

دارد، چرا که در مقیاس زمانی کوتاه‌تری قادر به نمایش رخداد خشک‌سالی هیدرولوژیکی است. هم‌بستگی چندانی ($cc=0/18$) در مقیاس‌های زمانی مختلف بین دو شاخص SPI-GRI مشاهده نشد که نشان‌دهنده نامناسب بودن شاخص‌های مذکور، برای بررسی اثرات خشک‌سالی اقلیمی بر آب زیرزمینی است. لذا پیشنهاد می‌گردد جهت بررسی اثر تغییرات بارش بر نوسانات آب زیرزمینی از SPEI بجای SPI استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آماره‌ی کاپا، پایش خشک‌سالی، مشخصه‌های خشک‌سالی، مقایسات جفتی.

مقدمه

در بستر تغییرات آب‌وهوایی و وقوع خطرات مکرر و شدید آب‌وهوا، رویدادهایی مانند سیل و خشک‌سالی اتفاق می‌افتد، که تولیدات کشاورزی و توسعه اجتماعی و اقتصادی را تهدید می‌کند [۱۶]. تعیین کمی ویژگی‌های شدت، بزرگی و تداوم خشک‌سالی به‌صورت عینی بسیار مشکل است. از این رو تلاش زیادی برای توسعه روش‌های واکاوی و پایش خشک‌سالی صورت گرفته‌است که شاخص‌های عینی بیش‌ترین سهم را داشته‌اند [۱۳].

برای پایش و هشدار خشک‌سالی، شاخص‌های متعددی با تأکید بر پارامترهای هیدرواقلمی^۳ ارائه شده‌است. بین شاخص‌های خشک‌سالی، برخی از شاخص‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند، مانند شاخص بارش استاندارد شده که بدلیل سهولت در فراهم آوردن داده‌های ورودی و ماهیت چند مقیاسه بودن مورد توجه عموم محققین در این زمینه قرار گرفته‌است [۴]. شاخص استاندارد شده باران- تبخیر و تعرق استاندارد شده^۴ توسط [۱۵] معرفی شد. به عقیده وی، دو شاخص SPI^۵ و SPEI، در اقلیم‌هایی که تفاوت چندانی بین تغییرات دما و بارش وجود ندارد، مشابه هستند. اما شاخص SPEI در اقلیم‌های کم‌باران، پاسخ سریع‌تری داشته، چرا که به دلیل لحاظ نمودن بیان آب، هم‌بستگی قابل قبولی با میزان رطوبت خاک دارد. اما شاخص رواناب استاندارد شده [۱۲] که براساس دیدگاه SPI بنا نهاده شده‌است، برای بررسی اثر اقلیم بر تغییرات جریان رودخانه استفاده می‌شود. شاخص خشک‌سالی منابع

کارایی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی در پیش‌هشدار خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سداستقلال - میناب)

سمیه بهرامی^۱، ام‌البنین بذرافشان^{۲*} و یحیی اسماعیل‌پور^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۲

چکیده

خشک‌سالی از علل طبیعی اصلی خسارت در حوزه‌های کشاورزی، اقتصاد و محیط زیست است. تعیین کمی ویژگی‌های شدت، بزرگی و تداوم خشک‌سالی به‌صورت عینی بسیار مشکل است. از این رو تلاش زیادی برای پایش خشک‌سالی با استفاده از نمایه‌های مختلف صورت گرفته‌است. در تحقیق حاضر به‌منظور بررسی اثرات خشک‌سالی اقلیمی بر سیستم‌های هیدرولوژیکی در محدوده مورد مطالعه از شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی شامل SPI و SPEI، شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی SRI و شاخص خشک‌سالی آب زیرزمینی GRI استفاده گردید، سپس ارتباط بین شاخص‌های مذکور باهم، هم‌زمانی و یا عدم هم‌زمانی وقوع رخداد خشک‌سالی بررسی شد. در نهایت با هم‌بستگی بین شاخص‌ها بهترین شاخص اقلیمی جهت پایش سیستم‌های هیدرولوژیکی در منطقه معرفی گردید. نتایج نشان داد، مقایسه هم‌بستگی دو شاخص هواشناسی با شاخص‌های SRI و GRI، شاخص SPEI از نظر هشدار خشک‌سالی، در اولویت قرار دارد، چرا که در مقیاس زمانی کوتاه‌تری قادر به نمایش رخداد خشک‌سالی هیدرولوژیکی است. هم‌بستگی چندانی در مقیاس‌های زمانی مختلف بین دو شاخص SPI-GRI ($cc=0/18$) مشاهده نشد که نشان‌دهنده نامناسب بودن شاخص‌های مذکور، برای بررسی اثرات خشک‌سالی اقلیمی بر آب زیرزمینی است. نتایج نشان داد، مقایسه هم‌بستگی دو شاخص هواشناسی با SRI و SPEI، GRI از نظر هشدار خشک‌سالی، در اولویت قرار

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان

۲- عضو هیات علمی گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان *مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:

O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

3- Hydrometeorology

4- SPEI: Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

5- Standardized Precipitation Index

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه، حوزه آبخیز سد استقلال میناب، شرق استان هرمزگان با ارتفاع متوسط ۸۲۶ متر است. متوسط بلندمدت دما و بارش به ترتیب ۲۷/۵ درجه سانتیگراد و ۲۸۶ میلی‌متر است. کشت غالب منطقه اراضی باغی شامل مرکبات و نخیلات است [۹]. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز سد استقلال میناب و موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی را نمایش می‌دهد. داده‌های مورد استفاده در تحقیق فوق دبی و بارش طی دوره آماری ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۳ می‌باشد. در این حوضه، از ایستگاه هیدرومتری برنطین و سینوپتیک میناب به دلیل کامل بودن استفاده گردید. همچنین در این حوزه تعداد ۴۰ ایستگاه پیزومتری وجود دارد که از مقدار متوسط آن با استفاده از روش پلیگون‌بندی تیسن استفاده گردید.

