

## بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان شمال دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص SPI

احد حبیب زاده<sup>۱</sup>، مهدی اصلاحی<sup>۲\*</sup>، مالک رفیعی<sup>۳</sup>

۱- دکتری، بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی

۲- دکتری، گروه تحقیقات اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی

۳- دکتری، رئیس ایستگاه پخش سیلاب تسوج

### چکیده

رخداد تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر باعث وقوع خشکسالی‌های بلندمدت در مناطق مختلف جهان به خصوص کشور ایران شده است و همین امر کاهش محسوس آب‌های زیرزمینی را در پی داشته است. در این مطالعه اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان تسوج واقع در شمال دریاچه ارومیه با استفاده از نمایه خشکسالی SPI مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی رابطه خشکسالی و مقادیر آب زیرزمینی منطقه از نمایه استاندارد آب زیرزمینی GRI کمک گرفته شد. در این مقاله از سه ایستگاه باران‌سنج تسوج، شرفخانه و خوی به عنوان سه ایستگاه شاخص منطقه که دارای آمار بارش بلندمدت ۵۰ ساله هستند، استفاده شد. نمایه خشکسالی بدست آمده حاکی از روند کاهشی نمایه خشکسالی از سال ۱۳۷۶ به بعد است. با تحلیل همبستگی نمایه خشکسالی SPI و نمایه استاندارد آب زیرزمینی GRI در منطقه مشخص شد که بین دو نمایه برای مقیاس زمانی ۴۸ ماهه تسوج، ۱۲ ماهه شرفخانه و ۲۴ ماهه خوی، همبستگی معنی‌دار وجود دارد. علاوه بر آن نمودار روند کاهشی دو نمایه حاکی از شدیدتر بودن کاهش نمایه آب زیرزمینی GRI نسبت به نمایه خشکسالی SPI در سال‌های اخیر است که این امر را می‌توان نتیجه تأثیر غیرمستقیم عوامل اقلیمی دیگر مثل افزایش دما و تبخیر و عامل مستقیم انسانی مثل استفاده بی‌رویه از آب زیرزمینی منطقه دانست. برای بدست آوردن رابطه بین این دو نمایه، مدل رگرسیون چندمتغیره بین نمایه GRI و سه نمایه خشکسالی SPI در مقیاس‌های زمانی ۴۸ ماهه تسوج، ۱۲ ماهه شرفخانه و ۲۴ ماهه خوی برآزش شد. نتایج جدول تحلیل واریانس مدل رگرسیونی با مقدار  $F=106/3$  نشان‌دهنده اعتبار مدل است و با توجه به مقدار ضریب تعیین مدل رگرسیونی، اثر خشکسالی در منطقه ۴۹/۹ درصد تعیین شده است.

کلید واژه‌ها: SPI، خشکسالی، آب زیرزمینی، نمایه GRI، آبخوان تسوج.

## مقدمه

جهان (۸۷۰ میلی‌متر) است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۸). از طرفی توزیع بارش در کشور از نظر زمانی و مکانی یکنواخت نیست (علیزاده، ۲۰۰۴). تغییر اقلیم جهانی نیز تأثیر عمیقی بر توزیع آبی خشکی شدید در ایران خواهد داشت (رحیمی و همکاران، ۲۰۱۳).

پدیده خشکسالی در طول دوره وقوع خود، پوشش گیاهی، منابع آبهای سطحی و منابع آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که متأسفانه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. خشک شدن دریاچه ارومیه در اثر وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی از سال ۲۰۰۰ به بعد، نمونه‌ای از این موارد است (هلالی و همکاران، ۲۰۲۲). در بین بلایای طبیعی، خشکسالی هم از نظر رخداد و هم از جنبه میزان زیان‌های وارده در صدر قرار دارد (کنت، ۲۰۰۳). در حال حاضر با توجه به ثابت بودن منابع آبی، افزایش جمعیت و عدم توجه کافی به مدیریت منابع، در صورت اتخاذ نشدن سیاست‌های مناسب در عرضه و تقاضا، شرایط نامطلوب منابع آبی و تأثیرپذیری شاخص‌های امنیتی و اقتصادی تشدید خواهد شد (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳). خشکسالی به عنوان یک بلای طبیعی و پدیده‌های اجتناب‌ناپذیر از دیرباز به خصوص در اقلیم‌های گرم و خشک به وقوع پیوسته و خسارات زیاد زیست محیطی و اقتصادی به بار می‌آورد. یکی از اثرات مهم خشکسالی مربوط به افت آب‌های زیرزمینی می‌باشد که به خاطر عدم نزول بارش و برف با کاهش شدید در تغذیه سفره‌ها مواجه شده و با بهره‌برداری بیش از حد از این سفره‌ها شرایط افت شدید در سطح ایستایی منابع آبی فراهم می‌شود. بررسی روند اثرات خشکسالی بر وضعیت منابع آب زیرزمینی می‌تواند به روش‌های مختلفی مورد پژوهش واقع شود که در این میان استفاده از شاخص SPI نتایج مناسبی داشته است (آل بوعلی و همکاران، ۲۰۱۶؛ چمن‌پیرا و همکاران، ۲۰۱۴؛ خورانی و همکاران، ۲۰۱۴؛ احمدی اخورمه و همکاران، ۲۰۱۵).

نوحه‌گر و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی با عنوان ارزیابی خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب سطحی و زیرزمینی حوزه آبخیز رودخانه میناب با استفاده از شاخص SPI نشان دادند این شاخص با تغییرات دبی سالانه آب سطحی با همبستگی بالا معنی‌دار می‌باشد و با استفاده از رابطه همبستگی دو متغیره ثابت شد تأثیر خشکسالی بر افت آب زیرزمینی دشت‌ها با

خشکسالی نقش موثری در مدیریت جوامع انسانی و محیط زیست دارد. بحران منابع آب متأثر از عوامل انسانی و طبیعی می‌تواند در تصمیمات برنامه‌ریزان مدیریتی چالش برانگیز باشد. ۹۷ درصد از آب‌های موجود در کره زمین را آب‌های شور اقیانوس‌ها تشکیل داده و سه درصد باقیمانده آب شیرین در مجموعه یخ‌های نواحی قطبی، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و منابع آب زیرزمینی هستند در حالی که آب‌های شیرین قابل دسترس به صورت سفره‌های زیرزمینی کمتر از سه دهم درصد را به خود اختصاص داده‌اند (اسیماکوپولوس، ۲۰۰۵). به طور مسلم یکی از زمینه‌هایی که خشکسالی تأثیرات زیادی در آن دارد منابع آبی به خصوص منابع زیرزمینی می‌باشد. مناطقی که محدودیت و حساسیت منابع آبی در آنها بیشتر است نیازمند اقدامات در قبل، حین و بعد از خشکسالی هستند (بی‌لین و اداموویسکی، ۲۰۱۲). سهم ایران از منابع آب شیرین جهان نسبت به مناطق دیگر در سطح پایین‌تری قرار دارد (مرجع). در حالی که یک درصد از جمعیت جهان به ایران اختصاص دارد، سهم آن از منابع آب شیرین تنها ۰/۳ درصد است و از مجموع ۳۹۷/۹ میلیارد مترمکعب بارندگی سالانه در کشور ۶۶ درصد آن پیش از رسیدن به رودخانه‌ها تبخیر می‌شود. کل منابع آب تجدیدپذیر داخلی سالانه برابر ۱۲۸/۵ میلیارد مترمکعب است و با احتساب ۹ میلیارد مترمکعب منابع آب تجدیدپذیر خارجی، حجم سالانه منابع آب تجدیدپذیر واقعی برابر ۱۳۷/۵ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود (دفتر معاونت برنامه‌ریزی، ۱۳۸۷). در حالی که میزان وابستگی زمین‌های کشاورزی تجهیز شده برای آبیاری به منابع آب زیرزمینی به طور متوسط در دنیا ۳۷/۸ درصد است، ضریب یاد شده در منطقه خاورمیانه ۴۶/۲ درصد و به طور خاص در کشور ایران برابر ۶۲/۱ درصد است. این موضوع، تأییدی بر سهم بالای بخش کشاورزی از مصرف آب‌های زیرزمینی در ایران در مقایسه با کشورهای دیگر و حتی منطقه خاورمیانه است (فائو، ۲۰۰۹). حدود ۸۵ درصد از سطح ایران دارای اقلیم خشک بیابانی، نیمه خشک و فراخشک است (لشتی‌زند و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین میانگین بارندگی سالانه کشور ایران، تقریباً ۲۳۵ میلی‌متر (به روش تیسن) و کمتر از یک سوم متوسط بارندگی سالانه

شدن رودخانه مهمترین عوامل افت سطح ایستابی دشت مورد مطالعه می‌باشند.

