



تحلیل فراوانی مشخصه‌های خشکسالی هوا- هیدرو- آب زیرزمینی در منطقه توکهور میناب

فاطمه زرهی^۱

۱- دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان گروه مهندسی منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان.

f.zerehi1372@gmail.com

چکیده

خشکسالی خسارت‌های زیادی را ایجاد می‌کند ولی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نمود بیشتری دارد و خسارت‌های ایجاد شده در این مناطق به علت شکننده بودن محیط چشم‌گیرتر است. در این تحقیق برای بررسی و تحلیل فراوانی مشخصه‌های خشکسالی هوا-هیدرو و آب زیرزمینی در منطقه توکهور استان هرمزگان طی یک دوره آماری (۱۳۶۶-۱۳۸۹) از شاخص‌های خشکسالی SWI، SPI و SRI استفاده شد. جهت انجام این تحقیق از داده‌های ماهانه بارش ایستگاه باران سنجی چراغ‌آباد و هیدرومتری رودان استفاده شد. مقایسه نتایج سه شاخص در تحلیل خشکسالی و درصد فراوانی خشکسالی در کلاس‌های مختلف در مقیاس‌های زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه نشان داد، در هر سه شاخص با افزایش بازه زمانی و افزایش دوره بازگشت مقدار مشخصه‌های خشکسالی شدت، مدت، بزرگی و پیک افزایش یافته است. روند تغییرات سه شاخص مشابه اما شاخص SWI نسبت به SPI و SRI فرکانس بالاتری از خشکسالی را نشان می‌دهد. در شاخص SPI با افزایش دوره بازگشت در هر سری زمانی مقادیر شدت، مدت، بزرگی و پیک افزایش داشته است. اما مقادیر این مشخصه‌ها بین بازه‌های زمانی از الگوی یکسانی پیروی نمی‌کند اما در نهایت در دوره‌های طولانی‌تر نسبت به دوره‌های کوتاه مدت افزایش نشان داده است. ضرایب همبستگی متقاطع بین دو شاخص SRI و SWI مقدار عددی قابل توجهی را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار همبستگی در سری زمانی ۴۸ ماهه برابر با ۰/۶۵ بوده است و همچنین نتایج نشان داد ضریب همبستگی متقاطع بین شاخص SPI و SWI قابل توجه نبوده است. و نتایج همبستگی درصد فراوانی خشکسالی در کلاس‌های مختلف خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه نیز نشان از همبستگی بالای مقادیر در مقیاس ۴۸ بین شاخص SRI و SWI و شاخص SPI و SRI است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، منطقه توکهور، شاخص بارش استاندارد، شاخص آب زیرزمینی استاندارد، شاخص رواناب استاندارد.

مقدمه

از میان بلایای طبیعی، خشکسالی به گونه‌ای متفاوت از بقیه است. خشکسالی در زمینه‌های مختلف چه به صورت مستقیم و چه غیرمستقیم اثرات مخربی به بار می‌آورد. با توجه به کمبود بارش در ایران نسبت به میانگین جهانی، خشکسالی همواره موضوعی چالش برانگیز در مدیریت منابع آب ایران بوده است. برای خشکسالی تعاریف متعددی مطرح شده که به طور کلی، خشکسالی، به کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی اطلاق می‌شود [1]. این پدیده، یکی از بلایای طبیعی پرهزینه و کمتر شناخته شده می‌باشد که بیش از هر بلای طبیعی دیگر خسارات کشاورزی، زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی به همراه دارد [2]. خشکسالی از دیرباز اثرات نامطلوبی به همراه داشته است. تغییرات شدید بارش از لحاظ مقدار، شدت و پراکندگی مکانی یا زمانی باعث شده است که خشکسالی هر چند سال یکبار در منطقه‌ای حادث و باعث خسارات زیادی در ابعاد مختلف شود. البته شدت و مدت خشکسالی‌ها در اقلیم‌های مختلف به طور چشمگیری متفاوت است [3]. در دهه‌های اخیر وقوع خشکسالی‌های محیطی به خاطر مداخله عامل انسانی بیش از گذشته بوده است [4]. وقوع خشکسالی از ویژگی‌های اصلی آب هوای خشک و نیمه خشک ایران است که دائمی نیست [5]. برای مثال، خشکسالی سالهای ۱۳۷۷-۱۳۷۸ لغایت ۱۳۸۰-۱۳۷۹ که یکی از وخیم ترین خشکسالی‌های ثبت شده در ایران است، حدود نصف جمعیت کشور را تحت تاثیر قرار داد و خسارات وارده به بخش کشاورزی و دام حدود ۲/۵ میلیارد دلار برآورده شده است [6], [7]. ارزیابی صحیح وقوع خشکسالی‌ها می‌تواند اطلاعات با ارزشی در اختیار مدیران و سیاستگذاران بخش آب کشور گذاشته، آن‌ها را قادر می‌سازد تا تدابیری مناسب برای مقابله و کاهش عواقب مخرب این پدیده اتخاذ کنند. پیچیدگی عوامل ایجاد خشکسالی‌ها، یکی از دلایل اصلی است که باعث شده مدیران و سیاستگذاران بخش آب قادر به ارزیابی دقیق خشکسالی‌ها نباشند. بنابراین، محققان برای ارزیابی خشکسالی‌ها و تصمیم‌گیری برای مقابله با اثرات آن، در اغلب موارد بر شاخصهای آماری تکیه می‌کنند.

یکی از روش‌های مطالعات خشکسالی، تحلیل داده‌های بارندگی است که از عمومی‌ترین روش‌ها به شمار می‌رود. برای بیان کمی و پدیده خشکسالی و همچنین، ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود که برای محاسبه آنها وجود داده‌های مناسب و طولانی مدت پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بسیار ضروری است. شاخص‌های خشکسالی اطلاعات مختلف مربوط به بارش، جریان و یا متغیرهای اقلیمی دیگر را به‌طور خلاصه به صورت یک تصویر واضح از شرایط رطوبتی هوا یا خاک در اختیار می‌گذارند [8]. هر کدام از این شاخص‌ها، دارای نقاط قوت و ضعف به خصوصی هستند. یکی از مهمترین شاخصها، عبارت است از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) که به وسیله McKee (۱۹۹۳) برای بررسی خشکسالی‌های هواشناختی معرفی شده است. طبیعت احتمالاتی SPI، این امکان را فراهم می‌کند که بتوان دوره‌های خشکی و مشخصه‌های آن را در ایستگاه‌های مختلف مقایسه کرد و این مشخصه‌ها را برحسب دوره‌های بازگشت تفسیر کرد. این شاخص، به‌طور گسترده به وسیله محققان مختلف برای تحلیل خشکسالی‌ها در نواحی مختلف جهان به کار رفته است [9], [10], [11], [12], [13].

