Research Paper

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 12
No. 4 (48)
Summer 2023

Received:
2023-03-05

Accepted:
2023-05-01

Pages: 87-99

Investigating and Temporal Monitoring of GRI Index on the Fluctuations of Groundwater Table (Case Study: Zanjan Plain)

Ebrahim Yousefi Mobarhan[1*] and Samira Zandifar[2]

[1] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Semnan, Iran
[2] Assistant Professor, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
*Corresponding author email: e.yousefi.m@gmail.com

Abstract:
Background and Aim: Due to the occurrence of drought periods and increased exploitation of the plain, alongside of the agriculture expansion and the rise in groundwater extraction, the level of the groundwater table in the Zanjan plain has decreased, which has resulted in a fall in the level of the groundwater table and a decrease in the efficiency of the wells. The purpose of this research is to investigate and Zoning of Temporal and Spatial of the depth, level and changes of the level of groundwater table of Zanjan plain, trends of depletion and annual changes and temporal monitoring of the drought (GRI) of groundwater resource of Zanjan plain based on the representative hydrograph.
Method: In order to carry out this research, the statistics of 69 observation wells are analyzed during 3 time periods (2001-2008, 2008-2013 and 2013-2018). At first, statistical data is collected and after importing the data into the Geographical Information System (GIS), maps of iso-depth, iso-level and zoning changes of the groundwater table are prepared with the interpolation method. The plain hydrograph has been prepared to investigate the long-term changes and fluctuations of groundwater table, as well as to detect the periods of rise and fall of the water level, during the statistical period for the Zanjan plain. Long-term changes and fluctuations of groundwater table are also drawn in the Excel. The phenomenon of drought in the long term causes the reduction of water resources through the drying up of surface and underground streams. For this purpose, the GRI index has been used to temporal monitoring of drought of groundwater resources in Zanjan plain.
Results: The results obtain from the maps of the iso-loss show that the highest level of groundwater in the first time period (2013-2018) in the northern part of the plain is 12.4 m, in the second time period (2008-2013) in the southern part and the eastern part of the plain has dropped by 9.4 m and in the third period (2001-2008) in the northwestern parts, it has dropped by 14.5 m. The hydrographs of the groundwater table illustrate that during the period of 20 years, the depletion of the Zanjan plain table is 12.9 m, which means that the water level has depleted by 0.65 m annually on average. This actually indicates the negative changes in the groundwater level in the studied area. The results of the changes in the volume of the Zanjan plain demonstrate that the volume deficit of the Zanjan plain is 705.8 MCM. Also, temporal monitoring of the drought in groundwater resources of the Zanjan plain with the GRI index shows a very descending trend towards drought during the twenty-year period.
Conclusion: Groundwater is the main source of agricultural needs, especially in arid and semi-arid areas; therefore, having a sustainable agriculture requires careful management and planning on how to use these resources, which itself requires sufficient knowledge about the spatial changes of the groundwater level in a certain period. In the present research, the investigation of the depletion of the groundwater table, especially in the piezometers of the northern and side parts of the Zanjan plain, shows that this water disaster (groundwater level depletion of about 13 m) is mainly due to the improper management of water resources and the increase in the issuance of permits for deep and semi-deep wells with 61% growth in the last two decades. The negative balance of the plain is so severe that even the good rains of the last few years have not been able to stop the process of lowering the groundwater table. It is recommended to prevent the continuation of the Zanjan plain volume decrease, to manage and control the exploitation of the wells and to prevent any over-exploitation, as well as to use the implementation and development of plain projects to supply the shortage of water resources and feed the plain.
Keywords: Drought, Groundwater Table, GRI Index, representative hydrograph, reservoir volume

10.30495/wsrcj.2023.72140.11361

مقاله پژوهشی

بررسی و پایش زمانی شاخص GRI بر نوسانات سطح آب زیرزمینی

(مطالعه موردی: دشت زنجان)

ابراهیم یوسفی مبرهن[*1] و سمیرا زندی‌فر[2]

۱) اســـتادیار پژوهشی، بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشـــاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران.

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

[*] ایمیل نویسنده مسئول: e.yousefi.m@gmail.com

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱

شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال دوازدهم
شماره چهار (۴۸)
تابستان ۱۴۰۲

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۲/۱۱

صفحات: ۹۹-۸۷

چکیده:

زمینه و هدف: با توجه به وقوع دوره‌های خشکسالی و افزایش بهره‌برداری از آبخوان، گسترش کشاورزی و افزایش برداشت آب‌های زیرزمینی، تراز سطح آب زیرزمینی در دشت زنجان کاهش یافته است که این امر بر پایین رفتن تراز سطح آب زیرزمینی و کاهش راندمان چاه‌ها گردیده است. هدف از این پژوهش بررسی و پهنه‌بندی مکانی-زمانی عمق، تراز و تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت زنجان، برآورد روند افت و تغییرات سالانه آب زیرزمینی و پایش زمانی خشکسالی (GRI) منابع آب زیرزمینی دشت زنجان بر اساس هیدروگراف معرف می‌باشد.

روش پژوهش: به‌منظور انجام این پژوهش، آمار ۶۹ حلقه چاه مشاهده‌ای در طی ۳ دوره زمانی (۸۷-۸۰، ۹۲-۸۷ و ۹۷-۹۲) مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا داده‌های آماری جمع‌آوری و پس از ورود داده‌ها به سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با روش درون‌یابی، نقشه‌های خطوط هم‌عمق، هم‌تراز و پهنه‌بندی تغییرات افت سطح آب زیرزمینی تهیه گردید. آبنمود معرف آبخوان به منظور بررسی تغییرات درازمدت و نوسانات سطح آب‌زیرزمینی و نیز تشخیص دوره‌های افزایش و کاهش سطح آب، در طول دوره آماری برای دشت زنجان تهیه شده است. تغییرات درازمدت و نوسانات سطح آب زیرزمینی نیز در محیط نرم‌افزاری Excel ترسیم شدند. پدیده خشکسالی در درازمدت موجب کاهش منابع آب، از طریق خشکیدگی جریان‌های سطحی و زیرزمینی می‌گردد. بدین منظور از شاخص خشکسالی GRI جهت پایش زمانی خشکسالی منابع آب زیرزمینی دشت زنجان استفاده شده است.

یافته‌ها: نتایج به‌دست‌آمده از نقشه‌های پهنه‌بندی افت، نشان داد در دوره زمانی اول (۱۳۸۷-۱۳۸۰) در بخش‌های شمال‌غربی به اندازه ۱۴/۵ متر، در دوره زمانی دوم (۱۳۹۲-۱۳۸۷) در بخش جنوبی و شرقی دشت به اندازه ۹/۴ متر و بیشترین افت سطح آب زیرزمینی در دوره زمانی سوم (۱۳۹۷-۱۳۹۲) در بخش شمالی دشت به اندازه ۱۲/۴ متر بوده است. هیدروگراف‌های تراز آب زیرزمینی نشان می‌دهند که در طول مدت زمان ۲۰ سال، افت سطح آب در دشت زنجان ۱۲/۹ متر می‌باشد که به‌طور متوسط هر سال ۰/۶۵ متر سطح آب افت کرده است این در واقع نشان‌دهنده منفی بودن تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه است. نتایج حاصل از تغییرات حجم مخزن دشت زنجان نشان داد کل کسری حجم مخزن معادل ۷۰۵/۸ میلیون مترمکعب می‌باشد همچنین پایش زمانی خشکسالی منابع آب زیرزمینی دشت زنجان با شاخص GRI در طول بازه بیست ساله روندی بسیار نزولی به سمت خشکسالی دارد.

نتایج: 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. در تحقیق حاضر، بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی خصوصا در پیزومترهای بخش‌های شمالی و کناری دشت زنجان نشان داد که این فاجعه آبی (افت حدود ۱۳ متری سطح ایستابی) عمدتا در اثر مدیریت نامناسب منابع آبی و افزایش صدور مجوز حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق با رشد ۶۱ درصدی در دو دهه گذشته بوده است . بیلان منفی دشت به حدی شدید است که حتی بارش‌های مناسب چند سال اخیر نیز نتوانسته است از روند افت تراز سفره آب زیرزمینی ممانعت کند. توصیه می‌گردد جهت جلوگیری از ادامه روند کاهش حجم مخزن دشت زنجان، بهره‌برداری و برداشت‌ها از چاه‌ها مدیریت و کنترل و از هرگونه اضافه برداشت از سفره جلوگیری گردد همچنین از طریق اجرا و توسعه طرح‌های آبخوان‌داری جهت تامین کمبود منابع آب و تغذیه دشت استفاده شود.