شاخص بارش استاندارد شده SPI و شاخص دبی جریان SRI

جهت مطالعه خشکسالی هواشناسی شاخص‌های متعددی ابداع گردیده است، که معروف‌ترین آن‌ها تحت عنوان شاخص بارش استاندارد SPI می‌باشد. اما در زمینه خشکسالی هیدرولوژی، از شاخصی شبیه شاخص بارش استاندارد تحت عنوان شاخص دبی جریان (SRI) [۱۲] استفاده نمود. اصول محاسباتی هر دو شاخص یکسان است. بدین ترتیب که، ابتدا مقادیر دبی و بارش ماهانه بر توزیع مناسبی برازش داده می‌شود. تحقیقات نشان داده‌است که در حوزه‌های کوچک توزیع گاما و در حوزه‌های بزرگ توزیع نرمال یا لوگ نرمال دو متغیره بهترین برازش را دارد. در تحقیق حاضر از برای بارش و دبی از توزیع گاما استفاده گردید [۱۰]. لذا مقادیر دبی (بارش) ماهانه با استفاده از رابطه توزیع گاما برازش داده شده و احتمال تجمعی توزیع گاما محاسبه و سپس تغییر شکل هم احتمال تجمعی توزیع منتخب به توزیع نرمال صورت می‌گیرد که در مرحله نهایی متغیر Z نرمال استاندارد شده یا SRI مربوط به هر مقدار دبی در هر ایستگاه در سطوح هم‌احتمال از منحنی احتمالات تجمعی نرمال استخراج می‌گردد [۴].

$$g(x) = \frac{1}{B^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-x/B} \quad (1)$$

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

$$SRI_{i,k} = \frac{Q_{i,k} - \bar{Q}_k}{SR_k} \quad (3)$$

$Q_{i,k}$: مقدار دبی در ماه i ام و مقیاس K ام (۳، ۶، ۹ تا ۴۸ ماهه)؛ $\bar{Q}_k$: مقدار متوسط دبی در مقیاس k ام و SR_k : انحراف معیار در مقیاس K ام. شایان ذکر است که محاسبه SPI نیز به همین ترتیب می‌باشد.

آب زیرزمینی، اولین بار توسط مهندسین و سناتوره [۸] ارائه گردید. این شاخص برای پایش تغییرات تراز سفره‌های آب زیرزمینی بکار می‌رود. معمولاً بین رخداد خشک‌سالی هواشناسی با هیدرولوژیکی، تأخیر زمانی وجود دارد و بطور معمول طولانی‌تر از خشک‌سالی هواشناسی بوده جبران خسارات ناشی از آن نیز سخت‌تر است [۸]. لذا بررسی ارتباط خشک‌سالی هواشناسی با هیدرولوژیکی در مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی، محیط زیست و صنعت سهم بسزایی دارد.

در زمینه‌ی بررسی خشک‌سالی و تأثیر آن بر سایر بخش‌ها از جمله هیدرولوژیکی، زیست محیطی و اقتصادی اجتماعی مطالعات متعددی صورت گرفته‌است. تأثیر خشک‌سالی بر سیستم‌های هیدرولوژیکی بدلیل تبعات گسترده‌ای که بر روی منابع آب دارد، توسط محققین بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته‌است. که در این زمینه به مطالعات محققینی چون وانگ و همکاران [۱۶] و لی و همکاران [۶] در چین [۷] در اسپانیا [۱۰]، در یونان [۵]، در ایتالیا [۱۱] و [۲] در ایران؛ [۴] در بم، [۱] در حوزه آبخیز کرخه؛ [۱۴] در تگزاس آمریکا؛ اشاره نمود.

وانگ و همکاران [۱۶] به بررسی ارتباط خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز هانجیانگ^۱ می‌پردازد. نتایج نشان داد، دخالت‌های انسانی سبب شده تأخیر چندانی بین دو نوع خشک‌سالی نباشد به‌طوری‌که از ۲ ماه به یک ماه تأخیر تغییر نموده‌است. لی و همکاران [۶] به بررسی ارتباط خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز رودخانه هوای^۲ پرداختند. نتایج نشان داد، با افزایش مقیاس زمانی هم‌بستگی افزایش می‌یابد و در مقیاس ۶ ماهه به حداکثر مقدار خود می‌رسد. هم‌چنین طبق نتایج بدست آمده، دخالت‌های انسانی در کاهش هم‌بستگی در برخی حوزه‌ها نمود بیش‌تری داشته است.

اقتدارنژاد و همکاران [۴] به بررسی ارتباط بین خشک‌سالی اقلیمی و هیدروژئولوژیکی در دشت بم پرداختند. نتایج نشان‌دهنده تأثیر همزمان بارش‌ها بر وضعیت هیدروژئولوژیکی منطقه است.

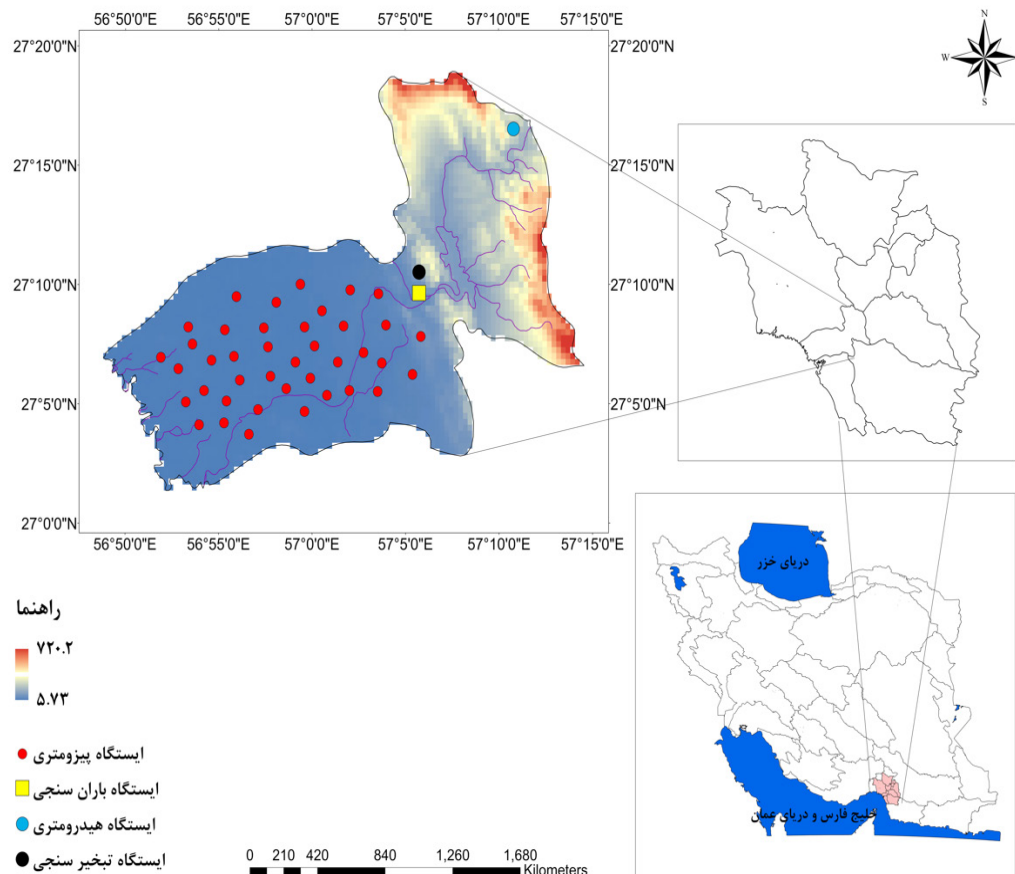
مرور تحقیقات یاد شده نشان می‌دهد در بررسی شاخص‌های خشک‌سالی کم‌تر تحقیقی به مقایسه کارایی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی (اعم از یک و دو متغیره) و تأثیر آن‌ها بر سیستم هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی در مقیاس حوزه آبخیز دیده شده‌است. لذا هدف از این تحقیق (۱) پایش خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های SPI ، $SPEI$ ، SRI و GRI ؛ (۲) مقایسه شاخص‌ها در بررسی خصوصیات خشک‌سالی و (۳) بررسی واکنش خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی به شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی در بازه‌های زمانی مختلف می‌باشد.

