

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره نهم، شماره سی و پنجم، بهار ۱۳۹۸

تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۱۲/۱۴

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۲۸

صص ۲۹-۴۳

**بررسی تأثیر خشک‌سالی‌های هواشناسی بر کمیت و تداوم رواناب‌های سطحی در مناطق خشک
(مطالعه‌ی موردی: استان کرمان)**

سمیه یوسف‌زاده، دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری-دانشگاه کاشان

رضا قضاوی*، دانشیار آبخیزداری-دانشگاه کاشان

سیامک دخانی، استادیار آبخیزداری-دانشگاه کاشان

چکیده

هدف تحقیق حاضر، بررسی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی منطقه و بررسی ارتباط آن‌ها می‌باشد. بدین منظور، پس از بررسی همگنی و رفع نواقص آماری به ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SPI و SRI در مقیاس‌های مختلف زمانی پرداخته شد. سپس ارتباط بین خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی هیدرولوژیکی و ارتباط بین خشک‌سالی هواشناسی با وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیکی با تأخیرهای زمانی مختلف، با استفاده از همبستگی پیرسون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی وضعیت خشک‌سالی و مقایسه شاخص‌های مذکور نشان داد که در همه ایستگاه‌های هواشناسی از حدود سال ۱۳۷۹ دوره‌های خشک‌سالی افزایش یافته و بیشترین ارتباط بین این دو نوع خشک‌سالی، در دوره ۴۸ ماهه است. همچنین بر اساس نتایج شدت خشک‌سالی هیدرولوژیکی در منطقه بیشتر از خشک‌سالی هواشناسی است. براساس مقدار میانگین شاخص‌های خشک‌سالی، تعداد دوره‌های خشک‌سالی‌های هواشناسی ۱۴ سال، و تعداد دوره‌های خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی ۱۵ سال بوده که شدیدترین آن‌ها به ترتیب در سالهای ۱۳۶۷ و ۱۳۸۷ رخ داده است. خشک‌سالی هواشناسی در ابتدای دوره مطالعه تأثیر زیادی روی خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی نداشته؛ ولی از سال ۱۳۸۳ شدت خشک‌سالی هیدرولوژیکی در منطقه افزایش یافته است. همبستگی بین شاخص SPI و شاخص SRI در ایستگاه‌های مختلف مورد مطالعه، روند یکسانی نداشته و بیشترین معنی‌داری بین شاخص‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی ۴۸ ماهه وجود داشته است (۶ مورد از مجموع ۱۱ مورد با ضریب همبستگی بین ۰/۵۳ تا ۰/۸۷۲). بر اساس نتایج حاصل از همبستگی پیرسون بین دو شاخص مورد استفاده با تأخیرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ ماهه، در ۹ ایستگاه بیشترین مقدار همبستگی بین شاخص SPI هر دوره با شاخص SRI همان دوره مشاهده شد. بنابر نتایج حاصله، خشک‌سالی هواشناسی بلافاصله باعث کاهش جریان رودخانه‌های منطقه شده و بر شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارد.

واژگان کلیدی: خشک‌سالی، شاخص SPI، شاخص SRI، همبستگی پیرسون، استان کرمان.

*Email: ghazavi@kashanu.ac.ir

نویسنده‌ی مسئول:

مقاله حاضر مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد سمیه یوسف‌زاده تحت عنوان "تحلیل ارتباط بین خشک‌سالی‌های اقلیمی و فراوانی دبی‌های سیلابی در مناطق خشک" است.

۱- مقدمه

خشک‌سالی یکی از شایع‌ترین و پرخطرترین بلاها در سرتاسر جهان است که تداوم آن باعث ایجاد ضرر و زیان قابل توجه اقتصادی و کشاورزی می‌شود (Wang et al., 2018: 149-162). خشک‌سالی‌ها به‌طور کلی به خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی اجتماعی طبقه‌بندی می‌شوند (Ayantobo et al., 2017: 549-567). اگر مقدار بارندگی سالانه کم‌تر از میانگین درازمدت باشد، به آن خشک‌سالی هواشناسی می‌گویند (میرجلیلی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۴۵-۱۵۶). خشک‌سالی هواشناسی ناشی از کمبود بارندگی است که در صورت تداوم منجر به خشک‌سالی هیدرولوژیکی و کشاورزی می‌شود (شکری کوچک و بهنیا، ۱۳۹۲: ۱۱-۱۲). خشک‌سالی هیدرولوژیکی در ادامه‌ی خشک‌سالی هواشناسی و با تأخیر زمانی به وقوع می‌پیوندد و از طریق کاهش میزان ذخیره‌ی آب دریاچه‌ها، پایین رفتن سطوح آب‌های زیرزمینی و کاهش دبی جریان رودخانه‌های تشخیص داده می‌شود و معمولاً بر منطقه‌ی وسیعی تأثیر می‌گذارد (سلاجقه و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۰۰-۸۹). متداول‌ترین تعریف کمی خشک‌سالی هیدرولوژیکی بر اساس تعیین یک حد آستانه است که اگر جریان رودخانه کم‌تر از آن باشد، به‌عنوان خشک‌سالی هیدرولوژیکی شناخته می‌شود (Tallasken, 2000: 103-117).

بحران آبی در سال‌هایی نمایان‌تر می‌شود که پدیده‌ی خشک‌سالی رخ دهد و یکی از تبعات خشک‌سالی به حداقل رسیدن آب رودخانه‌هاست (اسلامیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۹۰-۷۵). بررسی‌ها حاکی از آن است که بیش‌تر تحقیقات، تنها به تحلیل خشک‌سالی هواشناسی پرداختند و مسئله‌ی خشک‌سالی هیدرولوژیکی که اغلب خسارات جبران‌ناپذیری بر ابعاد مختلف محیط و جوامع بشری تحمیل می‌کند، کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۷۰-۱۵۹).

برای بیان کمی و ارزیابی خشک‌سالی در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، از شاخص‌های خشک‌سالی استفاده می‌شود (اختری و همکاران، ۱۳۸۵: ۳۸-۲۷). تاکنون از شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی خشک‌سالی استفاده شده است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به شاخص بارش استاندارد شده‌ی^۱ (SPI)، شاخص رواناب استاندارد شده‌ی^۲ (SRI)، شاخص پالمر^۳ (PDSI) و شاخص خشک‌سالی جریان^۴ (SDI) اشاره نمود (اسدی و همکاران، ۱۳۹۵).

در این بین، یکی از مرسوم‌ترین شاخص‌ها در تعیین اندازه‌ی خشک‌سالی، شاخص استاندارد شده‌ی بارش یا SPI است. در میان شاخص‌های هواشناسی، این شاخص از کاربرد گسترده‌تری برخوردار است و به فراوانی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای، قاره‌ای و جهانی مورد استفاده قرار گرفته است. SPI یک شاخص بسیار قوی و درعین حال ساده از لحاظ محاسبات است. مزیت بسیار مهم و اصلی SPI قابلیت محاسبه‌ی آن در مقیاس‌های زمانی مختلف است که بر این اساس می‌توان خشک‌سالی‌های کوتاه‌مدت و نیز بلندمدت را مورد بررسی قرار داد (Mckee, 1993).

در رابطه با تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر رواناب‌های سطحی تحقیقات متعددی صورت گرفته، اما نتایج این مطالعات در مناطق مختلف آب و هوایی، متفاوت بوده است. در این زمینه می‌توان به تحقیقات ویکنت‌سرانو^۵ و لویز-مورنو^۶ (۲۰۰۵) در اسپانیا، ادوسا^۷ و همکاران (۲۰۱۰) در حوضه‌ی رودخانه‌ی آواش اتیوپی، توکارکزیک^۸ و زالینسکا^۹ (۲۰۱۴) در لهستان،

