

Investigating the effects of human activities on the quantity of underground water resources (case study: central desert watershed of Iran)

Maryam Naeimi^{1*} , Adel Jalili² and Samira Zandifar³

1*- Corresponding author, Research Assistant Professor, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran. Email: naeimi@rifr-ac.ir.

2- Professor, Botany Research, Department, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran.

Received:11/18/2024

Revised:03/12/2025

Accepted: 04/09/2025

Published: 04/28/2025

Abstract

Background and objectives

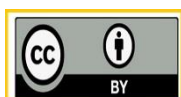
Water resource management, particularly groundwater, holds special significance in arid and semi-arid regions. Over the past few decades, various natural and human factors have led to critical conditions in groundwater resources. Lack of proper understanding and excessive exploitation of groundwater has resulted in irreversible damages such as severe and permanent groundwater level decline, reduced discharge of wells and Qanats, and alterations in groundwater flow patterns, including the intrusion of saline water fronts and mixing with saline water sources. Therefore, this study aims to evaluate the quantitative characteristics of groundwater in the central desert watershed during the statistical period from 2002–2003 to 2018–2019.

Research Methodology

The central desert watershed is part of the major depression of central Iran, encompassing significant cities such as Semnan, Damghan, Neishabor, Sabzevar, Garmsar, Kashmar, and Esfarayen. It covers an area of approximately 226,523 Km², situated between the southern Alborz and northeastern Zagros mountains. To assess the quantitative status of groundwater, data on water levels and elevations from existing observation wells within the aquifers of the study areas in the central desert watershed were utilized for the specified statistical period. Subsequently, depth-to-water and water table contour maps were prepared, and groundwater level fluctuations, changes in aquifer storage volume, and drought conditions in each study area were analyzed.

Results

Based on updated statistics up to the 2018–2019 hydrological year, the central desert watershed contains 29,360 groundwater sources (including wells, springs, and qanats), with an annual extraction volume of approximately 3,659 million m³. In terms of quantity, springs, qanats, deep wells, and semi-deep wells account for approximately 19%, 21%, 39%, and 21% respectively, while in terms of discharge volume, they constitute around 9%, 16%, 72%, and 3% of the total groundwater withdrawal. The most significant groundwater level declines occurred in the Rashtkhar, Eyvanaki, and Kashmar areas, with respective deficits of -29.30, -25.50, and -18.40 meters. Annual and cumulative changes in aquifer storage volume across the central desert watershed during the statistical period from 1998 to 2019 indicate a total reduction of 25,317.12



million cubic meters. Furthermore, the trend of the Groundwater Resource Index (GRI) for the entire watershed shows the first drought occurred in October 2010, with the overall GRI trend indicating a continued decline.

Conclusion

Overall, in most of the study areas within the central desert integrated watershed, groundwater extraction from wells significantly exceeds that from springs and qanats. Thus, deep and semi-deep wells represent the dominant groundwater exploitation system. These findings indicate an unsustainable use of groundwater resources to support and expand human activities in Iran's largest watershed, located in an arid/semi-arid region. If left unmanaged, such overexploitation may lead to serious environmental problems and socio-economic consequences. Given the unpredictable nature of climatic droughts and the impossibility of preventing their occurrence, it is essential to mitigate their negative impacts through proper planning and sustainable groundwater resource management.

Keywords: Central desert, drought, groundwater level decline, over-extraction.

بررسی اثر فعالیت‌های انسانی بر کمیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: حوضه کویر مرکزی ایران)

مریم نعیمی^{۱*}، عادل جلیلی^۲ و سمیرا زندی‌فر^۳

۱- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

تهران، ایران. Email: naeimi@rifr-ac.ir

۲- استاد، بخش تحقیقات گیاهشناسی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸ تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸

چکیده

سابقه و هدف

مدیریت منابع آب به‌ویژه آب‌های زیرزمینی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت خاصی برخوردار است. عوامل مختلف طبیعی و انسانی در چند دهه اخیر، باعث ایجاد شرایط بحرانی در آب‌های زیرزمینی شده است. عدم شناخت صحیح و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، خسارت‌های جبران‌ناپذیری مانند افت شدید و غیرقابل برگشت سطح آب زیرزمینی، کاهش دبی چاه‌ها و قنات‌ها، تغییرات الگوی جریان آب زیرزمینی مانند پیشروی جبهه‌های آب شور و تداخل آب‌های شور را به دنبال داشته است. از این رو، در این پژوهش به ارزیابی ویژگی‌های کمی آب زیرزمینی در حوضه آبریز کویر مرکزی طی دوره آماری ۸۲-۱۳۸۱ تا ۹۸-۱۳۹۷ پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز کویر مرکزی، بخشی از افتادگی بزرگ ایران مرکزی است که شهرهای مهمی مانند سمنان، دامغان، نیشابور، سبزوار، گرمسار، کاشمر و اسفراین را در خود جای داده و منطقه‌ای به وسعت ۲۲۶۵۲۳ کیلومتر مربع را در حد فاصل جنوب البرز و شمال شرق زاگرس به وجود آورده است. به منظور ارزیابی وضعیت کمی آب زیرزمینی، داده‌های سطح آب و تراز چاه‌های مشاهداتی موجود در آبخوان‌های محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کویر مرکزی در دوره آماری مذکور مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه، نقشه‌های پهنه‌بندی هم‌عمق و هم‌تراز، بررسی نوسانهای سطح آب زیرزمینی، تغییرات حجم ذخیره آبخوان و وضعیت خشکسالی در هریک از محدوده‌های مطالعاتی بررسی شد.

نتایج

نتایج در سطح حوضه آبریز کویر مرکزی براساس آمار بهنگام شده تا سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸، نشان‌دهنده تعداد ۲۹۳۶۰ منبع آب زیرزمینی (چاه، چشمه و قنات) با حجم تخلیه و برداشت ۳۶۵۹ میلیون مترمکعب در سال است. تعداد چشمه‌ها، قنات‌ها، چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق به ترتیب به لحاظ تعداد حدود ۱۹، ۲۱، ۳۹ و ۲۱ درصد و از نظر تخلیه، حدود ۹، ۱۶، ۷۲ و ۳ درصد از کل تعداد و تخلیه منابع آب زیرزمینی را شامل می‌شود.

همچنین، بیشترین تغییرات سطح آب در محدوده‌های رشتخوار، ایوانکی و کاشمر بوده است که به ترتیب کمبودی برابر با ۲۹/۳۰-، ۲۵/۵۰- و ۱۸/۴۰- متر را دارند. تغییرات سالانه و تجمعی حجم ذخیره مخزن در حوزه آبریز کویر مرکزی طی دوره آماری ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۷ نشان می‌دهد در مجموع ۲۵۳۱۷/۱۲ میلیون مترمکعب از حجم مخزن کاسته شده است. در ادامه، روند تغییرات شاخص خشکسالی آب زیرزمینی (GRI) برای کل حوضه نشان می‌دهد که اولین خشکسالی در مهر سال ۱۳۸۹ رخ داده است، درحالی‌که روند کلی ارزش GRI کاهشی بوده است.

نتیجه گیری

به طور کلی در اغلب محدوده های مطالعاتی حوضه تلفیق کویر مرکزی، میزان تخلیه از چاه ها به مراتب بیشتر از چشمه ها و قنات ها است. بنابراین سیستم غالب بهره برداری از آب زیرزمینی، به صورت چاه های عمیق و نیمه عمیق است. در مجموع، این نتایج حکایت از استفاده ناپایدار از آب برای حفظ و گسترش فعالیت های انسانی در بزرگ ترین حوضه ایران واقع در بخش خشک/نیمه خشک دارد. در صورت عدم کنترل، چنین استفاده بیش از حد از آب زیرزمینی می تواند معضلات محیط زیستی و پیامدهای اقتصادی-اجتماعی جدی به همراه داشته باشد. در نهایت، با عنایت به غیر قابل پیش بینی بودن خشکسالی های اقلیمی و عدم امکان جلوگیری از وقوع آن، ضروری است با اقداماتی مانند لزوم برنامه ریزی و اعمال مدیریت صحیح منابع آب های زیرزمینی، اثرهای منفی آن کاهش یابد.

واژه های کلیدی: افت سطح آب زیرزمینی، برداشت های بی رویه، خشکسالی، کویر مرکزی.

مقدمه

منابع آب زیرزمینی، مهمترین و ارزشمندترین منابع تأمین آب برای مصارف مختلف و انواع فعالیت های انسانی محسوب می شوند. در این دوره انسان ساخت، ذخایر منابع آب زیرزمینی به دلیل فشارهای طبیعی و انسانی تحت تنش بسیار زیادی قرار دارند (Ashraf et al., 2021). گذشت زمان و افزایش روزافزون جمعیت منتج به افزایش برداشت از این منابع شده که منجر به کمبودهای کمی گردیده و مشکلات کیفی را به وجود آورده است (Kuang et al., 2024). این مسائل در مناطق خشک و نیمه خشک که وابستگی به این منابع بیشتر بوده، قابل توجه تر است.

مدیریت خشکسالی، کمبود و بهره برداری از منابع آب و در نهایت بحران مدیریت منابع آب، از جمله مسائلی هستند که از دیرباز مورد توجه مدیران و برنامه ریزان کشورهای مختلف دنیا می باشند. بهره برداری از منابع آب های زیرزمینی، عامل اصلی در حفظ معیشت کشاورزان (Jalili kamju & Nademi, 2019)، دستیابی به امنیت غذایی، امنیت ملی و ثبات در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه است (Kelley et al., 2015). از سوی دیگر، نیاز روزانه حدود ۵/۲ میلیارد نفر در سراسر جهان به آب تنها از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می شود (Zheng et al., 2022; Van Der Gun, 2012).

در ایران، منابع آب زیرزمینی به دلیل میانگین بارش کم، توزیع زمانی و مکانی غیر یکنواخت بارش ها، خشکسالی های شدید و پی در پی سالیان اخیر و ویژگی هایی مانند کیفیت

مناسب، ضریب آلودگی کمتر و سطح اطمینان بالاتر در تأمین آب پایدار، همواره به عنوان یک منبع قابل اتکا به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مورد توجه ویژه مصرف کنندگان مختلف بوده است (Bahari Meimandi et al., 2023; Rahmati et al., 2015).

کاهش آب های زیرزمینی بر محیط زیست اثرگذار بوده و تخلیه بی رویه، منجر به افزایش شوری خاک و آب های زیرزمینی، کاهش حاصل خیزی خاک، خطر امنیت غذایی در طولانی مدت، ایجاد فروچاله ها به دلیل پدیده فرونشست زمین و نیز تغییر مسیرهای جریان سطحی و زیرسطحی به همراه کاهش عمده و غیرقابل برگشت ظرفیت آبخوان می گردد. همچنین، فشارهای بیشتر بر تصمیم گیرندگان برای اعطای مجوز برای چاه های جدید، سفره های زیرزمینی را با بیلان آبی منفی مواجه می کند. هنگامی که سطح آب زیرزمینی در سفره های زیرزمینی کاهش می یابد، معمولاً دبی چاه ها کاهش پیدا می کند. بنابراین حتی با حفر چاه های عمیق تر، برداشت از چاه ها کاهش یافته است.

دو روند افت شدید آب در حوضه فلات مرکزی (دریاچه نمک و کویر مرکزی) وجود دارد (Zare, 2022). این دو منطقه، بیشتر در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارند. برخی از پرجمعیت ترین شهرهای ایران، از جمله تهران و کرج در پیرامون این حوضه هستند. مطالعات متعددی نشان می دهد که بیلان سفره های آب زیرزمینی در بیشتر دشت های ایران منفی بوده و به طور مستمر، سطح آب زیرزمینی بیشتر حوضه ها با کاهش

حوضه محیط‌زیست و مدیریت منابع آب اثرگذار باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

