



تحلیل تغییرات زمانی خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت قروه-دهگلان با استفاده از شاخص‌های خشکسالی آب زیرزمینی و بارش استاندارد

ابراهیم یوسفی مبرهن^۱، کاظم صابرچناری^{۲*}، سمیرا زندی فر^۳

۱- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سمنان، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران.

۲- استادیار پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: K.saberchenari@gmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

چکیده

لایه‌های آبدار زیرزمینی به‌طور عمده با بارش یا از طریق تعامل با آب‌های سطحی تغذیه می‌شوند، تأثیر تغییر اقلیم بر بارش و آب سطحی در نهایت بر سیستم آب زیرزمینی اثر خواهد گذاشت. هدف از این پژوهش استفاده از شاخص‌های خشکسالی آب زیرزمینی و بارش استاندارد بررسی اثر تغییرات خشکسالی بر روی منابع آب زیرزمینی دشت قروه-دهگلان می‌باشد. برای این منظور با استفاده از اطلاعات آب زیرزمینی (چاه‌های پیزمتری) منطقه مورد مطالعه، شاخص خشکسالی آب زیرزمینی محاسبه و تحلیل شد. همچنین با استفاده از پایگاه داده CHIRPS شاخص بارش استاندارد نیز برای مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه گردید. سپس ارتباط بین شاخص خشکسالی آب زیرزمینی و شاخص بارش استاندارد و بارش سالانه بررسی شد. نتایج نشان داد که شاخص خشکسالی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری، روندی نزولی به سمت خشکسالی دارد به‌طوری که از سال ۱۳۹۰ شاخص خشکسالی منفی شده و تا پایان دوره آماری مقادیر منفی شاخص ادامه دارد. طبقه‌بندی خشکسالی با بارش استاندارد نشان داد که این منطقه در طبقه خشکسالی نزدیک به نرمال قرار دارد. نتایج همبستگی بین دو شاخص با استفاده از رگرسیون خطی که بین شاخص‌ها همبستگی معنی‌داری ($R^2 = 0.003$ و $P\text{-Value} = 0.053$) وجود ندارد، اگرچه از یکدیگر تأثیر می‌پذیرند و پایین بودن میزان همبستگی بین شاخص‌ها می‌تواند بیان‌گر این موضوع مهم باشد که وضعیت خشکسالی آب‌های زیرزمینی در دشت قروه-دهگلان تنها متأثر از خشکسالی هواشناسی در منطقه نمی‌باشد و عوامل مهم‌تری نیز بر سطح آب‌های زیرزمینی دشت متأثر هستند که باید اثرات آن بر سطح آب زیرزمینی دشت بررسی شود.

واژه‌های کلیدی: پایگاه داده CHIRPS، سطح تراز آب زیرزمینی، شاخص بارش استاندارد، شاخص خشکسالی آب زیرزمینی.

مقدمه

دوره حاکمیت خود تحت تأثیر قرار می‌دهد. تاکنون اثر خشکسالی بر روی منابع آب‌های زیرزمینی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است (یوسفی مبرهن و زندی فر، ۱۴۰۲). خشکسالی حالتی نرمال و مستمر از اقلیم است. گرچه بسیاری به اشتباه آن را واقعه‌ای تصادفی و نادر می‌پندارند. این پدیده تقریباً در تمامی مناطق اقلیمی رخ می‌دهد، گرچه مشخصات آن از منطقه‌ای به منطقه دیگر کاملاً متفاوت است. خشکسالی یک اختلال موقتی است و با خشکی تفاوت دارد، چرا که خشکی صرفاً محدود به مناطقی با بارندگی اندک است و حالتی دائمی

منابع آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین منابع آب به شمار می‌رود که شناخت صحیح و بهره‌برداری اصولی از آن‌ها می‌تواند در توسعه پایدار فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی یک منطقه به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش بسزایی داشته باشد. خشکسالی از پدیده‌های جوی است که می‌تواند در هر ناحیه‌ای رخ دهد و منجر به خسارت‌های عمده اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شود. این پدیده بخش‌های مختلف محیطی از جمله منابع آب‌های زیرزمینی را در طول

شاخص‌های خشکسالی آب زیرزمینی و دبی استاندارد شده بررسی کردند. نتایج نشان داد، در بیشتر محدوده‌های مطالعاتی همبستگی بین شاخص‌های GRI و SDI وجود دارد. (Jahanshahi and Shahedi, 2018) منابع آب‌های زیرزمینی و هیدرولوژیکی برای نظارت و پیش‌بینی خشکسالی در آب و هوای نیمه خشک مورد ارزیابی قرار دادند این پژوهش برای بررسی همبستگی بین شاخص‌ها و دوره‌های همپوشانی ۳ تا ۴۸ ماهه در ایران مرکزی در طول سال ۱۹۷۰ بر شاخص‌های بارش استاندارد شاخص، جریان استاندارد و شاخص خشکسالی آب زیرزمینی متمرکز شده است. نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه بیش از دو نوع خشکسالی دیگر از خشکسالی هواشناسی رنج می‌برد. علاوه بر نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه در سه دهه گذشته خشک‌تر شده است. (Sarlak and Agha, 2018) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی شاخص‌های خشکی لانگ^۵، خشکی دومارتن^۶ برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد و شاخص خشکی ایرنک^۷ به مدت ۳۱ سال با هدف تعیین اراضی خشک و تغییر شرایط خشکی در عراق پرداختند. نتایج تغییرات مکانی نشان داد، حدود ۲۷ درصد از کشور را مناطق خشک و نیمه‌خشک در بر گرفته و در مورد تغییرات زمانی، مشاهده شد که شاخص‌های خشکی برای کلیه ایستگاه‌ها کاهش می‌یابد؛ به نظر می‌رسد کاهش بارندگی و افزایش دما برای این منطقه باعث بدتر شدن اوضاع در آینده خواهد شد. مطالعه (Javadinejad et al., 2020) خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی سطحی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده، شاخص رواناب استاندارد^۸ و اثر خشکسالی های آبی- هوایی بر روی آب‌های زیرزمینی توسط شاخص خشکسالی آب زیرزمینی بررسی شد. نتایج نشان داد که شرایط خشک و مرطوب بر اساس سه شاخص در دهه‌های ابتدایی و بعدی در منطقه رخ می‌دهد. بین شاخص بارش استاندارد، شاخص رواناب استاندارد و شاخص خشکسالی آب زیرزمینی در مقیاس زمانی ۱۲ ماه ارتباط معنی‌داری وجود داشت.

وجود اطلاعات بارشی دقیق مستخرج از دستگاه‌های باران‌سنج و بارن نگار ایستگاه‌های هواشناسی، در مطالعات خشکسالی به‌عنوان داده پایه ضروری می‌باشد. اما هزینه احداث و نگهداری

از اقلیم است (عباسی‌نیا و همکاران، ۱۴۰۰). موضوع تغییر اقلیم از ابتدای دهه هشتاد میلادی مطرح شده است. از دلایل آن می‌توان به تغییر محور چرخش زمین، افزایش گازهای گلخانه‌ای، فعالیت‌های انسانی، موقعیت جغرافیایی، نزدیک بودن به محیط‌های بزرگ اقیانوسی و باد غالب اشاره کرد که در این بین افزایش گازهای گلخانه‌ای نقش مؤثرتری را ایفا کرده است (بختیاری و همکاران، ۱۴۰۰). تأثیر خشکسالی هواشناسی در سیستم آب‌های زیرزمینی، به‌طور کلی در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه (Van Lanen et al., 2000; Bhuiyan et al., 2006) اتفاق می‌افتد. از آنجایی که لایه‌های آبدار زیرزمینی به‌طور عمده با بارش یا از طریق اندرکنش با آب‌های سطحی تغذیه می‌شوند، تأثیر تغییر اقلیم بر بارش و آب سطحی در نهایت بر سیستم آب زیرزمینی اثر خواهد گذاشت. خشکسالی آب زیرزمینی همچنین به ترکیب خطر فیزیکی و آسیب‌پذیری انسان در ارتباط با کاهش در دسترس بودن آب‌های زیرزمینی و دسترسی به دوره خشکسالی اشاره دارد (Yousefi Mobarhan and Villholth et al., 2013; Karimi Sangchini, 2021). پژوهش‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است: میراکبری و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی توسط شاخص جریان استاندارد^۱، شاخص بارش-تبخیرتغرق استاندارد^۲، شاخص بارش استاندارد^۳ و شاخص منابع آب زیرزمینی^۴ را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش جهت بررسی تأثیر خشکسالی‌ها بر یکدیگر، همبستگی بین شاخص‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف بررسی شد. نتایج پژوهش نشان داد که شاخص شاخص بارش-تبخیرتغرق استاندارد در مقیاس ۲۴ و ۴۸ ماهه با ۳ ماه تأخیر با شاخص خشکسالی آب زیرزمینی بیشتری همبستگی را دارد که حاکی از تأثیرگذاری خشکسالی هواشناسی بعد از گذشت دو سال و بیشتر بر منابع آب زیرزمینی است. خسروی ده کردی و همکاران (۱۳۹۸) خشکسالی‌های آب زیرزمینی دشت شهرکرد با استفاده از شاخص خشکسالی آب زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور، از آمار ۳۲ چاه پیژومتری در دشت شهرکرد در دوره ۳۱ ساله (۱۳۶۴-۹۴) استفاده شد. زندگی فر و همکاران (۱۳۹۸) روند تغییرات آب زیرزمینی و ارزیابی خشکسالی آب زیرزمینی در حوزه آبریز زهره- جراحی با استفاده از

