

Groundwater Quality Assessment for Drinking, Agricultural, and Industrial Uses: A Case Study of the Qomsheh Plain

Amirreza Nemati Mansour^{1*}; Saman Javadi¹

*1. Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

*Email Address: amirreza.nemati@ut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article Type: Research Paper Article History: Received Date: 2026/09/05 Revised Date: 2026/09/23 Accepted Date: 2026/10/13 Published Date: 2026/10/13 Keywords: Piper, Stiff, Schoeller, Wilcox, Langelier.	Groundwater, as a vital resource, plays an essential role in sustaining human life and well-being. Given the growing population, climate change, and the pollution of water resources, the preservation and management of groundwater quality have become more important than ever. Therefore, this study aimed to comprehensively evaluate the groundwater quality of the Qomsheh plain for drinking, agricultural, and industrial purposes. For this purpose, data from 10 deep and semi-deep wells in the year 1398 (2019–2020) were utilized. Various methods were employed, including Piper and Stiff diagrams to determine the water type and hydrochemical facies of the aquifer, chemographs to investigate salinity variations, and Schoeller, Wilcox, and Langelier indices to assess the aquifer's water quality for different uses. The results indicated that the water type and hydrochemical facies of the aquifer vary across different regions of the Qomsheh plain, predominantly presenting as Mg-Cl, Na-Cl, Ca-SO₄, Ca-Cl, and Na-HCO₃. The investigation of salinity variations showed that Electrical Conductivity (EC) levels are higher in the second half of the year compared to the first half, although the long-term trend of EC changes remains relatively stable and in equilibrium. Furthermore, the water quality in the northern part of the Qomsheh plain is unsuitable for drinking. Only the southern and central parts of the plain are suitable for agricultural uses, while portions of the northern and central areas are appropriate for industrial purposes. Based on the findings of this study, the overall groundwater quality in the Qomsheh plain is not favorable. Consequently, sustainable management of the groundwater resources in the Qomsheh plain, along with meticulous and principled planning, is essential to prevent further pollution and preserve water quality.

Cite this article: Amirreza Nemati Mansour , Saman Javadi (2026) Groundwater Quality Assessment for Drinking, Agricultural, and Industrial Uses: A Case Study of the Qomsheh Plain, Journal of Environmental Sciences Studies, 11(2) , pages 11247-11260.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Evaluating groundwater quality is crucial for sustainable development, especially in arid and semi-arid regions facing water scarcity. The Qomsheh aquifer, located in Shahreza, Isfahan province, is under severe pressure due to low precipitation, high evapotranspiration, and intensive extraction for various uses. Although several studies have investigated groundwater quality, a comprehensive and simultaneous assessment of water quality for drinking, agricultural, and industrial applications in this specific plain has been lacking. Therefore, this study aimed to thoroughly evaluate the groundwater quality of the Qomsheh aquifer for these three primary uses to provide a clear picture of its current status and support effective water resources management.

Materials and methods

The study area is the Qomsheh plain (51°52' E, 32°1' N) characterized by a semi-arid climate in the north and center, and a semi-humid climate in the south. The hydrochemical data were collected from 10 selected deep and semi-deep wells (P1–P10) in 2019, alongside a 24-year time series of Electrical Conductivity (EC) from 1995 to 2019. The accuracy of the chemical analyses was confirmed with an anion-cation balance error of less than 5%. AqQA software was used to plot Piper and Stiff diagrams to determine water types and facies. The suitability of groundwater for drinking, agriculture, and industrial uses was evaluated using the Schöller diagram, Wilcox diagram, and Langelier Saturation Index (LSI), respectively. Furthermore, spatial distribution maps and zoning for different parameters were generated using the Thiessen polygon method in ArcGIS software.

Results and discussion

The hydrochemical analysis revealed that the dominant water types are Mg-Cl, Na-Cl, Ca-SO₄, Ca-Cl, and Na-HCO₃. Most samples exhibited a chlorinated type with high EC, while only two wells (P9 and P10) were bicarbonate and calcic. The 24-year EC trend showed a relatively stable but slightly increasing pattern (from 1919 to 2467 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Based on the Schöller diagram, only wells P1, P9, and P10 are suitable for drinking, indicating good quality in the south and unsuitable conditions in the north and northwest. For agricultural use, the Wilcox diagram showed that wells P1, P2, P9, and P10 fall into an acceptable class, making the southern and central areas suitable, whereas the north is unsuitable. The Langelier index indicated that wells P2, P3, P5, P7, P8, and P9 are stable and suitable for industrial use, while other wells exhibit severe to mild corrosion tendencies. Consequently, the central and northeastern regions are the most appropriate for industrial applications.

Conclusion

The comprehensive assessment indicates that the overall groundwater quality of the Qomsheh aquifer is not optimal. The northern part of the plain suffers from the poorest quality across drinking, agricultural, and industrial sectors, primarily driven by a high density of pumping wells and excessive over-extraction. Factors contributing to this quality degradation include reduced precipitation, high evapotranspiration, unregulated withdrawals, agricultural runoff containing fertilizers and pesticides, and industrial effluents. To mitigate further deterioration, urgent management strategies are recommended, including the reduction of groundwater extraction, adoption of modern irrigation technologies, continuous quality monitoring, strict control of pollutant discharges, and the implementation of sustainable agricultural practices.



ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی جهت کاربردهای شرب، کشاورزی و صنعت: مطالعه موردی دشت قمشه

امیررضا نعمتی منصور^{۱*}، سامان جوادی^۱

^{۱*} - گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران

*ایمیل نویسنده مسئول: amirreza.nemati@ut.ac.ir

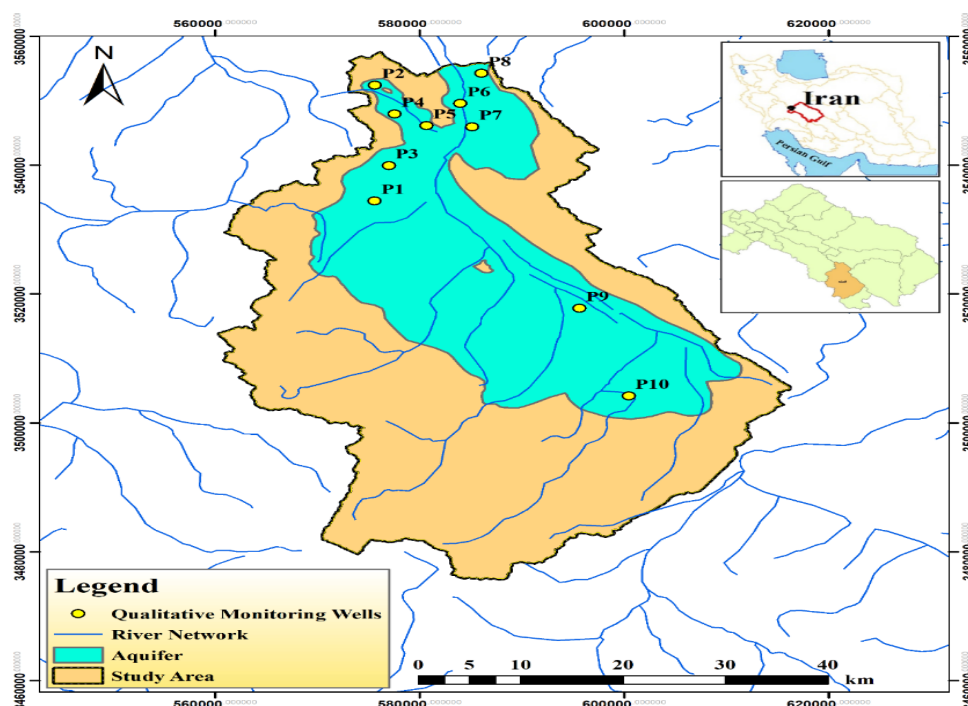
اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله علمی پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۶/۱۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۲۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۲۱ کلید واژه ها: پایپر، استیف، شولر، ویلکاکس، لانژیر.	آب زیرزمینی به عنوان منبعی حیاتی، نقشی اساسی در تداوم حیات و رفاه بشر ایفا می کند. با توجه به افزایش جمعیت، تغییرات اقلیمی و آلودگی منابع آبی، حفظ و مدیریت کیفیت آب های زیرزمینی بیش از پیش حائز اهمیت شده است. بنابراین در این مطالعه، هدف بر آن بود که کیفیت آب زیرزمینی دشت قمشه از نظر شرب، کشاورزی و صنعتی به طور جامع بررسی شود. برای این منظور، از اطلاعات ۱۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق در سال ۱۳۹۸ استفاده شد. شاخص های مختلفی مانند شاخص های پایپر و استیف برای تعیین تیپ و رخساره های آبخوان، نمودار کموگراف برای بررسی تغییرات شوری آبخوان، شاخص های شولر، ویلکاکس و لانژیر برای تعیین کیفیت آبخوان برای مصارف مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تیپ و رخساره آبخوان در مناطق مختلف دشت قمشه متفاوت است و به صورت Na-HCO_3 و Ca-Cl، Ca-SO_4، Na-Cl، Mg-Cl می باشد. بررسی تغییرات شوری آبخوان نشان داد که میزان EC در نیمه دوم سال بیشتر از نیمه اول سال است و روند بلندمدت تغییرات EC نسبتاً پایدار و تعادلی می باشد. کیفیت آب در شمال دشت قمشه برای شرب مناسب نیست و فقط جنوب و مرکز دشت قمشه برای مصارف کشاورزی و قسمتی از شمال و مرکز دشت برای مصارف صنعتی مناسب هستند. با توجه به یافته های این مطالعه، کیفیت آب زیرزمینی دشت قمشه به طور کلی مطلوب نمی باشد. لذا، مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی دشت قمشه با برنامه ریزی دقیق و اصولی برای جلوگیری از آلودگی و حفظ کیفیت آب ضروری است.

