



Research Paper

Performance Investigating of Flood Spreading System on the Groundwater Quality

Tahereh Pooramini¹, Farzaneh Fotouhi Firoozabad^{2*} and Jalal Barkhordari³

¹M.Sc. Alumnus, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

²Assist. Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

³Assist. Professor, Soil Conservation and Watershed Research Department, Agriculture and Natural Resources Research and Training Center, Yazd Province, Iran

Article information

Received: August 01, 2023

Revised: September 27, 2023

Accepted: September 30, 2023

Keywords:

Flood Spreading
Interpolation
Water Quality
Watershed
Yazd

*Corresponding author:
f.fotouhi@ardakan.ac.ir



Abstract

Flood spreading is one of the solutions for water resource management that can have positive effects on groundwater resources. The aim of research is to investigate some qualitative changes of Herat aquifer affected by flood spreading station in the region. Statistics of Ca, HCO₃, Mg, Na, Cl, TDS and EC parameters of agricultural wells were extracted. To evaluate effect of water extraction and consequently effect of sediment extraction on efficiency of sites, years of 2003-2011 were selected as the first period and 2012-2021 as the second period. Different interpolation methods were used to investigate spatial changes of qualitative parameters. Map of percentage of spatial changes of each parameter was obtained with using mathematical relationships. The results of examining percentage of spatial changes of parameters indicate an increase of water quality in downstream of flood spreading and outlet of aquifer. The lowest EC with less than 1000 $\mu\text{mho/cm}$ is related to western wells and the highest EC with more than 10000 $\mu\text{mho/cm}$ in is related to eastern wells. This reinforces positive effect of flood spreading. Considering spatial pattern, effect of flood spreading projects in this area has been positive and has been able to control the decline in quality of groundwater.

How to cite this paper: Pooramini, T., Fotouhi Firoozabad, F., & Barkhordari, J. (2024). Performance investigating of flood spreading system on the groundwater quality. *Environ. Water Eng.*, 10(2), 212-226. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.409401.1883> (In Persian)



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

One of the important goals of flood spreading plans is to feed groundwater tables and increase quality of these resources. One of the most important indicators for evaluation of artificial feeding plans is to examine their impact on quality of groundwater resources. The main goal of current research is to investigate the spatial changes of water quality parameters in the Herat flood area in two different statistical periods.

Material and Methods

Harat watershed area is 1413 km² in south of Yazd province. The location of flood spreading sites implemented at the end of Harat basin outlet and with an area of 490 ha, which includes four implementation areas. The area of this aquifer is about 116 km²; the perimeter is about 51 km, which is located at the outlet of the Herat watershed. To investigate and evaluate the effects of flood spreading projects on groundwater resources, statistics of parameters of 17 wells were used from the area of aquifer affected by these projects, based on available information, parameters of calcium, carbonate, magnesium, sodium, chlorine, and total dissolved solids and salt was extracted. Since there was no data on the quality parameters of agricultural wells before the construction of flood distribution. Therefore, according to the water extraction time of the flood distribution system, the existing statistical period was divided into two periods in order to check the system's performance on the quality of agricultural wells. So that 2003-2011 is the first period and 2012-2021 is the second period. Different interpolation methods were used to investigate the spatial changes of qualitative parameters. Deterministic interpolation methods including IDW, RBF, GPI, LPI and geostatistical interpolation method including kriging were used. To choose the best interpolation method for the qualitative parameters of Herat aquifer, the measurement error was obtained with the statistical parameters of RMSE and R². The values of each quality parameter in the interpolated maps were divided into four classes and the area of each class was obtained in square kilometers. Then the area of each class was compared in two periods. In order to find the percentage of spatial changes of each parameter, using the mathematical relationship, the percentage of spatial changes of each parameter was also obtained. Eq. 1 was used to

prepare a map of changes of water quality factors.

$$[(f_{i+1}-f_i)/f_i] \times 100 \quad (1)$$

Results

To investigate the spatial changes of water quality characteristics, the optimal method was obtained due to the lower RMSE value and higher R². Based on this, kriging method was used to investigate the spatial changes of all characteristics except magnesium. To investigate the spatial changes of magnesium variable according to the RMSE and R² statistical indicators, the RBF method was chosen as the optimal method. Fig. 1 shows the zoning of quality factors related to the first period (2003-2011) and the second period (2012-2021).

