

تحلیل تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی آب زیرزمینی، مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون بزرگ

سمیرا زندی فر^۱، الهام فیجانی^{۲*}، مریم نعیمی^۱، زهره ابراهیمی خوسفی^۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۱

۱- استادیار بخش بیابان، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

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

۳- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت.

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Efijani@ut.ac.ir

چکیده

خشکسالی به عنوان یکی از بلاای طبیعی تاثیرات عمده‌ای بر بخش‌های یک اکوسیستم می‌گذارد. گرچه امکان جلوگیری از وقوع آن وجود ندارد اما می‌توان با اقداماتی اثرات منفی آن را کاهش داد. با توجه به اهمیت زیاد منابع آب زیرزمینی در کشور، مطالعه خشکسالی‌های هیدروژئولوژیکی و عوامل مؤثر بر افت سطح آب‌های زیرزمینی در راستای ارائه راهکارهای مدیریتی این منابع حیاتی ضروری است. بدین منظور جهت بررسی تاثیر خشکسالی‌ها بر یکدیگر روند تغییرات آب زیرزمینی و ارزیابی خشکسالی آب زیرزمینی در حوضه آبریز کارون بزرگ با استفاده از شاخص‌های خشکسالی GRI و SDI در یک دوره آماری ده ساله (۱۳۸۵-۱۳۹۵) مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. نتایج نشان داد در بیشتر محدوده‌های مطالعاتی همبستگی بین شاخص‌های SDI و GRI وجود دارد. البته در برخی موارد تأثیر خشکسالی هیدرولوژی بر آب‌های زیرزمینی با تأخیر زمانی ۶ ماه تا یک ساله صورت می‌گیرد. نتایج همبستگی پایین دو شاخص خشکسالی آب‌های سطحی و زیرزمینی و همبستگی بالا بین شاخص GRI و میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی نشان داد که عامل افت سطح آب در آبخوان‌ها را نمی‌توان تنها خشکسالی بیان کرد بلکه در برخی موارد برداشت‌های بی‌رویه تأثیر بیشتری دارد. به طور کلی شاخص خشکسالی GRI در طول دوره آماری ده ساله حوضه آبریز کارون بزرگ، در جنوب شرق و حوالی غرب حوضه آبریز مذکور نمایان تر می‌باشد و در سال‌های پایانی این دوره محدوده‌های سمت شمالی حوضه نیز درگیر خشکسالی‌های شدیدتری شده‌اند، که با مقادیر شاخص SDI نیز انطباق دارد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، افت سطح آب‌های زیرزمینی، حوضه آبریز کارون، شاخص خشکسالی GRI، شاخص خشکسالی SDI.

Analysis of Spatiotemporal Variations of Groundwater Drought, Case Study: Karun Watershed

Samira Zandifar¹, Elham Fijani^{2*}, Maryam Naeimi¹, Ebrahimikhusfi Zohreh³

Received: 10 November 2019

Accepted: 10 January 2021

¹Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangeland, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

²Assistant Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran.

³Assistant Professor, Department of Natural Science, College of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

*Corresponding Author, Email: Efijani@ut.ac.ir

Abstract

Drought as one of the natural disasters has a major impact on parts of an ecosystem. Although it cannot be prevented, its negative effects can be mitigated by some measures. Considering the high importance of groundwater resources in the country, the study of hydrogeological droughts and factors affecting groundwater drawdown is essential for the management of these vital resources. In order to investigate the impact of droughts on each other, the groundwater level variations and evaluation of the groundwater drought in Karun watershed were analyzed using GRI and SDI drought indices over a ten-year statistical period (2008-2018). The results showed a correlation between GRI and SDI indices in most regions of the study areas. Although in some cases, the impact of hydrological drought on groundwater is delayed by 6 months to one year. Low correlation between two hydrological and groundwater drought indices and the high correlation between GRI and groundwater abstraction indicated that drawdown in the aquifers cannot be the sole cause of drought, rather, in some cases, excessive abstraction is more effective. Overall, the GRI indices are more obvious in the southeast and west of the Karun watershed during the ten-year statistical period. In the final years of this period the northern side of the basin has also been affected by more severe droughts, which also has a correlation with the values of the SDI indices.

Keywords: Aquifer, GRI drought index, Groundwater drawdown, Karun watershed, SDI drought index.

مقدمه

قابل استحصال در کره زمین است. حتی در مناطقی که آب‌های سطحی فراوانی وجود دارد، آب‌های زیرزمینی منبع مهمی برای آب شرب به حساب می‌آید. در سال‌های اخیر در بسیاری از مناطق خشک و کم باران جهان برداشت آب از منابع زیرزمینی از میزان تغذیه سالیانه آن‌ها بیشتر شده است، به طوری که سطح

آب‌های زیرزمینی در این مناطق روز به روز افت کرده و سبب خشک شدن مناطق پایین دست و کم آبی و یا از بین رفتن چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌های آن ناحیه و یا فرونشست زمین شده است (گلیسن و همکاران ۲۰۱۲). بر اساس آمارهای موجود، کشورهای چین، هند و ایران رتبه‌های اول تا سوم

با توجه به آب و هوای خشک، فقر بارندگی و نبود منابع آب سطحی مناسب و دائمی در اغلب نواحی ایران بخصوص نواحی خشک غربی و جنوبی کشور و نیاز آبی این مناطق در زمینه‌های مختلف بویژه شرب و کشاورزی استفاده از منابع آب زیرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. تهی شدگی سفره‌های آب زیرزمینی^۱ که امروزه در بسیاری از مناطق دنیا شایع است، به صورت کاهش درازمدت سطح آب زیرزمینی در اثر برداشت بی رویه و پایدار از آبخوان‌ها تعریف می‌شود. آب‌های زیرزمینی بزرگترین ذخیره آب شیرین

1- Groundwater depletion

ایالت آمریکا را جهت ارزیابی توانایی این شاخص‌ها در تشریح دینامیک نوسانات سطح آب زیرزمینی را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌های خشکسالی به منظور ارزیابی سریع تاثیر خشکسالی بر سطح آب زیرزمینی بسیار موثر هستند. در ایران، جهانبخش و کریمی (۲۰۰۹) ارتباط خشکسالی و منابع آب زیرزمینی دشت تبریز را در خصوص ۴۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق در دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۸۱ بررسی کردند و نشان دادند که تراز آب زیرزمینی دشت دارای روند منفی بوده و در دوره آماری مورد بررسی در حدود ۳/۹۴ متر افت داشته است. صیف و همکاران (۲۰۱۲) تاثیر خشکسالی بر منابع آب‌های زیرزمینی در آبخوان دشت فسا را با استفاده از شاخص‌های GRI، شاخص بارندگی معیار شده و شاخص هدایت الکتریکی معیار شده را مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج به دست آمده، تاثیر پذیری مستقیم کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه را از خشکسالی در این دشت نشان داد. چمن پیرا و همکاران (۲۰۱۴) تاثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی در دشت الشتر را با استفاده از شاخص‌های GRI و شاخص بارندگی معیار شده بررسی کردند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که خشکسالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه به ترتیب در فصول زمستان و پاییز منطبق هستند. فاریابی و مظفری زاده (۲۰۱۷) تاثیر خشکسالی و مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت دیر- آبدان در استان بوشهر را با استفاده از شاخص بارش معیار شده و شاخص GRI بررسی کردند. این نتایج نشان داد که خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه با شدت متوسط است و نیز سبب تخریب کیفیت آب زیرزمینی نیز شده است. علیمیرزایی و همکاران (۲۰۱۸) تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه آبریز کارون شمالی را با استفاده از شاخص‌های مختلف بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که بخش‌های

برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی را دارند (بی‌نام ۲۰۱۴). منابع آب زیرزمینی بلافاصله تحت تاثیر 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 مسأله می‌تواند بر روی جریان سطحی که وابسته به آب‌های زیرزمینی منطقه است نیز تاثیرگذار باشد (ونلون ۲۰۱۳).