1- Standardization Precipitation Index

2- Standardization Runoff Index

3- Palmer Drought Severity Index

4- Streamflow Drought Index

5- Vicente-Serrano

6- Lopez-Moreno

7- Edossa

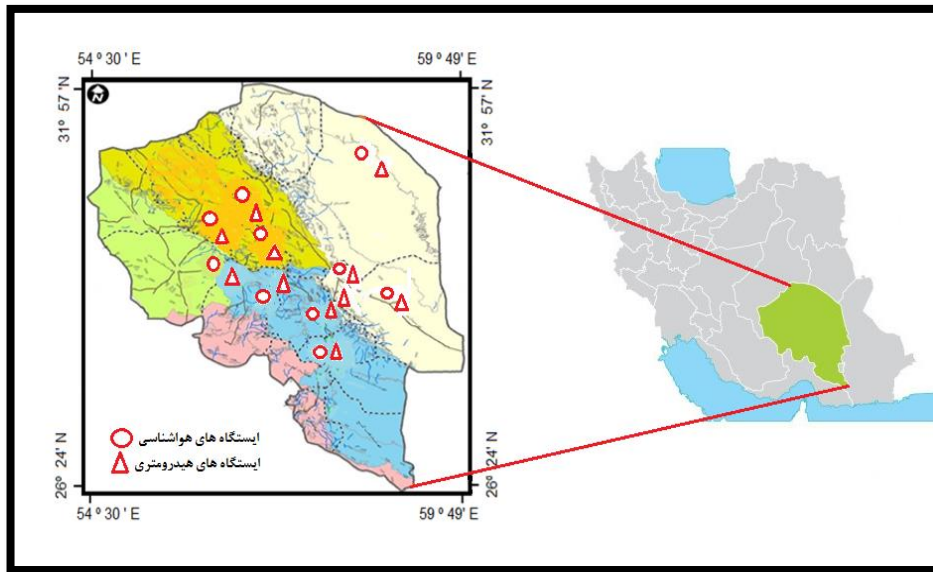
8- Tokarczyk

9- Szalinska

جوان و همکاران (۲۰۱۶) در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه و بادو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۸) در زیمباوه اشاره کرد. در داخل کشور نیز در مورد ارتباط بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدروژیکی مطالعاتی در نقاط مختلف انجام شده است که می‌توان به مطالعات ملکی‌نژاد و سلیمانی مطلق (۱۳۹۰)، مفیدی‌پور و همکاران (۱۳۹۱)، علیمیرزایی و همکاران (۱۳۹۵)، و کیلی-فرد و همکاران (۱۳۹۶) و حصیرچیان و همکاران (۱۳۹۷) اشاره کرد. بررسی نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که اگرچه در اکثر موارد بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی ارتباط معنی‌داری وجود داشته، اما پاسخ هیدرولوژیکی حوضه‌های مختلف به پدیده‌ی خشک‌سالی متفاوت بوده و این تأثیرات در مناطق خشک شدیدتر و با سرعت بیش‌تری نمایان شده است. استان کرمان در رده‌های نخست خشک‌سالی در ایران قرار دارد (جهان‌شاهی و همکاران، ۱۳۹۵: ۹۸-۸۵) و تاکنون مطالعه‌ای که در آن تأثیر خشک‌سالی‌های هواشناسی بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی به‌طور جامع و در چندین حوضه به‌صورت هم‌زمان بررسی شده باشد، در این استان انجام نشده است. نوآوری این مطالعه نیز بررسی ارتباط زمانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در این استان است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی ارتباط خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی استان کرمان با استفاده از دو شاخص SPI و SRI و بررسی ارتباط این شاخص‌ها با یکدیگر است.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

استان کرمان در جنوب شرقی ایران بین مختصات جغرافیایی ۳۰° ۵۴' تا ۴۹° ۴۹' طول شرقی و ۲۴' ۲۶° تا ۵۷' ۳۱° عرض‌های شمالی واقع شده است (شکل ۱). وسعت این استان معادل ۱۷۵۰۶۹ کیلومترمربع است. از مشخصات مهم این منطقه رطوبت و بارندگی کم، اختلاف درجه حرارت زیاد در طول شبانه‌روز و در فصول تابستان و زمستان و تبخیر بالقوه‌ی فوق‌العاده زیاد است. استان کرمان از عوامل منطقه‌ای متعددی تأثیر می‌پذیرد که از جمله این عوامل می‌توان قرارگیری کویر لوت در شرق، وجود کوه‌های مرکزی و رشته‌کوه‌های زاگرس، فیزیوگرافی منطقه، عرض جغرافیایی پایین، زیاد بودن زمان تابش خورشید، تأثیر توده‌های هوایی مختلف و... اشاره نمود. متوسط بارندگی سالانه در این استان حدود ۱۴۵ میلی‌متر است که این مقدار حدود ۵۸ درصد متوسط بارش سالانه کشور و حدود ۱۹ درصد میانگین بارش جهانی است. بیش‌ترین مقدار بارش در استان حدود ۵۰۰ میلی‌متر (در قله کوه‌های هزار - لاله‌زار) و کم‌ترین میزان بارندگی حدود ۲۰ میلی‌متر در سال (بیابان‌های پست و کم ارتفاع لوت واقع در شمال خاوری) گزارش شده است (شاهی-دشت و عباس‌نژاد ۱۳۸۹: ۱۳-۱). بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن تمامی ایستگاه‌های آن به‌استثنای بافت که نیمه‌خشک است، دارای اقلیم خشک می‌باشند (هاشمی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۸-۴۳). میانگین دما در مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی استان بین ۱۷ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد و در نواحی کوهستانی ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. کم‌ترین ارتفاع استان، دشت لوت (حداقل ۵۶ متر از سطح دریا) و بیش‌ترین ارتفاع قله، کوه‌های هزار (۴۴۶۵ متر از سطح دریا) است. تبخیر و تعرق در مناطق مختلف استان از ۱۵۰۰ تا ۴۵۰۰ میلی‌متر در سال نوسان دارد (استان‌شناسی کرمان، ۱۳۹۱).



شکل ۱: نقشه‌ی موقعیت استان کرمان و ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی مورد مطالعه

نام ایستگاه هیدرومتری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام ایستگاه باران‌سنجی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
پل‌بافت	۵۶° ۳۷' ۳۲	۲۹° ۱۴' ۰۸	سیرجان	۵۵° ۴۱' ۲۴	۲۹° ۲۶' ۰۲
کهنک‌شیبانی	۵۷° ۴۵' ۱۰	۲۸° ۱۸' ۵۵	خانه‌خاتون	۵۷° ۵۰' ۴۵	۲۹° ۲۵' ۲۴
زارین	۵۷° ۴۷' ۳۲	۲۸° ۵۴' ۳۲	دارزین	۵۸° ۰۷' ۱۵	۲۹° ۱۲' ۳۰
میدان	۵۷° ۰۰' ۲۲	۲۹° ۰۹' ۵۴	چهارفرسخ	۵۷° ۳۲' ۲۳	۳۰° ۲۲' ۵۲
یالخری	۵۸° ۲۹' ۱۵	۲۸° ۳۹' ۴۱	بردسیر	۵۶° ۴۹' ۲۸	۲۹° ۳۰' ۵۵
آدوری	۵۸° ۰۷' ۳۱	۲۸° ۵۸' ۳۰	سنگ‌صیاد	۵۶° ۴۶' ۲۴	۲۹° ۳۹' ۵۴
چهارفرسخ	۵۷° ۳۲' ۲۳	۳۰° ۲۳' ۵۳	یالخری	۵۸° ۲۹' ۵۹	۲۸° ۴۰' ۷۳
گدارزارچوئیه	۵۶° ۳۹' ۲۶	۲۹° ۳۶' ۴۱	چهارطاق	۵۷° ۰۸' ۲۴	۲۹° ۳۰' ۱۰
هچین	۵۶° ۳۴' ۰۳	۲۹° ۴۲' ۱۱	حسین‌آباد	۵۷° ۳۵' ۳۲	۲۸° ۴۶' ۵۶
شاهزاده‌عباس	۵۶° ۲۷' ۴۰	۳۰° ۰۲' ۱۵	حیدرآباد	۵۷° ۳۷' ۲۴	۲۸° ۱۵' ۲۹
سوراخ‌مار	۵۷° ۵۳' ۱۶	۲۹° ۱۰' ۵۲			

منبع (سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان)

۳- مواد و روش‌ها

در این مطالعه به منظور بررسی ارتباط خشک‌سالی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی در استان کرمان از شاخص‌های SPI و SRI استفاده شد. به این منظور ابتدا آمار بارش مربوط به ۱۰ ایستگاه هواشناسی و ۱۱ ایستگاه هیدرومتری که در بالادست آن سدی وجود نداشت، از سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان و سازمان هواشناسی برای یک دوره‌ی ۳۰ ساله استخراج شد (شکل ۱ و جدول ۱). پس از رفع نواقص آماری، شاخص‌های SPI و SRI با استفاده از نرم‌افزار ZimaSPI تحت نرم‌افزار MATLAB، در دوره‌های ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه شد. سپس خشک‌سالی هر ایستگاه هواشناسی با خشک‌سالی ایستگاه هیدرومتری مجاور آن مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. به منظور بررسی ارتباط

زمانی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی ارتباط بین شاخص SPI هر دوره با شاخص SRI همان دوره و SRI با تأخیرهای زمانی ۱ تا ۴ ماه با استفاده از همبستگی پیرسون بررسی شد.

