

کلیدواژه‌ها: خشکسالی، دشت ایرانشهر، زمین‌آمار، شولر

مقدمه

خشکسالی یک فاجعه زیست‌محیطی است که شامل یک دوره پیوسته و پایدار (از چند ماه تا چندین سال) است که مقدار آب موجود در منابع آبی منطقه، به حد قابل توجهی کاهش یافته و دچار کمبود می‌شود [۲۹]. خشکسالی یک عامل استرس‌زای مهم است که به عدم امنیت آب کمک می‌کند [۲۰]. وقوع خشکسالی‌های متناوب و نوسانات آب و هوایی باعث کمبود منابع آب سطحی می‌شود. بدین ترتیب، شرایط اقلیمی، نحوه توزیع زمانی و مکانی ریزش‌های جوی و رشد بی‌رویه جمعیت منابع آبی به‌ویژه ذخایر آب زیرزمینی را تهدید می‌نماید [۲۸].

ایران با قرارگیری در کمربند بیابانی کره زمین، در برخی سال‌ها از خشکسالی و در بعضی از سال‌های دیگر از ترسالی آسیب می‌پذیرد [۲]. از آنجایی‌که ایران در زمره کشورهای با محدودیت در منابع آب به شمار می‌آید، بخش چشم‌گیری از آب مصرفی در کاربری‌های گوناگون از سفره‌های آب زیرزمینی و توسط برداشت از چاه‌ها تأمین می‌شود، کیفیت آن‌ها حائز اهمیت می‌باشد [۱۸ و ۲].

خشکسالی و افزایش تقاضای آب در منطقه، کمبود و نیاز به آب را تشدید کرده و باعث افزایش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. معمولاً در چنین ایامی کمبود آب منطقه برای تأمین نیازهای اساسی نظیر شرب و کشاورزی از منابع آب زیرزمینی و از طریق افزایش استحصال آب از چاه‌ها تأمین می‌شود در نتیجه عبور از چنین بحران‌هایی مستلزم مدیریت کارآمد منابع آب می‌باشد [۱۴ و ۱۷].

تغییرات آب و هوایی نشانگر دمای گرم‌تر و چرخه هیدرولوژیکی بسیار متغیر است که تأثیرات قابل توجهی بر زندگی بشر را نشان می‌دهد، به‌ویژه آن‌هایی که از خشکسالی ناشی می‌شوند. میزان تأثیرات مربوط به خشکسالی از انسان تا سیستم‌های زیست‌محیطی متغیر است، به‌ویژه تأثیرات آن بر کیفیت آب نیاز به بررسی دقیق دارد [۲۳]. چراکه خشکسالی‌ها تأثیرات متنوعی بر منابع آب دارند و منابع آبی از مهم‌ترین نیازهای اساسی حیات بشر می‌باشند. گرچه تأثیرات خشکسالی بر روی کمیت آب بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است، اما تأثیرات آن بر کیفیت آب کم‌تر چندان مورد توجه قرار نگرفته است [۱۰].

خشکسالی با اثر گذاشتن بر روی کمیت آب از جمله کاهش سطح آب چاه‌های بهره‌برداری، در طولانی‌مدت منجر به خشکی چاه و تنزل

بررسی تأثیر خشکسالی بر کیفیت آبخوان دشت ایرانشهر با استفاده از شاخص SPI و روش شولر

صابره خرد ناروئی^۱، عین‌اله روحی‌مقدم^۲، محمد نهانی^۳ و حسین سرگزی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۲

چکیده

خشکسالی‌های اخیر موجب افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی شده که بر کیفیت آب و قابلیت مصرف آن، موثر بوده است. هدف این مطالعه، بررسی تأثیر خشکسالی بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت ایرانشهر می‌باشد. در این پژوهش میزان خشکسالی با استفاده از آمار ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۹۵-۱۳۶۶) بر اساس شاخص SPI در نرم‌افزار DIP، برای سری‌های زمانی ۶ تا ۲۴ ماهه محاسبه شد. کیفیت آب برای ۱۶ حلقه چاه پیرومتری و ۶ رشته قنات طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین، چهار مدل برتر نیم تغییر نمای کروی، نمایی، خطی و گوسین، با کمک نرم‌افزار GS+ 5.1 ارزیابی شد. سپس نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های تشخیص داده شده در Arc GIS 10.4.1 تهیه شد. نتایج نشان داد که طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۶ در اکثر سال‌ها به لحاظ وقوع خشکسالی وضعیت نرمالی بر دشت حاکم بوده است. کیفیت آب مصرفی از لحاظ شرب در ترسالی (سال آبی ۸۵-۱۳۸۴) به ۴ طبقه و در خشکسالی (سال آبی ۹۶-۱۳۹۵) به پنج طبقه تقسیم شده است. کیفیت خوب از نظر شرب از ۷/۵۳ درصد به ۳/۹۲ درصد کاهش داشت. کیفیت آب از شرق به غرب منطقه تنزل داشته و میزان درصد طبقات مناسب و قابل استفاده کاهش یافته است.

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیز دانشگاه زابل، زابل، ایران
- ۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده آب‌و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران
- ۳- نویسنده مسئول و استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده آب‌و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران، پست الکترونیک: m.nohtani@uoz.ac.ir
- ۴- دکترای بیابانزدایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

کیفی آب خواهد شد [۹]. هم‌چنین عدم تغذیه سفره آبدار می‌تواند باعث کاهش تجدید منابع آب زیرزمینی و افزایش میزان املاح آب گردد [۵]. شناخت و مطالعه کیفیت منابع آب علی‌الخصوص آب‌های زیرزمینی در مدیریت و استفاده بهینه از آن‌ها در شرایط خشکسالی به لحاظ مصارف مختلف اهمیت بسزایی دارد، لذا بررسی آنالیز کیفی منابع آب در دنیا و ایران مورد توجه قرار گرفته است. تحقیقات بسیاری در مورد تأثیر خشکسالی بر روی منابع آب زیرزمینی به لحاظ مصرف کشاورزی انجام شده است به‌طور مثال:

جهان‌شاهی و همکاران [۸] در پژوهشی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت شهربابک، استان کرمان را با استفاده از شاخص SPI مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج بیانگر وجود همبستگی بین عمق آب زیرزمینی (متغیر وابسته) و شاخص SPI (متغیر مستقل) در مقیاس ۴۸ ماهه بود که بیش‌ترین ضرایب همبستگی و تبیین برابر با ۰/۴۳۹ و ۰/۵۱ در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد به دست آمد. معنی‌دار بودن این رابطه حاکی از تأثیر مستقیم خشکسالی بر سطح آب زیرزمینی در این دشت است.

