رابطه بین خشکسالی هواشناسی و کیفیت آب زیرزمینی در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: استان اصفهان)

مرجان طالبی نیا[۱]، حسن خسروی*[۲]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۱۱/۰۲
تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۰۶/۰۳

مقاله پژوهشی

چکیده

در پژوهش حاضر جهت بررسی تاثیر تغییرات بارش بر کیفیت آب زیرزمینی در اقلیم خشک و نیمه‌خشک استان اصفهان، ۶ حوضه و ایستگاه‌های هواشناسی انتخاب گردید و از داده‌های ۷۲ ایستگاه هواشناسی استان اصفهان در دوره آماری ۱۳۸۲-۱۳۹۲ و داده های ۳۵۰ حلقه چاه مشترک برای بررسی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی استفاده شد. سپس با بررسی داده‌های کیفی، پایین‌ترین داده‌های پارامترهای EC، Ca، Mg ، pH، Na ، Cl، در نرم افزار Excel ثبت و در محیط نرم‌افزار ArcGIS فراخوانی و پهنه‌بندی تغییرات صورت گرفت. در بررسی خشکسالی هواشناسی نیز از بارندگی ماه شهریور به عنوان نماینده خشک‌ترین ماه استان اصفهان، به کمک نرم افزارDIP، آنالیز سری زمانی ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه انجام شده و سری زمانی دارای بیشترین همبستگی در پهنه‌بندی‌ها مورد استفاده قرار گرفت. سپس سری زمانی دارای همبستگی در شش زیر حوضه مطالعاتی در نرم‌افزار ArcMap پهنه‌بندی گردید. نتایج مطالعه در ارزیابی همبستگی بین خشکسالی هواشناسی و کیفیت آب زیرزمینی، با روش آماری پیرسون، در سری زمانی ۱۸ ماه همبستگی مثبت نشان داد. در حوضه‌های مورد مطالعه روند منفی بارش، روند مثبت شوری، کلسیم، منیزیم، اسیدیته، کلر و سدیم در آب زیرزمینی از حوضه‌های غربی به سمت حوضه‌های شرقی‌تر مشاهده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که حداقل تغییرات میلی‌متری در بارندگی از یک حوضه به حوضه دیگر در استان اصفهان، کیفیت آب زیرزمینی را در هر یک از شش حوضه تحت تاثیر قرار می‌دهد و در پی رخداد خشکسالی کیفیت آب زیرزمینی روند نزولی دارد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، تغییرات بارش، روش پیرسون، سری زمانی، همبستگی

[۱] دانشجوی دکترای مدیریت و کنترل بیابان، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، ایمیل: mtalebiniya@ut.ac.ir

[۲] دانشیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، ۰۹۱۲۸۴۴۶۳۵۸. ایمیل: hakhosravi@ut.ac.ir، (نویسنده مسئول)

مقدمه

خشکسالی روندی از تغییرات اقلیمی معمول است که هر چند سال یکبار بسیاری از مناطق خشک و نیمه-خشک را در بر می‌گیرد. در بسیاری موارد خشکسالی تا چند سال به صورت پنهان و غیر قابل درک می‌باشد لذا مطالعه آن برای کشوری چون ایران که در قلمرو خشک و نیمه‌خشک به سر می‌برد یافته‌ای ارزشمند است (خسرو شاهی، ۱۳۸۶؛ Khosravi, 2018). براساس شرایط اقلیمی، توپوگرافی و جغرافیایی، ایران دارای میزان تبخیر تعرق بالا در مقابل ناچیز بودن مقدار بارندگی سالانه و در نتیجه عدم وجود جریانات آب سطحی و بارش می‌باشد (قضاوی و رمضانی، ۱۳۹۶).

آب‌های شیرین سطحی و زیرزمینی از منابع اساسی مورد نیاز بشر است ولی در بعضی مناطق، منابع آب‌های سطحی محدود بوده و یا به راحتی در دسترس قرار ندارند. در این نوع مناطق آب‌های زیرزمینی منبع آب اصلی تأمین کننده نیاز جوامع بشری می‌باشد (شمسایی، ۱۳۸۱). اگرچه پدیده خشکسالی در میزان کمیت و کیفیت آب تاثیر منفی می‌گذارد، اما اثر آن به مراتب بر کیفیت آب مهم‌تر است؛ زیرا مشکل اصلی مقدار آب نیست بلکه در دسترس بودن آب با کیفیت مناسب است (کیانی و خوش‌روش، ۱۳۹۰). این مساله موجب گردیده که منابع آب زیرزمینی به‌عنوان مهم-ترین بخش تأمین کننده نیاز آبی بشر و کاربری‌های مختلف مورد توجه قرار بگیرد. بخش کشاورزی با اختصاص سهم ۹۵ درصدی و برداشت بیش از ۸۰ درصد از منابع آب زیرزمینی نقش عمده در تغییرات کمی و کیفی آبخوان‌ها دارد (احمدی و صدق آمیز، ۱۳۸۶). پژوهش‌های داخلی و خارجی صورت گرفته در این زمینه به شرح زیر می‌باشد:

آذره و همکاران (۱۳۹۴) با بهره‌گیری از داده‌های رقومی سطح آب اندازه‌گیری شده دشت گرمسار در ۴۵ نقطه و بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی در دشت گرمسار به این نتیجه رسیدند که از بین روش‌های مختلف درونیابی بر پایه معیار (RMSE)، روش کریجینگ بهترین روش پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در آغاز و پایان دوره مورد بررسی می‌باشد. مطالعه آل‌بوعلی و همکاران (۱۳۹۵) جهت بررسی نقش خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت کاشان با استفاده از شاخص SPI نشان داد که علاوه بر خشکسالی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در دشت مذکور عامل افت سطح آب زیرزمینی است و سهم برداشت بی رویه در افت سطح آبخوان به مراتب بیش از خشکسالی است. زینالی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تاثیر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر ویژگی‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مرند پرداختند. بدین شاخص خشکسالی SPI و SWI در شش بازه زمانی (۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه) بررسی شد. نتایج نشان داد که شاخص SWI نمایانگر افزایش برداشت از سفره های آب زیرزمینی برای جبران نیاز آبی دشت بوده و افت حدود سه متری آب زیرزمینی را به دنبال داشته است. همبستگی بدست آمده به روش پیرسون بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و تاثیر پذیری منابع آب زیرزمینی را با یک تاخیر پنج ماهه نمایان می‌سازد.

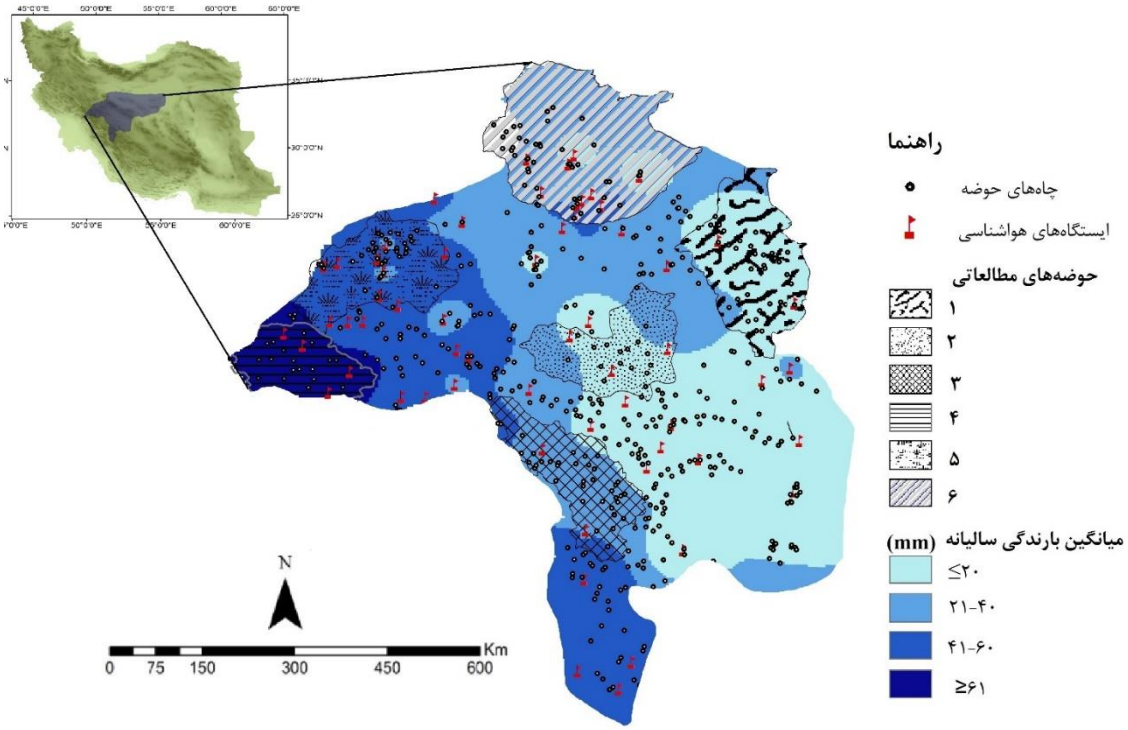
طالبی‌نیا و همکاران (۱۳۹۵) به کمک نرم‌افزار ArcMap، به بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت سگزی برای آشامیدن در استان اصفهان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند تغییرات کیفیت آب آشامیدنی استان اصفهان با توجه به نمودار شولر منفی می‌باشد ولی با این وجود بخش‌های غربی استان آب مناسب‌تری جهت شرب دارا می‌باشد و شرق و جنوب شرق با افت بیشتر کیفیت آب همراه هستند. بررسی تاثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت بوشکان در استان بوشهر نشان داد که آبخوان منطقه مورد مطالعه یک دوره خشکسالی متوسط را تحمل می‌کند، این خشکسالی کیفیت آب زیرزمینی را نیز تحت تأثیر قرار داده است به طوری‌که در سال‌های اخیر وضعیت هدایت الکتریکی بحرانی‌تر شده است (فاریابی و مظفری‌زاده، ۱۳۹۶).

