Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Spatial and temporal analysis of groundwater quality of Shamil-Ashkara aquifer

Fariborz Tara[1], **Ommolbanin Bazrafshan** [*2]

1. Former M.Sc. Student,, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran., Email: fariborz.tara@ut.ac.ir
2. Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran., Email: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

ARTICLE INFO

Article Type:
Research Paper

Article history
Received: 21 July 2023
Revised: 16 August 2023
Accepted: 25 August 2023
Published online: 06 October 2023

Keywords:
Groundwater quality index, Shamil-Ashkara aquifer, Spatial changes, Trend analysis.

ABSTRACT

Groundwater is the main source of fresh water in arid and semi-arid regions, which make them resilient against lack of rainfall. Considering the great impact of groundwater quality on water and soil health, its evaluation is important. In this study, the assessment of the quality of underground water resources of the Shamil plain aquifer was carried out in Hajiabad county of Hormozgan province using the groundwater quality index (GQI) in the GIS environment. In this study, the results of the analysis of ten chemical parameters of calcium, sodium, magnesium, potassium, sulfate, bicarbonate, chloride, electrical conductivity, total dissolved solids and total hardness were used in 9 wells between 2017 and 2023. Then, using the geographic information system (GIS), the concentration map of the variables was first drawn using the IDW (interpolation) method, and based on the WHO standard, a normal and rank map was prepared, and by extracting the weight of each component from the rank map, a qualitative index map was prepared. Also, the time analysis was analyzed by Mann-Kendall and Pettit trend analysis test in two wet and dry periods of the year. Based on the results of time analysis with Mann-Kendall, all the physicochemical variables of underground water have a decreasing trend in two periods and GQI has an increasing trend, and the time of change in most of them was reported by Petit method, 2013. Also, based on the results of spatial analysis, all the ten investigated variables, except for bicarbonate and potassium, have similar changes in the plain. The group of variables with similar spatial changes on the level of the plain has the lowest concentration in the southern parts of the plain, and its concentration gradually increases in the northern parts of the plain. During the studied period, the groundwater quality index (GQI) was between 96 and 97 and it is placed in the appropriate category based on the WHO standard.

Citation: Bazrafshan, O., & Tara, F. (2023). Spatial and temporal analysis of groundwater quality of Shamil-Ashkara aquifer. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 11(3), 71-93.
DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association © Author(s)

***Corresponding author:** Ommolbanin Bazrafshan
Address: Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
Tel: +989112720305
Email: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems 2023, Volume 11, Issue 3

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

Spatial and temporal analysis of groundwater quality of Shamil-Ashkara aquifer

Fariborz Tara[1], Ommolbanin Bazrafshan[*2]

1. Former M.Sc. Student, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: fariborz.tara@ut.ac.ir
2. Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran, Email: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Groundwater sources are considered as the main source of drinking and agricultural water supply in most regions of Iran. Considering that natural and human activities lead to changes in the quality of groundwater, it is necessary to monitor the quality of these valuable resources in order to protect them, especially for drinking. Groundwater quality assessment using Geographical Information System (GIS) and Groundwater Quality Index (GQI) is a cost-effective way to evaluate and control the quality of ground water which has a variety of qualitative parameters and quantitative values, and it can be used as to be a useful tool and method for water planners and decision makers in monitoring and managing the quality of groundwater. Several quality indicators (such as GQI-GWQI-FGQI) are used in different researches that combine different parameters and compare them with global standards (WHO) in investigating the spatial changes of groundwater quality from different perspectives. In arid and semi-arid areas like Shamil Ashkara plain, ground water sources are obviously considered the most important source of water supply, if the quality of these waters is suitable, they can be easily accessed by digging wells. The purpose of the present research is to determine the quality of the ground water of Shamil plain in Hormozgan province.

Methodology: To carry out this study, from the results of qualitative analysis of 10 chemical parameters of calcium, sodium, magnesium, potassium, sulfate, bicarbonate, chloride, electrical conductivity, total dissolved solids and total hardness in water samples of 9 wells located in Shamil Ashkara Plain, obviously in the period of 2008 It was used until 2018, which was obtained from the regional water company of Hormozgan province. GQI index was used to estimate water quality and their spatial changes were displayed using GIS and IDW technique. In addition to estimating the spatial changes of each variable in the study area, their temporal changes in two periods of wet and dry and the trend of changes and the point of change were investigated with the Mann-Kendall and Pettit trend analysis test. The geological formations of the plain include Bangestan, Aghajari, Gachsaran, Asmari; Razak, Hormuz, Gurpi, Mishan and alluviums of the Quaternary era, the studied aquifer was formed in the Quaternary alluvial formation and it is surrounded by the Bakhtiari and Aghajari conglomerate formations. The average annual rainfall in this plain is less than 200 mm and the potential evaporation is 2640 mm per year.

Results and Discussion: Based on the results of the EC variable from 2008 to 2014 (Figure 1), it shows a significant increase in the dry period of the year and with a smaller slope in the wet period of the year, and this decrease continues in 2017 with a greater slope and a noticeable change. According to Hormozgan regional water report (HWRC, 2023), artificial feeding plan was implemented in this plain in 2017 and its first water withdrawal was carried out in March 2027. Yu and Wang (2004) also reported the increase of some elements such as F, Cl and SO_4 in the study of the effects of artificial nutrition after several years in a region in China.

***Corresponding author:** Ommolbanin Bazrafshan
Address: Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
Tel: +989112720305
Email: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

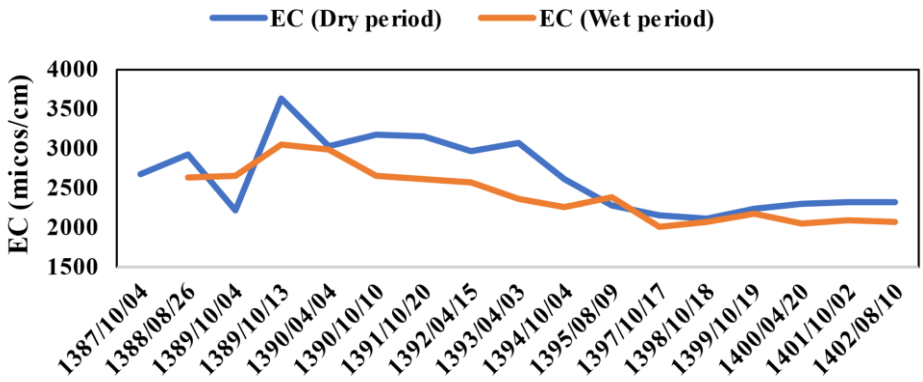


Figure 1- Temporal variation of EC in dry and wet period in case study

All groundwater quality variables in the dry and wet season have a decreasing or negative trend, among the investigated variables, K in the two investigated seasons and Cl in the wet season have a significant decreasing trend in the desired confidence level. Based on the results of GQI in both wet and dry periods, there is a significant increasing trend at the 95% confidence level. According to the results of the Petit test, most of the variables except potassium, chlorine and sodium do not have a significant breakpoint or mutation, and in most of the variables, the breakpoint was recorded in 2013. According to the results, the rain variable has a positive trend in both wet and dry seasons, but it has no significant trend in other months except in November. The Man-Kendall statistic shows higher values in the wet period of the year (February to June) than in the dry period of the year. The increase in rainfall in many studies in the south of the country and Hormozgan province, especially in the wet period of the year or the second half of the solar year, especially from March to April by researchers such as (Mazidi et al., 2022, Bazrafshan et al., 2017; Nazem Alsadat et al., 2006) has been reported. For most of the months, the jump time has been reported by Petit test in 2010 and 2011.

The spatial changes of all variables except bicarbonate and potassium are similar, so that the concentration of most elements increases from south to north. The average changes of three variables, EC, TDS and TH, were found to be higher than the WHO standard. The maximum hydraulic slope is in the eastern areas and the minimum is in the northern and western areas of the aquifer (Bahari Meimandi et al., 2023).

Due to the minor changes of the variables in the wet and dry season, the average values of the data were used to calculate the GQI. The range of changes of this index is between 96 and 97, which puts the water quality in the appropriate category.

Conclusion: The followings were concluded from this research:

• Spatial changes of the ten qualitative variables under investigation have a similar trend in the plain, except for bicarbonate and potassium.

• The group of variables with similar spatial changes on the level of the plain has the lowest concentration in the southern parts of the plain, and its concentration gradually increases in the northern parts of the plain.

• The results of time changes and Man-Kendall trend analysis showed that all the variables have a decreasing trend in two wet and dry periods, which started from 2013 and the rainfall is increasing in this period, and the rainfall changes started from 2015. It has been since.

• According to the zoning map, the quality of the aquifer with the GQI index of Shamil plain is clearly in the right category. Also, considering the sensitivity of the model to the TH factor compared to another parameter.

Ethical Considerations

Data Availability Statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: This research received no external funding.

Authors' contribution: Fariborz Tara :Writing, Resources, Software, Manuscript editing; Ommolbanin Bazrafshan: Formal analysis and investigation, Visualization, Supervision, Conceptualization, methodology.

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

Acknowledgement: Hereby, we express our gratitude to the Hormozgan Regional Water Company, the director of the research department, Dr. Zare, and Mr. Dehghan from the data Supply Department.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

تحلیل مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت شمیل آشکارا

فریبرز تارا[۱]، ام‌البنین بذرافشان[۲*]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران، fariborz.tara@ut.ac.ir
۲. دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۳۰ تیر ۱۴۰۲
بازنگری: ۲۵ مرداد ۱۴۰۲
پذیرش: ۳ شهریور ۱۴۰۲
انتشار برخط: ۱۴ مهر ۱۴۰۲

واژه‌های کلیدی:
آبخوان شمیل آشکارا، شاخص کیفی آب زیرزمینی، تحلیل روند، تغییرات مکانی.

چکیده

آب‌های زیرزمینی منبع اصلی آب شیرین در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند که سبب تاب‌آوری در برابر کمبود بارش می‌شوند. با توجه به تاثیر بسزای کیفیت آب زیرزمینی سلامت آب و خاک، ارزیابی آن حائز اهمیت آن بر جوامع انسانی حائز اهمیت است. در این مطالعه، ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت شمیل آشکارا در منطقه حاجی آباد استان هرمزگان با استفاده از شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) در محیط GIS انجام شد. در این مطالعه، از نتایج تحلیل ده پارامتر شیمیایی کلسیم، سدیم، منیزیم، پتاسیم، سولفات، بیکربنات، کلراید، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول و سختی کل در ۹ حلقه چاه در بازه زمانی ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۲ استفاده شد. سپس به وسیله سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، ابتدا نقشه غلظت متغیرها به روش IDW (درون‌یابی) ترسیم و بر اساس استاندارد WHO، نقشه نرمال و رتبه تهیه و با استخراج وزن هر متغیر از نقشه رتبه، نقشه شاخص کیفی تهیه شد. هم‌چنین تحلیل زمانی متغیرها با آزمون تحلیل روند من-کندال و جهش آن‌ها را با آزمون پتیت در دو دوره تر و خشک سال مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج تحلیل زمانی با من-کندال، تمامی متغیرهای فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی در دو دوره دارای روند کاهشی و GQI دارای روند صعودی است که زمان تغییر در اغلب آن‌ها با روش پتیت، سال ۱۳۹۳ گزارش شد. هم‌چنین، بر اساس نتایج تحلیل مکانی، تمام ده متغیر مورد بررسی به استثناء بیکربنات و پتاسیم، دارای تغییرات مشابهی در دشت هستند. دسته متغیرهای با تغییرات مکانی مشابه در سطح دشت در بخش‌های جنوبی دشت دارای کم‌ترین غلظت و در بخش‌های شمالی دشت به‌تدریج بر غلظت آن افزوده می‌شود. طی دوره مورد بررسی، شاخص کیفی آب زیرزمینی (GQI) بین ۹۶ تا ۹۷ بوده و بر اساس استاندارد WHO در رده مناسب قرار می‌گیرد.

استناد: بذرافشان، ام‌البنین، و تارا، فریبرز (۱۴۰۲). تحلیل مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت شمیل آشکارا. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۱(۳)، ۷۱-۹۳.

DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5

© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

* **نویسنده مسئول:** ام‌البنین بذرافشان
نشانی: دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
تلفن: ۰۹۱۱۲۷۲۰۳۰۵
پست الکترونیکی: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

مقدمه

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منبع تامین آب شرب برای اغلب مردم جهان به‌ویژه مناطق خشک و نیمه خشک دنیاست که به‌طور ذاتی دارای کمبود آب هستند. از طرفی با توجه به کیفیت مناسب آن‌ها، در مناطق دورافتاده و روستایی که امکان دسترسی به آب تصفیه شده ندارند، به‌عنوان یک منبع آب قابل اطمینان محسوب می‌شود. بدین‌منظور تا زمانی که کیفیت آب زیرزمینی این مناطق به‌درستی ارزیابی نشود، نمی‌توان از این منبع آب شرب به نحو مطلوب استفاده کرد (Gorai et al., 2016).

ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای اطمینان از استفاده ایمن و پایدار از این منابع مهم است. کیفیت آب به معنای ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی لازم برای مصارف آب در بخش‌های مختلف است. بنابراین، نظارت بر کیفیت آب مهم است زیرا آب سالم برای سلامت انسان و یکپارچگی آبزیان در اکوسیستم‌ها ضروری است. با این حال، توصیف وضعیت کلی کیفیت آب‌های زیرزمینی به‌دلیل تنوع مکانی آلاینده‌های متعدد و طیف وسیعی از شاخص‌های قابل اندازه‌گیری (شیمیایی، فیزیکی و زیستی) امری طاقت‌فرساست (Babiker et al., 2007). در این زمینه، شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI)، با ترکیب داده‌های آب با کیفیت های مختلف در دسترس، می‌تواند ارزیابی و نظارت کیفیت آب را به شکلی قابل درک در ارائه دهد. این شاخص ارائه‌دهنده روشی برای مختصرسازی شرایط کلی کیفیت آب است که می‌تواند به‌خوبی ارائه شود و به درک این مسئله که آیا کیفیت کلی آب زیرزمینی خطری بالقوه برای استفاده‌های مختلف آب است یا خیر، کمک می‌کند. در نهایت این روش به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخون و نشان دادن موفقیت در حفظ و بهبود آن کمک می‌کند. در واقع، شاخص کیفیت آب، پارامترهای مختلف کیفی آب را برای ارائه مقدار شاخص نهایی با هم ترکیب می‌کند که می‌تواند برای مقایسه مکانی استفاده شود (مصلح و همکاران، ۱۳۹۵).

سیستم اطلاعات جغرافیایی یا GIS یک سامانه پیشرفته کامپیوتری به‌منظور جمع‌آوری، ذخیره، تحلیل و نمایش اطلاعات مکانی است. این سامانه دارای قابلیت منحصر به فرد تلفیق، سازمان‌دهی و فهم ارتباطات مکانی بین متغیرهای مختلف است. کلیه داده‌ها در این سامانه دارای مشخصه جغرافیایی بوده و قابلیت بصری‌سازی بالایی دارد. یکی از کاربردهای متنوع این سامانه در حوزه آب‌های زیرزمینی برای تحلیل و هم پوشانی داده‌ها است (Babiker et al., 2007). ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و شاخص کیفی آب زیرزمینی (GQI) یک روش مقرون به صرفه برای ارزیابی و بررسی کیفیت آب زیرزمینی که دارای تنوعی از پارامترهای کیفی و مقادیر کمی است بسیار مطلوب است و می‌تواند به‌عنوان یک ابزار و روش مفید برای برنامه‌ریزان و تصمیم گیرندگان آب در نظارت و مدیریت کیفیت آب زیرزمینی منطقه باشد. شاخص‌های کیفی متعددی (مثل FGQI–GQI-GWQI) در پژوهش‌های مختلف که پارامترهای مختلف را با یکدیگر تلفیق و با استانداردهای جهانی (WHO) مقایسه می‌کنند، در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی از منظرهای مختلف به‌کار گرفته می‌شوند (Jha et al., 2020). به‌عنوان نمونه Jha و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی جنوب هند برای استفاده شرب با استفاده از شاخص کیفی آب (GQI) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند. نتایج مدل‌سازی GQI نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی در بیش‌تر بخش‌های شرقی و جنوبی منطقه مورد مطالعه برای آشامیدن نامناسب است. هم‌چنین، da silva و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی شاخص کیفی آب زیرزمینی منطقه‌ای (GQIR)، در آبخوانی در شمال شرقی برزیل پرداختند. آن‌ها از نتایج تحلیل ۱۲ پارامتر شیمیایی در هشت حلقه چاه استفاده کردند که در این میان فسفر در ۷۵ درصد نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز بود. نتایج نشان داد که مقدار شاخص کیفی در فصول مرطوب بین ۶۱/۴ تا ۷۵/۵۹ و در فصول خشک بین ۵۵/۰۴ تا ۷۲/۹۲ متغیر بوده و بدترین شاخص کیفی در فصول خشک اتفاق افتاده است.

Verma و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی شاخص کیفی آب زیرزمینی منطقه بوکارو در هند با استفاده از شاخص کیفیت آب WQI و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند. نتایج نشان داد که مقدار بالای WQI در چندین نمونه آب زیرزمینی منطقه بوکار برای مصرف مستقیم مناسب نیستند، و قبل از استفاده برای شرب نیاز به تصفیه دارد. و هم‌چنین نتایج تحلیل ماهیت کمی اسیدی تا کمی قلیایی آب زیرزمینی در منطقه را نشان می‌دهد. هم‌چنین غلظت TDS، NO3، F-، HCO3-، Mg، Ca و TH از حد مجاز تعریف شده توسط اداره استاندار هند (BIS) و سازمان بهداشت جهانی (WHO) بیش‌تر بود. در مطالعه دیگر Mojarad و همکاران (۲۰۲۱) کیفیت آب زیرزمینی شهرستان دیر در استان بوشهر با استفاده از شاخص کیفی آب زیرزمینی (GQI) را ارزیابی نمودند. در این مطالعه، از نتایج تحلیل شیمیایی نیترات، کلسیم، سدیم، منیزیم، پتاسیم، سولفات، بیکربنات، کلراید، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول و سختی کل استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار شاخص کیفی آب بین ۵۱ تا ۶۱ در این شهرستان است. در پژوهشی دیگر، مجیدی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از ۱۳ نمونه آب زیرزمینی به بررسی شاخص کیفی آب زیرزمینی (GQI) منطقه افیولیتی افچنگ شمال سبزوار پرداختند. شاخص GQI بر مبنای مقایسه با مقادیر رهنمود سازمان جهانی بهداشت (WHO) و وزن‌دهی مناسب به هر پارامتر محاسبه شد. مقدار این شاخص برای نمونه‌های مورد بررسی، از ۸۵/۶۱ تا ۹۲/۶۵ متغیر بود و ۴۶ درصد از نمونه‌های مورد بررسی در رده مناسب و ۵۴ درصد از

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

نمونه‌ها در رده قابل قبول برای آشامیدن قرار گرفتند. رجاییان و همکاران (۱۴۰۰) کیفیت آبخوان دشت هشتگرد را با استفاده از شاخص CCME-WQI مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج شاخص CCME-WQI و هم‌چنین توزیع فراوانی هدایت الکتریکی، نیترات و سولفات در آبخون دشت هشتگرد نشان داد که در بیش‌تر نقاط محدوده مورد مطالعه، آب مناسب مصرف شرب نیستند و با گذشت زمان وضعیت کیفی در برخی مناطق، نامطلوب‌تر شده است. علاوه بر این، عباسی و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت عجب شیر بر پایه شاخص کیفی آب زیرزمینی (GQI) و سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. بدین‌منظور از ۱۰ پارامتر شیمیایی استفاده و نقشه شاخص کیفی تهیه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار شاخص کیفی آب بین ۶۱ تا ۸۱ در رده متوسط تا قابل قبول است. تحلیل حساسیت مدل نشان داد که شاخص کیفی نسبت به پتاسیم حساس‌تر است.

عیدی و امیری (۱۴۰۱) به ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه دهرود و تنگه ارم دشتستان در استان بوشهر با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) پرداختند. برای این منظور، ۱۰ چاه آب زیرزمینی در داخل دشت انتخاب و کیفیت آب آن‌ها در دو فصل خشک و تر اندازه‌گیری شد. نتایج تحقیق نشان داد، بهترین شاخص کیفیت آب با میانگین ۱۴۲ متعلق به چاه شماره ۵ (نزدیک آبادی تنگ ارم) و بدترین شاخص کیفیت آب با میانگین ۷۸۹ مربوط به چاه ۱۰ (نزدیک آبادی دهرود) است. مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی با روش کریجینگ نشان داد، چاه‌های نزدیک به آبادی تنگ ارم از کیفیت بهتری برخوردار هستند و کیفیت آب در نزدیکی روستای دهرود در جنوب شرقی آبخوان کاهش می‌یابد. احمدی (۱۴۰۱) از شاخص کیفیت آب (WQI) برای بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت ورامین در بازه ۱۰ ساله (۱۳۸۷–۹۷) استفاده نمود. بر اساس این شاخص، در سال ۱۳۸۷، ۴۲/۵۱ درصد منطقه دارای آب نامناسب است که این مقدار در سال ۱۳۹۷ به ۴۵ درصد کاهش یافته است، هم‌چنین نتایج نشان داد که قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی منطقه در بازه ۱۰ ساله با وجود بهبود کیفیت آب هم‌چنان دارای کیفیت نامناسب برای شرب است. دهرمی و امیری (۱۴۰۲) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی حوضه آبخیز دهرم استان فارس یا استفاده از GQI پرداختند. بر اساس نتایج، میانگین GQI از ۸۲/۴۶ به ۵۷/۳۶ در یک دوره ۷ ساله (۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰) کاهش یافته، که نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب بود. کیفیت آب زیرزمینی منطقه در سال ۱۳۹۳ دارای کیفیتی مطلوب بوده و در محدوده خیلی مناسب قرار داشت اما در سال ۱۴۰۰ کیفیت آب از خیلی مناسب و مناسب به ضعیف و حتی بد تغییر کرده است. یعقوبی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت موسیان در استان ایلام پرداختند. نتایج نشان داد که افت آب زیرزمینی اتفاق افتاده در دشت، سبب افزایش پارامتر EC، TH و TDS در منطقه مورد مطالعه، از استاندارد جهانی فراتر رفته است. از دیگر عوامل موثر بر کیفیت نامطلوب آب‌های زیرزمینی دشت، بارش بسیار کم در منطقه، خشکسالی‌های پی در پی و در نهایت وجد سازندهای آغاجاری است. برنا و محمدپور زنگنه (۱۳۹۵) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت زیدون شهرستان بهبهان پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد که همزمان با بارش، غلظت یون‌ها و املاح آب زیرزمینی در این دشت، بیش‌تر می‌شود، بدین‌معنی که در زمان ترسالی‌ها همراه با بارندگی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان نامناسب‌تر می‌شود که پس از بررسی‌های به عمل آمده، حضور سازندهای گچساران، میشان و آغاجاری در شمال دشت، بالا بودن سطح آب زیرزمینی در بعضی از مناطق به‌ویژه مرکز دشت، از علل افزایش غلظت یون‌ها در زمان بارندگی در آبخوان زیدون است.

توصیف وضعیت کلی کیفیت آب زیرزمینی به‌دلیل تنوع مکانی آلاینده‌های مختلف بسیار دشوار است. علاوه بر این، مانند کیفیت آب‌های سطحی، ساده کردن آن به چند پارامتر ساده، دشوارتر است. به‌طورکلی می‌توان شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی را به پنج دسته زیستی (باکتری‌ها، جلبک‌ها)، فیزیکی (دما، کدورت و شفافیت، رنگ، شوری، جامدات معلق، جامدات محلول)، شیمیایی (PH، اکسیژن محلول). نیاز زیستی به اکسیژن، مواد مغذی (از جمله نیتروژن و فسفر)، ترکیبات آلی و معدنی (از جمله سموم)، زیبایی‌شناختی (بو، آلودگی، رنگ و ماده شناور) و مواد رادیواکتیو تقسیم نمود. بنابراین، دامنه شاخص‌های قابل اندازه‌گیری بسیار گسترده بوده و هزینه ارزیابی و نظارت همه شاخص‌ها بسیار زیاد است. بر همین اساس، منابع معمولاً به سمت ارزیابی آلاینده‌هایی هدایت می‌شوند که برای محیط محلی یا برای استفاده خاص از آب مهم هستند. مرور منابع مختلف نشان می‌دهد که شاخص‌های متعددی در بررسی و ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی به‌کار رفته است، شاخص GQI به‌دلیل سادگی ورودی و اعمال وزن روی متغیرها، در نظر گرفتن طیف وسیعی از انواع دسته‌بندی کیفیت آب و امکان پهنه‌بندی مکانی آن در سطح دشت از استقبال بیش‌تری برخوردار بوده است.

