پس از آن هم ادامه دارد. از ویژگی‌های عمومی خشکسالی‌ها می‌توان به میانگین بالای دما، کمبود بارش، کاهش رطوبت خاک و کمبود آب‌های سطحی و زیرسطحی اشاره کرد (Tsakiris et al., 2007).

ها است. به این منظور از آمار بارندگی ۶ ایستگاه باران-سنجی در طول دوره‌ی ۳۳ سال (مهر ۱۳۴۷-۱۳۴۶ تا شهریور ۱۳۸۰-۱۳۷۹) استفاده شد. برای بازسازی کمبودهای آماری از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها و روش نسبت نرمال و به‌منظور بررسی همگنی داده‌های بارش از روش آزمون توالی استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

زاینده‌رود در بخش میانی فلات مرکزی ایران بین مختصات جغرافیایی $50^{\circ}02'$ و $53^{\circ}22'$ طول شرقی و $31^{\circ}12'$ تا $33^{\circ}42'$ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت این حوزه برابر با ۴۱۵۵۰ کیلومتر مربع است که حدود ۴۰٪ آن را مناطق کوهستانی، ۵۹٪ دشت و کوهپایه و ۱٪ باقی مانده را گستره‌ی آبی باتلاق گاوخونی به مساحت ۴۸۵ کیلومتر مربع تشکیل داده است. به‌علت طیف گسترده‌ی ارتفاعی حوزه از ۱۴۷ متر تا ۳۹۷۴ متر، سیمای اقلیمی آن نمونه‌های مختلف آب و هوایی از فراخشک تا بسیار مرطوب را در بر می‌گیرد. میانگین سالانه‌ی دمای هوا در حوزه‌ی آبخیز زاینده‌رود به‌شدت تابع ارتفاعات است و از حدود 17°C درجه در نواحی پست کویری تا کمتر از 5°C درجه در ارتفاعات متغیر است. حداقل مطلق دمای هوا در اصفهان از 16°C - درجه و در کوه‌رنگ تا 39°C - اندازه‌گیری شده است. بر همین اساس، میانگین سالانه‌ی بارندگی در حوزه‌ی سد زاینده‌رود از حدود ۵۰ میلی‌متر در مناطق کویری جنوب شرقی تا ۱۵۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات کوه‌رنگ در غرب متغیر است. رژیم بارش حوزه مدیترانه‌ای است و بیشترین بارش در بازه‌ی بهمن تا فروردین رخ می‌دهد (Salemi et al., 2000).

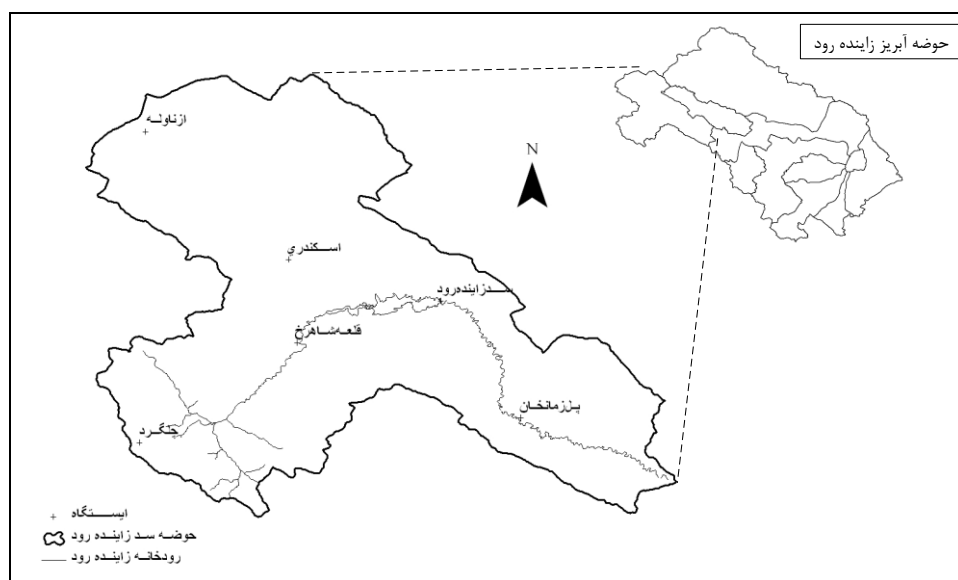
مشخصه‌های خشکسالی

شاخص‌های خشکسالی از داده‌های کوتاه مدت بارش، رواناب، رطوبت خاک و جریان رودخانه برای تبدیل شدن به یک نمونه‌ی بزرگ قابل فهم بیان شده‌اند. این شاخص‌ها به‌منظور استفاده‌ی بهتر از داده‌های خام جهت قابل درک بودن و افزایش توان تصمیم‌گیری برای طراحان و برنامه

اقتصادی-اجتماعی می‌شود که بر مبنای عرضه و تقاضای آب استوار است (Shaban, 2009). برای شناخت پدیده‌ی خشکسالی، پیشگیری و یا کاهش خسارت‌های ناشی از آن در زمان و مکان‌های مختلف از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود. شاخص بارش استاندارد^۱ (SPI) بر این اصل استوار است که کمبود مقدار بارش تأثیر مختلفی روی آب زیرزمینی، ذخیره‌ی آب پشت سدها، رطوبت خاک، ذخیره‌ی برفی و جریان رودخانه ای دارد. شاخص SPI برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف طراحی شده است. این شاخص به‌دلیل سادگی در محاسبه، سازگاری با شرایط محیطی و تفسیر آسان نتایج مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته‌است. Seiler et al., Komuscu, 1999, Raziei et al., 2009, Lana et al., 2002, Anctil, et al., 2002, Wu et al., Domonkos et al., 2003, Min et al., 2003, Lloyd-Hughes et al., Paulo et al., 2001, Pandey et al., Mathieu et al., 2003, 2008 برای تجزیه و تحلیل خشکسالی با استفاده از داده‌های زمان واقعی و داده‌های تاریخی از شاخص SPI استفاده کردند. شاخص ذخیره‌ی آب سطحی (SWSI)^۲ در سال ۱۹۸۱ به‌عنوان معیاری برای تعیین مقدار آب موجود در مناطق کوهستانی (که منبع تأمین آب آن‌ها ذخیره‌های برفی است) و ایجاد امکان مقایسه‌ی مناطق مختلف با هم ارائه‌شد. این شاخص بر اساس منابع آب سطحی، برف، بارندگی و ذخیره‌ی آب سدها، خشکسالی را در منطقه تعیین می‌نماید (Shafer et al., 1982). مقایسه‌ی شاخص‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی نشان داد که شاخص‌های هیدرولوژیکی نسبت به کمبودها دارای واکنش شدیدتری هستند. تلفیق این دو روش می‌تواند ابزاری مناسب جهت تفکیک خشکسالی در اثر کمبود ریزش‌های جوی یا کمبود منابع آبی در نتیجه مصرف بالا یا بهره‌برداری غیر بهینه منابع آب باشد (Morid, 2006). هدف از این تحقیق، ارزیابی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌وقوع پیوسته در حوزه‌ی آبخیز سد زاینده‌رود با استفاده از شاخص‌های SPI و SWSI و همچنین بررسی فاصله‌ی زمانی دو شاخص در تشخیص خشکسالی-

- شدت: تجمع مقادیر بارش (جریان سالانه) برای تداوم خشکسالی؛ و
- بزرگی: متوسط کمبودهای جریان برای تداوم خشکسالی.

