Original Article

Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)

Winter 2024, Vol.1, No.4, pp 57-70

10.22077/JDCR.2023.6680.1038

Spatial and Temporal Analysis of Groundwater Level, Flow Direction and Unit Hydrograph of the Kahorestan Plain Aquifer

Tanan Dastandaz[1], Adnan Sadeghi-Lari[2*], Mehdi Bahrami [3]

1. MSc, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

3. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture. Fasa University, Fasa, Iran.

***Corresponding Author: adnan.sadeghilari@hormozgan.ac.ir**

Keywords:
Aquifer, Kendall rank correlation test, Groundwater time variables.

Received:
11 August 2023

Revised:
08 September 2023

Accepted:
28 October 2023

Extended Abstract

In the ecosystem of dry and semi-dry areas such as Iran, groundwater is considered the main source of water supply. Currently, excessive exploitation has put these vital resources at risk of destruction. In these areas, it seems necessary to investigate quantitative changes in groundwater resources. For this reason, Kahorestam plain located in the northwest of Hormozgan province was selected to investigate the long-term unit hydrograph of Kahorestam aquifer, zoning of groundwater level and determination of groundwater flow direction. In this study, measured precipitation data and groundwater level during three five-year periods and one four-year period were used. The unit hydrograph of this aquifer showed a downward trend in the study area. The zoning map of groundwater levels indicated that the highest and lowest groundwater levels belong to the first and fourth periods, respectively. In each of the four periods, the highest and lowest groundwater levels were observed in the northwestern and southeastern parts of the aquifer, respectively. The flow direction maps showed that the dominant flow direction in this plain is from the northwestern area towards the southeastern part of the aquifer.

Introduction:

Water scarcity is a serious concern in many countries. Governments are still trying to access more water resources and meet the needs household, agriculture and industry needs. The imbalance between water supply and demand leads to a reduction in groundwater resource. Accordingly, the present study was conducted to better understand the quantitative status of groundwater in Kahorstan aquifer located in the northwest of Hormozgan province.

Materials and Methods:

In this study, precipitation data and groundwater level were used to analyze the unit hydrograph of the Kahorestan plain. They were also used to delineate groundwater level and flow direction maps during three five-year periods and one four-year period. In addition, the Kendall rank correlation coefficient was applied to determine the sta-

How to cite this article:
Dastandaz, T., Sadeghi-Lari, A., & Bahrami, M. (2024). Spatial and Temporal Analysis of Groundwater Level, Flow Direction and Unit Hydrograph of the Kahorestan Plain Aquifer. Journal of Drought and Climate change Research, 1(4), 57-70. 10.22077/JDCR.2023.6680.1038

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of *Drought and Climate change Research* (JDCR). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

tistical correlation between time variables and groundwater level measured at each observation well.

Results and Discussion:

The unit hydrograph of the Kehoristan Plain showed that the overall trend of groundwater level during a 20-year period (2002-2021) is downward. The decreasing trend groundwater level indicates excessive extraction of groundwater and improper recharge of the aquifer. The significant negative correlation coefficient (at 99% confidence level) with the time variable also confirms its decreasing trend during the 20 years of the study period. The zoning map of groundwater levels showed that the highest and lowest groundwater levels belong to the first and fourth periods, respectively. In each of the four periods, the highest and lowest groundwater levels were observed in the northwestern and southeastern parts of the aquifer, respectively. The flow direction maps showed that the dominant flow direction in this plain is from the northwestern area towards the southeastern part of the aquifer.

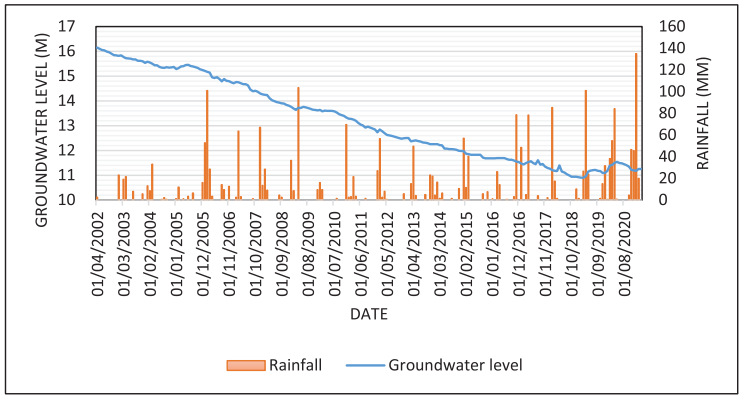


Fig 1. The hydrograph of the Kahorestan plain during the statistical period of 2002-2020

Conclusion:

The unit hydrograph of the Kahorestan plain had a downward trend during the 20-year period. Groundwater level showed a drop of more than 5 meters during this period. The groundwater level in all observation wells demonstrated a strong positive correlation with time. The investigation of the zoning maps of the groundwater level indicated a significant drop in the last ten years of the studied period. This drop was attributed to the uncontrolled withdrawals from the aquifer. The general direction of the groundwater flow in the studied area was from the northwest to the south and southeast, which in the first two periods of the study, the flow direction was aligned with the direction of the dominant slope of the plain, but in the last two periods, the flow direction was reversed, which was attributed to the high density of production wells, excessive withdrawals and inappropriate recharge.

مقاله پژوهشی

مجلـه
پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم

دوره اول، شماره چهارم، پیاپی ۴، زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۷۰ – ۵۷

doi 10.22077/JDCR.2023.6680.1038

تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی تراز آب زیرزمینی، جهت جریان و هیدروگراف واحد آبخوان دشت کهورستان

طنان دست انداز[۱]، عدنان صادقی لاری[۲*]، مهدی بهرامی[۳]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه فسا، فسا، ایران.
*نویسنده مسئول: adnan.sadeghilari@hormozgan.ac.ir

واژه‌های کلیدی:
آبخوان، آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال، متغیر زمان آب زیرزمینی.

