

تغییرات زمانی و مکانی شاخص خشک سالی آب زیرزمینی، مطالعه موردی: حوزه آبریز زهره- جراحی

سمیرا زندی فر^{۱*}، الهام فیجانی^۲، مریم نعیمی^۲، محمد خسروشاهی^۴

۱-استادیار بخش بیابان، موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۲-استادیار زمین شناسی، پردیس علوم دانشگاه تهران، تهران

۳-استادیار بخش بیابان، موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۴-دانشیار بخش بیابان، موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

* نویسنده مسئول: Samira.zanifar@gmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۰۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۶

چکیده

با توجه به اهمیت زیاد منابع آب زیرزمینی در کشور، مطالعه خشک سالی های هیدروژئولوژیکی و عوامل مؤثر بر افت سطح آب های زیرزمینی در راستای ارائه راهکارهای مدیریتی این منابع حیاتی ضروری است. هدف این تحقیق، تحلیل روند تغییرات آب زیرزمینی و ارزیابی شاخص سالی آب زیرزمینی در حوزه آبریز زهره- جراحی با استفاده از شاخص های خشک سالی SDI و GRI در یک دوره آماری ده ساله (۱۳۸۵-۱۳۹۵) می باشد. نتایج نشان داد، در بیشتر محدوده های مطالعاتی همبستگی بین شاخص های SDI و GRI وجود دارد. البته در برخی موارد تأثیر خشک سالی هیدروژئولوژی بر آب های زیرزمینی با تأخیر زمانی ۶ ماه تا یک ساله صورت می گیرد. به طور کلی شاخص خشک سالی GRI در طول دوره آماری ده ساله حوزه آبریز زهره- جراحی، در مرکز و حوالی غرب حوزه آبریز مذکور و بخصوص محدوده مطالعاتی امامزاده جعفر نمایان تر می باشد. همچنین، در سال های پایانی این دوره آماری محدوده های مطالعاتی در جنوب شرقی حوزه نیز درگیر خشک سالی های شدیدتری شده اند که با مقادیر شاخص SDI نیز انطباق دارد. در سال آبی ۱۳۹۴-۹۵ آب های زیرزمینی محدوده مطالعاتی بیشتر طبق شاخص GRI دارای ترسالی شدید با مقدار شاخص ۱/۶۰ بوده است و همچنین طبق این شاخص در همین سال خشک سالی متوسط با مقدار شاخص ۱/۴۲- در محدوده مطالعاتی فلهیان رخ داده است. اگرچه در بیشتر موارد وقوع خشک سالی اقلیمی و به تبع آن خشک سالی هیدروژئولوژی باعث افت سطح آب زیرزمینی در حوزه شده است؛ اما نتایج مقایسه بین دو نوع خشک سالی نشان می دهد که عوامل دیگری همچون برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی نیز در این امر مؤثر هستند.

واژه های کلیدی: خشک سالی، افت سطح آب های زیرزمینی، حوزه آبریز زهره- جراحی، شاخص خشک سالی GRI، شاخص خشک سالی SDI.

۱- مقدمه

دیگر، خشک سالی پدیده ای اقلیمی است که تأثیرات محیطی،

اجتماعی و اقتصادی چشمگیری دارد. خشک سالی با دیگر بلایای طبیعی از این جهت متفاوت است که تعیین دقیق شروع و پایان آن تا حدودی مشکل است. گسترش خشک سالی به آرامی صورت

تشدید دخالت های نابجای انسان در کره زمین و بر هم زدن چرخه طبیعی محیط، موجب شده تا خشک سالی و بحران آب در دنیای امروز به شکل جدی مورد توجه قرار گیرد. از سوی

برای بررسی پدیده خشکسالی بر حسب هدف از مطالعه نوع خشکسالی بایستی شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی متوسط درازمدت مورد ارزیابی و سنجش قرار گیرند. براین اساس ویلایت و گلانتز (۱۹۹۵) خشکسالی را به چهار دسته خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی اجتماعی دسته‌بندی کردند که سه دسته اول به دنبال بررسی و اندازه‌گیری خشکسالی به‌عنوان یک پدیده فیزیکی هستند. این در حالی است که مورد چهارم خشکسالی را پدیده‌ای می‌داند که به دنبال بررسی میزان عرضه و تقاضای آب موردنیاز و ردیابی تأثیر کاهش منابع آب بر روی سیستم‌های اقتصادی اجتماعی جوامع است. از جمله نخستین تحقیقاتی که در زمینه خشکسالی هواشناسی در دنیا انجام شده، تحقیقات هریست و همکاران (۱۹۶۶) می‌باشد که روش آن‌ها بعدها توسط موهان و رانگاپاریا در سال ۱۹۹۱ اصلاح شد. کریمی و همکاران (۱۳۸۰) نیز با استفاده از این روش به بررسی وقایع خشکسالی هواشناسی در استان فارس پرداختند. امروزه محققان، شاخص‌های مختلفی را به منظور ارزیابی و پایش وضعیت خشکسالی هواشناسی و بررسی اثرات کمی ناشی از آن توسعه داده‌اند که هر یک از این شاخص‌ها بر اساس به‌کارگیری متغیرهای هواشناسی و روش‌های محاسباتی متفاوتی طراحی شده‌اند (ویل هیت و همکاران، ۱۹۸۰، استرلینگ و همکاران، ۱۹۹۶، فرناندز و سالاس، ۱۹۹۹، ریچارد، ۲۰۰۲، خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۳، چن و همکاران، ۲۰۰۴، کوپرینگ، ۲۰۰۹، مایر و فارس، ۲۰۱۰، سیمانی، ۱۳۹۰، سیف و همکاران، ۱۳۹۲، ژنگ و همکاران، ۲۰۱۷). با این وجود، یک شاخص خشکسالی زمانی مفید است که بتواند ارزیابی کمی، ساده و روشنی از خصوصیات اصلی خشکسالی یعنی تداوم، شدت، فراوانی و سطح درگیر با خشکسالی ارائه دهد (هانگ و همکاران، ۲۰۱۲). چن و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی رابطه پارامترهای اقلیمی و تراز آب زیرزمینی ایالت مانیتوبا در کانادا پرداختند. بدین منظور آن‌ها از داده‌های میانگین دما، حداکثر و حداقل دما و بارش برای دوره‌ی آماری

می‌گیرد و اثرات آن ممکن است سال‌ها پس از پایان آن باقی بماند. سیستم‌های پایش در تدوین طرح‌های مقابله با خشکسالی و مدیریت آن از اهمیت زیادی برخوردار هستند (زارعی و همکاران، ۱۳۹۶؛ زینالی و همکاران، ۱۳۹۶). برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به دلیل کمبود بارش موجب افت سطح آب زیرزمینی می‌شود. خشکسالی سبب کاهش نزولات جوی، کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی و در نهایت نیاز به آبیاری و پمپاژ بیشتر از آبخوان‌ها می‌شود. مجموعه این عوامل سبب افت کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی خواهد شد. بنابراین در کشور ایران با توجه به شرایط آب و هوایی نیمه خشک حاکم در منطقه، استفاده بهینه از منابع محدود آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و در اختیار داشتن آمار و اطلاعات کافی به عنوان مؤثرترین گام در جهت شناخت جامع این منابع و رسیدن به پایداری نسبی آن‌ها می‌باشد.

بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی در محدوده‌های خشک و نیمه خشک ابزاری مفید در تعیین اثرات عوامل مختلف از جمله برداشت و تغذیه بر تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت سفره آب زیرزمینی می‌باشد (نایاک و همکاران، ۲۰۰۶). منابع آب زیرزمینی بلافاصله تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی به ویژه نوسانات بارندگی قرار نمی‌گیرند، بلکه متأثر از تغییرات بارش و انتقال تدریجی خشکسالی در چرخه هیدرولوژیکی می‌باشد. به طور کلی کمبود طولانی مدت بارش سبب بروز اولین نشانه‌های خشکسالی و در نتیجه ورودی کمتر به سیستم هیدرولوژی می‌شود. در طی یک دوره خشک، تبخیر و تعرق پتانسیل افزایش می‌یابد و پس از یک دوره زمانی کوتاه، مقدار ذخیره رطوبت خاک تحت اثر این شرایط شروع به کاهش می‌کند. در نتیجه تغذیه سیستم آب زیرزمینی کم شده و سطح تراز آب چاه‌ها ممکن است یک سال یا بیشتر پس از شروع خشکسالی به کمبود بارندگی واکنش نشان بدهد. این مسئله می‌تواند بر روی جریان سطحی که وابسته به آب‌های زیرزمینی منطقه است نیز تأثیرگذار باشد (ون لون، ۲۰۱۳).

بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تراز آب زیرزمینی دشت دارای روند منفی بوده و در دوره آماری مورد بررسی در حدود ۳/۹۴ متر افت داشته است. سیمانی (۱۳۹۰) به بررسی و تحلیل وقوع پدیده‌های خشک‌سالی و ترسالی با استفاده از شاخص دهک‌ها و شاخص‌های درصد بارش نرمال در استان کرمان پرداخت. نتایج نشان داد نمایه دهک‌های بارندگی سالانه مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی رخداد خشک‌سالی بسیار شدید را در تمام ایستگاه‌های تحت مطالعه گزارش نموده و از نظر تعیین تصویر خشک‌سالی بسیار شدید هواشناسی کارایی بیشتری نسبت به نمایه دیگر داشته است. محمدی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تغییرات مکانی کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی دشت کرمان با بهره‌گیری از زمین آمار پرداختند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی مکانی عمق آب زیرزمینی در سطح دشت نشان داد که روند تغییرات عمق آب زیرزمینی تقریباً از توپوگرافی دشت تبعیت می‌کند. مقایسه نقشه‌های هم عمق بدست آمده نشان دهنده کاهش سطح آب زیرزمینی در سطح دشت می‌باشد. به طوری که نقطه عطف این افزایش شروع دوره خشک‌سالی از سال ۱۳۷۸ است. پیری و انصاری (۱۳۹۲) به بررسی شدت خشک‌سالی دشت سیستان با استفاده از پنج شاخص RDI, DPI, RAI و SPI پرداختند. همچنین، انتخاب بهترین شاخص جهت پایش خشک‌سالی در منطقه و تأثیر این خشک‌سالی بر تالاب‌های هامون بررسی گردید. نتایج نشان داد شاخص PN با ضریب همبستگی یک، نسبت به شاخص‌های دیگر توانسته است، خشک‌سالی منطقه را بهتر بیان دارد. همچنین می‌توان گفت که این عامل باعث خشکی دریاچه هامون و در نتیجه اثرات مخرب روی محیط زیست طبیعی، فیزیکی و اقتصادی اجتماعی منطقه داشته است. خسروی دهکردی و همکاران (۱۳۹۸) خشک‌سالی‌های آب زیرزمینی دشت شهرکرد را با استفاده از شاخص GRI و مدل زنجیره مارکوف مورد پایش و پیش‌بینی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که روش زنجیره مارکوف در هر سه مرتبه از دقت خوبی در پیش‌بینی مقادیر شاخص GRI

۲۰۰۰-۱۹۹۰ استفاده کردند. نتایج نشان داد که بارش و میانگین دمای سالانه در این منطقه همبستگی بالایی با تراز آب زیرزمینی سالانه دارد. خان و همکاران (۲۰۰۸) 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 ارتباطی قوی وجود دارد. مایر و فارس (۲۰۱۰) نیز به منظور ارزیابی رابطه‌ی زمانی- مکانی بین جریان سطحی، بارندگی و آب زیرزمینی از داده‌های طولانی مدت در حوضه‌ی هاوایی استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از کاهش معنی‌دار جریان پایه‌ی آب‌های سطحی بود، در حالی که آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر ناهنجاری‌های دراز مدت بارندگی قرار می‌گیرند. لیو و همکاران (۲۰۱۲) به تحلیل خشک‌سالی هیدرو اقلیمی و پیش‌بینی آن با استفاده از سه شاخص خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی SPI, PDSI و SRI پرداختند. این مطالعه پیشنهاد می‌کند که PDSI و SRI مناسب‌ترین شاخص برای ارزیابی خطر خشک‌سالی آینده تحت آب و هوای به طور فزاینده گرم می‌باشد. ژنگ و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی پدیده خشک‌سالی در اقلیم ایالات متحده در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ با استفاده از شاخص‌های مختلف خشک‌سالی پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص‌های مختلف دارای نقاط قوت و ضعف در اقلیم‌های مختلف در سراسر منطقه هستند. در بررسی شاخص‌های مختلف این نتایج نشان داد که شاخص وضعیت رطوبت خاک (SMCI) دارای یک ارتباط خوب با SPI کوتاه مدت است. در ایران نیز زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۳) به تحلیل و پایش خشک‌سالی هواشناسی منطقه سیستان و بلوچستان با استفاده از شاخص‌های SDI, ZI, RAI و PC پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص SDI در مقایسه با سایر روش‌ها در مقیاس فصلی و سالانه برآوردهای قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد. جهانبخش و کریمی (۱۳۸۸) ارتباط خشک‌سالی و منابع آب زیرزمینی دشت تبریز را در خصوص ۴۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق در دوره آماری ۱۳۸۱-۱۳۷۰

جراحی و زهره می‌باشد. رودخانه جراحی خود از تلفیق دو رودخانه مارون و رامهرمز و رودخانه زهره از بهم پیوستن رودخانه‌های فهلان و خیرآباد به وجود آمده‌اند. مساحت حوزه آبریز رودخانه هنديجان تا ایستگاه دهملا واقع در انتهای حوزه ۱۳۱۶۳/۵۲ کیلومتر مربع و مساحت حوزه آبریز رودخانه جراحی تا ایستگاه رامشیر ۱۰۹۱۸/۳ کیلومتر مربع است.