1- Hanjiang

2- Huai

3- Standardized Runoff index

4- Standardized Ground water Index



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در حوزه‌های آبخیز ایران (الف)؛ در حوزه‌های آبخیز استان هرمزگان (ب)؛ حوزه آبخیز سد استقلال میناب (ج)

مهندسی و سناتوره در کالابریای ایتالیا ایجاد و مورد آزمایش قرار گرفت. مهندسی و سناتوره [۸] برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی مخازن آب زیرزمینی شبه جزیره ایتالیا (منطقه کالابریا) از یک نسخه اصلاح شده مدل بیلان آب ماهانه برای یک دوره ۵۰ ساله استفاده نمودند. البته اصل این مدل در سال ۱۹۵۵ به وسیله تورنت وایت و ماتر^۳ ارائه شده است.

شاخص GRI از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$GRI_{ym} = \frac{D_{ym} - \mu_{DM}}{\delta_{DM}} \quad (5)$$

GRI_{ym} ارزش شاخص در ماه m از سال y ؛ D_{ym} : ارزش سطح ایستابی در ماه m از سال y ؛ μ_{DM} و δ_{DM} : به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های سطح ایستابی ماه m برای D سال. کلاس بندی خشک سالی براساس شاخص منبع آب زیرزمینی در جدول ۱ ارائه شده است. شایان ذکر است، شاخص‌های مذکور در محیط متلب محاسبه شد.

شاخص تبخیر و تعرق - بارش استاندارد شده (SPEI)

شاخص بارش - تبخیر و تعرق پتانسیل استاندارد^۱ (SPEI)، توسط [۱۵] ارائه شد و به عنوان یک شاخص خشک سالی اقلیمی معرفی شد. این شاخص مبتنی بر محاسبه ترازمندی آب اقلیمی^۲ است و برای محاسبه به داده‌های ماهانه بارندگی و دمای هوا نیاز دارد. معادله ترازمندی آب اقلیمی به صورت زیر تعریف شده است:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (4)$$

که P و PET به ترتیب بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل، D اختلاف آن‌ها و i شماره ماه مورد نظر است. معادلات مختلفی برای محاسبه PET وجود دارد که در استفاده از هر یک از آن‌ها محدودیتی برای SPEI وجود ندارد. در نسخه نخست SPEI از روش ساده تورنوايت استفاده گردید.

شاخص خشک سالی منابع آب زیرزمینی (GRI)

شاخص منبع آب زیرزمینی GRI در سال ۲۰۰۸ میلادی توسط

1- Standardized Precipitation minus Evapotranspiration Index (SPEI)

2- Climatic Water Balance

3- Thornthwaite and Mather

مقادیر	طبقات خشک‌سالی
۲ و بیش‌تر	ترسالی خیلی شدید
۱/۵ تا ۲	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۵	ترسالی متوسط
۰ تا ۱/۵	ترسالی ملایم
-۰/۵ تا ۰/۵	نرمال
-۰/۵ تا -۱	خشک‌سالی ملایم
-۱ تا -۱/۵	خشک‌سالی متوسط
-۱/۵ تا -۲	خشک‌سالی شدید
-۲ و کم‌تر	خشک‌سالی خیلی شدید

تحلیل کاپا^۱

برای بررسی میزان شباهت شاخص‌ها از نظر برآورد طبقات خشک‌سالی در کلاس‌های کیفی از آماره‌ی کاپای وزنی استفاده شد. آماره‌ی کاپا نخستین بار توسط کوهن [۶] به عنوان معیار اندازه‌گیری توافق در علم روان‌شناسی معرفی گردید. فرض کنید P_{ij} نسبت کل اجزایی از سری زمانی است که به طبقه‌ی i از یک سری و به طبقه‌ی j از سری دوم اختصاص دارد. این نسبت‌ها می‌توانند داخل یک ماتریس شکل بگیرند که قطر اصلی آن شامل نسبت‌های منحصر بفرد P_{ii} اجزایی است که در هر دو سری مطابقت دارند. P_0 مجموع مقادیر P_{ii} است. با در نظر گرفتن Pe, ii به عنوان حاصل ضرب مجموع نسبت‌های ردیف و ستون مربوطه ($Pe, ii = P_{i \cdot} \cdot P_{\cdot i}$)، مقدار قابل انتظار توافق، برابر است با جمع مقادیر Pe, ii ؛ این جمع را Pe می‌نامیم. آماره‌ی کاپا به صورت زیر تعریف می‌شود [6]. شکل ۲، فلوچارت تحقیق را نشان می‌دهد.

$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \quad (3)$$

نتایج و بحث

خصوصیات خشک‌سالی

نوسانات خشک‌سالی در دوره‌های ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه به وسیله شاخص‌های SPI, SPEI, SRI و GRI بررسی شد، نتایج پایش خشک‌سالی نشان داد در همه‌ی شاخص‌های مورد مطالعه (به جز GRI) بیش‌ترین تداوم خشک‌سالی و کم‌ترین شدت در مقیاس زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه مشاهده گردید و با افزایش مقیاس زمانی تغییرات کم‌تر، شدت کم‌تر و زمان تداوم طولانی‌تر قابل ملاحظه

