



## ارزیابی خشکسالی بر اساس شاخص های $SPI$ و $SPEI$ و ارتباط آن ها با خشکسالی منبع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت جیرفت)

نسبیه نژاد مقبلی<sup>۱</sup>، ابوالفضل مساعدی\*<sup>۲</sup>، محمود آذری<sup>۳</sup>، کاظم اسماعیلی<sup>۴</sup>، علیرضا فریدحسینی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه فردوسی مشهد [n.nezhadmoghbali70@mail.um.ac.ir](mailto:n.nezhadmoghbali70@mail.um.ac.ir)

۲- استاد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد. \*مسئول مکاتبه [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir)

۳- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده:

شاخص های خشکسالی  $SPI$  و  $SPEI$  به منظور پایش خشکسالی هواشناسی توسعه یافته اند. هدف از پژوهش حاضر، مقایسه وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص های مبتنی بر بارندگی و همچنین مبتنی بر بارندگی و تبخیر و تعرق و بررسی خشکسالی منابع آب های زیرزمینی در منطقه جیرفت است. در این راستا چهار ایستگاه هواشناسی انتخاب شد. تبخیر و تعرق پتانسیل به منظور استفاده در شاخص  $SPEI$  با روش هارگریوز محاسبه شد و سپس مقادیر شاخص  $SPI$  و  $SPEI$  در مقیاس های زمانی (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) با استفاده از نرم افزار R تعیین شد. سپس به تحلیل همبستگی مقادیر محاسبه شده شاخص  $SPI$  و  $SPEI$  پرداخته شد. پس از آن، مقدار شاخص  $GRI$  برای دوره های ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه شد. بر اساس نتایج به دست آمده همبستگی بالایی بین شاخص های خشکسالی  $SPI$  و  $SPEI$  مشاهده می شود. به طور کلی بیشترین همبستگی بین این دو شاخص در ایستگاه میانه با ارتفاع ۶۴۱ درمقیاس زمانی ۴۸ ماهه با ضریب ۰/۹۲۸ می باشد که در سطح ۱٪ معنی دار می باشد. کمترین همبستگی نیز بین این دو شاخص در ایستگاه کهنک شیبانی با ارتفاع ۵۴۶ درمقیاس ۱ ماهه با ضریب ۰/۶۶۷ می باشد که در سطح ۱٪ معنی دار است. به نظر می رسد که کاهش همبستگی بین شاخص های  $SPI$  و  $SPEI$  ناشی از افزایش تبخیر و تعرق محاسبه شده می باشد. با توجه به نتایج حاصل از محاسبه شاخص  $GRI$  با اطمینان می توان نتیجه گرفت که خشکسالی آب زیرزمینی و افت شدید منابع آب زیرزمینی بر اساس این شاخص در منطقه رخ داده است. مقدار این شاخص در سال های اولیه دوره آماری مثبت و در سال های انتهایی منفی می باشد که نشان دهنده افت شدید سطح آب های زیرزمینی در طول دوره آماری است.

**واژه های کلیدی:** شاخص بارش استاندارد شده  $SPI$ ، شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده  $SPEI$ ، شاخص منبع آب زیرزمینی  $GRI$ ، تبخیر و تعرق پتانسیل، نرم افزار R

### مقدمه:

خشکسالی، کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی تعریف شده است و پدیده ای اجتناب ناپذیر به شمار می رود که بیشتر نقاط جهان با آن روبه روست (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۴). خشکسالی یکی از مخاطرات اصلی مرتبط با هواشناسی است. این مخاطره طبیعی تمام جوانب زندگی را تحت تأثیر قرار می دهد. در سطح بین المللی تعریف واحدی از خشکسالی که مورد قبول همه باشد، وجود ندارد. به طور کلی خشکسالی زمانی روی می دهد که کاهش چشم گیر آب، هم در مکان و هم در یک دوره زمانی مشخص روی دهد (Correia و همکاران، ۱۹۹۱). وجه اشتراک همه خشکسالی ها، وجود انحراف از حالت نرمال است. زمانی که سیستم های آب زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی واقع می شوند، ابتدا آبیگری،