مظفری و همکاران (۱۳۹۰) در ارزیابی بهترین روش زمین آماری برای درونیابی شاخص بارش استاندارد و شاخص خشکی مؤثر در استان بوشهر به ترتیب، روش عکس فاصله وزنی با توان ۲ و روش کریجینگ معمولی را دانستند. Zengchao and AghaKouchak (۲۰۱۳) شاخص خشکسالی استاندارد شده چند متغیره (یک مدل پارامتری چند معیاره) را بررسی نمودند. در این بررسی، رویکرد مدل‌سازی با استفاده از مفهوم copulas ارائه شده است. مدل ارائه شده، به نام شاخص خشکسالی استاندارد شده چند متغیره (MSDI)، احتمالاتی ترکیبی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص استاندارد رطوبت خاک (SSI) برای توصیف خشکسالی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که MSDI شروع و پایان خشکسالی بر اساس ترکیبی از SPI و SSI است. در بررسی تغییرات کمی در سطح آب‌های زیرزمینی و شیمیایی در شاهرود، شمال شرقی ایران نشان داده شد که روند افت سطح آب زیرزمینی با تغییرات بارندگی متوقف نشده و ضرورتا منجر به تخریب کیفیت آب زیرزمینی نمی‌شود. افت سطح آب در محدوده تغذیه سفره شدیدتر است در حالی که افزایش شوری آب در انتهای خطوط جریان بیشتر بوده است (اژدری و کاظمی، ۱۳۹۳). اکبری و همکاران در مطالعه خود به وسیله شاخص‌های SPI و RDI، جهت بررسی تغییرات خشکسالی در مناطق نیمه‌خشک استان گلستان به این نتیجه رسیدند که، بر اساس تفسیر منطقه‌ای خشکسالی، به رغم خشکسالی‌های فعلی، بخش‌های مرکزی، شمال و شرق، پیش بینی می‌شود که در دوره‌های آینده و طولانی‌تر خشک شود (اکبری و همکاران، ۱۳۹۵). Ranjpisheh و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود مبنی بر ارزیابی تغییرات خشکسالی و تاثیرات بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در حوضه شبستر، شمال دریاچه ارومیه به این نتیجه رسیدند که مقدار پارامترهای کیفیت آب در قسمت های جنوبی و غربی منطقه که در نزدیکی دریاچه ارومیه قرار دارد افزایش یافته است و آب در این مناطق برای کشاورزی و آشامیدنی مناسب نیست. این می‌تواند به دلیل استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی تحت تاثیر تغییرات استفاده از زمین در این بخش از منطقه باشد.

باتوجه به وسعت جغرافیایی و نقش گردشگری و جمعیت بالای استان اصفهان بررسی کیفیت آب زیرزمینی، در پی خشکسالی‌های رخ داده در یک دهه اخیر، می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی ضمن کاربری‌های مختلف آب در شرب، کشاورزی و صنعت، مورد استفاده و توجه بیشتر قرار بگیرد. بنابراین با توجه مطالعات صورت گرفته بخصوص در استان اصفهان، در این تحقیق نقش خشکسالی هواشناسی بر کیفیت آب زیرزمینی و همچنین تاثیر تاخیر زمانی این پدیده بر کاهش سطح آب زیرزمینی به دلیل افزایش برداشت جهت تأمین نیاز آبی کشاورزی، بررسی شد.

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۴۵ کیلومترمربع (معادل ۵۷/۶ درصد از مساحت کشور) بین بین ′۴۲ °۳۰ تا ′۲۷ °۳۴ عرض شمالی و ′۳۸ °۴۹ تا ′۳۲ °۵۵ طول شرقی در بخش مرکزی ایران در جلگه‌ای حاصلخیز واقع شده است. شکل استان از لحاظ گسترش در امتداد طول و عرض جغرافیایی به گونه‌ای است که میانگین طول آن ۵۳۲/۵ کیلومتر و عرض استان برابر با ۴۰۵ کیلومتر می‌باشد، ارتفاع از سطح دریا ۱۵۹۰ متر و میانگین دمای سالیانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، دارای میانگین بارش سالیانه ۲۰۳ میلی‌متر و تعداد روز های یخبندان ۷۰ روز است (شکل۱). کیفیت آب زیرزمینی استان اصفهان بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس در سه گروه با کیفیت متوسط، بد و خیلی بد تقسیم می‌شود که کیفیت آب با گروه متوسط با وسعت بیشتری در کل استان اصفهان به چشم می‌خورد (ظهرابی و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل (۱): میانگین بارندگی سالانه حوضه‌های مورد مطالعه در دوره آماری و ایستگاه‌های مورد پژوهش

روش تحقیق

ایستگاه‌های باران‌سنجی و شاخص بارش استاندارد شده

تجزیه و تحلیل صورت گرفته در این تحقیق با هدف بررسی تاثیر خشکسالی هواشناسی بر کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. به همین علت استفاده از ایستگاه-های باران‌سنجی برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارندگی الزامی می‌باشد (شکل۱). ابتدا مختصات جغرافیایی و بارندگی کل ایستگاه‌های هواشناسی استان اصفهان از سازمان هواشناسی دریافت و سپس با توجه به نقاط دارای تراکم بیشتر چاه و تمرکز ایستگاه‌های هواشناسی در آن، غرب و جنوب غرب استان اصفهان و شش حوضه از بین حوضه‌های داخلی استان اصفهان به عنوان نقاط پایلوت و ۷۲ ایستگاه هواشناسی جهت بررسی‌های بعدی انتخاب گردید.

شش حوضه مطالعاتی، نماینده کل حوضه‌های استان اصفهان و به عنوان نقاط پایلوت دارای تمرکز بالایی از ایستگاه‌های هواشناسی و چاه‌های پیزومتریک می-باشند. همچنین انتخاب این شش حوضه به علت، قرارگیری حوضه‌های منتخب در هر ۴ کلاس بارندگی منطقه مطالعاتی می‌باشد و لذا بررسی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی با توجه به حداقل تغییرات در کلاس‌های بارندگی امکان‌پذیر می‌باشد، که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول(۱): مشخصات حوضه‌های مطالعاتی

شماره حوضه	نام حوضه	کد حوضه	UTMX	UTMY	کلاس بارندگی	میانگین بارندگی سالیانه (میلی‌متر)
۱	حوضه مهاباد	۴۸۱۱۱	۶۱۱۱۲۶/۹	۳۷۰۹۸۸۶	۱	≤۲۰
۲	حوضه جعفر آباد	۴۲۱۲۲	۵۵۷۵۷۶/۵	۳۶۲۹۹۶۰	۱ و ۲	≤۲۰ و ۴۰-۲۱
۳	پل‌کله	۴۲۱۶	۵۲۱۶۸۸/۶	۳۵۸۱۸۱۱	۱، ۲ و ۳	≤۲۰، ۴۰-۲۱ ر، ۶۰-۴۱
۴	زرد فهره	۲۳۳۲۳	۳۸۸۴۰۶/۵	۳۶۵۳۳۰۷	۴	≥۶۱
۵	حوضه کوچری و عباس آباد	۴۱۲۳۵	۴۳۶۷۲۹/۱	۳۶۹۸۲۷۲	۳	۶۰-۴۱
۶	حوضه فین، محمد آباد کاشان، برزوک، گبر آباد حسین آباد، قمصر، بن رود، زنجانبر و چرخ و فلک سیبک	۴۱۳	۵۵۱۲۱۷/۵	۳۷۳۰۷۸۶	۲	۴۰-۲۱

در پژوهش حاضر مقادیر بارندگی ماه شهریور هر ایستگاه در طی بازه آماری ذکر شده و به کمک نرم افزار DIP مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مقادیر شاخص بارندگی استاندارد[1] سری زمانی ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه همه ایستگاهها محاسبه گردید.