۳-۱- شاخص SPI

برای محاسبه‌ی این شاخص، تنها احتیاج به داده‌های بارش است. این شاخص در تشخیص دوره‌های تر و خشک بسیار مؤثر عمل می‌کند. به‌طور معمول برای محاسبه‌ی شاخص SPI نیاز به ۲۰ تا ۳۰ سال داده‌ی ماهانه‌ی بارش است. در این مطالعه، جهت محاسبه‌ی شاخص SPI سری‌های زمانی با توزیع‌های مختلف برازش داده شد و در نهایت بهترین روش توزیع گاما و پیرسون، تیپ سه شناخته شد. توزیع آماری گاما برازش خوبی با سری زمانی اقلیمی بارندگی دارد. اگر این شاخص منفی باشد، دوره‌ی خشکی آغاز شده و هر جا به صفر برسد، خشکی پایان یافته است (Mckee, 1993). چنانچه سری‌های زمانی بارندگی ماهانه‌ی ایستگاه‌های منطقه به‌صورت P_j معرفی شوند که در آن اندیس i سال هیدرولوژیکی و اندیس j ماه مربوط به سال بارندگی را مشخص کند ($j=1$ مهر و $j=12$ شهریور)، سری‌های زمانی بارندگی با مدت‌های مختلف را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی (۱) به دست آورد.

$$R_{ik} = \sum_{j=1} P_{ij} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

در این رابطه:

$i = 1, 2, \dots$ $j = 1, 2, \dots, 12$ $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$
شاخص بارش استاندارد (SPI) بر اساس ارتفاع بارش تجمعی (R_{ik}) برای دوره‌ی مبنای (K) مربوط به سال (i) سال هیدرولوژیکی به‌صورت رابطه‌ی شماره‌ی ۲ به دست می‌آید.

$$SPI_{ik} = \frac{R_{ik} - \bar{R}_{ik}}{S_{ik}} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

که در آن:

$i = 1, 2, \dots$ $j = 1, 2, \dots$ $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$
 R_{ik} میانگین ارتفاع بارش تجمعی، S_{ik} انحراف معیار بارش تجمعی برای دوره‌ی مبنای k است (مصباح‌زاده و سلیمانی ساردو، ۱۳۹۶).

۳-۲- شاخص رواناب استاندارد شده SRI

شاخص رواناب استاندارد شده‌ی (SRI) توسط شوکلا و وود^{۱۱} (۲۰۰۸) ارائه شد. این شاخص بر پایه‌ی شاخص SPI استوار است. جهت محاسبه‌ی این شاخص، دقیقاً همانند محاسبات در شاخص SPI عمل می‌شود، فقط با این تفاوت که به‌جای داده‌های بارش، از سری داده‌های رواناب سطحی به‌عنوان داده ورودی استفاده می‌شود. در این شاخص همچون شاخص SPI پیش‌فرض اولیه توزیع مناسب برای سری داده‌ها، توزیع گاما است. علت استفاده و ارائه‌ی این شاخص سادگی و دقت عمل آن است؛ به‌طوری‌که حتی از شاخص پالمر نیز مناسب‌تر ارزیابی شده است (وکیلی‌فرد و همکاران ۱۳۹۶: ۱-۱۵). طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس دو شاخص SPI و SRI مطابق جدول ۲ انجام می‌شود.

جدول ۲: طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI و SRI

شدت خشک‌سالی	مقدار شاخص‌های SPI و SRI
مرطوب شدید	بزرگ‌تر یا مساوی ۲
مرطوب متوسط	۱/۵ تا ۱/۹۹
کمی مرطوب	۱ تا ۱/۵
نرمال	۰/۹۹ تا -۰/۹۹
خشک‌سالی ضعیف	-۱ تا -۱/۴۹
خشک‌سالی متوسط	-۱/۵۰ تا -۱/۹۹
خشک‌سالی شدید	کوچک‌تر یا مساوی -۲

منبع (Mishra et al., 2007)

برای بررسی تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر مقدار دبی رودخانه‌ها، هم‌زمانی خشک‌سالی هواشناسی هر ایستگاه با خشک‌سالی هیدرولوژیکی ایستگاه هیدرومتری مجاور آن مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت (مفیدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱؛ مصباح‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). به این منظور شاخص SPI ماهانه‌ی همه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی در مقیاس‌های ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه، هر کدام به‌صورت جداگانه محاسبه شد و همبستگی آن با شاخص SRI ایستگاه هیدرومتری مجاور با استفاده از همبستگی پیرسون بررسی شد. به‌منظور بررسی وجود یا عدم وجود تأخیر در زمان وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیکی نسبت به زمان وقوع خشک‌سالی هواشناسی، ارتباط آماری بین شاخص SPI دوره‌های ماهانه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی با شاخص SRI همان دوره و شاخص SRI با تأخیر زمانی یک، دو، سه و چهارماهه‌ی ایستگاه هیدرومتری مجاور آن، از طریق همبستگی پیرسون مورد آزمون قرار گرفت (مصباح‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین برای بررسی ارتباط خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی منطقه‌ی مورد مطالعه، تغییرات سالانه‌ی شاخص SPI و شاخص SRI به‌صورت وزنی و بر اساس مساحت تحت تأثیر هر ایستگاه و استفاده از روش تیسن در منطقه مشخص و ارتباط آماری بررسی شد.

۴- بحث و نتایج

۴-۱- بررسی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

در این مطالعه جهت بررسی خشک‌سالی هواشناسی منطقه‌ی مورد مطالعه شاخص SPI ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای ایستگاه‌های هواشناسی محاسبه شد و نتایج ایستگاه بردسیر به‌عنوان نمونه ارائه شده است. بر اساس نتایج شاخص SPI برای ایستگاه هواشناسی بردسیر، این شاخص در مقیاس یک‌ماهه در بیش‌تر موارد، مقادیر مثبت را نشان می‌دهد و با افزایش طول دوره از مقیاس سه‌ماهه به بعد، تعداد دوره‌های خشک افزایش یافته و شاخص SPI مقادیر منفی بیش‌تری را نشان می‌دهد. هر چه مقیاس زمانی طولانی‌تر شده از میزان نوسانات و تغییرات SPI کاسته شده است. در نمودارهای SPI دو دوره‌ی خشک‌سالی با شدت بیش‌تر طی سال‌های ۱۳۶۹-۱۳۷۰ و ۱۳۸۴-۱۳۷۹ مشاهده می‌شود. این نتایج می‌تواند حاکی از کاهش میزان بارش‌های فصلی در منطقه باشد (شکل ۲).

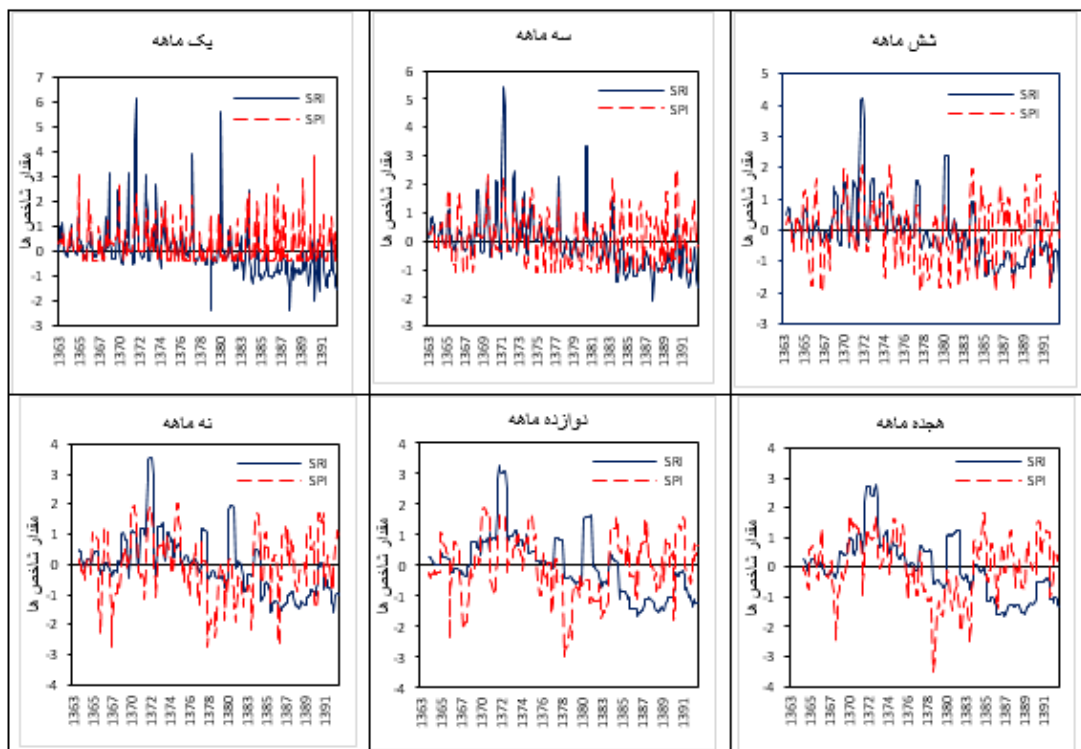
در سایر ایستگاه‌های هواشناسی نیز مانند ایستگاه بردسیر، شاخص SPI در مقیاس یک‌ماهه مقادیر مثبت بیش‌تری را نشان می‌دهد. تقریباً همه‌ی ایستگاه‌ها، دو دوره‌ی خشک‌سالی با شدت بیش‌تر را نشان می‌دهند که طی سال‌های ۱۳۶۹-۱۳۷۰ و ۱۳۸۵-۱۳۸۴ رخ داده است.