شاخص‌های مختلفی به منظور ارزیابی و مطالعه وضعیت خشکسالی و بررسی اثرات کمی ناشی از آن توسط محققین ارائه شده است که مهم‌ترین آن‌ها در ارتباط با منابع آب‌های زیرزمینی، شاخص آب زیرزمینی^۲ (GRI) است که در سال ۲۰۰۸ توسط مهندسین و همکاران، ارائه شد. 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 دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۹۰ استفاده کردند. نتایج نشان داد که بارش و میانگین دمای سالانه در این منطقه همبستگی بالایی با تراز آب زیرزمینی سالانه دارد. لیلاروبان و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی هشت شاخص مربوط به خشکسالی از جمله شاخص خشکسالی آب زیرزمینی، همبستگی بین این شاخص‌ها و سطح آب زیرزمینی در ۳۲ چاه در چند

بر ۶۷۲۵۷ کیلومتر مربع، در جنوب غرب ایران قرار گرفته است. از نظر تقسیمات استانی این حوضه در استان‌های خوزستان، لرستان، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، اصفهان و بخشی از استان مرکزی گسترده شده است. از مجموع ۶۷۲۵۷ کیلومتر مربع مساحت حوضه آبریز کارون بزرگ، ۱۹۳۴۲ کیلومترمربع آن را دشت‌ها و ۴۷۹۱۵ کیلومترمربع آن را ارتفاعات تشکیل داده است.

منطقه مورد مطالعه سه حوضه آبریز اصلی را در بر می‌گیرد که عبارتند از حوضه آبریز کارون بزرگ از مصب کارون تا تلاقی دو رودخانه دز و کارون، حوضه آبریز رودخانه کارون از محل تلاقی با رودخانه دز تا بلندی‌های کوه ونک و ملاصدرا در شمال کوه‌رنگ و قله‌های کوه لاطان و چهل دختران در شمال شهرکرد و دامنه‌های بلند کوه براق و مینه‌دون در جنوب یاسوج و ارتفاعات ماه‌زیه و زردحلقه در جنوب شرق ایذه کشیده می‌شود و حوضه آبریز رودخانه دز که از محل تلاقی این رودخانه با رودخانه کارون شروع شده و تا بلندی‌های اشترانکوه در شمال بروجد و بلندی‌های کوه چال خاتون در شمال ازنا و ارتفاعات کوه کمر بسته و سیاه-تیر در شمال شرق الیگودرز و دامنه‌های بلند زردکوه در شمال کوه‌رنگ کشیده می‌شود. در حوضه‌های مذکور ۴۲ محدوده مطالعاتی با خصوصیات تقریباً یکنواخت گسترده شده‌اند (شکل ۱) که از این تعداد سی محدوده در حوضه آبریز کارون، نه محدوده در حوضه آبریز دز و سه محدوده در حوضه کارون بزرگ واقع‌اند.

رودخانه‌های کارون و دز در بالادست گتوند و دزفول دارای شیب تند جریان هستند و از شبکه‌ای از رودخانه‌های دایمی و فصلی تشکیل می‌گردند، که سرچشمه تمامی آن‌ها رشته کوه‌های زاگرس است. رودخانه کارون در شمال شوشتر (گتوند) و رودخانه دز در دزفول وارد دشت خوزستان می‌گردند. رودخانه کارون در ابتدای مسیر خود در دشت خوزستان به صورت شاخه شاخه (شریانی) بوده و در فاصله

شرقی منطقه از خشکسالی شدیدتری از نظر آب زیرزمینی برخوردارند. میر اکبری و همکاران (۲۰۱۸) تاثیر خشکسالی هواشناسی را بر منابع آب سطحی و زیرزمینی (توسط شاخص‌های GRI و SPI، SPEI، SDI) را در حوضه رودخانه اعظم هرات مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها میزان همبستگی بین این شاخص‌ها را در منطقه مورد نظر نشان دادند. درگاهیان و رضوی زاده (۲۰۲۰) خشکسالی هواشناسی در حوضه آبریز کارون را با استفاده از شاخص خشکسالی SPEI به منظور شناسایی روند تغییرات سالیانه در منطقه را بررسی کردند و نتایج آن‌ها موید این نکته بود که روند افزایش دما بر فراوانی، تداوم و شدت خشکسالی‌ها در دهه اخیر افزوده است.

در سال‌های اخیر به علت کاهش منابع آب سطحی حوضه آبریز کارون بزرگ، افزایش شدیدی در استفاده از آب‌های زیرزمینی این حوضه صورت گرفته که به تبع آن سطح آب زیرزمینی در اکثر نواحی آن به صورت چشمگیری افت پیدا کرده است. تا به حال شاخص‌های خشکسالی متعددی جهت پیش بینی و تعیین شدت خشکسالی ارائه شده است، اما تحلیلی جهت برآورد شدت خشکسالی آب‌های زیرزمینی در کل این حوضه ارائه نشده است. به این منظور، روند تغییرات سطح آب زیرزمینی و مقادیر شاخص خشکسالی آب زیرزمینی در طول دوره آماری مشخص در حوضه آبریز کارون بزرگ بررسی شده است و در نهایت تاثیر تغییرات، طی دوره آماری مشخص مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگ از نظر مختصات جغرافیایی درحد فاصل ۵۸°-۴۷° الی ۵۲° طول شرقی و ۲۹°-۰۷° الی ۳۴° عرض شمالی و با وسعتی بالغ

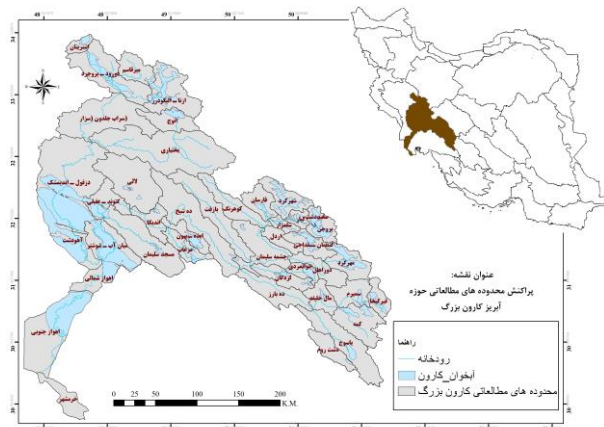
روش شناسی

خشکسالی یکی از زیان‌بارترین، مخاطرات طبیعی به شمار می‌رود. در بین بلایای طبیعی تهدید کننده‌ی انسان و محیط زیست، خشکسالی هم از نظر فراوانی رخداد و هم از جنبه‌ی 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 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. در این تحقیق، شاخص آب زیرزمینی (GRI) به عنوان الگوی معتبر و کاربردی، مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص GRI در سال ۲۰۰۸ توسط مهندسین 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 مقادیر تراز آب زیرزمینی در ماه m در طول دوره آماری می‌باشند (مهندسین و همکاران ۲۰۰۸). 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 حوضه آبریز کارون بزرگ در دوره آماری ۱۰ ساله است. لذا جهت بررسی وضعیت رودخانه کارون در حوضه مورد مطالعه، از شاخص

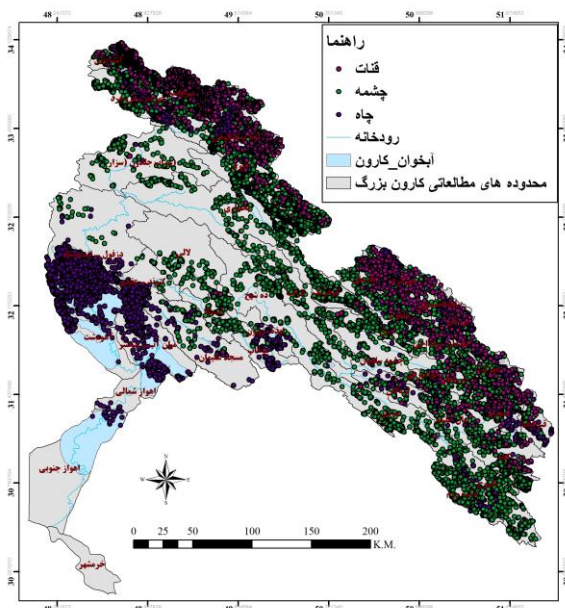
کوتاهی حالت یک پیچانرود را به خود می‌گیرد. رودخانه کارون با طولی بیش از ۸۹۰ کیلومتر یکی از بزرگترین رودخانه‌های ایران است که آب‌های مناطق وسیعی از کشور را جمع آوری و به خلیج فارس منتقل می‌نماید.



شکل ۱- نقشه موقعیت محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کارون بزرگ.