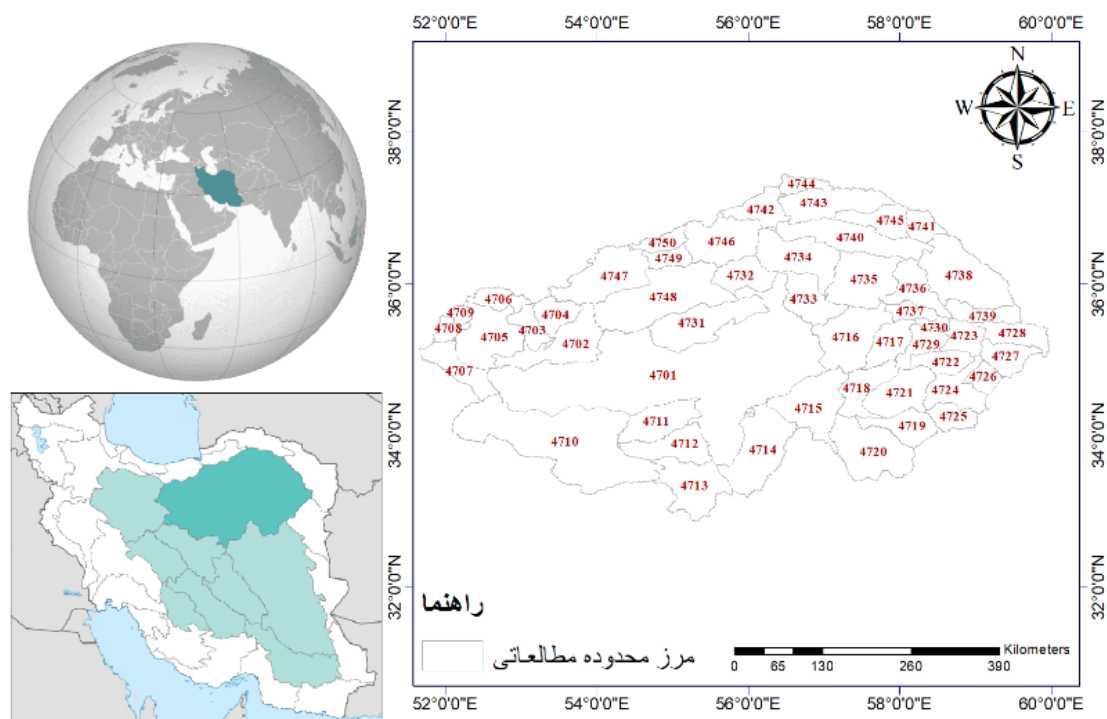
از نظر موقعیت جغرافیایی، حوضه آبریز کویر مرکزی در محدوده ۴۵° تا ۵۱° طول شرقی و ۳۴° تا ۵۹° طول شرقی و ۳۵° تا ۳۲° تا ۲۶° عرض شمالی با مساحتی برابر ۲۲۶۵۲۳ کیلومتر مربع واقع شده است. در حوضه آبریز کویر مرکزی، حداکثر ارتفاع ۴۰۲۴ متر مربوط به کوه بیشینه سرک در ارتفاعات البرز و حداقل ارتفاع، برابر ۷۲۵ متر مربوط به کفه‌های نمکی پایاب رودخانه‌هاست. دشت‌های واقع در اطراف کویر مرکزی، عموماً کم‌شیب (۴ تا ۲۷ درصد) بوده و اراضی باتلاقی و نمک‌زارهای واقع در قسمت‌های مختلف این حوضه، تقریباً مسطح است. در مجموع، ۵۰ محدوده مطالعاتی واقع در حوضه آبریز کویر مرکزی در ۷ حوضه آبریز درجه ۳ (۳ رقمی) جای گرفته‌اند. اطلاعات جغرافیایی محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کویر مرکزی در جدول ۱، ارائه شده است. ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های آبرفتی نشان می‌دهد که به‌طور کلی در بیش از ۳۸ درصد از وسعت دشت‌ها، آبخوان آبرفتی مناسب شکل گرفته است.

شرایط داده‌ها

در این تحقیق از داده‌های مورد نیاز که شامل چاه، چشمه و قنات بوده استفاده شد که در راستای کفایت داده‌ها و در نظر گرفتن کلیه تغییرات مورد انتظار به لحاظ طول دوره آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، اقدام به بازسازی داده‌های ناقص با استفاده از ضریب همبستگی در نرم‌افزار SPSS21 گردید. پراکنش چاه، چشمه و قنات در حوضه‌های آبریز و روند تغییرات تعداد، تخلیه و مصارف سالیانه آنها در محدوده‌های مطالعاتی در بخش‌های متفاوت برای این تحقیق در نظر گرفته شد.

مواجهه است. بررسی افت آب زیرزمینی سالانه در دشت دامغان استان سمنان ۲/۴ متر (Ghomishoun et al., 2012)، در دشت بهاباد استان یزد ۴۱ و ۱۱ سانتی‌متری به ترتیب در دشت‌های جنوبی و شمالی (Shirafkan & Jafari., 2013)، دشت کرمانشاه سالانه به میزان ۴۳ سانتی‌متری (Rahmati et al., 2014)، دشت جازموریان ۹۱ سانتی‌متری (Saiedifar et al., 2019)، دشت گرمسار برابر ۹۱ سانتی‌متری (Azareh et al., 2014) و ۳/۰۳ سانتی‌متری دشت ارومیه را نشان می‌دهد. بخش کشاورزی، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در ایران است. از طرفی، پارامترهایی دیگر همچون رشد جمعیت، شدت، مدت و تداوم خشکسالی‌ها (Khosravi et al., 2019; Zandifar et al., 2020; Nohegar et al., 2016)، دخالت‌های انسان همچون تغییرات کاربری اراضی، افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری و برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی (Heidarizad et al., 2019; Naeimi et al., 2020; Kolahdoozan et al., 2019)، ازجمله عوامل مهم و اصلی افت سطح آب‌های زیرزمینی بوده و بالعکس تبدیل سیستم‌های آبیاری سنتی به تحت فشار نیز ازجمله عوامل حفر تعادل بیلان آبی محسوب می‌گردد (Nikbakh & Delbari., 2014).

بر این اساس، این پژوهش به بررسی تغییرات کمیت آب زیرزمینی در بزرگ‌ترین حوضه داخلی، کویر مرکزی ایران، در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۷ با استفاده از داده‌های سطح آب و تراز چاه‌های مشاهداتی موجود در آبخوان‌های محدوده‌های مطالعاتی می‌پردازد. این حوضه در سطح شش استان خراسان رضوی، سمنان، خراسان شمالی، اصفهان، یزد و تهران گسترش یافته که بخش عمده آن در دو استان خراسان رضوی و سمنان قرار دارد. شهرهای حیاتی و راهبردی مانند نیشابور، سبزوار، سمنان، شاهرود و دامغان در این حوضه قرار می‌گیرند. جاده‌های اصلی تهران به مشهد، سبزوار به بجنورد و راه‌آهن تهران - مشهد در این حوضه واقع شده است. انتظار می‌رود که نتایج این پژوهش در اعتدالی تصمیم‌گیری سیاست‌مداران در



شکل ۱- موقعیت حوزه آبریز کویر مرکزی نسبت به سایر حوزه‌های آبریز ایران

Figure 1- Location of the Central Desert watershed compared to others in Iran

جدول ۱- نام و مساحت هریک از محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبریز مرکزی

Table 1- Name, code and area of the study areas of the central desert watershed

No.	Study area	Study Code	Area (Km ²)	No.	Study area	Study Code	Area (Km ²)
1	Central Desert (Dasht-e Kavir)	4701	56151	26	Jangal	4726	1425
2	Semnan Desert	4702	5110	27	Rashtkhar	4727	2409
3	Sorkheh	4703	1639	28	Torbat Heydariyeh	4728	2504
4	Semnan	4704	2198	29	Kashmar	4729	2041
5	Garmsar	4705	5532	30	Rivash	4730	615
6	Firozkuh	4706	1661	31	Torod	4731	5759
7	Mubarakieh (Garmsar Desert)	4707	3027	32	Biarjomand	4732	2820
8	Ivanki	4708	948	33	Khartooran desert	4733	3553
9	Humand Absard	4709	548	34	Davarzan	4734	4946
10	Chopanan	4710	5107	35	Sabzevar	4735	5577
11	Jandaq	4711	2852	36	Ataieh	4736	3115
12	Khor-Farokhi	4712	3794	37	Ghanle Meidan Sangerd	4737	1259
13	Bayazeh	4713	5181	38	Neishaboore	4738	7330
14	Halvan-Robatkhan	4714	6731	39	Dashtrakh	4739	2082
15	Dashtgarandan	4715	5828	40	Jovein	4740	5651
16	Droneh	4716	5915	41		4741	1530
17	Bardaskan	4717	2524	42	Jajarm	4742	2477
18	Namak Desert (Bajestan Desert)	4718	3053	43	Esfaraen	4743	4498
19	Firdous	4719	2929	44	Shoghan	4744	1140
20	Bashrouye	4720	6404	45	Safi abad	4745	2595
21	Bajestan_Younis	4721	4158	46	Miami	4746	5077
22	Mohavalat	4722	2145	47	Damghan	4747	5917
23	Azghand	4723	1875	48	Damghan desert	4748	9519
24	Bimorgh-e Omrani	4724	2867	49	Shahrood	4749	1309
				50	Bastam	4750	1326
25	Gonabad	4725	1872	-	Total	4702	226523

روش تحقیق

در این بخش به مطالعه و بررسی نقشه‌های هم‌تراز و هم‌عمق آب زیرزمینی، تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی و تهیه آب‌نمود معرف آبخوان پرداخته شد. از این رو، اطلاعات مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای در آبخوان‌های آبرفتی هریک از حوضه‌ها تهیه و آماده‌سازی گردید. به منظور تهیه نقشه خطوط هم‌تراز و هم‌عمق آب زیرزمینی از داده‌های ماه حداقل سال آخر دوره آماری برای آبخوان‌های حوضه‌ی آبریز استفاده شد و پهنه‌بندی‌ها توسط درون‌یابی کریجینگ در محیط نرم‌افزار Arc GIS وارد شد.

در ادامه، به منظور بررسی تغییرات درازمدت و نوسانهای سطح آب زیرزمینی و نیز تشخیص دوره‌های افزایش و کاهش سطح آب، آب‌نمود معرف در طول دوره‌ی آماری با استفاده از نقشه‌ی تیسن کمی برای هریک از آبخوان‌های حوضه‌های آبریز تهیه شد. در این روش، چاه‌های مشاهده‌ای منتخب منطقه را به یکدیگر وصل کرده و با رسم عمود منصف‌های اضلاع مثلث‌های حاصل، پلی‌گون‌هایی ایجاد شد؛ به طوری که در هر پلی‌گون، یک چاه مشاهده‌ای قرار گرفت. مساحت پلی‌گون‌ها محاسبه و با استفاده از رابطه‌ی زیر، متوسط سطح آب زیرزمینی برای هر ماه از سال در دوره‌ی زمانی معین برای کل آبخوان حساب شد (رابطه‌ی ۱).

$$\bar{h} = \frac{\sum ah}{A} \quad (1)$$

که در این رابطه، h : سطح آب در چاه مشاهده‌ای، a : مساحت پلی‌گونی که چاه مشاهده‌ای در آن قرار گرفته و A : مساحت کل پلی‌گون‌هاست. هیدروگراف واحد از ترسیم نمودار متوسط سطح آب زیرزمینی در برابر ماه‌های دوره‌ی زمانی مورد نظر به دست آمد.

در ادامه، با استفاده از رابطه‌ی ۲ و براساس هیدروگراف معرف آبخوان که در دوره‌ی زمانی مورد نظر به دست آمده، کسری مخزن (تغییرات ذخیره‌ی زیرزمینی مشاهداتی) قابل برآورد است.

$$\Delta s = A \times S \times \Delta h_t \quad (2)$$

که در رابطه‌ی ذکر شده، A مساحت آبخوان مورد نظر، S ضریب ذخیره‌ی آبخوان و Δh_t تغییرات (افت یا خیز) سطح آب زیرزمینی در سال t است.

همچنین، از شاخص خشکسالی منابع آب زیرزمینی (GRI) به عنوان الگوی معتبر و کاربردی استفاده شد. مقدار شاخص GRI با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$GRI = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \quad (3)$$

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 است. طبقه‌بندی مقادیر شاخص GRI در ۹ گروه تقسیم شدند (جدول ۲).

جدول ۲- طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی با توجه به مقادیر شاخص GRI (Naeimi et al., 2020)

Table 2- Drought severity classification according to GRI values (after Naeimi et al., 2020)

Drought classes	GRI
Very intense fear	$2 \leq$
Severe fear	$1.5 - 2$
Moderate fear	$1 - 1.5$
Mild fear	$0.5 - 1$
Normal	$-0.5 - 0.5$
Mild drought	$-0.5 - -1$
Moderate drought	$-1 - -1.5$
Severe drought	$-1.5 - -2$
Very intense drought	≥ -2

