

## مقدمه

خشکسالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دماست که ممکن است در هر وضعیت اقلیمی رخ دهد و غالباً به عنوان یک پدیده‌ی خزنده بیان شده که توصیف زمانی و مکانی آن بسیار دشوار است [۱]. بنابراین، شناخت خشکسالی به عنوان یک مخاطره طبیعی و ارزیابی اثرات آن بر منابع، به‌ویژه منابع آب ضروری است. لذا، امروزه پژوهش‌های گسترده‌ای در مورد اثرات خشکسالی بر منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی انجام شده است تا شناختی اصولی‌تر و مدیریتی جامع‌تر از منابع آب حاصل گردد. پاندا و همکاران [۱۹] در پژوهشی برای شناختن و یافتن روند تأثیر خشکسالی و دخالت بشر بر تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه‌ی Orissa هند از روش‌های آماری نافرسانجی من-کندال استفاده کردند. نتایج آنان نشان داد که افت سطح آب به علت کمبود باران در طول سال‌های خشک، دمای بالا و دخالت بشری اتفاق افتاده و تغذیه در سال‌های مرطوب نتوانسته این افت را جبران کند. یکی از مهمترین فاکتورها در توسعه و ایجاد فرونشست و گودال، تغییرات سطح آب زیرزمینی می‌باشد [۱۰]. شهید و هازاریکا [۲۲]، به تحلیل آبنگار سطح آب زیرزمینی در شمال غربی بنگلادش پرداختند؛ آن‌ها نشان دادند که افزایش برداشت آب زیرزمینی برای آبیاری در فصل‌های خشک و بازگشت خشکسالی‌ها از عوامل افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه بوده و اگر مداخله‌ی بشر در سامانه‌ی آب زیرزمینی وجود نمی‌داشت، یکی از عوامل افت آب زیرزمینی به گونه‌ی عمده مربوط به کاهش بارندگی‌ها بود. حمیدیان‌پور [۹] نیز به تحلیل دوره‌های خشکسالی دشت مشهد و شدت تأثیر آن بر منابع آب پرداخته است. نتایج وی حاکی از آن است که خشکسالی باعث تشدید افت آب‌های زیرزمینی در این منطقه شده است. در بیشتر مناطق دنیا، منابع آب زیرزمینی به عنوان یک منبع برای مصارف عمومی و همچنین فعالیت‌های کشاورزی به سرعت مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این بدان معناست که واکنش آب‌های زیرزمینی به خشکسالی‌ها بیش از حد مهم شده است [۲۰]. گرچه آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مهم آبی در دنیا محسوب می‌شود اما در بسیاری از بررسی‌های مربوط به خشکسالی مورد توجه قرار نمی‌گیرد [۴] از نگاه ویلت و گلانز [۲۵] در تعاریف مرتبط با خشکسالی، خشکسالی تنها به عنوان یکی از پارامترهای هشدار دهنده مورد توجه قرار گرفته است. در سال (۹۹-۱۹۸۷) در انگلستان تات و گستارد [۲۴] بخش کوچکی از مباحث خود را به خشکسالی آب‌های زیرزمینی اختصاص داده و به بررسی

## تأخیر زمانی و تأثیر خشکسالی هواشناسی بر روی سطح آب زیرزمینی

بهرام چوبین<sup>۱</sup>، آرش ملکیان<sup>۲</sup>، فرزانه ساجدی حسینی<sup>۳</sup>  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۲

## چکیده:

خشکسالی یکی از پدیده‌های جوی است که بخش‌های مختلف محیطی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. منابع آب‌های زیرزمینی از جمله بخش‌های متأثر شده از شرایط خشکسالی است که کمتر از سایر بخش‌ها مورد توجه قرار گرفته است. دشت آسپاس در استان فارس در سال‌های اخیر با افت چشمگیر سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. در نتیجه، نقش عوامل مدیریتی در این دشت دارای اهمیت می‌باشد. در این تحقیق تلاش شده است با استفاده از تابع همبستگی متقاطع (Cross Correlation Function) شرایط بلند و کوتاه مدت خشکسالی بر روی منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور، شاخص بارندگی استاندارد (SPI) ماهانه (یک، سه، شش، نه، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه) در طی دوره آماری (۸۹-۱۳۶۴) محاسبه شد، همچنین شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) دشت در طی دوره آماری (۸۹-۱۳۸۱) از ۶۱ چاه پیژومتری در سطح دشت بدست آمد. تابع همبستگی متقاطع نشان داد که خشکسالی کوتاه مدت همراه با تأخیر و خشکسالی بلند مدت به طور همزمان بر منابع آب زیرزمینی تأثیرگذار است. بیشترین ارتباط بین آب زیرزمینی و SPI 24 وجود دارد که نتایج رگرسیون خطی نشان داد که تقریباً ۸۰ درصد از واریانس متوسط سطح ایستابی دشت آسپاس تحت تأثیر تغییرات بارندگی بوده (SPI 24) و نزدیک به ۲۰ درصد آن تحت تأثیر سایر موارد می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** تابع همبستگی متقاطع، خشکسالی هواشناسی، سطح ایستابی، شاخص بارندگی استاندارد، منابع آب زیرزمینی