از جمله کارهای جدید می‌توان به اوسانوان و همکاران (۲۰۲۲) اشاره کرد که در آن تغییرات منابع آبی و کشاورزی به طور چند دهه‌ای در کوهپایه‌های آبی نیمه‌خشک مدیترانه از لحاظ عوامل اقلیمی و انسانی مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از شاخص خشکسالی SPI در دوره ۱۹۷۳ تا ۲۰۲۱ استفاده شد. این شاخص در سه دوره آماری ۱۹۸۸-۱۹۸۱، ۲۰۰۸-۱۹۹۹ و ۲۰۱۸-۲۰۱۳ وقوع خشکسالی را نشان داد و بارش در کوهپایه‌های منطقه ۲۸ درصد کاهش یافت. آتویی و آگویی (۲۰۲۲) آسیب پذیری آبهای زیرزمینی و خطر آلودگی را با استفاده از شاخص‌های SPI، AVI و RGPI در سفره‌های زیرزمینی گابز جنوبی در تونس مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از ریسک بالا رنج می‌برد. ۴۱ درصد از کل سطح منطقه مورد مطالعه خطر بسیار بالایی دارد. با این وجود، تنها ۳۰ درصد از منطقه مورد مطالعه خطر کم و ناچیز برای آلودگی دارند که نیاز به اقدامات احتیاطی شدید برای محافظت از سیستم آبخوان گابز جنوبی دارد. چمن‌پیرا (۲۰۲۲) به ارزیابی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر آب زیرزمینی آبخوان کوه‌دشت استان لرستان پرداخت. در این تحقیق از شاخص منابع آب زیرزمینی و شاخص‌های بارش استاندارد استفاده شده است. از شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ماهانه، سه ماهه و سالانه و شاخص GRI در دوره آماری سالهای ۱۹۸۵-۲۰۲۱ برای بررسی وضعیت خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش مقیاس زمانی، ضریب همبستگی SPI با میانگین سطح آب زیرزمینی افزایش می‌یابد و میزان خشکسالی GRI و هواشناسی با تأخیر زمانی ۴۸ ماه بر منابع آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد. ضریب تعیین نشان داد که کمتر از ۳۳.۱٪ از واریانس سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر SPI\_48 قرار گرفته است که بیش از ۶۶.۹٪ از آن‌ها به دلیل آب آشامیدنی و مصرف آب صنعتی بوده است.

با توجه به وجود چشمه‌ها و قنوات زیاد در دشت تسوج که باعث استخراج بی‌رویه آب‌های زیرزمینی می‌گردند و همچنین نوع سفره آزاد دشت، ضروری است مطالعات تغییرات مخزن در کل سفره در نظر گرفته شده و چاه‌های

ضریب تأثیر بالاست. نتایج مربوط به اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از ضریب همبستگی نشان داد خشکسالی‌ها تأثیر معنی‌داری بر دبی آب زیرزمینی خواهند داشت. تجزیه و تحلیل توزیع خشکسالی‌ها نشان داد که برای خشکسالی‌های با دوره‌های کوتاه، کسری در دبی آب زیرزمینی کمتر از تغذیه است. در حالی که برای خشکسالی با دوره‌های طولانی، کسری در تخلیه آب زیرزمینی بیشتر از تغذیه است (شکیبا و همکاران، ۲۰۱۰). اصلاحی (۱۳۸۷) نمایه خشکسالی SPI را به لحاظ مفهوم احتمالاتی مورد باریابی قرار داده و با برازش مناسب و بهینه توزیع احتمالاتی روی بارش ماهانه ایستگاه تبریز به عنوان مطالعه موردی، مقدار دقیق و بهینه نمایه خشکسالی SPI را محاسبه نمود. نتایج حاکی از وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی طی ۱۵ سال اخیر است. ارزیابی تأثیر خشکسالی‌های اخیر بر تغییرات سطح منابع آب‌های زیرزمینی دشت بندرعباس نشان داد که منطقه با پدیده خشکسالی مواجه بوده که تأثیر زیادی در افت سطح ایستابی داشته است. میزان همبستگی افت سطح ایستابی با افزایش طول دوره شاخص بارش استاندارد شده افزایش می‌یابد و شاخص بارش استاندارد شده با مقیاس ۲۴ ماهه بیش‌ترین همبستگی را با تغییرات سطح آب زیرزمینی نشان داد. میانگین افت سطح ایستابی در کل منطقه طی ۱۴ سال ۳/۳۵ متر بدست آمد (حیدرزاده و سالاری، ۱۳۹۹). وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی سبب افزایش برداشت و ایجاد چالش‌های جدی در کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌گردد. توجه به اعمال مدیریت صحیح و کاهش پیامدهای خشکسالی، نیازمند برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات پیشگیرانه در مقابله با پدیده خشکسالی است که مستلزم به کارگیری دانش کافی در پیش‌بینی خشکسالی است (محمودی و زینیوند، ۱۳۹۳). مطالعه تأثیر خشکسالی بر کیفیت و سطح آب زیرزمینی دشت چهاردولی قروه توسط اسدزاده و همکاران (۲۰۱۶) نیز بیانگر آن است که خشکسالی در بازه بلندمدت ۲۴ و ۴۸ ماهه، همبستگی معنی‌داری با افت سطح و کیفیت آبهای زیرزمینی دارد. کلاه‌دوز و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی اثر خشکی زاینده‌رود بر تراز آب زیرزمینی دشت نجف‌آباد اصفهان اظهار داشتند، خشک شدن زاینده‌رود و برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی به ویژه در زمان خشک

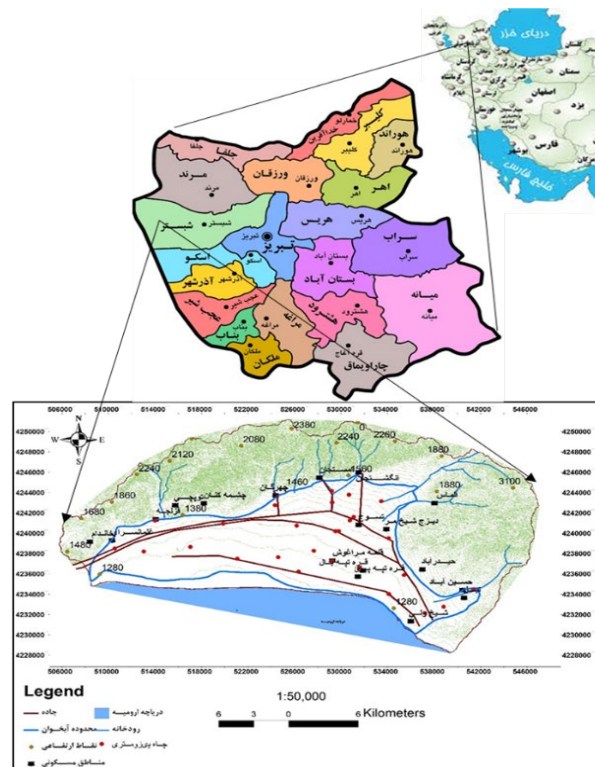
آبخیز انگشتجان و امستجان دارای دو سازند زمین‌شناسی میوسن فوقانی U.R.F و سازند معادل قم با سنگ‌شناسی مارنی، آهکی و ماسه سنگی است. ارتفاع متوسط منطقه ۱۷۰۰ متر، میانگین بارش ۲۰ ساله ۲۷۱ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۳/۴ درجه سانتی‌گراد است. از نظر آب و هوایی منطقه تحت تأثیر توده‌های هوای قطبی بری از شمال، توده هوای قطبی بحری از شمال‌غرب، و توده هوای حاره بحری از جنوب می‌باشد اقلیم منطقه بر اساس روش‌های مختلف طبقه‌بندی از نوع نیمه‌خشک سرد بوده و از نظر رژیم بارندگی مدیترانه‌ای محسوب می‌گردد. این ناحیه بیشتر تحت تأثیر جبهه هوای مدیترانه‌ای است، که از شمال و شمال‌غرب کشور وارد شده و سرما و ریزش‌های جوی بصورت برف و باران را به همراه دارد. از ویژگی‌های این رژیم، بارش‌های شدید، رگبارهای بهاری و بارش سنگین برف زمستان به همراه دوره‌های خشکسالی چند ماهه در تابستان و آخر بهار است. کاربری اراضی منطقه شامل باغات ۹۳۸ هکتار، زراعت آبی ۲۰۵۰ هکتار و زراعت دیم ۴۲۰ هکتار می‌باشد (حبیب‌زاده، ۱۳۹۳).

منطقه تغذیه به صورت محلی بررسی گردد، به همین خاطر جهت بررسی‌های بیلان از آمار کل سفره استفاده شده و در مورد اثرات تغذیه و خشکسالی به بررسی چاه‌های اکتشافی و پیژومتری حفر شده در منطقه پخش سیلاب خواهیم پرداخت. بنابراین سوالی که مطرح است، اینست که سهم عامل خشکسالی روی منابع آب زیرزمینی منطقه تا چه حدی است.