ریزان تنها به صورت یک عدد بیان می‌شوند. به طور کلی، نتایج حاصل از این شاخص‌ها را می‌توان در تعریف سه مشخصه‌ی خشکسالی مشاهده کرد که عبارتند از:
- مدت: تعداد سال‌های پشت سرهم که در آن‌ها بارش (جریان سالانه)، پایین‌تر از میانگین درازمدت قرار دارد؛



شکل ۱. موقعیت حوزه‌ی آبخیز سد زاینده رود

مذکور که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است، محاسبه می‌گردد.

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

α و β به ترتیب مؤلفه‌های شکل و مقیاس، x مقدار بارندگی و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است. روش درست‌نمایی حداکثر برای برآورد پارامترهای α و β استفاده می‌شود:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (2)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (3)$$

که:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (4)$$

گرچه هیچ یک از این شاخص‌ها از نظر تمام ویژگی‌ها نسبت به شاخص‌های دیگر برتری ندارند، اما بعضی از آن‌ها برای برخی از کاربردها مفیدتر و مناسب‌تر هستند. در این تحقیق از شاخص SPI به منظور تحلیل خشکسالی هواشناسی و از شاخص SWSI برای تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی استفاده شده است (Desken et al., 1991).

شاخص SPI

اساس شاخص SPI بر محاسبه‌ی احتمال وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. شاخص SPI از داده‌های بارش ماهانه برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس‌های زمانی چندگانه (۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه) استفاده می‌کند. اولین گام در محاسبه SPI برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه مشخص است (Mckee et al., 1993). پس از محاسبه‌ی احتمال تجمعی کل، مقدار متغیر تصادفی نرمال استاندارد هم احتمال با احتمال

شاخص ذخیره آب‌های سطحی (SWSI)

شاخص SWSI به‌عنوان شاخص وابسته به مناطق کوهستانی توصیف گردیده و برف موجود در قله‌های کوهستانی یکی از اجزای اصلی این شاخص محسوب به- حساب می‌آید. ذخایر برف، مقدار جریان رودخانه‌ای، بارندگی و مقدار ذخایر منابع آبی داده‌های ورودی مورد نیاز برای محاسبه‌ی شاخص SWSI هستند

$$SWSI = [(a * P_{snow} + b * P_{prec} + c * P_{strm} + d * P_{res}) - 50] / 12 \quad (۶)$$

در رابطه‌ی فوق a ، b ، c ، و d وزن هریک از اجزاء در نظر گرفته شده در محاسبه SWSI است و مجموع آن‌ها برابر یک است. P_i نیز احتمال عدم تجاوز برای متغیر Δm (برف، باران، رواناب و مخزن) است. به‌دلیل وابستگی این شاخص به فصل‌های سال، در فصل زمستان ذخایر برف، بارندگی و مقدار آب پشت سدها منظور گردیده و در طول فصل تابستان جریان سطحی به عنوان یکی از مؤلفه‌های معادله جایگزین ذخایر برف می‌گردد. تفاضل از ۵۰٪ باعث می‌گردد تا جمع وزنی احتمالات عدم وقوع بیشتر روی صفر متمرکز گردد. در آخر تقسیم آن بر ۱۲ یک مقیاس دلخواه را بین $+۴/۲$ و $-۴/۲$ ایجاد می‌نماید که مشابه محدوده مقیاس پالمر است (جدول ۲). محاسبه‌ی این شاخص با محدودیت‌هایی مانند آسان نبودن تعیین وزن هر کدام از اجزاء رابطه‌ی ۶، نداشتن قطعیت زیاد در تعیین میزان آب حاصل از ذوب برف و نبود امکان برازش توزیع آماری مشخص بر داده‌های وزن‌دار شده همراه است. این امر، امکان مقایسه مناطق مختلف را با استفاده از این شاخص فراهم نمی‌سازد. برای رفع محدودیت‌های بالا، می‌توان به‌جای اجزای در نظر گرفته شده در معادله‌ی ۶ از سری زمانی مقادیر پیش‌بینی شده جریان و حجم مخزن استفاده کرد. بنابراین، به‌جای در نظر گرفتن بودجه‌ی برفی به‌صورت یک جزء از این رابطه، اثر آن به‌صورت غیر مستقیم در سری جریان و حجم مخزن ظاهر می‌شود. به- این منظور رابطه‌ی زیر برای محاسبه‌ی شاخص هیدرولوژیکی SWSI پیشنهاد شده است:

$$SWSI = \frac{P - 50}{12} \quad (۷)$$

X میانگین بارش و n تعداد دیده بانی بارندگی است. تابع گاما برای مقادیر صفر بارش ($x=0$) تعریف نشده‌است، این درحالی است که ممکن است داده‌های بارش برابر مقدار صفر در بین داده‌ها وجود داشته باشد. بنابراین تابع احتمال تجمعی که در برگیرنده مقادیر صفر هم باشد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$H(x) = q + (1 - q).G(x) \quad (۵)$$

که در آن، q احتمال صفر بودن مقدار بارش است. اگر m تعداد داده‌های بارندگی باشد که مقدار آن‌ها در سری زمانی معادل صفر است، q را می‌توان از رابطه $q = \frac{m}{n}$ برآورد کرد. تغییر شکل هم احتمالی تجمعی گاما به متغیر تصادفی Z (SPI) با میانگین صفر و واریانس یک صورت می‌گیرد. پدیده خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که مقادیر SPI به‌طور مداوم منفی شده و مقدار آن به -۱ یا کمتر برسد، در حالی که مقادیر مثبت آن نشان دهنده خاتمه‌ی خشکسالی می‌باشد (جدول ۱). از جمع مقادیر منفی SPI می‌توان برای تحلیل مشخصه‌های خشکسالی (مدت، بزرگی و شدت) استفاده کرد (McKee et al., 1993).

جدول ۱. طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI

| شدت ترسالی یا خشکسالی | مقدار شاخص |
|-----------------------|-----------------------------|
| ترسالی بسیار شدید | $SPI \geq +2$ |
| ترسالی شدید | $+1.99 \geq SPI \geq +1.5$ |
| ترسالی متوسط | $+1.49 \geq SPI \geq 1+$ |
| ترسالی خفیف | $+0.99 \geq SPI \geq +0.5$ |
| نرمال | $+0.49 \geq SPI \geq -0.49$ |
| خشکسالی خفیف | $-0.5 \geq SPI \geq -0.99$ |
| خشکسالی متوسط | $-1 \geq SPI \geq -1.49$ |
| خشکسالی شدید | $-1.5 \geq SPI \geq -1.99$ |
| خشکسالی بسیار شدید | $-2 \geq SPI$ |

داده‌های ماهانه‌ی بارش در طول دوره‌ی آماری (سال‌های آبی ۴۸-۱۳۴۷ تا ۷۹-۱۳۷۸) برای محاسبه‌ی شاخص SPI استفاده شدند.