۱. دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲. نویسنده مسئول و دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، پست الکترونیک: malekian@ut.ac.ir
۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تأثیرات خشکسالی بر روی سطوح آب‌های زیرزمینی پرداختند. از بین شاخص‌های کمی در تحلیل خشکسالی، روش SPI به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای دوره‌های متفاوت زمانی و همچنین مقیاس‌های مکانی مختلف، به عنوان شاخص مناسب به منظور تحلیل خشکسالی از مقبولیت جهانی برخوردار شده است. خوان و همکاران [۱۱] از شاخص استاندارد شده‌ی بارش (SPI) برای بررسی اثر خشکسالی و بارندگی بر سطح آب زیرزمینی در سه منطقه‌ی تحت آبیاری در حوضه‌ی ماری-دارلین استرالیا استفاده کردند که نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی خوبی بین روش SPI و نوسان‌های سطح آب زیرزمینی در منطقه برقرار بوده و می‌توان با بهره‌وری از آن الگوی خشکسالی‌های اصلی را در استرالیا تعیین کرد. انصافی مقدم [۸] در ارزیابی شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک به این نتیجه رسید که روش SPI و دهک‌ها، مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، رخداد خشکسالی شدید و بسیار شدید است و کارایی بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها از جنبه نمایش خشکسالی بسیار شدید دارند. در مورد اثر خشکسالی بر آب زیرزمینی در ایران مطالعات ارزشمندی انجام شده است. محمدی و شمسی پور [۱۶] در مطالعه تأثیر خشکسالی‌های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان، نشان دادند که خشکسالی به صورت غیرمستقیم از طریق کاهش تغذیه آب زیرزمینی، افزایش برداشت از چاه‌های عمیق برای مصارف کشاورزی، افزایش تبخیر و تعرق و غیره بر منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان مؤثر است. علیرضا شکیبا و همکاران [۲۳] در دشت‌های شرق استان کرمانشاه، ابتدا میزان آسیب‌پذیری ۸ ایستگاه هواشناسی واقع در منطقه مطالعاتی نسبت به خشکسالی (در یک دوره ۳۰ ساله آماری) بر اساس روش SPI تعیین و سپس رابطه SPI با عمق آب‌های زیرزمینی منطقه به صورت ماه به ماه مورد بررسی قرار دادند.

اکرامی و همکاران [۷] با بررسی تأخیر خشکسالی اقلیمی بر آبدهی قنوت و چشمه‌ها در دشت یزد-اردکان به این نتیجه رسیدند که در مناطق کوهستانی تأخیر یک‌ساله و در مناطق دشتی تأخیر، دو سال است.

خورانی و خواجه [۱۳] به بررسی تأثیر خشکسالی بر روی سطح آب زیرزمینی و برآورد تأخیر زمانی خشکسالی در دشت داراب پرداختند. برای این منظور با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاه داراب و با استفاده از شاخص اقلیمی SPI اقدام به استخراج وضعیت خشکسالی کردند و در نهایت روند بارندگی و روند ۱۸ ساله داده‌های سطح آب زیرزمینی دشت داراب را نیز با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال تحلیل کردند. نتایج نشان داد که منطقه طی این دوره دچار خشکسالی‌هایی شده و میزان بارندگی روند کاهشی داشته است. تحلیل در ۴۲ حلقه چاه نشان داد که سطح آب زیرزمینی ۴۰ حلقه چاه، شاهد کاهش بوده و دو حلقه چاه دیگر، یکی روند ثابتی داشته و سطح ایستابی دیگری افزایش داشته است. نتایج همبستگی داده‌های

بارش و افت سطح آب زیرزمینی نشان داد که افت سطح آب زیرزمینی با تأخیر ۵ ماهه نسبت به بارش رخ می‌دهد.

بختیاری عنایت و همکاران [۳] به منظور بررسی آثار زمانی خشکسالی اقلیمی بر خشکسالی آب‌شناختی در منابع آب زیرزمینی دشت هشتگرد، از نمایه خشکسالی اقلیمی استاندارد شده و شاخص منابع آب زیرزمینی استفاده کردند. همچنین از آزمون من‌کندال برای بررسی وجود روند در داده‌ها استفاده شد. همبستگی پیرسون بین SPI و GRI از طریق همبستگی متقابل محاسبه گردید. برای بررسی دقیق همبستگی، از پایه‌های زمانی صفر تا ۲۰۰ ماهه SPI و تأخیر زمانی صفر تا ۱۵۰ ماهه با GRI استفاده شد. در نهایت، مشخص شد که در ارتباط زمانی بین SPI و GRI علاوه بر وابستگی به پایه زمانی شاخص خشکسالی و تأخیر زمانی بین این دو شاخص، به ارتباط درونی بین تأخیر و پایه زمانی نیز وابسته است و الگوی رفتاری هر پیرومتر منجر به گروه‌بندی پیرومترها در سه گروه متفاوت می‌شود. در تحقیق حاضر روند تغییرات بارندگی و خشکسالی با استفاده از روش SPI مشخص شد، و سپس سهم خشکسالی هواشناسی بر شاخص منبع آب‌های زیرزمینی (GRI) دشت آسپاس به صورت ماه به ماه (با اعمال و بدون اعمال تأخیر زمانی) با استفاده از تابع همبستگی متقاطع (CCF) مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

روش تحقیق به طور کلی به این صورت است که ابتدا پدیده خشکسالی و نوسانات بارندگی با شاخص بارندگی استاندارد ماهانه (یک، سه، شش، نه، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه) در طی دوره آماری (۸۹-۱۳۶۴) مورد بررسی قرار خواهد گرفت. سپس روند تغییرات سطح ایستابی آبخوان با شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) مشخص می‌شود و سرانجام با استفاده از تابع همبستگی متقاطع (Cross Correlation Function) شرایط بلند و کوتاه مدت خشکسالی بر روی منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### منطقه مورد مطالعه