## داده‌ها و روش‌ها

### جغرافیای منطقه

منطقه پژوهش در شمال دریاچه ارومیه و حوضه‌های آبریز مشرف به شهر تسوج در مختصات ۴۵° ۱۸' تا ۴۵° ۳۳' عرض شمالی و طول شرقی، ۳۸° ۲۰' تا ۳۸° ۲۴' واقع است (شکل ۱). از لحاظ ژئومورفولوژیکی عرصه مطالعاتی، حوضه‌ای کشیده شمالی- جنوبی که از شمال به خط الراس کوه‌های میشو، از جنوب به شهر تسوج و از شرق به روستای الماس ختم می‌شود. توپوگرافی منطقه از سه واحد کوهستانی، دشت و واحد جلگه‌ای تشکیل شده است. بررسی سازندهای زمین‌شناسی نشان می‌دهد حوضه‌های



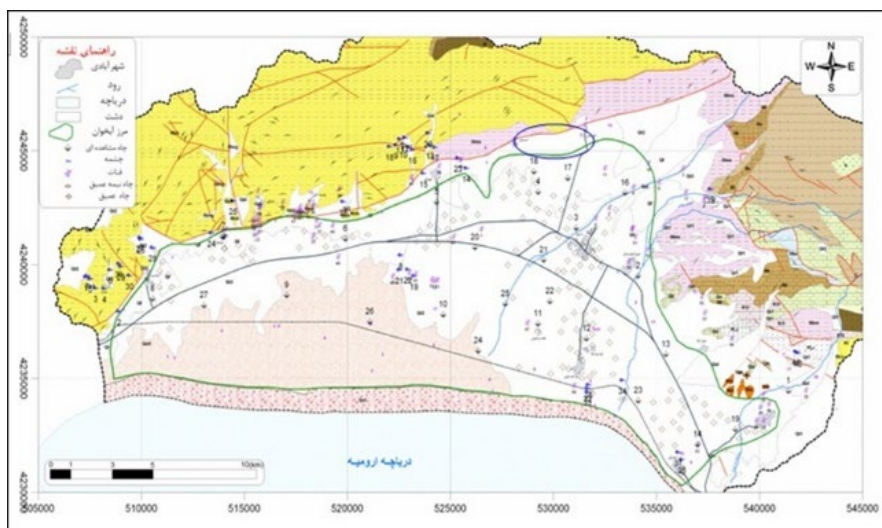
شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی در آذربایجان شرقی

تخلیه کل آمده است. شکل ۲ نیز نقشه منابع آب دشت تسوج را که شامل چاه‌های مورد بهره‌برداری، چشمه‌ها، قنات و پیژومتري است، نشان می‌دهد. با توجه به نوع سفره آزاد دشت مطالعات تغییرات مخزن بایستی در کل سفره در نظر گرفته شده و چاه‌های منطقه تغذیه به صورت محلی بررسی گردد، به همین خاطر جهت بررسی‌های بیلان از آمار کل سفره استفاده شده و در مورد اثرات تغذیه به بررسی چاه‌های اکتشافی و پیژومتري حفر شده در منطقه پخش سیلاب خواهیم پرداخت.

در دشت تسوج چشمه‌ها و قنات زیادی وجود دارد که باعث استخراج بی‌رویه آب‌های زیرزمینی می‌گردند. بر اساس آمار سال ۱۳۹۹ شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی از مجموع ۷۵ رشته قنات دایر، ۶۶ دهنه چشمه دائمی و فصلی، ۲۱۴ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق فعال وجود دارد به طوری که در دشت تسوج میزان ۵۶/۸۰ میلیون مترمکعب سالانه متوسط تخلیه آب از سفره‌های زیرزمینی می‌باشد (شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، ۱۴۰۰). در جدول ۱ مصارف آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی تسوج - سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و میزان

جدول ۱- مصارف آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی (سازمان آب آذربایجان شرقی، ۱۴۰۰)

تخلیه کل (میلیون متر مکعب)	مصرف			مصرف کل (میلیون متر مکعب)
	کشاورزی	شرب	صنعت	
56.80	36.85	2.24	0.04	39.13



شکل ۲- نقشه منابع آب دشت تسوج

بررسی و کنترل کیفی داده‌های شان به روش همبستگی نزدیک‌ترین ایستگاه و درون‌یابی برای این مطالعه آماده شده‌اند. در جدول ۲ مشخصات این ایستگاه‌ها آورده شده است.

در این مطالعه نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به آبخوان تسوج که دارای آمار بلندمدت هستند، جهت بدست آوردن وضعیت خشکسالی استفاده شده است. ایستگاه بارانسنج تسوج، شرفخانه و خوی سه ایستگاهی هستند که پس از

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	دوره آماری
۱	تسوج	بارانسنجی	۴۵ ۲۲	۳۸ ۱۹	۱۳۹۰	۱۳۴۲-۱۴۰۰
۲	شرفخانه	اقلیم‌شناسی	۴۵ ۳۰	۳۸ ۱۲	۱۲۸۵	۱۳۴۴-۱۴۰۰
۳	خوی	سینوپتیک	۴۴ ۵۸	۳۸ ۳۳	۱۱۰۳	۱۳۴۲-۱۴۰۰

ب نمایه خشکسالی SPI

در این بررسی از نمایه بارندگی استاندارد شده (SPI) که یکی از مهمترین نمایه‌های خشکسالی است، استفاده شده است که توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) جهت تعیین احتمال وقوع خشکسالی ارائه شده است. این نمایه در تعیین کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف طراحی شده است. کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف اثرات خشکسالی را به صورت‌های مختلف نشان می‌دهد بطوریکه در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت بر روی وضعیت رطوبت خاک و در مقیاس‌های زمانی طولانی مدت اغلب بر آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه‌ها و ذخیره منابع آب تأثیر می‌گذارد. با توجه به این موضوع مک‌کی و همکارانش (۱۹۹۳) نمایه SPI را برای مقیاس‌های زمانی ۰.۳، ۰.۶، ۱.۲، ۲.۴ و ۴.۸ ماهه محاسبه کرده‌اند. محاسبه نمایه SPI برای هر مکان بر اساس ثبت بارش‌های طولانی مدت در دوره مورد نظر است. یک توزیع احتمالاتی

مناسب به این داده‌های طولانی مدت برازش داده می‌شود و سپس به توزیع نرمال استاندارد نسبت داده می‌شوند. بطوریکه متوسط نمایه در دوره مورد نظر صفر است (به خاطر متقارن بودن توزیع نرمال استاندارد حول صفر). از روی منحنی توزیع احتمالی نرمال استاندارد، رطوبت و خشکی، متناظر با مقادیر مختلف SPI تعریف می‌شود. بر اساس این تعریف جدول (۳) پایه‌ریزی شده است که در آن مقادیر مختلف نمایه و درجه رطوبت و خشکی متناظر با آن را نشان می‌دهد. علاوه بر آن احتمال مقادیر نمایه در ناحیه داده شده بر اساس توزیع نرمال استاندارد نیز داده شده است. زمانی که مقدار نمایه محاسبه شده منفی باشد نشانه شروع خشکسالی است و هنگامی که مثبت باشد، پایان خشکسالی را نوید می‌دهد. شدت یک دوره خشکسالی مجموع مقادیر نمایه مثبت برای برای همه ماه‌ها در همان دوره خشکسالی می‌باشد.

جدول ۳- مقادیر SPI و میزان خشکی متناظر با آن (مک‌کی، ۱۹۹۳)

میزان خشکی	SPI مقادیر	احتمال مقادیر (درصد)
رطوبت شدید	$\geq 2$	۲.۳
خیلی مرطوب	۱.۹۹ تا ۱.۵	۴.۴
نسبتاً مرطوب	۱ تا ۱.۴۹	۹.۲
کمی مرطوب	۰ تا ۰.۹۹	۳۴.۱
نزدیک نرمال	۰ تا -۰.۹۹	۳۴.۱
نسبتاً خشک	-۱ تا -۱.۴۹	۹.۲
خیلی خشک	-۱.۹۹ تا -۱.۵	۴.۴
خشکی شدید	$\leq -2$	۲.۳

برای مدل‌بندی داده‌های بارش ماهانه یکی از توزیع‌های آماری مناسب برای این کار استفاده از توزیع گاما است. دلیل استفاده از این توزیع ماهیت خود توزیع آماری است که در آن مقادیر نزدیک صفر دارای فراوانی با احتمال بیشتری هستند و همین ماهیت نیز برای داده‌های بارندگی ماهانه برقرار است (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳) (وجود ماه‌های بدون بارش). تابع چگالی احتمال این توزیع بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x > 0$$

که در آن  $\alpha$  (پارامتر شیب) و  $\beta > 0$  (پارامتر مقیاسی) پارامترهای این توزیع برای مقادیر  $x > 0$  هستند که در آن  $x$  مقدار بارندگی است.  $\Gamma(\alpha)$  تابع گاما است و بصورت زیر تعریف می‌شود:

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

برای برازش توزیع، لازم است که مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  برآورد

برای مدل‌بندی داده‌های بارش ماهانه یکی از توزیع‌های آماری مناسب برای این کار استفاده از توزیع گاما است. دلیل استفاده از این توزیع ماهیت خود توزیع آماری است که در آن مقادیر نزدیک صفر دارای فراوانی با احتمال بیشتری هستند و همین ماهیت نیز برای داده‌های بارندگی ماهانه برقرار است (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳) (وجود ماه‌های بدون بارش). تابع چگالی احتمال این توزیع بصورت زیر تعریف می‌شود:

مقدار بارندگی ماهانه  $G(x)$  را بدست آورد به صورت زیر:

$$G(x) = P(X \leq x) = \int_0^x g(t) dt = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t/\hat{\beta}} dt$$

اگر فرض کنیم  $q = P(x=0)$  باشد تابع تجمعی ادغام شده گاما به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\begin{aligned} H(x) &= P(X \leq x) = P(X \leq x | X=0)P(X=0) + P(X \leq x | X \neq 0)P(X \neq 0) \\ &= 1 \times P(X=0) + G(x)P(X \neq 0) = q + (1-q)G(x) \end{aligned}$$

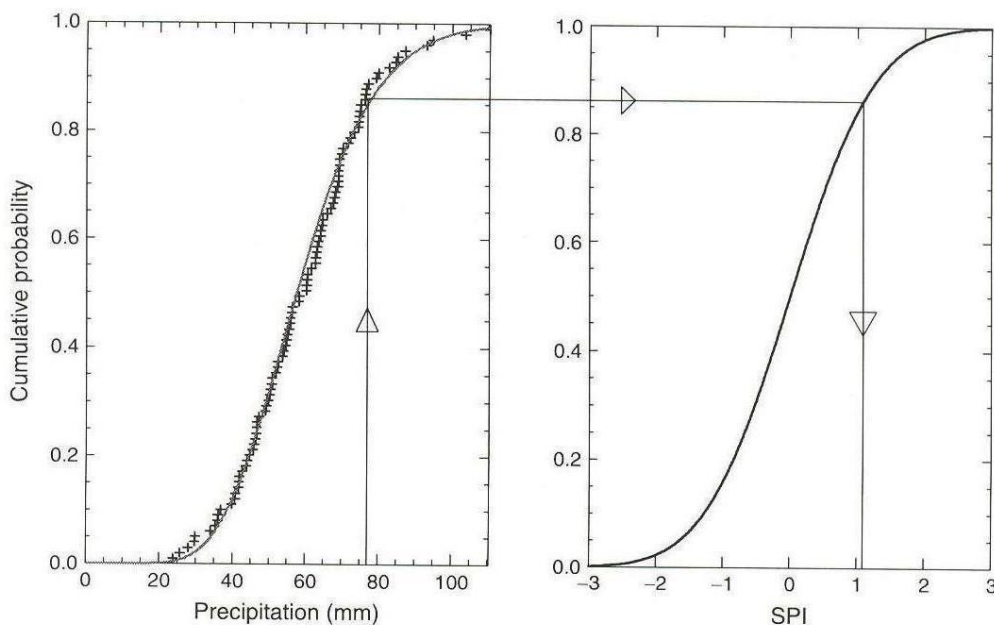
$$H(x) = \Phi(SPI) \Rightarrow SPI = \Phi^{-1}(H(x))$$

که در آن  $\Phi(\cdot)$  تابع توزیع تجمعی توزیع نرمال استاندارد است.

شوند. البته محاسبات مربوط به پردازش توزیع با استفاده از برنامه رایانه‌ای توسط نرم‌افزارهای آماری مختلف به روش عددی قابل محاسبه است و نیاز به توضیح نیست. حال می‌توان با استفاده از تابع چگالی احتمال، تابع توزیع تجمعی

مقادیر  $\hat{\alpha}$  و  $\hat{\beta}$  برآورد پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$  است که از روی داده‌ها برآورد می‌شوند. از آنجا که توزیع گاما برای مقادیر  $x=0$  تعریف نشده است، می‌توان احتمال صفر بودن بارش را با تابع تجمعی گاما بصورت زیر ادغام کرد.

این تابع توزیع تجمعی به توزیع نرمال استاندارد تبدیل می‌شود و نمایه SPI تولید می‌شود. این روش تبدیل در شکل (۴) بصورت شماتیک نشان داده شده است. محاسبه نمایه در قالب فرمول زیر خلاصه می‌شود:



شکل ۳- یک مثال از تبدیل احتمال توزیع گامای برازش شده به توزیع نرمال استاندارد

گیرد. مقدار شاخص GRI برای دوره‌ی آماری مربوطه که به صورت ماهانه است از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$GRI = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \quad (6)$$

در این مطالعه همبستگی نمایه SPI را با نمایه استاندارد آب زیرزمینی GRI مورد بررسی قرار داده و با مدل رگرسیونی میزان تأثیر خشکسالی بر نمایه GRI مورد ارزیابی قرار می‌-

### بحث و نتایج

#### تغییرات حجم مخزن

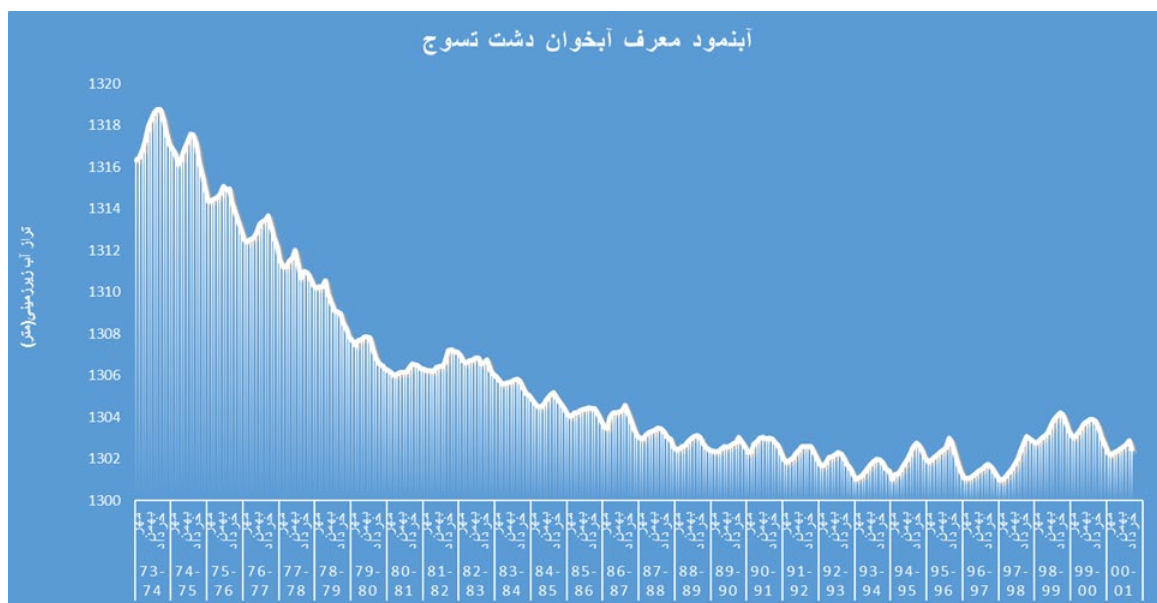
تغییرات تراز و حجم ذخیره آب زیرزمینی آبخوان تسوج منتهی به خرداد ماه سال ۱۴۰۱ براساس آمار سازمان آب منطقه‌ای سال ۱۴۰۰ نشان می‌دهد سطح ایستابی آبخوان در سال آبی بیش از ۸۱ سانتی‌متر افت داشته است و این نسبت به مدت مشابه سال آماری به میزان ۱۶۲۸ سانتی‌متر یا بیش از ۱۶ متر بوده است (جدول ۴). هیدروگراف واحد دشت طی دهه ۱۳۷۵-۱۴۰۰ به طور متوسط حدود ۱۶ متر افت را نشان می‌دهد (شکل ۴).

که در آن  $D_{y,m}$  مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در سال  $y$  و ماه  $m$  و  $\mu_{D,m}$  و  $\sigma_{D,m}$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در ماه  $m$  می‌باشد (مندیسینو و همکاران، ۲۰۰۸).

آمار بارش سه ایستگاه مورد نظر به صورت ماهانه تنظیم و مورد کنترل کیفی قرار گرفت. پس از آماده‌سازی داده‌های ایستگاهها با استفاده از نرم‌افزار نمایه خشکسالی SPI برای این سه ایستگاه در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه گردید.