1- Kappa

است. شاخص GRI در تمامی مقیاس‌های مورد مطالعه نوسانات قابل مشاهده‌ای نداشته است. لذا برای نشان دادن وضعیت کلی خشک‌سالی در دشت میناب، از مقیاس زمانی ۴۸ ماهه استفاده گردید. شکل ۳ روند خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌های به وقوع پیوسته در طول دوره آماری در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در چهار شاخص مورد مطالعه دو دوره بلند مدت ترسالی و خشک‌سالی وجود دارد، در شاخص SPI دوره ترسالی شامل سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۰ می‌باشد و دوره‌ی خشک‌سالی شامل سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷ می‌باشد؛ در شاخص SPEI، دوره ترسالی شامل سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۷۹ و یک دوره‌ی خشک‌سالی شامل سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۸۷ است. در شاخص SRI دوره ترسالی شامل سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۰ می‌باشد و خشک‌سالی شامل سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۱ می‌باشد. مطالعه محققینی چون مهنی و همکاران [۹] در دشت میناب نیز موید این مطلب است. طی این سال‌ها کم باران‌ترین دوره در حوزه رخ داده است. در شاخص GRI، دوره ترسالی شامل سال‌های ۱۳۶۵-۱۳۸۳ و دوره خشک‌سالی شامل سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۴ می‌باشد. بنابراین در همه شاخص‌ها دو دوره خشک و تر بلند مدت مشاهده گردید. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد، خشک‌سالی‌ها از نظر انطباق زمانی دارای یک زمان تأخیر از نظر وقوع می‌باشند. براساس نتایج وانگ و همکاران [۱۶] و لی و همکاران [۶] افزایش فعالیت‌های انسانی و یا عبارتی خشک‌سالی‌های انسان ساخت سبب کاهش تأخیر بین وقوع خشک‌سالی هواشناسی با خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی می‌شود. در حوزه‌ی آبخیز میناب نیز این وضعیت با کم شدن ضریب هم‌بستگی با افزایش زمان تأخیر، بخوبی تبیین شده است.

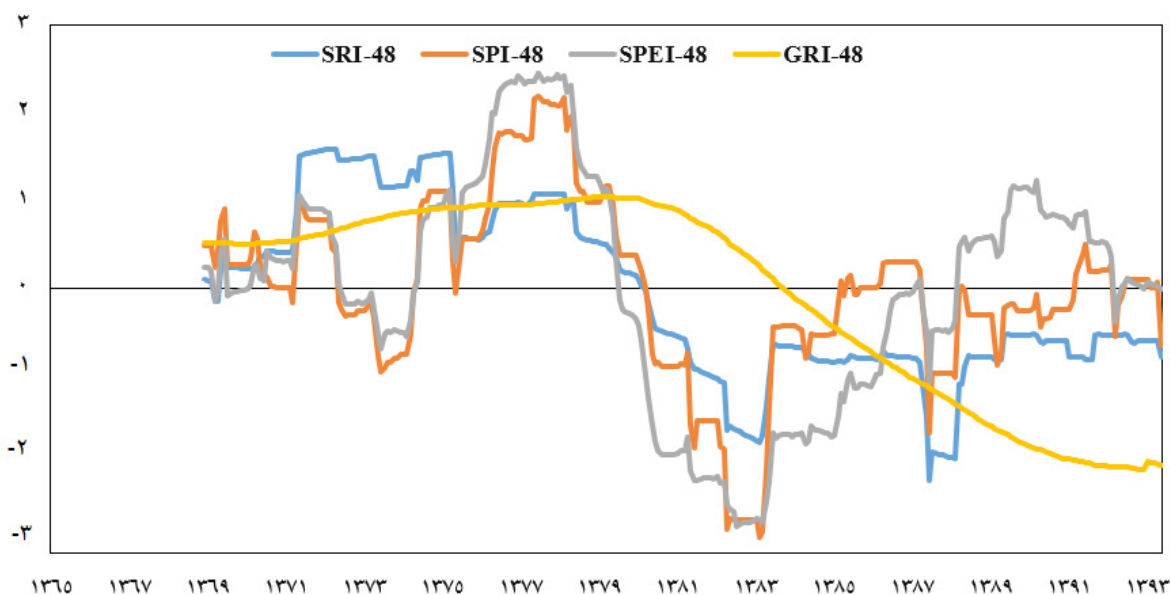
جمع آوری داده‌های بارش، رواناب، دما و تراز آب زیرزمینی از سازمان‌های متبوع

برآورد شاخص‌های خشکسالی SPI, SPEI, SRI, GRI

برآورد شدت و تداوم شاخص‌های خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف

کاربرد آزمون تی جفتی و همبستگی و کاپا در شاخص‌ها بصورت دو بدو

شکل ۲: روندنمای تحقیق

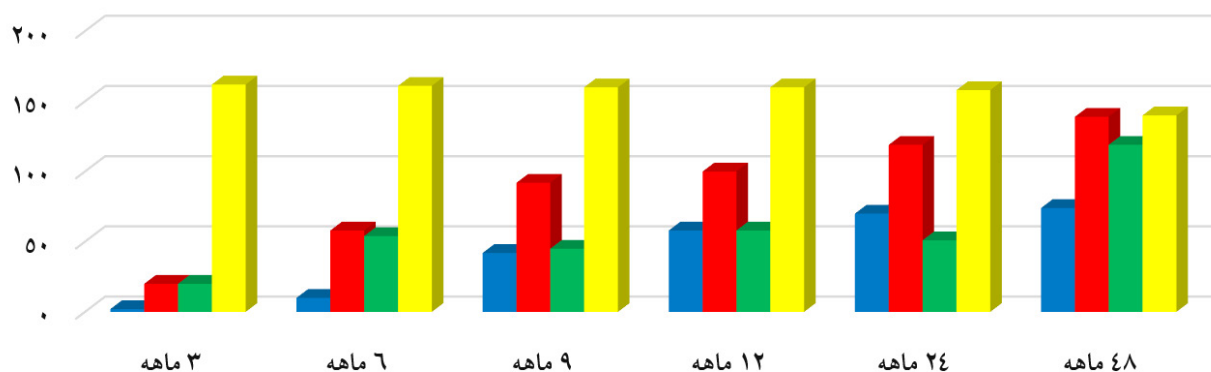


شکل ۳: تغییرات دوره‌های ترسالی و خشکسالی در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه در شاخص‌های مورد بررسی

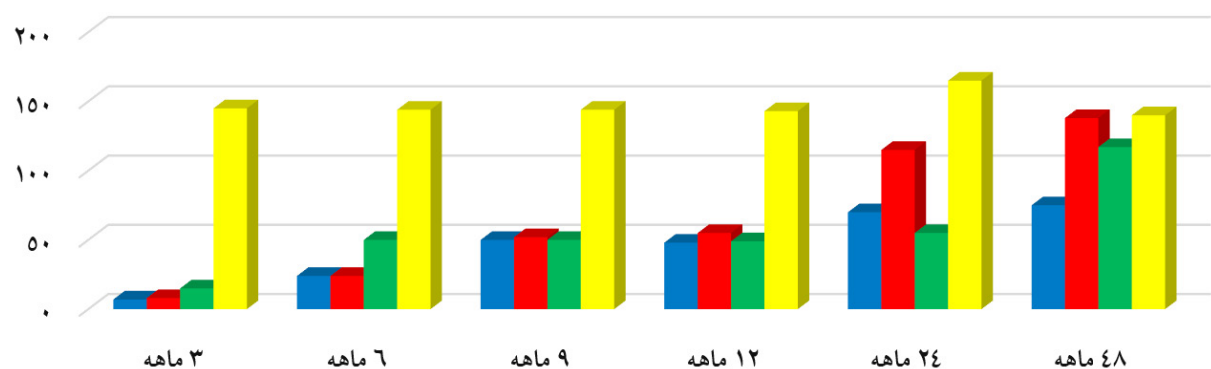
طولانی‌ترین تداوم و بیشینه رقم بزرگی خشکسالی