مواد و روش‌ها

در این تحقیق جهت شناخت و بررسی انواع خشکسالی منطقه توکهور از آمار طولانی مدت ۳۰ ساله‌ی بارش ماهانه ایستگاه باران‌سنجی چراغ آباد و داده‌های دبی رودخانه و آب زیرزمینی هیدرومتری رودان استفاده شد. منطقه توکهور، یکی از بخش‌های شهرستان میناب در استان هرمزگان ایران است برخی از ویژگی‌های ایستگاه‌ها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱) - برخی از ویژگی‌های ایستگاه بارن‌سنجی چراغ آباد و ایستگاه هیدرومتری رودان

نام ایستگاه	حد فاصل عرض جغرافیایی	حد فاصل طول جغرافیایی	مساحت منطقه	ارتفاع از سطح دریا (متر)
ایستگاه باران‌سنجی چراغ‌آباد	26° 58' تا 27° 25'	57° 10' تا 57° 46'	1369.2	463.83
ایستگاه هیدرومتری رودان	27° 16' تا 27° 38'	57° 00' تا 57° 24'	799.7	396.13

۱- محاسبه شاخص‌های استاندارد شده بارش (SPI)، رواناب (SRI) و آب زیرزمینی (SWI)

تعیین روند گسرنش زمانی و مکانی خشکسالی‌ها با بهره‌گیری از شاخص‌های خشکسالی امکان‌پذیر می‌باشد. در واقع استفاده از این شاخص‌ها، امکان کمی‌سازی تغییرات اقلیمی را فراهم می‌سازد. شاخص خشکسالی SPI توسط McKee (۱۹۹۳) به عنوان جایگزین شاخص PDSI و به منظور کمی‌سازی کاهش بارش به‌عنوان یک ابزار پایش خشکسالی و نشانگر شرایط خشکسالی برای ایالت کلرادو آمریکا توسعه داده شد. برای محاسبه SPI یک توزیع احتمالاتی برای داده‌های بلند مدت بارش ثبت شده برازش داده می‌شود (عموماً توزیع گاما) که در نهایت به توزیع نرمال انتقال داده می‌شود. تا به امروز شاخص SPI نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی در سطح جهان کاربرد بیشتری داشته است. که دلیل آن نیاز به داده‌های ورودی کم‌تر و انعطاف‌پذیری در محاسبه آن می‌باشد [14].

به منظور محاسبه این شاخص ابتدا داده‌های بارندگی ماهانه استخراج و سری‌های زمانی آن‌ها تشکیل می‌گردد. سپس میانگین و انحراف معیار سری‌های زمانی مورد نظر محاسبه شده و مقادیر شاخص SPI تعیین می‌شوند. شدت هر خشکسالی به صورت جمع مقادیر شاخص مورد نظر، از زمانی که شاخص به زیر حد آغاز خشکسالی رسیده باشد تا زمانی که به حد پایان آن برسد تعریف می‌گردد و مدتی که این حالت ادامه دارد مدت مربوط به آن خشکسالی می‌باشد. مک کی و همکاران (۱۹۹۳) جهت تفسیر نتایج و امکان مقایسه مکانی مقادیر SPI طبقه‌بندی جدول (۱) را برای تعیین شدت خشکسالی و ترسالی ارائه نموده‌اند. در این تحقیق با استفاده از سری زمانی بارندگی میانگین حوضه، شاخص بارندگی استاندارد شده در مقیاسهای زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۴، ۲۷، ۳۰، ۳۳، ۳۶، ۳۹، ۴۲، ۴۵، ۴۸ (معرف دوره‌های بلند مدت). توسط اکسل برای بازه زمانی ۱۳۸۹-۱۳۶۶ محاسبه گردید.

جدول (۲) - طبقه بندی شاخص SPI و تعریف کلاس‌های خشکسالی متناظر با آن [15]

مقدار شاخص SPI	طبقه بندی خشکسالی
2 و بیشتر از آن	به شدت مرطوب
1.5 تا 1.99	خیلی مرطوب
1 تا 1.49	نسبتا مرطوب
0 تا 0.99	مرطوب ملایم
0.99 تا 0	خشکسالی ملایم
-1 تا -1.49	نسبتا خشک
-1.50 تا -1.99	خیلی خشک
-2 و کمتر از آن	به شدت خشک

۲- برآورد دوره بازگشت مشخصه های خشکسالی

دوره بازگشت خشکسالی نشان دهنده میانگین زمانی است که بین وقوع دو خشکسالی پشت سر هم، در یک منطقه می‌گذرد. دوره بازگشت، مشخصه‌های مهمی در خصوص خشکسالی هستند که در تحلیل و بررسی این پدیده مورد استفاده قرار می‌گیرند. مشخصه‌های اصلی دوره‌های بازگشت خشکسالی عبارتند از مقدار خشکسالی، طول دوره بازگشت، احتمال وقوع و مدل توزیع احتمال. این مشخصه‌ها نشان می‌دهند که در هر دوره بازگشت در چه فاصله زمانی این مشخصه‌ها تکرار می‌شوند. پس از محاسبه شاخص‌های بارش استاندارد برای تعیین دوره‌های بازگشت خشکسالی، برای هر یک از سری‌های مقادیر آستانه شاخص بارش استاندارد که نمایانگر شدت‌های مختلف خشکسالی هستند، تحلیل فراوانی صورت گرفت.

در این تحقیق جهت برآورد دوره‌های بازگشت ابتدا اقدام به محاسبه مشخصه‌های اصلی خشکسالی شامل: شدت، مدت، بزرگی و پیک برای هر سری زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸ ماهه به تفکیک هر یک از انواع خشکسالی هوا، هیدرو و آب زیرزمینی شد. برای محاسبه شدت، مدت، بزرگی و پیک برای دوره بازگشت، ابتدا نیازمند داده‌های زمانی مربوط به دو بازگشت متوالی هستیم به طور کلی، از مراحل زیر برای محاسبه این مقادیر استفاده شد.

۱. تحلیل داده‌ها: نخستین قدم، تحلیل داده‌های زمانی است. برای دو بازگشت متوالی، داده‌های زمانی را بررسی کردیم و الگوهای تکراری شناسایی شد.

۲. محاسبه شدت و مدت: شدت و مدت به طول زمانی اشاره دارد که یک الگو تکرار می‌شود. برای محاسبه شدت مدت بین دو بازگشت متوالی، زمان شروع و پایان هر بازگشت ثبت، و اختلاف زمانی بین آن‌ها محاسبه شد.

۳. محاسبه بزرگی: بزرگی به طول متوسط تغییرات داده‌ها در یک دوره بازگشت اشاره دارد. برای محاسبه بزرگی، از معیارهای میانگین، انحراف معیار استفاده شد.

