



Investigation Of Spatial And Temporal Changes Of Qualitative Parameters Of Qaen Plain Aquifer Using Interpolation Methods

Mahdiyeh ForuzanMehri¹ | Hossein KhozaymehNezhad²

1. PhD student in water resources, Department of Water Sciences and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
2. Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

✉Corresponding Author: M.foruzanmehr_74@birjand.ac.ir

Received:
11 February 2022

Accepted:
24 May 2022

Published:
20 January 2024

Keywords:

*Zoning,
Statistical Context,
Salinity,
Water Quality,
IDW*

Extended abstract

Introduction

Water as a renewable resource has always been considered an essential component of sustainable development. However, with the increasing population and demand for water in various sectors such as agriculture, industry, and domestic use, the pressure on water resources has increased significantly. Therefore, optimal management of water resources is crucial to ensure their sustainability. In this regard, identifying the factors that affect the changes in groundwater quality and developing strategies to address them can play a significant role in improving the management of water resources. Moreover, it is essential to pay attention to the issue of water pollution and take appropriate measures to prevent or mitigate its impacts. The preparation of action plans based on the assessment of changes in groundwater quality can be a valuable step towards sustainable water resource management. This approach can help identify the most effective ways to utilize water resources, reduce wasteful consumption, and protect the environment as well as a framework for policymakers and stakeholders. Overall, the conservation and sustainable management of water resources require a comprehensive approach that takes into account the interrelated issues of water quality and quantity. By adopting a holistic perspective, we can ensure the long-term availability and sustainability of this vital resource.

Cite this article: ForuzanMehri, M. & KhozaymehNezhad, H. (2023). Investigation of spatial and temporal changes of qualitative parameters of Qaen plain aquifer using interpolation methods. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 4 (1), 1-15. DOI: <http://doi.org/10.22077/jaaq.2023.5130.1045>



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Material and method

Study Area

The city of Qaen in East Iran and North Khorasan Province, located at an altitude of 1432 meters above sea level, has a continental climate with hot summers and cold winters. The average annual rainfall in Qaen is 164 millimeters, making it one of the driest cities in the province. The mean temperature in Qaen is 14 degrees Celsius.

Geostatistical analysis

For spatial analysis of the data under investigation in the present research, we employed techniques such as Inverse Distance Weighting (IDW), Geographic Information System (GIS), Location-based interpolation (LPI), Simple Kriging (SK), and Ordinary Kriging (OK) to transform point data into regional information.

Results and Discussion

The study compared the performance of five interpolation methods, including inverse distance weighting (IDW), simple kriging (SK), ordinary kriging (OK), local polynomial interpolation (LPI), and geographic information system (GIS), for estimating the concentrations of calcium, magnesium, potassium, sodium, sulfate, chloride, and total dissolved solids in the Qaen region's groundwater. The study used data from two periods, 2009 and 2019, and evaluated the performance of each method using the root mean square error (RMSE) and coefficient of determination (RE). The results showed that the IDW method had the lowest RMSE and highest RE for most of the parameters, indicating that it was the most accurate method for interpolating these parameters. The LPI method had the highest RMSE for the parameter HCO_3 , while the OK method had the lowest RMSE for the parameters EC and Cl. The study also found that the concentration of most parameters increased over time, with the northern parts of the study area experiencing the greatest increase. The largest increases were observed for Ca^{2+} , Cl^- , and SO_4^{2-} concentrations. The concentration of bicarbonate, sodium, and sulfate decreased over time, except for a slight increase in sulfate concentration in some areas. The changes in parameter concentrations may be due to various factors, including changes in precipitation patterns, a decrease in groundwater recharge, and increased exploitation of underground water resources. These findings can help water resource managers and decision-makers better understand the dynamics of groundwater quality in the Qaen region and take appropriate measures to protect this vital resource.



بررسی تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های میانابایی (مطالعه موردی: آبخوان دشت قاین)

مهديه فروزان‌مهر^۱ | حسین خزیمه‌نژاد^۲

۱. دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

✉ نویسنده مسئول: M.foruzanmehr_74@birjand.ac.ir

چکیده

باتوجه به اهمیت منابع آب به‌ویژه منابع آب زیرزمینی، اعمال روش‌های مدیریتی مناسب در زمینه‌های کمی و کیفی به‌خوبی قابل درک است. هدف از این پژوهش، تعیین مناسب‌ترین روش درونابایی به‌منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب در آبخوان دشت قاین می‌باشد. در پژوهش حاضر به‌منظور بررسی کیفیت آب، مقادیر ۱۰ پارامتر کیفی آب شامل: غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، پتاسیم، بی‌کربنات، سولفات، شوری، TDS و اسیدیتته، با کمک روش‌های درونابایی IDW، LPI، GPI، OK و SK در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۸ درونابایی و مورد پژوهش قرار گرفته است. نتایج حاصل از مقایسه ۵ روش میانابایی با استفاده از مقدار RE و RMSE نشان داد که برای اکثر پارامترها کیفی مورد بررسی روش IDW با کمترین میزان خطا، مناسب‌ترین روش برای میانابایی است. همچنین مشخص شد بیشترین مقدار خطا مربوط به روش میانابایی LPI برای پارامتر hco_3 با مقدار $11/84 \text{ (mg l}^{-1}\text{)}$ و کمترین مقدار خطا مربوط به روش IDW برای پارامترهای EC و Cl به‌ترتیب با مقدار $0/01 \text{ (}\mu\text{mos cm}^{-1}\text{)}$ و $0/01 \text{ (mg l}^{-1}\text{)}$ می‌باشد. با مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی IDW در سال ۱۳۸۸ و ۱۳۹۸ مشخص شد میزان غلظت اکثر پارامترهای کیفی مورد بررسی در دوره آماری مورد مطالعه افزایش یافته‌است. روند تغییرات افزایشی در آبخوان قاین در قسمت شمال شرق آن دارای شدت بیشتری می‌باشد و بیشترین روند افزایشی در این قسمت از آبخوان مربوط به غلظت یون کلسیم، کلر و شوری می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

کلیدواژه‌ها:

پهنه‌بندی،

زمین‌آمار،

شوری،

کیفیت آب،

IDW

مقدمه

وضعیت کیفی آبخوان، منابع آلاینده و در نتیجه تعیین مناسب‌ترین راهکارهای مدیریتی مؤثر باشد (Qandali, 2019). امروزه بررسی‌های کیفی منابع آب دامنه گسترده‌ای پیدا کرده و پژوهشگران بسیاری به پهنه‌بندی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی پرداخته‌اند که در ادامه به چند مورد از این پژوهش‌ها اشاره شده است.

در طی پژوهشی، با بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و داده‌های کیفی ۳۳ حلقه چاه در دشت مهران این نتیجه حاصل شد که روش کریجینگ روش مناسب برای تهیه نقشه نهایی تغییرات کاتیون و آنیون در این دشت است (Khosravi et al, 2016). در طی پژوهشی با تهیه نقشه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت قروه در استان کردستان با استفاده از روش کریجینگ بر مبنای داده‌های سالانه ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳ در ۵۹ حلقه چاه، به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای شرب و کشاورزی در این دشت پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد مساحت مناطق دارای کلاس‌های کیفیت مناسب‌تر در حال کاهش می‌باشد (Parsai et al, 2019). در طی پژوهشی دیگر کیفیت آب زیرزمینی دشت چاردولی در استان کردستان با استفاده از روش کریجینگ و داده‌های ۲۵ حلقه چاه در سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷ مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از این پژوهش نشان دهنده کاهش کیفیت آب زیرزمینی بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ و سپس بهبود وضعیت تا سال ۱۳۸۷ است، این تغییرات منطبق بر افت تراز آب زیرزمینی دشت در سال ۱۳۸۴ بوده که متأثر از وضعیت بارندگی کم منطقه در این دوره و حفر بی رویه چاه می‌باشد (Qamarnia and Roshandel, 2019). نتایج پژوهش ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص WQI در طی دو دهه در آبخوان گلستان، نشان دهنده وضعیت کیفی خوب و بسیار خوب در این آبخوان است، البته فقط در بخش کوچکی از آبخوان که به سواحل شرقی دریای خزر و شمال منطقه مطالعاتی منتهی می‌شود، دارای وضعیت کیفی بدی می‌باشد، همچنین با نزدیک شدن به شمال منطقه مورد مطالعه و ساحل دریا از کیفیت آب کاسته می‌شود،