⁵ Lang

⁶ De Martonne

⁷ Erinc

⁸ Standard Runoff Index

¹ Standard Discharge Index

² Standard Precipitation Evaporation Index

³ Standard Precipitation Index

⁴ Groundwater Resource Index

در این تحقیق از این پایگاه داده بارش برای محاسبه شاخص بارش استاندارد جهت بررسی وضعیت خشکسالی‌های منطقه مورد مطالعه استفاده گردید. با توجه به اهمیت موضوع و با استفاده از داده‌های موجود در منطقه مورد مطالعه مانند: میزان بارندگی، تراز آب زیرزمینی و دما، تلاش می‌شود که یک همبستگی بین شاخص خشکسالی منبع آب زیرزمینی و شاخص بارش استاندارد و تاثیر آن‌ها بر هم ارزیابی گردد. افت سطح آب زیرزمینی و پیامدها حاصل از آن، یکی از معضلات حال حاضر کشور محسوب می‌گردد. با توجه به تغییرات کاهشی در میزان بارش، وقوع خشکسالی‌های اخیر، افزایش فعالیت‌های کشاورزی، دامداری و صنعتی و هم چنین افزایش جمعیت به‌خصوص در ۱۰ سال اخیر باعث افزایش مصرف آب و در نتیجه کاهش ذخایر آب زیرزمینی و بیلان منفی سفره‌های آب دشت‌های قروه-دهگلان شده است (عباسی، ۱۳۹۵). به‌طور کلی هدف از این پژوهش تحلیل تغییرات زمانی خشکسالی‌های اخیر بر منابع آب زیرزمینی دشت قروه-دهگلان با استفاده از شاخص‌های خشکسالی آب زیرزمینی، بارش استاندارد در منطقه مورد مطالعه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت قروه-دهگلان یکی از ۱۱ محدوده یا دشت حوزه آبریز سفیدرود بزرگ می‌باشد که با متوسط بارندگی سالانه ۳۵۲ میلی‌متر و اقلیم نیمه‌خشک و سرد، در شرق شهرستان سنندج و شمال غربی همدان بین طول‌های جغرافیایی ۴۲'' ۴۷' ۱۴'' تا ۴۸° ۰۴' ۰۶'' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۱' ۳۵° ۰۶' تا ۳۵° ۲۰' ۰۹'' شمالی قرار دارد و از نظر زمین‌شناسی دشت قروه-دهگلان بخشی از زون ساختمانی سنندج-سیرجان بوده که جزء فعال‌ترین زون‌های ساختمانی ایران محسوب می‌گردد (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۶). حداقل و حداکثر دمای آن به ترتیب ۲۳- و ۴۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد میانگین رطوبت نسبی سالانه ۴۵ درصد و حداکثر تبخیر در تیر ماه به بیش از ۳۵۰ میلی می‌رسد اراضی دشت قروه-دهگلان غالباً جزء اراضی قابل کشت می‌باشد خاک این اراضی از نظر آبیاری و زراعت دارای استعداد و قابلیت زیادی بوده و کشت انواع گیاهان زراعی و بومی با هزینه کم عملکرد خوبی

این ایستگاه‌ها بالا بوده و در بعضی مناطق قابل احداث نمی‌باشد و این موضوع تعداد و پراکنش مناسب ایستگاه‌ها را در ارتباط با نیاز مطالعاتی اقلیم منطقه تحت شعاع قرار می‌دهد. از این رو به‌کارگیری فناوری‌های سنجش از دور و توسعه مدل‌های باز تحلیلی، به‌عنوان منابع داده‌ای جایگزین، ضرورت پیدا می‌کند. در سال‌های اخیر استفاده از این پایگاه‌های داده‌ای سنجش از دور در مطالعات خشکسالی توسعه پیدا کرده است. از جمله جدیدترین پایگاه داده‌ای بارش توسعه یافته می‌توان به CHIRPS^۹ اشاره کرد که از ترکیب ریاضی داده‌های ماهواره ای مادون قرمز ایجاد شده است و از جمله ویژگی مهم در کاربرد آن، قدرت تفکیک مکانی و زمانی این داده‌ها است. پایگاه داده‌ای بارش توسعه یافته با قدرت تفکیک ۰/۰۵ درجه، از نظر قدرت تفکیک مکانی و زمانی یکی از بهترین پایگاه داده‌ای بارش در دنیا است (غلامی و همکاران، ۱۴۰۲). از جمله مطالعات مشابهی که تاکنون در زمینه کاربرد پایگاه داده‌ای انجام شده عبارتند از: Gao et al., (2018) در بررسی عملکرد پایگاه داده بارش توسعه یافته را با استفاده از شاخص بارش استاندارد برای حوزه آبریز رودخانه‌های در کشور چین به این نتیجه رسیدند این پایگاه داده‌ای در شناسایی خشکسالی‌ها در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه عملکرد خوبی داشته است. Mianabadi et al., (2022) در مطالعه خود عملکرد پایگاه CHIRPS در شناسایی خشکسالی‌ها و روند آن در جنوب شرق کشور ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد این پایگاه داده در مقیاس‌های ماهانه و فصلی نسبت به مقیاس روزانه عملکرد بهتری دارد. همچنین استمرار خشکسالی‌ها در مقیاس‌های ۳، ۶ و ۹ ماهه کاهش یافته در حالی که شدت خشکسالی‌ها افزایش داشته است. Das, (2022) در بررسی کارایی پایگاه‌های CHIRPS و PERSIANN-CDR^{۱۰} در محدوده دریاچه ویکتوریا گزارش کردند که هر دو پایگاه داده توانایی مناسبی در آشکارسازی رفتار شدت خشکسالی‌ها در گام‌های زمانی ۳، ۶ و ۹ دارند و همچنین CHIRPS توانایی بهتری نسبت به PERSIANN-CDR از خود نشان داد. با توجه به نتایج قابل قبول پایگاه داده بارش توسعه یافته در زمینه مطالعات خشکسالی و مطالعات انگشت‌شمار صورت گرفته در این زمینه در اقلیم‌های مختلف ایران، قابلیت‌ها و عملکرد این داده‌ها در کشور نیازمند بررسی‌های بیشتر می‌باشد. از این رو

¹⁰ Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks-Climate Data Record

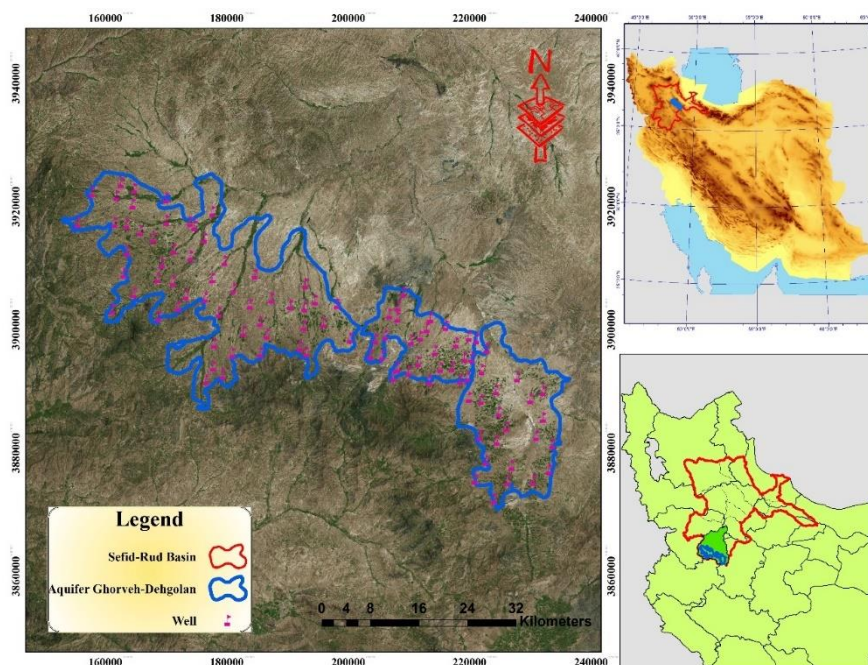
⁹ Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data

