

متوسط سطح ایستایی تحت تأثیر SPI ۴۸ ماهه و ۴۴ درصد متأثر از سایر عوامل به‌ویژه بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، سطح آب زیرزمینی، شاخص بارش معیار شده (SPI)، شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI)، دشت سروستان.

مقدمه

به دلیل متغیرهای مختلفی که به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم در رخداد خشکسالی^۳ دخالت دارند، تعریف این واژه مشکل است. به همین دلیل تاکنون تعریف جامعی از این پدیده عنوان نگردیده است و محققان رشته‌های گوناگون از دیدگاه خود به این پدیده نگریسته‌اند [۱۳]. عزیزاده [۲] خشکسالی را یک دوره‌ی زمانی با میزان بارشی کمتر از حد معمول همان منطقه تعریف می‌کند؛ بنابراین خشکسالی حالتی نرمال و مستمر از اقلیم است. یکی از جامع‌ترین و کامل‌ترین تعاریف از خشکسالی توسط پالمر (۱۹۶۵) ارائه شده است. به نظر وی خشکسالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی. واژه‌ی مستمر حالت کمبود و واژه‌ی غیرطبیعی به انحراف شاخص موردنظر از شرایط طبیعی یا میانگین اطلاق می‌شود [۳۱]. عوامل مختلفی در بروز یا تشدید انواع خشکسالی‌ها در مناطق مختلف جهان شناسایی و بررسی شده که تسلط سلول‌های پرفشار، دمای سطح اقیانوس‌ها، الگوی پیوند از دور، آلوده، موج‌بلند در بادهای غربی و انسان، از مهم‌ترین این عوامل به شمار می‌آیند.

خشکسالی از جمله مخاطرات طبیعی است که رخداد آن اثرات بسیار زیانباری بر محیط‌های اکولوژیکی وارد می‌سازد. کشور ما به علت واقع‌شدن در کمربند بیابانی دارای میزان بارش کمتر از یک‌سوم بارندگی متوسط کل جهان است و در دهه‌های اخیر عمده‌تاً به علت افزایش مصرف آب و برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب (خصوصاً منابع آب زیرزمینی)^۴ و بالاخره عدم استفاده بهینه از آب موجود، پدیده‌ی کمبود آب را در کشور نمایان کرده است. امروزه آب مهم‌ترین چالش بین‌الملل در اکثر کشورهای جهان می‌باشد؛ به‌طوری‌که در سال ۲۰۰۰ میلادی ۲۶ کشور جهان با ۳۰۰ میلیون نفر جمعیت با کمبود آب مواجه بوده و تا سال ۲۰۵۰ میلادی بیش از ۶۶ کشور با داشتن بیش از دوسوم جمعیت جهان با مسئله کم‌آبی

ارزیابی تأثیر خشکسالی‌های اخیر بر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی دشت سروستان استان فارس

حسین بهزادی کریمی^{۱*} و کمال امیدوار^۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۰۲

چکیده

طی سال‌های اخیر در بیشتر مناطق ایران به دلیل کاهش نزولات جوی، خشکسالی‌های پر دامنه و شدیدی رخ داده که پیامد آن، افت شدید سطح ایستایی سفره‌های آب زیرزمینی است. در این پژوهش، به‌منظور بررسی وضعیت خشکسالی‌های اخیر و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی از شاخص بارش معیار شده (SPI) در مقیاس‌های مختلف زمانی و شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) استفاده شد. ابتدا داده‌های بارش ماهانه‌ی ۶ ایستگاه هواشناسی و تراز سطح ایستایی مربوط به ۲۴ حلقه چاه شاهد واقع در دشت سروستان استان فارس طی دوره‌ی آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۱ جمع‌آوری گردید. پس از انجام آزمون‌های همگنی روی داده‌های جمع‌آوری شده و رفع نواقص آماری به روش تفاضل و نسبت‌ها، شاخص‌های مذکور در مقیاس‌های زمانی سالانه، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه گردید. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که در طول دوره‌ی آماری مورد مطالعه، خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی دشت، دارای روند افزایشی است و سطح سفره‌ی آب زیرزمینی به‌اندازه ۱۰/۹ متر افت داشته است. همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف با اعمال و بدون اعمال تأخیر زمانی با میانگین تراز سطح سفره آب زیرزمینی و شاخص GRI بررسی شد. تحلیل‌های آماری نشان داد که شاخص SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بدون اعمال تأخیر زمانی با میانگین تراز سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بوده و دارای بیشترین ضریب همبستگی است که حاکی از تأثیرگذاری خشکسالی بر آب زیرزمینی دشت سروستان است. رابطه‌ی وابازی بین ارتفاع متوسط سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI نشان داد که ۵۶ درصد از واریانس تراز

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده‌ی علوم انسانی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، نویسنده‌ی مسئول؛ Email: h.bkarimi@chmail.ir

۲- استاد آب و هواشناسی، دانشکده‌ی علوم انسانی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

3- Drought

4-Groundwater

روبرو خواهند بود [۲۴]. پس لازم است در رفتار و برنامه‌های خود تجدیدنظر نموده و با برنامه‌های مدون و مطالعات اصولی به ارائه راه‌حل علمی و عملی برای مدیریت منابع آب در دسترس اقدام کرد. یکی از عوامل مهم و اساسی در مطالعات خشکسالی در هر منطقه، شاخص‌هایی است که بتوان بر اساس آن‌ها میزان شدت، تداوم خشکسالی و ... را در یک منطقه ارزیابی کرد [۲۱]. شاخص بارش استاندارد یا 'SPI به دلیل سادگی در محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و هر نوع شرایط آب و هوایی به عنوان مناسب‌ترین شاخص شناخته می‌شود؛ اما به منظور ارزیابی وضعیت مخزن سفره‌ی آب زیرزمینی از شاخصی به نام منبع آب زیرزمینی یا GRI² استفاده می‌شود. این شاخص با استفاده از پارامترهای سطح ایستایی در مقیاس ماهانه و سالانه قابل محاسبه بوده و از نتایج آن می‌توان جهت پیش‌بینی اهداف و تصمیم‌گیری‌های مدیریت آبخوان استفاده کرد.

در دهه‌های اخیر عمدتاً به علت افزایش مصرف آب و برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی و بالاخره عدم استفاده بهینه از آب موجود، پدیده کمبود آب را در کشور نمایان کرده است. همچنین عدم برخورداری از بارندگی کافی با توزیع زمانی و مکانی مناسب، به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیمی و غلبه خشکی نگران‌کننده، کمبود آب را به عنوان یک واقعیت انکارناپذیر و هراس‌آور به کشور تحمیل نموده است.

منطقه مورد مطالعه، به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی از خشکسالی مصون نبوده و از طرفی به دلیل شاغل بودن بسیاری از مردم در بخش کشاورزی و باغداری، نیاز بیشتر آنان به منابع آبی جدید پیش‌بینی می‌شود. با توجه به اینکه منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز دشت سروستان، چاه‌های عمیق و نیمه عمیق بوده که از آبخوان زیرزمینی دشت تغذیه می‌شوند؛ چنانچه در معرض خشکسالی‌های مکرر و مصرف بیش از اندازه قرار گیرد دچار تغییرات کمی و کیفی شده و خسارات جبران‌ناپذیری به منابع آب و خاک آن وارد خواهد شد؛ بنابراین ضروری است که مطالعات تخصصی به منظور بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی منطقه انجام گیرد؛ چرا که این گونه مطالعات به نوبه‌ی خود در تعیین و تشخیص مشکلات موجود در منابع آب کمک بسیار بارزشی در برنامه‌ریزی مدیران ارشد خواهد کرد.