آب به‌عنوان یک منبع قابل تجدید همواره به‌عنوان یک رکن اصلی توسعه مطرح بوده است. با افزایش جمعیت و افزایش نیاز آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب، بهداشت و صنعت و نهایتاً افزایش تولید و ایجاد پتانسیل‌های آلودگی فشار زیادی به منابع آب وارد شده است (Ebrahimi, 2001). علاوه بر کمبود منابع آب که خود معضل اساسی بشر است، موضوع مهم دیگری که منابع آب زیرزمینی را تهدید می‌کند، آلودگی آن‌ها است (Bai et al, 2017). با توجه به افزایش بیش از حد برداشت از منابع آب، به‌ویژه منابع آب زیرزمینی نه تنها کمیت منابع آب، بلکه کیفیت این منابع نیز کاهش یافته‌است، همین امر سبب شده تا موضوع استفاده بهینه از منابع آبی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران واقع شود. در همین خصوص، تهیه نقشه‌های به‌هنگام تغییرات ویژگی‌های آب‌های زیرزمینی می‌تواند گامی مهم در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد. علاوه بر آن نقشه‌های تغییرات شیمیایی آب‌های زیرزمینی، نقش ارزنده‌ای در فرآیند تصمیم‌گیری و مدیریت استفاده و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند (Shabani, 2007). برای تهیه این نقشه‌ها گاه به‌علت شرایط زمانی، مکانی و اقتصادی امکان نمونه‌برداری از تمام منابع آب فراهم نیست؛ بنابراین، بهترین راه‌حل به کار بردن روش‌های تخمینی از جمله درون‌یابی است. روش‌های درون‌یابی به دو دسته زمین‌آمار و معین تقسیم شده است. برای پیش‌بینی نقطه‌های نامعلوم در روش‌های معین بر حسب نوع درون‌یابی تابع‌های ریاضی به کار می‌رود؛ ولی در روش‌های زمین‌آمار علاوه بر تابع‌های ریاضی، آمار نیز به کار می‌رود. روش‌های درون‌یابی تابع‌های پایه‌شعاعی (RBF)، معکوس مجذور فاصله (IDW)، چند جمله‌ای موضعی (LPI)، چند جمله‌ای عام (GPI) از روش‌های معین و روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ از جمله روش‌های زمین‌آمار هستند (Bhuiyan et al, 2016). انتخاب روش مناسب پهنه‌بندی در تهیه نقشه‌های تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی، گام مهم و اساسی در مدیریت منابع آبی به‌شمار می‌رود (Shabani, 2011). چرا که بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی می‌تواند در شناخت

معمولی (OK) برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به اطلاعات ناحیه استفاده شد.

$$X_{\text{norm}} = \left(\frac{X_i - X_{\text{min}}}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}} \right) * 0.8 + 0.1 \quad (1)$$

۳- روش‌های میانمایی

۳-۱- کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده

روش کریجینگ معمولی (OK) روش تخمین‌گری است که در نقاط نمونه‌برداری نشده به صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف بهره می‌گیرد. برآورد میزان Z در نقطه X_0 به وسیله این روش به صورت رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$Z_{OK}^*(X_0) = \sum_{i=1}^n \alpha_1 Z(X_i) \quad (2)$$

که در این رابطه $Z_{OK}^*(X_0)$ و α_1 به ترتیب تخمین متغیر در نقطه X_0 و وزن‌های آماری اختصاص یافته به مقادیر Z در نقاط X_i و n تعداد نمونه به کار رفته در کریجینگ است (Habibiartani et al, 2009).

سیستم کریجینگ ساده (SK) با توجه به اطلاعات حاضر، چهارچوب اطلاعاتی مورد نظر را فراهم می‌کند و به شکل ترکیب خطی وزن دار است. معادله آن به صورت رابطه (۳) می‌باشد.

$$Z_{SK}^*(X_0) = \sum_{i=1}^n \alpha_1 Z(X_i) + \left\{ 1 - \sum_{i=1}^n \alpha_1 \right\} \mu \quad (3)$$

که در این رابطه $Z_{SK}^*(X_0)$ و α_1 به ترتیب تخمین متغیر در نقطه X_0 و وزن‌های آماری کریجینگ ساده اختصاص یافته به مقادیر Z در نقاط X_i و μ میانگین داده‌های مشاهداتی و n تعداد نمونه به کار رفته در کریجینگ است (Maroofi et al, 2009).

همچنین در این پژوهش روش درونمایی کریجینگ نتایج بهتری از سایر روش‌های درونمایی ارائه کرد (Kia et al, 2019).

بنابراین با توجه به مطالب ارائه شده هدف از این پژوهش تعیین مناسب‌ترین روش درونمایی به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب در آبخوان دشت قاین می‌باشد. در پژوهش حاضر بررسی کیفیت آب در آبخوان دشت قاین با استفاده از مقادیر برداشت شده از ۲۵ حلقه چاه برای ۱۰ پارامتر کیفی در این آبخوان و با کمک روش‌های درونمایی معکوس مجذور فاصله (IDW)، چند جمله‌ای موضعی (LPI)، چند جمله‌ای عام (GPI)، کریجینگ معمولی (OK) و کریجینگ ساده (SK) انجام گرفته است. همچنین به منظور بررسی تغییرات زمانی کیفیت آب در این آبخوان از داده‌های دو سال ۱۳۸۸ و ۱۳۹۸ بهره گرفته شده است.

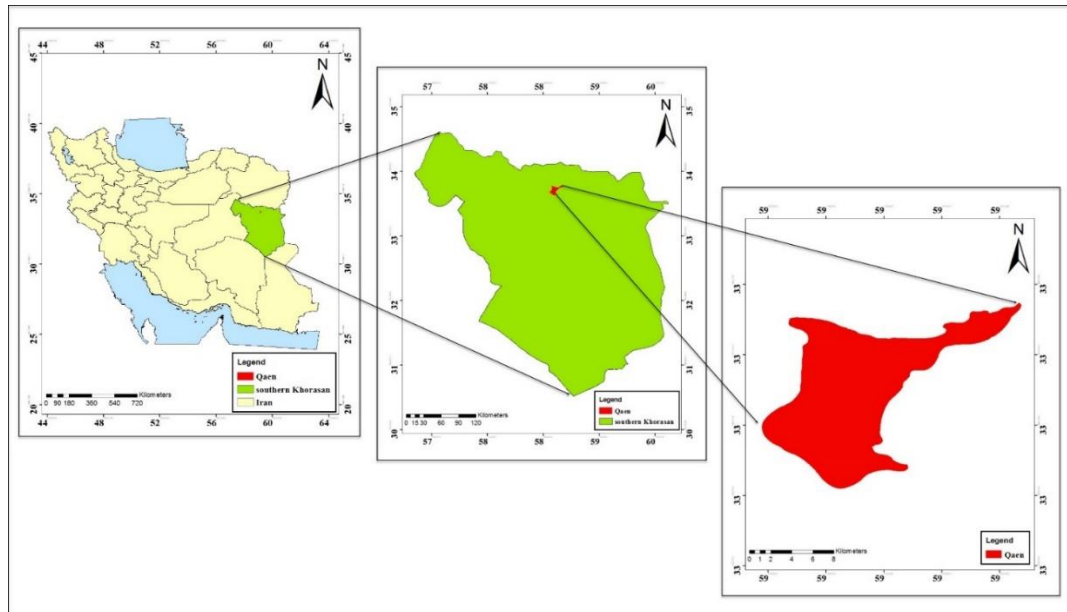
مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

آبخوان قاین در شرق ایران و شمال استان خراسان جنوبی در حد فاصل ۳۳/۱۵ تا ۳۴/۱۲ درجه عرض جغرافیایی و ۵۸/۳۸ تا ۶۰/۵۶ درجه طول جغرافیایی و در ارتفاع ۱۴۳۲ متری از سطح دریا واقع شده است. میانگین بارندگی سالانه در شهر قاین ۱۶۴ میلی‌متر بوده و این شهر جزء پرباران‌ترین شهرهای استان می‌باشد. همچنین میانگین دما در این شهر ۱۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است.