۴. محاسبه پیک: پیک به مقدار بیشترین یا کمترین نقطه در یک دوره بازگشت اشاره دارد. برای محاسبه پیک، از مقادیر بیشینه و کمینه داده‌ها در دوره بازگشت استفاده شد.

در هر صورت، محاسبه شدت مدت، بزرگی و پیک بستگی به نوع داده‌ها و نوع الگوی تکراری دارد و ممکن است نیاز به تکنیک‌ها و الگوریتم‌های مختلفی داشته باشد.

در پژوهش حاضر برای پردازش، تعیین فراوانیها، رسم هیستوگرامها و نمودارها از نرم افزار Minitab و انجام برخی از محاسبات، از صفحه گسترده Excel استفاده شد.

۳- محاسبه ضرایب همبستگی متقاطع (cross correlation)

کراس کورلیشن یک مفهوم آماری است که برای اندازه‌گیری میزان همبستگی بین دو متغیر تصادفی در دسته‌های مختلف استفاده می‌شود. این ضریب معیاری است که بین -۱ تا ۱ مقدار می‌گیرد. این ضریب نشان می‌دهد که دو سیگنال چقدر همزمان و هم‌جهت یا نه همزمان و هم‌جهت هستند. اگر ضریب همبستگی متقاطع صفر باشد، این نشان می‌دهد که دو متغیر به هم مرتبط نیستند. ضریب همبستگی متقاطع مثبت نشان می‌دهد که وقتی یکی از متغیرها افزایش می‌یابد، متغیر دیگر نیز معمولاً افزایش می‌یابد و وقتی یکی از متغیرها کاهش می‌یابد، متغیر دیگر نیز، معمولاً کاهش می‌یابد. در صورتی که ضریب همبستگی متقاطع بالا باشد، نشان‌دهنده وجود رابطه مثبت و هم‌جهت بین دو سیگنال است. به طور خلاصه، ضریب همبستگی متقاطع یک معیار است که نشان می‌دهد چقدر دو متغیر با هم همبسته هستند. این ضریب به ما اطلاع می‌دهد که یکی از متغیرها چه تأثیری بر روی مقدار دیگری از متغیر دارد.

در صورتی که ضریب همبستگی متقاطع کم یا منفی باشد، نشان‌دهنده وجود رابطه ضعیف یا عدم وجود رابطه است. با استفاده از ضریب همبستگی متقاطع، می‌توان رابطه زمانی بین داده‌های بارش با آب زیرزمینی و رواناب را بررسی کرد. برای این منظور ابتدا داده‌های خشکسالی (داده‌های بارش و داده‌های آب زیرزمینی و رواناب) را همبسته و سپس از ضریب همبستگی متقاطع بین دو دسته داده استفاده شد تا رابطه زمانی بین آن‌ها بررسی شود. در این تحقیق از کراس کورلیشن جهت تحلیل همبستگی و تشخیص الگوی تغییر بین شاخص‌های SPI، SRI و SWI استفاده شد.

نتایج

در این تحقیق تغییرات دوره‌های خشک و مرطوب بارش ایستگاه باران‌سنجی چراغ‌آباد، تغییرات دبی رودخانه و تغییرات سطح آب زیرزمینی ایستگاه هیدرومتری رودان در بازه زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸ ماهه مورد بررسی و پایش قرار گرفت. شکل ۱، ۲ و ۳ تغییرات دوره‌های خشک و مرطوب را بر اساس شاخص SPI، SRI و SWI در بازه‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. در متغیر بارش (SPI) در بازه‌های زمانی کوتاه مدت بطور متناوب دوره‌های خشک و مرطوب کوتاه مدت اتفاق افتاده است. دوره‌های متناوب خشک و مرطوب کوتاه مدت برای متغیر رواناب (SRI) نسبت به متغیر بارش رخداد کمتری را نشان می‌دهد و در متغیر آب زیرزمینی (SWI) دوره‌های متناوب خشک و مرطوب کوتاه مدت قابل ملاحظه‌ای رخ نداده است.

نتایج حاصل از تغییرات شاخص‌های SPI، SRI و SWI بدست آمده در مقیاس‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸ ماهه در شکل‌های (۱)، (۲)، (۳)، ارائه شده است. با افزایش بازه‌های زمانی، فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب در دو متغیر بارش و رواناب کاهش اما تداوم آن‌ها افزایش یافته است. مقیاس‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه شاخص SPI نشان داد که شدیدترین خشکسالی در بازه زمانی ۳ ماهه در مهرماه سال ۱۳۷۸ تا مهر سال ۱۳۸۱، در بازه زمانی ۶ ماهه در بهمن سال ۱۳۷۸ تا مهر سال ۱۳۸۱،