مشخصه اصلی پستی و بلندی حوزه آبریز زهره- جراحی با توجه به میزان چین‌خوردگی و بلندای آن‌ها نسبت به سطح دریا به ترتیب به مناطق مرتفع و کوهستانی در نواحی شمال و شمال شرق حوزه و مناطق کوهپایه‌ای و اراضی تپه‌ماهوری نیمه مرتفع در مناطق میانی حوزه و دشت‌های مسطح و کم شیب و اراضی پست در نواحی جنوب و جنوب غربی حوزه تقسیم‌بندی می‌شود. نواحی کوهستانی به‌صورت یکسری رشته کوه‌هایی با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی بوده که همان امتداد کلی رشته کوه‌های زاگرس می‌باشد که از تاقدیس‌ها و ناودیس‌های موازی و طویل تشکیل گردیده‌اند. اراضی تپه‌ماهوری و نیمه مرتفع نیز از پدیده‌های مورفولوژیکی دیگر این حوزه است که عمدتاً از سازندهای مارنی و قابل فرسایش تشکیل یافته و اغلب در حفافصل بین دشت خوزستان و ارتفاعات دیده می‌شوند. دشت‌های میان کوهستانی و کم ارتفاع نیز از پدیده‌های مورفولوژیکی دیگر این حوزه می‌باشد که عمدتاً توسط نیروهای تکتونیکی و در پای گسله‌های فشاری واقع در این حوزه پدید آمده‌اند. در حوزه آبریز زهره- جراحی مجموعه‌ای از نهشته‌های آبرفتی، تخریبی، تبخیری، کلئیدی و کربناته رخمون دارند که این نهشته‌ها تحت تأثیر هوازگی فیزیکی و شیمیایی فرسایش یافته‌اند. عملکرد انواع فرسایش موجب پدید آمدن اشکال مورفولوژیکی خاص از جمله دره‌ها، تالوگها، شیارها، آبراهه‌ها، خورها، کفه‌ها و همچنین سینک‌هولها، غارها و پدیده‌های کارستیک گردیده است. ارتفاع متوسط حوزه‌های آبریز مورد مطالعه از سراب حوزه (نواحی جنوب شرق) به طرف پایاب حوزه (نواحی جنوب غرب) کاهش می‌یابد. ارتفاع متوسط حوزه آبریز

در یک، دو و سه ماه آینده برخوردار بوده است، لذا از آن می‌توان برای پیش‌بینی خشک‌سالی آب زیرزمینی دشت شهرکرد استفاده کرد.

اهمیت تأثیر خشک‌سالی در ایجاد کانون‌های گرد و غبار، رعایت محدودیت قانونی برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی و جامع‌نگری در اجرای طرح‌های توسعه منابع آب برای مدیریت منسجم و یکپارچه منابع آب ضروری می‌باشد. از آنجا که حوزه آبریز زهره- جراحی بخشی وسیعی از استان خوزستان و کانون‌های مهم گردوغبار ایران را در برمی‌گیرد و تأثیر تغییرات سطح آب زیرزمینی و خشک‌سالی‌ها در ایجاد کانون‌های گرد و غبار این استان مهم می‌باشد، بنابراین، در این مطالعه، هدف بررسی و تحلیل روند تغییرات سطح آب زیرزمینی و ارزیابی خشک‌سالی آب زیرزمینی در حوزه آبریز زهره- جراحی است و در نهایت تأثیر تغییرات، طی دوره آماری مشخص مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

۲- مواد و روشها

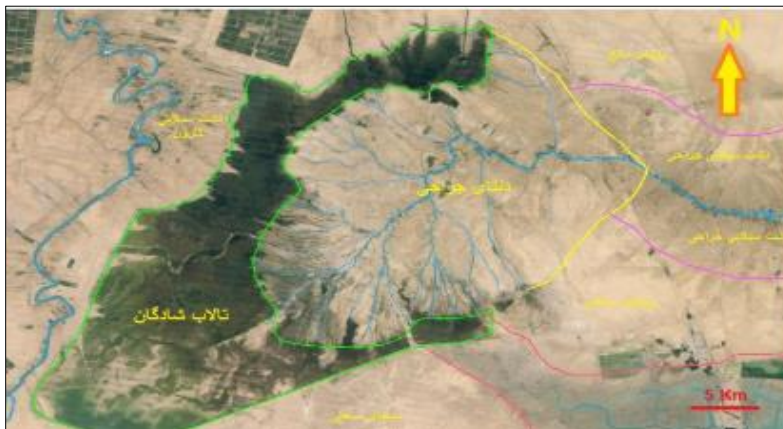
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز زهره- جراحی در جنوب غرب کشور قرار دارد. وسعت این حوزه ۴۰۷۸۸ کیلومترمربع می‌باشد. این حوزه بخشی از حوزه آبریز خلیج فارس و دریای عمان بوده که به لحاظ تقسیمات کشوری از این گستره در حدود ۵۸/۸٪ در استان خوزستان واقع شده و به ترتیب ۲۶/۹٪ و ۱۴/۳٪ در استان کهگیلویه و بویراحمد و فارس قرار گرفته است. این منطقه بین ۱۷° : ۴۸° تا ۱۹° : ۵۲° طول شرقی و ۲۹° : ۴۷° تا ۴۱° : ۳۱° عرض شمالی واقع شده است. این حوزه مشتمل بر ۲۴ محدوده مطالعاتی است که بزرگ‌ترین آن‌ها به لحاظ وسعت محدوده مطالعاتی شادگان با وسعت ۱۳۳۲۸ کیلومترمربع و کوچک‌ترین محدوده مطالعاتی، چهاربیشه با وسعت ۲۷۵ کیلومترمربع می‌باشد. حداکثر ارتفاع در این حوزه ۳۷۱۸ متر در شرق حوزه آبریز، در شیت اردکان و بالای رودخانه سعلکی و حداقل آن صفر در حاشیه خلیج فارس می‌باشد. حوزه آبریز زهره- جراحی شامل دو رودخانه اصلی

رودخانه درجه ۳، ۴ رودخانه درجه ۴ و ۲ رودخانه درجه ۵ برخوردار می‌باشد. رودخانه‌های زهره و جراحی دارای درجه ۵ هستند. از نقطه نظر فرسایش‌پذیری و انحلال‌پذیری میزان بار رسوبی محلول و معلق و حمل در بستر رودخانه‌های هنديجان و جراحی زیاد تشخیص داده شده بطوریکه کیفیت آب در محل ورودی به خلیج فارس تغییرات زیادی یافته است. دلتای جراحی به تالاب شادگان منتهی می‌گردد و از نظر فعال یا متروکه بودن، از نوع دلتای فعال می‌باشد. شیب عمومی این دلتا از شرق به سمت غرب می‌باشد که باعث شده کانال‌های اصلی و فرعی با اشکال بسیار جالب، منشعب شوند (شکل ۱). در مجموع رسوبات این دلتا دانه‌ریز و از نوع رس و کمی سلیت می‌باشند. البته در بخش رأسی دلتا و نیز در بخش‌های میان کرواس و دشت‌های سیلاب، گاهی به طور محدود رس ماسه‌ای و سیلت ماسه‌ای نیز قابل مشاهده است. از نظر اقلیمی، حوزه آبریز رودخانه زهره-جراحی از محدوده بیابانی گرم تا مرطوب سرد متغیر است. از سمت نواحی جنوب و جنوب غرب حوزه، اقلیم بیابانی گرم آغاز و به سمت نواحی شرقی حوزه به اقلیم مرطوب سرد خاتمه می‌یابد. حوزه آبریز زهره-جراحی از نظر زمین‌شناسی در محدوده زون زاگرس ایران قرار می‌گیرد. قدیمی‌ترین سازند موجود در این محدوده سازند سورمه مربوط به دوران مزوزوئیک و جدیدترین آن آبرفت‌های عهد حاضر می‌باشد (شکل ۲). با بررسی‌های به عمل آمده در محدوده‌ای فراتر از حوزه آبریز، وجود نهشته‌های پالئوزوئیک مانند تشکیلات هرمز، ماسه‌سنگ‌های لالون، زاگون، سازند باروت را در اعماق این حوزه آبریز تأیید می‌نماید. گرچه این سازندها در زون زاگرس مرتفع در کوه‌های خارج از محدوده مانند دنا، زرد کوه، گهک، فراغون رخنمون یافته‌اند اما چون تشکیلات مذکور در این حوزه آبریز رخنمون ندارند از ذکر خصوصیات چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی آن‌ها خودداری می‌شود. لذا بر اساس ستون چینه‌شناسی قدیمی‌ترین نهشته‌های رخنمون یافته در حوزه آبریز مربوط به دوران مزوزوئیک می‌باشد که به ترتیب ارائه می‌گردد.

فوق ۷۰۶/۶۸ متر است. بیشترین ارتفاع حوزه آبریز رودخانه‌های هنديجان-جراحی ۳۷۱۸ متر از سطح دریا در شرق حوزه در کوه رنج و پست‌ترین نقطه در پایاب رودخانه‌های زهره و جراحی هم‌تراز با سطح خلیج فارس می‌باشد. ۵۶/۸ درصد از مساحت حوزه را ارتفاعات و ۴۳/۲ درصد از دشت تشکیل شده است. از مهم‌ترین ارتفاعات حوزه می‌توان به کوه زنگالو (۳۷۱۸ متر) در جنوب شرق حوزه، کوه منگشت (۳۶۱۳ متر) در شمال شرق حوزه اشاره نمود. شیب حوزه آبریز رودخانه‌های اصلی تا ایستگاه‌های هیدرومتری در حوزه آبریز رودخانه‌های زهره-جراحی محاسبه گردیده که این رقم بین ۴/۰ تا ۴۶/۲ درصد متغیر است. شیب رودخانه‌های زهره و جراحی که دو رودخانه اصلی این حوزه می‌باشند معادل ۰/۳ درصد بوده و همچنین شیب متوسط حوزه آبریز رودخانه جراحی تا ایستگاه رامشیر ۲۱ درصد و در حوزه آبریز رودخانه زهره تا ایستگاه دهمل ۱۹/۹ درصد محاسبه شده است.

از نظر تراکم و الگوی آبراهه‌ها، در محدوده ارتفاعات و مناطق مرتفع آبراهه‌ها به صورت موازی و در مناطق نیمه مرتفع و کوهپایه‌ها و تپه‌ماهوری به صورت شاخه درختی و در دشت‌ها و محدوده‌های کم‌شیب به صورت بادبزی است که آب‌های سطحی و زیرزمینی را زهکشی می‌نمایند. رودخانه‌های اصلی حوزه آبریز مورد مطالعه، زهره و جراحی است. رودخانه جراحی از تلاقی دو رودخانه اعلا (الله یا رامهرمز) و مارون در محلی بنام چم هاشم واقع در ۲۰ کیلومتری جنوب رامهرمز تشکیل می‌شود. رودخانه زهره که بنام هنديجان نیز نامیده می‌شود از دو شاخه اصلی به نام‌های فهلیان و خیرآباد تشکیل می‌یابد. شاخه اولیه این رودخانه بنام اردکان نامیده می‌شود و سپس به فهلیان تغییر نام می‌دهد. این شاخه از ارتفاعات اطراف اردکان سرچشمه می‌گیرد و منطقه اردکان را سیراب نموده و به باختر روانه می‌گردد. در نهایت دو رودخانه زهره و جراحی به خلیج فارس وارد می‌شوند. با توجه به درجه‌بندی انجام شده بر روی شاخه‌های رودخانه‌ها، حوزه مورد مطالعه از ۴۱۷ رودخانه درجه ۱، ۶۰ رودخانه درجه ۲، ۱۶



شکل ۱- دلتای جراحی که حدود آن با خطوط زرد رنگ مشخص شده است (برگرفته از Google Earth).



شکل ۲- نقشه سازندهای زمین شناسی حوزه آبریز زهره - جراحی.

۲-۲- شاخص خشک سالی

اندازه‌ی زیان‌های وارده در صدر قرار دارد (کنت، ۲۰۰۳). این پدیده در درازمدت موجب کاهش منابع آب، از طریق خشکیدگی جریان‌های سطحی و زیرزمینی می‌گردد. بدین منظور از شاخص خشک سالی برای بیان کمی این پدیده استفاده شده است. معمولاً

خشک سالی یکی از زیان‌بارترین، مخاطرات طبیعی به شمار می‌رود. در بین بلاهای طبیعی تهدید کننده‌ی انسان و محیط زیست، خشک سالی هم از نظر فراوانی رخداد و هم از جنبه‌ی

مقادیر تراز آب زیرزمینی در ماه m در طول دوره آماری می‌باشند (مندسینو و همکاران، ۲۰۰۸). طبقه‌بندی مقادیر شاخص GRI در جدول ۱ نشان داده شده است. در نهایت شاخص GRI با شاخص SDI که شاخص هیدرولوژی است، مقایسه گردید و روابط بین آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. از جمله اهداف این تحقیق، بررسی تأثیر خشک‌سالی هیدرولوژیکی بر کمیت آب‌های زیرزمینی حوزه آبریز زهره- جراحی در دوره آماری ۱۰ ساله است. لذا جهت بررسی وضعیت دو رودخانه زهره و جراحی در حوضه مورد مطالعه، از شاخص خشک‌سالی جریان‌های رودخانه- ای یا SDI استفاده شد (مطالعات جامع گرد و غبار استان خوزستان، ۱۳۹۸).