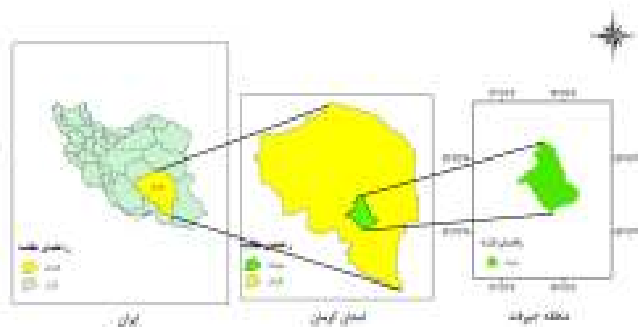
سپس سطح و در نهایت آبدهی سفره آب زیرزمینی، کاهش پیدا می‌کند، چنین خشکسالی را خشکسالی آب زیرزمینی می‌نامند (VanLanen و Peters, ۲۰۰۰). در چند دهه اخیر، آب‌های زیرزمینی برای مصارف مختلف کشاورزی، شهری و صنعتی به شدت مورد بهره‌برداری قرار گرفته است (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸). کشور ما در یکی از مناطق خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته است و خشکی جز فطرت ذاتی آن است. هنگام وقوع خشکسالی در این مناطق بایستی مدیریت مناسب بر منابع آب اجرا گردد. در بین بلاهای طبیعی تهدیدکننده انسان و محیط زیست، خشکسالی هم از نظر فراوانی و هم از جنبه‌ی اندازه زیان‌های وارده در صدر قرار دارد (Keneth, ۲۰۰۳). با کاهش مقدار بارندگی و تغییر در برخی از پدیده‌های جوّی نظیر افزایش دما، وقوع بادهای شدید، کاهش رطوبت نسبی، افزایش ساعات آفتابی و کاهش پوشش ابر، خشکسالی هواشناسی آغاز می‌شود. سپس با افزایش تبخیر و تعرق و کم شدن رطوبت خاک، برائر تنش‌های وارد شده به گیاهان زراعی و باغی خشکسالی کشاورزی به وقوع می‌پیوندد. تداوم این وضعیت به مدت طولانی‌تر سبب کاهش آب‌های سطحی، جریان آب درون مخازن، دریاچه‌ها و تالاب‌ها و در نتیجه خشکسالی هیدرولوژیکی می‌شود.

برای بیان کمی پدیده‌ی خشکسالی و همچنین ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود که برای محاسبه‌ی آن‌ها وجود داده‌های مناسب و طولانی مدت پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی ضروری است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۴). چمن پیرا و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی به منظور مدیریت بهینه بهره‌برداری دشت الشتر پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که روند خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی دشت منفی است، شاخص SPI و GRI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه، در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده و دارای بیشترین ضریب همبستگی است. اسلامیان و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی و اثرات آن بر تغییرات منابع آب حوزه آبخیز دشت بوئین پرداختند، نتایج ایشان نشان داد که بین وقوع ریزش‌های جوی و تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی منطقه ارتباط معنی‌داری وجود دارد که اثر ریزش‌های جوی بر سطح آب سفره‌های زیرزمینی با تأخیر ۳ ماهه صورت می‌گیرد. قبائی سوق و همکاران (۱۳۹۵) به پایش وضعیت‌های رطوبتی و روند آن‌ها بر مبنای شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در نواحی مختلف آب و هوایی ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین همبستگی بین شاخص‌ها مربوط به ایستگاه‌های واقع در نواحی مرطوب ساحلی است. تاج‌بخش و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی خشکسالی هواشناسی در ایران با استفاده از شاخص بارش و تبخیر-تعرق استاندارد شده پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که عامل تبخیر-تعرق، نقش مؤثری در تغییر شدت خشکسالی دارد. پیترز و همکاران (۲۰۰۶) طی مطالعاتی در مورد انتشار و توزیع مکانی خشکسالی سطح آب زیرزمینی، دریافتند که خشکسالی‌های کوتاه‌مدت، اثرات خشکسالی‌های شدید را در آینده کاهش می‌دهد. از طرفی تغذیه بلندمدت (طولانی) آب زیرزمینی موجب کاهش خشکسالی‌های شدید می‌شود. شا و همکاران (۲۰۱۵) طی مطالعاتی به محاسبه شاخص خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) برای منطقه سورت، گجرات پرداختند، نتایج ایشان نشان داد که مقدار مثبت SPI، شرایط نرمال و شرایط مرطوب را نشان می‌دهد و مقادیر کمتر از -۱ شرایط خشکسالی را نشان می‌دهد. دات و همکاران (۲۰۱۵) طی مطالعاتی در مورد برآورد ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دانمارک به این نتیجه رسیدند که خشکسالی‌های هیدرولوژیکی، در یک منطقه متفاوت و غیر همگن هستند و با تکرار کمتری نسبت به خشکسالی هواشناسی رخ می‌دهند. از آنجا که فرایند خشکسالی بر بسیاری از منابع بیوفیزیکی حوزه‌ی آبخیز از جمله آبدهی و رسوبدهی رودخانه‌ها، آبدهی چاه‌ها و قنات‌ها، سطح سفره‌های آب زیرزمینی، تراکم پوشش گیاهی و رسوبدهی دامنه‌ها و غیره اثر می‌گذارد، تعیین وضعیت خشکسالی بر

اساس شاخص‌های  $SPEI^1$ ،  $SPI^2$  و همچنین وضعیت خشکسالی آب‌های زیرزمینی از ضروریاتی است که تحقیق حاضر به دنبال بررسی آن در منطقه جیرفت می‌باشد.