سپس به کمک نرم افزار GIS 10.2.2 پهنه‌بندی و مقادیر میانگین همه ایستگاه‌های یک حوضه برای سال ۸۲ تا۹۲ با دو سال تاخیر زمانی رسم گردید. در این تحقیق روش IDW با کمترین مقدار RMSE نسبت به روش Kriging، بهترین روش برای انجام پهنه‌بندی‌ها مورد استفاده قرار گرفت. سازمان جهانی هواشناسی SPI را یک شاخص خشکسالی جهانی می‌داند، SPIتنها به اطلاعات بارندگی نیازمند است و می‌تواند در مقیاس‌های زمانی مختلف ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و حتی ۴۸ ماهه محاسبه گردد (Hayes et al., 1999) مسئله اصلی در محاسبه SPI برازش توزیع آماری مناسب بر روی اطلاعات بارندگی می‌باشد. تجربه نشان داده است که توزیع گاما توزیع مناسبی برای برازش روی داده‌های بارندگی است. اما این مورد نباید باعث شود از برازش و کنترل دیگر توزیع‌های آماری صرف‌نظر گردد. در صورتی که فرض کنیم بارش در یک منطقه از توزیع گاما تبعیت می‌کند و x مقادیر بارش باشد تابع چگالی احتمال دو پارامتری گاما به صورت زیر تعریف می‌شود (McKee et al. 2013؛ کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۸۹):

$$f(x)=\frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}x^{\alpha-1}e^{\frac{-x}{\beta}} \qquad x>0 \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، α پارامتر شکل، β پارامتر مقیاس توزیع و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\Gamma(\alpha)=\int_0^{\infty} y^{\alpha-1}e^{-y}\,dy \qquad (۲)$$

ضرایب α و β بهینه نیز از طریق روابط زیر حساب می‌شوند:

$$A=\ln(\bar{x})-\frac{\sum\ln(x)}{n}$$

$$\widehat{\alpha}=\frac{1}{4A}[1+\sqrt{1+\frac{4A}{3}}] \qquad (۳)$$

$$\widehat{\beta}=\frac{\bar{x}}{\widehat{\alpha}} \qquad (۴)$$

در رابطه محاسبه A، پارامتر n تعداد مشاهدات بارش می‌باشد.

[1] Standard precipitation index (SPI)

برای محاسبه شاخص SPI ابتدا یک توزیع گاما با پارامترهای محاسبه شده به اطلاعات بارش هر ایستگاه برازش داده می‌شود. پارامترهای α و β برای هر سری بارش باید به صورت جداگانه محاسبه گردد. در محاسبه شاخص SPI از توزیع احتمال تجمعی استفاده می‌شود که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$t = x/\hat{\beta} \qquad (۵)$$

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})}\int_0^x t^{\hat{\alpha}-1}e^{-t}dt$$

از آنجا که در رابطه فوق مقدار لگاریتم صفر تعریف نشده است و توزیع بارش در تابستان ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، لذا در این شرایط احتمال تجمعی از رابطه (۶) قابل محاسبه است.

(۶)

$$H(x) = q + (1-q)F(x)$$

در این رابطه q احتمال بارش ماهانه صفر می‌باشد. برای محاسبه q می‌توان از رابطه کالیفرنیا (رابطه ۳) استفاده نمود.

(۷)

$$q = \frac{m}{n}$$

در این رابطه m تعداد داده‌های صفر موجود در سری زمانی و n نیز تعداد کل داده‌های بارندگی می‌باشد.

گام بعدی در محاسبه SPI، انتقال احتمال تجمعی $H(x)$ که از توزیع گامای تجمعی به‌دست آمده به توزیع نرمال استاندارد تجمعی با میانگین صفر و انحراف از معیار یک می‌باشد، برای دست‌یابی راحت‌تر به مقدار SPI می‌توان از تقریب زیر که توسط Stegun and Abramowitz (1965) برای توزیع نرمال استاندارد ارائه گردید استفاده نمود:

$$SPI = -(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}) \qquad 0 < H(x) \le 0.5$$

(۸)

$$SPI = +(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}) \qquad 0.5 < H(x) \le 1$$

(۹)

که در آن متغییر t از روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌گردد، همچنین ثابت‌های معادله به صورت زیر هستند:

C_0=۲/۵۱۵۵۱۷ C_1= /۸۰۲۸۵۳ C_2= ۰/۰۱۰۳۲۸

d_1=/۴۳۲۷۸۸ d_2=۰/۱۸۹۲۶۹

d_3=۰/۰۰۱۳۰۸

(۱۰)

$$t = \sqrt{\ln(\frac{1}{(H(x))^2})} \qquad 0.5 < H(x) \le 1$$

$$t = \sqrt{\ln(\frac{1}{(1-H(x))^2})} \qquad 0.5 < H(x) \le 1$$

(۱۱)

پس از محاسبه SPI، ارزیابی خشکسالی هواشناسی به کمک جدول (۲) صورت گرفت

جدول (۲): ارزیابی وضعیت خشکسالی بر اساس مقادیر SPI (McKee et al., 1993)

طبقات خشکسالی	SPIمقادیر
کاملا مرطوب	۲<
خیلی مرطوب	۱/۵تا ۲
نسبتا مرطوب	۱تا ۱/۵
مرطوب ملایم	۱ تا ۰
خشکسالی ملایم	۱- تا ۰
خشکسالی متوسط	۱- تا ۱/۵-
خشکسالی شدید	۱/۵- تا ۲-
خشکسالی بسیار شدید	۲-<

پایگاه داده‌های کیفیت آب زیرزمینی و شاخص آب زیرزمینی استاندارد شده (GRI)

برای تعیین تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی انتخاب روش مناسب پهنه‌بندی گامی مهم در مدیریت منابع آب منطقه به شمار می‌رود.

در این مطالعه به کمک مرکز مطالعات منابع آب از داده‌های ۳۵۰ حلقه چاه مشترک موجود در استان اصفهان در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۳۸۲، جهت بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی استان اصفهان استفاده شد (شکل۱). پهنه‌بندی پارامترهای کیفی EC، Ca، Mg ، pH، Na ، Cl به وسیله روش کرجینگ معمولی و IDW و به کمک نرم‌افزار ArcGIS 10-2-2 در شش حوضه صورت گرفت و با توجه به مقادیر کمتر RMSE در روش IDW، این روش برای پهنه‌بندی کلیه نقشه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

سپس داده‌های زیرکیفی به کمک نرم‌افزار Excel، ابزار pivot table مقادیر بیشینه کیفیت آب، که نشان دهنده پایین ترین کیفیت ششپارامتر مورد بررسی است، برای هر چاه مرتب‌سازی شد. همچنین بعد از پهنه‌بندی‌ها، میانگین هر پارامتر در ۱۰ سال یاداشت گردید.

پس از محاسبات میانگین ایستگاه‌های هواشناسی برای مقایسه اثرات تغییرات بارش بر کیفیت آب زیرزمینی به کمک نرم افزار SPSS 22 و به کمک روش پیرسون (Kundzewicz, 2004؛ Kundzewicz and Robson, 2004؛ Barker et al. 2016؛ Huang et al. 2016) همبستگی و معناداری بین این دو متغیر در بازه زمانی ۱۰-ساله ذکر شده مورد بررسی قرار گرفت. بعد از انجام محاسبات، سری زمانی دارای بیشترین همبستگی با مقادیر کیفیت آب زیرزمینی در انجام محاسبات بعدی (پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های واکنش آبخوان‌ها به تغییرات بارش) استفاده گردید.