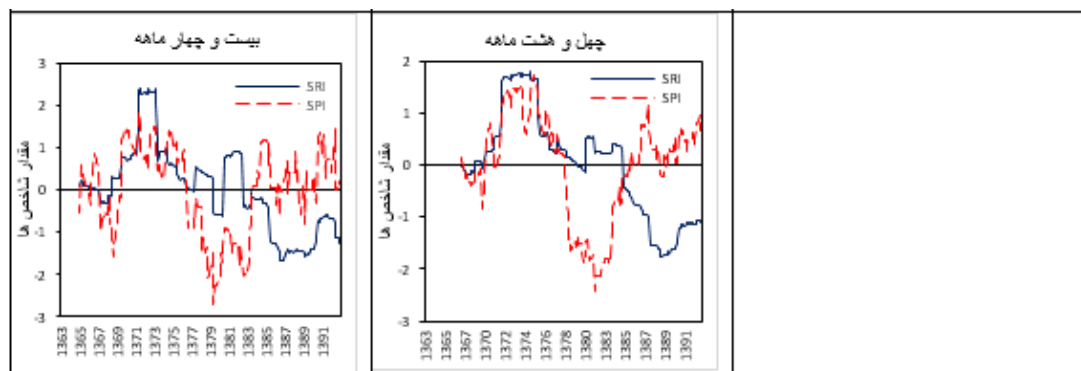
۴-۲- بررسی وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیکی منطقه

مقدار شاخص خشک‌سالی SRI در مقیاس‌های ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه، با استفاده از داده‌های روزانه دبی ۱۱ ایستگاه هیدرومتری، با استفاده از نرم‌افزار ZimaSPI محاسبه شد. برای این منظور پس از بازسازی و تکمیل

داده‌های روزانه دبی، دبی ماهانه محاسبه گردید و برای هر ایستگاه هیدرومتری، شاخص SRI بر اساس میانگین دبی ماهانه محاسبه شد. نتایج ایستگاه هیدرومتری هجین که هم‌جوار ایستگاه هواشناسی بردسیر است، به‌عنوان نمونه ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل برای ایستگاه هیدرومتری هجین در مورد شاخص SRI در مقیاس‌های یک‌ماهه و سه‌ماهه، تعداد دوره‌های مرطوب بیش‌تر از دوره‌های خشک است. با افزایش طول دوره‌ها، شاخص مقادیر منفی و دوره‌های خشک‌سالی را نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که از سال ۱۳۷۵ به بعد در اکثر دوره‌های ۶ ماهه و بالاتر، شاخص منفی بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که این حوضه به سمت خشکی هیدرولوژیکی پیش رفته است. شاخص SRI سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۷۹، ۱۳۸۳-۱۳۸۴ و ۱۳۹۳-۱۳۸۵ را برای ایستگاه هجین، سال‌های خشک تشخیص داده است (شکل ۲). برای سایر ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه نیز نتایج تقریباً مشابهی با ایستگاه هجین به دست آمده است. بر اساس نتایج حاصل، شاخص SRI در تمام ایستگاه‌های هیدرومتری از حدود سال ۱۳۶۷ تا سال ۱۳۷۰ یک دوره‌ی خشک وجود داشته است و نیز طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳، بیش‌ترین سال‌های خشک وجود داشته است.

این نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی، شدت و مدت خشک‌سالی هیدرولوژیکی در منطقه بیش‌تر از خشک‌سالی هواشناسی بوده؛ به‌طوری‌که طول دوره‌ی خشک‌سالی هواشناسی دوم در منطقه حدود دو سال (۱۳۸۴-۱۳۸۵) بوده است، اما خشک‌سالی هیدرولوژیکی از سال ۱۳۷۹ شروع شده و تا پایان دوره‌ی آماری مورد مطالعه ادامه یافته است.

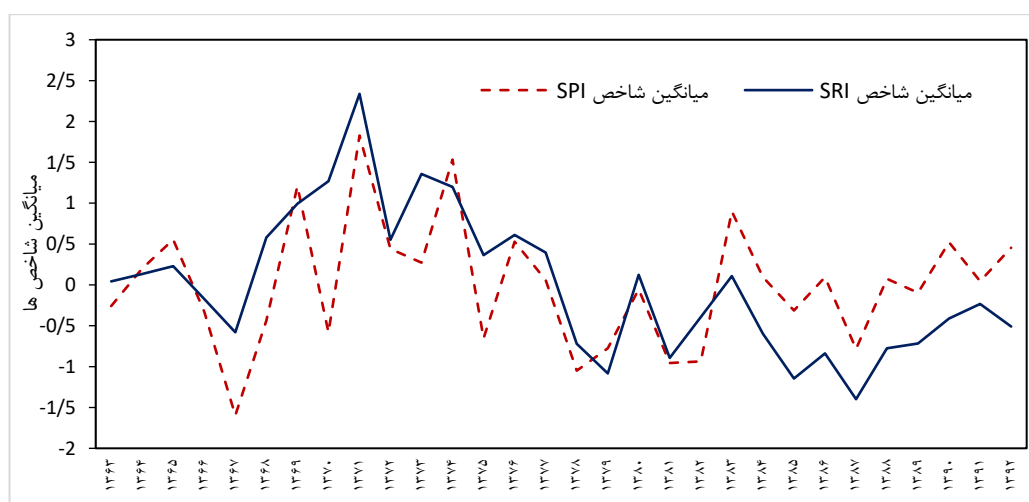




شکل ۲: تغییرات شاخص SPI ایستگاه هواشناسی بردسیر و شاخص SRI ایستگاه هیدرومتری هجین در مقیاس‌های زمانی مختلف

۳-۴- وضعیت کلی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در منطقه‌ی مورد مطالعه

برای بررسی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در کل منطقه‌ی مورد مطالعه، میانگین وزنی شاخص SPI و شاخص SRI سالانه کل ایستگاه‌های مورد مطالعه طی ۳۰ سال دوره‌ی آماری بر اساس مساحت تحت تأثیر هر ایستگاه و استفاده از روش تیسن در منطقه مشخص شد که نتایج آن در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: میانگین وزنی شاخص SPI و شاخص SRI کل ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری

بر اساس نتایج حاصل از بررسی وضعیت خشک‌سالی منطقه، در ابتدای دوره‌ی آماری، شاخص SPI نسبت به شاخص SRI مقادیر منفی‌تری را نشان می‌دهد، ولی در سال‌های پایانی دوره‌ی آماری، شاخص SRI روند نزولی پیدا کرده است. بر اساس مقدار میانگین شاخص‌های خشک‌سالی، به‌طور میانگین در منطقه، تعداد دوره‌های خشک‌سالی‌های هواشناسی رخ داده ۱۴ سال است که شدیدترین آن‌ها در سال ۱۳۶۷ اتفاق افتاده است. تعداد دوره‌های خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی رخ داده، ۱۵ سال است که شدیدترین آن‌ها در سال ۱۳۸۷ بوده است. بر اساس نتایج بررسی تغییرات شاخص‌ها می‌توان گفت که در ابتدای دوره‌ی مطالعه (بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۷۷)، خشک‌سالی‌های هواشناسی تأثیر چندان زیادی روی خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی نگذاشته است و در اکثر سال‌ها شاخص SRI مقادیر مثبتی را نشان می‌دهد، ولی در سال‌های بعد از آن اگرچه شدت خشک‌سالی‌های هواشناسی نسبت به سال‌های قبل بیش‌تر نبوده، ولی شدت خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی در منطقه افزایش یافته و در اکثر سال‌ها شاخص SRI مقادیر منفی داشته است.

۴-۴- بررسی ارتباط بین خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی هیدرولوژیکی

