

ارزیابی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SPI (مطالعه موردی: دشت شهربابک، استان کرمان)

افشین جهانشاهی^۱، علیرضا مقدم‌نیا^۲، محمد نهتانی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۲۵

چکیده

بررسی تغییرات منابع آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب هر منطقه اهمیت فراوانی دارد و مدیریت علمی آن نیازمند دانستن رابطه آن با خشکسالی است. در این پژوهش متغیرهای تبخیر، دما، بارندگی از داده‌های اقلیمی و از داده‌های هیدرولوژیکی دبی و همچنین داده‌های عمق آب زیرزمینی ۵۰ حلقه چاه مشاهده‌ای در دشت شهربابک واقع در غرب استان کرمان طی دوره آماری ۹۴-۱۳۷۱ استفاده شد. ابتدا شاخص SPI، طولانی‌ترین دوره و تعداد سال‌های مواجهه با خشکسالی محاسبه شدند. سپس با استفاده از آزمون ناپارامتری من - کندال روند تغییرات شاخص SPI، تبخیر، دبی و عمق آب زیرزمینی مشخص شدند. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها در طول ۳۳ سال اخیر، روندهای عمق آب زیرزمینی، تبخیر، دبی و شاخص خشکسالی کاهش یافته است. سپس رابطه همبستگی بین عمق آب زیرزمینی، شاخص SPI، تبخیر و دما بررسی شد و نتایج نشان‌دهنده عدم وجود رابطه همبستگی معنی‌داری بین متغیرهای اقلیمی تبخیر و دما با عمق آب زیرزمینی و وجود همبستگی بین عمق آب زیرزمینی (متغیر وابسته) و شاخص SPI (متغیر مستقل) در مقیاس ۴۸ ماهه بود که بیشترین ضرایب همبستگی و تبیین به ترتیب 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. تغییرات عمق آب زیرزمینی در ارتباط با شدت و طول دوره خشکسالی و همچنین روند منفی نشان می‌دهد که هر شش ایستگاه مورد بررسی با خشکسالی مواجه‌اند. از بین معیارهای مورد توجه در این شاخص، معیار طول دوره خشکسالی، معیار مناسبی جهت نشان دادن وضعیت خشکسالی در منطقه تشخیص داده شد و مشخص گردید که علاوه بر برداشت بیش از حد مجاز از آبخوان، خشکسالی طولانی‌مدت اثر مخرب‌تری نسبت به دوره‌های کوتاه‌تر خشکسالی در افت سطح آب زیرزمینی دارند.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، خشکسالی، شاخص SPI، من - کندال، دشت شهربابک.

۱. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. دانشیار هیدرولوژی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، نویسنده مسئول / m_nohtani@yahoo.com

مقدمه

خشکسالی یکی از پدیده‌های محیطی است که سالانه خسارت زیادی به جوامع انسانی وارد می‌کند. این پدیده را می‌توان معلول یک دوره خشک غیرعادی دانست که به اندازه کافی تداوم داشته باشد تا عدم تعادل در وضعیت هیدرولوژیکی منطقه ایجاد گردد (مرد^۱ و همکاران، ۲۰۰۶). خشکسالی در اثر کمبود طبیعی رژیم بارشی در منطقه تحت تأثیر ایجاد می‌گردد که معمولاً یک فصل یا بیشتر تداوم دارد (ویلهایت و گلانتز^۲، ۱۹۸۵). ایران کشور پهناوری است که به علت موقعیت خاص و ویژگی‌های توپوگرافیک، آب‌وهوای متفاوتی دارد. میزان بارندگی متوسط سالانه آن حدود یک سوم متوسط بارندگی‌های خشکی‌ها و کمتر از یک سوم بارندگی متوسط کره زمین است. به همین دلیل قسمت اعظم ایران در قلمرو آب‌وهوای خشک جهان قرار می‌گیرد (سعیدی‌نیا و همکاران، ۲۰۱۱). علاوه بر کم بودن میزان بارندگی، نوسانات شدید آن در مقیاس‌های روزانه فصلی و سالانه از جمله خصوصیات است که موجب عدم اطمینان کافی نسبت به دریافت حداقل بارش مورد نیاز جهت مصارف کشاورزی، تغذیه جریان‌های سطحی و سفره‌های آب زیرزمینی و مصارف انسانی می‌شود. در بیشتر مناطق دنیا، ۷۰ درصد منابع آب زیرزمینی به‌عنوان یک منبع آبی مهم برای یک سوم جمعیت جهان، به سرعت جهت مصارف عمومی و کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار گرفته است که میزان تغذیه آبخوان جوابگوی برداشت نبوده و باعث شده واکنش آب‌های زیرزمینی به خشکسالی‌ها بیش از حد مهم باشد (کالو^۳ و همکاران، ۱۹۹۹؛ شیدلر^۴ و همکاران، ۱۹۹۹؛ ذاکری‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۳). خشکسالی یکی از مخاطرات اصلی مرتبط با هواشناسی و از جمله مخاطره‌های طبیعی است که رخداد آن تمام جوانب زندگی ما را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در سطوح بین‌المللی تعریف واحدی از خشکسالی که مورد قبول همه باشد وجود ندارد. به‌طور کلی خشکسالی زمانی روی می‌دهد که کاهش چشمگیر

آب، هم در مکان و هم در زمان ویژه‌ای روی دهد (شکیبا و همکاران ۲۰۱۰؛ کوریا^۵ و همکاران، ۱۹۸۶). در تعریفی دیگر این‌گونه می‌توان گفت که خشکسالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دماست که ممکن است در هر وضعیت اقلیمی رخ دهد. خشکسالی غالباً به‌عنوان یک پدیده خزننده بیان شده و توصیف زمانی و مکانی آن بسیار دشوار است (علیزاده، ۲۰۱۲). بنابراین شناخت خشکسالی به‌عنوان یک بلا و ارزیابی آثار آن بر منابع، به‌ویژه منابع آب ضروری است. لذا امروزه پژوهش‌های گسترده‌ای درباره آب‌های سطحی و زیرزمینی و تأثیرات خشکسالی بر این منابع انجام شده است تا شناختی اصولی‌تر و مدیریت صحیح منابع آب صورت گیرد. سلطانی (۲۰۰۹) در دشت باغملک در جنوب شهرستان ایذه، آثار خشکسالی را بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرار داد. تحقیق برای بررسی روند تغییرات بارش، کمیت و کیفیت آب‌های زیرسطحی در دو سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۶ و ۱۳۸۶-۱۳۸۷ انجام شد. نتایج نشان‌دهنده شدیدترین افت در پایان سال آبی ۸۷ می‌باشد. به دلیل تراکم چاه‌های بهره‌برداری در بخش شرقی دشت، بیشترین افت آبخوان آبی در این بخش ثبت شده است. اثر بارش فصلی بر تراز آبخوان معمولاً با چند ماه تأخیر قابل مشاهده است. در کیفیت آبخوان نیز تغییرات چشمگیری به تبعیت از بارش مشاهده شده است. کرمی و بیاتی‌خطیبی (۲۰۰۹) تأثیر وقوع خشکسالی در افت منابع آب زیرزمینی دشت سراب را ارزیابی نمودند. آن‌ها برای ارزیابی وقوع خشکسالی در افت سطح آب‌های زیرزمینی از روش رگرسیون دو متغیره و از شاخص Z برای خشکسالی هواشناسی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد افت سطح آب زیرزمینی دشت سراب مابین ۰/۲۴ تا ۵/۹۴ متر بوده و روند کاهشی معنی‌دار در تراز آب آبخوان‌های پایکوه‌های سبلان و بزغوش مشاهده می‌شود. شکیبا و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI و دیگر معیارهای مشتق‌شده از آن، از قبیل طولانی‌ترین دوره خشکسالی، تعداد ماه‌های مواجه با خشکسالی و بزرگی خشکسالی (DM^۶) مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها ضمن