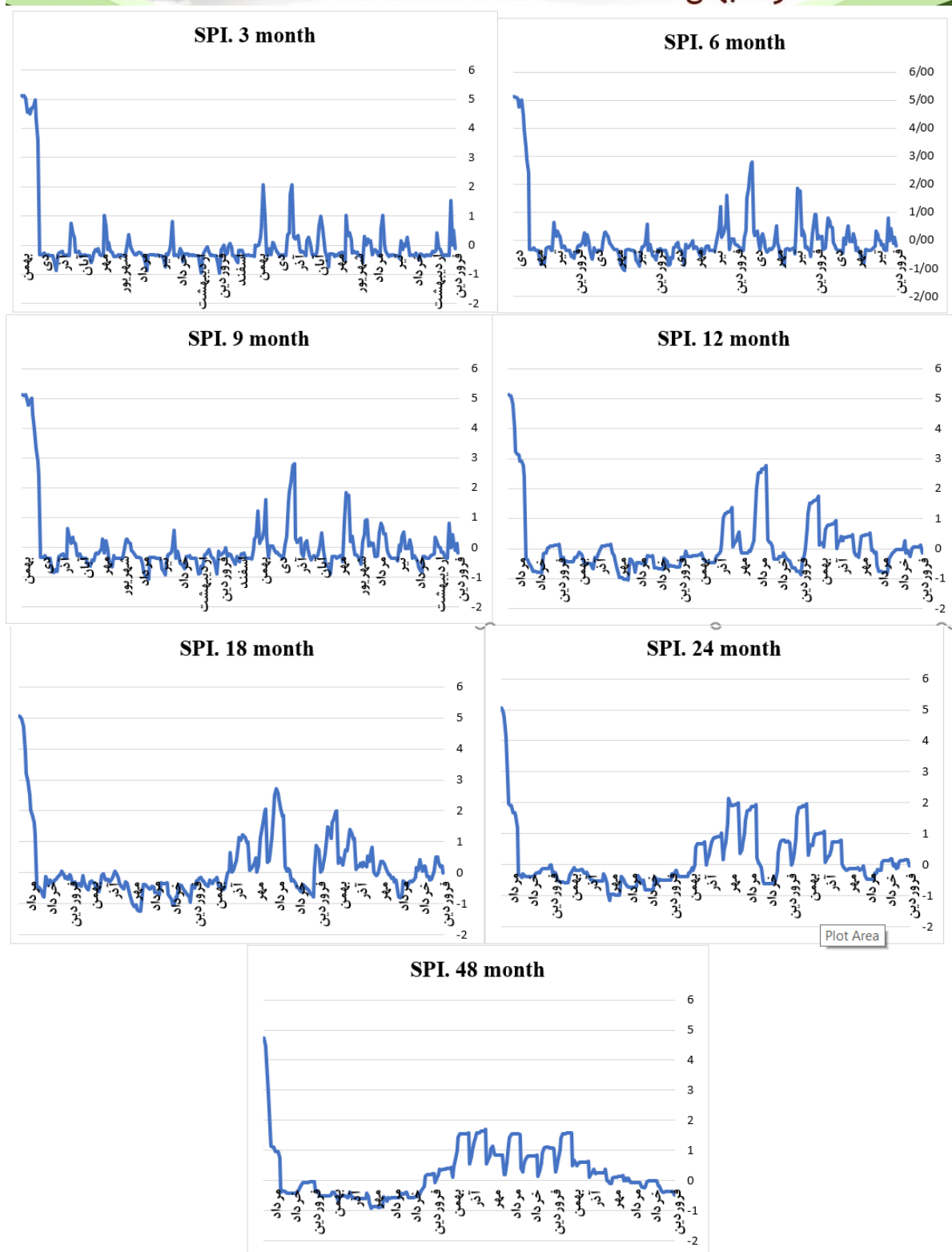
در بازه زمانی ۹ ماهه از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۸۸ بوده، در بازه زمانی ۱۲ ماهه سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۸۳، در بازه زمانی ۱۸ ماهه اوایل سال ۱۳۷۸ تا سال ۱۳۸۸، در مقیاس ۲۴ ماهه از آبان سال ۱۳۷۸ تا اسفند سال ۱۳۸۸، در مقیاس ۴۸ ماهه از آبان سال ۱۳۸۰ تا اسفند ۱۳۸۸ اتفاق افتاده است. همچنین در مقیاس ۳ ماهه تعداد ۱۷ دوره تر و ۱۶ دوره خشک، در مقیاس ۶ ماهه تعداد ۱۶ دوره تر و ۱۵ دوره خشک، در مقیاس ۹ ماهه تعداد ۱۵ دوره تر و ۱۴ دوره خشک، در مقیاس ۱۲ و ۱۸ ماهه ۶ دوره تر و ۵ دوره خشک، در مقیاس ۲۴ ماهه ۵ دوره تر و ۴ دوره خشک و در مقیاس ۴۸ ماهه ۳ دوره خشک و ۳ دوره تر قابل تشخیص است.

بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه شاخص SWI نشان داد که از فروردین سال ۱۳۸۲ تا اسفند ۱۳۸۹ بیشترین خشکسالی اتفاق افتاده است و همچنین سری زمانی ۱۸ ماهه شاخص فوق نشان داد که بیشترین خشکسالی از اردیبهشت سال ۱۳۸۲ تا اسفند ۱۳۸۹ می‌باشد و سری زمانی ۲۴ ماهه از خرداد سال ۸۲ تا اسفند سال ۱۳۸۹ و بازه زمانی ۴۸ ماهه نیز از فروردین سال ۱۳۸۳ تا اسفند ۱۳۸۹ بیشترین خشکسالی اتفاق افتاده است. و در همه بازه‌های زمانی شاخص SWI دو دوره خشک و یک دوره تر قابل تشخیص است. در شاخص SRI در بازه زمانی ۶ و ۹ ماهه شدیدترین خشکسالی از بهمن ۱۳۷۷ تا آبان ۱۳۸۸، بازه زمانی ۱۲ ماهه از آذر ۱۳۷۷ تا آبان ۱۳۸۸، در بازه زمانی ۱۸ ماهه و ۲۴ ماهه از اواسط سال ۱۳۷۸ تا سال ۱۳۸۸ بوده و همچنین بازه زمانی ۴۸ ماهه شدیدترین و طولانی ترین خشکسالی از سال ۱۳۷۹ تا اسفند ۱۳۸۹ اتفاق افتاده است.