SPI-3 را می‌توان برای تشخیص شروع و پایان خشکسالی و یا ترسالی در طول یک فصل بارانی استفاده کرد.

گستره مکانی خشکسالی

به منظور بررسی گستره‌ی خشکسالی، مقدار عددی سری-های زمانی مختلف SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی (مقدار عددی شاخص) در موقعیت مکانی هر ایستگاه به عنوان یک متغیر در نظر گرفته شد و گستره خشکسالی در هر مقطع زمانی با استفاده از روش لوگ کریجینک (نرم افزار Arc GIS) مشخص شد. شکل ۳ وسعت طبقات مختلف خشکسالی را در ماه بهمن برای دوره‌ی آماری ۱۳۷۹-۱۳۴۸ بر اساس مقیاس زمانی ۱۲ ماهه شاخص SPI نشان می‌دهد. نتایج نشان داد هرگاه در حوزه خشکسالی رخ دهد، بیش از ۵۰٪ از سطح حوزه در بیشتر از نیمی از دوره‌ی آماری از رخداد این پدیده در امان نبوده و آسیب دیده اند (شکل ۳). سال‌های ۱۳۴۹، ۱۳۵۰، ۱۳۵۲، ۱۳۵۳، ۱۳۵۴، ۱۳۶۰، ۱۳۶۱، ۱۳۶۴، ۱۳۶۸، ۱۳۶۹، ۱۳۷۰، ۱۳۷۶ و ۱۳۷۸ خشکسالی بحرانی (خشکسالی شدید) را پشت سر گذاشته اند و طی این سال‌ها خشکسالی بیش از ۷۵٪ سطح کل حوزه را در بر گرفته است. سال ۱۳۷۸ به عنوان بدترین سالی که بیش از ۹۹٪ کل سطح حوزه تحت تأثیر خشکسالی بوده، شناسایی شد. علاوه بر آن، سال‌های ۱۳۴۹ و ۱۳۵۰ به-ترتیب با ۹۵٪ و ۹۷٪ خشکسالی را تجربه کردند.

بررسی ویژگی‌های خشکسالی هیدرولوژیکی

خشکسالی هیدرولوژیکی به‌طور معمول از طریق اطلاعات موجود در ایستگاه‌های هیدرومتری، سطح آب دریاچه‌ها یا تراز آب زیرزمینی به دو صورت نقطه‌ای و منطقه‌ای ارزیابی می‌شود. ارزیابی نقطه‌ای بر اساس آمار موجود در منطقه (دبی رودخانه‌ها، تراز مخزن، تراز آب زیرزمینی در یک نقطه معین) انجام می‌شود. در صورتی که مؤلفه‌های مورد بررسی دو عامل دبی رودخانه‌ها و تراز مخزن باشند امکان ارزیابی منطقه‌ای آن با روشی که در خشکسالی اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت، به‌طور کامل متفاوت خواهد بود. اگرچه در مورد عامل سوم تراز آب زیرزمینی می‌توان از روشی مشابه استفاده نمود (Torabi,

که در آن P بر حسب درصد برابر است با احتمال محاسبه شده از روی تابع توزیع احتمال برازش داده شده به سری مجموع جریان و حجم مخزن. رابطه‌ی مذکور به روش اصلاحی SWSI معروف است (Garen, 1993).

جدول ۲. طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص SWSI

| شدت ترسالی یا خشکسالی | مقدار شاخص |
|-----------------------|---------------------|
| خیلی تر | $+3 \leq SWSI < +4$ |
| نسبتاً تر | $+2 \leq SWSI < +3$ |
| ترسالی کم | $+1 \leq SWSI < +2$ |
| نزدیک به نرمال | $-1 \leq SWSI < +1$ |
| خشکسالی کم | $-2 \leq SWSI < -1$ |
| نسبتاً خشک | $-3 \leq SWSI < -2$ |
| خیلی خشک | $-4 \leq SWSI < -3$ |