نتایج طولانی‌ترین تداوم و بیشینه خشکسالی منطقه مورد مطالعه به وسیله شاخص‌های SRI, SPEI, SPI و GRI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. بیشینه رقم بزرگی خشکسالی در تمام مقیاس‌های زمانی در درجه اول مربوط به شاخص GRI و در درجه دوم مربوط به شاخص SPEI می‌باشد؛ طولانی‌ترین تداوم در همه مقیاس‌های زمانی (به جز ۴۸ ماهه) مربوط به شاخص GRI می‌باشد، در تداوم خشکسالی سه شاخص دیگر تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهند به این معناست که SPEI از نظر تداوم یکسان است ولی از نظر بزرگی مقادیر خشکسالی شدیدتری را نشان می‌دهد. در واقع طولانی بودن تداوم خشکسالی در شاخص آب‌های

زیرزمینی نشان‌دهنده برداشت بیش از ظرفیت سفره‌ی آب زیرزمینی در مقابل عدم تغذیه آن از سوی آب‌های سطحی و زیرسطحی است. به این نوع خشکسالی، خشکسالی مهندسی نیز گفته می‌شود [۷]. شاخص‌های SRI, SPEI, SPI و GRI در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه از نظر شدت و تداوم خشکسالی با آزمون تی جفتی مقایسه شدند، نتایج نشان می‌دهد که شاخص‌های SRI - SPI و SPEI-SPI در مقیاس زمانی سه ماهه از نظر شدت، و دو شاخص SRI - SPEI در مقیاس زمانی سه ماهه از نظر تداوم، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. در بقیه شاخص‌ها و مقیاس‌ها از نظر شدت و مدت خشکسالی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱). اقتدارنژاد و همکاران [۴] در مقایسه زوج شاخص‌های SPI و RDI در دشت بام نشان دادند، دو شاخص همبستگی قابل ملاحظه‌ای دارند،



شکل ۴: نمودار طولانی ترین تداوم خشکسالی در شاخص های مورد بررسی در حوزه آبخیز میناب



مقایسه شاخص ها از نظر شدت و تداوم خشکسالی با آزمون تی جفتی

بررسی همبستگی بین شاخص های مورد مطالعه

شکل ۶ (الف) همبستگی بین شاخص های SPI و SRI نشان می دهد کمترین همبستگی مربوط به مقیاس زمانی SPI1-SRI است و بالاترین همبستگی ($r=0.8$) بین دو شاخص فوق در بازه زمانی ۴۱-۴۸ ماهه است. بدین مفهوم که بهترین مقیاس مطالعه دو شاخص فوق جهت بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر آب های سطحی، مقیاس بلندمدت ۴۰-۴۸ ماهه می باشد.

شکل ۶ (ب) همبستگی بین شاخص های SPEI و SRI نشان می دهد در بررسی همبستگی بین زوج شاخص SRI-SPEI بالاترین همبستگی ($r=0.7$) بین دو شاخص در بازه ۱۰-۱۴ ماهه دیده می شود. بدین مفهوم که مطالعه خشکسالی با دو شاخص فوق در دوره زمانی میان مدت بالاترین کارایی را خواهد داشت.

در مقایسه همبستگی دو شاخص هواشناسی SPI و SPEI با SRI (خشکسالی هواشناسی با هیدرولوژیکی) نتایج نشان داد، شاخص SPEI از نظر هشدار خشکسالی هیدرولوژیکی، در اولویت قرار دارد، چرا که در مقیاس زمانی کوتاه تری قادر به نمایش رخداد

که در تحقیق حاضر عکس این نتیجه اتخاذ گردید. لذا به نظر می رسد نتایج پایش هر شاخص خشکسالی متأثر از عوامل اقلیمی اثرگذار بر منطقه متفاوت است. بدین معنی که عوامل اثرگذار بر خشکسالی در حوزه ی میناب با شرایط اقلیمی فراخشک سبب پایشی متفاوت از دو شاخص هواشناسی شده است.

تحلیل کاپا برای مقایسه فراوانی های خشکسالی

جدول ۲، نتایج آماره کاپا برای مقایسه فراوانی های خشکسالی در کلاس های مختلف را برای شاخص های مورد بررسی نشان می دهد، هر قدر آماره کاپا به یک نزدیکتر باشد، نشان دهنده توافق بین دو شاخص است. به طور کلی با افزایش مقیاس زمانی، میزان توافق افزایش می یابد. بیشترین توافق بین دو شاخص SPI-SPEI در مقیاس زمانی میان مدت تا بلند مدت است. طبق نتایج تبزاده و همکاران [۱۴]، بدلیل وابستگی کاربرد متغیر بارش، در هر دو شاخص، با افزایش مقیاس زمانی کوتاه مدت به بلندمدت، افزایش مقیاس سبب شباهت بیش تر شاخص ها به هم می شود.

جدول ۱: مقایسات جفتی بزرگی خشک‌سالی در مقیاس‌های مورد مطالعه (* معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵٪).

مشخصه تداوم خشک‌سالی				مشخصه شدت			
P-Value	درجه آزادی	t آماره	P-Value	درجه آزادی	t آماره	مقایسات جفتی شاخص‌ها	
مقیاس سه ماهه							
۰/۷۹۴	۵	-۰/۲۷۶	۰/۰۳۶	۱۹	-۲/۲۶۰	SPI – SRI	جفت ۱
۰/۰۰۹	۱۹	۲/۹۰۳	۰/۸۱۵	۱۹	-۰/۲۳۷	SRI – SPEI	جفت ۲
۰/۰۵۹	۲۶	۱/۹۷۶	۰/۰۰۰	۲۶	-۴/۴۱۳	SPI-SPEI	جفت ۶

توجه: عدم ارائه سایر جفت‌ها و سایر مقیاس‌ها نشان‌دهنده عدم معنی‌داری دودو بوده‌است.

جدول ۳- مقایسه کلاس‌های خشک‌سالی در شاخص‌های مورد مطالعه با استفاده از آماره کاپا (* معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵٪).

