Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Evaluation of periodic changes in groundwater level in Bahadoran watershed, Yazd province

Seyed Masoud Soleimanpour[1]*, Samira Zandifar[2], Omid Rahmati[3], Mahboobeh Motamednia[4]

[1] Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
[2] Assistant Professor, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
[3] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sanandaj, Iran
[4] Ph.D., Natural Resources and Watershed Management Department, Bafgh County, Yazd Province, Iran

Extended Abstract

Introduction

Groundwater is the largest source of water in semi-arid regions. It is, therefore, essential to develop and exploit underground water resources to meet these needs. Precipitation is the main source of recharge for many aquifers. Changes in precipitation and groundwater level depth are closely related. It is more difficult to quantify groundwater availability and the long-term effects of climate change on groundwater than surface water. Although groundwater resources are more resilient than surface water, they are increasingly vulnerable to overexploitation, drought, pollution, and the lack of permanentconsistent precipitation, reducing quality and availability. The decrease in aquifer quality and storage capacity as a result of extraction exceeding the available surplus is due to the development of urban areas, the use of water-based industries, and an increased cultivation area, which jeopardizes underground water sources. Although human factors have a strong influence on groundwater, the natural hydrological cycle plays a key role in regulating the condition of the aquifer. In arid and semi-arid countries and regions of the world where surface water resources are relatively scarce, groundwater is often the most important or even the only source of water for regional food security, drinking water, economic development, and environmental conservation.

Materials and Methods

Quantitative information about groundwater resources related to wells, springs, and qanats was provided by relevant organizations, including the Iranian Water Resources Research Organization (Tamab) and the Yazd Regional Water Organization, as well as previous research. For a more detailed investigation, the level and depth maps of underground water were drawn for five years based on the available information. The zoning map of five-year underground water changes was prepared using ArcGIS software to analyze the amount of water level drop in the observation wells. This research considered the distribution of wells, springs, and qanats and the trend of changes in their number, discharge, and annual consumption in different parts. There are 25, 122, 0, and 11 semi-deep wells, deep wells, springs, and qanats. It is worth mentioning that the statistics of the selected wells in each plain were used in the calculations and for the underground water maps, which have the most complete statistics during the selected period, so the number of wells mentioned in each plain is not necessarily the same as the number of wells in the piezometric network, and the length of the statistical period used did not necessarily cover the entire statistical period.

Results and Discussion

The maximum depth of underground water in the Bahadoran and Shams aquifers in 2018 was 68 m and 47.7 m, respectively, with the deepest points in the northern areas of the Bahadoran aquifer and southern Shams aquifers, toward the southern areas of the Bahadoran aquifer and the eastern parts. The water depth in the west of the Shams aquifer has decreased; therefore, the minimum depth of underground water in both aquifers is approximately 11.8 m. The highest groundwater level in the aquifers of the Bahadoran area in 2018 was

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

approximately 1538.91 m in the southwestern and western areas of the aquifers. In the eastern part of the Bahadoran aquifer, it reached 1447.3 m, and in the southern part of the Shams aquifer, it reached 1190 m in 2018. The groundwater level in 2013 and 2008 was higher than in 2018, but it did not change significantly. The decline in groundwater level from 2008 to 2013 and from 2013 to 2018 was approximately 13.14 m and 6.68 m, respectively. Examining the changes in the groundwater level during the statistical period shows that the overall trend has been downward.

Conclusion

This study investigated the level and depth of underground water sources in the Bahadoran watershed in Yazd province. The results indicate an alarming drop in the groundwater table. The spatial distribution of groundwater extraction differed throughout the watershed, so some areas experienced a severe decrease in the water level. In addition, due to the use of these resources, the seasonal variation in water level reduction differs. In the absence of surface water sources due to a decrease in precipitation and prolonged droughts, the majority of groundwater extractıon is done for various purposes, such as increasing the area of agricultural cultivation. This excessive extraction occurs through additional water wells. Therefore, it is necessary to carry out comprehensive studies to investigate the relationship between the extent of vegetation in the area and the amount of groundwater extractıon from aquifers using satellite images. In addition, it is suggested to evaluate the balance between groundwater extractıon and recharge in all watersheds of the country. The results of this study provide policy makers and managers with information on changes in groundwater resources in aquifers, which can be used for optimal management.

Keywords: Aquifer, Development, Drought, Ground water storage, Water stress.

Article Type: Research Article

Acknowledgment

This study is based on a research project entitled “Evaluation studies and quantitative zoning of groundwater resources in the plains of Iran (case study: Dareanjir basin)” Project code: 01-09-09-028-99025-990541, approved by the Forest and Rangeland Research Institute of Iran.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement

We have no permission to release data and codes.

Authors’ contribution

Seyed Masoud Soleimanpour: Conceptualization, writing-original draft preparation; **Samira Zandifar:** Writing, software; **Omid Rahmati:** Manuscript editing; **Mahboobeh Motamednia:** Methodology and investigation.

*Corresponding Author, E-mail: m.soleimanpour@areeo.ac.ir

Citation: Soleimanpour, S. M., Zandifar, S., Rahmati, O., & Motamednia, M. (2025). Evaluation of periodic changes in groundwater level in Bahadoran watershed, Yazd province. *Water and Soil Management and Modelling*, *5*(1), 29-44. doi:10.22098/mmws.2024.14395.1404

Received: 06 January 2024, Received in revised form: 12 February 2024, Accepted: 13 February 2024, Published online: 21 March 2025

Water and Soil Management and Modeling, Year 2025, Vol. 5, No. 1, pp. 29-44

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵۴۶-۲۷۸۳

ارزیابی روند تغییرات دوره‌ای سطح آب زیرزمینی حوزهٔ آبخیز بهادران استان یزد

سید مسعود سلیمان‌پور[۱*]، سمیرا زندی‌فر[۲]، امید رحمتی[۳]، محبوبه معتمدنیا[۴]

[۱] دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

[۲] استادیار بخش تحقیقات بیابان، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

[۳] استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران

[۴] دکتری تخصصی، ادارهٔ منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان بافق، استان یزد، ایران

چکیده

آب‌های زیرزمینی بزرگ‌ترین منبع آب موجود برای تأمین آب در مناطق نیمه‌خشک است. به‌همین‌منظور توسعه و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای برآوردن این نیازها از اهمیت زیادی برخوردار است. از این‌رو، تغییرات سطح آب زیرزمینی حوزهٔ آبخیز بهادران واقع در استان یزد مدنظر قرارگرفته است. اطلاعات کمی منابع آب زیرزمینی در یک بازهٔ زمانی ۱۷ ساله تهیه شد. سپس نقشه‌های هم‌تراز و هم عمق آب زیرزمینی برای بازهٔ پنج ساله و کل دوره برای بررسی تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی بر اساس اطلاعات چاه‌های مشاهداتی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. علاوه‌بر آن در نقشه‌های تهیه شده، مناطق تغذیه و تخلیهٔ آب زیرزمینی مشخص شد. مطابق نتایج، بیش‌ترین عمق آب زیرزمینی در آبخوان‌های بهادران و شمس در سال ۱۳۹۷ به‌ترتیب برابر با ۶۸ و ۴۷/۷ متر است که در نواحی شمالی آبخوان بهادران و جنوبی آبخوان شمس به حداکثر مقدار رسیده و به سمت نواحی جنوبی آبخوان بهادران و بخش‌های شرقی–غربی آبخوان شمس از عمق آب کاسته شده است. به‌طوری‌که کم‌ترین عمق آب زیرزمینی در هر دو آبخوان به حدود ۱۱/۸ متر می‌رسد. هم‌چنین، بیش‌ترین سطح تراز آب زیرزمینی در آبخوان‌های محدودهٔ بهادران در سال ۱۳۹۷ مربوط به نواحی جنوب‌غربی و غرب آبخوان‌ها و حدود ۱۵۳۸/۹۱ متر است. به‌طوری‌که در بخش شرقی آبخوان بهادران به ۱۴۴۷/۳ متر و در بخش جنوبی آبخوان شمس به ۱۱۹۰ متر در این سال می‌رسد. تراز آب زیرزمینی در سال‌های ۹۲ و ۸۷ نسبت به سال ۱۳۹۷ بالاتر است که تغییر چندانی نداشته است. میزان اُفت تراز آب زیرزمینی در بازهٔ زمانی ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ و ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷ به‌ترتیب حدود ۱۳/۱۴ و ۶/۶۸ متر بوده است. نتایج این تحقیق اطلاعاتی از روند تغییرات منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌ها را در اختیار سیاست‌مدارن و مدیران قرار می‌دهد که می‌تواند در راستای مدیریت بهینه به‌کار برده شود.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، توسعه، تنش آبی، ذخیرهٔ آب زیرزمینی، خشکسالی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.soleimanpour@areeo.ac.ir

استناد: سلیمان‌پور، سید مسعود، زندی‌فر، سمیرا، رحمتی، امید، و معتمدنیا، محبوبه (۱۴۰۴). ارزیابی روند تغییرات دوره‌ای سطح آب زیرزمینی حوزهٔ آبخیز بهادران استان یزد. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۵(۱)، ۲۹-۴۴.
doi:10.22098/mmws.2024.14395.1404

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱
مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۱، صفحه ۲۹ تا ۴۴
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