چالش کمبود منابع آب امروزه به عنوان یکی از اساسی‌ترین معضلات پیش‌روی جوامع بشری شناخته می‌شود که بخش عمده‌ای از آن ناشی از نرخ فزاینده تقاضا و مصرف در بخش‌های گوناگون است (Schultz, 2017). در این میان، سفره‌های آب زیرزمینی ستون اصلی تأمین آب شرب بخش بزرگی از جمعیت کره زمین به شمار می‌روند (t & Bazrafshan, 2023). با این حال، بهره‌برداری بی‌رویه در کنار گسترش دخالت‌های انسانی، علاوه بر تخلیه و افت تراز این ذخایر حیاتی، افت شدید کیفیت آن‌ها را نیز به دنبال داشته است (Torabi and Dehghani, 2019; Belkheiri et al., 2018). با توجه به اینکه دسترسی پایدار به آب گوارا و بهداشتی پیش‌شرط بنیادین سلامت عمومی است (Ebadati and Hooshmand Zadeh, 2014; Solgi and Sheikhzadeh, 2016)، پایش پیوسته وضعیت کیفی آبخوان‌ها نقشی تعیین‌کننده در بهره‌برداری بهینه، حفاظت از منابع و تخصیص متناسب آن‌ها به مصارف شرب، صنعت و بخش کشاورزی ایفا می‌کند (Delbari and Podineh, 2018). در زمینه بررسی کیفیت منابع آب زیر زمینی تحقیقات زیادی انجام گرفته است. در چند سال اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه ارزیابی کیفیت آب انجام شده است. در سال ۲۰۱۸ سه مطالعه با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب، کیفیت آب زیرزمینی در مناطق مختلف را برای کشاورزی ارزیابی کرده‌اند. نتایج این تحقیقات نشان داده‌اند که در برخی مناطق آب برای آبیاری مناسب است، در حالی که در دیگر مناطق به دلیل شوری بالا مناسب نمی‌باشد (Abbasnia et al., 2018; Belkhiri et al., 2018; Yousefi et al., 2018). همچنین مطالعاتی نیز به بررسی کیفیت شیمیایی آب و مکان‌یابی مناطق مستعد برای اجرای سیستم‌های آبیاری پرداخته‌اند (Azad et al., 2018; Torabipoodeh and Hamehzadeh, 2018). از سوی دیگر، ارزیابی کیفیت آب شرب نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تحقیقات زیادی درمورد آن انجام شده است. Rafisharifabad et al. (2017) و Jafari et al. (2018) با توجه به استانداردهای سازمان جهانی بهداشت و استانداردهای ملی، به بررسی کیفیت آب زیرزمینی پرداخته و مشکلاتی مانند سختی بالای آب را شناسایی کرده‌اند. همچنین، تأثیر خشکسالی بر کیفیت آب موضوع دیگری است که توسط محققین (Yousefi et al., 2018) و Soleimani Motlagh et al. (2015) مورد بررسی قرار گرفته است. آنها با استفاده از شاخص‌های خشکسالی مانند SPI و RAI، تأثیر خشکسالی بر کیفیت آب سطحی و زیرزمینی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در زمینه امکان‌سنجی روش‌های آبیاری بر اساس کیفیت آب، تحقیقاتی توسط Dev and Bali (2018) انجام شده که نشان می‌دهد برخی مناطق برای اجرای سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و سایر روش‌های آبیاری مناسب هستند. علاوه بر این، تحلیل‌های هیدروشیمیایی و پهنه‌بندی کیفیت آب توسط عباس نژاد و همکاران (۱۳۹۵) و Feizi et al. (2019) با استفاده از نرم‌افزارهای GIS و AqQA انجام شده است. این تحلیل‌ها به شناسایی عوامل مؤثر بر کیفیت آب و تعیین مناطق با کیفیت آب مناسب یا نامناسب کمک کرده‌اند که این امر در تصمیم‌گیری‌های مدیریت منابع آب بسیار حائز اهمیت است. مطالعات پیشین نشان می‌دهند بررسی تغییرات و طبقه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی در هر منطقه، از اهمیتی حیاتی برخوردار است. این امر، نه تنها برای حفظ سلامتی جامعه، بلکه برای حفاظت از تاسیسات وابسته به آب، مانند سامانه‌های آبیاری، تاسیسات کارخانه‌ها و خطوط انتقال آب، ضروری است. با وجود اهمیت موضوع، تاکنون هیچ پژوهشی به بررسی کیفیت منابع آبخوان قمشه از منظر سه جنبه شرب، کشاورزی و صنعت به طور همزمان نپرداخته است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف پر کردن این خلاء موجود، به بررسی توزیع مکانی پارامترهای تیپ و رخساره آبخوان و همچنین کیفیت آب زیرزمینی آن از نظر شرب، کشاورزی و صنعت می‌پردازد.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی قمشه (شهرضا) در طول شرقی ۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه و عرض شمالی ۳۲ درجه و ۱ دقیقه واقع شده است. کل اراضی آبی ۲۸۸۵۵ هکتار و سطح باغات میوه ۳۲۶۵ می باشد. تعداد ۶۰۶ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، ۱۱۲ رشته قنات و ۲۰ دهنه چشمه و یک رشته کانال آب، منابع آبی شهرستان را تشکیل داده اند. متوسط بارندگی سالیانه ۱۴۰ میلی متر می باشد که بیشترین میزان بارش در ماه های دی و بهمن صورت می گیرد. از لحاظ اقلیمی قسمت های شمالی و مرکزی نیمه خشک با تابستان های گرم و زمستان های نیمه سرد و قسمت های جنوب و جنوب غربی، نیمه مرطوب با تابستان های معتدل و زمستان های سرد می باشند. شکل ۱ محدوده مطالعاتی قمشه را نشان می دهد.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی دشت قمشه

• داده ها و نمونه برداری

در محدوده مطالعاتی قمشه، تعداد چاه های بهره برداری کیفی به ۱۰ حلقه محدود است. در سال ۱۳۹۸، داده برداری کاملی از این چاه ها انجام شده است. به همین دلیل، سال ۱۳۹۸ به عنوان سال مرجع در این مطالعه برای بررسی کیفیت آبخوان قمشه در نظر گرفته شده است. داده های این چاه ها در جدول ۱ ارائه شده اند.

