

نسبتاً بالای ضرایب همبستگی بین نمایه‌های *SPI* و *GRI* نشان می‌دهد که سطح آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر تغییرات بارندگی قرار دارند. هم‌چنین نتایج نشان داد که روند افت آب زیرزمینی دشت رفسنجان در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است و تمامی آماره‌های آزمون من-کندال بیانگر آن هستند که تغییرات سطح آبخوان این مناطق روند نزولی و منفی داشته به گونه‌ای که سطح آب زیرزمینی این دشت در طی ۲۵ ساله به میزان ۲۰/۷۵ متر افت داشته است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی؛ دشت رفسنجان؛ نمایه *SPI*؛ نمایه *GRI*؛ همبستگی.

مقدمه

آب‌های زیرزمینی جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت تحت تأثیر تغییرات اقلیمی هستند که دستیابی به این منابع در حال حاضر و آینده یک چالش جدی است [۲ و ۳۹]. تا سال ۲۰۲۵، ۱/۸ میلیارد نفر در جهان با کمبود آب زندگی خواهند کرد و دو سوم جمعیت جهان تحت تنش آبی به سر می‌برند که ۸۰ درصد آن‌ها در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند [۳۲]. از طرفی خشکسالی^۶ بر طبق تعریف که کاهش بارندگی نسبت به میانگین دراز مدت آن می‌باشد و در تمام رژیم‌های اقلیمی رخ می‌دهد، به دلیل شروع آهسته، سطح وسیع و اثرات طولانی مدت یکی از پرهزینه‌ترین خطرات طبیعی است که اثرات جبران‌ناپذیری بر روی بسیاری از بخش‌ها از جمله کشاورزی، اقتصادی-اجتماعی جوامع، بوم‌سازگاران و منابع آب زیرزمینی می‌گذرد [۱، ۲۹ و ۴۱]. شناسایی وقایع خشکسالی و ارزیابی اثرات آن بر روی اکوسیستم ضروری است. لذا چندین نمایه خشکسالی برای پیش‌خشکسالی توسعه داده شده است. نمایه‌های خشکسالی عمدتاً ابزاری برای بررسی مدت خشکسالی، شدت و وسعت آن هستند [۸]. خشکسالی به انواع خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی، اجتماعی-اقتصادی تقسیم‌بندی شده است [۱۲]. خشکسالی هواشناسی به‌طور کلی به‌عنوان مقادیر کمبود بارش (چند ماه یا سال) در مقایسه با میانگین بلند مدت تعریف می‌شود [۲۵] که به‌عنوان نقطه آغازین خشکسالی تلقی می‌شود و استمرار آن خطرناکترین نوع خشکسالی که اجتماعی-اقتصادی می‌باشد را در بر می‌گیرد. اثر خشکسالی هواشناسی کاهش نفوذ رواناب، نفوذ

بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر نوسانات آب زیرزمینی در دشت رفسنجان

محمد علی جمالی‌زاده^۱، ام‌لبنین بذرافشان^{۲*}، رسول مهدوی^۳، علی آذره^۴ و الهام رفیعی ساردوی^۵
 تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۰۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۰۴

چکیده

در سال‌های اخیر روند رو به رشد جمعیت و بهره‌برداری بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی و به دنبال آن رخداد رویدادهای حادی از جمله خشکسالی خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به زیرساخت‌های اجتماعی-اقتصادی کشور وارد می‌کند. بدین‌منظور هدف مقاله پیش‌رو تأثیرپذیری سطح آب زیرزمینی از نوسانات بارش در دشت رفسنجان در سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۵ می‌باشد. دوره‌های خشکسالی بر اساس نمایه خشکسالی هواشناسی (*SPI*) و آب زیرزمینی (*GRI*) در سه مقیاس زمانی (۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماه) و همبستگی و روند به ترتیب با استفاده از ضریب پیرسون و آزمون من-کندال تعیین گردید. نتایج بررسی خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی حاکی از آن است که بیش‌ترین کلاس خشکسالی در این دو نمایه در کلاس نسبتاً نرمال به ترتیب در مقیاس ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه به میزان ۳۳/۵۶، ۴۱/۸۷ و ۴۹/۰۱ برای نمایه *SPI* و ۲۹/۶۴ و ۲۹/۹۶ برای نمایه *GRI* رخ داده است. بررسی اثرات خشکسالی هواشناسی بر روی تغییرات سفره‌های آب زیرزمینی بیانگر آن بوده است که خشکسالی در بازه ۴۸ ماهه بیش‌ترین همبستگی را با نمایه *GRI* به میزان ۰/۴۱۴ را نشان داد به گونه‌ای که این مقیاس از سال ۱۳۸۲ بیش‌ترین انطباق را با تغییرات افت آبخوان از خود نشان داده است و پس از آن بیش‌ترین همبستگی در مقیاس ۲۴ ماه به میزان ۰/۲۵۶ را از خود به نمایش گذاشته است. مقادیر

- ۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
- ۲- * دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
Email: o.bazrafshan@hormozgan.ac.ir
- ۳- دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
- ۴- استادیار، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه جیرفت
- ۵- استادیار، گروه مهندسی آبادانی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت

عمقی و تغذیه آب‌های زیرزمینی است [۳۰]. در طی دهه گذشته، کاهش سطح آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان گزارش شده است [۳۷]. با توجه به اهمیت تغییرات سطح آب زیرزمینی ناشی از خشکسالی مطالعات فراوانی در این زمینه با استفاده از نمایه‌های مرتبط صورت گرفته است، که می‌توان به برخی از آن اشاره نمود: بارکی و بایلی [۴] در بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی و خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی جزایر مارشال پی بردند که در شرایط خشکسالی آب زیرزمینی شیرین جزایر کوچک افت زیادی را نشان می‌دهد. هم‌چنین وو و همکاران [۴۰] در بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر خشکسالی آب زیرزمینی و اثر مخزن بر روی خشکسالی بیان داشتند که بین این دو خشکسالی رابطه غیرخطی وجود دارد و مخزن سد سبب گردیده است که اثر خشکسالی هواشناسی کاهش یابد. کویچ و باک [۱۹] در بررسی خشکسالی هواشناسی بر روی منابع آب زیرزمینی در لهستان بیان داشتند که همبستگی شدیدی بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی در مقیاس ۲۴ ماهه وجود دارد. با توجه به مطالعات صورت گرفته آب‌های زیرزمینی نقش مهمی، بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با منابع کم‌یاب آب سطحی در حفظ فعالیت‌های انسانی ایفا می‌کنند [۲۰]. از طرفی جهان‌شاهی و همکاران [۱۴] در ارزیابی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت شهربابک بیان داشتند که بین عمق آب زیرزمینی و نمایه SPI^1 در مقیاس ۴۸ ماهه بیش‌ترین ضریب همبستگی به میزان ۰/۵۱ در سطح معنی‌داری ۰/۹۵ درصد حاصل گردید که حاکی از تأثیر مستقیم خشکسالی بر سطح آب زیرزمینی در این دشت است. نتایج نوحه‌گر و همکاران [۳۱]، در بررسی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی حاکی از آن بود که افت سطح آب همه دشت‌های مورد مطالعه متأثر از خشکسالی با ضریب تأثیر بالا است به جز دشت مسافرآباد که چاه‌های آن در سفره دوم واقع شده و بخش عمده تغذیه آن، از طریق سازندهای سخت ارتفاعات صورت می‌گیرد و تأثیرپذیری کم‌تری از بارش دشت دارد. بهزادی کریمی و امیدوار [۶] در ارزیابی تأثیر خشکسالی‌های اخیر بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت سروستان فارس نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری نشان داد که نمایه SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بدون اعمال تأخیر زمانی با میانگین تراز سطح آب زیرزمینی و نمایه GRI^2 در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌دار بوده و دارای بیش‌ترین ضریب همبستگی است که حاکی از تأثیر خشکسالی بر آب زیرزمینی دشت سروستان است. از طرفی خشکسالی‌های طولانی مدت و یا وقایع شدید خشکسالی در این مناطق می‌تواند منجر به حوادث ناگواری مانند عدم دسترسی به مواد غذایی و بیابان‌زایی گردد [۲۱]. با توجه به این‌که در دشت رفسنجان مقدار بارندگی سالیانه ناچیز است و از طرف دیگر منابع آب زیرزمینی با اجزاء چرخه هیدرولوژی در ارتباط است لذا خشکسالی هواشناسی سبب کاهش بارندگی به دلیل

1. Standardized Precipitation Index
2. Groundwater Resource Index

این پدیده جوی سبب کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌گردد [۱۰]. با توجه به این‌که سطح آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر بارش قرار دارد که با تغییرات اقلیمی در ارتباط است، لذا تاکنون نمایه‌های بسیاری برای پایش خشکسالی ارائه شده است و نمایه‌های SPI و GRI به‌عنوان دو نمایه مفید و قابل اعتماد برای پایش خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی در ایران و سایر کشورهای دنیا به دلیل سادگی و قابل اجرا بودن، به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند و برای هشدار اولیه و کمک به ارزیابی شدت خشکسالی اهمیت زیادی دارند [۲۴ و ۲۸]. هم‌چنین حیات مناطق خشک و نیمه‌خشک به بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی وابسته است که بهره‌برداری بیش از حد از این منابع و خشکسالی‌های اخیر سبب ایجاد فقر، بیکاری، مهاجرت، کاهش امنیت غذایی که بحران‌های امنیتی برای کشور به دنبال دارد را می‌گردد. بنابراین دیگر بر هیچ کس پوشیده نیست که برای مدیریت منابع آب و انجام فعالیت‌ها و برنامه‌های مرتبط با آن نیاز به پایش و ارزیابی همیشگی اثرات خشکسالی بر روی منابع آب زیرزمینی می‌باشد. بنابراین هدف از این تحقیق ارزیابی خشکسالی هواشناسی (SPI) و هیدرولوژیکی (GRI) و روابط آن‌ها بر اساس ارزیابی نمایه‌ها در دشت رفسنجان در بازه زمانی ۲۵ ساله (۱۳۹۵-۱۳۷۱) و نشان دادن امکان استفاده از این روش در سیستم پایش خشکسالی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