چکیده

در اکوسیستم مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران، آب زیرزمینی به عنوان منبع اصلی تأمین آب محسوب می‌شود. در حال حاضر برداشت بیش‌ازحد ، این منابع حیاتی را در معرض نابودی قرار داده است. لذا بررسی تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی در این نواحی ضروری به نظر می‌رسد. از اینرو دشت کهورستان واقع در شمال غرب استان هرمزگان با هدف برررسی هیدروگراف واحد بلند مدت آبخوان کهورستان، پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی و تعیین جهت آب زیرزمینی در نظر گرفته شد. در این مطالعه از داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی بارش و تراز آب زیرزمینی در سه دوره زمانی پنج‌ساله و یک دوره زمانی چهارساله جهت تحقق اهداف ذکر شده استفاده گردید. ترسیم هیدروگراف واحد بلندمدت این آبخوان، حاکی از وجود یک‌روند نزولی در ناحیه مورد مطالعه بود. ترسیم نقشه پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی نشان داد که بیشترین و کم‌ترین تراز آب زیرزمینی به ترتیب مربوطه به دوره پنج‌ساله اول و چهارم می‌باشد. در هر چهار دوره بالاترین و پایین‌ترین تراز آب زیرزمینی به ترتیب در قسمت‌های شمال غربی و جنوب شرقی آبخوان مشاهده گردید. ترسیم نقشه‌های جهت جریان نشان داد که جهت غالب جریان در این دشت از محدوده‌ی ارتفاعات شمال غربی به سمت جنوب شرقی آبخوان می‌باشد.

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۵/۲۰

تاریخ ویرایش:
۱۴۰۲/۰۶/۱۷

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۸/۰۶

مقدمه

کمبود آب از نگرانی‌های جدی در بسیاری از کشورها بوده و دولت‌ها همچنان در تلاش جهت اکتساب منابع آبی بیشتر و تأمین نیاز بخش‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی هستند. عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب، استفاده بی‌رویه از آن و افزایش آلودگی جهانی منجر به فشار زیاد و کاهش کمیت و کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی می‌شود. آب‌های زیرزمینی به تنهایی می‌توانند نیازهای آبی را برای دو سوم جمعیت جهان برآورده کنند. از طرفی بیش از ۱,۵ میلیارد نفر در سراسر جهان به طور مستقیم یا غیرمستقیم به منابع آب زیرزمینی وابسته بوده، لذا تقاضا برای منابع آب زیرزمینی در دهه گذشته به شدت افزایش یافته است (Aravinthasamy et al., 2020). آب‌های زیرزمینی بخش قابل‌توجهی از آب مورد نیاز آبیاری، شرب و صنعتی را تأمین می‌کند(Khoramabadi et al., 2014). اراضی تحت آبیاری در ایران، که بیشترین مصرف آب را به خود اختصاص داده است، بخش زیادی از نیازهای این بخش از طریق منابع آب زیرزمین تامین می‌شود (Jalili et al., 2018)؛ از سوی دیگر، تغییرات آب و هوایی تاثیرات بسزایی بر کمیت آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل کاهش قابل توجه تغذیه منابع آب زیرزمینی از خود به جای گذاشته است (DeNicola et al., 2015; Karunanidhi et al., 2020; Taylor et al., 2013). در حال حاضر قنات‌های ایرانی که هزاران سال توسعه و تولید کشاورزی را در ایران تسهیل کرده بودند، عمدتاً با پیشرفت‌های فنّاورانه و نوسازی کشاورزی خشک شدند (Mirzaei et al., 2019). هم‌چنین حفر چاه‌های عمیق، بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی را امکان‌پذیر نمود، درحالی‌که افزایش سدسازی و انحراف آب‌های سطحی باعث کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی گردید (Ashraf et al., 2019; Maghrebi et al., 2020). تشدید کمبود آب ناشی از خشک‌سالی‌های مکرر و تغییرات اقلیمی، ایران را در کنارکشورهایی مانند هند، ایالات‌متحده، عربستان سعودی و چین با بالاترین نرخ کاهش آب زیرزمینی در قرن بیست و یکم قرار داده است(Madani, 2014; Bahrami et al., 2020). علاوه بر این، به دلیل خشک‌سالی‌های اخیر که منجر به افت سطح آب‌های زیرزمینی شده است، کاهش کیفیت منابع آب در جنوب ایران نگرانی‌های قابل‌توجهی را ایجاد کرده است(Bahrami et al., 2022). کاهش کمی سطح سفره‌های زیرزمینی در برخی از نقاط ایران به دلیل بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و افزایش سطح شوری تقریباً در همه زیر حوضه‌ها ثبت شده است، که نشان‌دهنده افزایش خطرات امنیتی آب در کشور است.

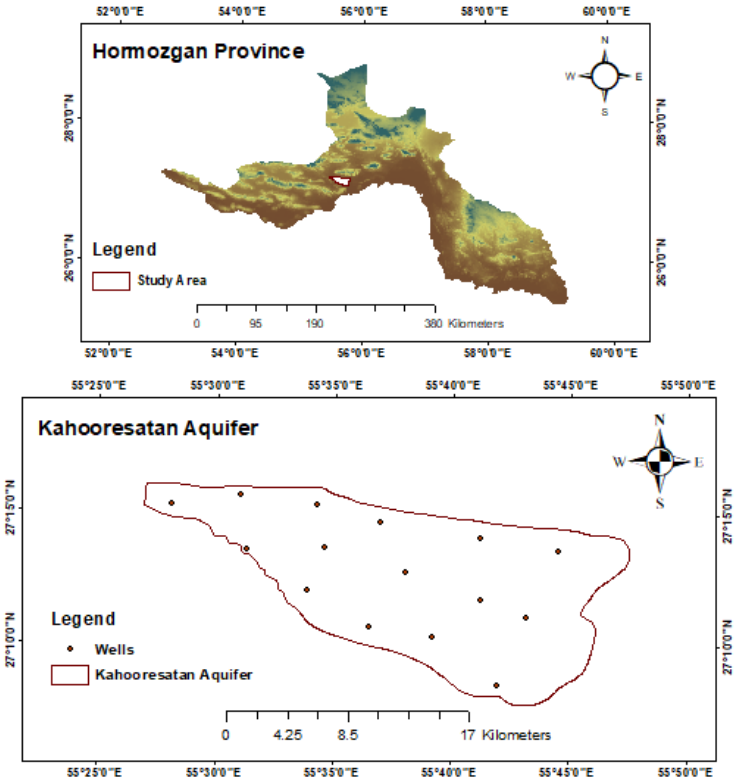
مطالعاتی در خصوص تحقیق حاضر در داخل و خارج از کشور انجام گردیده است. خواجه و همکاران (Kha-jeh et al., 2015) روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت تبریز را با استفاده از روش ناپارامتری من کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان حاکی از آن بود که تراز آب زیرزمینی در اکثر چاه‌های مورد بررسی روند نزولی معنی‌داری را طی نموده و ماه‌های فروردین، اردیبهشت و بهمن در مقایسه با سایر ماه‌ها از روند نزولی بیشتری برخوردار بودند. عادلی و همکاران در دشت سرخون استان هرمزگان از داده‌های بارندگی و داده‌های مربوط به کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی به منظور تعیین روند و طبقه‌بندی کیفی آب زیرزمین با استفاده از شاخص WQI و آزمون من-کندال استفاده نمودند نتایج آن‌ها حاکی از کاهش معنادار کیفیت و افت تراز آب زیرزمینی در دشت سرخون بود. مقادیر گزارش شده برای شیب خط به دست آمده و افت تراز بیان‌کننده افت ۳۳ سانتی‌متری و افزایش ۴/۳ واحدی WQI به ازای هر سال بود (Adeli et al., 2018). نورکی و همکاران(Nouraki et al., 2020) در مطالعه‌ای در دشت همدان-بهار به این نتیجه رسیدند که افزایش بهره‌برداری بی‌رویه از چاه‌های برداشت در اثر تغییر الگوی کشت از محصولات با نیاز آبی کمتر به بیشتر، موجب افت چشم‌گیر سفره آب زیرزمینی شده است. ازجمله اهداف این تحقیق، تهیه نقشه‌های پایه، نقشه‌های کمی و کیفی و هیدروگراف واحد آبخوان بوده است تا به جستجوی مناطق بحرانی از لحاظ افت آب