آب‌های زیرزمینی فراوان‌ترین منبع آب شیرین جهان است که تقریباً نیمی از کل جمعیت جهان به‌عنوان منبع تأمین آب آشامیدنی و مصارف صنعتی به آن وابسته هستند، به این دلیل که استخراج آن آسان‌تر و از استاندارد بالاتری نسبت به آب‌های سطحی برخوردار است (Oki and Kanae, 2006; Krishnamoorthy et al., 2023). کمبود آب شیرین به‌طور مستقیم بر امنیت مواد غذایی، دسترسی به آب آشامیدنی سالم، سلامت و بهداشت عمومی و رفاه محیط زیست تأثیرگذار است (Ercin et al., 2019). منابع آب زیرزمینی از طریق تعامل مستقیم با منابع آب سطحی از جمله دریاچه‌ها و رودخانه‌ها و تعامل غیرمستقیم از طریق روند تغذیه، با رویداد تغییر اقلیم مرتبط است (Ansari et al., 2016). اگرچه منابع آب زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی انعطاف‌پذیر بوده، اما به‌طور فزاینده‌ای در معرض خطر بهره‌برداری بیش از حد، خشکسالی، آلودگی و کمبود بارندگی چندساله قرار دارند که منجر به کاهش کیفیت و در دسترس بودن آن می‌شود (Younger, 2009; Rust et al., 2019). پایش روند تغییرات منابع آب زیرزمینی در کوتاه‌مدت امری مشکل و پرهزینه خواهد بود. ولی اتخاذ ابزارهای لازم در زمینه شناسایی و بررسی تراز و عمق آب زیرزمینی با نمونه‌برداری از نقاط محدود و درون‌یابی می‌تواند مفید واقع شود (Samadi and Samadi, 2017). کاهش ظرفیت ذخیرهٔ آبخوان‌ها در نتیجهٔ برداشت بیش از مازاد موجود ناشی از توسعهٔ مناطق شهری، کاربرد صنایع آب‌بر و افزایش سطح زیرکشت محصولات کشاورزی است که منابع آب زیرزمینی را در معرض تهدید قرار می‌دهد (Halder et al., 2020; Nyakundi et al., 2022; Krishnamoorthy et al., 2023). در کنار دخالت عوامل انسانی بر کاهش منابع آب‌های زیرزمینی، چرخهٔ هیدرولوژیکی طبیعی نیز نقش کلیدی بر این تغییرات بر عهده دارد. حتی بدون برداشت، ناهنجاری‌های ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی هم‌چنان به‌دلیل تغییر بارش و رطوبت خاک به‌طور طبیعی رخ می‌دهد (Asoka and Mishra, 2020; Rusli et al., 2023). لازم به ذکر است که انجام هر طرح و پروژه‌های وابسته به منابع آبی از جمله آب زیرزمینی بدون پایش و برنامه‌ریزی بلندمدت پیامدهای جبران‌ناپذیری را به‌دنبال خواهد داشت.

تحقیقات نشان می‌دهد که افزایش میزان برداشت آب‌های زیرزمینی منجر به اُفت سطح آب در عمده آبخوان‌های کشور خواهد شد (Samadi and Samadi, 2017). ارزیابی منابع آب زیرزمینی، متغیرهای هیدروژئولوژیکی سفره‌های زیرزمینی و بیلان آبی این سامانه‌ها در مکان‌های خشک و نیمه‌خشک برای ایجاد گزینه‌های مدیریت معقول بر این منابع و بهبود اقتصاد آن‌ها امری حیاتی است (Simmers, 1997). به همین منظور مطالعات متعددی در زمینهٔ بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی توسط محققان انجام شده است (Pulido-Velazquez et al., 2015; Yazdanpanahi et al., 2018; Kubiak-Wójcicka and Machula, 2020; Hanifian et al., 2024; Satizábal-Alarcón et al., 2024) که می‌توان به برخی از مطالعات جدید در این زمینه اشاره نمود. به‌عنوان مثال، Janardhanan et al. (2023) به برآورد هدررفت و تغییرات ذخیرهٔ آب زیرزمینی برای حوزهٔ آبخیز گانگا هند پرداختند. اطلاعات ۲۸۵۱ چاه مشاهداتی، مدل‌سازی و تصاویر ماهواره‌ای تأیید نمود که میزان سطح آب زیرزمینی کاهش پیداکرده است. در تحقیقی، Mohamed et al. (2024) به پایش ژئوفیزیکی ۲۰ سالهٔ منابع آب زیرزمینی در سه بخش مختلف شبه جزیرهٔ عربستان جنوبی با استفاده از داده‌های گرانشی ماهواره‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که سطح آب زیرزمینی دارای روند نزولی بوده است. مطالعات در ایران در این مورد انجام شده است. به طور مثال، Rahnama et al. (2020) در ارزیابی نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان شهداد با استفاده از نرم‌افزار GMS و مدل Modflow نشان دادند که تغییرات سطح ایستابی آبخوان در قسمت شمال، شرق، جنوب و قسمتی از نواحی مرکزی آبخوان اُفت پیدا کرده است. هم‌چنین، Asghari Saraskanroud et al. (2021) به بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر میزان سفره‌های آب زیرزمینی حوزهٔ آبخیز خیاو واقع در استان اردبیل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای GRACE در یک بازهٔ زمانی ۱۴ ساله پرداختند. نتایج نشان داد که سطح آب‌های زیرزمینی به‌علت تغییر کاربری اُفت کرده است. در نهایت، Ziaye Shendershami et al. (2021) در بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات سطح آب زیرزمینی و اُفت آبخوان در دشت اردبیل در دو مقطع زمانی در یک بازهٔ زمانی ۲۰ ساله نشان داد که اراضی کشاورزی در اُفت سطح ایستابی اراضی کشاورزی در دشت اردبیل نقش مؤثری داشته است.

Sheikha BagemGhaleh et al. (2023) در پژوهشی اقدام به مدل‌سازی عددی و تحلیل روند وضعیت کمی آبخوان مهاباد کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که آبخوان مهاباد در وضعیت مطلوبی قرار ندارد و با افزایش برداشت و کاهش بارش‌ها به‌ویژه در سال‌های اخیر وضعیت آن بدتر نیز خواهد شد. نتایج پژوهش Salehi Shafa et al. (2023) نیز نشان داد تغییرات تراز و بیلان بهینه آب زیرزمینی همزمان با کاهش مصارف آب زیرزمینی در بخش کشاورزی افزایش قابل ملاحظه‌ای به اندازه ۱۷ متر و ۳۹۴ میلیون مترمکعب داشته‌اند. هم‌چنین، بیلان حاصل از سناریوی سوم حاصل از سیستم مدل‌سازی آب زیرزمینی (GMS)، ۲۰۳ میلیون مترمکعب برآورد شد که نسبت

به بیلان حاصل از این مدل، ۳۱۳ میلیون مترمکعب افزایش یافته و باعث افزایش تغییرات سطح آب زیرزمینی به اندازهٔ ۱۳ متر شده است. همچنین Hosseinzade Kuhi and Ardestani (2024) اقدام به مدل‌سازی و بررسی وضعیت کمی آب‌های زیرزمینی آبخوان مهیار جنوبی–دشت آسمان در حوزهٔ آبریز گاوخونی به‌وسیلهٔ مدل عددی Modflow 2005 و نرم‌افزار GMS 10.4.5 کردند. نتایج نشان داد در دورهٔ ۱۲۵ ماهه شبیه‌سازی، به‌شکل متوسط روزانه سهم مشخصی از ذخیرهٔ ثابت آبخوان کاسته شده است؛ به‌طوری‌که به‌طور متوسط، ۷/۵ متر اُفت تراز آب زیرزمینی را طی این دوره در آبخوان ایجاد شده و بیش‌ترین اُفت، مربوط به قسمت شرقی آبخوان بوده است. Rostami Khalaj et al. (2024) نیز به بررسی تأثیر اجرای الگوی کشت روی تغییرات تراز آب زیرزمینی با استفاده از مدل GMS در بخشی از آبخوان دشت مشهد– چناران پرداختند. به‌این‌منظور از مدل Modflow در بسته نرم‌افزاری GMS استفاده شد و لایه چاه‌های مشاهده‌ای، لایه مقادیر برداشت، لایه تغذیه آبخوان، لایه مرز آبخوان، لایه سنگ کف آبخوان برای مدل تهیه و به‌عنوان پوشش به مدل معرفی شد. سپس مدل واسنجی و ارزیابی گردید و مقادیر تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد کاهش شش‌درصدی آب مصرفی در بخش کشاورزی روی تراز پیزومترها به‌طور متوسط حدود ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر بوده است و باعث بالا آمدن تراز آب زیرزمینی در محدوده‌های موردمطالعه شده بود. همچنین Sayadi Shahraki et al. (2024) اقدام به طراحی شبکهٔ پایش تراز آب زیرزمینی دشت دزفول–اندیمشک با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی[1] و تئوری آنتروپی شانون کردند. نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و آنتروپی شانون برای پایش شبکهٔ آب زیرزمینی مناسب است.

جمع‌بندی و مرور مطالعات انجام شده نشان داد که در بسیاری از کشورها و مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان که منابع آب سطحی نسبتاً کمیاب هستند، آب‌های زیرزمینی اغلب به مهم‌ترین یا حتی تنها منبع آبی برای امنیت غذایی منطقه‌ای، آب آشامیدنی، توسعهٔ اقتصادی و حفاظت محیط زیست تبدیل شده است (Liu et al., 2024). از این‌رو، حفظ و مدیریت منابع آب زیرزمینی در این مناطق به‌ویژه کشور ایران و حوضه‌های نواحی مرکزی آن‌که میانگین سالانهٔ نزولات جوی، کفایت نیاز آبی را برآورد نمی‌کند امری لازم و ضروری است. به همین منظور تحقیق حاضر با هدف بررسی تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز بهادران استان یزد انجام شده است. آگاهی از روند تغییرات منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌ها در مدیریت بهینه اطلاعات ارزشمندی را در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان منطقه‌ای قرار خواهد داد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

حوزهٔ آبخیز بهادران با وسعت حدود ۲۲۸۴/۷۵ کیلومترمربع در استان یزد قرار دارد. ارتفاعات و دشت به‌ترتیب حدود ۴۴/۸۱ و ۵۵/۱۹ درصد از مساحت منطقه را تشکیل می‌دهد. ارتفاع از سطح دریا در این حوزهٔ آبخیز ۱۶۰۲/۸۰ متر بوده است. در شکل ۱ موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه نشان داده شده است.