۲- آنالیز زمین آماری

برای نرمال‌سازی داده‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر از رابطه (۱) استفاده شد و پس از آن از روش‌های زمین آماری IDW، تخمین گرام (GPI)، تخمینگر موضعی (LPI)، کریجینگ ساده (SK) و کریجینگ



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه (آبخوان دشت قاین استان خراسان جنوبی)
Fig 1. Study area (Qaen plain aquifer of South Khorasan province)

۳-۳ - روش تخمینگر موضعی

روش تخمینگر موضعی (LPI)، حداقل مجذورات متناسب را بین گره‌های شناسایی شده در محدوده بیضوی شکل، به‌عنوان وزن گره تخصیص می‌دهد. در این روش ضرایب تخصیص داده شده، با به‌دست آوردن رابطه درجه‌اول، دوم و سوم بین مقادیر x ، y و Z حداقل‌سازی اطلاعات محاسبه‌شده، درونیایی می‌کند (Maroofi et al, 2009).

۴ - تعیین مناسب‌ترین روش میانبایی

برای تعیین مناسب‌ترین روش درونیایی در این پژوهش از میزان خطای نسبی (RE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شده است.

$$RE = \frac{(Z^*(X_i) - Z(X_i))}{Z(X_i)} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z^*(X_i) - Z(X_i))^2}{n}} \quad (5)$$

در رابطه‌های فوق n تعداد داده، $Z^*(X_i)$ ، $Z(X_i)$ به ترتیب داده مشاهده‌ای و داده تخمینی می‌باشد.

نتایج و بحث

در ابتدا قبل از اقدام به درونیایی پارامترهای مورد مطالعه، پس از بررسی داده پرت و گمشده و نرمال

۳- روش‌های میانبایی

۳-۱ - روش معکوس مجذور فاصله

در روش وزن‌دهی معکوس (IDW) برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری شده براساس فاصله بین آن نقطه تا نقطه مجهول، وزنی در نظر گرفته می‌شود. سپس این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به‌طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند (Taghizadeh-Mehrjardi et al, 2008).

۳-۲ - روش تخمینگر عام

روش تخمینگر عام (GPI)، یک تکنیک درونیایی فراگیر است که جزء روش‌های قطعی سریع بوده و بسیار مناسب سطوحی است که به آهستگی و تدریجی تغییر می‌کنند. در این روش از طریق یک تابع ریاضی چند جمله‌ای، یک رویه هموار به داده‌های نقطه‌ای ورودی برازش داده می‌شود، این رویه به تدریج تغییر می‌کند و الگوی تغییرات داده‌ها را ضبط می‌کند (Kurtulus and Razack, 2010).

بیشترین و کمترین میزان خطا RMSE در سال ۱۳۹۸ با توجه به جدول (۲)، هر دو مربوط به روش IDW و به ترتیب برای پارامترهای pH با مقدار ۰/۸ و EC و Cl با مقدار ۰/۰۱ می باشد. همچنین بیشترین و کمترین مقدار RE نیز در این سال به ترتیب مربوط به روش SK برای پارامتر SO4 با مقدار ۰/۸ و روش IDW برای پارامتر EC با مقدار ۰/۰۳ می باشد. شکل های (۲) تا (۵) نتایج حاصل از مقایسه روش های زمین آماری مورد استفاده در پژوهش حاضر را نشان می دهد. با توجه به شکل های (۲) و (۴) بیشترین مقدار خطا مربوط به روش LPI است. براساس این نمودارها و جداول برای اکثر پارامترهای مورد مطالعه روش معین عکس فاصله (IDW) با کمترین میزان خطا، بهترین برآورد را برای مقدار کیفی در دشت قاین داشته است. بنابراین در ادامه با استفاده از نقشه پهنه بندی تهیه شده با این روش تغییرات این پارامترها در طی سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ بررسی خواهد شد.

بودن داده ها اقدام به نرمال سازی داده ها در بازه (۰-۱) شد و پس از آن با استفاده از روش های نام برده میانمایی برای ۱۰ پارامتر کیفی شامل، کلسیم، کلر، پتاسیم، منیزیم، سدیم، بی کربنات، سولفات، شوری، اسیدیته و مجموع کل مواد محلول در دشت قاین در دو سال ۱۳۸۸ و ۱۳۹۸ صورت گرفته و نتایج حاصل مورد بررسی قرار گرفت. جداول (۱) و (۲) خطاهای اندازه گیری شده برای روش های میانمایی مورد استفاده در این پژوهش را نشان می دهد. با توجه به جدول (۱) کمترین میزان خطا RMSE مربوط به پارامتر EC در روش IDW و پارامتر Cl در روش OK با مقدار ۰/۰۸ می باشد. همچنین کمترین میزان خطا RE مربوط به روش های میانمایی OK و SK برای پارامتر EC با مقدار ۰/۰۱ می باشد. با توجه به نتایج این جدول بیشترین مقدار RMSE مربوط به روش LPI پارامتر hco3 با مقدار ۱۱/۸۴ و بیشترین مقدار RE نیز مربوط به همین روش برای پارامتر EC با مقدار ۴/۷۲ می باشد.

جدول ۱. ارزیابی روش های زمین آماری برای پارامترهای کیفی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۸۸

Table 1. Evaluation of geostatistical methods for qualitative parameters in the study area in 2009 year

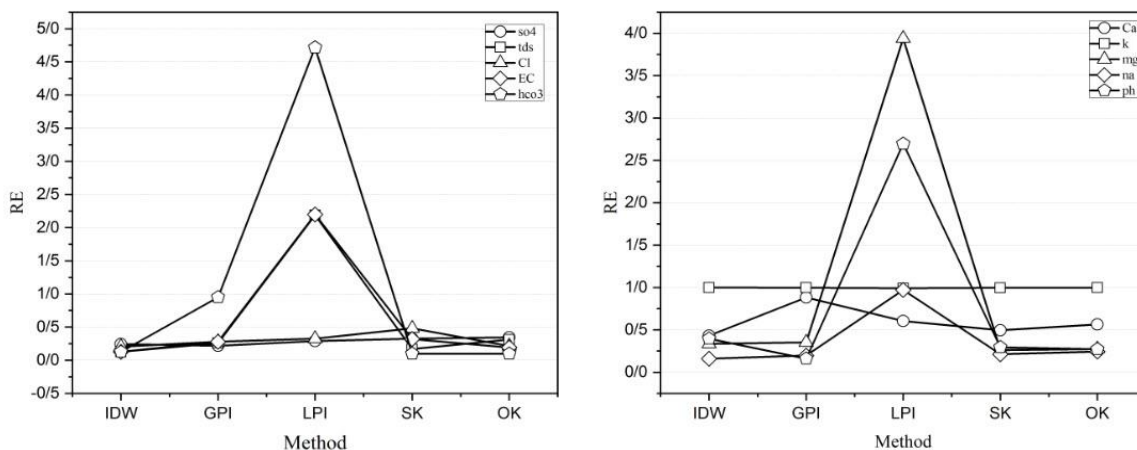
RMSE (1388)										
	Ca	K	Mg	Na	pH	SO4	TDS	hco3	Cl	EC
IDW	0.91	0.51	0.59	0.24	0.60	0.30	0.35	0.13	0.11	0.08
GPI	2.80	0.62	0.55	0.36	0.27	0.26	0.66	2.09	0.16	0.17
LPI	1.69	2.92	10.7	2.38	9.77	0.28	7.24	11.84	0.15	1.47
SK	1.11	0.77	0.35	0.29	0.53	0.34	0.19	0.12	0.24	0.18
OK	0.93	0.35	0.48	0.27	0.43	0.32	0.48	0.12	0.08	0.10
RE (1388)										
	Ca	K	Mg	Na	pH	SO4	TDS	hco3	Cl	EC
IDW	0.43	1.00	0.33	0.16	0.39	0.24	0.13	0.21	0.13	0.13
GPI	0.88	1.00	0.35	0.20	0.16	0.22	0.26	0.28	0.28	0.95
LPI	0.61	0.99	3.94	0.97	2.70	0.29	2.19	0.32	2.20	4.72
SK	0.49	1.00	0.26	0.21	0.30	0.33	0.17	0.48	0.32	0.10
OK	0.56	1.00	0.27	0.24	0.27	0.35	0.31	0.21	0.19	0.10