مخاطرات طبیعی است. این پایگاه داده‌ها برای مناطق با عرض جغرافیایی ۵۰ درجه شمالی و جنوبی به صورت روزانه و ماهانه قابل دسترس است. این پایگاه یک مجموعه داده با بیش از سی سال بارندگی و قدرت تفکیک مکانی ۰/۰۵ درجه در مقیاس جهانی است که در این تحقیق از اوایل ژانویه ۲۰۰۰ تا ابتدای آوریل ۲۰۲۱ به صورت ماهانه استخراج گردید. این خروجی تنها یک داده خام نبوده بلکه توسط ایستگاه‌های هواشناسی تدقیق شده است. خروجی این پایگاه بیشتر برای ارزیابی خشکسالی‌های هواشناسی به کار می‌رود (Funk et al., 2015؛ غلامی و همکاران، ۱۴۰۲).

دارد این اراضی دارای خاک‌های سطحی عمیق با بافت متوسط تا سنگین و قدرت نگهداری آب زیاد می‌باشند. دشت قروه-دهگلان با اراضی کشاورزی (گندم و جو)، مراتع دامداری، زمین‌های بایر و کوهستانی، و توسعه محدود شهری شناخته می‌شود و با چالش‌هایی مانند فرسایش خاک و کاهش منابع آب روبرو است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

پایگاه داده CHIRPS

CHIRPS پایگاه داده جهانی بارش رستری مستخرج از ماهواره‌های مادون قرمز و ایستگاه‌های هواشناسی گروه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نسبت به کشور.

Figure 1- location of the study area in the country.

محیط‌زیست، خشکسالی هم از نظر فراوانی رخداد و هم از جنبه‌ی اندازه‌ی زیان‌های وارده در صدر قرار دارد (یوسفی مبرهن و زندی‌فر، ۱۴۰۲). این پدیده در درازمدت موجب کاهش منابع آب، از طریق خشکیدگی جریان‌های سطحی و زیرزمینی می‌گردد. بدین منظور از شاخص خشکسالی برای بیان کمی این پدیده استفاده شده است. معمولاً این شاخص‌ها به صورت نقطه‌ای محاسبه می‌شوند و لازم است تا به صورت مکانی پردازش شده و نقشه‌های مربوط ارائه گردند. شاخص خشکسالی آب زیرزمینی به‌عنوان شاخصی قابل اعتماد به‌منظور پایش وضعیت خشکسالی آب زیرزمینی پیشنهاد شد

الگوریتم بارشی سنجش از دور CHIRPS در سامانه گوگل ارث انجین وجود داشته و اطلاعات مورد نیاز پس از مشخص کردن زمان و مکان مورد مطالعه، اندازه پیکسل‌ها و نوع محصول استخراج شده است. در این تحقیق از داده‌های مستخرج از این الگوریتم برای محاسبه شاخص استاندارد بارش جهت بررسی شرایط خشکسالی منطقه مورد مطالعه در بازه‌های ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده شد.

بررسی شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیکی

خشکسالی یکی از زیان‌بارترین، مخاطرات طبیعی به‌شمار می‌رود. در بین بلاهای طبیعی تهدیدکننده‌ی انسان و

سطح آب در آبخوان را تعیین کرد (یوسفی مبرهن و زندی فر، ۱۴۰۲).

تعیین شاخص بارش استاندارد

شاخص بارش استاندارد یکی از پرکاربردترین شاخص‌هایی است که در پایش خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Yousefi mobarhan et al., 2024). این شاخص جهت کمی کردن بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف جهت پایش خشکسالی هواشناسی استفاده می‌شود (فردمرادی نیا و همکاران، ۱۴۰۳). طول این دوره می‌تواند از یک ماه تا چندین سال متغیر باشد. معادله ۲ برای محاسبه شاخص بارش استاندارد می‌باشد که سپس براساس دو مقدار نشان داده شده در یک جدول طبقه‌بندی می‌شود. در این مطالعه از پایگاه داده‌ای CHIRPS برای محاسبه این شاخص استفاده شده است:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (2)$$

که در آن SPI: شاخص بارش استاندارد

P_i : مقدار بارندگی دوره

\bar{P} : متوسط بارندگی دوره آماری موردنظر

SD: انحراف معیار بارندگی دوره آماری موردنظر

جدول ۲- طبقه‌بندی مقادیر خشکسالی در SPI (عباسی نیا و همکاران، ۱۴۰۰).

Table 2- Classification of Drought Values in SPI index.

NO.	Severity of drought	SPI
1	Acute fear	2<
2	severe fear	1.99-1.50
3	Moderate fear	1.49-1
4	normal	0.99-0
5	Mild drought	0- (-0.99)
6	Moderate drought	(-1)- (-1.49)
7	severe drought	(-1.5)- (-1.99)
8	Acute drought	< -2

نتایج و بحث

پایش زمانی خشکسالی با استفاده از بارش استاندارد

منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص بارش استاندارد، براساس دوره زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه از نظر خشکسالی طبقه‌بندی شده است. مقدار شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی ذکر شده با استفاده از پایگاه داده‌ای CHIRPS به دست آمد. براساس نتایج به دست آمده در بازه زمانی ۱ ماهه منطقه مورد مطالعه از نظر خشکسالی با

(Mendicino et al., 2008). شاخص GRI نشان‌دهنده میزان آب ورودی به سفره‌های زیرزمینی است و می‌تواند برای بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد. مقدار این شاخص با استفاده از رابطه ۱ 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 مقادیر تراز آب زیرزمینی در ماه m در طول دوره آماری می‌باشند (Mendicino et al., 2008). طبقه‌بندی مقادیر شاخص خشکسالی آب زیرزمینی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- طبقه بندی شدت خشکسالی با استفاده از شاخص

خشکسالی آب زیرزمینی.

Table 1- Classification of drought severity with GRI index.

NO	Drought classes	GRI
1	Very intense fear	≥ 2
2	severe fear	2 -1.5
3	Moderate fear	1.5-1
4	Mild fear	1-0.5
5	normal	0.5- (-0.5)
6	Mild drought	(-0.5)- (-1)
7	Moderate drought	(-1)- (-1.5)
8	severe drought	(-1.5)- (-2)
9	Very intense drought	$-2 \leq$

بررسی تغییرات درازمدت و نوسانات سطح آب زیرزمینی

به منظور بررسی میزان افت سطح آب، تراز آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای مربوط به مهر ماه سال ۱۳۹۷ از تراز آب در مهر ماه ۱۳۹۲، تراز آب در مهر ماه ۱۳۹۲ از تراز آب در مهر ماه ۱۳۸۷ و نیز تراز آب در مهر ماه ۱۳۸۷ از تراز آب در مهر ماه ۱۳۸۰ کسر می‌گردد و نقشه پهنه‌بندی تغییرات آب زیرزمینی در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.3 تهیه گردید. به منظور بررسی تغییرات درازمدت و نوسانات سطح آب- زیرزمینی و نیز تشخیص دوره‌های افزایش و کاهش سطح آب، آبنمود معرف در طول دوره آماری برای آبخوان قروه تهیه شده است. هیدروگراف واحد یا آبنمود معرف، هیدروگراف متوسطی است که معرف آبخوان‌های منطقه است و از طریق آن، تغییرات سطح آب در طول دوره‌های مختلف چندین ساله و بالا رفتن و پایین آمدن سطح آب آبخوان مشخص می‌شود. با توجه به هیدروگراف واحد می‌توان دوره‌های بیشینه و کمینه