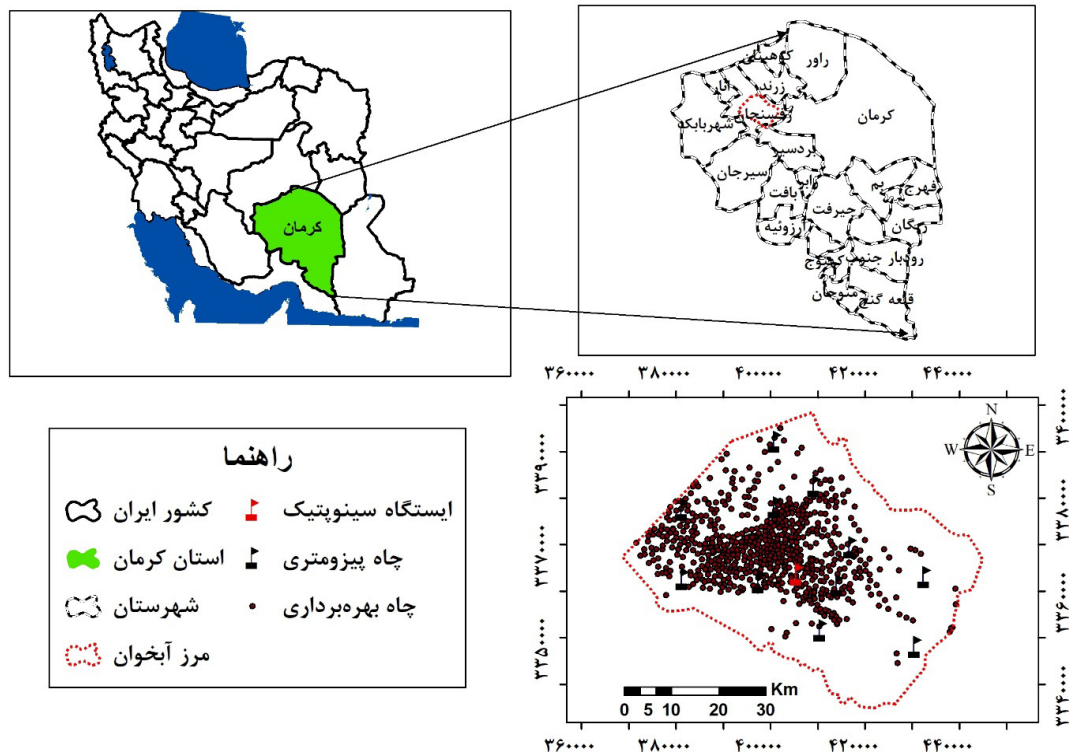
دشت رفسنجان در جنوب شرقی ایران با وسعت ۲۶۶۱/۶۴ کیلومتر مربع در موقعیت $38^{\circ}11'$ تا $38^{\circ}55'$ و $25^{\circ}25'$ تا $25^{\circ}56'$ طول شرقی و $30^{\circ}08'$ تا $30^{\circ}31'$ عرض شمالی و محدوده ارتفاعی ۱۴۰۰ متر تا ۳۴۳۴ متر بالاتر از سطح دریا آزاد قرار دارد (شکل ۱). رفسنجان در طبقه‌بندی اقلیمی به روش دومارتن دارای اقلیم خشک است. عمده تغذیه دشت رفسنجان مربوط به مسیل‌های جنوب و جنوب‌غرب است که حیاتی کاملاً وابسته به بارندگی دارند که میزان بارندگی در این دشت ۹۰ میلی‌متر در سال است [۱۳ و ۲۷].

روش تحقیق

در این تحقیق برای بررسی خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی به‌ترتیب از داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک رفسنجان و تراز آب زیرزمینی دشت رفسنجان طی دوره زمانی (۱۳۷۱-۱۳۹۵) از سازمان هواشناسی و شرکت مدیریت منابع آب ایران (تماب) استفاده گردید. در ادامه مراحل انجام تحقیق شرح می‌گردد:

نمایه خشکسالی هواشناسی

در پژوهش پیش‌رو، برای بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی دشت رفسنجان از نمایه بارش استاندارد شده SPI در مقیاس زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه با توجه به این‌که خشکسالی آب زیرزمینی از



شکل ۱: محدوده آبخوان دشت رفسنجان

سطح ایستابی، S انحراف معیار داده‌ها و n تعداد داده‌ها می‌باشد. با توجه به این‌که در هر دو نمایه SPI و GRI از توزیع نرمال استفاده شده است، از طبقه‌بندی مشابه برای این دو نمایه استفاده می‌گردد [۳۶] (جدول ۱).

الگوی بارندگی بلند مدت تأثیر می‌پذیرد، بنابراین سه مقیاس زمانی در ارتباط با جریان رودخانه، سطح مخازن و سطح آب زیرزمینی استفاده شده است [۱۱]. این نمایه در سال ۱۹۹۳ توسط مک‌کی و همکاران [۲۳] به منظور پایش خشکسالی ابداع گردیده است (رابطه ۱):

جدول ۱: وضعیت طبقات نمایه SPI و GRI

GRI و SPI	Situation	وضعیت
بزرگتر یا مساوی ۲	Extremely wet	فرا مرطوب
۱/۵-۱/۹۹	Very wet	بسیار مرطوب
۱-۱/۴۹	Moderately wet	نسبتاً مرطوب
۰-۰/۹۹	Normal	نرمال
(-۰/۹۹)-۰	Near normal	نسبتاً نرمال
(-۱/۴۹)-(-۱)	Moderately dry	نسبتاً خشک
(-۱/۵)-(-۱/۹۹)	Severely dry	بسیار خشک
کوچکتر یا مساوی -۲	Extremely dry	فراخشک

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}_i}{S} \quad 1$$

که در آن، X_i بارش سالانه به میلی‌متر، \bar{X}_i میانگین بارندگی سری زمانی (میلی‌متر) و S انحراف معیار سری زمانی می‌باشد.