زیرزمینی و آلودگی آب پرداخته شود در این تحقیق باهدف درک بهتر از وضعیت کمی آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت کهورستان، هیدروگراف واحد دشت، روند تغییرات تراز آب زیرزمینی با استفاده از آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال نقشه‌های پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی و جهت جریان در سه دوره زمانی پنج‌ساله و یک دوره زمانی چهارساله شامل سال‌های آبی (۱۳۸۱-۱۳۸۵)، (۱۳۸۶-۱۳۹۰)، (۱۳۹۱-۱۳۹۵) و (۱۳۹۶-۱۳۹۹) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

دشت کهورستان در استان هرمزگان، شمال غربی خلیج فارس، واقع شده است (شکل (۱)). آب و هوای این منطقه گرم و خشک با میانگین دمای سالانه حدود ۲۶ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۰٪، بارندگی سالانه ۱۰۱/۵ میلی‌متر و تبخیر ۱۴۱/۹ میلی‌متر و همراه با تابستان‌های بدون باران و زمستان‌های با بارندگی‌های کوتاه‌مدت می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه در استان هرمزگان

Fig 1. The Geographical Position of the Study Area in Hormozgan Province

زمین‌شناسی منطقه:

رسوبات آبرفتی که با بافت ریز و درشت و وسعت‌های متفاوتی آن‌ها را پوشانده‌اند، از تخریب و فرسایش سازندهای ارتفاعات شمال و جنوب آن حاصل‌شده است، که عمدتاً از جنس مارن، ماسه‌سنگ و گچ تشکیل‌شده‌اند. مجموع این رسوبات بر روی کنگلومرای بختیاری قرار می‌گیرد، که خود نیز بر روی تشکیلات گروه فارس مستقر هستند. در آبخوان کهورستان ضخامت آبرفت در قسمت غربی دشت زیاد بوده و به سمت شرق از ضخامت آن کاسته می‌شود. گنبدهای نمکی، که از قدیمی‌ترین رسوبات رخنمون یافته در منطقه هستند، در بخش جنوب شرقی دشت کهورستان بیرون‌زدگی داشته و مهم‌ترین عامل افزایش املاح در منابع آب و خاک این بخش از دشت است. رسوبات عصر حاضر که تمامی سطح دشت را پوشانده و توده نفوذپذیر را تشکیل می‌دهند، به دلیل نزدیکی به اراضی پست سواحلی، مقادیر زیادی از املاح را در خود ذخیره کرده و شوره‌زارهای وسیعی را تشکیل

داده‌انـد (Yekom consulting engineers, 2011).

در ایـن مطالعـه به‌منظـور بررسـی تغییـرات آب زیرزمینـی در دشـت کهورسـتان، از داده‌هـای مربـوط بـه ۱۵ حلقـه چـاه مشـاهداتی طـی سـال آبـی ۸۱-۸۰ لغایـت سـال آبـی ۹۹-۹۸، جهـت ترسـیم و بررسـی هیدروگـراف اسـتفاده گردیـد. موقعیـت مکانـی ایسـتگاه‌های اندازه‌گیـری سـطح آب زیرزمینـی در آبخـوان مـورد مطالعـه در (شـکل (۱)) نشـان داده‌شـده اسـت. جهـت شناسـایی همبسـتگی بیـن متغیـر تـراز آب زیرزمینـی و زمـان، از آزمـون همبسـتگی رتبـه‌ای کنـدال اسـتفاده گردیـد. نقشـه پهنه‌بنـدی تـراز سـطح آب زیرزمینـی در سـه دوره‌ی پنج‌سـاله شـامل سـال‌های آبـی (۱۳۸۵-۱۳۸۱)، (۱۳۹۰-۱۳۸۶)، (۱۳۹۵-۱۳۹۱) و یـک دوره چهـار سـاله (۱۳۹۹-۱۳۹۶) بـا اسـتفاده از روش درون‌یابـی وزن معکـوس فاصلـه IDW در محیـط ArcMap10.8 تولیـد و بـه صـورت مکانـی مـورد آنالیـز قـرار گرفـت. جهـت جریـان آب زیرزمینـی نیـز در دوره‌هـای ذکرشـده تجزیـه و تحلیـل گردیـد.

هیدروگراف واحد دشت کهورستان

میانگیـن بلندمـدت تـراز آب زیرزمینـی در دشـت بـا اسـتفاده از داده‌هـای تـراز آب زیرزمینـی اندازه‌گیـری شـده در یـک دوره ۱۹ سـاله (از سـال آبـی ۸۱-۸۰ لغایـت ۹۹-۹۸) از ۱۵ حلقـه چـاه مشـاهده‌ای موجـود در دشـت بـا روش پلیگـون بنـدی تیسـن محاسـبه و سـپس اقـدام بـه رسـم هیدروگـراف آبخـوان گردیـد.

آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال

همبسـتگی بـه مفهـوم ارتبـاط میـان دو یـا چنـد کمیـت بـا یکدیگـر اسـت و ضریـب همبسـتگی مقـدار عـددی ایـن ارتبـاط را بیـان می‌کنـد. هرچقـدر قـدر مطلـق ضریـب همبسـتگی بـه عـدد یـک نزدیک‌تـر باشـد (در جهـت مثبـت یـا در جهـت منفـی) ارتبـاط بیـن کمیت‌هـا بیشـتر و کامل‌تـر اسـت. وقتـی انـدازه عـددی ضریـب همبسـتگی بـه مقادیـر مثبـت یـک نزدیـک اسـت بـه معنـای وجـود ارتبـاط قـوی و مسـتقیم اسـت، به‌نحوی‌کـه افزایـش یـک کمیـت افزایـش کمیـت دیگـر را در پـی دارد و یـا کاهـش آن سـبب کاهـش کمیـت دیگـر می‌شـود. ضریـب همبسـتگی نزدیـک بـه منفـی یـک نیـز حاکـی از وجـود یـک رابطـه مسـتحکم و معکـوس بیـن دو پارامتـر اسـت (Mann, 1945).

در ایـن پژوهـش از آزمـون ناپارامتریـک همبسـتگی رتبـه‌ای در سـطح اعتمـاد ۹۹ درصـد جهـت سـنجش همبسـتگی آمـاری متغیرهـای زمـان و تـراز آب زیرزمینـی اندازه‌گیـری شـده در هـر یـک از چاه‌هـای مشـاهداتی واقـع در محدوده‌ی آبخـوان کهورسـتان اسـتفاده گردیـد.

در ایـن مطالعـه از روش IDW[1] در محیـط GIS بـرای درون‌یابـی تـراز آب زیرزمینـی و تولیـد نقشـه‌های پهنه‌بنـدی و جهـت جریـان آب زیرزمینـی در ۳ دوره‌ی پنج‌سـاله شـامل سـال‌های آبـی (۱۳۸۵-۱۳۸۱)، (۱۳۹۰-۱۳۸۶)، (۱۳۹۵-۱۳۹۱) و یـک دوره چهارسـاله (۱۳۹۹-۱۳۹۶) اسـتفاده گردیـد.

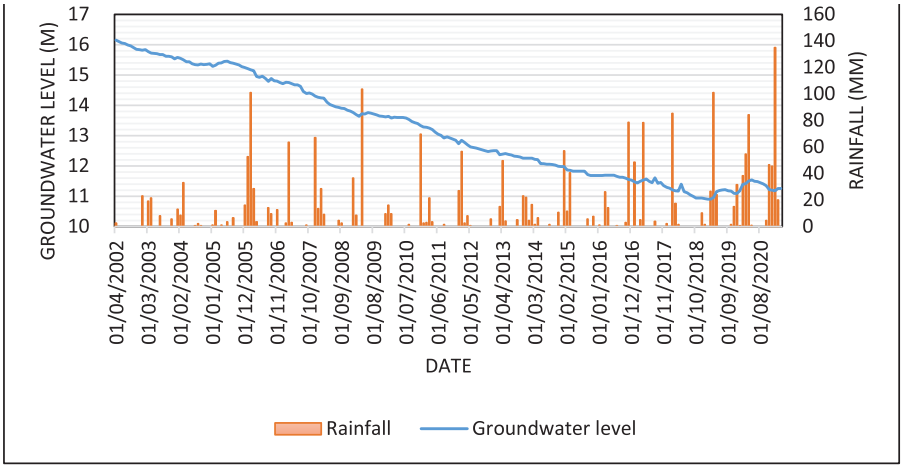
نتایج و بحث

هیدروگراف واحد دشت کهورستان

به‌منظـور درک بهتـر افـت تـراز آب زیرزمینـی هیدروگـراف واحـد سـالیانه دشـت کهورسـتان ترسـیم شـد. همان‌طـور کـه در (شـکل (۲)) مشـاهده می‌شـود، رونـد کلـی تـراز سـطح آب زیرزمینـی در طـول دوره ۱۹ سـاله (از سـال ۹۹-۸۱) به‌صـورت نزولـی اسـت. حداکثـر ارتفـاع مطلـق سـطح آب در فروردین‌مـاه ۱۳۸۱ ،برابـر ۱۶/۱۵ متـر و حداقـل ارتفـاع مطلـق سـطح آب در اسـفند و بهمن‌مـاه ۱۳۹۸ ،برابـر ۱۰/۹۱ متـر اسـت. در طـی ایـن دوره ۱۹ سـاله، تـراز آب زیرزمینـی ۵/۲۴ متـر افـت داشـته اسـت. اگرچـه میـزان بارندگـی در ۵ سـال آخـر بیشـتر از سـال‌های اول اسـت، امـا آبخـوان بـا کاهـش سـطح تـراز ایسـتابی مواجـه بـوده اسـت، عوامـل زیـادی می‌توانـد در ایـن موضـوع دخیـل باشـد کـه یکـی از آن‌هـا وجـود چاه‌هـای غیرمجـاز و بهره‌بـرداری بیـش از حـد در منطقـه اسـت. بهره‌بـرداری بیـش از حـد، یکـی از عوامـل اصلـی کاهـش سـطح تـراز آب زیرزمینـی دشـت کهورسـتان اسـت. نزولـی بـودن هیدروگـراف اشـاره مسـتقیمی بـه برداشـت بیـش از حـد (تخلیـه زیـاد) از آبخـوان و عـدم تغذیـه کافـی دارد، لـذا تعـادل بیـن ورودی و خروجـی (تغذیـه و تخلیـه) از آبخـوان از بیـن رفتـه اسـت، که ایـن امـر منجـر بـه افـت مـداوم تـراز آب زیرزمینـی در طول دوره شـده اسـت. از دلایـل دیگـر کاهـش تـراز آب زیرزمینی می‌تـوان بـه خشکسـالی‌های پیاپـی، عـدم بهره‌بـرداری اصولـی و بهینـه از آبخـوان نسـبت داد.