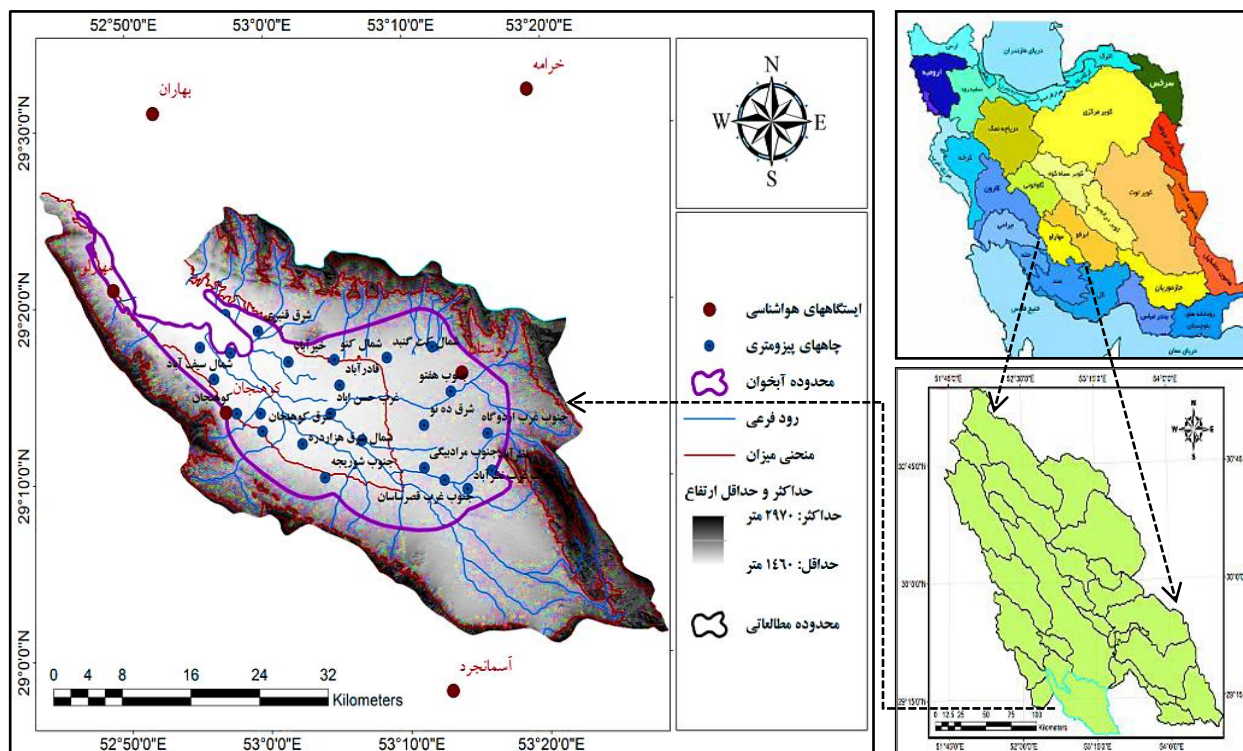
در خصوص تأثیر خشکسالی‌ها بر منابع آب زیرزمینی، تاکنون مطالعات مختلفی توسط محققین در اقصی نقاط جهان به ویژه مناطقی که بیشتر در معرض خشکسالی‌های شدید قرار گرفته‌اند صورت گرفته است. مندسینو و سانتور [۲۳] در پژوهشی شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) را برای مناطق کالابریا با اقلیم مدیترانه‌ای برای دوره‌ی ۴۵ ساله بکار برده و با SPI منطقه مقایسه نموده و به این نتیجه رسیدند که همبستگی GRI و SPI در مقیاس زمانی

طولانی‌تر مناسب‌تر است. خان و همکاران [۲۰] در بررسی رابطه‌ی بین خشکسالی و سطح آب زیرزمینی در یکی از دشت‌های استرالیا به این نتیجه رسیدند که بین شاخص بارندگی معیار شده و سطح آب زیرزمینی کم‌عمق منطقه ارتباط قوی وجود دارد. شاهید و هازاریکا [۲۸] تأثیر خشکسالی بر آب زیرزمینی در شمال بنگلادش را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که برداشت آب زیرزمینی در فصل خشک، تأثیر زیادی در افت سطح آب زیرزمینی دارد و اگر مداخلات انسانی در سامانه آب زیرزمینی وجود نداشت؛ بارندگی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر افت سطح آب زیرزمینی بود. بارکی و بایلی [۸] تأثیر تغییرات اقلیمی و خشکسالی را بر حجم لنزهای حاوی آب زیرزمینی شیرین در جزایر مارشال مطالعه کردند. نتایج آنان نشان داد در شرایط خشکسالی، آب زیرزمینی شیرین جزایر کوچک افت زیادی را نشان می‌دهد.

شکیبا، میرباقری و خیری [۲۹]، تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی شرق کرمانشاه را با استفاده از شاخص SPI بررسی نموده‌اند و به این نتیجه دست یافتند که با توجه به ضریب همبستگی بین مقدار SPI و عمق آب زیرزمینی می‌توان گفت که شاخص SPI شاخص تقریباً مناسبی جهت بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی منطقه است. ایمانی و همکاران [۱۲]، به بررسی آثار خشکسالی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد با استفاده از شاخص SPI و GRI در یک دوره‌ی ۲۰ ساله (۱۳۶۷-۱۳۸۷) پرداختند و نتایج ایشان نشان‌دهنده‌ی افت شدید سفره به‌خصوص در ده سال اخیر و رابطه‌ی بین شاخص SPI در مقیاس زمانی درازمدت به‌ویژه ۴۸ ماهه با سطح ایستایی آبخوان دشت می‌باشد. چمن پیرا و همکاران [۹] به بررسی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت الشتر با استفاده از شاخص SPI و منبع آب زیرزمینی (GRI) در طول دوره‌ی آماری ۱۳۸۹-۱۳۷۰ پرداخته و نتیجه گرفته که شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه بدون تأخیر زمانی با میانگین تراز سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بوده و بیشترین ضریب همبستگی را دارد. احمدی آخوومه و همکاران [۱] در تحقیقی به ارزیابی خشکسالی آب زیرزمینی دشت مرودشت خرامه استان فارس با استفاده از شاخص‌های SWI و GRI پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که با افزایش مقیاس‌های زمانی، تداوم، شدت و فراوانی آن نیز افزایش می‌یابد؛ به طوری که شدیدترین خشکسالی در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه در شاخص GRI در مهرماه ۱۳۹۰ با مقدار ۱-۹۴/۱ و در شاخص SWI در شهریور ۱۳۹۰ با مقدار ۲/۰۸ رخ داده است. فاریابی و مظفری زاده [۱۴] به بررسی تأثیر خشکسالی و مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت دیر-آبدان در استان بوشهر با استفاده از شاخص مدیریت خشکسالی هیدرولوژیکی (HDMI) اقدام نمودند و براساس نتایج به دست آمده، میانگین شاخص خشکسالی آب زیرزمینی کمتر از ۱- است که نشان‌دهنده‌ی خشکسالی آب زیرزمینی با شدت متوسط است. کمترین میزان شاخص HDMI در بخش جنوبی دیر-آبدان و در مجاورت خلیج فارس دیده می‌شود.

1-Standardized Precipitation Index(SPI)

2- Groundwater Resources Index(GRI)



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی و چاه‌های پیزومتری

به‌طورکلی در دشت سروستان دو دسته آبخوان وجود دارد که شامل آبخوان‌های آبرفتی و کارستی است. وسعت زیاد دشت‌ها و تغذیه آن‌ها از ارتفاعات مجاور باعث گردید تا به لحاظ کمی دارای پتانسیل زیادی باشند و چاه‌های زیاد کشاورزی در آن‌ها حفر شوند. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی، ایستگاه‌های باران‌سنجی، محدوده‌ی آبخوان و چاه‌های پیزومتری منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

روش مورد استفاده در این تحقیق، تحلیلی- آماری است و داده‌های مربوط به بارش ماهانه و تراز ماهیانه سطح آب زیرزمینی دشت سروستان از اداره‌ی کل هواشناسی استان و آب منطقه‌ای فارس دریافت شد. به‌منظور تعیین سال‌های مشترک آماری، داده‌های بارش ماهانه ۶ ایستگاه هواشناسی و ۲۴ حلقه چاه پیزومتری طی دوره‌ی آماری ۱۳۹۱-۱۳۷۰ انتخاب و آزمون همگنی به روش ران تست، روی داده‌ها انجام و داده‌های مفقود به روش تفاضل و نسبت‌ها بازسازی شد.

در این مطالعه، جهت بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی منطقه از شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده شد. مقدار این شاخص از رابطه‌ی ۱ به دست می‌آید [۲۲].

رابطه‌ی (۱)
$$S_{PI} = \frac{X_i - \bar{X}}{SD} \quad (1)$$
 میانگین بارش در طول دوره‌ی آماری؛

X_i = بارش هر ماه یا سال؛

کاهش نزولات جوی و تشدید خشکسالی‌ها در یک دهه‌ی اخیر و افزایش جمعیت و توسعه کشاورزی و باغداری، سبب افزایش تقاضا و برداشت زیاد از منابع آب زیرزمینی دشت سروستان شده و عدم تغذیه‌ی مناسب آن باعث فشار بر آبخوان دشت و در نتیجه افت شدید سطح آب شده است؛ بنابراین، شناخت وضعیت خشکسالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه طی دوره‌ی آماری ۱۳۹۱-۱۳۷۰ و نیز بررسی تأثیر خشکسالی‌های اخیر بر تغییرات سطح سفره‌های آب زیرزمینی از اهداف اصلی این پژوهش می‌باشد.

منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت سروستان استان فارس با مساحت ۱۶۴۱ کیلومترمربع و ارتفاع متوسط ۱۵۵۷ متر از سطح دریا در جنوب حوضه آبریز بختگان-مهارلو قرار دارد و بین عرض‌های ۲۹ درجه و ۰۱ دقیقه شمالی تا ۲۹ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و طول ۵۲ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی تا ۵۳ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی واقع شده است. متوسط ارتفاع در این دشت ۱۶۱۱/۸ متر و حداکثر ارتفاع آن ۲۹۷۰ متر در جنوب غرب محدوده و حداقل آن ۱۴۶۰ متر در خروجی محدوده به سمت دریاچه مهارلو است. آب و هوای نیمه‌خشک و پوشش گیاهی ضعیف از ویژگی‌های جغرافیایی طبیعی منطقه است. از کل مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه، مساحت آبخوان دشت تقریباً ۶۲۰ کیلومترمربع می‌باشد؛ این در حالی است که میزان متوسط بارش منطقه ۳۰۴ میلی‌متر و مقدار تبخیر سالانه‌ی آن ۳۰۰۰ میلی‌متر است.

SD = انحراف معیار.

به همین منظور، با به کارگیری نرم افزار DIP^1 و استفاده از داده های بارندگی ایستگاه های انتخابی، مقادیر بارش معیار شده در مقیاس های زمانی سالانه، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸ ماهه برای ایستگاه های منتخب و کل منطقه ی سروستان در طول دوره ی آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۱ محاسبه گردید. در مرحله ی بعد با توجه به مقدار SPI وضعیت رطوبتی یا خشکسالی برای هر بازه ی زمانی با استفاده از جدول ۱ تعیین گردید.

همچنین مقدار شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) برای آبخوان دشت، طی دوره ی ۲۲ ساله از رابطه ی ۲ محاسبه شد [۲۴].

$$G.R.I_{y.m} = \frac{D_{y.m} - \mu D_{.m}}{\delta D_{.m}} \quad \text{رابطه ی (۲)}$$

$G.R.I_{y.m}$ = ارزش شاخص در ماه m از سال y ؛

$D_{y.m}$ = ارزش سطح ایستایی در ماه m از سال y ؛

$\mu D_{.m}$ و $\delta D_{.m}$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده های سطح ایستایی ماه m برای D سال است.

طبقه بندی و تعیین وضعیت رطوبتی در مدل GRI شبیه مدل SPI است (جدول ۱)؛ زیرا در هر دو روش از توزیع نرمال استفاده شده است [۲۴]. پس از محاسبه ی شاخص های فوق، به منظور بررسی شدت اثر خشکسالی بر تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی، همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس های زمانی مختلف با اعمال و بدون اعمال تأخیر زمانی با میانگین تراز سطح سفره ی آب زیرزمینی و شاخص GRI از طریق نرم افزار 20SPSS. و به روش پیرسون^۲ در سطح ۱ و ۵ درصد محاسبه گردید. بین تراز متوسط سطح ایستایی به عنوان متغیر وابسته و شاخص SPI به عنوان متغیر مستقل، رابطه ی رگرسیون خطی^۳ ساده، طی دوره ی آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۱ برقرار شد؛ تا مشخص شود که چند درصد از واریانس سطح ایستایی متأثر از خشکسالی هواشناسی و چند درصد سهم عوامل دیگر می باشد.

نتایج و بحث

بررسی همگنی داده ها با استفاده از آزمون ران تست

ابتدا آزمون ران تست به منظور بررسی همگنی داده های مربوط به میانگین بارش ماهانه و تراز متوسط سطح ایستایی انجام و داده های مفقود به روش تفاضل و نسبت ها بازسازی شد. نتایج حاصل از آزمون ران تست در جدول ۲ مشاهده می شود. با توجه به مقادیر سطح معنی داری (Sig)^۴، همگنی داده ها پذیرفته می شود.

بررسی هیدروگراف دشت سروستان

هیدروگراف دشت سروستان به صورت ماهانه طی دوره ی آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۱ ترسیم گردید (شکل ۲). میزان بارندگی و ارتفاع سطح

جدول ۱: وضعیت خشکسالی ها و ترسالی ها برحسب مقادیر

GRI و SPI

مقادیر GRI	مقادیر SPI	وضعیت آب و هوایی (طبقه)	شماره طبقات
>2	>2	شدیداً مرطوب	۱
$1/5$ تا $1/99$	$1/5$ تا $1/99$	خیلی مرطوب	۲
1 تا $1/49$	1 تا $1/49$	مرطوب متوسط	۳
$0/5$ تا $0/99$	$0/5$ تا $0/99$	مرطوب ملایم	۴
$-0/49$ تا $0/49$	$-0/49$ تا $0/49$	نرمال	۵
$-9/99$ تا $-0/5$	$-9/99$ تا $-0/5$	خشکسالی ملایم	۶
$-1/49$ تا -1	$-1/49$ تا -1	خشکسالی متوسط	۷
$-1/99$ تا $-1/5$	$-1/99$ تا $-1/5$	خشکسالی شدید	۸
<-2	<-2	خشکسالی خیلی شدید	۹

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون ران تست برای بررسی

همگنی داده های ماهانه ی بارش و سطح ایستایی

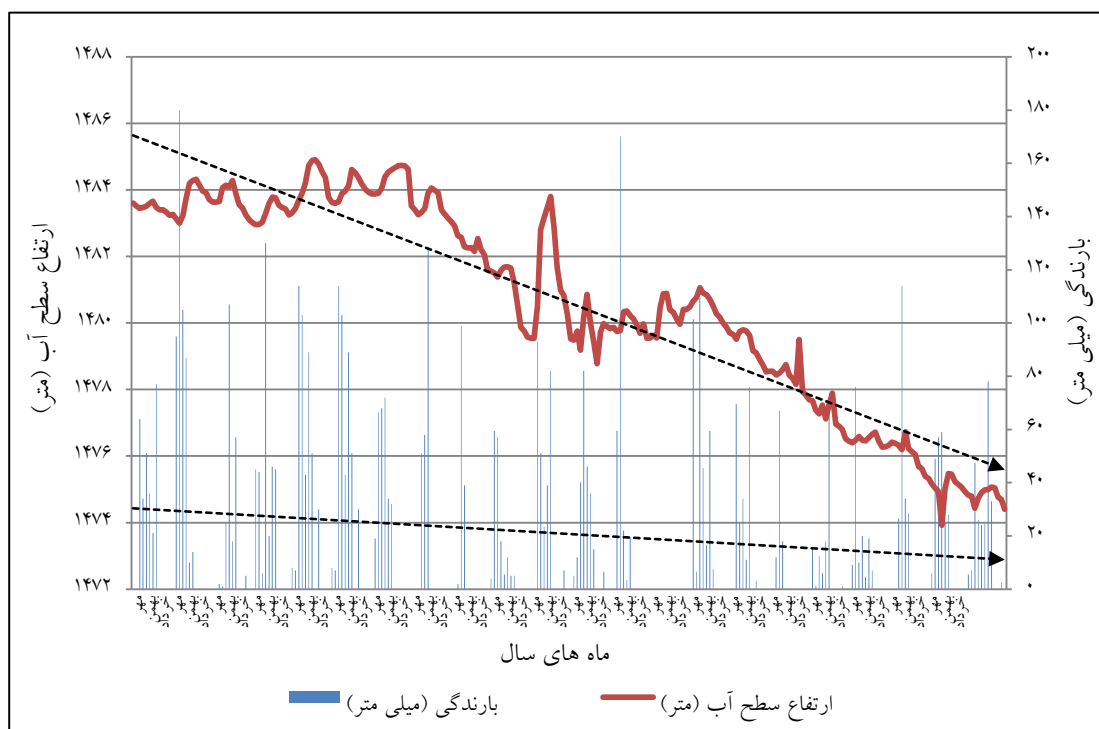
آزمون Runs Test	متوسط سطح ایستایی	متوسط بارش ماهانه
Test Value ^a (میانگین)	۱۴۸۰/۸۱	۲۵/۴۱
تعداد نمونه های کمتر از میانگین	۱۲۸	۱۸۱
تعداد داده های بیشتر	۱۳۶	۸۳
یا مساوی با میانگین	۲۶۴	۲۶۴
تعداد کل داده ها	۱۰	۶۰
تعداد دوره های گردش	-۱۵/۱۶	-۷/۸۴
آماره ی Z	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Sig (سطح معنی داری)		

آب طی ماه های مختلف سال دارای افت و خیز بوده و در کل روند کاهشی را نشان می دهد. میزان نزولات جوی و تراز سطح ایستایی در سال های اخیر کاهش محسوسی دارد؛ اما شیب کاهش سطح ایستایی آب بسیار شدیدتر از شیب کاهش بارندگی است؛ که دلیل آن می تواند عواملی غیر از نزولات جوی مانند برداشت های بی رویه از منابع آب زیرزمینی منطقه جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی باشد.