1. Morid
2. Wilhite & Glantz
3. Callow
4. Scheidleder

5. Correia
6. Drought Magnitude

تحقیقات متعددی درباره بررسی روند داده‌های اقلیمی صورت گرفته که به بعضی از آن‌ها اشاره می‌شود. در تحقیقی، زارع‌ابیانه و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از آزمون ناپارامتری من - کندال روند تغییرات تبخیر - تعرق، بارندگی و شاخص خشکی مربوط به ۱۰ ایستگاه سینوپتیک در ۱۰ استان مرکزی و جنوبی کشور، مربوط به ۴۰ سال آماری را بررسی کردند. روند بارش افزایشی و روند خشکی کاهشی بود. روند بارش و شاخص خشکی و در حدود ۷۰ درصد ایستگاه‌ها و تبخیر و تعرق در حدود ۹۰ درصد از ایستگاه‌ها معنی‌دار بود. نمودارهای روند من - کندال در تمامی ایستگاه‌ها شروع تغییرات به صورت ناگهانی را از سال ۱۹۶۳ نشان داد. همچنین می‌توان به تحقیقات تبرّی و همکاران (۲۰۱۲)، گلیان^۴ و همکاران (۲۰۱۵)، کاظم‌زاده و ملکیان (۲۰۱۵)، ناظم‌السادات و همکاران (۲۰۰۴)، عسگری و رحیم‌زاده (۲۰۰۶)، ایران‌نژاد و همکاران (۲۰۰۸) و گل‌کار حمزه‌ای یزد و همکاران (۲۰۰۸) اشاره کرد. تحقیقات انجام‌گرفته در کشور نشان می‌دهد که درصد فراوانی وقوع خشکسالی و شدت آن بسیار بالا بوده که استان کرمان با فراوانی حدود ۳۵ درصد در رده‌های اول خشکسالی در ایران قرار دارد. با این اوصاف تجربه خشکسالی در سال‌های اخیر در استان کرمان، اهمیت بررسی خشکسالی را در این منطقه پررنگ می‌کند. به دلیل اهمیت منابع آب زیرزمینی در دشت‌های استان کرمان به‌ویژه دشت‌های غربی و شمال‌غرب که با بحران کمبود این منابع با ارزش مواجه‌اند، در پژوهش حاضر نقش نوسانات متغیرهای اقلیمی تبخیر، دما و همچنین شاخص بارش استاندارد (SPI) و دبی، بر عمق آبخوان دشت شهربابک مورد بررسی قرار گرفت. پاسخ به سؤالات این تحقیق می‌تواند به برنامه‌ریزان و کاربران در اتخاذ تدابیر و تصمیمات مناسب با تغییرات عناصر اقلیمی کمک کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت شهربابک در ناحیه شمال غرب استان کرمان بین طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۳ دقیقه،

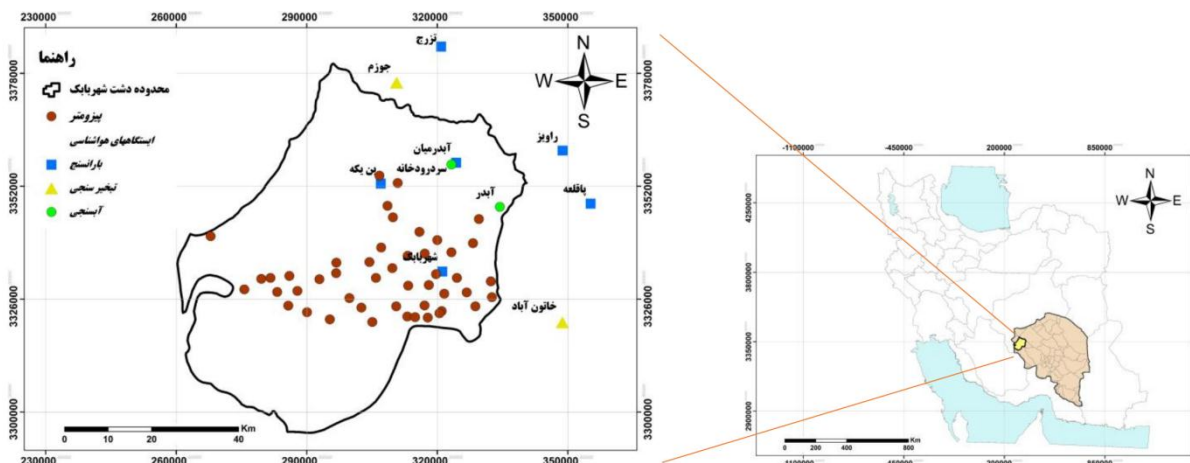
بررسی نوسانات ماهانه SPI و سطح آب زیرزمینی در طی دوره آماری سی‌ساله، ضریب همبستگی بین دو پارامتر را محاسبه و نتیجه گرفتند که شاخص SPI شاخصی مناسب جهت بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی بوده و تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی با خشکسالی مواجه‌اند و معیار مجموع بزرگی خشکسالی، معیار مناسب‌تری جهت نشان دادن وضعیت خشکسالی می‌باشد. خوشحال و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای در دشت دهگلان یکی از دشت‌های استان کردستان به بررسی واکنش آب‌های زیرزمینی نسبت به خشکسالی‌ها پرداختند، آن‌ها از داده‌های بارش، دبی و آمار ۵۱ حلقه چاه مشاهده‌ای در حوضه مذکور طی یک دوره آماری ۱۸ ساله استفاده کردند. پس از بررسی دوره‌های رخداد، شدت و مدت خشکسالی با استفاده از شاخص SPI به بررسی رگرسیون چندمتغیره میان فراسنج‌های اقلیمی و آب‌های سطحی با سطح آب زیرزمینی و نیز رگرسیون یک‌متغیره میان دبی در خروجی حوضه با سطح ایستابی در سطح اصفهان ۹۵ درصد بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن فراسنج‌های اقلیمی در ارتباط با سطح ایستابی بود، اما تغییرات دبی دارای ضریب تبیین ۷۱ درصد با سطح ایستابی است. مندیسینو^۱ و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیق خود با استفاده از شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI^۲) و شاخص SPI^۳ جهت پایش و پیش‌بینی خشکسالی در مناطق مدیترانه، به بررسی این دو شاخص از نظر ضریب همبستگی بین بارش و سطح آب زیرزمینی در جاهای مختلف پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شاخص GRI نسبت به شاخص SPI در پیش‌بینی منابع آب زیرزمینی مناسب‌تر است. خان و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی وضعیت خشکسالی در اراضی حوزه ماری - دارلین کشور استرالیا با سطح آب زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که علی‌رغم اینکه منابع آب زیرزمینی نواحی مختلف مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، در موارد زیادی بین شاخص‌های SPI و سطح آب زیرزمینی ارتباط قوی وجود دارد و می‌توان با بهره‌وری از آن الگوی خشکسالی‌های اصلی را در استرالیا تعیین کرد. همچنین

1. Mendicino
2. Groundwater Resources Index
3. Standard Precipitation Index

4. Golian

درجه سانتی گراد است (بی نام، ۲۰۱۵). شکل (۱) موقعیت دشت شهربابک را در نقشه ایران، استان کرمان، ایستگاه‌های هواشناسی و آبسنجی و چاه‌های مشاهده‌ای (پیزومتر) و در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه آورده شده است.