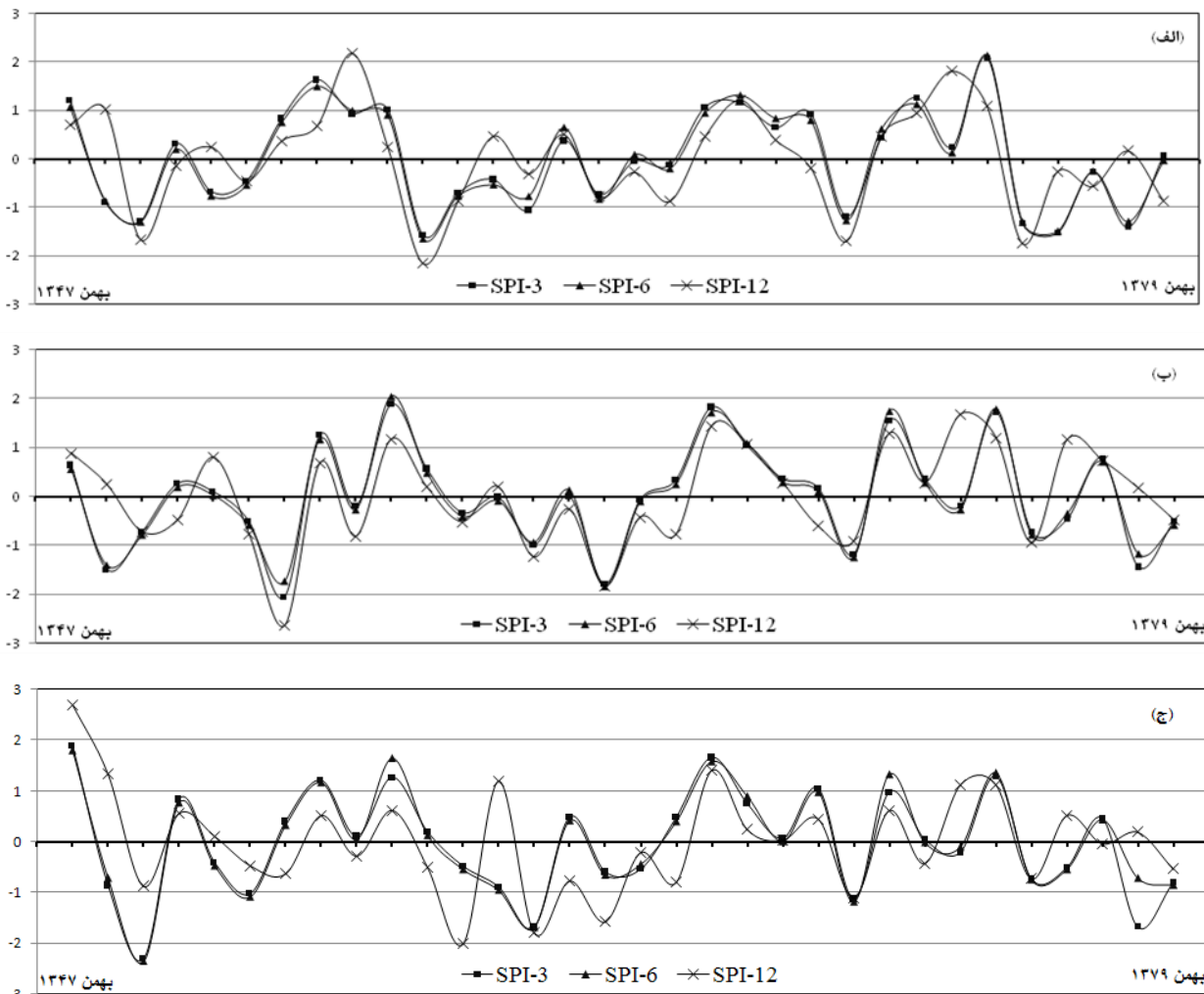
نتایج و بحث

تغییرات زمانی خشکسالی

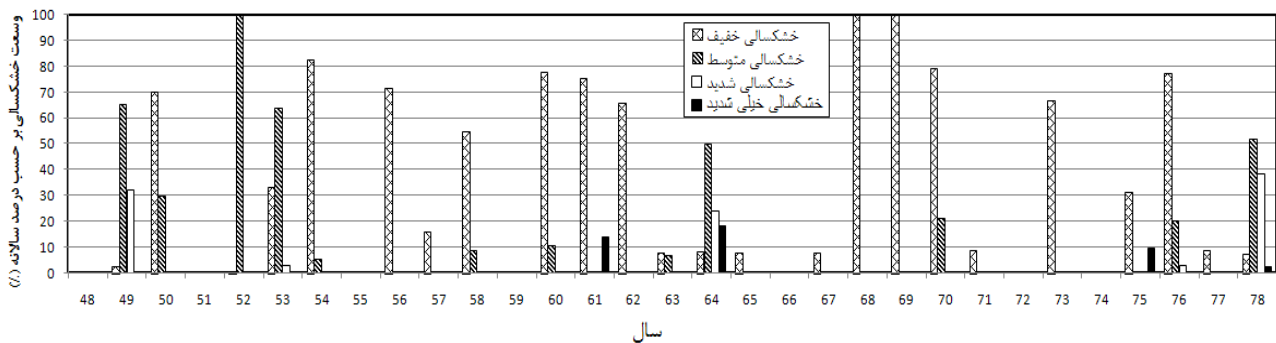
شاخص بارش استاندارد در مقیاس زمانی ۳ ماهه نشان دهنده‌ی دوره‌های کوتاه و متوسط رطوبتی است. همچنین می‌توان از این شاخص به‌عنوان ابزاری کارآمد برای تخمین فصلی بارش استفاده کرد. SPI در مقیاس زمانی ۶ ماهه (SPI-6)، نشان‌دهنده‌ی روندی متوسط در بارندگی و اختلاف در بارش‌های فصلی است. SPI در مقیاس ۱۲ ماهه، دوره‌های طولانی‌مدت بارش را نمایان می‌سازد (IDNR, 2007) سری‌های زمانی SPI در مقیاس‌های ۳، ۶ و ۱۲ ماهه برای ۱ ایستگاه هواشناسی و ۲ ایستگاه هیدرومتری برای ماه بهمن (پر باران ترین ماه) محاسبه شد (شکل ۲). SPI در بازه‌ی زمانی ۳ ماهه تنها یک خشکسالی با شدت بالا ($SPI < -2$) را در ایستگاه سد زاینده رود نشان می‌دهد. در حالی که SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه خشکسالی بسیار شدید را در ایستگاه چلگرد، قلعه شاهرخ و سد زاینده رود نمایان می‌کند. تکرار نسبتاً زیاد خشکسالی ($SPI < -1$) در ایستگاه سد زاینده رود را می‌توان به تغییرات بارش نسبت داد چراکه شاخص SPI نسبت به تغییرات بارش حساسیت زیادی از خود نشان می‌دهد. در صورتی که خشکسالی به مدت ۶ ماه و یا بیشتر در منطقه رخ دهد، ممکن است SPI-3 و SPI-6 در تشخیص خشکسالی دچار اشتباه شوند. علاوه بر آن،

مقیاس ماهانه و برای دوره‌ی آماری ۳۳ (۱۹۴۷-۱۹۷۹) ساله انجام گردید (شکل ۴).

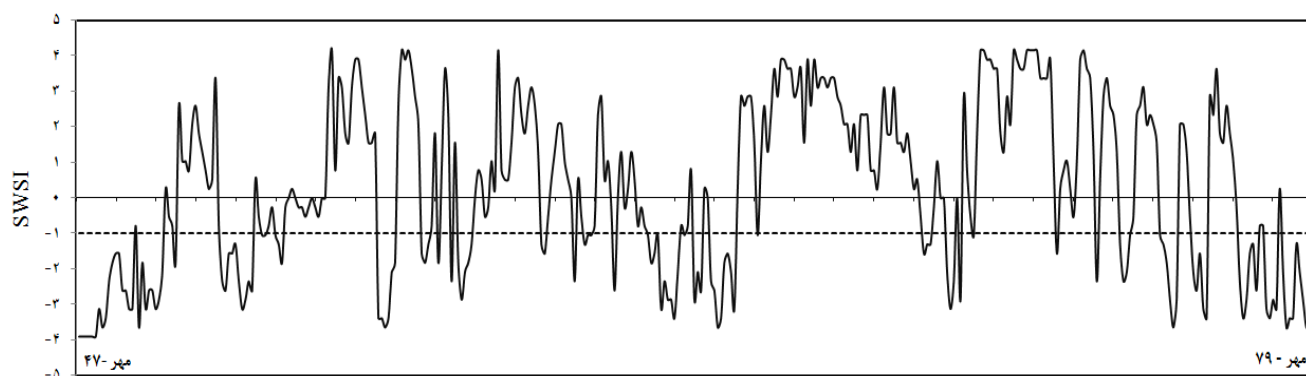
۲۰۰۲). به دلیل محدودیت در اطلاعات آب‌های سطحی، شاخص هیدرولوژیکی SWSI تنها به صورت نقطه ای براساس آمار دبی جریان ورودی به سد زاینده رود در



شکل ۲. تغییرات زمانی خشکسالی هواشناسی چلگرد (الف)، قلعه شاهرخ (ب) و سد زاینده‌رود (ج)



شکل ۳. گستره شدت خشکسالی در حوضه بر اساس شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه



شکل ۴. تغییرات زمانی شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی SWSI حوزه‌ی آبخیز زاینده‌رود (نقطه‌ای)