بررسی خشکسالی دشت سروستان با روش SPI در مقیاس های زمانی مختلف

از طریق نرم افزار DIP و با استفاده از داده های بارش سالانه و ماهانه طی دوره ی آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۱، مقادیر شاخص بارش معیار شده (SPI)، در مقیاس های زمانی (۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸ ماهه و سالانه) محاسبه گردید. با توجه به فراوانی خشکسالی های دشت سروستان، از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۱، هفت مورد خشکسالی رخ داده که ۱ مورد خشکسالی خیلی شدید، ۲ مورد خشکسالی متوسط و ۴ مورد خشکسالی ملایم می باشد. بیشترین تعداد خشکسالی ها

- 1- Drought Indices Package
- 2- Pearson
- 3- Linear Regression
- 4-Significance



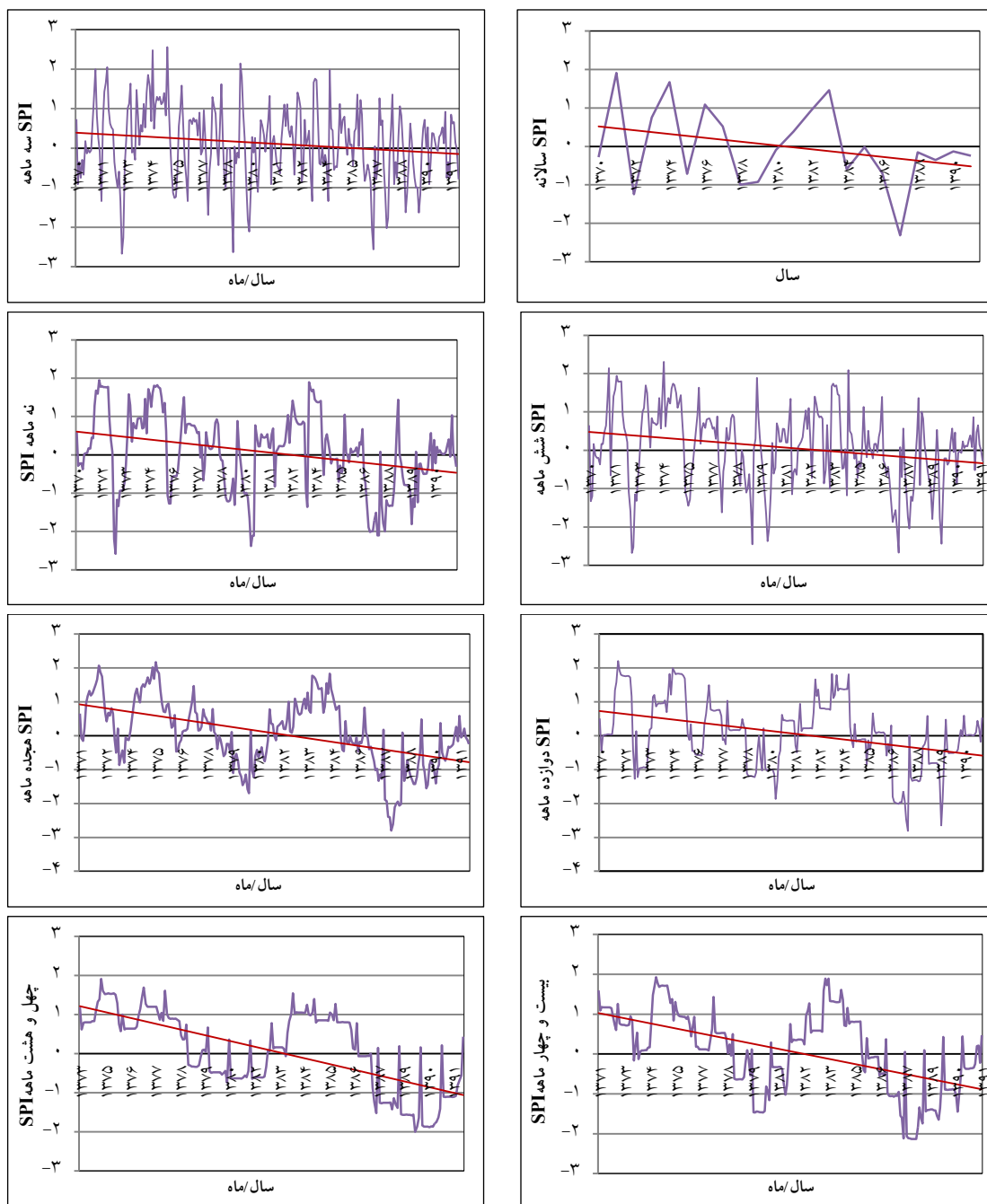
شکل ۲: هیدروگراف دشت سروستان در طول دوره‌ی آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۱

جدول ۳: فراوانی خشکسالی‌های دشت سروستان بر اساس شاخص SPI سالانه (۱۳۷۰-۱۳۹۱)

نام ایستگاه	مرطوب (ترسالی)	نرمال	خشکسالی ملایم	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی خیلی شدید	مجموع خشکسالی‌ها
آسمانچرد	۶	۸	۴	۳	۰	۱	۸
بهاران	۶	۱۰	۴	۱	۰	۱	۶
خرامه	۷	۶	۵	۳	۱	۰	۹
سروستان	۷	۸	۵	۱	۰	۱	۷
کوهنجان	۷	۷	۵	۲	۰	۱	۸
مهارلو	۶	۱۰	۳	۱	۱	۱	۶
دشت سروستان	۷	۸	۴	۲	۰	۱	۷

بررسی توزیع مکانی شرایط خشکسالی و ترسالی دشت سروستان با توجه به شکل (۴)، در سال ۱۳۸۷ بخش اعظم دشت سروستان از شرایط خشکسالی خیلی شدید رنج می‌برد. در این سال میانگین بارش ۸۱ میلی‌متر یعنی تقریباً یک‌چهارم متوسط بارندگی درازمدت سالانه و مقدار شاخص بارش استاندارد، $-2/31$ است. شکل (۵) وضعیت ترسالی دشت سروستان را در سال ۱۳۷۱ نشان می‌دهد. کل منطقه‌ی مورد مطالعه دارای شرایط اقلیمی شدیداً مرطوب تا مرطوب ملایم است. در این سال متوسط بارندگی سالانه‌ی دشت در حدود ۶۰۶ میلی‌متر یعنی دو برابر میانگین درازمدت بارش سالانه و مقدار شاخص بارش استاندارد، $1/91$ است؛ بنابراین در سال‌هایی که مقدار بارش بیش از نرمال بوده، شرایط ترسالی و در سال‌هایی که میزان بارندگی کمتر از میانگین درازمدت بوده، شرایط خشکسالی بر منطقه حاکم شده است.

مربوط به ایستگاه خرامه و کمترین آن مربوط به ایستگاه‌های بهاران و مهارلو واقع در شمال غرب منطقه است (جدول ۳). مقادیر شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی سالانه و ماهانه نشان می‌دهد که خشکسالی هواشناسی دشت در طی دوره‌ی آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۱، افزایشی است؛ بطوریکه در سال ۱۳۸۷ مقدار SPI به مقدار $-2/31$ می‌رسد که شرایط خشکسالی خیلی شدید را تجربه نموده است. بهترین شرایط ترسالی در سال ۱۳۷۱ و پس از آن در سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۸۳ مشاهده می‌شود. خط روند خشکسالی در شاخص SPI ۲۴ و ۴۸ ماهه، با شیب تندتری نسبت به دیگر مقیاس‌های زمانی، کاهش می‌یابد. کمترین مقدار شاخص SPI ماهانه در بازه‌ی زمانی ۶ ماهه و در سال ۱۳۷۲ (دی‌ماه) به مقدار $-2/68$ مشاهده می‌شود که بیانگر شرایط خشکسالی خیلی شدید در منطقه است. (شکل ۳).