جدول ۱. داده های پایش کیفی چاه های محدوده مطالعاتی قمشه در سال ۲۰۱۹ (میلی اکی والان بر لیتر)

Well Code	Source Type	K (meq/L)	Na (meq/)	Mg (meq/L)	Ca (meq/)	SO4 (meq/L)	Cl (meq/)	HCO3 (meq/L)	TDS (mg/L)	EC (μS/cm)	pH
P1	Deep Well	۰/۰۱	۵	۶/۹	۲/۱	۳/۷۱	۶	۴/۳	۸۸۲	۱۳۵۷	۷/۳
P2	Deep Well	۰/۱	۱۷/۱	۸/۲	۱۱	۹	۲۴	۳/۴	۲۳۲۷	۳۵۸۰	۷/۴
P3	Deep Well	۰/۰۱	۵	۳/۵	۶/۱	۶/۴۱	۴/۴	۳/۸	۹۱۹	۱۴۱۴	۷/۷
P4	Deep Well	۰/۰۱	۱۴	۷	۱۵/۸	۲/۸۱	۳۱/۶	۲/۴	۲۶۳۹	۴۰۶۰	۷/۳
P5	Deep Well	۰/۱	۳۰	۲۱/۵	۵۳/۵	۳/۹	۹۸	۳/۲	۷۱۸۳	۱۱۰۵۰	۷/۲
P6	Deep Well	۰/۲	۳۴	۱۸/۶	۳۸/۴	۶/۹	۸۱	۳/۳	۵۹۱۵	۹۱۰۰	۶/۸
P7	Deep Well	۰/۱	۴۰	۲۰/۸	۲۹/۲	۱۹/۵	۶۶	۴/۶	۵۴۲۱	۸۳۴۰	۷/۲
P8	Deep Well	۰/۱	۱۰	۴/۸	۶	۱/۸	۱۵/۲	۳/۹	۱۴۷۶	۲۲۷۰	۷/۵
P9	Semi-Deep Well	۰/۰۱	۳	۳	۴/۶	۴/۹۱	۲/۸	۳/۹	۶۹۰	۱۰۶۲	۷/۵
P10	Semi-Deep Well	۰/۱	۸	۲/۴	۲/۸	۴/۵	۴	۴/۸	۸۲۸	۱۲۷۴	۷/۶

• ارزیابی کیفیت داده

در آزمایش شیمیایی یک نمونه آب، مجموع مقادیر آنیون ها و کاتیون ها برحسب میلی اکی والان در لیتر باید برابر باشد. دلیل این امر، ترکیب مواد بر اساس نسبت وزن اکی والان گرم آن ها است. عدم برابری این دو مقدار نشان دهنده خطای آزمایش است (صداقت، ۱۳۸۵) و میزان این خطا نباید از ۵ درصد بیشتر باشد (Mazor, 2003). جهت تعیین خطای آزمایش ها از رابطه ۱ استفاده شد. بر اساس این رابطه، میزان مجموع و اختلاف آنیون و کاتیون چاه های موجود در دشت قمشه محاسبه و خطای آزمایش تعیین شد. نتایج نشان می دهد که چاه مقصود بیک (P9) با خطای حدود ۴.۵ درصد، بیشترین خطا را در بین سایر چاه ها دارد که نشان دهنده دقت بالای داده ها است. جدول A.2 درصد خطای تجزیه و تحلیل شیمیایی را نشان می دهد.

$$Error = \frac{|Anion - Kation|}{Anion + Kation} \times 100 \quad (1)$$

• رابطه EC و TDS

هدایت الکتریکی (EC) نشان دهنده توانایی آب در انتقال جریان الکتریکی است. این ویژگی به غلظت یون های موجود در آب و دمای اندازه گیری بستگی دارد. همچنین هدایت الکتریکی رابطه مستقیمی با میزان مواد جامد محلول (TDS) آب دارد. البته این رابطه متغیر بوده و به پارامترهای دیگر آب نیز بستگی دارد (Hayashi, 2004). برای بررسی رابطه بین هدایت الکتریکی آب (EC) و مجموع تمام مواد جامد معلق در آب (TDS) در دشت قمشه، همبستگی بین ۹۰۰ داده از چاه های عمیق، نیمه عمیق، چشمه ها و قنات ها انجام شد. بررسی همبستگی بین هدایت الکتریکی و کل ذرات حل شده در آب نشان داد که رابطه بین این دو پارامتر برای آبخوان دشت قمشه به صورت زیر است:

$$TDS = 0.65 EC + 0.03 \quad (2)$$

شکل A2 همبستگی بین هدایت الکتریکی و کل ذرات حل شده در آب را نشان می دهد. این نمودار همبستگی EC و TDS نشان می دهد که همبستگی قوی و مثبتی بین این دو پارامتر در آبخوان دشت قمشه وجود دارد. بنابراین EC می تواند به عنوان یک شاخص قابل اعتماد برای تخمین TDS در این آبخوان استفاده شود.

• تعیین تیپ و رخساره

ترکیب شیمیایی آب های زیرزمینی در حین عبور از سازندهای سخت (پیوسته) و رسوبات ناپیوسته تغییر و تحول یافته و در این فرایند غلظت آنیون ها و کاتیون ها افزایش می یابد. تیپ آب بر اساس الویت یا تواتر غلظت آنیون ها و رخساره بر اساس الویت غلظت یکی از کاتیون ها تعیین می گردد. به طور کلی آب ها از نظر ترکیب شیمیایی به سه تیپ اصلی بی کربناته (HCO_3)، سولفات (SO_4) و کلروره (Cl) تقسیم شده و هر کدام دارای رخساره کلسیک (Ca)، منیزیک (Mg) و سدیک (Na + K) می باشد (Varade et al., 2018). به منظور تعیین تیپ و رخساره آب آبخوان قمشه، با استفاده از نرم افزار AqQA، نمودار پایپر و استیف ترسیم شد. در نمودار پایپر، درصد یون ها روی مثلث های کناری علامت گذاری می شوند و نقاط متناظر روی مثلث های کناری بر روی لوزی میانی تصویر می شوند. با توجه به تمرکز نقاط، آب ها بر اساس کاتیون ها به سه رخساره منیزیم، کلسیک و سدیم و بر پایه آنیون ها به سه تیپ کربناته، سولفات و کلروره تقسیم بندی می شوند (Piper, 1944).

• بررسی تغییرات شوری آبخوان قمشه

در این مطالعه جهت ارزیابی وضعیت شوری آبخوان، از ۱۰ حلقه چاه (جدول ۱) استفاده شد. پس از ترسیم تیسن و برآورد حدود چاه در نرم افزار ArcGIS، متوسط شوری برای هر سال بدست آمد و سپس کموگراف دشت برای سال های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸ ترسیم گردید. کموگراف نموداری است که معرف کیفیت آب زیرزمینی است، به طوری که میانگین هدایت الکتریکی یا شوری (میکروزیمنس بر سانتی متر) در برابر زمان رسم می شود (چوبین و ملکیان، ۱۳۹۲).