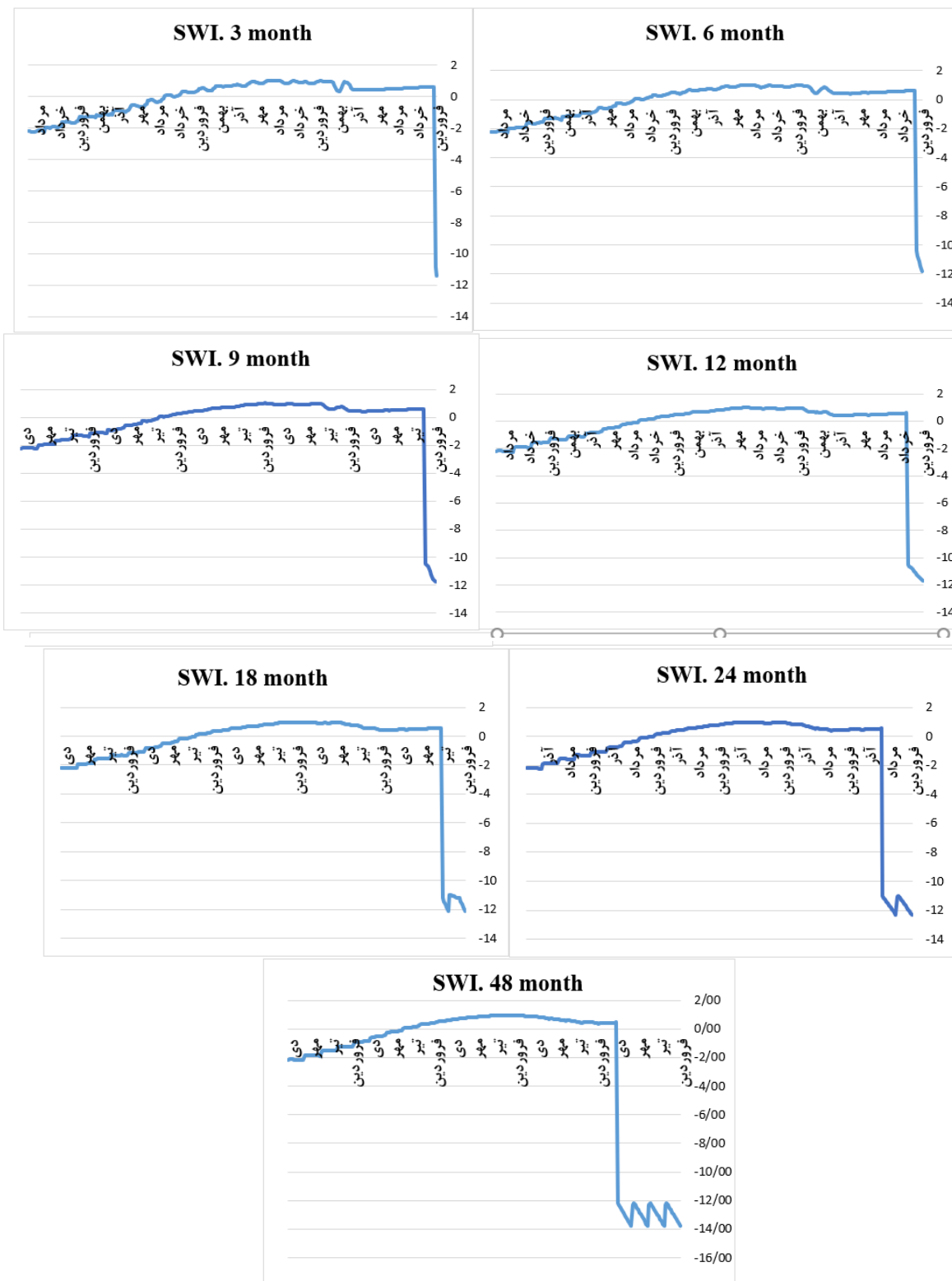
به طور کلی در یک دوره بلند مدت، هر قدر مقیاس زمانی مورد مطالعه کوتاه‌تر باشد، شدت خشکسالی کمتر خواهد بود (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین هر چقدر مقیاس زمانی مورد مطالعه افزایش یابد، تداوم خشکسالی بیشتر و تکرار آن‌ها کمتر می‌شود [16]. به همین دلیل مقیاس‌های زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه تعداد دوره‌های خشکی را کم‌تر و دارای تداوم بیشتر نمایش می‌دهند. لذا باتوجه به مقیاس زمانی بلند مدت، می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین خشکسالی‌ها در شاخص SPI در سری زمانی‌های پایین‌تر به علت فراوانی بالا دوره‌های تر و خشک، تداوم خشکسالی کمتر بوده ولی در بازه زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه فراوانی دوره‌های تر و خشک کمتر و تداوم خشکسالی بیشتر بوده است و بیشترین خشکسالی‌ها در شاخص SPI از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ خشکسالی پدیده غالب منطقه بوده است این الگو نیز در مورد شاخص SRI مشابه می‌باشد. و همچنین شاخص SWI نشان داد بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۹ منطقه با یک دوره خشکی رو به رو بوده است.

نتایج دوره‌های بازگشت مشخصه‌های شدت، مدت، بزرگی و پیک خشکسالی در هر سه شاخص SPI، SRI و SWI روند مشابهی را نشان داد بطوری که در هر سه شاخص با افزایش بازه زمانی و افزایش دوره بازگشت مقدار عددی هر کدام از مشخصه‌ها افزایش را نشان داده است. جدول ۳ مقادیر عددی هر یک از مشخصه‌های خشکسالی را به تفکیک سری‌های زمانی و دوره بازگشت و نوع شاخص را نشان می‌دهد.

نتایج ضریب همبستگی متقاطع نشان‌دهنده الگوی رفتاری مشابه هر سه شاخص SPI، SRI و SWI در همه سری‌های زمانی است. ضرایب همبستگی متقاطع بین دو شاخص SPI و SRI و شاخص SRI و SWI از سری زمانی ۳ ماهه به بعد مقدار عددی قابل توجهی را نشان داد. بطوری که در سری زمانی ۴۸ ماهه بین شاخص SRI و SWI بیشترین مقدار همبستگی برابر با ۰/۶۵ بوده است و همچنین بین دو شاخص SPI و SRI در سری زمانی ۱۲ و ۴۸ ماهه با گام تاخیر صفر بیشترین همبستگی، به ترتیب برابر با ۰/۵۵ و ۰/۵۷ را داشته است. نتایج این بخش نشان داد که مقادیر ضریب همبستگی متقاطع بین شاخص SPI و SWI در سری زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ کمتر از صفر بوده و در سری زمانی ۱۸، ۲۴ و ۴۸ بیشتر از صفر بوده است اما این مقادیر عددی قابل ملاحظه نبوده است. جدول ۴ ضرایب همبستگی متقاطع بین شاخص‌های مورد مطالعه را به تفکیک سری‌های زمانی مختلف نمایش می‌دهد.



شکل (۲) - تغییرات دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص SPI در بازه‌های زمانی مختلف



شکل (۳) - تغییرات دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص SWI در بازه‌های زمانی مختلف



انجمن علمی سیستم‌های
سطوح آبگیر باران ایران

**12th National Conference on Iranian
Rainwater Catchment Systems**
(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

دوازدهمین همایش ملی
سامانه‌های سطوح آبگیر باران

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آبخیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