نمایه خشکسالی آب زیرزمینی

نمایه منبع آب زیر زمینی GRI جهت ارزیابی وضعیت سفره‌ی آب زیرزمینی و هم‌چنین ارزیابی واقعی از میزان ذخیره آبخوان به کار رود. می‌توان گفت GRI شاخصی است که با استفاده از پارامتر سطح ایستابی در مقیاس ماهانه و سالانه قابل محاسبه بوده و از نتایج آن می‌توان جهت پیش‌بینی اهداف و تصمیم‌گیری‌های مدیریت آبخوان استفاده کرد. در محاسبه این نمایه از آمار بلند مدت سطح ایستابی سفره‌ی آب زیرزمینی در نقاط مختلف سفره استفاده می‌شود. نمایه GRI از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود [۲۴]:

$$GRI = \frac{Di - \bar{D}}{S} \quad 2$$

که در آن Di ارزش سطح ایستابی در دوره‌ی مورد نظر، \bar{D} میانگین

بررسی روند خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی

آزمون روند من-کندال (MK) یک آزمون غیر پارامتری است که اغلب برای تشخیص روند در سری زمانی هیدرولوژی، آب زیرزمینی، هواشناسی، کیفیت آب، کیفیت هوا بیش از دو الی سه

نتایج

نتایج خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی

روند تغییرات بارندگی سالیانه، سطح آب زیرزمینی، نمایه GRI و SPI در سه مقیاس ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در شکل (۲) نشان داده شده است. مطابق این شکل طی دوره ۲۵ ساله تنها در سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۷۷، ۱۳۷۹، ۱۳۸۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۵ در نمایه SPI12 ماهه، ۱۳۷۵، ۱۳۷۶، ۱۳۷۷، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در نمایه SPI24 ماهه و در سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۷۶، ۱۳۷۷، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در نمایه SPI48 ماهه منطقه شاهد دوره ترسالی بوده است. از طرفی در بازه زمانی دهه ۱۳۷۰ نسبت به دوره ۲۵ ساله منطقه دارای ترسالی بوده است و همچنین این شکل تأثیر بارندگی بر سطح آب زیرزمینی را نشان داده است به نوعی که متوسط افت آبخوان طی این دهه ۰/۷۱ بوده است در حالی این تغییرات در دهه ۱۳۸۰ با توجه به این که در بازه زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۴ عملاً خشکسالی آب زیرزمینی مشهودتر شده است به میزان ۰/۸۱ رسیده است. همچنین طی این دوره ۲۵ ساله با توجه به نمایه GRI در مقیاس‌های ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه به ترتیب ۵۰/۸۶، ۵۰/۹۰ و ۵۰/۵۹ در نمایه SPI به میزان ۵۱/۲۱، ۵۴/۵۱ و ۶۰/۸۶ درصد خشکسالی در سطح منطقه رخ داده است (شکل ۳).

رابطه همبستگی بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی

بررسی همبستگی بین نمایه GRI و SPI در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد ($P < 0.01$) بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌دار این نمایه‌ها در مقیاس ۴۸، ۲۴ و ۱۲ ماهه به ترتیب به میزان ۰/۴۱۴، ۰/۲۵۶ و ۰/۲۱۲ در این دشت می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲: ماتریس همبستگی بین نمایه‌های GRI و SPI در مقیاس‌های ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه

	نمایه	GRI12	GRI24	GRI48
SPI12	همبستگی پیرسون	۰/۲۱۲**		
	Sig. (2-tailed)	.		
SPI24	تعداد داده‌ها	۲۸۹		
	همبستگی پیرسون		۰/۲۵۶**	
SPI48	Sig. (2-tailed)		.	
	تعداد داده‌ها		۲۷۷	
SPI12	همبستگی پیرسون			۰/۴۱۴**
	Sig. (2-tailed)			.
SPI24	تعداد داده‌ها			۲۵۳
	همبستگی پیرسون			
SPI48	Sig. (2-tailed)			.
	تعداد داده‌ها			۲۵۳

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

تجزیه و تحلیل روند خشکسالی آب زیرزمینی و هواشناسی

نتایج آماره‌های آزمون من-کندال حاکی از آن است در همه مقیاس‌ها اعم از ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه روند نمایه خشکسالی SPI در

دهه است که شناخته شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹ و ۴۲]. این آزمون "S" مبتنی بر روش من [۲۲] و کندال [۱۷] با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌گردد:

$$S = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad ۳$$

که در آن X_i مقدار داده i ام، n تعداد داده‌ها و $\text{sgn}(X_i - X_j)$ تابع علامت بوده که از رابطه (۴) تعیین می‌شود:

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad ۴$$

واریانس آماره از رابطه (۵) بدست می‌آید [۱۷]:

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^n t_p(p-1)(2p+5)}{18} \quad ۵$$