در مباحث آماری، ضریب همبستگی پیرسون یا ضریب همبستگی حاصل‌ضرب-گشتاور پیرسون میزان همبستگی خطی بین دو متغیر تصادفی را می‌سنجد. مقدار این ضریب بین ۱- تا ۱ تغییر می‌کند که «۱» به معنای همبستگی مثبت کامل، «۰» به معنی نبود همبستگی، و «۱-» به معنی همبستگی منفی کامل است. این ضریب که کاربرد فراوانی در آمار دارد، توسط Porter (2010) بر اساس ایده اولیه فرانسیس گالتون تدوین شد. ضریب همبستگی پیرسون بین دو متغیر تصادفی برابر با کوواریانس آنها تقسیم بر انحراف معیار آنها تعریف می‌شود.

ضریب همبستگی پیرسون برای یک نمونه آماری با n زوج داده (y_i,x_i) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$r = \frac{\Sigma_{i=1}^{n}(x_i - x)(y_i - y)}{\sqrt{\Sigma_{i=1}^{n}(x_i - x)^2}\sqrt{\Sigma_{i=1}^{n}(y_i - y)^2}}$$

که در آن σ_X انحراف معیار متغیر X، μ_X میانگین متغیر Xو E امید ریاضی را نشان می‌دهد. و در آخر به وسیله نرم افزار GIS مقادیر SPI، ۷۲ ایستگاه هواشناسی و واکنش آبخوان‌ها به میزان تغییرات بارش پهنه‌بندی می‌گردد

نتایج و بحث

پاسخ کیفیت آب زیرزمینی به خشکسالی

به طور کل تغییرات آب و هوایی و بارندگی، بخش بزرگی از تغییرات در کیفیت آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. کیفیت آب زیرزمینی (در ۶ پارامتر ذکر شده) با سری زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه همبستگی خیلی ضعیفی را نشان می‌دهد به طوری که میزان همبستگی (sig) در اکثر پارامتر ها به میزان بالاتر از ۰/۷ می رسد و این موضوع نشان‌دهنده عدم اطمینان پذیری و عدم تغییر کیفیت شوری، سدیمی، کلسیم، منیزیم، اسیدیته و کلر در آب زیرزمینی تحت اثر شاخص بارش استاندارد، سری زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماه می‌باشد.

حداکثر همبستگی‌ها در تمام شش آبخوان مورد بررسی مربوط به شاخص بارش استاندارد فصلی در سری زمانی ۱۸ ماه می‌باشد و کیفیت آب زیرزمینی در این دوره به شدت تحت تاثیر نوسانات ناشی از بارندگی است و تغییر می‌کند (جدول ۳).

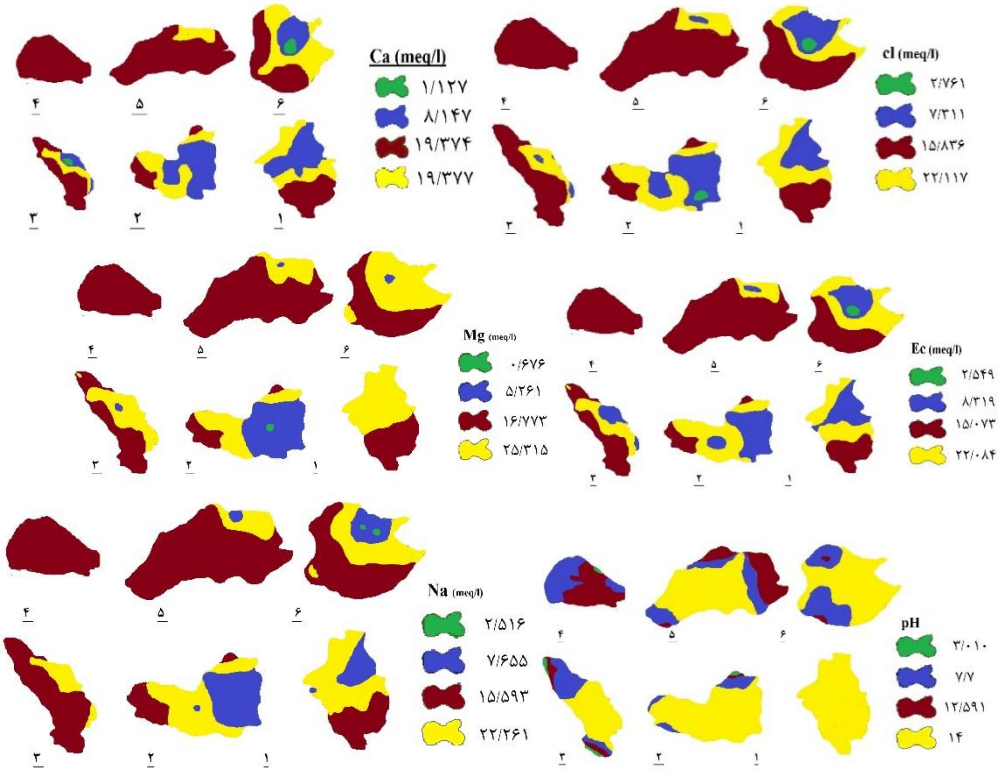
با توجه به محاسبات صورت گرفته و تجزیه و تحلیل کیفیت آب زیرزمینی در بازه آماری۱۰ ساله، مشاهده گردید که کیفیت آب دارای روندی نزولی می‌باشد و سال ۱۳۹۲ شدیدترین افت کیفیت آب را دارا می‌باشد. شکل ۲ پهنه‌بندی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی توسط GIS، و تغییرات میزان هر یک از شش پارامتر کیفی را در شش حوضه نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در تصاویر نیز مشخص است، وضعیت پارامترهای کیفی حوضه‌ها در ۴ کلاس با کیفیت کم، متوسط، بد و خیلی بد به رنگ‌های به ترتیب سبز، آبی، قرمز و زرد طبقه‌بندی شده است و با انطباق دادن موقعیت مکانی حوضه‌ها بر روی نقشه کل استان اصفهان دیده می‌شود که، کیفیت آب دارای روندی نزولی از غرب به شرق استان در حوضه‌های مورد بررسی می‌باشد. قسمت‌های مرکز و جنوب در کلاس بسیار بد به رنگ زرد قرار دارند و دارای بیشترین وسعت هستند که نشان دهنده شرایط خشک آب و هوایی و وضعیت نامطلوب آب‌های زیرزمینی می‌باشد. تصاویر نشان از تمرکز بیشتر چاه در قسمت‌های مرکز و جنوب غرب و غرب استان دارد و قسمت‌های شرقی به علت قرار داشتن در تقسیمات دشت‌های ممنوعه مجاز به حفر چاه نمی‌باشند در صورتی که بر خلاف ممنوعه بودن بخش‌های شرقی استان چاه‌های غیر مجاز زیادی برای انجام فعالیت‌های گسترده کشاورزی، حفاری شده است که اطلاعات آن در سازمان مدیریت منابع آب ایران (تماب) وجود ندارد، به همین علت محدوده مورد بررسی طبق فقط غرب و جنوب غرب استان در نظرگرفته شده است (شکل۱).

با توجه به تصاویر، غلظت پارامترهای کلسیم، کلر، منیزیم، سدیم، اسیدیته و شوری از سمت حوضه‌های غربی زرد-فهره (حوضه ۴) به سمت حوضه‌های مرکز و جنوبی‌تر مثل حوضه‌های پل-کله (حوضه ۳) و مهاباد اردستان (حوضه ۱) بیشتر و آب آلوده‌تر می‌شود. طبقه کلاس یک به رنگ سبز نیز با وسعت بسیار محدود و حتی قابل چشم پوشی در برخی حوضه‌ها دیده می‌شود و این نشان‌دهنده کیفیت متوسط آب از حوضه‌های غربی به سمت کیفیت بد و خیلی بد به سمت حوضه-های مرکزی و شرقی‌تر می‌باشد. علت این امر مسطح بودن و عدم ارتفاعات و همچنین اراضی کویری و شنزاری و میزان بارندگی کمتر در این مناطق می‌باشد. این مناطق دارای آب و هوای گرم و خشک و پوشش-گیاهی فقیر می‌باشد و دارای تیپ گیاهی متفاوت از گونه‌های سالسون، اسفند، آشنان، تاغ، خارشتر، قیچ، لخ، شوره و گز هستند. این نقاط به علت واقع شدن در کنار کویر دارای آب و هوای بیابانی با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و خشک می‌باشد. میزان بارندگی کم و بیشتر آن در فصل زمستان است، که تغییرات شدیدتر اسیدیته در کل اراضی به همین علت می‌باشد، که با نتایج سلطانی و همکاران (۱۳۹۷) که بر روی نجف آباد استان اصفهان مطالعه کرده‌اند هم‌خوانی دارد.