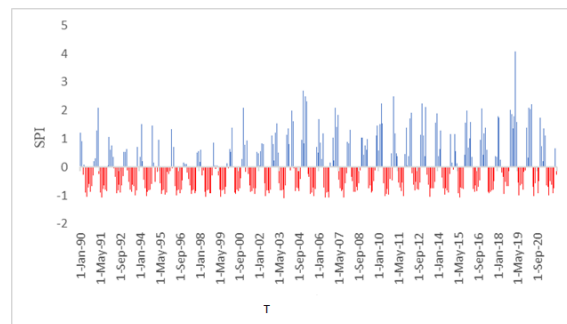
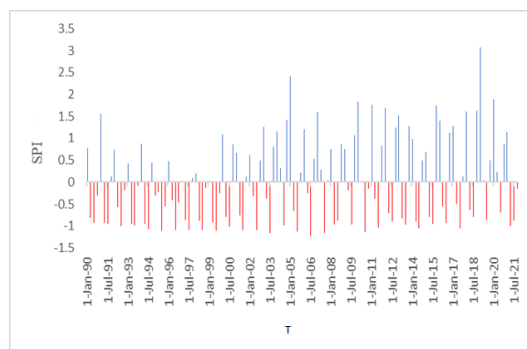
عملکرد پایگاه داده CHIRPS در آشکارسازی خشکسالی، عباسی و همکاران (۱۳۹۵)، همچنین با نتایج مطالعات یاسمنی و همکاران (۱۳۹۱) و مطالعه Mendicino et al., (2008)، همخوانی و در بررسی تغییرات مکانی کیفی آب زیرزمینی در دشت قروه دهگلان (یوسفی مبرهن و زندی فر، ۱۴۰۲) مطابقت دارد.

جدول ۳- طبقه بندی خشکسالی براساس شاخص بارش استاندارد در منطقه مورد مطالعه.

Table 3- Classification of drought based on SPI index in the study area.

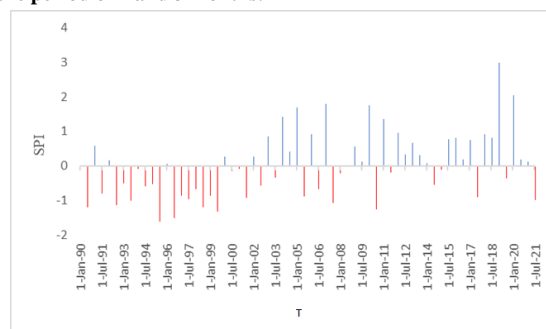
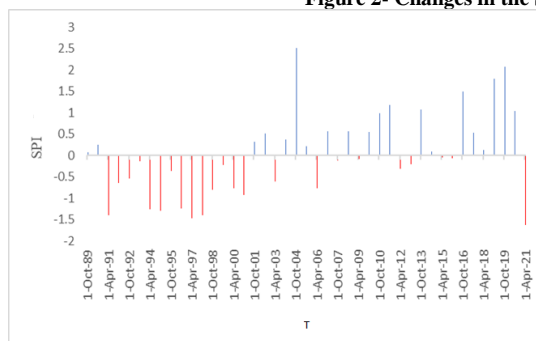
NO.	time (months)	Classification of drought
1	1	normal
2	3	normal
3	6	normal
4	9	normal
5	12	normal
6	24	normal
7	48	normal

استفاده از شاخص بارش استاندارد در طبقه متوسط قرار می-گیرد. در بازه زمانی ۳ ماهه در طبقه نرمال قرار گرفت، در بازه ۶ ماهه منطقه مذکور در طبقه نرمال قرار گرفت، در بازه زمانی ۹ ماهه براساس طبقه بندی شاخص بارش استاندارد منطقه مورد مطالعه در طبقه نرمال قرار گرفته است، در دوره زمانی ۱۲ ماهه خشکسالی در طبقه متوسط قرار گرفت و در بازه های زمانی ۲۴ و ۴۸ ماهه به ترتیب در طبقات نرمال و متوسط قرار گرفت. جدول ۳ بیانگر طبقات خشکسالی براساس دوره های زمانی مذکور می باشد (شکل های ۲ تا ۵). نتایج به دست آمده با نتایج مطالعه فروتن و گلپایگانی (۱۳۹۹) در بررسی تغییرات آب زیرزمینی و شاخص خشکسالی در حوضه آبخیز شریف آباد قم و مطالعه جهانشاهی و همکاران (۱۴۰۱) در ارزیابی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص بارش استاندارد در شهر بابک و غلامی و همکاران (۱۴۰۲) در ارزیابی



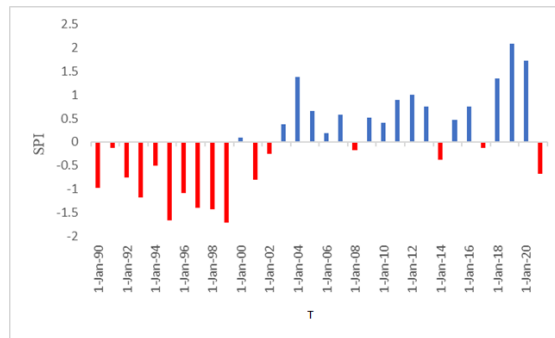
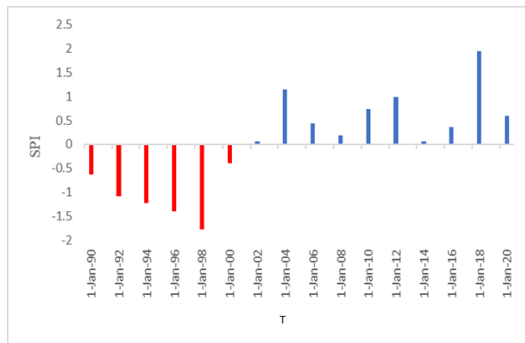
شکل ۲- نمودار تغییرات شاخص بارش استاندارد در دوره زمانی ۱ و ۳ ماهه.

Figure 2- Changes in the SPI in the period of 1 and 3 months.



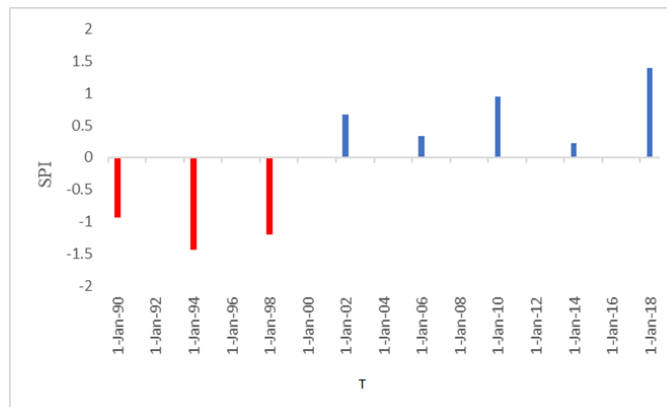
شکل ۳- نمودار تغییرات شاخص بارش استاندارد در دوره زمانی ۶ و ۹ ماهه.

Figure 3- Changes in the SPI in the period of 6 and 9 months.



شکل ۴- نمودار تغییرات شاخص بارش استاندارد در دوره زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه.

Figure 4- Changes in the SPI in the period of 12 and 24 months.



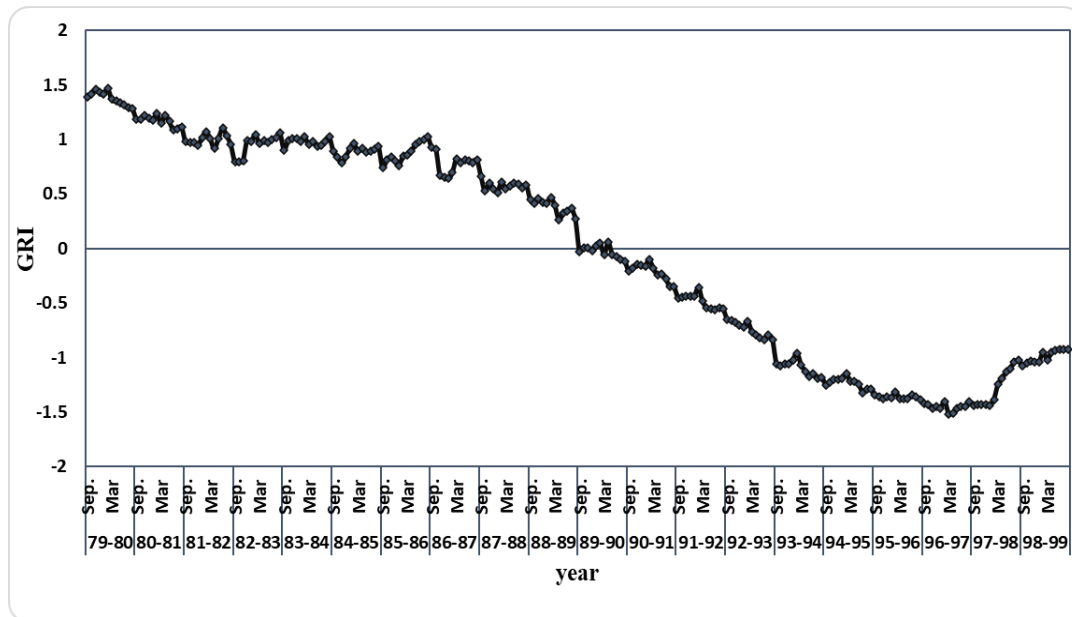
شکل ۵- نمودار تغییرات شاخص بارش استاندارد در دوره زمانی ۴۸ ماهه.