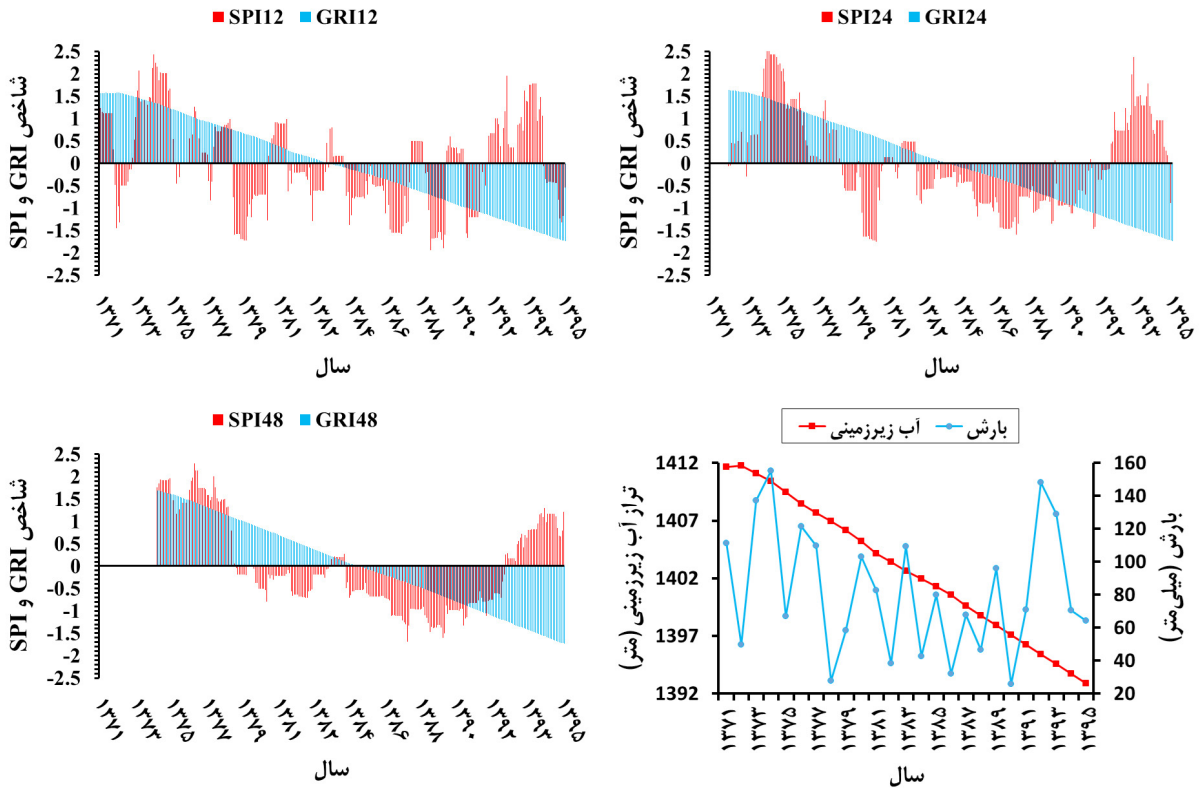
که t_p تعداد دنباله‌ها برای p امین مقدار و p تعداد مقادیر دنباله‌ها است. جزء دوم در فرمول فوق یک تعدیل برای دنباله یا داده‌های حساس است. آماره استاندارد شده آزمون Z از رابطه (۶) بدست می‌آید:

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{when } s = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad ۶$$

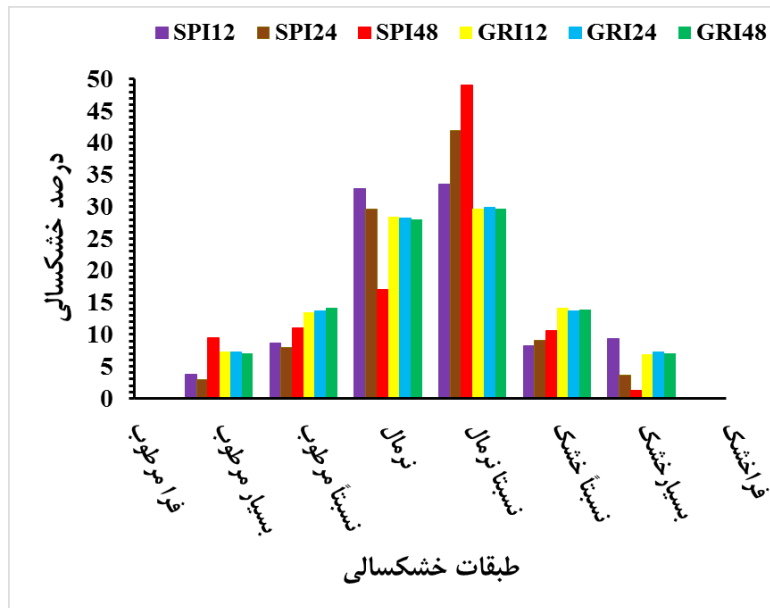
در صورت وجود روند مقادیر Z مثبت نشان دهند روند مثبت و مقادیر منفی Z نشان دهنده روند منفی است. همچنین برای آزمون روند افزایش یا کاهش یکنواخت در سطح معنی‌داری P ، اگر مقدار Z بزرگتر از $Z_{1-p/2}$ باشد (که $Z_{1-p/2}$ از جدول توزیع تجمعی نرمال استاندارد بدست می‌آید) فرض صفر رد می‌شود. برای این کار، سطح معنی‌دار یک یا پنج درصد به کار می‌رود. همچنین شیب خط سن [۳۳] یکی دیگر از روش‌های تعیین روند در سری داده‌ها می‌باشد که به‌طور گسترده در هیدرولوژی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۸] (رابطه ۷):

$$\beta = \text{median} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right] \quad \forall i > j \quad ۷$$

که در آن β نشان دهنده شیب خط روند، X_i مقادیر مشاهده‌ای i مین می‌باشد. مقادیر مثبت یا منفی β نشان دهنده روند افزایشی یا کاهشی در سری داده‌ها است [۳۸]. در نهایت به‌منظور بررسی رابطه بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی از آزمون پیرسون در سطح ۹۹ درصد در نرم‌افزار SPSS22¹ استفاده می‌گردد.



شکل ۲: تغییرات بارندگی، تراز آب زیرزمینی، نمایه SPI و نمایه GRI در بازه زمانی (۱۳۷۱-۱۳۹۵)



شکل ۳: درصد طبقات خشکسالی دشت رفسنجان در بازه زمانی (۱۳۷۱-۱۳۹۵)

هواشناسی در دوره (۱۳۷۱-۱۳۹۵) است.

سطح ۹۹ درصد معنی دار بوده است و هم‌چنین ضرایب Kendall's τ و آماره Z و شیب خط سن منفی می‌باشند که نشان دهنده روند نزولی این دو پارامتر خشکسالی آب زیر زمینی و خشکسالی

جدول ۳. نتایج آماره‌های آزمون من-کندال نمایه‌های GRI و SPI دشت رفسنجان

روند	آماره				مقیاس (ماه)	نمایه
	Z	Sen's slope:	p-value (Two-tailed)	Kendall's tau		
دارد	-۶/۸۲	-۰/۰۱۲	<۰/۰۰۰۱	-۰/۹۹۷	۱۲	GRI
دارد	-۱/۳۱	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	-۰/۱۳۶		SPI
دارد	-۵/۶۸	-۰/۰۱۳	<۰/۰۰۰۱	-۱	۲۴	GRI
دارد	-۱/۳۲	-۰/۰۰۴	<۰/۰۰۰۱	-۰/۱۹۶		SPI
دارد	-۵/۳۰	-۰/۰۱۴	<۰/۰۰۰۱	-۱	۴۸	GRI
دارد	-۱/۹۶	-۰/۰۰۶	<۰/۰۰۰۱	-۰/۳۱۰		SPI

بحث و نتیجه‌گیری

منابع آب زیرزمینی بلافاصله تحت تأثیر تغییرات اقلیمی به ویژه نوسانات بارندگی در مقیاس‌های کم‌تر از بازه زمانی ۱۲ ماه قرار نمی‌گیرند. بنابراین یکی از رویکردهای مهم در مطالعات آب زیرزمینی بررسی روند تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی تحت خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های بلند مدت می‌باشد. از طرفی شناسایی روند یکی از مهم‌ترین مراحل در مطالعات اقلیمی و هیدرولوژی است، متداولترین روش برای بررسی روند آزمون من-کندال می‌باشد [۳۴]. آزمون من-کندال و شیب خط سن برای داده‌های سری زمانی بارش و تراز آب زیرزمینی دشت رفسنجان اعمال گردید. نتایج بررسی خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی حاکی از آن است که بیش‌ترین کلاس خشکسالی در این دو نمایه در کلاس نسبتاً نرمال به ترتیب در مقیاس ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه به میزان ۳۳/۵۶، ۴۱/۸۷ و ۴۹/۰۱ درصد برای نمایه SPI و ۲۹/۷۵، ۲۹/۹۶ و ۲۹/۶۴ درصد برای نمایه GRI رخ داده است که با نتایج چمن‌پیرا و همکاران [۷] در بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت الشتر بیان داشتند که بیش از ۶۰ درصد از منطقه تحت خشکسالی نرمال بوده است که در مقیاس ۲۴ ماه نمایه SPI بیش‌ترین تأثیر را نسبت به سایر عوامل بر روی افت آب زیرزمینی داشته است و محمدی و همکاران [۲۶] در بررسی این دو نمایه بر روی منابع آب زیرزمینی دشت کرمان نیز بیانگر آن بود که نمایه SPI در مقیاس ۴۸ ماهه بیش‌ترین تأثیر را بر روی افت آبخوان دشت کرمان داشته است، مطابقت دارد. بررسی اثرات خشکسالی هواشناسی بر روی تغییرات سفره‌های آب زیرزمینی نشان داد که خشکسالی در بازه ۴۸ ماهه بیش‌ترین همبستگی را با نمایه GRI به میزان ۰/۴۱۴ را نشان داد به گونه‌ای که این مقیاس از سال ۱۳۸۲ بیش‌ترین انطباق را با تغییرات افت آبخوان از خود نشان داده است و پس از آن بیش‌ترین همبستگی در مقیاس ۲۴ ماه به میزان ۰/۲۵۶ را از خود به نمایش گذاشته است که با نتایج سیف و همکاران [۳۵] مطابقت دارد. نتایج حاصل از بررسی آزمون ناپارامتری من-کندال بر روی مؤلفه بارش در هر سه مقیاس زمانی مذکور بیانگر آن است

که در این دشت روند معنی‌داری در کاهش یا افزایش این متغیر مشاهده گردید که با نتایج کنگنه‌اف و همکاران [۱۶] که بیان داشتند روند معنی‌داری در افزایش و کاهش پارامتر بارش در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود داشته است و تنها تغییرات به صورت ناگهانی یا تغییرات در نوع الگوی بارش مشاهده می‌شود، مطابقت دارد که با نتایج اسفوی و همکاران [۳] که نمایه خشکسالی پالمربیش‌ترین شدت روند خشکسالی را در طی قرن ۲۰م در اتیوپی از خود نشان داده است، مطابقت دارد، هم‌چنین نتایج نشان داد که روند افت آب زیرزمینی دشت رفسنجان در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است و تمامی آماره‌های آزمون من-کندال بیانگر آن هستند که تغییرات سطح آبخوان این مناطق روند نزولی و منفی داشته است که با نتایج بهمنش و همکاران [۵] در بررسی روند تغییرات آب زیرزمینی در دشت ارومیه که نشان‌دهنده آن بود که در همه ایستگاه‌ها تراز آب زیرزمینی دارای روند منفی و در ۵۶ درصد ایستگاه‌ها روند منفی در سطح احتمال ۱درصد معنی‌دار بودند و بررسی شیب خط روند حاکی از آن بود که به‌طور متوسط تراز آب زیرزمینی در دشت ارومیه ح دود ۱۹/۹ سانتی‌متر در سال در دهه اخیر در حال کاهش است، مطابقت دارد. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که سطح آب زیرزمینی در طی ۲۵ ساله به میزان ۲۰/۷۵ متر تراز آب زیرزمینی منطقه افت داشته است که با نتایج جعفری و همکاران [۱۳] که حاکی از آن بود که متوسط افت تراز آب زیرزمینی دشت رفسنجان در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ نسبت به دوره پایه (سال ۱۳۸۱) به ترتیب به میزان ۳/۹۶، ۸/۰۲ و ۱۳/۱۰ متر رخ داده است و هم‌چنین با نتایج جمهور و همکاران [۱۵] که حاکی از آن بود که سطح آبخوان دشت میناب سالانه حدود ۴۶ سانتی‌متر افت نموده است و سبب گردیده است که آب شور دریا به سمت آبخوان حرکت نماید، مطابقت دارد. این کاهش افت تراز آب در دوره ۲۵ ساله در دشت رفسنجان حاکی از آن است که افزایش برداشت آب زیرزمینی سبب صعودی داشته است. لذا با توجه به این‌که طی دهه‌های گذشته فراوانی خشکسالی‌ها با شدت بیش‌تری در این منطقه روبه افزایش است و پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی نشان دهنده این رخداد می‌باشد

