



## شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران

### بررسی اثر خشکسالی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت تربت جام -

### فریمان با بکارگیری شاخص‌های SPI و GRI

سمانه یاسمنی<sup>\*</sup>، دانشجوی کارشناسی ارشد آب زیرزمینی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه  
دکتر حسین محمدزاده، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه، گروه زمین شناسی، مرکز تحقیقات آبهای زیرزمینی (متاب)  
دکتر ابوالفضل مساعدی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست

samane.yasamani@yahoo.com

Hoseinmail@yahoo.com

mosaedi@yahoo.com

#### چکیده:

سیستم‌های پایش در طرح‌های مقابله با خشکسالی از اهمیت زیادی برخوردار بوده و بدین جهت برای بیان کمی آن از انواع شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی اثر خشکسالی در یک دوره آماری بیست و سه ساله (۶۶-۸۹) بر سطح ایستابی آبخوان آب زیرزمینی دشت تربت جام - فریمان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های تراز آب در پیزومترها و محاسبه شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و شاخص منبع آب زیرزمینی GRI به عنوان یک شاخص هیدروژئولوژیکی می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان دهنده رابطه بین شاخص SPI چهل و هشت ماهه (SPI48) در مقیاس دراز مدت (با اعمال تأخیر زمانی ۴۸ ماه) با شاخص GRI و همچنین مقادیر تراز آب زیرزمینی آبخوان دشت می‌باشد. این نتایج مؤید آن است که خشکسالی هواشناسی با خشکسالی هیدروژئولوژیکی رابطه معنی‌داری به خصوص در مقیاس زمانی طولانی مدت دارد و خشکسالی هیدروژئولوژیکی نسبت به خشکسالی اقلیمی تأخیر فاز زمانی خواهد داشت.

واژه های کلیدی: آب زیرزمینی، سطح ایستابی، خشکسالی، SPI, GRI.

#### مقدمه :

وقوع خشکسالی در یک منطقه با تأمین آب در آن منطقه رابطه تنگاتنگی دارد و چون تأمین آب در هر منطقه تابع رژیم اقلیمی آن منطقه است، لذا تعریف خشکسالی بر حسب شرایط هر منطقه تغییر میکند. پس بایستی تعریف خشکسالی به صورت منطقه‌ای و مقطعی بیان شود. در واقع عدم وجود یک تعریف کلی از خشکسالی با در نظر گرفتن شدت، مدت و گستره عمل آن، این پدیده را از سایر بلاای طبیعی متمایز کرده است.

به طور کلی از بین تعاریف خشکسالی تعریفی که مقبول تر و منطقی تر نیز می باشد، عبارت است از اینکه خشکسالی را میتوان معلول یک دوره شرایط خشک غیرعادی دانست که به اندازه کافی دوام داشته باشد تا عدم تعادل در وضعیت هیدرولوژی یک ناحیه ایجاد شود. خسارات ناشی از خشکسالی عمدتاً غیر ساختاری

است و وسعت مناطق آسیب دیده در اثر آن در مقایسه با سایر بلایای طبیعی بیشتر است. همچنین اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی آن مدت‌ها پس از پایان خشکسالی باقی خواهد ماند. با توجه به وجود نوسانات منفی شدید در بارش‌های مناطق مختلف کشور، وقوع خشکسالی‌های ضعیف تا شدید در کشور امری اجتناب ناپذیر محسوب می‌شود. وقوع این خشکسالی‌ها اثرات بسیار زیانباری را بر بخش‌های کشاورزی، اقتصادی، منابع آب زیرزمینی و ... کشور تحمیل می‌کند. دشت تربت جام - فریمان یکی از دشت‌های مهم خراسان رضوی به لحاظ کشاورزی و جمعیتی بوده و اکثر نیاز آبی دشت به لحاظ اقلیم آن از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. در دهه‌های اخیر افزایش ناگهانی جمعیت و توسعه کشاورزی سبب افزایش تقاضا و برداشت زیاد از منابع آب‌های زیرزمینی شده و عدم تغذیه آن، باعث فشار بر آبخوان و در نتیجه افت زیاد سطح آب در دشت تربت جام - فریمان شده است (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۷).

در این مقاله به بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SPI و GRI در دشت مذکور پرداخته شده است.

در ایران و جهان مطالعات زیادی بر روی خشکسالی انجام گرفته که هر یک بر اساس یکی از شاخص‌های خشکسالی این پدیده را بررسی کرده‌اند. یکی از نمایه‌های مهم در مطالعات خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) می‌باشد. مک کی و همکاران (۱۹۹۳)، این شاخص را برای اولین بار در ایالت کلرادو آمریکا بکار بردند و دریافتند توزیع گاما مناسب‌ترین توزیع می‌باشد.

شکیبا و همکاران (۱۳۸۹) خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از SPI را مورد بررسی قرار داده و در رابطه با تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی ضمن بررسی نوسانات ماهانه SPI و سطح آب زیرزمینی در طی دوره آماری ۳۰ ساله، ضریب همبستگی بین دو پارامتر مذکور را محاسبه نمودند. نتایج بررسی آنها نشان داده که تمام ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه، با خشکسالی مواجه بودند.

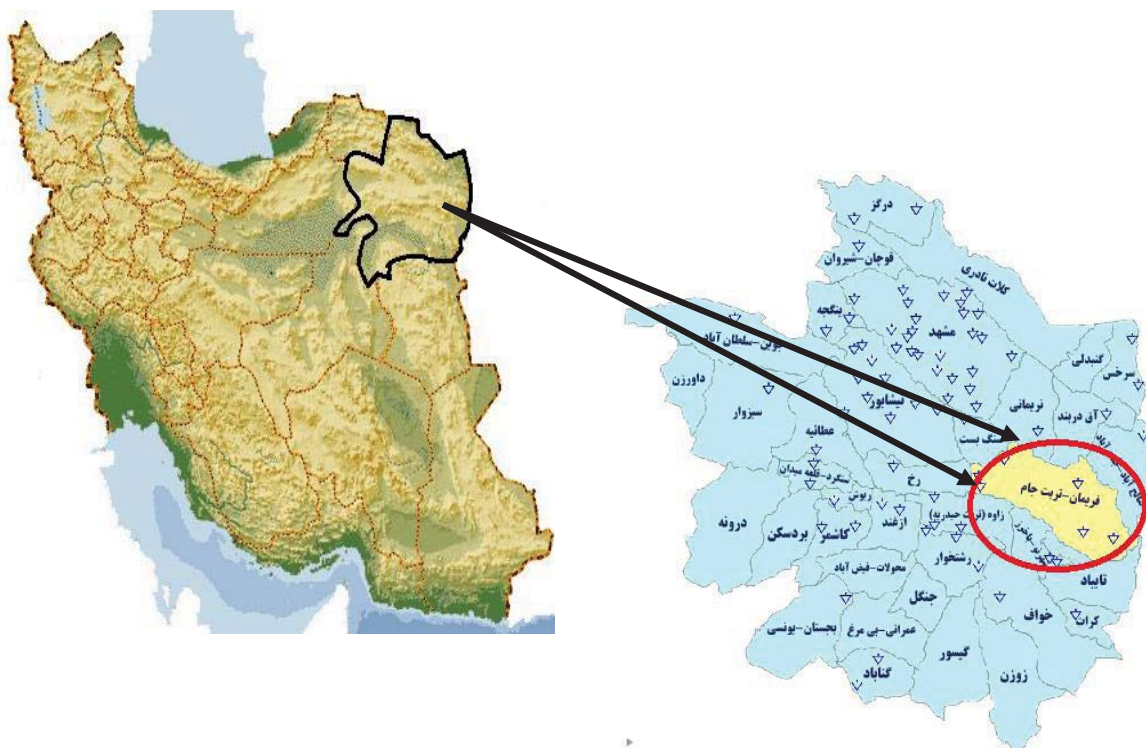
مندسینو و سناتور (۲۰۰۸)، در پژوهشی شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) را برای مناطق کالابریا با اقلیم مدیترانه‌ای برای دوره ۴۵ ساله بکار برده و با SPI منطقه مقایسه نموده و به این نتیجه رسیدند که همبستگی GRI با SPI در مقیاس زمانی طولانی‌تر مناسب‌تر است.

ایمانی و همکاران (۱۳۹۰)، به بررسی آثار خشکسالی بر تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد با استفاده از SPI و GRI در یک دوره بیست ساله (۱۳۶۷-۱۳۸۷) پرداختند و نتایج ایشان نشان دهنده افت شدید سفره به خصوص در ده سال اخیر و رابطه بین شاخص SPI در مقیاس زمانی دراز مدت به خصوص ۴۸ ماهه با سطح ایستابی آبخوان دشت می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که رابطه معنی‌داری در مقیاس زمانی دراز مدت بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدروژئولوژیکی دشت وجود دارد. در این تحقیق، با تعیین دوره‌های خشکسالی و ترسالی در منطقه و ارتباط آن با نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت تربت جام - فریمان در دوره زمانی بیست و سه ساله (۸۹-۶۶)، اثرات خشکسالی بر سطح آب زیرزمینی دشت و رابطه خشکسالی هواشناسی با خشکسالی هیدروژئولوژیکی مورد بررسی قرار گرفته است.

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه:

دشت فریمان - تربت جام واقع در حوضه آبریز قره قوم، در استان خراسان رضوی و شمال شرق ایران، بین طول‌های جغرافیایی ۱۹۰۰۰ و ۳۲۸۷۶۰ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۸۷۳۳۹۸ و ۳۹۷۰۳۵ شمالی قرار

گرفته است. این دشت دارای آب و هوای نیمه خشک بوده و وسعتی در حدود ۶۳۹۴ کیلومتر مربع را به خود اختصاص می دهد که حدود ۱۵۵۸ کیلومتر مربع آن را ارتفاعات شمالی (بخش هایی از واحد ساختاری کپه داغ) و ۱۴۵۴ کیلومتر مربع آن ارتفاعات جنوبی آن (بخش هایی از واحد ساختاری بینالود) تشکیل می دهد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه را نسبت به دشت های اطراف نشان می دهد.



شکل (۱) - موقعیت دشت تربت جام فریمان در کشور و در استان خراسان رضوی

## مواد و روش ها:

پس از جمع آوری اطلاعات و آمار بارندگی ایستگاه های باران سنجی و سینوپتیک دشت تربت جام - فریمان و استفاده از سه ایستگاه باران سنج دشت های مجاور آن شامل آق دربند و نریمان و کلاته منار به منظور پوشش بهتر دشت، اقدام به بازسازی داده های ناقص به روش تفاضل و نسبت ها شد. سپس به درون یابی مقادیر بارش دشت در محیط نرم افزار Arc GIS و بکارگیری روش Radial Basis Function، مدل Invers multiquadric (عیوضی و مساعدی، ۱۳۹۱) پرداخته شد و بعد از ترسیم حدود ۳۹۶ نقشه همباران دشت، برای پایش خشکسالی هواشناسی شاخص SPI به جهت کاربرد وسیع آن در مقیاس های زمانی ۱،۳،۶،۹،۱۲،۱۸،۲۴،۴۸ ماهه با استفاده از نرم افزار DIP به کار گرفته شد.

به منظور محاسبه GRI نیز داده های مربوط به ارتفاع سطح آب زیرزمینی دشت در دوره بیست و سه ساله (۶۶-۸۹) از شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی تهیه شد و سپس از شاخص آب زیرزمینی GRI برای پایش خشکسالی هیدروژئولوژیکی دشت استفاده شد (ایمانی و همکاران ۱۳۹۰).

برای محاسبه GRI از رابطه (۱) استفاده می شود.

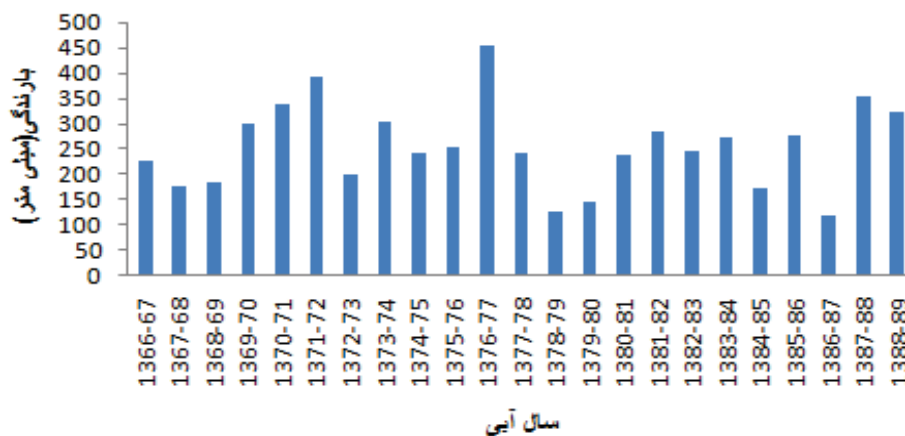
$$(1) \text{GR}I_{y,m} = (D_{y,m} - \mu_{d,m}) / \delta_{d,m}$$

که در آن  $\text{GR}I_{y,m}$  ارزش شاخص در ماه  $m$  از سال  $y$ ،  $D_{y,m}$  ارزش سطح ایستابی در ماه  $m$  از سال  $y$ ،  $\mu_{d,m}$  و  $\delta_{d,m}$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های سطح ایستابی ماه  $m$  برای  $d$  سال می‌باشد. برای بررسی نحوه تأثیرگذاری بارندگی بر منابع آب زیرزمینی دشت رابطه بین شاخص  $\text{SPI}$  در مقیاس‌های زمانی مختلف با شاخص  $\text{GRI}$  و تراز آب زیرزمینی و ضرایب همبستگی آن برای دوره زمانی ۸۹-۶۶ محاسبه شد.

### نتایج و بحث:

شکل (۲) هیستوگرام بارش سالانه دشت در دوره آماری ۸۹-۶۶ را نشان می‌دهد. کمترین میزان بارندگی بر اساس این نمودار در سال‌های آماری ۸۷-۸۶ و ۷۹-۷۸ و بیشترین میزان بارندگی نیز در سال‌های آماری ۷۷-۷۶ و ۷۲-۷۱ به وقوع پیوسته است. مقادیر  $\text{SPI}$  محاسبه شده دشت در سال‌های خشک دوره آماری مد نظر و شدت خشکسالی‌های به وقوع پیوسته در جدول (۱) ارائه شده است.

شکل (۲) - هیستوگرام بارندگی سالانه دشت تربت جام - فریمان در دوره آماری ۸۹-۶۶



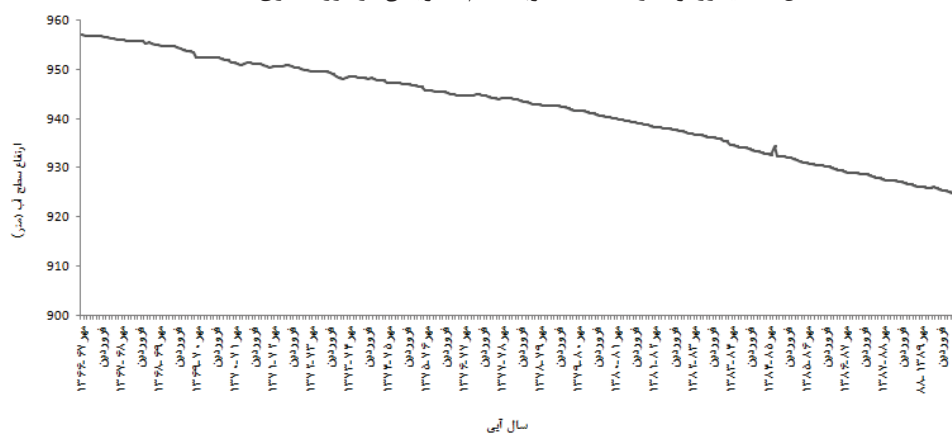
جدول (۱) - خشکسالی‌های به وقوع پیوسته در دوره آماری ۸۹-۶۶

وضعیت رطوبتی	مقادیر $\text{SPI}$	سال آبی
خشکسالی متوسط	-1.1	1367-68
خشکسالی شدید	-2.03	1378-79
خشکسالی بسیار شدید	-1.67	1379-80
خشکسالی متوسط	-1.16	1384-85
خشکسالی شدید	-2.19	1386-87

طبق محاسبات انجام شده و جدول (۱)، ۵ سال خشکسالی در دوره آماری ۶۶-۸۹ در دشت تربت جام - فریمان اتفاق افتاده که در دو سال آماری ۷۹-۷۸ و ۸۷-۸۶ دشت با خشکسالی شدید و در سال ۸۰-۷۹ با خشکسالی بسیار شدید مواجه بوده است.