نوحه‌گر و همکاران [۲۲] تأثیر خشکسالی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی در حوزه آبخیز رودخانه میناب با استفاده از دو شاخص SPI و RDI را ارزیابی کردند که نتایج نشان داد هر دو شاخص SPI و RDI بیش‌ترین فراوانی خشکسالی ملایم و متوسط را برای منطقه برازش دادند. هم‌چنین رابطه شاخص SPI با تغییرات متوسط دبی سالانه نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار بالا بوده و بررسی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی نشان‌دهنده افت سطح آب همه دشت‌های مورد مطالعه متأثر از خشکسالی با ضریب تأثیر بالا بود.

سرحدی و همکاران [۲۶] در پژوهشی تأثیر خشکسالی بر تغییرات سطح ایستابی و پارامترهای کیفی آبخوان دشت زاهدان را با استفاده از شاخص‌های خشکسالی SPI و PN بررسی نمودند. نتایج نشان‌دهنده تنوع بیش‌تر شاخص PN نسبت به SPI بود. هم‌چنین هیدرو گراف معرف آبخوان نشان داد که سطح ایستابی از سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴-۲۰۱۳ به مقدار ۱/۳۷ افزایش یافته است که با شرایط خشکسالی می‌تواند به علت کاهش برداشت از آبخوان در پی انتقال آب از چاه نیمه‌های سیستم به زاهدان باشد.

نگوین^۱ و همکاران [۲۱] کیفیت آب زیرزمینی دو آبخوان در ویتنام را با استفاده از نمودار پاپیر و گپیس بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بازه تغییرات طی دو فصل مورد بررسی، برای کاتیون‌ها نسبت به آنیون‌ها برای ۳۰ درصد از چاه‌های نمونه‌برداری شده، بیش‌تر بوده است.

فلاحی و همکاران [۶] تأثیر خشکسالی بر کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی شهرستان ساوه در استان مرکزی را مورد بررسی قرار دادند. پارامترهای فیزیک و شیمیایی ۲۹ حلقه چاه توسط شاخص بارش استاندارد (SPI) در دوره خشکسالی ۲۰۰۴-۲۰۱۵

مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نمودار ویلکوکس^۲ و شولر^۳ به ترتیب برای ارزیابی کیفیت آب چاه‌ها برای اهداف آبیاری و آشامیدن استفاده شد. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۱۵ کاهش متوسط بارش سالانه در طول دوره مورد مطالعه نه‌تنها باعث استفاده بیش‌ازحد از آب زیرزمینی به‌عنوان منابع اولیه آب شده است بلکه به کاهش قابل‌توجه کیفیت شیمیایی آن نیز منجر شده است.

پنای‌گریرو^۴ و همکاران [۲۴] در پژوهشی تأثیر خشکسالی بر کیفیت آب مورد نیاز برای کشاورزی منطقه متروپولیتن با استفاده از شاخص‌های استاندارد خشکسالی برای دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ بررسی شد. نتایج نشان داد که ایستگاه‌های هیدرولوژیکی واقع در مناطق آبیاری از آستانه رسمی پارامترهای مؤثر در آبیاری، در دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیکی بیش‌ازحد کشاورزی آبیاری منطقه را تهدید می‌کردند.

عمده و تنها منبع مطمئن و دائمی تأمین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک و کویری به‌خصوص در صورت وقوع خشکسالی‌ها، منابع زیرزمینی است [۷]. آنچه مسلم است بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب‌های زیرزمینی در مدیریت بهینه این منابع در بخش کشاورزی، منابع طبیعی و ... حائز اهمیت می‌باشد [۲۵]. طبق بررسی‌های انجام شده در زمینه خشکسالی و اثرات آن بر منابع طبیعی می‌توان گفت خشکسالی صدمات فراوانی را به بخش‌های منابع آبی وارد می‌سازد. لذا بررسی تغییرات منابع آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب هر منطقه اهمیت فراوانی دارد و مدیریت علمی آن نیازمند داشتن رابطه آن با خشکسالی است [۸].

استان سیستان و بلوچستان از مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور است که همواره با خطرات و عوارض ناشی از خشکسالی مواجه می‌باشد [۱۲]. آبخوان ایران‌شهر با توجه به گستردگی حوزه آبخیز آن، از نظر بیلان آب‌های زیرزمینی، یکی از آبخوان‌های تقریباً متعادل این استان بوده است [۱۳]؛ اما با توجه به استفاده شدید مردم ایران‌شهر از منابع آب زیرزمینی از یک‌سو و بحران خشکسالی‌های پی‌درپی در منطقه از سوی دیگر، اهمیت مطالعه تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه ضروری به نظر می‌رسد. لذا هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر خشکسالی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت ایران‌شهر به لحاظ مصرف شرب می‌باشد.

