

## بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SPI (مطالعه موردی: دشت کاشان)

علی آل بوعلی<sup>۱</sup>، رضا قضاوی<sup>۲\*</sup>، سید جواد ساداتی نژاد<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱/۲۳

### چکیده

آب‌های زیرزمینی منابع با ارزش تأمین آب در ایران و جهان است. خشکسالی به‌عنوان یک بلای طبیعی و پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر از دیرباز در مناطق واقع در اقلیم‌های گرم و خشک به‌طور متناوب به‌وقوع پیوسته و خسارات زیادی در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به همراه داشته است. از جمله خسارات خشکسالی، افت سطح آب زیرزمینی می‌باشد. در این تحقیق، روند تغییرات خشکسالی که خود نیز رابطه تنگاتنگی با میزان بارش منطقه دارد، با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و معیارهای مشتق شده از آن مانند طولانی‌ترین دوره خشکسالی، تعداد ماه‌های مواجه با خشکسالی و بزرگی خشکسالی (DM) در دشت فوق بحرانی کاشان مورد مطالعه قرار گرفت. سپس براساس شاخص SPI تأثیر خشکسالی بر افت آب زیرزمینی بررسی شد. برای بررسی ارتباط بین خشکسالی و افت آب زیرزمینی، بازه زمانی ۱۳۷۰-۱۳۸۹ براساس آمار موجود و سال‌های مشترک انتخاب شد. نتایج بررسی نشان داد که علاوه بر خشکسالی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در دشت مذکور عامل افت سطح آب زیرزمینی است و سهم برداشت بی‌رویه در افت سطح آبخوان به مراتب بیش از خشکسالی است.

**کلمات کلیدی:** خشکسالی، آب زیرزمینی، آبخوان کاشان، SPI.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۲. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان / Email: ghazavi@kashanu.ac.ir

۳. دانشیار دانشگاه تهران

## مقدمه

آبخوان‌ها مطابقت ندارد. در نتیجه در چند سال اخیر، افت کمی و کیفی و به هم خوردن تعادل منابع آب زیرزمینی مشاهده می‌شود و در اکثر آبخوان‌ها، بیلان آب منفی بوده و کیفیت آب نیز به شدت افت کرده است (ضیاء، ۲۰۰۴). قرارگیری ایران در نواحی خشک یا بیابانی سبب شده است که به‌طور طبیعی در آن، سال‌های با مقدار بارندگی کمتر از میانگین به مراتب بیشتر از سال‌های با مقدار بارندگی بیش از میانگین طولانی مدت سالانه باشد. تحقیقات گسترده‌ای توسط محققان خارجی و داخلی در زمینه خشکسالی و اثرات آن بر منابع آب صورت گرفته است. شکلیا و همکاران (۲۰۱۰) خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه را با استفاده از شاخص SPI در طی دور/ آماری ۳۰ ساله مورد بررسی قرار داده و ضریب همبستگی بین دو پارامتر مذکور را محاسبه کردند. نتایج بررسی آنان نشان داد که تمام ایستگاه‌ها در منطقه مورد نظر، با خشکسالی مواجه هستند. ایمانی و همکاران (۲۰۱۲)، به بررسی آثار خشکسالی بر تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد با استفاده از SPI و GRI در یک دوره بیست و سه ساله (۱۳۶۹-۱۳۹۲) پرداختند و نتایج ایشان نشان‌دهنده افت شدید به‌خصوص در ده سال اخیر و رابطه بین شاخص SPI در مقیاس زمانی درازمدت به‌خصوص ۴۸ ماهه با سطح ایستابی آبخوان دشت است. این نتایج نشان می‌دهد که رابطه معنی‌داری در مقیاس زمانی درازمدت بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدروژئولوژیکی دشت وجود دارد. مندسینو<sup>۲</sup> و سناتور (۲۰۰۸)، در پژوهشی شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) را برای مناطق کالابریا<sup>۳</sup> با اقلیم مدیترانه‌ای برای دوره ۴۵ ساله به‌کار بردند و با SPI منطقه مقایسه نمودند و به این نتیجه رسیدند که همبستگی GRI با SPI در مقیاس زمانی طولانی‌تر مناسب‌تر است. دیلیپ<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی تأثیر خشکسالی روی سطح آب زیرزمینی در کشور هند (اورسیا) پرداختند. ایشان سطح آب را در ۱۰۰۲ ایستگاه قبل و بعد از بادهای موسمی در طول دوره آماری ۱۹۴۳ تا ۲۰۰۳ مورد بررسی و آنالیز قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که اراضی پایین‌دست به‌دلیل کمبود بارش در طول سال‌های خشک، دمای بالا و