۲-۲- روش تحقیق

۲-۲-۱- جمع‌آوری داده و اطلاعات لازم

به‌منظور بررسی و مطالعات ارزیابی و پهنه‌بندی کمی منابع آب زیرزمینی حوزهٔ آبخیز بهادران از داده‌های آب زیرزمینی استفاده شده است. به این وسیله با مراجعه به سازمان‌های ذی‌ربط اعم از سازمان تحقیقات منابع آب ایران (تماب) و شرکت آب منطقه‌ای یزد و تحقیقات انجام شدهٔ پیشین داده‌های مورد نیاز که شامل چاه، چشمه و قنات هستند جمع‌آوری شد. دورهٔ مشترک آماری ۱۷ ساله از سال آبی ۱۳۸۲–۱۳۸۱ تا سال آبی ۱۳۹۷–۱۳۹۸ در این مطالعه استفاده شده است. پراکنش چاه، چشمه و قنات در منطقه و روند تغییرات تعداد، تخلیه و مصارف سالانهٔ آن‌ها در بخش‌های متفاوت تحقیق حاضر در نظر گرفته شد. تعداد حلقهٔ منابع آب زیرزمینی اعم از چاه نیمه‌عمیق، چاه عمیق و قنات منطقه به‌ترتیب برابر با ۲۵، ۱۲۲ و ۱۱ است.

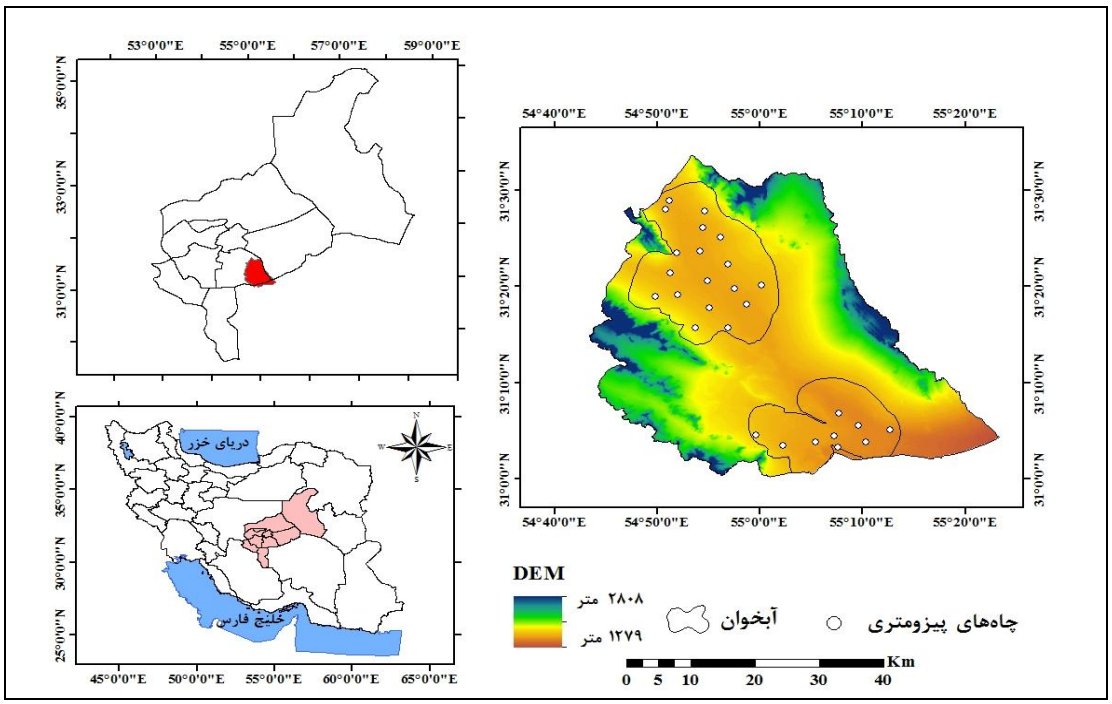
۲-۲-۲- مطالعهٔ آبخوان‌های آبرفتی

در این بخش به مطالعه و بررسی نقشه‌های هم‌تراز و هم عمق آب زیرزمینی، تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی و تهیهٔ آبنمود معرف آبخوان پرداخته شد. لذا، اطلاعات مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای در آبخوان‌های آبرفتی تهیه و آماده‌سازی شد. به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ خطوط هم‌تراز و هم عمق آب زیرزمینی از داده‌های ماه حداقل سال آخر دورهٔ آماری برای آبخوان‌های منطقه استفاده شد و پهنه‌بندی‌ها توسط روش درون‌یابی معکوس وزنی فاصله‌ای یا همان IDW[2] در محیط نرم‌افزار ArcGIS شد. هم‌چنین، به‌منظور بررسی دقیق‌تر، نقشه‌های هم‌تراز و هم عمق آب زیرزمینی برای بازهٔ پنج ساله بر اساس اطلاعات در دسترس ترسیم شد و برای بررسی میزان اُفت سطح آب، تراز آب

[1] Principal Component Analysis (PCA)

[2] Inverse Distance Weighting (IDW)

زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای، پهنه‌بندی تغییرات پنج سالهٔ آب زیرزمینی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. شایان ذکر است در انجام محاسبات و ترسیم نقشه‌های آب زیرزمینی از آمار چاه‌های منتخب پیزومتریک در هر دشت استفاده شد که دارای کامل‌ترین آمار در طول دورهٔ منتخب هستند. لذا تعداد چاه‌های مذکور در هر دشت لزوماً با تعداد چاه‌های شبکهٔ پیزومتریک یکسان نیست و طول دورهٔ آماری استفاده شده نیز لزوماً کل دورهٔ آماری نبود. در نقشه‌های مذکور مناطق تغذیه و تخلیهٔ آب زیرزمینی مشخص شد.



شکل ۱- موقعیت حوزهٔ آبخیز بهادران در استان یزد و ایران

Figure 1- Bahadoran Watershed location in Yazd Province, Iran

۳- نتایج و بحث

مقدار مصرف منابع آبی زیرزمینی در سه بخش کشاورزی، شرب و صنعت حوزهٔ آبخیز بهادران در پایان سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ به‌ترتیب ۳۷/۳۹، ۰/۲۴ و ۰/۳۶ میلیون مترمکعب بوده است. میزان تخلیهٔ منابع آب زیرزمینی در چاه نیمه‌عمیق، چاه عمیق، چشمه و قنات منطقه به‌ترتیب برابر با ۰/۸۹، ۳۵/۹۴، صفر و ۱/۲۹ میلیون مترمکعب در سال بوده است. مقادیر تخلیه، آب‌دهی و تعداد منابع آب زیرزمینی به تفکیک سال، طی سال آبی ۱۳۸۲-۱۳۸۱ تا ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در جدول ۱ برای محدودهٔ مطالعاتی ارائه شده است.

۳-۱- نتایج نقشه‌های هم‌تراز و هم‌عمق آب زیرزمینی

کاهش میزان بارش سالانه منجر به خشکسالی شده که برای رفع نیازهای مورد نظر با احداث چاه سبب افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و کاهش سطح آن شده است. نقشهٔ پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی در مهر سال ۱۳۹۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۸۷، به‌ترتیب در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ برای آبخوان‌های محدودهٔ بهادران (آبخوان بهادران، آبخوان شمس) نشان می‌دهد که در مهر سال ۱۳۹۷ بیش‌ترین عمق آب زیرزمینی در آبخوان بهادران ۶۸ متر و در آبخوان شمس ۴۷/۷ متر است که در نواحی شمالی آبخوان بهادران و جنوبی آبخوان شمس به حداکثر مقدار رسیده و به سمت نواحی جنوبی آبخوان بهادران و بخش‌های شرقی-غربی آبخوان شمس از عمق آب کاسته شده است. به‌طوری‌که کم‌ترین عمق آب زیرزمینی در هر دو آبخوان حدود ۱۱/۸ متر می‌رسد.

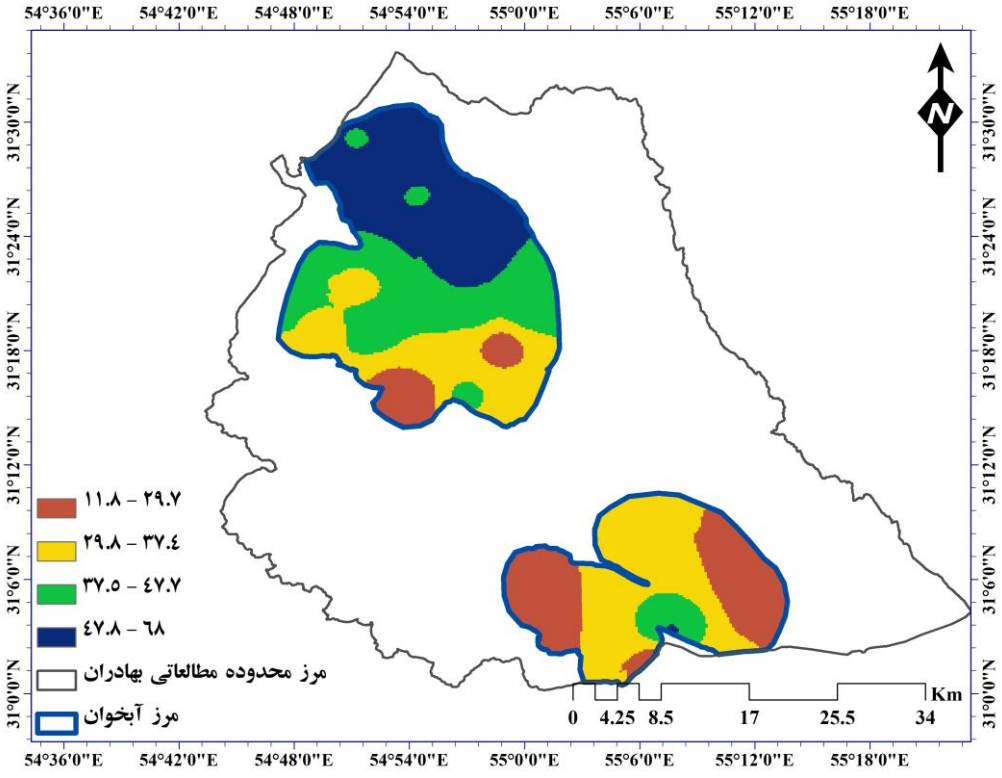
در تحقیقی، Choubin and Malekian (2013) در بررسی رابطهٔ بین تغییر سطح آب زیرزمینی و روند شور شدن آن در دشت آسپاس استان فارس به این نتیجه رسیدند که سطح آب زیرزمینی با میزان حدود ۰/۷ متر در سال نزول پیدا کرده است که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد. هم‌چنین، Zhang et al. (2022) در مطالعهٔ خود ثابت کرد که سطح آب زیرزمینی در منطقهٔ مورد مطالعه کاهش پیدا کرده است. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۸۷، عمق آب زیرزمینی در این سال‌ها نسبت به سال ۱۳۹۷ پایین‌تر بوده که بیان‌گر بالاتر قرار گرفتن سطح سفره است. به‌طوری‌که در مهر سال ۱۱۳۸۷ بیش‌ترین عمق آب زیرزمینی در آبخوان‌های