نام شاخص‌ها/مقیاس زمانی	۳	۶	۹	۱۲	۲۴	۴۸
SPI – SRI	۰/۴۹	۰/۵۳*	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۴۴	۰/۴۹
SRI – SPEI	۰/۲۲	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۳۷
GRI – SRI	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۳۷
SPI-GRI	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۸
SPEI-GRI	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۵۸	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۰
SPI-SPEI	۰/۲۵	۰/۳۴	۰/۴۳	۰/۴۸	۰/۶۵*	۰/۶۵*

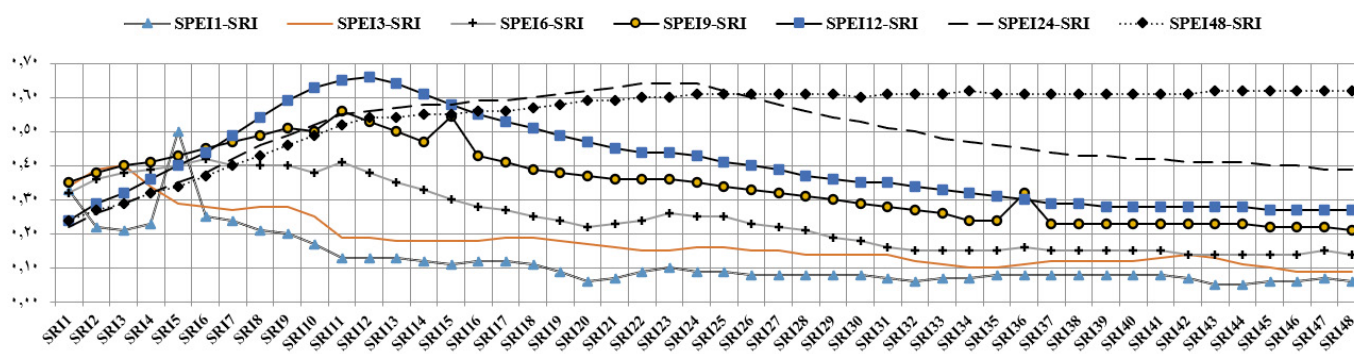
هیدرولوژیکی با GRI در مقیاس میان مدت (۱-۶) ماهه رخ داده‌است، بدین معنی که بایستی ۴۸ ماه از کمبود آب سطحی گذشته باشد تا بتواند اثرات خود را بر آب زیرزمینی نمایان سازد و این اثر تا ۶ ماه آینده بر آب زیرزمینی در دشت میناب موثر و با افزایش کمبود، اثر کاهش رواناب سطحی بر کاهش آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. که این پدیده ممکن است بدلیل تغذیه چاه‌ها و یا وضعیت بازگشت کننده ترسالی باشد.

شکل ۶ (ر) روند هم‌بستگی بین شاخص‌های SPI-SPEI نشان می‌دهد بررسی هم‌بستگی دو شاخص خشک‌سالی هواشناسی و کشاورزی (SPI-SPEI) نشان می‌دهد، بیش‌ترین هم‌بستگی در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه وجود دارد. میزان تطابق دو شاخص با افزایش مقیاس زمانی گاه‌ها کاهش نشان می‌دهد.

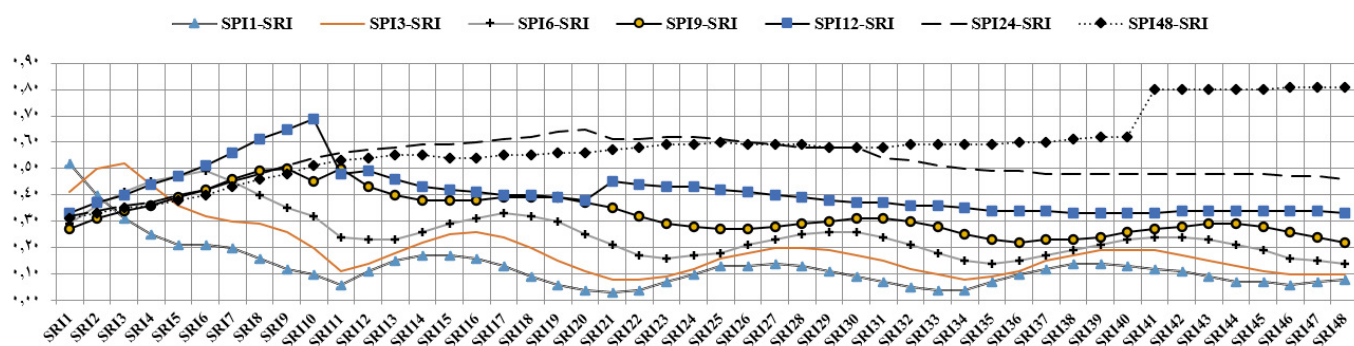
خشک‌سالی هیدرولوژیکی است. شکل ۶ (ج و د) روند هم‌بستگی بین شاخص‌های SPI-GRI و SPEI-GRI را نشان می‌دهد روند هم‌بستگی بین شاخص‌های GRI با SPI نشان می‌دهد هم‌بستگی چندانی در مقیاس‌های زمانی مختلف بین دو شاخص SPI-GRI وجود ندارد، افزایش مقیاس زمانی نیز سبب کاهش هم‌بستگی بین آن‌ها شده‌است. بالاترین هم‌بستگی بین SPI-48 با GRI در مقیاس ۱-۴ ماهه وجود دارد. نتایج نشان می‌دهد شاخص فوق، برای بررسی خشک‌سالی هواشناسی بر آب زیرزمینی مناسب نیست. در مورد شاخص‌های SPEI – GRI نیز همین نتیجه حادث گردید.

شکل ۶ (ذ) روند هم‌بستگی بین شاخص‌های SRI-GRI نشان می‌دهد روند هم‌بستگی بین شاخص‌های GRI و SRI نشان می‌دهد بالاترین هم‌بستگی در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه در خشک‌سالی

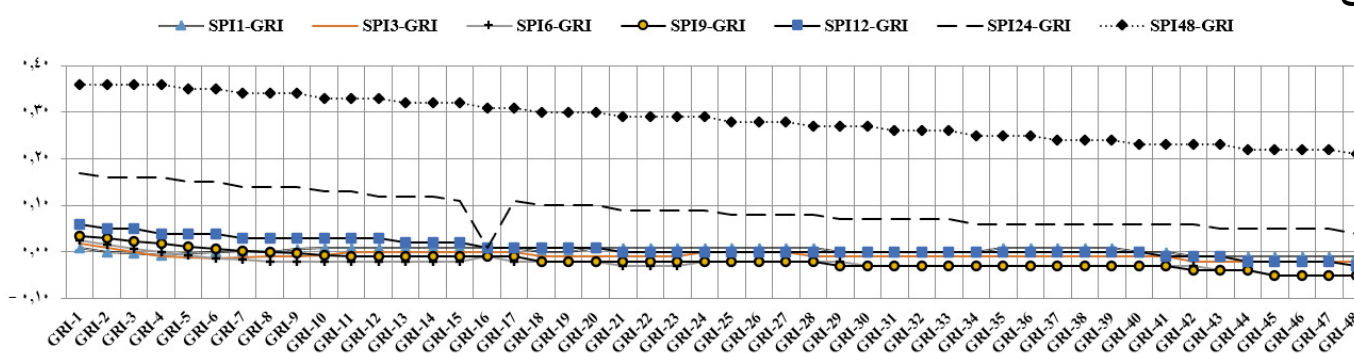
(الف)