نودوهفت درصد از آب‌های موجود در کره زمین را آب‌های شور اقیانوس‌ها تشکیل داده و ۳ درصد باقی‌مانده آن، آب شیرین است. دوسوم از آب‌های شیرین نیز به شکل یخ در نواحی قطبی و کوهستانی متمرکز شده و از یک‌سوم باقی‌مانده، کمتر از ۲ درصد به‌صورت آب‌های سطحی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و مابقی به‌صورت آب زیرزمینی است (اسیماکوپولوس<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵). بحران آب یکی از مهم‌ترین مسائل موجود در مدیریت جوامع انسانی و محیط‌زیست محسوب می‌شود که تقریباً تمامی ارکان وجودی توسعه در سطوح بین‌المللی، منطقه‌ای، ملی و ناحیه‌ای را به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر قرار می‌دهد. در ایجاد و تشدید این بحران، عوامل متعدد انسانی و طبیعی مانند الگوی مصرف آب، نحوه بهره‌برداری از منابع آب، محل مصرف آب، تکنولوژی مصرف، میزان بارش‌های جوی، پدیده‌های اقلیمی، ساختار زمین‌شناسی و غیره مؤثر هستند (رحیمی و همکاران، ۲۰۰۹). حدود ۸۵ درصد از مساحت کشور ایران، دارای اقلیم خشک بیابانی، نیمه‌خشک و فراخشک است (غفوری، ۲۰۰۳). همچنین میزان بارندگی سالیانه کشور ایران، حدود ۲۴۰-۲۶۰ میلی‌متر و کمتر از یک‌سوم متوسط بارندگی سالیانه جهان (۸۷۰ میلی‌متر) است. از طرفی توزیع بارندگی در کشور از نظر زمانی و مکانی یکنواخت نیست (علیزاده، ۲۰۰۴)، به گونه‌ای که فقط ۱ درصد از مساحت ایران، بارشی بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر و ۲۸ درصد از سطح کشور، بارش سالیانه کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر دارد. همچنین حدود ۶۷ درصد از جریان‌های سطحی، فقط در ۱۶ رودخانه کشور جریان دارد. به عبارتی بیش از دوسوم منابع آب تجدیدشونده در کشور، در یک‌سوم مساحت قرار گرفته است (غفوری، ۲۰۰۴). در حال حاضر حدود ۵۵ درصد نیاز آبی کشور، از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. این در حالی است که سهم تغذیه آبخوان‌ها توسط نزولات جوی، تنها ۳۵ میلیارد مترمکعب است. اگر برای مصارف سالانه کشور، رقم ۱۲۰ میلیارد مترمکعب پذیرفته شود، حدود ۶۶ میلیارد مترمکعب آن از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود که به هیچ وجه با تغذیه

2. Mendicino & Senatore  
3. Calabria  
4. Dileep

1. Assimacopoulos

خشکسالی اقلیمی و خشکسالی کشاورزی، همیشه یک تأخیر زمانی (چهارساله در این منطقه) وجود دارد. نادریان و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی به بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوزه آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف پرداختند. ایشان برای یافتن اثرات بارندگی و شرایط اقلیمی بر روی نوسانات سطح آب زیرزمینی از داده‌های بارندگی ۲۲ ایستگاه باران‌سنجی و تبخیرسنجی در طول دوره ۱۳۵۲-۱۳۸۵ استفاده کردند و با روش IDW، مقدار متوسط بارندگی دشت را محاسبه کردند. سپس برای یافتن همبستگی بارندگی و سطح آب زیرزمینی از روش تفاضل‌گیری و برون‌یابی و برای یافتن ترسالی و خشکسالی از شاخص SPI استفاده کردند. ایشان در نهایت به این نتیجه رسیدند که شاخص SPI با مقیاس زمانی بلندمدت ۴۲ ماهه از همبستگی بیشتر ( $R^2=0/62$ ) با سطح آب زیرزمینی برخوردار است. خان<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی وضعیت خشکسالی در اراضی زراعی یکی از حوضه‌های کشور استرالیا با سطح آب زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که علی‌رغم اینکه منابع آب زیرزمینی نواحی و سطح آب SPI مختلف مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، در موارد زیادی بین شاخص آب زیرزمینی و شاخص خشکسالی ارتباط قوی وجود دارد.

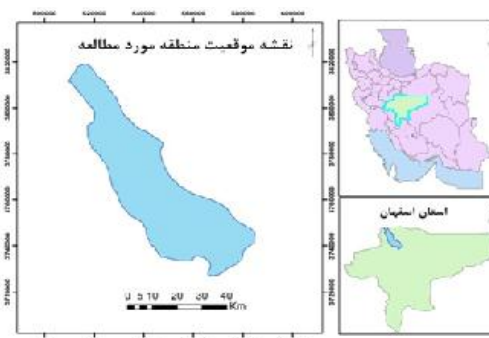
با توجه به خشکسالی‌های اخیر به‌خصوص در مناطق مرکزی کشور، مطالعه تأثیر این خشکسالی‌ها بر منابع آب بسیار حائز اهمیت است. دشت کاشان در منطقه آب‌وهوایی خشک و نیم‌خشک قرار گرفته و منابع آب زیرزمینی این دشت دچار افت چشمگیری شده است. هدف از انجام این مطالعه بررسی تأثیر خشکسالی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت کاشان است. به این منظور ابتدا میزان آسیب‌پذیری شش ایستگاه هواشناسی واقع در منطقه مطالعاتی نسبت به خشکسالی براساس شاخص SPI تعیین شد. سپس رابطه شاخص SPI با عمق آب‌های زیرزمینی منطقه به صورت ماه به ماه مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این رابطه و تأثیرات آن، پیشنهادهای در راستای بهبود وضعیت دشت فوق بحرانی مورد مطالعه ارائه شد.