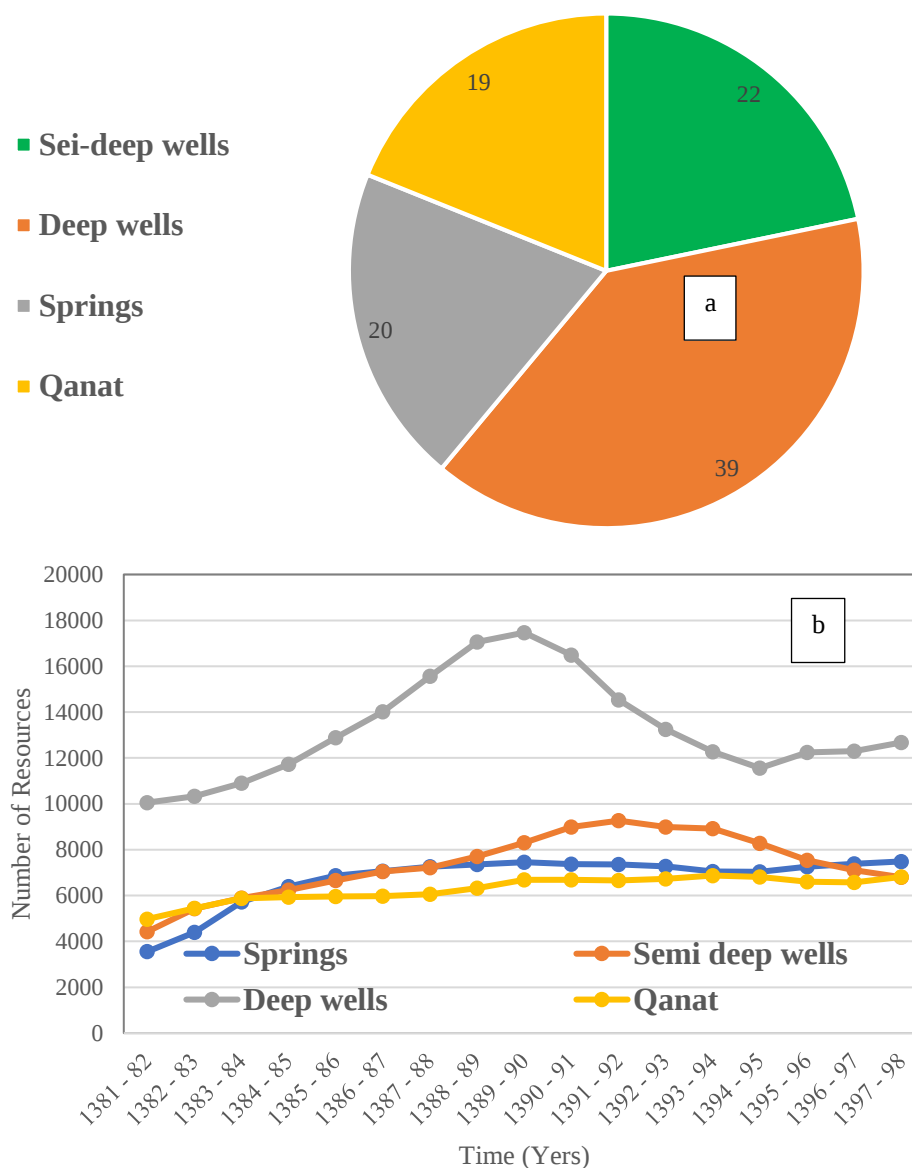
نتایج

تعداد منابع و میزان تخلیه و مصرف منابع آب زیرزمینی در حوضه‌ی آبریز کویر مرکزی

در سطح حوضه کویر مرکزی ایران، براساس اطلاعات موجود، در ۴۷ محدوده مطالعاتی آبخوان‌های آبرفتی با کمیت و کیفیت متفاوت تشکیل شده است. وسعت کل آبخوانهای آبرفتی در سطح حوزه آبریز کویر مرکزی ۲۹۹۰۹ کیلومتر مربع بوده و مهمترین آبخوانهای آبرفتی از نظر گسترش و بهره‌برداری مربوط به محدوده‌های مطالعاتی نیشابور، سبزوار، جوی، گرمسار و دامغان می‌باشد. در سطح حوضه آبریز کویر مرکزی براساس آمار و با توجه به شکل ۲ و ۴، تعداد ۲۹۳۶۰ منبع آب زیرزمینی (چاه، چشمه و قنات) وجود دارد که حجم تخلیه و برداشت از آنها برابر ۳۶۵۹ میلیون مترمکعب در سال است. تعداد چشمه‌های این حوضه آبریز، ۵۶۷۵ دهنه با تخلیه سالانه ۳۱۴ میلیون مترمکعب است که به لحاظ تعداد، حدود ۱۹/۳ درصد و از نظر تخلیه، حدود ۸/۶ درصد از کل تعداد و تخلیه منابع آب زیرزمینی را شامل می‌شود. تعداد قنات‌های این حوضه آبریز، ۶۱۰۷ رشته با تخلیه سالانه ۵۷۵ میلیون مترمکعب است که به لحاظ تعداد، حدود ۲۰ درصد و از نظر تخلیه، حدود ۱۵/۷ درصد از کل تعداد و تخلیه منابع آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین تعداد چاه‌های عمیق این حوضه آبریز،

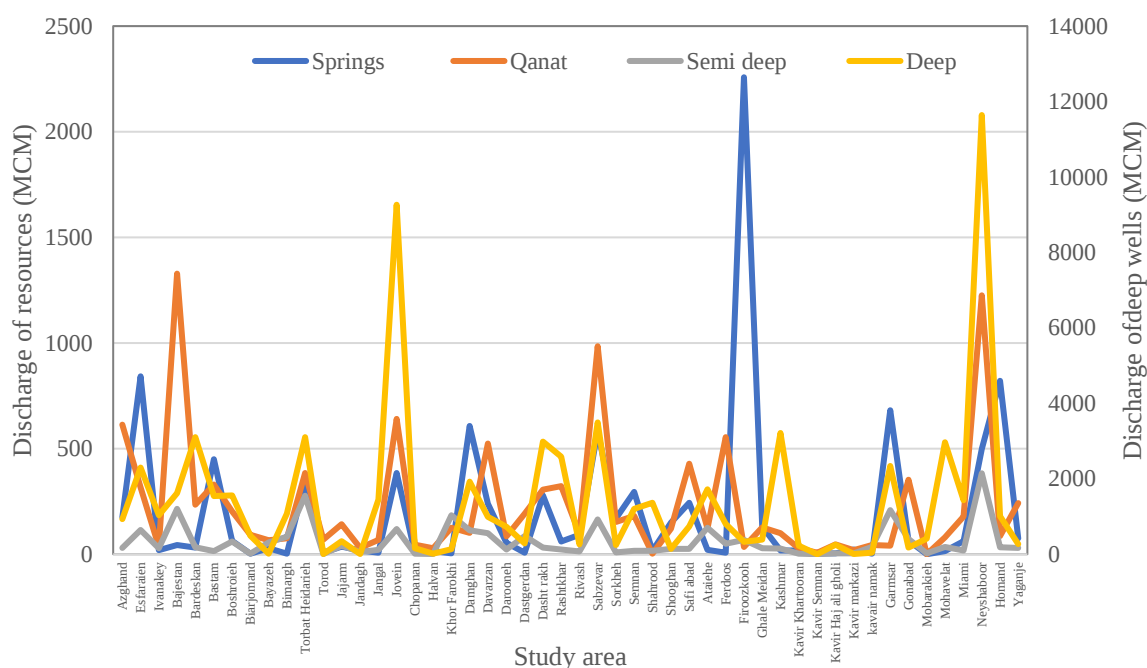
۱۱۵۱۶ حلقه با تخلیه سالانه ۲۶۴۷ میلیون مترمکعب است که به لحاظ تعداد، حدود ۳۹/۲ درصد و از نظر تخلیه، حدود ۷۲/۳ درصد از کل تعداد و تخلیه منابع آب زیرزمینی را شامل می‌شود. در نهایت، تعداد چاه‌های نیمه‌عمیق این حوضه آبریز ۶۰۶۲ حلقه با تخلیه سالانه ۱۲۲ میلیون مترمکعب است که به لحاظ تعداد، حدود ۲۲ درصد و از نظر تخلیه، حدود ۳/۳۳ درصد از کل تعداد و تخلیه منابع آب زیرزمینی می‌باشد. در ادامه، بررسی سالانه تعداد منابع آب زیرزمینی در محدوده‌های مطالعاتی حوضه کویر مرکزی با توجه به شکل ۴ نشان می‌دهد که روند حفر چاه‌های عمیق تا سال ۱۳۹۰ صعودی و پس از آن نزولی شده است.

بررسی تعداد منابع آب زیرزمینی در محدوده‌های مطالعاتی حوضه کویر مرکزی با توجه به شکل ۳، نشان می‌دهد که نیشابور و دامغان به ترتیب با ۱۷۷۰ و ۶۴۷ حلقه چاه نیمه‌عمیق، رکورددار بیشترین منابع در حوضه است. از نظر چاه عمیق، نیشابور و جوی به ترتیب با ۱۶۹۶ و ۹۸۳ حلقه چاه دارای بیشترین منابع در حوضه هستند. از نظر چشمه نیز، نیشابور و جوی با ۹۸۸ و ۵۰۵ دهنه، بیشترین منابع را در حوضه دارند. این در حالی است که سبزوار و جوی با ۸۴۱ و ۵۵۵ رشته قنات، بیشترین تعداد را در بین محدوده‌های مطالعاتی دارد.



شکل ۲- الف) درصد سهم هریک از منابع آب و ب) تعداد چاه عمیق، چاه نیمه عمیق، قنات و چشمه در حوضه‌ی آبریز کویر مرکزی در دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۷

Figure 2- a) Percentage share of each water source and, b) number of deep wells, semi-deep wells, qanats and springs in the central desert watershed during the period 2002-2018



شکل ۳- تعداد منابع آب زیرزمینی در محدوده‌های مطالعاتی حوضه کویر مرکزی در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۸

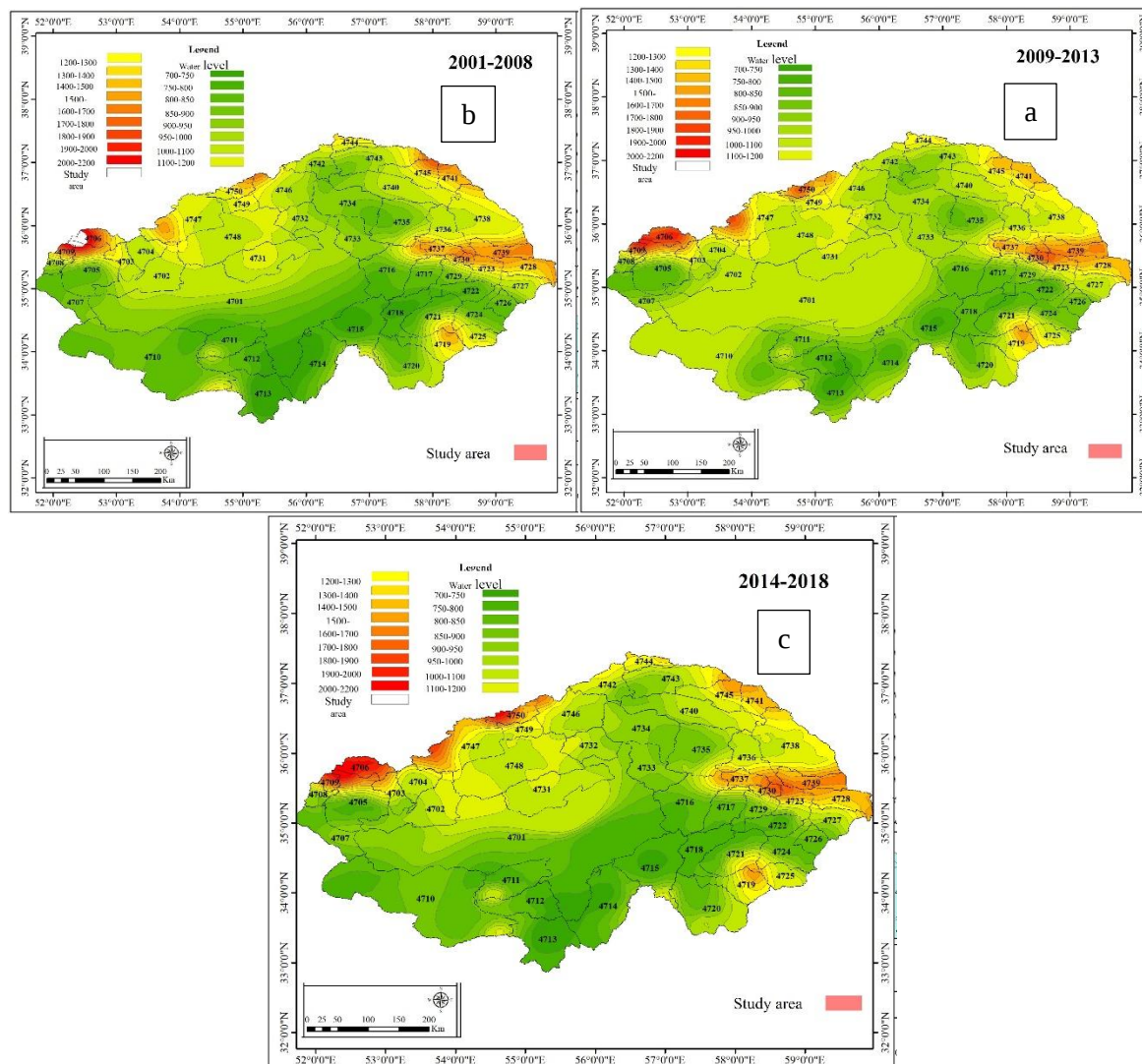
Figure 3- Number of groundwater resources in the study areas of the Central Desert Basin in the period 2002-2019