حوضه آبریز کارون از نظر زمین‌شناسی در محدوده زون زاگرس ایران قرار می‌گیرد. در محدوده‌های مطالعاتی شمال حوضه سنگ‌های متعلق به پرکامبرین شامل مارن، شیست و آمفیبولیت، کوارتزیت، فیلیت و پاراگنیس در مجموع با وسعت ۲۵۲ کیلومتر مربع رخنمون دارد که در واقع بخشی از زون دگرگونی سنندج- سیرجان می‌باشد. رسوبات اینفراکامبرین در این حوضه متشکل از گنبد‌های نمکی معروف به سری هرمز بوده که بصورت پراکنده در نقاط مختلف حوضه برونزد دارد. نهشته‌های دوران اول در حوضه آبریز کارون عمدتاً از نوع رسوبی بوده. سازندهای دوران دوم نسبت به رسوبات پرکامبرین و دوران اول در حوضه از گسترش بیشتری برخوردار هستند بطوریکه این سازندها بیشترین بلندی‌ها و ارتفاعات رشته کوه- های زاگرس را شامل می‌شوند و اکثراً از نوع سنگ‌های رسوبی می‌باشند.

منابع آب زیرزمینی مربوط به چشمه‌ها می‌باشد. تعداد چاه‌های موجود در سطح حوضه آبریز ۱۵۷۲۳ حلقه و میزان تخلیه سالانه آن‌ها ۱۵۸۲ میلیون مترمکعب و تعداد قنات‌ها نیز ۲۶۸۴ رشته و تخلیه سالانه آن‌ها نیز ۱۷۲/۳ میلیون مترمکعب می‌باشد (آمار مدیریت پایه منابع آب).



شکل ۲- نقشه موقعیت منابع آب زیرزمینی در سطح حوزه آبریز کارون.

روند افزایشی قابل توجهی در تعداد حفر چاه‌های نیمه عمیق و میزان تخلیه آن‌ها در حوضه آبریز کارون بزرگ مشخص می‌باشد به طوری که تعداد چاه‌های نیمه عمیق در سال ۱۳۸۱ نزدیک به ۳۹۲۲ حلقه و تخلیه از آن‌ها بیشتر از ۳۲۷ میلیون متر مکعب بوده و در سال ۱۳۹۶ تعداد آن‌ها به ۹۵۲۶ حلقه و میزان تخلیه به بیشتر از ۴۷۰ میلیون متر مکعب رسیده است. چاه‌های عمیق حفر شده در حوضه آبریز کارون بزرگ در سال ۱۳۸۱ نزدیک به ۵۰۹۱ حلقه و تخلیه از آن‌ها بیشتر از ۱۲۹۸ میلیون متر مکعب بوده و این در حالی است که در سال ۱۳۹۶ تعداد آن‌ها به ۶۱۹۷ حلقه و میزان تخلیه به ۱۱۱۲/۱ میلیون متر مکعب رسیده است. تعداد چشمه‌های منطقه روند کاهشی داشته و روند خشک

خشکسالی جریان‌های رودخانه‌ای^۳ یا SDI استفاده شد (بی‌نام ۲۰۱۹).

شاخص SDI توسط نالبانتیس (۲۰۰۸) ارائه شد و سپس در سال ۲۰۰۹ توسط نالبانتیس و ساگریس برای مشخص کردن خشکسالی هیدرولوژیکی توسعه داده شد (اسکندری ۲۰۱۶). 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.

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k} \quad [2]$$

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

که در آن i سال هیدرولوژیکی؛ j ماه (مثلاً برای ماه مهر $j=1$ و برای ماه شهریور $j=12$)؛ دوره زمانی (مقادیر k برابر ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب بیانگر دوره‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه می‌باشد)؛ Q سری‌های زمانی حجم جریان‌های رودخانه‌ای ماهانه، V و S به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریان‌ها جمع می‌باشند.

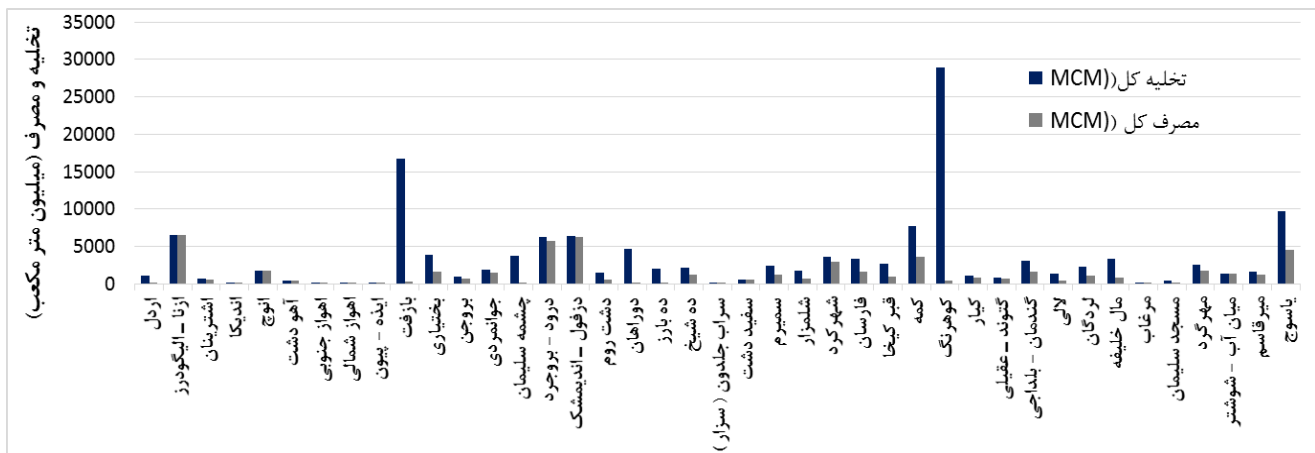
نتایج و بحث

بر اساس آمار سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ در سطح حوضه آبریز کارون بزرگ تعداد ۳۰۵۸۵ منبع آب زیرزمینی (چاه، قنات و چشمه) وجود دارد (شکل ۲) که میزان تخلیه سالانه آن‌ها حدود ۴۷۰۰/۹ میلیون مترمکعب می‌باشد. تعداد چشمه‌های این حوضه آبریز ۱۲۱۷۸ دهنه و میزان تخلیه سالانه آن‌ها ۲۹۳۵/۴ میلیون مترمکعب می‌باشد. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که به لحاظ تعداد ۳۹/۸ درصد و از نظر تخلیه ۶۲/۴ درصد از کل تخلیه

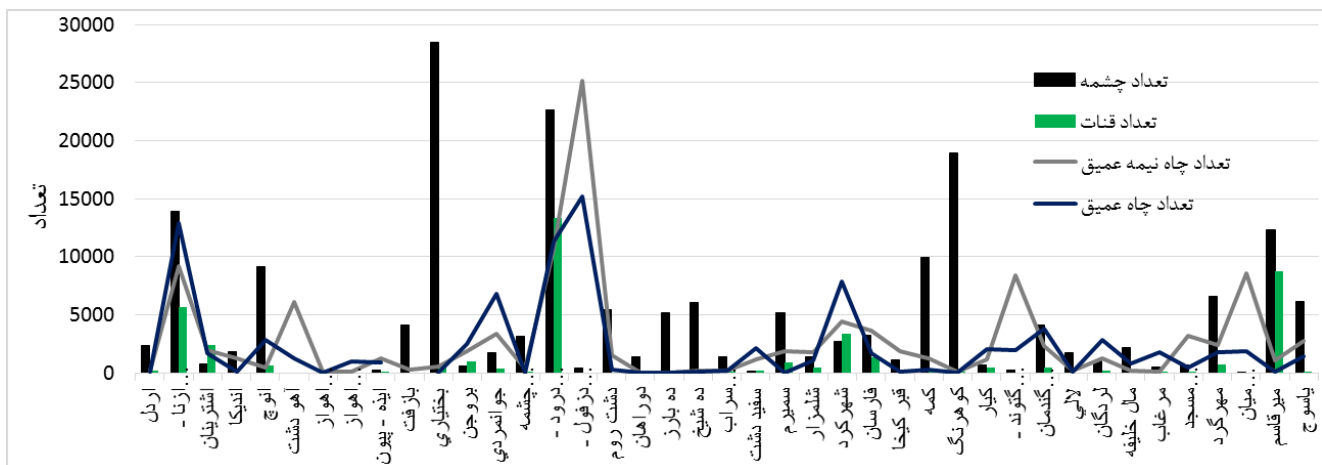
مطالعاتی دزفول- اندیمشک، درود- بروجرد، ازنا- الیگودرز و شهرکرد بیشتر از سایر محدوده‌های حوضه می‌باشد. بیشترین تعداد چشمه و قنات در محدوده‌های مطالعاتی بختیاری، درود- بروجرد، کوهرنگ، ازنا-الیگودرز و میرقاسم قرار دارد (شکل ۴). در محدوده‌های مطالعاتی واقع در استان خوزستان اصولاً حفر قنات و بهره‌برداری از آب زیرزمینی توسط آن رواج زیادی ندارد.

