

Assessment of the impacts of the Yan-Cheshmeh subsurface dam in Chaharmahal and Bakhtiari Province on the quantity and quality of groundwater resources

S. N. Emami^{*}, S. Yousefi¹, M. Nekooimehr¹, M. Mansouri¹, B. Ghermazcheshmeh² and A. Majidi²

Extended Abstract

Introduction:

Groundwater, as a vital resource for drinking water, agriculture, and industry, plays a crucial role in sustainable development, especially in arid and semi-arid regions. In recent years, factors such as climate change, reduced precipitation, population growth, and over-extraction have led to significant declines in groundwater levels and quality in various parts of the country. In this context, underground dams have emerged as innovative water management structures that reduce surface evaporation, increase water residence time, and enhance artificial recharge, thereby improving both quantity and quality of groundwater. Global studies have demonstrated that underground dams can raise groundwater levels, reduce salinity, and control saltwater intrusion; however, improper design or operation may increase nitrate levels and electrical conductivity (EC), posing risks for drinking and agricultural uses. Chaharmahal and Bakhtiari Province, characterized by semi-arid conditions and over 20 meters decline in groundwater levels during the past three decades, provides a suitable setting for underground dam implementation. The first underground dam in the province was constructed in 2015 in the Yancheshmeh watershed. This study aims to comprehensively evaluate the effects of this dam on groundwater quantity, focusing on water level changes and quality, with special emphasis on EC and nitrate concentrations as key indicators of water suitability and potential health risks.

Material and Methods:

This study was conducted in five main phases: desk studies, field operations, laboratory testing, statistical analysis, and result interpretation. The research focused on an underground dam located on the Zayandehrood watershed, with a reservoir length of approximately 5800 meters and a surface area of 3.5 hectares. (1) Desk Studies: Baseline data related to geology, meteorology, hydrology, hydrogeology, geography, and climate of the study basin were collected. A monitoring plan was developed to define sampling points and measurement locations for groundwater level and quality in wells both upstream (outside the reservoir) and within the reservoir. (2) Field Operations: Groundwater levels were measured monthly and weekly during rainy periods in wells within a one-kilometer radius of the dam from spring 2020 to spring 2024. Measurements were taken using a tape and meter. Water samples were collected seasonally and monthly during rainy periods from two points: a well at the reservoir inlet (furthest from the dam) and a well behind the underground dam. Sampling employed mechanical pumping assisted by a tractor. (3) Laboratory Testing: The collected samples were analyzed at the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center laboratory for water quality parameters including pH, salinity, cations (Ca, Mg, Na), anions (Cl, CO₃, HCO₃, SO₄), insoluble salts (lime, gypsum), and nitrate concentrations. This aimed to evaluate suitability for drinking and agricultural use. (4) Statistical Analysis: Data were analyzed using SPSS software and descriptive statistics (mean, standard deviation, range, skewness, coefficient of variation) were calculated. Student's t-test (with three replicates) assessed significant changes over time, while Duncan's test compared means at a 95% confidence level. (5) Result Interpretation: Annual groundwater level changes and yield variations in two selected wells were analyzed. Correlations between groundwater level and physical-chemical parameters were evaluated,

1-Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Chaharmahal and Bakhtiari province, Agricultural Research and Education Organization, Shahrekord, Iran.

2-Soil conservation and watershed management research institute, Agricultural Research and Education Organization, Tehran, Iran

*- Corresponding author: emami1348@yahoo.com & N.emami@areeo.ac.ir

Received:2025/09/05

Accepted:2025/06/23

especially nitrate and salts. The Schuler and Wilcox diagrams were used to assess the underground dam's impact on water quality for drinking and agricultural purposes.

Results and Discussion:

Groundwater level monitoring was conducted regularly from spring 2020 to spring 2024 with 46 measurement events. These events included post-rainfall sampling. The water level fluctuations in Well 1 (inflow area) and Well 2 (within the underground dam reservoir) showed strong correlation, confirming the direct impact of surface water inflow on the stored groundwater volume. Well 2 had an average water level depth of 6.32 m, with fluctuations between 3.4 and 7.8 m, while Well 1 had an average of 5.81 m with variations from 3.9 to 9 m. The coarse alluvial aquifer of the reservoir was estimated to have the volume of 700,000 m³ and an effective porosity of 20%, yielding a potential water storage capacity of about 140,000 m³. Considering an average saturated thickness of 12 m, the usable groundwater volume was calculated to be approximately 100,000 m³. Despite continuous seasonal withdrawal, the reservoir volume replenished annually, which contrasted with pre-dam conditions, under which water was absent during dry seasons. This stable water supply contributed to a 49.3% increase in cultivated land area between 2019 and 2022. Physicochemical analyses of 47 water samples revealed mostly stable concentrations of chemical parameters, except for bicarbonate, carbonate, and nitrate ions which showed significant seasonal changes. Electrical conductivity (EC) increased during dry periods due to water volume reduction but decreased with recharge, indicating natural dilution effects. Nitrate concentrations peaked during irrigation seasons due to fertilizer use but were diluted during wet periods; nitrate levels were lower inside the reservoir, demonstrating the dam's mitigating effect on contamination. Water quality classification using Scholler, Wilcox, and Piper diagrams confirmed that the water was suitable for drinking and moderate agricultural use. The water type was predominantly calcium-bicarbonate, consistent with local geology.

Conclusion:

The present study demonstrated that the Yan-Cheshmeh underground dam, strategically located in a suitable geological setting and designed based on hydrogeological principles, has effectively contributed to groundwater storage and management. The impermeable foundation, large volume of coarse alluvial deposits, and considerable reservoir depth enable the storage of approximately 100,000 m³ of usable water. This volume remains sustainably available despite seasonal withdrawals, successfully supporting agricultural demands in the region. Water quality analyses revealed that seasonal water retention in the underground reservoir does not degrade water quality; instead, natural dilution reduces nitrate concentrations. Scholler, Wilcox, and Piper diagrams classified the water quality as ranging from good to acceptable for drinking and from moderate to good for agricultural use. A key strength of this research was the integrated approach combining fieldwork, laboratory analysis, and statistical evaluation over multiple years, which enhanced result reliability. However, limitations included the temporal coverage and sample size, which could be expanded for more detailed seasonal analysis. Overall, the Yan-Cheshmeh underground dam exemplifies a successful nature-based infrastructure for sustainable water resource management in semi-arid areas. It is recommended that similar projects be considered by policymakers and water resource.

Keywords: Yan-Cheshmeh subsurface dam, groundwater monitoring, groundwater quality, statistical analysis (SPSS), water resources management

Citation: Emami, S.N., Yousefi, S., Nekooimehr, M., Mansouri, M., Ghermazcheshmeh, B., Majidi, A., 2026. Assessment of the impacts of the Yan-Cheshmeh subsurface dam in Chaharmahal and Bakhtiari Province on the quantity and quality of groundwater resources. *Iranian Water Research Journal*. 59(4). pp.1-18. <https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2025.15274.2695>

Copyright:

© Authors, Published by Iranian Water Research Journal. This is an open-access article distributed under the CC-BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



بررسی تأثیرات بند زیرزمینی یان چشمه استان چهارمحال و بختیاری بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرسطحی

سید نعیم امامی^{*}، صالح یوسفی^۱، محمد نکویی مهر^۲، معصومه منصوری^۳، باقر قرمزچشمه^۴، علیرضا مجیدی^۵

چکیده

بندهای زیرزمینی سازه‌هایی هستند که با مهار جریان‌های زیرسطحی، موجب ذخیره آب در لایه‌های آبرفتی می‌شوند. بند زیرزمینی یان چشمه به‌عنوان نخستین بند زیرزمینی در استان چهارمحال و بختیاری در سال ۱۳۹۴ در خروجی حوضه آبخیز یان چشمه از توابع شهرستان بن احداث گردید. این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات کمی و کیفی ناشی از عملکرد بند در چهار سال، از زمستان ۱۳۹۹ تا بهار ۱۴۰۳ انجام شد. برای این منظور، تغییرات تراز آب زیرزمینی در دو چاه مشاهده‌ای پایش گردید. در مجموع ۴۷ نمونه آب برداشت و در آزمایشگاه از نظر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی تحلیل شد و داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری در نرم‌افزار SPSS پردازش گردید. نتایج نشان داد که بند در محل مناسبی از نظر زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی احداث شده و توانایی ذخیره‌سازی حدود ۱۴۰۰۰ مترمکعب آب در لایه‌های درشت‌دانه آبرفتی را داراست. همچنین کیفیت آب ذخیره‌شده در مخزن کاهش نیافته و در مورد برخی عناصر مانند نترات بهبود نشان دادند. آب موجود در مخزن از نظر شرب در محدوده خوب تا قابل قبول و برای کشاورزی در محدوده متوسط قرار دارد و ترکیب شیمیایی آن تیپ بیکربناته-کلسیمی با سختی متوسط است. در نتیجه، بند زیرزمینی یان چشمه به‌عنوان یک سازه طبیعت‌محور در مدیریت منابع آب منطقه عملکردی مثبت و قابل قبول داشته است.

واژه‌های کلیدی: بند زیرزمینی یان چشمه، پایش آب زیرزمینی، کیفیت آب زیرزمینی، مدیریت منابع آب

ارجاع: امامی، س.ن.، یوسفی، ص.، نکویی مهر، م.، منصوری، م.، قرمزچشمه، ب.، مجیدی، ع. ۱۴۰۴. بررسی تأثیرات بند زیرزمینی یان چشمه استان چهارمحال و بختیاری بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرسطحی. مجله پژوهش آب ایران، ۵۹(۴). صص. ۱-۱۸.
<https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2025.15274.2695>

۱- دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران
۲- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران
۳- مربی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران
۴- کارشناس ارشد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران
۵- عضو هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور

* نویسنده مسئول: N.emami@areeo.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۲

مقدمه

آب زیرزمینی به عنوان یکی از منابع راهبردی برای تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت، نقش اساسی در توسعه پایدار به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد. در سال‌های اخیر، عواملی چون تغییرات اقلیمی، کاهش نزولات جوی، افزایش جمعیت و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آبی، موجب افت سطح ایستابی و کاهش کیفیت آب زیرزمینی شده‌است. در این میان، استفاده از سازه‌های مدیریتی مانند سدهای زیرسطحی (subsurface dams) به عنوان رویکردی مؤثر در کاهش تبخیر سطحی، افزایش زمان نفوذ و تقویت تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی مطرح شده‌اند. مطالعات جدید نشان داده‌اند که این روش‌ها می‌توانند اثربخشی قابل توجهی در بهبود کمیت و کیفیت آب زیرزمینی داشته باشند (Çavdar, 2024; Chang et al., 2023; Liu, 2023; Parker et al., 2022; Imig et al., 2022).