کلید واژه‌ها: سطح آب زیرزمینی، آبنمود معرف، حجم مخزن، خشکسالی، شاخص GRI

10.30495/wsrcj.2023.72140.11361

مقدمه

آب زیرزمینی نقش مهمی در توسعه اجتماعی و اقتصادی هر منطقه دارد. آب به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین عناصر، در تمامی جنبه‌های زندگی انسان از جمله رفاه بشر، توسعه اقتصادی اجتماعی و حیات اکوسیستم نقش بسیار مهمی را بازی می‌کند (An et al., 2014). منابع آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین منابع آب به شمار می‌روند. شناخت صحیح و بهره‌برداری اصولی از آن‌ها در توسعه پایدار فعالیت‌ها اجتماعی و اقتصادی یک منطقه، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقش بسزایی دارد (Naderianfar et al., 2021). این منابع با حجمی معادل ۳۷ میلیارد کیلومتر مکعب (۲۲ درصد آب‌های شیرین جهان) حدود ۹۷ درصد آب شیرین مصرفی جهان را تامین می‌کنند (Rahimi and solaimani, 2017). آب‌های زیرزمینی منابع تجدیدپذیر، محدود و حیاتی برای زندگی انسان، توسعه اجتماعی و اقتصادی و یک جزء با ارزش از اکوسیستم هستند (Singh et al, 2011).

امروزه با توجه به برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در بسیاری از دشت‌ها تراز آب با نوسانات زیادی مواجه بوده و دچار افت شده‌اند که با توجه به این موضوع، کاهش کیفیت منابع آبی را تجربه می‌کنند. بنابراین کنترل منابع آبی و استفاده بهینه از آن‌ها از اولویت بسیار بالایی برخوردار است (Shahidi and Khadempour, 2020). عدم شناخت صحیح و بهره‌برداری بی‌رویه از این منابع خسارت جبران‌ناپذیر مانند افت شدید و غیرقابل‌برگشت سطح آب زیرزمینی، کاهش دبی چاه‌ها و قنوات و تغییرات الگوی جریان آب زیرزمینی را به دنبال خواهد داشت. بدین منظور برای آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی و مدیریت بهینه آن لازم است بررسی دقیقی از نوسانات سطح آب زیرزمینی انجام شود (Naderianfar et al., 2011؛ Yousefi Mobarhan and Peyrowan, 2022).

با توجه به اهمیت موضوع مطالعات مختلفی در سرتاسر جهان در مورد افت آب‌های زیرزمینی انجام شده است. به‌عنوان نمونه تغییرات آب زیرزمینی در دشت مشهد، اکبری و همکاران (۱۳۸۸)؛ استان قم، فتاحی (۱۳۸۸)؛ دشت کوهدشت، امیری و همکاران (۱۳۸۹)؛ دشت یزد-اردکان، اکرامی و همکاران (۱۳۹۰)؛ دشت گیلان‌غرب، نصراللهی و همکاران (۱۳۹۳)؛ دشت ارومیه، بهمنش و همکاران (۱۳۹۴)؛ دشت مهران، کایی و همکاران (۱۳۹۶)؛ دشت عباس ایلام، پایمزد و همکاران (۱۳۹۸)؛ دشت سمنان، محمدی و همکاران (۱۳۹۹)؛ دشت جیرفت، نادریان‌فر و همکاران (۱۴۰۰) و دشت سمنان ربیعی، کرمی (۱۴۰۱) و دشت قروه-دهگلان، یوسفی مبرهن و زندی-فر (۱۴۰۲) را گزارش نمودند. همچنین تغییرات آب زیرزمینی در هلند، گرلس[1] و همکاران (۱۹۹۴)؛ هند، پاندا[2] و همکاران (۲۰۰۷)؛ کره جنوبی، لی[3] و همکاران (۲۰۰۷)؛ بنگلادش، شهید[4] و هازاریکا[5] (۲۰۰۹)؛ هند، آسوکا[6] و همکاران (۲۰۱۷)؛ استرالیا، پریستلی[7] و همکاران (۲۰۱۹) و در چین شی[8] و همکاران (۲۰۱۹) اشاره نمودند.

پناهی و همکاران (۱۳۹۷) به شبیه‌سازی و تخمین نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت زنجان (۲۰۰۷-۲۰۰۲) با استفاده از GMS اقدام نمودند. نتایج نشان داد بر اساس محاسبه تراز آب، جریان آب زیرزمینی از جنوب شرقی به شمال غربی است که این جریان با شیب غالب منطقه مطابقت داشته است همچنین نقشه‌های به‌دست‌آمده برای تراز آب زیرزمینی در این سال‌ها نشان‌دهنده افت شدید سطح آب با ادامه برداشت‌های بی‌رویه از ذخیره دشت زنجان است.

در حال حاضر یکی از چالش‌های مهم در منابع آب زیرزمینی، افت سطح آب زیرزمینی و پیامدهای حاصل از آن، می‌باشد. با توجه به تغییرات کاهشی در میزان بارش، وقوع خشکسالی‌های اخیر، افزایش فعالیت‌های کشاورزی، دامداری و صنعتی و همچنین افزایش جمعیت به خصوص در ۱۰ سال اخیر باعث افزایش مصرف آب و در نتیجه کاهش ذخایر آب زیرزمینی و بیلان منفی سفره‌های آب زیرزمینی شده است (Abbasi et al., 2016) و جلوگیری از تخریب و نابودی این منابع در صورتی امکان پذیر خواهد بود که با بهره‌گیری از وضعیت موجود، برنامه‌ریزی اصولی و صحیح در بهره‌برداری و نگهداری از آن‌ها تدوین و اجرا گردد. با توجه به این‌که هنوز مطالعه‌ای در پهنه‌بندی نوسانات سطح آب زیرزمینی در سه دوره زمانی و پایش زمانی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص GRI در دشت زنجان انجام نشده است، هدف از این پژوهش بررسی و پهنه‌بندی مکانی-زمانی عمق، تراز و تغییرات سطح آب زیرزمینی در شناسایی وضعیت سفره، برآورد روند افت و نوسانات سالانه آب زیرزمینی و همچنین تحلیل زمانی خشکسالی آب زیرزمینی دشت زنجان با استفاده از شاخص GRI می‌باشد. ارائه نتایج حاصله، می‌تواند گام مهمی در راستای برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه بهره‌برداری از منابع آب منطقه و جلوگیری از کاهش حجم مخزن آبرفتی دشت زنجان نشان دهد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت زنجان یکی از ۱۱ محدوده حوزه آبریز سفیدرود بزرگ می‌باشد که در محدوده بین ۴۸ تا ۴۹ درجه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی

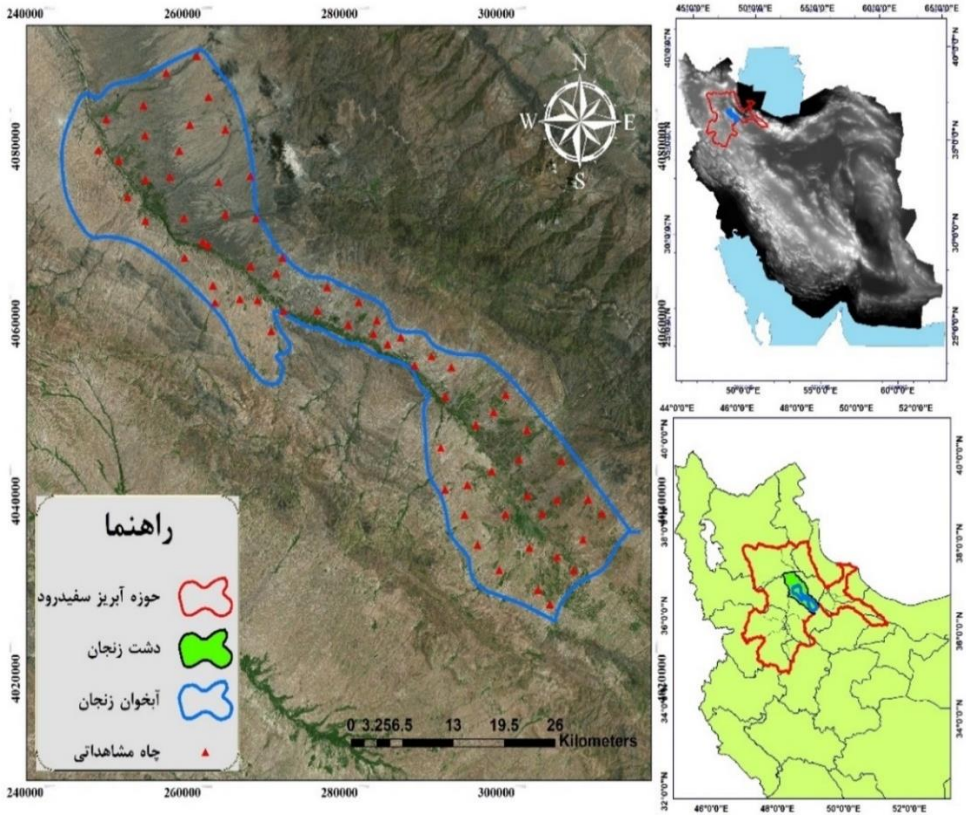
واقع شده است. میانگین بارندگی در این منطقه ۳۲۳ میلیمتر در سال می‌باشد و بیشترین دمای مطلق ۴۰ و کمترین دمای مطلق ۲۹/۶- درجه سانتی گراد است. در این دشت، رودخانه زنجان‌رود از جنوب شرقی دشت به سمت شمال‌غرب در جریان است و در نهایت به رودخانه قزل‌اوزن متصل می‌شود. دشت زنجان به صورت فلات مرتفعی است که کوه‌های طارم را از رشته کوه‌های طویل و باریک سلطانیه جدا می‌کند (Asadi and Bayat, 2019). از نظر تشکیلات زمین‌شناسی، دشت مورد مطالعه بر روی رسوبات کواترنری واقع شده و با رشته‌کوه-های سلطانیه و طارم احاطه شده است. این ارتفاعات از نظر زمین‌شناسی شامل سازندهای پرکامرین و دوران اول و دوم است که به صورت هورست، در دوران سوم بالا آمده است (Einlo et al., 2016). موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

در تحقیق مورد نظر آمار و اطلاعات تراز چاه‌های مشاهده‌ای در طی دوره‌ی ۱۸ ساله (۱۳۹۷-۱۳۸۰) از شرکت مدیریت منابع آب ایران در حوزه آبریز سفیدرود تهیه شد.

شبیه‌سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی با مدل GIS

در تحقیق حاضر، با استفاده از نرم‌افزار Excel ورژن 2019 داده‌های مورد نظر به ۳ دوره زمانی (۱۳۸۷-۱۳۸۰، ۱۳۹۲-۱۳۸۸ و ۱۳۹۷-۱۳۹۳) تبدیل شدند. پس از مرتب کردن داده-ها در محیط Excel (Mirzaei et al., 2013)، شماره‌گذاری ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام شد. تهیه نقشه‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌ها در نرم افزار Arc GIS 10.5 انجام شد. تهیه نقشه‌ها جهت تحلیل تغییرات کمی آب‌های زیرزمینی بسیار مفید و کارآمد است زیرا با مقایسه نقشه‌های مربوط به دوره‌های زمانی متفاوت می‌توان به تغییرات صورت گرفته در دوره مطالعاتی پی برد (Kokbeinjad et al., 2018). داده‌های مورد نیاز شامل مختصات چاه‌ها، سال و میزان سطح آب هر چاه در هر سال در جدولی جدا مرتب شدند. در تحلیل کمی آب جمعا ۶۹ منبع آب زیرزمینی به منظور سنجش نوسانات آب زیرزمینی دشت زنجان برداشت شد.

داده‌های مربوط به هر چاه در محیط GIS تبدیل به نقشه نقطه‌ای برای هر ماه و سال شد (Afzali and Shahidi, 2013). در ادامه به مطالعه و بررسی نقشه‌های هم‌تراز، هم‌عمق آب زیرزمینی، تغییرات تراز آب زیرزمینی و تهیه آبنمود معرف دشت پرداخته شد. بر این اساس، اطلاعات مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای در دشت آبرفتی زنجان تهیه و آماده‌سازی شد. به منظور تهیه نقشه خطوط هم‌تراز و هم‌عمق آب زیرزمینی از داده‌های ماهانه حداقل در سال آخر دوره آماری (سال آبی ۹۷-۱۳۹۶) برای دشت زنجان استفاده گردید و پهنه‌بندی ها توسط درون‌یابی در محیط نرم افزار Arc GIS 10.5 رسم شدند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

همچنین به منظور بررسی دقیق‌تر، نقشه‌های هم‌تراز و هم-عمق آب زیرزمینی برای ۳ دوره زمانی بر اساس اطلاعات در دسترس ترسیم شد. عملیات میان‌یابی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی به روش کریجینگ معمولی که برای پهنه-بندی مناسب‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد (فتحی هفشجانی و همکاران، ۱۳۹۳)، انجام شد. روش‌های زمین آماری ضمن در نظر گرفتن موقعیت مکانی و نحوه پراکنش نقاط، اغلب دقّت قابل قبولی را ارائه می‌دهند (Delbari et al., 2012). روش-های زمین‌آمار، به‌منظور شناخت تغییرات مکانی پدیده‌ها و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی در نقاط فاقد آمار مناسب می‌باشد (Yazdanpanahi et al., 2018). روش درون-یابی کریجینگ بر اساس میانگین متحرک وزن‌دار محاسبه می‌شود و بهترین تخمین‌گر خطی ناریب با حداقل واریانس تخمین می‌باشد (Nadiri et al., 2015؛ Yousefi Mobarhan and Karimi Sangchini, 2021).

همچنین 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 شده و نقشه پهنه بندی تغییرات سه دوره زمانی و مجموع دوره مشترک آماری (۱۸ ساله) آب زیرزمینی در مدل GIS تهیه شد(Yousefi Mobarhan and Zandifar et al., 2023).

بررسی تغییرات بلند مدت سطح آب زیرزمینی

به منظور بررسی تغییرات بلند مدت و نوسانات سطح آب-زیرزمینی و نیز تشخیص دوره‌های افزایش و کاهش تغییرات تراز آب زیرزمینی مورد مطالعه، آبنمود یا هیدروگراف معرف در طول دوره آماری برای آبخوان دشت زنجان تهیه شده است. آبنمود معرف، هیدروگراف متوسطی است که معرف آبخوان‌های منطقه است و از طریق آن، تغییرات سطح آب زیرزمینی در طول دوره‌های مختلف چندین ساله مشخص می‌شود (Yousefi Mobarhan and Zandifar et al., 2023). هیدروگراف واحد به روش تیسن تهیه می‌شود (رابطه ۱). در این روشی که چاه‌های مشاهده‌ای منتخب منطقه را به یکدیگر وصل کرده، و با رسم عمود منصف‌های اضلاع مثلث‌های حاصل، پلی گون‌هایی ایجاد می‌شود به گونه‌ای که در هر پلی گون یک چاه مشاهده‌ای قرار می‌گیرد. مساحت پلی گون‌ها محاسبه شده و با استفاده از رابطه زیر، متوسط سطح آب زیرزمینی برای هر ماه از سال در دوره زمانی معین برای کل آبخوان به دست می‌آید.

رابطه (۱) $$\bar{h} = \frac{\sum ah}{A}$$

در این رابطه، h سطح آب در چاه مشاهده‌ای، a مساحت پلی‌گونی که چاه مشاهده‌ای در آن قرار گرفته، و A مساحت کل پلی گون‌هاست. هیدروگراف واحد از ترسیم نمودار متوسط سطح آب زیرزمینی در برابر ماه‌های دوره زمانی مورد نظر حاصل می‌شود.

برآورد شاخص خشکسالی GRI[۹]

خشکسالی یکی از زیان‌بارترین، مخاطرات طبیعی به شمار می‌رود. در بین بلاهای طبیعی تهدید کننده‌ی انسان و محیط زیست، خشکسالی هم از نظر فراوانی رخداد و هم از جنبه‌ی اندازه‌ی زیان‌های وارده در صدر قرار دارد (Keneth, 2003). این پدیده در بلند مدت موجب کاهش منابع آب، از طریق خشکیدگی جریان‌های سطحی و زیرزمینی می‌گردد. بدین منظور از شاخص خشکسالی برای بیان کمی این پدیده استفاده شده‌است. معمولاً این شاخص‌ها به صورت نقطه‌ای محاسبه می-شوند و لازم است تا به صورت مکانی پردازش شده و نقشه‌های مربوط ارائه گردند. در این تحقیق، شاخص استاندارد شده بارش (GRI) به عنوان الگوی معتبر و کاربردی، مورد استفاده قرار گرفت. شاخص GRI در سال ۲۰۰۸ توسط مندسینو و همکاران به عنوان شاخصی قابل اعتماد به منظور پایش وضعیت خشکسالی آب زیرزمینی پیشنهاد شد (رابطه ۲). مقدار شاخص GRI با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۲) $$RI = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D.m}}$$

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 GRI در جدول ۱ نشان داده شده است. مراحل و روند انجام تحقیق مورد نظر در شکل ۲ نمایش داده شده است.