Figure 5- Changes in the SPI in the period of 48 month.

طول دوره آماری بیست ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۹) برای آبخوان قروه نشان داده شده است. براساس این نمودار، شاخص منابع آب زیرزمینی در طول دوره آماری بیست ساله روندی نزولی به سمت خشکسالی دارد به طوری که از سال ۱۳۹۰ شاخص خشکسالی منفی شده و تا پایان دوره آماری مقادیر منفی شاخص ادامه یافته که بیانگر کاهش سطح آب زیرزمینی در منطقه است. همچنین سال ۱۳۹۷ در طبقه بندی خشکسالی شدید با رقم شاخص $-1/52$ به وقوع پیوسته است.

پایش زمانی خشکسالی منابع آب زیرزمینی دشت

در سال های اخیر به علت کاهش منابع آب سطحی، با افزایش شدید در استفاده از آب های زیرزمینی این دشت مواجه هستیم که به تبع آن سطح آب زیرزمینی در اکثر نواحی آن به صورت چشمگیری افت پیدا کرده است. تا به حال شاخص های خشکسالی متعددی جهت پیش بینی و تعیین شدت خشکسالی ارائه شده است، اما شاخصی جهت برآورد شدت خشکسالی آب های زیرزمینی در این دشت ارائه نشده است. در شکل ۶ مقادیر شاخص خشکسالی آب زیرزمینی در



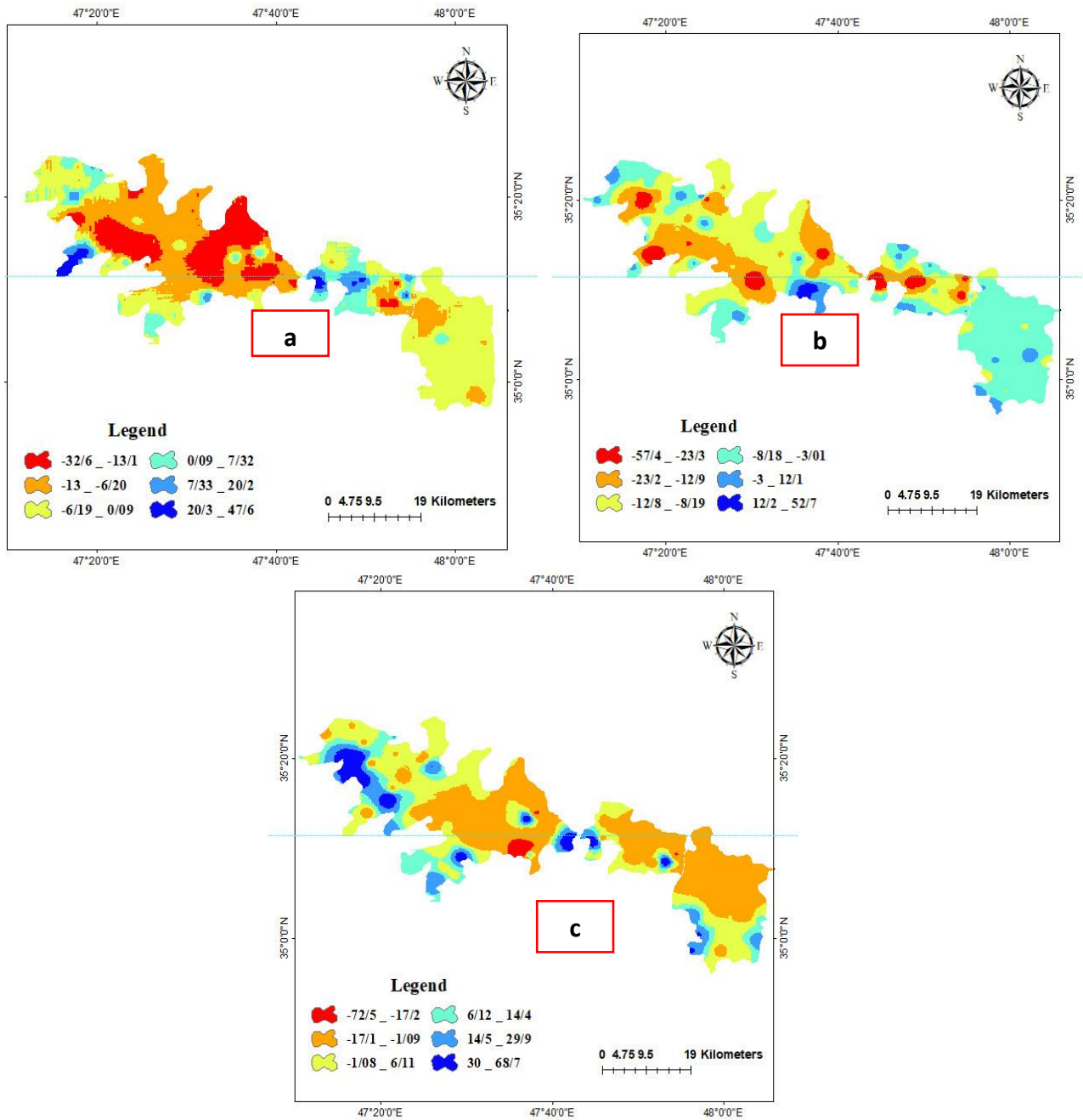
شکل ۶- تغییرات شاخص خشکسالی منبع آب زیرزمینی آبخوان دشت در دوره بیست ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۹).

Figure 6- Changes in the GRI in the period of 20 years.

تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی

زمانی ۱۳۹۷-۱۳۹۲ (ج) محدوده بسیار کوچکی از جنوب دشت با بیش از ۷ متر افت، بیشترین کاهش تراز آب زیرزمینی در ۳ دوره زمانی، در برخی مناطق شرایطی بدون تغییر و حتی در قسمت‌های غربی منطقه افزایش تراز داشته‌اند. همچنین بخش‌هایی از منطقه تا ۹ متر افزایش تراز داشته‌اند. اعداد به‌دست آمده از بخش‌های مختلف دشت نشان‌دهنده افزایش افت سطح آب در هر دوره نسبت به دوره قبل می‌باشد. نتایج حاصل از تغییرات افت آب زیرزمینی با تحقیقات یوسفی مبرهن و زندی‌فر (۱۴۰۲) در دشت قروه-دهگلان، احمدی و رنجبر (۱۳۹۱) در دشت دهگلان، زارعی و همکاران (۱۳۹۸) در دشت قروه همخوانی و همسویی نزدیکی دارد. احمدی و همکاران (۱۳۹۱) دریافتند که در طی دو دوره ۱۰ ساله (۱۳۸۰-۱۳۹۰) به طور میانگین از حدود ۳/۲ متر تا ۱۵/۵ متر دچار افت سطح آب زیرزمینی شده است. همچنین زارعی و همکاران به این نتیجه رسیده است که در طی دو دوره پنج ساله (۱۳۸۳-۱۳۹۲) به ترتیب ۲/۱ و ۵/۷ متر آب زیرزمینی آبخوان قروه افت پیدا کرد. شکل ۷ پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی را نشان می‌دهد.