سدهای زیرسطحی با ایجاد مانعی در مسیر جریان آب، موجب تجمع آب در پشت سد، کاهش شوری و افزایش زمان ماندگاری آب می‌شوند. این اثرات بسته به ویژگی‌های هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی منطقه، شدت متفاوتی دارند. مطالعات بین‌المللی نشان داده‌اند که در مناطق نیمه‌خشک، عملکرد سدهای زیرسطحی می‌تواند منجر به افزایش سطح ایستابی، کاهش غلظت نیترات و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی شوند، هرچند توجه به طراحی و محل احداث سد برای جلوگیری از تجمع آب شور ضروری است (Silva et al., 2020; Fang et al., 2023). در مطالعات برزیل، مشاهده شد که احداث این سازه‌ها سبب بهبود کیفیت آب در بالادست و کاهش شوری در برخی نواحی شد، اما در پایین‌دست احتمال افزایش شوری وجود داشت، که نشان‌دهنده نیاز به مدیریت صحیح طراحی و بهره‌برداری است (Silva et al., 2020).

در ایران، مطالعات انجام‌شده در مناطق مختلف از جمله دشت شهرکرد و راور کرمان نشان می‌دهند که احداث سدهای زیرسطحی می‌تواند باعث تغییرات قابل توجه در شاخص‌های کیفیت آب، از جمله EC، نیترات و شاخص کیفیت آب (WQI) شود (Lotfi et al., 2017; Lalehzari and Tabatabaei, 2010). علاوه بر این، مکان‌یابی دقیق سدهای زیرسطحی و استفاده از مدل‌های فازی برای انتخاب مناطق مناسب، نقش مهمی در اثرگذاری مثبت بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دارد (Emami et al., 2024; Mahdavi et al., 2011). مطالعاتی در زمینه تغییر توزیع نیترات در سفره‌های آب زیرزمینی نشان داد که احداث سدهای زیرسطحی می‌تواند باعث کاهش یا تغییر

توزیع نیترات در منطقه شود و بنابراین اهمیت بررسی دقیق کیفیت آب پس از احداث این سازه‌ها را تأیید می‌کند (Lalehzari and Tabatabaei, 2015).

باوجود مزایای متعدد این سازه‌ها، در صورت طراحی یا بهره‌برداری نادرست، خطراتی همچون افزایش نیترات یا هدایت الکتریکی در آب وجود دارد که می‌تواند مصارف شرب و کشاورزی را با چالش مواجه سازد (Kalaitzidou et al., 2021; Zheng et al., 2023). بنابراین ارزیابی دقیق و علمی تأثیرات این نوع سازه‌ها در بسترهای مختلف ژئوهیدرولوژیک ضرورت دارد.

استان چهارمحال و بختیاری، به‌ویژه نواحی شرقی آن، با میانگین بارش سالانه حدود ۳۰۰ میلی‌متر در زمره مناطق نیمه‌خشک کشور قرار دارد. طی سه دهه گذشته، ترکیب خشک‌سالی‌های متوالی و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی موجب افت بیش از ۲۰ متر در سطح ایستابی دشت‌ها گردیده است. شرایط زمین‌شناسی منطقه، به‌ویژه وجود آبرفت‌های درشت‌دانه بین کوهستانی و مخروط‌افکنه‌ای، زمینه مناسبی برای بهره‌گیری از بندهای زیرزمینی فراهم آورده است. در همین راستا، اولین بند زیرزمینی استان به طول ۸۰ متر و عمق ۱۸ متر با مخزنی به حجم مفید بیش از ۱۴۰۰۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۹۴ در خروجی حوضه آبخیز یان‌چشمه احداث شد.

اگرچه مطالعاتی در زمینه خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی دشت شهرکرد (Lalehzari and Tabatabaei, 2010)، مکان‌یابی بندهای زیرزمینی (Emami et al., 2024) و شناسایی مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان با استفاده از منطق فازی (Mahdavi et al., 2011) انجام‌شده است، اما بررسی جامع اثرات کمی و کیفی بندهای زیرسطحی بر سفره‌های آب زیرزمینی این منطقه محدود باقی‌مانده است. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی جامع اثرات این بند بر کمیت (با تمرکز بر تغییرات سطح ایستابی) و کیفیت (با بررسی شاخص‌هایی نظیر شوری، EC، نیترات، WQI و سایر پارامترهای فیزیکی-شیمیایی) آب زیرزمینی منطقه طراحی شده است. هر چند تمامی پارامترهای کیفی مورد سنجش قرار گرفته‌اند، اما با توجه به اهمیت بالای هدایت الکتریکی (EC) به عنوان شاخص عمومی شوری و نیترات (NO_3^-) به عنوان عامل خطر بالقوه برای سلامت انسان و کشاورزی، این دو پارامتر با تمرکز ویژه و تحلیل عمیق‌تر مورد بررسی قرار گرفته‌اند و چارچوب اصلی تحلیل‌های کیفی مقاله را شکل می‌دهند.

در دهه‌های اخیر، مطالعات متعددی در سطح بین‌المللی به بررسی اثرات احداث بندهای زیرسطحی بر کیفیت آب زیرزمینی پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که این سازه‌ها علاوه بر نقش مهم در تغذیه و ذخیره‌سازی منابع آب، می‌توانند تغییرات قابل توجهی در شاخص‌های کیفی ایجاد کنند. سدهای زیرسطحی با ایجاد مانع در مسیر جریان آب، موجب تجمع آب در پشت سد، افزایش زمان ماندگاری و کاهش شوری آب می‌شوند. شدت و دامنه این اثرات بسته به ویژگی‌های هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی منطقه متفاوت است (Shen et al., 2025; Masayuki, 2024).

مطالعات انجام‌شده در آبخوان‌های ساحلی شرق آسیا نشان داد که احداث بندهای زیرسطحی توانسته است تا حد زیادی از نفوذ آب شور جلوگیری کند، اما در برخی مناطق افزایش غلظت نیترات در بالادست بند گزارش شده است. این پدیده به‌ویژه در سفره‌های لایه‌ای و ناهمگن مشاهده شده و اهمیت توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی محلی را نشان می‌دهد (Gao et al., 2023). در ژاپن، مطالعه (Masayuki, 2024) در جزیره اوکیناوا نشان داد که کنترل نفوذ آب شور و بهبود کیفیت آب وابسته به طراحی صحیح بند و ویژگی‌های هیدرولوژیکی منطقه است. (Shen et al., 2025) نیز در یک آبخوان ساحلی نشان دادند که عملکرد مناسب سد زیرسطحی می‌تواند به کاهش نفوذ آب شور و بهبود کیفیت آب کمک کند.

تحقیقات دیگر تأکید کرده‌اند که طراحی و جانمایی مناسب بند زیرسطحی نقش تعیین‌کننده‌ای در ارتقای کیفیت آب دارد. برای مثال، (Rajabi et al., 2025) در مطالعه‌ای جامع درباره معیارها و روش‌های مکان‌یابی سدهای زیرسطحی نشان دادند که انتخاب ارتفاع مناسب سازه و فاصله آن از چاه‌های بهره‌برداری می‌تواند موفقیت در کنترل شوری و بهبود کیفیت آب را به‌طور چشمگیری افزایش دهد. برعکس، مکان‌یابی نادرست یا ارتفاع بیش‌ازحد سازه، ممکن است موجب افزایش نوسانات سطح ایستابی و تجمع املاح در پشت بند شود که پیامدهای منفی بر کیفیت آب خواهد داشت.

مطالعات انجام‌شده در مناطق نیمه‌خشک برزیل نیز نشان داد که عملکرد سدهای زیرسطحی می‌تواند موجب افزایش سطح ایستابی و کاهش غلظت نیترات و هدایت الکتریکی آب شود، هرچند توجه به طراحی و محل احداث سد برای جلوگیری از تجمع آب شور ضروری است (Silva et al., 2020; Fang et al., 2023).

در ایران نیز پژوهش‌های متعددی اثرات کمی و کیفی سدهای زیرسطحی را مورد بررسی قرار داده‌اند. خصوصیات شیمیایی آب

زیرزمینی دشت شهرکرد توسط Lalehzari and Tabatabaei (2010) بررسی و نشان دادند که احداث سدهای زیرسطحی می‌تواند تغییرات قابل توجهی در شاخص‌های کیفیت آب ایجاد کند. همچنین (Lotfi et al., 2017) در مطالعه‌ای در دشت راور کرمان تغییرات EC، نیترات و شاخص کیفیت آب (WQI) را پس از احداث این سازه‌ها گزارش کردند. پژوهش (Emami et al., 2024) در شهرستان بن استان چهارمحال و بختیاری نشان دارد که مکان‌یابی مناسب سدهای زیرسطحی نقش مهمی در اثرگذاری مثبت بر کیفیت آب زیرزمینی دارد. علاوه بر این، (Mahdavi et al., 2011) با استفاده از مدل‌های فازی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان را شناسایی کرده و اهمیت انتخاب صحیح محل احداث برای بهبود اثرات سازه‌ها را نشان دادند. مطالعه (Lalehzari and Tabatabaei, 2015) نیز نشان می‌دهد که احداث سدهای زیرسطحی می‌تواند توزیع نیترات در سفره‌های آب زیرزمینی را تغییر دهد و بر کیفیت آب تأثیر مستقیم داشته باشد.

باوجود مزایای متعدد این سازه‌ها، طراحی یا بهره‌برداری نادرست آنها می‌تواند مشکلاتی مانند افزایش نیترات یا هدایت الکتریکی ایجاد کند که مصارف شرب و کشاورزی را با چالش مواجه می‌سازد (Kalaitzidou et al., 2023; Zheng et al., 2021). بنابراین، ارزیابی جامع اثرات کمی و کیفی سدهای زیرسطحی در بسترهای مختلف ژئوهیدرولوژیک ضروری است و می‌تواند راهنمایی ارزشمند برای بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی فراهم کند.