دوسـت محمدیـان و همـکاران (۱۳۹۹) بـا بررسـی دشـت سـمنان نتایجـی مشـابه را گـزارش کردنـد. تـراز آب

1. Inverse Distance Weighting



شکل ۲. هیدروگراف واحد دشت کهورستان در طول دوره آماری سال ۹۹-۱۳۸۱

Fig 2 . The hydrograph of Kahorestan plain during the statistical period of 2002-2020

زیرزمینی در دشت سمنان نشان داد سطح تراز چاه‌ها افت محسوسی داشته‌اند. به‌طوری‌که در سال ۱۳۷۳ در بالاترین سطح خود بوده است. سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۳ تا سال ۱۳۹۲ به‌طور متوسط حدود ۸/۶ متر افت داشته است که این امر حاکی از برداشت بی‌رویه و غیراصولی از منابع زیرزمینی و همچنین افزایش خشکسالی و کاهش بارندگی و تغذیه چاه‌ها در منطقه است. به دلیل حفر چاه‌های غیرمجاز و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی افت سطح آب زیرزمینی در دشت کماکان ادامه دارد. افزایش جمعیت در طول زمان و نیاز به آب و همچنین افزایش کارخانه‌ها و مراکز صنعتی و برداشت این مراکز از آب‌های زیرزمینی برای مصارف خود باعث افت سطح این آب‌ها شده است (Dustmohammadian et al., 2021). عادلی و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند هیدروگراف ترسیم شده برای ارزیابی ارتباط تراز آب زیرزمینی دشت سرخون با بارندگی سالانه ایستگاه دشت سرخون نشان‌دهنده تأثیرپذیری تغییرات تراز آب زیرزمینی از میزان بارش این ایستگاه است. از سال آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ که میزان بارش در منطقه با کاهش محسوس روبه‌رو شده است، تراز آب نیز از تغییر نوسانات سالانه به وضعیت روند کاهشی تغییر وضعیت داده است. بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی حوضه سبب وارد شدن فشار زیادی به منابع طبیعی در این حوضه شده است. به‌طوری‌که برنامه‌ریزی برای مدیریت و بهره‌برداری از منابع در این منطقه از حساسیت دوچندانی برخوردار شده است. نتایج این تحقیق نشان داد بارندگی حوضه آبخیز سرخون که در ابتدای مسیر در روند کاهشی قرار دارد، این واقعیت را بیان می‌کند که سایر متغیرهای هیدرولوژیکی که از بارندگی‌ها اثرپذیری دارند، حتی در صورت تداوم وضع حاکم بر بارندگی منطقه می‌توانند در وضعیتی بدتر از وضع موجود قرار گیرند. چرا که بارندگی در حوضه‌های آبخیز به‌عنوان نیروی محرکه هیدرولوژیکی شناخته شده است و هر تغییر مثبت و منفی در این متغیر می‌تواند بازخوردی هم‌جهت در سایر متغیرهای هیدرولوژیکی حوضه به همراه داشته باشد.(Adeli et al., 2018)

نتایج آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال بین متغیرهای زمان و تراز آب زیرزمینی

همبستگی بین متغیر تراز آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده در دشت کهورستان و متغیر زمان در جدول ۱ ارائه‌شده است. با توجه به نتایج حاصل از آزمون همبستگی کندال تراز ایستابی اندازه‌گیری شده در هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای و نیز میانگین تراز آب زیرزمینی در کل ناحیه، دارای یک همبستگی معنی‌دار منفی (در سطح اطمینان ۹۹ درصد) با متغیر زمان بوده، که حاکی از روند کاهشی آن در طول ۱۹ سال دوره مطالعاتی است.

عادلی و همکاران (۱۳۹۷) در دشت سرخون با بررسی تراز آب زیرزمینی گزارش کردند نتایج بیان‌کننده روند

جدول ۱. نتایج آزمون همبستگی رتبه‌ای کندال بین متغیرهای زمان و تراز آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده در چاه‌های مشاهداتی

Table 1. The result of the Kendall rank correlation test for the measured groundwater level and time variables in observation wells

چاه مشاهداتی Well Observation	ضریب همبستگی Correlation Coefficient
1	-0.624**
2	-0.877**
3	-0.871**
4	-0.680**
5	-0.982**
6	-0.981**
7	-0.979**
8	-0.660**
9	-0.932**
10	-0.765**
11	-0.881**
12	-0.772**
13	-0.515**
14	-0.621**
15	-0.145**
میانگین تراز ایستابی Average Groundwater Level	-0.944**