مناطق که دارای مقادیر منفی هستند یعنی سطح آب زیرزمینی در انتهای دوره نسبت به ابتدای آن، نسبت به سطح زمین کمتر شده و مناطقی که دارای مقادیر مثبت هستند یعنی سطح آب زیرزمینی در انتهای دوره نسبت به ابتدای آن، نسبت به سطح زمین بیشتر شده است. در دوره زمانی ۱۳۸۷-۱۳۸۰ (الف) بیشترین و کم‌ترین تراز آب زیرزمینی به ترتیب معادل ۳/۲ متر و ۴/۷ متر در منطقه است. در طی دوره زمانی ۱۳۸۷-۱۳۹۲ (ب)، فقط تعداد محدودی از چاه‌ها، افزایش سطح آب داشته‌اند یعنی با بهره‌برداری از چاه‌های منطقه مورد مطالعه که در دوره زمانی اول، وضعیت مطلوبی داشت به مناطقی تبدیل شده‌اند که سطح تراز آب زیرزمینی کاهش یافته است همچنین شدت افت دوره زمانی دوم (ب) به دوره اول (الف) بیشتر بوده به طوری که بیش از ۹۰ درصد از دشت با کاهش سطح آب زیرزمینی (۵/۷ تا ۱ متر) مواجه شده است که نشان می‌دهد این نواحی وضعیت خوبی از نظر تراز آب زیرزمینی ندارند که می‌تواند به دلیل افزایش چاه‌های بهره‌برداری و تخلیه از آبخوان باشد که باعث پایین رفتن سطح آب زیرزمینی در این قسمت از آبخوان شده است. در طی دوره



شکل ۷- پهنه‌بندی تغییرات افت آب زیرزمینی (برحسب سانتی‌متر) در سه دوره زمانی ۸۷-۸۰ (الف)، ۹۲-۸۷ (ب) و ۹۷-۹۲ (ج).
Figure 7- Groundwater Level Change Zoning (in cm) during three time periods 2001-2008 (a), 2008-2013 (b), and 2013-2018 (c).

بررسی ارتباط شاخص خشکسالی آب زیرزمینی با شاخص بارش استاندارد

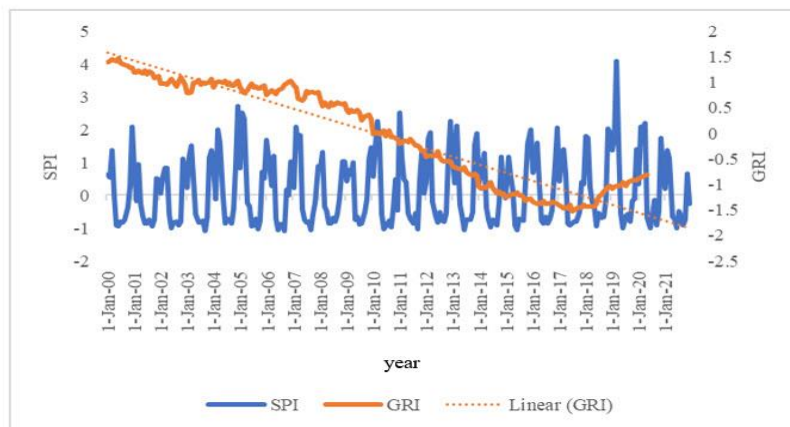
با تجزیه و تحلیل دقیق‌تر نمودار همبستگی در مقایسه شاخص‌های بارش استاندارد و منبع آب زیرزمینی، مشخص شد که در طول بازه زمانی تحت بررسی، شاخص منابع آب زیرزمینی همراه با تشدید شدت خشکسالی افزایش یافت. علاوه بر این، ارتباط بین شاخص خشکسالی آب زیرزمینی و شاخص بارش استاندارد (SPI) عمدتاً به تأخیر زمانی در پاسخ منابع آب زیرزمینی به بارش، خصوصیات

بررسی ارتباط شاخص خشکسالی آب زیرزمینی با شاخص بارش استاندارد

در حالی که الگوی روند شاخص خشکسالی آب زیرزمینی با شاخص بارش استاندارد ارتباط داشت. نمودار ارائه شده در زیر نشان می‌دهد (شکل ۸) که یک همبستگی قوی بین شاخص‌های خشکسالی آب زیرزمینی و بارش استاندارد در این زمینه وجود ندارد. نبود همبستگی قوی بین شاخص خشکسالی منابع آب زیرزمینی (GRI) و شاخص بارش استاندارد (SPI) عمدتاً به تأخیر زمانی در پاسخ منابع آب زیرزمینی به بارش، خصوصیات

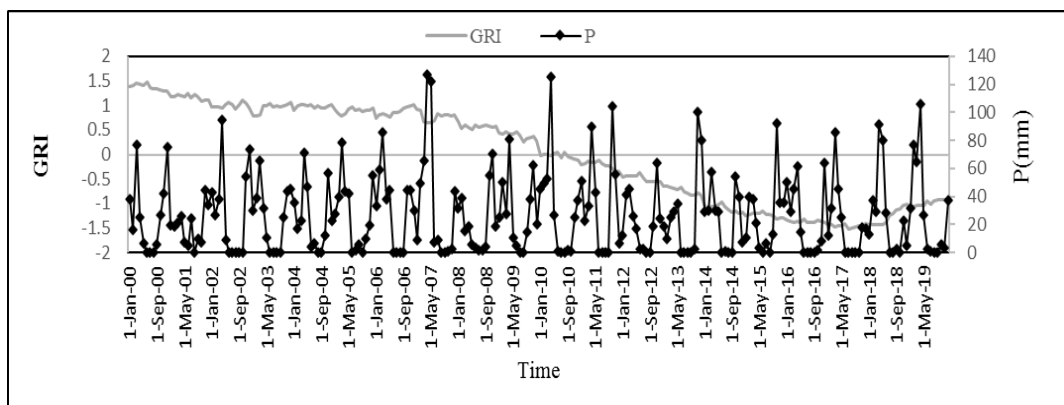
Hazarika, (2010) در تاثیر خشکسالی بر آب زیرزمینی در شمال بنگلادش، ایمانی و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی آثار خشکسالی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد، صیف و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی اثر خشکسالی بر آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت فسا، چمن‌پیرا و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی تاثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت الشتر، بختیاری و همکاران (۱۳۹۴) در آبخوان دشت هشتگرد، آخورمه و همکاران (۱۳۹۴) در ارزیابی خشکسالی آب زیرزمینی دشت مرودشت خرامه استان فارس و بررسی‌های نوری و ملکیان (۱۴۰۲) مطابقت دارد. همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است بین بارش سالانه و مقدار شاخص بارش استاندارد رابطه مثبت برقرار است. به عبارت دیگر در سال‌هایی که مقدار بارش کاهش یافته شاخص نیز کاهش یافته است و بالعکس؛ که با نتایج مطالعات عباسی‌نیا و همکاران (۱۴۰۰) مطابقت دارد.

هیدروژئولوژیکی منطقه (مانند نفوذپذیری و عمق سفره‌ها)، تأثیر فعالیت‌های انسانی (مانند برداشت بی‌رویه)، توزیع مکانی و زمانی نامناسب بارش، و مقیاس‌های زمانی متفاوت این شاخص‌ها بازمی‌گردد. مطالعات اخیر نشان می‌دهند که SPI تنها به تغییرات کوتاه‌مدت بارش توجه دارد، در حالی که GRI متأثر از تغییرات بلندمدت و عواملی غیر از بارش، مانند تغذیه غیرمستقیم و جریان‌های زیرسطحی، است (میریعقوب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). این پیچیدگی‌ها بیانگر اهمیت در نظر گرفتن عوامل فراتر از بارش در تحلیل خشکسالی منابع آب زیرزمینی هستند. به طور کلی، در دوره‌های با بارندگی قابل‌توجه، ارزش شاخص خشکسالی آب زیرزمینی افزایش می‌یابد، در حالی که در دوره‌های خشکسالی، مقدار تراز آب زیرزمینی کاهش می‌یابد (شکل ۹)، با نتایج مطالعات Khan et al., (2008) در بررسی خشکسالی و تأثیرات آن بر سطح آب زیرزمینی در اراضی کشاورزی بخشی از استرالیا، Shahid and



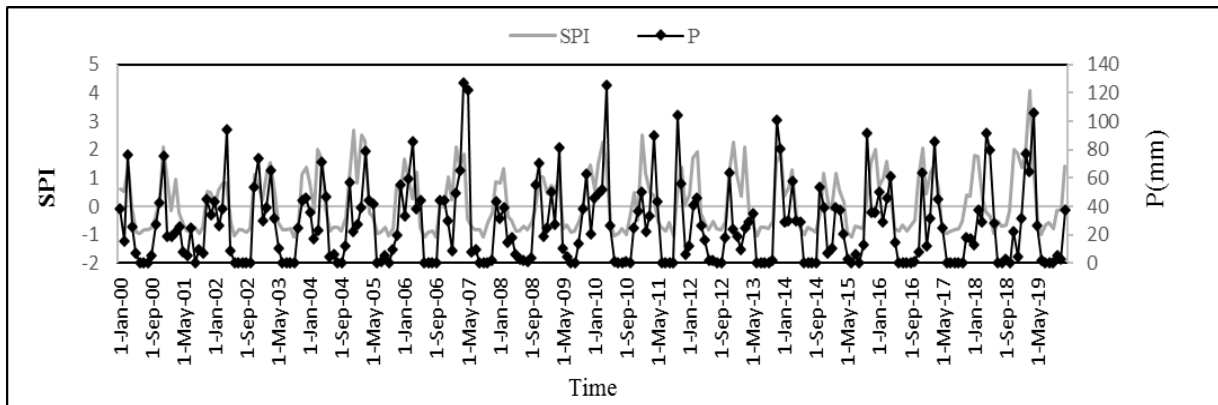
شکل ۸- نمودار رابطه تغییرات بین شاخص‌های خشکسالی آب زیرزمینی و بارش استاندارد.