فشارهای انسانی حتی در سال‌های مرطوب نیز تغذیه و احیا نشده‌اند. پولمو و کاسانو<sup>۱</sup> (۲۰۰۸) به بررسی تغییر اقلیم، خشکسالی و دسترسی آب زیرزمینی در ایتالیا جنوبی پرداختند. ایشان با استفاده از روش‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی (برای تقسیم منطقه مورد مطالعه به بخش‌های همگن)، آنالیز روند و آزمون‌های آماری t-استیودنت و من‌کندال و آنالیز همبستگی داده‌ها به این نتیجه رسیدند که روند دسترسی به منابع آب زیرزمینی آن‌قدر منفی است که می‌توان وضعیت را برای کاربران آب وخیم دانست. آن‌ها نشان داده‌اند که این مسئله نه فقط به دلایل طبیعی (بارش و تغذیه کم)، بلکه به دلیل افزایش تخلیه به‌وسیله چاه‌ها برای جبران عدم دسترسی به آب‌های سطحی به دام انداخته‌شده توسط سدها نیز بوده است. چیت‌سازان و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی تأثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی در دشت خویس در شمال خوزستان پرداختند. ایشان به منظور تحلیل زمانی از هیدروگراف واحد دشت و جهت تحلیل مکانی از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و برای بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی از کموگراف بهره گرفتند. در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل‌های زمانی و مکانی، همچنین تحلیل کموگراف، مؤید تأثیر خشکسالی اخیر بر روی نزول سطح آب زیرزمینی و پایین‌آمدن کمیت و کیفیت آبخوان مورد مطالعه بود. اسلامیان و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی و اثرات آن بر تغییرات منابع آب حوزه آبخیز دشت بوئین پرداخته و با ایجاد ضریب همبستگی در تأخیرهای زمانی ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ ماهه برای سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲ طی ۳۶ ماه تأثیر تغییرات بارندگی را بر سطح آب‌های زیرزمینی بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که بین واقعه‌های جوی و تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه، ارتباط معنی‌داری وجود دارد. در این مطالعه، بیشترین همبستگی بین ریزش‌های جوی و سطح آب سفره‌های زیرزمینی با تأخیر سه‌ماهه مشاهده شد. طالبی و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی اثر خشکسالی بر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و آب‌دهی قنوت در دشت بهاباد یزد با استفاده از شاخص اقلیمی SPI و شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) به این نتیجه رسیدند که بین وقوع

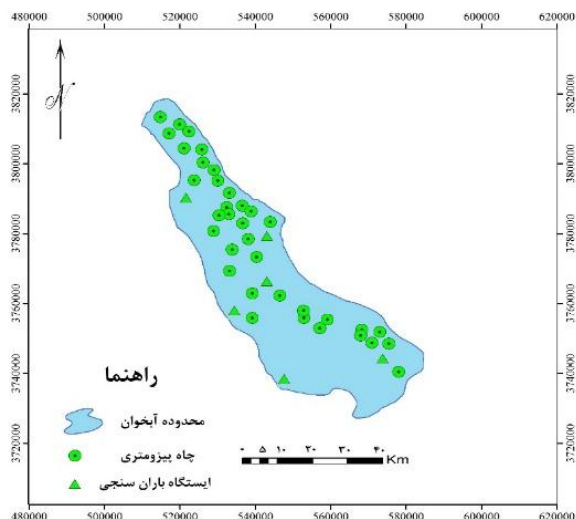
## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

دشت کاشان به وسعت ۱۵۷۰/۲۳ کیلومتر مربع در دامنه کوه‌های کرکس و حاشیه کویر مرکزی ایران و در حدود ۲۴۰ کیلومتری جنوب تهران و بین مختصات جغرافیایی ۵۱/۵۴ و ۵۱/۰۵ درجه طول شرقی و ۳۳/۴۵ و ۳۴/۲۳ درجه عرض شمالی قرار دارد. این حوضه از شمال و شمال غربی به محدوده قم، از جنوب غربی به محدوده مویه، از جنوب به دشت نطنز و از شرق به محدوده دریاچه نمک محدود می‌شود. حداکثر ارتفاع دشت کاشان از سطح دریا، ۱۲۰۰ متر در قسمت حاشیه‌های غربی دشت و حداقل ارتفاع آن، ۸۰۰ متر در حاشیه کویر است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت منطقه دشت کاشان در ایران و استان اصفهان



شکل (۲): نقشه موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و چاه‌های پیرومتری دشت کاشان

جدول (۱): موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده برای بررسی

## شاخص خشکسالی SPI

ردیف	نام ایستگاه	$Y_{UTM}$	$X_{UTM}$
۱	امورآب کاشان	۳۷۶۵۰۱۶	۵۴۱۸۶۴
۲	سن سن	۳۷۸۹۹۲۶	۵۲۴۰۰۴
۳	فین	۳۷۵۶۰۰۵	۵۳۴۲۷۳
۴	محمدآباد	۳۷۴۴۶۰۷	۵۷۰۷۱۰
۵	گیرآباد	۳۷۳۸۱۵۰	۵۴۶۲۶۲
۶	نوش آباد	۳۷۷۳۹۰۶	۵۳۶۸۹۰

## روش تحقیق

در مطالعه حاضر، ابتدا خشکسالی اقلیمی دشت کاشان با شاخص SPI در دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۹-۱۳۸۹) مورد مطالعه قرار گرفت و سپس تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه نسبت به این شاخص مورد مطالعه قرار گرفت. آماده کردن داده‌ها شامل بازسازی و انجام آزمون همگنی داده‌ها با کمک نرم‌افزارهای EXCL و SPSS و نرمال‌سازی داده با برنامه MINTAB v.14 انجام شد.

## شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI نمایه‌ای است که بستگی به احتمال بارش برای هر زمان و مقیاس داشته و برای مقیاس‌های زمانی گوناگون قابل محاسبه بوده و می‌تواند هشدار اولیه برای بروز خشکسالی و

میزان بارندگی سالانه در منطقه، از ۷۵ میلی‌متر در حاشیه دریاچه نمک تا بیش از ۳۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات جنوب غربی کاشان متغیر است. حدود ۴۷/۶۷ درصد بارندگی سالانه در فصل زمستان و ۳۲/۰۴ درصد بارندگی سالانه در فصل بهار نازل می‌شود. به دلیل خشک و نیمه‌خشک بودن منطقه، منابع آب سطحی قابل ملاحظه‌ای وجود ندارد و آب‌های زیرزمینی، اصلی‌ترین منابع تأمین آب منطقه به‌شمار می‌رود. در دشت کاشان شش ایستگاه هواشناسی و ۳۶ چاه پیرومتری وجود دارد که در این مطالعه از آن‌ها استفاده شد. در شکل (۲) موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و چاه‌های پیرومتری دشت و در جدول (۱) مختصات و نوع ایستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه نشان داده شده است.

که در آن،  $Z$  پارامتری است که مقدار آن براساس اولین ماه خشکسالی، از عدد یک شروع و به تعداد ماه‌های یک رویداد خشکسالی ( $X$ ) افزایش می‌یابد.  $SPI_{ij}$  شاخص خشکسالی ماه‌های کمتر از ۱- براساس مقیاس زمانی ۱ در ماه  $Z$ ام خشکسالی است.

باتوجه به اینکه در هر ایستگاه امکان رخداد دوره‌های مختلف خشکسالی در طول ۲۰ سال آماری وجود دارد، لذا برای شناخت و درک بهتر از وضعیت آسیب‌پذیری هر ایستگاه بر اثر خشکسالی مجموع DM دوره‌های مختلف خشکسالی محاسبه شد.

### ارتباط شاخص SPI با آب زیرزمینی

در ارزیابی رابطه خشکسالی با ارتفاع آب زیرزمینی به دلیل اینکه داده‌های مربوط به چاه‌های پیرومتری موجود در دشت، دارای طول دوره آماری از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ بود، نمودارهای مربوط به سطح آب زیرزمینی و شاخص خشکسالی نیز در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ تهیه و برای ارزیابی میزان همبستگی میان عمق آب زیرزمینی و مقدار SPI در هر ماه از فرمول ضریب همبستگی مطابق رابطه (۳) استفاده شد:

$$\rho_{xy} = \frac{\text{COV}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3)$$

که در آن X مقدار شاخص SPI در ماه خاص و Y سطح آب زیرزمینی در همان ماه است.

با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه تعداد چاه‌های پیرومتری بسیار بیشتر از ایستگاه‌های هواشناسی است، ضریب همبستگی میان سطح آب هر چاه پیرومتری و نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به آن چاه محاسبه شد.

### نتایج

در این تحقیق برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری بر اثر خشکسالی سه معیار طولانی‌ترین دوره، تعداد ماه‌های مواجه با خشکسالی و مجموع بزرگی خشکسالی (DM) برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است.

کمک به ارزیابی شدت آن باشد. مقدار مثبت این شاخص نشان‌دهنده بارندگی بیش از بارندگی میانه بوده و مقدار منفی معنای عکس آن را دارد (مک کی، ۱۹۹۳). مقدار شاخص از رابطه (۱) قابل محاسبه است.

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

که در آن SPI شاخص بارندگی سالانه،  $P_i$  مقدار بارندگی در دوره مورد نظر،  $\bar{P}$  میانگین بلندمدت بارش، SD انحراف معیار بارندگی در طول دوره آماری است.