این شاخص‌ها به صورت نقطه‌ای محاسبه می‌شوند و لازم است تا به صورت مکانی پردازش شده و نقشه‌های مربوط ارائه گردند. در این تحقیق، شاخص آب زیرزمینی (GRI) به عنوان الگوی معتبر و کاربردی، مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص GRI در سال ۲۰۰۸ توسط مندسینو و همکاران به عنوان شاخصی قابل اعتماد به منظور پایش وضعیت خشک‌سالی آب زیرزمینی پیشنهاد شد. مقدار شاخص GRI با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

که در آن $D_{y,m}$ مقادیر تراز سطح آب زیرزمینی در سال y و ماه m ، $\mu_{D,m}$ و $\sigma_{D,m}$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار

جدول ۱- طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی با توجه به مقادیر شاخص GRI

GRI	طبقات خشک‌سالی
$2 \leq$	ترسالی بسیار شدید
$1/5 - 2$	ترسالی شدید
$1 - 1/5$	ترسالی متوسط
$0/5 - 1$	ترسالی ملایم
$-0/5 - 0/5$	نرمال
$-0/5 - -1$	خشک‌سالی ملایم
$-1 - -1/5$	خشک‌سالی متوسط
$-1/5 - -2$	خشک‌سالی شدید
≥ -2	خشک‌سالی بسیار شدید

$$V_{j,k} = \sum_{i=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1, 2, \dots; k = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \dots, 12 \quad (3)$$

که در آن i سال هیدرولوژیکی؛ j ماه (مثلاً برای ماه مهر $j=1$ و برای ماه شهریور $j=12$)؛ k دوره زمانی؛ Q سری‌های زمانی حجم جریان‌های رودخانه‌ای ماهانه، V و S به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریانات تجمعی می‌باشند.

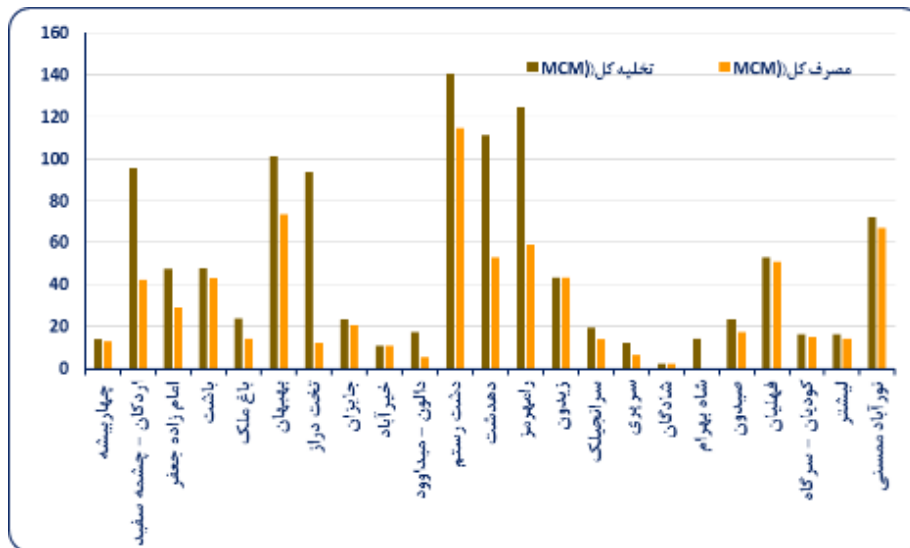
۳- نتایج و بحث

۳-۱- منابع آب زیرزمینی

این شاخص توسط نالبانتیس (۲۰۰۸) ارائه شد و سپس در سال ۲۰۰۹ توسط نالبانتیس و ساکرینس برای مشخص کردن خشک‌سالی هیدرولوژیکی توسعه داده شد (اسکندری، ۱۳۹۴). شاخص SDI مقدار دبی ماهانه هر ایستگاه هیدرومتری را بر توزیع آماری مناسبی برازش می‌دهد. در این خصوص شاخص SDI با استفاده از داده‌های دبی ماهانه در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه، طبق روابط زیر محاسبه می‌شود.

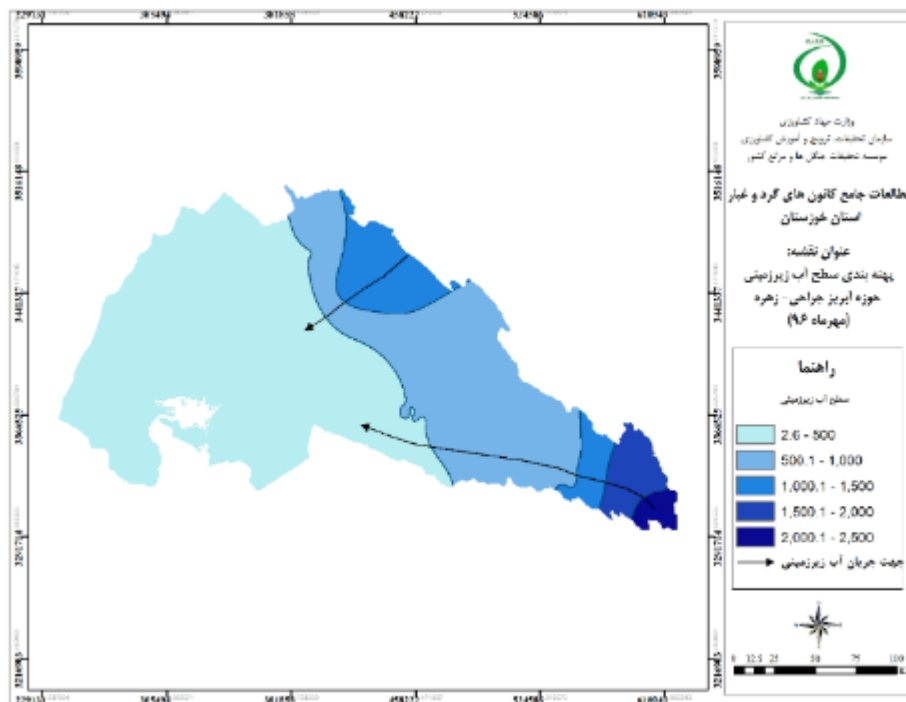
$$SDI_{j,k} = V_{j,k} - V_k/S_k \quad (2)$$

در سالیان اخیر، روند افزایشی قابل توجهی در تعداد حفر چاه‌های نیمه عمیق و میزان تخلیه آن‌ها در منطقه مشخص می‌باشد، به طوری که تعداد چاه‌های نیمه عمیق در سال ۱۳۸۱ نزدیک به ۲۹۷۱ حلقه و در سال ۱۳۹۶ تعداد آن‌ها به ۵۶۶۹ حلقه رسیده

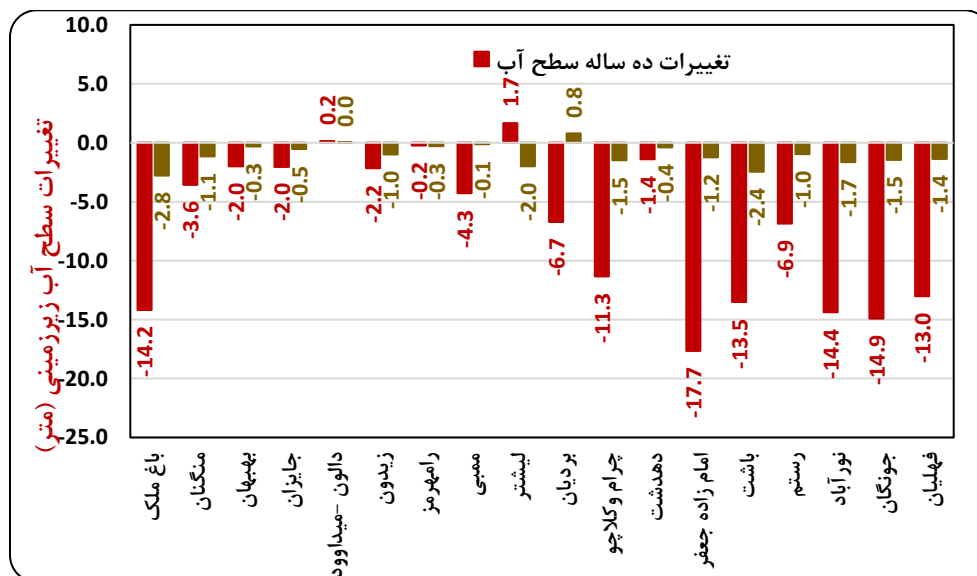


نقشه پهنه‌بندی آب زیرزمینی و جهت جریان کلی در مهر ماه سال ۹۶ برای حوزه آبریز جراحی- زهره در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس این شکل، بیشترین سطح آب زیرزمینی مربوط به نواحی جنوب شرقی منطقه، در آبخوان کودیان- سرگاه و بیش از ۲۲۰۰ متر است که به سمت نواحی غربی آبخوان به تدریج کم شده به طوری که در نواحی غربی در آبخوان شادگان

یک ساله و ده ساله سطح آب زیرزمینی در محدوده‌های مختلف حوزه را نشان می‌دهد.



شکل ۴- پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در حوزه آبریز جراحی - زهره (مهر ۱۳۹۶).



شکل ۵- تغییرات یک ساله (۹۵ و ۹۶) و ده ساله سطح آب زیرزمینی به تفکیک آبخوان در حوزه آبریز زهره - جراحی.

۲-۳- مقایسه شاخص خشک‌سالی آب زیرزمینی و شاخص خشک‌سالی هیدرولوژی در حوزه آبریز زهره - جراحی
شکل‌های ۶ تا ۱۵ مقایسه شاخص خشک‌سالی آب زیرزمینی و شاخص خشک‌سالی هیدرولوژی در حوزه جراحی را برای یک

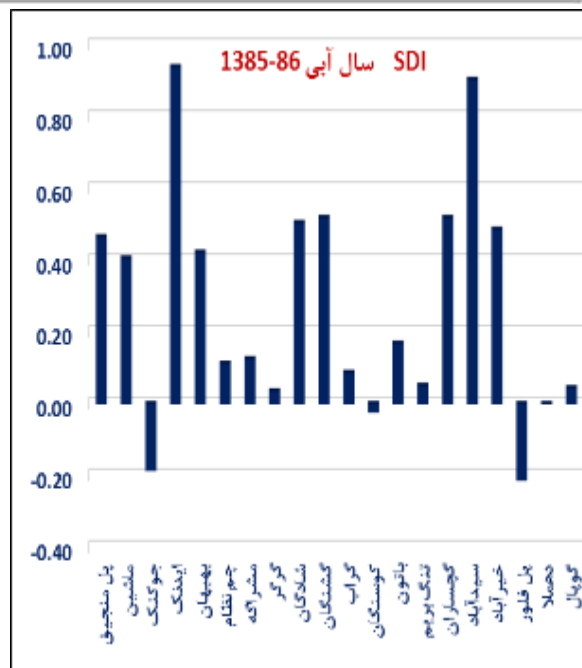
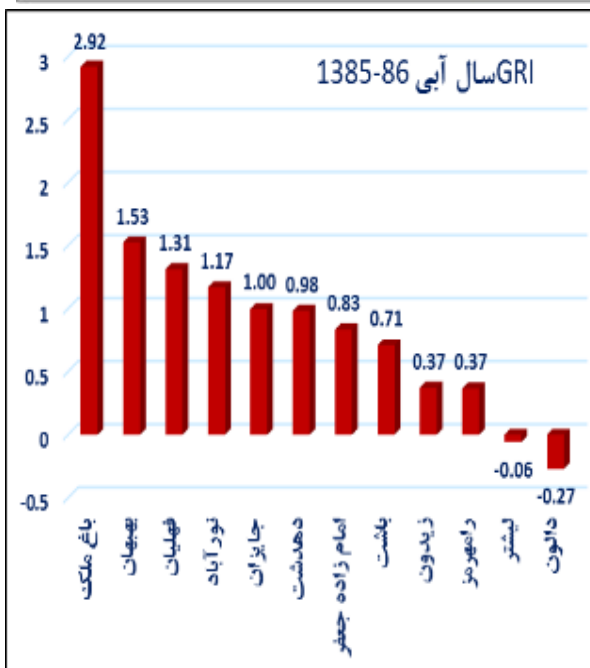
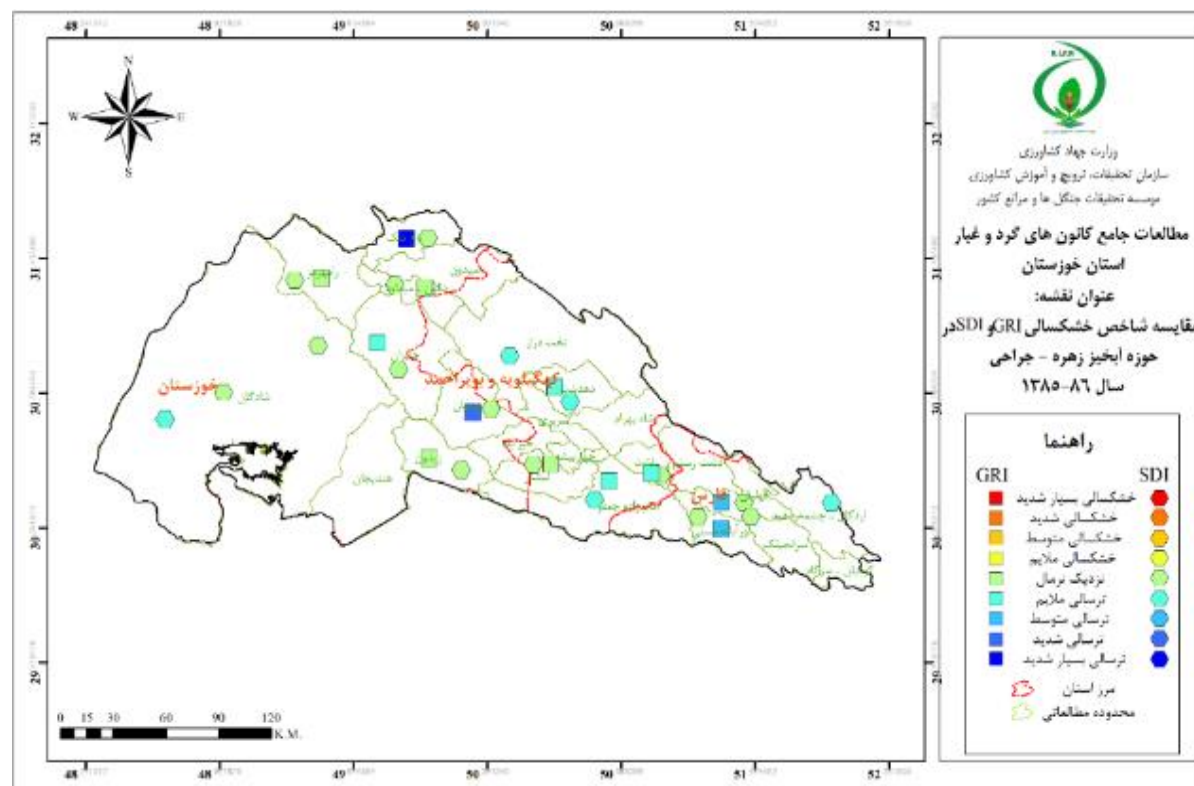
بیشتر رخ داده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه دارای وضعیت نرمال تا خشک‌سالی متوسط تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوزه آبریز زهره- جراحی نیز بین وضعیت خشک‌سالی ملایم تا خشک‌سالی شدید قرار دارند. در سال آبی ۱۳۸۹-۹۰ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی دالون- میداود طبق شاخص GRI دارای ترسالی ملایم با مقدار شاخص ۰/۷۱ و محدوده مطالعاتی بیشتر دارای خشک‌سالی متوسط با مقدار شاخص ۱/۳۱- بوده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه بین وضعیت نرمال و خشک‌سالی متوسط تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوزه آبریز زهره- جراحی نیز بین خشک‌سالی ملایم تا خشک‌سالی شدید قرار دارند. در سال آبی ۱۳۹۰-۹۱ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی بهبهان طبق شاخص GRI دارای ترسالی ملایم با مقدار شاخص ۰/۷۱ بوده است و همچنین طبق این شاخص در همین سال خشک‌سالی متوسط با مقدار شاخص ۱/۲۹- در محدوده مطالعاتی امام‌زاده جعفر رخ داده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه دارای خشک‌سالی ملایم تا ترسالی ملایم تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوزه آبریز زهره- جراحی نیز بین وضعیت خشک‌سالی ملایم تا خشک‌سالی شدید قرار دارند. در سال آبی ۱۳۹۱-۹۲ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی باشت طبق شاخص GRI دارای ترسالی ملایم با مقدار شاخص ۰/۶۲ و محدوده مطالعاتی جایزان دارای خشک‌سالی ملایم با مقدار شاخص ۰/۹۶- بوده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه در وضعیت نرمال تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوزه آبریز زهره- جراحی نیز بین وضعیت نرمال تا خشک‌سالی متوسط قرار دارند. در سال آبی ۱۳۹۲-۹۳ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی بهبهان طبق شاخص GRI دارای ترسالی شدید با مقدار شاخص ۱/۹۹ بوده است و همچنین طبق این شاخص در همین سال خشک‌سالی