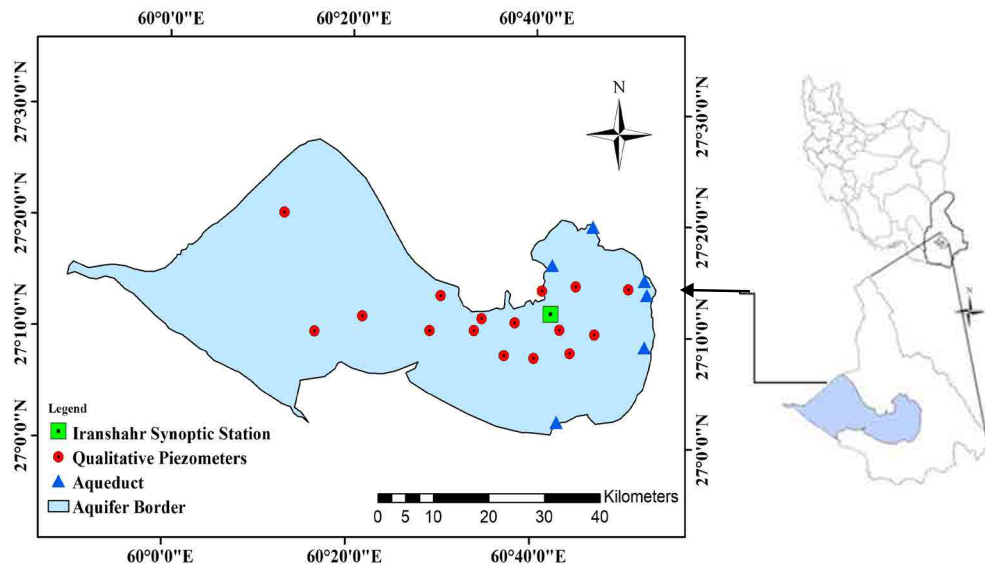
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بخشی از حوزه آبخیز ایران‌شهر در منتهی‌الیه شرقی حوزه آبخیز جازموریان شرقی است که در استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. این محدوده در بین موقعیت جغرافیایی ۶۰ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۲۶ درجه

2. Wilcox
3. Schoeller
4. Pena-Guerrero

1. Nguyen



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و پیزومترهای مورد مطالعه در سطح آبخوان
Fig 1. Geographical location and studied piezometers at the aquifer

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (1)$$

که در آن:

SPI: شاخص استاندارد بارندگی، P_i : بارندگی سال جاری، $\bar{P}$: بارندگی متوسط سالانه و SD: انحراف از معیار بارندگی متوسط سالانه می‌باشد. پس از تعیین SPI، وضعیت رطوبتی با توجه به آن به ۷ طبقه تقسیم می‌شود [۱۵] (جدول ۱).

جدول ۱- طبقه‌بندی خشکسالی به روش شاخص SPI
Table 1. Drought classification by SPI index method

SPI مقادیر SPI VALUES	طبقات خشکسالی DROUGHT CLASSES
$SPI \geq 2$	به‌شدت مرطوب Extremely wet
1.5-1.99	خیلی مرطوب Very wet
1.49-1	نسبتاً مرطوب Relatively humid
-0.99 -0.99	متوسط (نرمال) Medium (Normal)
-1 - -1.49	نسبتاً خشک Relatively dry
-1.5 - -1.99	خیلی خشک Very dry
$2 \geq SPI$	به‌شدت خشک Extremely dry

طبق این روش دوره خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که SPI به‌طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و زمانی پایان

و ۴۹ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. مساحت این حوزه حدود ۸۰۱۸ کیلومترمربع بوده که از این مقدار حدود ۶۸۸۲ کیلومترمربع ارتفاعات و مابقی مناطق آبرفتی دشت می‌باشد. دشت ایرانشهر از نظر آب و هوایی طبق تقسیم‌بندی دومارتن در اقلیم خشک قرار دارد و طبق تقسیم‌بندی آمبرژه در اقلیم بیابانی گرم میانه قرار دارد. دشت ایرانشهر جزئی از حوزه آبخیزایرانشهر محسوب شده که آبخوان ایرانشهر در آن قرار دارد. این آبخوان از نظر بیلان آب‌های زیرزمینی، از آبخوان‌های تقریباً متعادل استان سیستان و بلوچستان می‌باشد [۱۳ و ۱۱]. مهم‌ترین رودخانه این منطقه رودخانه دائمی بمپور می‌باشد که جهت جریان آن، شرقی- غربی و زهکش اصلی سفره آب زیرزمینی دشت ایرانشهر می‌باشد. عمده مصرف آب استحصال‌شده از این آبخوان، جهت مصارف کشاورزی می‌باشد به‌طوری‌که در حدود ۸۱ درصد حجم برداشت از منابع آب زیرزمینی جهت آبیاری مزارع استفاده می‌شود. در شهرستان ایرانشهر تمام بهره‌برداری آب از منابع آب زیرزمینی صورت می‌گیرد [۱۳]. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه چاه‌های پیزومتری را نشان می‌دهد.

روش تحقیق شاخص خشکسالی

در این پژوهش، جهت مطالعه و تعیین دوره‌های خشک و مرطوب از روش شاخص بارندگی استاندارد (SPI) و آمار بارندگی ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۶-۱۳۹۶) استفاده شد. جهت محاسبه این شاخص، مقادیر ماهانه بارش با شاخص SPI در نرم‌افزار DIP، برای سری زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه شد. جهت محاسبه این شاخص از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

جدول ۲- کیفیت آب بر اساس طبقه‌بندی شولر
Table 2. Water Quality based on Schuler classification

کیفیت آب Water quality	TH (mg/l)	TDS (mg/l)	SO ₄ ⁻ (meq/l)	CL ⁻ (meq/l)	Na ⁺ (meq/l)
خوب Good	250>	500>	145>	175>	115>
قابل قبول Acceptable	250-500	500-1000	145-280	175-350	115-230
متوسط medium	500-1000	1000-2000	280-580	350-700	230-460
نامناسب unsuitable	1000-2000	2000-4000	580-1150	700-1400	460-920
کاملاً نامطلوب Completely undesirable	2000-4000	4000-8000	1150-2240	1400-2800	920-1840
غیرقابل شرب Non potable	4000<	8000<	2240<	2800<	1840<

می‌یابد که SPI مثبت گردد [۴].

مورد بررسی در محدوده مطالعاتی بوده و مقدار آن در بدترین حالت صفر و در بهترین حالت یک می‌باشد [۱۶].

در مرحله بعد نقشه رستری هر یک از پارامترهای مورد بررسی برای سال‌های موردنظر در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.4.1 با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ به دلیل رایج بودن و برتری نسبت به سایر روش‌های زمین‌آماري در مسائل مربوط به کیفیت آب زیرزمینی، تهیه شد [۳].