• طبقه بندی کیفیت آبخوان دشت قمشه به منظور شرب

جهت ارزیابی و طبقه بندی کیفیت شرب آبخوان دشت قمشه از نمودار شولر استفاده شد. این نمودار به دلیل سرعت عمل، سهولت مقایسه و نمایش تعداد زیادی نمونه در یک صفحه، بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. مقادیر یون ها در ستون های قائم و با مقیاس لگاریتمی نمایش داده می شوند و نتایج آنالیز شیمیایی آب ها به صورت خط شکسته در آن ترسیم می شوند (صداقت، ۱۳۸۵). طبقه بندی آب شرب براساس دیاگرام شولر در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲. طبقه‌بندی کیفی آب شرب بر اساس نمودار شولر (سبزواری و زینی‌وند، ۱۴۰۱) (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)

Water Potability Classification	pH	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)
Good	<۷/۲	<۲۰	<۴/۵	<۶۹	<۳۷	<۲۸
Acceptable	۷/۸	۲۵	۶	۷۳	۷۳	۳۵
Unsuitable	۹	۸۵	۳۷	۱۰۴	۵۷	۵۴
Poor	۱۰	۱۳۰	۷۲	۷۳۰	۶۵۰	۵۵۰

• طبقه‌بندی کیفیت آبخوان دشت قمشه از نظر کشاورزی

جهت طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی، از نمودار ویلکاکس استفاده شد. مبنای نمودار ویلکاکس، هدایت الکتریکی کل املاح و نسبت جذب سدیم است (Ayers and Westcot, 1985). طبقه‌بندی کیفیت آب کشاورزی بر اساس دیاگرام ویلکاکس در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳. طبقه‌بندی کیفی آب کشاورزی بر اساس نمودار ویلکاکس (سبزواری و زینی‌وند، ۱۴۰۱)

Water Quality	EC ($\mu\text{mho/cm}$)	EC Class	SAR	SAR Class
Excellent	$\text{EC} < ۲۵۰$	C1	$\text{SAR} < ۱۰$	S1
Good	$۲۵۰ < \text{EC} < ۷۵۰$	C2	$۱۰ < \text{SAR} < ۱۸$	S2
Moderate	$۷۵۰ < \text{EC} < ۲۲۵۰$	C3	$۱۸ < \text{SAR} < ۲۶$	S3
Unsuitable	$\text{EC} > ۲۲۵۰$	C4	$\text{SAR} > ۲۶$	S4

• طبقه‌بندی کیفیت آبخوان دشت قمشه از نظر صنعت

آب می‌تواند سبب خوردگی خطوط انتقال و توزیع و رسوب‌گذاری در تاسیسات تبادل حرارتی شود. شاخص لانتزیر یکی از روش‌های تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی است (علیزاده، ۱۳۸۸). این شاخص برای بررسی کیفیت آبخوان دشت قمشه به کار گرفته شد. رابطه ۴ نحوه محاسبه این شاخص را نشان می‌دهد.

$$LSI = pH - pH_c \quad (۴)$$

که در این رابطه pH میزان قلیائیات آب را نشان می‌دهد و pH_c از رابطه ۵ قابل محاسبه است.

$$PHC = P(Ca^{++} + Mg^{++} + Na^{+} + K^{+}) + P(Ca^{++} + Mg^{++}) + P(CO_3^{--} + HCO_3^{--}) \quad (۵)$$

در رابطه ۵ قسمت اول مربوط به ثابت یونیزاسیون و ضریب حلالیت ترکیبات کربنات و وابسته به غلظت کاتیون‌های Ca، Mg، Na و K است (علیزاده، ۱۳۸۸). جدول ۵ تفسیر مقادیر مختلف شاخص لانتزیر را ارائه می‌دهد.

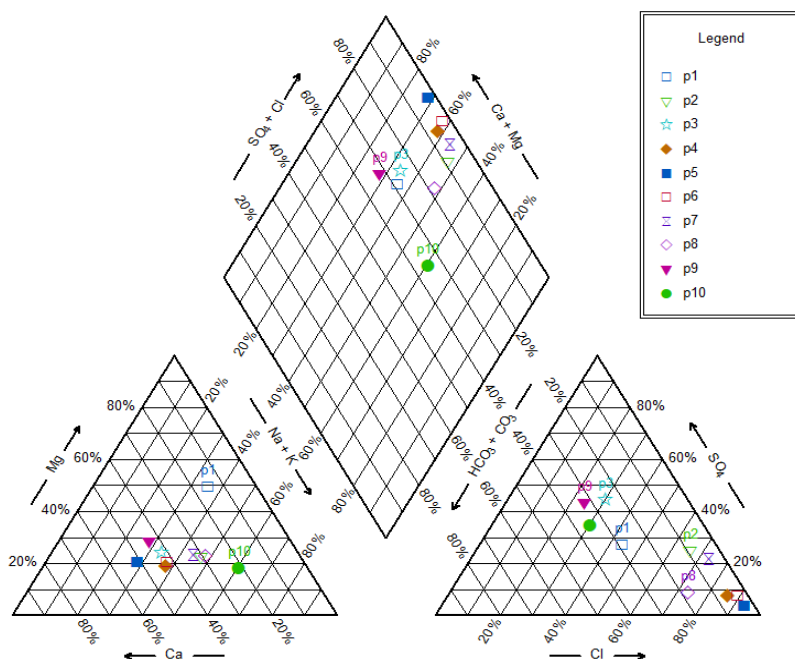
جدول ۴. تفسیر مقادیر شاخص اشباع لانتزیر (سبزواری و زینی‌وند، ۱۴۰۱)

Water Quality	EC ($\mu\text{mho/cm}$)	EC Class	SAR	SAR Class
Excellent	$\text{EC} < ۲۵۰$	C1	$\text{SAR} < ۱۰$	S1
Good	$۲۵۰ < \text{EC} < ۷۵۰$	C2	$۱۰ < \text{SAR} < ۱۸$	S2
Moderate	$۷۵۰ < \text{EC} < ۲۲۵۰$	C3	$۱۸ < \text{SAR} < ۲۶$	S3
Unsuitable	$\text{EC} > ۲۲۵۰$	C4	$\text{SAR} > ۲۶$	S4

۳- نتایج

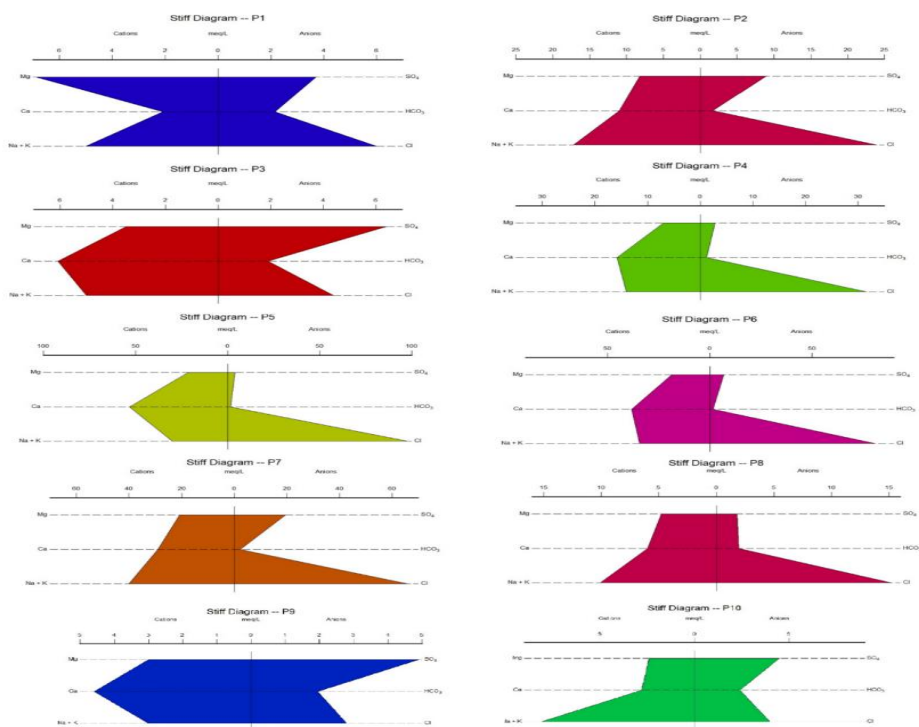
• تیپ و رخساره آبخوان دشت قمشه

شکل ۳ تیپ و رخساره آبخوان دشت قمشه را نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که اکثر نمونه‌ها (به جز P9 و P10) از تیپ کلروره با هدایت الکتریکی بالا هستند. P9 و P10 از تیپ بی‌کربنات و کلسیک هستند.