جدول ۴- تغییرات تراز و حجم ذخیره آب زیرزمینی آبخوان تسوج منتهی به خرداد ماه سال ۱۴۰۱ (سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، ۱۴۰۰)

تغییرات تراز و حجم ذخیره آب زیرزمینی خرداد ماه سال ۱۴۰۱ نسبت به						متوسط سالانه تغییرات		تغییرات در سال آبی ۹۹-۱۴۰۰		سال آبی آغاز اندازه گیری	مساحت آبخوان (کیلومتر مربع)
ماه مشابه سال آغاز اندازه گیری		ماه مشابه سال قبل		اول سال آبی جاری		تراز آب (cm)	تراز آب (cm)	تراز آب (cm)	تراز آب (cm)		
تراز آب (cm)	حجم آب معادل (MCM)	تراز آب (cm)	حجم آب معادل (MCM)	تراز آب (cm)	حجم آب معادل (MCM)					تراز آب (cm)	تراز آب (cm)
-۱۰۳/۸۸	-۱۶۲۸	-۸/۳۶	۱۳۱	۱/۲۴	۱۹	-۳	۵۲	-۵	-۸۱	۷۳-۷۴	۲۱۳



شکل ۴- آبنمود معرف آبخوان دشت تسوج (سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، ۱۴۰۰)



## محاسبه و تحلیل نمایه خشکسالی داده‌های

### منطقه مورد مطالعه

مقادیر نمایه خشکسالی SPI در قالب نمودارهای سری زمانی در شکل‌های ۵ تا ۷ آورده شده است. نمودار سری زمانی نمایه خشکسالی ایستگاه تسوج (شکل ۵) نشان‌دهنده روند نزولی نمایه است که زیاد شدن شدت خشکسالی در دوره‌های اخیر نشان می‌دهد. برای مقیاس ۱۲ ماهه از سال ۱۳۷۶ به بعد ترسالی رخ نداده و همواره وضعیت نرمال تا خشکسالی شدید وجود داشته است. برای مقیاس ۲۴ ماهه خشکسالی‌های اخیر شدیدتر شده است به طوری که از سال ۱۳۷۶ به بعد در اکثر سال‌ها خشکسالی متوسط تا شدید رخ داده است. این شرایط خشکسالی برای مقیاس زمانی ۴۸ ماهه کاملاً خود را نشان داد.

در ایستگاه شرفخانه مشابه ایستگاه تسوج وضعیت خشکسالی در دوره‌های اخیر بیشتر است البته شدت خشکسالی در این ایستگاه نسبتاً کمتر است. طبق شکل ۶ در نمودار سری زمانی مقیاس ۱۲ ماهه از سال ۱۳۷۵ وضعیت خشکسالی شروع شده و در سال‌های اخیر در حد بالای نرمال یا نسبتاً مرطوب رسیده است. ولی برای مقیاس ۲۴ ماهه شدت خشکسالی در سال‌های اخیر بیشتر شده است بطوری‌که در مقیاس ۴۸ ماهه در دوره‌های اخیر به سختی دوره مرطوب مشاهده می‌شود. نمودارهای سری زمانی نمایه خشکسالی در ایستگاه خوی (شکل ۷) نشان می‌دهد از سال ۱۳۷۴ وضعیت خشکسالی شروع شده و تا سال‌های اخیر به طور افزایشی نمایه به سمت وضعیت نسبتاً مرطوب پیش رفته است ولی در اکثر سال‌های اخیر وضعیت خشکسالی رخ داده است. این شرایط برای نمایه خشکسالی با مقیاس بلندمدت تر ۲۴ و ۴۸ ماهه بیشتر خود را نشان می‌دهد.

### ارزیابی تأثیر نمایه خشکسالی SPI بر منابع آب

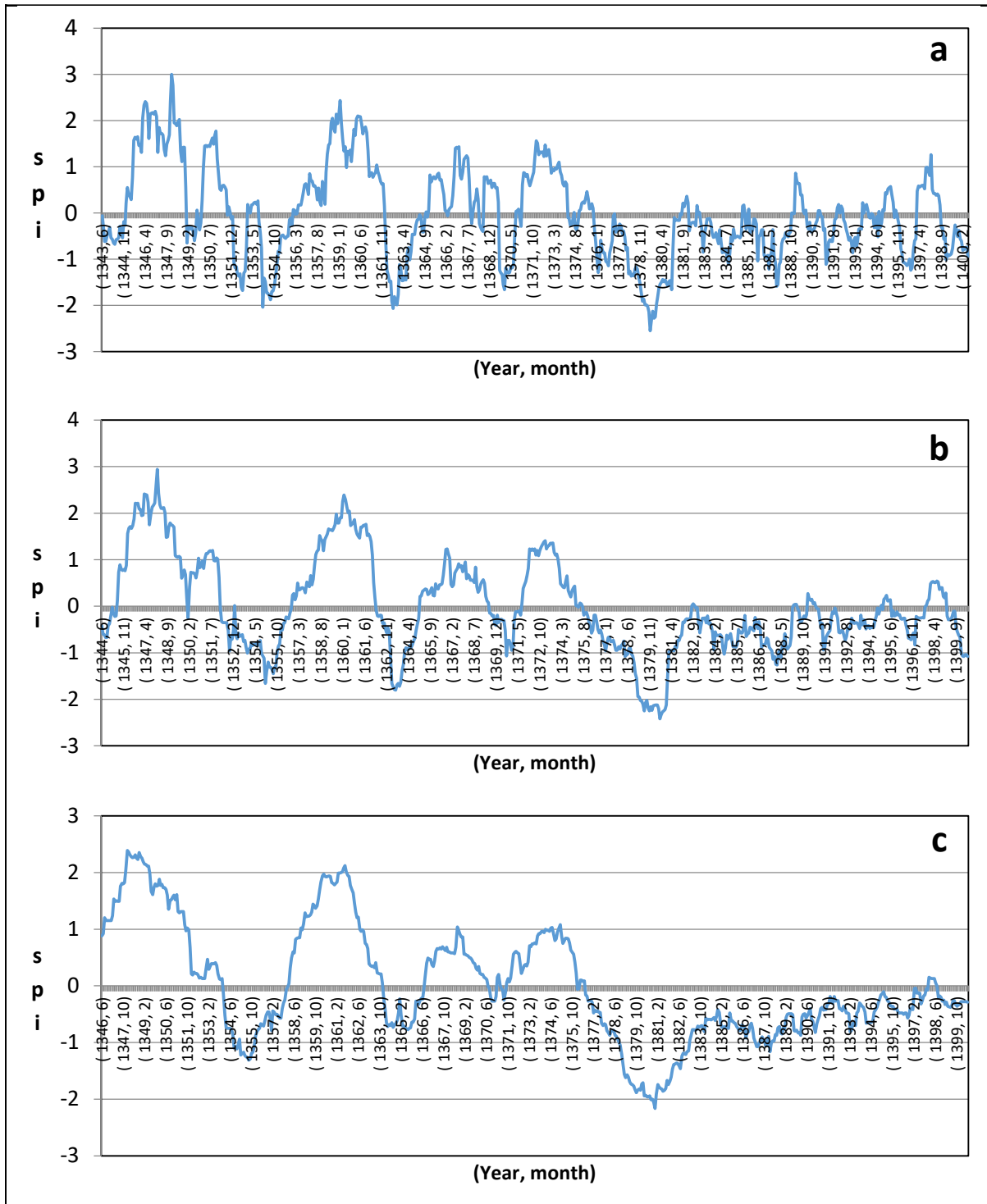
#### زیرزمینی آبخوان تسوج

مقادیر میانگین ارتفاع آب زیرزمینی منطقه آبخوان تسوج در دوره‌ی آماری ۱۴۰۰-۱۳۷۴ در دسترس است. در جدول ۵