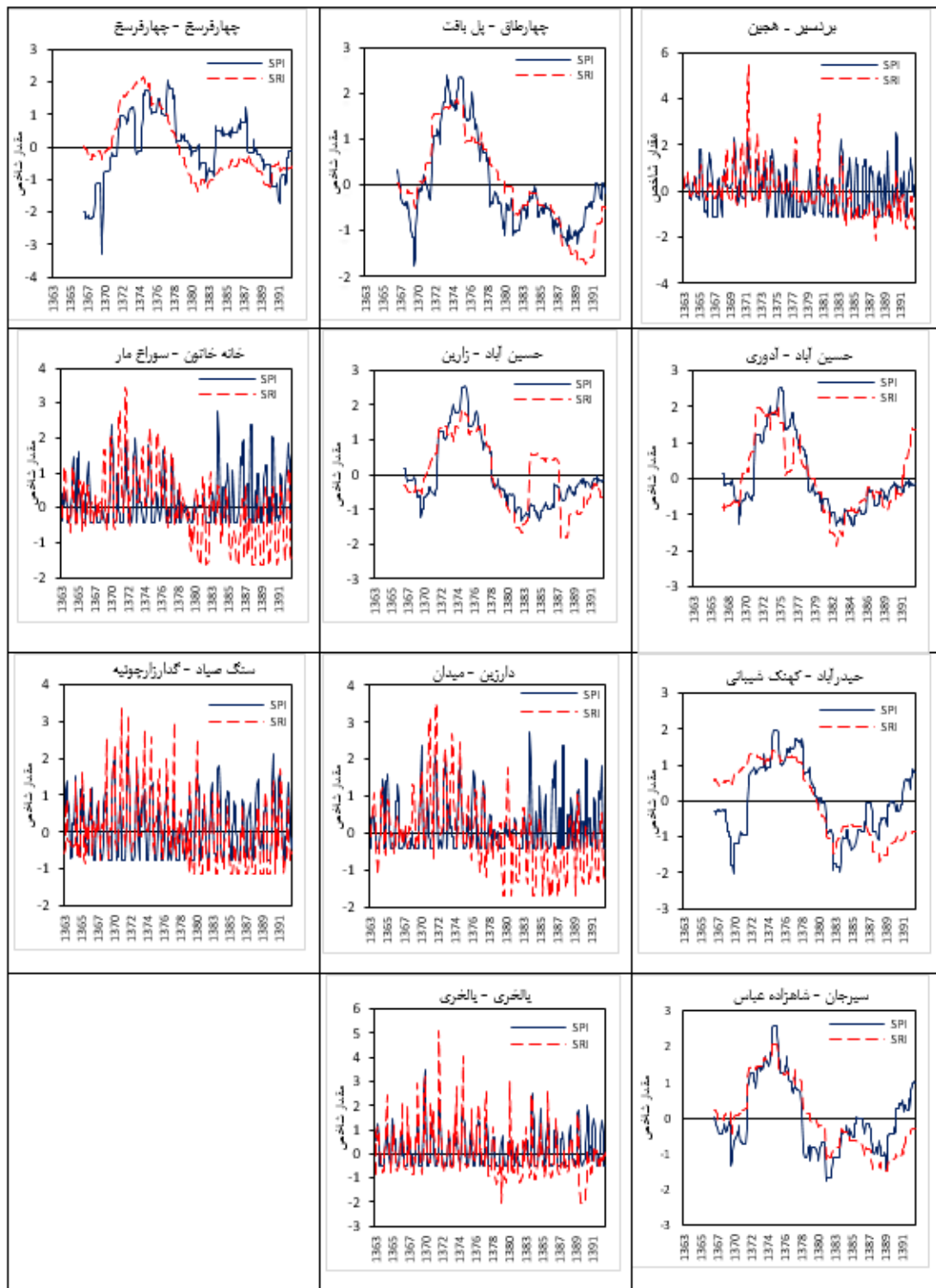
در این مطالعه ارتباط آماری بین شاخص هواشناسی خشک‌سالی و هیدرولوژیکی برای دوره‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه شد. نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین مقادیر SPI و SRI ایستگاه‌های مورد مطالعه برای بالاترین مقادیر همبستگی در جدول (۳) نشان داده شده است.

بر اساس نتایج حاصل، همبستگی بین شاخص خشک‌سالی هواشناسی و شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی در ایستگاه‌های مختلف مورد مطالعه روند یکسانی نداشته است. از مجموع ۱۱ ایستگاه مورد مطالعه، برای شش ایستگاه (چهارطاق و پل‌بافت، چهارفرسخ و چهارفرسخ، حسین‌آباد و آدوری، حسین‌آباد و زارین، حیدرآباد و کهنک‌شیبانی و سیرجان و شاهزاده‌عباس) بیش‌ترین معنی‌داری بین شاخص‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی ۴۸ ماهه وجود داشته است؛ در صورتی‌که برای سه ایستگاه (بردسیر و هجین، خانه‌خاتون و سوراخ‌مار و دارزین و میدان) بیش‌ترین معنی‌داری بین شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی سه‌ماهه است و برای دو ایستگاه (سنگ‌صیاد و گذارزارچوئیه)، بیش‌ترین معنی‌داری بین شاخص خشک‌سالی هواشناسی سه‌ماهه و شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی یک‌ماهه وجود داشته است.

جدول ۳: همبستگی پیرسون بین شاخص SPI ایستگاه‌های هواشناسی با شاخص SRI ایستگاه‌های هیدرومتری متناظر

نام ایستگاه	SPI-۱	SPI-۳	SPI-۶	SPI-۹	SPI-۱۲	SPI-۱۸	SPI-۲۴	SPI-۴۸
بردسیر-هجین	SRI-۱	SRI-۳	SRI-۶	SRI-۶	SRI-۱۲	SRI-۶	SRI-۹	SRI-۹
	۰/۴۵۷**	۰/۴۸۴**	۰/۴۳۱**	۰/۴۳۱**	۰/۲۵۴**	۰/۲۶۷**	۰/۱۸۷**	۰/۱۶۶**
چهارطاق-پل‌بافت	SRI-۱	SRI-۳	SRI-۶	SRI-۶	SRI-۱۲	SRI-۱۸	SRI-۲۴	SRI-۴۸
	۰/۵۶۶**	۰/۶۳۹**	۰/۶۶۳**	۰/۶۵۰**	۰/۶۶۰**	۰/۷۴۳**	۰/۷۹۷**	۰/۸۷۲**
چهارفرسخ-چهارفرسخ	SRI-۱	SRI-۳	SRI-۳	SRI-۶	SRI-۴۸	SRI-۱	SRI-۴۸	SRI-۴۸
	۰/۳۹۴**	۰/۴۲۶**	۰/۳۹۸**	۰/۳۱۱**	۰/۲۵۰**	۰/۲۵۳**	۰/۳۸۸**	۰/۵۳۷**
حسین‌آباد-آدوری	SRI-۱	SRI-۱	SRI-۳	SRI-۶	SRI-۴۸	SRI-۴۸	SRI-۴۸	SRI-۴۸
	۰/۵۰۵**	۵۷۷**	۰/۵۸۸**	۰/۵۳۷**	۰/۶۶۰**	۰/۷۴۸**	۰/۸۰۵**	۰/۸۲۱**
حسین‌آباد-زارین	SRI-۱	SRI-۳	SRI-۶	SRI-۹	SRI-۱۲	SRI-۱۸	SRI-۴۸	SRI-۴۸
	۰/۵۰۲**	۰/۶۰۹**	۰/۶۲۷**	۰/۵۹۷**	۰/۶۲۶**	۰/۶۷۱**	۰/۶۸۸**	۷۲۹**
حیدرآباد-کهنک‌شیبانی	SRI-۱	SRI-۳	SRI-۶	SRI-۶	SRI-۱۲	SRI-۱۸	SRI-۲۴	SRI-۴۸
	۰/۴۴۵**	۰/۵۰۶**	۰/۴۹۵**	۰/۴۸۴**	۰/۵۰۷**	۰/۵۳۵**	۰/۵۱۹**	۰/۵۹۶**
خانه‌خاتون-سوراخ‌مار	SRI-۱	SRI-۳	SRI-۶	SRI-۶	SRI-۱۸	SRI-۱۸	SRI-۲۴	SRI-۴۸
	۰/۳۳۱**	۰/۳۷۱**	۰/۳۱۳**	۰/۱۸۷**	۰/۱۳۲**	۰/۱۹۷**	۰/۱۵۷**	۰/۰۸۲
دارزین-میدان	SRI-۱	SRI-۳	SRI-۶	SRI-۶	SRI-۱۲	SRI-۳	SRI-۴۸	SRI-۴۸
	۰/۳۴۴**	۰/۴۱۲**	۰/۳۰۹**	۰/۱۸۳**	۰/۰۷۳	۰/۱۶۶**	۰/۰۸۶	۰/۰۷۳
سنگ‌صیاد-گذارزارچوئیه	SRI-۱	SRI-۱	SRI-۳	SRI-۶	SRI-۱۲	SRI-۳	SRI-۲۴	SRI-۴۸
	۰/۴۹۳**	۰/۶۴۵**	۰/۶۳۰**	۰/۵۵۳**	۰/۳۵۵**	۵۳۷**	۰/۴۱۴**	۰/۴۶۸**
سیرجان-شاهزاده‌عباس	SRI-۱	SRI-۳	SRI-۶	SRI-۹	SRI-۱۲	SRI-۱۸	SRI-۲۴	SRI-۴۸
	۰/۶۲۷**	۰/۷۳۱**	۰/۷۴۶**	۰/۷۲۰**	۰/۷۲۳**	۰/۷۸۰**	۰/۷۷۰**	۰/۸۰۰**
یالخری-یالخری	SRI-۱	SRI-۱	SRI-۱	SRI-۶	SRI-۱۲	SRI-۳	SRI-۲۴	SRI-۴۸
	۰/۵۸۳**	۰/۶۵۸**	۰/۴۸۴**	۰/۵۶۴**	۰/۴۷۱**	۰/۴۲۶**	۰/۴۴۴**	۰/۵۳۸**

تغییرات شاخص SPI ایستگاه‌های هواشناسی و شاخص SRI ایستگاه‌های هیدرومتری در دوره‌هایی که بیش‌ترین میزان همبستگی را با هم داشته‌اند، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: تغییرات شاخص SPI و شاخص SRI با بیش‌ترین میزان همبستگی

۴-۴- ارتباط بین شاخص SPI هر دوره‌ی با شاخص SRI با یک، دو، سه و چهار ماه تأخیر

برای تحلیل ارتباط خشک‌سالی‌های هواشناسی با زمان وقوع خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی بین شاخص SPI هر دوره با شاخص SRI همان دوره و شاخص SRI با تأخیر یک، دو، سه و چهارماهه همبستگی پیرسون گرفته شد و میزان همبستگی آن‌ها مشخص گردید.