شکل ۲. نمودار پایپر برای نمونه‌های چاه‌های آب زیرزمینی در دشت قمشه

علاوه بر نمودار پایپر، از نمودار استیف نیز جهت تحلیل کیفیت آب آبخوان دشت قمشه استفاده شد. شکل ۴ دیاگرام استیف را برای نمونه آب چاه‌های این آبخوان نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که نمونه‌های ۲، ۷ و ۸ از نوع سدیم-کلروره، نمونه‌های ۳ و ۹ کلسیک - سولفات و نمونه‌های ۴، ۵ و ۶ از نوع کلسیم-کلروره هستند. جدول ۶ دسته‌بندی تیپ و رخساره هر کدام از نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

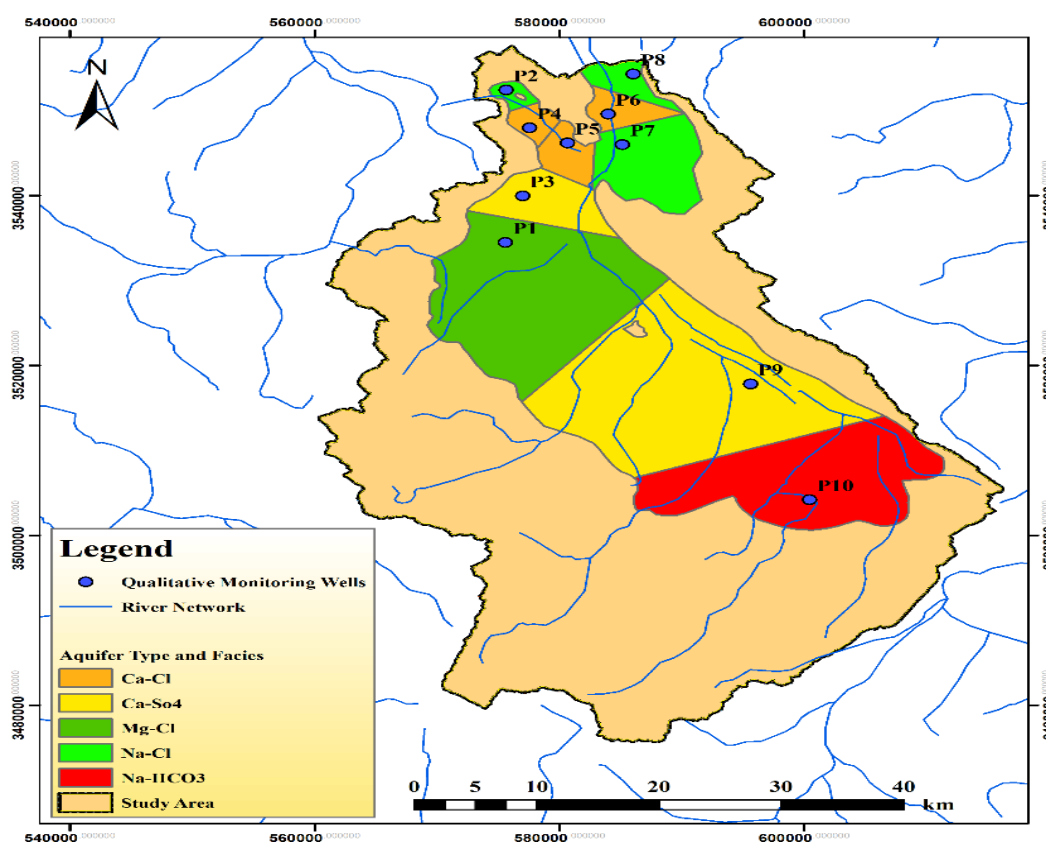


شکل ۳. نمودار استیف برای نمونه‌های چاه‌های آب زیرزمینی در دشت قمشه

جدول ۵. طبقه‌بندی تیپ و رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت قمشه

Well Code	Source Type	Facies	Type
P1	Deep Well	Mg	Cl
P2	Deep Well	Na	Cl
P3	Deep Well	Ca	SO4
P4	Deep Well	Ca	Cl
P5	Deep Well	Ca	Cl
P6	Deep Well	Ca	Cl
P7	Deep Well	Na	Cl
P8	Deep Well	Na	Cl
P9	Semi-Deep Well	Ca	SO4
P10	Semi-Deep Well	Na	HCO3

جهت درک بهتر وضعیت تیپ و رخساره آبخوان دشت قمشه، از تکنیک پهنه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. به منظور انجام پهنه‌بندی ابتدا تیسن‌بندی به نسبت چاه‌ها انجام و محدوده تاثیر هر چاه مشخص شد. در نتیجه هر چاه به عنوان نماینده کیفیت آب منطقه خود در نظر گرفته شد. شکل ۵ پهنه‌بندی تیپ و رخساره آبخوان دشت قمشه را نشان می‌دهد.

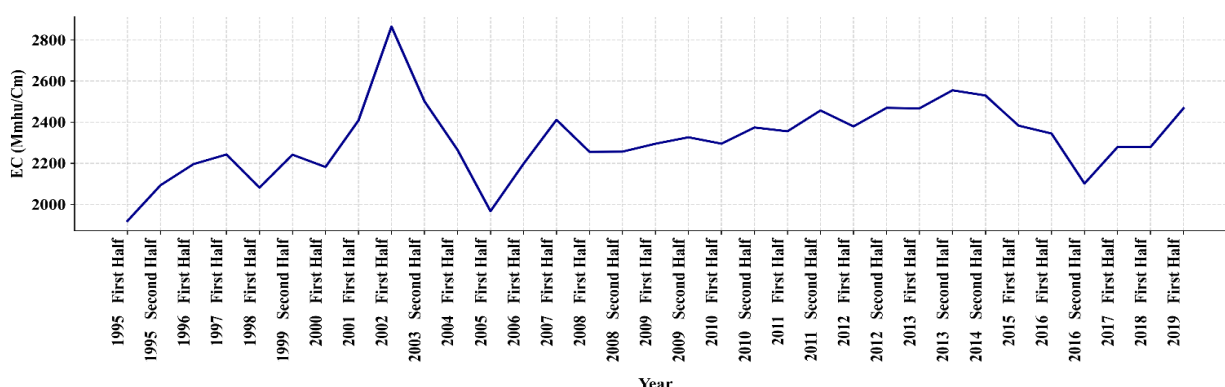


شکل ۴. پهنه‌بندی تیپ‌ها و رخساره‌های آبخوان دشت قمشه

در شکل ۵ پهنه‌های Na-Cl و Mg-Cl به ترتیب نمایانگر آبخوانی هستند که دارای ترکیبات سدیم-کلرید منیزیمی و سدیم-کلرید هستند. کیفیت آب در این دو پهنه به طور کلی مطلوب نیست و برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب نمی‌باشد. در مقابل، پهنه Ca-So4 نمایانگر یک آبخوان با ترکیبات کلسیم-سولفات است. در این پهنه، کیفیت آب به حدی مطلوب است که ممکن است برای استفاده کشاورزی مناسب باشد. همچنین، پهنه Ca-Cl نیز نشان‌دهنده یک آبخوان با ترکیبات کلسیم-کلرید است که کیفیت آب در آن نسبتاً مطلوب است و ممکن است برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب باشد. در نهایت، پهنه Na-HCO3 نمایانگر آبخوانی با ترکیبات سدیم-بی‌کربنات است که کیفیت آب در آن مطلوب است و برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب می‌باشد.