#### منطقه مورد مطالعه:

منطقه مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی بین طول‌های جغرافیایی ۵۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۸ درجه خاوری و عرض‌های ۲۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی قرار دارد. این منطقه از عمده‌ترین مناطق کشاورزی استان کرمان است (شکل ۱). این شهرستان در ۲۶۰ کیلومتری جنوب کرمان قرار دارد و بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. میزان باران سالیانه این ناحیه در ارتفاعات به بیش از ۲۵۰ و در دشت‌های جنوبی جیرفت به کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر می‌رسد. ریزش نزولات در این ناحیه عمدتاً مربوط به فصل زمستان و اوایل بهار می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه در جیرفت ۱۳۷ میلی‌متر، حداقل مطلق آن ۴۲ و حداکثر مطلق آن ۴۶۱ میلی‌متر می‌باشد (باغخانی پور و همکاران، ۱۳۹۳). بر اساس آخرین طبقه‌بندی‌های وزارت نیرو، ایران دارای ۶ حوضه آبریز درجه یک، ۳۰ حوضه آبریز درجه ۲ و ۶۰۹ محدوده مطالعاتی می‌باشد، محدوده مطالعاتی جیرفت با کد ۴۵۰۳ در حوضه آبریز درجه دو هامون جازموریان قرار دارد. این محدوده مطالعاتی به‌عنوان یکی از ۲۱ محدوده مطالعاتی حوضه آبریز هامون جازموریان محسوب شده و تقریباً در مرکز حوضه یادشده قرار دارد. رودخانه‌های اصلی جاری در آن هلیل‌رود و شور است که جریان سطحی خروجی از محدوده‌های مطالعاتی بالادست را به سمت محدوده مطالعاتی رودبار جیرفت منتقل می‌کند. مساحتی معادل ۵۳۴۰ کیلومترمربع که ۲۰۷۲ کیلومترمربع آن را دشت تشکیل داده و بقیه آن ارتفاعات است. محدوده مطالعاتی جیرفت در جنوب شرقی استان کرمان واقع شده است.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان کرمان

#### مواد و روش‌ها:

پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های ۴ ایستگاه منتخب هواشناسی با طول دوره آماری ۲۸ سال (۱۳۶۶-۱۳۹۳) در منطقه جیرفت انجام شده است (جدول ۱ و شکل ۲). در این راستا داده‌های بارندگی ماهانه، متوسط حداکثر و حداقل دمای ماهانه و ارتفاع متوسط ماهانه سطح آب زیرزمینی از اداره آب منطقه‌ای کرمان اخذ شده است. پس از بررسی اولیه داده‌ها، به علت موجود بودن نواقص آماری، بازسازی نواقص آماری به روش همبستگی بین ایستگاه‌ها انجام شد (مهدوی، ۱۳۸۹). تبخیر و تعرق پتانسیل به‌منظور استفاده در شاخص  $SPEI$  با روش هارگریوز محاسبه شد (علیزاده،

<sup>۱</sup>. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

<sup>۲</sup>. Standardized Precipitation Index

۱۳۸۵). مقدار شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در هر یک از ایستگاه‌های در مقیاس زمانی (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) بر اساس روابط عرضه‌شده در محیط نرم‌افزار R برنامه‌نویسی شد. سپس به تحلیل همبستگی مقادیر محاسبه شده شاخص SPI و SPEI پرداخته شد. در نهایت مقدار شاخص GRI برای کل ماه‌ها، متوسط هر فصل و متوسط سالانه محاسبه شد.

جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منتخب

نام ایستگاه	نام حوزه	محدوده	UTM X	UTM Y	ارتفاع
حسین‌آباد	هامون جازموریان	جیرفت	۵۵۷۴۶۰	۳۱۸۳۳۱۱	۹۲۷
کهنک شیبانی	هامون جازموریان	جیرفت	۵۷۳۶۸۷	۳۱۳۲۹۵۴	۵۴۶
میانه	هامون جازموریان	جیرفت	۵۷۹۱۶۲	۳۱۶۴۲۷۱	۶۴۱
زارین	هامون جازموریان	جیرفت	۵۷۶۸۸۸	۳۱۹۷۶۰۶	۱۳۴۰