جدول ۲. ارزیابی روش های زمین آماری برای پارامترهای کیفی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۹۸

Table 2. Evaluation of geostatistical methods for qualitative parameters in the study area in 2019 year

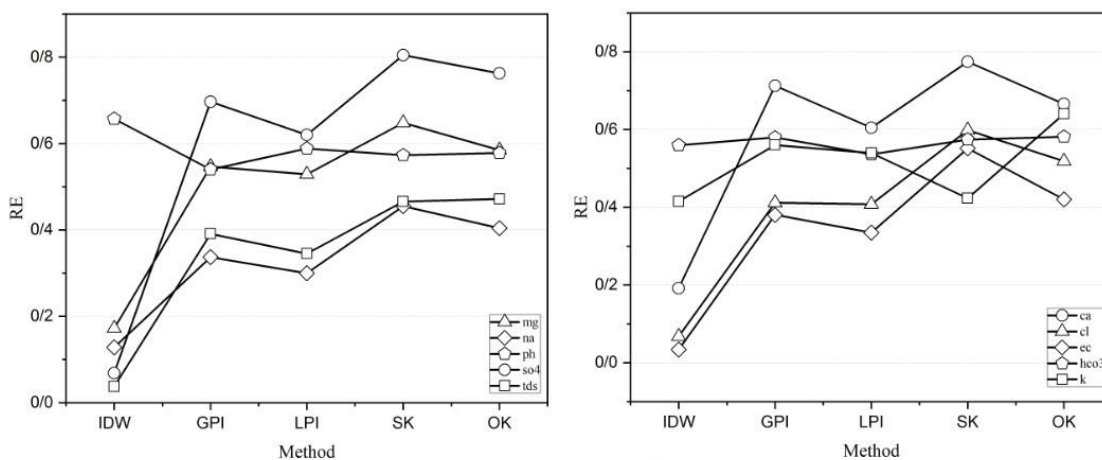
RMSE (1398)										
	Ca	K	Mg	Na	pH	SO4	TDS	hco3	Cl	EC
IDW	0.32	0.41	0.35	0.20	0.80	0.16	0.06	0.42	0.01	0.01
GPI	0.69	0.38	0.47	0.30	0.73	0.59	0.25	0.40	0.08	0.08
LPI	0.54	0.38	0.44	0.27	0.73	0.52	0.22	0.38	0.08	0.07
SK	0.81	0.42	0.62	0.64	0.68	0.77	0.45	0.43	0.18	0.16

OK	0.68	0.44	0.43	0.43	0.68	0.69	0.34	0.36	0.13	0.11
RE (1398)										
	Ca	K	Mg	Na	pH	SO4	TDS	hco3	Cl	EC
IDW	0.19	0.42	0.17	0.13	0.66	0.07	0.04	0.56	0.07	0.03
GPI	0.71	0.56	0.55	0.34	0.54	0.70	0.39	0.58	0.41	0.38
LPI	0.60	0.54	0.53	0.30	0.59	0.62	0.35	0.54	0.41	0.33
SK	0.77	0.42	0.65	0.46	0.57	0.80	0.47	0.57	0.60	0.55
OK	0.67	0.64	0.58	0.40	0.58	0.76	0.47	0.58	0.52	0.42



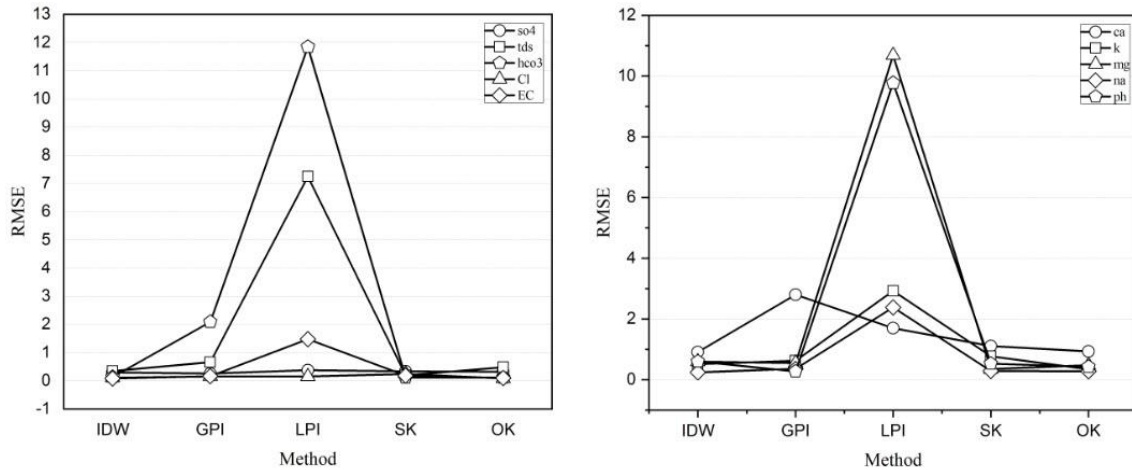
شکل ۲. مقایسه روش‌های آماری در سال ۱۳۸۸ با استفاده از RE