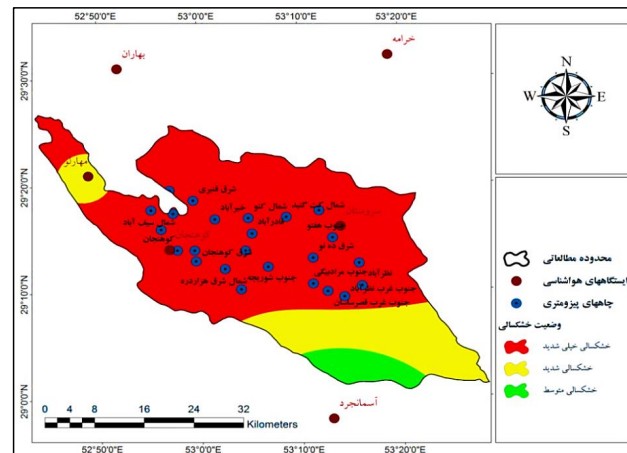
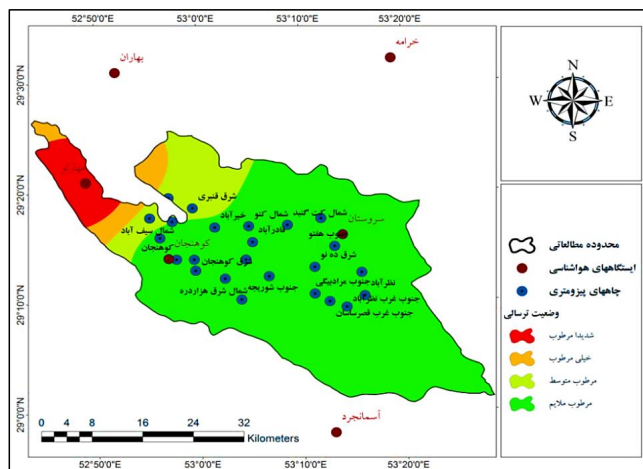


شکل ۳: مقادیر شاخص بارش استاندارد دشت سروستان در مقیاس‌های زمانی سالانه و ماهانه (۱۳۷۰-۱۳۹۱)

وضعیت رطوبتی در سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۷۴ در منطقه به وقوع پیوسته است؛ اما شاخص منبع آب زیرزمینی نشان‌دهنده‌ی سه دوره‌ی متفاوت از لحاظ وضعیت رطوبتی است؛ بطوریکه در ۹ سال اول، شرایط مرطوب ملایم و متوسط، در ۷ سال دوم، شرایط نرمال و در ۶ سال پایانی وضعیت خشکسالی ملایم، متوسط و شدید در سفره‌های آب زیرزمینی منطقه حاکم گردیده است. این موضوع بیانگر آن است که علاوه بر میزان بارندگی در هر سال و بروز شرایط خشکسالی هواشناسی، عامل مهمی به نام برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی توسط اهالی منطقه به‌منظور کشت محصولات

بررسی وضعیت رطوبتی سالانه منطقه بر اساس شاخص‌های SPI و GRI

به‌منظور مقایسه‌ی وضعیت رطوبتی بارندگی و تراز سطح آب زیرزمینی دشت سروستان، وضعیت رطوبتی منطقه در مقیاس سالانه بر اساس شاخص‌های SPI و GRI طی دوره‌ی آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۱ محاسبه و طبقه‌بندی شد (جدول ۴). بر اساس شاخص بارش معیار شده، دشت سروستان در ۲۲ سال اخیر، شرایط خشکسالی و ترسالی مختلفی را پشت سر گذاشته است. از لحاظ مقدار شاخص SPI، بدترین شرایط خشکسالی هواشناسی در سال ۱۳۸۷ و بهترین



شکل ۴: نقشه‌ی شدت خشکسالی دشت سروستان در سال ۱۳۸۷ شکل ۵: نقشه‌ی وضعیت ترسالی دشت سروستان در سال ۱۳۷۱

جدول ۴: وضعیت رطوبتی سالانه‌ی دشت سروستان بر اساس شاخص‌های SPI و GRI از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۱

سال	بارش سالانه	مقادیر SPI	کلاس رطوبتی	وضعیت رطوبتی	مقادیر GRI	کلاس رطوبتی	وضعیت رطوبتی
۱۳۷۰	۲۵۰/۵	-۰/۲۸	۵	نرمال	۰/۹۵	۴	مرطوب ملایم
۱۳۷۱	۶۰۶/۲	۱/۹۱	۲	خیلی مرطوب	۰/۷۱	۴	مرطوب ملایم
۱۳۷۲	۱۵۳/۹	-۱/۲۴	۷	خشکسالی متوسط	۱/۰۳	۳	مرطوب متوسط
۱۳۷۳	۳۹۲/۳	۰/۷۵	۴	مرطوب ملایم	۰/۸۳	۴	مرطوب ملایم
۱۳۷۴	۵۵۸/۱	۱/۶۷	۲	خیلی مرطوب	۰/۹۵	۴	مرطوب ملایم
۱۳۷۵	۲۰۳/۱	-۰/۷۱	۶	خشکسالی ملایم	۱/۱۰	۳	مرطوب متوسط
۱۳۷۶	۴۵۰/۱	۱/۰۹	۳	مرطوب متوسط	۱/۱۰	۳	مرطوب متوسط
۱۳۷۷	۳۵۷/۸	۰/۵۲	۴	مرطوب ملایم	۱/۰۷	۳	مرطوب متوسط
۱۳۷۸	۱۷۵/۶	-۱	۷	خشکسالی متوسط	۰/۷۶	۴	مرطوب ملایم
۱۳۷۹	۱۸۳	-۰/۹۲	۶	خشکسالی ملایم	۰/۳۳	۵	نرمال
۱۳۸۰	۲۷۴/۲	-۰/۰۹	۵	نرمال	۰/۰۴	۵	نرمال
۱۳۸۱	۳۳۸/۴	۰/۳۹	۵	نرمال	-۰/۰۱	۵	نرمال
۱۳۸۲	۴۲۳/۹	۰/۹۴	۴	مرطوب ملایم	-۰/۳۳	۵	نرمال
۱۳۸۳	۵۱۵/۶	۱/۴۶	۳	مرطوب متوسط	-۰/۲۵	۵	نرمال
۱۳۸۴	۲۱۵/۴	-۰/۵۹	۶	خشکسالی ملایم	-۰/۰۹	۵	نرمال
۱۳۸۵	۲۸۲	-۰/۰۲	۵	نرمال	-۰/۲۷	۵	نرمال
۱۳۸۶	۲۰۴	-۰/۰۷	۶	خشکسالی ملایم	-۰/۶۶	۶	خشکسالی ملایم
۱۳۸۷	۸۱/۲	-۲/۳۱	۹	خشکسالی خیلی شدید	-۰/۹۶	۶	خشکسالی ملایم
۱۳۸۸	۲۶۶/۷	-۰/۱۵	۵	نرمال	-۱/۳۲	۷	خشکسالی
۱۳۸۹	۲۴۲/۵	-۰/۳۵	۵	نرمال	-۱/۴۴	۷	خشکسالی متوسط
۱۳۹۰	۲۶۹/۲	-۰/۱۳	۵	نرمال	-۱/۷۸	۸	خشکسالی شدید
۱۳۹۱	۲۵۴/۹	-۰/۲۴	۵	نرمال	-۱/۹۰	۸	خشکسالی شدید

شدید در پایان دوره تغییر کند.

زراعی و باغی، موجب شده تا شاخص منبع آب زیرزمینی از وضعیت مرطوب در اوایل دوره‌ی مورد مطالعه به شرایط خشکسالی

بررسی رابطه‌ی بین شاخص‌های SPI و GRI در مقیاس زمانی سالانه

نتایج مربوط به جدول ۵ و شکل ۶ نشان می‌دهد که بین شاخص SPI و GRI رابطه‌ی معنی‌دار قوی وجود ندارد ($R=0/253$). بین شاخص بارش استاندارد و تراز متوسط سطح ایستایی سالانه نیز رابطه‌ی معنی‌دار دیده نمی‌شود ($R=0/264$). بنابراین در بازه‌ی زمانی سالانه، خشکسالی هواشناسی تأثیر چندانی بر خشکسالی منبع آب زیرزمینی و ارتفاع متوسط سطح آب منطقه ندارد. شاخص SPI سالانه و ارتفاع بارش دشت با ضریب همبستگی $0/982$ در سطح $0/01$ (با احتمال 99%) معنی‌دار است. در سال‌هایی که بارندگی مناسب و بیش از حد میانگین بلندمدت بوده، مقادیر شاخص SPI نیز افزایش و برعکس در سال‌هایی که مقدار بارش کمتر از حد نرمال بوده، مقدار شاخص بارش استاندارد، منفی شده و وضعیت خشکسالی بر منطقه حاکم گردیده است.