شکل (۲) نقشه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی منتخب

### شاخص بارش استاندارد SPI

این شاخص در سال ۱۹۹۵ توسط مکی و همکاران به منظور تعیین و پایش خشکسالی ارائه شد. این شاخص بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و با توجه به انحراف معیار آن به دست می‌آید و تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص، عنصر بارندگی است (بذرافشان، ۱۳۸۱). طبیعت SPI به گونه‌ای است که امکان تعیین کمی خشکسالی یا وقایع غیرعادی رطوبت را در مقیاس زمان مشخص، روی هر منطقه‌ای از کره‌ی زمین که بارش آن ثبت شده است، برای تحلیل‌گر ماهر فراهم می‌کند. اساس شاخص بارش استاندارد شده بر محاسبه احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمان استوار است. پس از استخراج داده‌های بارندگی در مقیاس ماهانه طی یک دوره‌ی آماری (ترجیحاً ۳۰ سال یا بیشتر) لازم است تا سری زمانی مجموعه بارندگی در مقیاس دلخواه تشکیل شود. هدف از ارائه شاخص بارندگی استاندارد شده، ارائه یک شاخص عادی است که بتواند ریزش‌های جوی مناطق با اقلیم‌های متفاوت را



با هم مقایسه کند (انصاری و داوری، ۱۳۸۶). وضعیت خشکسالی بر اساس مقادیر این شاخص در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول (۲) وضعیت خشکسالی و ترسالی برحسب مقادیر SPI، SPEI و GRI

طبقه بندی خشکسالی	مقدار شاخص
به شدت مرطوب	۲ و بیشتر از آن
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
نسبتاً مرطوب	۱ تا ۱/۴۹
متوسط (نرمال)	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹
نسبتاً خشک	-۱ تا -۱/۴۹
خیلی خشک	-۱/۵ تا -۱/۹۹
به شدت خشک	-۲ و کمتر

#### شاخص استاندارد شده بارش تبخیر و تعرق (SPEI)

شاخص SPEI را نخستین بار ویسنته سرانو و همکاران (۲۰۱۰) به کار بردند. شاخص SPEI یک شاخص چند کمیتی است که در آن داده های بارش و دما ترکیب می شوند. نحوه محاسبه شاخص SPEI پیش گفته همانند شاخص SPI است اما در شاخص SPEI مقادیر اختلاف بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) مورد استفاده قرار می گیرد. این امر در واقع معرف تعادل اقلیمی بیان آبی است که در شاخص SPEI مدنظر قرار گرفته است.

#### شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI)

شاخص منبع آب زیرزمینی GRI توسط مندسینو و سناتوره (۲۰۰۸) در کالابریا ایجاد و مورد آزمایش قرار گرفت. (کالابریا ناحیه شبه جزیره ای در جنوب ایتالیا است که اقلیم مدیترانه ای با زمستان های نسبتاً بارانی که اثر قابل توجهی روی قابلیت دسترسی به منابع آبی در دوره های خشک تابستان دارد). GRI از یک مدل تعادلی توزیع آب مشتق شده است و در یک ناحیه ی مدیترانه ای که وضعیت های زمین سنگ شناسی متفاوت دارد و به طور عمده روی واکنش های هیدرولیکی تابستانی حوزه در اثر بارش زمستانی تأثیر می گذارد، مورد آزمایش قرار گرفته است. این شاخص می تواند جهت ارزیابی وضعیت مخزن سفره آب زیرزمینی و همچنین ارزیابی واقعی از میزان ذخیره آبخوان به کار رود. می توان گفت GRI شاخصی است که با استفاده از پارامتر سطح ایستابی در مقیاس ماهانه و سالانه قابل محاسبه بوده و از نتایج آن می توان جهت پیش بینی اهداف و تصمیم گیری های مدیریت آبخوان استفاده کرد. شاخص GRI از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$GRI = \frac{D_{y,m} - U_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \quad (1)$$