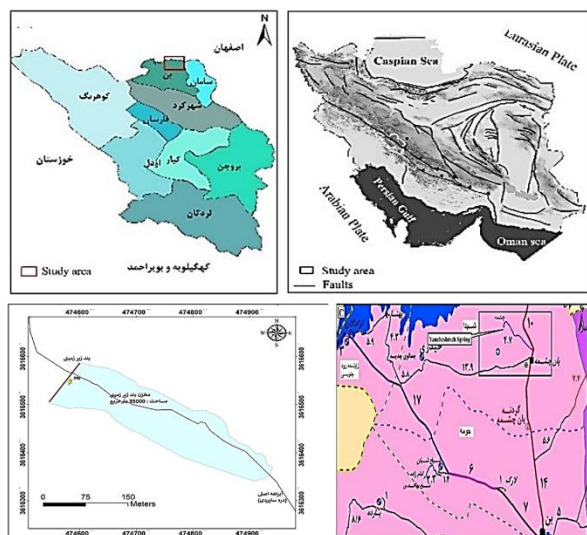
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

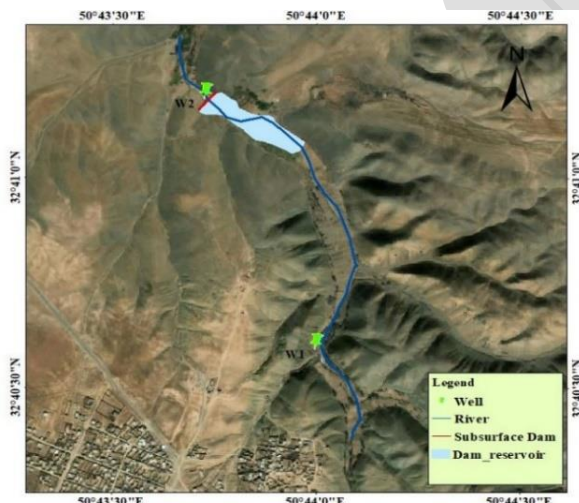
بند زیرزمینی یان‌چشمه در استان چهارمحال و بختیاری به طول ۸۰ و عمق ۱۸ متر در خروجی حوضه آبخیز یان‌چشمه (دره ساوردی) در شمال روستای یان‌چشمه در شهرستان بن قرار دارد.

تنگه محل احداث بند زیرزمینی یان‌چشمه در مختصات جغرافیایی $33^{\circ}43'43''$ طول شرقی و $50^{\circ}41'10''$ عرض شمالی با ارتفاع ۲۰۹۷ متر از سطح دریا در حوضه آبخیز یان‌چشمه با مساحت حدود ۱۳۱/۹۹۲ کیلومتر مربع قرار گرفته است. این حوضه بین طول‌های جغرافیایی $50^{\circ}28'$ تا $50^{\circ}49'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $32^{\circ}36'$ تا $32^{\circ}45'$ شمالی واقع شده و از سرشاخه‌های رودخانه زاینده‌رود است. طول آبراهه دره ساوردی از چاه تغذیه‌ای در ابتدای دره تا محل اتصال

نام چاه	طول جغرافیایی ای	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
چاه ۱ (ابتدای دره)	۴۷۵۰۰۵	۳۶۱۵۴۸۹	۲۱۱۲
چاه ۲ (در محل مخزن)	۴۷۵۴۸۳	۳۶۱۶۵۴۷	۲۰۹۷



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی بند زیرزمینی یان چشمه در شهرستان بن استان چهارمحال و بختیاری



شکل ۲- محل اجرای بند، مخزن و اراضی پشتبند

روش کار

این پژوهش در چهار مرحله‌ی اصلی شامل مطالعات دفتری، عملیات میدانی، آزمون‌های آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل آماری اجرا شد.

۱. مطالعات دفتری

آبراهه به رودخانه زاینده‌رود حدود ۵۸۰۰ متر و مساحت اراضی واقع بر روی مخزن بند احداثی ۳/۵ هکتار می‌باشد. نوع اقلیم منطقه نیمه‌خشک با رژیم بارش مدیترانه‌ای است و دارای دو فصل سرد (توأم با بارش) و گرم (بدون بارش) می‌باشد. همچنین بر اساس رابطه آمبرژه، حوضه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است.

منطقه مورد مطالعه در پهنه سنج سیرجان مابین دو گسل هفشجان در جنوب و دالان در شمال محصور شده و گسل‌های شیدا و بن از مرکز شهرستان بن و غرب و جنوب غرب یان چشمه با امتدادی موازی دو گسل پیش گفته یعنی شمال غرب - جنوب شرق عبور می‌کنند. از دیدگاه زمین‌شناسی، مخزن بند زیرزمینی روی سنگ‌های دگرگونی ژوراسیک فوقانی، عمدتاً از نوع میکاشیست‌های آهن‌دار با بین‌لایه‌هایی از کوارتزیت، واقع شده است. سنگ‌بستر منطقه ترکیبی از میکاشیست‌ها و واحدهای ولکانیکی تفکیک نشده است که با توجه به نفوذپذیری مناسب و پایداری سازندها، بستر مناسبی برای احداث بند و ذخیره‌سازی آب زیرزمینی فراهم آورده‌اند. منبع اصلی خاک‌های حوضه، رسوبات ناشی از سنگ‌های دگرگونی و آهکی ژوراسیک و کرتاسه می‌باشد که قسمت عمده تشکیلات زمین‌شناسی را شامل می‌گردد و تشکیلات مارنی نیز منشأ عمده خاک‌های رسی می‌باشند (Emami, 2024).

در طول دره سaurدی از ابتدای دره تا محل احداث بند دو چاه برای استحصال آب زیرزمینی و کشاورزی توسط بهره‌برداران حفر گردیده است. چاه اول در ورودی دره که به‌عنوان منبع تغذیه‌کننده مخزن پشت‌بند نیز تلقی می‌گردد و چاه دوم که در مجاورت بلافاصل بند زیرزمینی و در پشت آن واقع بر روی مخزن احداث گردیده و دارای عمق ۱۸ متر می‌باشد. چاه‌های مذکور به‌عنوان چاه‌های مشاهده‌ای یک و دو مطابق جدول ۱، برای پایش کمی و کیفی آب مخزن در محدوده مورد بررسی این پژوهش استفاده شدند.

در شکل ۱، موقعیت جغرافیایی محل بند یان چشمه و در شکل ۲ محل اجرای بند و مخزن و اراضی پشت‌بند نشان داده شده است.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی چاه‌های موجود در دره سaurدی یان چشمه

در این مرحله، اطلاعات پایه مرتبط با حوضه مورد مطالعه شامل داده‌های زمین‌شناسی، هواشناسی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، جغرافیایی و اقلیمی گردآوری شد. همچنین طرح کلی عملیات پایش و ارزیابی شامل تعیین نقاط نمونه‌برداری و محل‌های اندازه‌گیری سطح و کیفیت آب در چاه‌های بالادست (خارج از مخزن) و چاه‌های واقع در داخل مخزن تهیه گردید.

۲. عملیات میدانی

در بازه زمانی بهار ۱۳۹۹ تا پایان بهار ۱۴۰۳، اندازه‌گیری سطح ایستابی آب زیرزمینی به‌صورت ماهانه و در دوره‌های بارشی به‌صورت هفتگی در دو چاه واقع در شعاع یک کیلومتری بند با استفاده از طناب و متر انجام شد. همچنین نمونه‌برداری از آب در دو نقطه، شامل چاه ورودی مخزن (دورترین نقطه از محل بند) و چاه واقع بر روی مخزن بند زیرزمینی، به‌صورت فصلی و در دوره‌های بارشی به‌صورت ماهانه (تا دو ماه متوالی) تا پایان زمستان ۱۴۰۲ انجام شد. عملیات برداشت نمونه‌ها با استفاده از پمپاژ مکانیکی به کمک تراکتور صورت گرفت.

۳. آزمون‌های آزمایشگاهی

پارامترهای کیفی ۴۷ نمونه آب برداشت‌شده شامل pH، شوری، کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، کربنات، بی‌کربنات، سولفات، آهن، گچ و نیتрат در آزمایشگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اندازه‌گیری شد. کلیه پارامترها بر اساس روش‌های استاندارد (2017) APHA و استاندارد ملی ایران (2009) ISIRI آنالیز شدند؛ به‌طوری‌که pH و شوری با دستگاه‌های الکترومتری، کاتیون‌ها و آنیون‌ها با روش‌های تیتراسیون و فلیم‌فتومتری و نیترات با اسپکتروفتومتری تعیین شدند. هدف از این مرحله، ارزیابی کیفیت آب ذخیره‌شده در مخزن بند زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی بود.

۴. تجزیه و تحلیل آماری

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون‌های آزمایشگاهی با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل شد. در این مرحله، آمار توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار، دامنه، چولگی و ضریب تغییرات محاسبه شد. برای بررسی تغییرات معنی‌دار پارامترهای کیفی و کمی آب در طول دوره اجرای پروژه، از آزمون تی استیودنت با سه تکرار و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید.

۵. تحلیل نتایج

برای ارزیابی تأثیرات کمی احداث بند زیرزمینی، تغییرات سالانه سطح ایستابی و آبدهی منابع آب در دو چاه منتخب طی ماه‌های مختلف تحلیل شد. در بخش کیفی، تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در فصول مختلف و سطوح مختلف آب

زیرزمینی، به‌ویژه میزان نیترات و هدایت الکتریکی، مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل‌های همبستگی بین مقادیر پارامترهای کیفی در زمان‌ها و مکان‌های مختلف انجام شد. درنهایت، با استفاده از نمودارهای شولر و ویلکوکس، تأثیر بند زیرزمینی بر کیفیت آب برای مصارف شرب و کشاورزی ارزیابی شد.

نتایج و بحث

پایش تراز آب زیرزمینی

نتایج پایش ۴۷ نوبت تراز آب زیرزمینی طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۳ نشان داد که سطح ایستابی در چاه شماره ۱ (منبع تغذیه مخزن بند) و چاه شماره ۲ (واقع در محدوده بند زیرزمینی) روندی مشابه و همبسته دارند (شکل ۳). در جدول ۴ شاخص‌های آماری تغییرات سطح ایستابی در دو چاه مطالعاتی ارائه‌شده است.