• بررسی تغییرات شوری آبخوان قمشه

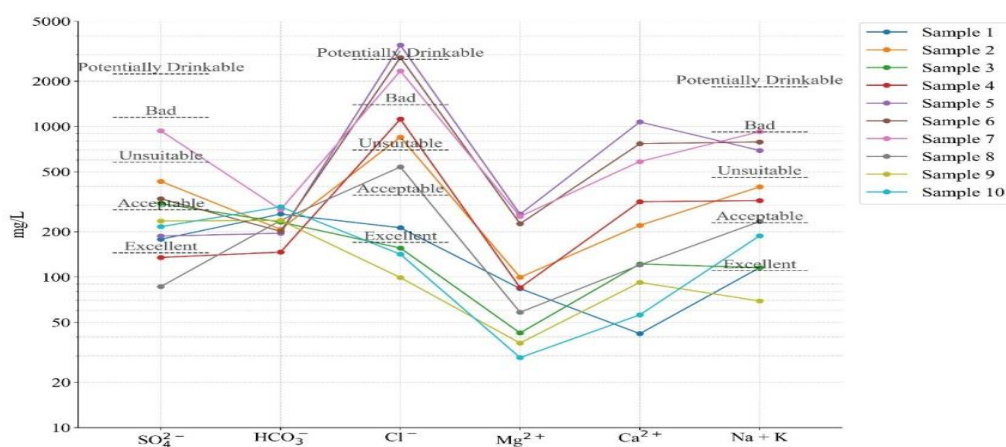
جهت بررسی تغییرات شوری آبخوان قمشه، کموگراف رسم شد. این نمودار نشان دهنده تفاوت معنی دار بین شوری آب در نیمه های اول و دوم سال است. به طوری که میزان EC آب در نیمه دوم سال به طور قابل توجهی بیشتر از نیمه اول است که ممکن است به دلیل تبخیر و تعرق بیشتر در این دوره و در نتیجه تغلیظ آبخوان باشد. روند بلندمدت تغییرات EC در طی ۲۴ سال مورد مطالعه (۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸) متعادل و بدون افزایش یا کاهش معنی داری بود. این موضوع نشان دهنده پایداری نسبی آبخوان قمشه از نظر شوری در بلندمدت است. با این وجود، در نیمه اول سال ۱۳۸۱ جهشی در EC آبخوان مشاهده شد. بررسی ها نشان می دهد که این جهش تاثیر پایدار و بلندمدتی بر شوری آبخوان نداشته است. بررسی دقیق تر داده ها نشان می دهد که مقدار EC آبخوان در سال ۱۳۷۴ برابر با ۱۹۱۹ میکروموس بر سانتی متر بوده و در سال ۱۳۹۸ به ۲۴۶۷ میکروموس بر سانتی متر افزایش یافته است. این افزایش ۵۴۸ میکروموس بر سانتی متر در ۲۴ سال، نشان دهنده روند افزایشی ملایم EC آبخوان در بلندمدت است. با توجه به یافته های این مطالعه، می توان نتیجه گرفت که آبخوان قمشه از نظر EC در وضعیت نسبتاً پایدار و تعادلی قرار دارد. با این حال، به دلیل افزایش ملایم EC در بلندمدت، لازم است پایش و بررسی شوری آبخوان در سال های آینده نیز ادامه یابد. بررسی شرایط شرب آبخوان دشت قمشه نشان می دهد که این آبخوان در وضعیت بحرانی قرار دارد و آب آن غیرقابل شرب است. علت این امر، فراتر رفتن شوری آب از حد مجاز برای شرب (۷۵۰ میکروموس بر سانتی متر) است. شکل ۶ کموگراف آبخوان قمشه را نشان می دهد.



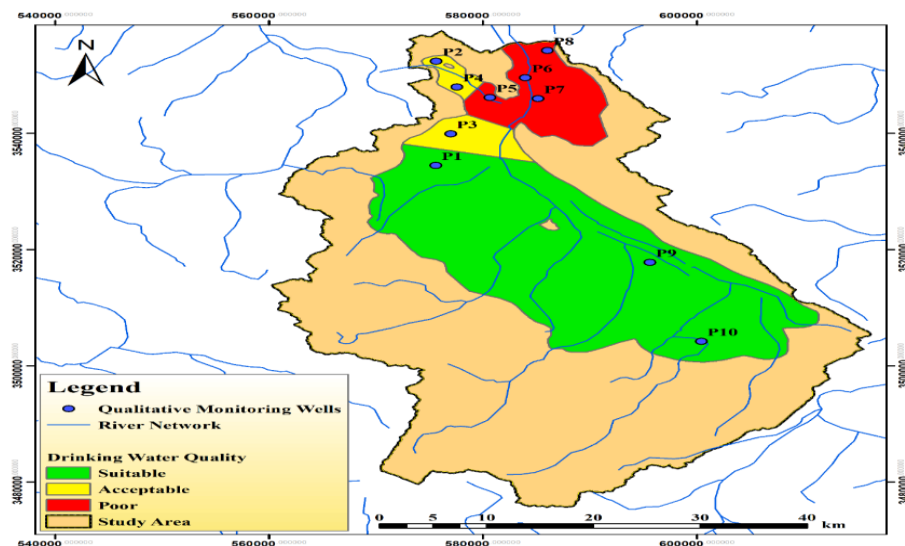
شکل ۵. کموگراف آبخوان دشت قمشه (به دلیل نقص آماری در برخی سال ها، صرفاً داده های شش ماهه ارائه شده است)

• طبقه بندی آب زیرزمینی از نظر شرب

بررسی دیاگرام های شولر (شکل ۷) با در نظر گرفتن دو کلاس خوب و قابل قبول برای آب شرب، نشان می دهد که فقط چاه های P1، P9 و P10 آب شرب با کیفیت مناسب ارائه می دهند. با بررسی دقیق تر دیاگرام های شولر می توان نتیجه گرفت که چاه های P6، P5، P7 و P8 در پایین ترین سطح کیفیت آب قرار دارند و چاه های P2، P3 و P4 کیفیت آب قابل قبولی را ارائه می دهند. جهت درک بهتر وضعیت آبخوان از لحاظ شرب، پهنه بندی برای این منطقه انجام شد (شکل ۸). با توجه به شکل ۸ مشاهده می شود که مناطق جنوبی آبخوان دارای کیفیت مناسب و منطقه شمال شرقی دارای کیفیت قابل قبول و منطقه شمال و شمال غربی دارای کیفیت پایین دارد.



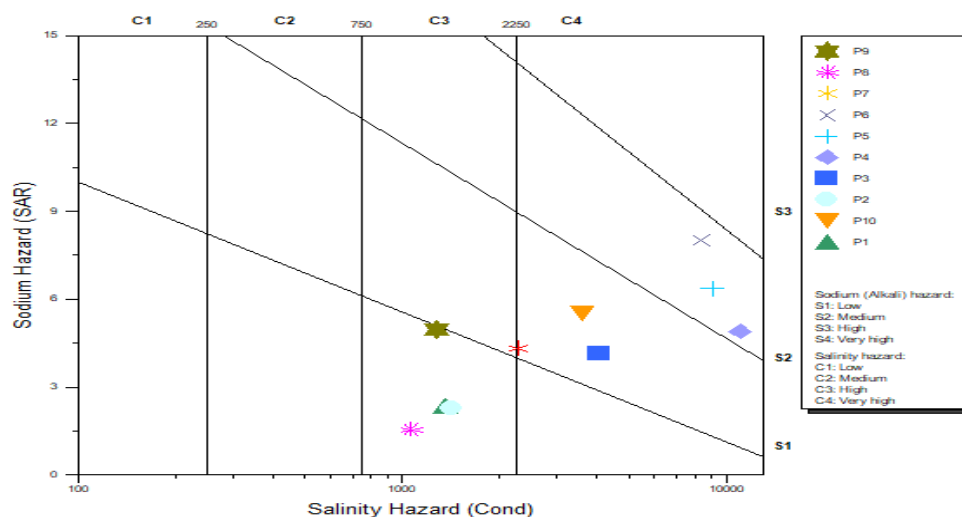
شکل ۶. نمودار شولر برای چاه های P1 تا P10 در دشت قمشه (میلی گرم بر لیتر)