پس از محاسبه میزان شاخص، وضعیت خشکسالی از جدول (۲) برآورد می‌شود:

جدول (۲): طبقه‌بندی شاخص بارندگی استاندارد شده

SPI	وضعیت
$2 \geq$	فرامرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	بسیار مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	نسبتاً مرطوب
۰/۹۹- تا ۰/۰۹۹	نزدیک نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	نسبتاً خشک
-۱/۵ تا -۱/۹۹	بسیار خشک
$\leq -2$	فراخشک

معیارها و مقیاس‌های مختلفی برای نمایش تأثیرات کمبود بارندگی بر منابع آبی مختلف طراحی شده‌اند. از آنجایی که در این تحقیق وضعیت منطقه در برابر خشکسالی و همچنین رابطه خشکسالی با آب‌های زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفت، مقیاس سالانه برای محاسبه شاخص SPI انتخاب شد. همچنین این شاخص براساس داده‌های طولانی مدت بارندگی به دست می‌آید. براساس شاخص SPI رویداد یک خشکسالی در مقیاس زمانی ۱ به دوره‌ای است که در آن SPI به‌طور پیوسته منفی بوده و مقدار آن ۱- یا کمتر باشد (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳). یکی از موارد قابل بررسی در شاخص SPI محاسبه میزان بزرگی خشکسالی (Magnitude Drought) در هنگام وقوع خشکسالی است که مقدار آن براساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$DM = - \sum_{j=1}^x SPI_{ij} \quad (2)$$

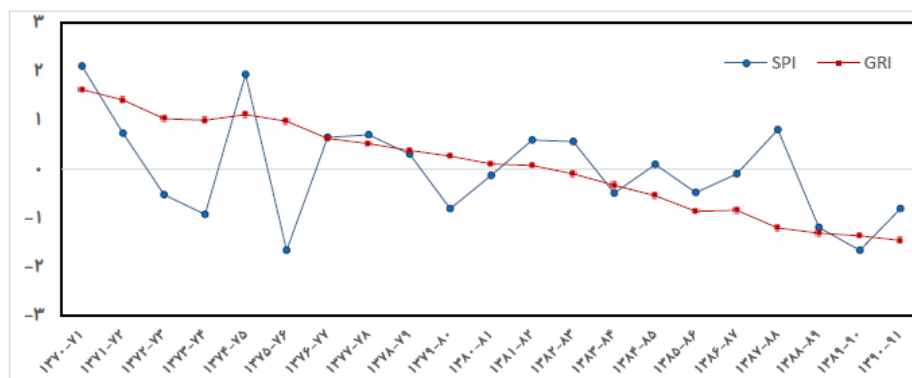
جدول (۳): معیارهای خشکسالی در هریک از ایستگاه‌ها

ردیف	نام ایستگاه	مجموع DM	طولانی‌ترین دوره (ماه)	تعداد ماه‌های مواجهه با خشکسالی
۱	امور آب کاشان	۴۰/۵۵	۸	۲۶
۲	سن سن	۵۴/۵۱	۱۱	۳۵
۳	فین	۶۴/۴۱	۱۲	۳۹
۴	محمدآباد	۵۹/۵۴	۷	۴۰
۵	گیرآباد	۵۱/۰۸	۱۱	۳۶
۶	نوش‌آباد	۵۳/۳۶	۱۱	۲۷

وضعیت مطلوبی قرار ندارد که دلیل آن می‌تواند بهره برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی باشد. نمودار ماهانه مقدار SPI برای ۶ ایستگاه منطقه مطالعاتی در دوره آماری مورد مطالعه بررسی شد. در بحث رابطه خشکسالی و آب زیرزمینی، نمودارهای شاخص SPI مربوط به ایستگاه‌ها و میانگین وزنی سطح آب زیرزمینی چاه‌های مربوط به آن در دوره زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ شکل (۴) نشان داده شده است. این نمودارها مربوط به هر ایستگاه و نزدیک‌ترین چاهی است که بیشترین میزان همبستگی را با شاخص‌های SPI آن ایستگاه داشته است. برای مشاهده بهتر تغییرات و میزان همبستگی، میانگین شاخص SPI و سطح آب زیرزمینی ترسیم شده است (شکل ۴). با توجه به شکل (۴) شدیدترین خشکسالی در ایستگاه امور آب کاشان در ابتدای دوره آماری در سال آبی ۱۳۷۰-۱۳۷۱ و در اواسط دوره در سال ۱۳۷۹-۱۳۸۰ رخ داده است. در سایر سال‌های آماری خشکسالی نرمال و ترسالی اتفاق افتاده است. سطح آب زیرزمینی از ابتدا تا انتهای دوره، روند کاهشی خود را در پیش گرفته و از سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۸۱ از میانگین درازمدت سطح آبخوان پایین‌تر رفته و از این سال به بعد کاهش جدی‌تری پیدا کرده است (شکل ۴-ا). ایستگاه سن سن نشان می‌دهد که شدیدترین خشکسالی در سال آبی ۱۳۷۶-۱۳۷۷ و ۱۳۷۹-۱۳۸۰ رخ داده که در سال ۱۳۷۶-۱۳۷۷ تداوم بیشتری داشته است. خشکسالی زیرزمینی از سال ۱۳۸۱-۱۳۸۲ از سطح میانگین طولانی‌مدت پایین‌تر رفته (منفی شده) است (شکل ۴-ب).

چنان‌که در جدول (۳) نیز دیده می‌شود، ایستگاه فین با مجموع ۶۴/۴۱ بیشترین میزان DM و ایستگاه امور آب کاشان با مجموع ۴۰/۵۵ کمترین میزان DM را به خود اختصاص می‌دهد. در رابطه با شاخص طولانی‌ترین دوره خشکسالی، ایستگاه فین با تداوم دوره دوازده ماهه طولانی‌ترین و ایستگاه محمدآباد با تداوم هفت ماهه کمترین تداوم دوره خشکسالی را دارند. درخصوص تعداد ماه‌هایی که در مقیاس زمانی ۲۴ ماه با خشکسالی مواجه هستند، ایستگاه محمدآباد با ۴۰ ماه بیشترین تعداد ماه‌های مواجه با خشکسالی و ایستگاه امور آب کاشان با ۲۶ ماه کمترین تعداد ماه مواجهه با خشکسالی در منطقه را دارند.