Fig 2. Comparison of geostatistical methods in 2009 year using RE

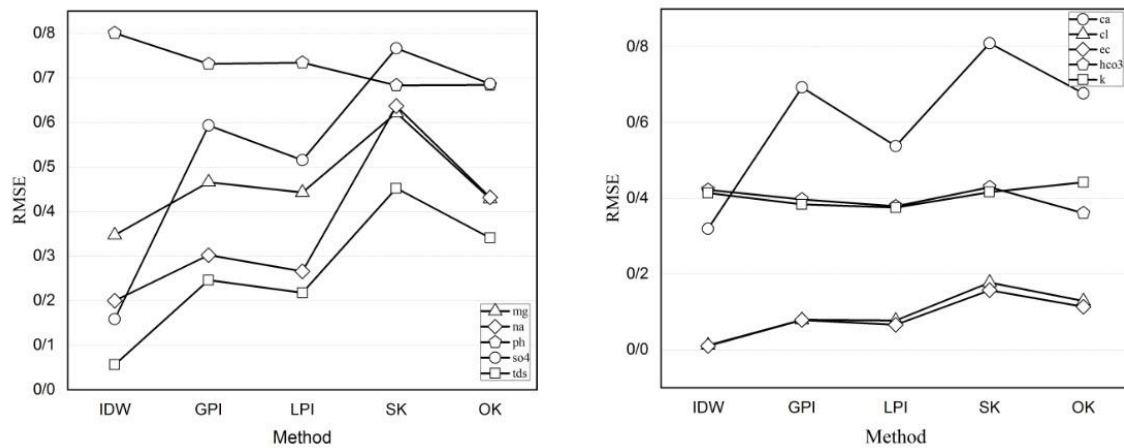


شکل ۳. مقایسه روش‌های آماری در سال ۱۳۹۸ با استفاده از RE

Fig 3. Comparison of geostatistical methods in 2019 year using RE



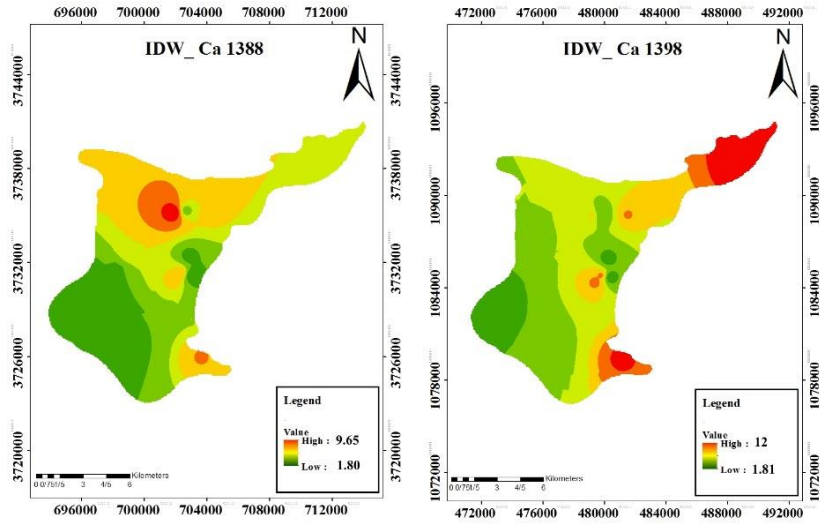
شکل ۴. مقایسه روش‌های زمین آماری در سال ۱۳۸۸ با استفاده از RMSE
 Fig 4. Comparison of geostatistical methods in 2009 year using RMSE



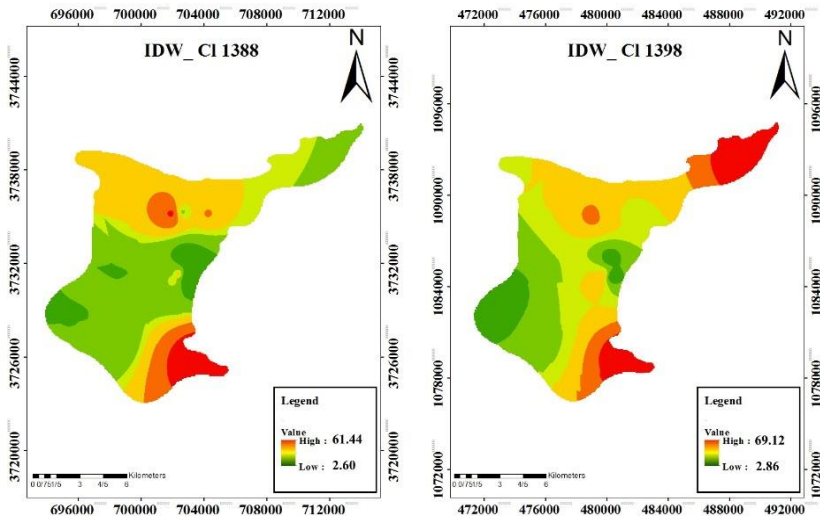
شکل ۵. مقایسه روش‌های زمین آماری در سال ۱۳۹۸ با استفاده از RMSE
 Fig 5. Comparison of geostatistical methods in 2019 year using RMSE

کاهشی است و مقدار آن از ۷/۹۵ به ۶/۱۸ میلی گرم بر لیتر تغییر یافته است. همچنین با توجه به شکل (۷) میزان غلظت کلر در قسمت مرکزی و شمال شرق و جنوب شرق آبخوان در دوره مورد مطالعه افزایش یافته است. بیشترین میزان تغییرات غلظت کلر در شمال شرق آبخوان، از ۱۶/۹۳ به ۴۶/۹۸ میلی گرم بر لیتر می باشد. با توجه به آنچه در شکل (۸) نشان داده شده است؛ میزان غلظت بی کربنات در دشت قاین به صورت جزئی کاهش یافته است که این کاهش در قسمت شمال غرب بیشتر است.

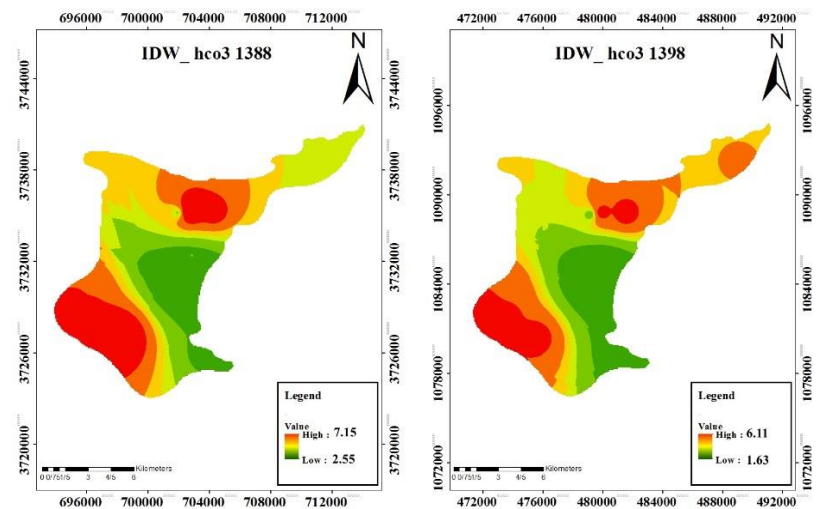
باتوجه به نتایج حاصل از نقشه‌های پهنه‌بندی شده توسط روش IDW، میزان غلظت کلسیم که در شکل (۶) نشان داده شده است در طی سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ در آبخوان دشت قاین افزایش داشته است. میزان تغییر غلظت این یون در قسمت شمال شرق و جنوب شرق آبخوان به خوبی قابل مشاهده است که این میزان تغییرات در قسمت شمال شرق از ۴/۵۵ میلی گرم بر لیتر به ۱۱/۲۰ میلی گرم بر لیتر و در قسمت جنوب شرق از ۵/۶ به ۹/۸۹ میلی گرم بر لیتر می باشد. البته در قسمتی از شمال و شمال غرب غلظت یون کلسیم



شکل ۶. تغییرات غلظت Ca (mg L^{-1}) در منطقه مورد مطالعه
 Fig 6. Changes in Ca concentration (mg L^{-1}) in the study area



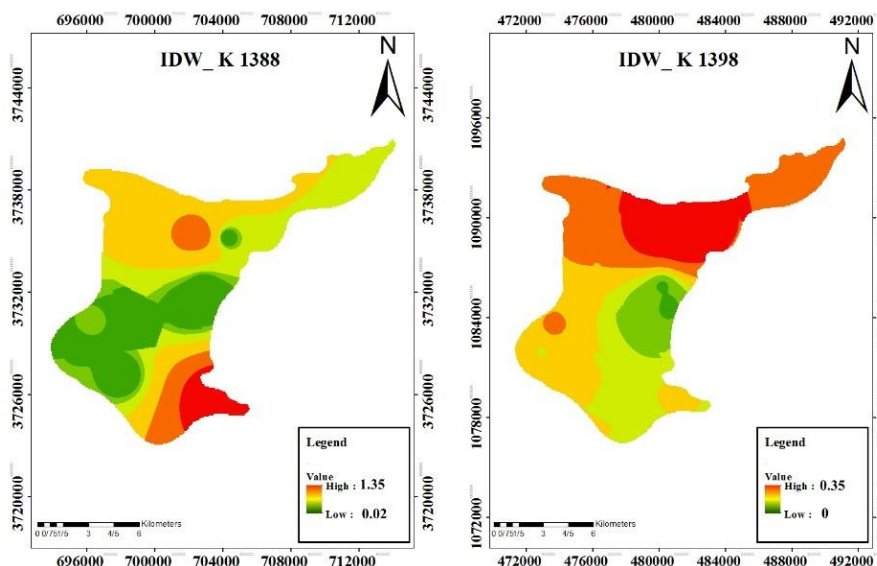
شکل ۷. تغییرات غلظت Cl (mg L^{-1}) در منطقه مورد مطالعه
 Fig 7. Changes in Cl concentration (mg L^{-1}) in the study area