بهادران و شمس به‌ترتیب ۶۱/۳ و ۳۳/۵ متر بوده است. در آبخوان شمس ۴۴/۸ متر است.
هم‌چنین، در سال ۹۲۱۳ عمق آب در آبخوان بهادران ۶۷ متر و

جدول ۱- میزان تخلیه (میلیون مترمکعب)، آب‌دهی (لیتر بر ثانیه) و تعداد منابع آبی زیرزمینی در حوزهٔ آبخیز بهادران طی دورهٔ آماری ۱۳۹۷-۱۳۸۱

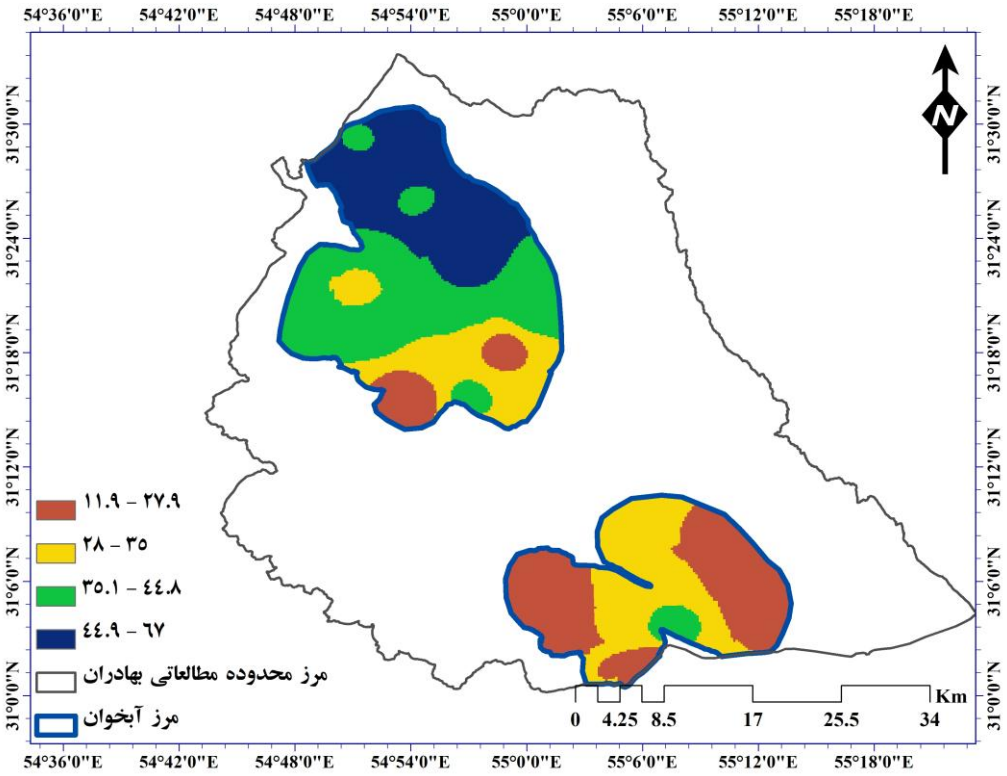
Table 1- The amount of discharge (million m^3), flow rate ($L.s^{-1}$), and the number of groundwater resources in the Bahadoran watershed during the period 2002-2018

سال آبی	چاه نیمه عمیق			چاه عمیق			چشمه			قنات		
	تعداد	آب‌دهی	تخلیه	تعداد	آب‌دهی	تخلیه	تعداد	آب‌دهی	تخلیه	تعداد	آب‌دهی	تخلیه
1381	128.00	23.80	18.11	183.00	36.00	72.61	6.00	0.00	0.00	12.00	9.01	1.13
1382	69.00	12.00	11.09	96.00	18.00	38.46	3.00	0.00	0.00	6.00	4.50	0.56
1383	69.00	12.00	11.81	96.00	17.00	38.46	3.00	0.00	0.00	6.00	4.50	1.40
1384	66.00	12.00	11.00	103.00	37.77	44.16	3.00	0.00	0.00	8.00	4.50	2.00
1385	63.00	0.00	9.00	107.00	0.00	40.91	3.00	0.00	0.00	9.00	0.00	2.50
1386	58.00	12.00	8.00	118.00	37.77	42.86	3.00	0.00	0.00	11.00	5.00	3.00
1387	53.00	12.00	7.00	120.00	37.77	43.00	3.00	0.00	0.00	15.00	5.00	3.50
1388	48.00	11.00	6.00	125.00	34.77	43.70	1.00	3.00	0.09	19.00	10.00	4.00
1389	43.00	11.00	4.77	131.00	34.77	43.72	1.00	3.00	0.09	19.00	10.00	4.15
1390	38.00	11.00	3.97	132.00	42.30	36.96	1.00	3.00	0.09	19.00	7.00	4.15
1391	36.00	11.00	3.97	132.00	42.30	37.06	1.00	3.00	0.09	19.00	7.00	4.30
1392	36.00	11.00	4.08	134.00	42.30	38.15	1.00	3.00	0.10	19.00	6.50	4.60
1393	36.00	11.00	3.84	134.00	42.30	36.23	1.00	0.00	0.13	19.00	3.20	4.00
1394	36.00	11.00	3.50	134.00	42.30	33.49	1.00	3.00	0.13	18.00	0.00	3.00
1395	36.00	11.00	3.00	134.00	42.30	35.73	1.00	3.00	0.13	17.00	3.23	2.90
1396	34.00	6.00	2.50	134.00	39.30	34.18	1.00	4.00	0.13	15.00	5.00	2.50
1397	32.00	6.00	2.00	134.00	39.30	34.13	1.00	4.00	0.11	13.00	5.00	2.00
1398	29.00	6.00	1.00	134.00	39.30	34.23	1.00	4.00	0.10	12.00	5.00	1.70
1399	25.00	7.00	0.89	122.00	41.30	35.94	0.00	0.00	0.00	11.00	2.38	1.29



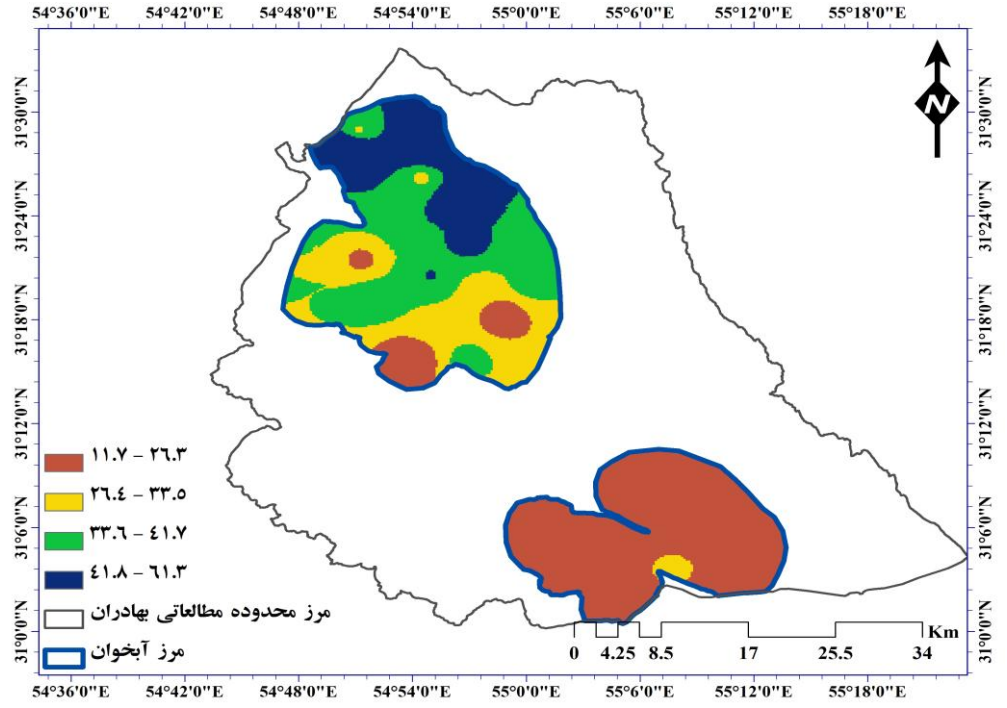
شکل ۲- پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی محدودهٔ بهادران در مهر سال ۱۳۹۷

Figure 2- Zoning of groundwater depth in the Bahadoran study area in September 2018



شکل ۳- پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی محدودهٔ بهادران در مهر سال ۱۳۹۲