جدول (۳): شاخص بارش استاندارد و سری زمانی (۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماه)

EC		Cl		pH		Na		Mg		Ca			Parameters
Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)	SPI	Basins
۰/۴۳۸	۱۷۷ ۰/	۰۸۰ ۰/	۸۱۵ ۰/	۰/۰۴۱	۹۰۴ ۰/	۰/۳۲۰	۳۳۸ ۰/	-۰/۴۰۹	۲۱۲ ۰/	۰/۵۸۱	۰۶۱ ۰/	۶	۴۸۱۱۱
۰/۵۴۰	۹۴۴ ۰/	-۰/۱۲۲	۶۹۹ ۰/	۰/۱۷۱	۵۷۵ ۰/	-۰/۱۶۰	۶۰۱ ۰/	۰/۰۷۴	۶۹۲ ۰/	-۰/۱۶۰	۸۷۱ ۰/	۱ ۲	
۰/۲۷۴	۴۱۵ ۰/	۰/۲۱۹	۵۱۸ ۰/	۰/۰۶۸	۸۴۲ ۰/	۰/۳۲۵	۳۳۰ ۰/	-۰/۴۸۹	/۱۲ ۰	۰/۶۸۴	۰۲۰ ۰/	۱ ۸	
-۰/۶۵۷	۸۸۲ ۰/	۰/۰۶۸	۵۱۸ ۰/	۰/۵۴۹	۸۹۴ ۰/	-۰/۸۵۳	۱۰۴ ۰/	۰/۳۷۹	۸۳۰ ۰/	-۰/۱۹۸	۸۷۱ ۰/	۲ ۴	
۰/۶۱۷	۰۴۳ ۰/	۰/۵۸۱	۰۶۱ ۰/	۰/۴۹۸	۱۱۹ ۰/	۰/۵۸۴	۰۵۹ ۰/	۰/۶۶۶	۰۲۵ ۰/	۰/۵۸۴	۰۵۹ ۰/	۶	۴۱۳
۰/۵۹۰	۹۰۰ ۰/	-۰/۳۲۲	۴۰۳ ۰/	-۰/۱۹۸	۵۱۷ ۰/	۰/۰۲۱	۶۴۳ ۰/	۰/۲۹۹	۶۹۹ ۰/	-۰/۱۴۶	۸۷۱ ۰/	۱ ۲	
۰/۵۱۸	۱۰۳ ۰/	۰/۴۹۳	۱۲۴ ۰/	۰/۳۹۷	۲۲۶ ۰/	۰/۴۸۹	۱۲۷ ۰/	۰/۵۸۵	۰۵۹ ۰/	۰/۴۸۵	۱۳۰ ۰/	۱ ۸	
-۰/۱۹۷	۷۸۲ ۰/	-۰/۹۹۳	۹۸۷ ۰/	-۰/۱۰۸	۷۰۴ ۰/	-۰/۳۵۳	۶۱۳ ۰/	۰/۰۹۹	۵۸۶ ۰/	-۰/۲۳۰	۷۸۱ ۰/	۲ ۴	
۰/۴۵۷	۱۵۸ ۰/	۰/۵۰۱	۱۱۶ ۰/	-۰/۰۳۸	۹۱۳ ۰/	-۰/۰۰۶	۹۸۶ ۰/	۰/۲۹۳	۳۸۲ ۰/	۰/۴۲۷	۱۹۱ ۰/	۶	۲۳۳۲۳
۰/۳۴۸	۷۱۷ ۰/	-۰/۸۲۲	۹۹۳ ۰/	۰/۰۷۶	۸۰۴ ۰/	۰/۹۲۱	۹۴۵ ۰/	۰/۱۸۳	۷۰۱ ۰/	۰/۰۲۱	۴۳۱ ۰/	۱ ۲	
۰/۵۸۲	۰۶۰ ۰/	۰/۵۸۹	۰۵۶ ۰/	۰/۰۳۸	۹۱۲ ۰/	۰/۳۶۲	۲۷۴ ۰/	۰/۲۹۶	۳۷۶ ۰/	۰/۶۰۸	۰۴۷ ۰/	۱ ۸	
-۰/۶۵۷	۷۶۲ ۰/	۰/۱۰۸	۹۰۷ ۰/	-۰/۱۵۴	۱۵۴ ۰/	-۰/۱۸۷	۵۴۴ ۰/	-۰/۹۲۳	۶۹۵ ۰/	-۰/۱۴۰	۴۷۱ ۰/	۲ ۴	
-۰/۲۰۹	۵۳۷ ۰/	-۰/۱۴۶	۶۶۹ ۰/	-۰/۲۷۵	۴۱۴ ۰/	-۰/۰۳۴	۹۲۲ ۰/	-۰/۳۴۲	۳۰۳ ۰/	۰/۳۷۰	۲۶۲ ۰/	۶	۴۲۱۲۲
۰/۳۰۸	-۴۰۹ ۰/	-۰/۱۷۲	۹۰۳ ۰/	۰/۱۳۶	۶۵۷ ۰/	۰/۲۰۹	۶۹۹ ۰/	۰/۲۷۹	۵۷۱ ۰/	-۰/۱۱۹	۵۶۵ ۰/	۱ ۲	
-۰/۲۹۳	۳۸۱ ۰/	-۰/۳۷۱	۲۶۲ ۰/	-۰/۳۸۷	۲۴۰ ۰/	-۰/۱۹۵	۵۶۵ ۰/	-۰/۴۶۳	۱۵۱ ۰/	۰/۰۷۸	۸۱۹ ۰/	۱ ۸	
-۰/۹۵۷	۶۸۲ ۰/	۰/۹۱۸	۸۸۷ ۰/	۰/۹۸۶	۶۳۴ ۰/	-۰/۰۱۸	۶۶۴ ۰/	-۰/۹۹۶	۸۲۱ ۰/	۰/۱۲۱	۸۹۵ ۰/	۲ ۴	
-۰/۰۲۳	۹۴۷ ۰/	-۰/۰۴۰	۹۰۸ ۰/	-۰/۳۹۹	۲۲۴ ۰/	-۰/۰۲۱	۹۵۱ ۰/	-۰/۱۹۳	۵۷۰ ۰/	۰/۰۴۲	۹۰۳ ۰/	۶	۴۱۲۳۴
۰/۵۰۴	-۴۳۹ ۰/	-۰/۱۲۲	۴۹۱ ۰/	-۰/۳۲۳	۲۸۲ ۰/	۰/۵۷۴	۹۹۳ ۰/	۰/۳۲۸	۱۷۱ ۰/	۰/۵۷۴	۵۰۱ ۰/	۱ ۲	
-۰/۰۸۸	۷۹۶ ۰/	-۰/۰۴۷	۸۹۱ ۰/	-۰/۵۰۸	۱۱۰ ۰/	-۰/۰۳۲	۹۲۶ ۰/	-۰/۲۰۶	۵۴۳ ۰/	-۰/۰۷۲	۸۳۳ ۰/	۱ ۸	
۰/۶۵۷	۸۰۹ ۰/	۰/۱۹۶	۹۰۹ ۰/	۰/۹۷۶	۵۳۴ ۰/	۰/۱۱۷	۸۶۴ ۰/	۰/۱۷۴	۳۹۱ ۰/	-۰/۰۱۹	۹۰۷ ۰/	۲ ۴	
-۰/۳۴۸	۲۹۴ ۰/	-۰/۳۳۱	۳۲۱ ۰/	۰/۰۵۰	۸۸۳ ۰/	۰/۴۵۵	۱۶۰ ۰/	-۰/۰۴۴	۸۹۷ ۰/	۰/۴۱۱	۲۰۹ ۰/	۶	۴۲۱۶
۰/۵۱۴	۷۹۷ ۰/	-۰/۵۲۲	۵۹۱ ۰/	۰/۱۸۹	۱۷۱ ۰/	۰/۱۷۴	۰۴۰ ۰/	۰/۸۴۰	۰۴۰ ۰/	۰/۱۶۱	۳۷۱ ۰/	۱ ۲	
-۰/۳۳۰	۳۲۲ ۰/	-۰/۳۲۶	۳۲۹ ۰/	-۰/۰۸۲	۸۱۱ ۰/	۰/۳۵۱	۲۹۰ ۰/	-۰/۰۹۳	۷۸۵ ۰/	۰/۳۵۴	۲۸۵ ۰/	۱ ۸	
-۰/۳۵۷	۱۸۲ ۰/	۰/۱۱۰	۴۸۷ ۰/	-۰/۳۹۹	۴۳۶ ۰/	۰/۳۱۷	۵۶۴ ۰/	۰/۰۸۴	۸۷۹ ۰/	۰/۴۷۴	۸۰۵ ۰/	۲ ۴	