نتایج نشان می‌دهد که سطح ایستابی در چاه شماره ۱ (منبع تغذیه ورودی به مخزن بند و واقع در دره ساوردی) در بازه‌ای بین ۲۱۰۴ تا ۲۱۰۸ متر از سطح دریا تغییر کرده و میانگین آن ۲۱۰۶ متر است. بر این اساس، دامنه نوسان تراز مطلق سطح ایستابی در این چاه ۴ متر و انحراف معیار آن ۰/۹۷ متر محاسبه گردید. از نظر عمقی نیز سطح ایستابی نسبت به سطح زمین در این چاه بین ۳/۹ تا ۹ متر متغیر بوده و میانگین آن ۵/۸۱ متر است، که نشان‌دهنده دامنه نوسان ۵/۱ متری در عمق سطح ایستابی است.

در چاه شماره ۲ (واقع در محدوده مخزن بند زیرزمینی)، سطح ایستابی در بازه‌ای بین ۲۰۸۷ تا ۲۰۹۲ متر قرار داشته و میانگین آن ۲۰۸۹ متر است. در این چاه دامنه نوسان تراز مطلق برابر با ۵ متر و انحراف معیار ۱/۲۹ متر به دست آمد. همچنین عمق سطح ایستابی در این چاه بین ۳/۴ تا ۷/۸ متر متغیر بوده و میانگین آن ۶/۳۲ متر است که معادل دامنه نوسان ۴/۴ متری در عمق می‌باشد.

ترسیم روند تغییرات سطح ایستابی نشان می‌دهد که با وجود اختلاف تراز مطلق ناشی از شرایط هیدروژئولوژیکی و اختلاف ارتفاع سطح زمین در محل چاه‌ها، هر دو چاه رفتار هیدرودینامیکی مشابهی داشته و نوسانات آن‌ها به‌طور واضح تحت تأثیر تغییرات فصلی بارش است. تحلیل روند زمانی داده‌ها نشان داد که در دوره‌های بارش زمستانه و اوایل بهار (شکل ۴)، سطح ایستابی در هر دو چاه افزایش محسوسی داشته و در تابستان و پاییز به دلیل کاهش تغذیه و افزایش تبخیر و تعرق،

بهار تا اوایل پاییز، به واسطه‌ی نقش تنظیمی بند زیرزمینی، حجم آب ذخیره‌شده در انتهای هر سال آبی به‌طور پایدار به حدود ۱۰۰۰۰۰ مترمکعب بازمی‌گردد. این در حالی است که پیش از احداث بند زیرزمینی در سال ۱۳۹۴، در فصول کم‌آب عملاً هیچ منبع آبی در اختیار بهره‌برداران منطقه نبوده و سطح اراضی زراعی و باغی بسیار محدود بوده است. بر اساس نتایج نمونه‌برداری‌ها و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، سطح زیر کشت کل در سال ۱۴۰۱ نسبت به قبل از احداث بند زیرزمینی افزایشی معادل ۴۹/۳ درصد را نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که سطح زیر کشت محصولات زراعی ۳۴/۶ درصد و سطح زیر کشت باغات ۶۹/۵ درصد افزایش یافته است. همچنین، سطح آیش در همین بازه زمانی با کاهشی برابر با ۸۵/۴ درصد مواجه بوده است (شکل ۵). این تغییرات، نشانگر نقش مستقیم بند زیرزمینی در تقویت منابع آبی، توسعه کشاورزی منطقه و افزایش تاب‌آوری اقتصادی بهره‌برداران محلی است (Salehi, 2023).

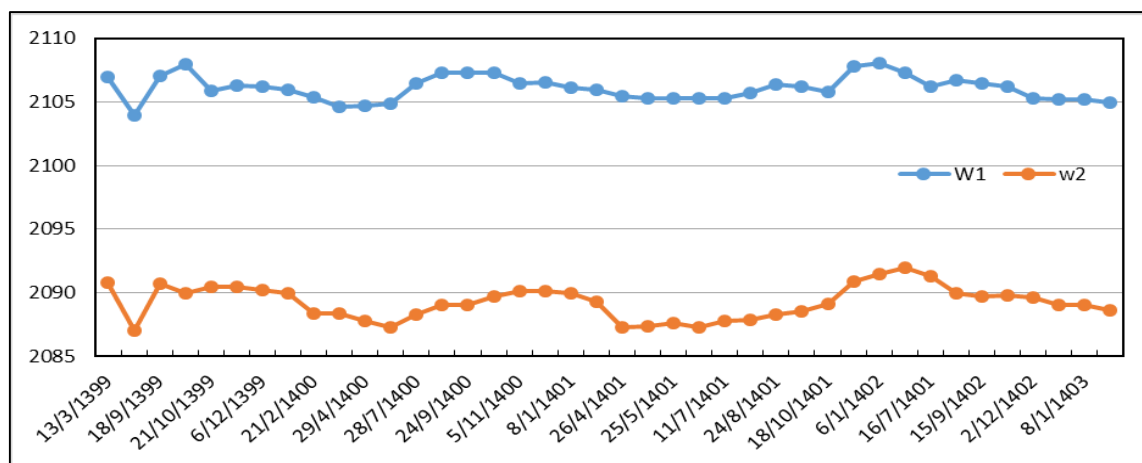
جدول ۲- شاخص‌های آماری تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مطالعاتی

چاه ۱ (ورودی دره) (متر)	چاه ۲ (مخزن بند زیرزمینی)(متر)	سال آبی
۲۱۰۶	۲۰۸۹	میانگین تراز مطلق سطح ایستابی
۰/۹۷	۱/۲۹	انحراف معیار
۴	۵	دامنه نوسان تراز مطلق سطح ایستابی
۵/۸۱	۶/۳۲	میانگین عمق سطح ایستابی
۰/۷۱	۰/۷۱	ضریب همبستگی

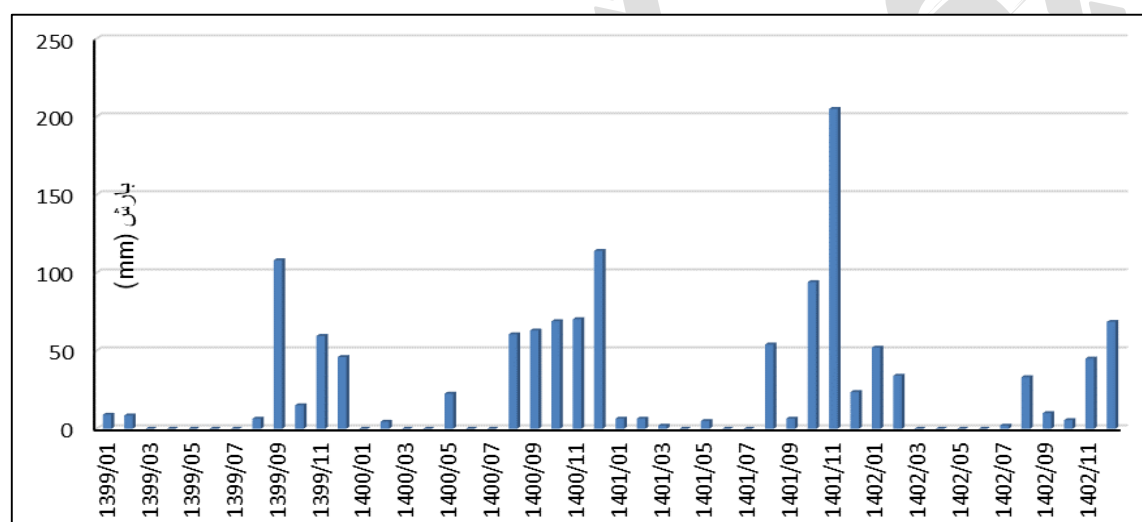
سطح ایستابی کاهش یافته است. ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های دو چاه برابر با ۰/۷۱ می‌باشد که بیانگر ارتباط مستقیم و نسبتاً قوی بین نوسانات سطح ایستابی در ورودی آبراهه (چاه شماره ۱) و محدوده مخزن بند زیرزمینی (چاه شماره ۲) است. از نظر شدت تغییرات، نوسانات در چاه شماره ۱ گسترده‌تر از چاه شماره ۲ است (۵/۱ متر در مقابل ۴/۴ متر) که به دلیل موقعیت چاه شماره ۱ در ورودی آبراهه و تأثیرپذیری بیشتر از جریان سطحی متغیر بالادست قابل توجیه است. این نتایج نشان می‌دهد که وجود بند زیرزمینی سبب تعدیل نوسانات سطح ایستابی در محدوده مخزن شده و پایداری نسبی بیشتری در چاه شماره ۲ ایجاد کرده است. بنابراین، تحلیل کمی و آماری داده‌ها علاوه بر تأیید نقش بند در ذخیره‌سازی آب، بیانگر آن است که بند زیرزمینی نقش مؤثری در ذخیره‌سازی، نگهداشت و تنظیم آب زیرزمینی ایفا می‌کند.

با توجه به شواهد توپوگرافی و زمین‌شناسی، حجم آبرفت درشت‌دانه موجود در پشت‌بند زیرزمینی حدود ۷۰۰۰۰۰ مترمکعب برآورد شده است. با در نظر گرفتن تخلخل مؤثر ۲۰ درصد با توجه به بررسی‌های صحرایی، این مخزن پتانسیل ذخیره‌سازی حدود ۱۴۰۰۰۰ مترمکعب آب را دارد. با در نظر گرفتن عمق کلی بند معادل ۱۸ متر (تا سنگ کف)، به‌طور متوسط حدود ۱۲ متر از ضخامت مخزن همیشه آبدار است. در این شرایط، حجم آب اشباع‌شده در مخزن حدود ۴۳۸۰۰۰ مترمکعب محاسبه می‌شود که با اعمال تخلخل مؤثر، حجم خالص آب قابل بهره‌برداری برابر با حدود ۱۰۰۰۰۰ مترمکعب خواهد بود. این مقدار، منبع پایدار آبی محسوب می‌شود که می‌توان برای برنامه‌ریزی بهره‌برداری بهینه و علمی از آن استفاده کرد.