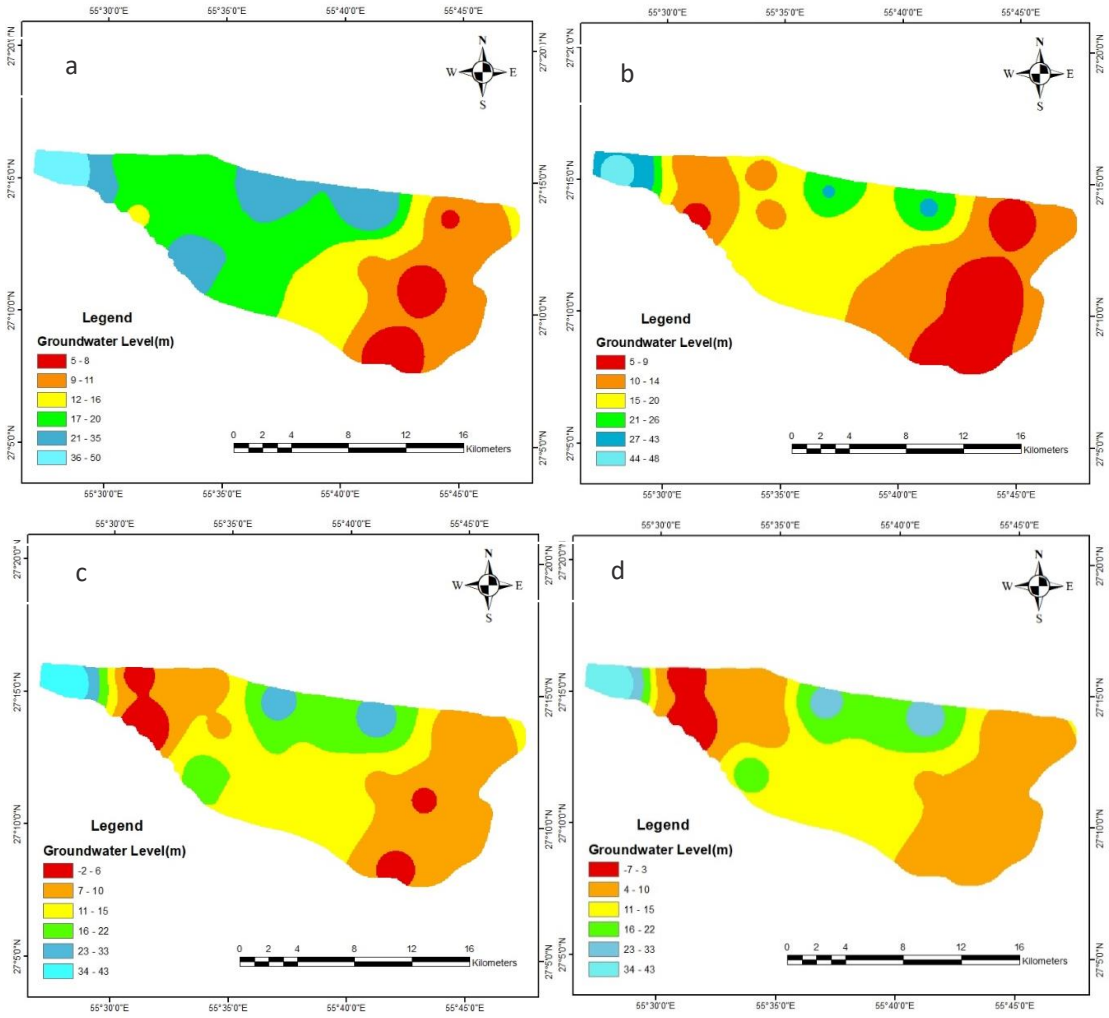
**سطح معنی‌داری ۵ درصد

کاهشی در تراز آب زیرزمینی این منطقه است. این محققین وجود روند کاهشی تراز آب‌های زیرزمینی در بیشتر دشت‌ها را ناشی از اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و خشک‌سالی‌های اخیر دانستند (Adeli et al., 2018). کیا و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که آبخوان‌های استان گلستان دارای هر دو روند افزایشی و کاهشی تراز آب زیرزمینی می‌باشد. بخش‌های شمالی این آبخوان که در پایین‌دست و در امتداد شیب غالب منطقه می‌باشد، روند افزایشی و برعکس بخش‌های جنوبی و بالادست آبخوان روند کاهشی را نشان دادند. به نظر می‌رسد افزایش بهره‌برداری از منابع آب موجب افزایش تغذیه آبخوان نیمه عمیق ناشی از پساب مصارف مختلف و در نتیجه افزایش تراز آب زیرزمینی آبخوان نیمه عمیق شده است. با توجه به اینکه تغذیه سفره عمیق تنها به‌صورت جریان زیرزمینی در بخش جنوبی آبخوان صورت می‌پذیرد و پساب مصارف در تغذیه آبخوان عمیق تأثیری ندارد، لذا افزایش بهره‌برداری از چاه‌های عمیق شرب در بخش جنوبی و توسعه بهره‌برداری چاه‌های کشاورزی عمیق در نواحی میانی و شمالی آبخوان، موجب کاهش سطح تراز آبخوان عمیق شده است (Kia et al, 2019).

نقشه‌های پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی در دوره‌های زمانی مختلف

همان‌طور که در شکل ۳(a) ملاحظه می‌شود سطح آب زیرزمینی طی اولین دوره مورد مطالعه بین ۵ الی ۵۰ متر متغیر می‌باشد. با توجه به این نقشه بخش‌های شمال شرقی و شرق آبخوان بیشترین تراز آب زیرزمینی و قسمت‌های غرب و شمال غربی بیشترین تراز آب زیرزمینی را در طی این دوره پنج ساله دارا می‌باشند. با توجه شکل ۳(b) سطح آب زیرزمینی طی دومین دوره مورد مطالعه بین ۵ الی ۴۸ متر در نوسان بوده است. در این دوره تراز آب زیرزمینی در بخش‌های شمال شرقی و شرق دشت، که تراکم چاه‌های بهره‌برداری در این قسمت بیشتر

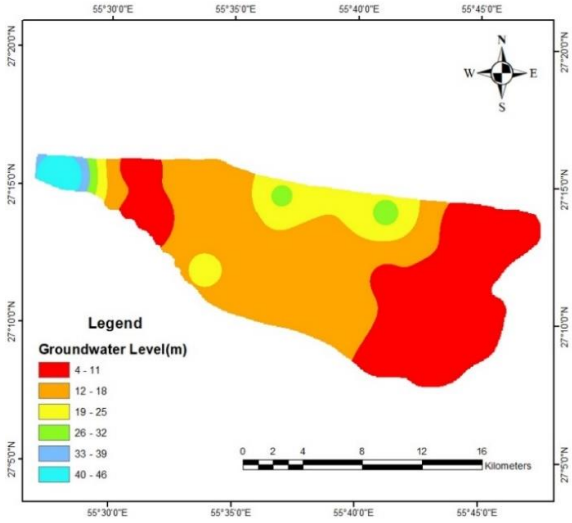
بوده است، از ۵۰ متر به ۴۸ متر رسیده و معادل دو متر افت را در طی یک دوره پنج سال تجربه نموده است. وقوع بارش‌های بیشتر (شکل ۱) مانع از افت بیشتر تراز آب زیرزمینی در این دوره نسبت به دوره قبلی گردیده است. مطابق شکل ۳(c) سطح آب زیرزمینی از ۲- الی ۴۳ متر در دوره سوم مطالعه متغیر بوده است. با توجه به شکل (۱) در این دوره زمانی نزولات جوی کاهش چشمگیری داشته و برداشت آب زیرزمینی نیز به دلیل حفر چاه‌های بیشتر نسبت به دوره قبل افزایش یافته است لذا کاهش قابل توجهی در تراز آب زیرزمینی صورت گرفته است.



شکل ۳.نقشه پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی دوره‌های زمانی ۱۳۸۵-۱۳۸۱ (a)، ۱۳۸۶-۱۳۹۰ (b)، ۱۳۹۱-۱۳۹۵ (c) و چهارساله ۱۳۹۶-۱۳۹۹ (d)

Fig 3. Zoning map of the groundwater level in the time period 2002-2006 (a), 2007-2011 (b), 2012-2016 (c) and 2017-2020 (d)

همان‌طور که در شکل ۳(d) مشاهده می‌شود تراز آب زیرزمینی در دوره چهارم، از ۷- الی ۴۳ متغیر بوده است. تراز آب زیرزمینی در بخش غربی دشت از ۲- به ۷ رسیده و کاهش محسوسی را تجربه نموده است، که علت آن افزایش چشمگیر تعداد چاه‌های بهره‌برداری در این دوره می‌باشد. با بررسی نقشه پهنه‌بندی میانگین تراز آب زیرزمینی در کل دوره مطالعاتی (شکل ۴)، بالاترین تراز آب زیرزمینی در قسمت شمال غربی به میزان ۴۶/۳ متر و پایین‌ترین تراز در بخش جنوب شرقی به میزان ۴/۸۱ متر مشاهده می‌شود.