شاخص SWI				شاخص SRI				شاخص SPI				دوره بازگشت ت (سال)	سری زمانی
پیک	بزرگی	مدت	شدت	پیک	بزرگی	مدت	شدت	پیک	بزرگی	مدت	شدت		
5/62	4/46	22/39	57/65	0/35	0/61	9/90	4/74	0/54	0/32	11/91	3/83	2	۳ ماهه
10/33	9/84	80/49	107/9	0/60	3/09	20/52	20/88	0/75	0/40	21/41	7/07	5	
16/69	17/77	187/89	176/35	0/92	8/39	35/72	53/48	0/98	0/48	34/09	11/34	20	
20/69	22/95	264/54	219/51	1/13	12/36	45/53	77/46	1/12	0/53	42/00	14/05	50	
23/65	26	300	251/51	1/25	15/50	51/00	96/32	1/16	0/57	47/84	16/05	100	
5/78	4/45	29/9	83/02	0/27	0/14	13/14	2/44	0/61	0/3	11/44	3/34	2	۶ ماهه
10/7	9/85	82/92	112/13	0/59	0/26	33/93	10/73	0/87	0/49	21/15	6/88	5	
17/38	17/82	170/08	145/46	1/06	0/43	66/98	27/46	1/18	0/72	34/3	11/72	20	
21/58	23/03	229/66	164/62	1/37	0/54	89/28	39/75	1/36	0/86	42/56	14/83	50	
24/69	26	275/32	170	1/60	0/61	106/28	48/00	1/45	0/97	48/68	17/14	100	
5/75	4/43	34/9	102/35	0/25	0/12	12/75	2/1	0/61	0/3	11/44	3/34	2	۹ ماهه
10/65	9/84	84/19	114/63	0/61	0/23	45/51	12/78	0/87	0/49	21/15	6/88	5	
17/27	17/83	160/1	127/21	1/15	0/39	105/88	37/57	1/18	0/72	34/3	11/72	20	
21/44	23/07	210/65	133/96	1/51	0/48	148/92	56/62	1/36	0/86	42/56	14/83	50	
24/53	26	240	138	1/75	0/56	180/00	71/83	1/45	0/97	48/68	17/14	100	
5/72	4/42	38/92	118/96	0/25	0/17	18/45	3/91	0/6	0/32	20/41	7/2	2	۱۲ ماهه
10/58	9/83	12/85	121/67	0/46	0/28	63/02	19/21	0/98	0/48	42/22	19/3	5	
17/15	17/84	153/03	124/3	0/73	0/42	143/54	51/63	1/46	0/68	73/41	39/02	20	
21/28	23/1	197/37	125/65	0/91	0/51	200/5	75/84	1/76	0/8	93/53	52/39	50	
24/34	27	220	126/2	1/04	0/59	240	94/98	1/9	0/85	103	62/6	100	
5/82	4/48	45/2	150/08	0/33	0/19	26/87	6/16	0/62	0/31	23/03	8/14	2	۱۸ ماهه
10/94	10/1	85/7	186/84	0/78	0/42	39/84	31/75	1/22	0/54	63/46	31/08	5	
17/92	18/48	141/22	227/01	1/46	0/77	184/47	87/13	2/06	0/84	129/71	74/62	20	
22/32	23/98	176/33	249/44	1/91	1	254/36	128/76	0/59	1/02	174/94	105/98	50	
25/59	27	202/41	270	2/25	1/1	300	161/76	2/99	1/1	209/59	125	100	
5/90	4/52	50/37	177/7	0/54	0/33	40/44	14/52	0/64	0/37	28/6	11/74	2	۲۴ ماهه
11/14	10/28	86	252/2	1/01	0/56	102/66	47/80	1/21	0/64	74/14	40/53	5	
18/3	18/93	132/31	340	1/65	0/86	200/84	106/96	1/98	0/99	146/7	92/78	20	
22/82	24/62	160/83	391/16	2/05	1/05	266/87	148/59	2/48	1/2	195/69	129/83	50	
26/18	27	180	420	2/35	1/85	317/16	180	2/84	1/3	233/06	150	100	
6/28	4/86	63/71	280/55	0/55	0/37	24/92	10/93	0/62	0/34	42/81	17/05	2	۴۸ ماهه
12/37	11/38	80/54	546/66	1/26	0/78	81/07	54/37	1/42	0/75	106/79	71/01	5	
20/86	21/28	99/09	916/47	2/35	1/37	180/34	146/95	2/61	1/37	206/9	177/44	20	
26/28	27/83	109/51	1151/84	3/07	1/75	250/07	216/23	3/39	1/77	274	255/09	50	
30/31	33	115	1327/13	3/5	2	300	271/04	3/95	2	325/05	300	100	

جدول (۳) - مقادیر عددی هر یک از مشخصه‌های خشکسالی به تفکیک سری‌های زمانی مختلف و نوع شاخص

جدول (۴) - ضرایب همبستگی متقاطع بین شاخص‌های مورد مطالعه به تفکیک سری‌های زمانی مختلف

سری زمانی	فاکتور ها	بارش و رواناب	بارش و آب زیرزمینی	رواناب و آب زیرزمینی
۳ ماهه	گام تاخیر	-5	-2	0
	ضریب همبستگی متقاطع	0.25	-0.31	0.2
۶ ماهه	گام تاخیر	-5	-2	0
	ضریب همبستگی متقاطع	0.31	-0.19	0.18
۹ ماهه	گام تاخیر	-5	0	0
	ضریب همبستگی متقاطع	0.42	-0.14	0.23
۱۲ ماهه	گام تاخیر	4	-2	0
	ضریب همبستگی متقاطع	0.55	-0.045	0.33
۱۸ ماهه	گام تاخیر	0	5	0
	ضریب همبستگی متقاطع	0.52	0.041	0.43
۲۴ ماهه	گام تاخیر	0	-5	0
	ضریب همبستگی متقاطع	0.52	0.07	0.49
۴۸ ماهه	گام تاخیر	0	0	0
	ضریب همبستگی	0.57	0.22	0.65

بحث و نتیجه گیری

خشکسالی به عنوان یکی از بلایای طبیعی دسه بندی می شود که تاثیرات عمده ای بر بخش های یک اکوسیستم می گذارد گرچه امکان جلوگیری از وقوع آن وجود ندارد اما می توان با اقداماتی اثرات منفی آن را کم نمود.

تحقیق فوق با هدف بررسی رفتار خشکسالی در منطقه توکهور با استفاده از ۳ شاخص SPI، SWI و SRI صورت پذیرفته است. بر این اساس سه شاخص مذکور در مقیاس های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه بر اساس روش شناسی McKee و همکاران و vicente serrano و همکاران محاسبه گردید و پایش، تحلیل فراوانی و ارزیابی روند خشکسالی بر اساس سه شاخص فوق در ایستگاه های بارانسنجی چراغ آباد و هیدرومتری رودان در جنوب ایران مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از پایش خشکسالی با استفاده از سه شاخص SPI، RSI و RWI در منطقه مورد بررسی نشان داد، روند تغییرات سه شاخص مشابه اما شاخص RWI روند خشکسالی و ترسالی ها را با فرکانس و شدت بیشتری نمایش می دهد که دلیل آن را می توان به تغییرات بارندگی نسبت داد.