دوره آماری ده ساله (۱۳۹۵-۱۳۸۵) نشان می‌دهند. در سال آبی ۱۳۸۵-۸۶ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی باغملک طبق شاخص GRI دارای ترسالی بسیار شدید با مقدار شاخص ۲/۹ و محدوده مطالعاتی دالون میداود دارای وضعیت نرمال با مقدار شاخص ۰/۲۷ بوده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه بین این حدود (نرمال تا ترسالی بسیار شدید) تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوزه آبریز زهره- جراحی نیز بین وضعیت نرمال تا ترسالی ملایم قرار دارند. در سال آبی ۱۳۸۶-۸۷ نیز آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی باغ ملک طبق شاخص GRI دارای ترسالی متوسط با مقدار شاخص ۱/۴۵ بوده است و همچنین طبق این شاخص در همین سال خشک‌سالی شدید با مقدار شاخص ۱-۱/۷۶ در محدوده مطالعاتی دالون میداود رخ داده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه بین این حدود (ترسالی متوسط تا خشک‌سالی شدید) تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوزه آبریز زهره- جراحی نیز بین وضعیت نرمال تا خشک‌سالی شدید قرار دارند. در سال آبی ۱۳۸۷-۸۸ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی زیدون طبق شاخص GRI دارای وضعیت نرمال با مقدار شاخص ۰/۲۲ و محدوده مطالعاتی رامهرمز دارای وضعیت خشک‌سالی شدید با مقدار شاخص ۱-۱/۹۷ بوده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه دارای وضعیت نرمال، خشک‌سالی ملایم و متوسط تعیین شده‌اند. در ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوزه آبریز زهره- جراحی در سال آبی ۱۳۸۷ بیشترین خشک‌سالی را در ده سال دوره آماری مورد مطالعه شاهد هستیم. به طوری که تمام ایستگاه‌ها دارای خشک‌سالی شدید و بسیار شدید می‌باشند. در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ نیز آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی دالون- میداود طبق شاخص GRI دارای ترسالی متوسط با مقدار شاخص ۱/۰۴ بوده است و همچنین طبق این شاخص در همین سال خشک‌سالی شدید با مقدار شاخص ۱-۱/۶۷ در محدوده مطالعاتی

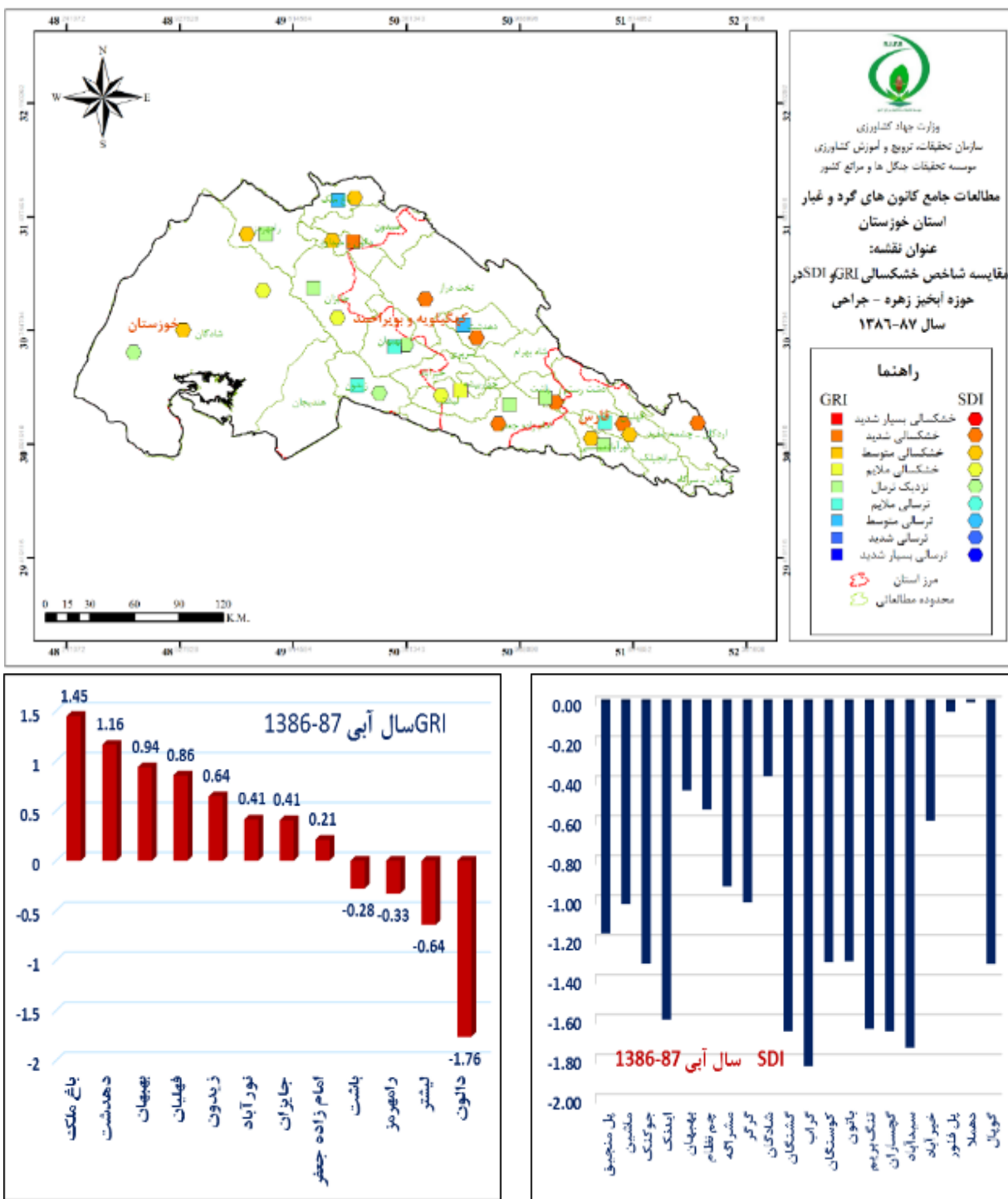
زهره- جراحی نیز بین خشک‌سالی متوسط تا خشک‌سالی شدید قرار دارند.

با توجه به شکل‌های ۶ تا ۱۵، در سال اول دوره آماری ۱۳۸۶-۱۳۸۵ در هیچ یک از محدوده‌های مطالعاتی شرایط خشک‌سالی حاکم نیست و حتی در برخی موارد ترسالی وجود دارد. با افزایش دوره زمانی این شرایط به تدریج به سمت خشک‌سالی پیش می‌رود. به نحوی که شدت خشک‌سالی به طور کلی نسبت به سال قبل افزایشی بوده است، اما در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ نسبت به روند کلی دوره آماری شرایط خشک‌سالی شدت گرفته است. همچنین در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ نیز هردو شاخص روند متفاوتی نسبت به کل دوره نشان می‌دهند به طوری که در همه محدوده‌ها شرایط نزدیک به نرمال می‌باشد. این انطباق بین دو شاخص مذکور نشان از تأثیرپذیری آب زیرزمینی از شرایط اقلیمی در حوزه دارد. به طور کلی در بیشتر محدوده‌های مطالعاتی بین شاخص GRI و SDI همبستگی وجود دارد. البته در برخی موارد تأثیر خشک‌سالی هیدرولوژی بر آب‌های زیرزمینی با تأخیر زمانی صورت می‌گیرد. با توجه به نقشه‌های سالیانه این تأخیر ۶ ماه تا یک ساله خشک‌سالی آب‌های سطحی و زیرزمینی مشخص می‌باشد.

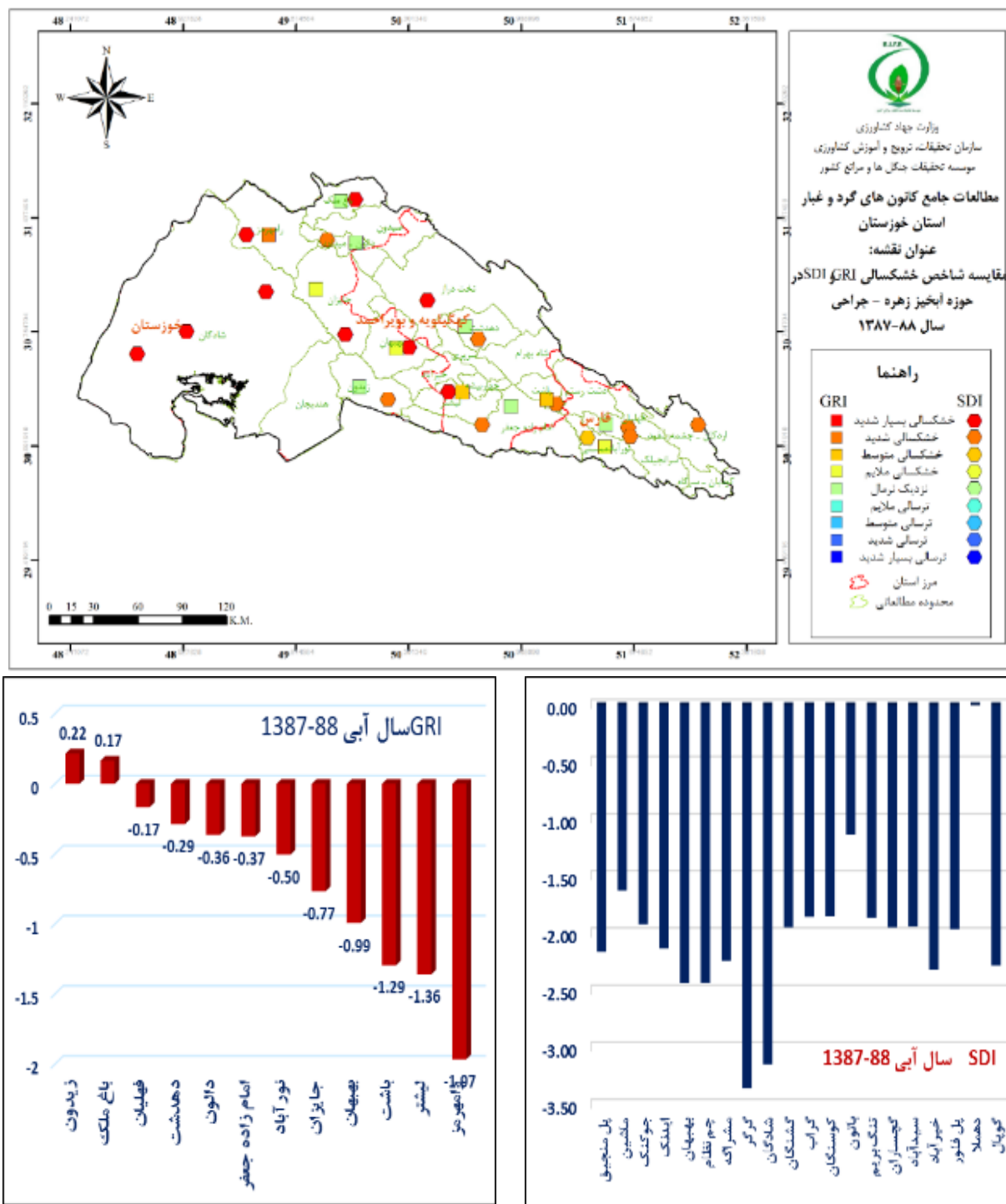
ملایم با مقدار شاخص ۰/۹۲- در محدوده مطالعاتی امامزاده جعفر رخ داده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه دارای وضعیت نرمال تا ترسالی متوسط تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوزه آبریز زهره- جراحی نیز بین وضعیت خشک‌سالی ملایم تا خشک‌سالی متوسط قرار دارند. در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی لیشر طبق شاخص GRI دارای ترسالی شدید با مقدار شاخص ۱/۷۲ و محدوده مطالعاتی امامزاده جعفر دارای خشک‌سالی متوسط با مقدار شاخص ۱/۲۳- بوده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه دارای خشک‌سالی ملایم تا ترسالی تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوزه آبریز زهره- جراحی نیز بین خشک‌سالی متوسط تا خشک‌سالی شدید قرار دارند. در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی لیشر طبق شاخص GRI دارای ترسالی شدید با مقدار شاخص ۱/۶۰ بوده است و همچنین طبق این شاخص در همین سال خشک‌سالی متوسط با مقدار شاخص ۱/۴۲- در محدوده مطالعاتی فلهیان رخ داده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه دارای وضعیت نرمال تا خشک‌سالی متوسط تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوزه آبریز