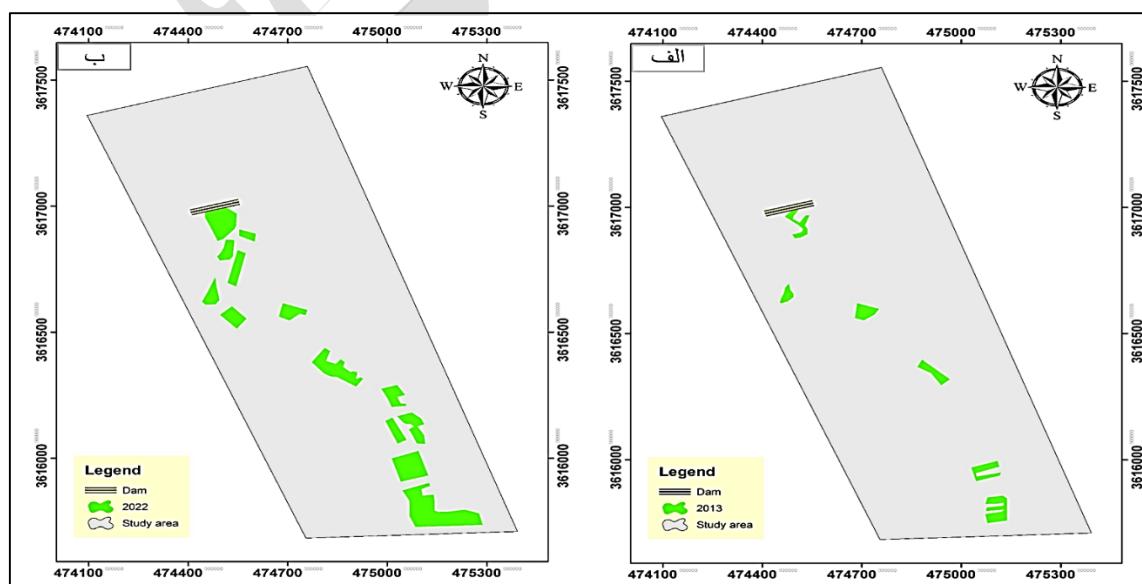
داده‌های حاصل از پایش حجم آب ذخیره‌شده نیز حاکی از آن است که علیرغم برداشت پیوسته آب از مخزن بند در فصول



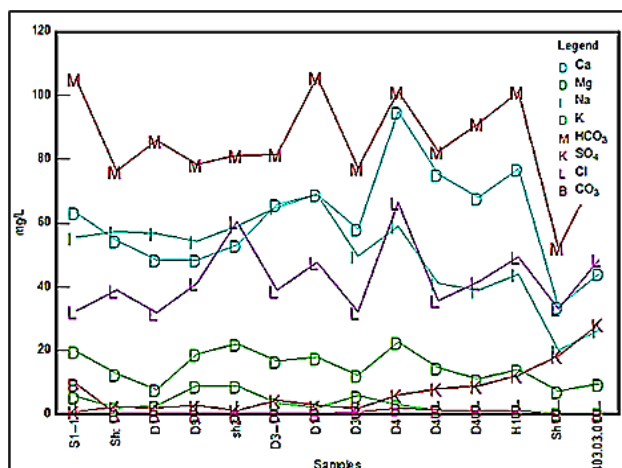
شکل ۳- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی چاه‌های ۱ (w1) و ۲ (w2) از خرداد ۱۳۹۹ تا خرداد ۱۴۰۳ (مبنای سطح ایستابی ارتفاع از سطح دریا می‌باشد)



شکل ۴- میزان بارش ماهانه از ابتدای سال ۱۳۹۹ تا پایان ۱۴۰۲



شکل ۵- سطح اراضی تحت کشت (الف) قبل و (ب) بعد از احداث بند زیرزمینی (Salehi, 2023)



شکل ۷- تغییرات ترکیب شیمیایی آب در چاه شماره ۲

افزایش HCO_3^- و CO_3^{2-} در چاه شماره ۲ را می‌توان به تماس طولانی‌تر آب با آبرفت‌های آهکی در مسیر حرکت از چاه ۱ به سمت مخزن نسبت داد. انحلال آهک، غلظت این یون‌ها را در آب ذخیره‌شده افزایش می‌دهد، پدیده‌ای که با یافته‌های Rembert et al. (2023) نیز همسو است.

یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی بررسی‌شده، هدایت الکتریکی (EC) است که به‌عنوان شاخصی از شوری آب در نظر گرفته می‌شود. تحلیل داده‌ها حاکی از آن است که مقدار EC در بازه زمانی اواخر بهار تا پاییز با افزایش برداشت آب از مخزن و کاهش حجم آب موجود، روند افزایشی داشته است (شکل ۸). در مقابل، در بازه زمانی میانه پاییز تا اوایل بهار که برداشت آب متوقف‌شده و بارش‌ها شروع می‌شود، مقدار EC به‌تدریج کاهش یافته است. این الگو نشان می‌دهد که رابطه معکوس معنی‌دار بین حجم آب موجود در مخزن و مقدار EC وجود دارد. به عبارتی با کاهش حجم آب، غلظت املاح محلول افزایش‌یافته و موجب رشد EC می‌شود.

این رفتار هیدروشیمیایی مخزن می‌تواند ناشی از تغلیظ طبیعی املاح در اثر تبخیر، برداشت مداوم و کاهش تغذیه ورودی باشد که در بسیاری از مطالعات مشابه نیز گزارش شده است (برای مثال: Braga et al., 2025 و Kalaitzidou et al., 2023). روند کاهشی EC در فصل‌های مرطوب نیز نشان می‌دهد که تغذیه مجدد سفره از طریق نفوذ بارش‌ها نقش مهمی در رقیق‌سازی آب مخزن دارد و از این‌رو، احداث بند زیرزمینی می‌تواند به تثبیت و یا بهبود کیفیت آب در دوره‌های بارندگی کمک نماید.

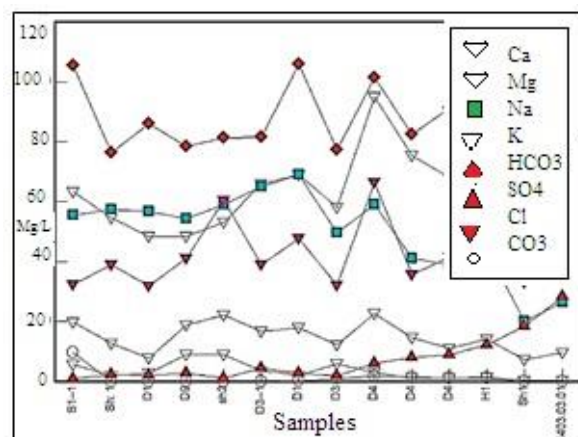
نمونه‌برداری و تغییرات فیزیکی شیمیایی آب

در طول سال‌های اجرای پروژه از زمستان ۱۳۹۹ تا پایان بهار ۱۴۰۳، در مجموع ۴۷ نمونه آب به‌صورت دوره‌ای و منظم از دو چاه شماره ۱ و ۲ برداشت و مورد آزمایش قرار گرفت. از این تعداد، ۱۵ نمونه مربوط به چاه شماره یک و ۳۲ نمونه مربوط به چاه شماره ۲ بوده است.

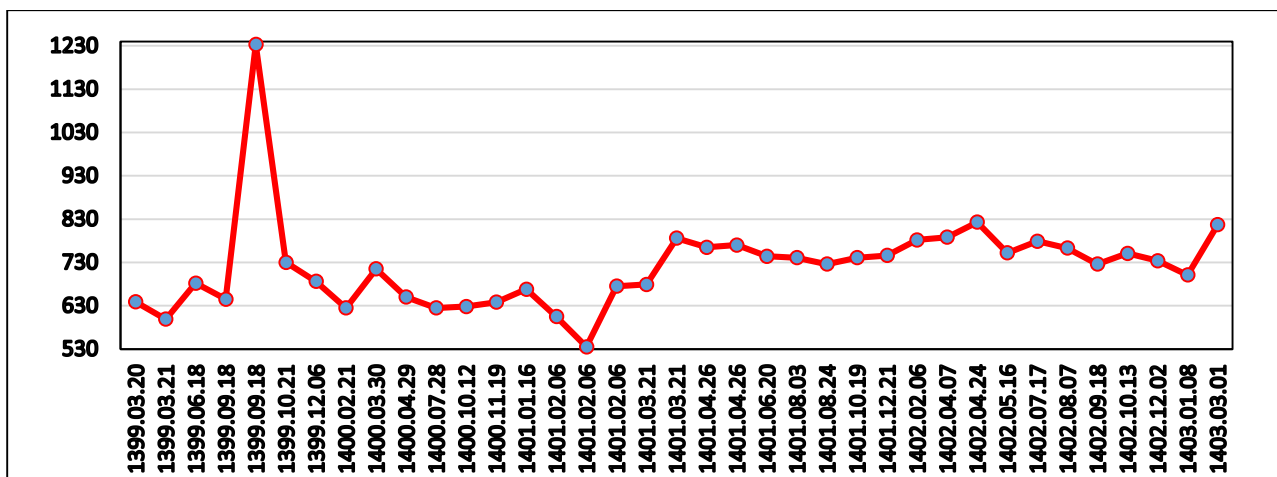
تعداد کمتر نمونه‌های برداشت‌شده از چاه شماره ۱ به دلیل فاصله زیاد آن از مخزن بند و نیز پایداری ترکیب شیمیایی آب این چاه در دو سال نخست پروژه بوده است. در مقابل، تمرکز اصلی پروژه بر ارزیابی نقش بند زیرزمینی در ذخیره‌سازی آب از جنبه‌های کمی و نیز بررسی تأثیر این ذخیره‌سازی بر کیفیت آب برداشت‌شده از مخزن پشت‌بند بوده است. از این‌رو، به‌منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر در چارچوب روش تحقیق، تعداد بیشتری نمونه از چاه شماره ۲ برداشت شد. در اشکال ۶ و ۷ تغییرات ترکیب شیمیایی آب در چاه‌های ۱ و ۲ در طول سال‌های اجرای پروژه نشان داده شده است.

تحلیل داده‌های ۴۷ نمونه برداشت‌شده از دو چاه مطالعاتی نشان داد که شاخص‌های کیفی آب در طول سال آبی، نوسانات نسبتاً محدودی داشته و در اکثر موارد در محدوده قابل‌قبول باقی‌مانده‌اند (جدول ۳).

بررسی جدول ۳ نشان می‌دهد که اغلب عناصر طی دوره اجرای پروژه در دو چاه ۱ (منبع تغذیه) و ۲ (مخزن بند) تغییر معنی‌داری نداشته‌اند. این یافته با نتایج Liu et al. (2023) همخوانی دارد. تنها برای یون‌های بی‌کربنات (HCO_3^- ، کربنات (CO_3^{2-}) و نیترات (NO_3^-) تغییرات معنی‌دار آماری مشاهده شد (Liu et al., 2023).