Figure 3- Zoning of Groundwater depth in the Bahadoran study area in September 2013

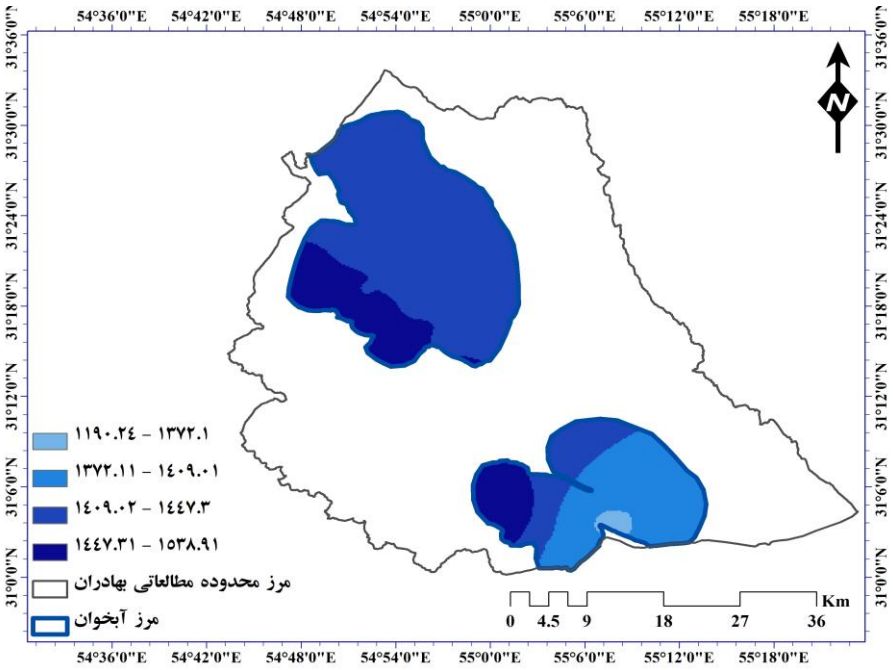


شکل ٤- پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی محدودهٔ بهادران در مهر سال ۱۳۸۷

Figure 4- Groundwater depth zoning in the Bahadoran study area in September 2008

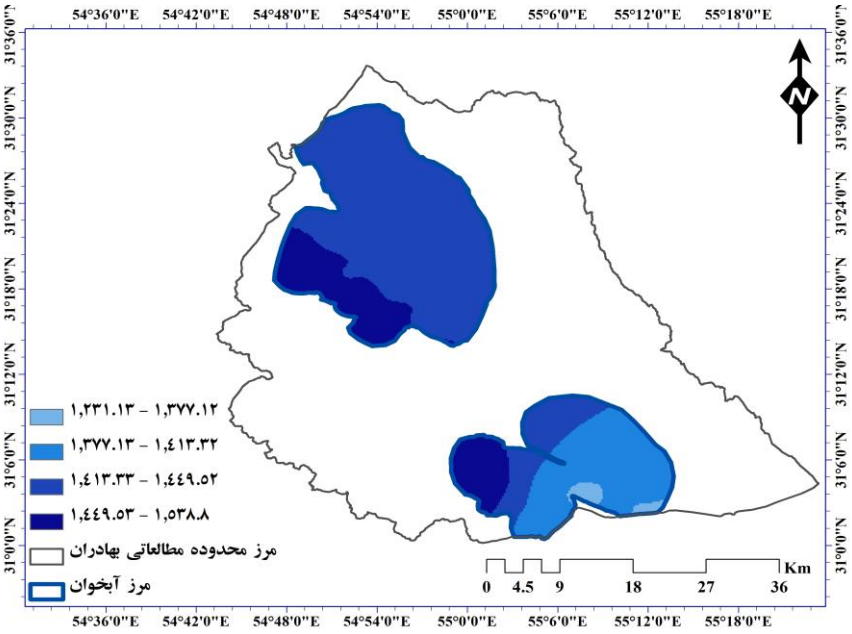
نقشهٔ پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های محدودهٔ بهادران در مهر سال ۱۳۹۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۸۷، به‌ترتیب در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است. بر اساس این نقشه‌ها، بیش‌ترین سطح تراز آب زیرزمینی مربوط به نواحی جنوب‌غربی

و غرب آبخوان‌ها و حدود ۱۵۳۸/۹۱ متر در سال ۱۳۹۷ است؛ به‌طوری‌که در بخش شرقی آبخوان بهادران به ۱۴۴۷/۳ متر و در بخش جنوبی آبخوان شمس به ۱۱۹۰ متر در این سال می‌رسد. بر اساس نقشهٔ پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۷، سطح آب زیرزمینی در این سال‌ها نسبت به سال آخر دورهٔ آماری (۱۳۹۷) بالاتر است که تغییر چندانی نداشته است.



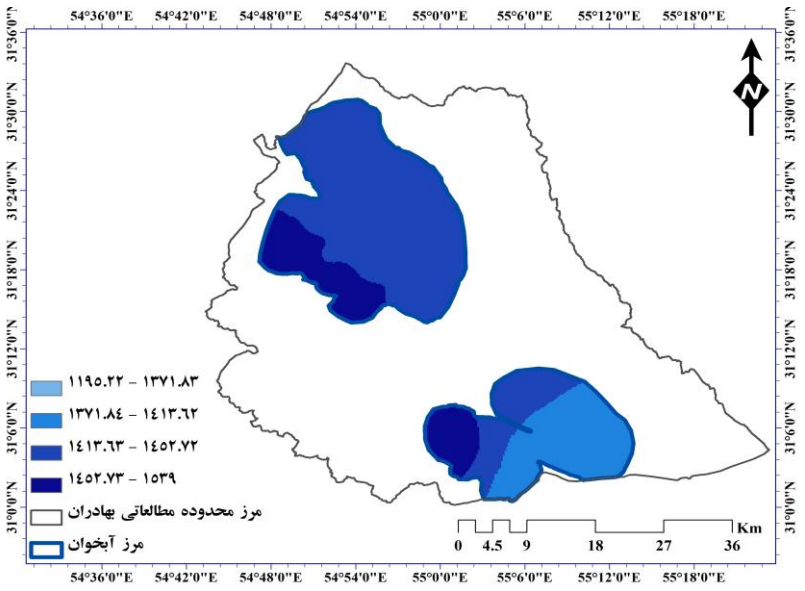
شکل ۵- پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی محدودهٔ بهادران در مهر سال ۱۳۹۷

Figure 5- Zoning of underground water level in the Bahadoran study area in September 2018



شکل ٦- پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی محدودهٔ بهادران در مهر سال ۱۳۹۲

Figure 6- Zoning of underground water level in the Bahadoran study area in September 2013



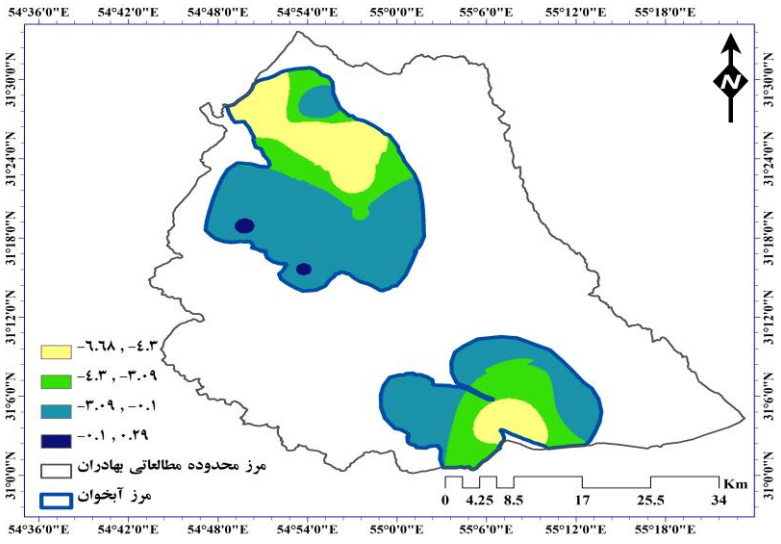
شکل ۷- پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی محدودهٔ بهادران در مهر سال ۱۳۸۷

Figure 7- Zoning of underground water level in the Bahadoran study area in September 2008

شکل‌های ۸ و ۹، به‌ترتیب پهنه‌بندی تغییرات پنج سالهٔ تراز آب زیرزمینی از مهر ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۷ و از مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۲ را در آبخوان‌های محدودهٔ بهادران (آبخوان بهادران، آبخوان شمس) نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از نقشه‌های پهنه‌بندی، در بازهٔ زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷، سطح آب زیرزمینی در کل آبخوان‌های محدودهٔ مطالعاتی بهادران کاهش یافته است و تنها افزایش سطح آب به میزان حداکثر ۲۹ سانتی‌متر برای دو چاه در بخش جنوب‌غربی آبخوان بهادران مشاهده شده است. بر این اساس، بیش‌ترین اُفت در این دوره به میزان تقریبی ۶/۶۸ متر اتفاق افتاده است که بخش جنوبی آبخوان شمس و شمالی آبخوان بهادران را شامل می‌شوند.