بررسی رابطه‌ی بین شاخص SPI با GRI و تراز متوسط سطح ایستایی آب در مقیاس‌های زمانی ماهانه

با توجه به اینکه شاخص‌های SPI و GRI از طریق اختلاف داده (داده‌ی سطح آب زیرزمینی یا داده‌ی بارندگی) با میانگین و تقسیم کردن بر انحراف معیار محاسبه شده‌اند، مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص SPI در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت ($9,6,3,1$) و درازمدت ($48,24,18,12$) با متوسط سطح ایستایی آب و شاخص GRI محاسبه شد (جدول ۶). بررسی‌ها نشان داد که با افزایش

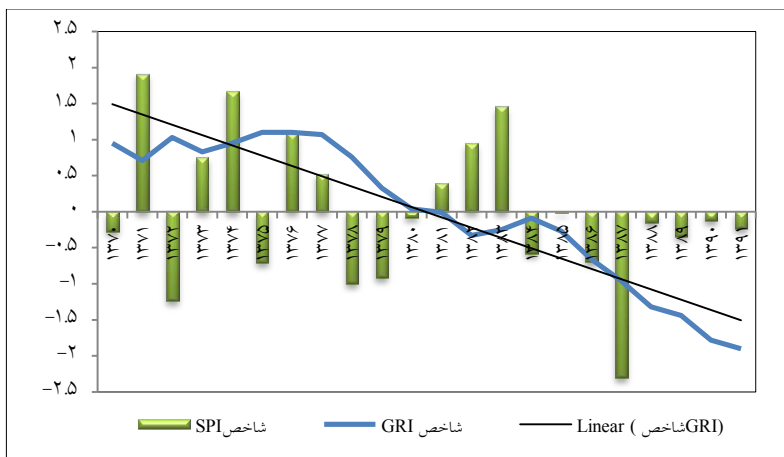
مقیاس زمانی SPI، ضریب همبستگی آن با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI افزایش می‌یابد. بیشترین ضریب همبستگی ماهانه بین شاخص SPI و فراسنج‌های کمی آب زیرزمینی در مقیاس ۴۸ ماهه در سطح $0/01$ و احتمال 99% درصد معنی‌دار است ($R=0/639$). همچنین رابطه نسبتاً قوی و معنی‌داری بین SPI در مقیاس ۴۸ ماهه، با تراز متوسط سطح آب زیرزمینی وجود دارد ($R=0/75$). بنابراین خشکسالی هواشناسی در دشت سروستان به‌طور متوسط پس از گذشت چهار سال بیشترین تأثیر خود را بر منابع آب زیرزمینی می‌گذارد. تغییرات سطح ایستایی آبخوان دشت تحت تأثیر عواملی چون بارندگی، برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب و پساب‌های کشاورزی است و آب نفوذ یافته حاصل از بارندگی، با تأخیر زمانی به منابع آب زیرزمینی می‌پیوندد. این تأخیر زمانی بر اساس ویژگی‌های تشکیلات زمین‌شناسی، نوع خاک و خصوصیات آبی آبخوان هر منطقه متغیر است.

شکل ۷ و ۸ به ترتیب رابطه‌ی SPI در مقیاس ۴۸ ماهه، بدون تأخیر زمانی با شاخص GRI و میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهند. همان‌طور که دیده می‌شود، خط روند تغییرات شاخص منبع آب زیرزمینی و تراز سطح ایستایی در طول دوره‌ی آماری $1370-1391$ سیر نزولی دارد. در شکل ۷، مشاهده می‌شود که از سال 1383 تا سال 1387 با وجود مثبت بودن مقادیر شاخص SPI_{48} ماهه، مقادیر شاخص GRI دارای مقادیر منفی بوده و تا پایان سال 1391 این روند کاهشی ادامه می‌یابد. مطابق شکل ۸

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین شاخص SPI سالانه با تراز متوسط سطح ایستایی، شاخص GRI و بارش سالانه

شاخص SPI سالانه	
شاخص GRI	$0/253$
تراز متوسط سطح ایستایی	$0/264$
بارش سالانه	$0/982^{**}$

** در سطح $0/01$ معنی‌دار است.

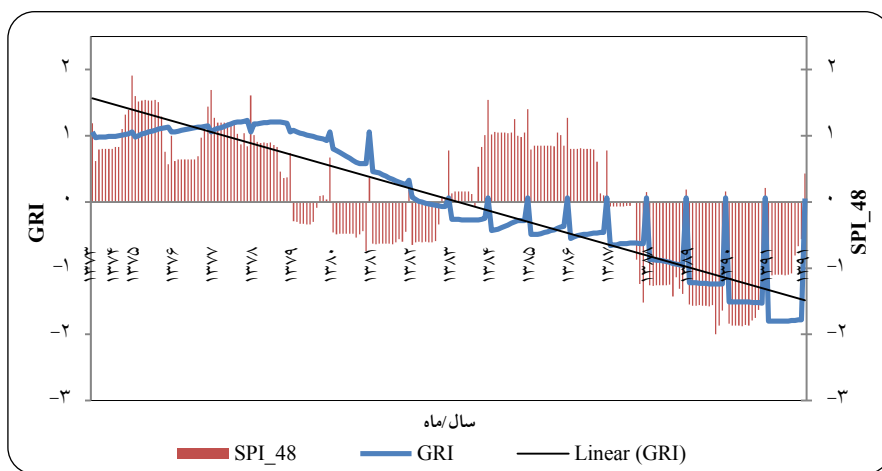


شکل ۶: مقایسه‌ی شاخص‌های SPI و GRI دشت سروستان در مقیاس زمانی سالانه ($1370-1391$)

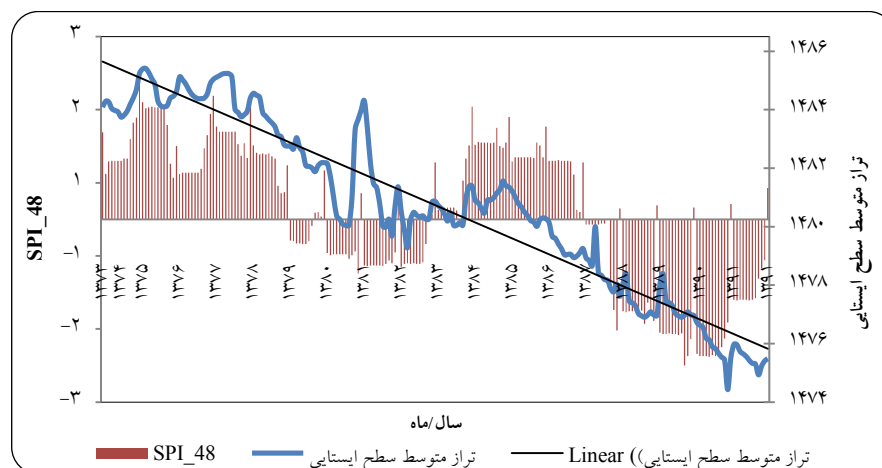
جدول ۶: ضرایب همبستگی بین شاخص SPI ماهانه با تراز متوسط سطح ایستایی و شاخص GRI دشت سروستان

شاخص SPI ماهانه		۴۸ ماهه	۲۴ ماهه	۱۸ ماهه	۱۲ ماهه	۹ ماهه	۶ ماهه	۳ ماهه	۱ ماهه	مقیاس زمانی
شاخص GRI ماهانه		$0/639^{**}$	$0/527^{**}$	$0/455$	$0/348$	$0/323$	$0/255$	$0/211$	$0/097$	
تراز متوسط سطح ایستایی		$0/75^{**}$	$0/609^{**}$	$0/523^{**}$	$0/410$	$0/334$	$0/245$	$0/185$	$0/113$	

** در سطح $0/01$ معنی‌دار است.



شکل ۷: رابطه‌ی SPI در مقیاس ۴۸ ماهه، بدون تأخیر زمانی با شاخص GRI (۱۳۷۰-۱۳۹۱)



شکل ۸: رابطه SPI در مقیاس ۴۸ ماهه، بدون تأخیر زمانی با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی (۱۳۷۰-۱۳۹۱)

اراضی کشاورزی بخشی از استرالیا، شاهی و هزاریکا [۲۸] در تأثیر خشکسالی بر آب زیرزمینی در شمال بنگلادش، ایمانی و همکاران [۱۲] در بررسی آثار خشکسالی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد، صیف و همکاران [۲۷] در بررسی اثر خشکسالی بر آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت فسا، چمن پیرا و همکاران [۹] در بررسی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت الشتر، بختیاری و همکاران [۶] در آبخوان دشت هشتگرد، آخوومه و همکاران [۱] در ارزیابی خشکسالی آب زیرزمینی دشت مرو دشت خرامه استان فارس مطابقت دارد.