شدگی آن‌ها با افزایش تخلیه از چاه‌ها، خشکسالی اقلیمی و پایین آمدن سطح آب زیرزمینی منطقه منطبق است.

بیشترین میزان تخلیه در محدوده‌های مطالعاتی در سال آبی ۱۳۹۵- ۱۳۹۶ مربوط به محدوده دزفول- اندیمشک به میزان ۴۴۹/۶ میلیون متر مکعب و کمترین میزان تخلیه مربوط به محدوده اهواز جنوبی به میزان ۰/۴۱۵ میلیون مترمکعب در سال آبی ۱۳۹۵- ۱۳۹۶ می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳- وضعیت تخلیه و مصرف منابع آب زیرزمینی محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کارون بزرگ در سال آبی ۹۶-۱۳۹۵.

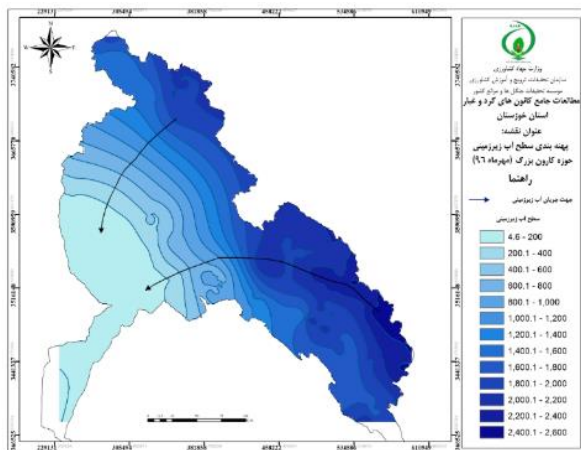


شکل ۴- وضعیت تعداد چاه، چشمه و قنات در محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کارون بزرگ.

منحنی‌های حداکثر اغلب به دلیل شیب توپوگرافی حاکم بر منطقه در قسمت شمالی و در ابتدای مخروط‌افکنه محدوده‌های مطالعاتی کشیده شده که به تدریج و به

نقشه پهنه بندی تراز آب زیرزمینی در مهر ماه سال ۹۶ برای حوضه آبریز کارون بزرگ به روش کریجینگ در شکل ۵ نشان داده شده است. طبق نقشه ارائه شده،

محدوده‌های مطالعاتی شمالی حوضه بیشترین ناحیه تغذیه‌کننده از قسمت ارتفاعات شمالی دشت‌ها همانند اشترینان، دورود-بروجرد و میرقاسم بوده و در مقابل در بخش شرقی حوضه در محدوده‌های مطالعاتی شهرکرد، شلمزار، گندمان-بلداجی و بروجن بیشترین تغذیه از سمت ارتفاعات شرقی مشرف به این دشت‌ها می‌باشد. بر پایه نقشه‌های فوق نواحی تخلیه و پایانه خروجی کلیه آبخوان‌های آبرفتی به سمت جنوب حوضه یعنی محدوده مطالعاتی اهواز جنوبی و خرمشهر و سرانجام خلیج فارس می‌باشد.



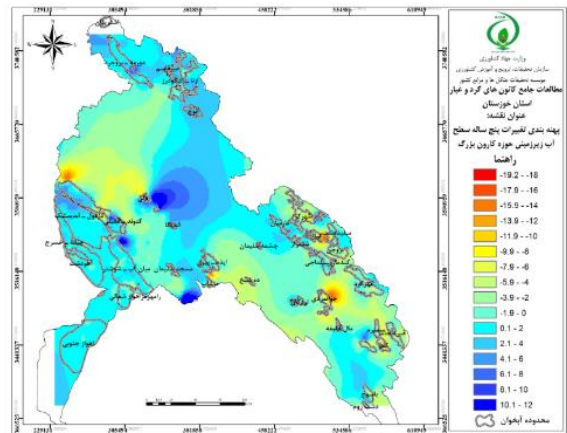
شکل ۵- پهنه بندی سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز کارون بزرگ (مهر ۱۳۹۶).

شکل ۶ پهنه بندی و کنتور تغییرات پنج ساله تراز آب زیرزمینی از مهر ۱۳۹۱ تا مهر ۱۳۹۶ را نشان می‌دهد، که با استفاده از تمام چاه‌های مشاهده‌ای دارای داده برای دوره پنج ساله مذکور، به روش کریجینگ به دست آمده است. مطابق شکل در طی این پنج سال بیشترین کاهش تراز آب زیرزمینی در آبخوان مرغاب با بیش از ۱۹ متر افت رخ داده است. در برخی بخش‌های حوضه کمترین تغییرات و در بعضی مناطق شرایطی بدون تغییر و حتی در قسمت‌هایی نظیر بخش‌هایی از آبخوان‌های لالی، میان آب- شوشتر، مسجد سلیمان و شهرکرد افزایش تراز آب زیرزمینی مشاهده می‌شود، به طوری که در طی این پنج سال، بیشترین

سمت پایانه از مقدار آن‌ها کاسته می‌گردد. بر اساس این شکل، بیشترین سطح آب زیرزمینی مربوط به نواحی جنوب شرقی منطقه، در آبخوان مهرگرد و بیش از ۲۵۲۰ متر است که به سمت نواحی غربی و جنوب غربی آبخوان به تدریج کم شده به طوری که در جنوب غربی به کمتر از ۵ متر در آبخوان اهواز جنوبی می‌رسد. با توجه به نقشه هم تراز آب زیرزمینی در حوضه آبریز کارون بزرگ، سطح آب زیرزمینی از شمال شرق و جنوب شرق به سمت غرب و جنوب غرب کاهش می‌یابد. بنابراین به طور کلی آب زیرزمینی در حوضه از ارتفاعات جنوب شرقی و شمال شرقی به سمت غرب و جنوب غرب جریان دارد.

روند عمومی منحنی‌ها در نواحی مختلف سطح حوضه آبریز کارون بزرگ، یکسان و همسو نبوده به طوری که در شمال و جنوب حوضه تقریباً شرقی-غربی، و در سایر مناطق حوضه آبریز روند منحنی‌ها کاملاً متنوع است. در نواحی ابتدایی مخروط افکنه‌ها و نواحی ورودی به دشت با توجه به اثر تغذیه‌کنندگی رودخانه‌ها و بعضی از مسیل‌ها تحذب منحنی‌ها به سمت محل‌های تغذیه و ارتفاعات بوده و به تدریج به سمت پایانه که اغلب رودخانه‌ها زهکش آبخوان می‌باشند، عکس حالت فوق یعنی تحذب منحنی‌ها به سمت پایانه یا خروجی از دشت‌ها تمایل پیدا می‌کند. خطوط جریان آب زیرزمینی در نواحی مخروط افکنه نسبت به محور رودخانه‌ها حالت واگرا داشته و در نواحی میان-دشتی و پایان‌دشتی به دلیل زهکش شدن آبخوان به حالت همگرا تبدیل می‌شود. با توجه به تنوع روند منحنی‌ها در بخش‌های مختلف حوضه در هر محدوده مطالعاتی جهت جریان آب زیرزمینی متفاوت است، اما بطور تقریبی می‌توان گفت جهت جریان آب زیرزمینی در بخش‌های شمالی و جنوبی حوضه تقریباً شمالی-جنوبی می‌باشد. نواحی تغذیه با توجه به ویژگی‌های هر یک از دشت‌ها از جمله امتداد شکل‌گیری دشت‌ها به نوعی متفاوت از یکدیگر می‌باشند. به طور مثال در

افزایش تراز (حدود ۱۲ متر) در آبخوان لالی اتفاق افتاده است.



شکل ۶- پهنه بندی تغییرات پنج ساله تراز آب زیرزمینی در حوضه آبریز کارون بزرگ از مهر ۱۳۹۱ تا مهر ۱۳۹۶.