در خصوص رخداد دوره های خشک و مرطوب (اشکال ۱ تا ۳) نشان داد در متغیر بارش (شاخص SPI) در بازه های زمانی کوتاه، بطور متناوب دوره های خشک و مرطوب کوتاه مدت اتفاق افتاده است و با افزایش بازه های زمانی، فراوانی دوره های خشک و مرطوب کاهش اما تداوم آن ها افزایش یافته است. دوره های متناوب خشک و مرطوب کوتاه مدت برای متغیر رواناب (شاخص SRI) نسبت به متغیر بارش رخداد کمتری را نشان می دهد و در متغیر آب زیرزمینی (شاخص SWI) دوره های متناوب خشک و مرطوب کوتاه مدت قابل ملاحظه ای رخ نداده است. این عدم وجود انطباق دوره های کوتاه مدت خشک و مرطوب شاخص SWI با شاخص SPI می تواند به این دلیل باشد که تاثیر میزان بارش بر تغییرات سطح آب زیرزمینی در کوتاه مدت وجود ندارد و برای اینکه میزان بارش یک منطقه بتواند بر منابع آب زیرزمینی تاثیرگذار باشد زمان طولانی نیاز و عملاً در بازه های زمانی کوتاه مدت این مکان فراهم نیست. با افزایش بازه های زمانی، فراوانی دوره های خشک و مرطوب در دوشاخص SPI و SRI کاهش اما تداوم آن ها افزایش یافته است. با افزایش بازه های زمانی همسانی الگوی رفتاری بین این دو شاخص نیز افزایش یافته است بطوری که در بازه زمانی ۱۲ ماهه هر دو شاخص SPI و SRI حد فاصل بین سال های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۳ پدیده خشکسالی غالب بوده است. این دو شاخص در بازه زمانی ۱۸ و ۲۴ ماهه نیز پدیده خشکسالی را بین سال های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸ نشان می دهند و در بازه زمانی ۴۸ ماهه رخداد خشکسالی هر دو شاخص در محدوده سال های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۰ و سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۸ نشان داده شد. انطباق بیشتر دو شاخص SPI و SRI در بازه زمانی ۴۸ ماهه را می توان به دلیل فراهم بودن زمان لازم جهت تاثیر میزان بارش بر تغییرات آب سطحی دانست. در خصوص چگونگی تغییرات شاخص SPI و SWI مشخص شد که در هر دو شاخص در بازه های زمانی طولانی مدت ۲۴ ماهه و ۴۸ ماهه به ترتیب بین سال های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۸ و سال های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸ پدیده غالب خشکسالی بوده است و دلیل این اتفاق می تواند فراهم بودن زمان کافی جهت تاثیر بارش بر تغییرات سطح آب زیرزمینی در بازه های طولانی تر باشد. همچنین با توجه به میزان بارش، شدت خشکسالی در زمان های مختلف متغیر است. در این رابطه رضیئی و همکاران (۱۳۸۶) تغییرات مکانی خشکسالی هواشناسی استان سیستان و بلوچستان و بروغنی و همکاران (۱۳۹۲) نیز تغییرات مکانی خشکسالی هواشناسی دشت سبزووار را مورد بررسی قرار داده اند که نتایج به دست آمده نشان دهنده آن است که شدت خشکسالی در زمان های مختلف در بخش های مختلف متغیر بوده است و از این جهت با نتایج تحقیق حاضر منطبق است [17],[18].

براساس نتایج جدول ۳، در شاخص SPI با افزایش دوره بازگشت در هر سری زمانی مقادیر شدت، مدت، بزرگی و پیک افزایش داشته است. اما مقادیر این مشخصه‌ها بین بازه‌های زمانی از الگوی یکسانی پیروی نمی‌کند اما در نهایت در دوره‌های طولانی‌تر نسبت به دوره‌های کوتاه مدت افزایش نشان داده است.

با افزایش دوره بازگشت و کاهش احتمال وقوع، تداوم خشکسالی‌ها در تمام شدتها افزایش می‌یابد. در هر سری زمانی با افزایش دوره بازگشت، مقدار عددی شدت، مدت، بزرگی و پیک (مشخصه‌های خشکسالی) برای هر سه شاخص روند افزایشی داشته ولی این گونه نبوده که با افزایش سری زمانی مقدار عددی متغیرها افزایش پیدا کند مثلاً در شاخص SPI در بازه‌ی زمانی ۳ ماهه مقدار شدت برابر ۳/۸۳ ولی در سری زمانی ۱۲ ماهه برابر با ۳/۳۴ بوده است و روند تغییرات مدت بزرگی و پیک نیز به همین صورت بوده و در شاخص SRI در بازه زمانی ۲۴ ماهه مقدار مدت با دوره بازگشت ۵، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ ساله به ترتیب برابر با ۴۰/۴۴، ۱۰۲/۶، ۲۰۰/۸۴، ۲۶۶/۸ و ۳۱۷/۱۶ و در بازه زمانی ۴۸ ماهه برابر با ۲۴/۹۲، ۸۱/۰۷، ۸۱/۳۴، ۲۵۰/۱۸۰ و ۳۰۰ که روند کاهشی داشته است. یعنی با افزایش بازه زمانی ممکن است مقدار عددی مشخصه‌های خشکسالی روند کاهش یا افزایشی داشته باشد. و روند تغییرات بزرگی و پیک نیز مشابه ویژگی مدت و شدت در تمام شاخص‌ها بوده است. در شاخص SWI نیز با افزایش دوره بازگشت در هر سری زمانی مقادیر شدت، مدت، بزرگی و پیک افزایش داشته است اما مقادیر این مشخصه‌ها بین بازه‌های زمانی از الگوی مشخصی پیروی نمی‌کند.

طی آنالیز همبستگی مقادیر سه شاخص در مقیاس زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه، با افزایش مقیاس مطالعه از ۳ به ۴۸ ماهه، مقدار همبستگی بین دو شاخص افزایش نشان داد، به طوری که بالاترین ضرایب همبستگی مشاهده شده در مقیاس ۱۲ و ۴۸ ماهه بین بارش و رواناب به ترتیب برابر با ۰/۵۵ و ۰/۵۷ و همبستگی بین رواناب و آب زیرزمینی در سری زمانی ۴۸ ماهه، ۰/۶۵ مشاهده گردید. همچنین نتایج همبستگی درصد فراوانی خشکسالی در کلاس‌های مختلف خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه نیز نشان از همبستگی بالای مقادیر در مقیاس ۴۸ بین شاخص SRI و SWI و شاخص SPI و SRI است.

در این تحقیق، از شاخص SPI، SRI و SWI برای ارزیابی و بررسی خشکسالی استفاده شد. نتایج نشان داد که شاخص SPI ضمن حساسیت بیشتر به تغییرات بارش و مستقل بودن از میانگین بارش، نتایج بهتری از تکیک ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها ارائه می‌کند. محققان دیگری نیز در مطالعات خود به برتری نمایه SPI نسبت به سایر شاخص‌ها اشاره کرده‌اند [19]، [20]، [21]. بطور کلی تغییرات سطح آب زیرزمینی در بسیاری از آبخیزها علاوه بر خشکسالی هواشناسی ناشی از کمبود بارش، تحت تاثیر عوامل دیگری می‌باشد که از میان بهره‌برداری‌های بی رویه و غیراصولی از این منابع بیشترین تاثیر را در افت سطح آب زیرزمینی مخصوصاً در مناطق خشک که با آورد پایینی توأم است، دارد.

سپاسگزاری

به نام آفریدگار پاک که انسان را از خاک آفرید و به واسطه عقل بر تمام موجودات رحمان داد و آن گاه دانش را وسیله تکامل عقل قرار داد بزرگ پروردگار را سپاس که به ما استعداد آموختن عطا کردی.

با تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته و فرزانه سرکار خانم دکتر بذرافشان که با نکته‌های دل آویز و گفته‌های بلند همیشه و در همه چیز استاد بنده هستید.

کار مستخرج از پروژه دکتری درس تغییر اقلیم و مدیریت خشکسالی با راهنمایی خانم دکتر بذرافشان است.



منابع

- [1] Palmer WC. Keeping track of crop moisture conditions. nationwide: the new crop moisture index. *Weatherwise*, 21: 156-161. 1968.
- [2] Wilhite, D.A. Drought as a natural hazard: concepts and definitions. *Drought: A Global Assessment*, London, Routledge, UK, 3-18. 2000
- [3] Wilhite, D.A. 1993. Drought assessment, management and planning: theory and case studies. Kluwer Academic Publishers, USA, 293 pages
- [4] Moradi, H. R., M. Rajabi and M. Farajzadeh. 2011. Investigation of meteorological drought characteristics in Fars Province, Iran. *Catena*, 84: 35-46 (in Persian).
- [5] Barua, S., A.W.M. Ng and B.J.C. Perera. Comparative evaluation of drought indices: a case study on the Yarra River Catchment in Australia. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 137(2): 215-226
- [6] Agrawala, S., M. Barlow, H. Cullen and B. Lyon. 2001. The drought and humanitarian crisis in central and southwest Asia: a climate perspective, IRI special report No. 01-11. International
- [7] Morid, S., Sh. Paymouz and M. Moghaddasi. 2004. Monitoring of the 1998-2000 drought in Tehran Province, using EDI, SPI, DI indices and geographical information system. *Journal of Modarres Humanity Science (Iran)*. 9(1): 197-215 (in Persian).
- [8] Heim, R.R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83: 1149-1165.
- [9] Moreira, E.E., C.A. Coelho, A.A. Paulo, L.S. Pereira and J.T. Mexia. 2008. SPI-based drought category prediction using log linear models. *Journal of Hydrology*, 354: 116-130.
- [10] Cancelliere, A., G. Di Mauro, B. Bonaccorso and G. Rossi. 2007. Drought forecasting using the standardized precipitation index. *Water Resources Management*, 21: 801-819.
- [11] Hayes, M.J., M.D. Svoboda, D.A. Wilhite and O.V. Vanyarkho. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(3): 429-438.
- [12] Abolverd, J. and D. Khalili. 2010. Probabilistic analysis of extreme regional meteorological droughts by L-moments, in a semi-arid environment. *Theoretical and Applied Climatology*, 102: 351-366.
- [13] Mirabbasi, R., E.N. Anagnostou, A. Fakheri-Fard, Y. Dinpashoh and S. Eslamian. 2013. Analysis of meteorological drought in northwest Iran using the joint deficit index. *Journal of Hydrology*, 492: 35-48 (in Persian).
- [14] Ahmadi M, Nosrati K, Solki H. (2013). Drought and relationship with soil moisture. *J Geograph. Iranian Geograph Assoc.*; 11(38): 77-9, (in Farsi). Research Institute for Climate Prediction, Palisades, 24 pages.



- [15] McKee, T.B, N.J. Doeskin and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 179-184. January 17-22, Anaheim, California.
- [16] بذر افشان، ا.، محسنی ساروی، م.، ملکیان، ا. و معینی، ا. ۱۳۹۰. بررسی وضعیت خشکسالی استان گلستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI). تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۹(۴۳): ۹۴۳.
- [17] Asadi, M., 2009. Study of possibility of industrial manufacture wastewater treatment using plants. In: Proceeding of the First National Conference on Oil, Gaz and Petrochemical, Orumieh, Iran.
- [18] بروغنی، مهدی، طایی، مجید، میرنیا، سید خلاق، میرنیا. تحلیل ارتباط خشکسالیهای هیدرولوژیکی و اقلیمی دشت سبزوار با استفاده از شاخص‌های SPI و SWI. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ج ۲۰. ش ۴. ص. ۷۳۳-۷۴۴. (۱۳۹۲).
- [۱۹] ارضیئی، ط.، دانش کار آراسته، پ.، اختری، ر.ا. و ثقفیان، ب.، بررسی خشکسالیهای هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکوف. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۳(۱): ۳۵-۲۵. (۱۳۸۶).
- [20] Bazrafshan, J. 2002. Natural study some meteorological indicators in several climatic zones of Iran, Tehran university. MS.C thesis.
- [21] Jahanbakhsh, S., and Ghavidel-Rahimi, Y. 2002. Analysis of the spatial distribution of wet and dry periods of East Azarbayejan stations. Journal of Geographic Space. 5: 3-39.
- [22] Steineman, A. 2003. Drought indicators and .62 triggers. A stochastic approach to evaluation. Water Res. Assoc. 39(5): 1217-1233.



Analysis Of Meteorological, Hydrology and Groundwater Droughts In Tokahor For Minab

Fatemeh zerehi¹

۱-Ph.D. student, University of Hormozgan, Iran. F.zerehi1372@gmail.com

Abstract

Drought causes significant damage, particularly in arid and semi-arid regions, where the effects of drought are more pronounced due to the fragile environment. This study examines and analyzes the frequency of meteorological, hydrological, and groundwater drought characteristics in the Tukahur region of Hormozgan Province over a statistical period from 1987 to 2010, using the drought indices of Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Runoff Index (SRI), and Standardized Water Index (SWI). Monthly precipitation data from the Chiraghabad rain gauge station and streamflow data from the Rudan hydrological station were utilized for this research. The comparison of the results of the three indices in drought analysis and the percentage of drought occurrence in different classes over time scales ranging from 3 to 48 months indicates that all three indices show an increase in drought severity, duration, magnitude, and peak as the time scale and return period increase. The variation trends of the three indices are similar, but the SWI index exhibits a higher frequency of drought compared to SPI and SRI. In the SPI index, the intensity, duration, magnitude, and peak values increase with longer return periods in each time series. However, these characteristics do not follow a consistent pattern among the time intervals, but overall, they show an increasing trend in longer periods compared to shorter ones. The cross-correlation coefficients between the SRI and SWI indices indicate a considerable numerical value. The highest correlation coefficient was 0.65 for the 48-month time series, while the cross-correlation coefficients between SPI and SWI were not significant. The results also demonstrate a high correlation between the percentage of drought occurrence in different drought classes over the studied time scales, particularly a strong correlation between the SRI and SWI indices in the 48-month scale and between the SPI and SRI indices.



Keywords: Drought, Tukhur region, Standardized precipitation index, Standardized groundwater index, Standardized runoff index