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

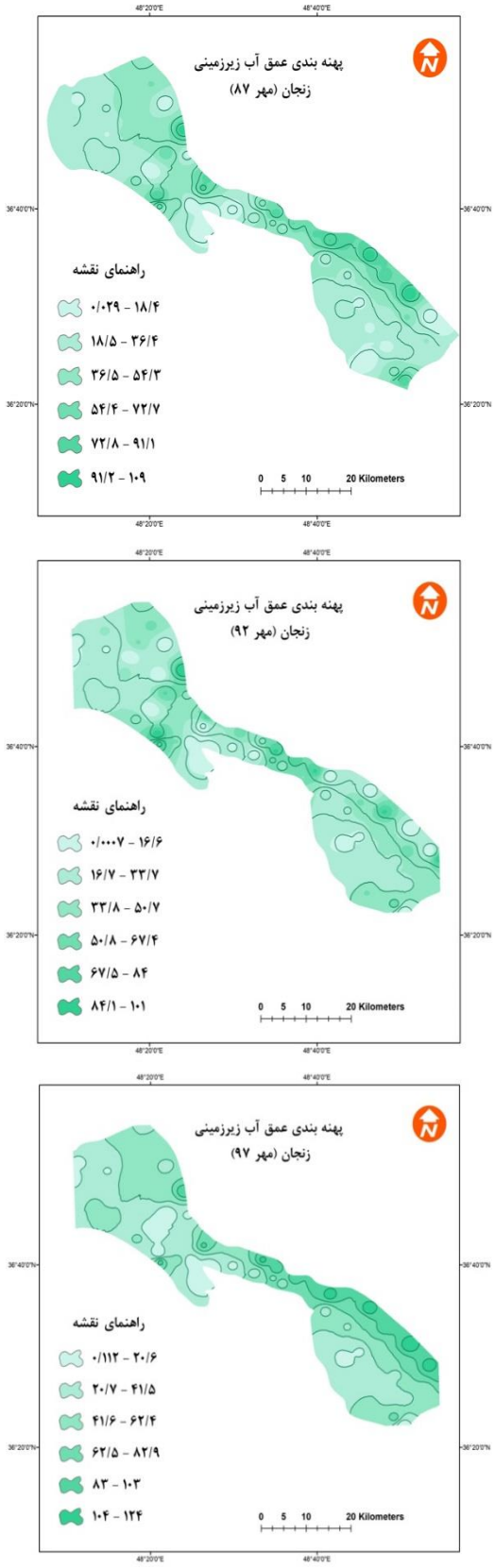
ردیف	طبقات خشکسالی	GRI
۱	ترسالی بسیار شدید	≤۲
۲	ترسالی شدید	۲ - ۱/۵
۳	ترسالی متوسط	۱/۵ - ۱
۴	ترسالی ملایم	۱ - ۰/۵
۵	نرمال	۰/۵ - -۰/۵
۶	خشکسالی ملایم	-۰/۵ - -۱
۷	خشکسالی متوسط	-۱ - -۱/۵
۸	خشکسالی شدید	-۱/۵ - -۲
۹	خشکسالی بسیار شدید	≤ -۲

شکل ۲. مراحل و روند انجام تحقیق

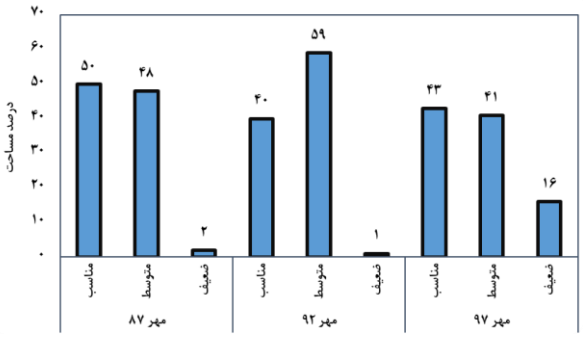
نتایج و بحث

تعیین مناطق مناسب از نظر عمق زیرزمینی

نقشه پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی در مهر ماه سال ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس نقشه مهر ۱۳۹۷، بیشترین عمق آب زیرزمینی در دشت زنجان در حدود ۱۲۴ متر در پیزومتر اراضی کاک آباد است به طوری که کمترین عمق آب زیرزمینی در منطقه در پیزومتر اسفناج معادل ۱ متر است. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی در سه دوره زمانی، عمق آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۸۷ روندی کاهشی داشته ولی سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۹۲ دارای روندی افزایشی بوده است به طوری که در مهر ماه سال ۱۳۸۷ بیشترین عمق آب زیرزمینی معادل ۱۰۹ متر بوده و در ماه مشابه سال ۱۳۹۲، با کاهش ۸ متری معادل ۱۰۱ متر رسیده است. در سال ۱۳۹۷ سطح آب در مناطق مختلف به شدت کاهش یافته است که اعداد مربوطه این امر را تأئید می‌کند. همچنین از شکل ۳ می‌توان بخش شمالی دشت را از بخش جنوبی آن از نظر میزان سطح آب زیرزمینی به خوبی تفکیک کرد. میزان درصد از محدوده مطالعاتی از نظر عمق آب زیرزمینی که دارای شرایط مناسب، متوسط و ضعیف می‌باشد در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج گویای این مطلب است که مساحت محدوده با شرایط مناسب و متوسط در سه دوره آماری تغییرات محسوسی نداشته است ولی مساحت محدوده با شرایط ضعیف، ۱۴ درصد افزایش داشته است. لازم به ذکر است که شرایط مناسب، متوسط و ضعیف عمق آب زیرزمینی بر حسب متر به‌ترتیب در محدوده ۴-۰، ۸-۴ و ۱۲-۴ می‌باشد.



شکل ۳. پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی دشت زنجان در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷.



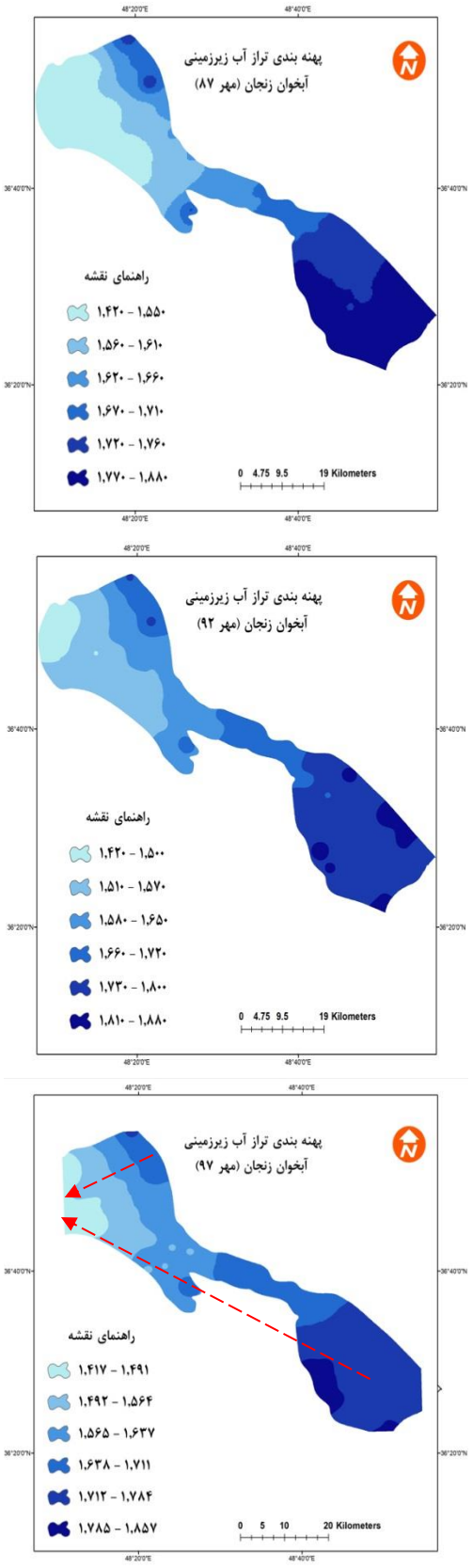
شکل ۴. درصد مساحت دشت زنجان از نظر عمق آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷

تعیین مناطق مناسب از نظر سطح آب زیرزمینی

نقشه پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی محدوده دشت در مهر ماه سال ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ به ترتیب در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس این نقشه‌ها، بیشترین تراز آب زیرزمینی مربوط به نواحی جنوبی دشت است به طوری که در پیزومتر بویین۲ معادل ۱۸۷۷ متر (سال ۱۳۹۲) که به سمت نواحی غربی دشت به تدریج کم شده و در پیزومتر نیک‌پی معادل ۱۴۱۷ متر می‌رسد. این امر به دلیل ارتفاع بالای سطح منطقه و تغذیه خالص طبیعی بالا در قسمت جنوبی و شرقی دشت نسبت به تراز پایین قسمت‌های غربی می‌باشد. از این رو، جهت کلی حرکت آب زیرزمینی طبق نقشه‌های حاصل شده از روش درون‌یابی نشان‌دهنده این موضوع است که جهت جریان آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه از ارتفاعات جنوب‌شرقی و شمال‌شرقی به سمت غرب می‌باشد. نتایج به‌دست آمده با نتیجه پناهی و همکاران (۱۳۹۷) از منظر جهت کلی حرکت آب زیرزمینی در دشت زنجان همخوانی دارد.

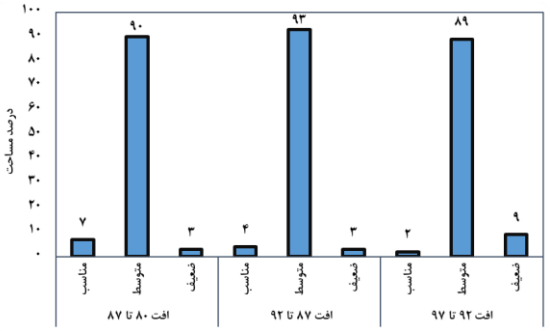
تعیین مناطق مناسب از نظر تغییرات سطح آب زیرزمینی

همان‌طور که از شکل ۷ مشخص است تمرکز چاه‌ها در دوره زمانی اول (۱۳۸۷-۱۳۸۰)، در مناطقی با افت منفی بیشتر بوده و در این مناطق تعداد قابل‌ملاحظه‌ای چاه وجود دارد. بیشترین و کمترین کاهش تراز آب زیرزمینی به ترتیب معادل ۱۴/۵ متر و ۱۰ متر در منطقه است. در طی دوره زمانی دوم (۱۳۹۲-۱۳۸۷)، فقط تعداد محدودی از چاه‌های منطقه، افزایش تغییرات تراز آب زیرزمینی را نشان می‌دهند یعنی بهره‌برداری از چاه‌هایی که در دوره زمانی اول در مناطق با افزایش افت قرار داشتند به نحوی بوده که این مناطق به مناطقی با کاهش افت تبدیل شده‌اند همچنین شدت آن نسبت به دوره اول کمتر بوده ولی در تمام قسمت‌ها کاهش تراز آب زیرزمینی مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد این نواحی شرایط خوبی از نظر تراز آب زیرزمینی ندارند. در طی دوره زمانی سوم (۱۳۹۷-۱۳۹۲)

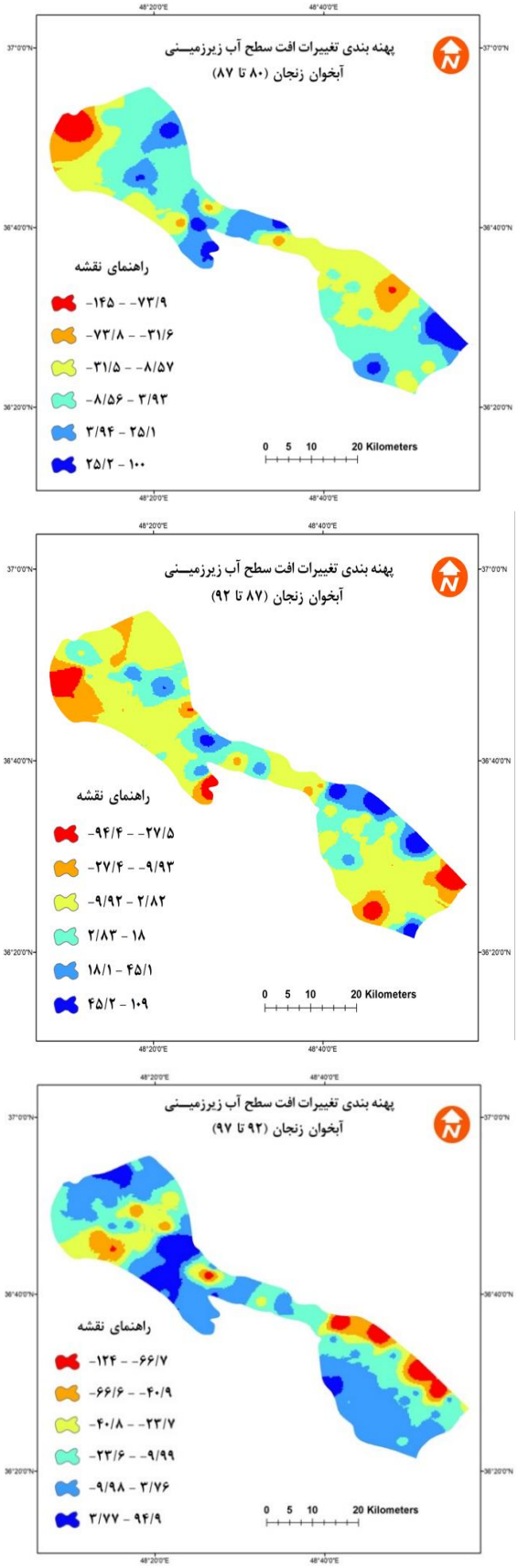


شکل ۵. پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی دشت زنجان در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷

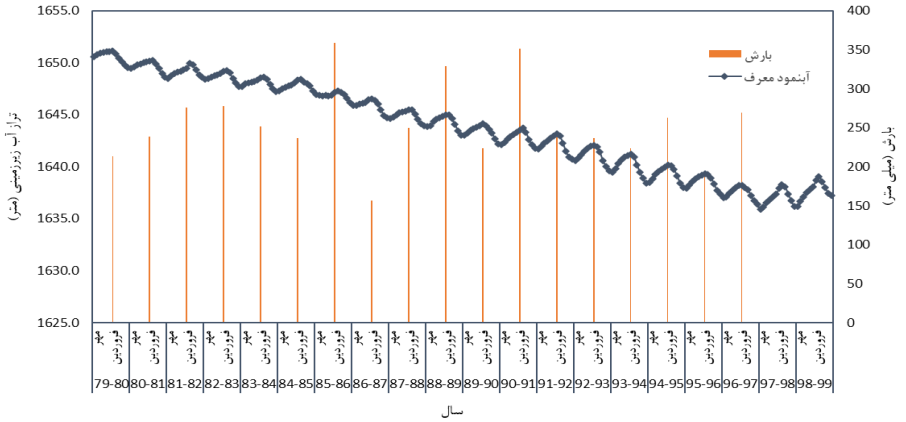
بخشی از جنوب دشت بیش‌تر از ۱۲ متر افت داشته است که نسبت به دوره دوم افزایشی بوده و در برخی مناطق دشت بدون افت و حتی در اکثر قسمت‌های دشت شدت افت افزایش داشته‌اند. بیش‌از ۹۰ درصد از دشت به علت مدیریت نامناسب منابع آبی و برداشت بیش از تغذیه با افت ۱۲/۴ متر تا ۱ متر مواجه شده است به عبارتی بیشینه افت آب زیرزمینی نسبت به دوره اول (۱۳۸۷-۱۳۸۰) حدود ۲ متر کاهش یافته است ولی پراکنش قسمت‌هایی با افت منفی آب زیرزمینی افزایش چشمگیری داشته‌است و مقادیر به دست آمده از بخش‌های مختلف دشت نشان‌دهنده افـزایش شدت افـت سـطح آب در هر دوره نسبت به دوره قبل می‌باشد همچنین این پژوهش موید نتایج جلالیان و همکاران (۱۳۹۹) می‌باشد. آن‌ها معتقدند کل برداشت از دشت زنجان به میزان ۶/۸ درصد افزایش یافته است (سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ نسبت به سال آبی ۹۴-۱۳۹۳) و این در حالی است که میزان آبدهی چشمه‌ها و قنوات به ترتیب به میزان ۷۵ و ۸۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد. لذا عمده افزایش بهره‌برداری صورت گرفته در این دشت مرتبط با برداشت‌های بی‌رویه و حفر چاه‌های غیرمجاز است که اثرات منفی بر روی سایر منابع بهره‌برداری گذاشته است. میزان درصد از محدوده مطالعاتی از نظر افت سطح آب زیرزمینی که دارای شرایط مناسب، متوسط و ضعیف می‌باشد در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج گویای این مطلب است که مساحت محدوده با شرایط مناسب در سه دوره آماری روندی کاهشی بوده است همچنین مساحت محدوده با شرایط ضعیف، ۶ درصد افزایش داشته‌اند. لازم به ذکر است که شرایط مناسب، متوسط و ضعیف افت آب زیرزمینی بر حسب متر به‌ترتیب در محدوده ۴ تا ۱۱، ۴ تا ۶- و ۶- تا ۱۴- می‌باشد.