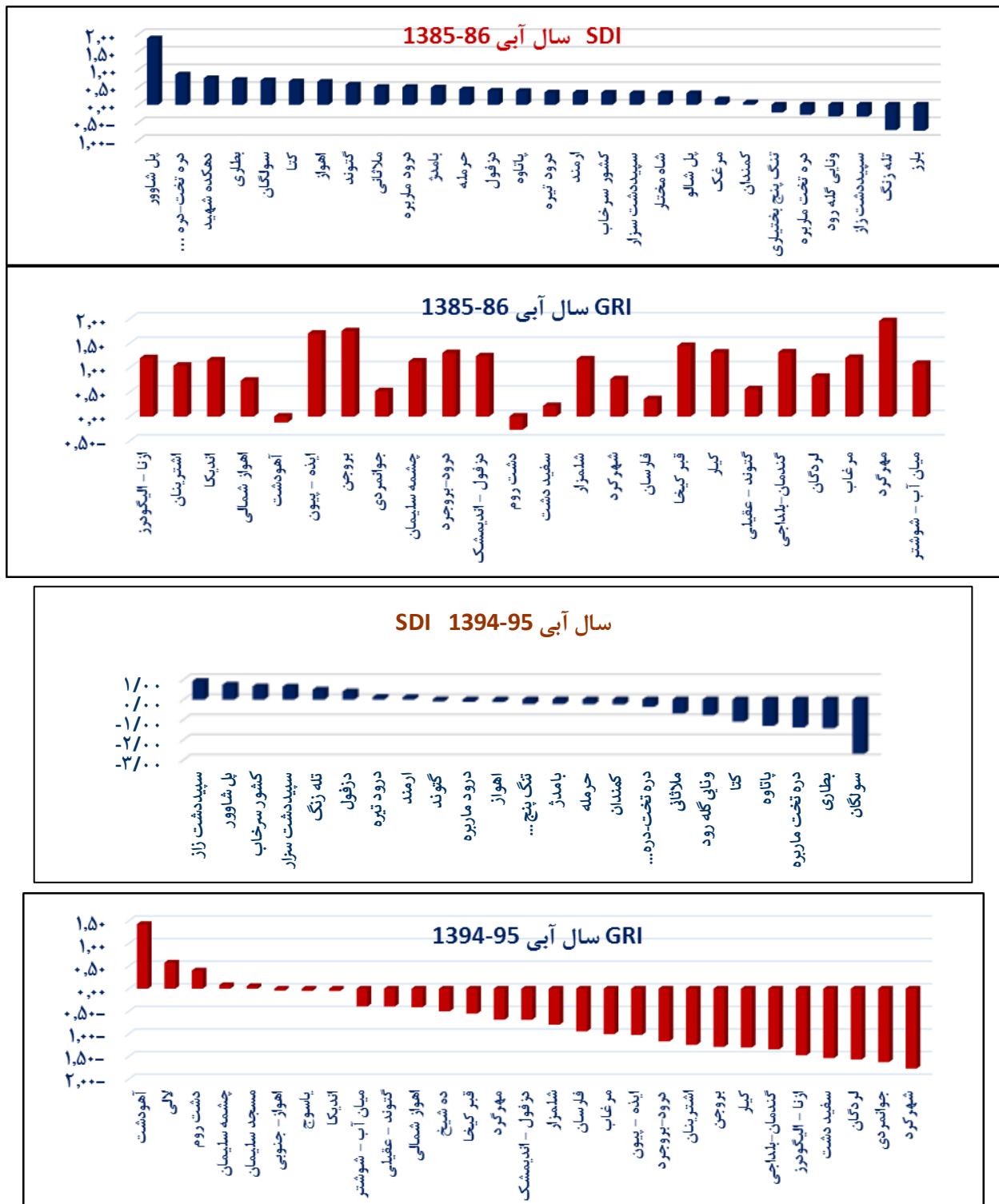
مقایسه شاخص GRI و شاخص SDI در حوضه کارون بزرگ

روش محاسبه شاخص SDI بر اساس برآزش تابع توزیع احتمالاتی مناسب به سری داده‌های دبی جریان در هر بازه زمانی صورت می‌گیرد. به این منظور، سری زمانی مقادیر دبی ماهانه هر ایستگاه هیدرومتری برای دوره‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه تشکیل و بر توزیع آماری مناسبی برآزش داده شد. طبق نظر نالبانتیس و ساکریس (۲۰۰۹) در حوضه‌های کوچک توزیع گاما و در حوضه‌های بزرگ توزیع نرمال یا لوگ نرمال بهترین برآزش را با داده‌های دبی جریان دارد. در این تحقیق نیز تابع توزیع آماری لوگ نرمال به عنوان مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال انتخاب شد که برآزش خوبی با سری زمانی دبی در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان داد. شکل ۷ نمودار شاخص خشکسالی آب زیرزمینی و شاخص خشکسالی هیدرولوژی در حوضه کارون بزرگ برای سال ابتدایی و انتهایی دوره آماری ده ساله (۱۳۸۵-۱۳۹۵) را نمایش می‌دهد. مقایسه این شاخص‌ها را در حوضه برای ده سال دوره آماری (۱۳۸۵-۱۳۹۵) در شکل‌های ۸ تا ۱۷ نشان داده شده است.

در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی مهرگرد طبق شاخص GRI دارای ترسالی شدید با مقدار شاخص ۱/۹ و محدوده مطالعاتی دشت روم 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 شدید) تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوضه آبریز کارون بزرگ به غیر از ایستگاه پل شاور که دارای ترسالی شدید است، همه ایستگاه‌ها بین ترسالی ملایم تا خشکسالی ملایم قرار دارند. در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ نیز آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی اهواز جنوبی طبق شاخص GRI دارای ترسالی شدید با مقدار شاخص ۱/۹ بوده است و همچنین طبق این شاخص در همین سال خشکسالی شدید با مقدار شاخص ۱/۲- در محدوده مطالعاتی این دشت روم رخ داده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه بین این حدود (ترسالی شدید تا خشکسالی شدید) تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوضه آبریز کارون بزرگ نیز بین وضعیت ترسالی متوسط تا خشکسالی شدید و بسیار شدید قرار دارند. در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی دشت روم طبق شاخص GRI دارای وضعیت ترسالی ملایم با مقدار شاخص ۰/۶ و محدوده مطالعاتی چشمه سلیمان دارای وضعیت خشکسالی شدید با مقدار شاخص ۱/۵- 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 حوضه آبریز کارون بزرگ در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ بیشترین خشکسالی را در ده سال دوره آماری مورد مطالعه شاهد هستیم. به طوری که به غیر از شش ایستگاه که در محدوده ترسالی ملایم تا نرمال قرار دارند، بقیه ایستگاه‌ها دارای خشکسالی متوسط، شدید و بسیار شدید می‌باشند.

در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ نیز آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی اهواز شمالی طبق شاخص GRI دارای ترسالی ملایم با مقدار شاخص ۰/۸ بوده است و همچنین طبق این شاخص در همین سال خشکسالی متوسط با مقدار شاخص ۱/۱- در محدوده مطالعاتی لیشر 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 حوضه آبریز کارون بزرگ به غیر از پنج ایستگاه که در محدوده ترسالی ملایم تا نرمال قرار دارند، بقیه ایستگاه‌ها دارای خشکسالی ملایم، متوسط، شدید و بسیار شدید می‌باشند. در سال آبی ۱۳۸۹-۹۰ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی ده شیخ طبق شاخص GRI دارای ترسالی ملایم با مقدار شاخص ۰/۸ و محدوده مطالعاتی بروجن دارای خشکسالی متوسط با مقدار شاخص ۱/۳- 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 حوضه آبریز کارون بزرگ نیز به طور پراکنده بین ترسالی متوسط تا خشکسالی بسیار شدید قرار دارند.

در سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی گتوند- عقیلی طبق شاخص GRI دارای ترسالی ملایم با مقدار شاخص ۰/۶ بوده است و همچنین طبق این شاخص در همین سال خشکسالی بسیار شدید با مقدار شاخص ۲/۳- در محدوده مطالعاتی دشت‌روم رخ داده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه دارای وضعیت نرمال تا خشکسالی شدید تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوضه آبریز کارون بزرگ نیز به طور پراکنده بین وضعیت نرمال تا خشکسالی بسیار شدید قرار دارند. در سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی یاسوج طبق شاخص GRI دارای ترسالی متوسط با مقدار شاخص ۱/۰۲ و محدوده مطالعاتی جوانمردی دارای خشکسالی متوسط تا شدید با مقدار شاخص ۱/۵- بوده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه در وضعیت نرمال تا خشکسالی متوسط تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوضه آبریز کارون بزرگ نیز به طور پراکنده بین ترسالی ملایم تا خشکسالی بسیار شدید قرار دارند.