دشت آسپاس در حد فاصل ۳۰ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). این دشت در شمال استان فارس و در فاصله ۴۵ کیلومتری شهرستان اقلید قرار گرفته، سطح کلی منطقه مورد مطالعه حدود ۱۶۲۹ کیلومتر مربع است، که ۹۷۳ کیلومتر مربع آن را ارتفاعات و ۶۵۶ کیلومتر مربع آن را دشت تشکیل می‌دهد. حداکثر ارتفاع در منطقه ۳۴۰۲ متر و پست‌ترین نقطه با ارتفاع ۲۱۳۶ متر در حوالی رحمت آباد است. محدوده مورد مطالعه از نظر ساختمان زمین‌شناسی به عنوان ناودیس طولی بین دو طاق‌دیس شمالی و جنوبی قرار گرفته که طاق‌دیس‌های عمده این دشت عبارتند از: برآفتاب، در قسمت شمال و شمال شرقی حوضه که شامل کوه‌های موسی خانی، لام کال، تنگ راه، عابدینی و پلنگی است. طاق‌دیس جنوبی دشت آسپاس شامل کوه‌های پلنگی، لای سوار، ضرابی، کربلاغ و کل دروازه

استاندارد، ابتدا با استفاده از مؤلف کولوموگراف-اسمیرنوف از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل شد سپس با استفاده از نرم افزار DIP (Drought Indices Package) برای تعیین شاخص بارندگی استاندارد استفاده شد. شاخص بارندگی استاندارد بر اساس داده‌های طولانی مدت بارندگی بدست می‌آید (۳۰ سال یا بیشتر) [۱۰] با توجه به مشابهت روش SPI با مقادیر توزیع نرمال استاندارد آن را به کلاس‌هایی در جدول (۱) تقسیم نمودند.

همانطور که در شکل (۲) مشخص است یک روند نزولی از بارش و شاخص بارندگی استاندارد در دشت آسپاس در طی دوره (۸۷-۱۳۶۷) وجود دارد که در قسمت‌های بعدی ارتباط این روند با آب زیرزمینی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

تعیین شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) برای اینکه میانگین سطح ایستابی برای دشت در ماه‌های مختلف محاسبه شود، در نرم افزار Arc GIS محدوده اطراف ۶۱ چاه پیزومتری تعیین (شکل ۳) و سپس میانگین وزنی بر اساس روش تیسن و مساحت محدوده هر چاه و سطح ایستابی آن گرفته شد. با توجه به آمار کم از آب زیرزمینی در کشور تغییرات سطح ایستابی دشت آسپاس برای هشت سال آبی از سال (۸۸-۱۳۸۱) مشخص شد، به این طریق که متوسط ماهانه سطح ایستابی این هشت سال

است. رودخانه دائمی این دشت رود اوجان و دیگری بالنگان است. جهت جریان آب‌های سطحی از جنوب شرق به طرف شمال غرب است. رودخانه‌های اوجان و بالنگان پس از پیوستن به یکدیگر در ادامه در خارج از حوضه به رودخانه سفید می‌پیوندند و به نام رودخانه کر به سد درودزن می‌ریزند [۲].

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق داده‌های بارش چهار ایستگاه باران سنجی احمد آباد چهاردانگه، دهکده سفید، دشتک و امامزاده اسماعیل (شکل ۱) در طی دوره آماری (۸۹-۱۳۶۴) و هم چنین داده‌های سطح ایستابی ۶۱ چاه پیزومتری موجود در دشت در طی دوره آماری (۸۹-۱۳۸۱) است.

شاخص بارندگی استاندارد (SPI)

ابتدا میانگین بارندگی در سطح دشت مورد محاسبه قرار گرفت؛ به این طریق که از چهار ایستگاه هواشناسی؛ احمد آباد چهاردانگه در داخل دشت و ایستگاه‌های دهکده سفید، دشتک، امام زاده اسماعیل از دشت‌های مجاور استفاده شد و با استفاده از روش تیسن متوسط بارش در طی دوره آماری (۸۹-۱۳۶۴) محاسبه شد. در شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده نشان داده شده است.

پس از تعیین متوسط بارش دشت از طریق پلیگن‌بندی که در نرم افزار Arc GIS صورت گرفت، جهت تعیین شاخص بارندگی



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دشت آسپاس و ایستگاه‌های بارن سنجی

Figure 1. Geographical location of Aspas plain and rain gauge stations

جدول ۱- کلاس بندی روش SPI [۱۴]

Table 1. Classification of SPI method [14]

ترسالی بسیار شدید	ترسالی شدید	ترسالی متوسط	نزدیک نرمال	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
Exceptionally Wet	Extremely Wet	Moderately Wet	Near normal	Moderately Dry	Extremely Dry	Exceptionally Dry
> 2	1.5 – 1.99	1 – 1.49	- 0.99 – 0.99	- 1.49 – (-1)	-1.99 – (-1.5)	-2 >

مورد محاسبه قرار گرفت.

شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) همانند شاخص SPI از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

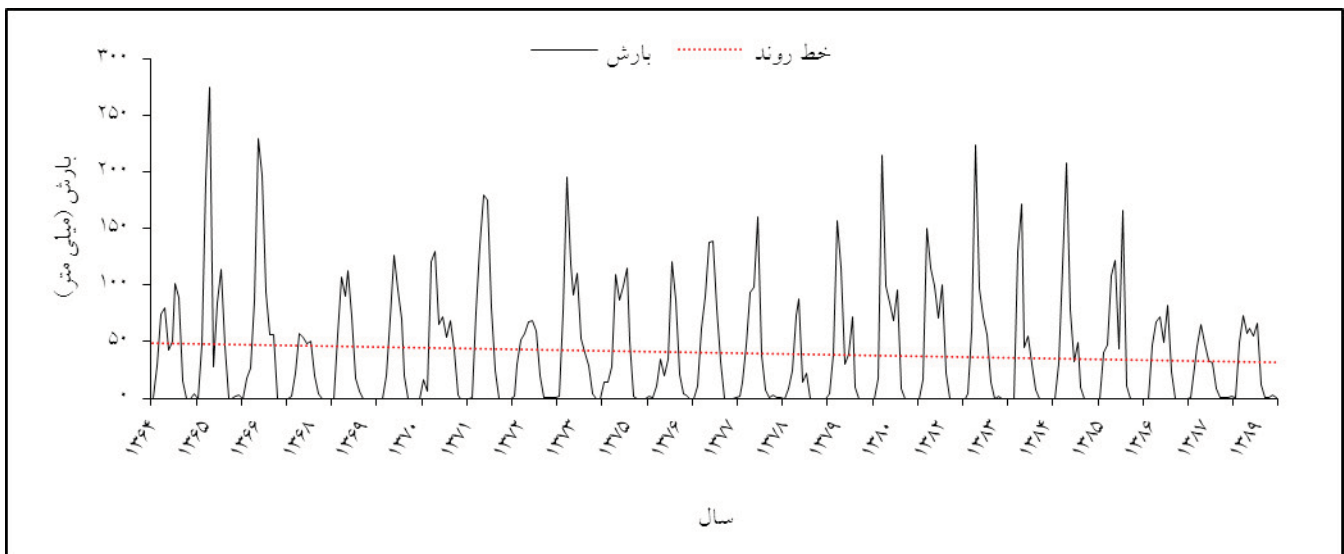
$$GRI = (D_{y,m} - \mu_{D,m}) / \sigma_{D,m} \quad (1)$$

که در آن شاخص منابع آب زیرزمینی،  $D_{y,m}$  مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در سال  $y$  و ماه  $m$ ، میانگین ارتفاع آب زیرزمینی در ماه  $m$  و  $\sigma_{D,m}$  انحراف معیار سطح آب زیرزمینی در ماه  $m$  می‌باشد. طبقه بندی GRI همانند شاخص SPI است؛ زیرا در هر دو روش از توزیع نرمال استفاده شده است [۱۸].

تابع همبستگی متقاطع (CCF)

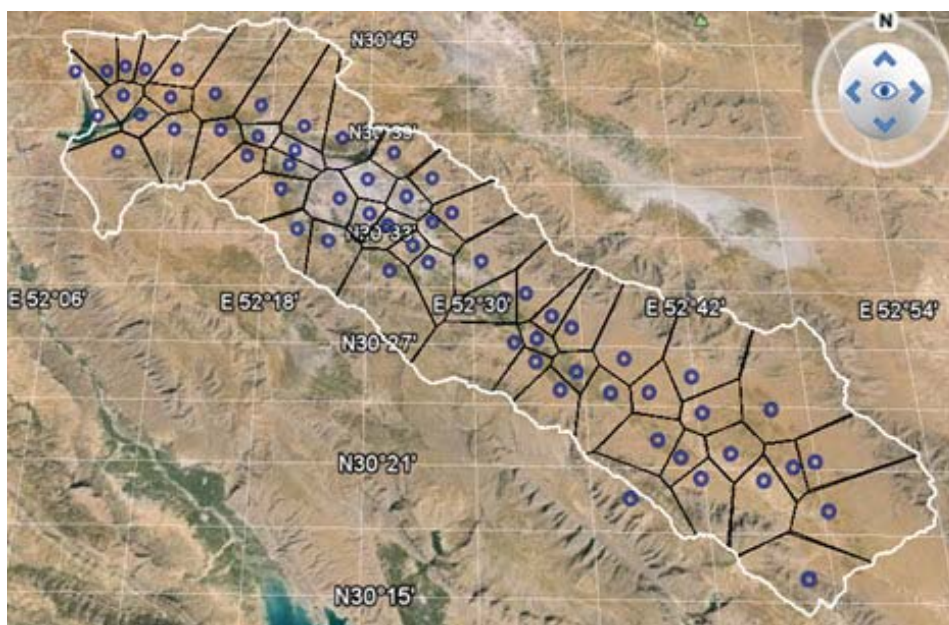
تابع همبستگی متقاطع نوعی روش استاندارد برای تعیین درجه همبستگی بین دو سری زمانی است. چنانچه مقدار  $x^{(i)}$  و  $y^{(i)}$  با  $i=0,1,2,\dots,N$  دو متغیر باشند، مقدار  $R$  همبستگی متقاطع آنها به شکل رابطه (۲) است.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x^{(i)} - \bar{x})(y^{(i-d)} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x^{(i)} - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y^{(i-d)} - \bar{y})^2}} \quad (2)$$



شکل ۲- روند و تغییرات بارش در طی دوره آماری (۱۳۶۷-۸۷)

Figure 2. Trend and changes in rainfall during the period (1988-89)



شکل ۳- محدوده تأثیر گذار اطراف چاه‌های مشاهده‌ای در دشت آسپاس

Figure 3. Boundary of wells in the Aspas plain

در این رابطه مقادیر  $\bar{x}$  و  $\bar{y}$  مقدار میانگین هر یک از سری‌های زمانی  $X^{(i)}$  و  $Y^{(i)}$  هستند.