شکل ۶- تغییرات ترکیب شیمیایی آب در چاه شماره ۱



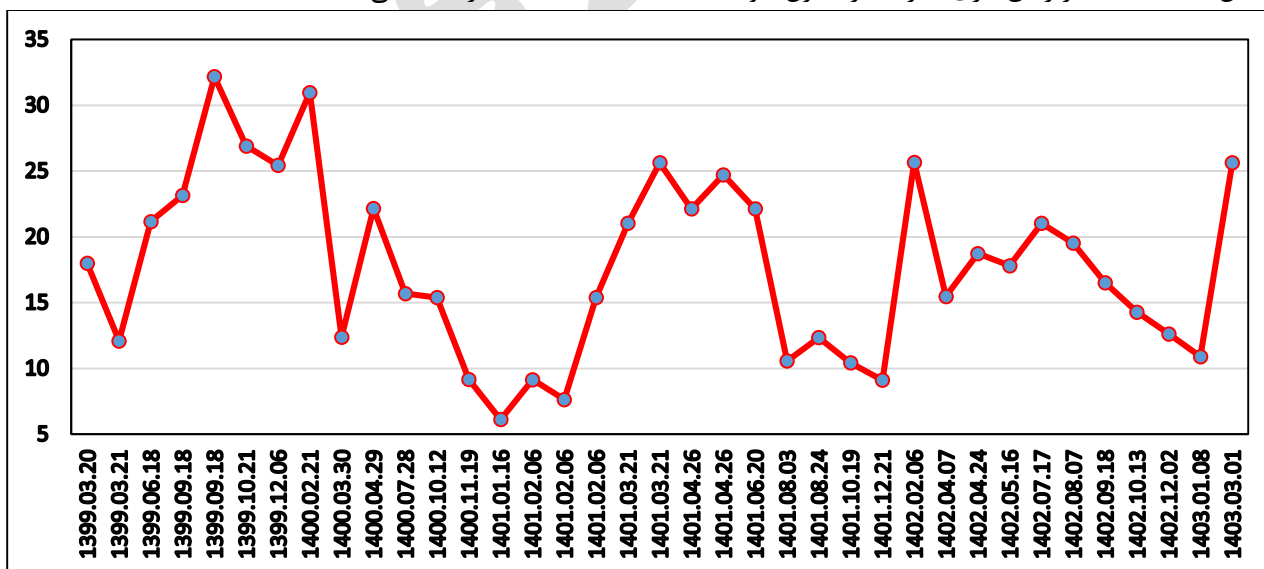
شکل ۸- تغییرات EC (هدایت الکتریکی) آب در چاه شماره ۲ در طول دوره از سال ۱۳۹۹ تا خرداد ماه ۱۴۰۳

حجم بالاتر آب ذخیره شده است. این یافته تأییدی بر نقش بند زیرزمینی در کاهش پتانسیل آلودگی نیتراتی آب و ارتقاء کیفیت آن می باشد.

این روند نشان می دهد که کیفیت آب در بندهای زیرزمینی به شدت تحت تأثیر رفتار زراعی منطقه، الگوی برداشت و تغذیه طبیعی قرار دارد. از این رو، پایش مستمر پارامترهایی مانند نیترات، به ویژه در فصول پرمصرف، برای جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی، ضروری به نظر می رسد. یافته های این بخش با نتایج مطالعات مشابه مانند Sun et al. (2019) و Zheng et al. (2021) هم راستا است که تأثیر فعالیت های کشاورزی بر افزایش نیترات در منابع آب زیرزمینی در مناطق نیمه خشک را تأیید می کنند.

از دیگر پارامترهای مهم بررسی شده در این مطالعه، مقدار نیترات (NO_3^-) در آب مخزن است. نتایج نشان می دهد که غلظت نیترات نیز در دوره برداشت آب و انجام فعالیت های زراعی، به ویژه در اواخر بهار و تابستان، به بیشترین مقدار خود می رسد. در این زمان، مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه در مزارع مجاور مخزن و افزایش نفوذپذیری خاک ناشی از برداشت پیوسته آب، منجر به ورود نیترات به سفره زیرزمینی می شود. در فصل زمستان، با کاهش یا قطع برداشت، همراه با افزایش حجم آب مخزن ناشی از بارش ها، غلظت نیترات کاهش یافته و به سطح ایمن تری بازمی گردد (شکل ۹).

از سوی دیگر، غلظت نیترات در چاه شماره ۲ نسبت به چاه ۱ کاهش یافته که نشانگر رقیق سازی نیترات در مخزن به واسطه



شکل ۹- تغییرات مقدار نیترات NO_3^- در طول دوره از سال ۱۳۹۹ تا خرداد ماه ۱۴۰۳

(Hem, 1985). در اشکال ۶ تا ۹ نمودارهای مربوط به تعیین کیفیت آب‌های منطقه ارائه شده است. بر اساس نمودار شولر (شکل ۱۰)، اغلب نمونه‌های برداشت‌شده در محدوده‌ی خوب و قابل قبول برای شرب قرار دارند. این نتیجه نشان می‌دهد که آب مخزن بند زیرزمینی یان چشمه از نظر غلظت عناصر اصلی و املاح محلول، فاقد ترکیبات مضر بوده و در محدوده مناسب برای مصارف آشامیدنی طبقه‌بندی می‌شود (WHO, 2017).

به‌منظور ارزیابی کیفیت آب‌های منطقه، به‌ویژه آب ذخیره‌شده در پشت مخزن بند زیرزمینی و تعیین میزان تناسب آن برای مصارف مختلف ازجمله شرب و کشاورزی، از نمودارهای شولر (Scholler)، ویلکوکس (Wilcox) و پایپر (Piper) استفاده شد. این نمودارها به‌عنوان ابزارهای استاندارد در تحلیل کیفیت منابع آب، امکان طبقه‌بندی آب‌ها را از منظر ترکیب شیمیایی و قابلیت استفاده فراهم می‌کنند (Todd and Mays, 2005;)

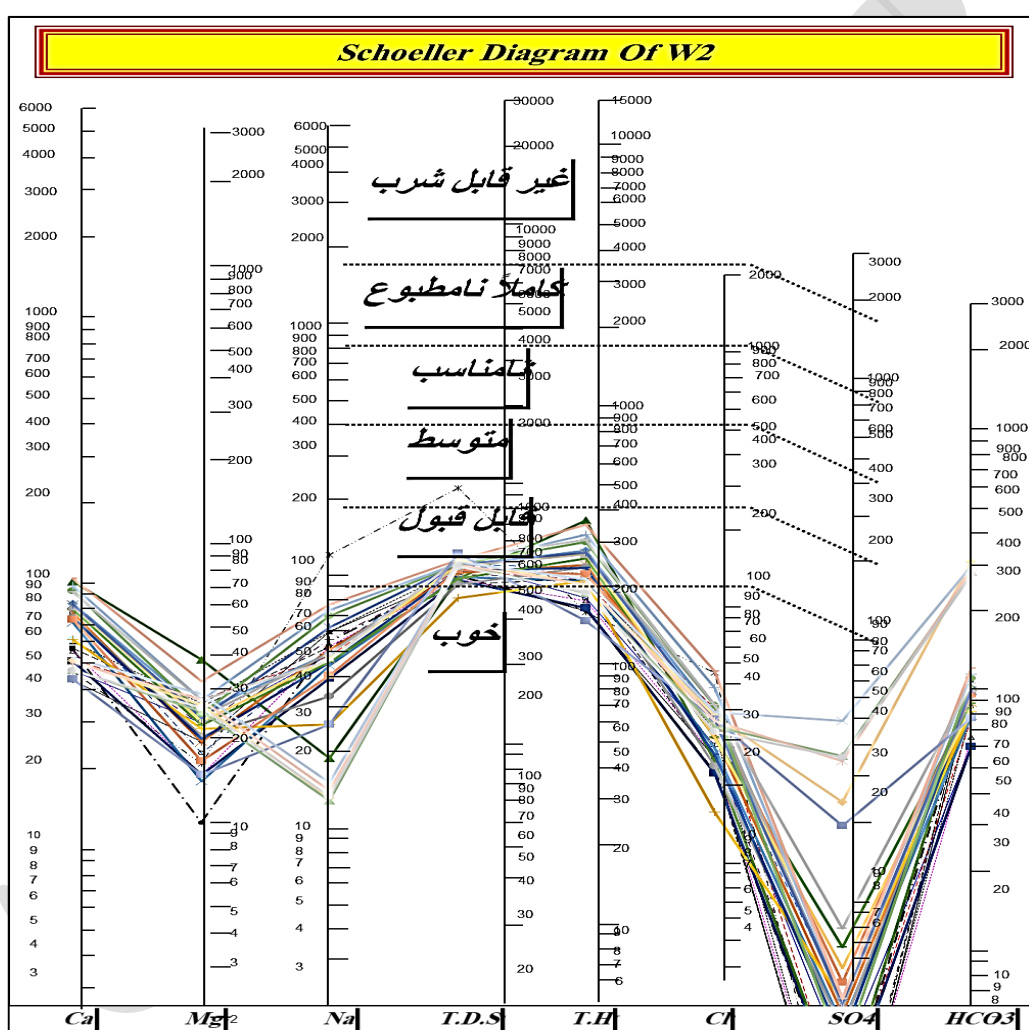
جدول ۳- خلاصه‌ای از آمار توصیفی و استنباطی کیفیت آب چاه‌ها

فاکتور	چاه	میانگین	انحراف معیار	آماره t	سطح معنی - داری
HCO ₃ ²⁻ (mg.lit-1)	چاه ۱	۸۵/۵۴	۱۳/۷۷	۱۴/۶۱	۳/۳۹۱
	چاه ۲	۱۳/۷۷	۱	۷۹/۴۶	-
CO ₃ ⁻ (mg.lit-1)	چاه ۱	۱/۱۹	۳/۱۲	۲/۵۱	۲/۱۹۹
	چاه ۲	۳/۱۲		۲/۸۹	-
SO ₄ ²⁻ (mg.lit-1)	چاه ۱	۷/۲۵	۱۳/۷۱	۷/۸۹	۱/۸۰۱
	چاه ۲	۱۳/۷۱		۱۷/۶۳	-
Cd(mg.lit-1)	چاه ۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۳۵۶
	چاه ۲	۰/۰۰۴	۰	۰/۰۱۱	۰
Fe (mg.lit-1)	چاه ۱	۰/۰۱۷	۰/۰۱۸	۰/۰۰۵	۰/۶۱۵
	چاه ۲	۰/۰۱۸	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷	-
Cu (mg.lit-1)	چاه ۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۴
	چاه ۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	-
Mn (mg.lit-1)	چاه ۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۳۴۲
	چاه ۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۷۳۴
Zn(mg.lit-1)	چاه ۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۲۹۱
	چاه ۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	-
NO ₃ ⁻ (mg.lit-1)	چاه ۱	۲۳/۰۲	۱۷/۸۲	۶/۳۶	۲/۴۸۹
	چاه ۲	۱۷/۸۲		۶/۷۶	