GRI ارزش شاخص در ماه m در سال y

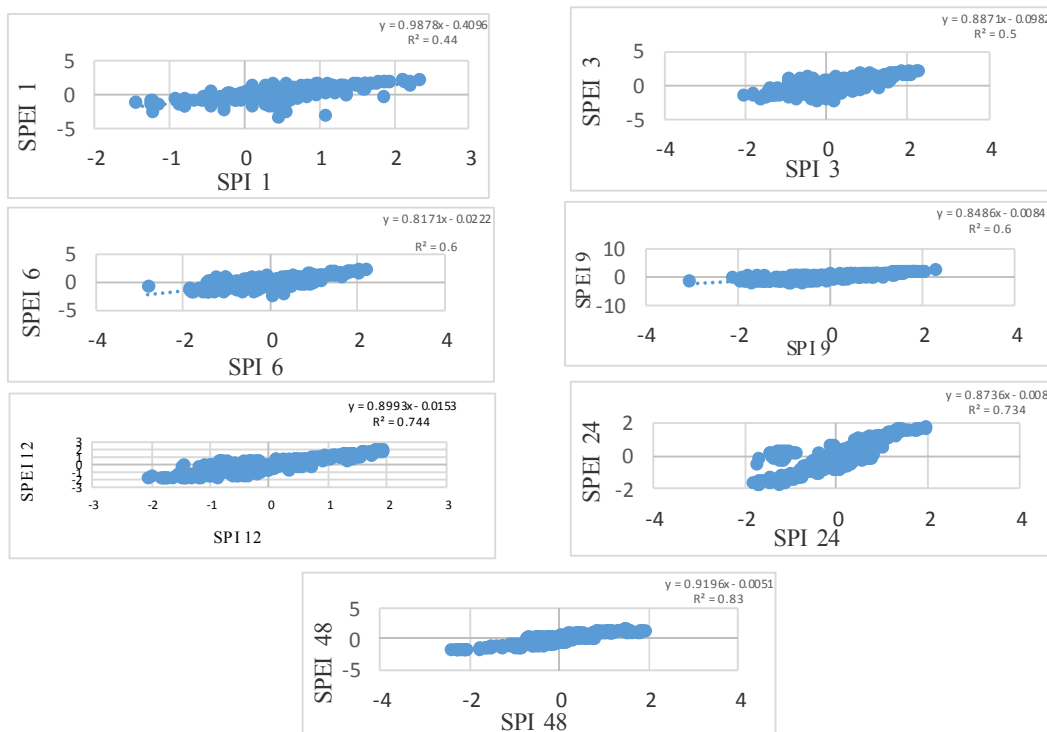
$D_{y,m}$  سطح ایستابی در ماه m در سال y

$U_{D,m}$  و  $\sigma_{D,m}$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده های سطح ایستابی ماه m برای سال D.

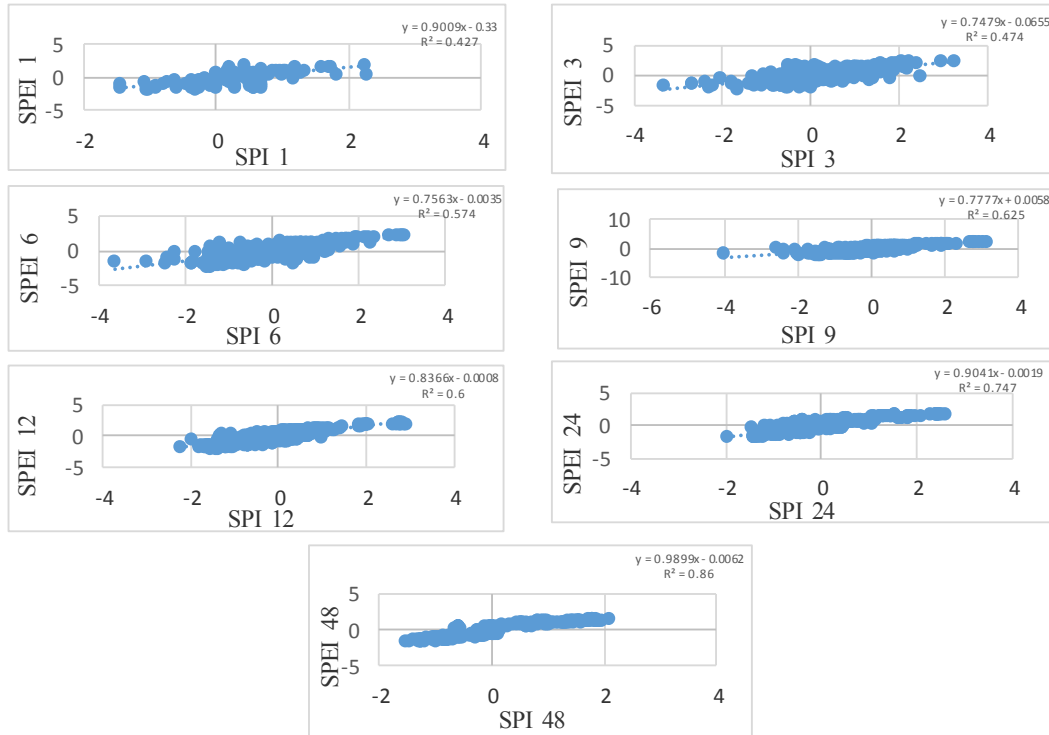
بعد از محاسبه این شاخص، وضعیت خشکسالی بر اساس جدول (۲) تعیین می گردد.