در مناطق خشک و نیمه خشک همانند دشت شمیل آشکارا منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع تامین آب محسوب می‌شوند، در صورت مناسب بودن کیفیت این آب‌ها، دسترسی به آن‌ها از طریق حفر چاه به آسانی امکان‌پذیر است. لذا هدف از تحقیق حاضر، تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت شمیل آشکارا از طریق بررسی خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی، پهنه‌بندی کیفی متغیرها و در نهایت نقشه شاخص کیفیت آب زیرزمینی بر پایه سامانه اطلاعات جغرافیایی و با به‌کارگیری استاندارد شرب WHO است که با تحلیل حساسیت مدل اثر متغیرهای مختلف بر افزایش یا کاهش مقدار نهایی شاخص کیفی آب زیرزمینی ارزیابی شود. روش استفاده شده با توجه به طیف

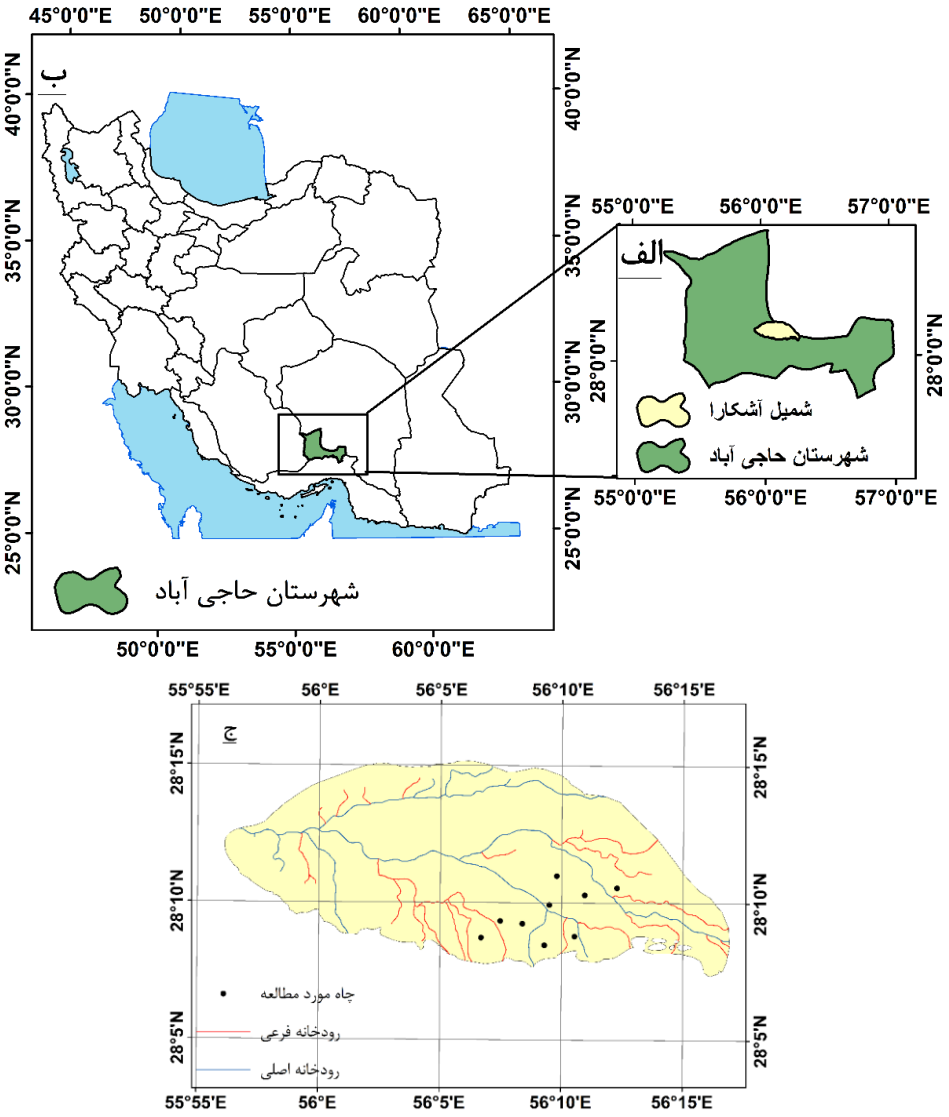
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

گسترده‌ای از پارامترهای شیمیایی کیفی آب می‌تواند یک روش مقرون به صرفه برای ارزیابی باشد. ضمناً تاکنون بررسی مشابهی در دشت شمیل آشکارا انجام نشده است.

مواد و روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

این مطالعه در دشت شمیل آشکارا انجام شده است. این دشت با وسعت ۱۱۰۶ کیلومتر مربع از لحاظ جغرافیایی در محدوده ۵۵ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی در شمال شرقی استان هرمزگان و نزدیکی مرز استان کرمان واقع شده است (شکل ۱). سازندهای زمین‌شناسی دشت شامل بنگستان، آغاجاری، گچساران، آسماری؛ رازک، هرمز، گورپی، میشان و آبرفت‌های دوران کواترنر هستند. آبخوان مورد مطالعه در سازند آبرفتی کواترنری قرار دارد و سازند کنگلومرای بختیاری و آغاجاری آن را احاطه کرده است. میانگین سالانه بارندگی در محدوده این دشت کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر و میزان بالقوه تبخیر به‌طور میانگین ۲۶۴۰ میلی‌متر در سال است. شکل ۲ تغییرات تراز آبخوان و بارندگی در دوره مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در سال ۱۳۹۷ طرح تغذیه مصنوعی در آبخوان مذکور توسط شرکت آب منطقه‌ای هرمزگان اجرا شد که آبگیری آن از اسفند ۱۳۹۷ آغاز شده و در حال حاضر نیز فعال است.

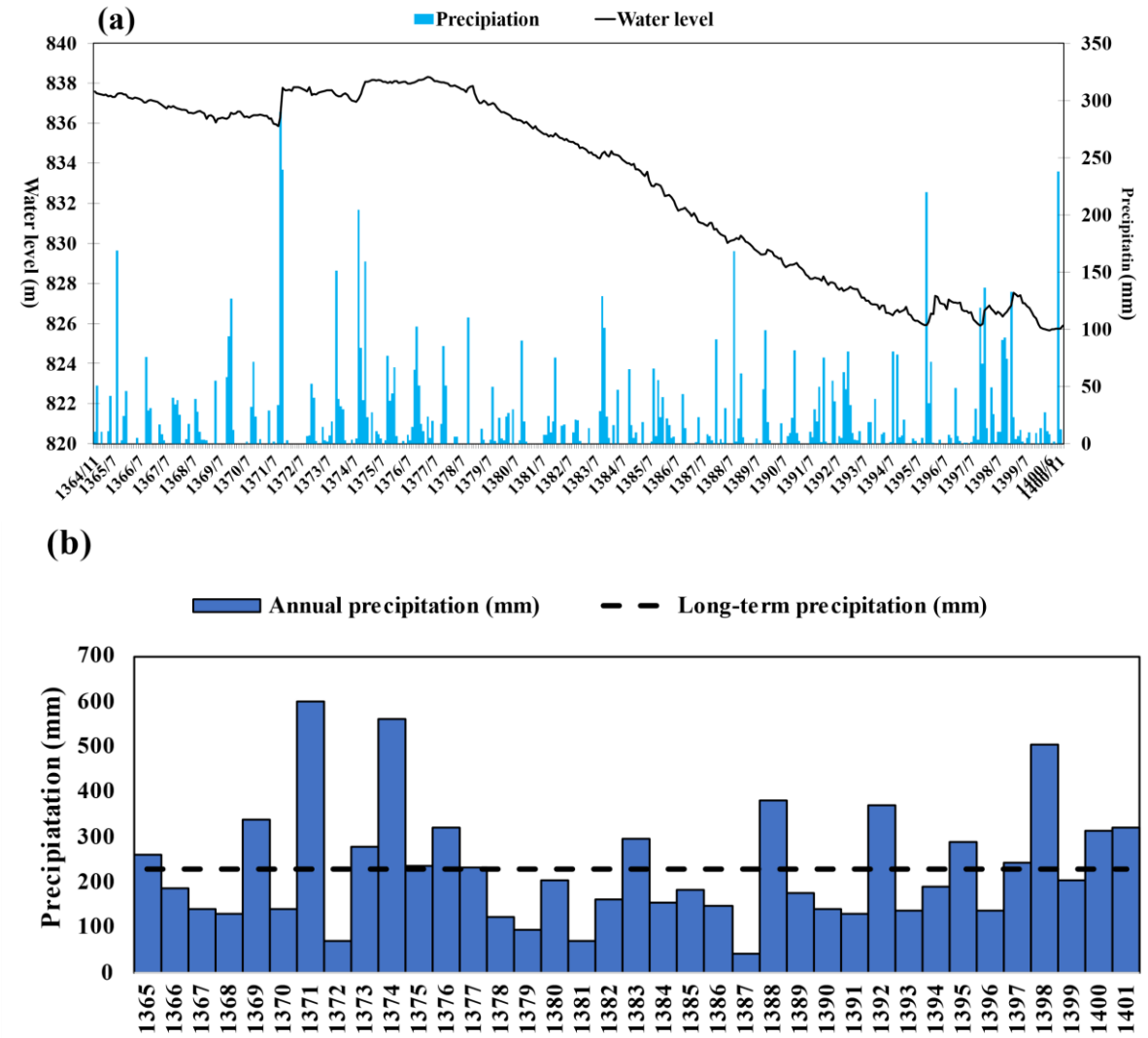


شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه نسبت به شهرستان حاجی‌آباد (الف) در سطح کشور (ب) و آبخوان دشت شمیل آشکارا و چاه‌های نمونه‌برداری (ج)

Figure 1- Location of case study in Haji Abad County (a), in Iran (b) and Shamil Ashkara aquifer and sampling wells

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]



شکل ۲- تغییرات تراز آبخوان و بارندگی در دوره مورد مطالعه (الف) و (ب) تغییرات مجموع بارش سالانه و میزان متوسط بلندمدت در دشت شمیل- آشکارا

Figure 2- Changes of aquifer level and precipitation in the study period (a) and (b) total annual precipitation and long-term average in Shamil–Ashkara plain

متغیرهای کیفیت آب

برای انجام این مطالعه از نتایج تحلیل کیفی ۱۰ پارامتر شیمیایی کلسیم، سدیم، منیزیم، پتاسیم، سولفات، بیکربنات، کلراید، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول و سختی کل در نمونه های آب ۹ چاه واقع در آبخوان دشت شمیل آشکارا در بازه زمانی ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۲ که از شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان اخذ شد. خلاصه ویژگی‌های آماری پارامترهای مورد بررسی هر یک از نقشه‌های غلظت در جدول ۱ ارائه شده است. اغلب نمونه‌ها توسط شرکت آب منطقه‌ای در تمام فصول به‌صورت تصادفی صورت گرفته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، غلظت متغیرها کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی در شرایط حداقل، میانگین و حداکثر بالاتر از حد WHO است. غلظت متغیر سختی کل در شرایط حداقل در حد مطلوب و در شرایط حداکثر و میانگین بیش‌تر از حد WHO است. برای سایر پارامترها کیفیت آب برای مصارف شرب در حد مطلوب و پایین‌تر از حد WHO است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

جدول ۱- ویژگی های آماری پارامترهای کیفی مورد بررسی در آبخوان شمیل آشکارا

Table 1- Descriptive statistics of quality variables in Shamil Ashkara plain

Parameter	Unit	Samples	Min	Max	Average	WHO(2011)
K^+	mg/l	178	0.40	0.49	0.47	12
Na^+	mg/l	178	4.53	38.3	16.57	200
Mg^{2+}	mg/l	178	2.53	18.95	7.10	30
Ca^{2+}	mg/l	178	1.92	12.77	4.41	75
So_4^{2-}	mg/l	178	3.44	58.90	11.43	200
Cl^-	mg/l	178	3/30	37	14	200
HCO_3^{2-}	mg/l	178	1.20	40.80	2.5	300
TDS	mg/l	178	1104*	4284*	1801*	500
EC	µs/cm	178	1725*	6694*	2814*	750
TH	mg/l	178	240	1440*	580*	500

*اعداد ستاره‌دار، فراتر از حد WHO هستند.