جدول ۳. ویژگی‌های خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در ایستگاه زاینده‌رود (۱۳۴۷ تا ۱۳۷۹)

| شماره | خصوصیات خشکسالی | | | |
|-------|-----------------|---------------|-------------|----------|
| | شروع خشکسالی | پایان خشکسالی | بزرگی (MCM) | شدت (mm) |
| ۱ | فروردین ۱۳۴۹ | بهمن ۱۳۴۹ | ۷۴۲/۳۱ | ۲/۲۱ |
| ۲ | فروردین ۱۳۵۰ | آبان ۱۳۵۰ | ۶۳۸/۳۳ | ۲/۵۹ |
| ۳ | اردیبهشت ۱۳۵۲ | بهمن ۱۳۵۲ | ۶۲۳/۳۶ | ۲/۰۴ |
| ۴ | اردیبهشت ۱۳۵۳ | خرداد ۱۳۵۳ | ۳۱۷/۹۳ | ۵/۱۳ |
| ۵ | شهریور ۱۳۵۳ | آبان ۱۳۵۳ | ۱۰۹/۱۸ | ۱/۲۱ |
| ۶ | فروردین ۱۳۵۶ | شهریور ۱۳۵۶ | ۵۲۹/۲۵ | ۲/۸۵ |
| ۷ | اردیبهشت ۱۳۵۷ | تیر ۱۳۵۷ | ۳۸۸/۶۴ | ۴/۱۸ |
| ۸ | فروردین ۱۳۵۸ | مرداد ۱۳۵۸ | ۶۴۱/۲۱ | ۴/۱۴ |
| ۹ | اردیبهشت ۱۳۶۰ | خرداد ۱۳۶۰ | ۳۱۱/۲۰ | ۵/۰۲ |
| ۱۰ | خرداد ۱۳۶۱ | مرداد ۱۳۶۱ | ۲۵۶/۵۹ | ۲/۷۶ |
| ۱۱ | دی ۱۳۶۲ | اردیبهشت ۱۳۶۴ | ۱۵۴۱/۶۰ | ۲/۹۹ |
| ۱۲ | مرداد ۱۳۶۴ | اسفند ۱۳۶۴ | ۳۸۸/۶۴ | ۱/۴۱ |
| ۱۳ | آذر ۱۳۶۹ | بهمن ۱۳۶۹ | ۱۳۸/۷۲ | ۱/۵۴ |
| ۱۴ | تیر ۱۳۷۰ | آبان ۱۳۷۰ | ۱۴۸/۱۲ | ۱/۴۴ |
| ۱۵ | آبان ۱۳۷۴ | بهمن ۱۳۷۴ | ۱۷۵/۳۲ | ۱/۴۶ |
| ۱۶ | آبان ۱۳۷۵ | فروردین ۱۳۷۶ | ۴۰۵/۸۹ | ۲/۲۵ |
| ۱۷ | شهریور ۱۳۷۶ | دی ۱۳۷۶ | ۱۷۲/۰۷ | ۱/۱۴ |
| ۱۸ | آبان ۱۳۷۷ | شهریور ۱۳۷۹ | ۱۸۱۶/۲۰ | ۲/۵۹ |

با این حال، نتایج نشان داد که همبستگی بین این دو متغیر در طول دوره‌ی آماری ضعیف است. باوجود همبستگی ضعیف بین شاخص‌ها، SPI در مقیاس زمانی یک ماهه (در مناطق مرطوب قابل قبول است) برای ارزیابی فاصله‌ی زمانی تشخیص خشکسالی بین دو شاخص استفاده شد. شکل ۵ شاخص SPI در مقیاس زمانی یک ماهه را در مقابل داده‌های استاندارد شده جریان در ایستگاه سد زاینده‌رود نشان می‌دهد. در هر دو شاخص،

بر اساس مقادیر SWSI، هرگاه مقدار شاخص کمتر از -۱ باشد، خشکسالی شروع و تا هنگامی که این شاخص به +۱ تبدیل نشود، خشکسالی ادامه خواهد یافت. بر این اساس چندین خشکسالی با طول دوره‌های متفاوت در منطقه شناسایی شد (جدول ۳). مقایسه‌ی خشکسالی‌ها نشان می‌دهد که تقریباً بیشتر خشکسالی‌ها دارای شدت‌های بالا هستند که در نیمه‌ی دوم سال آبی در منطقه رخ داده‌اند.

افزون بر این، شدیدترین خشکسالی شناسایی شده از نظر مدت، خشکسالی‌های شماره ۱۱ و ۱۸ بودند با بزرگی و شدت قابل توجه، در منطقه مستقر بوده‌اند. همچنین به لحاظ شدت، می‌توان به خشکسالی‌های شماره ۴، ۷، ۸ و ۹ اشاره کرد که نسبت به سایر خشکسالی‌ها دارای شدت بالایی هستند.

بررسی فاصله‌ی زمانی بین خشکسالی‌های

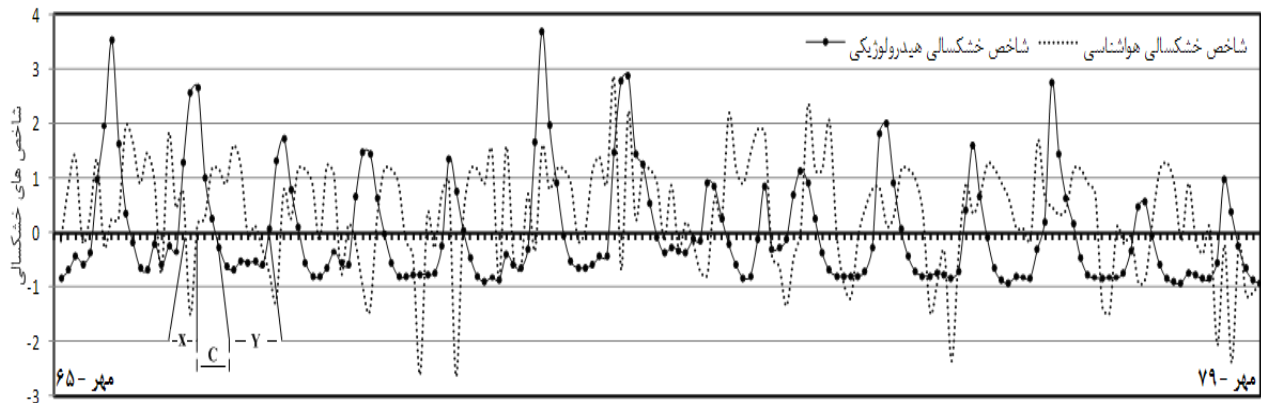
شناسایی شده توسط شاخص‌ها

برای شناسایی مناسب‌ترین مقیاس زمانی شاخص SPI و بررسی فاصله‌ی زمانی بین خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی، رابطه‌ی همبستگی خطی بین مقیاس‌های مختلف شاخص SPI برای ایستگاه چلگرد و داده‌های استاندارد شده جریان در ایستگاه سد زاینده‌رود انجام شد. بدلیل نبود هماهنگی کمی و کیفی بین دو شاخص SPI و SWSI، امکان مقایسه‌ی آن‌ها وجود نداشت. از این رو داده‌های استاندارد شده جریان سطحی برای مقایسه با SPI استفاده شد

نتایج همچنین نشان داد که فاصله‌ی زمانی خشکسالی‌های شناسایی شده بین ۳ تا ۱۱ ماه، با میانگین تداوم ۷ ماه متغیر است. این بدان معنی است که در صورتی که حوزه در بالا دست با کمبود بارش مواجه شود، حدود ۷ ماه زمان لازم است تا تغییرات آن در جریان آب در پایین دست (ایستگاه سد زاینده رود) نمایان شود (جدول ۴).

خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که مقدار عددی آن‌ها کمتر از صفر باشد. مدت خشکسالی در شکل با X و Y، بترتیب برای خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی نشان داده شده است. فاصله زمانی بین رخداد دو خشکسالی (نشان داده شده با حرف C در شکل ۵) شناسایی شده توسط شاخص‌ها در شکل، حاکی از اختلاف در شناسایی شروع، خاتمه و تداوم خشکسالی‌ها است.

شکل ۵. مقادیر استاندارد شده جریان سطحی (به‌عنوان شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی) در مقابل SPI (به‌عنوان شاخص خشکسالی هواشناسی) در مقیاس زمانی ۱ ماهه



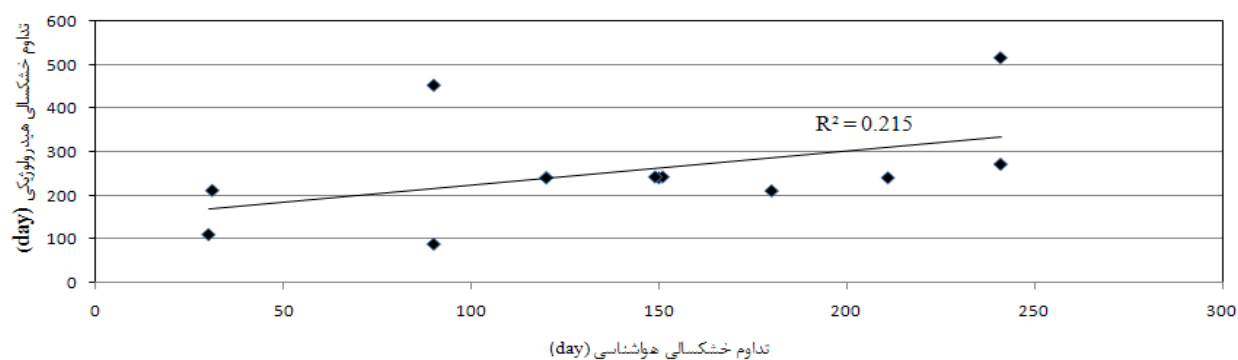
جدول ۴. مشخصه‌های خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی (۱۳۶۷ تا ۱۳۷۹)

| فاصله زمانی بین دو خشکسالی (روز) | خشکسالی هیدرولوژیکی | | | | خشکسالی هواشناسی | | | |
|----------------------------------|---------------------|-----------|-------------|-----------|------------------|-----------|---------------|--------------|
| | بزرگی (mm) | مدت (روز) | پایان | شروع | بزرگی (mm) | مدت (روز) | پایان | شروع |
| ۱۲۴ | ۷۰۸/۳۸ | ۲۱۲ | بهمن ۶۷ | مرداد ۶۷ | ۵۶ | ۳۱ | فروردین ۱۳۶۷ | فروردین ۱۳۶۷ |
| ۲۱۲ | ۸۶۷/۵۶ | ۲۴۱ | دی ۶۸ | مرداد ۶۸ | ۸۵۹ | ۱۵۰ | فروردین ۱۳۶۸ | آذر ۱۳۶۷ |
| ۱۸۲ | ۹۴۲/۳ | ۲۴۳ | بهمن ۶۹ | تیر ۶۹ | ۷۳۶ | ۱۵۱ | اردیبهشت ۱۳۶۹ | دی ۱۳۶۸ |
| ۲۷۲ | ۱۰۲۳/۵۱ | ۲۷۲ | اسفند ۷۰ | تیر ۷۰ | ۱۲۲۵ | ۲۴۱ | اردیبهشت ۱۳۷۰ | مهر ۱۳۶۹ |
| ۲۷۳ | ۱۰۱۶/۳۲ | ۲۱۱ | بهمن ۷۱ | مرداد ۷۱ | ۱۳۱۵ | ۱۸۰ | فروردین ۱۳۷۱ | آبان ۱۳۷۰ |
| ۳۳۴ | ۱۱۷۰/۲۹ | ۱۱۱ | اسفند ۷۲ | شهریور ۷۲ | ۴۰ | ۳۰ | مهر ۱۳۷۱ | مهر ۱۳۷۱ |
| ۲۷۲ | ۹۳۶/۵۴ | ۴۵۳ | آبان ۷۳ | تیر ۷۳ | ۳۶۱ | ۹۰ | آذر ۱۳۷۲ | مهر ۱۳۷۲ |
| ۳۳۵ | ۵۸۹/۰۱ | ۸۹ | اسفند ۷۳ | دی ۷۳ | ۵۰۷ | ۹۰ | فروردین ۱۳۷۳ | بهمن ۱۳۷۲ |
| ۱۸۳ | ۱۷۴۴/۱۲ | ۲۴۱ | اسفند ۷۴ | مرداد ۷۴ | ۶۰۲ | ۱۲۰ | فروردین ۱۳۷۴ | دی ۱۳۷۳ |
| ۳۰۳ | ۱۹۶۴/۶۵ | ۲۴۱ | اسفند ۷۵ | مرداد ۷۵ | ۲۹۹ | ۱۲۰ | دی ۱۳۷۴ | مهر ۱۳۷۴ |
| ۲۷۲ | ۲۲۳۵/۹۳ | ۲۴۳ | بهمن ۷۶ | تیر ۷۶ | ۵۶۴ | ۱۴۹ | اسفند ۱۳۷۵ | آبان ۱۳۷۵ |
| ۹۲ | ۲۵۲۶/۸۸ | ۲۱۱ | اردیبهشت ۷۸ | آبان ۷۷ | ۸۸۹ | ۲۴۱ | اسفند ۱۳۷۷ | مرداد ۱۳۷۷ |
| ۱۲۴ | ۷۲۴۹/۲۲ | ۲۴۱ | شهریور ۷۹ | مهر ۷۸ | ۱۰۴۱/۵ | ۵۱۶ | شهریور ۱۳۷۹ | خرداد ۱۳۷۸ |

۰/۲۱۵ است (جدول ۴). نتایج همچنین نشان داد که تداوم خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی روند افزایشی داشته است (شکل ۶).