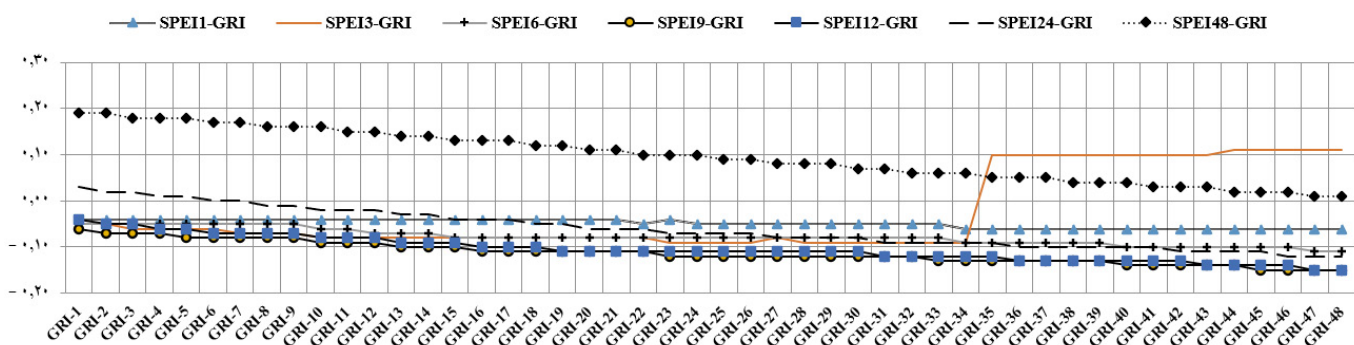
(ب)



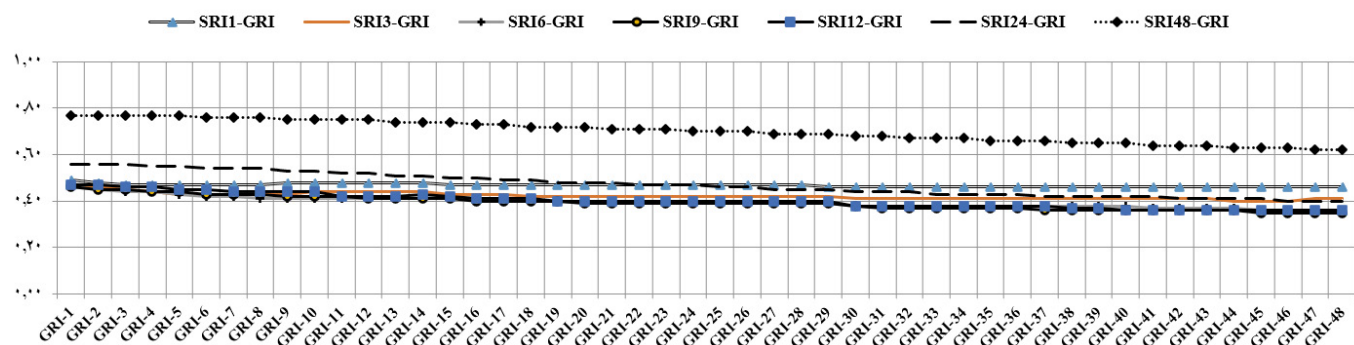
(ج)

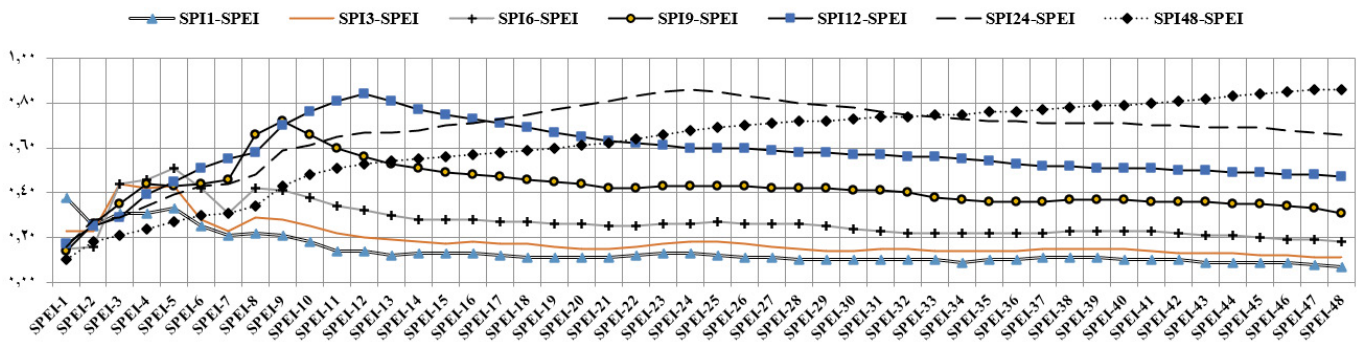


(د)



(ه)





شکل ۶: روند هم‌بستگی بین شاخص‌های مورد بررسی در مقیاس‌های ۳ تا ۴۸ ماهه

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف کارایی SPI و SPEI در پیش‌هشدار خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی صورت گرفته‌است. نتایج پایش خشک‌سالی نشان داد در همه‌ی شاخص‌ها (به جز GRI) بیش‌ترین تداوم خشک‌سالی و کم‌ترین شدت در مقیاس زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه مشاهده گردید و با افزایش مقیاس زمانی تغییرات کم‌تر، شدت کم‌تر و زمان تداوم طولانی‌تر قابل ملاحظه‌است. شاخص GRI در تمامی مقیاس‌های مورد مطالعه نوسانات تغییر قابل مشاهده‌ای نداشته‌است و علاوه بر آن طولانی‌ترین خشک‌سالی‌ها با شدت بالا نیز مربوط به همین شاخص است.

روند هم‌بستگی شاخص‌های مورد مطالعه نتایج نشان می‌دهد در مقایسه هم‌بستگی دو شاخص هواشناسی SPI و SPEI با SRI (خشک‌سالی هواشناسی با هیدرولوژیکی) شاخص SPEI از نظر هشدار خشک‌سالی هیدرولوژیکی، در اولویت قرار دارد چرا که در مقیاس زمانی کوتاه‌تری قادر به نمایش رخداد خشک‌سالی هیدرولوژیکی است. هم‌بستگی چندانی در مقیاس‌های زمانی مختلف بین دو شاخص SPI-GRI و SPEI-GRI مشاهده نشد که نشان می‌دهد، شاخص‌های مذکور، برای بررسی خشک‌سالی هواشناسی بر آب زیرزمینی مناسب نیست، هم‌چنین روند هم‌بستگی بین شاخص‌های SRI-SPI و GRI-SPEI نشان دهنده‌ی کاهش هم‌بستگی با افزایش مقیاس زمانی می‌باشد.