با توجه به نتایج به دست آمده، بین تراز متوسط سطح ایستابی به عنوان متغیر وابسته و SPI_{۴۸} ماهه به عنوان متغیر مستقل، رابطه‌ی وایازی خطی ساده، طی دوره‌ی آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۱ برقرار شد (جدول ۸).

معادله‌ی رگرسیون خطی بین این دو متغیر در آبخوان دشت سروستان به صورت رابطه‌ی ۳ است.

$$D_{y,m} = 1480.1 + 2.23 \text{SPI}_{48} \quad (3)$$

که در آن $D_{y,m}$ میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی در ماه m و

میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۸۶ به بعد دارای روند کاهشی است؛ بنابراین، علاوه بر کاهش بارندگی‌ها و به تبع آن بروز خشکسالی هواشناسی، عوامل دیگری از قبیل رشد بی‌رویه جمعیت و بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی جهت کاشت محصولات زراعی و باغی در منفی شدن فراسنج های کمی آب زیرزمینی منطقه نقش داشته‌اند.

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی با مقدار R مساوی ۰/۶۵۶ بین شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه و شاخص GRI با اعمال تأخیر زمانی ۲ ماهه برقرار است. بیشترین همبستگی معنی‌دار بین شاخص بارش استاندارد ۴۸ ماهه و تراز متوسط سطح ایستابی با تأخیر زمانی یک‌ماهه برابر ۰/۷۶۵ است که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود؛ با افزایش مقدار تأخیر زمانی، مقدار همبستگی بین شاخص SPI ۴۸ ماهه با شاخص منبع آب زیرزمینی و تراز متوسط سطح ایستابی کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از ارتباط بین شاخص SPI با تراز متوسط سطح ایستابی و شاخص GRI در مقیاس‌های زمانی مختلف با نتایج مطالعات خان و همکاران [۲۰] در بررسی خشکسالی و تأثیرات آن بر سطح آب زیرزمینی در

جدول ۷: ضرایب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه با شاخص GRI و تراز متوسط سطح ایستایی (با اعمال تأخیر زمانی)

تأخیر زمانی	شاخص GRI ماهانه	متوسط سطح ایستایی ماهانه
۱ ماهه	۰/۶۵۱	۰/۷۶۵
۲ ماهه	۰/۶۵۶	۰/۷۶۰
۳ ماهه	۰/۶۴۶	۰/۷۵۵
۴ ماهه	۰/۶۴۹	۰/۷۵۲
۵ ماهه	۰/۶۴۴	۰/۷۵۲
۶ ماهه	۰/۶۳۹	۰/۷۳۸
۹ ماهه	۰/۶۵۴	۰/۷۲۱
۱۲ ماهه	۰/۶۴۱	۰/۷۲۴
۱۸ ماهه	۰/۶۰۳	۰/۶۶۵
۲۴ ماهه	۰/۵۴۷	۰/۵۹۲
۴۸ ماهه	۰/۳۲۵	۰/۲۰۱

شاخص SPI ۴۸ ماهه

جدول ۸: نتایج وایازی خطی بین تراز متوسط سطح ایستایی و SPI_۴۸ طی دوره ی آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۱

متغیر مستقل	متغیر وابسته	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	(P Value Sig)	ضرایب
SPI_۴۸	$D_{y,m}$	۰/۷۵	۰/۵۶	۰/۰۰۰	۱۴۸۰/۱ مقدار ثابت
					SPI_۴۸ ۲/۲۳

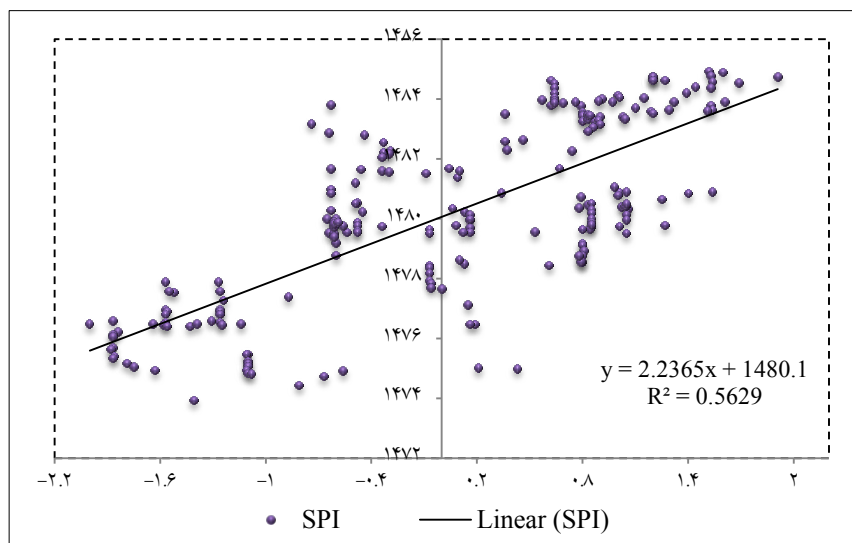
نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از شاخص بارش معیار شده (SPI) در مقیاس های مختلف سالانه و ماهانه و شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) در طول دوره ی آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۱ وضعیت خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی دشت سروستان بررسی شد. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی منطقه ی مورد مطالعه دارای روند افزایشی است و سطح سفره ی آب زیرزمینی در طول دوره ی آماری ۲۲ ساله، به انداز ۱۰/۹ متر افت داشته است. تحلیل های آماری مربوط به همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس های زمانی مختلف با اعمال و بدون اعمال تأخیر زمانی با میانگین تراز سطح سفره ی آب زیرزمینی و شاخص GRI نشان داد که شاخص SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بدون اعمال تأخیر زمانی با میانگین تراز سطح سفره آب زیرزمینی و شاخص GRI در سطح ۰/۰۱ معنی دار بوده و دارای بیشترین ضریب همبستگی است؛ بنابراین خشکسالی هواشناسی در دشت سروستان به طور متوسط پس از گذشت چهار سال بیشترین تأثیر خود را بر منابع آب زیرزمینی گذاشته است. این تأخیر زمانی متأثر از عمق سطح آب، تشکیلات زمین شناسی، نوع خاک و خصوصیات آبی آبخوان دشت

سال ۲۰۲۰؛ و SPI_48 شاخص بارندگی معیار شده در مقیاس ۴۸ ماهه بدون تأخیر زمانی می باشد.

همان طور که در جدول ۸ مشاهده می شود؛ مقدار sig برای تراز متوسط سطح ایستایی آب کمتر از ۰/۰۵ است که نشان دهنده ی وجود رابطه ی خطی معنی دار در سطح ۹۵ درصد بین تراز متوسط سطح ایستایی آب زیرزمینی با شاخص SPI_48 ماهه در منطقه ی مورد مطالعه است. با توجه به ضریب تعیین محاسبه شده (R^2 ، ۵۶ درصد از واریانس تراز متوسط سطح ایستایی تحت تأثیر SPI_48 ماهه و مابقی یعنی ۴۴ درصد سهم سایر متغیرهاست که مهم ترین آن، برداشت غیرمجاز و بی رویه از آب های زیرزمینی توسط ساکنین منطقه می باشد.

به منظور نمایش نحوه ی پراکنش داده ها و بیان رابطه ی همبستگی داده های SPI_48 و تراز سطح ایستایی، نمودار خط رگرسیون برازش داده شده ی متوسط سطح ایستایی بر شاخص SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه در شکل (۹) ترسیم شد. لازم به توضیح است که عدم هم خوانی بعضی از دوره های ترسالی با سطح آب می تواند ناشی از افت آب در سال های خشک پشت سرهم باشد و با بهبود شرایط بارش در یک یا دو سال، سطح آب افزایش محسوسی نداشته است.



شکل ۹: خط رگرسیون برازش داده شده‌ی متوسط سطح ایستایی بر شاخص SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه

No. 14, 143-131. (In Persian).

6. Bakhtiari Enayat, B., Malekian, A., Salajegheh, A., 2015. Time-based correlation analysis and time delay between climate drought and aquatic drought in Hashtgerd Plain. Iranian Journal of Research in Aquaculture, No. 4, 616-609. (In Persian).

7. Barava, L., Kavvas, M.L., 1990. On the Physics of Droughts Aconceptul Frae work, Journal of Hydrology 129,p 281-297.

8. Barkey, BL., Bailey, R.T., 2017. Estimating the impact of drought on groundwater resources of the Marshall Islands. Water, 9 (41): 1-12.