بررسی میزان افت آب زیرزمینی

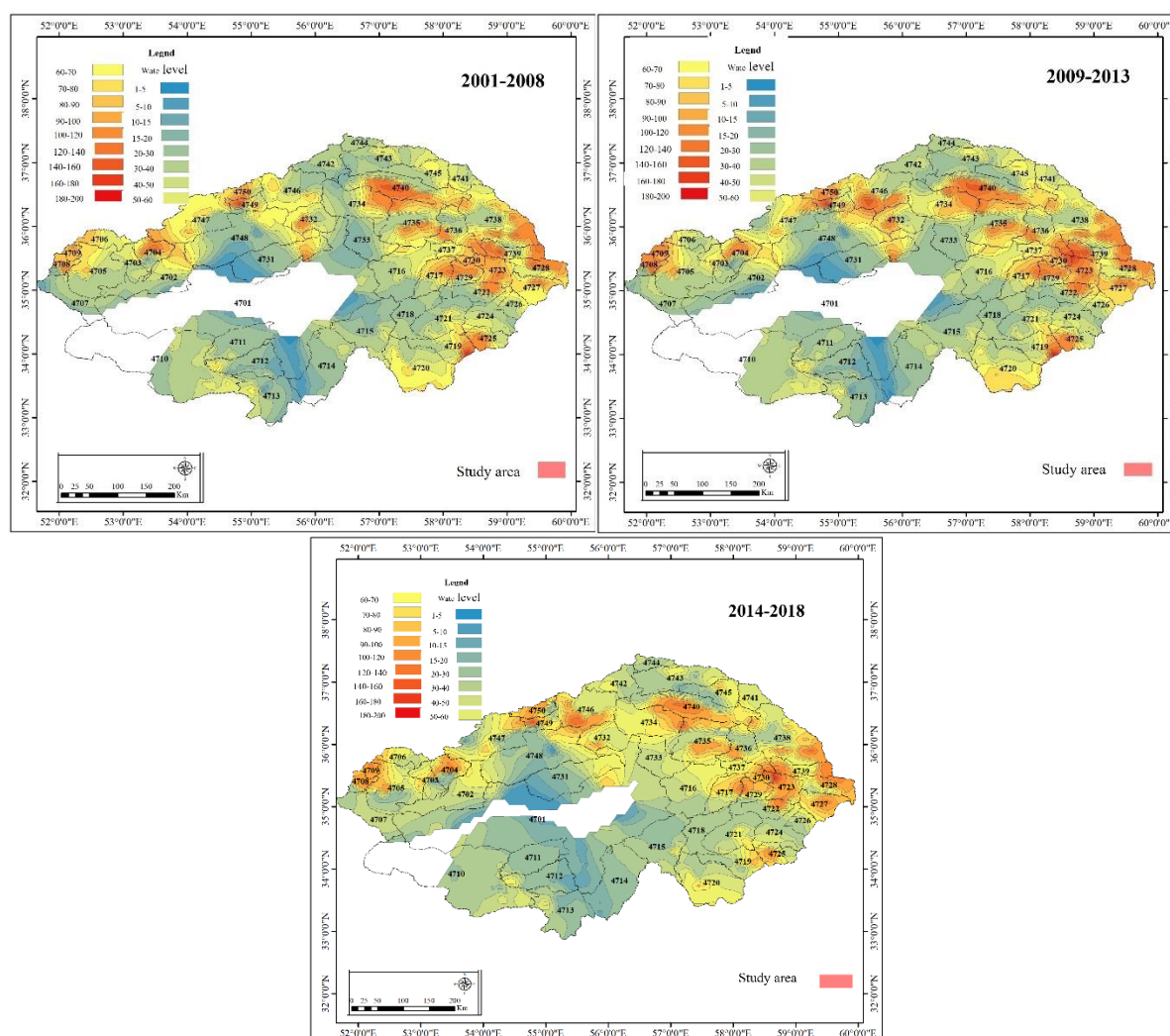
نتایج در محدوده‌های مطالعاتی با توجه به پهنه‌بندی‌های شکل ۴ نشان داد که در هر سه دوره زمانی مورد بررسی، بخش‌های شمالی، شمال‌غربی و شرقی حوضه با افت تراز بالاتری نسبت به سایر مناطق قرار گرفته‌اند. همچنین، بیشترین تغییرات سطح آب در محدوده‌های رشتخوار، ایوانکی و کاشمر بوده است که به ترتیب کمبودی برابر با ۲۹/۳۰-، ۲۵/۵۰- و ۱۸/۴۰- متر دارند. همچنین طولانی‌ترین خشکسالی‌ها در محدوده خور-فرخی بوده که تداومی برابر با ۱۴۴ ماه دارد؛ از این رو، این محدوده با دارا بودن شدت و تداوم بالای خشکسالی، از شرایط بحرانی‌تر خشکسالی طی دوره آماری مذکور نسبت به دیگر محدوده‌های مطالعاتی برخوردار بوده است.

با توجه به نقشه منحنی‌های هم‌عمق سطح آب زیرزمینی

در شکل ۵ که برای آبخوان‌های آبرفتی حوضه کویر مرکزی تهیه شده، نواحی دارای سطح آب زیرزمینی کمتر از ۱، ۱ تا ۳ و ۳ تا ۵ متر مشخص و مساحت آنها محاسبه شده است. به‌طور کلی در سطح حوضه آبریز کویر مرکزی، مساحت نواحی دارای سطح آب ۱ تا ۳ و ۳ تا ۵ متر به ترتیب ۶۹۸ و ۷۳۸ کیلومتر مربع است. بنابراین مجموع وسعت نواحی تبخیری، ۱۴۳۶ کیلومتر مربع بوده که ۴/۸ درصد از وسعت آبخوان‌های حوضه تلفیق را شامل می‌گردد. با توجه به اینکه نقشه هم‌عمق تهیه شده در این مطالعات مربوط به دوره حداقل سطح آب زیرزمینی بوده، احتمالاً در دوره حداکثر سطح آب زیرزمینی (بالا بودن سطح آب زیرزمینی) سطح نواحی تبخیری اندکی بیشتر خواهد بود که علت آن، بهره‌برداری کمتر از آب زیرزمینی و بالا آمدن نسبی سطح آب نسبت به دوره بهره‌برداری و فصل خشک است.



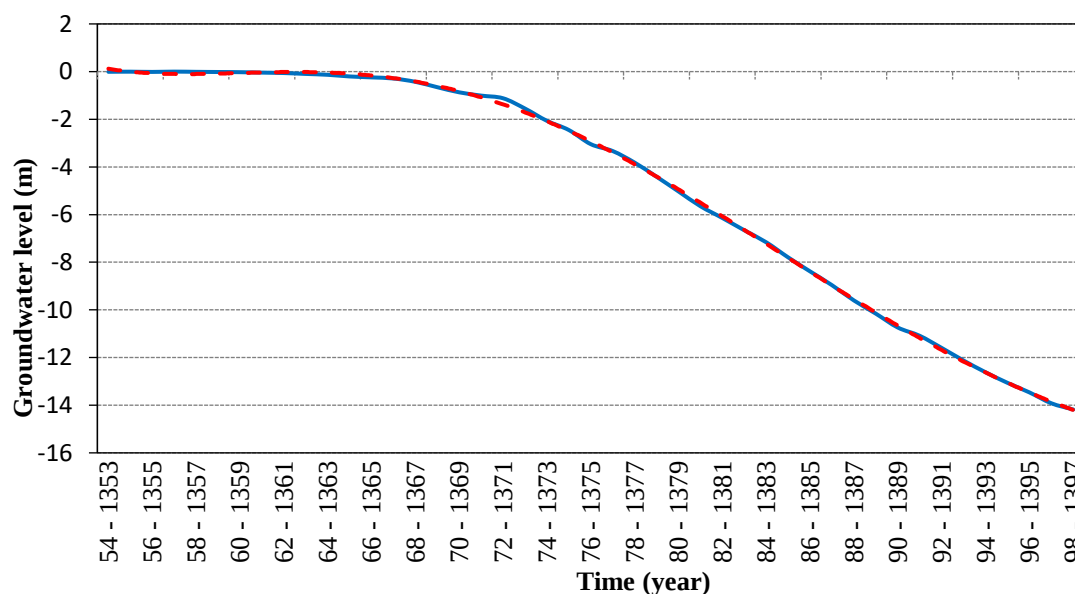
شکل ۴- نتایج تراز آب در سطح حوضه کویر مرکزی در بازه زمانی الف) ۱۳۸۱-۱۳۸۷، ب) ۱۳۸۸-۱۳۹۲ و ج) ۱۳۹۳-۱۳۹۷
 Figure 4- Results of water level in the Central Desert watershed during the period of a) 2002-2008, b) 2009-2013, and c) 2014-2018



شکل ۵- نتایج عمق آب در سطح حوضه کویر مرکزی در بازه زمانی الف) ۱۳۸۱-۱۳۸۷، ب) ۱۳۸۸-۱۳۹۲ و ج) ۱۳۹۳-۱۳۹۷
 Figure 5- Results of water depth at the Central Desert watershed during the period of a) 2002-2008, b) 2009-2013, and c) 2014-2018.

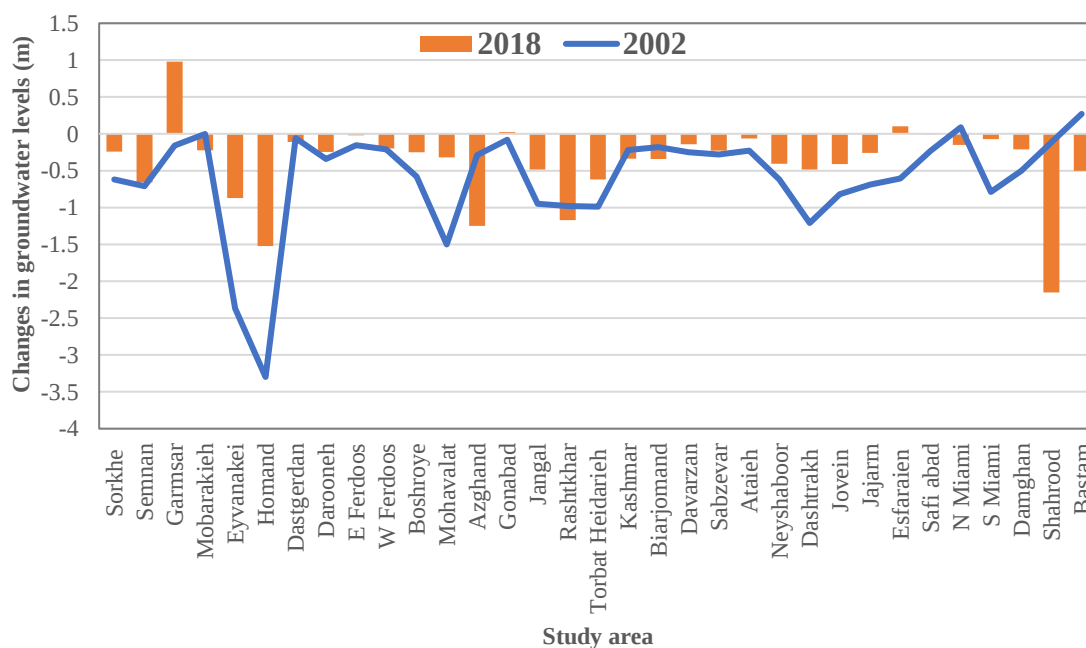
بررسی در شکل ۷، نشان می‌دهد که اغلب آبخوان‌های آبرفتی این حوضه آبریز به علت بهره‌برداری بیش از حد مجاز، دچار افت سطح آب شده‌اند. در سال ۱۳۸۱، ابتدای دوره آماری بسطام و میامی، کمتر از ۰/۵ متر خیز در آبخوان را نشان می‌دهد و بقیه افت را با بیشینه ۳/۵- متر در هومند نشان می‌دهد. این در حالی است که در سال ۱۳۹۷ از ۳۳ آبخوان، ۳۱ آبخوان دارای افت سطح آب بوده که بیشترین افت سالانه با ارقام ۲/۱۵ و ۱/۵۴ متر در سال مربوط به آبخوان‌های شاهرود و هومند-آبسر است.