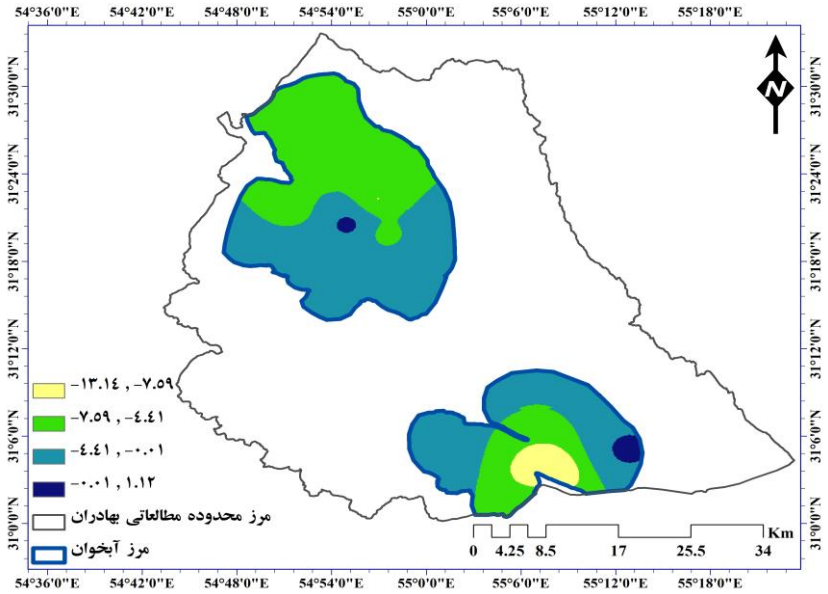
هم‌چنین، کم‌ترین میزان اُفت آب به میزان ۱۰ سانتی‌متر است که در نواحی جنوبی و شمالی آبخوان‌های بهادران و شمس صورت گرفته است.

در بازهٔ زمانی ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲، حداکثر اُفت سطح آب زیرزمینی ۱۳/۱۴ متر بوده که اختلاف قابل‌توجهی با حداکثر اُفت در بازهٔ زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷ دارد. این مقدار کاهش قابل‌توجه سطح آب در چاهی واقع در بخش جنوبی آبخوان شمس اتفاق افتاده است. بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی شدهٔ تغییرات تراز آب، اُفتی بین ۱۰ سانتی‌متر تا ۳/۰۹ متر در بیش‌ترین سطح آبخوان‌های محدودهٔ بهادران در بازهٔ پنج سالهٔ آخر دورهٔ مطالعاتی، صورت گرفته است.



شکل ۸- پهنه‌بندی تغییرات پنج‌سالهٔ تراز آب زیرزمینی محدودهٔ مطالعاتی بهادران از مهر ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۷

Figure 8- Zoning of five-year groundwater level changes in the Bahadoran study area from September 2013 to September 2018

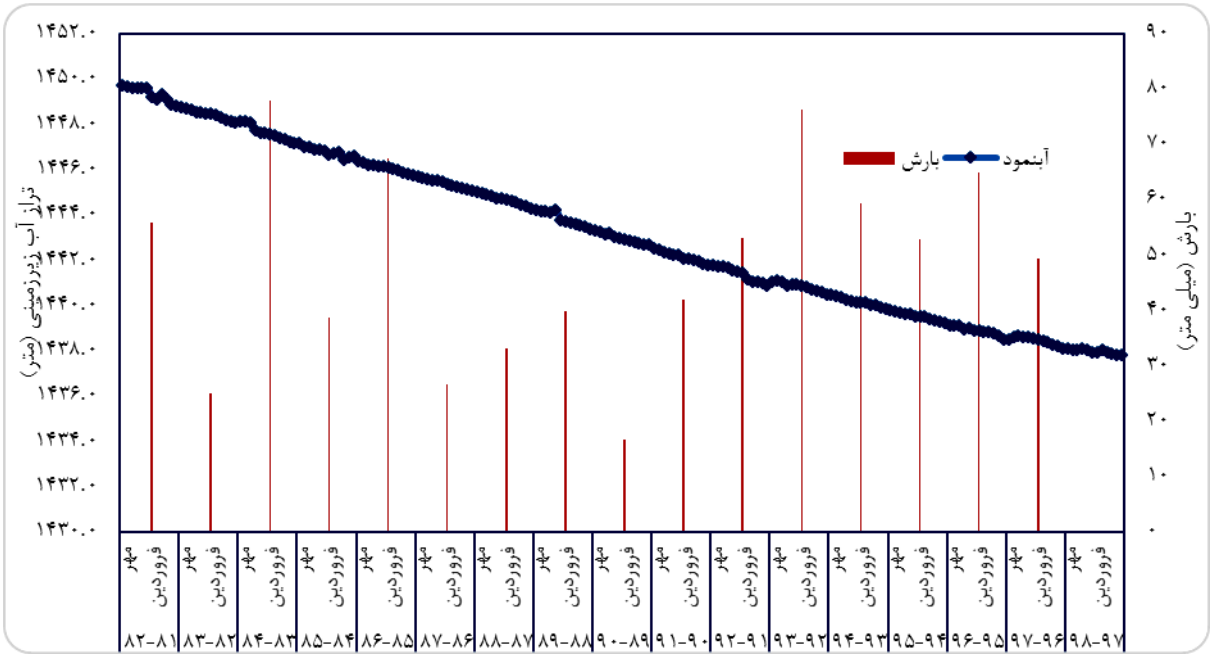


شکل ۹- پهنه‌بندی تغییرات پنج‌سالهٔ تراز آب زیرزمینی محدودهٔ مطالعاتی بهادران از مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۲

Figure 9- Zoning of five-year groundwater level changes in the Bahadoran study area from September 2008 to September 2013

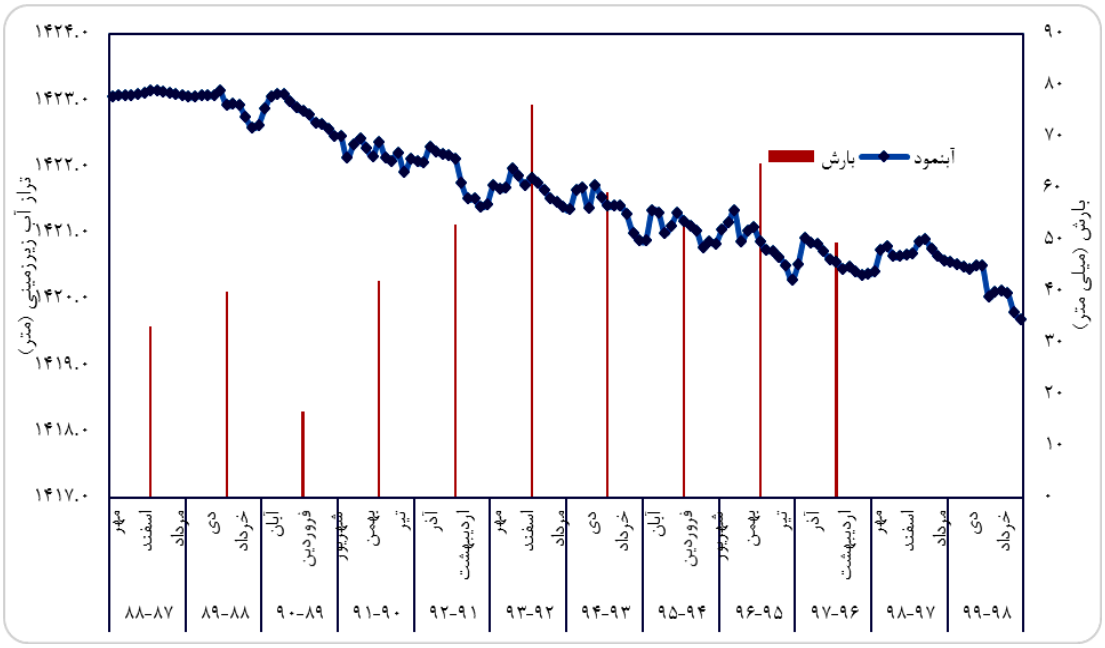
۲-۳- آب‌نمود معرف آبخوان

شکل‌های ۱۰ تا ۱۳، آب‌نمود معرف به همراه مقادیر بارش سالانه و تغییرات سالانه و تجمعی سطح تراز آبخوان‌های محدودهٔ مطالعاتی بهادران (بهادران، شمس) را برای سال آبی ۱۳۸۲-۱۳۸۱ تا ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در آبخوان بهادران و سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸-۱۳۹۷ برای آبخوان شمس نشان می‌دهند. در این شکل‌ها، تراز آب زیرزمینی و میانگین بارش سالانه از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۸ مشخص شده است. بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در طول دورهٔ آماری مذکور حاکی از آن است که تراز آب زیرزمینی به‌طورکلی روندی نزولی دارد که با یافته‌های Behmanesh et al. (2015) و Jonubi et al. (2018) در بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت‌های ارومیه و میاندوآب هم‌خوانی دارد. به‌طوری‌که در مجموع سطح آب زیرزمینی در طول این دوره با اُفتی برابر ۱۱/۹ و ۲/۴۹ متر به‌ترتیب در آبخوان بهادران و شمس روبه‌رو بوده است که به‌طور متوسط بیان‌گر کاهش سطح آب به‌ترتیب به میزان ۷۱ و ۲۳ سانتی‌متر در سال است. بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدودهٔ مطالعاتی بهادران طی دورهٔ مطالعاتی نشان داد در آبخوان بهادران، بالاترین کاهش سطح تراز آب در سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ و ۱۳۸۹-۱۳۸۸، به میزان ۹۸ و ۹۲ سانتی‌متر اتفاق افتاده است. این در حالی است که بیش‌ترین افزایش سطح آب در انتهای دوره (۹۷-۱۳۹۸) برابر با ۳۸ سانتی‌متر است. در آبخوان شمس، بالاترین کاهش سطح تراز آب در سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۹۵، به میزان ۵۲ سانتی‌متر اتفاق افتاده است. هم‌چنین، بیش‌ترین افزایش سطح آب در سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۴ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸، به‌ترتیب برابر با ۱۶ و ۱۴ سانتی‌متر است.