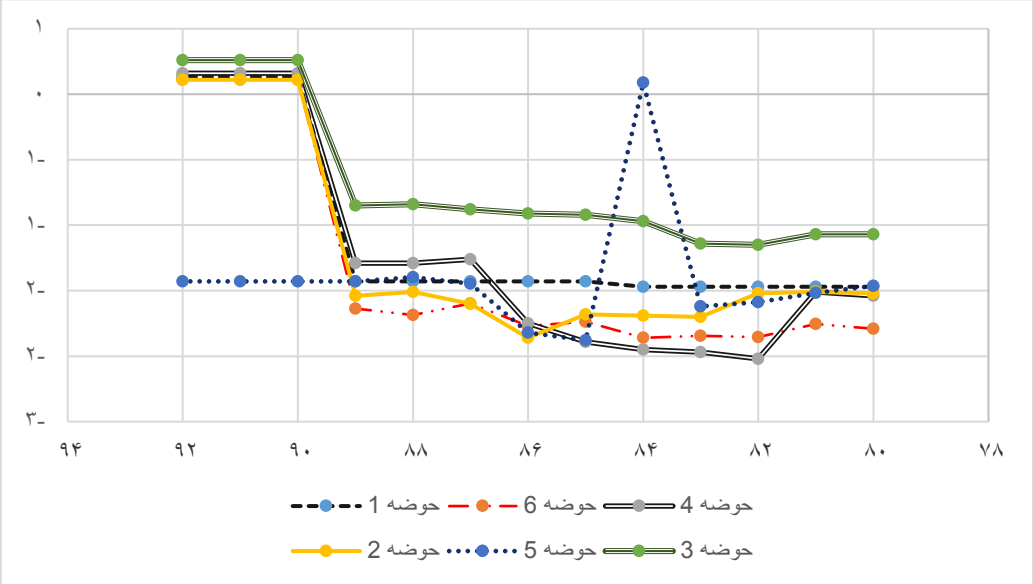


شکل (۲): پهنه‌بندی پارامترهای مختلف کیفیت آب زیرزمینی

پاسخ آبخوان‌ها به تغییرات فضایی بارش

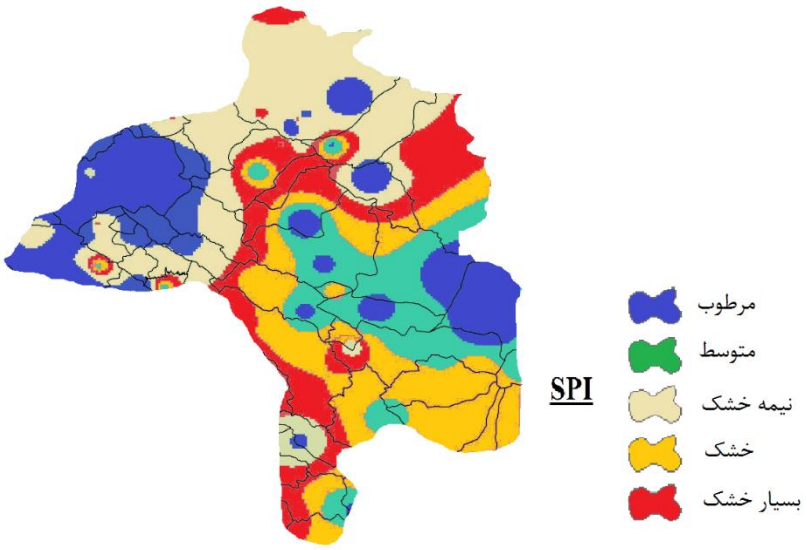
شکل‌های ۳، ۴ و ۵ تغییرات هر یک از مقادیر SPI در حوضه‌های مختلف مورد بررسی را در ماه شهریور (ماه ۶) در بازه آماری ۱۰ ساله و، واکنش هر حوضه به این میزان تغییرات بارندگی را نشان می‌دهد. به عنوان نمونه حوضه مهاباد اردستان (حوضه ۱) در محدوده خشکسالی بد تا شدید قرار دارد و طبق شکل ۳ شاخص بارش استاندارد این حوضه در سری زمانی ۱۸ ماهه در خشکسالی قرار داشته و هیچ‌گونه ترسالی‌ای نداشته است. همچنین حوضه کوچری و عباس آباد (حوضه ۵) نیز که در غرب استان اصفهان و در بخش های مرطوب-تر قرار دارد نیز طبق شکل روند ترسالی و خشکسالی آن متغیر است

.

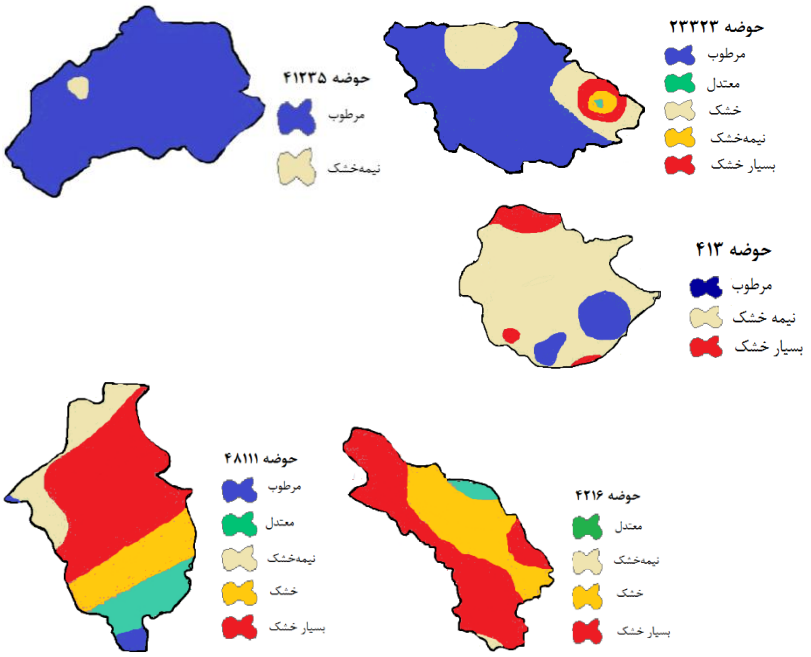


شکل (۳): تغییرات شاخص بارش استاندارد ۱۸ ماهه

از بین سری زمانی‌های مورد بررسی، سری زمانی ۱۸ ماهه دارای بیشترین همبستگی می‌باشد، شکل ۴ پاسخ بخش‌های غربی، جنوب غرب و شمال غرب استان اصفهان نسبت به تغییرات بارندگی، طی محاسبات SPI، ۱۸ ماهه، و شکل ۵ به صورت جزئی‌تر پاسخ آبخوان‌های مورد مطالعه را نسبت به تغییرات بارندگی نشان می‌دهد.



شکل(۴): پاسخ حوضه‌های استان اصفهان به میزان تغییرات بارش در سری زمانی ۱۸ ماهه در شهریور ماه



شکل(۵): تغییرات خشکسالی در حوضه‌های مورد بررسی

نتایج همبستگی بین تغییرات بارندگی و کیفیت آب زیرزمینی به وضوح قابل مشاهده است و همبستگی بالایی در تمامی حوضه‌ها وجود دارد.