روش کریجینگ (K)، یک روش برآورد زمین‌آماري است که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار استوار است، می‌توان گفت این روش بهترین برآورد کننده‌ی خطی نااریب می‌باشد. در این روش با استفاده از نقاط معلوم و نیم تغییر نما، مقادیر مجهول برآورد می‌گردند. معادله‌ی کلی کریجینگ برای برآورد مقادیر یک متغیر به صورت رابطه (۳) است:

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i) \quad (3)$$

که در این معادله ضریب λ_i مجموعه‌ای از وزن‌هاست که به نحوی انتخاب می‌شوند تا $Z(S_0)$ برآورد نااریب با حداقل خطا از S_i باشد [۳۰ و ۲۳]. سپس نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی مؤثر در روش شولر بر اساس کد نویسی پایتون در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.4.1 تلفیق و تهیه شد.

در مرحله بعدی برای تعیین میزان همبستگی میان پارامترهای کیفی آب زیرزمینی و مقدار شاخص SPI در هر ماه از فرمول ضریب همبستگی مطابق رابطه (۴) استفاده شد [۲۷].

$$P_{xy} = \frac{Cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (4)$$

در رابطه بالا x مقدار شاخص SPI در ماه خاص و y سطح آب زیرزمینی در همان ماه است. $\sigma_x \sigma_y$ نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار هر یک از متغیرها و $Cov(x,y)$ نیز نشان‌دهنده‌ی کواریانس متغیرها

سنجش کیفیت آب

در این پژوهش برای بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت ایرانشهر از داده‌های کیفی آب زیرزمینی اخذ شده از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان استفاده شد. بدین منظور ۱۶ حلقه چاه پیرومتری و ۶ رشته قنات با توجه به صحت و پراکنش آن‌ها در طی سال‌های آبی ۸۵-۱۳۸۴ تا ۹۶-۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی کیفیت آب شرب، طبق روش شولر، داده‌های پارامترهای کیفی سدیم (NA)، کلر (CL)، سولفات (SO_4)، کل مواد جامد محلول (TDS) و سختی آب (TH) مورد بررسی قرار گرفت. جدول (۲) کیفیت آب بر اساس طبقه‌بندی شولر را نشان می‌دهد [۵].

برای پهنه‌بندی کیفیت آب طبق روش شولر، ابتدا بهترین مدل برازش یافته به نیم تغییرنمای تجربی در محیط نرم‌افزار GS+ 5.1 برای مدل‌های کروی، گوسی، خطی و نمایی برای پارامترهای کیفی مورد نظر، تخمین زده شد. نیم تغییر نما یا واریوگرام، واریانس وابسته به فاصله است که با نماد γ نشان داده می‌شود. اگر جمعاً تعداد $n(h)$ زوج نمونه، $z(x)$ متغیر مشاهده شده و $z(x+h)$ متغیر مشاهده شده که با فاصله h از $z(x)$ واقع شده‌اند در دست باشد، نیم تغییر نمای تجربی $\gamma(h)$ از رابطه (۲) به دست می‌آید [۲۳]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x+h) - z(x)]^2 \quad (2)$$

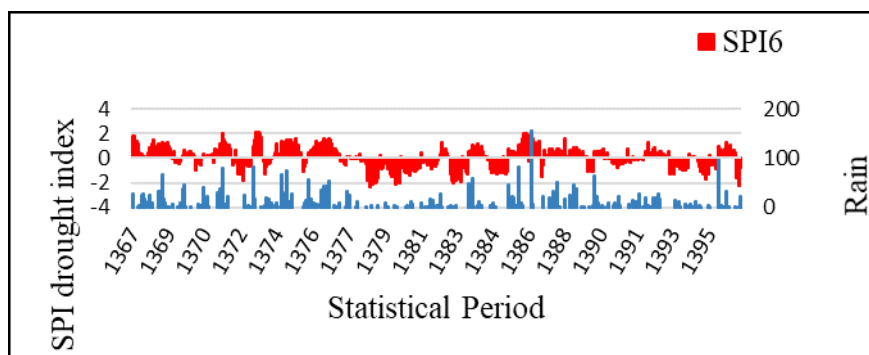
در انتخاب بهترین مدل نیم تغییر نمای برازش داده شده، هراندازه مقدار R^2 افزایش یابد و مقدار RSS (مجموع مربعات باقیمانده) کاهش یابد، دقت مدل برازش شده افزایش می‌یابد. نسبت $C/(CO+C)$ نشان‌دهنده ساختار مکانی موجود برای پارامترهای

می‌باشد. همبستگی بین پارامترهای کیفی با خشکسالی در نرم‌افزار SPSS V22 با آزمون پیرسون مورد بررسی قرار گرفت. در آخر برای بررسی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت ایرانشهر، مقایسه میانگین پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی دشت با استفاده از آزمون T وابسته در محیط نرم‌افزاری SPSS V22 بررسی شد. این آزمون زمانی استفاده می‌شود که محقق می‌خواهد بداند، آیا میانگین یک متغیر از حدود خاصی فراتر می‌رود [۱۷].

نتایج

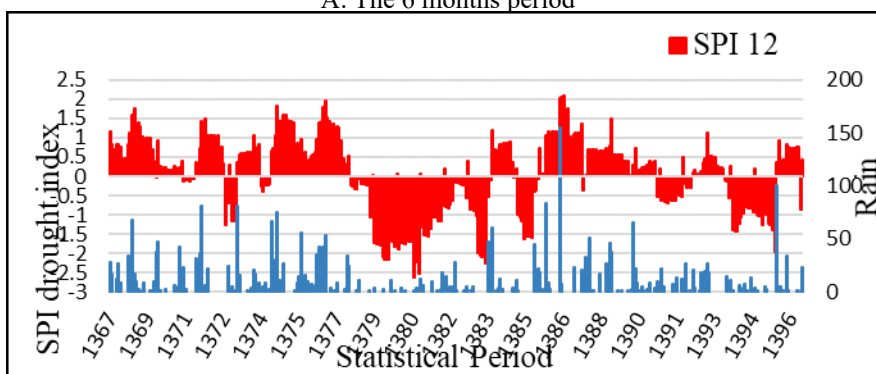
وضعیت خشکسالی

شاخص SPI برای دوره‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه با اطلاعات بارندگی ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر محاسبه شد. شکل (۲) میزان تغییرات شاخص خشکسالی و بارندگی را در طول دوره آماری ۱۳۶۷-۱۳۹۶ نشان می‌دهد. بر این اساس در اکثر سال‌ها وضعیت نرمال یا معمولی بر دشت حاکم بوده است. همچنین منطقه مورد نظر خشکسالی متوسط، به شدت خشک، خیلی مرطوب و نسبتاً مرطوب را تجربه کرده است.