بررسی مشخصه‌های خشکسالی

* مدت: ضریب همبستگی بین مدت خشکسالی در خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی (R^2) برابر

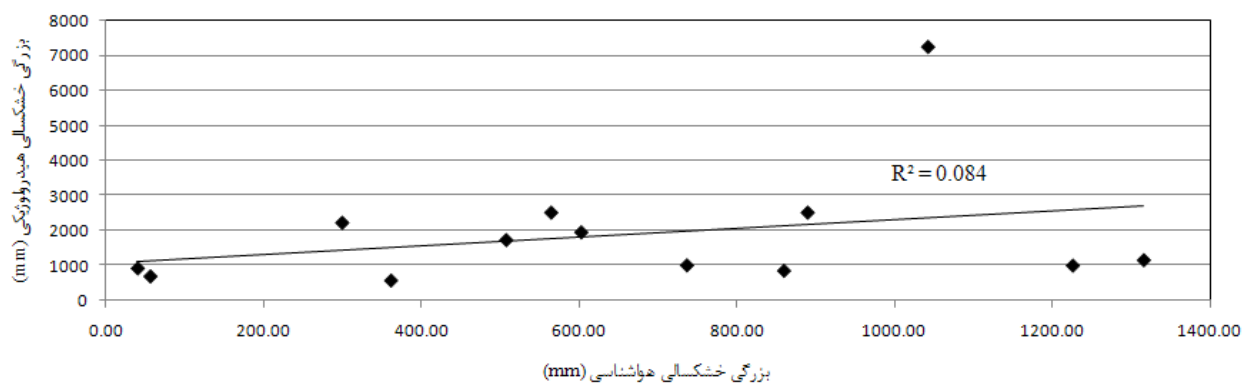


شکل ۶. رابطه میان تداوم‌های خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی

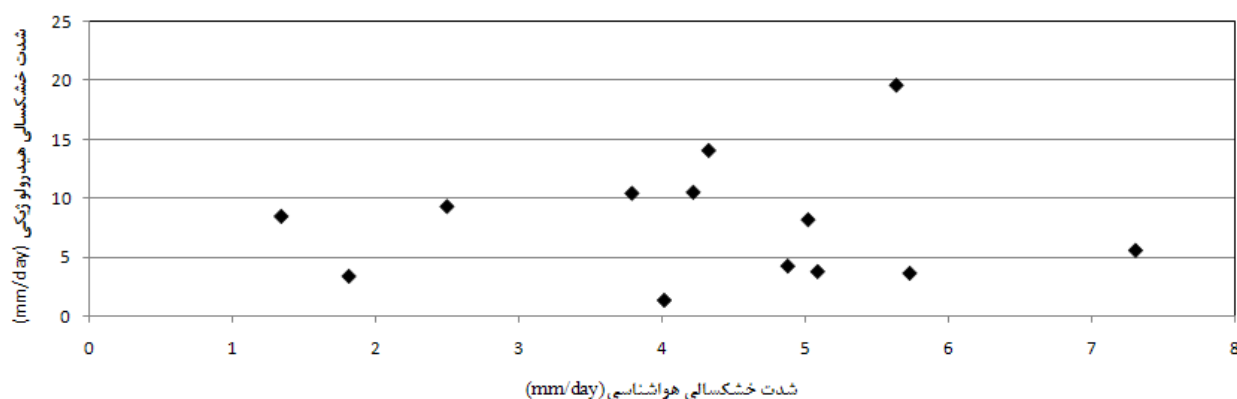
همبستگی بالا، با داشتن بزرگی هواشناسی می‌توان بزرگی خشکسالی هیدرولوژیکی را با در نظر گرفتن فاصله‌ی زمانی بین دو خشکسالی تخمین زد (شکل ۷).

* شدت: این مشخصه همان نسبت بزرگی به مدت در هر دوره‌ی خشکسالی است. میزان ضریب همبستگی بین شدت‌های خشکسالی‌ها، پایین و رابطه قوی و معنی داری را نشان نمی‌دهد (شکل ۸).

* بزرگی: بررسی رابطه‌ی همبستگی بین مشخصه بزرگی در خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی (با ضریب همبستگی ۰/۰۸۴) نشان داد که همبستگی کمتری نسبت به همبستگی بین مدت دو خشکسالی وجود دارد. سری مقادیر مشخصه بزرگی با جمع کردن مقادیر منفی متوالی برای هر شاخص به دست آمد (جدول ۴). در صورت وجود



شکل ۷. رابطه میان مشخصه بزرگی خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی



شکل ۸. رابطه شدت‌های خشکسالی‌ها در خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی

بین ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی در سطح حوزه‌ی آبخیز را نشان می‌دهد. خشکسالی‌های هواشناسی رخ داده در بالادست دارای مدت کمتر و بزرگی بیشتری نسبت به خشکسالی‌های هیدرولوژیکی رخ داده در پایین دست هستند. بر همین اساس تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که خشکسالی‌های هیدرولوژیکی بوقوع پیوسته دارای شدت بیشتری نسبت به خشکسالی‌های هواشناسی هستند. بنابراین می‌توان بیان کرد که، خشکسالی هیدرولوژیکی که در پایین دست رخ می‌دهد، همان خشکسالی هواشناسی می‌باشد که در بالادست اتفاق افتاده است. با فاصله زمانی ۳ تا ۱۱ ماه (میانگین ۷ ماه)، تأثیر خشکسالی هواشناسی در پایین دست پدیدار شده است، ولی ویژگی‌های آن متفاوت از خشکسالی‌های رخ داده در بالادست است. با تعیین خشکسالی هواشناسی در بالا دست این حوزه می‌توان خشکسالی هیدرولوژیکی را در پایین دست پیش بینی کرد. تفاوت میان ویژگی‌های خشکسالی در نقاط مختلف حوزه را می‌توان ناشی از عواملی غیر از بارش، مانند خصوصیات فیزیوگرافی، جنس خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و به طور کلی عوامل مورفولوژیکی و اقلیمی (خصوصیات مستقل) دانست. از مهم‌ترین خصوصیات مستقل می‌توان به میانگین بارش سالانه، شیب متوسط حوزه و درصد سازندهای نفوذپذیر در سطح حوزه اشاره نمود.

نتایج نشان داد که پایش و پیش‌هشدار خشکسالی توسط شاخص‌های هواشناسی تنها بر اساس آمار نقطه‌ای در ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود ارزیابی می‌گردد، این در حالی است که این منطقه به شدت تحت تأثیر بارش در بالادست و سفره‌های آب زیرزمینی است. این موضوع گویای این امر است که داده‌های بارندگی به تنهایی نمی‌تواند نشان‌گر وضعیت خشکسالی منطقه باشد. استفاده هم‌زمان از شاخص‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌تواند ابزاری مناسب جهت جداسازی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و همچنین ارزیابی خشکسالی منطقه باشد. نتایج نشان‌دهنده‌ی این است که خشکسالی هیدرولوژیکی با تأخیر زمانی (میانگین ۷ ماه) نسبت به خشکسالی هواشناسی در منطقه رخ می‌دهد. نبود انطباق بین مشخصه‌های خشکسالی هواشناسی با خشکسالی هیدرولوژیکی نشان می‌دهد که افزون بر بارش مؤلفه‌های دیگری نیز در خشکسالی هیدرولوژیکی نقش دارند.