13- Jafari Gadaneh, M., Tajaldini, M. and Bakhtiarpour, A. 2019. Investigation of Spatial and Temporal Changes in Groundwater Level in Rafsanjan Plain. The 1st International Conference on Silk Road Scholars. Iran- Tehran – 20 sep. (In Persian).

14- Jahanshahi, A., Moghddam Nia, A.R. and Nohtani, M. 2016. Assessment of Drought Impact on Groundwater Resources Using SPI Index (Case study: Shahr-e-Babak Plain, Kerman Province). Desert Ecosystem Engineering Journal. 5(10): 85-98. (In Persian).

15- Jamour, R., Eilbeigy, M. and Morsali, M. 2019. Assessment of the Land Subsidence Crisis and the Advent of Salt Water in the Minab Plain Aquifer. Iranian Journal of Ecohydrology. 6(1): 223-238. (In Persian).

16- Keggenhoff, I., Elizbarashvili, M., Amiri-Farahani, A. and King, L. 2014. Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971–2010. Weather and Climate Extremes. 4: 75-85.

17- Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods, 4th edition, Charles Griffin, London.

18- Kubicz, J. and Bak, B. 2019. The Reaction of Groundwater to Several Months' Meteorological Drought in Poland. Polish Journal of Environmental Studies. 28(1).

19- Lezzaik, K., Milewski, A., and Mullen, J. 2018. The groundwater risk index: Development and application in the Middle East and North Africa region. Science of the Total Environment 628: 1149-1164.

20- Li, B. and Rodell, M. 2015. Evaluation of a model-based groundwater drought indicator in the conterminous US. Journal of Hydrology. 526: 78-88.

21- Mann, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend, Econometrica. 13: 163-171.

22- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. 17(9): 179-183.

23- 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(3-4): 282-302.

24- Mishra, A.K. and Singh, V.P. 2010. A review of drought concepts. Journal of hydrology. 391(1-2): 202-216.

25- Mehni, M. and Bazrafshan, O. 2018.

26- Mortazavi, S.M., Soleimani, K. and Ghafari Movafagh, F. 2011. Water Resource Management and Land Sustainable, the Case Study in Rafsanjan in Iran. Journal of Water and Wastewater. 22(2): 126-131. (In Persian).

27- Naserzadeh, M. and Ahmadi, E. 2012. Meteorological drought indices in assessing the performance of the drought and its zoning in Qazvin. Applied Research of GIS (Geographical Sciences). 12(27): 141-162 (in Persian).

28- Naumann, G., Barbosa, P., Garrote, L., Iglesias, A. and Vogt, J. 2014. Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems. Hydrology and Earth System Sciences. 18(5): 1591-1604.

29- NDMC, 2016. Types of Drought. Available at: <http://drought.unl.edu/DroughtBasics/TypesDrought.aspx> (accessed 4.12.16).

30- Nohegar, A., Ghashghaei zadeh, N., Heydarzadeh, M., Eidon, M.M. and Panahi, M. 2016. Evaluation of Drought and its Impact on Surface and Groundwater Resources (Case Study: Minab

که این روند در چند دهه آینده ادامه خواهد یافت و با توجه به سیر نزولی آب زیرزمینی در این دشت و روند معنادار افت بارش در دوره پایه این روند در آینده می‌تواند همچنان سیر نزولی را طی نماید. بنابراین به منظور کاهش خسارات خشکسالی و به منظور جلوگیری از افت بیش از حد سفره‌های آب زیرزمینی در این دشت، تمهیدات لازم را به منظور انتقال آب بین حوزه‌ای به این دشت، اجرای روش‌های پخش سیلاب و جمع‌آوری آب حاصل از باران در این مناطق که پراکنش آن نامنظم و مقدار آن ناچیز می‌باشد از سوی مدیران منابع آب و دستگاه‌های اجرایی پیش از پیش می‌طلبد.

منابع

1- Ahmadi-pour, A. and Moradkhani, H. 2017. Analyzing the uncertainty of ensemble-based gridded observations in land surface simulations and drought assessment. Journal of hydrology. 555, 557-568.

2- Arnell, N.W. 2004. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. Global environmental change. 14(1): 31-52.

3- Asfaw, A., Simane, B., Hassen, A. and Bantider, A. 2018. Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin. Weather and climate extremes. 19: 29-41.

4- Barkey, B. and Bailey, R. 2017. Estimating the impact of drought on groundwater resources of the Marshall Islands. Water, 9(1): 41.

5- Behmanesh, J., Samadi, R. and Rezaei, H. 2015. Investigation of groundwater level changes trend (Case Study: Urmia plain). Journal of Water and Soil Conservation. 22(4): 67-84. (In Persian).