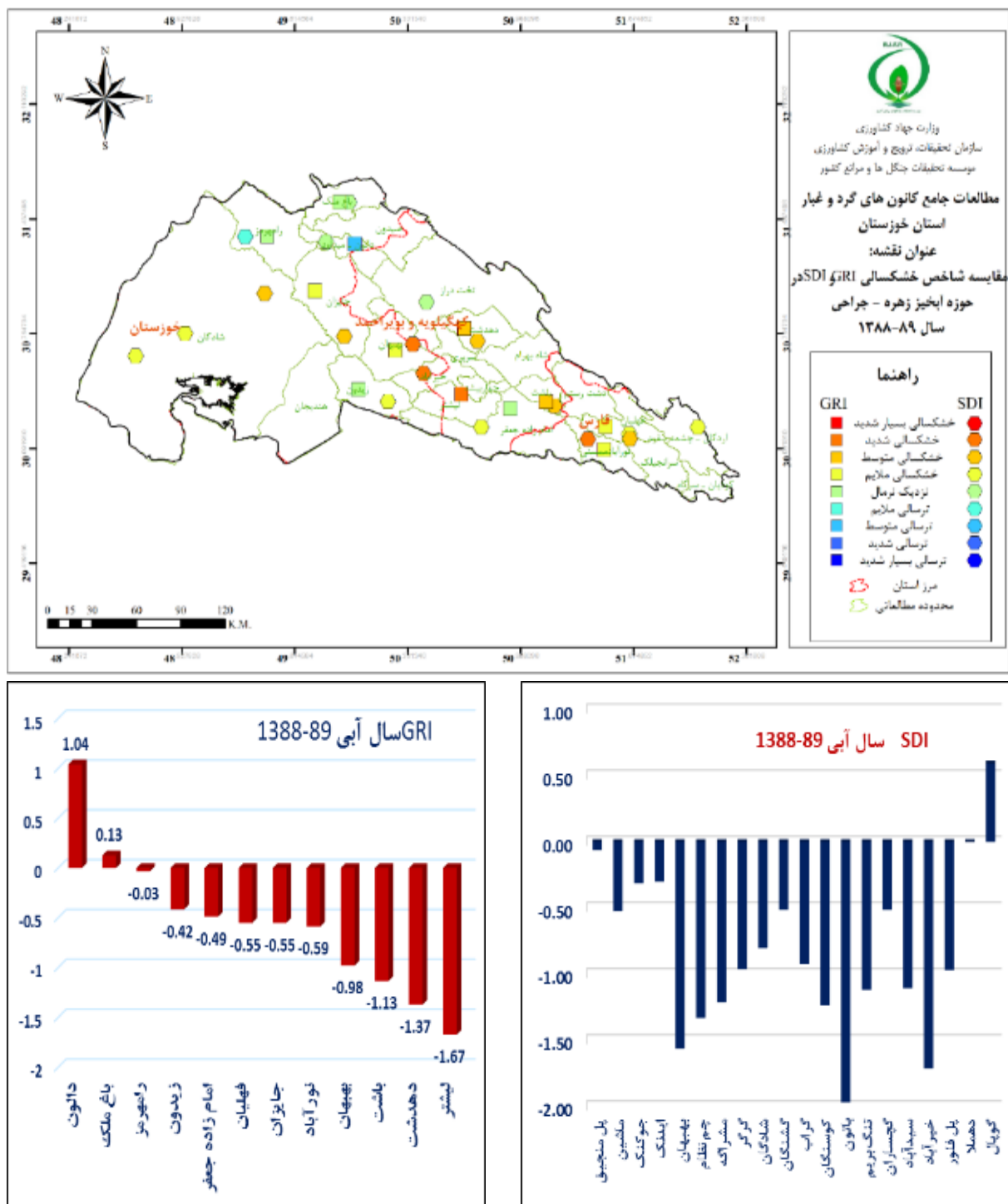
شکل ۶- نقشه و نمودارهای مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوزه آبریز زهره- جراحی در سال ۸۶-۱۳۸۵.



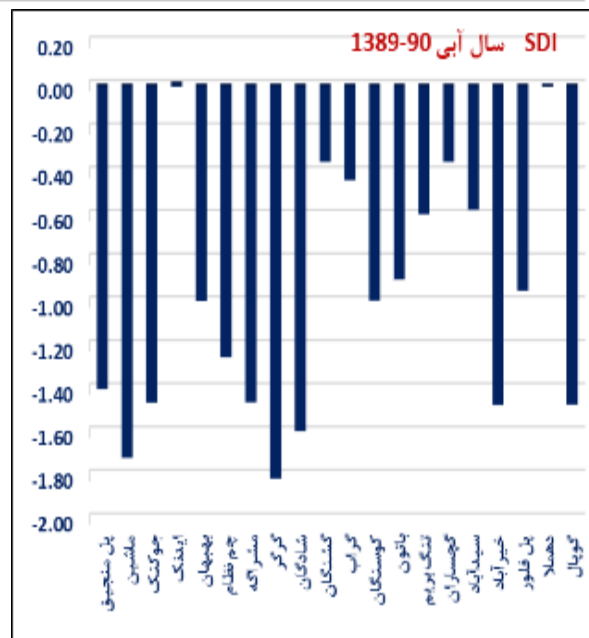
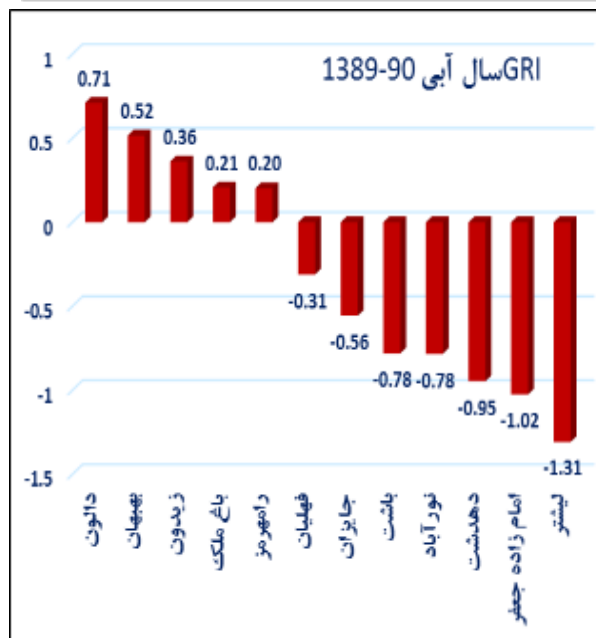
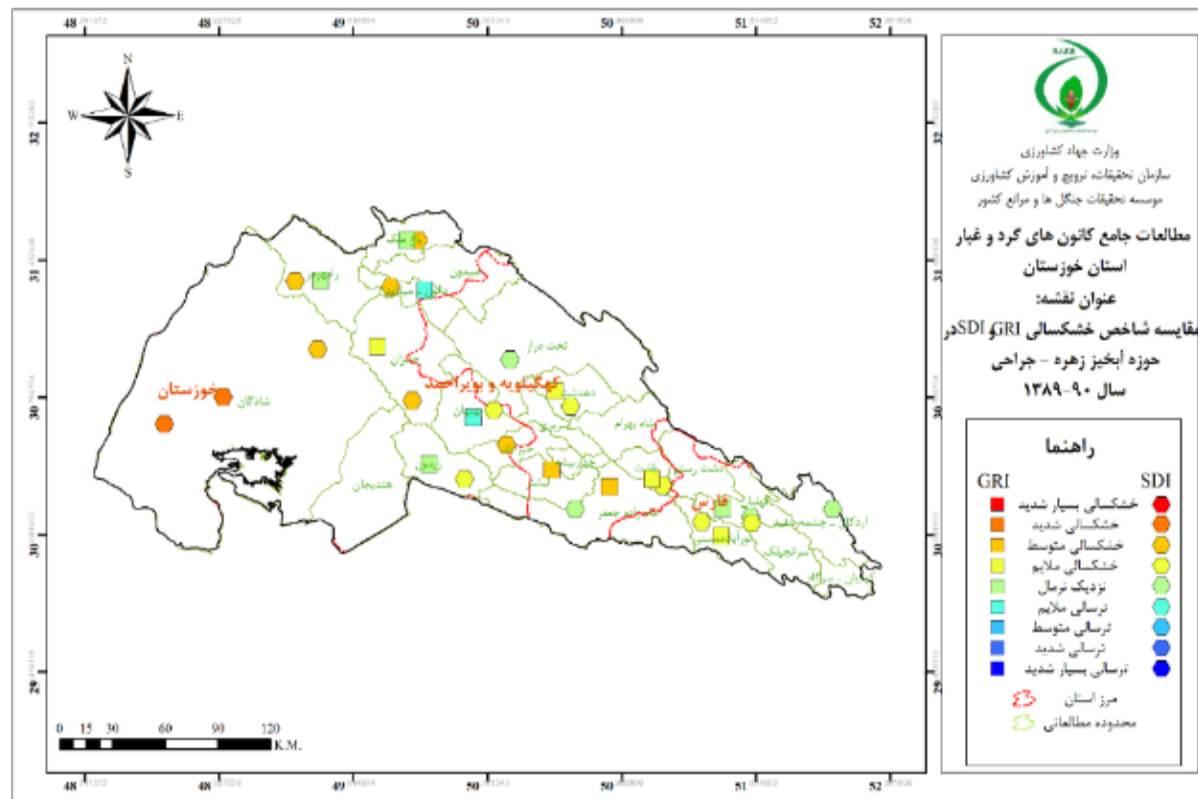
شکل ۷- نقشه و نمودارهای مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوزه آبریز زهره - جراحی در سال ۱۳۸۶-۸۷.



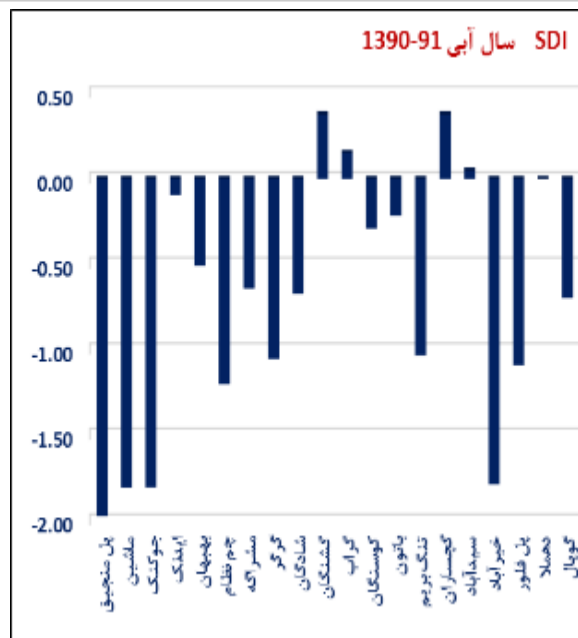
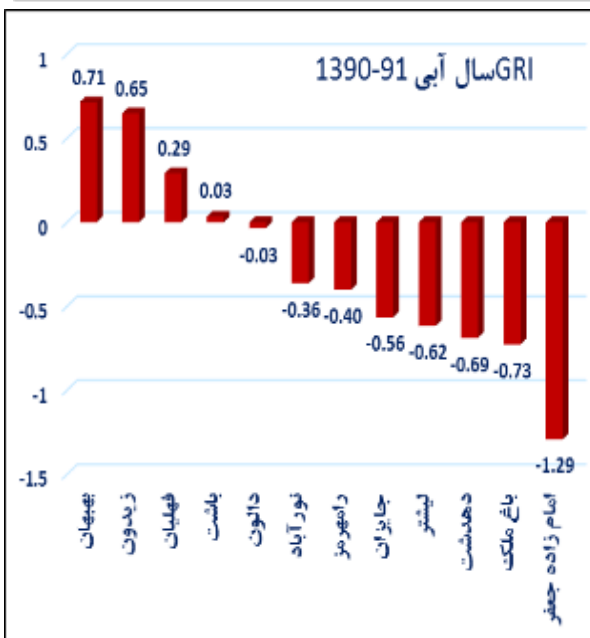
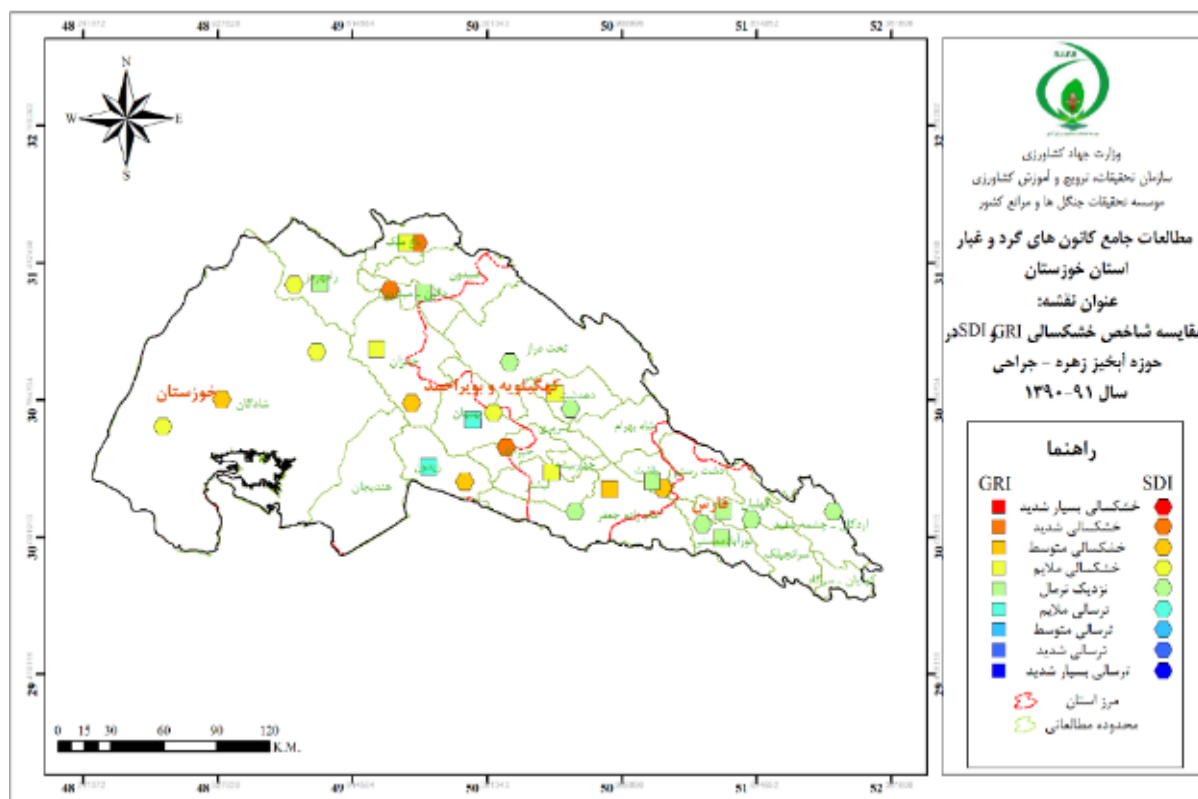
شکل ۸- نقشه و نمودارهای مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوزه آبریز زهره- جراحی در سال ۱۳۸۷-۸۸.