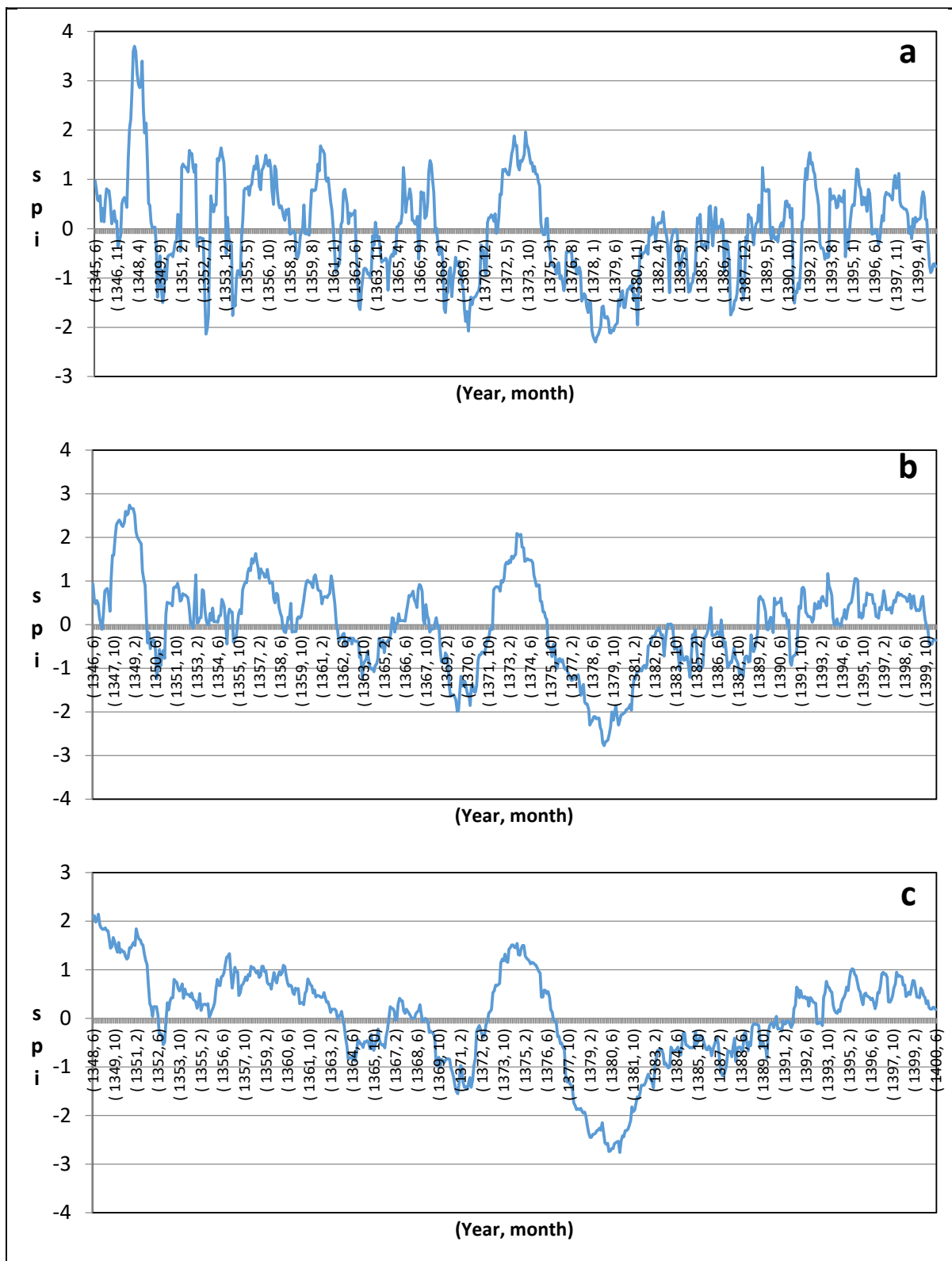
مقادیر همبستگی نمایه خشکسالی SPI برای سه دوره‌ی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه با نمایه GRI آورده شده است.

طبق جدول ۵ نمایه GRI با نمایه خشکسالی SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه برای ایستگاه تسوج دارای همبستگی مثبت معنی‌دار است زیرا مقدار P\_value در جدول (Sig.) کمتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است. برای ایستگاه شرفخانه در نمایه SPI در مقیاس زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه دارای همبستگی منفی معنی‌دار در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است. برای ایستگاه خوی در هر سه مقیاس زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه دارای همبستگی معنی‌دار منفی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و حتی ۰/۰۱ است. شکل ۸ نمودار روند دو نمایه SPI و GRI را برای ایستگاه آبخوان تسوج در دوره‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه به‌طور یکجا نشان می‌دهد که حاکی از همبستگی معنی‌دار و روند کاهشی این دو نمایه است. طبق شکل ۸ شدت کاهش نمایه آب زیرزمینی GRI در سال‌های اخیر بیش از نمایه خشکسالی SPI است. این امر می‌تواند نشان‌دهنده عوامل تأثیرگذار دیگر مثل دما و تیخیر و عوامل انسانی مثل استفاده بی‌رویه از آب زیرزمینی منطقه باشد. در تأیید این نظریه می‌توان به افزایش زمین‌های زیرکشت کشاورزی بخصوص محصولات آب‌بر در حاشیه دریاچه ارومیه و برداشت بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی اشاره نمود (طبق جدول ۴ و نمودار ۴) و این درحالی است که مطابق نمودار بارش و به تبع آن تغذیه‌ی آب زیرزمینی روند کاهشی داشته است.

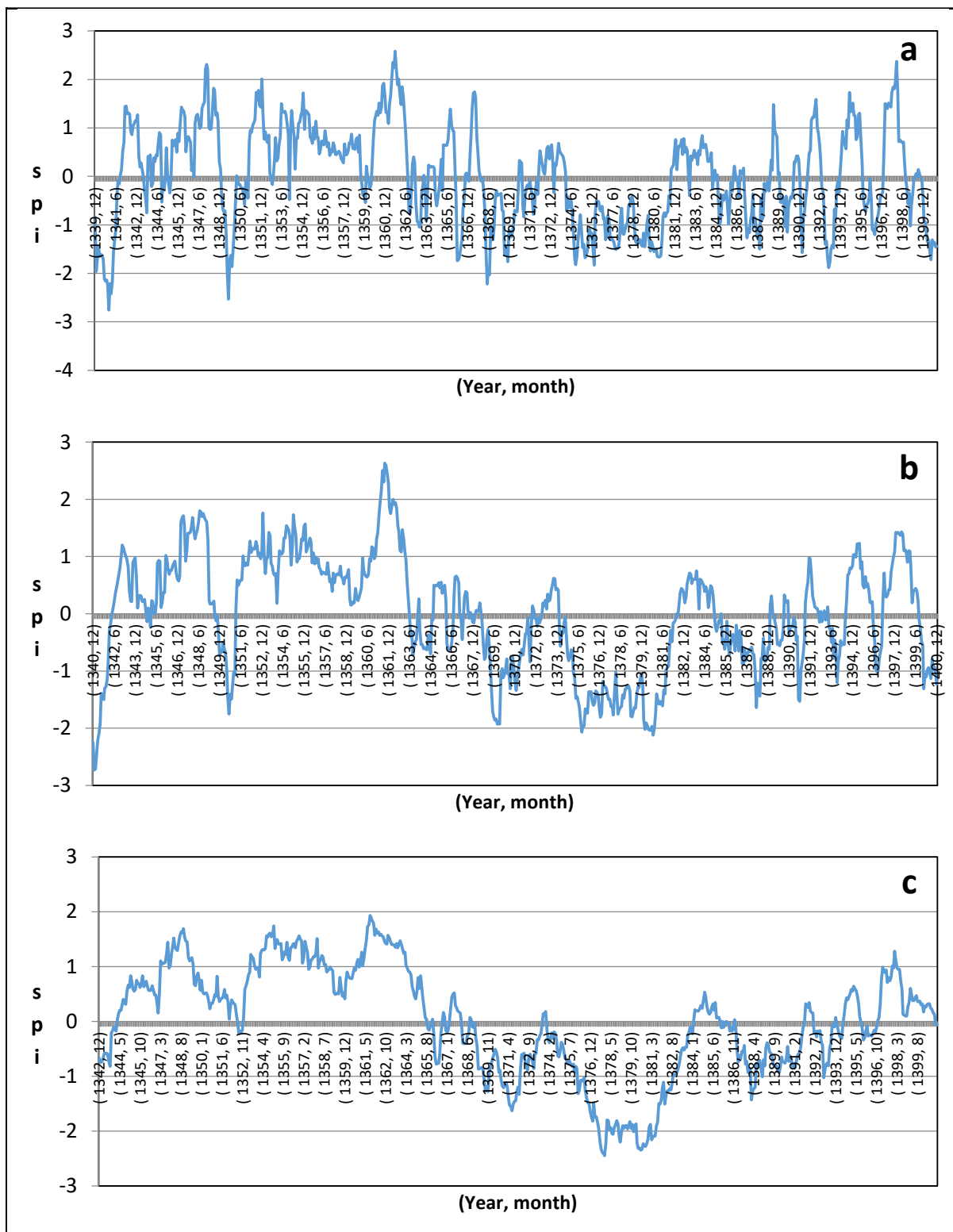
نمایه‌های خشکسالی ۴۸ ماهه تسوج، ۱۲ ماهه شرفخانه و ۲۴ ماهه خوی که بیشترین همبستگی معنی‌دار را با نمایه GRI دارند به عنوان عوامل تأثیرگذار خشکسالی وارد مدل رگرسیونی کرده تا کل تغییرات GRI را که تحت تأثیر وضعیت خشکسالی سه ایستگاه قرار گرفته است، تعیین شود. بنابراین سه نمایه خشکسالی را به عنوان سه متغیر مستقل و نمایه GRI به عنوان متغیر وابسته یک مدل رگرسیونی چندمتغیره خطی تشکیل می‌دهند که خروجی آن در جدول ۶ آمده است.