در ادامه، با استفاده از داده‌های مربوط به سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای و محاسبه متوسط وزنی تراز سطح آب زیرزمینی هر آبخوان در هر ماه، تغییرات تجمعی متوسط افت و خیز سطح آب زیرزمینی برای کل حوضه با توجه به شکل ۶، رسم گردید. نتایج افت و خیز آب در حوضه‌ی آبریز کویر مرکزی در دوره ۱۳۵۴ تا ۱۳۹۷ نشان می‌دهد که به‌طور کلی، سطح آب زیرزمینی در این محدوده بعد از سال ۱۳۶۸ روند به شدت نزولی داشته است. همچنین، بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده‌های مطالعاتی و آبخوان‌های حوضه کویر مرکزی با



شکل ۶- تغییرات تجمعی متوسط افت و خیز سطح آب زیرزمینی آبخوان‌های آبرفتی واقع در حوضه کویر مرکزی، در دوره ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۷

Figure 6- Average cumulative changes in groundwater level fluctuations in alluvial aquifers located in the Central Desert watershed during the period 1974-2018



شکل ۷- تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده‌های کویر مرکزی در سال ابتدا و انتهای دوره آماری مورد بررسی

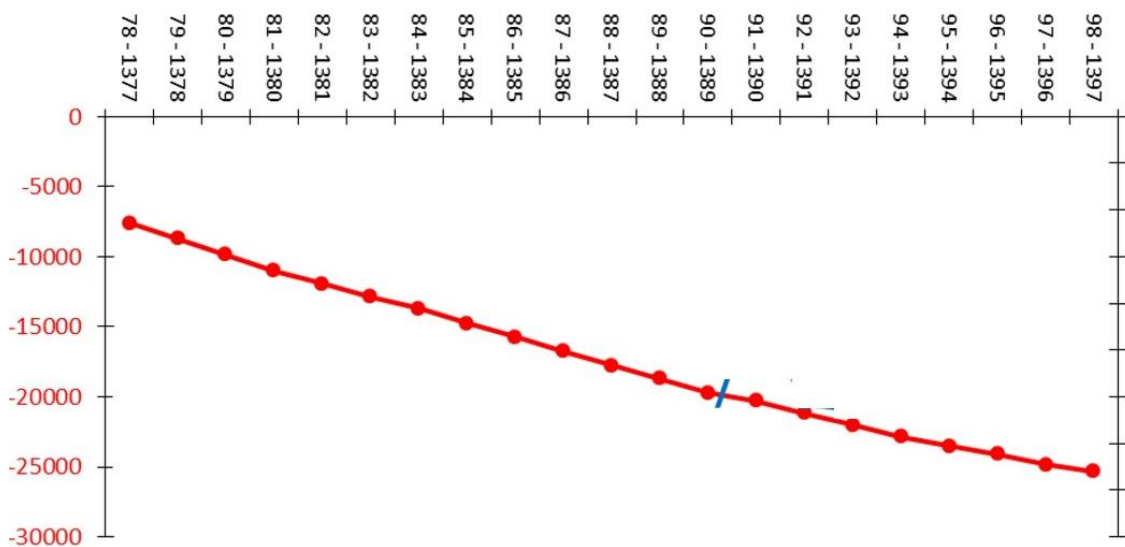
Figure 7- Changes in groundwater levels in the Central Desert areas at the beginning and end of the statistical period under study

نمی‌شود. حفر چاه و برداشت از آب زیرزمینی توسط آنها در سالهای مختلف دارای رشد بسیار زیادی بوده و بدیهی است که این افزایش برداشت بر روی موجودیت قنات‌ها و میزان متوسط آبدهی آنها تأثیر مستقیمی دارد. از آن‌جا که سال حفر بیشتر قنات‌ها نامشخص بوده و در دوره‌های مختلف آماربرداری نیز سطوح متفاوتی مورد آماربرداری قرار گرفتند، رابطه کمی دقیق و معنی‌داری نمی‌توان بین افزایش چاه‌ها و کاهش قنات‌ها برقرار نمود.

بررسی تغییرات حجم مخزن در محدوده‌های مطالعاتی

بررسی تغییرات حجم مخزن طی سال‌های آبی ۸۲-۱۳۸۱ تا ۹۸-۱۳۹۷ در شکل ۸، نشان داد که تغییرات سالانه و تجمعی حجم ذخیره‌ی مخزن در حوضه آبریز کویر مرکزی طی دوره‌ی آماری ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۷ نشان می‌دهد که در مجموع، ۲۵۳۱۷/۱۲ میلیون مترمکعب از حجم مخزن کاسته شده است.

به‌طورکلی سطح آب زیرزمینی در ماه‌های بهره‌برداری که میزان ریزش‌های جوی نیز کمتر است، روند پایین‌رونده دارد و در ماه‌های مرطوب سال که بهره‌برداری از چاه‌ها نیز به‌شدت کاهش یافته و میزان ریزش‌های جوی نیز افزایش می‌یابد، سطح آب زیرزمینی اندکی بالا می‌آید. اما در بسیاری از آبخوان‌ها به‌دلیل فزونی برداشت از آب زیرزمینی نسبت به تغذیه سالانه، شیب عمومی هیدروگراف‌ها روند نزولی سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. در برخی از آبخوان‌ها مانند کویر مرکزی (دشت کویر)، خور- فرخی، گناباد و کویر دامغان اگرچه به‌طور کلی سطح آب زیرزمینی دچار افت شده اما میزان متوسط سالانه آنها کم و در حد ۵ تا ۹ سانتی‌متر است. با توجه به افت سطح آب زیرزمینی، مقررات ممنوعیت توسعه بهره‌برداری در آبخوان‌های آبرفتی ۳۹ محدوده مطالعاتی اعمال شده است و در برخی آبخوان‌های دارای افت مانند کویر مرکزی (دشت کویر)، خور- فرخی، گناباد و کویر دامغان هنوز این مقررات اعمال

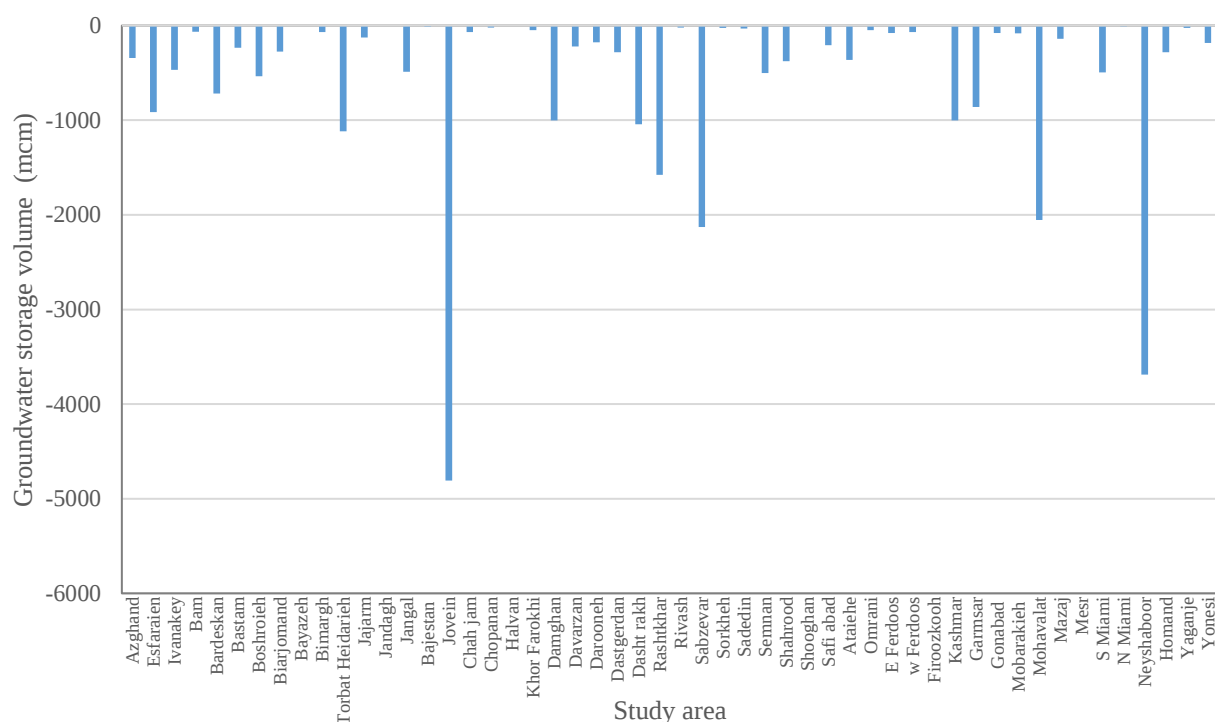


شکل ۸- تغییرات حجم ذخیره‌ی مخزن در حوضه آبریز کویر مرکزی طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۷

Figure 8- Changes in groundwater storage volume in the Central Desert watershed during the years 1998 to 2018

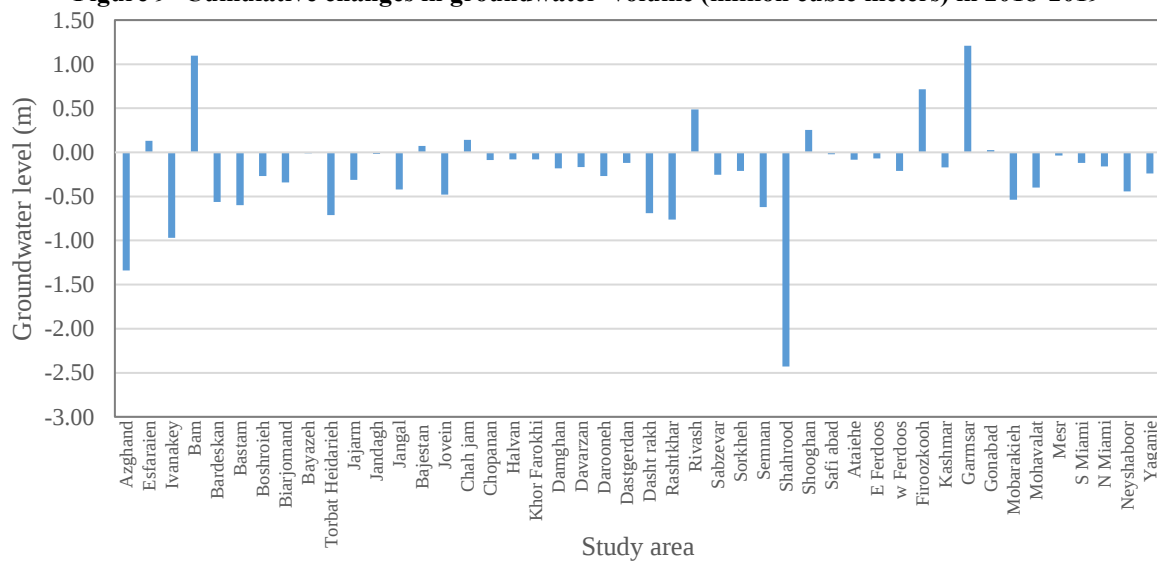
همچنین بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی نشان داد که شاهرود با ۲/۵- متر و گرمسار با ۱/۲ متر به‌ترتیب بدترین و بهترین شرایط را با توجه به شکل ۱۰ تجربه کرده‌اند.

در ادامه، نتایج سال آخر دوره زمانی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ نشان داد که محدوده‌های جوی و نیشابور، بیشترین تغییرات تجمعی کسری حجم مخزن را به‌ترتیب برابر ۴۸۰۰ و ۳۶۰۰ میلیون مترمکعب با توجه به شکل ۹ نشان می‌دهند.



شکل ۹- تغییرات تجمعی حجم مخزن (میلیون مترمکعب) در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸

Figure 9- Cumulative changes in groundwater volume (million cubic meters) in 2018-2019



شکل ۱۰- تغییرات سطح آب زیرزمینی (متر) در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸

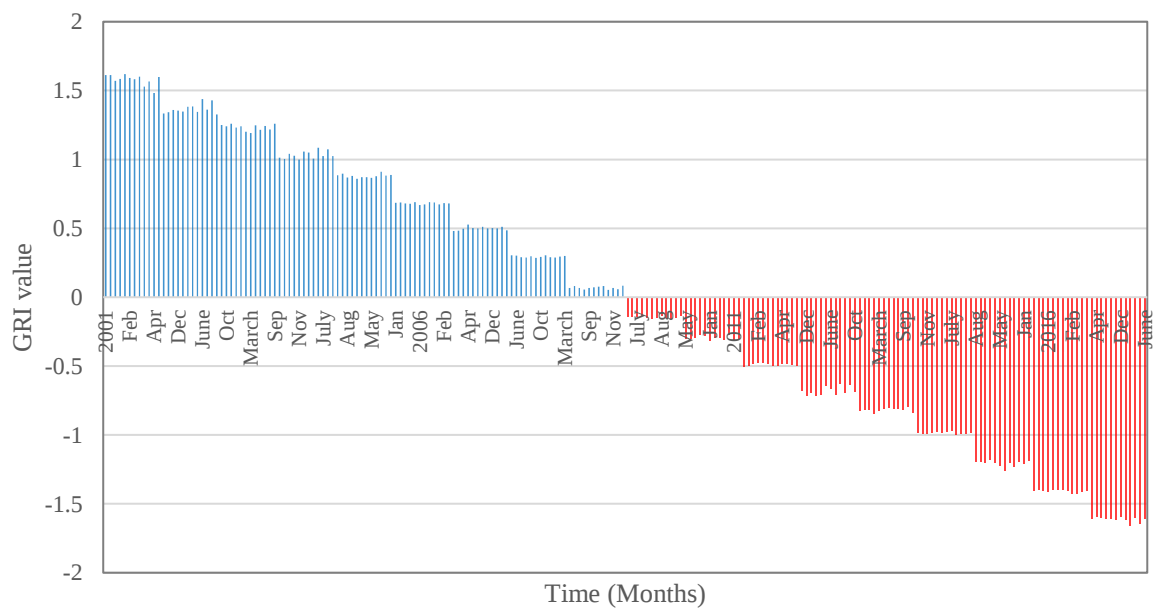
Figure 10- Changes in groundwater level (m) in 2018-2019

با توجه به شکل ۱۱، نشان می‌دهد که اولین خشکسالی در مهر سال ۱۳۸۹ رخ داده است. مشاهده می‌شود که روند کلی ارزش GRI از سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ کاهش یافته است. حداقل و حداکثر مقدار GRI در این حوضه آبریز به ترتیب

روند تغییرات خشکسالی آب زیرزمینی در حوضه کویر مرکزی
روند تغییرات GRI یا شاخص خشکسالی آب زیرزمینی
در حوضه کویر مرکزی طی دوره ۸۱-۱۳۸۰ تا ۹۸-۱۳۹۷