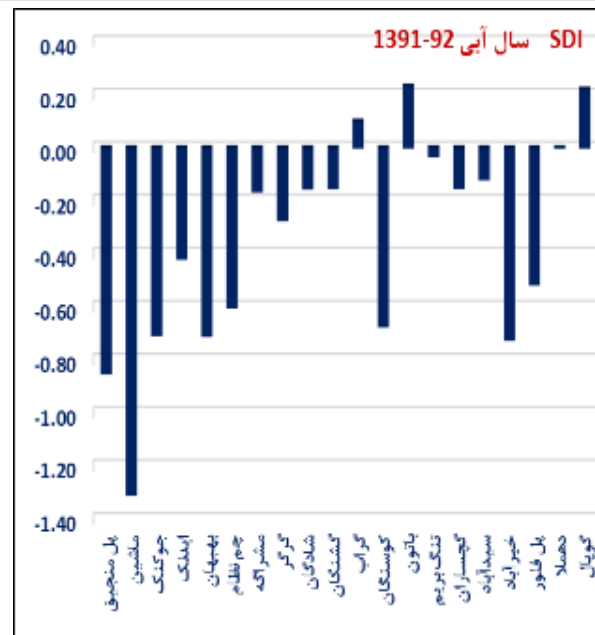
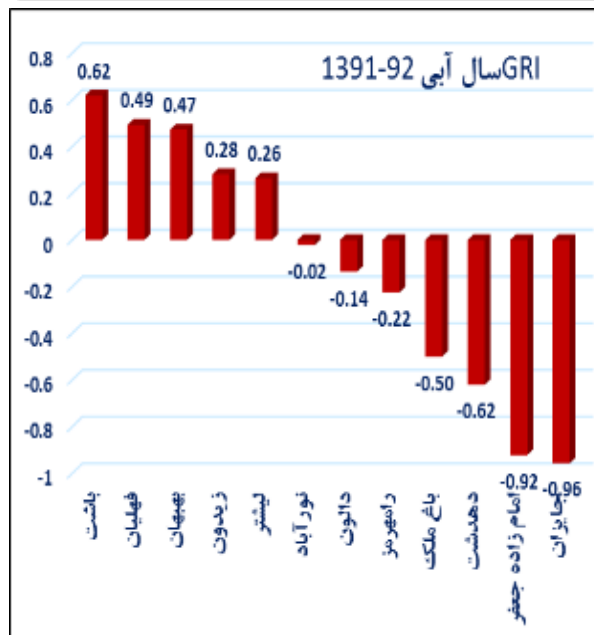
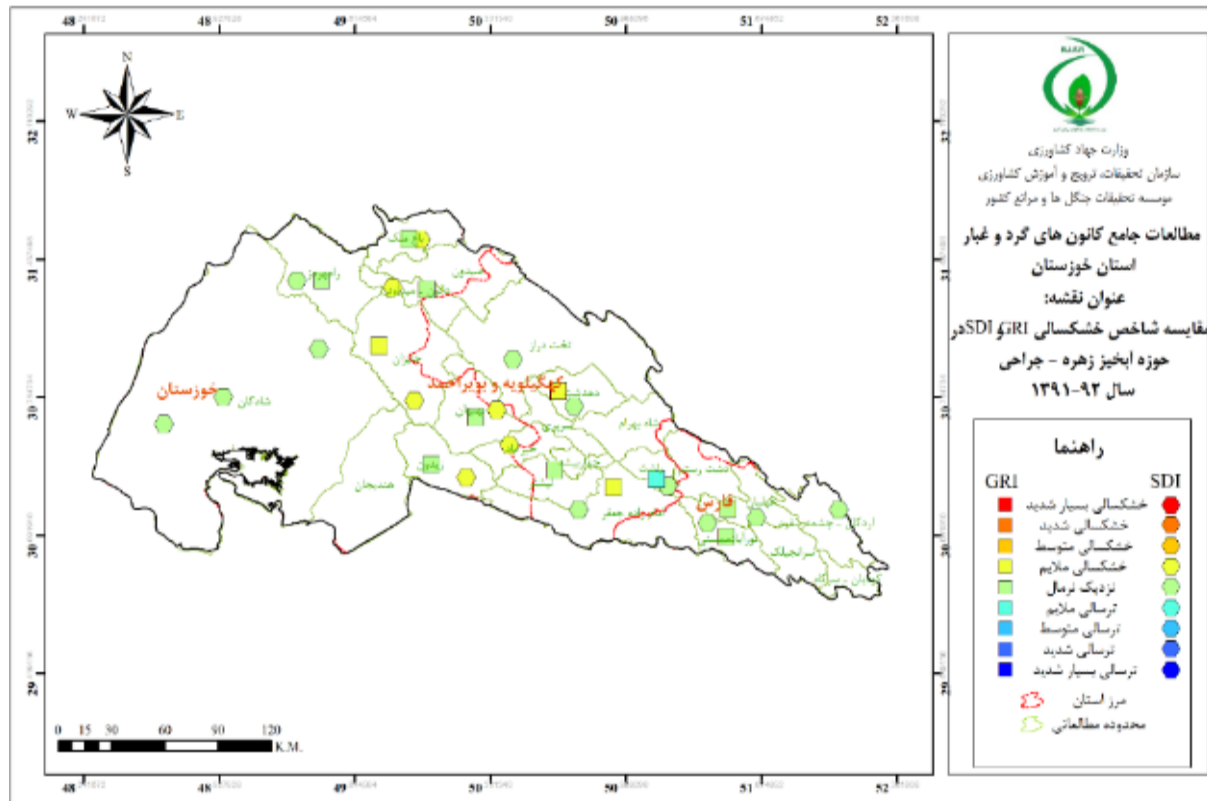
شکل ۹- نقشه و نمودارهای مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوزه آبریز زهره- جراحی در سال ۸۹-۱۳۸۸.



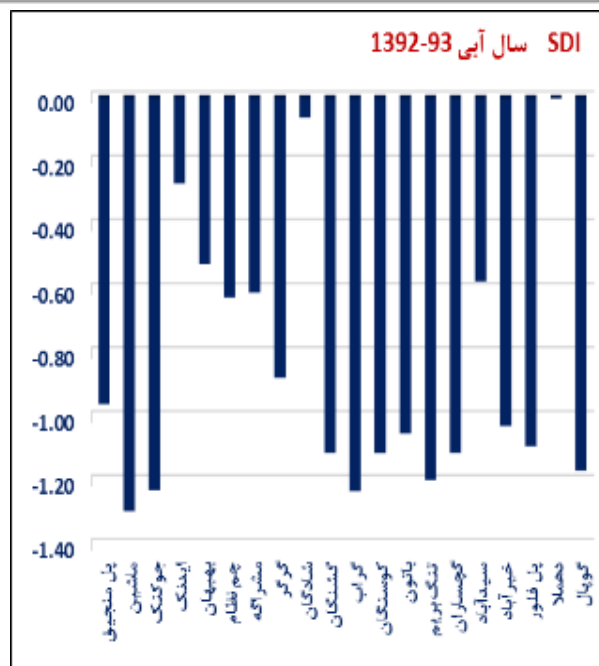
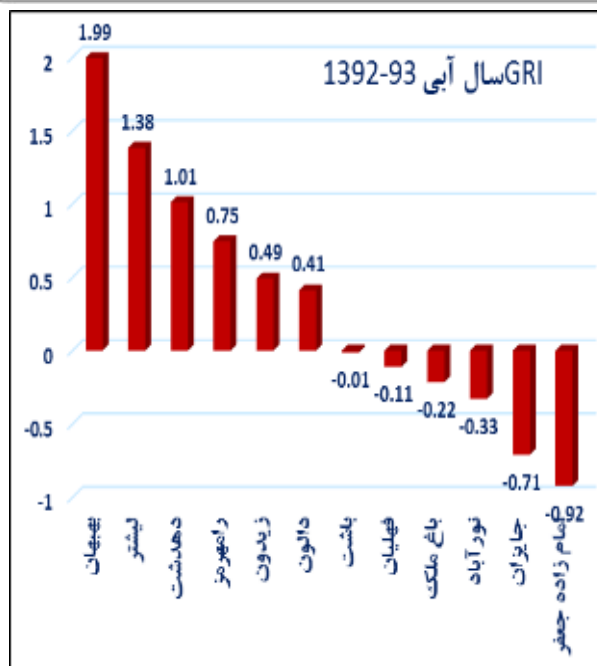
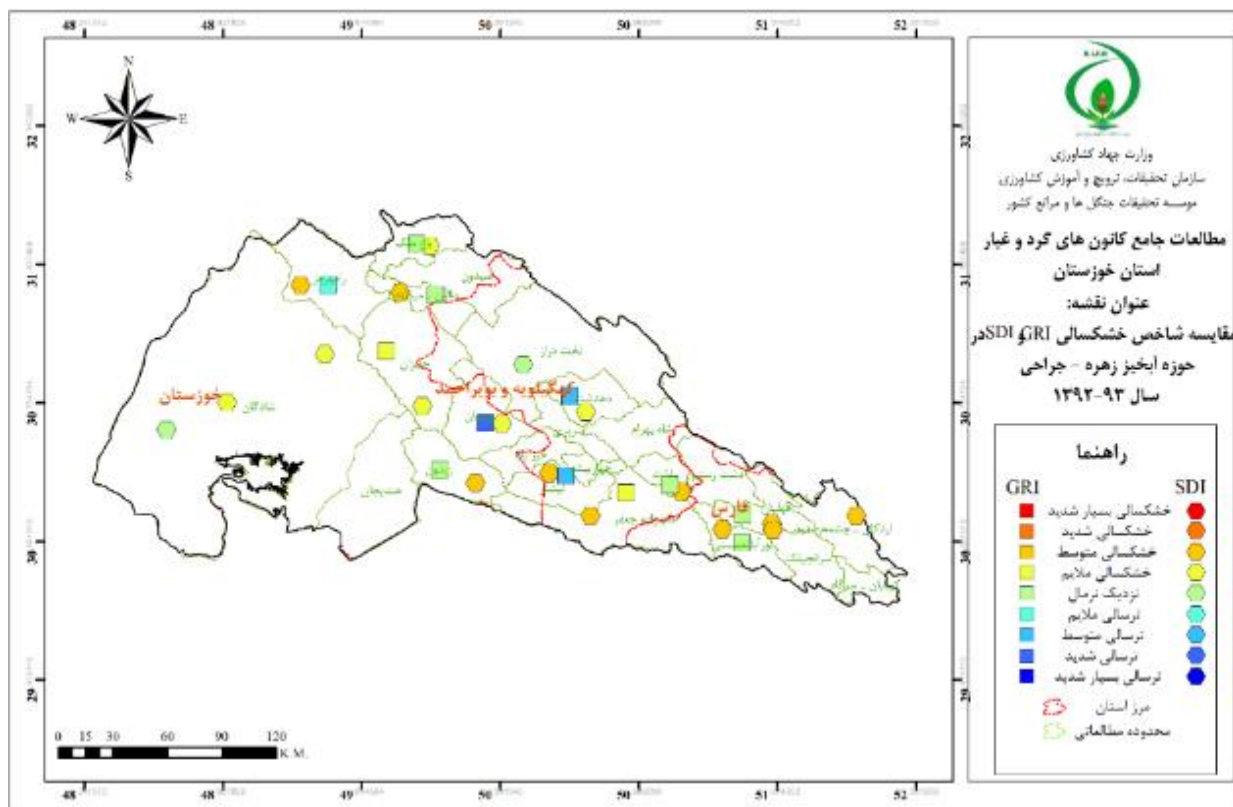
شکل ۱۰- نقشه و نمودارهای مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوزه آبریز زهره- جراحی در سال ۱۳۸۹-۹۰.