محاسبه شاخص GQI

جهت محاسبه شاخص GQI، ابتدا در محیط ArcGIS با بررسی میزان خطای روش‌های مختلف درون‌یابی، روش IDW به‌دلیل پائین بودن خطا نسبت به سایر روش‌ها انتخاب شد و داده‌های نقطه‌ای برای هر یک از ۱۰ پارامتر شیمیایی تهیه و نقشه رستری غلظت آماده شد.

نقشه اولیه

در مرحله بعدی برای این که داده‌های متفاوت دارای یک مقیاس و معیار مشترک شوند، با استفاده از فرمول زیر غلظت های هر پیکسل (X') از نقشه‌های رستری که در مرحله قبل ایجاد شده بودند، با مقدار استاندارد WHO (جدول ۱) آن پارامتر (X) ارتباط برقرار می‌کند (Babiker et al., 2007).

$$C=(X'-X)/(X'+X) \quad (۱)$$

در رابطه بالا، X' مقدار اندازه‌گیری شده هر پارامتر و X مقدار همان پارامتر بر اساس استاندارد WHO و مقادیر آن‌ها بر حسب میلی‌گرم بر لیتر است. نتیجه این یکسان سازی مقیاس تولید ده نقشه جدید است که ارزش پیکسل‌های آن بین (−۱) و (+۱) تغییر می‌کند (Babiker et al., 2007).

نقشه رتبه‌بندی

در این مرحله، نقشه اولیه، به یک نقشه رتبه‌بندی بین (۱) و (۱۰) درجه‌بندی می‌شوند تا نقشه رتبه‌بندی شده هر پارامتر به‌دست آید. در این نقشه‌ها رتبه (۱) نشان دهنده حداقل تاثیر بر کیفیت آب زیرزمینی است در حالی که رتبه (۱۰) نشان دهنده حداکثر تاثیر است. در واقع در این تبدیل واحد بایستی مقدار حداقل سطح شاخص آلودگی (−۱) برابر با ۱، سطح میانه (۰) برابر ۵ و سطح حداکثر (۱) برابر ۱۰ تغییر کند. بدین‌منظور از رابطه زیر که یک تابع چند جمله‌ای است، برای تبدیل واحد هر پیکسل نقشه قبلی (C) به مقدار جدید (r) استفاده می‌شود (Babiker et al., 2007).

$$r = 0.5 * C^2 + 4.5 * C + 5 \quad (۲)$$

در این رابطه C مقدار شاخص آلودگی برای هر پیکسل و r مخفف مقدار رتبه مربوطه است. در مرحله نهایی نیز برای ایجاد یک نقشه که نماینده تمام ده پارامتر شیمیایی باشد و وضعیت کلی کیفیت شیمیایی آب دشت را در مقایسه با استانداردهای WHO نشان دهد با استفاده از شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) لایه‌های مربوط به پارامترها تلفیق می‌شوند (Babiker et al., 2007).

شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI)

شاخص کیفیت آب زیرزمینی از این رابطه محاسبه می‌شود.

$$GQI = 100 - (\frac{r_1w_1+r_2w_2+\cdots+r_nw_n}{N}) \quad (۳)$$

در این فرمول r، رتبه هر پکسل از نقشه‌های رتبه‌بندی شده (۱۰-۱)، w وزن نسبی هر یک از پارامترها و N تعداد کل پارامترهای کیفی به‌کار رفته است (Babiker et al., 2007).

بر اساس این تغییرات می‌توان تقسیم بندی کیفیت آب‌ها را بر پایه GQI ارائه داد (جدول۲). هرچه ارزش عددی پیکسل‌ها به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، کیفیت بهتر و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، کیفیت بدتر است (Mojarad et al., 2021).

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

جدول۲- تقسیم بندی کیفیت آب بر اساس GQI

Table 2- Classification of water quality based on GQI

Water quality	Very unpleasant	Poor	Medial	Acceptable	Good
GQI	0- 25	26- 50	51- 70	71- 90	91- 100

حساسیت مدل

برای تحلیل حساسیت مدل، نقشه شاخص ۱۰ مرتبه، هر بار با حذف یکی از نقشه‌های رتبه مربوط به یک متغیر، تهیه و اثر حذف هر متغیر با نقشه شاخص کلی از رابطه زیر بررسی شد.

$$V_{wi} = 100 * [\frac{GQI - GQI_{wi}}{GQI}] \quad (۴)$$

که در آن Vwi شاخص تغییر بدون نقشه i ام، GQIwi نقشه شاخص کیفیت آب بدون نقشه i ام و GQI شاخص کیفیت آب با حضور همه متغیرها کیفی است (Abbasi et al., 2019).

آزمون تحلیل روند من-کندال

این آزمون ابتدا توسط من ۱۹۴۵ ارایه و سپس توسط کندال ۱۹۷۵ توسعه یافت و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه شده است. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. مراحل آماره این آزمون به شرح زیر است:

محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S به‌صورت رابطه زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \mathrm{sgn}(x_j - x_i), \quad (۵)$$

که در آن n تعداد مشاهدات سری، و x_j و x_i به‌ترتیب داده‌های j ام و i ام سری هستند. تابع علامت نیز به‌صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\mathrm{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & (x_j - x_i) < 0. \end{cases} \quad (۶)$$

محاسبه واریانس توسط روابط زیر است:

$$\mathrm{var}(S) = \begin{cases} \dfrac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t_i i(i-1)(2t_i+5)}{18} & n > 10 \\ \dfrac{n(n-1)(2n+5)}{18} & n \le 10 \end{cases} \quad (۷)$$

که در آن n تعداد داده مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌هاست که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t بیان‌گر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است.

استخراج آماره Z به کمک رابطه زیر است:

$$Z = \begin{cases} \dfrac{s-1}{\mathrm{var}(s)} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \dfrac{s+1}{\mathrm{var}(s)} & s < 0. \end{cases} \quad (۸)$$

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

$$|Z| < Z_{\frac{\alpha}{2}} \quad (۹)$$

که در آن α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری $\frac{\alpha}{2}$ است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از استفاده شده است. در صورتی‌که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

آزمون تحلیل روند پتیت

یکی از مهم‌ترین روش‌های آماری در تشخیص یک شیفت ناگهانی در سری زمانی آزمون پتیت ۱۹۷۹ است. این آزمون به‌طور گسترده در تعیین زمان تغییر در سری‌های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیکی در سراسر جهان مورد استفاده شده قرار گرفته است. دنبال‌های از متغیرهای تصادفی هیدروکلیماتولیکی X_i را در نظر بگیرید، که $i=1,...,\tau$ باشد. زمانی آزمون پتیت تغییر در نقطه τ را معنی‌دار می‌داند که X_t برای $i=1,...,\tau$ دارای تابع توزیع $F_1(x)$ و X_t برای $t=\tau+1,\tau+2,\tau+3,...,T$ دارای تابع توزیع $F_2(x)$ بوده و $F_1(x)\neq F_2(x)$ باشد. این آزمون دو فرض $H_0:\tau=T$ برای عدم وجود تغییر و $H_0:\tau\neq T$ برای وجود روند را مقابل هم و آماره K_T را برای آزمون دو نمونه ($X_1,...,X_t$ و $X_{t+1},...,X_T$) از یک جامعه در نظر می‌گیرد.

$$K_T = Max|U_{t,T}|,\ 1\le t\le T \quad (۱۰)$$

که در آن

$$U_{t,T}=\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=t+1}^{T}\mathrm{sgn}(X_i-X_j). \quad (۱۱)$$

احتمال اهمیت تقریبی K_T با P_{OA} تعیین و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{OA}=2\exp\left\{\frac{-6\left(K^{+}\right)^2}{\left(T^3+T^2\right)}\right\};\ \ T\to\infty \quad (۱۲)$$

به‌طوری که P_{OA} احتمالی از تشخیص نقطه تغییر است. اگر ارزش عددی P_{OA} کم‌تر از ۰/۰۵ باشد مشخص‌کننده تغییر قابل توجه در سری زمانی با توجه به سطح معنی‌داری ۵ درصد است.

نتایج و بحث

تحلیل زمانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی

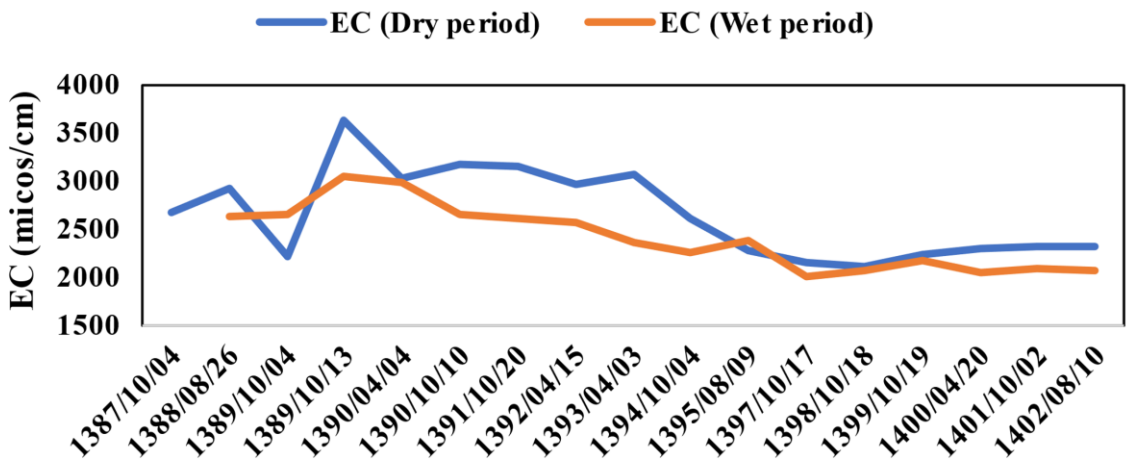
روند تغییرات زمانی متغیرهای شیمیایی کیفیت آب زیرزمینی در دشت شمیل–آشکارا در جدول ۳ و شکل ۳ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که داده‌های حاضر متوسط هر متغیر در دو دوره تر و خشک بر اساس منحنی آمبروترمیک است. در دوره تر دوره کشاورزی خارج از فصل از بهمن آغاز و تا خرداد ادامه دارد. متوسط بارش بلند مدت با استفاده از ایستگاه باران‌سنجی بخوان ۱۵۶ میلی‌متر و در دوره خشک سال (تیر تا دی) ۴۰ میلی‌متر است. بیش‌ترین فراوانی اندازه‌گیری متغیرها در دوره خشک سال در ماه‌های تیر، آبان و دی و در دوره تر در بهمن، اردیبهشت و خرداد صورت گرفته است. بر این اساس، آمار دو دوره تر و خشک جدا و تحلیل روند آن‌ها صورت گرفت.