نتایج ارتباط بین حداقل تغییرات بارش و اثر آن بر کیفیت آب زیرزمینی و رخداد خشکسالی در اقلیم خشک و نیمه‌خشک استان اصفهان نشان داد که، حوضه ۱ با بارندگی کمتر از ۲۰ میلی‌متر، دارای کیفیت آب زیرزمینی متوسط، بد و خیلی بد و خشکسالی شدید تا متوسط است. حوضه ۲، دارای بارندگی کمتر از ۲۰ میلی‌متر و ۲۱ تا ۴۰ میلی‌متر و کیفیت آب زیرزمینی شبیه به حوضه ۱ دارد و در محدوده خشکسالی متوسط تا خشک می‌باشد. حوضه ۳، با میانگین بارندگی ۲۱ تا ۴۰ میلی‌متر واقع در جنوب و جنوب غرب استان اصفهان خشکسالی شدید را در بازه آماری این پژوهش نشان می‌دهد و دارای کیفیت آب زیرزمینی بد است. حوضه ۴ واقع در غرب اصفهان و میزان بارندگی بالاتر نسبت به بقیه حوضه‌ها (بیشتر از ۶۱ میلی‌متر)، SPI حالت مرطوب را نشان داده و فاقد خشکسالی است ولی کیفیت آب زیرزمینی پایین دارد. حوضه ۵ نیز با میزان بارش ۶۰-۴۱ میلی‌متر و مقادیر SPI در حالت مرطوب دارای کیفیت آب زیرزمینی بد و خیلی بد است و همچنین حوضه ۶ با میزان بارندگی ۴۰-۲۱ میلی‌متر از نظر خشکسالی در کلاس متوسط و کیفیت آب زیرزمینی بد و خیلی بد دارد.

حوضه‌های ۴ و ۵ واقع در محدوده شهرستان‌های گلپایگان، فریدن و فریدون‌شهر و وجود مناطق کوهستانی در اطراف آن، دارای زمستان های سرد و تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. این نقطه در شمال غرب استان اصفهان بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است و مجموع بارش سالانه آن ۲۵۵ میلی‌متر می‌باشد. قابل توجه است که بالاترین میزان بارش سالانه این منطقه ۳۷۸/۵ میلی‌متر در سال ۱۳۸۰، و پایین‌ترین میزان بارش سالانه هم ۱۱۲ میلی‌متر در سال ۱۳۸۶ رخ داده است. همچنین وجود صنعت ذوب‌آهن مهرآریا در بخش شمالی شهرستان لنجان و در محدوده این دو حوضه پر باران، سبب شده است که، برخلاف وجود بارش زیاد در این محدوده، با شستشوی آلاینده‌ها از هوا و پساب

کارخانه‌ها و نفوذ آن‌ها به داخل خاک و سفره‌های زیرزمینی، این دو حوضه دارای کیفیت آب زیرزمینی بسیار پایین و کلاس کیفیت بد تا خیلی بد می‌باشند.

این نتایج پیچیدگی‌های زیاد و تنوع فضایی اثرات خشکسالی بر روی کیفیت آب زیرزمینی را نشان می‌دهد، که تغییر کیفیت آب زیرزمینی می‌تواند تحت تاثیر عوامل متفاوتی به جز بارندگی، نیز قرار بگیرد. لذا خشکی طبیعی استان اصفهان از یک طرف و خشکی مصنوعی ایجاد شده به وسیله فعالیت‌های بشر نیز از سمتی دیگر روز به روز بر کاهش بارندگی‌ها و افت کیفیت آب زیرزمینی و آلوده شدن آب و خاک می‌افزاید.

نتیجه‌گیری

اطلاع یافتن از میزان تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی و تعیین حدود استاندارد و مناسب آن برای مصارف گوناگون کشاورزی، شرب و صنعت به منظور مدیریت صحیح این منابع اهمیت زیادی دارد. تغییر در کیفیت آب زیرزمینی متاثر از تغییر در میزان بارش امری مشهود و دارای بیشترین همبستگی به خصوص در قسمت‌های خشک استان اصفهان می‌باشد. استان اصفهان به علت مجاورت به دشت کویر و کویر لوت دارای خشکی طبیعی می‌باشد، ولی به علت انجام فعالیت‌های کشاورزی بیش از حد پتانسیل منطقه و یا کشت محصولاتی چون برنج در محیط خشک اصفهان و حفر چاه‌های غیر مجاز در دشت‌های ممنوعه، همچنین تمرکز بالای جمعیت و مصرف آب در بخش‌های مختلف کشاورزی و به خصوص صنعت، سبب ورود انواع آلاینده‌ها از سطح به عمق خاک و سفره‌های آب زیرزمینی گردیده است. همانطور که در بخش نتایج دیده شد، غلظت تمامی آلاینده‌ها از غرب به شرق حوضه‌های استان اصفهان افزایش می‌یابد که با نتایج پژوهش طالبی‌نیا و همکاران (۱۳۹۵)، مبنی بر افزایش غلظت پارامترهای زیرکیفی در شرق استان اصفهان همخوانی دارد. استان اصفهان دارای توسعه بالایی در بخش صنعت می‌باشد و این توسعه خسارات زیست‌محیطی زیادی از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی تحت تاثیر نفوذ پساب کارخانه‌ها به خاک و ورود آن به آب‌های زیرزمینی تحت اثر آبشویی، همچنین مختل شدن فعالیت صحیح کشاورزی به علت عدم وجود آب‌های سطحی و روی آوردن به سفره‌های عمیق آب زیرزمینی شده است. نتایج این پژوهش با مطالعات Shayan Nejad و همکاران (۲۰۱۷)، مبنی بر بررسی کیفیت آب زیرزمینی در مصرف صنعت ریخته‌گری همخوانی ندارد و دارای نتایج معکوس می‌باشد، که می‌توان علت آن را در نوع مصرف در این تحقیق دانست. همچنین در بررسی پاسخ ها به تغییرات فضایی بارش، نتایج نشان از همبستگی مثبت بین این دو پارامتر و به خصوص در سری زمانی ۱۸ ماهه است، لذا، شارژ برخی آبخوان‌ها و همچنین کیفیت آب زیرزمینی به شدت مربوط به شرایط هواشناسی در طول بارش سالانه می‌باشد که با مطالعات طباطبایی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد.

از آن‌جایی که ماه شهریور نماینده خشک‌ترین ماه استان اصفهان می‌باشد لذا بررسی‌ها در این ماه صورت گرفته و مرطوب‌تر بودن قسمت‌های غربی و جنوب غربی استان و ریزش بیشتر بارش در این مناطق تحت تاثیر رشته کوه‌های زاگرس و بادهای باران‌زا از سمت غرب می‌باشد که شرایط غرب را در وسعتی بسیار محدود، مساعدتر نسبت به شرق کرده است که با نتایج مطالعات Bahrami و همکاران (۲۰۱۸) همخوانی دارد. اقلیم خشک استان اصفهان تحت تاثیر وجود انواع معادن گچ و سیمان و ذوب آهن و فولاد در این نقاط نیز مربوط می‌شود، که با انواع آلاینده‌های زیست محیطی سبب گرمترشدن و کاهش بارندگی‌ها و ورود پساب کارخانه‌ها به خاک می‌گردند. نتایج کلی نشان می‌دهد که حداقل تغییرات میلی‌متری در بارندگی از یک حوضه به حوضه دیگر در اقلیم خشک و نیمه‌خشک استان اصفهان، کیفیت آب زیرزمینی را در هر یک از ۶ حوضه تحت تاثیر قرار می‌دهد و در پی رخداد خشکسالی کیفیت آب زیرزمینی روند نزولی دارد.

پاسخ‌های مختلف آبخوان به سطوح تغییرات بارش و کیفیت آب زیرزمینی به عوامل ناهمگون کننده مثل اقلیم، سنگ‌شناسی، عوامل مدیریتی و برجسته کردن نیاز به یک سیاست دقیق تطبیقی آب است که با مطالعات Lorenzo-Lacruz و همکاران[1](۲۰۱۷) مطابقت دارد.

منابع

آذره، ع.، ن. رفیعی سارودی، ع. نظری سامانی، ر. مسعودی و ح. خسروی. ۱۳۹۴. مطالعه تغییرات فضایی و زمانی آب‌های زیرزمینی در دشت گرمسار. مجله مدیریت بیابان، شماره ۳، ص ۲۰-۱۱.

آل بوعلی، ع.، ر. قضاوی و ج. ساداتی نژاد. ۱۳۹۵. بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SPI (مطالعه موردی، دشت کاشان). مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، سال پنجم، شماره ۱۰، ص ۱۳-۲۲.

احمدی، س. ح. و الف. صدق آمیز. ۱۳۸۶. تجزیه و تحلیل زمین شناسی تغییرات آب زیرزمینی. نظارت و ارزیابی محیط زیست، شماره ۱۲۹، جدل ۱-۳، ص ۲۹۴-۲۷۷.

اژدری، ک.، غ و الف. کاظمی. ۱۳۹۳. تغییرات کیفیت و کمیت آب زیرزمینی در شاهرود، شمال شرق ایران. مجله هیدروژئولوژی، شماره ۲۲، جلد ۲، ص ۴۸۰-۴۶۹.