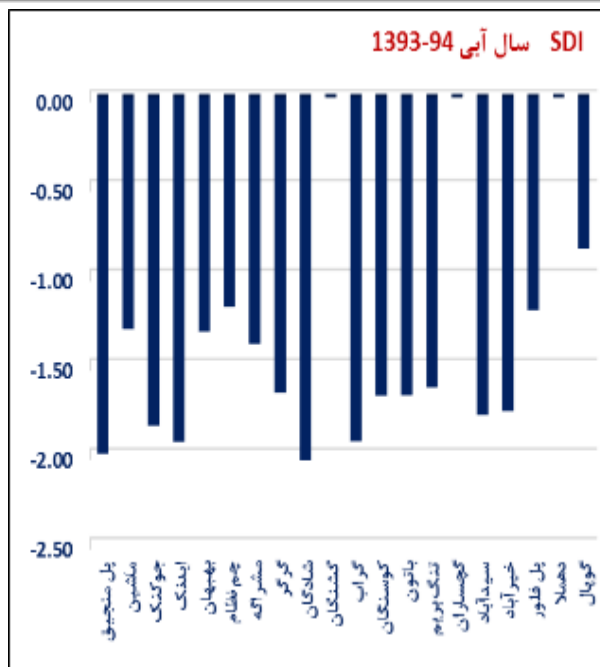
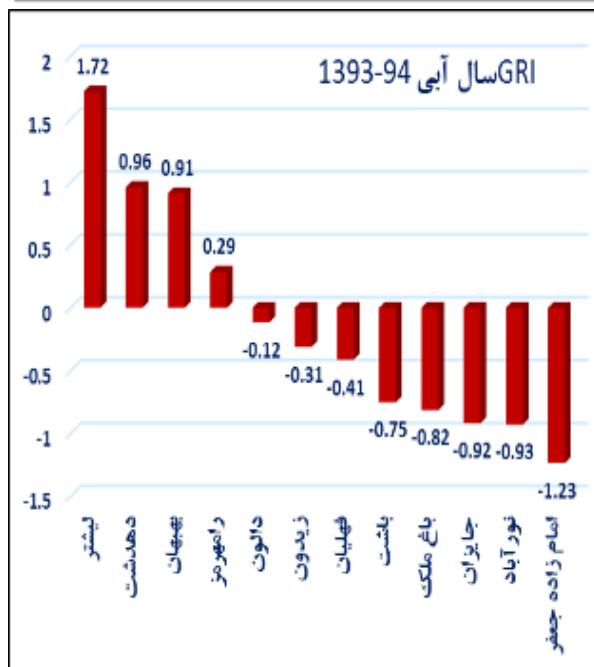
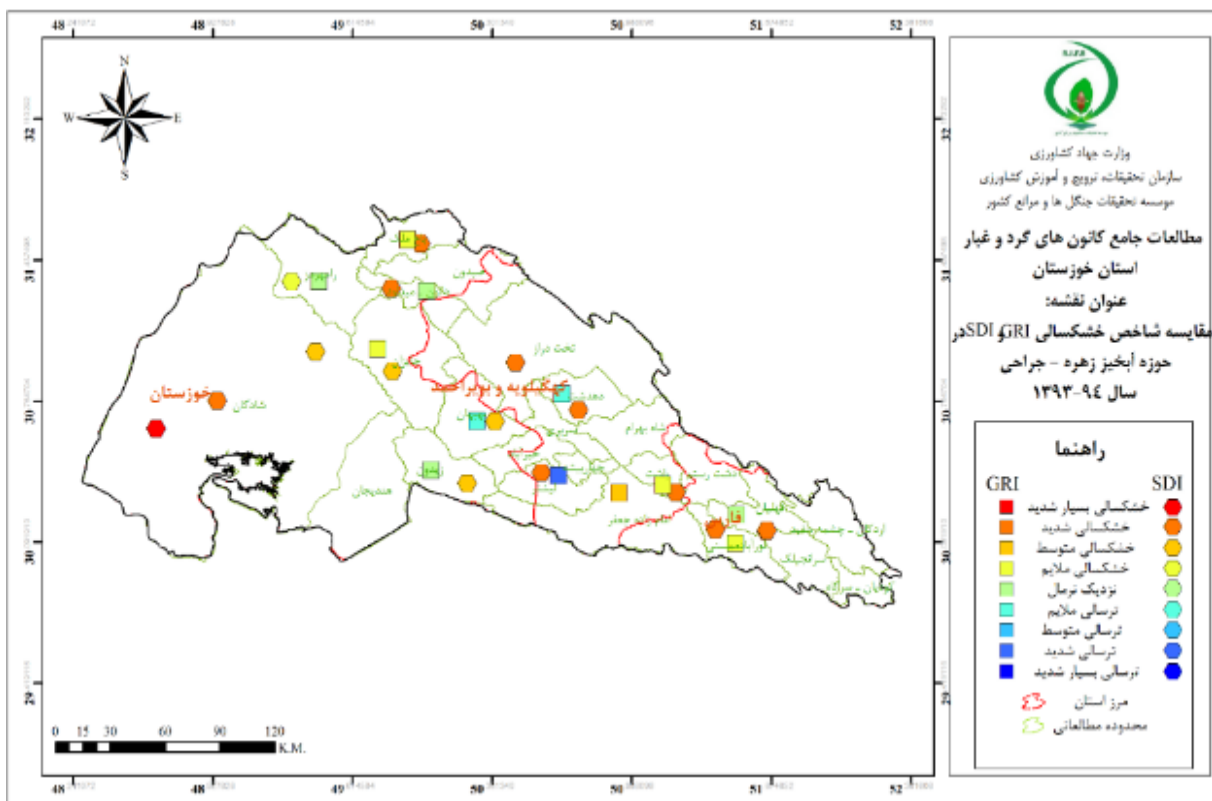
شکل ۱۱- نقشه و نمودارهای مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوزه آبریز زهره- جراحی در سال ۹۱-۱۳۹۰.



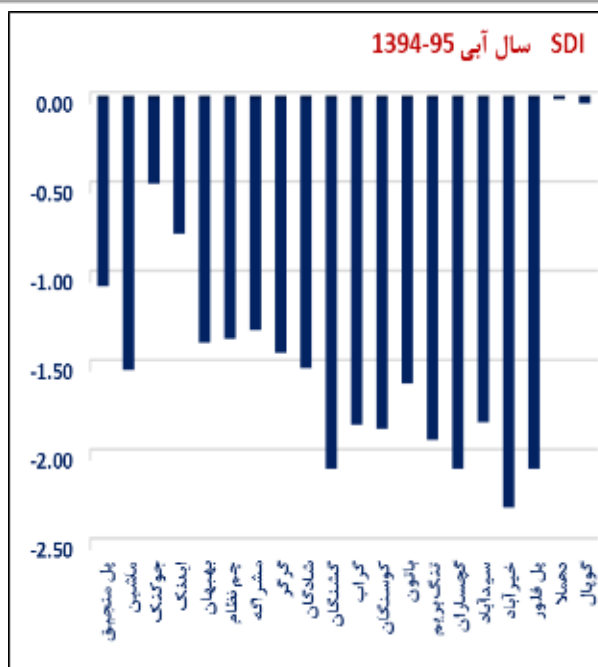
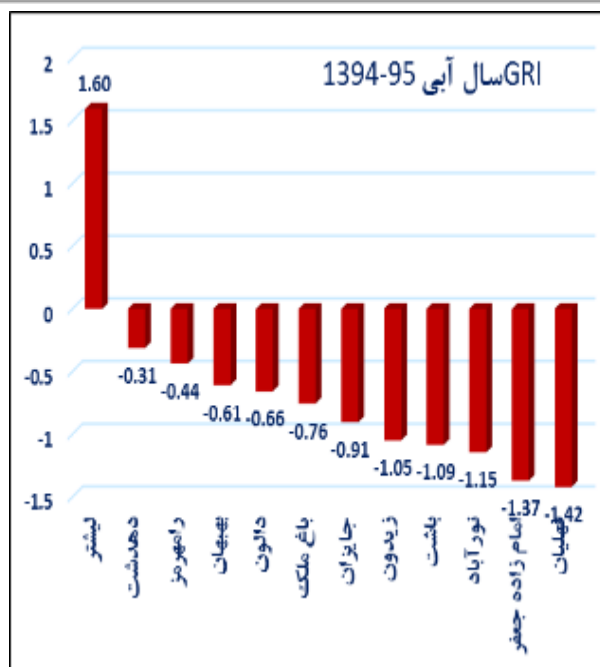
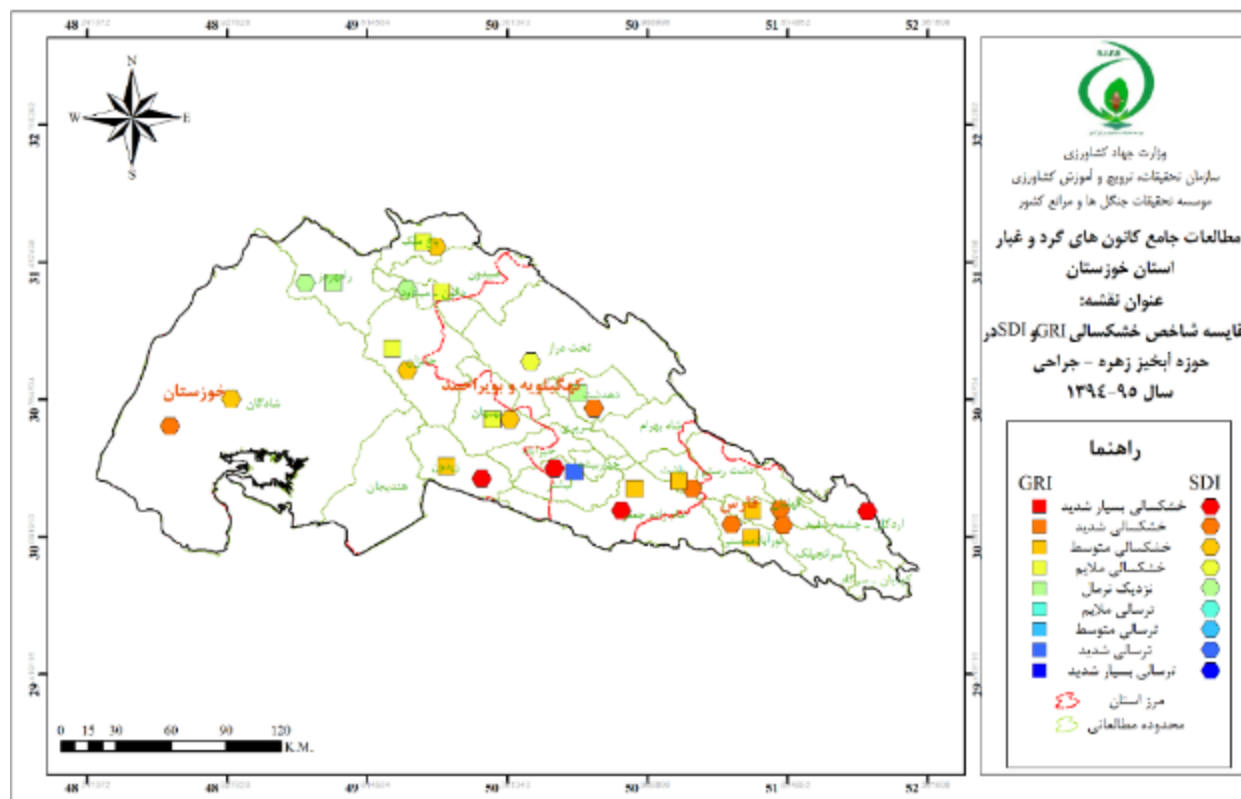
شکل ۱۲- نقشه و نمودارهای مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوزه آبریز زهره- جراحی در سال ۹۲-۱۳۹۱.



شکل ۱۳- نقشه و نمودارهای مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوزه آبریز زهره- جراحی در سال ۱۳۹۲-۹۳.



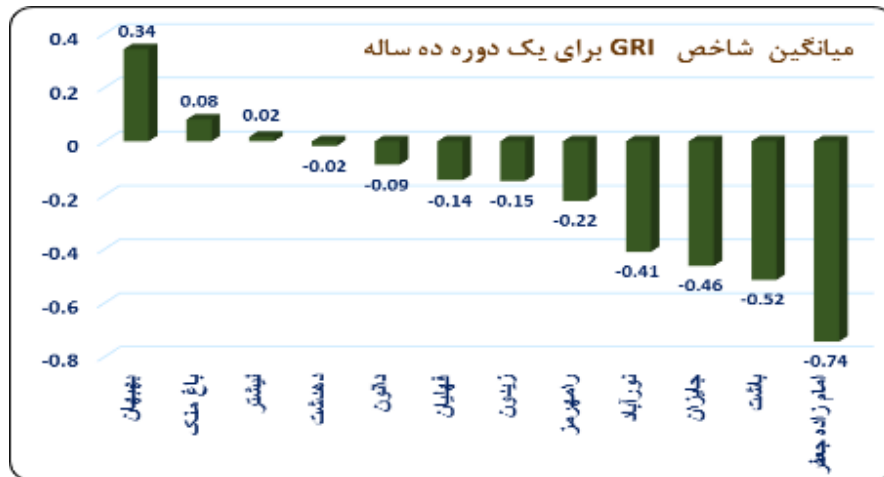
شکل ۱۴- نقشه و نمودارهای مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوزه آبریز زهره- جراحی در سال ۹۴-۱۳۹۳.