ضریب همبستگی متقاطع بین سری زمانی GRI (متغیر وابسته) در زمان (t) و SPI (متغیر مستقل) در زمان (t-k) با استفاده از نرم افزار SPSS محاسبه گردید. اگر رابطه (۲) را برای تأخیرهای زمانی مشخص  $d=0, \pm 1, \pm 2, \dots, N-1$  محاسبه کنیم، در یکی از گام‌های تأخیر بالاترین همبستگی را خواهیم داشت. با توجه به شرط در رابطه (۲)، نقاط  $i \geq N$  و  $i < 0$  مورد توجه نبوده و مقدار ضریب همبستگی متقاطع همواره  $-1 \leq R \leq +1$  خواهد بود. از مهمترین مزایای روش همبستگی متقاطع علیرغم روش همبستگی ساده، امکان تعیین ضریب همبستگی در گام زمانی مورد نظر اعم از گام‌های مثبت و منفی وجود دارد [۶].

## نتایج

در این مطالعه جهت بررسی وضعیت رطوبتی و خشکسالی دشت شاخص بارندگی استاندارد ماهانه در گام‌های زمانی یک، سه، شش، نه، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه با استفاده از نرم‌افزار Drought Indices Package (DIP) محاسبه شد [۱۷]. سپس شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) با استفاده از تراز آب زیرزمینی و چاه‌های پیزومتری محاسبه گردید.

ارتباط بین شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) و سری زمانی SPI به صورت همزمان و با تأخیر تا ۱۲ گام رو به جلو با استفاده از تابع همبستگی متقاطع بررسی شد (جدول ۲) که به صورت زیر ارائه می‌شود:

- سری زمانی SPI یک ماهه بیشترین همبستگی ( $R=0.157$ ) را در گام تأخیر هفت با منابع آب زیرزمینی دارد که در سطح ۵ درصد خطا معنی دار نمی‌باشد.

- همبستگی بین منابع آب زیرزمینی و سری زمانی SPI سه ماهه در سطح یک درصد خطا معنی دار است و بیشترین همبستگی

( $R=0.257$ ) در گام تأخیر شش اتفاق افتاده است.

- شاخص بارندگی استاندارد شش و نه ماهه بیشترین تأثیر را در سه گام رو به جلو بر روی سطح ایستابی به ترتیب با ضرایب همبستگی معنی دار  $0.738$  و  $0.402$  دارند.

- سری زمانی SPI دوازده و هجده ماهه در یک گام به جلو بیشترین ارتباط را با سطح آب زیرزمینی دارند (به ترتیب با مقادیر همبستگی  $0.792$  و  $0.834$ ). به عنوان نمونه تابع همبستگی متقاطع برای سری‌های زمانی SPI هجده ماهه در دوازده گام به جلو در شکل (۴) ارائه شده است. با توجه به اینکه بارندگی ابتدا رخ داد و سپس تغییرات در سطح ایستابی ایجاد می‌شود و با توجه به اینکه سری زمانی GRI به عنوان سری زمانی اول به نرم افزار معرفی شد، در اینجا تنها گام‌های تأخیر منفی ( $-12$  تا  $0$ ) مد نظر خواهد بود. بنابراین همانطور که از شکل (۴) نیز مشاهده می‌شود بیشترین همبستگی در گام تأخیر یک با مقدار  $0.834$  اتفاق خواهد افتاد، یعنی تغییرات در سری زمانی SPI هجده ماهه بعد از یک ماه تأخیر اثر خود را بر روی منابع آب زیرزمینی خواهد داشت.

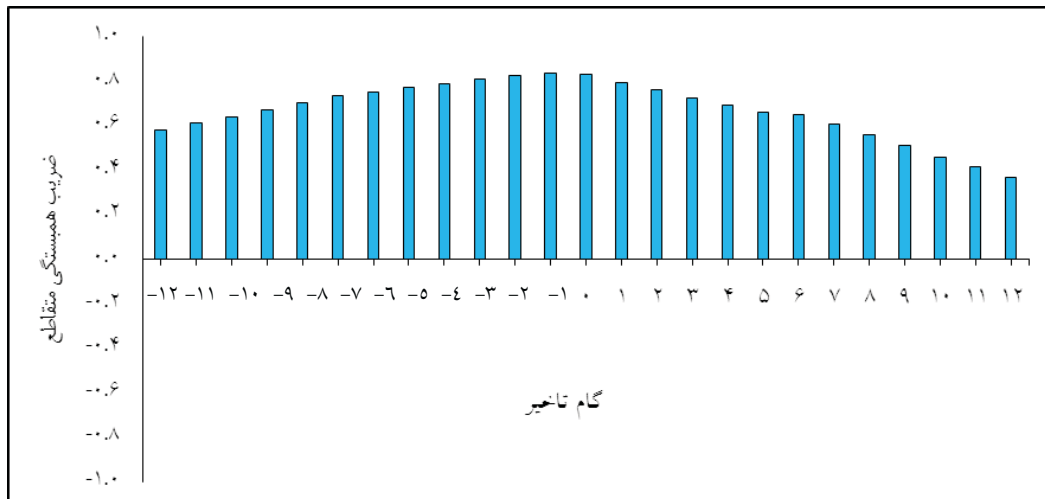
بیشترین همبستگی از بین سری‌های زمانی SPI ماهانه مربوط به شاخص بارش استاندارد ۲۴ و ۴۸ ماهانه می‌باشد که در گام صفر یعنی بدون اعمال تأخیر با مقادیر همبستگی  $0.860$  و  $0.852$  (به ترتیب) معنی دار شده اند. در شکل (۵) ارتباط بین شاخص بارندگی استاندارد ۲۴ و ۴۸ ماهه با شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) به عنوان نمونه ارائه شده است. همانطور که مشخص است در شکل (۵) روند منابع آب زیرزمینی و بارندگی در دشت آسپاس نزولی و منفی است.