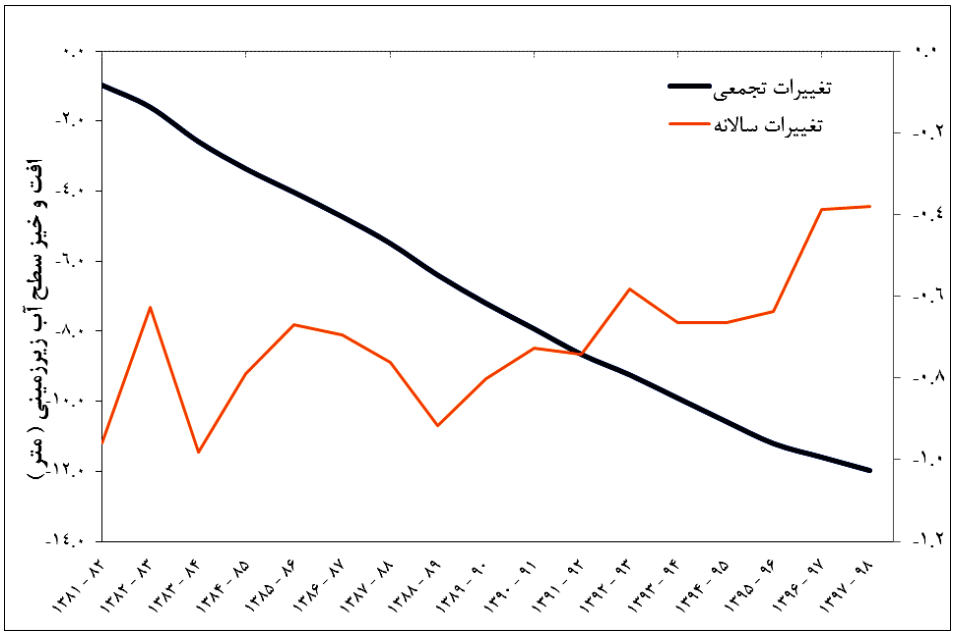
شکل ۱۰- آب‌نمود معرف و میانگین بارش سالانهٔ آبخوان محدودهٔ مطالعاتی بهادران (آبخوان بهادران) طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۷

Figure 10- Hydrograph and mean annual precipitation of the Bahadoran study area (Bahadoran aquifer) from 2002 to 2018



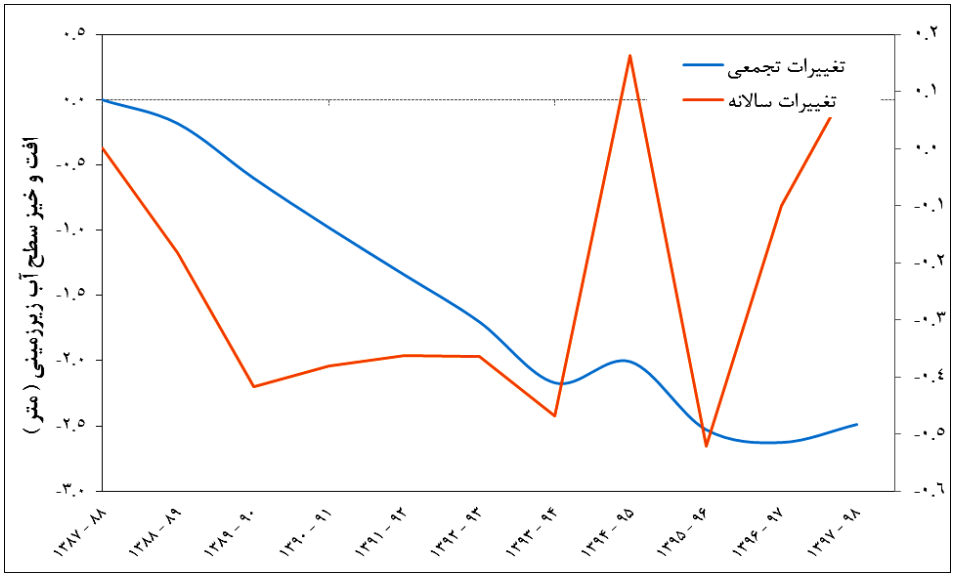
شکل ۱۱- آب‌نمود معرف و میانگین بارش سالانهٔ آبخوان محدودهٔ مطالعاتی بهادران (آبخوان شمس) طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷

Figure 11- Hydrograph and mean annual precipitation of the Bahadoran study area (Shams aquifer) from 2008 to 2018



شکل ۱۲- تغییرات تجمعی و سالانهٔ سطح تراز آب زیرزمینی آبخوان محدودهٔ مطالعاتی آبخوان بهادران طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۷

Figure 12- Cumulative and annual changes of the groundwater level of the Bahadoran study area (Bahadoran aquifer) from 2002 to 2018



شکل ۱۳- تغییرات تجمعی و سالانهٔ سطح تراز آب زیرزمینی آبخوان محدودهٔ مطالعاتی بهادران (آبخوان شمس) طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷

Figure 13- Cumulative and annual changes of the groundwater level of the Bahadoran study area (Shams aquifer) from 2008 to 2018

٤- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر سعی شد که وضعیت تراز و عمق منابع آب زیرزمینی حوزهٔ آبخیز بهادران واقع در استان یزد بررسی شود. نتایج، وضعیت نگران کننده‌ای از میزان اُفت تراز آب زیرزمینی در بازهٔ زمانی ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ و ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷ به‌ترتیب حدود ۱۳/۱۴ و ۶/۶۸ متر را نشان می‌دهد. در نبود منابع آب سطحی به‌دلیل کاهش بارش‌های مناسب و خشکسالی‌های حاصل از آن، عمده منابع آب زیرزمینی برای تأمین اهداف مختلفی از جمله افزایش سطح کشت محصولات کشاورزی برداشت می‌شود. از همین‌رو ضروری است که در کنار ارزیابی وضعیت منابع زیرزمینی مطالعات جامعی در راستای بررسی رابطه بین وسعت پوشش گیاهی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و میزان برداشت آب از آبخوان‌های آب زیرزمینی انجام شود. نتایج این تحقیق درک روشنی از وضعیت برداشت و تغذیهٔ منابع آب زیرزمینی را ارائه کرده است که بر اساس آن می‌توان راه‌کار و مدیریت مناسبی اتخاذ نمود.

سپاسگزاری

این اثر بر گرفته از بخشی از نتایج پروژهٔ تحقیقاتی با عنوان مطالعات ارزیابی و پهنه‌بندی کمی منابع آب زیرزمینی در دشت‌های ایران (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبریز کویر درانجیر) با کد مصوب ۹۹۰۵۴۱–۹۹۰۲۵–۰۲۸–۰۹–۰۹–۰۱ در مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور است. نویسندگان این مقاله بر خود وظیفه می‌دانند از همکاری و پشتیبانی آن مؤسسه سپاسگزاری و قدردانی نمایند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این تحقیق وجود ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

منابع

اصغری‌سرسکانرود، صیاد، صفری، شیوا، و ملانوری، الهام (۱۴۰۰). تخمین سطح سفره‌های آب زیرزمینی متأثر از تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای GRACE. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۲(۴)، ۸۶–۶۵. doi:10.22108/GEP.2021.129410.1436

انصاری، ثمین، مساح‌بورانی، علیرضا، و روزبهانی، عباس (۱۳۹۵). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت سفیددشت). *آب و خاک*، ۳۰(۲)، ۴۱۶–۴۳۱. doi:10.22067/jsw.v30i2.39574

بهمنش، جواد، صمدی، رقیه، و رضایی، حسین (۱۳۹۴). بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارومیه). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۲(۴)، ۸۴–۶۷. dor:20.1001.1.23222069.1394.22.4.4.2

جنوبی، رزا، رضاوردی‌نژاد، وحید، بهمنش، جواد، و عباسپور، کریم (۱۳۹۷). بررسی تغییرات کمی آب زیرزمینی دشت میاندوآب متأثر از مدیریت بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضیMODFLOW-NWT. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۹(۲)، ۴۸۱–۴۶۷. doi:10.22059/IJSWR.2017.239340.667731

چوبین، بهرام، و ملکیان، آرش (۱۳۹۲). رابطه بین تغییر سطح آب زیرزمینی و روند شورشدن آن (بررسی موردی: دشت آسپاس doi:10.22108/GEP.2021.129410.1436 [In Persian]

Asoka, A., & Mishra, V. (2020). Anthropogenic and climate contributions on the changes in terrestrial water storage in India. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *125*(10), e2020JD032470. doi:10.1029/2020JD032470

Behmanesh, J., Samadi, R., & Rezaei, H. (2015). Investigation of groundwater level changes trend (Case study: Urmia plain). *Water and Soil Conservation*, *22*(4), 67-84. dor:20.1001.1.23222069.1394.22.4.4.2 [In Persian]

استان فارس). *مدیریت بیابان*، ۱(۱)، ۱۳–۲۶. doi:10.22034/JDMAL.2013.17097

حسین‌زاده‌کوهی، حسین، و اردستانی، مجتبی (۱۴۰۳). مدل‌سازی و بررسی وضعیت کمی آب‌های زیرزمینی آبخوان مهیار جنوبی–دشت آسمان با استفاده از مدل MODFLOW. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۱)، ۱۷–۱. doi:10.22098/MMWS.2022.11807.1172

رستمی‌خلج، محمد، نور، حمزه، رجایی، حسین، و باقریان‌کلات، علی (۱۴۰۳). بررسی تأثیر الگوی کشت روی تغییرات تراز آب زیرزمینی در بخشی از آبخوان دشت مشهد–چناران. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، مقاله آماده انتشار. doi:10.22098/MMWS.2024.14408.1406

رهنما، محمدباقر، سهرابی‌پور، ندا، و بارانی، غلامعباس (۱۳۹۹). بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان شهداد. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۴(۵)، ۱۶۶۳–۱۶۵۰. dor:20.1001.1.20087942.1399.14.5.13.4

شیخابگم‌قلعه، سیمین، بابازاده، حسین، رضایی، حسین، و سرایی تبریزی، مهدی (۱۴۰۲). مدل‌سازی عددی و تحلیل روند وضعیت کمی آبخوان مهاباد. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۲)، ۱–۱۷. doi:10.22098/MMWS.2022.11275.1113