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی میانگین تراز آب زیرزمینی در دوره مطالعاتی (۱۳۸۱-۱۳۹۹)

Fig 4. Zoning map of the average groundwater level in the study period (2002-2020)

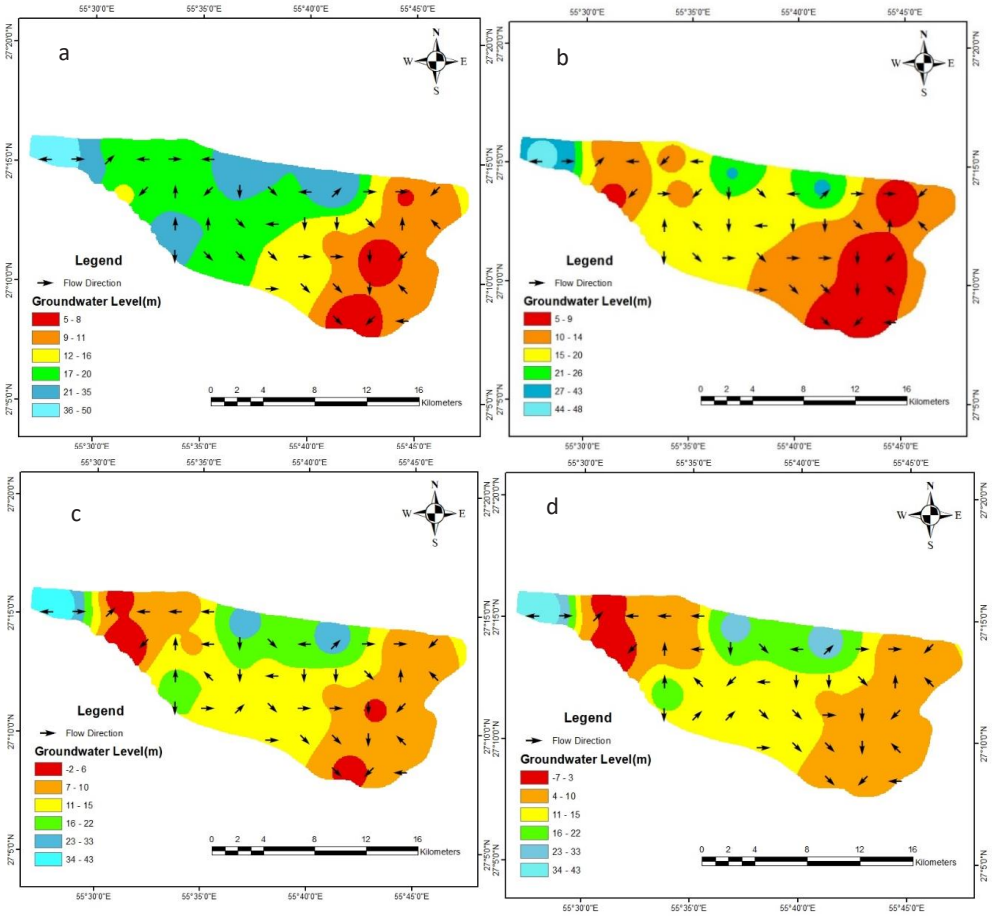
مقایسه هر چهار دوره با یکدیگر نشان داد که بالاترین تراز آب زیرزمینی مشاهده شده مربوط به دوره پنج‌ساله اول و پایین‌ترین آن مربوط به دوره چهارساله چهارم است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که با فرض اینکه میزان تخلیه و تغذیه دشت همانند سال‌های قبل باشد، اکثر چاه‌های مشاهده‌ای با تشدید شیب افت سطح آب مواجه خواهند شد. چنانچه وضعیت برداشت آب زیرزمینی به همین صورت ادامه یابد، علاوه بر کاسته شدن از ذخایر آب زیرزمینی دشت، کیفیت ذخایر آب زیرزمینی باقیمانده نیز کمتر خواهد شد. این امر موجب بروز مشکلات جدی‌تر در وضعیت کشاورزی و معیشت ساکنان این منطقه می‌شود.

جهت جریان آب زیرزمینی دشت کهورستان

با توجه به شکل ۵، جهت کلی جریان آب زیرزمینی دشت کهورستان در دوره‌های ابتدایی مطالعه (دوره‌ی پنج‌ساله اول و دوم) از نواحی شمال غربی به سمت جنوب و جنوب شرقی دشت بوده، که از شیب غالب سطح زمین در این ناحیه نیز تبعیت می‌نماید (شکل ۵(a, b)). اما در دوره‌های انتهایی مطالعه (بین سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۱) روند کلی جریان آب زیرزمینی تغییر می‌نماید و از سمت مرکز به سمت نواحی شمال غربی دشت تغییر مسیر می‌دهد (شکل ۵(c, d)). علت این امر بهره‌برداری بیش‌ازحد از آبخوان این دشت و تراکم زیاد چاه‌های پمپاژ در این ناحیه بوده، که منجر به پایین رفتن تراز سطح آب زیرزمینی به زیر سطح دریا (تراز منفی) در نواحی شمال غربی دشت گشته است.

نتیجه‌گیری

هیدروگراف واحد دشت در طی دوره ۱۹ ساله (سال آبی ۸۱-۸۰ لغایت ۹۹-۹۸) از یک روند نزولی برخوردار بود و در طی این دوره افت بیش از ۵ متری را نشان داد. آزمون آماری همبستگی رتبه‌ای کندال نیز مؤید این مطلب بود، چراکه تراز آب زیرزمینی در تمامی چاه‌های مشاهداتی یک همبستگی مثبت قوی با زمان از خود نشان داد. بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی حاکی از افت معنادار آن در ده سال انتهایی دوره مورد مطالعه بود که دلیل اصلی این امر به برداشت‌های بی‌رویه و کنترل نشده از آبخوان نسبت داده شد. با توجه به نقشه‌های جهت جریان آب زیرزمینی، جهت کلی جریان از بخش‌های شمال غربی به سمت جنوب و جنوب شرقی منطقه است، که در دو دوره ابتدایی مطالعه جهت جریان همسو با جهت شیب غالب دشت بود، اما در دو دوره انتهایی جهت جریان معکوس گردید، که دلیل این امر به تراکم زیاد چاه‌های بهره‌برداری در بالادست ناحیه موردمطالعه، برداشت‌های بی‌رویه از آبخوان و عدم تغذیه نسبت داده شد.