شکل ۶. درصد مساحت دشت زنجان از نظر افت سطح آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷



شکل ۷. پهنه‌بندی تغییرات افت آب زیرزمینی (برحسب سانتی‌متر) در سه دوره زمانی



شکل ۸. آبنمود معرف دوره بیست ساله آبخوان دشت زنجان

محاسبه آبنمود معرف آبخوان

همانطور که در شکل ۸ مشخص است میانگین میزان تراز آب زیرزمینی دشت زنجان در طول بازه زمانی ۲۰ ساله دارای افت می‌باشد، این موضوع نشان می‌دهد میزان استفاده از منابع آب زیرزمینی با گذشت زمان افزایش داشته است. این فاجعه آبی (افت ۱۳ متری سطح ایستابی) عمدتا در اثر مدیریت نامناسب منابع آبی و افزایش صدور مجوز حفر چاه‌ها در اواخر دهه ۸۰ و اوایل دهه ۹۰ اتفاق افتاده است. این در حالی است که نقش خشکسالی‌های دو دهه گذشته و نوسانات بارش در این بحران، به مراتب بسیار کمرنگ‌تر بوده است (اوسطی، ۱۳۹۵ و احمدی و رنجبر، ۱۳۹۱) به‌طوری‌که تعداد چاه‌ها در آبخوان زنجان از ۴۰۷۵ حلقه در دهه ۸۰ به ۶۵۸۴ حلقه در دهه ۹۰ افزایش یافته است (جلالیان و همکاران، ۲۰۲۰). بیشترین میزان افت نیز مربوط به سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ است که نسبت به سال قبل خود با افت ۱/۵ متری مواجه شده است. لازم به ذکر است بدلیل وقوع بارش‌های بیش از متوسط سالانه در دو سال آبی (۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹) در منطقه مورد مطالعه، تراز آب زیرزمینی روندی صعودی را نشان می‌دهد. بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در طول دوره آماری مذکور حاکی از آن است که افزایش سالانه بهره‌برداری از چاه‌ها در این دشت به ۶ میلیون مترمکعب در سال و میزان متوسط کاهش سطح آب زیرزمینی به ۰/۶۵ متر در سال می‌رسد که نشان می‌دهد آبخوان با اضافه برداشت از مخزن مواجه می‌باشد همچنان که تحقیق پناهی و همکاران (۱۳۹۷) این مطلب را تایید کرده‌اند.

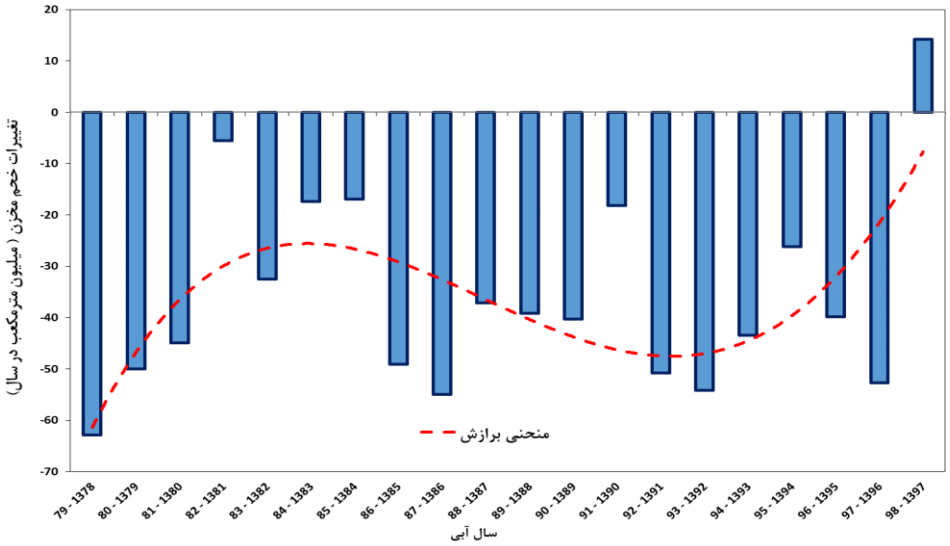
محاسبه تغییرات حجم مخزن دشت زنجان

شبکه چاه‌های مشاهده‌ای در دشت آبرفتی زنجان با مساحت ۱۱۴۷ کیلومترمربع از سال آبی ۶۶-۱۳۶۵ تا سال ۹۸-۱۳۹۷ دارای اندازه‌گیری مستمر بوده و نوسان سطح آب آبخوان طی ۲۰ سال گذشته مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۹ روند تغییرات حجم مخزن آبرفتی را به نمایش می‌گذارد. در سال آبی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ بیشترین کسری حجم مخزن برابر ۶۲/۸۳ میلیون متر مکعب می‌باشد. در واقع کسری حجم مخزن دشت زنجان معادل ۳۹ میلیون مترمکعب می‌باشد و می‌توان گفت که در سال‌های گذشته علاوه بر مصرف صددرصد ذخیره تجدیدشونده در سال‌های ابتدایی، بخشی زیادی از ذخیره ثابت نیز مورد بهره‌برداری قرارگرفته است. این امر نشان‌دهنده برداشت بی‌رویه از آبخوان و استفاده از ذخیره آب موجود در آن است. نتایج این پژوهش، نتایج پناهی و همکاران (۲۰۱۸) و جلالیان و همکاران (۲۰۲۰) را تایید می‌کند. به‌عبارت دیگر بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش جلالیان وهمکاران (۲۰۲۰) سطح آب زیرزمینی در طی دوره ۱۷ ساله (۱۳۹۴-۱۳۷۷) افت داشته و حجم مخزن آب‌های زیرزمینی کاهش یافته است.

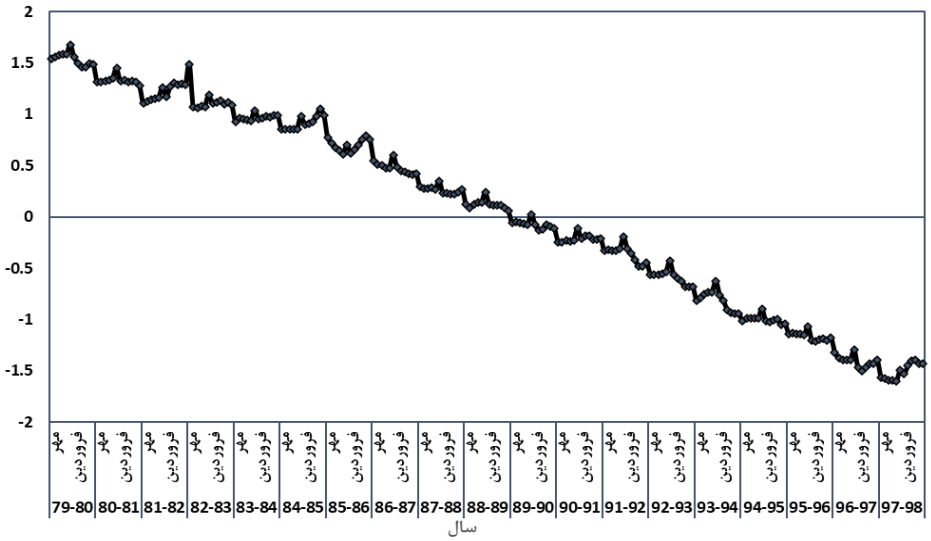
پایش زمانی خشکسالی منابع آب زیرزمینی دشت زنجان