شکل (۶) رابطه رگرسیونی و حدود اطمینان بین SPI 24 و شاخص منابع آب زیرزمینی GRI در سطح اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهد. با توجه به ضریب تبیین، تقریباً ۸۰ درصد از واریانس متوسط سطح ایستابی دشت آسپاس تحت تأثیر تغییرات بارندگی بوده (SPI 24) و نزدیک به ۲۰ درصد آن تحت تأثیر سایر موارد می‌باشد.

جدول ۲- ضریب همبستگی متقاطع بین شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) و سری زمانی SPI

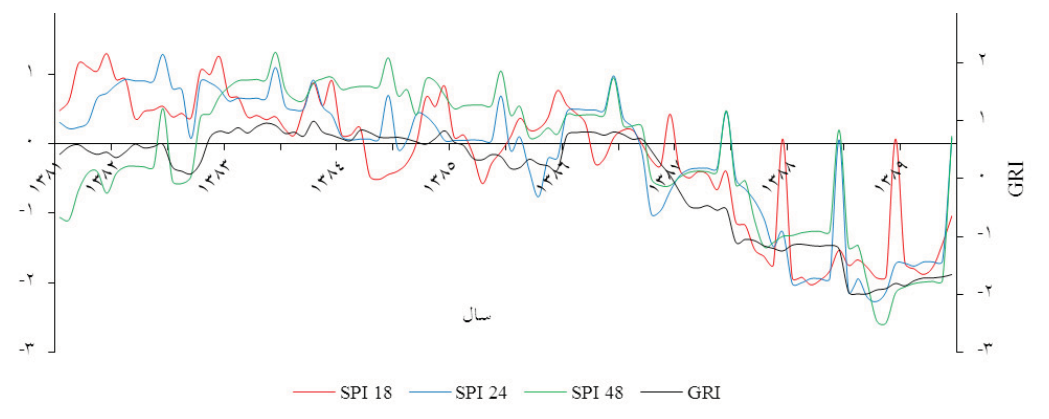
Table 2. Cross-correlation between the groundwater resources index (GRI) and SPI time series

SPI 48	SPI 24	SPI 18	SPI 12	SPI 9	SPI 6	SPI 3	SPI 1	Factor	فاکتور
0.852	0.86	0.834	0.792	0.638	0.402	0.275	0.157	Correlation coefficient	ضریب همبستگی
0	0	1	1	3	3	6	7	Lag time	گام تأخیر
96	96	96	96	96	96	96	96	Count	تعداد
94	94	94	94	94	94	94	94	Degrees of freedom	درجه آزادی
15.78	16.34	14.65	12.58	8.03	4.26	2.78	1.54	t	آماره t
< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.15	P-Value	P-Value



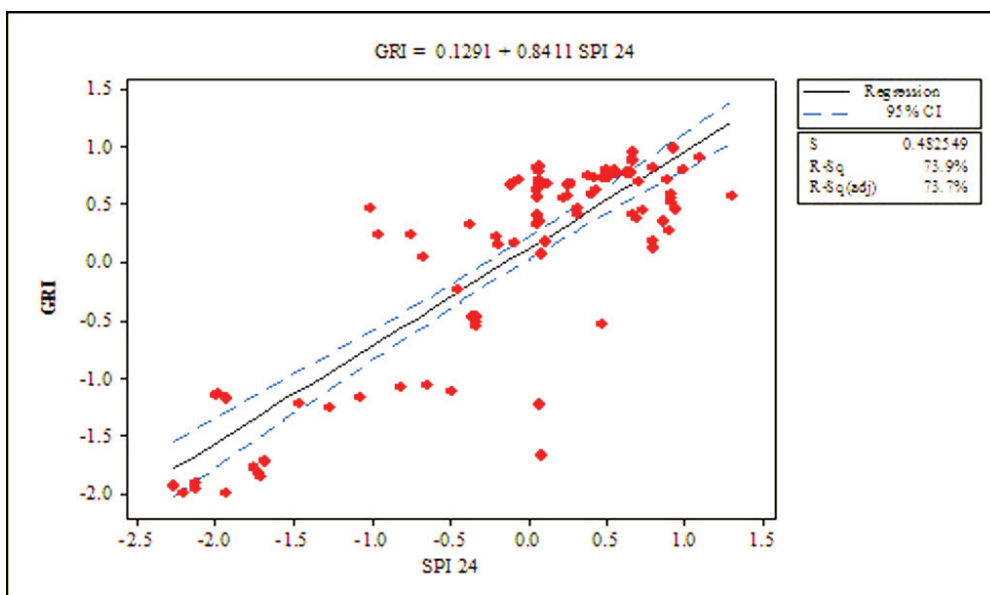
شکل ۴- ضریب همبستگی مقاطع برای سری های زمانی SPI هجده ماهه ( ۱۲ گام رو به جلو)

Figure 4. Cross-correlation for time series SPI 18 (12 steps ahead)



شکل ۵- ارتباط بین شاخص بارندگی استاندارد ۲۴ و ۴۸ ماهه با شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI)

Figure 5. Relationship between SPI 24 and SPI 48 with groundwater resources index (GRI)