اکبری، م.، م. اونق، ح. عسگری، الف. سعدالدین و ح. خسروی. ۱۳۹۵. نظارت بر خشکسالی تحت تاثیر تغییرات آب و هوایی به کم شاخص های SPI و RDI (مطالعه موردی: مناطق نیمه خشک در غرب استان گلستان). شماره ۴، جلد ۴، ص ۱۵۸۵- ۱۶۰۲.

خسروشاهی، م. ۱۳۸۶. شاخص های مهم بیابانزایی و معرفی پایگاه های تحقیقاتی مرتبط. مجله فصلی جنگل و مرتع، سازمان جنگل ها، مدیریت مرتع و آبخیزداری، شماره ۷۴، ص ۲۲-۱۸

زینالی، ب.، م. فریدپور و ص. اصغری سراسکانرود. ۱۳۹۵. بررسی تاثیر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر ویژگی های کمی و کیفی آب های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مرند). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ۷، شماره ۱۴، ص ۱۷۷-۱۸۷.

شمسایی، الف. ۱۳۸۱. هیدرولیک جریان آب در محیط متخلخل، بخش هیدروگراف واحد سفره های آب زیرزمینی. (جلد دوم) مهندسی آب‌های زیرزمینی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ص۵۶۰.

قضاوی، ر. و م. رمضانی سربندی. ۱۳۹۶. بررسی تاثیرات تغییرات میزان بارش و برداشت از آب‌های زیرزمینی بر تغییرات کمی و کیفی آب آبخوان (مطالعه موردی: دشت رفسنجان). هیدروژئومورفولوژی، دوره ۳، شماره ۱۲، ص ۱۱۱-۱۲۹.

طالبی نیا، م.، غ. زهتابیان، آ. ملکیان و ح. خسروی. ۱۳۹۵. بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت سگزی برای مصارف شرب. مجله تحقیقات بین المللی علوم کاربردی و علوم پایه، شماره ۵، جلد ۱۰، ص ۵۴۴-۵۳۸.

ظهرابی، ص.، م. طالبی نیا و خ. آبخیزی. ۱۳۹۶. مقایسه کیفیت آب زیرزمینی استان اصفهان برای آبیاری بارانی و تحت فشار. کنفرانس بین المللی مدیریت منابع طبیعی در کشور های درحال توسعه، دانشگاه تهران.

مرکز مطالعات منابع آب (تماب)، ۱۳۹۷.

[1] Jorge Lorenzo-Lacruz

سلطانی گردفرامرزی، م.، غ. مظفری و ش.، شفیعی، ۱۳۹۷. تحلیل اثرات خشکسالی های اقلیمی اخیر بر میزان شوری آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش های زمین آماری و GIS در دشت یزد- اردکان. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۷. شماره ۱۰۶، ص ۱۷۹-۲۰۰.

طباطبایی، م.، غ. زهتابیان، م. رحیمی، ح. خسروی و ش. نیکو. ۱۳۹۳. تجزیه و تحلیل کمی وکیفی آب های زیرزمینی و ناهنجاری های آب و هوایی موثر بر روند بیابان زایی در گرمسار. مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. دوره ۳، شماره ۳، ص ۶۸-۵۵.

فاریابی، م. و ج. مظفری زاده. ۱۳۹۶. تاثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت بوشکان. چهاردهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان.

کارآموز، م و ش. عراقی‌نژاد. ۱۳۸۹. هیدرولوژی پیشرفته، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۴۶۰ ص.

کیانی، ع. و م. خوش روش. ۱۳۹۰. آب و امنیت غذایی. مجله علمی تخصصی کشاورزی، سال۳۱، شماره ۲۱۵.

مظفری، ع.، غ. خسروی، ی. عباسی و ف. توکلی. ۱۳۹۰. ارزیابی روش های زمین‌آماری برای شاخص های تحلیل فضایی SPI و EDI . مجله جهانی علوم کاربردی، دوره ۴، ۴۸۲-۴۷۴.

Abramowitz, M., I. A. Stegun. 1965. Handbook of mathematical functions: with formulas, graphs, and mathematical tables (Vol. 55). Courier Corporation.

Bahrami, M., Bazrkar, S. and Zarei, A.R. 2018. Modeling, prediction and trend assessment of drought in Iran using standardized precipitation index. Journal of Water and Climate Change, 10(1), 181-196.

Barker, L.J., J. Hannaford, A. Chiverton, C. Svensson. 2016. From meteorological to hydrological drought using standardised indicators. Hydrol. Earth Syst. Sci. 20 (6), 2483–2505.

Hayes, M.J., M.D. Svobada, D.A. Wilhite, O.V. vanyarkho. 1999. Monitoring the 1996 Drought using the standardized precipitation index. Balltin of the American Meteorological society, 80, 429- 438.

Huang, S., Q. Huang, J. Chang, G. Leng. 2016. Linkages between hydrological drought, climate indices and human activities: a case study in the Columbia River basin. International Journal of Climatology, 36(1), 280-290.

Khosravi, H., Sajedi Hosseini, F., Nasrollahi, M., & Gharechaee, H. R. (2017). Trend analysis and detection of precipitation fluctuations in arid and semi-arid regions. *Desert*, *22*(1), 77-84.

Kundzewicz, Z. W. 2004. Searching for change in hydrological data. Hydrological Sciences Journal/Journal des Sciences Hydrologiques, 49(1), 3-6.

Kundzewicz, Z., A.J. Robson. 2004. Change detection in hydrological records-a review of the methodology. Journal of Hydrology Science, 49, 7–19.

Lorenzo-Lacruz, J., C. Garcia, E. Morán-Tejeda. 2017. Groundwater level responses to precipitation variability in Mediterranean insular aquifers. Journal of Hydrology, 552, 516-531.

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

Pawar, S., B. Panaskard, V. M. Wagh. 2014. Characterization of groundwater using water quality index of solapur industrial, (case study: Maharashtra, INDIA). International journal of Research in Engineering &Technology, 2(4), 31_36.

Porter, T.M. 2010. Karl Pearson: The scientific life in a statistical age. Princeton University Press.

Ranjpisheh, M., Zehtabian, G.R. and Khosravi, H., 2018. Assessment of drought and landuse changes: Impacts on groundwater quality in Shabestar basin, North of Lake Urmia. Desert, 23(1), 9-19.

Shayan Nejad, M., Ebrahimzadr, Z., Javaheri, M., Zamani, N., Eslamian, S. 2017. Evaluation of Groundwater Quality for Industrial Using GIS in Mountainous Region of Isfahan Province, Koh-Payeh, Isfahan, Iran. International Journal of Constructive Research in Civil Engineering (IJCRCE). 3(3), 37-24.

Zengchao, H.., AghaKouchak, A. 2013. Multivariate Standardized Drought Index: A parametric multi-index model. Advances in Water Resources, 57, 12–18.

The Relation between Meteorological Drought and Groundwater Quality in Arid and Semi-arid Climate (Case Study: Isfahan Province)

Marjan Talebiniya[1], Hassan Khosravi[2]

Abstract

In this study, for study the effect of rainfall changes on groundwater quality in dry and semi-arid climate of Isfahan province, six basins with high concentration of wells and meteorological stations were selected. Data from 72 meteorological stations of Isfahan province during the statistical period of 2003-2013 and data from 350 wells were used to study the changes in groundwater quality. Subsequently, data with the lowest quality of EC, Ca, Mg, pH, Na, Cl parameters were recorded in Excel software, and ArcGIS software and the changes were zoned. In studying the meteorological drought, rainfall of September as the representative of the driest months of Isfahan, DIP software, analysis of time series 6, 12, 18 and 24-month and the time series with the highest correlation in the zonation were used .Then a correlation time series was zoned in different sections of the six study basins in ArcMap software. The results of Pearson statistical method showed a positive correlation between the drought of meteorology and groundwater quality in the 18-month time series. In summary, with the negative trend of precipitation, the positive trend of salinity, calcium, magnesium, acidity, chlorine and sodium in groundwater was observed from the western areas to the eastern regions. The results show that the minimum variation of millimeters in rainfall from a basin to another basin in Isfahan province affects groundwater quality in each of the six basins and leads to a downward trend in groundwater quality following drought events.

Keywords: Zonation, Rainfall Changes, Pearson Method, Time Series, Correlation

[1] PhD student management and control of the desert, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran. E-mail: mtalebiniya@ut.ac.ir
2 Associate Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran. E-mail: hakhosravi@ut.ac.ir, (Corresponding Author)