در نهایت می‌توان نتیجه گرفت، بیش‌ترین واکنش متغیرهای هیدرولوژیکی به شاخص‌های اقلیمی، به دوره‌های بلند مدت زمانی سوق می‌یابد چرا که در مورد شاخص SRI بیش‌ترین هم‌بستگی SRI-SPI در مقیاس بلند مدت اتفاق افتاد و بیش‌ترین هم‌بستگی SRI-SPEI در مقیاس میان مدت رخ داد. و هم‌چنین نمایه اثرات خشک‌سالی را بر سیستم هیدرولوژیکی بهتر نمایان می‌کند، چرا که در مقیاس زمانی کوتاه مدت قادر به نمایش رخداد خشک‌سالی هیدرولوژیکی می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد، پس از بررسی کارایی شاخص‌ها در منطقه با توجه به شرایط منطقه و در واقع بومی‌سازی آن‌ها، اقدام به بررسی پدیده مهمی هم‌چون خشک‌سالی پرداخت، چرا که بزرگ و یا کوچک شمردن آن دارای

تبعات اقتصادی، اجتماعی و سیاسی بوده و از این مهم می‌توان به مدیریت صحیح در حوزه‌های آبخیز پرداخت.

منابع

1. Bazrafshan, O., Mahmudzadeh, F., and Bazrafshan, J. 2017. Evaluation of temporal trends of the drought indices SPI and SPEI in the Southern Coast of Iran. *Desert Management*, 4(8): 54-69 [In Persian].
2. Bazrafshan, O., Parandin, F., and Farokhzadeh, B. 2016. Assessment of Hydro-meteorological Drought Effects on Groundwater Resources in Hormozgan Region-South of Iran. *Ecopersia*, 4(4): 1569-1584.
3. Cohen, J. 1968. Weighted kappa: Nominal scale agreement with provision for scaled disagreement of partial credit. *Psychological Bulletin*, 70: 213-220.
4. Eghtedar Nezhad, M., Bazrafshan, O., and Bazrafshan, J. 2018. Spatio-temporal variations of meteorological drought using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index in Iran. *Agricultural Meteorology*, 5(2): 35-46 [In Persian].
5. Eghtedar Nezhad, M., Bazrafshan, O., and Sadeghi Lari, A. 2017. Adaptive Evaluation of SPI, RDI and SDI Indices in Analyzing the Meteorological and Hydrological Drought Characteristics (Case Study: Bam Plain). *Water and Soil Science*, 26(4.2): 69-81 [In Persian].
6. Fiorillo, F., and Guadagno, F. M. 2010. Karst spring discharges analysis in relation to drought periods, using the SPI. *Water resources management*, 24(9): 1867-1884.
7. Li, J., Wu, C., Xia, C. A., Yeh, P. J. F., Hu, B. X., & Huang, G. (2021). Assessing the responses of hydrological drought to meteorological drought in the Huai River Basin, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 144(3): 1043-1057.

14. Tabouzaadeh, S., Zarei, H., and Bazrafshan, O. 2016. Analysis of Severity, Duration, Frequency and Zoning Map of Meteorological Drought of Bakhtegan River Basin. *Irrigation Sciences and Engineering*, 38(4): 109-123.
15. Uddameri, V., Singaraju, S., and Hernandez, E. A. 2019. Is Standardized Precipitation Index (SPI) a Useful Indicator to Forecast Groundwater Droughts?—Insights from a Karst Aquifer. *of the American Water Resources Association*, 55(1): 70-88.
16. Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C., and Morán - Tejada, E. 2011. Accurate computation of a streamflow drought index. *Hydrologic Engineering*, 17(2): 318-332.
17. Wang, L., Zhang, J. Elmahdi, A., Shu, Z., Wu, Y., and Wang, G. (2022). Evolution characteristics and relationship of meteorological and hydrological droughts from 1961 to 2018 in Hanjiang River Basin, China. *Journal of Water and Climate Change*, 13(1): 224-246.
8. Lloyd-Hughes, B. (2002). The long-range predictability of European drought. University of London, University College London (United Kingdom).
9. Maskey, S., and Trambauer, P. 2014. Hydrological Modeling for Drought Assessment. *Hydro-Meteorological Hazards, Risks, and Disasters*, 263-282.
10. Mehni, M., and Bazrafshan, O. 2017. Spatiotemporal of Quality and Quantity of Groundwater Resources in the Minab Plain over the Three past Decades. *Extension and Development of Watershed Management*, 5(18): 51-59[In Persian].
11. Nalbantis, G., and Tsakiris, B. 2008. Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resour Manage*, 23:881–897.
12. Shokoohi, A., and Morovati, R. 2015. Basinwide comparison of RDI and SPI within an IWRM framework. *Water Resources Management*, 29(6): 2011-2026.
13. Shukla, S., and Wood, A. W. 2008. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical research letters*, 35(2): 23-38.



Abstract

Efficiency of Drought Meteorological Indices in Hydrological and Hydrogeological Drought Warning (Case Study: the Watershed of Esteghlal Dam -Minab)S. Bahrami¹, O. Bazrafshan^{2*} and Y. esmaelpour²

Received: 2021/04/29 Accepted: 2022/04/11

Drought is one of the main natural causes in agricultural, economic and environmental sections. It is very difficult to quantify the characteristics of the severity, magnitude and duration of the drought objectively. Therefore, much effort has been made to monitor drought using a variety of indices. In order to investigate the meteorological drought on hydrological systems in the study area, were used from Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), SRI Standardized Runoff Index (SRI) and groundwater drought index (GRI). Then, the relationship between the indices, concurrence or non-concurrence of drought event was investigated. Finally, the best meteorological drought index for monitoring hydrological systems in the study region was selected. The results showed that comparing the correlation between the two meteorological indicators with SRI and GRI, SPEI is a priority in terms of drought warning, because it is able to show the occurrence of hydrological drought on a shorter time scale. There was no significant correlation at different time scales between the two SPI-GRI indices ($cc = 0.18$), which indicates the inadequacy of SPI to investigate the effects of climatic drought on groundwater level. Therefore, it is suggested to use SPEI instead of SPI to investigate the effect of precipitation changes on groundwater fluctuations.

Keywords: Kappa statistics, Drought monitoring, Drought characteristics, Pairwise comparisons.

1. MSc Graduated, department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan

2. department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan; *Corresponding Author: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir