

مقاله پژوهشی

اثر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی دشت ورامین با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد، نیستور و منبع آب زیرزمینی

حمیدرضا عزیزی^۱، حسین ابراهیمی^{۲*}، حسین محمد ولی سامانی^۳، ویدا خاکی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲۲

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی دشت ورامین است. بدین منظور اثر خشکسالی هواشناسی از طریق شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص نیستور (NISTOR) و شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) بررسی گردید. لذا جهت ارزیابی میزان تأثیر پارامترهای اقلیمی همانند دما و بارش بر روی وضعیت آب زیرزمینی دشت ورامین از آمار زمانی (۱۳۶۷-۱۳۹۷) پارامترهای معرف دشت استفاده گردید. نتایج نشان داد که بر مبنای شاخص SPI، این دشت در طی ۱۰ سال انتهای دوره زمانی مورد بررسی، به شرایط خشکسالی ضعیف در حال نزدیک شدن است. بنابراین با توجه به کمبود منابع تغذیه طبیعی آبخوان در طی سالیان اخیر (از سال ۸۸ تا کنون)، اُفت‌های تصادفی در این آبخوان رخ داده که منجر به قرارگیری شاخص GRI از شرایط خشکسالی نرمال به شرایط خشکی نسبتاً شدید شده است. در نهایت نتایج شاخص SPI و GRI با شاخص NISTOR که از ماتریس استنتاجی ترکیب شاخص اقلیمی دی-مارتن و بارش موثر بدست آمد، مقایسه شد. این شاخص نیز اثر شاخص خشکسالی و تغذیه توسط بارش موثر بر منابع آب زیرزمینی را در بازه مورد نظر، بسیار شدید ارزیابی کرد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، دشت ورامین، SPI، GRI، NISTOR

مقدمه

(2013). به نظر می‌رسد خشکسالی و تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش جهانی، سبب افزایش شرایط نامطلوب آب و هوایی به صورت تغییرات در الگوی بارش و نوسانات دما در آینده‌ای نزدیک شود، بنابراین بارش به عنوان یک عامل کلیدی در تغییر دامنه چرخه هیدرولوژیکی، عواقب جدی را به دنبال خواهد داشت (Najafi and Moazami, 2015). خشکسالی هواشناسی، همزمان با افزایش دما و کمبود میزان بارندگی سالانه در بازه‌ای معین، نسبت به میانگین بلند مدت منطقه رخ می‌دهد. این امر منجر به کاهش تغذیه منابع آب سطحی و زیرزمینی و در نتیجه منجر به ایجاد تغییرات در اکوسیستم طبیعی و محیط‌زیست حاکم بر این مناطق و منابع آب زیرزمینی می‌شود. یکی از پیامدهای منفی خشکسالی هواشناسی، افزایش برداشت آب‌های زیرزمینی و ایجاد چالش‌های جدی در کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌شود. پژوهش‌های انجام شده در زمینه بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب‌های زیرزمینی، بیانگر اهمیت شناسایی ارتباط خشکسالی و منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

رادفر و همکاران اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت شهرکرد را بررسی نمودند و نشان دادند که خشکسالی و برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی بر نوسانات سطح آب موثر بوده

آب‌های زیرزمینی یکی از مهمترین منابع آب مورد نیاز بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت به خصوص در مناطق با اقلیم خشک و نیمه خشک به حساب می‌آیند. در سال‌های اخیر تغییرات آب و هوایی و خشکسالی، تمامی مناطق جهان را درگیر مسائل و بحران‌های خود کرده است، به طوری که براساس پنجمین گزارش ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییرات اقلیم (IPCC) دمای کره زمین ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد از سال ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ افزایش یافته است و اگر انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش نیابد، متوسط دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ می‌تواند به میزان ۱/۱ تا ۴/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (IPCC, 2007).

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی عمران، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استاد گروه مهندسی عمران، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- استادیار گروه مهندسی عمران، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*- نویسنده مسئول (Email: Ebrahimi165@yahoo.com)

ذخیره منابع آب زیرزمینی بود (Dua et al., 2019). بررسی منابع نشان می‌دهد که نتایج حاصل از مطالعه اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با توجه به شدت، مدت و گستره جغرافیایی آن در هر منطقه متفاوت بوده و قابل تعمیم به مناطق دیگر نمی‌باشد. از طرفی در مطالعات صورت گرفته مربوط به خشکسالی، استفاده همزمان شاخص SPI برای خشکسالی هواشناسی و GRI برای خشکسالی هیدرولوژیکی و مقایسه آن‌ها با شاخص NISTOR مورد توجه قرار نگرفته است. بنابراین هدف از این تحقیق پایش زمانی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت ورامین در استان تهران و تعیین تغییرات آن با توجه به شاخص SPI و GRI و مقایسه نتیجه آن‌ها با ماتریس استنتاجی شاخص NISTOR می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت ورامین منطقه‌ای استراتژیک از نظر کشاورزی در فاصله ۴۵-۴۰ کیلومتری جنوب تا جنوب‌شرقی استان تهران واقع شده است. وضعیت اقلیمی این دشت از بسیاری جهات مشابه آب و هوای فلات مرکزی ایران بوده و در اقلیم خشک تا نیمه خشک قرار دارد. حوضه آبریز دشت ورامین با وسعتی معادل ۱۷۲۰ کیلومتر مربع از زیرحوضه-های دریاچه نمک است که در محدوده جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). میانگین سالانه دما در این حوضه ۱۶/۹ درجه سانتیگراد بوده و گرم‌ترین ماه سال جولای با میانگین دمای ۲۹/۵ درجه سانتیگراد و سردترین ماه سال ژانویه با میانگین دمای ۳/۳ درجه سانتیگراد است همچنین میانگین بارش ۱۵۶ میلی‌متر در سال است. رودخانه‌های جاجرو، کندرود-گلندوک و دماوند در حوضه آبریز مطالعاتی قرار گرفته‌اند که مهم‌ترین آن‌ها رودخانه جاجرو است که سد لتیان در بالادست آن احداث شده است. رودخانه جاجرو از ارتفاعات رشته جبال البرز در شمال تهران سرچشمه گرفته و در جهت جنوب غربی حرکت می‌کند و به سد لتیان وارد می‌شود. سپس با دریافت رودخانه‌ی دماوند، به دریاچه نمک منتهی می‌شود. سد لتیان یکی از عواملی است که در چرخه هیدرولوژیکی حوضه و همچنین توسعه کشاورزی پایین‌دست خود تاثیر زیادی دارد. به دلیل محدودیت پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی، اطلاعات ماهانه ایستگاه سینوپتیک دشت ورامین واقع در محدوده آبخوان به عنوان معرف دشت مورد استفاده قرار گرفت. همچنین در این پژوهش از داده‌های ماهانه ۴۸ حلقه چاه پیژومتری با دوره آماری ۳۰ ساله استفاده گردید. این اطلاعات از بخش مطالعات شرکت‌های آب منطقه‌ای کل کشور و آب منطقه‌ای استان تهران تهیه گردید.

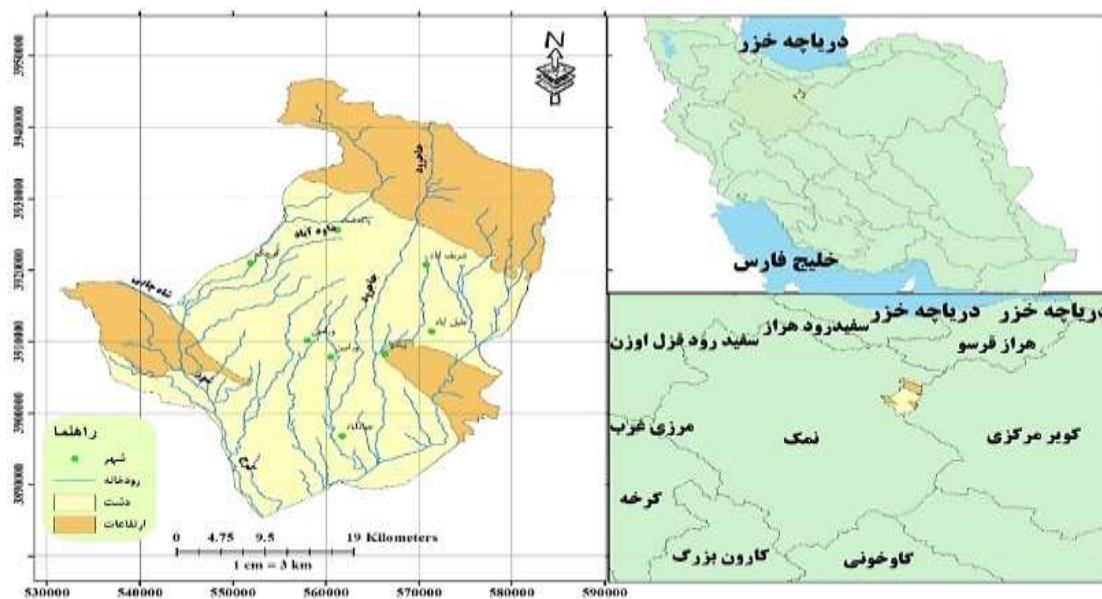
است (Radfar et al., 2013). چمن‌پیرا و همکاران به مطالعه اثر خشکسالی بر منابع آب‌های زیرزمینی دشت الشتر شهرستان خرم‌آباد با استفاده از شاخص خشکسالی GRI^۱ و شاخص بارش استاندارد شده SPI^۲ پرداختند. نتایج نشان داد که SPI در بازه ۲۴ ماهه بیشترین همبستگی را با سطح آب زیرزمینی داشته است (Chamanpira et al., 2014). احمدی آخوومه و همکاران (۱۳۹۴) اثر خشکسالی بر سطح آب‌های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه استان فارس را با استفاده از شاخص منابع آب زیرزمینی GRI، شاخص سطح آب استاندارد شده SWI و سیستم اطلاعات جغرافیایی بررسی و وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی را با هر دو شاخص تایید نمودند.

نیستور و میندراش به روش جدید NISTOR-CEG method با در نظر گرفتن بارش موثر و ضریب خشکی دی-مارتن، در کارپاتیانز به شیوه جدید شدت اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی را بررسی کردند. نتایج ماتریس استنتاجی این روش حاکی از شدت اثر کم تغییرات اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی این منطقه بود (Nistor and Mindrescu, 2017) لی و رودل در بررسی خشکسالی آب‌های زیرزمینی در آمریکا نشان دادند که شاخص خشکسالی SPI با تاخیر ۱۲ و ۲۴ ماهه دارای بیشترین همبستگی با شاخص SWI می‌باشد (Li and Rodell, 2014).

میشرا و همکاران نشان دادند که ادامه‌ی روند خشکسالی هواشناسی به مدت طولانی سبب بروز خشکسالی هیدرولوژیکی می‌گردد که باعث افت سطح آب رودخانه‌ها و مخازن سطحی و زیرسطحی می‌شود (Mishra et al., 2010).

اسدزاده و همکاران (۱۳۹۵) به مطالعه تاثیر خشکسالی بر کیفیت و سطح آب زیرزمینی دشت چهاردلی قروه پرداختند. نتایج آنها نشان داد که خشکسالی در بازه بلندمدت ۲۴ و ۴۸ ماهه دارای همبستگی معنی‌داری با سطح و کیفیت آب‌های زیرزمینی است. یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی سه روش ریزمقیاس‌نمایی در پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی تحت تاثیر تغییر اقلیم پرداختند. نتایج نشان داد که مقادیر شاخص SPI در مقیاس زمانی‌های طولانی مدت شدت خشکسالی بیشتر را نشان می‌دهد. شهوری و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه دشت ورامین با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان رواناب در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت هر سه سناریو در فصول بهار و تابستان افزایش خواهد یافت و در فصول پاییز و زمستان کاهش خواهد یافت. این جابجایی فصلی در رواناب ناشی از اثرات تغییر اقلیم به شکل افزایش دما، تغییر الگوی بارش و ... می‌باشد. دووا و همکاران اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی منطقه کارست تحت مدل HadCM3 در دوره آتی را بررسی کردند، نتایج نشان دهنده کاهش مقدار تغذیه و

- 1- Groundwater Resources Index
- 2- Standard Precipitation Index



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (دشت ورامین)

زمانی مختلف است که باعث می‌شود این شاخص بتواند اثرات دوره‌های کوتاه مدت ذخایر آب (از جمله رطوبت خاک که در تولیدات کشاورزی نقش مهمی دارد) و اثرات دوره‌های طولانی مدت منابع آب (از جمله ذخایر آب زیرزمینی و سطح مخازن آب) را پایش نماید (Mishra and Sigh, 2010). جدول ۱ طبقه‌بندی این شاخص را نشان می‌دهد.

شاخص بارش استاندارد (SPI)

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در سال ۱۹۹۳ توسط مکی و همکاران به منظور پایش خشکسالی اقلیمی ابداع گردید (Mckee et al., 1993). این شاخص بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید و تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص عنصر بارندگی می‌باشد. مهم‌ترین مزیت این شاخص قابلیت محاسبه در مقیاس‌های

جدول ۱- جدول استاندارد وضعیت بارش بر اساس SPI

وضعیت خشکسالی هواشناسی	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی متوسط	خشکسالی ضعیف	نزدیک به نرمال	نزدیک به نرمال	تر سالی ضعیف	تر سالی متوسط	تر سالی شدید	تر سالی بسیار شدید	
SPI شاخص	-۳	-۲/۵	-۲	-۱/۵	-۱	~۰/۵ -۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳

برای منطقه مدیترانه پیشنهاد دادند. مقدار این شاخص از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد:

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

که در این رابطه، $D_{y,m}$ مقادیر آب زیرزمینی در سال y و ماه m ، $\mu_{D,m}$ میانگین مقادیر آب زیرزمینی در ماه m و $\sigma_{D,m}$ انحراف معیار مقادیر آب زیرزمینی در ماه m می‌باشد (Mendicino et al., 2008). طبقات مختلف رطوبتی در شاخص GRI و شاخص SPI در جدول ۲ نشان داده شده‌اند، هر چه مقادیر آن از +۲ بیشتر باشد، ترسالی بسیار شدیدتر و هر چه این مقادیر از -۲ کمتر باشد، خشکسالی بسیار

شاخص آب زیرزمینی (GRI)

وقوع خشکسالی‌های متناوب و طولانی و نوسانات بالای آب و هوا از عوامل اصلی کمبود آب به‌ویژه منابع آب سطحی است که فشار مضاعفی را بر منابع آب‌های زیرزمینی وارد می‌کند. ارتباط بین خشکسالی هواشناسی با تاخیر زمانی در یک مکان به خشکسالی هیدرولوژی منجر می‌شود که در هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی، این تاخیر زمانی بیشتر می‌باشد.

مندیسینو و همکاران شاخص (GRI) را به عنوان شاخص مفید و قابل اعتماد برای پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی

شدیدتر خواهد بود.

تبخیر-تعرق ماهانه، می‌توان بر اساس رابطه ۵ مقدار تبخیر-تعرق سالانه را تعیین نمود:

$$\text{Annual PET} = \sum_{m=1}^{12} \text{PET}_m \quad (6)$$

حال می‌توان با در اختیار داشتن تبخیر-تعرق سالانه و رابطه Budyco (معادله ۷) مقدار تبخیر-تعرق واقعی APET را تعیین کرد (Gerrits et al. (2009))، (Budyko(1974))، (Nistor and Porumb Ghiurco(2015)):

$$\frac{\text{APET}}{\text{PP}} = \left[\left(\varphi * \tan \frac{1}{\varphi} \right) (1 - \exp^{-\varphi}) \right]^{0.5} \quad (7)$$

$$\varphi = \frac{\text{PET}}{\text{PP}} \quad (8)$$

در معادله ۷، تبخیر-تعرق واقعی منطقه (APET)، عدد نپر (exp) برابر با ۲,۷۱۸۲، ضریب خشکی منطقه (φ)، تبخیر-تعرق پتانسیل سالیانه بر حسب میلی‌متر (PET) و مجموع بارش سالیانه بر حسب میلی‌متر (PP) می‌باشد. در گام آخر مقدار بارش موثر از تفاضل بین بارش سالانه و تبخیر-تعرق واقعی محاسبه می‌شود:

$$\text{Annual effective precipitation [mm]} = \text{Annual precipitation [mm]} - \text{Annual AET [mm]} \quad (9)$$

شاخص اقلیمی دی-مارتن

شاخص دی مارتن به طور گسترده در مطالعات اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص که توسط دی مارتن (De Martonne (1926, Deniz et al (2011)) پیشنهاد گردیده است، برای تعیین رطوبت خاک در سطح مناطق محلی و کوچک کاربرد دارد. برای مطالعات محیطی، استفاده از شاخص خشکی دی مارتن (DAI) جهت تحلیل‌های مکانی و زمانی از فراوانی کاربرد بیشتری برخوردار است. این شاخص بر اساس رابطه ۱۰ محاسبه شده و نوع اقلیم منطقه با توجه به جدول ۳ تعیین می‌گردد:

$$\text{DAI} = \frac{P}{T+10} \quad (10)$$

در رابطه ۱۰، مقدار متوسط بارش سالانه بر حسب میلی‌متر (P) و متوسط درجه حرارت سالانه بر حسب سانتی‌گراد (T) می‌باشد.

جدول ۲- وضعیت خشکی متناسب با شاخص GRI

طبقات	وضعیت	SPI مقادیر	GRI مقادیر
۱	ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر	۲ و بیشتر
۲	ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹	۱/۹۹ تا ۱/۵
۳	ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹	۱ تا ۱/۴۹
۴	نزدیک به نرمال	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹
۵	خشکسالی متوسط	-۱/۴۹ تا -۱	-۱ تا -۱/۴۹
۶	خشکسالی شدید	-۱/۹۹ تا -۱/۵	-۱/۹۹ تا -۱/۵
۷	خشکسالی بسیار شدید	۲- و کمتر	۲- و کمتر

شاخص تلفیقی دی مارتن-بارش مؤثر (NISTOR)

این شاخص توسط نیستور و میندراس ارائه شده است (Nistor and Mindrescu, 2017). با ترکیب مقدار بارش مؤثر و شاخص اقلیمی دی-مارتن اقدام به بررسی شدت اثرات تغییرات اقلیم بر روی منابع آب زیرزمینی در مقیاس مکانی و زمانی می‌نماید (شکل ۲). برای این منظور لازم است مقدار بارش مؤثر که از اختلاف بین مقدار بارش اندازه‌گیری شده و تبخیر-تعرق واقعی است، محاسبه گردد. برای محاسبه تبخیر-تعرق واقعی لازم است ابتدا تبخیر-تعرق پتانسیل اصلاح شده به روش تورنت-آیت محاسبه شود (Thorntwaite, 1948). تبخیر-تعرق پتانسیل اصلاح شده را می‌توان از معادله ۲ بدست آورد:

$$\text{PET} = 16 N_m \left(\frac{10 T_m}{I_y} \right)^a \quad (2)$$

$$i_m = \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.51} \quad (3)$$

$$I_y = \sum_{m=1}^{12} i_m \quad (4)$$

$$a = (675 \times 10^{-9}) I^3 - (771 \times 10^{-7}) I^2 + (179 \times 10^{-4}) I + 0.492 \quad (5)$$

که ضریب اصلاحی (Nm)، متوسط درجه حرارت ماهانه (Tm)، شاخص حرارتی ماهانه (i_m)، شاخص حرارتی سالانه (Iy) و ضریب (a) است که به شاخص حرارتی سالانه بستگی دارد. با تعیین مقدار

جدول ۳- طبقه‌بندی اقلیمی شاخص خشکی دی-مارتن

نوع اقلیم	شاخص خشکی دی مارتن	بارش (میلی‌متر)
رطوبت شدید	> 55	> 800
بسیار مرطوب	35 ≤ DAI ≤ 55	700 ≤ P ≤ 800
مرطوب	28 ≤ DAI < 35	600 ≤ P < 700
نیمه‌مرطوب	24 ≤ DAI < 28	500 ≤ P < 600
مدیترانه‌ای	20 ≤ DAI < 24	400 ≤ P < 500
نیمه‌خشک	10 ≤ DAI < 20	200 ≤ P < 400
خشک	< 10	< 200

شاخص دی مارتین برای تعیین نوع اقلیم		بارش مؤثر (میلیمتر)				
		0 - 100	101 - 200	201 - 400	401 - 600	> 600
Extremely humid	> 55	Very high	High	Medium	Low	Very low
Very humid	35 ≤ IDM ≤ 55	Medium	Low	Low	Very low	Very low
Humid	28 ≤ IDM < 35	High	Medium	Low	Low	Very low
Semi-humid	24 ≤ IDM < 28	High	High	Medium	Low	Low
Mediterranean	20 ≤ IDM < 24	Very high	High	High	High	Medium
		Very high	High	Medium	Low	Very low

اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب زیرزمینی				
Very high	High	Medium	Low	Very low

شکل ۲- ماتریس ارزیابی شدت اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب زیرزمینی در مقیاس مکانی و زمانی توسط شاخص (Nistor and NISTOR Mindrescu, 2017)

(۹۷-۱۳۶۷)، کاملاً مشخص بوده و حاکی از اثرگذاری تغییرات اقلیم

منطقه بر روی سفره آب زیرزمینی است.

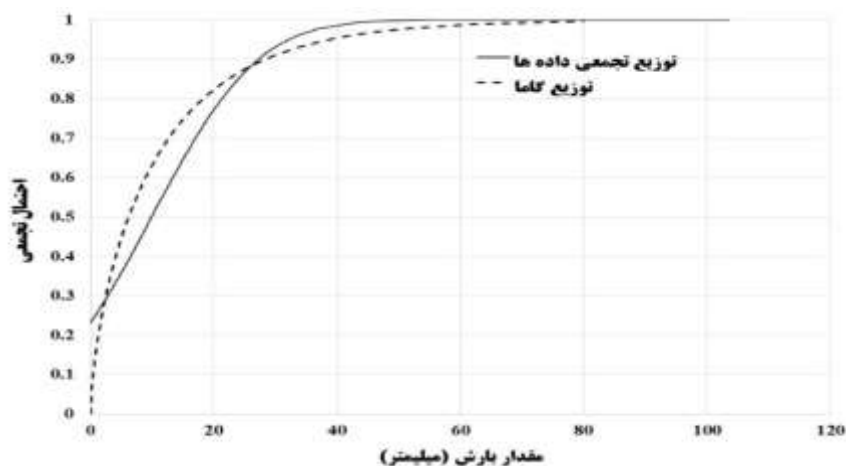
با استفاده از آمار ماهانه ایستگاه سینوپتیک دشت ورامین که اطلاعات آن مورد بازسازی قرار گرفته است، اقدام به محاسبه شاخص SPI گردید. سری زمانی مورد استفاده در این ایستگاه برابر با ۳۰ سال (۹۷-۱۳۶۷) می باشد که در شکل ۳ نمایش داده شده است. جهت محاسبه شاخص SPI، قدم نخست برازش توزیع گاما بر اطلاعات سری زمانی مورد نظر می باشد. تابع توزیع گامای تجمعی برازش داده شده بر سری زمانی بارش در ایستگاه مورد بررسی در شکل ۴ نشان داده شده است. لازم به ذکر است برای تعیین این توزیع از محیط نرم افزار MATLAB2018b استفاده شده است. گام بعدی انتقال احتمال تجمعی از توزیع گامای بدست آمده به توزیع نرمال استاندارد تجمعی با میانگین صفر و انحراف معیار یک می باشد.

نتایج و بحث

با توجه به اینکه در محاسبه شاخص‌های SPI و GRI به ترتیب دو پارامتر بارش و تراز سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرند، لذا قبل از تعیین مقادیر عددی این شاخص‌ها، سری زمانی این دو پارامتر به صورت همزمان مورد ارزیابی قرار گرفت. بازه تغییرات بارش از ۲ تا ۱۱۰ میلی‌متر و تغییرات عمق آب نیز از ۴۰ تا ۸۸۳ متر است. نوسانات بارندگی نیز به صورتی است که در سال‌های آبی ۶۹، ۷۴، ۸۰، ۸۶، ۹۰ و ۹۶ دارای بیشترین مقادیر هستند. عمق آب‌های زیرزمینی نیز در طول دوره آماری همواره در حال کاهش است (شکل ۳). ترسیم همزمان این دو پارامتر نشان می‌دهد که تا حد زیادی تراز سطح آب زیرزمینی علاوه بر برداشت‌هایی که از سطح دشت صورت می‌گیرد به تغذیه ناشی از نزولات جوی وابسته است و افزایش میزان بارش، منجر به افزایش تراز سطح آب زیرزمینی پس از چند ماه می‌گردد. این روند هماهنگ تراز با بارش در طی دوره ۳۰ ساله



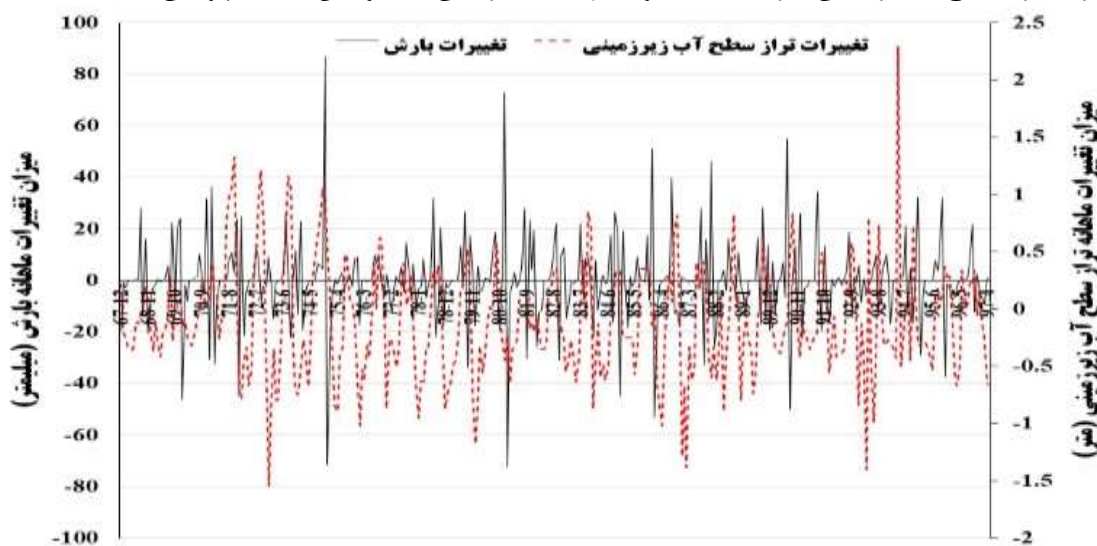
شکل ۳- سری زمانی بارش و تراز سطح آب زیرزمینی دشت ورامین در طی دوره ۳۰ ساله



شکل ۴- توزیع احتمال تجمعی بارش در ایستگاه ورامین نسبت به توزیع گاما

هماهنگی میزان تغییرات بارش با تراز در برخی از ماه‌ها به دلیل برداشت‌های قابل توجهی است که در سطح دشت صورت گرفته است و منجر به هم خوردن توازن تغذیه طبیعی با مقادیر تخلیه می‌گردد. بر این اساس، اثرات قابل توجه تغییرات نزولات جوی بر منابع آب زیرزمینی دشت ورامین کاملاً مشهود می‌باشد.

جهت مشاهده میزان اثرگذاری بارش بر روی آب زیرزمینی دشت ورامین، تغییرات ماهانه تراز سطح آب زیرزمینی و بارش در طی دوره ۳۰ ساله مورد مطالعه، ترسیم گردید. با توجه به شکل ۵ می‌توان دریافت که در غالب ماه‌هایی که میزان تغییرات بارش مثبت بوده است، تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی نیز مثبت شده و عدم



شکل ۵- سری زمانی تغییرات ماهانه بارش و تراز سطح آب زیرزمینی دشت ورامین در طی دوره ۳۰ ساله

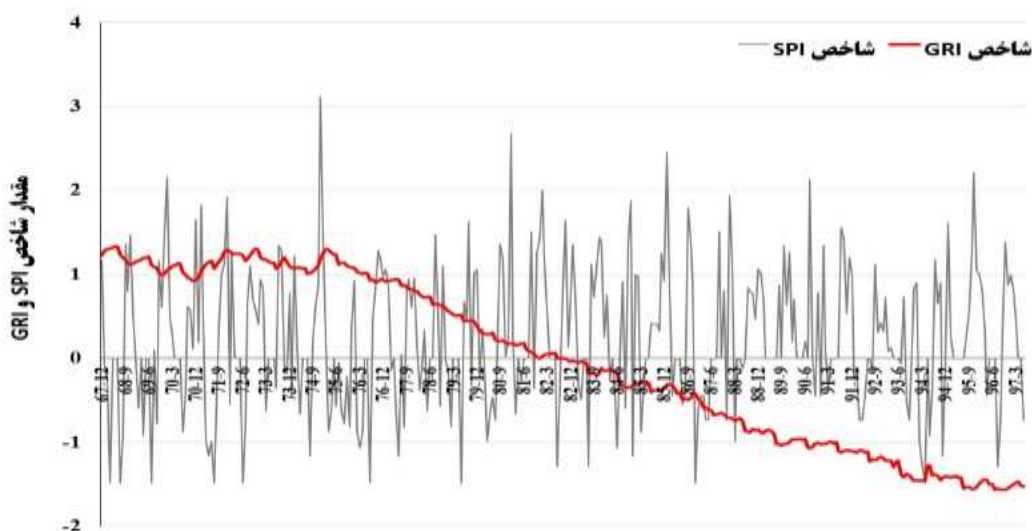
خشکسالی ضعیف در حال نزدیک شدن است. با توجه به برداشت‌های بیش از ظرفیت سفره آب زیرزمینی دشت ورامین و کمبود منابع تغذیه طبیعی آبخوان در طی سالیان اخیر (از سال ۸۸ تا کنون)، اُفت‌های تصادفی در این آبخوان رخ داده است که منجر به قرارگیری شاخص GRI در وضعیت خشکسالی ضعیف و نزدیک شدن به خشکسالی متوسط شده است. این وضعیت با شاخص SPI در طی دوره زمانی مورد اشاره شده نزدیک می‌باشد.

شاخص خشکسالی GRI برای کل محدوده دشت ورامین و بر اساس تراز سطح آب زیرزمینی بدست آمده از ۴۸ پیزومتر در تمام سطح دشت محاسبه (جدول ۴) و به صورت مقایسه‌ای با شاخص SPI در شکل ۶ ارائه شده است.

بررسی همزمان این دو شاخص نشان می‌دهد که بر مبنای شاخص SPI، دشت ورامین در طی ۳۰ سال گذشته از نظر خشکسالی هواشناسی، در وضعیت نزدیک به نرمال و نرمال قرار داشته که در طی ۱۰ سال انتهایی دوره زمانی مورد بررسی، این شرایط به

جدول ۴- نتایج شاخص خشکسالی GRI به شکل زمانی

شاخص GRI	سال	شاخص GRI	سال	شاخص GRI	سال
۱۳۶۷	۱/۲۲۵۱۳۳	۱۳۷۷	-۰/۸۴۴۳۷	۱۳۸۷	-۰/۶۲۰۷۹
۱۳۶۸	۱/۲۳۷۵۷۳	۱۳۷۸	-۰/۶۸۴۸۶۵	۱۳۸۸	-۰/۷۹۶۱۸
۱۳۶۹	۱/۱۱۳۹۴۴	۱۳۷۹	-۰/۴۷۸۵۵۵	۱۳۸۹	-۰/۹۵۰۲۹
۱۳۷۰	۱/۰۲۸۵۷۴	۱۳۸۰	-۰/۲۴۸۸۷۶	۱۳۹۰	-۱/۰۲۳۹
۱۳۷۱	۱/۱۳۰۲۷۵	۱۳۸۱	-۰/۱۱۰۲۷۳	۱۳۹۱	-۱/۰۵۸۵۶
۱۳۷۲	۱/۲۴۱۰۷۷	۱۳۸۲	-۰/۰۱۷۶	۱۳۹۲	-۱/۱۵۷۴۲
۱۳۷۳	۱/۱۴۳۱۶۹	۱۳۸۳	-۰/۱۱۰۷۳	۱۳۹۳	-۱/۳۳۴۰۲
۱۳۷۴	۱/۰۶۹۵۵	۱۳۸۴	-۰/۲۴۳۵۴	۱۳۹۴	-۱/۴۰۶۲
۱۳۷۵	۱/۱۸۴۶۱	۱۳۸۵	-۰/۳۳۵۹۸	۱۳۹۵	-۱/۴۸۰۸
۱۳۷۶	-۰/۹۷۷۵۳۳	۱۳۸۶	-۰/۴۱۱۹	۱۳۹۶	-۱/۵۱۸۶۷



شکل ۶- مقایسه مقادیر ماهانه شاخص‌های SPI و GRI در سطح دشت ورامین برای یک دوره ۳۰ ساله

است. این هماهنگی اُفت تصاعدی تراز سطح آب زیرزمینی با شاخص GRSPi بیانگر اثرات قابل توجه شرایط اقلیم حاکم بر منطقه بر ذخایر آبی زیرزمینی دشت ورامین بوده است.

ماتریس استنتاجی NISTOR

با توجه به روش پیشنهادی NISTOR با تلفیق بارش مؤثر و شاخص اقلیمی دی-مارتن می‌توان میزان شدت اثر خشکسالی بر روی منابع آب زیرزمینی در دشت ورامین را بررسی نمود. در این مطالعه مقدار بارش مؤثر و شاخص اقلیمی دی-مارتن به صورت ماهانه در بازه زمانی ۳۰ ساله مورد نظر محاسبه گردید. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که اثرات خشکسالی بر روی منابع آب زیرزمینی دشت ورامین قابل توجه می‌باشد (شکل ۸) که این نتیجه گیری با نتایج قبل

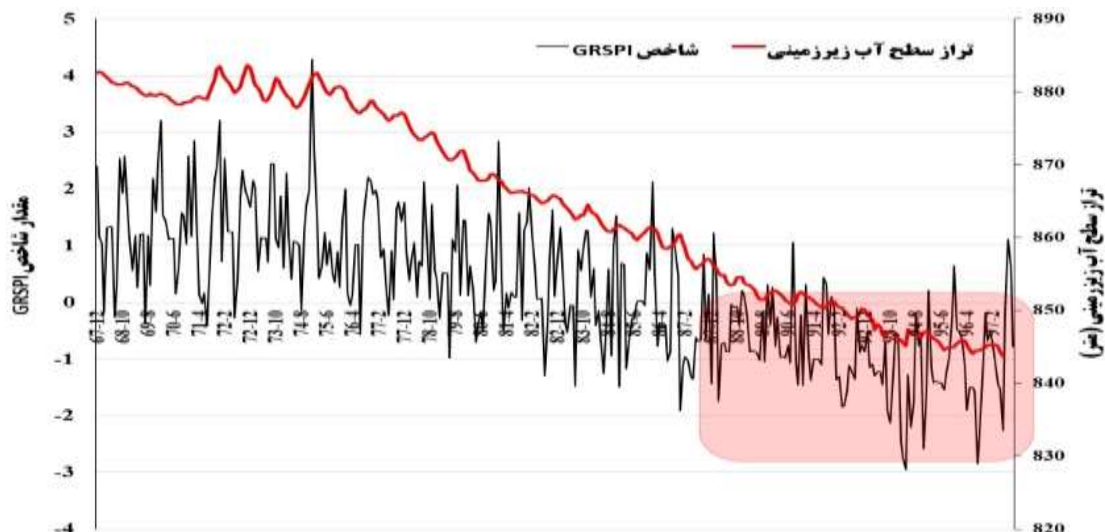
جهت ارائه دید بهتر از اثرات کاهش نزولات جوی و به طور کلی کم‌بارشی بر روی آبخوان دشت ورامین از شاخص ترکیبی GRSPi ماهانه در قالب رابطه ۱۱ استفاده شده است:

$$GRSPi_m = GRI_m + SPI_m \quad (11)$$

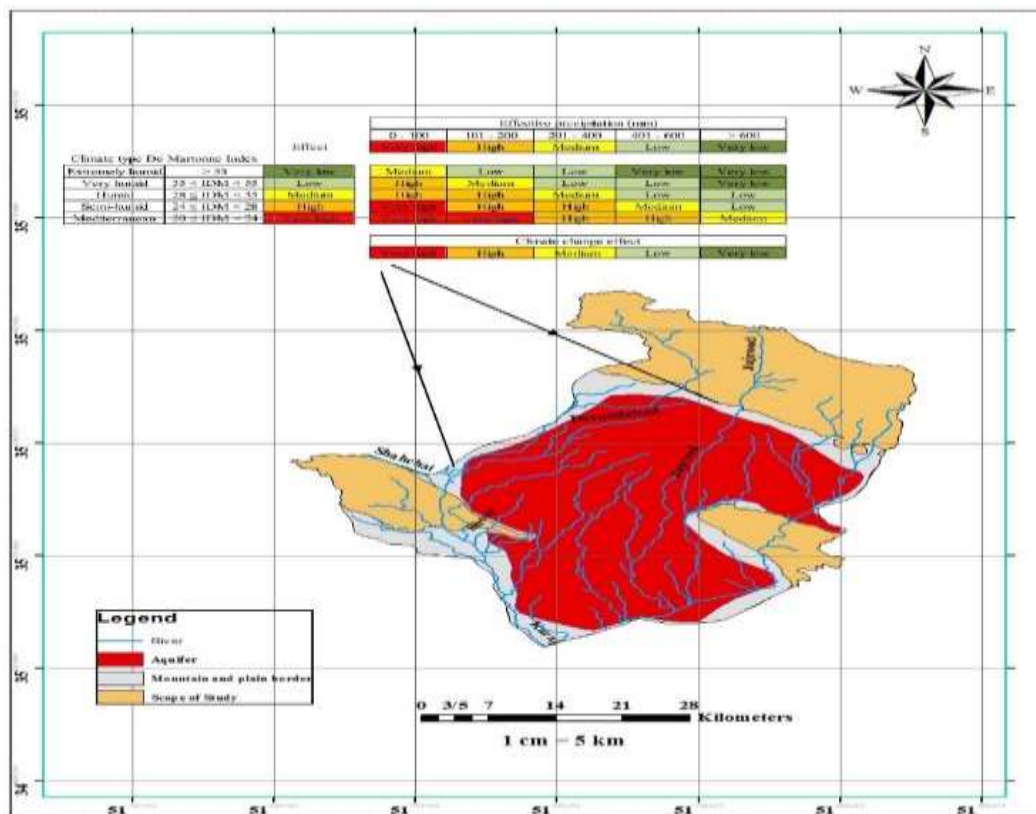
در رابطه ۱۱، GRI_m و SPI_m به ترتیب مقادیر شاخص منبع آب زیرزمینی و شاخص بارش استاندارد شده در ماه m می‌باشند. با توجه به ترسیم مقادیر این شاخص (شکل ۷)، می‌توان دریافت که از سال ۱۳۹۲ به بعد وضعیت آبخوان از شرایط خشکسالی نرمال خارج شده و وارد شرایط خشکی نسبتاً شدید شده است. همچنین اثرات کاهش نزولات جوی و تغییر اقلیم در نتیجه افزایش درجه حرارت در این منطقه که موجب کاهش رواناب‌های سطحی و در نتیجه تغذیه سطحی و زیرزمینی آبخوان می‌شود، به خوبی در این نمودار مشهود

مورد بررسی قرار گیرد. نتیجه بدست آمده مرتبط با سیمای عمومی دشت تحت شرایط موجود می باشد. جزئیات سالانه مقادیر بارش مؤثر و شاخص خشکی دی مارتن برای سه دهه ارائه شده است (جدول ۵).

(مقایسه شاخص SPI و GRI) تطابق دارد. لازم به ذکر است با توجه به عدم وجود آمار و اطلاعات مکانی هواشناسی از سطح دشت ورامین، ممکن است این تاثیر در تمامی سطح دشت یکسان نباشد و لازم است پهنه های تاثیر تغییر اقلیم با داده های مکانی تکمیل شده



شکل ۷- تغییرات شاخص GRSPI در مقایسه با سری زمانی تراز سطح آب زیرزمینی در طی دوره زمانی ۳۰ ساله



شکل ۸- نقشه شدت اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی توسط شاخص Nistor در بازه ۱۳۶۸-۱۳۹۸

جدول ۵- ارزیابی شدت اثرات تغییر اقلیم و خشکسالی بر روی منابع آب زیرزمینی دشت ورامین توسط روش NISTOR

بازه زمانی	متوسط بارش مؤثر (میلی‌متر)	متوسط شاخص DAI	میزان تأثیر
۷۸-۱۳۶۸	۹۰/۸۴	۴/۳۰	بسیار زیاد
۸۸-۱۳۷۸	۱۰۵/۴۲	۴/۷۵	بسیار زیاد
۹۸-۱۳۸۸	۸۳/۰۶	۳/۸۲	بسیار زیاد