در حوزه آبریز ابرقو سیرجان واقع شده است این محدوده دارای وسعتی حدود ۴۱۱۲ کیلومتر مربع بوده که حدود ۶۹ درصد آن را دشت آبرفتی تشکیل می‌دهد. میانگین بارندگی و درجه حرارت درازمدت ثبت شده در ایستگاه شهربابک ۱۴۷/۶ میلی متر و ۱۵/۳



شکل (۱): موقعیت دشت شهربابک در ایران، استان کرمان و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی، آبسنجی و چاه‌های مشاهده‌ای (پیزومتر)

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ارتفاع	عرض	طول	نوع	نام ایستگاه	ارتفاع	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نوع	نام ایستگاه
(متر)	جغرافیایی	جغرافیایی	ایستگاه		(متر)			ایستگاه	
۲۰۸۰	۳۰° ۱۵' ۱۸"	۵۵° ۲۹' ۴۳"	ب	پاقلعه	۲۲۸۴	۳۰° ۱۴' ۵۹"	۵۵° ۱۷' ۴۹"	ب	آبدرمیان
۲۱۸۳	۳۰° ۲۰' ۰۳"	۵۵° ۱۰' ۲۲"	آ	سرد رودخانه	۱۸۵۹	۳۰° ۰۶' ۳۴"	۵۵° ۰۸' ۳۳"	ب و س	شهربابک
۲۲۶۹	۳۰° ۱۵' ۰۲"	۵۵° ۱۷' ۴۶"	آ	آبدر	۲۰۲۷	۳۰° ۱۷' ۲۴"	۵۴° ۵۹' ۳۶"	ب	بن یکه
۱۸۵۸	۳۰° ۰۰' ۲۷"	۵۵° ۲۵' ۵۴"	ت	خاتون آباد	۲۲۶۹	۳۰° ۲۱' ۵۲"	۵۵° ۲۵' ۳۶"	ب	راویز
۲۲۴۱	۳۰° ۳۰' ۰۱"	۵۵° ۰۱' ۳۷"	ت	جوزم	۱۹۷۶	۳۰° ۳۴' ۳۵"	۵۵° ۰۷' ۵۶"	ب	تزرچ

ب: باران سنج، س: سینوپتیک، آ: آب سنجی، ت: تبخیرسنج

روش تحقیق

ایستگاه تبخیرسنجی داخل و خارج از حوضه و دشت شهربابک انتخاب شدند. در ابتدا داده‌های مذکور از نظر صحت و دقت با استفاده از روش جرم مضاعف مورد بررسی قرار گرفته و پس از اطمینان از صحت و درستی آن‌ها داده‌های گمشده و یا پرت هر ایستگاه با استفاده از روش همبستگی در محیط نرم‌افزار SPSS 22 بازسازی شدند (گل محمدی و مساح‌بوانی، ۲۰۱۱؛ زارع ابیانه و همکاران، ۲۰۱۰؛ جهانشاهی و همکاران، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴). سپس آزمون نرمال بودن داده‌ها نیز با انجام آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۱ با استفاده از نرم‌افزار مذکور انجام شد که نشان‌دهنده نرمال بودن داده‌ها بود. برای بررسی خشکسالی از شاخص بارش

در این تحقیق از داده‌های ماهانه بارندگی، تبخیر، دما، دبی و داده‌های عمق آب زیرزمینی استفاده شده است که برای به‌دست آوردن این آمار ابتدا پیوستگی و همپوشانی زمانی داده‌های مذکور و میزان سطح اثر ایستگاه‌های باران‌سنجی، تبخیرسنجی و هیدرومتری داخل و خارج از دشت مشخص شده و سپس ایستگاه‌های دارای آمار پیوسته و طول دوره زمانی مشترک بین سال‌های ۱۳۷۰-۱۳۷۱ تا ۱۳۹۳-۱۳۹۴ برای ایستگاه‌های مورد بررسی و داده‌های عمق آب زیرزمینی ۵۰ حلقه چاه مشاهده‌ای انتخاب شدند که در نهایت شش ایستگاه باران‌سنجی، یک ایستگاه هواشناسی، دو ایستگاه آب‌سنجی و دو

1. Kolmogorov-Smirnov

(ترجیحاً ۳۰ سال یا بیشتر) آزمون همگنی داده‌های بارندگی انجام می‌شود و پس از اطمینان از همگنی داده‌ها در کلیه ایستگاه‌ها، سری زمانی تشکیل داده می‌شود (محسنی‌ساروی و همکاران، ۲۰۰۴؛ مرادی و همکاران، ۲۰۰۷؛ خسروی و همکاران، ۲۰۱۳). طبقه‌بندی شاخص SPI مطابق آنچه در این پژوهش استفاده شده مطابق جدول (۲) است. رابطه این شاخص به صورت رابطه (۱) می‌باشد:

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

که در آن: δ_i : انحراف معیار داده‌های زمین ایستگاه، P_i : مقادیر بارندگی برای زمین ایستگاه و \bar{P} : متوسط بارندگی ایستگاه i ام هستند (مکی و همکاران، ۱۹۹۳). این شاخص معمولاً برای کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه به کار می‌رود. در این تحقیق، از شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده گردید. بر طبق تعریف مکی و همکاران (۱۹۹۳) یک دوره خشکی زمانی آغاز می‌شود که مقدار SPI به طور مداوم منفی و مساوی یا کمتر از -۱ باشد. این دوره، زمانی خاتمه می‌یابد که SPI به مقادیر مثبت برگردد. بنابراین هر حادثه خشکسالی یک دوره زمانی دارد که به وسیله شروع و خاتمه آن تعریف می‌شود. البته باید توجه داشت که در برخی از رویدادهای خشکسالی، با اینکه شاخص SPI هیچگاه به کمتر از -۱ نرسیده است، با توجه به مدت طولانی این رویدادها، مقدار جمعی کمبود و در نتیجه، اثر آن‌ها بیشتر از خشکسالی‌هایی است که مقدار SPI در آن‌ها به کمتر از -۱ می‌رسد، ولی مدت خشکسالی و در نتیجه شدت آن تا حدودی کم است (میرعباسی و همکاران، ۲۰۱۲). مشکلات حاد منابع آب در زمان خشکسالی عموماً مربوط به چنین رویدادهای طولانی مدت است. در این مطالعه، بر طبق توصیه لوکاس و واسیلیادز^{۱۱} (۲۰۰۴) رویداد خشکسالی به صورت دوره‌ای که در آن مقادیر SPI کمتر از صفر هستند تعریف می‌شود. برخی محققان دیگر از جمله شیائو^{۱۲} (۲۰۰۶)، شیائو و مدرس (۲۰۰۹) و میرعباسی و همکاران (۲۰۱۲) نیز خشکسالی را به همین صورت تعریف کرده‌اند.

استاندارد (SPI) استفاده شده است. امکان استفاده از این شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف و با اهداف متفاوت، قابلیت استفاده در اقلیم‌های مختلف و سهولت در محاسبه خشکسالی را می‌توان از جمله دلایل انتخاب این شاخص برای محاسبه خشکسالی عنوان کرد (هایس^۱، ۲۰۰۳؛ خوشحال و همکاران، ۲۰۱۳؛ مرید و همکاران، ۲۰۰۶؛ بلومفیلد و مارچانت^۲، ۲۰۱۳). در مرحله دوم برای سال‌های آماری ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۴ در شش ایستگاه مورد بررسی، ارزیابی شدت خشکسالی ماهانه با استفاده از شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه در نرم‌افزار DIP^۳ با آمار ۳۳ ساله بارش ماهانه انجام شد. بررسی روند مقادیر بارش، درجه حرارت، تبخیر و شاخص خشکسالی با آزمون روند من - کندال مورد بررسی قرار گرفت. سپس زمان وقوع نقطه جهش مربوط به شروع روند خشکسالی و فاصله آن نسبت به شروع و تداوم دوره خشکسالی بررسی گردید. پس از مشخص شدن تعداد سال‌های مواجهه با خشکسالی و طولانی‌ترین دوره مواجهه با خشکسالی، بر اساس روابط رگرسیونی، بین شاخص SPI^۴ و عمق آب زیرزمینی مدل مناسب برای شش ایستگاه مورد بررسی به دست آمد.

شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI)

مکی^۴ شاخص بارش استاندارد شده (SPI) را ابتدا در سال ۱۹۹۳، برای طبقه‌بندی خشکسالی در منطقه کلرادو توسعه داد (مکی و همکاران، ۱۹۹۳). این روش به طور گسترده‌ای برای مطالعات مختلف استفاده شده است که برای نمونه می‌توان به کارهای مکی و همکاران (۱۹۹۵)، ادوارد^۵ و مکی کی (۱۹۹۷)، یامو^۶ و همکاران (۱۹۹۸) و هایس و همکاران (۱۹۹۹)، کوموسکو^۷ (۱۹۹۹)، آنگو و چاپل^۸ (۱۹۹۹)، ادوسا^۹ و همکاران (۲۰۱۰) و واسیلیادز^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد. برای محاسبه این شاخص پس از استخراج داده‌ها در مقیاس سالانه

1. Hayes
2. Bloomfield & Marchant
3. Drought Indices Package
4. McKee
5. Edwards
6. Yamoh
7. Komsucu
8. Agnew & Chappell
9. Edossa
10. Vasiliades

11. Loukas A., Vasiliades
12. Shiau

جدول (۲): طبقات شاخص خشکسالی SPI (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳)

ردیف	طبقات خشکسالی	مقادیر SPI
۱	بسیار مرطوب	بزرگتر از ۲
۲	خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
۳	نسبتاً مرطوب	۱ تا ۱/۴۹
۴	نزدیک نرمال	-۰/۹۹ تا +۰/۹۹
۵	نسبتاً خشک	-۱ تا -۱/۴۹
۶	خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
۷	بسیار خشک	کمتر از -۲

$$Var(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (3)$$

در رابطه فوق، X_i و X_k داده‌های i ام و k ام سری داده‌ها، n اندازه نمونه، q معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t_p نشان‌دهنده فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است.

نمره استاندارد شده من - کندال از رابطه زیر محاسبه شد:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & S < 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & S > 0 \end{cases} \quad (4)$$

فرض صفر (عدم وجود روند) در مقابل فرض یک (وجود روند) زمانی رد می‌شود که شرط $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ برقرار باشد. α سطح معنی‌داری آزمون من - کندال برای سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ و مقادیر مثبت و منفی Z به ترتیب مؤید روند صعودی و نزولی سری زمانی داده‌هاست. آماره Z برای سطوح اطمینان ۹۵ درصد، $\pm 1/96$ و ۹۹ درصد، $\pm 2/58$ در نظر گرفته شده است. برای تشخیص زمان آغاز روند، جهت و نوع آن از روش من - کندال سکانشی^۲ استفاده شد (پارتال و کاهیا، ۲۰۰۶). برای این کار مقادیر $U(t)$ و $U'(t)$ از روی سری داده‌ها به دست آمد. در اینجا $U(t)$ دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است. بنابراین رفتار توالی آن به صورت نوسان در حول صفر خواهد بود. $U(t)$ همان مقادیر Z از ابتدای سری زمانی به سمت انتهای آن محاسبه می‌شود. این آزمون مقادیر نسبی همه داده‌های سری زمانی (x_1, \dots, x_n)

یکی از موارد قابل بررسی در شاخص SPI محاسبه میزان بزرگی خشکسالی در هنگام وقوع خشکسالی است که مقدار آن بر اساس رابطه (۲) قابل محاسبه است.

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

که در آن، Z پارامتری که مقدار آن بر اساس اولین ماه خشکسالی از عدد یک شروع و به تعداد ماه‌های یک رویداد خشکسالی (X) افزایش می‌یابد. SP_{ij} شاخص خشکسالی ماه‌های کمتر از -1 بر اساس مقیاس زمانی i در ماه j از خشکسالی است (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳).

تحلیل روند خشکسالی‌ها و عوامل آب‌وهوایی

در تحلیل روند بارندگی، خشکسالی، درجه حرارت و تبخیر با توجه به پیوستگی زمانی آن‌ها از آزمون من - کندال استفاده شد. فرض صفر آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک مؤید وجود روند در سری داده‌هاست. اگر داده‌های سری خودهمبستگی داشته باشند این آماره دارای خطا خواهد بود. باید ابتدا اثرات خودهمبستگی از سری‌ها حذف شود (دین‌پژوه و همکاران، ۲۰۱۴). در این آزمون، هر مقدار در سری زمانی بایستی به صورت پیوسته با بقیه مقادیر سری مقایسه شوند. مراحل محاسبه آماره S به‌عنوان مجموع همه شمارش‌ها و واریانس آن به ترتیب زیر است (ردرگیوس داسیلوا، ۲۰۰۴).

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(X_k - X_i) \Rightarrow \begin{cases} \text{sgn}(x_k - x_i) = 1 & \text{if } (x_k - x_i) > 0 \\ \text{sgn}(x_k - x_i) = 0 & \text{if } (x_k - x_i) = 0 \\ \text{sgn}(x_k - x_i) = -1 & \text{if } (x_k - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

نتایج

تحلیل آماری برای تعیین خشکسالی‌های فراگیر

در گام اول تحلیل خشکسالی برای همه ایستگاه‌ها بر اساس شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه انجام شد و سپس ماتریسی از شاخص‌های استاندارد شده بارش هر ایستگاه به‌طور مجزا و در طول ۳۳ سال محاسبه گردید. نتایج نشان داد که در طول دوره مورد بررسی، خشکسالی‌های فراگیر حداقل در ۸ سال ۷۱-۷۲، ۷۳-۷۴، ۷۹-۸۰، ۸۳-۸۴، ۸۵-۸۶ و ۸۶-۸۷، ۹۲-۹۳ و ۹۳-۹۴ به وقوع پیوسته است اما در عین حال شدیدترین آن‌ها در سال‌های ۷۱-۷۲، ۸۵-۸۶، ۸۶-۸۷ و ۹۲-۹۳ به وقوع پیوسته، زمانی که ایستگاه‌های مطالعاتی دارای مقادیر SPI₄₈ کمتر از ۱- هستند.

شاخص SPI

جدول مربوط به تعداد و درصد طبقات خشکسالی در روش SPI ماهانه با مقیاس ۴۸ ماهه (SPI₄₈) برای شش ایستگاه در دوره آماری مورد بررسی (۱۳۷۱ تا ۱۳۹۴) در جدول (۳) آمده است.

جدول (۳): تعداد و درصد طبقات خشکسالی شاخص SPI₄₈ ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۳۷۱-۱۳۹۴)

ایستگاه	بمرطوب		خمرطوب		نمرطوب		ننرمال		نخشک		خشدید		بخشک	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد
آبدرمیان	۲	۶/۰۶	۵	۱۵/۱۶	۱۲	۳۶/۳۶	۷	۲۱/۲۱	۵	۱۵/۱۶	۱	۳/۰۳	۱	۳/۰۳
بن‌یکه	۱	۳/۰۳	۱۱	۳۳/۳۳	۴	۱۲/۱۲	۱۱	۳۳/۳۳	۳	۹/۱	۱	۳/۰۳	۲	۶/۰۶
پاقلعه	۲	۶/۰۶	۲	۶/۰۶	۱۶	۴۸/۴۹	۷	۲۱/۲۱	۴	۱۲/۱۲	-	-	۲	۶/۰۶
راویز	۲	۶/۰۶	۱۰	۳۰/۳۰	۶	۱۸/۱۹	۹	۲۷/۲۷	۳	۹/۱	۱	۳/۰۳	۲	۶/۰۶
شهربابک	-	-	۳	۹/۱	۱۵	۴۵/۴۴	۹	۲۷/۲۷	۲	۶/۰۶	۳	۹/۱	۱	۳/۰۳
توزج	۲	۶/۰۶	۸	۲۴/۲۳	۷	۲۱/۲۱	۱۲	۳۹/۴۱	۱	۳/۰۳	۱	۳/۰۳	۲	۶/۰۶

بمرطوب: بسیار مرطوب، خمرطوب: خیلی مرطوب، نمرطوب: نسبتاً مرطوب، ننرمال: نزدیک‌نرمال، نخشک: نسبتاً خشک، خشدید: خشکسالی شدید، بخشک: بسیار خشک.