شکل ۷. پهنه‌بندی کیفی آب شرب در آبخوان دشت قمشه

• طبقه‌بندی آب زیرزمینی از نظر کشاورزی

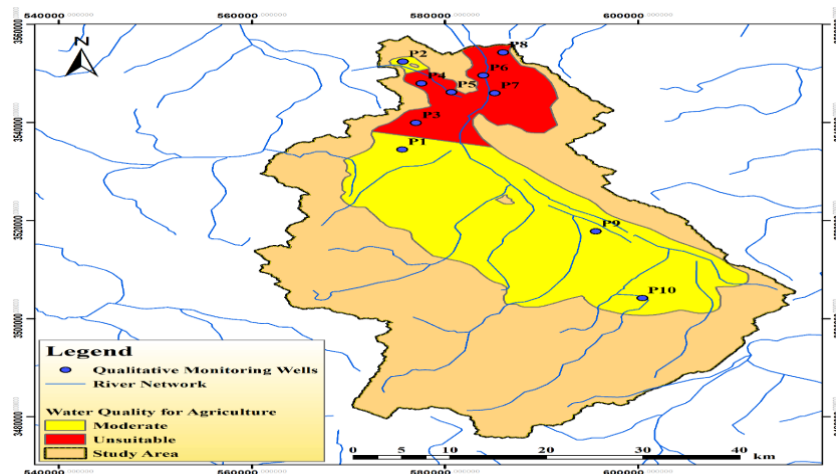
روش طبقه‌بندی ویل کاکس و استفاده از نمودار آن کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی در مطالعات هیدرولوژی است. طبق طبقه‌بندی نمودار ویل کاکس (شکل ۹)، آب‌های مناطق مختلف دشت قمشه اندازه‌گیری و در نمودار نشان داده شده‌اند. برای بررسی بیشتر، کیفیت آب زیرزمینی دشت قمشه با توجه به این طبقه‌بندی، در جدول ۷ برای مصارف کشاورزی ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که فقط آب چاه‌های P1، P2، P9 و P10 قابل استفاده هستند و در دسته آب‌های متوسط قرار می‌گیرند. بقیه نمونه‌های گرفته شده از چاه‌های دشت قمشه، به دلیل کیفیت نامناسب، برای مصارف کشاورزی غیرقابل استفاده هستند. در مصارف کشاورزی، مقادیر SAR (جذب سدیم) و EC بسیار مهم هستند. مقادیر EC بالای ۲۰۰۰ برای کشاورزی مناسب نیستند و EC بالای ۴۰۰۰ باعث کاهش شدید محصول می‌شود. البته برخی محصولات می‌توانند تا حدی EC بین ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ را تحمل کنند. همچنین پهنه‌بندی کیفیت آبخوان برای مصارف کشاورزی در محدوده مطالعاتی انجام شد (شکل ۱۰). نتایج نشان می‌دهد که مناطق جنوب و مرکزی آبخوان دارای وضعیت قابل قبولی برای کشاورزی هستند، در حالی که منطقه شمال آبخوان وضعیت نامناسبی برای کشاورزی دارد.



شکل ۸. نمودار ویل کاکس نمونه‌های آب زیرزمینی دشت قمشه

جدول ۶. طبقه‌بندی کیفی چاه‌های دشت قمشه بر اساس نمودار ویل کاکس

Water Quality	Number of Wells	Well Codes
Moderate	۴	P1, P2, P9, P10
Unsuitable	۶	P3, P4, P5, P6, P7, P8



شکل ۹. پهنه‌بندی کیفی آب کشاورزی در آبخوان دشت قمشه

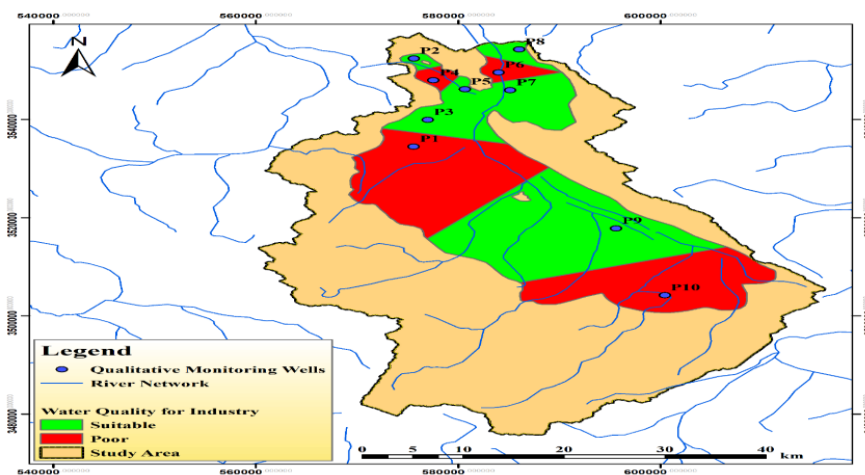
• طبقه‌بندی آب زیرزمینی از نظر صنعت

جهت طبقه‌بندی آب زیرزمینی آبخوان دشت قمشه از نظر صنعت از شاخص اشباع لانژلیه استفاده شد و نتایج در جدول ۸ قابل مشاهده است.

جدول ۷. مقادیر شاخص اشباع لانژلیه در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت قمشه

Well Code	pH	LSI	Indicators
P1	۸/۷	-۰/۵۲	Severe Corrosion
P2	۷/۴	۰/۰۳۰	Stable
P3	۷/۴	۰/۲۸	Stable
P4	۷/۴	-۰/۰۸	Mild Corrosion
P5	۷	۰/۲۳	Stable
P6	۷	-۰/۲۵	Mild Corrosion
P7	۷	۰/۲۰	Stable
P8	۷/۵	۰/۰۱	Stable
P9	۷/۵	۰/۰۹	Stable
P10	۷/۶	-۰/۰۴	Mild Corrosion

با توجه به جدول ۸، آب زیرزمینی چاه‌های P9, P8, P7, P5, P3, P2 برای مصارف صنعتی مناسب هستند. دلیل این امر آن است که LSI آب این چاه‌ها بین ۰ و ۰.۵ قرار دارد. طبق جدول ۵، اگر LSI آب زیرزمینی کمتر از ۰.۵ باشد، آب خاصیت خوردگی شدیدی خواهد داشت و برای مصارف صنعتی مناسب نیست. این خاصیت خوردگی می‌تواند به لوله‌های فلزی آسیب برساند. همچنین، اگر LSI آب زیرزمینی بیشتر از ۰.۵ باشد، آب دارای خوردگی متوسط تا شدید خواهد بود. همچنین پهنه‌بندی کیفیت آبخوان برای مصارف صنعتی در محدوده مطالعاتی انجام شد (شکل ۱۰). نتایج نشان می‌دهد که بخشی از مناطق شمالی، غربی و بخش‌هایی از جنوب شرقی آبخوان دارای کیفیت نامناسبی جهت مصارف صنعتی هستند. این بخش‌ها دارای عوامل آلودگی مختلفی هستند که باعث خوردگی تاسیسات می‌شوند و جهت استفاده در صنایع مناسب نیست‌اند و مناطق مرکزی، شمال شرقی و بخش‌هایی از جنوب شرقی آبخوان دارای کیفیت مناسبی جهت مصارف صنعتی هستند.