شکل ۵- نمایه خشکسالی SPI برای مقیاس‌های زمانی ۱۲ ماهه (a)، ۲۴ ماهه (b) و ۴۸ ماهه (c) برای ایستگاه تسوج



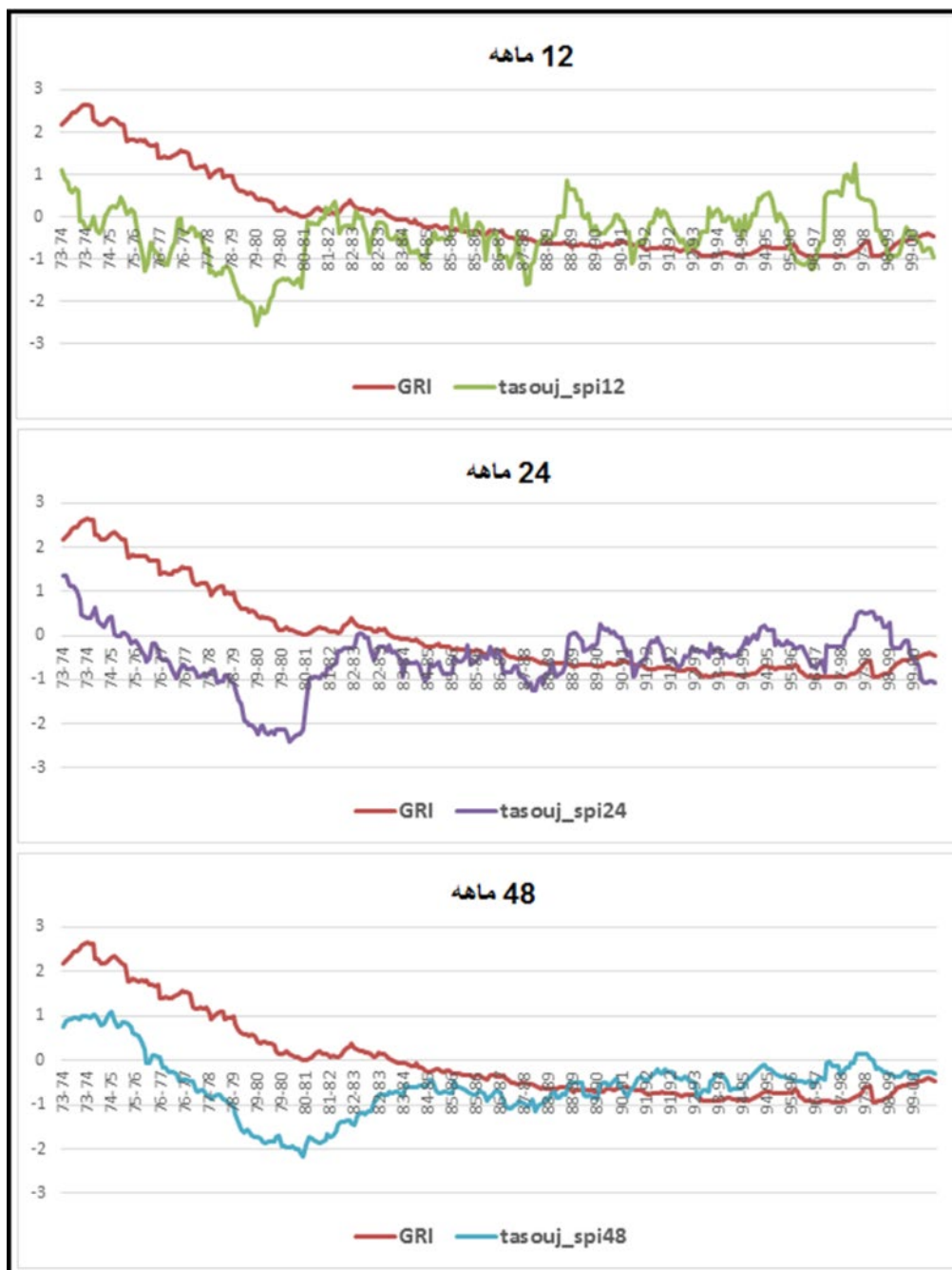
شکل ۶- نمایه خشکسالی SPI، برای مقیاس‌های زمانی ۱۲ ماهه (a)، ۲۴ ماهه (b) و ۴۸ ماهه (c) برای ایستگاه شرفخانه



شکل (۷) - نمایه خشکسالی SPI برای مقیاس‌های زمانی ۱۲ ماهه (a)، ۲۴ ماهه (b) و ۴۸ ماهه (c) برای ایستگاه خوی

جدول ۵- همبستگی بین نمایه SPI و نمایه آب زیرزمینی GRI

	تسوج			شرفخانه			خوی		
	SPI-12	SPI-24	SPI-48	SPI-12	SPI-24	SPI-48	SPI-12	SPI-24	SPI-48
ضریب همبستگی پیرسن	-0.055	0.091	0.363**	-0.234**	-0.121*	.0410	-0.378**	-0.436**	-0.424**
Sig. (2-tailed)	0.324	0.104	0.000	0.000	0.029	0.467	0.000	0.000	0.000
N	324	324	324	324	324	324	324	324	324



شکل ۸- نمایه خشکسالی SPI و GRI برای مقیاس‌های زمانی ۱۲ ماهه، ۲۴ ماهه و ۴۸ ماهه بر منابع آب زیرزمینی تسوج

جدول ۶- خروجی مدل رگرسیونی سه متغیره (نمایه خشکسالی ایستگاههای تسوج، شرفخانه و خوی) و نمایه GRI تسوج

Model Summary		ANOVA					
R	R Square	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
.706 <sup>a</sup>	.499	Regression	155.743	3	51.914	106.257	.000 <sup>b</sup>
		Residual	156.344	320	.489		
		Total	312.087	323			

طبق جدول ۶ ضریب همبستگی (R) و ضریب تعیین مدل (R Square) به ترتیب ۰/۷۰۶ و ۰/۴۹۹ است و این امر نشان دهنده اینست که ۴۹/۹ درصد از تغییرات مدل توسط متغیرهای مستقل تعیین یا پوشش داده می شود. به عبارت دیگر تأثیر وضعیت خشکسالی سه ایستگاه منطقه روی مقدار استاندارد ارتفاع آب زیرزمینی (GRI) آبخوان تسوج ۱ آمده است.

طبق جدول ۶ ضریب همبستگی (R) و ضریب تعیین مدل (R Square) به ترتیب ۰/۷۰۶ و ۰/۴۹۹ است و این امر نشان دهنده اینست که ۴۹/۹ درصد از تغییرات مدل توسط متغیرهای مستقل تعیین یا پوشش داده می شود. به عبارت دیگر تأثیر وضعیت خشکسالی سه ایستگاه منطقه روی مقدار استاندارد ارتفاع آب زیرزمینی (GRI) آبخوان تسوج ۱ آمده است.

جدول ۷- مقادیر ضرایب رگرسیونی مدل

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta*		
(Constant)	.240	.053	..	4.520	.000
tasouj_spi48	.923	.066	.633	13.957	.000
sharaf_spi12	-.235	.062	-.214	-3.791	.000
khoy_spi24	-.559	.058	-.504	-9.668	.000

\*وقتی ضرایب مدل استانداردسازی شود عدد ثابت مدل حذف یا صفر می شود.

طبق جدول ۷ کلیه ضرایب مدل معنی دار بوده (Sig.=0.000) و نشان دهنده اعتبار این ضرایب است. بنابراین رابطه رگرسیونی مدل را می توان به صورت زیر نشان داد:

$$GRI = 0.240 + 0.923 \times SPI_{48}(tasouj) - 0.235 \times SPI_{12}(sharaf) - 0.559 \times SPI_{24}(khoy)$$

طبق رابطه مدل خطی (۷)، مقدار ارتفاع آب زیرزمینی ترکیب خطی از مقادیر نمایه SPI ۴۸ ماهه تسوج، SPI ۱۲ ماهه شرفخانه و SPI ۲۴ ماهه خوی است. به عبارت دیگر ارتفاع آب زیرزمینی منطقه تحت تأثیر وضعیت خشکسالی سه ایستگاه اشاره شده است.

کل برای هر سه ایستگاه روند نمایه خشکسالی نزولی بوده به طوریکه از سال ۱۳۷۶ به بعد شرایط مرطوب در سالهای اخیر به ندرت روی داده است و اکثر سالها شرایط خشکسالی تا نرمال حاکم بوده است. البته روند شدت خشکسالی برای سه ایستگاه متفاوت است بطوریکه شدت خشکسالی برای منطقه تسوج خیلی بیشتر و محسوس تر از دو ایستگاه دیگر است.