صالحی‌شفا، نیما، بابازاده، حسین، آقایاری، فیاض، صارمی، علی، غفوری، محمدرضا، صفوی، مسعود، و پناهدار، علی (۱۴۰۲). تدوین الگوی کشت بهینه به‌منظور مدیریت تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت شهریار. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۲)، ۲۱۷–۲۳۵. doi:10.22098/MMWS.2022.11792.1169

صمدی، جواد، و صمدی، جواد (۱۳۹۶). مدل‌سازی مکانی–زمانی تغییرات تراز سطح آبهای زیرزمینی مناطق شهری و روستایی آبخوان کاشان با استفاده از تکنیک‌های GIS. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۱۹(۱)، ۷۷–۶۳. doi:10.22034/jest.2017.10329

صیادی‌شهرکی، عاطفه، صیادی‌شهرکی، فهیمه، و بختیاری چهل چشمه، شقایق (۱۴۰۳). پایش شبکه تراز آب زیرزمینی دشت دزفول– اندیمشک. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۱)، ۳۲۶–۳۳۷. doi:10.22098/MMWS.2023.12414.1239

ضیایی، سینا، اسمعلی‌عوری، اباذر، مصطفی‌زاده، رئوف، و قربانی، اردوان (۱۴۰۰). بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات سطح آب زیرزمینی و افت آبخوان در دشت اردبیل. *هیدروژئومورفولوژی*، ۸(۲۸)، ۱۴۳–۱۲۷. doi:10.22034/hyd.2021.46333.1590

References

Ansari, S., Massah Bavani, A., & Roozbahani, A. (2016). Effects of climate change on groundwater recharge (Case study: Sefid Dasht plain). *Journal of Water and Soil*, *30*(2), 416-431. doi:10.22067/jsw.v30i2.39574 [In Persian]

Asghari Saraskanroud, S., Safari, S., & Mollanouri, E. (2021). Estimation of the levels of groundwater aquifers under the influence of land-use changes by using GRACE satellite data. *Geography and Environmental Planning*, *32*(4), 65-86.

Choubin, B., & Malekian, A. (2013). Relationship between fluctuations in the water table and aquifer salinization (Case study: Aquifer Aspas-Fars Province). *Desert Management*, *1*(1), 13-26. doi:10.22034/JDMAL.2013.17097 [In Persian]

Ercin, E., Chico, D., & Chapagain, A.K. (2019). Vulnerabilities of the European Union's economy to hydrological extremes outside its borders. *Atmosphere*, *10*(10), 593. doi:10.3390/atmos10100593

Halder, S., Roy, M.B., & Roy, P.K. (2020). Analysis of groundwater level trend and groundwater drought using Standard Groundwater Level Index: a case study of an eastern river basin of West Bengal, India. *SN Applied Sciences*, *2*, 1-24. doi:10.1007/s42452-020-2302-6

Hanifian, S., Khaleghi, M.R., Najarchi, M., Jafarnia, R., & Varvani, J. (2024). A comparative study of artificial neural networks and multivariate regression for predicting groundwater depths in the Arak aquifer. *Acta Geophysica*, 72(1), 419-432. doi:10.1007/s11600-023-01050-3

Hosseinzade Kuhi, H., & Ardestani, M. (2024). Modeling and quantitative investigation of the groundwater condition of the South Mehyar-Dasht Asman aquifer using the MODFLOW model. *Water and Soil Management and Modelling*, *4*(1), 1-17. doi:10.22098/MMWS.2022.11807.1172 [In Persian]

Janardhanan, S., Nair, A.S., Indu, J., Pagendam, D., & Kaushika, G.S. (2023). Estimation of groundwater storage loss for the Indian Ganga Basin using multiple lines of evidence. *Scientific Reports*, *13*, 1797. doi:10.1038/s41598-023-28615-y

Jonubi, R., Rezaverdinejad, V., Behmanesh, J., & Abbaspour, K. (2018). Investigation of quantitative changes in the groundwater table of Miandoab plain affected by surface and groundwater resources management using the MODFLOW-NWT mathematical model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *49*(2), 467-481. doi:10.22059/IJSWR.2017.239340.667731 [In Persian]

Krishnamoorthy, N., Thirumalai, R., Sundar, M.L., Anusuya, M., Kumar, P.M., Hemalatha, E., Mohan Prasad, M., & Munjal, N. (2023). Assessment of underground water quality and water quality index across the Noyyal River basin of Tirupur District in South India. *Urban Climate*, *49*, 101436. doi:10.1016/j.uclim.2023.101436

Kubiak-Wójcicka, K., & Machula, S. (2020). Influence of climate changes on the state of water resources in Poland and their usage. *Geosciences*, *10*(8), 312. doi:10.3390/geosciences10080312

Liu, M., Nie, Z., Liu, X., Wang, L., & Cao, L. (2024). Change in groundwater table depth caused by natural change and human activities during the past 40 years in the Shiyang River Basin, northwest China. *Science of the Total Environment*, *906*, 167722. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.167722

Mohamed, A., Alarifi, S.S., & Mohammed, M.A. (2024). Geophysical monitoring of the groundwater resources in the Southern Arabian Peninsula using satellite gravity data. *Alexandria Engineering Journal*, *86*, 311-326. doi:10.1016/j.aej.2023.11.060

Nyakundi, R., Nyadawa, M., & Mwangi, J. (2022). Effect of recharge and abstraction on groundwater levels. *Civil Engineering Journal*, *8*(5), 910-925. doi:10.28991/CEJ-2022-08-05-05

Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, *313*(5790), 1068-1072. doi:10.1126/science.1128845

Pulido-Velazquez, M., Peña-Haro, S., García-Prats, A., Mocholi-Almudever, A.F., Henríquez-Dole, L., Macian-Sorribes, H., & Lopez-Nicolas, A. (2015). Integrated assessment of the impact of climate and land use changes on groundwater quantity and quality in the Mancha Oriental system (Spain). *Hydrology and Earth System Sciences*, *19*(4), 1677-1693. doi:10.5194/hess-19-1677-2015

Rahnama, M., Sohrabipour, N., & Barani, G. (2020). Investigation of Groundwater Level Variations in Shahdad Aquifer. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *14*(5), 1650-1663. dor:20.1001.1.20087942.1399.14.5.13.4 [In Persian]

Rostami Khalaj, M., Noor, H., Rajayi, H., & Bagherian Kalat, A. (2024). Investigating the effect of cropping pattern on changes in underground water level in a part of Mashhad-Chenaran plain aquifer. *Water and Soil Management and Modelling*, In Press. doi:10.22098/MMWS.2024.14408.1406 [In Persian]

Rusli, S.R., Bense, V.F., Taufiq, A., & Weerts, A.H. (2023). Quantifying basin-scale changes in groundwater storage using GRACE and one-way coupled hydrological and groundwater flow model in the data-scarce Bandung groundwater Basin, Indonesia. *Groundwater for Sustainable Development*, *22*, 100953. doi:10.1016/j.gsd.2023.100953

Rust, W., Holman, I., Bloomfield, J., Cuthbert, M., & Corstanje, R. (2019). Understanding the potential of climate teleconnections to project future groundwater drought. *Hydrology and Earth System Sciences*, *23*(8), 3233-3245. doi:10.5194/hess-23-3233-2019

Salehi Shafa, N., Babazadeh, H., Aghayari, F., Saremi, A., Ghafouri, M.R., Safavi, M., & Panahdar, A. (2023). Formulation of an

optimized Cropping pattern in order to manage groundwater level changes in Shahriar Plain. *Water and Soil Management and Modelling*, *3*(2), 217-235. doi:10.22098/MMWS.2022.11792.1169 [In Persian]

Samadi, J., & Samadi, J. (2017). Spatial-temporal modeling of groundwater level variations of urban and rural areas in Kashan aquifer using GIS techniques. *Journal of Environmental Science and Technology*, *19*(1), 63-77. doi:10.22034/jest.2017.10329 [In Persian]

Satizábal-Alarcón, D.A., Suhogusoff, A., & Ferrari, L. C. (2024). Characterization of groundwater storage changes in the Amazon River Basin based on downscaling of GRACE/GRACE-FO data with machine learning models. *Science of The Total Environment*, *912*, 168958. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.168958

Sayadi Shahraki, A., Sayadi Shahraki, F., & Bakhtiari Chahelcheshmeh, Sh. (2024). Monitoring groundwater level network of Dezful-Andimeshk plain. *Water and Soil Management and Modelling*, *4*(1), 326-337. doi:10.22098/MMWS.2023.12414.1239 [In Persian]

Sheikha BagemGhaleh, S., Babazadeh, H., Rezaei, H., & Sarai Tabrizi, M. (2023). Numerical Modeling and Trend Analysis of Mahabad Aquifer Quantitative Status. *Water and Soil Management and Modelling*, *3*(2), 1-17. doi:10.22098/MMWS.2022.11275.1113 [In Persian]

Simmers, I. (1997). Recharge of Phreatic Aquifers in (Semi) Arid Areas. IAH International Contributions to Hydrogeology 19, Taylor & Francis Group, London, 240 pages. doi:10.1201/9780203741191

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]

Younger, P.L. (2009). Groundwater in the environment: an introduction. John Wiley & Sons. 336 pages. ISBN: 978-1-444-30904-1

Zhang, X., Wu, X., Zhao, R., Mu, W., & Wu, C. (2022). Identifying the facts and driving factors of deceleration of groundwater table decline in Beijing during 1999–2018. *Journal of Hydrology*, *607*, 127475. doi:10.1016/j.jhydrol.2022.127475

Ziaye Shendershami, S., Esmali Ouri, A., Mostafazadeh, R., & Ghorbani, A. (2021). Effective factors in ground water variations and water table decrease in Ardabil Plain. *Hydrogeomorphology*, *8*(28), 127-143. doi:10.22034/hyd.2021.46333.1590 [In Persian]