شکل ۱۰. پهنه‌بندی کیفی آب از نظر صنعت در آبخوان دشت قمشه

۴- نتیجه گیری

دشت قمشه، واقع در استان اصفهان، یکی از دشت‌های مهم ایران است که با چالش‌های متعددی در زمینه کیفیت آبخوان روبرو است. این مطالعه با هدف بررسی کیفیت آبخوان دشت قمشه انجام شده است. در این مطالعه، از شاخص‌های مختلف کیفی آب، از جمله شولر، ویلکاکس، لانتیر، پایپر و استیف جهت ارزیابی کیفیت آبخوان استفاده شده است. همچنین، از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پهنه‌بندی کیفیت آب استفاده شده است. نتایج نشان داد که شاخص شوری آب در همه نقاط آبخوان دشت قمشه برای مصارف کشاورزی از حد مجاز بیشتر است. کیفیت آبخوان برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت نیز در وضعیت مطلوبی نیست. به طور خاص، بخش‌های شمالی آبخوان برای کشاورزی، شمال و شمال غربی برای شرب، شمال، غرب و جنوب شرقی برای صنعت به شدت نیاز به اصلاح و پایش دارند. بررسی پهنه‌بندی‌های کیفی و پراکنش چاه‌های بهره‌برداری نشان داد که تراکم چاه‌ها در شمال آبخوان زیاد است و کیفیت آب در این منطقه از همه لحاظ پایین‌تر است. عوامل متعددی می‌توانند بر کاهش کیفیت آبخوان دشت قمشه تأثیرگذار باشند مانند کاهش بارندگی، افزایش تبخیر-ترقی و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی که منجر به افت سطح آبخوان و افزایش شوری آن می‌شود. همچنین استفاده از کودها و سموم شیمیایی در کشاورزی و فاضلاب‌های صنعتی می‌تواند آبخوان را آلوده کند. به منظور مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی در دشت قمشه، لازم است اقداماتی در جهت بهبود کیفیت آبخوان انجام شود. کاهش برداشت از آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های نوین آبیاری و افزایش راندمان مصرف آب، اجرای برنامه‌های اصلاح و پایش کیفیت آب شامل شناسایی منابع آلاینده، کنترل و جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به آبخوان و پایش مستمر کیفیت آب، استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار مانند کشاورزی ارگانیک از جمله اقداماتی هستند که می‌توانند کیفیت آبخوان دشت قمشه را ارتقا داده و از این منبع حیاتی برای نسل‌های آینده محافظت کرد.

منابع

- Abbasnia, A., Radfard, M., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Yousefi, M., Soleimani, H., & Alimohammadi, M. (2018). Groundwater quality assessment for irrigation purposes based on irrigation water quality index and its zoning with GIS in the villages of Chabahar, Sistan and Baluchistan, Iran. Data in brief, 19, 623-631.
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture (Vol. 29): Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.
- Azad, N., Rezaei Abajlu, A., Behmanesh, J., (2018), "Locating areas prone to superficial and
- Belkhiri, L., Mouni, L., Tiri, A., Narany, T. S., & Nouibet, R. (2018). Spatial analysis of groundwater quality using self-organizing maps. Groundwater for Sustainable Development, 7, 121-132.
- Delbari, M., & Podineh, O. (2018). Trend analysis and spatial distribution pattern of groundwater quality in Khash region. Geographic Space, 18(63), 25-50.
- Dev, R., & Bali, M. (2019). Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in district Kangra of Himachal Pradesh, India. Journal of the Saudi society of agricultural sciences, 18(4), 462-468.
- Ebadati, N., & Hooshmand Zadeh, M. (2014). Water quality evaluation of Dez River in the Dezful hydrometric station. Iranian journal of Ecohydrology, 1(2), 69-81.
- Feizi, Z., Keshtkar, A. R., & Afzali, A. (2019). Using geostatistical and deterministic modelling to identify spatial variability of groundwater quality. Desert, 24(1), 143-151.
- Hayashi, M. (2004). Temperature-electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion. Environmental monitoring and assessment, 96, 119-128.
- Jafari, K., Asghari, F. B., Hoseinzadeh, E., Heidari, Z., Radfard, M., Saleh, H. N., & Faraji, H. (2018). Groundwater quality assessment for drinking and agriculture purposes in Abhar city, Iran. Data in brief, 19, 1033-1039.
- Mazor, E. (2003). Chemical and isotopic groundwater hydrology (Vol. 98): CRC press.
- Nonparametric in Trends of Groundwater Quality(Case Study:Mazandaran Plain)", Journal of Geografic Space, 18 (64): 201-214. [In Persian]
- Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Eos, Transactions American Geophysical Union, 25(6), 914-928.
- pressure irrigation systems using the fuzzy hierarchical process analysis process in Miandoab Plain, Journal of Irrigation Science and Engineering, 41 (4): 119-132. [In Persian].

- Rafisharifabad, J., Nohegar, A., Zehtabian, GH. R., Gholami, H., (2017), "Study of timespatial variation of groundwater quality for drinking and agriculture in Ardakan-Yazd plain", Desert Management Journal, 9: 107-119. [In Persian].
- Salehzade, M., & Ramezani, M. E. (2018). Evaluation of Drinking Water Quality in Sardasht, Rabat, and Mirabad Using Schoeller Diagram. Pajouhan Scientific Journal, 16(4), 6-13.
- Schultz, B. (2017). Agricultural water management and food security in a sustainable environment. Transport of viruses and colloids in partially-saturated soil and groundwater.18 Seyed Majid Hassanizadeh, Gholamreza Sadeghi, Zhang Qiulan, Jack Schijven, 23.
- Soleimani Motlagh, M., Talebi, A., & Zareei, M. (2016). The study of drought on the quality of surface water resources in Kashkan watershed. Journal of Watershed Management Research, 6(12), 154-165.
- Solgi, E., & Sheikhzadeh, H. (2016). Study of Water Quality of Aras River Using Physico- Chemical Variables. Iran-Water Resources Research, 12(3), 207-213.
- T, F., & Bazrafshan, O. (2023). Spatial and temporal analysis of groundwater quality of Shamil-Ashkara aquifer. Journal of Rainwater Catchment Systems, 11(3), 71-93.
- TORABI, P. H., & DEHGHANI, R. (2019). Assessment Mann-Kendall and Spearman Test Nonparametric in Trends of Groundwater Quality (Case Study: Mazandaran Plain).
- Torabipoodah, H., Dehghani, R., (2019), "Assessment Mann-Kendall and Spearman Test
- Varade, A. M., Yenkie, R., Shende, R. R., Golekar, R., Wagh, V., & Khandare, H. (2018). Assessment of water quality for the groundwater resources of urbanized part of the Nagpur District, Maharashtra (India). American Journal of Water Resources, 6(3), 89-111.
- Yousefi, H., Kashki, A., Karami, M., Hoseinzadeh, A., Reihani, A., (2018), "Compare and zoning ground water resources quality in dry and wet period using SP, RAI and PN indices", Ecohydrology Journal, 5 (3): 993-1003.
- چوبین، ب. و ملکیان، آ. (۱۳۹۲). بررسی رابطه بین نوسانات سطح ایستابی و روند شور شدن آبخوان (مطالعه موردی: آبخوان دشت آسپاس). مجله علمی پژوهشی مدیریت بیابان، ۱: ۱۳-۲۶.
- سبزواری، یاسر، زینی وند، حسین. (۱۴۰۱). ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی جهت کاربردهای مختلف: مطالعه موردی دشت دلفان. فضای جغرافیایی، ۲۲(۷۸)، ۷۱-۵۵.
- صداقت، م، ۱۳۸۵، زمین و منابع آب (آبهای زیرزمینی)، انتشارات دانشگاه پیام نور، صفحه ۳۶۸.
- عباس نژاد، ا. و دهقانی، م.، ۱۳۹۵. بررسی فرایندهای هیدروژئوشیمیایی مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت راین، کرمان با استفاده از روش‌های زمین آمار، ژئوشیمی. شماره ۵ جلد ۲ صفحه‌های ۱۴۵ تا ۱۵۵.
- علیزاده ا. (۱۳۸۸). آبیاری قطره‌ای (اصول و کاربرد). انتشارات آستان قدس رضوی، صفحه ۴۹۳.