شکل ۸. تغییرات غلظت hco_3 (mg L^{-1}) در منطقه مورد مطالعه
 Fig 8. Changes in hco_3 concentration (mg L^{-1}) in the study area

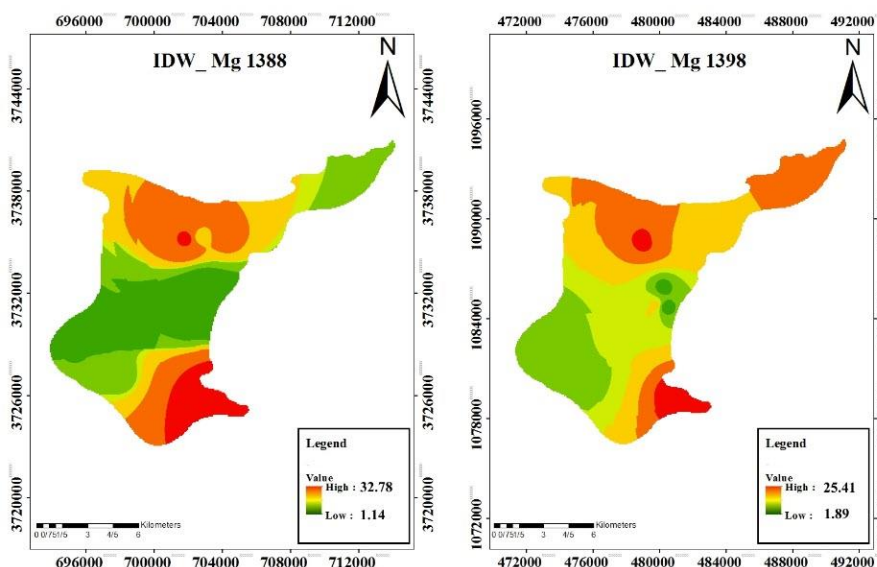
به ۹/۷۴ میلی گرم بر لیتر تغییر یافته است. همان طور که در شکل (۱۱) نشان داده شده است تغییرات میزان یون سدیم در آبخوان دشت قاین در دارای روند کاهشی بوده و دامنه تغییرات آن از ۳/۱۱ - ۳۲/۷ میلی گرم بر لیتر در سال ۱۳۸۸ به ۲/۷۰ - ۲۴/۹۶ میلی گرم بر لیتر در سال ۱۳۹۸ کاهش یافته است. البته در شمال شرق آبخوان غلظت سدیم از ۱۶/۶۴ به ۲۱/۶۳ میلی گرم بر لیتر افزایش یافته است.

نتایج مقایسه شکل های (۹)، (۱۰) و نشان می دهد، غلظت یون پتاسیم در قسمت مرکزی آبخوان و به ویژه در بخش شمالی افزایش یافته است که این افزایش از ۰/۲۱ به ۰/۲۷ میلی گرم بر لیتر می باشد. اما در قسمت جنوب شرق غلظت پتاسیم از ۱/۱۴ به ۰/۱۴۶ میلی گرم بر لیتر کاهش پیدا کرده است. میزان یون منیزیم نیز همانند پتاسیم در مرکز و همچنین شمال شرق افزایش داشته است که مقدار آن در شمال شرق از ۵/۹۳ به ۱۵/۶۱ میلی گرم بر لیتر و در مرکز از ۴/۵



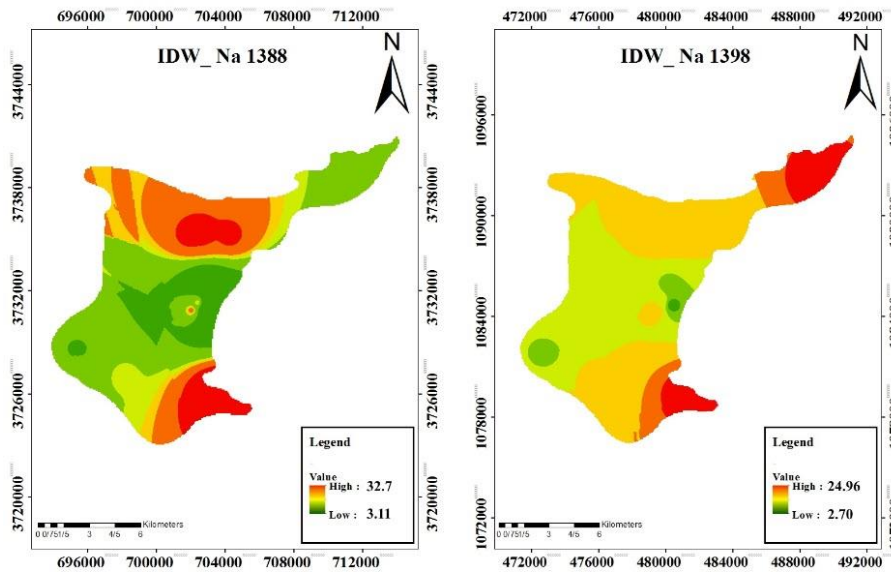
شکل ۹. تغییرات غلظت K (mg L^{-1}) در منطقه مورد مطالعه

Fig 9. Changes in K concentration (mg L^{-1}) in the study area



شکل ۱۰. تغییرات غلظت Mg (mg L^{-1}) در منطقه مورد مطالعه

Fig 10. Changes in Mg concentration (mg L^{-1}) in the study area

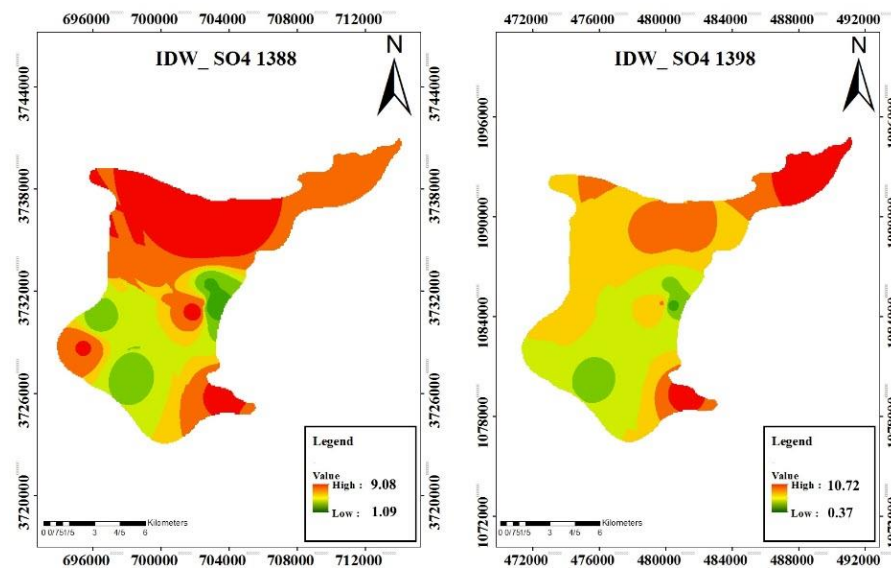


شکل ۱۱. تغییرات غلظت Na (mg L^{-1}) در منطقه مورد مطالعه

Fig 11. Changes in Na concentration (mg L^{-1}) in the study area

در اکثر مناطق دامنه تغییرات غلظت سولفات در سال ۱۳۹۸ بین ۳/۰۶ تا ۸/۷۴ میلی‌گرم بر لیتر است اما در سال ۱۳۸۸ این تغییرات در دامنه ۳/۵۸ تا ۹/۲ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.