شکل ۳ تغییرات برخی متغیرهای مورد بررسی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج متغیر EC، از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۳۹۳ افزایش محسوسی در دوره خشک سال و با شیب کم‌تر در دوره تر سال نشان می‌دهد، این کاهش در سال ۱۳۹۷ با شیب بیش‌تر و یک تغییر محسوس ادامه می‌یابد. در خصوص TH و TDS (شکل ۳- ب و ث) نیز همین روند را نشان می‌دهد. بر اساس گزارش آب منطقه‌ای هرمزگان (آب منطقه‌ای هرمزگان، ۱۴۰۲)، سال ۱۳۹۷ طرح تغذیه مصنوعی در این دشت اجرا و اولین آبگیری آن در اسفند ۱۳۹۷ صورت پذیرفت. اثر تغییرات این طرح بروی تراز آبخوان از انتهای سال ۱۳۹۷ روی شکل ۲ مشهود است. این طرح سبب جبران ۹ درصدی کسری آبخوان و افزایش ۰/۸۹ متری تراز آب زیرزمینی شده است. این طرح از شروع آبگیری سبب کاهش تمامی متغیرهای کیفی نسبت به میانگین بلندمدت شده است، اما با گذشت طرح، به دلیل عدم عملیات احیا و تعمیر و نگهداری حوضچه‌ها، شوری و سایر آنیون‌ها و

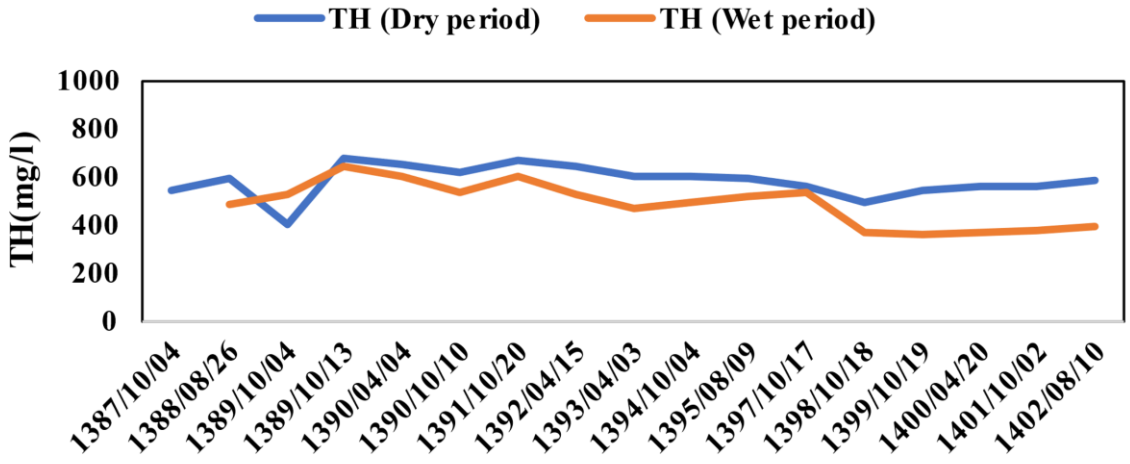
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

کاتیون‌ها در حال افزایش هستند. به‌طور مشابه، Yue & Wang (2004) نیز افزایش برخی عناصر مانند F، Cl و SO4 در بررسی اثرات تغذیه مصنوعی بعد از گذشت چندسال در منطقه‌ای در چین را گزارش دادند.

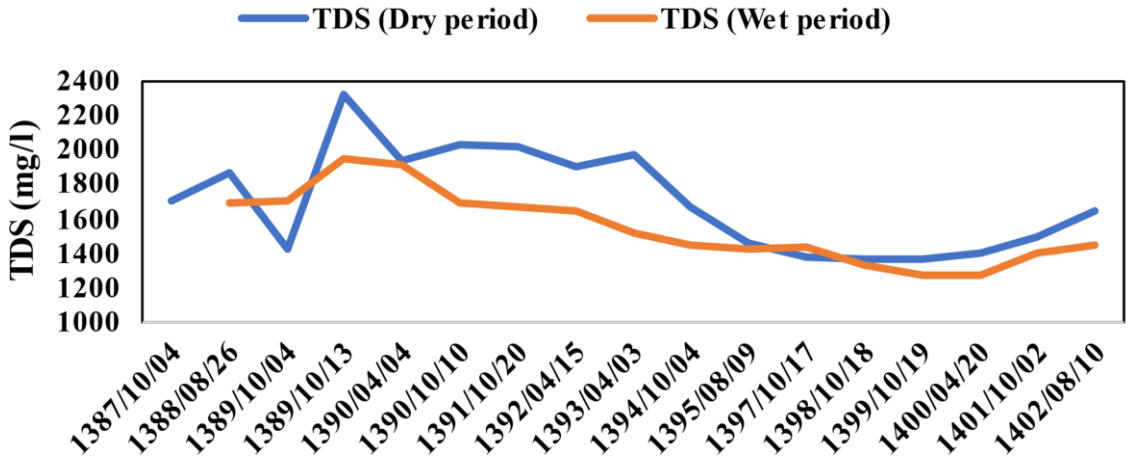
(a)



(b)



(c)



شکل۳- تغییرات زمانی EC (الف)، TDS(ب) و TH(ث) در دوره تر و خشک در آبخوان مورد بررسی

Figure 3- Temporal variation of EC(a), TDS(b) and TH(c) in dry and wet period in case study

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

بر اساس نتایج جدول ۳، تمام متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در فصل خشک و تر دارای روند کاهشی یا منفی هستند که در بین متغیرهای مورد بررسی، عنصر پتاسیم در دو فصل مورد بررسی و کلر در فصل تر دارای روند معنی‌دار کاهشی در سطح اعتماد مورد نظر هستند. بر اساس نتایج GQI در هر دو دوره تر و خشک دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد است. بر اساس نتایج آزمون پتیت، اکثر متغیرها به‌جز پتاسیم، کلر و سدیم فاقد نقطه شکست یا جهش معنی‌دار هستند و در اغلب متغیرها نقطه شکست در سال ۱۳۹۳ ثبت شده است.

طبق روش‌شناسی آزمون گرافیکی من-کندال زمانی که دو منحنی U و U' همدیگر را در محدوده اطمینان ۹۵ درصد و در حدود بحرانی ۱/۹۶ $\pm$ قطع نمایند، نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی، جهش یا شکست است (شکل ۳). به‌عنوان نمونه در شکل ۳ الف، در متغیر EC، سال ۱۳۹۰ نقطه شروع جهش و اگر خارج از حد بحرانی به‌هم برخورد کنند (خط چین آبی)، بیانگر وجود روند در سری‌های زمانی است. Ui طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۱ داخل باند و از سال ۱۳۹۲ به بعد وارد سیر نزولی می‌شوند و از سال مذکور از باند پائین خارج شده و وارد روند نزولی معنی‌دار می‌شود. در خصوص متغیرهای دیگر مانند K و TDS (شکل ۴ ب و پ) نیز سال ۱۳۹۰ همین روند دیده می‌شود. در مقابل GQI (شکل ۴ ت) از سال ۱۳۹۰ دارای سیر صعودی است و از سال ۱۳۹۳ به بعد باند اطمینان خارج و روند معنی‌دار صعودی را به وضوح نشان می‌دهد.

تغییرات ماهانه بارش در دو فصل تر و خشک در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، متغیر باران در دو فصل تر و خشک دارای روند مثبت است اما جز در آبان‌ماه، در سایر ماه‌ها فاقد روند معنی‌دار است. آماره من-کندال در دوره تر سال (بهمن تا خرداد) مقادیر بالاتری را نسبت به دوره خشک سال نشان می‌دهد. افزایش میزان بارش در بسیاری از تحقیقات در جنوب کشور و استان هرمزگان به‌خصوص در دوره تر سال یا نیمه دوم سال شمسی به‌خصوص از اسفند تا فروردین توسط محققانی مانند (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۵؛ بهاری و همکاران، ۱۴۰۲؛ ناظم‌السادات و همکاران، ۱۳۸۴) گزارش شده است. برای اکثر ماه‌ها زمان جهش با آزمون پتیت سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ گزارش شده است. محققین مختلفی آستانه انتشار نوسانات بارش (خشکسالی/ ترسالی) را بر نوسانات سطح سفره آب زیرزمینی با تاخیر زمانی گزارش دادند (Han et al., 2019; Zhang et al., 2021; Meresa et al., 2023). میانگین زمان انتشار در آبخوان‌های مختلف با توجه به شیب هیدرولیکی، تشکیلات آبرفت، شکل بارش منطقه، خصوصیات فیزیکی حوضه، میزان پمپاژ متفاوت است. بر اساس گزارش آب منطقه‌ای هرمزگان (آب منطقه‌ای هرمزگان، ۱۴۰۲) میانگین زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به آب زیرزمینی در دشت شمیل-آشکارا، سه تا چهار سال گزارش شده است. با توجه به دخالت‌های بشری در استخراج آب زیرزمینی، برداشت‌های بی‌رویه و افت شدید تراز آب در این منطقه تعیین زمان دقیق اثر امکان‌پذیر نیست. بر اساس نتایج این تحقیق، روند افزایش بارش‌ها در منطقه عموماً از سال ۱۳۹۰ و روند کاهش غلظت عناصر نیز از سال ۱۳۹۳ (سه سال بعد) آغاز شده است.

جدول ۳- تحلیل روند متغیرهای فیزیکوشیمیایی کیفیت آب زیرزمینی در دشت شمیل- آشکار

Table 3- Analyzing the trend of physicochemical variables of underground water quality in Shamil-Ashkara plain

Period	Parameter	Z-Kendal	P-value	U- Petit	P-value	Change point
Wet	K^+	-2.01	0.001***	53	0.05*	1393
	Na^+	-1.274	0.068	98	0.02**	1393
	Mg^{2+}	-1.262	0.081	67	0.36	1393
	Ca^{2+}	-1.07	0.633	56	0.26	1394
	So_4^{2-}	-1.227	0.132	81	0.09	1393
	Cl^-	-1.99**	0.03*	99	0.01***	1393
	HCO_3^{2-}	-0.98	0.575	31	0.99	1396
	TDS	-1.288	0.059	84	0.07	1393
	EC	-1.97*	0.05	84	0.07	1393
	TH	-1.222	0.139	64	0.26	1394
	GQI	1.99**	0.04	71	0.18	1393
Dry	K^+	-2.14***	0.02	32	0.07	1392
	Na^+	-1.54	0.1	21	0.38	1393
	Mg^{2+}	-1.57	0.11	22	0.44	1393
	Ca^{2+}	-0.06	0.8	19	0.62	1394
	So_4^{2-}	-1.32	0.19	24	0.13	1393
	Cl^-	-1.3	0.19	24	0.31	1393
	HCO_3^{2-}	-0.27	0.81	11	1	1396
	TDS	-1.56	0.2	23	0.21	1393
	EC	-1.57	0.22	26	0.229	1393
	TH	-1.09	0.23	21	0.44	1394
	GQI	2.19***	0.02	32	0.07	1393

*Significant at 90% level; **significant at 95% level, ***significant at 99% level

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

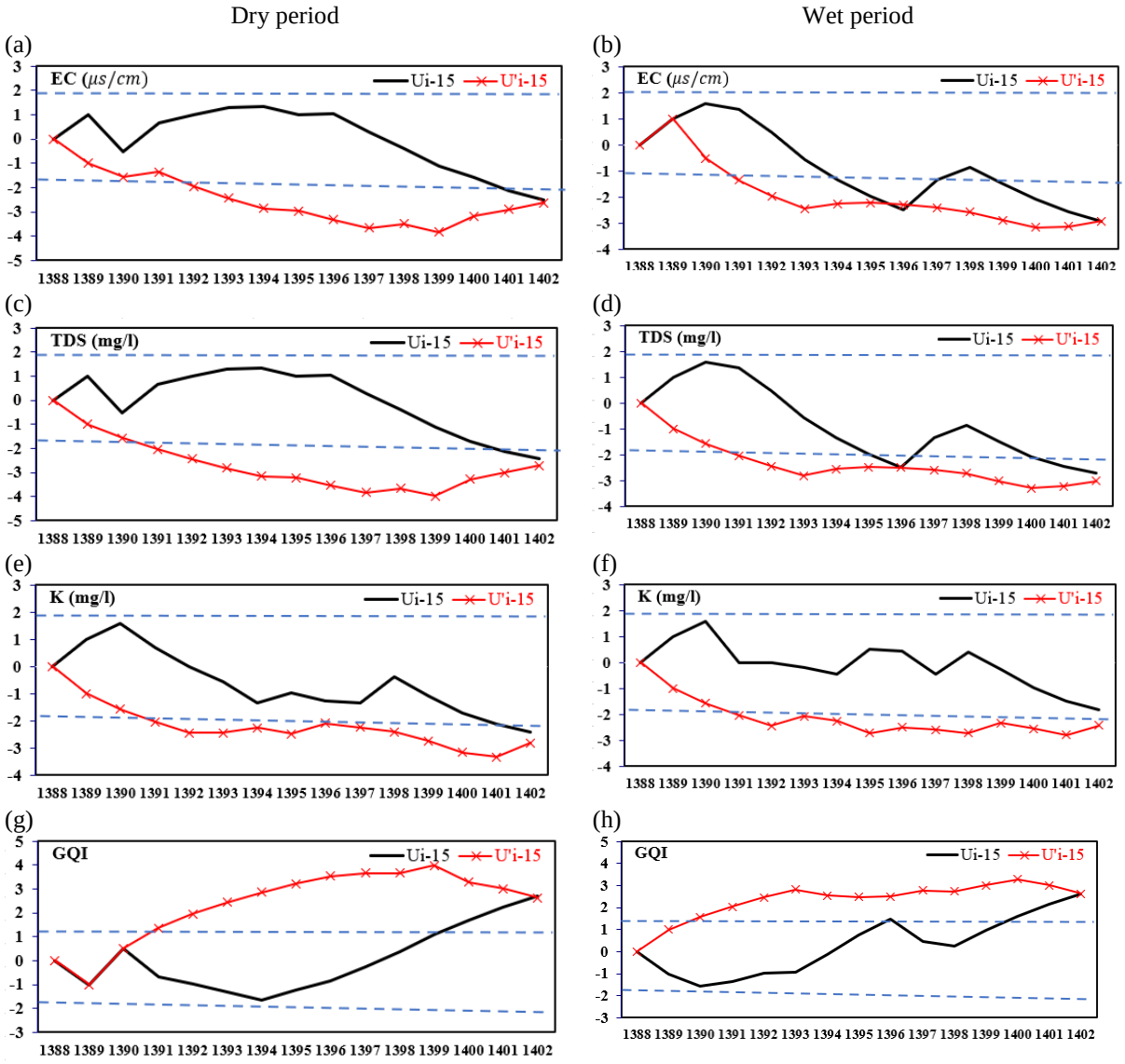
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