شکل (۳) رابطه بین شاخص خشکسالی هواشناسی سالانه مورد مطالعه و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی سالانه مورد مطالعه را برای کل منطقه نشان می‌دهد. براساس نتایج از ابتدای دوره آماری مورد مطالعه تا سال ۱۳۸۰، خشکسالی اقلیمی و هیدروژئولوژیکی رابطه مستقیمی با هم دارند. اما از سال ۱۳۸۰ به بعد، علی‌رغم وضعیت مطلوب بارندگی، سطح آب زیرزمینی در

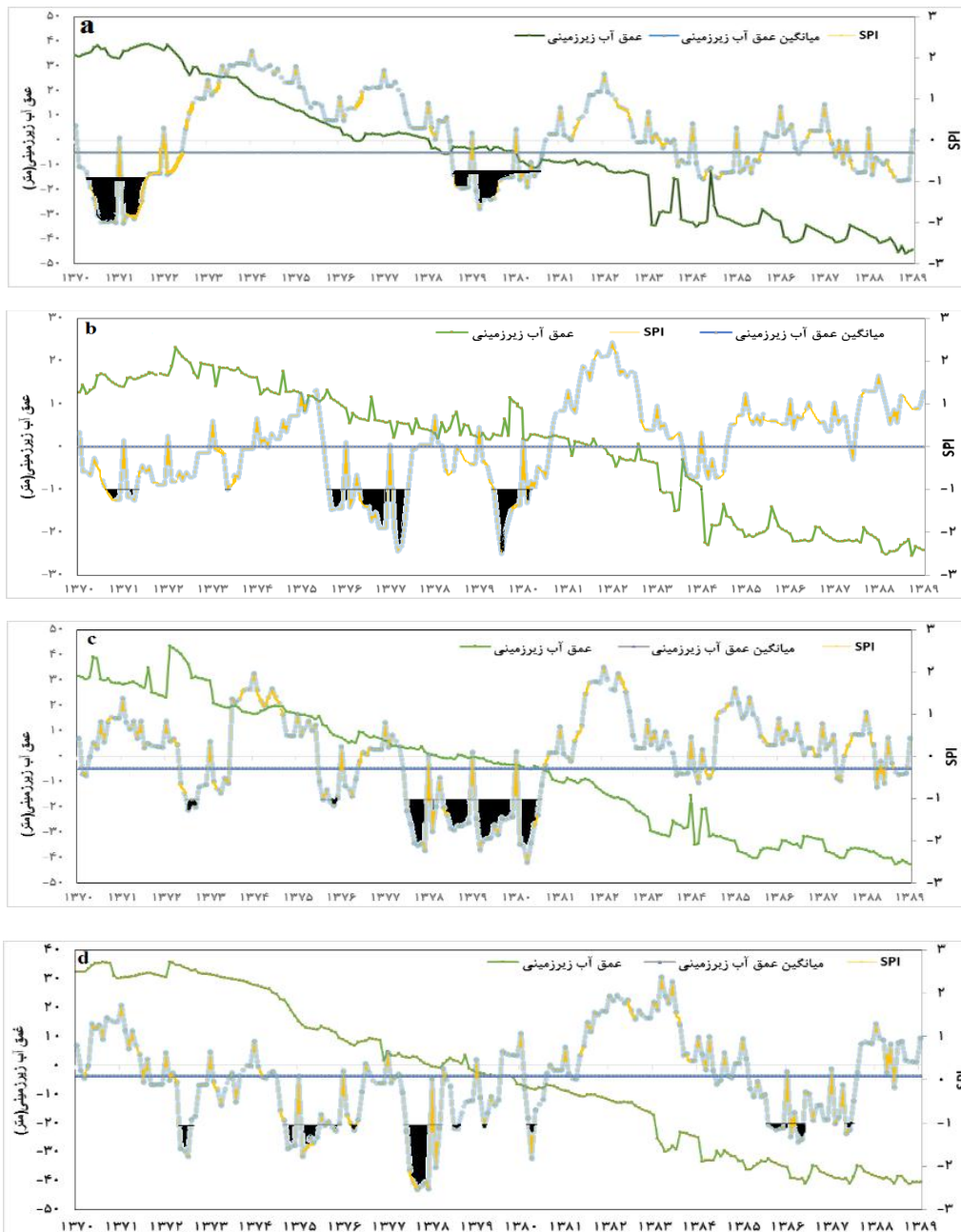


شکل (۳) نمودار میانگین تغییرات شاخص خشکسالی هواشناسی سالانه مورد مطالعه و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی سالانه مورد مطالعه برای کل منطقه



ایستگاه محمدآباد خشکسالی‌های مکرر در سال‌های مختلف رخ داده و شدیدترین خشکسالی در سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸ رخ داده که تداوم زیادی نداشته است. در این ایستگاه خشکسالی هیدروژئولوژیکی از سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ شروع شده است (شکل ۴-d).