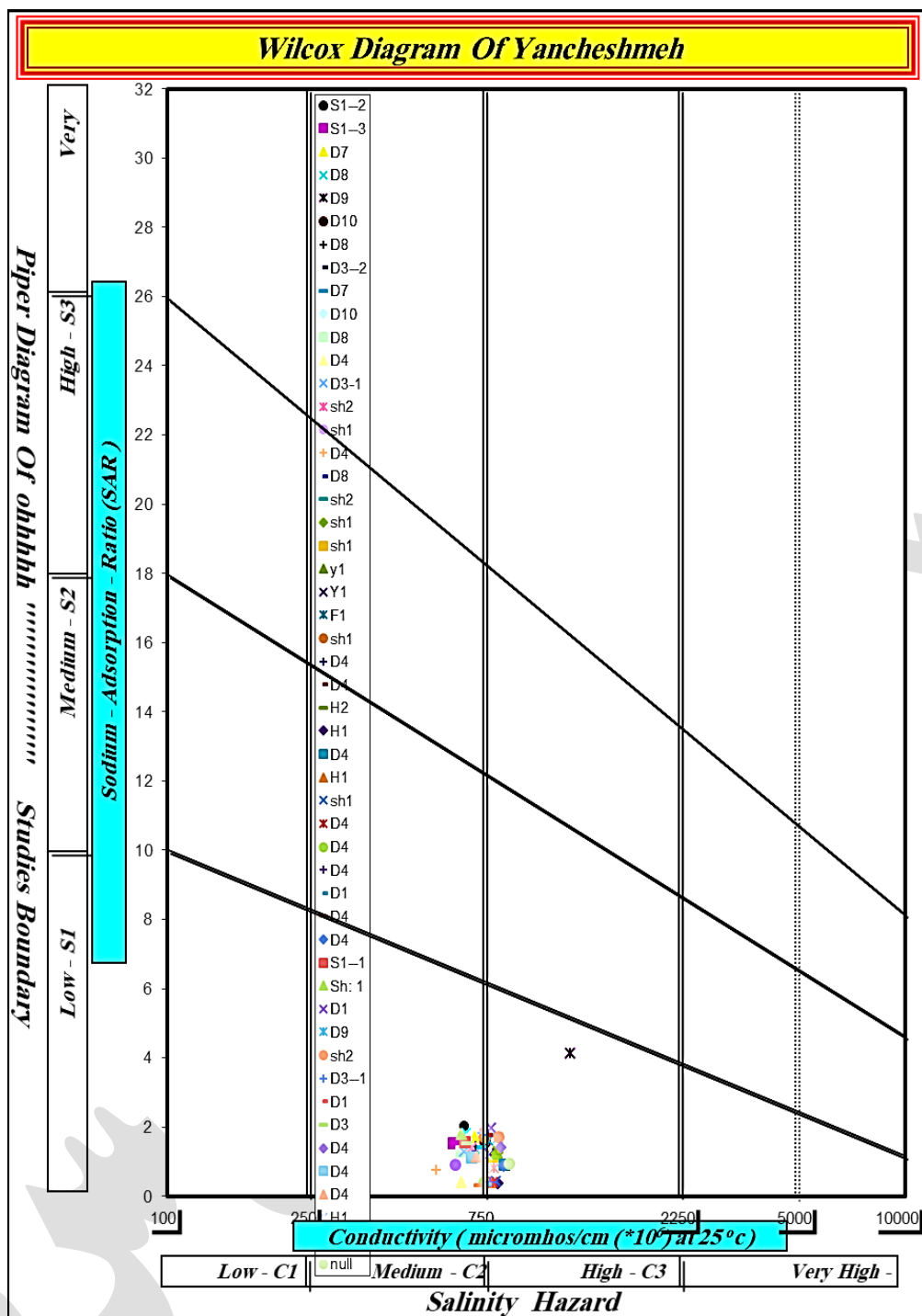
فاکتور	چاه	میانگین	انحراف معیار	آماره t	سطح معنی - داری
PH	چاه ۱	۷/۸۸	۰/۳۷	۰/۵۳۱	۰/۵۹۸
	چاه ۲	۷/۸۱	۰/۴۱		
EC (μs.cm-1)	چاه ۱	۸۲/۰۷	۶۷/۶	۰/۲۱۲	۰/۸۳۳
	چاه ۲	۷۲/۴۱	۱۰۹/۵		
TDS (mg.lit-1)	چاه ۱	۴۹/۰۱	۴۸/۴۵	۰/۲۳۳	۰/۸۱۷
	چاه ۲	۹	۹۲/۱۵		
Na ⁺ (mg.lit-1)	چاه ۱	۴۹/۷۱	۱۴/۰۵	۱/۰۷	۰/۲۸۸
	چاه ۲	۴۲/۵	۲۳/۵۱		
K(mg.lit-1)	چاه ۱	۳/۴۴	۲/۸۷	۰/۷۶۵	۰/۴۴۸
	چاه ۲	۲/۷۱	۳/۱۳		
Ca ²⁺ (mg.lit-1)	چاه ۱	۶۱/۰۷	۱۵/۷۲	۰/۳۹۶	۰/۶۹۴
	چاه ۲	۶۳/۳۲	۱۸/۸۳	-	
Mg ²⁺ (mg.lit-1)	چاه ۱	۱۴/۸۹	۵/۰۲	۱/۲۲۸	۰/۲۲۵
	چاه ۲	۱۶/۷۲	۴/۶۳	-	
Cl(mg.lit-1)	چاه ۱	۴۲/۷۴	۱۰/۶۹	۰/۳۶۵	۰/۷۱۷
	چاه ۲	۴۱/۴۸	۱۱/۱۶		

نشان‌دهنده آن است که نمونه‌های آب منطقه عمدتاً در ربع کاتیونی کلسیمی و ربع آنیونی بیکربناته قرار گرفته‌اند. این وضعیت، آب منطقه را در گروه آب‌های کلسیمی-بیکربناته یا قلیایی قرار می‌دهد که تیپ رایج در آب‌های مناطق کوهپایه‌ای و با منشأ تغذیه طبیعی از سازندهای کربناته است (Piper, 1944). وجود این تیپ هیدروشیمیایی با ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه، به‌ویژه دره ساوردی، سازگاری داشته و

تحلیل نمودار ویلکوکس (شکل ۱۱) نیز نشان می‌دهد که نمونه‌های آب مورد بررسی عمدتاً در محدوده کلاس‌های C2-S1 و C2-S2 واقع شده‌اند. این ترکیب به معنای شوری متوسط و خطر سدیمی کم تا متوسط بوده و مطابق با استانداردهای ارزیابی، کیفیت آب منطقه برای مصارف کشاورزی در رده متوسط ارزیابی می‌گردد (Wilcox, 1955). بنابراین، در شرایط مدیریت مناسب آبیاری، امکان بهره‌برداری زراعی از این منابع وجود دارد. همچنین، بررسی نمودار پایپر (شکل ۱۲) بیانگر کنترل زمین‌شناسی در ترکیب شیمیایی آب است (Freeze and Cherry, 1979).



شکل ۱۰- تعیین کیفیت آب‌های منطقه یان‌چشمه برای مصرف شرب روی نمودار شولر



شکل ۱۱- تعیین کیفیت آب‌های منطقه یان‌چشمه برای کشاورزی روی نمودار ویلکوکس

Piper Diagram Of Yancheshmeh

شکل ۱۲- تعیین هیدروشیملی، آب‌های منطقه یان چشمه روی نمودار پاییز

این منطقه عمدتاً از جنس بازالت و سنگ‌های دگرگونی با ترکیب بازیک تشکیل شده است که این ویژگی‌ها در تعیین تیپ هیدروشمیایی مشاهده‌شده مؤثر بوده‌اند (Emami, 2024).

جدول ۴- درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در کل محدوده

طبیقه بندی آب	TDS	TH	PH	Na	Cl	SO ₄
خوب	۶۷/۵۷	۷۲/۹۷	۱۰۰	۹۷/۳	۱۰۰	۱۰۰
قابل قبول	۳۲/۴۳	۲۷/۰۳	۰	۲/۷	۰	۰
متوسط	۰	۰	۰	۰	۰	۰
نامناسب	۰	۰	۰	۰	۰	۰
کاملاً نامطابق	۰	۰	۰	۰	۰	۰
غیر قابل شرب	۰	۰	۰	۰	۰	۰

در جداول ۴ و ۵، درصد نمونه‌های آب در هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شده بر اساس نمودارهای شولر و ویلکوکس ارائه گردیده است. تحلیل این جداول نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌های برداشت شده از چاه شماره ۲ که در مخزن بند زیرزمینی واقع شده است، از نظر کیفی در محدوده‌های قابل قبول برای مصارف کشاورزی و تا حدی صنعتی قرار می‌گیرند. همچنین بررسی دقیق‌تر بر اساس ترکیب شیمیایی آب و خصوصیات فیزیکی آن نشان می‌دهد که آب این چاه در طبقه "سخت و تا حدودی خورنده" برای مصارف صنعتی قرار دارد. این وضعیت به دلیل میزان نسبتاً بالای سختی کل (Total Hardness) و خاصیت خوردگی آب ارزیابی شده و برای مصارف صنعتی خاص نیازمند کنترل بیشتر می‌باشد (Durfor and Becker, 1964). از نظر زمین‌شناسی نیز، سنگ مخزن آب در

جدول ۵- درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکاکس برای مصارف کشاورزی در کل محدوده

C4				C3				C2				C1			
S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1
.	.	.	.	.	.	.	۳۲/۴۳	.	.	.	۶۷/۵۷	.	.	.	.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که بند زیرزمینی یان چشمه در موقعیتی زمین‌شناسی مناسب و بر پایه اصول هیدروژئولوژیکی طراحی و احداث شده است. این سازه توانسته با بهره‌گیری از تکیه‌گاه نفوذناپذیر، وجود آبرفت‌های درشت‌دانه و عمق قابل توجه مخزن، شرایطی پایدار برای ذخیره‌سازی حدود ۱۰۰۰۰۰ مترمکعب آب فراهم آورد. پایداری این ذخیره، علی‌رغم برداشت‌های فصلی، نشان‌دهنده نقش مؤثر بند در تأمین نیاز آبی بخش کشاورزی منطقه است.