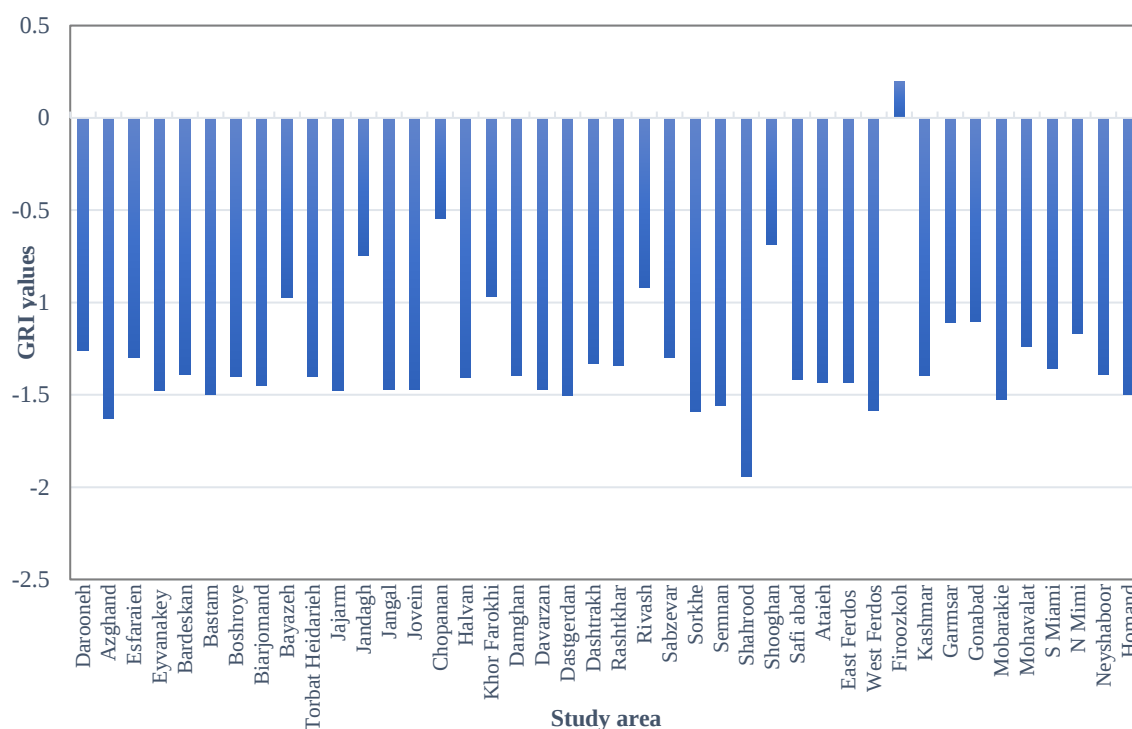
خشکسالی‌ها در محدوده خور - فرخی بوده است که تداومی برابر با ۱۴۴ ماه دارد؛ از این رو، این محدوده با دارا بودن شدت و تداوم بالای خشکسالی، از شرایط بحرانی‌تر خشکسالی طی دوره آماری مذکور نسبت به دیگر محدوده‌های مطالعاتی برخوردار بوده است.

۱/۵۲- و ۱/۶۶ است. همچنین، نتایج حاصل از ارزیابی خشکسالی آب زیرزمینی توسط شاخص GRI در شکل ۱۲ و محدوده‌های مطالعاتی حوزه کویر مرکزی نشان داد که کویر گرمسار با اختلاف، شدیدترین خشکسالی را طی دوره مطالعاتی تجربه کرده است. همچنین طولانی‌ترین



شکل ۱۱- مقادیر شاخص خشکسالی منابع آب زیرزمینی طی دوره آماری ۸۱-۱۳۸۰ تا ۹۸-۱۳۹۷ در حوزه آبریز کویر مرکزی

Figure 11- Groundwater drought index values of during the statistical period 2001-2002 to 2018-2019 in the Central Desert watershed

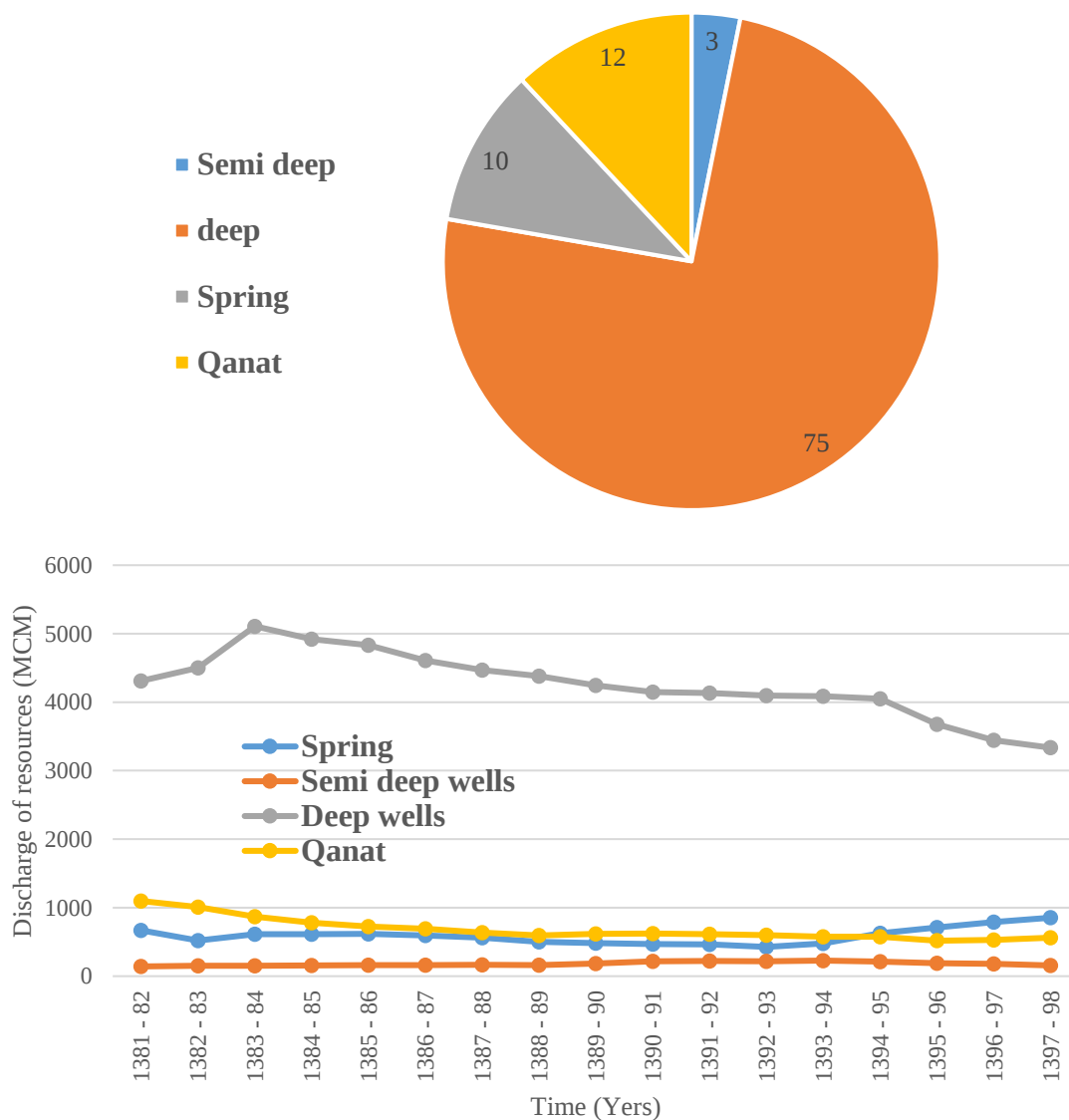


شکل ۱۲- میانگین شاخص خشکسالی منابع آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کویر مرکزی

Figure 12- Average of Groundwater drought index in 2018-2019 in the study areas of the Central Desert watershed

از ۶۲۰۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. با توجه به نتایج در شکل‌های ۱ و ۱۴، حجم مصرف مستقیم از تمامی منابع در سال پایانی (۱۳۹۷-۱۳۹۸) در سطح حوضه برابر ۴۱۴۳ میلیون مترمکعب در سال بوده و براساس آمار موجود، ملاحظه می‌گردد که ۹۳ درصد از مصارف آب بخش کشاورزی از طریق منابع آب زیرزمینی (چاه، چشمه و قنات) تأمین می‌شود.

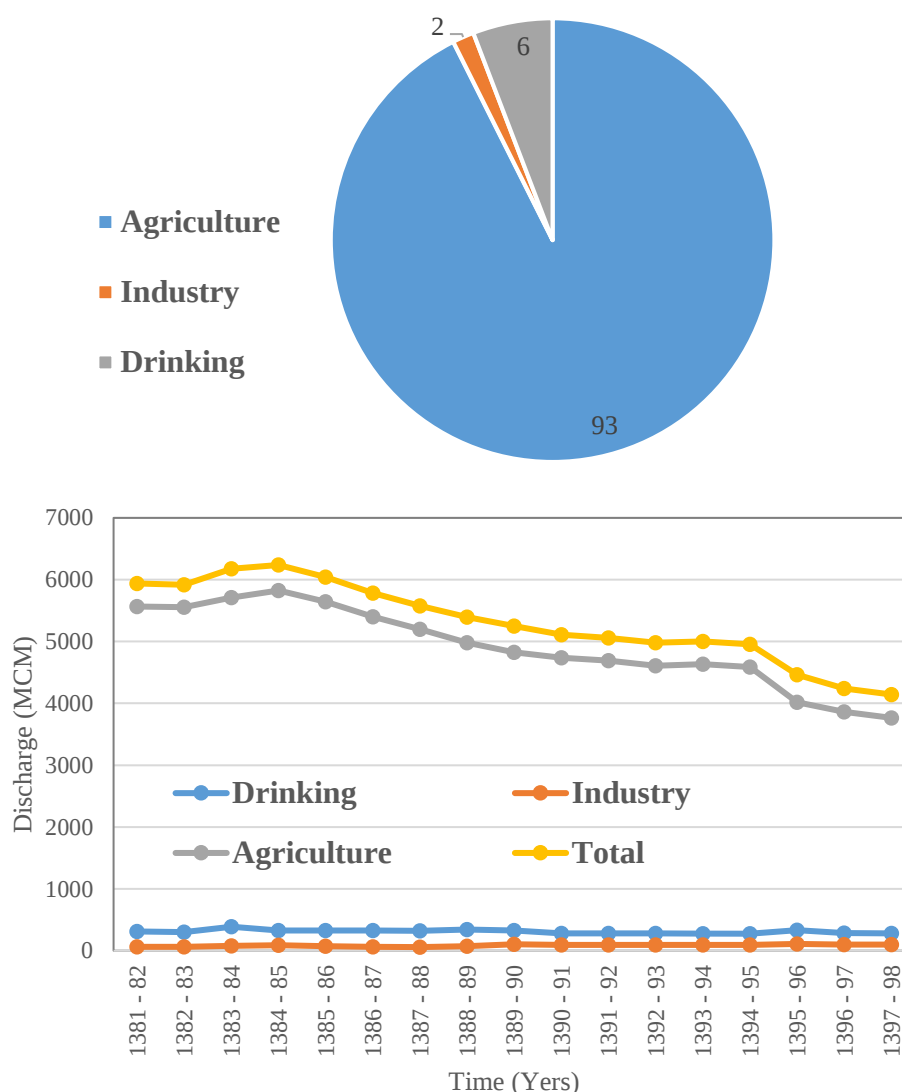
در ادامه با توجه به شکل ۱۳، نتایج تخلیه و مصرف نشان می‌دهد که سیستم غالب بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی در حوضه کویر مرکزی عمدتاً از طریق چاه‌های عمیق (۷۵ درصد) انجام می‌شود که روند کلی آن نیز از سال ۱۳۹۴-۱۳۹۵ کاهشی است. همچنین بیشترین میزان بهره‌برداری از آبخوان، مربوط به بخش کشاورزی است. بیشترین میزان برداشت در سال ۸۴-۱۳۸۳ و در حدود بیش



شکل ۱۳- الف) درصد و ب) حجم تخلیه از منابع آب زیرزمینی از چاه عمیق، چاه نیمه عمیق، قنات و چشمه در حوضه ی آبریز کویر

مرکزی در دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۷

Figure 13- a) Percent and, b) volume of discharge of groundwater from deep wells, semi-deep wells, Qanats, and springs in the Central Desert watershed during the period 2002-2018



شکل ۱۴- الف) درصد و ب) حجم مقدار مصرف منابع آب زیرزمینی در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت در حوضه‌ی آبریز کویر مرکزی در دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۷

Figure 14- a) Percent and, b) volume of discharge of groundwater resources consumed as agricultural, drinking and industrial sectors in the Central Desert watershed during the period 2002-2018