ایستگاه فین بیشترین ماه‌های مواجهه با خشکسالی و همچنین بیشترین تداوم که بین سال‌های ۱۳۷۷-۱۳۷۸ و ۱۳۸۰-۱۳۸۱ را در بین ایستگاه‌های مورد بررسی داشته است که آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۰-۱۳۸۱ تحت تأثیر خشکسالی هواشناسی قرار گرفته و از این سال به بعد کاهش شدیدتری داشته است (شکل ۴-c).



شکل (۴): تغییرات شاخص SPI و سطح آب زیرزمینی در ایستگاه امورآب (a)، سن سن (b)، فین (c)، محمدآباد (d)، گبرآباد (e)، نوش‌آباد (f)

در ادامه، برای بررسی ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و ضریب همبستگی میان ارتفاع سطح آب چاه‌های پیزومتری و میزان نوسان عمق آب در چاه‌های پیزومتری در دشت کاشان، نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به آن نیز محاسبه شد که نتایج آن

در جدول (۴) ارائه شده است. به علت حجم زیاد داده‌ها تنها اطلاعات چاه‌های دارای ضریب همبستگی زیاد ارائه شده است. در کل منطقه مورد مطالعه از مجموع ۳۶ چاه پیزومتری دارای

اطلاعات کامل تنها در شش مورد ضریب همبستگی مثبت بود و میانگین ضریب همبستگی در کل چاه‌های پیزومتری و ایستگاه‌های مربوط به هریک برابر ۰/۱- می‌باشد.

جدول (۴): ضریب همبستگی عمق آب زیرزمینی و مقدار SPI ۲۴ ماهه

ردیف	نام ایستگاه	نزدیک‌ترین چاه پیزومتری	ضریب همبستگی ( $R^2$ )
۱	امور آب کاشان	شمال مزرعه نو	-۰/۳۲
۲	سن سن	شرق آب‌شیرین	-۰/۲۵
۳	فین	لنجر	-۰/۳۱
۴	محمدآباد	شرق محمدآباد	-۰/۴۳
۵	گیرآباد	غرب ابوزیدآباد	-۰/۱۹
۶	نوش‌آباد	جعفرآباد	-۰/۲۲

### نتیجه‌گیری

داده‌های بارندگی از جمله داده‌هایی است که به‌طور گسترده در ارزیابی خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تغییرات بارش معیار مناسبی برای ارزیابی منابع آبی است و تأثیرات خشکسالی را در دوره‌های مختلف مکانی و زمانی نشان می‌دهد (استین من<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۶).

با توجه به نتایج می‌توان گفت که هر دو نوع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی در دشت کاشان حاکم بوده است. به‌طوری‌که خشکسالی هواشناسی (اقلیمی) خود را به‌صورت مکرر با نوسان تقریباً سینوسی نشان داده، ولی خشکسالی آب زیرزمینی روندی کاهشی داشته و با گذشت زمان این کاهش شدیدتر شده است. در حالت کلی، آب زیرزمینی در ابتدای دوره بیشترین مقدار (سطح بالا) و در اواخر دوره آماری کمترین مقدار (پایین‌ترین سطح) داشته است. در بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر آب زیرزمینی با استفاده از همبستگی آماری (جدول ۴) با وجود معنی‌دار بودن رابطه بین این دو پارامتر از لحاظ مقداری اعداد نسبتاً کم بوده (حداکثر ضریب همبستگی برابر ۰/۴۳) است. از این همبستگی می‌توان چنین گفت که آب زیرزمینی علاوه بر خشکسالی هواشناسی، تحت تأثیر عوامل دیگری قرار گرفته که نقش این عوامل بیشتر از خشکسالی است. با بررسی مطالعات و

تحقیقات مشابه در دشت مذکور و همچنین با استناد به گزارش سازمان آب منطقه‌ای کاشان در سال ۱۳۹۰، مهم‌ترین عامل کاهش شدید سطح آبخوان دشت کاشان برداشت نامتوازن و بی‌رویه از آبخوان جهت مصارف مختلف از جمله کشاورزی می‌باشد. به‌طور مثال عباس‌نژاد و شاهی‌دخت (۲۰۱۲) با بررسی دشت سیرجان به این نتیجه رسیدند که علاوه بر خشکسالی، برداشت بیش از اندازه از آبخوان، عامل اصلی افت سطح سفره دشت است. به همین دلیل این عامل در تحقیق حاضر باعث ایجاد کاهش ضریب همبستگی و اختلاف روند نمودار دو شاخص خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی در سال‌های اخیر شده است. این موضوع به مدیریت منابع آب در حوضه مطالعه کمک مضاعف نموده تا بتوان برای کنترل و تعدیل خشکسالی، راهکارهای مناسبی ارائه کرد. نتایج تحقیق در منطقه نشان داد که بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی یک تأخیر زمانی دوساله وجود دارد. وقوع یک سال بسیار کم باران حتی با نرمال بودن بارش در دو سال بعد از آن می‌تواند تأثیرات منفی درازمدتی بر منابع آب زیرزمینی بگذارد. آگاهی از این مسئله می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان برای مدیریت بهینه منابع آب کمک زیادی کند.