Figure 8- The relationship of changes between GRI and SPI.



شکل ۹- نمودار رابطه تغییرات بین بارش و شاخص خشکسالی آب زیرزمینی.

Figure 9- The relationship of changes between Rain and GRI.



شکل ۱۰- نمودار رابطه تغییرات بین بارش و شاخص بارش استاندارد.
Figure 10- The relationship of changes between Rain and SPI.

نتیجه گیری

قره-دهگلان در طول دوره آماری ۲۰ سال نشان داد بیشترین میزان افت مربوط به سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۸۸ است که نسبت به سال قبل خود با افت ۲/۸۵ متری مواجه شده است. تراز آب زیرزمینی دشت قره-دهگلان در تمامی پیژومترها روند کاهشی داشته و افت تراز آب زیرزمینی کاهش چشم‌گیری داشته است. بررسی ارتباط بین دو شاخص نشان داد که این دو شاخص ارتباط معنی‌داری با یکدیگر ندارند در صورتی که در دوره‌های خشکسالی میزان تراز آب زیرزمینی کاهش و برعکس آن در دوره‌های ترسالی میزان تراز آب زیرزمینی در منطقه افزایش می‌یابد. همچنین نتایج حاکی از برقراری یک رابطه مثبت بین بارش سالانه و شاخص بارش استاندارد می‌باشد. یعنی در سال‌هایی که مقدار بارش افزایش یافته، مقدار شاخص بارش استاندارد نیز افزایش پیدا کرده است و برعکس. لازم به ذکر است که عدم همبستگی قوی بین SPI و GRI نشان‌دهنده پیچیدگی روابط بین منابع آب زیرزمینی و بارش است و بر لزوم در نظر گرفتن عوامل هیدرولوژیکی، انسانی، مکانی در تحلیل‌ها تأکید می‌کند. به نظر می‌رسد سهم عمده کاهش ذخایر آبی دشت در درجه نخست به عوامل انسانی مربوط است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). اضافه برداشت و افت سطح آب زیرزمینی، روند رو به رشد تعداد چاه‌های بهره‌بردا و به دنبال آن افزایش برداشت و تخلیه از سفره آب زیرزمینی سبب افت مستمر سطح آب زیرزمینی دشت قره-دهگلان در دوره آماری مطالعه شده شده است.

منابع

احمدی آخورمه، م.، نوحه‌گر، الف.، سلیمانی‌مطلق، م.، طایب سمیرمی، م.، ۱۳۹۴. بررسی خشکسالی آب‌زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SWI و GRI در آبخوان محدوده

آب زیرزمینی منبع اصلی تأمین نیازهای کشاورزی بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود؛ بنابراین داشتن یک کشاورزی پایدار نیازمند مدیریت و برنامه‌ریزی دقیق در مورد نحوه استفاده از این منابع است که این خود مستلزم داشتن شناخت کافی در مورد تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی در یک دوره زمانی مشخص است. آب‌های زیرزمینی در طی دهه‌های اخیر به دلیل برداشت بیش از تغذیه با کاهش کمی روبرو شده‌اند. در این مطالعه روند ارتباط سطح آب زیرزمینی با شاخص بارش استاندارد در دوره زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفت که نتایج زیر حاصل گردید: با توجه به نتایج به دست آمده و بررسی شاخص بارش استاندارد به دست آمده از اطلاعات پایگاه داده CHIRPS نشان داد که منطقه مورد مطالعه در خشکسالی نزدیک به نرمال طبقه‌بندی شد. نتایج طبقه‌بندی اقلیمی در سه ایستگاه سینوپتیک در منطقه نشان داد که این منطقه در طبقه نیمه‌خشک اقلیمی قرار دارد هرچند که با تداوم کاهش نزولات جوی پتانسیل این وجود دارد که این منطقه در طبقه اقلیمی خشک هم قرار بگیرد. شاخص منابع آب زیرزمینی در طول دوره آماری بیست ساله روندی نزولی به سمت خشکسالی دارد به طوری که از سال ۱۳۹۰ شاخص خشکسالی منفی شده و تا پایان دوره آماری این مقادیر ادامه‌دار است. نتایج به دست آمده از نقشه‌های هم‌پهنه افت، نشان داد که بیش‌ترین سطح آب زیرزمینی در دوره زمانی سوم (۱۳۹۲-۱۳۹۷) در بخش جنوبی آبخوان به اندازه ۷/۳ متر، در دوره زمانی دوم (۱۳۸۷-۱۳۹۲) در بخش مرکزی آبخوان به اندازه ۵/۷ متر و در دوره زمانی اول (۱۳۸۰-۱۳۸۷) در بخش‌های شمالی و میانی به اندازه ۳/۳ متر افت پیدا کرده است. میانگین میزان تراز آب زیرزمینی دشت

- مطالعاتی مرودشت خرامه استان فارس. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران ۱۶(۱): ۱۰۵-۱۱۸.
- احمدی، ف.، رنجبر، ح.، ۱۳۹۱. بررسی افت سطح آب زیرزمینی دشت دهگلان با استفاده از GIS. سی و یکمین همایش علوم زمین، ۱۱ آذر ۱۳۹۱، تهران.
- ایزدی، ع.، داوری، ک.، علیزاده، الف.، قهرمان، ب.، ۱۳۸۷. کاربرد مدل داده‌های ترکیبی در پیش بینی سطح آب زیرزمینی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۲): ۱۳۳-۱۴۴.
- ایمانی، م.، طالبی اسفندارانی، ع.، ۱۳۹۰. بررسی اثر خشکسالی بر تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد با استفاده از شاخص‌های GRI, SPI. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۰. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- بختیاری، ب.، مهدوی، ن.، سیاری، ن.، ۱۴۰۰. تحلیل حساسیت و بررسی تغییرات شاخص خشکی (AI) در چند نمونه اقلیمی ایران. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۷(۱): ۱-۱۵.
- بختیاری، ب.، ملکیان، الف.، سلاجقه، ۱۳۹۴. آنالیز همبستگی پایه زمانی و تأخیر زمانی بین خشکسالی اقلیمی و خشکسالی آب‌شناختی دشت هشتگرد. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۶(۴): ۶۰۹-۶۱۶.
- بهروزی خورگو، س.، قاسمی، س.، ۱۳۹۹. تعیین نوع اقلیم جزیره ابوموسی با استفاده از روش دومارتن. پنجمین همایش بین المللی و یازدهمین همایش ملی گردشگری جغرافیا و محیط زیست پایدار. ۲۳ اسفند ۱۳۹۹. همدان.
- جهانشاهی، الف.، مقدم نیا، ع.، نهتانی، م.، ۱۴۰۱. ارزیابی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SPI (مطالعه موردی: دشت شهر بابک، استان کرمان). مهندسی اکوسیستم بیابان، ۵(۱۰): ۸۵-۹۸.
- خسروی ده کردی، الف.، میرعباسی نجف آبادی، ر.، صمدی بروجنی، ح.، قاسمی دستگردی، الف.، ۱۳۹۸. پایش و پیش‌بینی خشکسالی‌های آب زیرزمینی دشت شهرکرد
- با استفاده از شاخص GRI و مدل زنجیره مارکف. نشریه هیدروژئولوژی، ۴(۱): ۱۲۵-۱۱۱.
- چمن‌پیرا، غ.، زهتابیان، غ.، احمدی، ح.، ملکیان، الف.، ۱۳۹۴. بررسی تاثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی به‌منظور مدیریت بهینه بهره‌برداری، مطالعه موردی: دشت الشتر. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۶(۱): ۱۰-۲۰.
- رحمتی، الف.، نظری سامانی، ع.الف.، مهدوی، ۱۳۹۶. ارزیابی کارایی روش تحلیل سلسله مراتبی در پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت قروه-دهگلان). نشریه علمی - پژوهشی مرتع و آبخیزداری، ۷۰(۴)، ۸۶۹-۸۷۹.
- زارعی، الف.، نکوئی اصفهانی، الف.، نوروزی الف.، کاکاپور، و زارعی، س.، ۱۳۹۸. شناسایی مناطق تغذیه و تخلیه آبخوان دشت قروه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). فصلنامه زمین شناسی محیط زیست، ۱۳(۴۸)، ۳۹-۵۱.
- زندى فر، س.، فیجانی، الف.، نعیمی، م.، خسروشاهی، م.، ۱۳۹۸. تغییرات زمانی و مکانی شاخص خشکسالی آب زیرزمینی، مطالعه موردی: حوزه آبریز زهره- جراحی. مجله هیدروژئولوژی، ۲(۴): ۱۰۸-۱۳۰.
- صیف، م.، ۱۳۹۱. ارزیابی تاثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت فسا در استان فارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- عباسی‌نیا، ع.، مرشدی، ج.، ظهوریان، م.، قربانیان، ج.، ۱۴۰۰. تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و GRI در ارزیابی خشکسالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی، مطالعه موردی: دشت مهران استان ایلام. جغرافیای طبیعی، ۱۴(۵۱)، ۹۵-۱۱۴.
- عباسی، ف.، فرزادمهر، ج.، چپی، ک.، بشیری، م.، آذرخشی، م.، ۱۳۹۵. تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت قروه و دهگلان و ارتباط آن با خشکسالی. هیدروژئولوژی، ۱(۲)، ۱۱-۲۳.
- غلامی، س.، فرج زاده، م.، قویدل، ی.، ۱۴۰۲. بررسی تطبیقی عملکرد پایگاه‌های داده CHIRPS و ERA5-Land در