در سال‌های اخیر به علت کاهش منابع آب سطحی، با افزایش شدید در استفاده از آب‌های زیرزمینی این دشت مواجه هستیم که دنبال آن سطح آب زیرزمینی در اکثر نواحی به صورت چشمگیری کاهش یافته است. تا به حال شاخص‌های متعددی جهت پیش‌بینی و تعیین شدت خشکسالی ارائه شده است، اما شاخصی جهت برآورد شدت خشکسالی آب‌های زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه ارائه نشده است. در شکل ۱۰ مقادیر شاخص GRI در طول بازه زمانی بیست ساله (۹۹-۱۳۷۹) برای دشت زنجان نشان داده شده است. بر اساس این نمودار، شاخص GRI در طول دوره آماری مورد نظر روندی نزولی به سمت خشکسالی دارد به طوری که از سال ۱۳۹۰ این شاخص منفی شده و تا پایان دوره آماری مقادیر منفی آن ادامه یافته که بیانگر کاهش سطح آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه است. لازم به ذکر است که خشکسالی دشت زنجان از سال ۱۳۹۲ تا سال ۱۳۹۴ "خشکسالی نرمال" بوده و از سال

۱۳۹۴ خشکسالی وارد یک مرحله بالاتر و شدیدتر یعنی "خشکی متوسط" شده و شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی دشت زنجان در سال ۱۳۹۷ با رقم شاخص ۱/۵۹- به وقوع پیوسته است. این امر می‌تواند به دلیل کاهش نزولات جوی و یا افزایش مصارف کشاورزی و شرب در اثر افزایش جمعیت باشد. چنانچه این اتفاق برای اکثر سفره‌های آبی زیرزمینی توسط مطالعات قبلی اشاره شده است که از یک سو افزایش جمعیت و استفاده‌های مدیریت نشده از منابع آب زیرزمینی و از سوی دیگر کاهش نزولات جوی اغلب منجر به خشکسالی گردیده است (خسروی فرد و همکاران، ۲۰۱۷ و احراری، ۲۰۱۸).



شکل ۹. نمودار تغییرات حجم مخزن دشت زنجان



شکل ۱۰. تغییرات شاخص GRI دوره بیست ساله دشت زنجان

نتیجه‌گیری

آب زیرزمینی منبع اصلی تأمین نیازهای کشاورزی بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود؛ بنابراین داشتن یک کشاورزی پایدار نیازمند مدیریت و برنامه-ریزی دقیق در مورد نحوه استفاده از منابع آب زیرزمینی 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 بدلیل برداشت بیش از تغذیه با کاهش روبرو شده‌اند.

در این مطالعه روند نوسانات سطح آب زیرزمینی در سه دوره زمانی (۱۳۸۷-۱۳۸۰، ۱۳۹۲-۱۳۸۸ و ۱۳۹۷-۱۳۹۳) در دشت زنجان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین عمق آب زیرزمینی در دشت زنجان به ترتیب در پیزومتر اراضی کاک آباد معادل ۱۲۴ متر و پیزومتر اسفناج حدود ۱ متر است. جهت کلی حرکت آب زیرزمینی طبق نقشه-های بدست آمده از روش درون‌یابی موید این مساله است که جهت کلی جریان آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه جنوب-شرقی به شمال‌غربی می باشد. تراز آب زیرزمینی دشت زنجان در تمامی پیزومترها روند کاهشی داشته و افت تراز آب زیرزمینی چشم‌گیر است. بیشینه افت تراز آب زیرزمینی در

دوره زمانی اول (۱۳۸۷-۱۳۸۰) مربوط به پیزومتر نیک پی و کمینه افت تراز آب زیرزمینی در دوره زمانی سوم (۱۳۹۷-۱۳۹۲) مربوط به پیزومتر عباس‌آباد-ساریجلو می‌باشد. میانگین میزان تراز آب زیرزمینی دشت زنجان در طول دوره آماری ۲۰ سال نشان داد بیشترین میزان افت مربوط به سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ است که نسبت به سال قبل خود با افت ۱/۵ متری مواجه شده است. بررسی تغییرات حجم مخزن آبخوان آبرفتی دشت زنجان نشان داد روند تغییرات در بازه زمانی ۲۰ ساله، کاهشی بوده و کل کسری حجم مخزن دشت زنجان معادل ۷۰۵/۸ میلی‌ون مترمکعب می‌باشد. شاخص GRI در طول بازه زمانی بیست ساله روندی نزولی به سمت خشکسالی نشان داد به طوری که از سال ۱۳۹۰ شاخص خشکسالی منفی شده و تا پایان دوره زمانی مورد نظر مقادیر منفی شاخص ادامه دارد.

براساس نقشه جهانی تهیه شده برای برآورد تقریبی میزان تغذیه در آبخوان‌های دنیا (BGR, 2011)، آبخوان‌های دشت به تغذیه سالانه بین ۱۰۰ –۲۰۰ میلیمتر در سال (سال نرمال) نیاز دارند. بنابراین حتی در صورت ممنوعیت کامل استفاده از منابع آب زیرزمینی دشت زنجان، جبران بهره‌برداری بی‌رویه و کاهش شدید سطح آب دشت، به سال‌ها زمان نیاز دارد. هر چند در شرایط فعلی، توقف کامل بهره‌برداری از دشت مورد مطالعه، عملی نبوده و حتی غیرممکن به نظر می‌رسد. بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی خصوصا در پیزومترهای بخش‌های کناری و مرکزی دشت نشان می‌دهد که این فاجعه آبی عمدتا در اثر مدیریت نامناسب منابع آبی و افزایش صدور مجوز حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در دو دهه گذشته بوده است. بیلان منفی دشت به حدی شدید است که حتی بارش‌های مناسب چند سال اخیر نیز نتوانسته است از روند کاهش تراز سفره آب زیرزمینی جلوگیری کند. بر این اساس لزوم بهره‌برداری مناسب از منابع آب موجود در سطح استان و ذخیره‌سازی آن در شرایط اقتصادی و اجتماعی مناسب برای استفاده در مواقع مورد نیاز یکی از اولویت‌های اصلی و اساسی برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشد. با اعمال مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی و کنترل بیشتر در حفر چاه‌های مجاز می‌توان برداشت از آبخوان مورد نظر را تعدیل بخشید و از آثار سوء برداشت بی‌رویه که ممکن است در آینده گریبان‌گیر منطقه شود، جلوگیری کرد. بنابراین توصیه می‌گردد جهت جلوگیری از ادامه روند کاهش حجم مخزن دشت زنجان، بهره-برداری و برداشت از چاه‌ها مدیریت و از هرگونه اضافه برداشت از سفره جلوگیری گردد. همچنین تغذیه مصنوعی می‌تواند در بهبود وضعیت ذخایر آب زیرزمینی نقش چشمگیری داشته باشد. احداث آب بندهای جدید خصوصاً در نقاط کناری و مرکزی دشت، کنترل و مهار جریانات سطحی و به کارگیری فرآیندهای آبخیزداری، توسعه و ترمیم پوشش گیاهی که این علاوه بر کنترل فرسایش امکان نفوذ آب به اعماق زیرین خاک را فراهم می‌سازد.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از بخشی از نتایج طرح پژوهشی با کد مصوب ۹۹۰۵۴۱-۹۹۰۲۵-۰۳۰-۰۹-۰۹-۰۱ در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (تات) است و بدین‌وسیله از مسئولین محترم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سرکار خانم‌ها دکتر سکینه لطفی‌نسب، مریم نعیمی و جناب آقای دکتر عادل جلیلی قدردانی به عمل می‌آید.

Reference:

Abbasi, F., Farzadmehr, J., Chapi, K., Bashiri, M., Azarakhshi, M. (2016). Spatial and Temporal Variations of Groundwater Quality Parameters in Qorveh- Dehgolan Plain and Its Relationship with Drought. Hydrogeology, 1(2), 11-23. [in Persian]

Afzali, A., and Shahidi, K. (2013). Investigation on Trend of Groundwater Quantity-Quality Variation in Amol-Babol Plain. jwmr; 5 (10) :144-156. [in Persian]

Ahrari Rm. (2018). Assessment the Effects of Drought on Groundwater Quantity and Quality of Sistan and Baluchistan Province. New Findings in Applied Geology.