نتایج حاصل از بررسی همبستگی شاخص خشک‌سالی هواشناسی و شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی با تأخیر برای بیش‌ترین مقادیر همبستگی در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴: همبستگی پیرسون شاخص‌های SPI با شاخص‌های SRI با تأخیر ۱، ۲، ۳ و ۴ ماهه

نام ایستگاه	SPI-۱	SPI-۳	SPI-۶	SPI-۹	SPI-۱۲	SPI-۱۸	SPI-۲۴	SPI-۴۸
بردسیر- هجین	همان دوره ۰/۴۵۷**	همان دوره ۰/۴۸۴**	همان دوره ۰/۴۳۱**	همان دوره ۰/۳۲۴**	همان دوره ۰/۲۵۴**	همان دوره ۲۴۷**	همان دوره ۰/۱۷۹**	همان دوره ۰/۱۶۳**
چهارطاق-پل بافت	همان دوره ۰/۵۶۶**	همان دوره ۰/۶۳۹**	همان دوره ۰/۶۶۳**	همان دوره ۰/۶۴۸**	همان دوره ۰/۶۶۰**	همان دوره ۰/۷۴۳**	همان دوره ۰/۷۹۷**	همان دوره ۰/۸۷۲**
یالخری-یالخری	همان دوره ۰/۵۸۳**	همان دوره ۰/۶۵۲**	همان دوره ۰/۶۳۲**	همان دوره ۰/۵۳۷**	همان دوره ۰/۴۷۱**	همان دوره ۰/۴۹۷**	همان دوره ۰/۴۴۴**	همان دوره ۰/۵۳۸**
سیرجان - شاهزاده عباس	همان دوره ۰/۶۲۷**	همان دوره ۰/۷۳۱**	همان دوره ۰/۷۴۶**	همان دوره ۰/۷۲۰**	همان دوره ۰/۷۳۳**	همان دوره ۰/۷۸۰**	همان دوره ۰/۷۷۰**	همان دوره ۰/۸۰۰**
سنگ‌صیاد- گذارزارچوئیه	همان دوره ۰/۴۹۳**	همان دوره ۰/۵۵۸**	همان دوره ۰/۵۱۲**	همان دوره ۰/۳۹۲**	همان دوره ۰/۳۵۵**	همان دوره ۰/۴۲۷**	همان دوره ۰/۴۱۴**	همان دوره ۰/۴۱۸**
دارزین-میدان	همان دوره ۰/۳۴۴**	همان دوره ۰/۴۱۲**	همان دوره ۰/۳۰۹**	همان دوره ۰/۱۵۱**	همان دوره ۰/۰۷۳	همان دوره ۰/۱۱۲*	همان دوره ۰/۰۸۰	۴ ماه تأخیر ۰/۰۸۲
خانه‌خاتون- سوراخ‌مار	همان دوره ۰/۳۱۱**	همان دوره ۰/۳۷۱**	همان دوره ۰/۳۱۲**	همان دوره ۰/۱۸۴**	۴ ماه تأخیر ۰/۱۳۳*	همان دوره ۰/۱۹۷**	۴ ماه تأخیر ۰/۱۶۳**	همان دوره و ۱ ماه ۰/۰۸۲
حیدرآباد- کهنک‌شیبانی	همان دوره ۰/۴۴۵**	همان دوره ۰/۵۰۶**	همان دوره ۰/۴۹۵**	همان دوره ۰/۴۸۲**	همان دوره ۰/۵۰۷**	همان دوره ۰/۵۳۵**	۲، ۱ و ۳ ماه تأخیر ۰/۵۲۳**	۴ ماه تأخیر ۰/۶۰۶**
حسین‌آباد- زارین	همان دوره ۰/۵۲۰**	همان دوره ۰/۶۰۹**	همان دوره ۰/۶۲۷**	همان دوره ۰/۵۹۷**	همان دوره ۰/۶۲۶**	همان دوره ۰/۶۷۱**	همان دوره و ۱ ماه تأخیر ۰/۶۵۶**	۱ و ۲ ماه تأخیر ۰/۷۳۲**
حسین‌آباد- ادوری	همان دوره ۰/۵۰۵**	همان دوره ۰/۵۶۱**	همان دوره ۰/۵۸۲**	همان دوره ۰/۵۱۳**	همان دوره ۰/۵۳۲**	همان دوره ۰/۶۲۱**	۴ ماه تأخیر ۰/۶۴۰**	۴ ماه تأخیر ۰/۸۴۹**
چهارفرسخ- چهارفرسخ	همان دوره ۰/۳۹۴**	۱ ماه تأخیر ۰/۲۶۷**	همان دوره ۰/۳۸۶**	همان دوره ۰/۲۵۲**	۴ ماه تأخیر ۰/۲۰۰**	همان دوره ۰/۳۲۸**	۴ ماه تأخیر ۰/۴۰۲**	۴ ماه تأخیر ۰/۵۶۸**

مقادیر SPI در ۵ ایستگاه باران‌سنجی در تمامی دوره‌ها بیش‌ترین همبستگی را با SRI همان دوره ایستگاه‌های هیدرومتری مجاور خود دارند. در ایستگاه‌های هواشناسی بردسیر، چهارطاق، یالخری، سیرجان و سنگ‌صیاد، خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک هم‌زمان اتفاق افتاده است و در این ایستگاه‌های هیدرومتری متناظر با این ایستگاه‌ها خشک‌سالی هیدرولوژیک تأخیر زمانی نداشته است. بیش‌ترین همبستگی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک بین SPI ۳ ماهه و SRI ۳ ماهه به دست آمده است. همچنین بین SPI ۴۸ ماهه در ۴ ایستگاه با SRI با تأخیر زمانی ۱، ۲ و ۴ ماهه و در ۲ ایستگاه با SRI همان دوره همبستگی بالایی وجود داشته است. بیش‌ترین همبستگی در بین همه‌ی ایستگاه‌ها و همه‌ی دوره‌ها SPI ۴۸ ماهه‌ی ایستگاه باران‌سنجی چهارطاق با SRI ۴۸ ماهه‌ی پل‌بافت با ضریب همبستگی ۰/۸۷۲ است.

بر اساس نتایج حاصل از بررسی شاخص SPI، در همه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی شاخص‌های یک تا سه‌ماهه در حول محور صفر نوسان داشتند؛ ولی در دوره‌های بیش‌تر از سه‌ماهه، دوره‌های خشک بیش‌تری در همه‌ی ایستگاه‌ها مشاهده شد. همچنین تعداد دوره‌های خشک در همه‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال‌های اخیر افزایش چشم‌گیری را نشان

داد که این امر نشان‌دهنده‌ی شدت گرفتن خشک‌سالی در منطقه‌ی مورد مطالعه است. این موضوع با نتایج تحقیقات تبوزاده و همکاران (۱۳۹۳) که دریافتند تداوم خشک‌سالی با افزایش مقیاس زمانی افزایش می‌یابد، مطابقت دارد. همچنین با نتایج تحقیقات بولا^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۳)، لانگ^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۴)، کوموزوپ^{۱۴} و چانگ^{۱۵} (۲۰۱۴) که نتیجه گرفتند دوره‌های خشک‌سالی در سال‌های اخیر افزایش داشته است، مطابقت دارد. شاخص SRI نیز همانند شاخص SPI برای دوره‌های زمانی یک‌ماهه و سه‌ماهه دوره‌های ترسالی را بیش‌تر از خشک‌سالی نشان می‌دهد و با افزایش مقیاس زمانی، دوره‌های خشک‌سالی بیش‌تری مشاهده می‌شوند. همچنین نتایج این شاخص در سال‌های اخیر، افزایش خشک‌سالی را نشان می‌دهد که این موضوع نشانگر آن است که خشک‌سالی هواشناسی بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی تأثیر داشته است. این نتایج با نتایج تحقیق علی‌میرزایی و همکاران (۱۳۹۵) که دریافتند با افزایش مقیاس زمانی، تداوم دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی افزایش داشته است، مطابقت دارد.

نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین شاخص SPI و شاخص SRI، نشان می‌دهد که خشک‌سالی هواشناسی در منطقه‌ی مورد مطالعه بلافاصله باعث کاهش جریان رودخانه‌های منطقه شده و بر شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارد. این امر می‌تواند ناشی از نوع و پراکنش بارش‌ها در منطقه باشد؛ زیرا اکثر حوضه‌های مورد مطالعه، دارای رودخانه‌های فصلی هستند که در زمان وقوع بارش و تا مدت کمی پس‌از آن جریان داشته و سپس خشک می‌شود. از طرفی منطقه در اکثر حوضه‌ها فاقد پوشش برف است. این موضوع با نتایج مطالعات حیدری و همکاران (۱۳۸۸) که نشان داد خشک‌سالی هیدرولوژیکی در خوی با تأخیر زمانی دوماهه و در ارومیه با تأخیر زمانی یک‌ماهه نسبت به خشک‌سالی هواشناسی اتفاق افتاده است و با نتایج زارعی و همکاران (۱۳۹۵) که دریافتند در بیش‌تر سال‌ها، خشک‌سالی هیدرولوژیکی با چند ماه تأخیر نسبت به خشک‌سالی هواشناسی رخ داده است، تفاوت دارد.