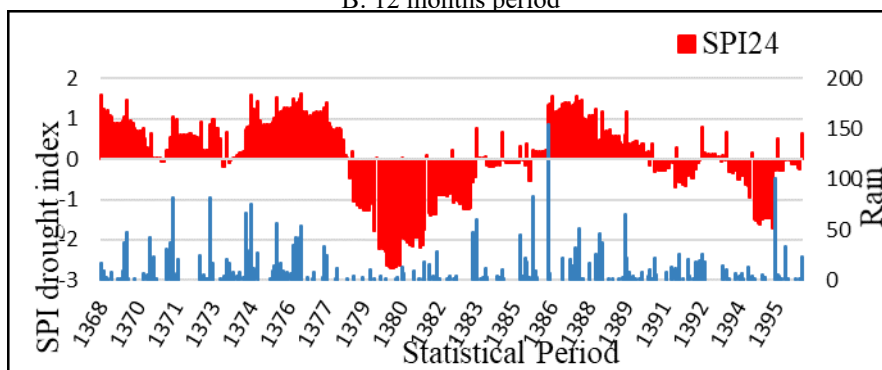
الف: بازه زمانی ۶ ماهه

A: The 6 months period



ب: بازه زمانی ۱۲ ماهه

B: 12 months period



ث: بازه زمانی ۲۴ ماهه

C: 24 months period

شکل ۲- نمودار رابطه خشکسالی با میزان بارش طی دوره آماری ۱۳۶۶-۱۳۹۶ (الف: بازه ۶ ماهه، ب: بازه ۱۲ ماهه، ث: بازه ۲۴ ماهه)

Fig 2. Diagram of the relationship between drought and rainfall during the statistical period 1996-2017 (A: 6 months, B: 12 months, C: 24 months)

تحلیل زمین‌آماري

بهترین مدل برای تخمین پارامترهای آب زیرزمینی در نرم‌افزار GS+ 5.1 بررسی شد. در سال آبی ۱۳۸۴-۸۵ مدل کروی برای پارامترهای Na^+ ، SO_4 و TH و مدل نمایی برای پارامترهای TDS ، EC ، CL و SAR از دقت بیشتری برخوردار بودند هم‌چنین در سال آبی ۱۳۹۵-۹۶ مدل گوسین برای پارامتر آنیون SO_4 مدل کروی برای سایر پارامترهای کیفی از دقت تخمین بیشتری برخوردار بودند. مشخصات مدل‌های تخمینی در جدول (۳) ذکر شده است.

سنجش کیفیت آب زیرزمینی

از آنجایی که طی دوره مورد بررسی برای بررسی کیفیت آب به لحاظ شرب، دوره پر بارش یا سال پر بارش وجود نداشت و در ابتدای دوره مورد بررسی وضعیت نرمال و معمولی در منطقه حاکم بوده و از سال‌های میانی تا پایان دوره خشکسالی در منطقه حاکم‌فرا بوده است، لذا جهت بررسی هر یک از سال‌ها، نقشه‌های کیفیت آب به دست آمد و سپس سال آبی ۱۳۸۴-۸۵ به‌عنوان سال معمولی و سال ۱۳۹۵-۹۶ به‌عنوان سال دارای خشکسالی در مقاله

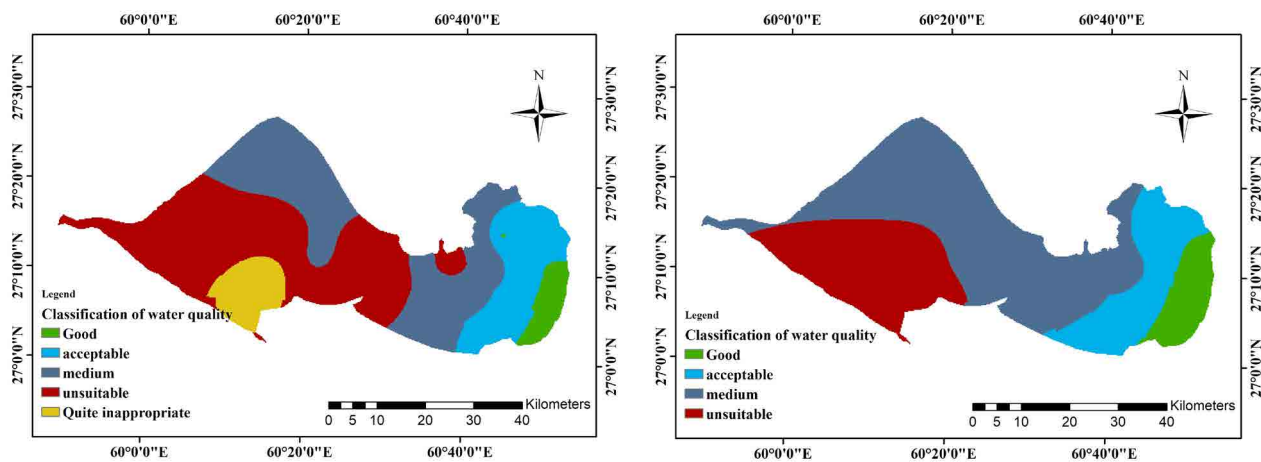
ارائه شدند. در شکل (۳) کلاس‌بندی‌های کیفیت آب زیرزمینی و جدول (۴) مساحت‌های مربوط به کلاس‌های کیفیت آب زیرزمینی دشت ایرانشهر طبق روش شولر نشان داده شده است. بر اساس آنچه ملاحظه می‌شود، کیفیت آب مصرفی از لحاظ شرب در سال آبی ۱۳۸۴-۸۵ به ۴ طبقه (خوب، قابل قبول، متوسط و نامناسب) و در سال آبی ۱۳۹۵-۹۶ به ۵ طبقه (خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب و کاملاً نامطلوب) تقسیم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیش‌ترین تغییرات در قسمت‌های مرکزی و جنوبی آبخوان اتفاق افتاده است.