کمترین تکرارند. بر اساس نتایج این شاخص، بیشترین دوره خشکسالی مربوط به ایستگاه آبدرمیان و بیشترین دوره‌های مرطوب مربوط به ایستگاه‌های راویز و بن‌یکه می‌باشند.

را مد نظر قرار می‌دهد. گام‌های زیر برای محاسبه (x_2, \dots, x_n) انجام شد. ۱- مقادیر x_j به ازای $(j=1, \dots, n)$ با مقادیر x_k به ازای $(k=1, \dots, j-1)$ مقایسه شدند. در هر مقایسه تعداد مواردی که $x_j > x_k$ می‌باشد شمرده و با n_j نشان داده شد. ۲- آماره t از رابطه زیر محاسبه شد.

$$t_j = \sum_{i=1}^j n_i \quad (5)$$

میانگین و واریانس آماره از روابط زیر به دست آمدند.

$$E(T) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (6)$$

$$\text{Var}(t_j) = \frac{[j(j-1)(2j+5)]}{72} \quad (7)$$

مقادیر متوالی آمار / $U(t)$ از رابطه زیر محاسبه شد.

$$U(t) = [t_j - E(t)] / \sqrt{\text{Var}(t_j)} \quad (8)$$

به‌طور مشابه مقادیر $U(t)$ و $U'(t)$ به صورت پس‌رو یعنی شروع محاسبات از انتهای سری زمانی انجام شد. این روش می‌تواند به‌طور مؤثر برای تعیین سال(های) آغاز روند به‌کار برود. محل تقاطع دو خط U و U' زمان آغاز روند است. اگر خط مذکور در داخل محدوده بحرانی $\pm 1/96$ همدیگر را قطع کنند نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی و در صورتی که خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع نمایند بیانگر وجود روند در سری‌های زمانی است.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از جدول (۳) می‌توان گفت که در بین تمامی ایستگاه‌ها و در طول دوره آماری، طبقه نسبتاً مرطوب دارای بیشترین تکرار و طبقه بسیار مرطوب دارای

بررسی طول و روند دوره‌های خشکسالی

سطح ۹۵ درصد معنی دارند. بر اساس این جدول روند بارندگی در همه ایستگاه‌ها معنی دار، ایستگاه راویز در سطح ۹۹ درصد و مابقی ایستگاه‌ها در سطح ۹۵ درصد معنی دار هستند. در بررسی روند دما به غیر از ایستگاه راویز، مابقی ایستگاه‌ها دارای روند معنی دار در سطح ۹۵ درصد و همچنین در بررسی روند تبخیر هر دو ایستگاه دارای روند معنی داری در سطوح ۹۹ و ۹۵ درصد هستند. در این راستا ناظم‌السادات و همکاران (۲۰۰۴)، ایران‌نژاد و همکاران (۲۰۰۸) و زارع‌ایبانه و همکاران (۲۰۱۲) افزایش بارندگی در مناطق جنوبی و مرکز کشور را گزارش کرده‌اند که با روند افزایش بارندگی ایستگاه راویز در مطالعه حاضر همخوانی دارد.

جدول (۴) زمان شروع اولین دوره، شروع، پایان و طول مدت طولانی‌ترین و شروع روند (نقطه جهش) دوره خشکسالی را نشان می‌دهد. اولین دوره خشکسالی در ۵ ایستگاه، سال آبی ۷۱-۷۲ و در یک ایستگاه، سال آبی ۷۲-۷۳ می‌باشد. طولانی‌ترین دوره خشکسالی مربوط به ایستگاه راویز است. جدول‌های (۵) و (۶) نتایج خلاصه‌شده اعمال آماره Z در آزمون من - کندال (آماره Z) هشت ایستگاه مورد بررسی برای سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد را نشان می‌دهند. از جدول مشخص است که در بررسی روند شاخص SPI به غیر از ایستگاه‌های آبدرمیان و شهربابک تمامی ایستگاه‌ها در

جدول (۴): زمان شروع اولین دوره، آغاز و اتمام و طول مدت طولانی‌ترین دوره‌های خشکسالی با شاخص SPI_{48}

ایستگاه	شروع اولین دوره خشکسالی	شروع طولانی‌ترین دوره خشکسالی	پایان طولانی‌ترین دوره خشکسالی	طولانی‌ترین دوره خشکسالی (سال)	زمان شروع روند (نقطه جهش)
آبدرمیان	۷۱-۷۲	۷۹-۸۰	۸۵-۸۶	۶	۱۳۷۴
بن‌یکه	۷۱-۷۲	۷۱-۷۲	۷۸-۷۹	۷	۱۳۸۳
پاقله	۷۲-۷۳	۷۵-۷۶	۸۰-۸۱	۵	۱۳۷۷
راویز	۷۱-۷۲	۷۳-۷۴	۸۱-۸۲	۸	۱۳۷۴
شهربابک	۷۱-۷۲	۸۳-۸۴	۹۰-۹۱	۷	۱۳۷۷
تزرگ	۷۱-۷۲	۷۷-۷۸	۸۴-۸۵	۷	۱۳۷۸

جدول (۵): نتایج آماره Z در آزمون من - کندال شاخص SPI_{48} و متغیرهای مورد بررسی (۱۳۹۴-۱۳۷۱)

ردیف	ایستگاه	بارندگی	نوع روند	دما	نوع روند	SPI_{48}	نوع روند
۱	آبدرمیان	$-۱/۴۶^*$	کاهشی	$-۱/۳۸^*$	کاهشی	$-۱/۳۳$	کاهشی
۲	بن‌یکه	$-۱/۵۲^*$	کاهشی	$-۱/۷۵^*$	کاهشی	$-۱/۰۶^*$	کاهشی
۷	پاقله	$-۱/۵^*$	کاهشی	$-۲/۰۹^*$	افزایشی	$-۱/۱۲^*$	کاهشی
۹	راویز	$۰/۱۵^{**}$	افزایشی	$-۰/۵۴$	افزایشی	$۰/۳۷^*$	افزایشی
۱۰	شهربابک	$-۰/۷۷^*$	کاهشی	$-۰/۶۵^*$	افزایشی	$-۰/۵۶$	کاهشی
۱۱	تزرگ	$۰/۵۳^*$	افزایشی	$۰/۲۴^*$	کاهشی	$۰/۵۳^*$	افزایشی

* معنی داری در سطح ۹۵ درصد ** معنی داری در سطح ۹۹ درصد

جدول (۶): نتایج آماره Z در آزمون من - کندال متغیرهای دبی و تبخیر (۱۳۹۴-۱۳۷۱)

ردیف	ایستگاه	دبی	نوع روند	ایستگاه	تبخیر	نوع روند
۱	سرد رودخانه	$-۰/۲۹^*$	کاهشی	خاتون‌آباد	$-۲/۱۸^{**}$	کاهشی
۲	آبدر	$-۰/۵۴^{**}$	کاهشی	جوزم	$-۰/۳۵^*$	کاهشی

* معنی داری در سطح ۹۵ درصد ** معنی داری در سطح ۹۹ درصد

۸۶، ۸۷-۸۶ و ۹۲-۹۳ رخ داده است. جدول (۷) مقدار ضریب همبستگی بین شاخص SPI و میانگین ۳۳ ساله عمق آب زیرزمینی آبخوان دشت شهربابک را نشان می‌دهند.