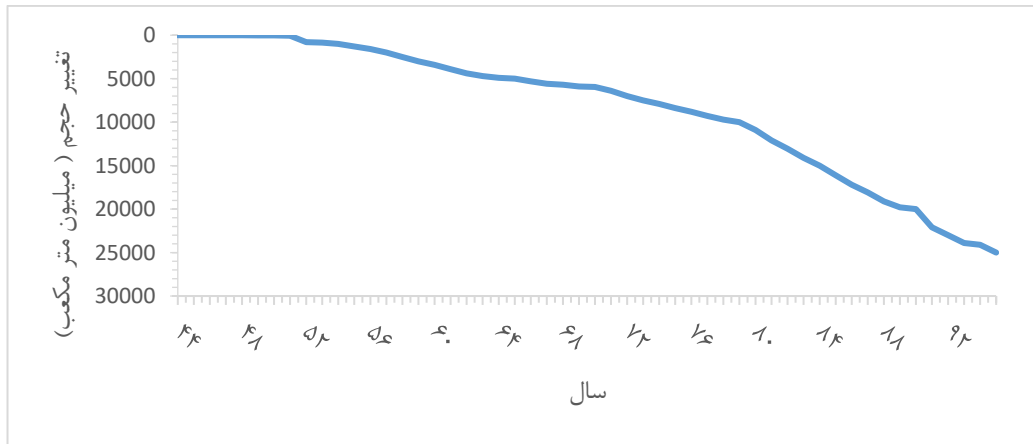
اگرچه همبستگی معنی‌داری بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در منطقه وجود داشته است، افزایش تعداد دوره‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی در سال‌های اخیر، علاوه بر خشک‌سالی‌های هواشناسی، می‌تواند ناشی از تغییرات میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی و تخلیه‌ی رطوبتی لایه‌های غیراشباع باشد که افزایش برداشت نیز خود می‌تواند ناشی از کاهش میزان بارش‌ها و یا در مواردی تغییرات کاربری اراضی باشد. بیش‌ترین کاربری اراضی در سطح استان به مراتب و اراضی بدون پوشش تعلق دارد (حدود ۸۰ درصد) و میزان کاربری‌های شهری و کشاورزی مؤثر بر میزان رواناب‌ها خیلی ناچیز است (۰/۳ درصد شهری و حدود ۵ درصد کشاورزی و باغات)، لیکن میزان تغییرات آن‌ها نیز در سطح استان نمی‌تواند چشم‌گیر باشد، هرچند در سطح یک حوضه‌ی آبخیز ممکن است تغییرات نمایان‌تر باشد. بر اساس آمار شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمان، در حال حاضر حدود ۳۴۵۵۶ چاه عمیق و نیمه‌عمیق در این استان وجود دارد که سالانه ۶/۲۵۷ میلیارد مترمکعب آب زیرزمینی منطقه را تخلیه می‌کند. شکل (۵) میزان کاهش حجم آب‌های زیرزمینی استان کرمان بین سال‌های ۱۳۴۴ تا سال ۱۳۹۴ را نشان می‌دهد. این میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی منطقه باعث شده است که سطح آب زیرزمینی منطقه نیز به‌طور پیوسته افزایش یابد (شکل ۶)؛ به‌طوری‌که در یک دوره‌ی ۳۰ ساله، سطح آب‌های زیرزمینی به‌طور متوسط حدود ۲۸ متر افت داشته است.

12- Bola

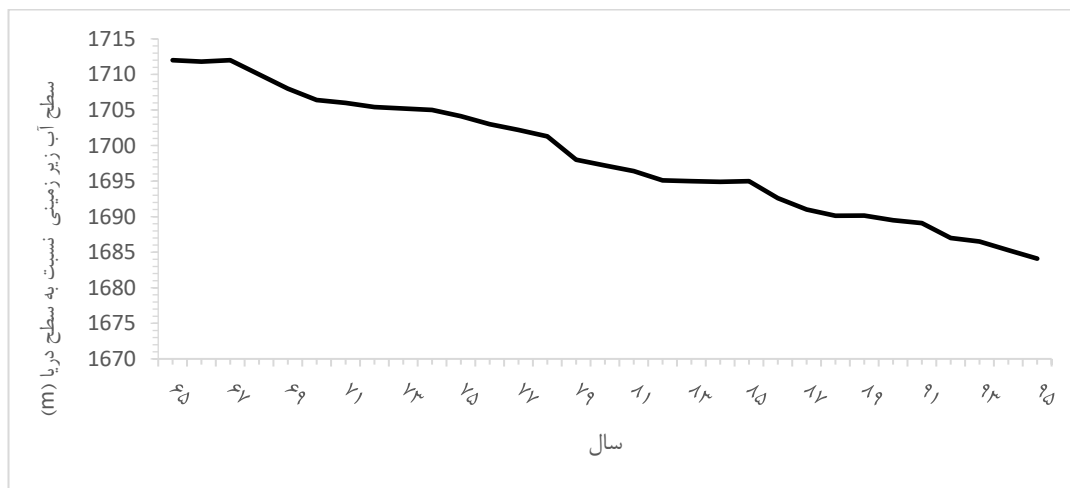
13- Long

14- NKomozepi

15- Chung



شکل ۵: میزان کاهش حجم آب‌های زیرزمینی آبخوان‌های استان کرمان در یک دوره ۵۰ ساله (۱۳۴۴-۱۳۹۵)
منبع: داده‌های مستخرج از سایت سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان



شکل ۶: هیدروگراف واحد آبخوان‌های استان کرمان منبع: داده‌های مستخرج از سایت سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق، خشک‌سالی هیدرولوژیکی در منطقه‌ی مورد مطالعه شدیدتر از خشک‌سالی هواشناسی است و در سال‌های اخیر شدت آن افزایش یافته است. نتایج این مطالعه نشان داد که در ابتدای دوره‌ی مورد مطالعه، خشک‌سالی هواشناسی تأثیر چندانی روی خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی نگذاشته است، ولی در سال‌های اخیر اگرچه شدت خشک‌سالی‌های هواشناسی نسبت به سال‌های قبل بیشتر نبوده، اما شدت خشک‌سالی هیدرولوژیکی در منطقه افزایش یافته است. اگرچه افزایش طول دوره و شدت خشک‌سالی هیدرولوژیکی در منطقه می‌تواند ناشی از تغییرات میزان بارش باشد، اما سایر عوامل مؤثر بر میزان رواناب‌های سطحی همچون تغییرات کاربری اراضی و افزایش میزان برداشت از منابع آب منطقه، احداث سدهای اصلاحی و ذخیره‌ای و سایر فعالیت‌های آبخیزداری نیز می‌تواند در کاهش میانگین میزان رواناب‌ها و کاهش شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی مؤثر بوده باشد و باید به‌منظور مدیریت بهینه‌ی خشک‌سالی‌ها در این مورد تحقیق بیشتر صورت گیرد.

۶- منابع

- ۱- اختری، روح‌انگیز، مهدیان، محمدحسین، مرید، سعید (۱۳۸۵). تحلیل مکانی شاخص‌های خشک‌سالی SPI و EDI در استان تهران، تحقیقات منابع آب، دوره ۲، شماره ۴، صص ۲۷-۳۸.