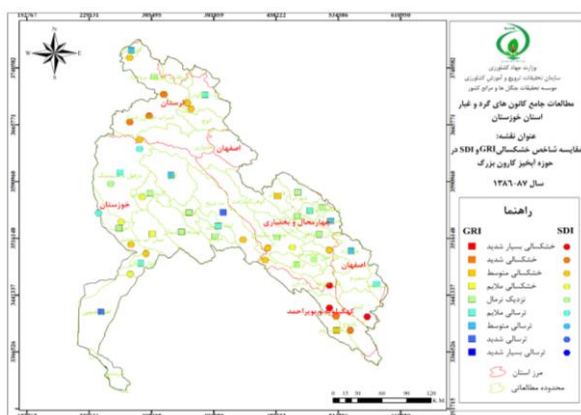
شکل ۷- نمودارهای شاخص خشکسالی SDI و GRI در حوضه آبریز کارون در سال ابتدایی و انتهای دوره آماری ۹۵-۱۳۸۵ (محور عمودی مقدار شاخص SDI و GRI را نشان می‌دهد).

ترسالی متوسط با مقدار شاخص ۱/۱۵ بوده است و همچنین طبق این شاخص در همین سال خشکسالی

در سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی میان آب- شوشتر طبق شاخص GRI دارای

آبریز کارون بزرگ به غیر از ایستگاه سولگان (خشکسالی بسیار شدید) بین ترسالی ملایم تا خشکسالی متوسط قرار دارند.

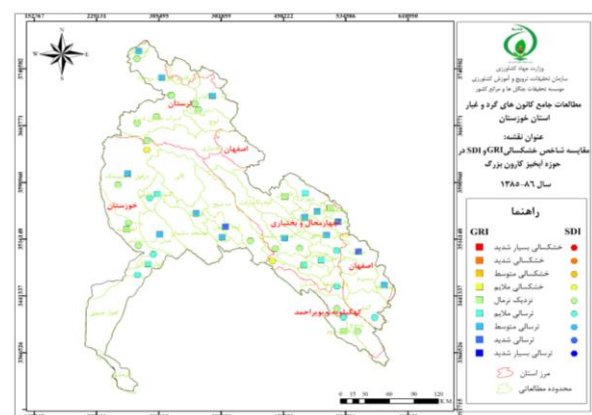
با توجه به این نقشه‌ها، در سال اول دوره آماری در بیشتر محدوده‌های مطالعاتی شرایط خشکسالی حاکم نیست و در بسیاری از موارد ترسالی وجود دارد، با افزایش دوره زمانی این شرایط به تدریج به سمت خشکسالی پیش می‌رود. به نحوی که شدت خشکسالی به طور کلی نسبت به سال قبل افزایشی بوده است و در سال‌های پایانی بیشتر شده است. همچنین در بیشتر سال‌ها در شرق حوضه شرایط خشکسالی نسبت به نواحی غربی و شمالی از شدت بیشتری برخوردار است. شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی در آخرین سال دوره آماری رخ داده است و پس از آن در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ نسبت به روند کلی دوره آماری شرایط خشکسالی شدت گرفته است. به طور کلی در بیشتر محدوده‌های مطالعاتی بین شاخص SDI و GRI همبستگی وجود دارد. این انطباق بین دو شاخص مذکور نشان از تأثیرپذیری آب زیرزمینی از شرایط اقلیمی در حوضه دارد. البته در برخی موارد تأثیر خشکسالی هیدرولوژی بر آب‌های زیرزمینی با تأخیر زمانی صورت می‌گیرد.



شکل ۹- نقشه مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوضه

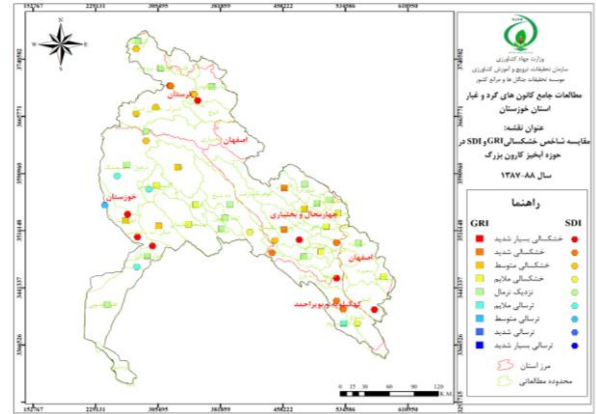
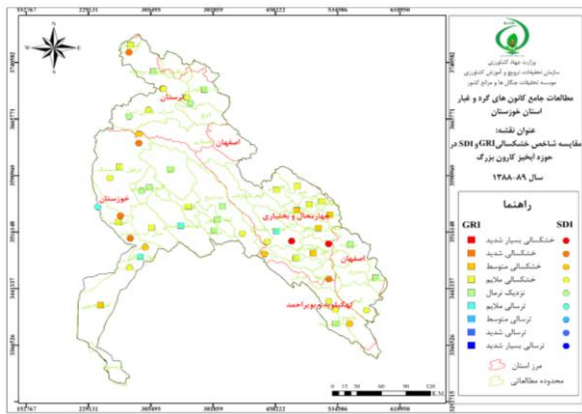
آبریز کارون در سال ۸۷-۱۳۸۶.

شدید با مقدار شاخص ۱/۵۸- در محدوده مطالعاتی ازنا- الیگودرز رخ داده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه دارای وضعیت ترسالی ملایم تا خشکسالی متوسط تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوضه آبریز کارون بزرگ نیز بین وضعیت ترسالی ملایم تا خشکسالی متوسط قرار دارند. در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی آهودشت طبق شاخص GRI دارای ترسالی شدید با مقدار شاخص ۱/۷- و محدوده مطالعاتی شهرکرد دارای خشکسالی شدید با مقدار شاخص ۱/۶- بوده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه دارای وضعیت نرمال تا خشکسالی متوسط تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوضه آبریز کارون بزرگ نیز به طور پراکنده بین ترسالی متوسط تا خشکسالی شدید قرار دارند. در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی لالی 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 ۱/۸- در محدوده مطالعاتی شهرکرد رخ داده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی این سال آبی، از دوره آماری مورد مطالعه دارای وضعیت ترسالی متوسط تا خشکسالی شدید تعیین شده‌اند. ایستگاه‌های هیدرولوژی واقع در حوضه



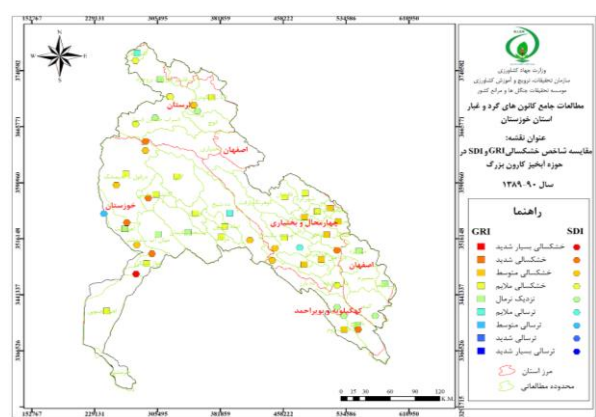
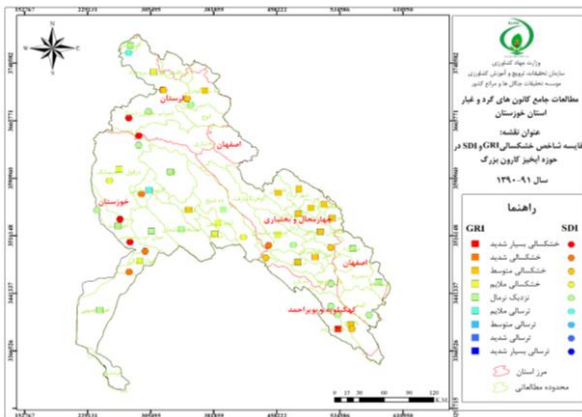
شکل ۸- نقشه مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوضه

آبریز کارون در سال ۸۶-۱۳۸۵.