جدول ٤- تحلیل روند بارش ماهانه در دوره تر و خشک در دشت شمیل- آشکار

Table 4- Analyzing the trend of monthly rainfall in Shamil-Ashkara plain

Period	Month	Z-Kendal	P-value	U- Petit	P-value	Change point
Dry	4	0.34	0.72	56	0.72	1391
	5	0.87	0.38	50	0.92	1391
	6	0.27	0.87	39	1	1396
	7	1.27	0.55	50	0.95	1390
	8	1.97**	0.06	87	0.21	1390
	9	0.16	0.87	26	1	-
	10	1.45	0.14	80	0.3	1384
Wet	11	0.29	0.74	48	1	-
	12	0.73	0.40	66	0.58	1387
	1	1.09	0.23	62	0.64	1387
	2	1.31	0.18	86	0.22	1390
	3	1.36	0.71	86	0.21	1390

*Significant at 90% level; **significant at 95% level, ***significant at 99% level



شکل ٤- نمودار من-کندال در دوره آماری مورد بررسی برای برخی متغیرهای کیفیت آب مورد بررسی در دشت شمیل آشکار (الف وب): هدایت الکتریکی، (ث و د): جامدات محلول، (ای و ف): پتاسیم و (ج و ح): GQI

Figure 4- Mann-Kendal plot of some water quality variables (a, b) EC, (c,d) TDS, (e,f) K and (g,h) GQI in dry and wet period

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

تحلیل مکانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در دشت شمیل آشکار

نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی هر یک از متغیرها در شکل ۵ ارائه شده است. دامنه تغییرات کلر (شکل۵ الف) از ۶ میلی‌گرم بر لیتر در بخش‌های جنوبی تا ۲۰/۷ میلی‌گرم در بخش‌های شمالی آبخوان متغیر است. حداکثر غلظت این عنصر در بخش مرکزی آبخوان است که بیش‌ترین تمرکز چاه‌های بهره‌برداری وجود دارد. همین تغییرات در مورد برخی دیگر از متغیرها مانند کلسیم با حدود تغییرات ۲ تا ۶/۶ میلی‌گرم بر لیتر، EC با حدود تغییرات ۱۳۶۶ تا ۴۳۳۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر، Na با حدود تغییرات ۲ تا ۲۵/۵ میلی‌گرم بر لیتر؛ Mg با حدود تغییرات ۳ تا ۱۱/۱؛ TDS در محدوده ۱۲۰۳ تا ۲۷۷۵، SO4 در محدوده ۷ تا ۲۰ و TH در محدوده ۳۳/۵ تا ۸۹۵ میلی‌گرم برلیتر است و روند تغییرات زمانی و مکانی آن‌ها با EC مطابقت دارد. در مقابل روند تغییرات یون بیکربنات (۲/۱ تا ۳/۲۷ میلی‌گرم برلیتر) و پتاسیم (۰/۴۱ تا ۰/۴۵ میلی‌گرم برلیتر) دارای روند تغییرات مکانی متفاوتی با سایر عناصر معرفی شده دارد، به‌طوری‌که غلظت پتاسیم در بخش‌های غربی حداکثر و غلظت یون بیکربنات در بخش شرقی دشت حداکثر است. به‌طور کلی، متوسط تغییرات سه متغیر EC، TDS و TH بالاتر از حد استاندارد WHO تشخیص داده شد.

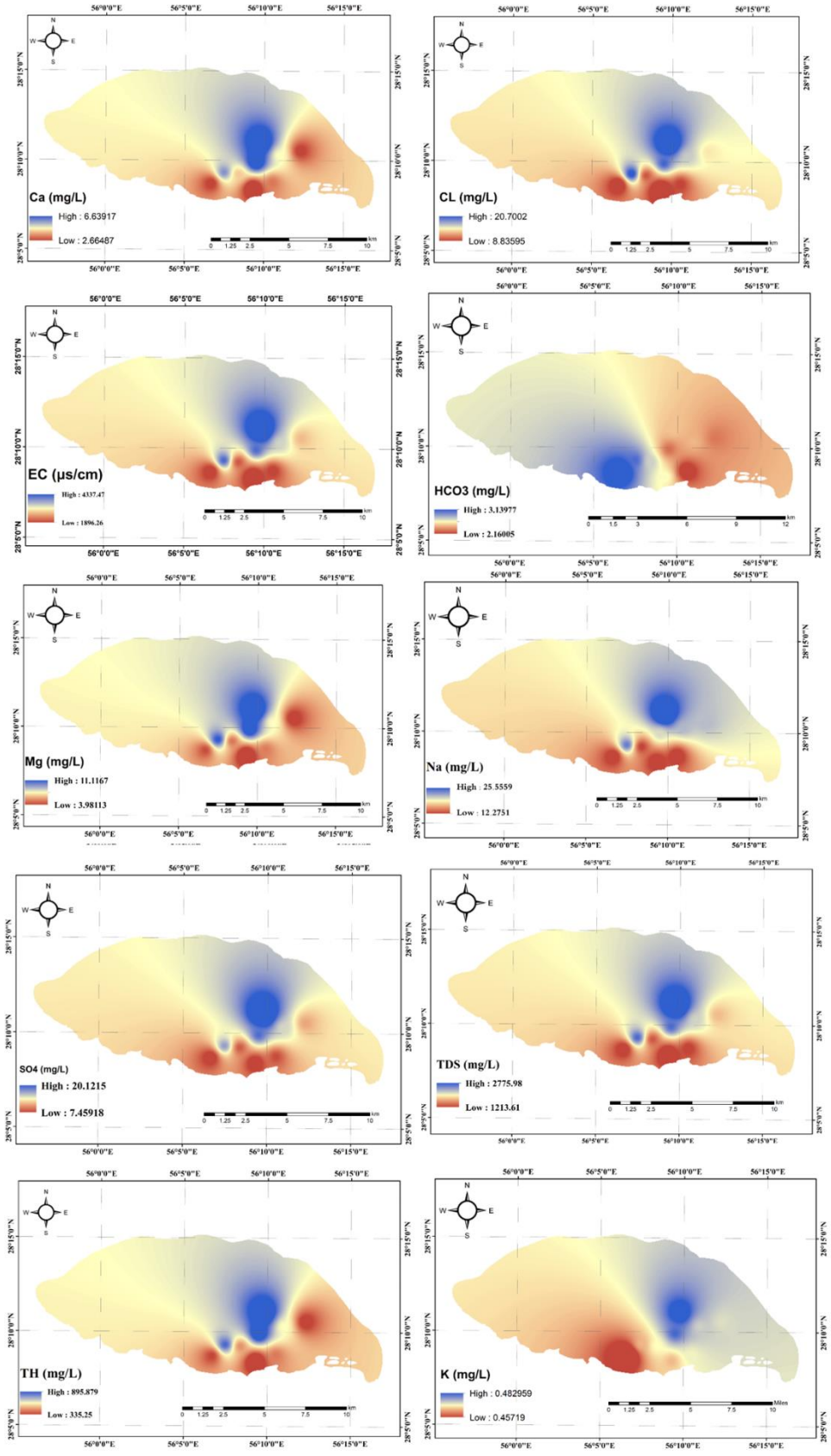
همان‌طور که در معرفی سازندهای دشت مورد بررسی گفته شد، مناطق تغذیه آبرفت، دارای سازند آغاجاری و کنگلومرای بختیاری است که حاوی ماسه سنگ‌های آهک‌دار قهوه‌ای- خاکستری، رگه‌های گچ، مارن‌های قرمز و سیلتستون است که در بالابردن غلظت این متغیرها موثر است. نکته مورد توجه در خصوص تغییرات مکانی غلظت عناصر، این است که جهت حرکت ورود آب به دشت است که از شمال شرق وارد و به جنوب غربی منتهی می‌شود. شاید یکی از دلایل تمرکز چاه‌های بهره‌برداری در حاشیه جنوب‌غربی در آبخوان توقف آب در این بخش است. لذا استخراج بی‌رویه آب‌زیرزمینی در این آبخوان علاوه بر این‌که سبب افت شدید سطح آب شده، بر نحوه گسترش غلظت عناصر نیز موثر است.

جدول ۵ همبستگی EC را با متغیرهای مورد بررسی در دوره تر و خشک نشان می‌دهد، بین همه متغیرها در دوره خشک همبستگی بالایی با EC به استثناء پتاسیم و بیکربنات وجود دارد و در دوره تر همبستگی بین متغیرها کاهش می‌یابد، چرا که با تغذیه آب‌های زیرزمینی و از طرفی پمپاژ در دوره کشاورزی، غلظت عناصر تغییر قابل توجهی خواهد داشت. نتایج بیابانی و همکاران (۱۳۹۸) در دشت کرج نیز تائید کننده این مطلب است.

شکل ۶ تغییرات مکانی GQI را در آبخوان مورد بررسی نشان می‌دهد. هر چه GQI به صد نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده کیفیت بالای آبخوان است. در دشت مورد بررسی، باتوجه به تغییرات جزئی متغیرها در فصل تر و خشک، از مقادیر میانگین داده‌ها برای محاسبه GQI استفاده شده. محدوده تغییرات این شاخص بین ۹۶ تا ۹۷ بوده که با توجه به جدول تقسیم بندی کیفیت آب بر اساس GQI (جدول ۲)، کیفیت آب زیرزمینی دشت شمیل آشکارا در رده مناسب قرار دارد. ملاحظه می‌شود مقدار شاخص در قسمت جنوب آبخوان بهتر از سایر نواحی است که با توجه به غلظت بالای بسیاری از عناصر در بخش شمالی نیز انتظار می‌رفت، کیفیت آب در بخش‌های شمالی کم‌تر از بخش‌های جنوبی باشد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]



شکل ۵- پهنه‌بندی کیفی متغیرها در آب زیرزمینی دشت شمیل آشکارا

Figure 5- Spatial zoning of ground water quality variables in Shamil-Ashkara plain

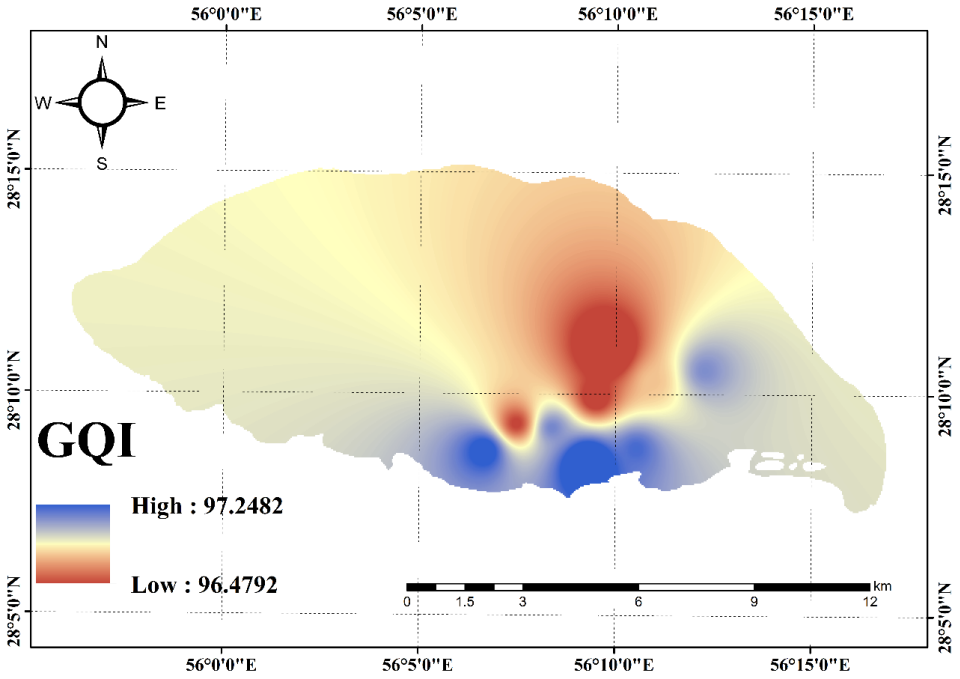
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