### نتایج و بحث:

نتایج تحلیل همبستگی مقادیر محاسبه شده شاخص SPI و SPEI در ایستگاه‌های منتخب جیرفت مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده در خصوص همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI مشاهده می‌شود که در همه ایستگاه‌های مورد بررسی، بین شاخص‌های پیش‌گفته همبستگی وجود دارد. در ایستگاه زارین با ارتفاع ۱۳۴۰ متر بیشترین ضریب همبستگی در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه با مقدار ۰/۹۲۶ و کمترین ضریب همبستگی در مقیاس زمانی ۱ ماهه با مقدار ۰/۷۲۷ می‌باشد که در سطح ۱٪ معنی‌دار است. در ایستگاه حسین‌آباد با ارتفاع ۹۲۷ متر بیشترین ضریب همبستگی در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه با مقدار ۰/۹۲۷ و کمترین ضریب همبستگی در مقیاس زمانی ۱ ماهه با مقدار ۰/۶۷۷ می‌باشد که در سطح ۱٪ معنی‌دار است. در ایستگاه میانده با ارتفاع ۶۴۱ متر بیشترین ضریب همبستگی در مقیاس ۴۸ ماهه با مقدار ۰/۹۲۸ و کمترین ضریب همبستگی در مقیاس ۱ ماهه با مقدار ۰/۶۷۵ می‌باشد که در سطح ۱٪ معنی‌دار است. در ایستگاه کهنک شیبانی با ارتفاع ۵۴۶ متر بیشترین ضریب همبستگی در مقیاس ۴۸ ماهه با مقدار ۰/۹۱۲ و کمترین ضریب همبستگی در مقیاس ۱ ماهه با مقدار ۰/۶۶۷ می‌باشد که در سطح ۱٪ معنی‌دار است. به‌طور کلی بیشترین ضریب همبستگی در ایستگاه میانده و کمترین ضریب همبستگی در ایستگاه کهنک شیبانی وجود دارد. نتایج تحلیل همبستگی مقادیر محاسبه شده شاخص SPI و SPEI در تعدادی از ایستگاه‌های شهرستان جیرفت در شکل‌های (۳ و ۴) نشان داده شده است.

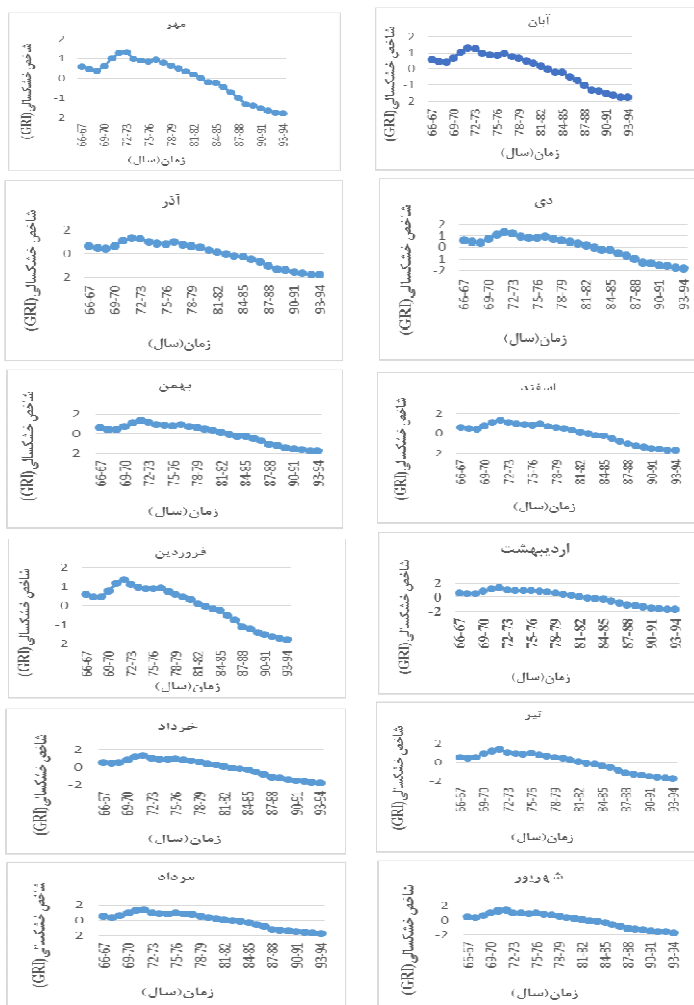


شکل (۳) همبستگی مقادیر محاسبه شده شاخص SPI و SPEI در ایستگاه کهنک شیبانی شهرستان جیرفت

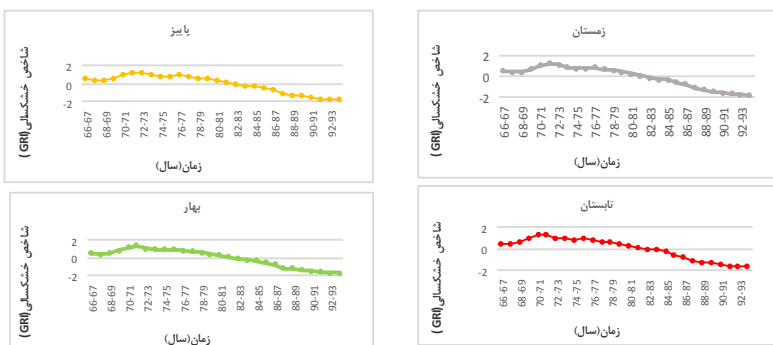


شکل (۴) همبستگی مقادیر محاسبه شده شاخص SPI و SPEI در ایستگاه میانده شهرستان جیرفت