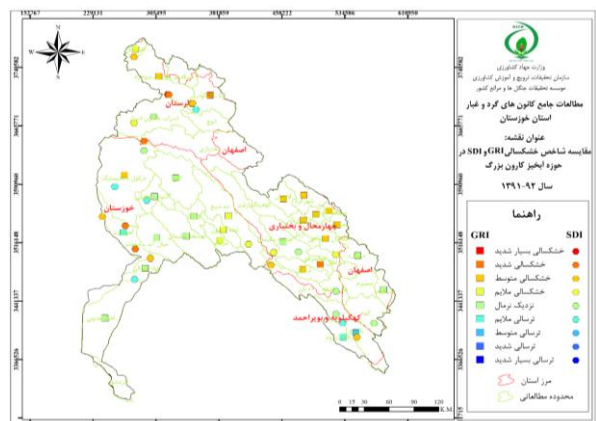
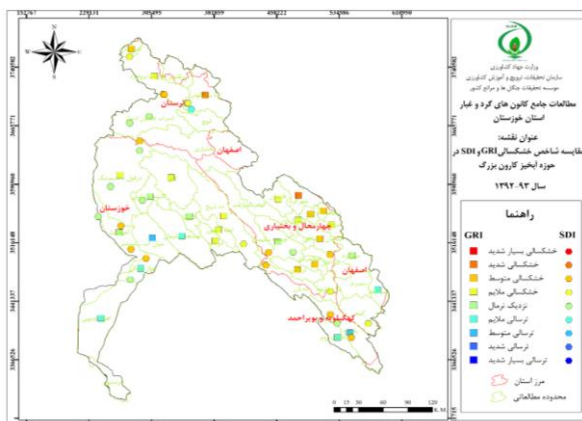
شکل ۱۰- نقشه مقایسه شاخص خشکسالی SDI و GRI در حوضه آبریز کارون در سال ۸۸-۱۳۸۷.

شکل ۱۱- نقشه مقایسه شاخص خشکسالی SDI و GRI در حوضه آبریز کارون در سال ۸۹-۱۳۸۸.



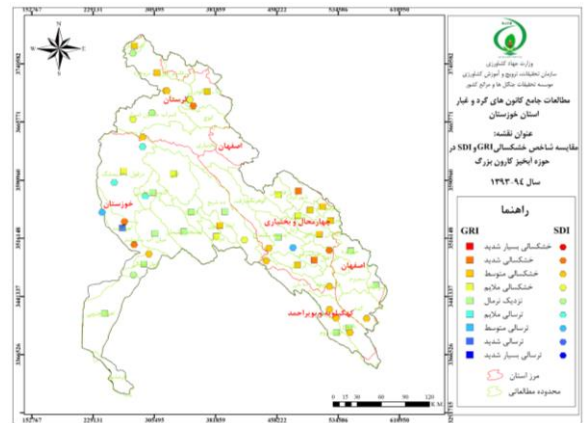
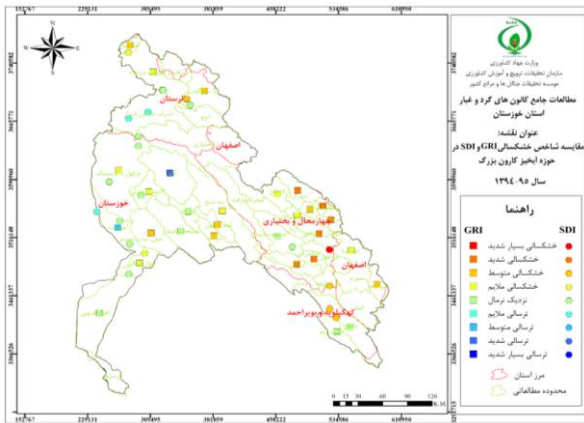
شکل ۱۲- نقشه مقایسه شاخص خشکسالی SDI و GRI در حوضه آبریز کارون در سال ۹۰-۱۳۸۹.

شکل ۱۳- نقشه مقایسه شاخص خشکسالی SDI و GRI در حوضه آبریز کارون در سال ۹۱-۱۳۹۰.



شکل ۱۴- نقشه مقایسه شاخص خشکسالی SDI و GRI در حوضه آبریز کارون در سال ۹۲-۱۳۹۱.

شکل ۱۵- نقشه مقایسه شاخص خشکسالی SDI و GRI در حوضه آبریز کارون در سال ۹۳-۱۳۹۲.



شکل ۱۷- نقشه مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوضه آبریز کارون در سال ۹۵-۱۳۹۴.

شکل ۱۶- نقشه مقایسه شاخص خشکسالی GRI و SDI در حوضه آبریز کارون در سال ۹۴-۱۳۹۳.



شکل ۱۸- مقایسه میانگین تغییرات خشکسالی SDI و GRI نسبت به زمان (نمودار قرمز GRI و نمودار سبز SDI). محور عمودی مقدار شاخص GRI و SDI را نشان می‌دهد.

برای شاخص‌های GRI و SDI ضریب همبستگی در مقیاس زمانی سالانه محاسبه شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های GRI و SDI در مقیاس زمانی سالانه ۲۴/۱٪ می‌باشد. و این ارتباط پایین دو متغیر GRI و SDI را نشان می‌دهد. جدول ۱ خروجی ضریب همبستگی پیرسون با استفاده از نرم افزار SPSS را نمایش می‌دهد.

بررسی مقادیر میانگین سالانه شاخص GRI در کل حوضه آبریز کارون بزرگ (شکل ۱۸) نشان دهنده وقوع خشکسالی ملایم در سال‌های آبی ۸۸-۱۳۸۷، ۹۰-۱۳۸۹، ۹۱-۱۳۹۰، ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ به ترتیب با مقادیر شاخص ۰/۷۵، ۰/۵۴، ۰/۵۷، ۰/۷۴، ۰/۷۵ و ۰/۷۵ می‌باشد. در سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ با مقدار شاخص ۱/۰۳- خشکسالی متوسط رخ داده است. همچنین طبق این شاخص در سال ۸۶-۱۳۸۵ ترسالی متوسطی با مقدار شاخص ۰/۱ مشاهده شده است و سال ۸۷-۱۳۸۶ با مقدار شاخص ۰/۵۰ وضعیت نرمال تعیین شده‌اند. مقایسه سالانه شاخص GRI با شاخص خشکسالی هیدرولوژی که در شکل ۹ نشان داده شده است، نمایانگر ارتباط مشخصی بین این دو شاخص خشکسالی در اکثر سال‌ها هست. تاخیر زمانی تأثیر خشکسالی هیدرولوژی بر سطح آب‌های زیرزمینی در این شکل مشخص است.

جدول ۱- خروجی ضریب همبستگی پیرسون بین

SDI و GRI از نرم افزار SPSS.

شاخص SDI	شاخص GRI
ضریب همبستگی پیرسون	۰/۲۴۱
سطح معناداری	۰/۴۷۵
تعداد	۱۱
ضریب همبستگی پیرسون	۰/۲۴۱
سطح معناداری	۰/۴۷۵
تعداد	۱۱

جدول ۲- خروجی ضریب همبستگی پیرسون بین

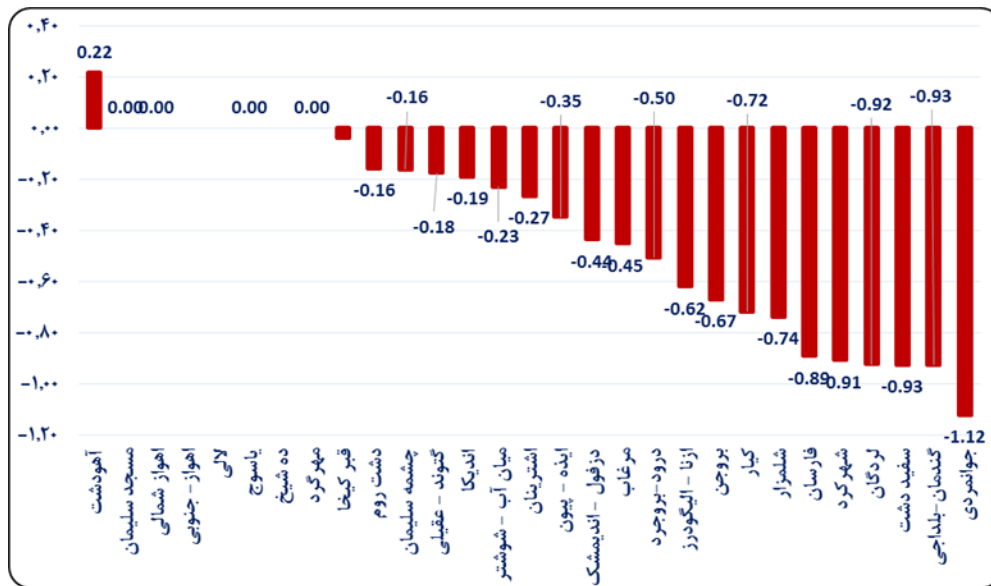
GRI و میزان برداشت از نرم افزار SPSS

میزان برداشت	شاخص GRI
ضریب همبستگی پیرسون	۰/۸۴۶**
سطح معناداری	۰/۰۰۱
تعداد	۱۱
ضریب همبستگی پیرسون	۰/۸۴۶**
سطح معناداری	۰/۰۰۱
تعداد	۱۱