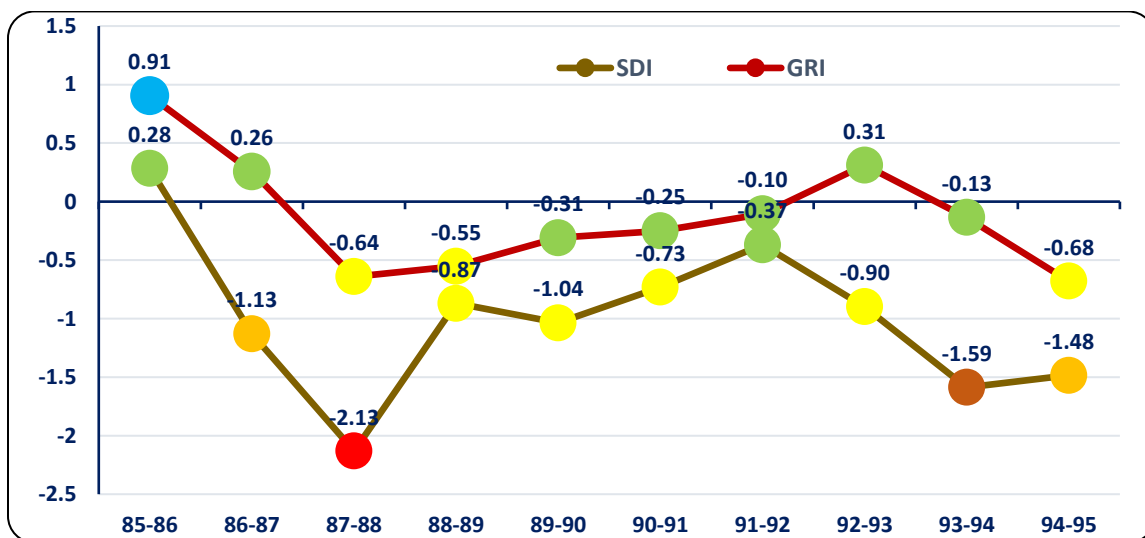
شکل ۱۵- نقشه و نمودارهای مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوزه آبریز زهره- جراحی در سال ۹۵-۱۳۹۴.

به طور کلی بررسی مقادیر میانگین شاخص GRI در محدوده های (شکل ۱۶) نشان دهنده مقدار شاخص ۰/۴۵ و ۰/۱۹ به مطالعاتی حوزه آبریز زهره- جراحی برای یک دوره ده ساله (۹۵-۱۳۸۵) ترتیب برای بهبهان و باغ ملک و مقدار شاخص ۰/۶۶، -۰/۴۵ و

۰/۴۴ - به ترتیب برای امام زاده جعفر، جایزان و باشت می‌باشد. شده است اما نتایج مقایسه بین دو نوع خشک‌سالی در شکل ۱۷ اگر چه در بیشتر موارد وقوع خشک‌سالی اقلیمی و به تبع آن خشک‌سالی هیدرولوژی باعث افت سطح آب زیرزمینی در حوزه منابع آب زیرزمینی نیز در این امر مؤثر هستند.



شکل ۱۶- میانگین ماهانه و ده ساله مقدار شاخص GRI در محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبریز زهره- جراحی.



شکل ۱۷- مقایسه تغییرات خشک‌سالی SDI و GRI نسبت به زمان.

جراحی ارائه شد. در این راستا، شاخص‌های خشک‌سالی GRI و

SDI برای حوزه آبریز در یک بازه زمانی ده ساله محاسبه شد. بر اساس نتایج به دست آمده، در بیشتر محدوده‌های مطالعاتی همبستگی بین شاخص SDI و GRI وجود دارد. البته در برخی موارد تأثیر خشک‌سالی هیدرولوژی بر آب‌های زیرزمینی با تأخیر زمانی صورت می‌گیرد. با توجه به نقشه‌های سالیانه این تأخیر ۶ ماه تا یک ساله خشک‌سالی آب‌های سطحی و زیرزمینی مشخص

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت زیاد منابع آب زیرزمینی در کشور، بررسی خشک‌سالی‌های هیدروژئولوژیکی و رفتارسنجی افت سطح آب‌های زیرزمینی در راستای ارائه راهکارهای حفاظت و مدیریت مناسب منابع حیاتی آب ضروری است. در این تحقیق، با بررسی روند تغییرات آب زیرزمینی و نیز شاخص‌های مهم خشک‌سالی رهنمودهایی به منظور مدیریت منابع آب در حوزه آبریز زهره-

پیری، ح. و انصاری، ح.، ۱۳۹۲. بررسی خشک‌سالی دشت سیستان و تأثیر آن بر تالاب بین‌المللی هامون. فصلنامه علمی پژوهشی تالاب - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. شماره ۱۵، ص ۶۳-۷۴. جهانبخش، س. و کریمی، ف.، ۱۳۸۸. ارتباط بین خشک‌سالی و منابع آب زیرزمینی، گزارش نهایی از پروژه تحقیقاتی دانشگاه تبریز. خسروی دهکری، ا.، میرعباسی نجف آبادی، ر.، صمدی بروجنی، ح.، قاسمی دستگردی، ا.ر.، ۱۳۹۸. پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی‌های آب زیرزمینی دشت شهرکرد با استفاده از شاخص GRI و مدل زنجیره مارکف. مجله هیدروژئولوژی. دوره ۴، شماره ۱، ص ۱۲۵-۱۱۱.

خلیلی، ع و بذرافشان، ج.، ۱۳۸۳. تحلیل روند تغییرات بارندگی سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصدوشانزده سال گذشته. بیابان. شماره ۱. جلد نهم. ص ۳۵-۲۳.

زارع ابیانه، ح. و محبوبی، ع.، ۱۳۸۳. بررسی وضعیت خشک‌سالی و روند آن در منطقه همدان براساس شاخص‌های آماری خشک‌سالی. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۶۹، ص ۴۹-۳۵. زارعی، ح.، کلانتری، ن.، ندیری، ا.، محمدی بهزاد، ح. ر. ۱۳۹۶. اثر نوسانات اقلیمی بر وضعیت کمی و کیفی چشمه‌ی کارستی بی‌بی‌تلخون، شهرستان اندیکا خوزستان. مجله هیدروژئولوژی. دوره ۲، شماره ۲، ص ۱۶-۱.

زینالی، ب.، اصغری سراسکانرود، ص.، صفریان زنگیر، و.، ۱۳۹۶. پایش خشک‌سالی و ارزیابی امکان پیش‌بینی آن در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص SEPI و مدل ANFIS. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. دوره ۴، شماره ۱، ص ۹۶-۷۳.

سیف، ع.، صلحی، س.، عرفان، م.، ۱۳۹۲. تعیین منطقه مناسب برای تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از روش TOPSIS در محیط GIS مطالعه موردی: حوضه آبی رفسنجان، فصلنامه علمی-پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، سال پنجم، شماره ۲.

سیمانی، ن.، ۱۳۹۰. بررسی و تحلیل وقوع پدیده‌های خشک‌سالی و ترسالی با استفاده از چند نمایه مبتنی بر بارش مطالعه موردی: استان کرمان. دومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران، دانشگاه. آزاد اسلامی اراک، ص ۱۳۰.

کریمی، و.، کامکار حقیقی، ع. ا.، سپاسخواه، ع و خلیلی، د.، ۱۳۸۰. بررسی خشک‌سالی در استان فارس، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پنجم، شماره ۴، ص ۱۰۵-۱۶.

می‌باشد. شاخص خشک‌سالی GRI در طول دوره آماری ده ساله حوزه آبریز زهره- جراحی، در مرکز و حوالی غرب حوزه آبریز مذکور نمایان‌تر می‌باشد و در سال‌های پایانی این دوره محدوده‌های سمت جنوب شرقی حوزه نیز درگیر خشک‌سالی‌های شدیدتری شده‌اند که با دقت در مقادیر شاخص SDI حوزه این انطباق مشخص، کاملاً دیده می‌شود. اگر چه در بیشتر موارد وقوع خشک‌سالی اقلیمی و به تبع آن خشک‌سالی هیدروژئولوژی باعث افت سطح آب زیرزمینی در حوزه شده است اما نتایج مقایسه بین دو نوع خشک‌سالی نشان می‌دهد که عوامل دیگری همچون برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی نیز در این امر مؤثر هستند. با توجه به اینکه خشک‌سالی اقلیمی پدیده‌ای غیرقابل پیشگیری است، بنابراین لزوم برنامه‌ریزی و اعمال مدیریت صحیح منابع آب‌های زیرزمینی در منطقه ضروری به نظر می‌رسد. بر اساس نتایج کاهش سطح آب زیرزمینی در حوزه مورد نظر اثرات ثانویه زیادی مانند افزایش هزینه پمپاژ جهت عملیات استخراج، خشک شدن چاه‌ها، پیشروی آب‌های شور از دریا یا از لایه‌های عمیق‌تر، افزایش نشست زمین، تغییر کیفیت آب و در نتیجه آسیب رسیدن به اکوسیستم‌های آبی و خاکی، کاهش ثمردهی محصولات کشاورزی و غیره را می‌توان برشمرد.

سپاس‌گزاری

این پژوهش بخشی از "طرح جامع مطالعات گرد و غبار استان خوزستان" می‌باشد. در اینجا لازم می‌داند از همکاری و مساعدت ریاست محترم موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور جناب آقای دکتر جلیلی و مسئول مطالعات جناب آقای مهندس فیاض و راهنمایی‌های ارزنده مدیران و کارشناسان دفتر مطالعات پایه سازمان مدیریت منابع آب ایران در اعتلای بیشتر تحقیق سپاسگزاری نماید.

منابع

اسکندری، ح.، زهتابیان، غ.، خسروی، ح.، آذره، ع.، ۱۳۹۴. بررسی و تحلیل ارتباط زمانی و مکانی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی در استان تهران. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی. دوره ۲۴، شماره ۹۶، ص ۱۲۰-۱۱۳.

- suitable geostatistical method (During a 10-year period). *Iranian journal of Range and Desert Research*, 19 (1): 61-70.
- Mohan, S. and N.C. Rangacharia. 1991. A modified method for drought identification. *Journal of Hydrology Science.*, 36(1):11-21.
- Nalbantis, I. 2008. Evaluation of a hydrological drought index. *Eur Water*, 23(24), 67-77.
- Nalbantis, I., and Tsakiris, G. 2009. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5), 881-897.
- Nayak, P., Satyaji, R., and Sudheer, K.P. 2006. Groundwater level forecasting in a shallow aquifer using artificial neural network approach. *Water Resources Management*, 2: 1. 77-99.
- Quiring, S. M 2009. Monitoring Drought: An Evaluation of Meteorological Drought Indices. Texas A&M University. *Geography Compass* 3/1, 64-88, 10.1111/j.1749-8198.2008.00207.x
- Quiring, S. M 2009. Monitoring Drought: An Evaluation of Meteorological Drought Indices. Texas A&M University. *Geography Compass* 3/1 (2009): 64-88, 10.1111/j.1749-8198.2008.00207.x
- Richard, R. H., 2002. A review of twentieth century drought Indices used in the United States. *American Meteorological Society*, 1149-1165p.
- Van Loon, A.F., 2013. On the propagation of drought, Wageningen University.
- Wilhite, D. A., and Hoffman, R. O., 1980, Drought in the Great Plains: A Bibliography. Nebraska Agricultural Experiment Station Misc. Publ. 39, University of Nebraska, Lincoln, NE, 75 pp.
- Wilhite, D.A.; M.H. Glantz. 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*. 10(3):111-120.
- Zhang L., Jiaoa. W, Zhanga. H, Huang. C. Tonga. Q. 2017. Studying drought phenomena in the Continental United States in 2011 and 2012 using various drought indices. *Remote Sensing of Environment*. Volume 190, Pages 96-106.
- مطالعات هیدروژئولوژی حوزه آبریز زهره- جراحی، مطالعات جامع گردوغبار خوزستان، ۱۳۹۸. موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور.
- Chen, Z., Grasby, S. and Osadetz, K.G., 2004. Relation between climate variability and groundwater level in the upper carbonate aquifer, south Manitoba, Canada. *Journal of Hydrology*. 290. 62-43.
- Easterling, D. R., Karl, T. R., Mason, E. H., Hughes, P. Y. and. Bowman, D. P., 1996. United States Historical Climatology Network (U.S. HCN) monthly temperature and precipitation data. ORNL/CDIAC-87, NDP-019/R3, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 280 pp.
- Fernandez, B., and. Salas, J. D., 1999a. Return period and risk of hydrologic events. I: Mathematical formulation. *ASCE J. Hydrol. Eng.*, 4, 297-307
- Herbst, P.H., D.B., Bredencamp and H.M.G. Baker. 1966. A technique for the evaluation of drought from rainfall data. *Journal of Hydrology Science*, 4(4):264-272.
- Hong, W., M.J. Hayes, A. Welss and Q. Hu. 2001. An evaluation the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score. *International Journal of Climatology*, 21:745-758.
- Keneth, H. F. 2003. Climate Variation Drought and Desertification, W. M. Annual Report. Jevenva.
- Khan, S. Gabriel, H. F. & Rana, T. 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas. *Irrigation Drainage System*. 22: 159-177.
- Liu, L., Hong, Y., Bednarczyk, C. N., Yong, B., Shafer, M. A. and Riley, R., 2012. Hydro climatological drought analyses and projections using meteorological and hydrological drought indices: a case study in Blue River Basin Oklahoma. *Water Resources Management*, 26(10): 2761-2779.
- Mair, A. Fares, A. 2010. Influence of groundwater pumping and rainfall spatio-temporal variation of stream flow. *Journal of Hydrology*. 393:287-308.
- Mendicino, G., A. Senatore and P. Versace, 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Hydrology Journal*, 357: 282-302.
- Mohamadi, S., Salajegheh, A., Mahdavi, M. and Bagheri, R., 2012. An ivestigation on spatial and temporal variations of groundwater level in Kerman plain using