میزان همبستگی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با خشکسالی در بازه‌های زمانی مختلف سنجیده شد که نتایج آن در جدول (۶) مشاهده می‌شود. هم‌چنین در این پژوهش مقایسه میانگین پارامترهای مورد بررسی در دو سال دارای خشکسالی (۱۳۸۴-۸۵) و سال نرمال (۹۶-۱۳۹۵) با استفاده از آزمون T وابسته در نرم‌افزار SPSS سنجیده شد که نتایج بیانگر معنی‌دار بودن تفاوت تمام پارامترها در سطح ۵ درصد بود. همبستگی میان سطح آب زیرزمینی با بارش هم‌زمان و با تأخیر یک تا شش ماه نیز سنجیده شد که در جدول (۷) مشاهده می‌شود.

جدول ۳- مشخصات مدل‌های برازش شده به نیم تغییر نمای تجربی پارامترها

Table 3. Specifications of fitted models to Experimental Semivariogram of Parameters

پارامتر Parameter	سال آبی Water Year	مدل Model	$C/(C_0+C)$	Nugget (C_0)	Sill (C_0+C)	R^2	RSS
Na^+	2005-2006	کروی Spherical	0.871	0.16100	1.24500	0.941	0.027
	2016-2017	کروی Spherical	0.999	0.00100	0.83100	0.942	0.043
CL^-	2005-2006	نمایی Exponential	0.917	0.08800	2.17900	0.901	0.115
	2016-2017	کروی Spherical	0.999	0.00100	1.37000	0.944	0.159
SO_4^-	2005-2006	کروی Spherical	0.808	0.33000	1.71800	0.664	0.134
	2016-2017	گوسین Gossin	0.747	1.0300	4.0700	0.135	2.77
TDS	2005-2006	نمایی Exponential	0.944	0.10500	1.86400	0.954	0.159
	2016-2017	کروی Spherical	0.999	0.00100	0.87800	0.964	0.020
TH	2005-2006	کروی Spherical	0.619	0.24000	0.63000	0.636	0.033
	2016-2017	کروی Spherical	0.796	0.11800	0.57800	0.497	0.198



ب: سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ (خشکسالی)
B: water year 2016-2017 (drought)

الف: سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ (نرمال)
A: water year 2005-2006 (Normal)

شکل ۳- کلاس بندی کیفیت آب بر اساس طبقه بندی شولر، الف: سال نرمال، ب: سال خشک
Fig 3. Water quality classification based on Schuler classification, A: normal year, B: drought

جدول ۴- مساحت کلاس بندی های کیفیت آب زیرزمینی بر اساس دیاگرام شولر
Table 4. Area of Groundwater Quality Classifications by Schuler Diagram

۱۳۹۵-۹۶ (خشکسالی) 2016-2017 (drought)		۱۳۸۴-۸۵ (نرمال) 2005-2006 (Normal)		کلاس آب Water class
درصد مساحت Percent Area	مساحت (km ²) Area(km ²)	درصد مساحت Percent Area	مساحت (km ²) Area(km ²)	
3.92	94.23	7.53	180.83	خوب Good
14.54	348.85	16.52	396.35	قابل قبول Acceptable
32.91	789.74	50.59	1213.37	متوسط medium
41.75	1001.7	25.34	608.10	نامناسب unsuitable
6.85	160.44	-	-	کاملاً نامطلوب Completely undesirable

جدول ۵- اطلاعات آماری پارامترهای کیفی آب زیرزمینی
Table 5. Statistical information of groundwater quality parameters

۱۳۹۵-۹۶ (خشکسالی) 2016-2017 (drought)			۱۳۸۴-۸۵ (نرمال) 2005-2006 (Normal)			پارامترها Parameters
میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	
22.85	48.69	3.88	19.99	36.09	4.73	Na
17.53	47.70	1.49	12.16	33.46	2.13	CL ⁻
7.37	11.71	1.64	9.49	12.40	2.93	SO ₄ ⁻
2107.61	4673.73	401.40	1535.79	3002.23	343.43	TDS
302.21	739.54	70.23	178.92	230.06	92.34	TH

جدول ۶- همبستگی میان خشکسالی در بازه‌های زمانی مختلف با پارامترهای کیفی آب

Table 6. Correlation between droughts and water quality parameters at different time intervals

	SO4	CL	TDS	TH	Na ⁺
SPI6	-.611**	-.451*	-.549**	-.398	-.564**
SPI12	-.445*	-.592**	-.635**	-.476*	-.631**
SPI24	-.173	-.523*	-.465*	-.364	-.483*

** . Correlation is significant at the 0.01

*. Correlation is significant at the 0.05

جدول ۷- خصوصیات همبستگی میان سطح آب زیرزمینی با بارش

Table 7. Characteristics of the correlation between groundwater level and precipitation

تأخیر زمانی (ماه) Time delay (months)							بارندگی ماهانه Monthly rainfall
۶ ماه قبل 6 months ago	۵ ماه قبل 5 months ago	۴ ماه قبل 4 months ago	۳ ماه قبل 3 months ago	۲ ماه قبل 2 months ago	۱ ماه قبل 1 months ago	بارش هم‌زمان Simultaneous rainfall	
.257**	.194*	.209*	.191*	.188*	.176*	.208*	ضریب همبستگی Correlation coefficient

** . Correlation is significant at the 0.01 level.

— *. Correlation is significant at the 0.05 level.