بررسی رابطه همبستگی بین شاخص SPI و عمق آب زیرزمینی
در این تحقیق در ابتدا با بررسی مقادیر شاخص SPI در طول دوره آماری ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۴ برای کل دشت شهربابک، مشخص شد که شدیدترین دوره‌های خشکسالی در سال‌های ۷۱-۷۲، ۸۵-

جدول (۷): ضرایب همبستگی بین شاخص SPI و میانگین عمق آب زیرزمینی در طی دوره ۱۳۷۱-۱۳۹۴

محدوده	۱ ماهه	۳ ماهه	۶ ماهه	۹ ماهه	۱۲ ماهه	۱۸ ماهه	۲۴ ماهه	۴۸ ماهه
آبدرمیان	۰/۰۵۶	۰/۰۴۷	۰/۰۸۶	۰/۱۲۵	۰/۱۵۶	۰/۲۷۵**	۰/۳۴۷**	۰/۴۲۸*
بن‌یکه	۰/۰۲۲	-۰/۱۶۰	۰/۲۵۱	۰/۲۶	۰/۲۶۸	۰/۳۲	۰/۳۹۱*	۰/۳۷۴*
پاقلعه	-۰/۰۴۳	۰/۰۷۳	-۰/۱۵۶	۰/۰۳۵	۰/۲۲۶	۰/۲۷۳	۰/۳۴	۰/۳۳۶*
راویز	۰/۰۲	۰/۰۳۴	۰/۰۲۷	-۰/۲۸۳	۰/۰۵۱	۰/۱۴۹*	۰/۲۸۳*	۰/۳۰۶*
شهربابک	-۰/۰۱۱	-۰/۰۱۶	۰/۰۲۶	۰/۱۸۳	۰/۲۴۹	۰/۲۷۳*	۰/۳۳	۰/۳۶۷*
تزرچ	۰/۰۶۲	-۰/۰۴۳	۰/۰۲۷	۰/۲۵۳	۰/۳۸۶*	۰/۴۱*	۰/۴۱۸*	۰/۴۳۹*

* معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد ** معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

تمامی ایستگاه‌ها به‌دست آمد که نتایج آزمون در جدول (۸) ارائه شده است. در این جدول مقدار (sig) معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، مقدار ضرایب تبیین نیز نشان می‌دهد که در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی از ۲۹ تا ۵۱ درصد از واریانس تغییرات عمق آب زیرزمینی توسط شاخص SPI_{48} تبیین می‌شود که می‌توان گفت نشان از رابطه معنی‌دار بین تغییرات عمق آب زیرزمینی با خشکسالی می‌باشد و بقیه آن توسط متغیرهای دیگر تبیین می‌شود.

با توجه به جدول (۷) می‌توان دید که مقدار ضریب همبستگی از مقیاس ۱ تا ۴۸ ماهه دارای روند صعودی بوده و در کل منطقه بیشترین همبستگی بین شاخص SPI و میانگین عمق آب زیرزمینی در مقیاس ۴۸ ماهه در سطوح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ درصد معنی‌دار است که بیشترین آن مربوط به ایستگاه‌های آبدرمیان و تزرچ هستند. به‌منظور تعیین تأثیر نقش خشکسالی بر روند نزولی سطح آب زیرزمینی، رابطه رگرسیون خطی ساده بین تغییرات سطح آب زیرزمینی (متغیر وابسته) با شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه (متغیر مستقل) مربوط به دوره آماری ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۴ برای

جدول (۸): نتایج آزمون رگرسیون خطی ساده بین شاخص بارش استاندارد ۴۸ ماهه (SPI_{48}) و تغییرات سطح آب زیرزمینی

ردیف	ایستگاه	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	معادله رگرسیونی
۱	آبدرمیان	۰/۴۲۸*	۰/۴۷	$SPI = 0.736P - 139.8$
۲	بن‌یکه	۰/۳۷۴*	۰/۳۹	$SPI = 1.743P - 124.71$
۳	پاقلعه	۰/۳۳۶*	۰/۳۴	$SPI = 0.203P - 57.8$
۴	راویز	۰/۳۰۶*	۰/۲۹	$SPI = 0.133P - 171.5$
۵	شهربابک	۰/۳۶۷*	۰/۳۴	$SPI = 0.462P - 62.44$
۶	تزرچ	۰/۴۳۹*	۰/۵۱	$SPI = 0.405P - 75.13$

* معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد ** معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

بررسی رابطه بین خشکسالی و دبی

جدول (۹) ضرایب همبستگی بین شاخص SPI و دبی در

جدول (۹): ضرایب همبستگی بین شاخص SPI و دبی در طی دوره ۱۳۷۱-۱۳۹۴

محدوده	۱ ماهه	۳ ماهه	۶ ماهه	۹ ماهه	۱۲ ماهه	۱۸ ماهه	۲۴ ماهه	۴۸ ماهه
سرد رودخانه	۰/۰۲۶	۰/۰۳۷	۰/۰۳۶	۰/۰۴۱	۰/۰۳۹	۰/۱۴۴	۰/۲۸۷	۰/۴۰۸
آبدر	۰/۰۱۹	-۰/۱۴۷	۰/۲۸۹	۰/۲۶۴	۰/۱۷۸	۰/۲۹	۰/۳۰۴	۰/۳۸۳

با توجه به جدول (۹) مشخص شد که رابطه بین شاخص SPI با دبی در ایستگاه‌های مورد بررسی در هیچ مقیاس زمانی معنی‌دار نیستند.

بررسی رابطه بین دبی و عمق آب زیرزمینی

قسمت اعظم بارش حوزه دشت شهربابک در فصل زمستان فرو می‌ریزد و به شکل برف است و به‌ویژه ارتفاعات شمالی حوضه (کوه مدوار) ذخیره می‌شود. در اواخر زمستان و اوایل بهار (تا ماه اردیبهشت) با آب شدن این برف‌ها در اثر افزایش دمای هوا و بارش باران، حجم زیادی رواناب تولید شده که بعد از جاری شدن علاوه بر افزایش جریان‌های سطحی در حوضه موجب تغذیه آب‌های زیرزمینی هم می‌شود (بی‌نام، ۲۰۱۱). با بررسی رابطه همبستگی بین دبی و میانگین ۳۳ ساله عمق آب زیرزمینی آبخوان دشت شهربابک مشخص شد که رابطه معنی‌داری بین این دو متغیر وجود ندارد.

بحث و نتیجه‌گیری

با ارزیابی میزان بارندگی، دما، دبی و تبخیر طی تقریباً ۳۳ سال اخیر و تعیین شاخص SPI₄₈ و روندیابی خشکسالی با آزمون من-کندال، این نتیجه حاصل شد که دشت شهربابک طی این دوره مطالعاتی با خشکسالی‌های متعددی روبه‌رو بوده است. با بررسی روند داده‌های شاخص SPI₄₈ (جدول ۵) مشخص شد که از شش ایستگاه مورد بررسی، ایستگاه‌های آبدرمیان و راویز شروع روندشان (نقطه جهش) از سال ۱۳۷۴ می‌باشند که ایستگاه‌های آبدرمیان روند کاهشی و راویز روند افزایشی داشته است. با توجه به جدول (۴) می‌توان بیان کرد که در هیچ یک از ایستگاه‌ها شروع اولین دوره خشکسالی همزمان با شروع روند