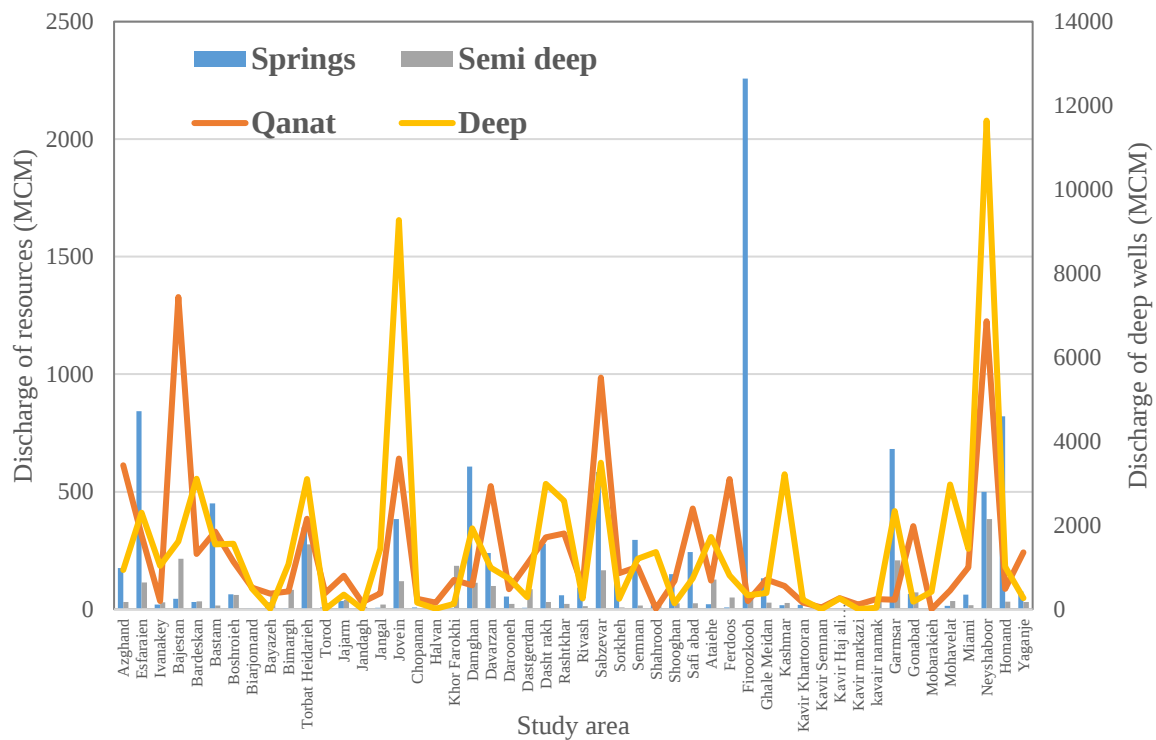
بجستان، نیشابور و سبزوار به ترتیب با حجم ۱۳۲۸، ۱۲۲۵ و ۹۸۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. در نهایت بیشترین میزان تخلیه از چشمه، متعلق به فیروزکوه، هومند و اسفراین به ترتیب با حجم ۲۲۵۸، ۸۴۳ و ۸۲۲ میلیون مترمکعب است.

در ارتباط با تخلیه کل نیز، بیشترین میزان تخلیه متعلق به نیشابور، جوین و سبزوار به ترتیب برابر ۱۵، ۱۱ و ۵

در ادامه با توجه به شکل ۱۵، بیشترین میزان تخلیه در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۷ از چاه‌های عمیق متعلق به نیشابور، جوین و بردسکن به ترتیب با حجم ۱۱۶۴۲، ۹۲۶۹ و ۳۱۰۶ میلیون مترمکعب است. بیشترین میزان تخلیه از چاه‌های نیمه عمیق متعلق به نیشابور، تربت حیدریه و بجستان به ترتیب با حجم ۳۸۳، ۲۷۷ و ۲۱۵ میلیون مترمکعب است. بیشترین میزان تخلیه از قنات متعلق به

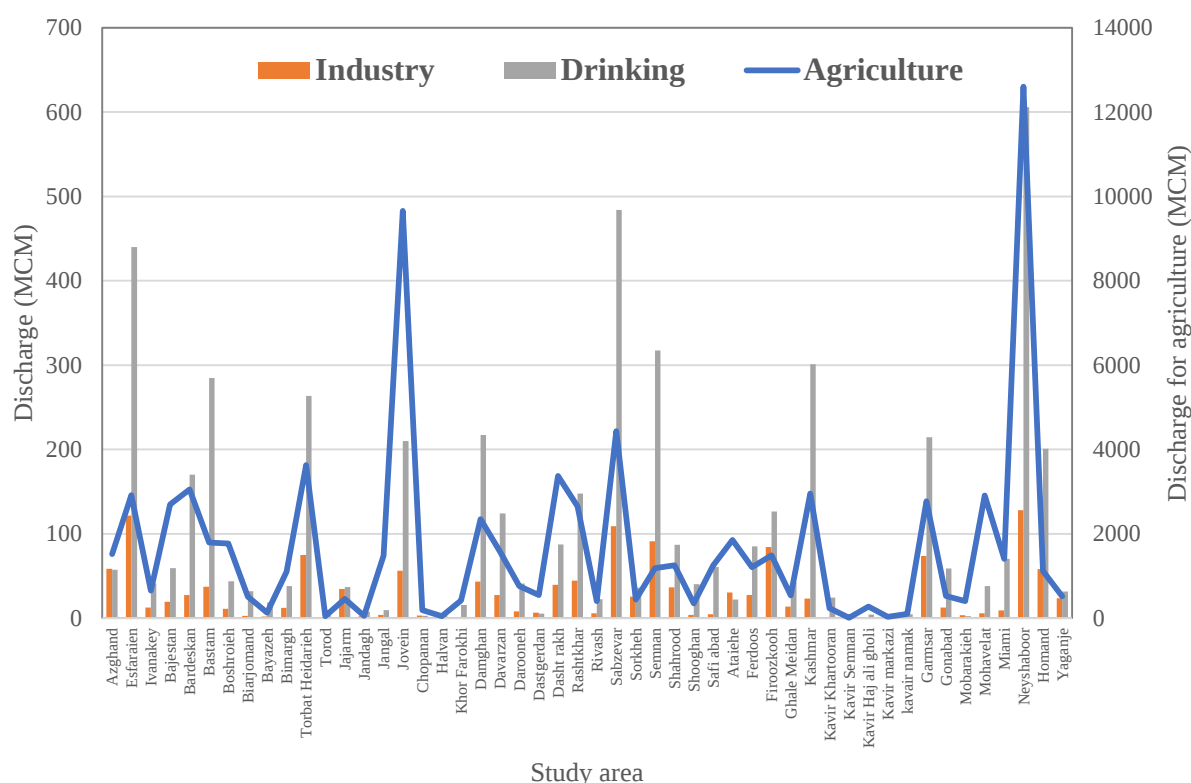
مرکزی، میزان تخلیه از چاه‌ها به مراتب بیشتر از چشمه‌ها و قنات‌هاست. بنابراین سیستم غالب بهره‌برداری از آب زیرزمینی به صورت چاه‌های عمیق و نیمه عمیق است.

درصد بوده که حدود ۳۱ درصد کل تخلیه و برداشت از آب زیرزمینی (چاه، چشمه و قنات) در سطح حوضه آبریز کویر مرکزی مربوط به سه محدوده مطالعاتی ذکر شده است. به طور کلی در اغلب محدوده‌های مطالعاتی حوضه تلفیق کویر



شکل ۱۵- میزان تخلیه از منابع مختلف در محدوده‌های حوضه آبریز کویر مرکزی ایران در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۷

Figure 15-Discharge from different groundwater resources in the study area of Central Desert of Iran in the period 2002-2018



شکل ۱۶- میزان مصارف مختلف در محدوده‌های حوضه آبریز کویر مرکزی ایران در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۷

Figure 16- Discharge of groundwater resources for various applications in the study area of Central Desert of Iran in the period 2002-2018

بهینه و مفید از منابع آب زیرزمینی که در بسیاری نقاط مهمترین و شاید تنها منبع تأمین نیازهای آبی است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر این اساس، مطالعه عوامل مؤثر بر افت سطح آب‌های زیرزمینی، بررسی خشک‌سالی‌های هیدروژئولوژیکی، برداشتها و دخالت‌های انسانی به همراه رفتارسنجی افت سطح آب‌های زیرزمینی در راستای ارائه راهکارهای حفاظت و مدیریت مناسب منابع حیاتی آب ضروریست. در این پژوهش، نقشه‌های هم‌تراز پنج ساله، آب‌نمود معرف همراه با تغییرات متوسط سالیانه میزان بارش و شاخص خشک‌سالی GRI به همراه میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای دشت مورد نظر محاسبه شد. بررسی سالانه تعداد منابع آب زیرزمینی در محدوده‌های مطالعاتی حوضه کویر مرکزی نشان می‌دهد که روند حفر چاه‌های عمیق تا سال ۱۳۹۰ صعودی و پس از آن نزولی شده است. افزایش

همچنین، با توجه به شکل ۱۶، بررسی میزان مصرف آب در محدوده‌های مطالعاتی و در بخش‌های مختلف در بازه زمانی ۱۳۸۱-۹۷ نشان می‌دهد که بیشترین میزان مصرف کشاورزی در محدوده‌های نیشابور، جویین و سبزوار به ترتیب برابر ۱۲۵۹۹، ۹۶۵۷ و ۴۴۳۶ میلیون مترمکعب است. بیشترین میزان مصرف شرب در محدوده‌های متعلق به استان خراسان رضوی و شهرهایی مانند نیشابور، سبزوار و اسفراین به ترتیب برابر ۶۰۶، ۴۸۴ و ۴۴۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. بیشترین میزان مصرف در صنعت در محدوده‌های نیشابور، اسفراین و سبزوار به ترتیب برابر ۱۲۸، ۱۲۱ و ۱۰۹ میلیون مترمکعب است.

بحث

در کشور ایران با شرایط آب‌وهوایی نیمه‌خشک، استفاده

تعداد حلقه چاه، می‌تواند بهره‌برداری از سطح آبهای زیرزمینی را افزایش داده و مدیریت غیر اصولی در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای توسعه کشاورزی (Wei et al., 2023)، باعث افت سطح تراز آب و کاهش ارزش کیفی منابع آب زیرزمینی و در ادامه مناطق خشک را به کانونهای بحرانی فرسایش بادی تبدیل نماید. به‌طورکلی در اغلب محدوده‌های مطالعاتی حوضه تلفیق کویر مرکزی، میزان تخلیه از چاه‌ها به مراتب بیشتر از چشمه‌ها و قنات‌هاست. بنابراین سیستم غالب بهره‌برداری از آب زیرزمینی به‌صورت چاه‌های عمیق است. حفر چاه و برداشت از آب زیرزمینی توسط آنها در سال‌های مختلف دارای رشد بسیار زیادی بوده و بدیهی است که این افزایش برداشت بر روی موجودیت قنات‌ها و میزان متوسط آبدهی آنها تأثیر مستقیمی دارد. نزولی شدن حفر چاه‌ها می‌تواند به‌دلیل برداشت‌های بی‌رویه در سال‌های پیشین و رخدادهای سبزشدگی چاه‌ها در محدوده‌های حوضه کویر مرکزی باشد. پیشتر نیز به برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی در دشت‌های کویر مرکزی مانند نیشابور (Rokni et al., 2016) و پیامدهایی از قبیل افت تراز $8/4$ متر در دوره ده سال $1385-1375$ ، نشست سطح زمین و افت کیفی آب اشاره شده است. یافته‌های حاصل از بررسی تراز و عمق آب زیرزمینی نشان داد که در هر سه دوره زمانی مورد بررسی بخش‌های شمالی، شمال‌غربی و شرقی حوضه با افت تراز بالاتری نسبت به سایر مناطق قرار گرفته‌اند. بیشترین تغییرات سطح آب در محدوده‌های رشت‌خوار، ایوانکی و کاشمر بوده است که به‌ترتیب کمبودی برابر با $29/30$ ، $25/50$ و $18/40$ متر را دارند. این افت با افزایش کشاورزی در مناطق ذکرشده همخوانی دارد. همچنین طولانی‌ترین خشکسالی‌ها در محدوده خور - فرخی بوده که تداومی برابر با 144 ماه دارد؛ از این‌رو، این محدوده با دارا بودن شدت و تداوم بالای خشکسالی، از شرایط بحرانی‌تر خشکسالی طی دوره‌ی آماری مذکور نسبت به دیگر محدوده‌های مطالعاتی برخوردار بوده است. نتایج مطالعات پیشین، مؤید آن است که پس از خشکسالی سال $1386-1387$ ، بدون حضور آب‌های سطحی برای تکمیل منابع آب‌های زیرزمینی، تنها انتخاب،

افزایش اتکا به آب‌های زیرزمینی بوده است (Zare, 2022). بنابراین به‌طور تقریب از سال 1386 ، چاه‌های جدیدی برای رفع نیازهای کشاورزی و شرب حفر شده است. این افزایش سریع در مصرف آب زیرزمینی، بدون پر شدن دوباره از بارش یا رواناب، یک محرک مهم در تخریب سفره‌های آب زیرزمینی است (Yang et al., 2022). روند کاهشی مصارف و تخلیه کل حوضه آبریز، تأییدی بر اثر توأم خشکسالی‌های هواشناسی و برداشت‌های بی‌رویه به‌ویژه در بخش کشاورزی در این قطب‌های کشاورزی واقع در این حوضه مانند سبزوار، نیشابور، شاهرود و دامغان است؛ که منجر به کاهش آبدهی و کاهش تخلیه شده و به روایت مطالعات پیشین (Naderian Masoudi et al., 2015; far et al., 2021)، تأثیر برداشت‌های بی‌رویه بیشتر از خشکسالی است. Ashraf همکاران (2021) در نتایج مطالعه خود آورده‌اند که آب‌های زیرزمینی ایران طی سال‌های $2015-2002$ حدود 74 کیلومترمکعب تخلیه شده است. این حجم تقریباً $1/6$ بار بزرگ‌تر از بالاترین میزان ذخیره تاریخی در دریاچه ارومیه است (تقریباً 46 کیلومترمکعب در 1996). براساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی (FAO)، مصرف آب کشاورزی در ایران 22 درصد بالاتر از میانگین جهانی است، در حالی که بهره‌وری آب (بازده محصول در هر مترمکعب آب مصرفی)، یک‌سوم متوسط جهانی است. این بدان معناست که بخش کشاورزی حدود 10 درصد از تولید ناخالص داخلی (GDP) کشور را تولید می‌کند؛ اما 92 درصد از آب شیرین کشور را مصرف می‌کند (Zare, 2022).