شکل ۶- رابطه رگرسیونی و حدود اطمینان بین SPI ۲۴ و شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI)

Figure 6. Regression equation and confidence limits between SPI 24 and groundwater resources index (GRI)

1. Alizade, A. 2006. Principles of applied hydrology. Publication University of Reza emam. 808 p. (In Persian).
2. Amirahmadi, A. Maghsodi, A & Ahmadi, T. 2012. Survey Quaternary glacial Effects and its impact on the formation of civilization and important urban settlements in Aspas plain. Journal of Urban and Regional Studies and Research. 3(10): 65-75. (In Persian).
3. Bakhtiare Enayat, B. Malekian, A. and Salajegheh, A. 2016. Time and Lag Correlation Analysis between Climate Drought and Hydrological Drought in Hashtgerd Plain. Iranian Journal of Soil and Water Research, 46 (4): 609-616. (In Persian).
4. Calow, R. Robins, N. Macdonald, A. and Nicol, A. 1999. Planning for groundwater drought in Africa. In: Proceedings of the International Conference on Integrated Drought Management: Lessons for Sub-Saharan Africa. IHP-V, Technical Documents in Hydrology, 35: 255-270.
5. Chamanpira, G. Zahtabian, G. Ahmadi, H. and Malekian, A. 2014. Check of effect of drought on groundwater resources in order to manage the operation, Case Study: plain, Aleshtar, Journal of watershed management, 6(1): 10-20. (In Persian).
6. Choubin, B. Khalighi-Sigaroodi, S. Malekian, A. and Kişi, Ö. 2016. Multiple linear regression, multi-layer perceptron network and adaptive neuro-fuzzy inference system for forecasting precipitation based on large-scale climate signals. Hydrological Sciences Journal, 61(6): 1001-1009.
7. Ekrami, M. Ekhtesasi, M.R. and Malekinezhad, H. 2013. The Effects and Consequences of Climatic Drought on Time Delay and the Change in Water Discharge of springs and Qanats (YazdArdakan Plain). Iranian-Water Resources Research, 9 (2): 19-26. (In Persian).
8. Ensafi moghadam, T. 2007. Assessment of climatic drought indices and determine the best index in the Salt Lake basin, journal of range and desert research, 4, 2. (In Persian).
9. Hamidyanpor, M. 2005. Analysis of drought

دشت آسپاس از نظر اقلیمی تقریباً نیمه خشک سرد بوده که در این دشت یک روند تقریباً نزولی در بارش طی دوره آماری (۸۹-۱۳۶۴) مشاهده می‌شود. شاخص SPI نیز وقوع خشکسالی و ترسالی‌های پیاپی را در این دوره آماری مشخص می‌کند. یک روند نزولی از تراز آب زیرزمینی در طی دوره آماری (۸۹-۱۳۸۱) مشاهده می‌شود. ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و زیرزمینی با استفاده از تابع همبستگی متقاطع نشان داد که شاخص بارندگی استاندارد یک، سه، شش، نه، ۱۲ و ۱۸ به ترتیب در گام‌های تأخیر ۷، ۶، ۳، ۳، ۱ و ۱ اتفاق می‌افتد. یعنی خشکسالی زیرزمینی دیرتر و همراه با تأخیر نسبت به خشکسالی هواشناسی در گام‌های زمانی کوتاه و متوسط مدت رخ خواهد داد. در حالیکه خشکسالی بلند مدت بدون اعمال تأخیر اثر خود را در منابع آب زیرزمینی دارد (بیشترین همبستگی مربوط به سری زمانی طولانی مدت ۲۴ و ۴۸ ماهه بدون اعمال گام تأخیر بوده است). بررسی‌ها نشان داد که با افزایش مقیاس زمانی سری SPI، ارتباط و همبستگی آن با شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) بیشتر می‌شود؛ که با نتایج مندیکینو و همکاران [۱۵]، سیف و همکاران [۲۱] مطابقت دارد.

چمن پیرا و همکاران [۵] نیز تعیین کردند که در دشت الشتر با افزایش مقیاس زمانی سری SPI، ارتباط و همبستگی آن با شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) بیشتر می‌شود. همچنین نتایج نشان دادند که در مقیاس ۲۴ ماهه بیشترین همبستگی ( $R=0.799$ ) بدون تأخیر زمانی بین سری زمانی SPI و شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) وجود دارد. که نتایج این تحقیق در دشت آسپاس نیز گویای این است که بیشترین همبستگی در مقیاس ۲۴ ماهه ( $R=0.860$ ) بدون تأخیر زمانی رخ داده است.

رابطه رگرسیونی بین SPI 24 و شاخص منابع آب زیرزمینی GRI نشان داد که تقریباً ۸۰ درصد از واریانس متوسط سطح ایستابی دشت آسپاس تحت تأثیر تغییرات بارندگی بوده (SPI 24) و نزدیک به ۲۰ درصد آن تحت تأثیر سایر موارد می‌باشد. در این راستا مککی و همکاران [۱۴] عنوان کردند که آب زیرزمینی، جریان رودخانه و ذخیره مخزن تحت تأثیر نوسانات بارش طولانی مدت است.

محمدی و شمسی پور [۱۶] در ایجاد همبستگی بین بارش و افت سطح ایستابی دشت‌های شمال همدان، مدل مناسبی بدست نیاوردند و بهترین ضریب همبستگی ۰/۲۰۶ با تأخیر نه ماه در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ بوده است، بنابراین علاوه بر خشکسالی میزان برداشت بی‌رویه از دشت‌های همدان را عامل افت سطح ایستابی می‌دانند. چمن پیرا و همکاران [۵] نیز تعیین کردند که ۶۴/۴ درصد از واریانس تراز متوسط سطح ایستابی تحت تأثیر SPI 24 است.