6- Behzadi Karimi, H. and Omidvar, K. 2018. Assessing the Effects of Recent Droughts on Changes in Groundwater Level in the Sarvestan Plain of Fars Province. Journal of Extension and Development of Watershed Management. 5(19): 45-57. (In Persian).

7- Chamanpira, Gh.R., Zehtabian, Gh.R., Ahmadi, H. and Malekian, A. 2014. Effect of drought on groundwater resources in order to optimize utilization management, case study: Plain Alashtar. Watershed Engineering and Management. 6(1): 10-20. (In Persian).

8- Esfahanian, E., Nejadhashemi, A.P., Abouali, M., Adhikari, U., Zhang, Z., Daneshvar, F. and Herman, M.R. 2017. Development and evaluation of a comprehensive drought index. Journal of environmental management. 185: 31-43.

9- Guclu, Y.S. 2018. Multiple Sen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. Journal of Hydrology. 566: 685-704.

10- Haas, J.C. and Birk, S. 2019. Trends in Austrian groundwater—Climate or human impact. Journal of Hydrology. Regional Studies. 22: 100597.

11- Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N. and Widhalm, M. 2011. The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. Bulletin of the American Meteorological Society. 92(4): 485-488.

12- Heim Jr, R.R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society. 83(8): 1149-1166.

- 37- Tabari, H., Somee, B. S. and Zadeh, M. R. 2011. Testing for long-term trends in climatic variables in Iran. *Atmospheric Research*. 100(1): 132-140.
- 38- Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J. and Lammers, R.B. 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*. 289(5477): 284-288.
- 39- Wu, J., Chen, X., Yao, H., Gao, L., Chen, Y. and Liu, M. 2017. Non-linear relationship of hydrological drought responding to meteorological drought and impact of a large reservoir. *Journal of Hydrology*. 551: 495-507.
- 40- Yan, H., Moradkhani, H. and Zarekarizi, M. 2017. A probabilistic drought forecasting framework: A combined dynamical and statistical approach. *Journal of Hydrology*. 548: 291-304.
- 41- Zuzani, P.N., Ngongondo, C.S., Mwale, F.D. and Willems, P. 2019. Examining trends of hydro-meteorological extremes in the Shire River Basin in Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*.
- River Basin). *Journal of Reserches in Earth Sciences*. 7(27): 28-43. (In Persian).
- 31- Schlosser, C.A., Strzepak, K., Gao, X., Fant, C., Blanc, É., Paltsev, S. and Gueneau, A. 2014. The future of global water stress: An integrated assessment. *Earth's Future*. 2(8): 341-361.
- 32- Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*. 63(324): 1379-1389.
- 33- Sen, Z. 2017. Innovative trend significance test and applications. *Theoretical and applied climatology*. 127(3-4): 939-947.
- 34- Seyfi, M., Mohammad Zadeh, H. and Mosaedi, A. 2012. Evaluating The Impacts of Drought on Ground Water Resources in Fasa Aquifer Using SPI, GRI and SECI. *Water Engineering*. 5(13): 55-72. (In Persian).
- 35- Shamsipour, A.A. and Mohammadi, H.M. 2003. Impact of Recent Droughts on Groundwater Resources Reduction in North Hamadan Plains. *Geographical Research Quarterly*. 35(2): 115-130. (In Persian).
- 36- Shamsudduha, M., Taylor, R. G. and Longuevergne, L. 2012. Monitoring groundwater storage changes in the highly seasonal humid tropics: Validation of GRACE measurements in the Bengal Basin. *Water Resources Research*. 48(2).



Abstract

The effect of Meteorological Drought on Groundwater Fluctuations in Rafsanjan Plain

M. A. Jamali zadeh¹, O. Bazrafshan^{*2}, R. Mahdavi³, A. Azareh⁴ and E. rafiei⁵

Received: 2019/12/27 Accepted: 2020/07/25

In recent years, the growing trend of population and overuse of groundwater aquifers and subsequent events such as droughts are causing irreparable damage to the country's socio-economic infrastructure. Therefore, the purpose of this article is to investigate the impact of groundwater level on rainfall fluctuations in Rafsanjan plain from 1992 to 2016. Drought periods were determined based on meteorological drought index (SPI) and groundwater (GRI) at three time scales (12, 24 and 48 months) and correlation and trend were determined using Pearson correlation and Mann-Kendall test, respectively. The results of meteorological and groundwater drought analysis showed that the highest drought classes in these two indices in the relatively normal class were 12, 24 and 48 months at 33.56, 41.87 and 49.01 for SPI and 29.75, 29.96 and 29.64 for the index, respectively. GRI occurred The study of the effects of meteorological drought on the changes in groundwater aquifers indicated that the drought showed the highest correlation with the GRI index of 0.414 in the 48 month period, so that this scale is the most consistent since 2003. With the aquifer drop variations, and then showed the highest correlation on a 24 month scale of 0.256. The bottom is relatively high doses correlation between SPI and GRI indicators show that groundwater levels are influenced by significant changes. The results also showed that the Rafsanjan plain groundwater loss trend was significant at 99% level and all Mann-Kendall test statistics indicated that the aquifer level changes in these areas had a negative and negative trend such that the groundwater level during this plain The 25 year old dropped 20.75 meters.

Keywords: Drought, Rafsanjan plain, SPI Index, GRI Index, Correlation

1- PhD student in watershed science and engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University.

2-* Associate Professor, Department of Engineering and Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University. Email: o.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

3- Associate Professor, Department of Engineering and Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University.

4- Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, Jiroft University.

5- Assistant Professor, Department of Abadani Nature Engineering, Faculty of Natural Resources, Jiroft University.