از سویی نیز در بخش ذخیره آب زیرزمینی آبخوان دشت، همانطور که در هیدروگراف واحد دشت (شکل ۳) در دوره آماری ۶۶-۸۹ نمایان است، به سبب زیاد بودن مؤلفه تخلیه نسبت به تغذیه نوسانات فصلی آب زیرزمینی در پیژومترهای دشت کمتر مشاهده می‌شود. این هیدروگراف به صورت خطی تقریباً مستقیم و با سیری کاملاً نزولی می باشد، به طوری که متوسط ارتفاع سطح آب زیرزمینی دشت در مهرماه ۶۶، ۹۵۷/۱۹ متر بوده که این مقدار در شهریور ۸۹ به ۹۲۳/۳۲ متر رسیده و در این دوره ۳۳/۸۷ متر افت به همراه داشته و می‌توان گفت به طور متوسط، سالانه ۱/۴۷ متر سطح آب زیرزمینی در دشت کاهش می یابد.

شکل ۳- هیدروگراف واحد دشت تربت جام - فریمان در دوره آماری ۶۶-۸۹



به منظور بررسی نحوه تأثیرگذاری خشکسالی بر تغییرات منابع آب زیرزمینی دشت، ضریب همبستگی بین مقادیر SPI با مقادیر GRI با اعمال تأخیر زمانی (جدول ۲) و همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر تراز آب زیرزمینی در پیژومترها با مقادیر SPI با اعمال تأخیر زمانی (جدول ۳) پرداخته شده است.

جدول (۲) - ضرایب همبستگی بین SPI و GRI با اعمال تأخیر زمانی در دوره آماری ۸۹-۶۶

ضرایب هم بستگی GRI و SPI	SPI1	SPI3	SPI6	SPI9	SPI12	SPI18	SPI24	SPI48
تأخیر زمانی ۱ ماهه	-0.043	-0.032	0.014	0.071	0.092	0.090	0.14	<b>0.19</b>
تأخیر زمانی ۲ ماهه	-0.04	-0.037	0.008	0.066	0.079	0.088	0.135	<b>0.192</b>
تأخیر زمانی ۳ ماهه	-0.04	-0.031	0.009	0.061	0.078	0.088	0.134	<b>0.196</b>
تأخیر زمانی ۴ ماهه	-0.03	-0.033	0.006	0.061	0.075	0.087	0.131	<b>0.199</b>
تأخیر زمانی ۵ ماهه	-0.04	-0.036	0.001	0.056	0.070	0.086	0.131	<b>0.200</b>
تأخیر زمانی ۶ ماهه	-0.04	-0.039	0.006	0.055	0.065	0.090	0.131	<b>0.2005</b>
تأخیر زمانی ۹ ماهه	-0.03	-0.036	0.006	0.060	0.066	0.089	0.135	<b>0.210</b>
تأخیر زمانی ۱۲ ماهه	-0.03	-0.028	0.01	0.063	0.073	0.084	0.144	<b>0.224</b>
تأخیر زمانی ۱۸ ماهه	-0.02	-0.007	0.048	0.090	0.092	0.10	0.145	<b>0.238</b>
تأخیر زمانی ۲۴ ماهه	0.007	0.029	0.081	0.13	0.138	0.140	0.183	<b>0.268</b>
تأخیر زمانی ۴۸ ماهه	0.05	0.095	0.16	0.25	0.284	0.341	0.412	<b>0.503</b>

جدول (۳) - ضرایب همبستگی بین SPI و تراز آب زیرزمینی با اعمال تأخیر زمانی در دوره آماری ۸۹-۶۶