- ۲- اسدی، اسماعیل، جارحان، سالار، خشتگر، سالار (۱۳۹۵). تشخیص خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص خشک‌سالی SDI جریان (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی رودخانه لیقوان)، کنفرانس بین‌المللی پیامدهای جغرافیایی و اثرات زیست‌محیطی شرایط دریاچه‌ی ارومیه، تبریز، دانشگاه تبریز.
- ۳- اسلامیان، سیدسعید، نصری، مسعود، رحیمی، نعیمه (۱۳۸۸). بررسی دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی و اثرات آن بر تغییرات منابع آب حوضه‌ی آبخیز دشت بوئین، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۰، شماره‌ی ۱، صص ۷۵-۹۰.
- ۴- تبزاده، شهین، زارعی، حیدر، بذرافشان، ام‌البین (۱۳۹۳)، تحلیل شدت، مدت، فراوانی و گستره‌ی خشک‌سالی هواشناسی در حوضه‌ی آبریز بختگان، مجله‌ی علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری، شماره‌ی ۴، صص ۱۰۹-۱۲۳.
- ۵- جهان‌شاهی، افشین، مقدم‌نیا، علیرضا، نهتانی، محمد (۱۳۹۵). ارزیابی اثر خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص (SPI) (مطالعه‌ی موردی: دشت شهرباک، استان کرمان)، مجله‌ی علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، شماره‌ی ۱۰، صص ۸۵-۹۸.
- ۶- جلالی‌فر، ماشاله، کلانتری، محمدحسین (۱۳۹۱). استان شناسی کرمان، تهران، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی، چاپ دوم.
- ۷- چاوشیان، سیدعلی، نیک‌روش، غلامرضا، دهقانیان، ناصر، نیک‌روش، علیرضا (۱۳۹۷). تحلیل فراوانی وقوع خشک‌سالی بر اساس توسعه‌ی یک شاخص استاندارد دومتغیره (بارش-رواناب)، مجله‌ی علمی پژوهشی شریف.
- ۸- حصیرچیان، مهرآور، ذهبیون، باقر، خزائی، محمدرضا (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد SDSM در بررسی تغییر اقلیم بر بارش و دما، فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال نهم، شماره‌ی ۳۴، صص ۱۱۹-۱۰۸.
- ۹- حیدری، مجید، فرخی، الهام، تنیان، سارا، حصاری، بهزاد (۱۳۸۸)، تحلیل خشک‌سالی هواشناسی (با استفاده از نرم‌افزار DIP) و هیدرولوژیکی (مطالعه‌ی موردی: ارومیه و خوی)، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، کرج، ایران.
- ۱۰- دودوانگه، اسماعیل، سلطانی، سعید، سرحدی، علی (۱۳۹۰). بررسی روند مقادیر حدی جریان (جریان حداقل و سیل) در حوضه آبخیز سد سفیدرود، مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌و‌خاک، سال ۱۵، شماره‌ی ۵۸، صص ۲۱۵-۲۲۹.
- ۱۱- زارعی، سهیلا، فاخری‌فرد، احمد، اسدی، اسماعیل (۱۳۹۵). ارزیابی روابط کمی خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک با استفاده از رژیم نرمال ماهانه (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی صوفی‌چای)، مجله‌ی پژوهش آب ایران، شماره‌ی ۴، صص ۸۵-۹۱.
- ۱۲- سلاجقه، علی، سلیمانی ساردو، فرشاد، مصباح‌زاده، طیبه‌علیپور، ناهید (۱۳۹۶). ارزیابی خشک‌سالی هیدرولوژیک با استفاده از روش حد آستانه‌ی ثابت (مطالعه‌ی موردی حوضه‌ی سد کرج)، نشریه‌ی علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال یازدهم، شماره‌ی ۳۹، صص ۸۹-۱۰۰.
- ۱۳- شاه‌دشت، علیرضا، عباس‌نژاد، احمد (۱۳۸۹). مدیریت منابع آبی، چالش‌ها و راهکارها (مطالعه‌ی موردی: استان کرمان)، چهارمین کنگره‌ی بین‌المللی جغرافی‌دانان جهان اسلام، شماره‌ی ۴، صص ۱۳-۱.
- ۱۴- شکری‌کوچک، سعید، بهنیا، عبدالکریم، (۱۳۹۲). پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی استان خوزستان با استفاده از شاخص خشک‌سالی SPI و زنجیره‌ی مارکوف، علوم و مهندسی آبیاری، شماره‌ی ۳، صص ۱۲-۱.
- ۱۵- علممیرزایی، زینب، زارع‌بیدکی، رفعت، هنربخش، افشین، زمانی، رسول (۱۳۹۵). بررسی تطابق زمانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دشت شهرکرد، اولین همایش ملی منابع طبیعی و توسعه‌ی پایدار در زاگرس مرکزی، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد.
- ۱۶- کریمی، مهشید، شاهدی، کاکا، خسروی، خه‌بات (۱۳۹۵). بررسی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی در حوضه‌ی آبخیز قره‌سو، مجله‌ی فیزیک زمین و فضا، دوره‌ی ۴۲، شماره‌ی ۵، صص ۱۷۰-۱۵۹.
- ۱۷- مصباح‌زاده، طیبه، سلیمانی ساردو، فرشاد (۱۳۹۶). بررسی روند زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیک و هواشناسی در حوضه‌ی آبخیز کرخه، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره‌ی ۴۰، صص ۱۱۵-۱۰۵.
- ۱۸- مفیدی‌پور، نازنین، بردی‌شیخ، و، اوق، م، سعدالدین (۱۳۹۱). بررسی رابطه‌ی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه‌ی آبخیز اترک، پژوهشنامه‌ی مدیریت حوضه‌ی آبخیز، دوره‌ی ۳، شماره‌ی ۵، صص ۲۶-۱۶.
- ۱۹- ملکی‌نژاد، حسین، سلیمانی مطلق، مهدی (۱۳۹۰). بررسی شدت خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه‌ی چغلوندی، سال ۵، شماره‌ی ۹، صص ۷۲-۶۱.

- ۲۰- میرجلیلی، علی‌بمان، موسایی سنجره‌ای، محمد، زارع‌زاده مهریزی، شهاب‌الدین (۱۳۹۲). بررسی آثار خشک‌سالی و ترسالی بر تغییرات پوشش گیاهی در دو منطقه‌ی پخش سیلاب و مراتع شاهد هرات استان یزد، دوره‌ی ۶۶، شماره‌ی ۱، صص ۱۵۶-۱۴۵.
- ۲۱- وکیلی‌فرد، عطیه، اسدی، اسماعیل، ابراهیمی، کیومرث، فاخری‌فرد، احمد، دربندی، صابر (۱۳۹۶). بررسی ارتباط زمانی رخداد خشک‌سالی هواشناختی و خشک‌سالی آب‌های سطحی (مطالعه موردی: حوضه بیلوردی- دوزدوزان)، نشریه‌ی دانش آب و خاک، شماره‌ی ۲، صص ۱۵-۱.
- ۲۲- هاشمی‌نسب خبیصی، فریده‌السادات، موسوی‌بایگی، محمد، بختیاری، بهرام، داوری، کامران (۱۳۹۲). پیش‌بینی تغییرات بارش ۲۰ سال آینده در استان کرمان با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌کننده‌ی LARS-WG و گردش عمومی HadCM3 فصلنامه‌ی علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، دوره‌ی ۳، شماره‌ی ۱۲، صص ۴۳-۵۸.
- 23- Ayantobo, Olusola O, Li, Yi, Song, Songbai, Yao, Ning (2017). Spatial comparability of drought characteristics and related return periods in mainland China over 1961–2013, *Journal of Hydrology*, Issue 550, PP 549–567.
- 24- Badou, D. F, Diekkruiger, B, Kapangaziwiri, E, Mbaye, M. L, Yira, Y, Lawin, E. A, ... & Afouda, A (2018). Modelling blue and green water availability under climate change in the Beninese Basin of the Niger River Basin, West Africa. *Hydrological Processes*, 32(16), 2526-2542.
- 25- Bola, G, Mabiza, C, Goldin, J, Kujinga, K, Nhapi, I, Makurira, H, Mashauri, D (2013). Coping with droughts and floods: A Case study of Kanyemba, Mbire District, Zimbabwe, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Issue 67, PP 180–186.
- 26- Edossa, Desalegn. Chemed, Babel, Mukand. S, Gupta, Ashim. Das (2010). Drought analysis in the Awash River basin, Ethiopia, *Water Resource Manage*, Issue 24, PP 1441-1460.
- 27- Javan, K, Azizzadeh, M. R, & Yousefi, S (2016). An Investigation and assessment of meteorological drought in Lake Urmia Basin using drought indices and probabilistic methods. *Natural Environment Change*, 2(2), 153-164.
- 28- Long, Di, Shen, Yanjun, Sun, Alexander, Hong, Yang, Longuevergne, Laurent, Yang, Yuting, Li, Bin, Chen, Lu (2014) 'Drought and flood monitoring for a large karst plateau in Southwest China using extended GRACE data', *Remote sensing of environment*, Elsevier, Volume 155, pp 145–160.
- 29- Mckee, Thomas. B, Doesken, Nolan. J, Kleist, John (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, preprints Eighth Conference on Applied Climatology, pp 179-184.
- 30- Mishra AK, Desai VR, Singh, VP (2007). Drought forecasting using a hybrid stochastic and neural network model, *Journal of Hydrologic Engineering*, Volume 12, Issue 6, PP 626–638.
- 31- NKomozepi, Temba, Chung, Sang-Ok (2014). The effects of climate change on the water resources of the Geumho River Basin, Republic of Korea, *Journal of Hydro-environment Research*, Volume 8, Issue 4, PP 358– 366.
- 32- Shukla SHraddhanand, Wood Andrew. W (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought, *Geophysical Research Letters*, Issue 35, PP 1-7.
- 33- Tokarczyk T, Szalinska W (2014). Combined analysis of precipitation and water deficit for drought hazard assessment, *Hydrological Sciences Journal*, Volume 59, Issue 9, PP 1675-1689.
- 34- Vicente-Serrano Sergio. M, Lopez-Moreno Juan. I (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*, Issue 9, PP 523-533.
- 35- Wang, Zhaoli, Zhong, Ruida, Lai, Chengguang, Zeng, Zhaoyang, Lian, Yanqing, Bai, Xiaoyan (2018). Climate change enhances the severity and variability of drought in the Pearl River Basin in South China in the 21st century, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 249, PP 149–162.