این کاهش سطح آب باعث افزایش شوری و کاهش کیفیت آب در دشت مورد نظر شده است. این بخش از نتایج با نتایج جلیلی و همکاران [۹]، چیت‌سازان و همکاران [۵] و جهان‌شاهی و همکاران [۸] مبنی بر کاهش کیفیت آب متأثر شده از خشکسالی مطابقت دارد. در پایان پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی با در نظر گرفتن پارامترهای بیش‌تر و بر اساس شاخص‌های کیفی مختلف، کیفیت آب سنجیده شود و در قسمت‌هایی از دشت که کاهش شدید کیفیت آب ملاحظه می‌شود، راه‌کارهایی جهت استفاده بهینه از منابع آب و اجرای طرح‌های استحصال آب اجرا شود. اجرای پروژه‌های بومی استحصال آب از جمله خوشاب و هوتک می‌تواند راهکاری مناسب جهت تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه باشد.

منابع

1. Ahmadi, M.Z. And Behzadi, S. 2016. Evaluation of magnesium changes using neural network and spatial information system in Gonbad villages (Golestan province). Journal of Geographical Information (Sepehr), 25 (99): 42-29. (In Persian)
2. Alipour, A. Rahimi, J. And Azarniwand, A. 2017. Survey of Groundwater Quality for Drinking and Agricultural Use - A Prerequisite for Land Use Planning in Arid and Semi-Arid Areas of Iran, Rangeland and Watershed Management,

بحث و نتیجه‌گیری

خصوصیات آب‌های زیرزمینی به جهت نیاز به نمونه‌برداری کم‌تر و کاهش هزینه نمونه‌برداری‌ها حائز اهمیت می‌باشد [۳۰]. از آنجایی که در دهه‌های اخیر تغییر اقلیم و کمبود بارش باعث ایجاد مشکلات بسیاری شده است، در این پژوهش تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت ابرانشهر جهت مصرف شرب بر اساس روش شولر انجام شد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی کیفیت آب به لحاظ شرب بر اساس روش شولر نشان‌دهنده تغییر کیفیت آب به سمت کاملاً مطلوب است. این در حالی است که در ابتدای دوره آماری کلاس کاملاً نامطلوب مشاهده نمی‌شود. به لحاظ وقوع خشکسالی‌ها در منطقه و همچنین برداشت از آب زیرزمینی و تغذیه نشدن این سفره‌ها، کیفیت آب دچار تنزل شده و از سمت شرق به طرف غرب کیفیت آب کاهش یافته است؛ و بیش‌تر بخش‌هایی که در رده متوسط قرار داشتند در پایان دوره در رده نامناسب و کاملاً نامناسب قرار گرفته‌اند. در این بررسی کیفیت خوب با ۷/۵۳ درصد به ۳/۹۲ درصد کاهش یافته کیفیت هم‌چنین مساحت تحت تأثیر آب قابل قبول و کلاس متوسط نیز کاهش یافته است. این در حالی است که مساحت تحت تأثیر کلاس کیفیت نامناسب از ۲۵/۳۴ درصد به ۴۱/۷۵ درصد رسیده و میزان آن افزایش یافته است و کلاس کیفیت کاملاً نامطلوب با ۶/۸۵ درصد در خشکسالی مشاهده گردید. کاهش بارش و در نتیجه خشکسالی باعث شده است تا با برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی، منابع آب جایگزین نشده و

Bampour River, Journal of Geography and Development, 11 (6): 130-113. (In Persian)

12. Mahmoodi, P. Tavusi, T. And Shahozeui, A. 2015. Drought and its Impact on Surface Water Quality in Sistan and Baluchestan Province, Journal of Water Research in Agriculture, 29 (1): 35-21. (In Persian)

13. Mahsumi, H.R. 2015. Water Resources Survey of Iranshahr Plain. Second National Conference on Soil Mechanics and Engineering, Faculty of Civil Engineering, Qom University of Technology, October 22 and 23, 2015, 7 p. (In Persian)

14. Mazidi, A. And Sultanigard faramarzi, M. 2014. Investigation of the Impacts of Recent Droughts on Groundwater Salinity in the Marvast Area. Second National Conference on Water Crisis, Shahrekord University, 12 p. (In Persian)

15. 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, American Meteorological Society. Anaheim, CA. Boston. MA. 17–22 January, pp: 179 –184.

16. Mohammadyari, F. Tavakoli, M. And Aghdar, h. 2016. Evaluation and Zoning of Groundwater Quality in Mehran and Dehloran Areas by Agriculture by Geostatistical Methods, Irrigation Science and Engineering (Scientific-Research Journal), 39(4) 20-32. (In Persian)

17. Mohammadzadeh, F. Ekhtesasi, M.R. And Hosseini, S.A 2017. Investigation of the Impact of Geological Formations on Groundwater Quality Using Boolean Logic, Case Study: Watershed Basin. Journal of Watershed Engineering and Management, 9 (1): 21-11. (In Persian)

18. Moridi, A. Karachian, R. And Zakaei, M. 2016. Analysis of water quality status of water resources of Iran. Iranian Water Resources Research, 12 (4): 35-23. (In Persian)

19. Mozaffari, Gh.A. And Behzadi Karimi, h. 2017. Estimation of groundwater level in Beyza plain of Fars province. Journal of Geography and Environmental Studies, 6 (21): 163-144. (In Persian)

20. Mullin, M. 2020. The effects of drinking water service fragmentation on drought-related water security, *Science*, 17 (368): 274-277.

21. Nguyen, TT, Kawamura, A. Tong, TN, Nakagawa, N. Amaguchi, H. Gilbuena, R. 2015. Hydrochemical assessment

Iranian Journal of Natural Resources, 70 (2): 434-423. (In Persian)

3. Arsalan H. 2012. Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: The case of Bafra Plain, Turkey. *Agricultural Water Management* 99 (113):57-63.