** همبستگی تا سطح یک درصد معنی دار است.

به طور کلی بررسی مقادیر میانگین شاخص GRI در محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کارون بزرگ برای یک دوره یازده ساله (۹۶-۱۳۸۵) (شکل ۱۹) نشان دهنده مقدار شاخص ۰/۲۲ برای آلودشت و مقدار شاخص صفر برای محدوده‌های مطالعاتی اهواز شمالی، اهواز جنوبی، لالی، مسجد سلیمان، یاسوج، ده شیخ و مهرگرد می‌باشد. مقدار شاخص ۰/۱۶- برای دشت‌روم و چشمه سلیمان ثبت شده است. بقیه محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کارون دارای مقدار شاخص خشکسالی بیشتر تعیین شده‌اند، به طوری که مقدار شاخص ۱/۱۲-، ۰/۹۳-، ۰/۹۲-، ۰/۹۱-، ۰/۸۹- و ۰/۷۴- به ترتیب برای جوانمردی، گندمان- بلداجی، (سفیددشت)، لردگان، شهرکرد، فارسان و شلمزار می‌باشد.

دلیل همبستگی پایین میان شاخص‌های SDI و GRI را می‌توان عاملی غیر از بارندگی در کاهش منابع آب زیرزمینی در نظر گرفت. در واقع می‌توان بیان کرد که افت سطح آب زیرزمینی علاوه بر بارندگی و رواناب- های سطحی به عوامل دیگری همانند برداشت بی رویه از آبخوان بستگی دارد که این فاکتور در بعضی موارد از کمبود رطوبت ناشی از بارندگی و جریان‌های سطحی تاثیرگذارتر خواهد بود. جدول ۲ ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص GRI و میزان تخلیه از منابع آب زیرزمینی را نمایش می‌دهد. بررسی‌ها نشان داد که ضریب همبستگی بین شاخص GRI و میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی در مقیاس زمانی سالانه برابر ۸۴/۶٪ می‌باشد. همچنین در سطح فراتر از ۱ نیز معنی دار است و این ارتباط بالای شاخص GRI و میزان برداشت را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹- میانگین مقدار شاخص GRI در محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کارون بزرگ.

نتیجه گیری کلی

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 راستا، شاخص‌های خشکسالی GRI و SDI برای حوضه آبریز کارون بزرگ در یک بازه زمانی ده ساله محاسبه شد. بر اساس نتایج به دست آمده، در بیشتر محدوده‌های مطالعاتی همبستگی بین شاخص GRI و SDI وجود دارد. البته در برخی موارد تأثیر خشکسالی هیدروژئولوژی 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. بنابراین با تعیین فاصله زمانی بین خشکسالی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئولوژیکی می‌توان قبل از اینکه خشکسالی‌های هواشناسی و در ادامه آن خشکسالی منابع آب سطحی بر افت سطح آب زیرزمینی تاثیرگذار شود، اقدامات لازم را جهت جلوگیری از اثرات سو بر روی منابع آبی صورت پذیرد. در واقع با دانستن این

فاصله زمانی به مدیران و برنامه ریزان این امکان داده می‌شود که بدانند چه مدت زمان تا بروز خشکسالی هیدروژئولوژیکی و در نهایت کاهش منابع آب زیرزمینی در اختیار دارند.

نتایج همبستگی پایین دو شاخص خشکسالی آب‌های سطحی و زیرزمینی نشان داد که عامل افت سطح آب در آبخوان‌ها را نمی‌توان تنها خشکسالی بیان کرد بلکه در برخی موارد برداشت‌های بی‌رویه تأثیر بیشتری نسبت به خشکسالی دارد، و همبستگی بالای بین شاخص GRI و میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی این مطلب را تایید می‌کند. به طور کلی شاخص خشکسالی GRI در طول دوره آماری ده ساله حوضه آبریز کارون بزرگ، در جنوب شرق و حوالی غرب حوضه آبریز مذکور نمایان تر می‌باشد و در سال‌های پایانی این دوره محدوده‌های سمت شمالی حوضه نیز درگیر خشکسالی‌های شدید تری شده‌اند.

با توجه به اینکه خشکسالی اقلیمی پدیده‌ای غیرقابل پیشگیری است، و جلوگیری از وقوع آن امکان ندارد، اما می‌توان با اقداماتی اثرات منفی آن را کاهش داد. بنابراین لزوم برنامه ریزی و اعمال مدیریت صحیح منابع آب‌های زیرزمینی در منطقه ضروری به نظر می‌-

نشست زمین، تغییر کیفیت آب و در نتیجه آسیب رسیدن به اکوسیستم‌های آبی و خاکی، کاهش ثمردهی محصولات کشاورزی و غیره را می‌توان برشمرد.

بخش تحقیقات بیابان جناب آقای دکتر خسروشاهی 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.

رسد. بر اساس نتایج کاهش سطح آب زیرزمینی در حوضه مورد نظر اثرات ثانویه زیادی مانند افزایش هزینه پمپاژ جهت عملیات استخراج، خشک شدن چاه‌ها، پیشروی آب‌های شور از لایه‌های عمیق‌تر، افزایش

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، رئیس

منابع مورد استفاده

- Alimirzaei Z, Zare Bidaki R, Zamani R and Madmahmoodi A, 2018. Monitoring Hydrological and Meteorological Drought in
- Anonymous, 2014. International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC) Information System. Global Overview
- Anonymous, 2019. Comprehensive Study of Dust in Khuzestan Province Hydrological Study of Karun Watershed. Research
- Chamanpira Gh, Zehtabian Gh, Ahmadi H and Malekian A, 2014. Effect of drought on groundwater resources in order to
- Chen Z, Grasby S and Osadetz KG, 2004. Relation between climate variability and groundwater level in the upper carbonate
- Dargahian F Razavi Zadeh S, 2020. Identification of annual and decadal changes in drought trends of the Karoun basin using the SPEI index. Journal of Iran Nature 4(6): 71-76. (In Persian with English abstract)
- Eskandari Damaneh H, Zehtabian Gh, Khosravi H and Azareh A, 2016. Investigation and Analysis of Temporal and Spatial Relationship between Meteorological and Hydrological Drought in Tehran Province. Journal of Geographical Data (SEPEHR) 24(96): 113-120. (In Persian with English abstract)
- Faryabi M and Mozaffarizade J, 2017. Hydrogeological drought management index (HDMI) as a tool for groundwater resource management under drought conditions (Case Study: Dayyer-Abdan district, Boushehr province). Quarterly Journal of Echo Hydrology 3(4): 737-748. (In Persian with English abstract)
- Gleeson T, Wada Y, Bierkens M and Beek LPH, 2012. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. Nature 488: 197-200.
- Jahanbakhsh S and Karimi F, 2009. Relation between drought and groundwater resources. Report of research project in Tabriz University. (In Persian with English abstract)
- Keneth HF, 2003. Climate Variation Drought and Desertification, W. M. Annual Report. Jevnva.
- Leelaruban N, Padmanabhan G and Oduor P, 2017. Examining the relationship between drought indices and groundwater
- Mendicino G Senatore A Versace P, 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a
- Mirakbari M, Mortezaei G and Mohseni M, 2018. Investigation of Effect Meteorological Drought on Surface and Ground Water (42): 70-80. (In Persian with English abstract)
- Nalbantis I and Tsakiris G, 2009. Assessment of hydrological drought revisited. Water Resources Management 23(5): 881-897.