به دلیل نبود نظارت بر بهره‌برداری و حفر چاه‌های غیرمجاز کم‌عمق در دشت‌های سیلابی رودخانه‌ها و مسیل‌های ورودی به دشت، حجم زیادی از مؤلفه‌های تغذیه آبخوان به سطح زمین کشانده و مورد استفاده کشاورزی قرار می‌گیرد که این موضوع استرس وارده را تشدید نموده است. نتایج با توجه به این فرض که منابع آب زیرزمینی معمولاً نماینده جزء کند سیستم هیدرولوژیکی بوده، در حالی که رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی کم عمق اجزای سریع را نشان می‌دهد و قابل

چنین استفاده بیش از حد از آب زیرزمینی می‌تواند معضلات محیط‌زیستی و پیامدهای اقتصادی- اجتماعی جدی به همراه داشته باشد. در نهایت با عنایت به غیرقابل پیش‌بینی بودن خشکسالی‌های اقلیمی و نیز عدم امکان جلوگیری از وقوع آن، ضروری است با اقداماتی مانند لزوم برنامه‌ریزی برای برداشت و اعمال مدیریت صحیح در مصرف از منابع آب‌های زیرزمینی، اثرهای منفی آن کاهش یابد. از سویی، آگاهی از نتایج کاهش سطح آب زیرزمینی در منطقه که منتج به آسیب به اکوسیستم‌های آبی و خاکی، کاهش ثمردهی محصولات کشاورزی و غیره است، توجه و توسعه مطالعات مرتبط با پیش‌بینی اثرهای تغییرات کمی آب‌های زیرزمینی و بررسی اثرهای تغییرات کمی آب زیرزمینی بر کل اکوسیستم و به‌ویژه خاک پیشنهاد می‌گردد. همچنین، ارزیابی جامع شرایط هیدرولوژیکی ایران و تغییرات آنها در طول زمان، درک تغییرات آب و محرک‌ها، اثرها و بازخوردهای آن را در ایران باید مورد بررسی قرار داد و راهبردهای مدیریتی را برای کاهش تغییرات نامطلوب آب و اثرهای آن و بهبود شرایط آب تدوین کرد.

سیاسگزاری

این پژوهش برگرفته از پروژه ملی «مطالعات ارزیابی و پهنه‌بندی کمی منابع آب زیرزمینی در دشت‌های ایران، زیرپروژه کویر مرکزی» با کد مصوب ۹۹۰۵۴۱-۹۹۰۲۵-۰۲۸-۰۹-۰۹-۰۱ و شماره فروست ۶۵۲۴۵ است. در اینجا لازم می‌دانم از همکاری و مساعدت ارزنده مدیران و کارشناسان دفتر مطالعات پایه سازمان مدیریت منابع آب ایران در اعتلای بیشتر تحقیق سیاسگزاری نمایم.

تفسیر خواهد بود. پمپاژ بیش از حد از آب‌های زیرزمینی چاه‌ها، باعث می‌شود که هر ساله سطح آب سفره پایین برود و زمانی به سطح اولیه خود بازخواهد گشت که آن قسمت از دشت دوباره آب از دست رفته خود را تأمین کند. در حال حاضر آبیاری گسترده با استفاده از ذخایر آب زیرزمینی، پایداری کشاورزی را تهدید می‌کند، از این‌رو توسعه سیستم‌های کشت براساس کاهش مصرف آب‌های زیرزمینی و بهبود کارایی مصرف آب در محصولات کشاورزی حیاتی است ([Meng et al., 2012](#); [Zhao et al., 2019](#)). بنابراین به‌طور مشخص و بدون توجه به نیاز و رفتار سایر بخش‌ها، کلیه بهره‌برداران بخش کشاورزی باید در این زمینه مشارکت داشته باشند. مشارکت بهره‌برداران مستلزم وجود راهکارهایی است که بتوان براساس آن مقدار مصرف آب را در این بخش تعدیل نموده و با وجود این، روند فعلی تولید محصولات زراعی نیز بدون آسیب جدی یا حتی با آسیب کمتر ادامه یابد ([Khodashenas, 2017](#)). از سویی، مطالعات پیشین در منطقه نیشابور در پیش‌بینی وضعیت خشک‌سالی از دیدگاه کشاورزی با استفاده از شاخص بارش استاندارد نشان داد که منطقه مواجه با خشک‌سالی‌های هواشناسی قابل توجهی در گذشته بوده است. افزایش تعداد و تخلیه بیش از حد منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور از طریق چاه‌های بهره‌برداری، بیانگر اعمال استرس و کسری مخزن غیرقابل جبران طی سال‌های اخیر است. در مجموع، این نتایج حکایت از استفاده ناپایدار از آب برای حفظ و گسترش فعالیت‌های انسانی در بزرگ‌ترین حوضه ایران واقع در بخش خشک / نیمه‌خشک دارد. در صورت عدم کنترل،

References

- Asadi, R., Zamaniannejatzadeh, M., and Eilbeigy, M., 2023. Assessing the Impact of Human Activities and Climate Change Effects on Groundwater Quantity and Quality: A Case Study of the Western Varamin Plain, Iran. *Water*, 15(18): 3196. <https://doi.org/10.3390/w15183196>
- Ashraf, S., Nazemi, A. and AghaKouchak, A., 2021

- Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. *Scientific Reports* 11: 9135.
- Azareh, A., Rafiei Sardoi, E., Nazari Samani, A. A., Masoudi, R. and Khosravi, H., 2014. Study on Spatial and Temporal Variations of Groundwater Level in Garmsar Plain. *Desert Management*, 2(3): 11-20. 10.22034/jdmal.2014.17058 (In Persian)
- Bahari Meimandi, J., Bazrafshan, O., Esmaelpour, Y.,

- Shekari, M. and Zamani, H. 2023. Study the Effect of Natural and Anthropogenic Factors on The Ground Water Falling in The Minab Plain. *Desert Management*, 11(1): 1-18. 10.22034/jdmal.2023.2000814.1412 (In Persian)
- Ghomishoun, M., Malekian, A., Hosseini, K., Gharachelo, S. and Khamoushi, M. R., 2012. A survey on spatial variations of groundwater quality in Semnan/Sorkheh plain using geostatistical techniques. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 19(3): 535-545. doi: 10.22092/ijrdr.2012.3798
 - Heidarizad, Z., Mohamadi, A. and Yaghoobi, S., 2019. Evaluating the Groundwater Status of Mehran Plain and Factors Affecting the Quantity of these Resources. *Hydrogeology*, 3(2): 59-68. 10.22034/hydro.2019.6175. (In Persian)
 - Jalili kamju, S. P. and Nademi, Y., 2019. Evaluation of the Relationship between Underground Water Resources Extraction and Rural Poverty in Iran. *Journal of Economic Research (Tahghighat- E- Eghtesadi)*, 54(3): 525-550. (In Persian)
 - Kelley, C. P., Mohtadi, S., Cane, M. A., Seager, R., and Kushnir, Y. 2015. Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 112(11): 3241-3246. <https://doi.org/10.1073/pnas.1421533112>.
 - Khodashenas, A., 2017. The Impact of Reduction in Growth Season of Autumn Crops on Sustainable Use of Groundwater Resources. *Journal of Water and Sustainable Development*, 3(2): 73-82. 10.22067/jwsd.v3i2.55013. (In Persian)
 - Kolahdoozan, J., Dinpajoo, Y., Mirabbasi Najafabadi, R., Asadi, E. and Darbandi, S., 2015. Effect of Zayandehrood River Dry Becoming on Najafabad Aquifer Oscillations During Past Two Decades. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(1): 81-93. 10.22059/ijswr.2015.54298. (In Persian)
 - Khosravi, A., Mirabbasi, R., Samadi Boroujeni, H. and Ghasemi Dastgerdi, A. R., 2019. Monitoring and Forecasting of Groundwater Drought Using Groundwater Resource Index (GRI) and First to Third- Order Markov Chain Models (Case study: Boroujen Plain). *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(2): 117-136. 10.22069/jwsc.2019.15085.3048. (In Persian)
 - Kuang, X., Liu, J., Scanlon, B.R., Jiao, J.J., Jasechko, S., Lancia, M., Biskaborn, B.K., Wada, Y., Li, H., Zeng, Z. and Guo, Z., 2024. The changing nature of groundwater in the global water cycle. *Science*, 383(6686): p. eadf0630. 10.1126/science.adf0630
 - Masoudi, R., Zehtabian, G. R., Ahmadi, H. and Malekian, A., 2015. Assessment of trends in groundwater quality and quantity of Kashan plain. *Desert Management*, 3(5): 65-78. 10.22034/jdmal.2015.18332 (In Persian)
 - Meng, Q., Sun, Q., Chen, X., Cui, Z., Yue, S., Zhang, F., and Römhild, V., 2012. Alternative cropping systems for sustainable water and nitrogen use in the North China Plain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 146(1): 93-102. 10.1016/j.agee.2011.10.015
 - Naeimi, M., Zandifar, S., Fijani, E. and Farzin, S., 2020. Assessing the Impacts of Climate Change and Human Activity on Water Resources, Case Study: Karun River. *Journal of Ecohydrology*, 7(4): 993-1005. 10.22059/ije.2020.306624.1357 (In Persian)
 - Nohegar, A., Heydarzadeh, M., Eydoon, M. and Pannahi, M., 2016. Assessment of drought and its impact on surface and groundwater resources (Case study: River basin Minab). *Researches in Earth Sciences*, 7(3): 28-43. 20.1001.1.20088299.1395.7.3.2.7 (In Persian)
 - Rahmati, M., Moradi, H. and Omidipour, R., 2015. Evaluation of spatial and temporal variation ground water level in Kermanshah plain. *Irrigation and Water Engineering*, 5(2): 1-16. (In Persian)
 - Rokni, J., Hossinzadeh, R., Lashkaripour, G. R. and Velayati, S. A., 2016. Survey of Land Subsidence, Perspective and Geomorphology Developments in the Denser Plains, Case study: Neyshabour Plain. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 7(24): 21-38. (In Persian)
 - Saiedifar, Z., Rahimi, M., Lotfinasabasl, S., Khosroshahi, M. and Yazdani, M., 2019. Identification of factors affecting groundwater resources and forecasting groundwater level and its variation in Jazmourian Basin. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26(1): 143-157. 10.22092/ijrdr.2019.119333 (In Persian)
 - Shirafkan, M., and Jafari, H., 2013. Evaluation of the hydrogeological balance of the Bahabad aquifer in Yazd province. *Conference of the Iranian Society of Engineering and Environmental Geology*. (In Persian)
 - Wei, D., Wang, X., Luo, N., Zhu, Y., Wang, P., and Meng, Q., 2023. Alleviating groundwater depletion while realizing food security for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 393: 136351. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136351>
 - Yang, H. F., Meng, R. F., Bao, X. L., Cao, W. G., Li, Z. Y., and Xu, B. Y., 2022. Assessment of water level threshold for groundwater restoration and over-exploitation remediation the Beijing-Tianjin-Hebei

- plain. 10.19637/j.cnki.2305-7068.2022.02.002
- Zare, M., 2022, A look at Iran's groundwater crisis in the winter of 2022, Scientific Note. (In Persian)
 - Zandifar, S., Fijani, E., Naeimi, M. and Khosroshahi, M., 2020. Spatiotemporal variations of groundwater drought indices, Case study: Zohreh- Jarrahi watershed. Hydrogeology, 4(2): 108-130. 10.22034/hydro.2020.9219 (In Persian)
 - Zhao, Q., Zhang, B., Yao, Y., Wu, W., Meng, G., and Chen, Q., 2019. Geodetic and hydrological measurements reveal the recent acceleration of groundwater depletion in North China Plain. Journal of Hydrology, 575: 1065-1072. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.016>
 - Zheng, Z., Ning, L., Dai, D., Chen, L., Wang, Y., Ma, Z., Yang, Z.L. and Zhan, C., 2022. Water budget variation, groundwater depletion, and water resource vulnerability in the Haihe River Basin during the new millennium. Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c, 126: p.103141. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103141>