جدول ۵- همبستگی EC با آنیون‌ها و کاتیون‌های دشت شمیل آشکار

Table 5- Correlation of EC with anions and cations in the Shamil Ashkara plain

Parameter/period	TH	TDS	HCO_3^{2-}	Cl	So_4^{2}-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}
Dry period	0.76	0.98	-0.08	0.85	0.85	0.63	0.81	0.86	0.09
Wet period	0.81	0.95	-0.22	0.77	0.78	0.45	0.56	0.54	0.45



شکل ٦- نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفی آب زیرزمینی دشت شمیل آشکارا

Figure 6- Spatial mapping of GQI in the Shamil-Ashkara plian

تحلیل حساسیت نسبت به متغیرهای کیفی

تحلیل حساسیت در واقع به معنی مشخص کردن حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف آن است. برای تشخیص حساسیت مدل به متغیرها در شاخص کیفی، تحلیل حساسیت به روش حذف تک نقشه مطابق رابطه (۴) انجام شد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل به روش حذف تک نقشه در جدول (۶) آمده است. نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های کیفی بدون حضور یکی از متغیرها برای تحلیل حساسیت مدل ترسیم شده است. در بررسی حساسیت این شاخص نتایج نشان داد، بزرگ‌ترین متوسط شاخص تغییر مربوط به متغیر سختی کل بوده است و نشان می‌دهد شاخص کیفی مورد بررسی نسبت به حذف این فاکتور بیش‌ترین تغییر را داشته است. به‌طوری که مقدار شاخص کیفی با حذف سختی کل ۰/۰۵ درصد کاهش پیدا کرده است. بنابرین لازم است این فاکتور با دقت بیش‌تری مورد پایش قرار گیرد. در خصوص کم‌ترین حساسیت شاخص به حذف متغیرها، کم‌ترین متوسط شاخص GQI مربوط به Mg^{+2} بوده است که حذف آن تاثیر چندانی روی شاخص ندارد. در واقع تعداد زیادی از عناصر در دشت در رنج استاندارد بوده و شاخص فاقد حساسیت چندانی است.

جدول ٦- تحلیل حساسیت با روش حذف تک نقشه (درصد)

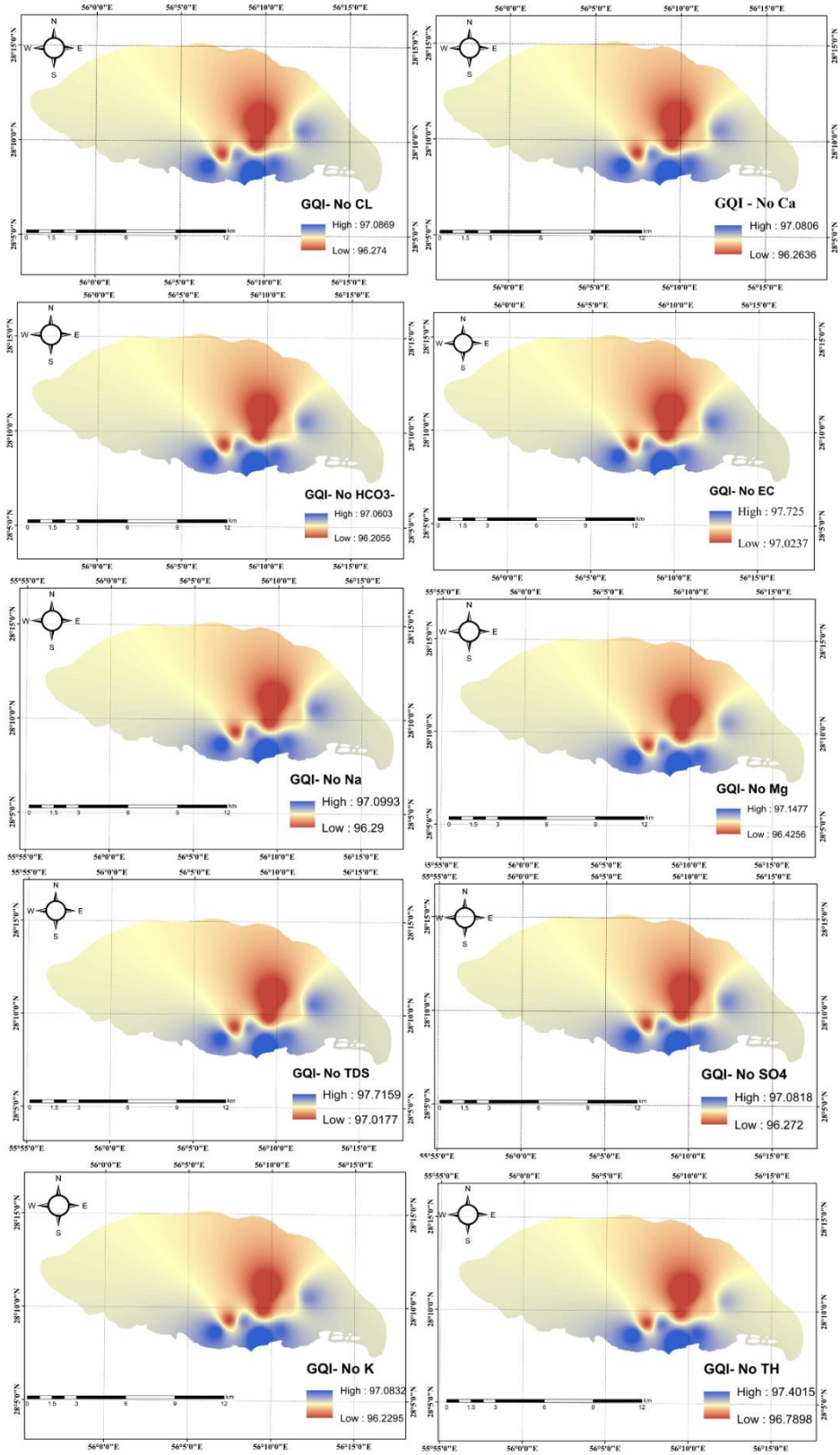
Table 6- sensitivity analysis of variables by remove univariate (percent)

Parameter	Unit	Min	Max	Average	Standard Deviation
K^{+}	mg/l	0.16	0.25	0.21	0.02
Na^{+}	mg/l	0.15	0.20	0.17	0.01
Mg^{2+}	mg/l	0.05	0.10	0.08	0.01
Ca^{2+}	mg/l	0.17	0.22	0.19	0.01
So_4^{2-}	mg/l	0.17	0.21	0.19	0.01
Cl^{-}	mg/l	0.16	0.21	0.18	0.01
HCO_3^{2-}	mg/l	0.19	0.28	0.23	0.02
TDS	mg/l	-0.55	-0.48	-0.51	0.02
EC	$\mu s/cm$	-0.56	-0.49	-0.52	0.02

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

TH	mg/l	-0.32	-0.15	-0.24	0.05



شکل ۷- پهنه‌بندی شاخص کیفی آب زیرزمینی دشت شمیل آشکارا بدون حضور یکی از متغیرها

Figure 7- Spatial mapping of GQI without one variable in the Shamil-Ashkara plain

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی شامل سدیم، پتاسیم، بیکربنات، منیزیم، کلسیم، سختی کل، هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول، سولفات و کلراید در دشت شمیل-آشکارا در استان هرمزگان صورت پذیرفته است. نتایج نشان داد، تغییرات مکانی متغیرهای کیفی ده متغیر مورد بررسی به استثناء بیکربنات و پتاسیم، دارای روند در دشت هستند. دسته متغیرهای با تغییرات مکانی مشابه در سطح دشت در بخش‌های جنوبی دشت دارای کم‌ترین غلظت و در بخش‌های شمالی دشت به‌تدریج بر غلظت آن افزوده می‌شود. در خصوص تغییرات بیکربنات و پتاسیم عکس تغییرات سایر متغیرهاست، غلظت پتاسیم در نیمه بخش غربی دشت کم و در نیمه شرقی بالاست و بیکربنات در نیمه شرقی دارای غلظت پائین و غربی غلظت بالایی دارد. به‌طورکلی هرچه از جنوب دشت به سمت شمال پیش می‌رویم، غلظت بسیاری از عناصر افزایش می‌یابد. شیب هیدرولیکی دشت از شمال شرق به جنوب غربی در حال افزایش است که احتمالاً علت اصلی این موضوع تمرکز چاه‌های بهره‌برداری در حاشیه جنوب غربی آبخوان است. استخراج بی رویه آب زیرزمینی در این آبخوان علاوه بر افت شدید سطح آب بر نحوه گسترش غلظت عناصر نیز موثر است و سبب افزایش غلظت عناصر در بخش جنوبی شده است.

نتایج تغییرات زمانی و تحلیل روند من-کندال نشان داد، همه متغیرها دارای روند کاهشی در دو دوره تر و خشک هستند که این روند از سال ۱۳۹۳ شروع شده است و بارش در این دوره در حال افزایش است که شروع تغییرات بارش از سال ۱۳۹۰ به بعد بوده است. بر اساس نتایج محققین، آستانه انتشار خشکسالی هواشناسی بر آب زیرزمینی همواره با تاخیر است، در دشت شمیل آشکارا نیز این آستانه سه سال گزارش شده است. به‌طور کلی، متوسط تغییرات سه متغیر بالاتر از حد استاندارد WHO تشخیص داده شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که غلظت اکثریت متغیرهای مورد بررسی به‌جز EC، TDS و TH در اکثر نقاط در حدود معین WHO بوده است. بر اساس نقشه پهنه‌بندی کیفیت آبخوان با شاخص GQI دشت شمیل آشکارا در رده مناسب قرار گرفته است. همچنین با توجه به حساسیت مدل به فاکتور سختی کل نسبت به سایر پارامترها، لازم است این متغیر کیفی با دقت بیش‌تری پایش شود.

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های پژوهش حاضر عدم تعداد نمونه کافی زمانی و مکانی داده‌های کیفیت آب در دشت مورد بررسی است که این محدودیت سبب افزایش عدم قطعیت درتحلیل زمانی در براورد آماره‌های پتیت و من-کندال و هم‌چنین تحلیل مکانی کیفیت آب می‌شود. در نهایت پیشنهاد می‌شود، از سایر شاخص‌های کیفیت‌سنجی آب زیرزمینی مانند FGQI-GQI-GWQI استفاده شود و تغییرات زمانی و مکانی و میزان دقت روش‌ها با GQI مقایسه شود. از طرفی در دشت مورد مطالعه در سال ۱۳۹۷، طرح تغذیه مصنوعی اجرا شده است که بعد از چندبار آبگیری، آبگیرها از رسوب پر شده و در حال حاضر نه‌تنها اثر مثبت در بهبود کیفیت داشته، بلکه سبب افزایش غلظت برخی عناصر شده است، لذا پیشنهاد می‌شود ارزیابی کارایی طرح فوق در تغییرات کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در مطالعات بعدی مد نظر قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: این پژوهش از هیچ حمایت مالی استفاده نکرده است.

مشارکت نویسندگان: فریبرز تارا: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله؛ ام‌البنین بذرافشان: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج، تحلیل آماری.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: از خانم دکتر مریم زارع مدیر واحد تحقیقات کاربردی شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان و آقای مهندس دهقان مسئول بخش داده‌ها کمال تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

۱. آب منطقه‌ای هرمزگان (۱۴۰۲). پایش اثرات اجرای طرح تغذیه مصنوعی بر تغییرات سطح آب‌زیرزمینی آبخوان شمیل – آشکارا. انتشارات شرکت سهامی آب منطقه‌ای، ۲۱ ص.