4. Asadzadeh, F. Kaki, M. Shakiba, S. And Rahi, b. 2016. Impact of drought on the quality and groundwater level in Qorveh and Chahar Dooli. *Iranian Water Resources Research*, 12 (3): 165-153. (In Persian)

5. Chitsazan, M. Mirzaei, S.I. Mohammadi Behzad, H.R. Shaban, M. Ghaffari, H.R. And Mousavi, C.F. 2009. Impact of Drought on the Quantity and Quality of Groundwater Resources (Case Study of Khavis Plain in Northern Khuzestan). Second National Conference on Drought Impacts and its Management Strategies, May 31-31, 2009, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center, Isfahan Governorate of Emergency Situations. (In Persian)

6. Fallahati, A. Soleimani, H. Alimohammadi, M. Dehghanifard, E. Askari, M. Eslami, F. and Karami, L. 2020. Impacts of drought phenomenon on the chemical quality of groundwater resources in the central part of Iran—application of GIS technique, *Environmental Monitoring and Assessment*, 192.

7. Hesami, A. 2016. Study of rainfall changes and volume of groundwater in Marivan plain using GIS, *Journal of Environmental and Water Engineering*, 2 (1): 24-13. (In Persian)

8. Jahanshahi, A. Moghadamnia, A. And Nohtani, M. 2016. Evaluation of the effect of drought on groundwater resources using SPI index. *Journal of Desert Ecosystem Engineering Research*, 5 (10): 98-85. (In Persian)

9. Jalili, C. Sahatsaz, M. Chitsazan, M. 2015. Evaluation and Monitoring of Drought Impacts on Groundwater Resources, Case Study: Abhar Plain, *International Journal of Water Resources Research and Development*, Third Year, 3 (11): 25-35. (In Persian)

10. Jones, E. Michelle, T.H. and Vliet, V. 2018. Drought impacts on river salinity in the southern US: Implications for water scarcity, *Science of The Total Environment*, 644: 844-853.

11. Lashkaripour, Gh. Zare, M. And Shahabi Farad, F. 2005. Impacts of Iranshahr Aquifer on Basin Discharge of

27. Shakiba, A. Mirbagheri, B. And Kheiri, A. 2010. Drought and its Impact on Groundwater Resources East of Kermanshah Province, Geography (Iranian Journal of Geography Association), 8 (25): 20-31. (In Persian)
28. Van Loon AF. 2013. On the propagation of drought. How climate and catchment characteristics influence hydrological drought development and recovery. Ph.D. Thesis. Institute for Environment and Climate Research (WIMEK). Hydrology and Quantitative Water Management. University of Wageningen.
29. Vyas S.S. Bhattacharya B.K, Nigam R, Guhathakurta P, Ghosh K, Chattopadhyay N, and Gairola R.M. 2015. A combined deficit index for regional agricultural drought assessment over semi-arid tract of India using geostationary meteorological satellite data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformatio. 39: 28-39.
30. Zahtabian, Gh. Janfaza, A. Askari, H. And Nehmatolaei, M. 2010. Distribution Modeling of Some Chemical Properties of Groundwater (A Case Study in Garmsar Watershed), Journal of Rangeland and Desert, 17 (1): 61-73. (In Persian)
22. Nohegar, A. Ghashghaeizadeh, N. Heidarzadeh, M. Iedoon, M.R. And Panahi, M. 2016. Drought Assessment and its Impact on Surface and Groundwater Resources (Case Study: Minab River Watershed), Earth Knowledge Research, 7 (27): 28-28. (In Persian)
23. SukKim, J. Jain, S. HeonLee. J. Chen, H. YeonPark, S. 2019. Quantitative vulnerability assessment of water quality to extreme drought in a changing climate, Ecological Indicators, 103: 688-697.
24. Pena-Guerrero M. D. Nauditt, A. Munoz-Robles, C. Ribbe, L. and Meza, F. 2020. Drought impacts on water quality and potential implications for agricultural production in the Maipo River Basin, Central Chile, Hydrological Sciences Journal, 65: 1005-1021.
25. Pourmohammadi, S. Dastoorani, M.T, Jafari, H. Masah Bouzani, A.R, Goodarzi, M. Bagheri, F. And Rahimian, M.H. 2017. Investigation of Meteorological and Hydrogeological Drought Effects on Groundwater Balance of Tuyserkan Plain, Journal of Engineering and Watershed Management, 9 (1): 57-46. (In Persian)
26. Sarhadi M, Nohtani M, and Reiki, M. 2016. Effect of Drought on Qualitative and Quantitative Parameters of Zahedan Plain Aquifer. Ecopersia. 4(4): 1541-1554.

Effect of Drought on Aquifer Quality of Iranshahr Plain Using SPI Index and Schuler Method

S. Kherad narooei¹, E. Rohimoghaddam², M. Nohtani³ and H. Sargazi⁴

Received: 05-06-2020 Accepted: 22-12-2020

Abstract

Recent droughts have caused a decline in the level of groundwater aquifers, which has affected water quality and usability. The aim of this study was to investigate the effect of drought on groundwater quality in Iranshahr plain aquifer. In this study, drought rates were studied using the statistics of Iranshahr synoptic station during the 30-year statistical period (1987-2017) based on SPI index in DIP software, for 6 to 24 months' time series. Water quality was studied for 16 piezometer wells and 6 aqueducts during 2005-2017. Also, the top four models of semi-spherical, exponential, linear and Gaussin were evaluated using GS + 5.1 software. Then zoning maps of groundwater quality parameters were prepared using the models detected in ArcGIS 10.4.1. The results showed that during the period 1987-2016, normal drought has been dominated in the plain. Drinking water quality is divided into 4 classes in wet hydrological years (2005-2006) and 5 classes in drought (2016-2017). Good quality in terms of drinking decreased from 7.53 percent to 3.92 percent. Water quality has decreased from east to west of the region and the percentage of suitable and usable classes has decreased.

Keywords: *Drought, Wilcox, Schuler diagram, Geostatistics, Iranshahr Plain*

1. M.Sc. Graduate, in Watershed Science and Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran

2. Associate Professor Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

3. Corresponding Author and Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran, Email: m.nohtani@uoz.ac.ir

4. Ph.D of De-Desertification, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan and Senior Expert of FRWO in Sistan and Baluchestan Province, Zahedan, Iran