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی دشت ورامین از طریق شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص نیستور (NISTOR) و شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا جهت ارزیابی میزان تأثیر پارامترهای اقلیمی همانند دما و بارش بر روی وضعیت آب زیرزمینی دشت ورامین از آمار زمانی (۱۳۶۷-۱۳۹۷) پارامترهای معرف دشت استفاده گردید. نتایج شاخص‌های خشکسالی نشان داد که در دوره مطالعاتی در محدوده آبخوان دشت ورامین خشکسالی هواشناسی رخ داده است. همچنین با توجه به قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در اقلیم نیمه‌خشک، نتایج این مطالعه با ارزیابی شدت اثر خشکسالی تصویر روشنی از روند تراز آب زیرزمینی را نشان داد که می‌تواند با ادامه روند خشکسالی و برداشت‌های بی‌رویه، در آینده نزدیک این منطقه را دچار کم‌آبی، کاهش کیفیت آب و فرونشست کند. بنابراین این بررسی‌ها می‌تواند مورد استفاده متخصصان و برنامه‌ریزان مرتبط با مسائل آب در منطقه قرار گیرد. لازم به ذکر است با توجه به عدم وجود آمار و اطلاعات مکانی هواشناسی از سطح دشت ورامین، ممکن است این تأثیر در تمامی سطح دشت یکسان نباشد و لازم است پهنه‌های تأثیر خشکسالی با داده‌های مکانی تکمیل شده مورد ارزیابی قرار گیرد.

منابع

- احمدی آخورمه، م.، نوحه‌گر، ا.، سلیمانی مطلق، م.، و طایبی سمیرمی، م. ۱۳۹۴. بررسی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SWI و GRI در آبخوان محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه استان فارس. نشریه مهندسی آبیاری و آب. ۲۱(۶): ۱۰۵-۱۱۸.
- اسدزاده، ف.، کاکای، م.، شکیبیا، س. و راعی، ب. ۱۳۹۵. تأثیر خشکسالی بر کیفیت و سطح آب زیرزمینی دشت قروه و چهاردولی. نشریه تحقیقات منابع آب ایران. ۱۲(۳): ۱۶۵-۱۵۳.
- شهوری، ن.، خلیلیان، ص.، موسوی، س.ح. و مرتضوی، س.ا. ۱۳۹۸. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه دشت ورامین با استفاده از مدل SWAT. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۲): ۳۶۶-۳۵۴.
- Budyko, M.I. 1974. *Climate and Life*. Academic Press, New York, USA, p. 508.
- Chamanpira, G., Zehtabian, G., Ahmadi, H., and Malekian, A. 2014. Effect of drought on groundwater resources; a study to optimize utilization management (Case study: Alashtar plain). *Bull. Env. Pharmacol. Life Science* 3:48-56
- De Martonne, E. 1926. A new climatological function: the aridity index. *La Meteorol.* 2, 449e458 (In French).
- Deniz, A., Toros, H., and Incecik, S. 2011. Spatial variations of climate indices in Turkey. *Int. J. Climatol.* 31, 394e403.
- Dua, K.S.Y., Klaas, Monzur, A., Imteaz, Ika Sudiayem, Elkan M.E., Klaas, Eldav, C.M. Klaas. 2019. Assessing climate changes impacts on tropical karst catchment: Implications on groundwater resource sustainability and management strategies. *Journal of Hydrology*. 582: 124426. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124426>.
- Gerrits, A.M.J., Savenije, H.H.G., Veling, E.J.M., and Pfister, L. 2009. Analytical derivation of the Budyko curve based on rainfall characteristics and a simple evaporation model. *Water Resource. Res.* 45 (W04403), 1-15. <http://dx.doi.org/10.1029/2008WR007308>
- IPCC. Summary for Policymakers. In: *Climate Change. 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Li, B., and Rodell, M. 2014. Evaluation of a model-based groundwater drought indicator in the conterminous US. *Journal of Hydrology* 526:78-88.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8 confij, *Applied Climatology*.
- Mishra, A.K., and Singh, V.P. 2010. A Review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391(1):202-216.
- Mendicino, G., Senatore, A., and Versace, P. 2008. A

- regional scale? A spatial approach of Emilia-Romagna region GEOREVIEW Scientific Annals of Ștefan cel Mare University of Suceava Geography Series 25.
doi:10.4316/GEOREVIEW.2015.25.1.268.
- Radfar, M., Van Camp, M., and Walraevens, K. 2013. Drought impacts on long-term hydrodynamic behavior of groundwater in the tertiary-quaternary aquifer system of Shahrekord plain, Iran. *Environmental Earth Sciences* 70(2):927-942
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38, 55-94. Xie, X., Li, Y.X., Li, R.
- Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology* 357(3): 282-302.
- Najafi, M.R., and Moazami, S. 2015. Trends in total precipitation and magnitude-frequency of extreme precipitation in Iran, 1969-2009. *Int. J. Climatol.* 36(4): 1863-1872.
- Nistor, M.M., and Mîndrescu, M. 2017. Climate change effect on groundwater resources in Emilia-Romagna region: an improved assessment through NISTOR-CEGW method. *Quat. Int.* 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.11.018>.
- Nistor, M., and Porumb-Ghiurco, C. 2015. How to compute the land cover evapotranspiration at

Effect of Meteorological Drought on Groundwater Resources of Varamin Plain Using SPI, NISTOR and GRI Index

H. Azizi¹, H. Ebrahimi^{2*}, H. Samani³, V. Khaki⁴
Received: Aug.04, 2020 Accepted: Oct.13, 2020

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effect of meteorological drought on groundwater resources in Varamin plain. For this purpose, the effect of meteorological drought was investigated through standard precipitation index (SPI), NISTOR index and groundwater source index (GRI). Therefore, in order to evaluate the effect of climatic parameters such as temperature and precipitation on the groundwater status of Varamin plain, time statistics (1367-1397) of the parameters of the plain were used. The results showed that according to the SPI index, this plain is approaching weak drought conditions during the last 10 years of the study period. Therefore, due to the lack of natural recharge sources of the aquifer in recent years (since 2010), accidental falls have occurred in this aquifer, which has led to the GRI index from normal drought conditions to relatively severe drought conditions. Finally, the results of SPI and GRI index were compared with NISTOR index, which is obtained from the inferential matrix of the combination of Di-Marton climate index and effective precipitation. This index also assessed the effect of drought and rainfall nutrition index on groundwater resources in the desired period as very severe.

Keywords: Groundwater, GRI, NISTOR, SPI, Varamin plain

1- Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3- Professor, Department of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
4- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(* - Corresponding Author Email: Ebrahimi165@yahoo.com)