شکل (۱۲) مربوط به نقشه پهنه‌بندی غلظت سولفات در آبخوان دشت قاین می‌باشد، با توجه به این نقشه تغییرات میزان سولفات نیز همانند غلظت سدیم در آبخوان قاین دارای روند کاهشی می‌باشد به‌گونه‌ای که

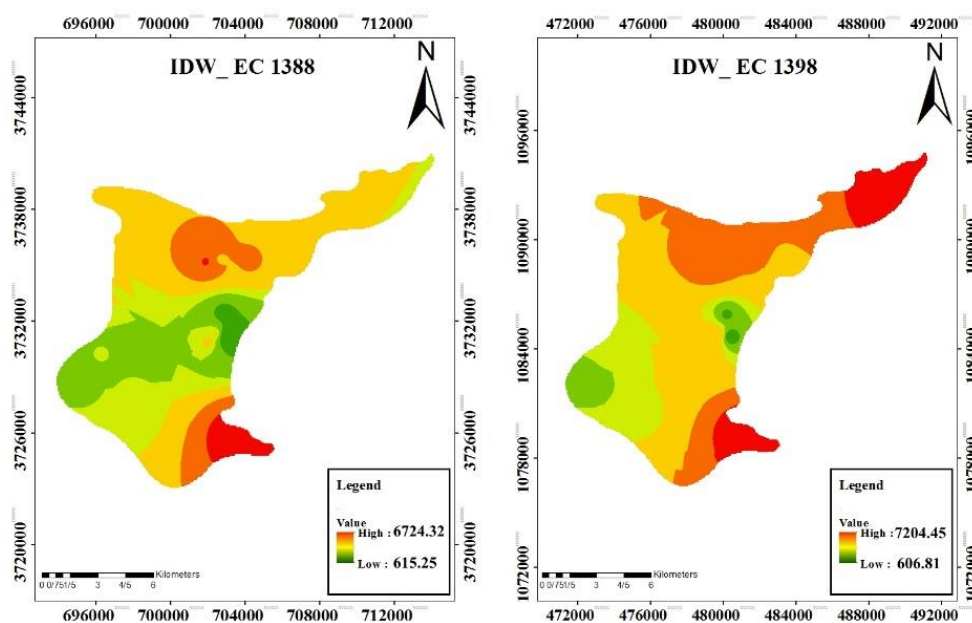


شکل ۱۲. تغییرات غلظت SO4 (mg L^{-1}) در منطقه مورد مطالعه

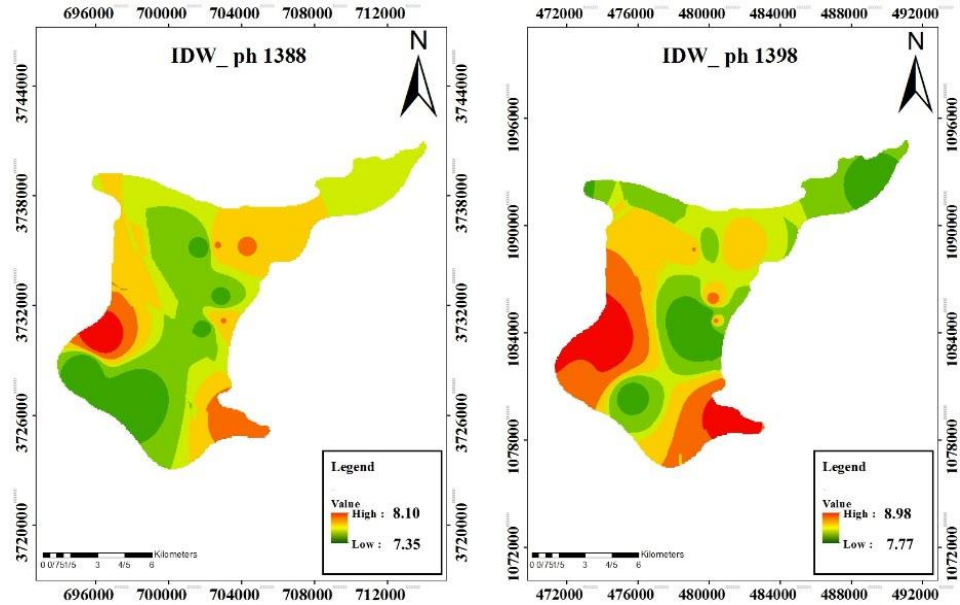
Fig 12. Changes in SO4 concentration (mg L^{-1}) in the study area

در ادامه نقشه‌های پهنه‌بندی مقدار شوری، اسیدیته و مجموع کل مواد محلول در شکل‌های (۱۳) تا (۱۵) نشان داده شده است. با توجه به این نقشه‌ها تغییرات شوری در آبخوان مورد مطالعه به صورت افزایشی است که این افزایش در بخش‌های شمال و شمال شرقی بیشتر می‌باشد، مقدار این تغییرات در شمال شرق از $2688/705$ میکرو موس بر سانتی‌متر در سال ۱۳۸۸ به $5812/78$ میکرو موس بر سانتی‌متر در سال ۱۳۹۸ می‌باشد. همچنین بررسی تغییرات میزان اسیدیته در دوره زمانی مورد مطالعه نشان داد که این پارامتر در تمام آبخوان به ویژه در غرب و جنوب شرق به صورت افزایشی می‌باشد. مقدار تغییرات pH در غرب از $7/62$ به $8/29$ و در جنوب شرق از $7/76$ به $8/66$ می‌باشد. میزان TDS نیز در تمامی دشت افزایشی می‌باشد که این افزایش در بخش‌های شمال، شمال شرق و مرکز بیشتر دیده می‌شود. بیشترین تغییرات TDS در شمال شرق اتفاق افتاده است که مقدار آن از $2340/79$ به $5791/7$ تغییر یافته است.

در طی پژوهشی کیفیت آب زیرزمینی دشت چاردولی در استان کردستان با استفاده از روش کریجینگ و داده‌های ۲۵ حلقه چاه در سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷ مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از این پژوهش نشان دهنده کاهش کیفیت آب زیرزمینی بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ و سپس بهبود وضعیت تا سال ۱۳۸۷ است، این تغییرات منطبق بر افت تراز آب زیرزمینی دشت در سال ۱۳۸۴ بوده که متأثر از وضعیت بارندگی کم منطقه در این دوره و حفر بی رویه چاه می‌باشد (Qamarnia and Roshandel, 2019). بازی و همکاران (۱۳۹۳) نیز در طی پژوهشی به بررسی شاخص کیفی آب زیرزمینی (GQI) آبخوان دشت قاین برای مصارف شرب پرداختند که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد به جز قسمت از شرق آبخوان سایر قسمت‌ها وضعیت نامناسبی به لحاظ کیفیت آب شرب دارند، علت عمده این امر نیز کاهش سطح سفره آب زیرزمینی و افزایش غلظت آلاینده‌های آب بیان شده است (Bazi et al, 2014).