در نهایت می‌توان گفت هر چند عامل اقلیمی بیشترین تأثیر را در افت سطح ایستابی آبخوان دشت آسپاس داشته، ولی نقش سایر عوامل، مثل تبخیر و تعرق و برداشت آب از چاه‌ها، نیز در افت سطح آب زیرزمینی این دشت آشکار می‌شود.

18. Nico, W. Van Lanen, A.J. and Loon, A.F. 2010. Indicators for drought characterization on a global scale. Wageningen, Netherlands, Water and Global Change, 24: 80-93.
19. Panda, D.K. Mishra, A. Jena. S.K. James. B.K. and Kumar, A. 2007. The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India. *Journal of Hydrology*, 343: 140-153.
20. Scheidleder, A. Grath, J. Winkler, G. Staerk, U. Koreimann, C. Gmeiner, C. Nixon, S. Casillas, J. Gravesen, P. Leonard, J. and Elvira, M. 1999. Ground water quality and quantity in Europe. European Environment Agency.
21. Seif, M. Mohammadzade, H. and Mosaedi, A. 2012. Assess the impact of drought on groundwater resources in Fasa aquifer using Standardized Precipitation Index, a measure of electrical conductivity of groundwater resources. *Journal of Water Resources*, 5: 45-59.
22. Shahid, S. and M. K. Hazarika. 2010. Groundwater Drought in the Northwestern District of Bangladesh. *Water Resource Management*, 24(10): 1989-2006.
23. Shakiba, E., Mirbagheri, B & Kheyri, A. 2010. Drought and its effect on groundwater resources in East of Kermansha province using SPI index, *Journal of Geographic Society of Iran*, New period, 8 (25): 124-105. (In Persian).
24. Tate, E.L. and Gustard, A. 2000. Drought definition: a hydrological perspective. Springer Netherlands, 23-48.
25. Wilhite, D.A. and Glantz, M.H. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10 (3): 111-1.
- periods Mashhad plain and Value of impact on water resources. Thesis for master's degree. Shahid Beheshti University in Tehran. (In Persian).
10. Hosseinzadeh, M.M. and Nohegar, A. 2012. Studying the Effect of Drought on Water Resources over Two Decades and Occurrences of the Sinking Phenomenon in Minab Plain. *Environmental Sciences*, 9 (1): 75-98.
11. Khan, M.A. and Gadiwala, M.S. 2013. A Study of Drought over Sindh (Pakistan) Using Standardized Precipitation Index (SPI) 1951 to 2010. *Pakistan Journal of Meteorology*, 9(18): 15-22.
12. Khan, S. Gabriel, H.F. and Rana, T. 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrigation and Drainage Systems*, 22(2): 159-177.
13. Khorani, A. and M. Khajeh. 2014. An Investigation on the coincidence between trend of drought and groundwater levels decline (A Case Study: Plain of Darab). *The Journal of Spatial Planning*, 18 (2): 57-80. (In Persian).
14. McKee Thomas, B. Doesken Nolan, J. and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17 (22): 179-183.
15. Mendicino, G. Senatore, A. and Versace, P. 2008. A groundwater resource index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357(3-4): 282-302.
16. Mohamadi, H. Shamsipur, E. 2003. Impact of recent drought on groundwater resources in the north of Hamadan. *Geographical Research*, 45: 130-115. (In Persian).
17. Morid, S. Moghaddasi, M. Arshad, S. and Omid, M. 2005. Drought Index Package (Version2). Tarbiat Modarres University.



*Abstract***Lag-Time and Effect of Meteorological Drought on the Groundwater Level**B. Choubin<sup>1</sup>, A. Malekian<sup>2</sup> and F. Sajedi-Hosseini<sup>3</sup>

Received: 2016/01/11 Accepted: 2016/08/02

Drought is an atmospheric phenomenon that can effect on various parts of the environment. Groundwater resources is the drought-affected sectors which less are considerate than other sectors. Aspas Plain in Fars province in recent years have a significant reduction in groundwater levels. So, the role of management in this plain is important. In this research, we use a cross-correlation function (CCF) for investigating long- and short-term drought on groundwater resources. For this purpose, the standardized precipitation index (SPI) Monthly (one, three, six, nine, 12, 18, 24 and 48 months) in the period (1985-2010) was calculated, also groundwater resources index (GRI) of the plain during the statistical period (2002-2010) were obtained from 61 wells in the plain. Cross-correlation function showed that short-term drought with delay and long-term drought simultaneously have been effected on ground water resource. Most relationship is between groundwater and SPI 24, which linear regression results showed that almost 80 percent of the average variance water table of Aspas Plain affected by changes in rainfall (SPI 24) and nearly 20 percent of it is influenced by other items.

**Keywords:** *Cross correlation function, Meteorological drought, Water table, Standardized precipitation index, Groundwater resources*

---

1. PhD Student, Sari, Sari University of Agriculture Science & Natural Resources, Tel: 09179528429, Email: Bahram.choubin@ut.ac.ir.  
 2. Associated Professor of University of Tehran, Karaj, Faculty of Natural Resources, Tel: 09124684587. Corresponding author, Email: Malekian@ut.ac.ir  
 3. M.Sc., Sari, Sari University of Agriculture Science & Natural Resources, Tel: 09352669046, Email: Farzsajedi@gmail.com.