(نقطه جهش) نمی‌باشند و شروع روند با تأخیر حداقل ۳ ساله (ایستگاه آبدرمیان) و حداکثر ۱۲ ساله (ایستگاه بن‌یکه) نسبت به شروع اولین دوره خشکی است. بنابراین می‌توان گفت که شروع روند در ایستگاه‌های با طول دوره‌های خشکسالی طولانی‌تر به فاصله زمانی کمی از شروع اولین دوره خشکسالی اتفاق افتاده است. با توجه به جدول (۷) می‌توان گفت که پدیده خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت شهربابک مؤثر بوده به‌طوری‌که رابطه نزدیکی بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با مقیاس زمانی ۴۸ ماهه و عمق آب زیرزمینی وجود دارد. این تأخیر زمانی در دشت‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد که دلیل این تفاوت به عمق سطح آب زیرزمینی، خصوصیات خاک و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان در هر منطقه مربوط می‌شود. با توجه به معنی‌دار بودن همبستگی میان شاخص SPI و عمق آب زیرزمینی، اثرپذیری مستقیم روند نزولی سطح آب زیرزمینی منطقه از شاخص خشکسالی در این دشت تأیید گردید. به‌طوری‌که از مهر ۱۳۸۲ تا مهر ۱۳۹۱ سطح ایستابی افتی معادل ۴/۴ متر داشته است. این بخش از نتایج پژوهش حاضر با نتایج صیف و همکاران (۱۹۹۴) در دشت فسا مطابقت دارد. آن‌ها رابطه همبستگی بین عمق آب زیرزمینی و شاخص SPI را ۰/۷۳ به‌دست آوردند. از بین شش ایستگاه باران‌سنج مورد بررسی، ایستگاه راویز دارای طولانی‌ترین دوره خشکسالی مداوم (۸ سال) و ایستگاه‌های آبدرمیان و پاقلعه دارای طولانی‌ترین دوره‌های خشکسالی (۱۱ سال) غیر مداوم می‌باشند. در دشت شهربابک بیشترین سهم دوره‌های با بارش کمتر از متوسط (خشکسالی) در ۵۱ درصد نوسانات آب زیرزمینی است (جدول ۸، ایستگاه تزرچ). بنابراین نقش سایر عوامل مانند فرایند تبخیر و

خشکسالی‌های شدید و طولانی مدت برای جلوگیری از افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی در دشت شهربابک امری بسیار ضروری است. این کار می‌تواند با بهینه‌سازی در مصرف آب و از طریق استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری در بخش کشاورزی انجام شود. با توجه به فراوانی وقوع باران‌های سیلابی در چند دهه اخیر، اجرای پروژه‌های پخش سیلاب می‌تواند گزینه خوبی برای احیای منابع آب زیرزمینی منطقه باشد.

تشکر و قدردانی

محققان پژوهش حاضر بر خود لازم می‌دانند تا از همکاری شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کرمان در خصوص ارائه آمار و اطلاعات مورد نیاز کمال تشکر و قدردانی را بکنند.

عوامل انسانی از قبیل برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در ایجاد نوسانات سطح آب زیرزمینی نمایان می‌شود که با نتایج پژوهشی که کرمی و بیاتی (۲۰۰۹) در دشت تبریز که ضریب تبیین ۲۵/۸ را به دست آورد، مطابقت دارد. البته ناگفته نماند که استفاده از روش‌های آماری برای بررسی رابطه بین این دو خشکسالی دارای عدم قطعیت بالایی است و همیشه نمی‌توان به نتایج آن‌ها با اطمینان بالا نگاه کرد و بر اساس آن‌ها تصمیمات مدیریتی مورد نظر را اتخاذ کرد. در دشت شهربابک، ارتباط بین خشکسالی و عمق آب زیرزمینی در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه معنی‌دار شده که با نتایج صیف و همکاران (۱۹۹۴) در دشت فسا یکسان و با نتایج شکیبا و همکاران (۲۰۱۰) در شرق دشت کرمانشاه مطابقت ندارد. به نظر می‌رسد پایش مداوم وضعیت خشکسالی و نظارت قوی بر میزان برداشت، به‌ویژه در

مراجع

1. Agnew C.T., Chappell, A., 1999. Drought in the Sahel. *GeoJournal*, Vol. 48, No. 4, 299-311.
2. Alizadeh, A., 2012. Principles of applied Hydrology, 35th edition. Ferdowsi University press. 927 pp.
3. Anonymous., 2011. Report of ShahrBabak groundwater resources. Kerman Regional Water Authority, Department of Water Resources Research Studies. Iran
4. Anonymous., 2015. Report of ShahrBabak groundwater resources. Kerman Regional Water Authority, Department of Water Resources Research Studies. Iran
5. Asgari, A., Rahimzadeh, F., 2006. Study of Iran recently rainfall variability. *Journal of Geographical Research* 58, 67-80.
6. Bloomfield J. P., Marchant B. P., 2013. Analysis of groundwater drought building on the standardised precipitation index approach. *Journal of Hydrology and Earth System Science*, 17, 4769-4787.
- 7- Callow R., Robins, N., Mcdonald, A., Nicol, A., 1999. Planning for groundwater drought in Africa. In: Proceedings of the International Conference on Integrated Drought Management: Lesson for Sub-Saharan Africa. IHP-V, Technical Documents in Hydrology, 35: 255-270.
8. Correia F.N., Santos, M.A., Rodrigues, R.R., 1986. Risk, resilience and Vulnerability in Regional Drought Studies, In Valadares Tavares L, Evaristo Da Silva J (eds) system Analysis Applied to Water and Related Land Resources. Proceeding of the IFAC Conference, Lisbon, Portugal, October 2-4 October.
9. Dinpazhoh Y., Mirabbasi, R., Jhajharia, D., Abianeh, H., Mostafaeipour, A., 2014. Effect of Short Term and Long-Term Persistence on Identification of Temporal Trends. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3): 617-625.
10. Edossa F., Kassahum, T., Endashaw, B., 2010. A comparative study of morphological and molecular diversity in the Ethiopian lentil landraces. *African Journal of Plant Science* 7(4): 241-254.
11. Edwards D. C., McKee, T. B., 1997. Characteristics of 20th Century in the United States at multiple time scales. *Climatology Report Number 97-2*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
12. Golian S., Mazdiyasn, O., Aghakouchak, A., 2015. Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, Volume 119, Issue 3, 679-688.
13. Golkarhamzei Yazd, H. R., Kaveh, F., Ghahreman, B., Sedghi, H., 2008. Investigation of chang trend of evapotranspiration reference plant