بررسی پارامترهای کیفی نیز نشان داد که نگهداشت فصلی آب در مخزن موجب افت کیفیت نشده و حتی در برخی شاخص‌ها مانند نیترات، به دلیل رقیق‌سازی طبیعی، بهبود نسبی مشاهده شده است. ارزیابی‌های هیدروشیمیایی با استفاده از نمودارهای شولر، ویلکوکس و پایپر نیز کیفیت آب را در محدوده خوب تا قابل قبول برای شرب و متوسط تا خوب برای کشاورزی قرار داده است.

از نقاط قوت مطالعه حاضر می‌توان به ترکیب مشاهدات میدانی، آزمایش‌های آزمایشگاهی و تحلیل آماری چندساله اشاره کرد که دقت و اعتبار نتایج را افزایش داده است. درعین حال، محدودیت‌هایی نظیر تعداد محدود نمونه‌ها و بازه زمانی پایش، لزوم انجام مطالعات تکمیلی با پوشش زمانی و مکانی گسترده‌تر را نشان می‌دهد.

به‌طور کلی، بند زیرزمینی یان چشمه را می‌توان نمونه‌ای موفق از سازه‌های طبیعت‌محور در مدیریت پایدار منابع آب مناطق نیمه‌خشک دانست. توصیه می‌شود توسعه و تکرار این‌گونه سازه‌ها در حوضه‌های مشابه، هم به‌عنوان راهکار تقویت تاب‌آوری در برابر کم‌آبی و هم به‌عنوان الگویی در سیاست‌گذاری منابع آب موردتوجه قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری و با حمایت اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان انجام شد که بدین‌وسیله از مدیران این دستگاه‌ها تقدیر و تشکر می‌گردد. همچنین، آزمایشات

شیمیایی توسط آقای مهندس مجید فرزانه انجام شد که از ایشان نیز سپاس‌گزاری می‌گردد.

تضاد منافع نویسندگان

در این مقاله هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید همه نویسندگان است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها استفاده‌شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

نحوه و میزان مشارکت نویسندگان در انجام این پژوهش به‌صورت زیر است:

نویسنده اول: طراحی و مدیریت اجرای تمام مراحل پروژه و جمع‌آوری و تحلیل نهایی داده‌ها

نویسنده دوم: همکاری در برداشت‌ها و اندازه‌گیری‌های صحرایی و امور سنجش‌ازدور و GIS پروژه

نویسنده سوم: همکاری در برداشت‌ها اندازه‌گیری‌های صحرایی نویسنده چهارم: همکاری در تحلیل داده‌ها و نگارش و ویرایش مقاله

نویسنده پنجم و ششم: همکاری در تدوین روش تحقیق و تجزیه و تحلیل نتایج و داده‌ها

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

منابع

APHA ., 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Washington, D.C.: American Public Health Association.

Braga, R., Paiva, A. and Lima, P., 2025. Spatiotemporal variability of groundwater quality for irrigation: A case study in Mimoso Alluvial Valley, semiarid region of

319, 119740.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119740>

Kalaitzidou, K., Ntona, M.M., Zavridou, E., Tzeletas, S., Patsialis, T., Kallioras, A., Zouboulis, A., Virgiliou, C., et al., 2023. Water quality evaluation of groundwater and dam reservoir water: application of the Water Quality Index to study sites in Greece. *Water*, 15(23), 4170. [doi: 10.3390/w15234170](https://doi.org/10.3390/w15234170)

Lalehzari, R. and Tabatabaei, S.H., 2010. Groundwater quality analysis in Shahrekord aquifer. *Environmental Sciences Journal of Environmental Studies*, 36(53), pp. 55–62. https://journals.ut.ac.ir/article_21485_2131.htm [In Persian]

Lalehzari, R. and Tabatabaei, S.H., 2015. Simulating the impact of subsurface dam construction on the change of nitrate distribution. *Environmental Earth Sciences*, 74(4), pp.3241–3249. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4362-2>

Liu, J., 2023. Impacts of subsurface dam construction on downstream groundwater levels and salinity in coastal aquifers. *Groundwater*, 61(6), pp. 865–878. [doi: 10.1111/gwat.13304](https://doi.org/10.1111/gwat.13304)

Lotfi, M., Jafari, A., Ghoreyshi, M. and Zare, H., 2017. Evaluation of the impact of Ravar subsurface dam on groundwater quality. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 21(2), pp. 251–262. . [In Persian].

Mahdavi, A., Tabatabaei, S.H., Nouri, M. and Mahdavi, R., 2011. Identification of groundwater artificial recharge sites using fuzzy logic: a case study of Shahrekord Plain, Iran. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 6(2), 1013–1027. <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-1707-en.html>

Masayuki, I., 2024. Review of Subsurface Dam Technology Based on Japan's Experience in the Ryukyu Arc. *Water*, 16(16), 2282. <https://doi.org/10.3390/w16162282>

Parker, T.K., Alley, W.M. and Job, C.A., 2022. Managed aquifer recharge: A proven technology for water supply resilience. *Groundwater*, 60(5), pp.577–578. <https://doi.org/10.1111/gwat.13222>

Piper, A.M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Transactions, American Geophysical Union*, 25(6), pp.914–923.

Rembert, F., Léger, M., Jougnot, D. and Luquot, L., 2023. Geoelectrical and hydrochemical monitoring of karst formation at the laboratory scale. *Hydrology and*

Brazil. *Water*, 17(3), 410.
<https://doi.org/10.3390/w17030410>

Çavdar, E., 2024. Subsurface water storage in dryland basins: A sustainable approach. *Journal of Arid Environments*, 215, 104789. <https://doi.org/10.47852/bonviewAAES42022367>

Chang, Y., Chen, X., Liu, D., Tian, C., Xu, D. and Wang, L., 2023. Study on the Control of Saltwater Intrusion Using Subsurface Dams. *Water*, 15(22), 3938. <https://doi.org/10.3390/w15223938>

Durfor, C.N. and Becker, E., 1964. Public Water Supplies of the 100 Largest Cities in the United States, 1962. *U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper No. 1812*.

Emami, S.N., 2024. Evaluation of the quantity and quality of water resources affected by underground dam (Case study: Yan Cheshmeh underground dam, Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Publications of the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Series No. 66952*, 82 p. [In Persian].

Emami, S.N., Yousefi, S., Nekouimehr, M. and Mansouri, M., 2024. Locating subsurface dams in Ben County, Chaharmahal-and-Bakhtiari Province, Iran. *Iranian Water Research Journal*, 18(4), pp.55–62. <https://doi.org/10.22034/IWRJ.2024.14888.2624> [In Persian].

Fang, H., Zhang, W. and Lee, T., 2023. Combined effects of aquifer heterogeneity and subsurface dams on nitrate contamination. *Science of the Total Environment*, 884, 163876. [doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163876](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163876)

Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Hem, J.D., 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. 3rd Edition, *US Geological Survey, Water-Supply Paper No. 2254*, University of Virginia, Charlottesville, 263 p.

Imig, A., Szabó, Z., Halytsia, O., Vracholi, M. and Kleinert, V., 2022. A review on risk assessment in managed aquifer recharge. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(6), pp.1513–1529. <https://doi.org/10.1002/ieam.4584>

ISIRI (Institute of Standards and Industrial Research of Iran), 2009. Drinking Water: Physical and Chemical Specifications (ISIRI 1053), 5th ed. Tehran: ISIRI.

Gao, S., Zheng, T., Zhang, B., Fang, Y. and Zheng, X., 2023. Combined effects of aquifer heterogeneity and subsurface dam construction on nitrate pollution in coastal aquifers. *Journal of Environmental Management*,

Earth System Sciences, 27, pp.417–430.
<https://doi.org/10.5194/hess-27-417-2023>

Rembert, F., Léger, M., Jougnot, D. and Luquot, L., 2023. Geoelectrical and hydrochemical monitoring of karst formation at the laboratory scale. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27, pp.417–430.
<https://doi.org/10.5194/hess-27-417-2023>

Salehi, F., 2023. The effectiveness of Yan Cheshmeh underground dam construction in Chaharmahal and Bakhtiari Province on agriculture, orchards and vegetation. Final report of the research project. Publications of the *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*, Series No. 64494, 88p. [In Persian].

Shen, C., Fan, Y. and Lu, C., 2025. Effects of a subsurface dam on groundwater flow and saltwater intrusion in a coastal aquifer. *Journal of Hydrology*, 603, 127232.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132327>

Rajabi, A.M., Alizadehnia, S. and Sohrabi Bidar, A., 2025. A review of studies on underground dam site selection criteria and methods. *Geotechnical and Geological Engineering*, 43(3), pp. 1235–1253.
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2025.103995>

Silva, R. T. et al., 2020. Variation of the water table and salinity in alluvial aquifers of underground dams in the semi-arid region of Rio Grande do Norte, Brazil.. *Hydrogeology Journal*, 28(3), pp. 945–959.

Sun, Y., Xu, S. G., Kang, P. P., Fu, Y. Z. and Wang, T. X., 2019. Impacts of artificial underground reservoir on groundwater environment in the reservoir and downstream area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11), 1921. [doi: 10.3390/ijerph16111921](https://doi.org/10.3390/ijerph16111921)

Todd, D.K. and Mays, L.W., 2005. *Groundwater Hydrology*. 3rd ed. John Wiley and Sons.

WHO (World Health Organization) ., 2017. *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4th ed. Geneva: World Health Organization.

Wilcox, L.V., 1955. Classification and use of irrigation waters. U.S. Department of Agriculture Circular No. 969, 19p.

Zheng, T., Zheng, X., Chang, Q., Walther, M., 2021. Timescale and effectiveness of residual saltwater desalinization behind subsurface dams in an unconfined aquifer., *Water Resources Research*, 57, e2020WR028493. [doi: 10.1029/2020WR028493](https://doi.org/10.1029/2020WR028493)