شکل ۵. نقشه جهت جریان آب زیرزمینی دوره‌های زمانی ۱۳۸۵-۱۳۸۱ (a)، ۱۳۸۶-۱۳۹۰ (b)، ۱۳۹۱-۱۳۹۵ (c) و چهارساله ۱۳۹۶-۱۳۹۹ (d)

Fig 5. flow direction map of groundwater in the time period 2002-2006 (a), 2007-2011 (b), 2012-2016 (c) and 2017-2020 (d)

منابع

Adeli, B., Kangarani, H., Sadodin, A., Bazrafshan, O. & Armin, M. (2018). Using the WQI method and the Man-Kendall test to assess the qualitative and quantitative status of groundwater aquifers (case study: Sarkhoon plain, Hormozgan province). *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 5(3), 801–811. Available from: https://www.magiran.com/paper/1877666. [In Persian].

Aravinthasamy, P., Karunanidhi, D., Subramani, T., Srinivasamoorthy, K., & Anand, B. (2020). Geochemical evaluation of fluoride contamination in groundwater from Shanmuganadhi River basin, South India: implication on human health. *Environmental Geochemistry and Health*, *42*(7), 1937–1963. doi: 10.1007/s10653-019-00452-x

Ashraf, S., AghaKouchak, A., Nazemi, A., Mirchi, A., Sadegh, M., Moftakhari, H. R., Hassanzadeh, E., Miao, C. Y., Madani, K., Mousavi Baygi, M., Anjileli, H., Arab, D. R., Norouzi, H., Mazdiyasni, O., Azarderakhsh, M., Alborzi, A., Tourian, M. J., Mehran, A., Farahmand, A. & Mallakpour, I. (2019). Compounding effects of human activities and climatic changes on surface water availability in Iran. *Climatic Change*, *152*(3–4), 379–391. doi: 10.1007/s10584-018-2336-6

Bahrami, M., Amiri, M. J., & Badkubi, M. (2020). Application of horizontal series filtration in greywa-

Persian].

Khoramabadi, S., G., Yusefzadeh, A., Godini, H., Hoseinzadeh, E. & Khoshgoftar, M. (2014). Water Quality Zoning Based on Water Quality Index and Wilcox Index Using Geographic Information System. *Jundishapur Journal of Health Sciences*, 6(3), 1-8. doi: 10.5812/jjhs.21724

Kia, F., Ghorbani, K. & Salarijazi, M. (2019). Assessment of Spatial and Temporal Variations of Groundwater Quality Using WQI during Two Decades in Aquifer of Golestan Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(1), 39-51.

Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of Environmental Studies and Sciences*, *4*(4), 315–328. doi: 10.1007/s13412-014-0182-z

Madani, K., AghaKouchak, A. & Mirchi, A. (2016). Iran's Socio-economic Drought: Challenges of a Water-Bankrupt Nation. *Iranian Studies*, *49*(6), 997–1016. doi: 10.1080/00210862.2016.1259286

Maghrebi, M., Noori, R., Bhattarai, R., Mundher Yaseen, Z., Tang, Q., Al-Ansari, N., Danandeh Mehr, A., Karbassi, A., Omidvar, J., Farnoush, H., Torabi Haghighi, A., Kløve, B. & Madani, K. (2020). Iran's Agriculture in the Anthropocene. *Earth's Future*, *8*(9), 1-15. doi: 10.1029/2020EF001547

Mirzaei, A., Saghafian, B., Mirchi, A. & Madani, K. (2019). The groundwater-energy-food nexus in Iran's agricultural sector: Implications for water security. *Water (Switzerland)*, *11*(9), 1-15. doi: 10.3390/w11091835

Nouraki, A., & hooshmand, AR. (2020). Evaluation of Trend and Spatial Distribution Pattern of Groundwater Quality Using Water Quality Indices (Case study: Hamedan-Bahar plain). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(7), 415–28. Available from: https://jest.srbiau.ac.ir/

ter treatment: a semi-industrial study. *Australian Journal of Water Resources*, *24*(2), 236–247. doi: 10.1080/13241583.2020.1824610

Bahrami, M., Khaksar, E. & Bahrami, A. (2022). Groundwater quality evaluation for potable and irrigation uses in the semi-arid region of southern Iran. *Irrigation and Drainage*, *71*(3), 749–765. doi: 10.1002/ird.2671

Denicola, E., Aburizaiza, O. S., Siddique, A., Khwaja, H. & Carpenter, D. O. (2015). Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. In Annals of Global Health, 81(3), 342–353. doi: 10.1016/j.aogh.2015.08.005

Dustmohammadian, A.H., Mohammady, M., Amiri, M. & Kianian, M.K.. (2021). Investigating Temporal Changes of Groundwater Quality in Semnan Plain Using Geostatistical Method. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 14(51), 59-62. SID. https://sid.ir/paper/402865/en

Jalili, D., RadFard, M., Soleimani, H., Nabavi, S., Akbari, H., Akbari, H., Kavosi, A., Abasnia, A. & Adibzadeh, A. (2018). Data on Nitrate–Nitrite pollution in the groundwater resources a Sonqor plain in Iran. *Data in Brief*, *20*, 394–401. doi: 10.1016/j.dib.2018.08.023

Karunanidhi, D., Aravinthasamy, P., Subramani, T., Roy, P. D. & Srinivasamoorthy, K. (2020). Risk of Fluoride-Rich Groundwater on Human Health: Remediation Through Managed Aquifer Recharge in a Hard Rock Terrain, South India. *Natural Resources Research*, *29*(4), 2369–2395. doi: 10.1007/s11053-019-09592-4

Khajeh, M., bazrafshan, O., vagharfard, H. & Esmaeelpoor, Y. (2015). An Investigation on the Quantity and Quality of Groundwater in the Parishan Plain. *MJSP*, 18(4), 71-96. URL: http://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-116-fa.html. [In

article_17420.html [In Persian].

Taylor, R. G., Todd, M. C., Kongola, L., Maurice, L., Nahozya, E., Sanga, H. & Macdonald, A. M. (2013). Evidence of the dependence of groundwater resources on extreme rainfall in East Africa. *Nature Climate Change*, *3*(4), 374–378. doi: 10.1038/nclimate1731