Mozafari (2006)، نداشتن انطباق بین خشکسالی هواشناسی با خشکسالی هیدرولوژیکی و همبستگی ضعیف بین مشخصه‌های خشکسالی در دو حوزه‌ی آبخیز همجوار در دامنه‌ی شمالی شیرکوه یزد را ویژگی‌های فیزیوگرافی و نوع کاربری زمین دانسته است. افزون بر آن، می‌توان به عواملی چون میانگین بارندگی سالانه و نفوذپذیری حوزه اشاره کرد.

نتیجه گیری

پایین بودن ضریب همبستگی بین مشخصه‌های خشکسالی (یعنی؛ مدت، بزرگی و شدت)، نداشتن انطباق

References

- Anttil, F., Larouche, W., & Viau, A. A., 2002. Exploration of the standardized precipitation index with regional analysis, Canadian Journal of Soil Science, 82: 115-125.
- Desken, N.J., & Mckee, T.B., 1991. Drought monitoring in western United States using a surface water supply index, 7th Conference on Applied Climatology, 10-13 September 1991, Salt Lake City, USA, pp. 77-80.
- Domonkos, P., 2003. Recent precipitation trends in Hungary in the context of larger scale climatic changes, Natural Hazards, 29: 255-271.
- Garen, D., 1993. Revised surface water supply index for western United States, Journal of Water Resources Planning and Management, 119: 164-454.
- Guttman, N. B., 1998. Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index, Journal of the American Water Resources Association, 34: 113-121.
- Graeme, J., & Harpal, S., 2004. Agro meteorology principles and applications of

- climate studies in agriculture, New York, USA.
- Indiana Department of Natural Resources (IDNR), (2007) Indiana Water resource update page: Standard Precipitation Index (SPI). Visited December 25, 2010, from http://www.in.gov/dnrwater/water_availability/WaterResource/spi.htm
- Komuscu, A. U., 1999. Using the SPI to analyze spatial and temporal pattern of drought in Turkey, *Drought Network News*, 11: 7-13.
- Lana, X., Serra C., & Burgueno, A., 2002. Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of the standardized precipitation index for Catalonia (NE Spain), *International Journal of Climatology*, 21: 1669-1691.
- Lloyd-Hughes, B., & Saunders, M.A., 2002. A drought climatology for Europe, *International Journal of Climatology*, 22: 1571-1592.
- McKee, T.B., N.J. Doesken, and Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California, pp. 179-184.
- Maybank, J., Bonsal, B., Jones K., Lawford, R., O'Brien, E. G., Ripley, E. A., & Wheaton, E., 1995. Drought as a natural disaster, *Atmosphere-Ocean*, 33: 195-222.
- Min, S. K., Kwon, W. T., Park, E. H., & Choi, Y., 2003. Spatial & temporal comparisons of droughts over Korea with East Asia, *International Journal of Climatology*, 23: 223-233.
- Mathieu, R., & Richard, Y., 2003. Intensity and spatial extension of drought in South Africa at different time scales, *Water SA*, 29: 489-500.
- Morid, S., & Paymzd S. H., 2006. Comparison of hydrological and meteorological methods for daily water supply index. *Journal of Science and Technology of Agricultural and Natural Resource*, 11: 325-333, (in Farsi).
- Mozafari, G. H., 2006. Meteorological and hydrological drought inequality in two basins in the northern range of Shirkoh, *Journal of Agricultural Sciences, Special Geography*, 4: 173-190, (in Farsi).
- Pandey, R. P, Mishra, S. K, Singh, R., & Ramasastri, K. S., 2008. Streamflow drought severity analysis of Betwa river system (India), *Water Resources Management*, 22: 1127-1141.
- Paulo, A. A., Pereira, L. S., & Matias, P. G., 2001. Analyses of local and regional droughts in southern Portugal. Proceedings workshop on drought mitigation for the near east and the Mediterranean, ICARDA, 14-16 October 2001, Aleppo, Syria.
- Raziei, T., Sagfahian, B., Paulo, A. A., Pereira, L. S., & Bordi, I., 2009. Spatial patterns and temporal variability of draught in Iran, *Water Resources Management*, 23: 439-455.
- Salemi, H. R., & Murray-Rust, H., 2000. Water supply and demand forecasting for the ZayandehRood.
- Shaban, A., 2009. Indicators and aspects of hydrological draught in Lebanon, *Water Resources Management*, 23: 1875-1891.
- Shafer, B. A., & Dezman, L. E., 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. Proceeding of the Western Snow Conference, 20 April 1982, Nevada, USA, pp. 164-175.
- Seiler, R., Hayes M., & Bressan, L., 2002. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring, *International Journal of Climatology*, 22: 1365-1376.
- Torabi, S., 2002. Drought prediction and characteristic analysis and its effects on water resources, PhD Thesis, Department of Civil Engineering, Amir Kabir University of Technology.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., & Vangelis H., 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resource Management*, 21: 821-833.
- Wilhite, D. A., & Buchanan-Smith, M., 2005. Drought as hazard: understanding the natural and social context. In: *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues*, Wilhite DA (ed.). CRC Press, Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL.
- Yildiz, O., 2009. Assessing temporal and spatial characteristics of droughts in the Hirfanli dam basin, Turkey, *Scientific Research and Essay*, 4: 249-255.

Wu, H., Hayes, M. J., Weiss, A., & Hu, Q.,
2001. An evaluation of the standardized
precipitation index, the China-Z Index and

the statistical Z-Score, *International Journal
of Climatology*, 21: 745–758.

Time interval identification of the occurrences of meteorological and hydrological droughts in Zayandeh-Rud basin

1- H. Babaei, MSc student, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Tehran University, Karaj, Iran

hamidbabaei1@gmail.com

2- S. Araghinejad, Assistant professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Tehran University, Karaj, Iran.

3- A. Horfar, Assistant professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Tehran University, Karaj, Iran

Received: 2 Nov 2010

Accepted: 20 Apr 2011

Abstract

The objective of this study was to analyze the relationship between meteorological and hydrological droughts using related variables in the Zayandeh-Rud basin. Standardized Precipitation Index (SPI) and Surface Water supply Index (SWSI) were used to evaluate the temporal and spatial variations of meteorological and hydrological droughts. Drought monitoring in the basin shows that the phenomenon has occurred in different years during the statistical periods. Analysis of the 12-months time scale of SPI proves the occurrence of the main drought in all of the basin area during the period of 1999 to 2001. The hydrological drought analysis also shows that the most severe drought has occurred between October 1998 to September 2001. Moreover, analysis of the correlation between meteorological and hydrological droughts indicates a difference in start time of droughts diagnosed by using these two drought indices. However, this lag time is varied on average of 7 months with a variation of 3 to 11 months.

Keywords: Drought, Standard Precipitation Index, Surface Water Supply Index, Zayandeh-Rud