- آشکارسازی خشکسالی‌های ایران. فصل‌نامه جغرافیای طبیعی. ۱۵(۶۱):۱-۲۲.
- فرد مرادی‌نیا، س.، باقری، ا.، جانی، ر.، فلسفیان، ا.، ۱۴۰۳. تحلیل و بررسی شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: روستای ماهنشان از توابع استان زنجان. مجله علوم ومهندسی آب‌خیزداری ایران، ۱۸(۶۵):۸۴-۷۴.
- فروتن، الف.، گلپایگانی، ف.، ۱۳۹۹. بررسی رابطه تغییرات آب زیرزمینی و شاخص خشکسالی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شریف آباد در استان قم). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۵)، ۲۵۵-۲۶۵.
- مزیدی، الف.، عنایت پور، م.، حسینی، س.، ۱۴۰۰. تعیین اقلیم استان کرمان با استفاده از روش‌های منحنی آمبروترمیک، ضریب خشکی دومارتن، اقلیم نمای آمبروزه. جغرافیا و روابط انسانی، ۴(۲): ۳۵-۴۳.
- محمدی، ص.، ناصری، ف.، نظری‌پور، حمید، ۱۳۹۷. بررسی تغییرات زمانی و اثر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد (SPI) و منابع آب زیرزمینی (GRI). اکوهیدرولوژی، ۱۱(۱): ۲۲-۱۱.
- میراکبری، م.، مرتضایی فریزه‌ندی، ق.، محسنی ساروی، م.، ۱۳۹۷. بررسی تاثیر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی توسط شاخص‌های SDI، SPEI، SPI و GRI. نشریه علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، سال ۱۲(۴۲): ۸۱-۷۰.
- میریعیوب‌زاده، م. ح.، خسروی، س. ا.، ذبیحی، م.، ۱۳۹۸. مروری بر شاخص‌های خشکسالی و بررسی عملکرد آن‌ها. آب و توسعه پایدار. ۶(۱)، ۱۱۲-۱۰۳.
- نوری، ز.، ملکیان، ا.، ۱۴۰۲. پهنه‌بندی شدت خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک در مناطق خشک و ارتباط آن با خشکسالی‌های هواشناسی (مطالعه موردی: دشت گرمسار). نشریه علمی - پژوهشی مرتع و آب‌خیزداری، ۷۶(۲): ۱۰۶-۱۱۴.
- یاسمنی، س.، محمدزاده، ح.، مساعدی، الف.، ۱۳۹۱. بررسی اثر خشکسالی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت
- تربت جام - فریمان با بکارگیری شاخص‌های SPI و GRI. شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. ۱۴ شهریور ۱۳۹۱. شیراز. ایران.
- یوسفی مبرهن، الف.، زندی‌فر، س.، ۱۴۰۲. پهنه‌بندی تغییرات افت سطح آب زیرزمینی و پایش زمانی خشکسالی در دشت قروه-دهگلان. سامانه‌های سطوح آبیگر باران (علمی - پژوهشی)، ۱۱(۱)، ۳۵-۱۷.
- یوسفی مبرهن، الف.، زندی‌فر، س.، ۱۴۰۲. بررسی و پایش زمانی شاخص GRI بر نوسانات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت زنجان). حفاظت منابع آب و خاک (علمی - پژوهشی)، ۱۲(۴)، ۸۷-۹۹.
- Bhuiyan, C., Singh, R.P., Kogan, F.N., 2006. Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4), 289-302.
- Das, P., Zhang, Z., Ren, H., 2022. Evaluating The Accuracy of Two Satellite-Based Quantitative Precipitation Estimation Products and Their Application for Meteorological Drought Monitoring Over the Lake Victoria Basin, East Africa. *Geospatial Information Science*, 25(3), 500-518.
- De Martonne, E., 1926. A new climatological function: The Aridity Index. Gauthier-Villars, Paris, France, 485.
- Deniz, A., Toros, H., Incecik, S., 2011. Spatial variations of climate indices in Turkey. *International Journal of climatology*, 31(3), 394-403.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., et Al., 2015. The Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations—A New Environmental Record for Monitoring Extremes. *Sci Data* 2, 150066.
- Gao, F., Zhang, Y., Ren, X., et Al., 2018. Evaluation Of Chirps and Its Application for Drought Monitoring Over the Haihe River Basin, China. *Natural Hazards*, 92(1), 155-172.
- Jahanshahi, A., Shahedi, K., 2018. Evaluation of meteorological, hydrological and groundwater resources indicators for drought monitoring and forecasting in a semi-arid climate. *Desert*, 23(1), 29-43.
- Javadinejad, S., Dara, R., Jafary, F., 2020. Evaluation of hydro-meteorological drought indices for characterizing historical and future droughts and their

- Bangladesh. Water resources management, 24, 1989-2006.
- Van Lanen, H.A., Peters, E., 2000. Definition, effects and assessment of groundwater droughts. In Drought and drought mitigation in Europe (pp. 49-61). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Villholth, K.G., Tøttrup, C., Stendel, M., Maherry, A., 2013. Integrated mapping of groundwater drought risk in the Southern African Development Community (SADC) region. *Hydrogeology Journal*, 21(4), 863-885.
- Yousefi Mobarhan, E., Karimi Sangchini, E., 2021. Continuous Rainfall-Runoff Modeling Using HMS-SMA with Emphasis on the Different Calibration Scale. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 52 (2): 112-119.
- Yousefi Mobarhan, E., Khaleghi, A., Zandifar, S. 2024. Examining the evolving patterns of recent droughts and climate categorization's impact on groundwater reserves through the utilization of GRI and SPI indices in the southern plain of the Sefidroud Basin, Iran, PREPRINT (Version 1) available at Research Square.
- impact on groundwater. *Resources Environment and Information Engineering*, 2(1), 71-83.
- Khan, S., Gabriel, H.F., Rana, T., 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrigation and Drainage Systems*, 22, 159-177.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Mendicino, G., Senatore, A., Versace, P., 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357(3-4), 282-302.
- Mianabadi, A., Salari, K., Pourmohamad, Y., 2022. Drought Monitoring Using the Long-Term Chirps Precipitation Over Southeastern Iran. *Applied Water Science*, 12(1), 183.
- Sarlak, N., Mahmood Agha, O.M., 2018. Spatial and temporal variations of aridity indices in Iraq. *Theoretical and Applied Climatology*, 133, 89-99.
- Shahid, S., Hazarika, M. K., 2010. Groundwater drought in the northwestern districts of