- monthly time series using FAO Penman montietz suggested method. *Special Agricultural Sciences*, 13(2), 417-433.
14. Golmohammadi, M., Massah Bavani, A., 2011. The Perusal Climate Change Impact on Drought Intensity and Duration. *Journal of Water and Soil* 25(2): 315-326.
 15. Hayes M. J., Svoboda, M. D., Wihite, D. A., Vanyarkho, O. V., 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meterological Society*, 80(3): 429-438.
 16. Hayes M., 2003. Drought Indicates, National Drought Mitigation Center. 1-11.
 17. Irannejad, P., Katiraei Boroujerdi, P. S., Hejam, S., 2008. The share of daily rainfall frequency and intensity changes in the trend of rainfall in Iran over the period 1960 to 2001. *Journal of Earth and Space Physics*. 33(1): 67-83.
 18. Jahanshahi, A., 2013. Spatial variability analysis of groundwater quality and quantity in ShahrBabak plain using geostatistic and GIS. M.Sc. thesis, University of Zabol. 147 pp.
 19. Jahanshahi, A., Rouhi Moghaddam, E., Dehviri, A., 2014. Investigation groundwater quality parameters using GIS and geostatistics (Case study: ShahrBabak plain aquifer). *Journal of water and soil science* 24(3): 183-197
 20. Karami, F., Bayati Khatibi, M., 2009. Effect of drought on water resources dropping in Sarab plain. Final report of the research project, University of Tabriz, Iran.
 21. Kazemzadeh, M., Malekian, A., 2015. Spatial characteristics and temporal trends of meterological and hydrological droughts in northwestern Iran. *Natural Hazards*. Volume 80, Issue 1, 191-210.
 22. Khan S., Gabriel, H.F., Rana, T., 2008. Standard Precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables on irrigation areas. *Irrigation Drainage System*. 22: 159-177.
 23. Khoshhal, J., Ghayoor, H. A., Moradi, M., 2013. A Surveying the Impact of Groundwater Drought in Dehgholan Basin, Kurdistan Province. *Journal of Natural Geography Researches* 79, 19-36.
 24. Khosravi, M., Movaghari, A., Mansouridanesh, M. R., 2013. Evaluation of PNI, RAI, SIP and SPI index for the zoning of drought severity by comparing the two methods of IDW interpolation and Digital Elevation Model DEM. *Journal of Geography and Environmental Sustainability* 5, 53-70.
 25. Komsucu, A. U., 1999. Using the SPI to analysis spatial and temporal patterns of drought in Turkey. *Drought Network News* 11(1): 7-13.
 26. Loukas A., Vasiliades, L., 2004. Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece. *Natural Hazarda and Earth SystemScience* 4, 719-931.
 27. McKee T B., Doeksen, N. J., Kleist, J., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. 9th Conferences on Applied Climatology, American Meterological Society, Jan 15-20, 1995, Dallas TX, 233-236.
 28. McKee T.B., Nolan, J.D., Kleist, J., 1993. The relationship of Drought Frequency and Duration on Time Scales, The eighth Conference on "Applied Climatology Department of Atmospheric Science", Colorado State University Fort Collins, January 17-22.
 29. Mendicino G., Alfonso, S., Pasquale, V., 2008. A groundwater Resources Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate, *Journal of Hydrology*, Vol 357 N: 3: 282-302.
 30. Mirabbasi R., Fakheri-Fard, A., Dinpajouh, Y., 2012. Bivariate drought frequency analysis using copula method, *Theoretical and Applied Climatology* 108, 191-206.
 31. Mohseni Saravi, M., Safdari, A. A., Saghafian, B., Mahdavi, M., 2004. Analysis of intensity, duration, frequency and drought extent using rainfall data (case study: Karoun catchment). *Journal of Iran Natural Resources*, 57(4): 607-620.
 32. Moradi, H. R., Rajabi, M., Farajzadeh, M., 2007. Analysis trend and spatial characteristics of droughts intensity in Fars province. *Iranian Journal of Range Desert research* 14(1): 97-109.
 33. Morid S, Smakhtin V., Moghaddasi, M., 2006. Comparison of Seven Meterological Indices for Drought Monitoring in Iran. *International Journal of Climatology* 26: 971-985.
 34. Nazemosadat, S.M.J., Samani, N., Molaeinikou, M., 2004. Climate change in the south and sout west of Iran from the perspective of rainfall observation, Interaction with southern phenomenon oscillation of El Nino, *Journal of Agriculture* 28(2): 81-97.
 35. Partal T., Kahaya, E., 2006. Trends in Turkish precipitation data. *Hydrol Process* 20: 2011-2026.

36. Rodrigues da silva VP., 2004. On climate variability in northeast of Brazil. *J Arid Environments* 58: 575-596.
37. Saeedinia, M., Samadi borojeni, H., Maleki, A., Izadi, A., 2011. Evaluation of Drought Effect on the Groundwater Resources and Agricultural Development in the Behesht Abad Basin Using WEAP Model. *Journal of Water and Soil Conservation* 18(3): 17-36.
38. Scheidleder A., Grath, J., Winkler, G., Stark, U., Koreimann, C., Gmeiner, C., 1999. Ground water quality and quantity in Europe. *European Environment Agency*, pp. 123.
39. Seif, M., Mosaedi, A., Mohammadzadeh, H., 1994. "Evaluate the effect of drought on groundwater resources drop (case study: aquifer of Fasa plain)". 15th Congress of the Geological Society of Iran. Iran.
40. Shakiba, A., Mirbagheri, B., Kheiri, A., 2010. Drought and its impact on groundwater resources in the east of Kermanshah province. *Journal of Geography (Geographic Society's Journal)* 25, 105-124.
41. Shiau JT., 2006. Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas. *Water Resources Management* 20, 795-815.
42. Shiau JT., Modarres, R., 2009. Copula-based drought severity-duration-frequency analysis in Iran. *Meteorological Applications* 16: 481-489.
43. Soltani, F., 2009. "Quantitative and qualitative changes of Baghmalek plain groundwater due to drought and evaluate the rate of change in watery volume". 2th National Conference on drought and its management solutions. Iran.
44. Tabari H., Nikbakht, J., Hosseinzadeh Talaei, P., 2012. Hydrological Drought Assessment in Northwestern Iran Based on Streamflow Drought Index (SDI). *Water Resources Management*, Volume 27, Issue 1, 137-151.
45. Vasiliades L., Loukas, A., Liberis, N., 2010. A water derived drought index for pinios River Basin, Greece. *Water Resources Management* 25(4): 1087-1101.
46. Wilhite D A., Glantz, M H., 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *University of Nebraska-Lincoln* 10: 111-120.
47. Yamoh C. F., Varvel, G. E., Francis, C. A., Waltman, W J., 1998. Weather and management impact on crop yield variability, *Journal of production agriculture* 11(2): 219-225.
48. Zakerinejad, R., Masoudi, M., Afzali, F., Falah, R., 2013. Assessment of Desertification using groundwater criteria and GIS (Case study: Zarin Dasht Fars). 7, 1-10.
49. Zare Abyaneh, H., Bayat Varkeshi, M., Dinpajouh, Y., 2012. Investigation of changing trend of drought index in the southern half of the country, *Journal of Water and Soil Science* 21(2): 81-92.

Assessment of Drought Impact on Groundwater Resources Using SPI Index (Case study: Shahr-e-Babak Plain, Kerman Province)

Afshin Jahanshahi¹, Alireza Moghddam Nia², Mohammad Nohtani^{3*}

Received: 16/3/2016

Accepted: 14/6/2016

Abstract:

Investigation of changes in groundwater resources is of great importance in planning and sustainable management of water resources. Knowledge on the relationship between groundwater and drought is prerequisite for water resources management. In this study, climatic variables including evaporation, temperature, precipitation as well as hydrological variables i.e. discharge and groundwater depth from 50 piezometric wells were used for the period of 1992-2015 in the Shar-e-Babak plain, west of Kerman province. The SPI index, the longest period of drought and the number of years faced drought were calculated at first step. Then, trend of SPI index variation, evaporation, discharge and groundwater depth were determined using Mann-Kendall non-parametric trend test. Correlation coefficient was also investigated between groundwater depth, SPI index, evaporation and temperature. Results showed that trends of groundwater depth, evaporation, discharge and drought index were decreasing in most stations during the past 33 years. Evaporation and temperature were not significantly correlated with groundwater depth, but there was a positive correlation between groundwater depth (dependent variable) and SPI index (independent variable) on the scale of 48 months. The highest correlation and regression coefficients were 0.439 and 0.51, respectively, at 99% significance level indicating direct effect of drought on groundwater level in Shahr-e-Babak plain. Changes in groundwater depth in association with drought severity and duration as well as decreasing trend indicate that all six stations were facing drought. Among the criteria in SPI index, drought duration was recognized as an appropriate criterion for indicating drought conditions in the study area. It was found that in addition to excessive use of groundwater, prolonged drought periods has more destructive effect than shorter periods on drop of groundwater level.

Keywords: Drought, Groundwater, Mann-Kendall, Shar-e-Babak Plain, SPI Index.

1. Ph.D Student of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran. (afshin.jahanshahi@yahoo.com)

2. Associate Professor of Hydrology, Department of Range and Watershed, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran. (a.moghaddamnia@ut.ac.ir)

3. Assistant Professor, Department of Range and Watershed, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran. (Corresponding Author: m_nohtani@yahoo.com)