در شکل‌های (۵ تا ۷) نوسانات دراز مدت شاخص GRI در دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۶۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود از ابتدای دوره آماری تا سال ۱۳۷۱ شاخص GRI مثبت است. از سال ۱۳۷۱ به بعد مقدار شاخص GRI رو به کاهش است. مقدار شاخص GRI از سال ۱۳۸۲ به بعد منفی می‌باشد که در واقع نشان‌دهنده کاهش حجم آب موجود در آبخوان در نتیجه کاهش تغذیه طبیعی آبخوان است که خود نتیجه کاهش بارندگی و یا افزایش برداشت در این سال‌ها است. کاهش بارندگی علاوه بر این که باعث کاهش تغذیه آبخوان شده باعث افزایش میزان بهره‌برداری توسط کشاورزان نیز می‌شود. زیرا در اثر کاهش بارندگی، نیاز به آبیاری محصولات کشاورزی بیشتر شده که مجموعه این عوامل باعث افزایش پمپاژ از آبخوان و تشدید خشکسالی هیدرولوژیکی خواهد شد. برای هر ماه بیشترین مقدار GRI، ۱/۴۰۳۸۱، در ماه تیر، سال آبی ۷۱-۷۲ که طبق جدول (۲) در طبقه مرطوب متوسط و کمترین مقدار GRI، ۱/۷۶۷۸-، در ماه دی، سال آبی ۹۳-۹۴ که در طبقه خشک شدید قرار دارد. برای متوسط هر فصل، بیشترین مقدار GRI، ۱/۳۸۹۲۶، در فصل تابستان سال آبی ۷۱-۷۲ که در طبقه مرطوب متوسط و کمترین مقدار GRI، ۱/۷۶۳۰۷-، در فصل پاییز سال آبی ۹۳-۹۴ که در طبقه خشک شدید قرار دارد. برای متوسط سالانه، بیشترین مقدار GRI، ۱/۳۵۶۴۴، سال آبی ۷۱-۷۲ که در طبقه مرطوب متوسط و کمترین مقدار GRI، ۱/۷۵۱۷۲-، در سال آبی ۹۳-۹۴ که در طبقه خشک شدید قرار دارد. نتایج مقادیر محاسبه شده شاخص GRI برای کل ماه‌ها، متوسط هر فصل و متوسط سالانه در دشت جیرفت در شکل‌های (۵ تا ۷) نشان داده شده است.

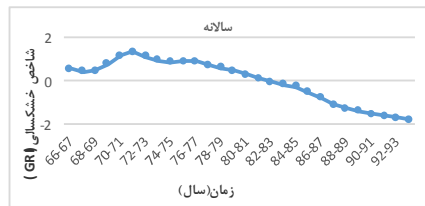


شکل (۵) تغییرات شاخص GRI در پایه زمانی ماهانه



شکل (۶) تغییرات شاخص GRI در پایه زمانی فصلی





شکل (۷) تغییرات شاخص GRI در پایه زمانی سالانه

### نتیجه‌گیری:

پژوهش حاضر باهدف مقایسه وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص‌های مبتنی بر بارندگی و همچنین مبتنی بر بارندگی و تبخیر - تعرق و بررسی خشکسالی منابع آب‌های زیرزمینی صورت پذیرفت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در خصوص همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI مشاهده می‌شود که در همه‌ی ایستگاه‌های مورد بررسی، بین شاخص‌های پیش‌گفته همبستگی وجود دارد. به‌طور کلی بیشترین ضریب همبستگی در ایستگاه میانده با ارتفاع ۶۴۱ درمقیاس زمانی ۴۸ ماهه با مقدار ۰/۹۲۸، که در سطح ۰/۱ معنی‌دار می‌باشد و کمترین ضریب همبستگی در ایستگاه کهنک شیبانی با ارتفاع ۵۴۶ درمقیاس ۱ ماهه با مقدار ۰/۶۶۷ می‌باشد که در سطح ۰/۱ معنی‌دار می‌باشد. به نظر می‌رسد که همبستگی ضعیف میان شاخص‌های SPI و SPEI ناشی از تأثیر تبخیر و تعرق محاسبه شده با شاخص SPEI است. با توجه به نتایج حاصل از محاسبه شاخص GRI با اطمینان می‌توان نتیجه گرفت که خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه رخ داده است. از ابتدای دوره آماری تا سال ۱۳۷۱ نوسانات شاخص GRI عادی است که دلیل آن شرایط مناسب نزولات جوی در این سال‌ها و برداشت متعادل از منابع آب زیرزمینی است. از سال ۱۳۷۱ به بعد مقدار شاخص GRI رو به کاهش است. مقدار شاخص GRI از سال ۱۳۸۲ به بعد منفی می‌باشد که در واقع نشان‌دهنده‌ی کاهش حجم آب موجود در آبخوان در نتیجه کاهش تغذیه طبیعی آبخوان است که خود نتیجه کاهش بارندگی و برداشت بیش‌ازحد در این سال‌ها است.