۲. احمدی، علی‌رضا (۱۴۰۱). بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی در دشت ورامین تهران. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۱)، ۲۶-۱۴. **doi: 10.22098/MMWS.2021.9356.1037**

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

۳. بذرافشان، ام‌البنین، محمودزاده، فوزیه، و بذرافشان جواد (۱۳۹۵). ارزیابی روند تغییرات خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد شده و شاخص تبخیر- تعرق استاندارد شده در سواحل جنوبی ایران. *مدیریت بیابان*، ۴(۸)، ۵۴-۶۹. **doi: 10.22034/JDMAL.2017.24662**

۴. برنا، رضا، و محمدپور زنگنه، غلام حسین (۱۳۹۵). ارزیابی میزان بارندگی بر وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۱ (مطالعه موردی: دشت زیدون شهرستان بهبهان)، *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۴ (۴)، ۱-۱۲. **http://jircsa.ir/article-1-201-fa.html**

۵. بهاری میمندی، جعفر، بذرافشان، ام‌البنین، اسماعیل‌پور، یحیی، شکاری، مرضیه، و زمانی، حسین (۱۴۰۲). بررسی تأثیر عامل‌های طبیعی و انسانی بر افت سفره آب زیرزمینی در دشت میناب. *مدیریت بیابان*، ۱(۱۱)، ۱-۱۸. **doi: 10.22034/JDMAL.2023.2000814.1412**

۶. بیابانی، لیلا، زهتابیان، غلام رضا، خسروی، حسن، و حنیفه‌پور، مهین (۱۳۹۸). ارزیابی روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت کرج، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱ (۲۶)، ۱۷۳-۱۵۸. **doi: 10.22092/IJRDR.2019.119334**

۷. دهرمی، رضا، و امیری، فاضل. (۱۴۰۲). ارزیابی تاثیر تغییرات کاربری زمین بر کیفیت آب‌های زیرزمینی حوضه آبخیز دهرم در استان فارس. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۱)، ۱۶۵-۱۸۰. **doi: 10.22098/MMWS.2022.11367.1123**

۸. رجاییان، شیوا، کتابچی، حامد، و عبادی، تقی (۱۴۰۰). ارزیابی کیفیت آبخون دشت هشتگرد با استفاده از شاخص CCME-WQI. *بیستمین کنفرانس هیدرولیک ایران*. **https://civilica.com/doc/1322695**

۹. عباسی، زهرا، عظیم زاده، حمیدرضا، طالبی، علی، و ستوده، احد (۱۳۹۷). ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت عجب شیر بر پایه شاخص کیفی آب زیرزمینی (GQI) و سامانه اطلاعات جغرافیایی. *علوم آب و خاک* (علوم فنون و کشاورزی و منابع طبیعی)، ۹۹-۱۰۸. **doi:10.29252/jstnar.22.4.99**

۱۰. عیدی، مهدیه، و امیری، فاضل (۱۴۰۰). ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه دهرود و تنگ ارم دشتستان با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI). *مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده*، ۱۵۳-۱۴۱. **doi: 10.30495/JRNR.2022.66817.10240**

۱۱. مجیدی، حبیب، محمودی قرائی، محمدحسین، مینائی، مسعود، و ملکزاده شفارودی، آزاده (۱۳۹۸). بررسی شاخص کیفی آب زیرزمینی (GQI) در محیط GIS، منطقه افیولیتی افچنگ شمال سبزوار. *نخستین همایش ملی علم اطلاعات جغرافیایی: بنیادها و کاربردهای بین رشته ای*.

۱۲. مزیدی، احمد، سلامتی هرمزی، وحید، امیدوار، کمال، و مظفری، غلامعلی (۱۴۰۱). آشکارسازی تغییرات زمانی-مکانی بارش‌های جنوب شرق ایران. *کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۱(۱۰)، ۴۷-۶۵. **doi: 20.1001.1.2345332.1401.10.1.3.2**

۱۳. مصلح، آرش، احیاء، فرهاد، و صادقی مهر، فخرالدین. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی و ارزیابی آلودگی نیتراتی و شاخص کیفی آب زیرزمینی (GQI) دشت باشت. *سومین همایش یافته های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی*. **https://civilica.com/doc/586377**

۱۴. ناظم‌السادات، سید محمد جعفر، سامانی، نوذر، و مولایی نیکو، مصطفی (۱۳۸۴). تغییر اقلیم در جنوب و جنوب غرب ایران از دیدگاه مشاهدات بارش, بر همکنش با پدیده النینیو نوسانات جنوبی. *کشاورزی*، ۲۸(۲)، ۸۱-۱۰۰. **https://www.sid.ir/paper/24825/fa**

۱۵. یعقوبی، ثریا، امینی، دنیا، و فتحی، حسن (۱۳۹۵). بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت موسیان، ایلام)، *سامانه های سطوح آبگیر باران*، ۵(۳)، ۳۹-۵۰. **http://jircsa.ir/article-1-209-fa.html**

References

1. Abbasi, Z., Azimzadeh, H., Talebi, A., & Sotoudeh, A. (2019). Evaluating Quality of Ajabshir Groundwater Resources Based on Groundwater Quality Indicator (GQI) and Geographical Information System. *Journal of water and soil sciences (Sciences and Technological of Agriculture and Natural Resources)*, 99-108. doi:10.29252/jstnar.22.4.99. [In Persian]
2. Ahmadi, A. (2021). Investigation of groundwater quality changes in Varamin Plain of Tehran. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(1), 14-26. doi:10.22098/MMWS.2021.9356.1037. [In Persian]
3. Babiker, I. S., Mohamed, M. A., & Hiyama, T. (2007). Assessing groundwater quality using GIS. Water Resources Management, 21, 699-715. doi: 10.1007/s11269-006-9059-6.
4. Bahari Meimandi, J., Bazrafshan, O., Esmaelpour, Y., Shekari, M., & Zamani, H. (2023). Study the Effect of Natural and Anthropogenic Factors on the Ground Water Falling in the Minab Plain. *Desert Management*, 1(11), 1-18. doi: 10.22034/JDMAL.2023.2000814.1412. [In Persian]

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

5. Bazrafshan, O., Mahmudzadeh, F., & Bazrafshan, J. (2017). Evaluation of temporal trends of the SPI and SPEI drought in dices in the Southern coast of Iran. *Desert Management*, 4(8), 54-69. doi : 10.22034/JDMAL.2017.24662. [In Persian]
6. Bazrafshan, O., Parandin, F., & Farokhzadeh, B. (2016). Assessment of hydro-meteorological drought effects on groundwater resources in Hormozgan region-South of Iran. *Ecopersia*, 4(4), 1569-1584.doi.org. 10.18869/modares.Ecopersia.4.4.1569.
7. Biabani, L., Zehtabian, G., Khosravi, H., & Hanifepour, M. (2019). Investigation of qualitative and quantitative changes of groundwater resources in Karaj Plain. Iranian Journal of Range and Desert Research, 26(1), 158-17. doi:10.22092/IJRDR.2019.119334. [In Persian]
8. Borna, R., & mohamadpourzanganeh, G. (2017). Assessment of Rainfall Quantity on the Quality of the Groundwater Resources in 2012 (Case study: Zeydon plain in Behbahan city). *Journal of Rainwater Catchment Systems* و 4 (4) :1-12. http://jircsa.ir/article-1-201-fa.html. [In Persian]
9. da Silva, M. I., Lima, M. T. V., da Costa, C. T. F., Firmino, P. R. A., Menezes, J. M. C., Del Carmen Paris, M., & de Paula Filho, F. J. (2023). Groundwater quality assessment in a peri-urban Brazilian semi-arid microbasin. *Environmental Earth Sciences*, 82(3), 73. doi:10.1007/s12665-023-10752-2.
10. Dehrami, R., & Amiri, F. (2023). Impact assessment of land-use changes on groundwater quality in Dahram watershed of Fars province. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(1), 165-180. doi:10.22098/MMWS.2022.11367.1123. [In Persian]
11. Eidi, M., & Amiri, F. (2022). Groundwater quality assessment of Dehroud and Tang Eram regions of Dashtestan using water quality index (WQI). *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 153-141 . doi:10.30495/JRNR.2022.66817.10240. [In Persian]
12. Gorai, A. K., Hasni, S. A., & Iqbal, J. (2016). Prediction of ground water quality index to assess suitability for drinking purposes using fuzzy rule-based approach. *Applied Water Science*, 6, 393-405. doi: 10.1007/s13201-014-0241-3.
13. Han, Z., Huang, S., Huang, Q., Leng, G., Wang, H., Bai, Q., & Du, M. (2019). Propagation dynamics from meteorological to groundwater drought and their possible influence factors. *Journal of Hydrology*, 578, 124102. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124102.
14. Hormozgan regional water (2023). Monitoring the effects of the implementation of the artificial feeding plan on changes in the underground water level of the Shamil aquifer - clearly. Publications of Sahaim Water Regional Company, 21 p. [In Persian]
15. Jha, M. K., Shekhar, A., & Jenifer, M. A. (2020). Assessing groundwater quality for drinking water supply using hybrid fuzzy-GIS-based water quality index. *Water Research*, 179, 115867. doi: 10.1016/j.watres.2020.115867.
16. Kendall, M. G. (1975). Rank Correlation Methods. 4th ed. Charless, Griffin: London.
17. Majidi, H., Mahmudy Gharaie, M., Minaei, M., & Malekzadeh Shafaroudi, A. (2019). Groundwater Quality Index (GQI) in Geographical Information System (GIS) environment, Ophiolitic Afchang Area, N Sabzevar. *The first national conference of geographic information science: Basis and Trans interdisciplinary applications*. [In Persian]
18. Mann, Henry B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica: *Journal of the econometric society*: 245-259. doi: 10.2307/1907187.
19. Mazidi, A., Salamati Hormazi, V., Omidvar, K., & Mozafari, G. (2022). Detection of the spatial-temporal variations of the precipitation trend in the southeast of Iran. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 1(10), 47-65. doi: 20.1001.1.2345332.1401.10.1.3.2. [In Persian]
20. Meresa, H., Zhang, Y., Tian, J., & Faiz, M. A. (2023). Understanding the role of catchment and climate characteristics in the propagation of meteorological to hydrological drought. Journal of Hydrology, 617, 128967. doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.128967.
21. Mojarad, Z., Pazira, A. R., & Tabatabaie, T. (2021). Evaluation of groundwater quality in Dayyer city Bushehr using groundwater quality index (GQI). *Journal of Nature and Spatial Sciences (JONASS)*, 1(2), 75-90.
22. Mosleh, A., Ehya, F., & Sadeghi Mehr, F. (2016). The Regionalization and the Evaluation Of nitrate pollution and groundwater quality index (AQI) of Basht plain. *The third conference on new findings in the environment and agricultural ecosystems.* https://civilica.com/doc/586377. [In Persian]
23. Nazem Alsadat, S., Samani, N., & Moulaei Nikou, m. (2006). Climate change in Southern And Southwestrn Iran From Preciptation Observation, Interaction With EL NINO Southern Oscilation Phenomenon. *Scientific Journal of Agriculture*, 28(2), 81-100. https://www.sid.ir/paper/24825/fa. [In Persian]
24. Pettitt, Anthony N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. Journal of the Royal Statistical Society, 28(2), 126-135. doi: 10.2307/2346729.
25. Rajaian, S., Kitabchi, H., & Ebadi, T. (2021). Evaluation of water quality in Hashtgerd plain using CCME-WQI index. *The 20th Iran Hydraulic Conference*. https://civilica.com/doc/1322695. [In Persian]

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]

26. Verma, P., Singh, P. K., Sinha, R. R., & Tiwari, A. K. (2020). Assessment of groundwater quality status by using water quality index (WQI) and geographic information system (GIS) approaches: a case study of the Bokaro district, *India. Applied Water Science*, 10, 1-16. doi: 10.1007/s13201-019-1088-4.
27. World Health Organization (WHO). 2011. Guidelines for Drinking Water quality. V01.1: Recommendations 3rd., WHO, Geneva.
28. Yaghoobi, S., Amini, D., & Fathizad, H. (2017). Investigating the Quantity and Quality Change's Trend of Groundwater (Case Study: Musian Plain, Ilam). *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 5(3), 39-50 http://jircsa.ir/article-1-209-fa.html .[In Persian]
29. Yue, S., & Wang, C. (2004). The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water resources management*, 18(3), 201-218. doi.org. 10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60.
30. Zhang, H., Ding, J., Wang, Y., Zhou, D., & Zhu, Q. (2021). Investigation about the correlation and propagation among meteorological, agricultural and groundwater droughts over humid and arid/semi-arid basins in China. *Journal of Hydrology*, 603, 127007. doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.127007.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.5.5]