9. Chaman Pira, G.R., Zahtabiyani, G.R., Ahmadi, H., Malekian, A., 2013. Investigation of the Effect of Drought on Groundwater Resources for Optimization of Utilization (Case Study: Dashte al-Shater). Journal of Engineering and Watershed Management, Vol. 6, No. 1, 20-10. (In Persian).

10. Biranvand, M., 2010. The Effect of Drought on Changes of Groundwater Resources Using GIS in Ghareblagh plain (1387-1372). Master's thesis of natural geography (climatology), Zahedan: Sistan and Baluchestan University. (In Persian).

11. Correia, F. N., Santos, M. A, Rodrigues, R. R., 1991. 'Reliability in 57- Dracup, J. A. et al, On the definition of drought, water Resource Res, 1980, 16(2), PP. 29.

12. Eimani, M., Talebi Esfandarani, A., 2011. Effects of drought on aquifer level changes in Yazd Bahabad

است. همچنین رابطه‌ی وایازی بین تراز متوسط سطح ایستایی و SPI بیانگر آن است که ۵۶٪ از واریانس تراز متوسط سطح ایستایی تحت تأثیر SPI ۴۸ ماهه و ۴۴٪ متأثر از سایر عوامل به‌ویژه بهره‌برداری بی‌رویه از سفره‌ی آب زیرزمینی منطقه است. با توجه به این‌که آب زیرزمینی، مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده آب برای مصارف مختلف در دشت سروستان می‌باشد؛ بنابراین برای کاهش اثرات خشکسالی بر آب‌های زیرزمینی و استفاده‌ی بهینه از منابع آب موجود، ایجاد مراکز تحقیقات خشکسالی به‌منظور مطالعه‌ی خشکسالی‌ها و راه‌های مقابله با آن، جلوگیری از هر نوع بهره‌برداری غیرمجاز از منابع آب موجود، استفاده از روش‌های نوین بهره‌برداری از منابع آب و استفاده از طرح‌های تغذیه مصنوعی در مناطقی که آب مازاد وجود دارد، پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Ahmadi Akhormah, M., Nohegar, A., Soleimani Motlagh, M., Taie Semiromi, M., 2015. Groundwater Drought Investigating using SWI and GRI Indices (Case Study: Marvdasht Kharameh Aquifer). Irrigation and Water Engineering, 6 (21), 118-105. (In Persian).
2. Alizadeh, A., 2010. Principles of Applied Hydrology, Mashhad: Imam Reza University Press. (In Persian).
3. Appa Rao, G.V., Srivastava, H.N., 1992. Study of Drought Indices in Relastion to Rice Crop Proudation Over some State of India, Mausam, 43, P 69-174.
4. Asiai, M., 2006. Drought Indicators, Mashhad: Spokesperson's Publications. (In Persian).
5. Azizi, G., 2003. The Relationship between Recent Droughts and Groundwater Resources in Qazvin Plain.

to time scales. Proprints. 8th Conference of Applied Climatology, 17- 22 January Anaheim. CA, pp:179-184.

23. Mendicino, G., A. Senatore and P. Versace. 2008. A groundwater resource index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357(3-4): 282-302.

24. Mohammadi, H.M., Shamsipour, A.A., 2003. The Effect of Recent Droughts on the Growth of Groundwater Resources in the Plains of northern Hamadan. No. 45, *Geographical Research*, Tehran: University of Tehran. (In Persian).

25. Mohammadi, M., 2009. Drought characteristics and its effect on the fluctuations of groundwater levels in Arak plain with GIS approach. Master's thesis for Watershed Engineering, Tehran: Tarbiat Modares University. (In Persian).

26. Nico, W., A.J. Van Lanen and A.F. Loon. 2010. Indicators for drought characterization on a global scale. *Wageningen, Netherlands, Water and Global Change*, 24: 80-93.

27. Saif, M., 2012. Evaluation of Drought Effects on Groundwater Resources of Fasa Plain in Fars Province. Master's dissertation on Hydrogeology, Mashhad: Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).

28. Shahid, S., Hazarika, MK., 2010. Groundwater drought in the northwestern district of Bangladesh. *Water Resource Management*, 24(10): 1989-2006.

29. Shakiba, A.R., Mirbagheri, B., Khayeri, A., 2010. Drought and its Impact on Groundwater Resources in the East of Kermanshah Province, Using the SPI Index. *Journal of the Iranian Geographic Society*, No. 25, 124-105. (In Persian).

30. Van Lanen, H.A.J., Peters, E., 2000. Definition, effects and assessment of groundwater droughts. In: Vogt, J.V., Somma, F. (Eds.), *Drought and Drought Mitigation in Europe*. Kluwer, Dordrecht, 49-61.

31. Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought. *USWB, Res. Paper No.45*.

32. Richard, R.H., 2003. A Review of Twentieth Century Drought Index Used in The United States *American Meteorological Society*, Pp 1149-1159.

plain, using GRI indicators and SPI. Fourth Iranian Water Resources Management Conference, Amirkabir University of Technology, Tehran, 8 pages. (In Persian).

13. Farajzadeh Asl, M., 2005. A drought from concept to strategy. Tehran: Tehran Publications, Geography Organization and Armed Forces. (In Persian).

14. Faryaby, M., Mozafarizadeh, J., 2017. Hydrogeological Drought Management Index (HDMI) as a Method for Managing Underground Water Resources under Drought Conditions (Case Study: Daeir-Abadan Plain, Bushehr Province). *Ecohydrology*, 4 (10), 748-737. (In Persian).

15. Hejazi Zadeh., Javizadeh, S., 2010. An Introduction to Drought and Its Indicators, Tehran: Publications. (In Persian).

16. Kardovani, P., 2007. Droughts and ways to deal with it in Iran. Tehran: University of Tehran Publications. (In Persian).

17. Karami, F., 2011. Assessment of the relationship between meteorological drought and the decline of groundwater level in Tabriz plain. *Journal of Geography and Planning*, No. 37, 131-111. (In Persian).

18. Khoshhal, J., Ghayour, H.A., Moradi, M., 2012. Drought Effect on Groundwater in Dehgolan-Kordestan Water Basin. *Natural Geographic Research*, No. 79, 36-19. (In Persian).

19. Khosravi, H., Heidari, I., Zatabian, G.R., Bazrafshan, J., 2014. Investigation of temporal and spatial trend of groundwater resources index (Case study: Yazd-Ardakan plain). *Quarterly Journal of Rangeland and Desert Research of Iran*, Vol. 22, No. 4, 720-711. (In Persian).

20. Khan, S., Gabriel, H.F., Rana, T., 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas, *Irrig Drainage Syst*, 159-177, online at: Springer Science Business Media B.V.

21. Lashani Zand, M., Talvari, A., 2004. Study of climate drought and its possibility to predict in six basins in the west and northwest of Iran, *Geographical Survey Quarterly*, No. 27.

22. Mckee, T. B. Doesken, N. J. Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration



Abstract

Assessing the Effects of Recent Droughts on Changes in Groundwater Level in the Sarvestan Plain of Fars Province

H. Behzadi Karimi^{1*} and K. Omidvar²

Received: 2017/07/21 Accepted: 2018/01/22

In recent years, severe droughts have occurred in most regions of Iran that can be attributed to reduced atmospheric precipitation. The consequence has been a steep fall in the phreatic zone of ground water aquifer. In this study, Standardized Precipitation Index (SPI) at different time scales and Groundwater Resource Index (GRI) were used in order to investigate the state of the recent droughts and their effects on groundwater resources. First, the monthly rainfall data of 6 meteorological stations and the water level of 24 wells in Sarvestan plain of Fars province were collected during the 1991-2012 period. After performing homogeneity tests on the data and eliminating statistical deficiencies by differentiation and ratios, the indicators mentioned were calculated in annual and 3, 6, 9, 12, 18, 24 and 48 months periods. The results of this study showed that during the studied period, the meteorological drought and the groundwater of the plain had an increasing trend and the groundwater table level decreased by as much as 10.9 meters. Correlations between SPI index at different time scales with and without time delay and the average level of groundwater table and GRI index were investigated. Statistical analysis showed that the correlations between SPI index calculated on a 48-month time scale without applying time delay and the mean groundwater level and GRI index were significant at 0.01 level indicating the effect of drought on the underground water of Sarvestan plain. Regression analysis between average height of groundwater level and the SPI showed that 56% of the variance in the mean saturation level was affected by 48-month SPI and 44% were affected by other factors, especially the extra exploitation of groundwater.

Keywords: Drought, Groundwater level, Standardized precipitation index (SPI), Groundwater resource Index (GRI), Sarvestan plain

1- Ph.D.Student of Climatology, Yazd University, Corresponding Author, Email: h.bkarimi@chmail.ir

2- Professor of Geography and Climatology, Yazd University.