## منابع

1. Abbasnejad A; Shahidokht A. 2013. Study of the vulnerability of Sirjan plan with attention to over extraction of groundwater. *Geography and territorial spatial management*. 3(7):85-96.
2. Alizadeh A. 2004. *Principal of applied hydrology*. 16th addition .Ferdowsi University of Mashhad. 816p.p
3. Assimacopolous, D,(2005) *An Integrated Decision Support System for Evaluation of Water Management Strategies*, <http://environ.chemeny.ntua.gr>.
4. Chitsazan, M., Saatsaz, M., 2005. Application of MOFLOW model in water resources management in Ramhormoz plain, Shahid chamran University *Journal of science*. 14 (1); 1-16
5. Dileep, K. Panda, Mishra, A., Jena, S.K., James, B.K. Kumar, A,(2007) *The Influence of Drought and Anthropogenic Effects on Groundwater Levels in Orissa, India* *Journal of Hydrology* .343: 140–153.
6. Eslamian S. S; Nasri M; Rahimi N. 2009. *Wet and Dry Periods and it's Effects on Water Resources Changes in Buin Plain Watershed*. *Geography and Environmental Planning*. 33(1):79-90.
7. Ghafori S. 2003. *Development of water resource management in Iran for drought management*. 3<sup>th</sup> conference of water resources management in Iran. University of Tabriz.
8. Imani M, Talebi A. 2012. *Study the eeffects of drought on groundwater level change in Bahabad plain using GRI and SPI indexes*.4<sup>th</sup> Iran Water Management Conference. AmirKabir University. Tehran. Iran
9. Khan, S., Gabriel, H.F., Rana, T, ( 2008). *Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas*, *IrrigDrainageSyst*, 159–177, online at: Springer Science + Business Media B.V.
10. McKee, Thomas B., Doesken, Nolan J., Kleist, John, (1993) *The relationship of drought frequency abd duration to time scales*, Eighth Conference on Applied Climatology, Department of Atmospheric Science Colorado State University Fort Collins.
11. Mendicino, G., And Senatore, A, (2008). *A Ground water resourse index (GRI) for drought motitoring and forecasting in a Mediterranean climate* .*j.of hydrology*.357,282-302.
12. Naderiyanfar M; Ansari h; Ziyai A; Davari K. 2012. *Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin Neyshabour*. *Irrigation & Water Engineering*. 3: 22-37.
13. Polemo, M., Casano, D, (2008) *Climate Change, Drought and Ground water Availability in Southern Italy*, Geological Society, London. special publication , 288: 39-51,doi:10.1144/SP2.
14. Rahimi D; Movahedi S; Barghi H.2009. *Study of drought intensity using SPI ( A cas study; Systan and Blochestan Provence)* . *Geography and Environmental Planning*. 36(3):43-56.
15. Shakiba, A., Mirbagheri, B., Khairi, A., 2010. *Drought and its effects on groundwater resources in the East of Kermanshah Provence using SPI index*. *Geography*. 8(25) : 104-124
16. Steinemann, A.C., Cavalcanti, L.F.N, (2006) *Developing multiple indicators and triggers for drought plans*. *J. Water Resour. Plann. Manage.* ASCE 132 (3), 164–174.
17. Talebi A; Imani M; Dastorani M. 2012. *Study the effects of drought on groundwater level and hydrology of the subterranean canal in Bahabad*. International symposium on traditional knowledge for water management. Yazd. Iran.
18. Ziya H. 2004. *Hydrology of Birjand aquifer and its relationship with artificial water harvesting*. M.S. thesis. Tabriz University.

## Study the effects Of Drought on Groundwater Resources using SPI Index (A Case Study: Kashan Plain)

Ali Aleboali<sup>1</sup>, Reza Ghazavi<sup>2</sup>, Seyed Javad Sadatinezhad<sup>3</sup>

Received: 2/2/2016

Accepted: 11/4/2016

### Abstract

Groundwater is a valuable resource both in the Iran and throughout the world. Drought as a natural and inevitable phenomenon, frequently occur in the different regions of the world, especially in the hot and dry area. It lead to economical, social, and environmental damages. Drought should decrease groundwater recharge. In main aim of this study was to investigate the effects of drought on groundwater resources using Standardized Precipitation Index (SPI). The longest period of drought, the number of drought months and large drought period (DM) in supercritical Kashan plain were studied. To investigate the relationship between drought and groundwater level, period 1991 to 2010 was selected based on the available data. Also a significant relationship was observed between groundwater level decreasing and drought index, but in the groundwater depletion, the role of the over exploitation is more important than drought effects. We can conclude that the only basic principal method of preventing dangerous consequences of groundwater depletion is proper and lawful consumption of water to avoid uncontrolled withdrawal of groundwater.

**Keywords:** Drought; Groundwater; Kashan aquifer; SPI.

1. MS. student of watershed management, Department of Rangeland and watershed management, University of Kashan

2. Associate Professor, Department of Rangeland and watershed management, University of Kashan, Email: ghazavi@kashanu.ac.ir

3. Associate Professor. University of Tehran