### منابع:

- اسلامیان س.، نصری م. و رحیمی ن. ۱۳۸۸. بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی و اثرات آن بر تغییرات منابع آب حوضه‌ی آبخیز دشت بوئین، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیستم - شماره پیاپی - (۳۳) شماره ۱ - بهار.
- انصاری ح.، داوری ک. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی دوره‌های خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد در محیط GIS، استان خراسان، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی موسسه جغرافیایی دانشگاه تهران، شماره ۱۰۸: ۶۰-۹۷.
- باغخانی پور ص.، دانه‌کار ا. و رحیمی ع. ۱۳۹۳. تعیین قابلیت اراضی بخش کشاورزی در شهرستان جیرفت. اولین همایش یافته‌های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی، دانشگاه تهران.
- بذرافشان ج. ۱۳۸۱. مطالعه برخی از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران
- تاج‌بخش س.م.، عیسی خانی ن. و فضل کاظمی ا. ۱۳۹۴. ارزیابی خشکسالی هواشناسی در ایران با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش و تبخیر تعرق SPEI، فیزیک زمین و فضا، ۴۱ (۲)، ۳۱۳-۳۲۱.



-چمن پیرا غ.، زهتابیان غ.، احمدی ح. و ملکیان آ. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی به منظور مدیریت بهینه بهره‌برداری، مطالعه موردی: دشت الشتر، نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۶ (۱) ۱۰-۲۰.  
-شکیبا ع.، میرباقری ب. و خیری ا. ۱۳۸۸. خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI، جغرافیا (فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیا ایران) دوره‌ی جدید، سال هشتم، شماره ۲۵، تابستان ۸۹.

- علیزاده ا. ۱۳۸۵. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیستم موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی.  
-قبائی سوق م.، زارع ایبانه ح.، مساعدی ا. و صمدی س. ز. ۱۳۹۵. پایش وضعیت‌های رطوبتی و روند آن‌ها بر مبنای شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در نواحی مختلف آب‌وهوایی ایران، نشریه آب و خاک، جلد ۳۰ شماره ۵ صفحات ۱۷۰۰ تا ۱۷۱۷.

-مهدوی م. ۱۳۸۹. هیدرولوژی کاربردی (جلد اول)، چاپ هشتم. انتشارات دانشگاه تهران.  
-یوسفی ح.، نوحه‌گر ا.، خسروی ز. و عزیزآبادی فراهانی م. ۱۳۹۴. مدیریت و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های SPI و RDI (مطالعه‌ی موردی: استان مرکزی)، اکوهیدرولوژی دوره‌ی ۲، پاییز ۱۳۹۴، ص ۳۳۷-۳۴۴.

- Correia, F. N., Santos, M. A., Rodrigues, R. R. 1991. 'Reliability in Regional Drought Studie, Drought Mitigation in Europe, Vogt JV, Somma F (eds). Kluwer: Dordrecht; 161-166.
- Dutta, d., Kundu, a., Patel, N.R., Saha, S.K., Siddiqui, A.R. 2015. Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences (2015) 18, 53-63
- Keneth, H. F. 2003. Climate Variation Drought and Desertification, W. M. Annual Report; Jevenva.
- Mendicino, G., Senatore, A., and Versace, P. 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate, Journal of Hydrology. 357,(282- 302)
- Peters, E., Bier, G., van Lanen, H.A.J., Torfs, P.J.J.F. 2006. Propagation and spatial distribution drought in a groundwater catchment, Journal of Hydrology 321 (2006) 257-27
- Shah, R., Bharadiya, N., Manekar, V., 2015. Drought Index Computation Using Standardized Precipitation Index(SPI) Method For Surat District, Gujarat Aquatic Procedia 4 (2015) 1243- 1249.
- Van Lanen, H.A.J., and Peters, E. 2000. Definition, effects and assessment of groundwater droughts. In J. S. Vogt, Drought and Drought Mitigation in Europe (pp. 49-61). Dordrecht: Kluwer
- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., and Lopezmoreno, J. I., 2010. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index-SPEI, J. of Climate, 23(7), 1696-1718.