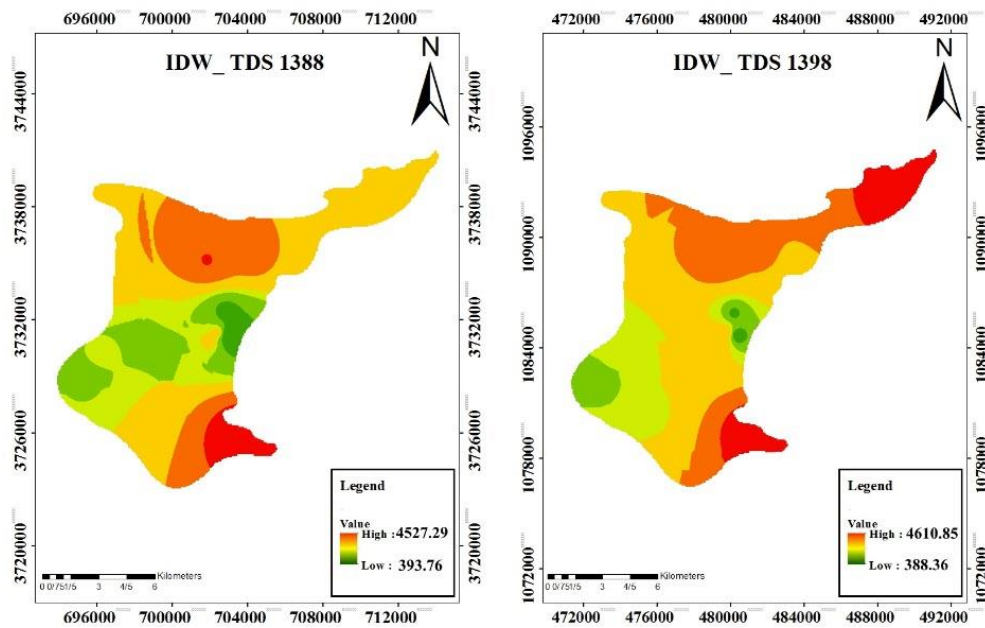


شکل ۱۳. تغییرات EC ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$) در منطقه مورد مطالعه
Fig 13. EC changes ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$) in the study area



شکل ۱۴. تغییرات pH در منطقه مورد مطالعه

Fig 14. pH changes in the study area



شکل ۱۵. تغییرات غلظت TDS (mg L-1) در منطقه مورد مطالعه

Fig 15. Changes in TDS concentration (mg L-1) in the study area

مقایسه نشان داد که برای اکثر پارامترها روش IDW با کمترین میزان خطا، مناسب‌ترین روش برای میانابایی در پژوهش حاضر است. همچنین، مشخص شد بیشترین مقدار خطا مربوط به روش میانابایی LPI برای پارامتر hco_3 با مقدار $11/84 \text{ (mg l}^{-1}\text{)}$ و کمترین مقدار خطا مربوط به روش IDW برای پارامترهای EC و Cl به ترتیب با مقدار $0/01 \text{ (}\mu\text{mos cm}^{-1}\text{)}$ و $0/01 \text{ (mg l}^{-1}\text{)}$ می‌باشد. همچنین با مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی IDW در سال

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، از ۵ روش میانابایی کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، تخمینگر موضعی، تخمینگر عام و IDW برای پهنه‌بندی مقادیر کلسیم، کلر، پتاسیم، منیزیم، سدیم، بی‌کربنات، سولفات، شوری، اسیدیته و مجموع کل مواد محلول در دشت قاین در دو سال ۱۳۸۸ و ۱۳۹۸ استفاده شد و نتایج حاصل از آن‌ها با استفاده از مقدار RE و RMSE با یکدیگر مقایسه شد. نتایج حاصل از این

structure of groundwater quality using the geostatistical approach in Mehran Plain, Iran.

Kurtulus, B., & Razack, M. (2010). Modeling daily discharge responses of a large karstic aquifer using soft computing methods: Artificial neural network and neuro-fuzzy. *Journal of Hydrology*, 381(1-2), 101-111.

Maroofi, S. F., Taranjian, A., & Zareabianeh, H. (2009). Evaluation of geostatistical methods for estimating hydraulic conductivity and pH of drains in Hamadan-Bahar plain. *Water and Soil Conservation Research (Agricultural Sciences and Natural Resources)*. 16(2), 186-169. [In Persian].

Parsai, F., Mahmoudi, M. A., & Agdernejad, A. (2019). Groundwater quality assessment for drinking and agriculture in Qorveh plain. *Scientific Journal of Wetland Ecobiology-Islamic Azad University, Ahvaz Branch*. 13(43), 80-65. [In Persian].

Qamarnia, H., & Roshandel, F. (2019). Investigation of groundwater quality of Chardoli Plain in Kurdistan province. *Journal of Water Resources Engineering*. 11, 160-145. [In Persian].

Qandali, M., Shayesteh, K., & Mesgari, M. S. (2019). Zoning the quality of water resources for agricultural and drinking use using water quality index and geostatistical techniques in Semnan watershed. *Journal of Soil and Water Sciences (Agricultural Science and Technology and Natural Resources)*. 1(23), 198-187. [In Persian].

Shabani, M. (2007). *Spatial analysis of groundwater pollution in Arsjan region, research project*, Islamic Azad University, Arsjan branch [in Persian].

Shabani, M. (2011). Evaluation of geostatistical methods in preparing groundwater quality maps and their zoning Case study: Neyriz plain, Fars province, *Lar. Natural Geography Quarterly*. 4(13), 97-83. [In Persian].

Taghizadeh-Mehrjardi, R., Zareian-Jahromi, M., Mahmodi, Sh., & Heidari, A. (2008). Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case Study: Yazd-Ardakan Plain). *World Appl. Sci. J.* 4(1), 9-17.

۱۳۸۸ و ۱۳۹۸ مشخص شد میزان غلظت اکثر پارامترهای کیفی مورد بررسی در دوره آماری مورد مطالعه افزایش در آبخوان قاین افزایش یافته است، تنها پارامترهای بی کربنات، سدیم و سولفات در آبخوان کاهش یافته‌اند. میزان یون سدیم از $3/11 - 32/7$ میلی گرم بر لیتر در سال ۱۳۸۸ به $2/70 - 24/96$ میلی گرم بر لیتر در سال ۱۳۹۸ و غلظت سولفات از $3/58$ تا $9/2$ میلی گرم بر لیتر در سال ۱۳۸۸ به $3/06$ تا $8/74$ میلی گرم بر لیتر در سال ۱۳۹۸ کاهش یافته‌است. تغییرات افزایشی پارامترهای کیفی مورد مطالعه در این پژوهش اکثراً در بخش‌های شمال شرق و جنوب شرق اتفاق افتاده‌است. این تغییرات می‌تواند به علل مختلف از جمله خشکسالی‌های پی در پی و کاهش بارندگی و یا افزایش بی‌رویه برداشت از منابع آب زیرزمینی در این مناطق باشد.

منابع

Bai, M., Haghizadeh, A., & Tahmasebipour, N. (2017). Spatial variations in groundwater quality using statistical context. *Journal of Geographical Space*. 63(18), 163-137. [In Persian].

Bazi, J., Khozimehnejad, H., & Jafarzadeh, A. (2014). *Groundwater Quality Zoning of Ghaen Plain Aquifer Based on GQI Index Using Geographic Information System (GIS)*, Second National Conference on Water Crisis (Climate Change, Water and Environment), Shahre Kord. [in Persian].

Bhuiyan, M. A. H., Bodrud-Doza, M., Islam, A. T., Rakib, M. A., Rahman, M. S., & Ramanathan, A. L. (2016). Assessment of groundwater quality of Lakshimpur district of Bangladesh using water quality indices, geostatistical methods, and multivariate analysis. *Environmental Earth Sciences*. 75(12), 1-23.

Ebrahimi, P. (2001). Investigation and evaluation of drinking water supply and demand management in drought conditions of Isfahan. *Journal of Water and Environment*. 48, 89-98. [In Persian].

Habibiabbaratani, W., Ahmadi, A., & Fattahi, M. M. (2009). Modeling the spatial variation of some chemical properties of groundwater using geostatistical methods. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 3(7), 34-23. [In Persian].

Kia, F., Ghorbani, Kh., & Salari Jazi, M. (2019). Evaluation of spatial and temporal changes in groundwater quality using WQI over two decades in Golestan aquifer. *Iranian Soil and Water Research*. 50(1), 51-39. [In Persian].

Khosravi, H., Karimi, K., Nakhaee, N., & Mesbahzadeh, T. (2016). Investigation of spatial