Ahmadi, F., and Ranjbar, H (2012) Studying the drop of underground water level in Dehgolan plain using GIS, 31st Earth Science Conference, Tehran. [in Persian]

Akbari, M., Jorgeh, M.R & Madanisadat, H. (2009). Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic Information System (GIS) (Case study: Mashhad Plain Aquifer). Journal of Water and Soil Conservation, 16(4), 63-78. [in Persian]

Amiri, V., Nakhai, M., Mousai, F., and Suri, S. (2010). Groundwater level drop in Kohdasht plain aquifer using GIS. Proceedings of the National Water Conference with a clean water approach. University of Water and Power Industry, Tehran. Page 1084. [in Persian]

Asadi, A., & Bayat, F. (2019). Evaluation of the quality of groundwater resources in Zanjan plain using EWQI and TOPSIS methods. Environmental Sciences, 17(1), 41-56. [in Persian]

Behmanesh, J. (2015). Investigation of groundwater level changes trend (Case Study: Urmia plain). Journal of Water and Soil Conservation, 22(4), 67-84. [in Persian]

BGR (Federal Institute for Geosciences and Natural Resources) and UNESCO (2011). "World-wide Hydrogeological Mapping and Assessment Programme (WHYMAP)" http://www.whymap.org.

Einlo, F., Moafi Rabori, A., Malekian, A., Ghazavi, R., & Mohseni Saravi, M. (2016). Investigating the Groundwater Quality of Zanjan Plain Based on Drinking Standard with Geostatistics Methods. Geography and Environmental Planning, 27(2), 1-16. [in Persian]

Delbari, M., Bostanian, M., and Afrasiab, P. (2012). Investigating spatial-temporal changes and zoning of underground water level of Kohpayeh-Segzi aquifer, using geo-statistical methods. Geographical Space Scientific Research Quarterly. (52)15: 324-305. [in Persian]

Ekrami, M., Sharifi, Z., Melkinjad, H., and Ekhsati, M. R. (2011). Investigating the process of quantitative and qualitative changes in Yazd-Ardakan plain. Bi-monthly scientific research magazine Health Yazd. (2) 10: 91-82. [in Persian]

Fatahi, M. M. (2010). Study of trend of desertification trend in Qom province base on remote sensing with emphasis on Landuse changes and water quality and quantity resources. 16(2), 234-253. [in Persian].

Fathi hafshjani, E., Beygi harchgani, H., davoudian, A., & Tabatabaee, H. (2014). Comparison of spatial interpolation methods and selecting the appropriate method for mapping of nitrate and phosphate in the Shahrekord Aquifer. Irrigation and Water Engineering, 4(3), 51-63. [in Persian]

Jalalian A, Samiee H, Shokri-Khoubestani M, Karimi MR. (2020). Investigation of the Effects of Drought and Salinity on the Chemical Quality of the Water Resources in the Zanjans' Plain Aquifers. Journal of Safety Promotion and Injury Prevention. 8(2):119-29.

Kai, Z., Faramarzi, M., Karimi, H. and Mehdizadeh, H. (2016). Investigating the effect of land use change on quantitative and qualitative parameters of underground water in Mehran plain of Ilam. Wetland Ecobiology Scientific Research Journal. (3) 9:28-15.

Keneth, H. F. (2003). Climate Variation Drought and Desertification, W. M. Annual Report. Jevenva.

Khosravi Fard A, Vahabzadeh G, Gholami L. (2017). The Study and Classification of Water Quality of Ghorbaghestan and Doab Merk Stations in Gharasoo River Basin. Journal of Research in Environmental Health. 2(4):299-310. [in Persian]

Kokbeinjad Qazvini, A. H., Mohammadnejad Arouq, V., and Soleimani, M. b. (2018). Assessment of qualitative changes in Urmia quaternary plain groundwater. Quantitative Geomorphological Research, 5(3), 93-110. [in Persian]

Lee, JY., Yi, MJ, Moon, SH, Cho, M., Won, JH., Ahn KH. and Lee, JM. (2007). Causes of the changes in groundwater levels at Daegu, Korea: the effect of subway excavations. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 66 (3): 251-258.

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.

Mirzaei, M., Morshidi, J., and Azimi, F. (2013). The effect of Karkheh Dam on increasing the underground water level of Sorkheh plain using Kriging geostatistics method. The first national conference on the application of advanced models of spatial analysis (remote sensing and GIS). In Amish Sarmeen, Islamic Azad University, Yazd branch. [in Persian]

Mohammady, M., Dustmohammadian, A. H., Amiri, M., & Kianian, M. K. (2020). Investigating Quantitative Changes of Groundwater in the Semnan Plain. Water Resources Engineering, 13(47), 61-70. [in Persian]

Nadiri, A., Sadeghi Aghdam, F., Aghari Moghaddam, A., Naderi, K. (2015). The Assessment of Salinity and Arsenic as the Destructive Factors Affecting on Surface and Ground Water Quality of Sahand Dam water Basin. Hydrogeomorphology, 2(4), 79-99.

Nasrollhi, M., Mambini, M., and Valizadeh, S. (2014). Investigating the effect of land use changes on the status of groundwater resources using satellite images (case study of the West Gilan Plain). Scientific-Research Quarterly of Geographical Information. (91) 23: 97-89. [in Persian]

Naderianfar, M., Faryabi, A., Kouhestani, S., & Safavi Gardini, M. (2021). Investigating the Groundwater Fluctuations Level in Basin of Halil River, Jiroft. Irrigation and Water Engineering, 11(4), 141-159. [in Persian]

Naderianfar, M., Ansari, H., Ziaie, A., & davary, K. (2011). Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin Neyshabour. Irrigation and Water Engineering, 1(3), 22-37. [in Persian]

Osati, Kh. (2016) Fluctuations of the underground water level in the aquifers of Garoveh-Dehgolan plain: evidences of inappropriate management of water resources in drought conditions, 6th National Conference on Water Resources Management of Iran, Sanandaj. [in Persian]

Panahi, M., Misagi, F., & Asgari, P. (2018). Simulation and estimate groundwater level fluctuations using GMS (Zanjan plain). Environmental Sciences, 16(1), 1-14. [in Persian]

Paimozd S, Rezaei M R, Rezaei M J, Rezaei J. (2019). Modeling Groundwater Changes Using Four Different Techniques of Evolutionary Neural Network and climatic data (Case Study of Dasht-Abbas Plain, Ilam Province). DEEJ; 8 (22) :43-58. [in Persian]

Rabiee, M., & karami, H. (2022). Estimation of Temporal and Spatial Variations of Groundwater Level by Combining Intelligent Models and Geostatistical Methods) Semnan Plain). Irrigation and Water Engineering, 12(3), 220-242. [in Persian]

Rahimi M, solaimani K. (2017). Remote Sensing and GIS Based Assessment Groundwater Potential Zones Mapping Using Multi-Criteria Decision-Making Technique. jwmseir; 10 (35) :27-38. [in Persian]

Shahidi, A., Khadempour, F. (2020). Investigating the Qualitative Satus of Groundwater in the Plain of Khorasan Razavi Province Using GWQI and AWQI Indexes and Its Zoning with Geographic Information System (GIS. Hydrogeomorphology, 7(22), 1-20. [in Persian]

Yazdanpanahi, A., Akbari, M., & Behrangmanesh, M. (2018). Spatio-temporal Variable of groundwater parameters Using Geo-statistical methods in Mashhad Plain. Extension and Development of Watershed Management, 6(20), 25-34. [in Persian]

Yousefi Mobarhan, E and E. Karimi Sangchini. (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., & Peyrowan, H. (2022). Investigating the Sustainability and Interactive Effects of Physical-chemical Properties of Erosion-sensitive Marl and Rangeland Vegetation in Arid and Semiarid Areas (Case Study: Shahrood Town). Geography and Environmental Sustainability, 12(1), 57-74. [in Persian]

Yousefi Mobarhan E, Zandifar S. (2023). Zoning of changes in the decreasing groundwater table and temporal monitoring of drought in the Ghorove-Dehgolan plain. Journal of Rainwater Catchment Systems, 11 (1) :17-35. [in Persian]

یادداشت‌ها

[1] *Gehreles*
[2] *Panda*
[3] *Lee*
[4] *Shahid*
[5] *Hazarika*
[6] *Asoka*
[7] *Priestley*
[8] *Shi*
[9] *Groundwater Resource Index*