نتایج بررسی اثر خشکسالی بر آب های زیرزمینی منطقه آبخوان تسوج حاکی از همبستگی معنی دار نمایه خشکسالی

### نتیجه گیری

روند بلندمدت نمایه خشکسالی SPI برای سه ایستگاه مورد مطالعه تسوج، شرفخانه و خوی نشان می دهد که در

## منابع

1. A look at the situation of water resources in Iran and the world (2007), Office of the Deputy Director of Planning and Strategic Supervision of the Presidency.
  2. Abbasi F., Kohi M., Flamarzi Y., Javanshiri Z., Malboosi S. and Babaian I. (2019), analysis of average annual temperature and precipitation trends in Iran in the period from 1988 to 2017 AD, Newar, Volume 43, Number 106, Autumn and Winter 2019.
  3. Ahmadi Akhormeh, M., Nohegar, A., Soleimani Motlagh, M., & Taie Samiromi, M. (2015). Groundwater Drought Investigating using SWI and GRI Indices) Case Study: Marvdasht Kharameh Aquifer). Irrigation and Water Engineering, 6(1), 105-118.
  4. Asadzadeh, F., Kaki, M., Shakiba, S., Raei, B., (2016). Impact of drought on groundwater quality and groundwater level in Qorveh-Chardoli Plain. Iran Water Resources Research, 12(3): 153-165.
  5. Assimacopolous, D, (2005), An Integrated Decision Support System for Evaluation of water management Strategies, [http://environ.chemeny. Netua.gr](http://environ.chemeny.Netua.gr).
  6. Al Boyeh, A. Ghazavi, R. and Sadatinejad, J. (۲۰۱۶). Investigating the effects of drought on underground water resources using the SPI index, Desert Ecosystem Scientific Research Journal, ۱۰th year, ۱۰th issue, pp. ۱۳-۲۲.
  7. Aleboali A, Ghazavi R, satatinejad S J. Study the effects Of Drought on Groundwater Resources using SPI Index (A Case Study: Kashan Plain). DEEJ 2016; 5 (10) :13-22
  8. Atoui M. and Agoubi B. (2022), Assessment of groundwater vulnerability and pollution risk using AVI, SPI, and RGPI indexes: applied to southern Gabes aquifer system, Tunisia, Environmental Science and Pollution Research volume 29, pages 50881–50894.
  9. Chamanpira, G., Zehtabian, G., Ahmadi, H., & Malekian, A. (2014). Effect of drought on groundwater resources in order to optimize utilization management, case study: Plain Alashtar. Watershed Engineering and Management, 6(1), 10-20.
  10. Chamanpira R. (2022), Evaluation of the Effect of Meteorological Drought on Groundwater of Koohdasht Aquifer in Lorestan Province, Iran-Water Resources Research (IWRR), Volume 18, Issue 1 - Serial Number 60, June 2022, Pages 166-179.
  11. East Azarbaijan Regional Water Company (20۲۱), Tasuj plain hydrogeology report..
- ۲۴ ماهه ایستگاه تسوج، ۱۲ ماهه شرفخانه و ۲۴ ماهه خوی با نمایه استاندارد آب زیرزمینی GRI منطقه آبخوان تسوج دارد. نتایج تحقیقات خان و همکاران (۲۰۰۸)، نوحه‌گر و همکاران (۲۰۱۶)، ابراهیمی و همکاران (۲۰۲۰) و ویسته-سرانو و لویز مورینو (۲۰۰۵) نیز نشان داده‌اند که نمایه آب زیرزمینی با نمایه خشکسالی در مقیاس زمانی بلندمدت همبستگی بیشتری دارد و با یافته‌های این پژوهش همخوانی دارد. طبق شکل ۸ روند نزولی نمایه استاندارد آب زیرزمینی GRI با روند نزولی خشکسالی ایستگاه بارانسج تسوج در سه مقیاس زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه همخوانی دارد. البته با وجود نوسانات نمایه خشکسالی SPI به خصوص افزایش کوتاه‌مدت و رخداد ترسالی نامحسوس در بعضی از سال‌ها در دو ایستگاه شرفخانه و خوی ولی به دلیل انباشت خشکسالی و غالب بودن سال‌های خشکسالی بر سال‌های ترسالی بر حافظه بلندمدت اقلیمی منطقه تأثیر گذاشته و موجب کاهش آب زیرزمینی و روند نزولی نمایه استاندارد GRI شده است. البته عوامل تأثیرگذار دیگر مثل دما و تبخیر و عوامل انسانی می‌تواند در کاهش آب زیرزمینی منطقه تأثیر داشته باشد.
- مطابق با نتایج به دست آمده شاخص SPI مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی در سال دوره آماری، وقوع خشکسالی را در دشت تسوج نشان می‌دهد که شاخص مذکور عملکرد مناسبی در نشان‌دادن خشکسالی دارد این موضوع با نتایج تحقیقات حیدری‌زاده و همکاران (۱۳۹۷)، بذرافشان (۱۳۸۱) و شایق و سلطانی (۱۳۹۰) که نمایه خشکسالی SPI را محاسبه نموده‌اند، و عملکرد نمایه مورد تایید قرار گرفته است، مطابقت دارد.
- جهت بررسی آماری دقیق‌تر، مدل رگرسیونی مناسب بین نمایه GRI به عنوان متغیر وابسته و سه متغیر نمایه خشکسالی ۴۸ ماهه تسوج، ۱۲ ماهه شرفخانه و ۲۴ ماهه خوی به عنوان متغیرهای مستقل تعیین گردید. با توجه به مقدار ضریب تعیین مدل رگرسیونی اثر خشکسالی در منطقه ۴۹/۹ درصد تعیین شده است. در رابطه (۱) نتیجه معادله رگرسیونی آورده شده است. با استفاده از این رابطه می‌توان با داشتن مقادیر نمایه خشکسالی SPI، مقادیر نمایه استاندارد GRI متناظر را برآورد نمود.

- province, International Quarterly Journal of Analytical Research on Water Resources and Development, Year ۲, Number ۳, ۱۶۱-۱۵۰.
23. Mendicino G., Senatore A. and Versace P. (2008). A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and fore-casting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology* 357: 282-302.
  24. Nohegar, A. Qashqaizadeh, N. Heydarzadeh, M. Edon, M. Panahi, M. (۲۰۱۶). Evaluation of drought and its impact on surface and underground water resources of Minab River watershed, *Science Science Research*, ۷th year, number ۲۷, pp. ۴۳-۲۸
  25. Ouassanouan Y., Fakir Y., Simonneaux V., Kharrou M.H., Bouimouass H., Najari I., Benrhanem M., Sguir F. and Chehbouni A. (2022), Multi-decadal analysis of water resources and agricultural change in a Mediterranean semiarid irrigated piedmont under water scarcity and human interaction, *Science of The Total Environment* Volume 834, 15 August 2022, 155328.
  26. Rahimi, J., Ebrahimpour, M. & Khalili, A. Spatial changes of Extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theor Appl Climatol* 112, 409-418 (2013). <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0741-8>.
  27. Shakiba. A, Mirbagheri. B. (2010). Drought analysis using SPI index and its effects on groundwater resources in East of Kermanshah, Iran, *Ty's Journal*.
  12. Eslahi M. (2008), review and revision of SPI drought index, Ardabil conference on reducing the effects of weather-meteorological disasters.
  13. Ghafari, S. (2003). Development of Water Resource Management in Iran for Drought Management. 3th Conference of Water Resource Management of Iran University Tabriz.
  14. Habibzadeh A., Raushit S. and Nikjo M.R. (2013), hydrodynamic and geomorphological evaluation of Quaternary deposits, analysis of groundwater crisis north of Lake Urmia (case study of Tasuj plain), quantitative geomorphology researches, third year, autumn 2013, number 2 (10 series)
  15. Helali, J., Asaadi, S., Jafarie, T., Habibi, M., Salimi, S., Momenpour, S. E., ... & Saeidi, V. (2022). Drought monitoring and its effects on vegetation and water extent changes using remote sensing data in Urmia Lake watershed, Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 13(5), 2107-2128.
  16. Heydarzadeh, M. Salari, A. (2021). Evaluation of the impact of recent droughts on changes in the level of underground water resources, *Hydrogeology*, ۷th year, number ۱, pp. ۱۵۲-۱۴۰
  17. khorani A, and khajeh M. (2014), An Investigation on the coincidence between trend of drought and groundwater levels decline (A Case Study: Plain of Darab). *MJSP* 2014; 18 (2) :57-80
  18. Kolahdoz, A., Dinpajoh, Y., Mirabbasi Najafabadi, R., Asadi, A., Darbandi, P., (۲۰۱۵). The effect of the drying up of Zayandeh Rood on the underground water level of the Najaf Abad plain in the last two decades, *Iranian Journal of Water and Soil Research*, Vol. ۴۶ No. ۱, ۹۳-۸۱.
  19. Lashnizand M., Pyamani K., Ahmadi S. and Weis Karmi I. (2014), zoning of Iran's climatology. *Journal of Watershed Engineering and Management* Volume 6, Issue 2, 2014, Pages 175-189.
  20. Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist J., (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, 8th conference on applied climatology, 17-22 Jan, California.
  21. MohammadJani, A. Yazdanian, N. (۲۰۱۴). Analysis of the water crisis situation in the country and its management requirements, *Trend Quarterly*, ۲st year, numbers ۶۵, ۶۶, spring and summer, ۲۰۱۴, pages ۱
  22. Mahmoudi, Z., Zinivand, H., (۲۰۱۴), examining the relationship between meteorological and hydrological drought, case study: Kashkan watershed, Lorestan