ضرایب هم بستگی SPI و تراز آب زیرزمینی	SPI1	SPI3	SPI6	SPI9	SPI12	SPI18	SPI24	SPI48
تأخیر زمانی ۱ ماهه	-0.04	-0.029	0.015	0.072	0.077	0.091	0.13	<b>0.18</b>
تأخیر زمانی ۲ ماهه	-0.04	-0.03	0.007	0.067	0.076	0.089	0.13	<b>0.19</b>
تأخیر زمانی ۳ ماهه	-0.04	-0.039	0.009	0.062	0.076	0.090	0.13	<b>0.193</b>
تأخیر زمانی ۴ ماهه	-0.04	-0.039	0.006	0.06	0.07	0.089	0.13	<b>0.20</b>
تأخیر زمانی ۵ ماهه	-0.04	-0.039	0.004	0.057	0.071	0.089	0.133	<b>0.20</b>
تأخیر زمانی ۶ ماهه	-0.04	-0.03	0.004	0.057	0.067	0.085	0.133	<b>0.203</b>
تأخیر زمانی ۹ ماهه	-0.04	-0.033	0.006	0.055	0.068	0.087	0.14	<b>0.213</b>
تأخیر زمانی ۱۲ ماهه	-0.031	-0.026	0.01	0.06	0.066	0.086	0.14	<b>0.216</b>
تأخیر زمانی ۱۸ ماهه	-0.021	-0.001	0.042	0.092	0.094	0.097	0.15	<b>0.24</b>
تأخیر زمانی ۲۴ ماهه	0.008	0.031	0.083	0.13	0.13	0.14	0.17	<b>0.26</b>
تأخیر زمانی ۴۸ ماهه	0.051	0.096	0.16	0.24	0.27	0.34	0.40	<b>0.49</b>

نتایج محاسبات انجام شده حاکی از آن است که مقادیر محاسبه شده GRI با شاخص خشکسالی SPI یک، سه و شش ماهه همبستگی بالایی ندارد، ولی در مقیاس طولانی مدت، همبستگی آن بهتر می باشد، به گونه ای که این ضریب در SPI چهار و هشت ماهه (SPI48) با اعمال تأخیر زمانی ۴۸ ماه به بالاترین میزان خود که ۰/۵۰ است، می رسد و همچنین بعد از آن نیز با اعمال همین تأخیر زمانی به ترتیب با SPI24 و SPI18 همبستگی مناسبتری دارد.

در مورد همبستگی شاخص SPI با مقادیر تراز آب زیرزمینی نیز نتایج مشابهی به دست آمد و بیشترین همبستگی تراز آب با SPI چهار و هشت ماهه (SPI48) و با اعمال تأخیر زمانی ۴۸ ماهه بوده و مقدار آن بر

اساس جدول (۳)، ۰/۴۹ محاسبه شده است و همچنین بعد از آن نیز با اعمال همین تأخیر زمانی به ترتیب با SPI24 و SPI18 همبستگی مناسبتری دارد.

این بدین معنی است که خشکسالی‌های هواشناسی با تأخیر فاز زمانی و بعد از گذشت زمانی حدود ۴ سال بیشترین تأثیر خود را بر منابع آب زیرزمینی دشت می‌گذارد.

### نتیجه گیری :

نتایج محاسبات انجام شده روی دو شاخص SPI و GRI در دشت نشان دهنده این مطلب است که شاخص‌های هیدروژئولوژیکی نمی‌توانند با شاخص‌های هواشناسی خشکسالی همزمانی داشته باشند، به این دلیل که در تبدیل فرآیند بارش به عنوان اصلی‌ترین شاخص هواشناسی به رواناب و پس از آن فرآیند نفوذ و پیوستن آن به منابع آب زیرزمینی عوامل دیگری از جمله ساختار زمین شناسی منطقه و میزان نفوذپذیری سازندهای موجود در منطقه نیز نقش زیادی ایفا می‌کنند.

### منابع فارسی :

- ۱- ایمانی، م. طالبی اسفندارانی، ع. (اردیبهشت ۱۳۹۰). بررسی آثار خشکسالی بر تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، (لوح فشرده).
- ۲- شکیبای، ع. میرباقری، ب. خیری، ا. (تابستان ۱۳۸۹). خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI. جغرافیا، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، ۸(۲۵)، ۲۰.
- ۳- عیوضی، م. مساعدی، الف. (۱۳۹۱). بررسی الگوی گسترش مکانی بارش در سطح استان گلستان با استفاده از مدل‌های قطعی و زمین آماری. مجله آب و خاک، ۲۶(۱).

### References:

- 1- Mendicino, G. and Senatore, A. (2008). "A Ground water resource index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate" J. of hydrology.(357) 282-302.
- 2-McKee, T. Doseken, N. and Kleist, J. (1993). A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in mediterranean climate. J.of hydrology. (357)282-302