The results showed that geostatistical methods for zoning water quality characteristics in this area were better than deterministic methods. The lowest EC with less than 1000 µmho/cm is related to western wells and the highest EC with more than 10000 µmho/cm in is related to eastern wells. In the studies conducted on other quality parameters, it was also found that this trend of changes is the same for all quality parameters. The trend of increasing electrical conductivity and other qualitative parameters from the west to the east of the aquifer area can be justified due to the fineness of alluvial constituents in this direction and the absence of any groundwater outlet in the eastern border of the aquifer, which causes excessive retention of water due to the decrease in velocity. Finally, with using mathematical techniques, the map of the spatial pattern of percentage changes of each factor was extracted.

The results showed that calcium (Ca), chlorine (Cl), salinity (EC) and total dissolved solids (TDS) factors have similar spatial pattern changes. Therefore, from the outlet to the upstream side of the aquifer under the influence of flood spreading, the amount of parameter changes increase. The process of changes in the spatial pattern of salinity depends on the total dissolved solids and temperature, so that with the increase of the two mentioned factors, the salinity also increases. In downstream of flood spreading and the outlet of the aquifer, the amount of positive changes (improvement) increased and in upstream of flood spreading, the amount of negative changes (deterioration) increases. This reinforces positive effect of flood spreading. Considering spatial pattern, effect of

flood spreading projects in this area has been positive and has been able to control the decline

in quality of groundwater.

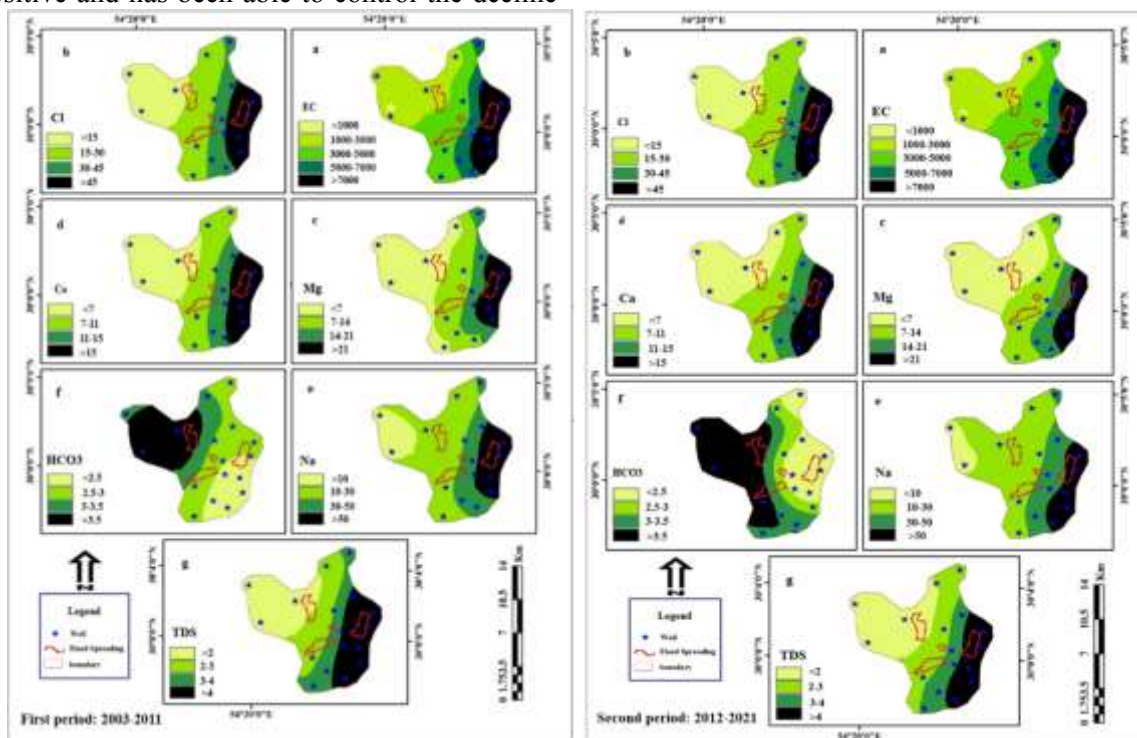


Fig. 1 Zoning of quality factors related to the first period (2003-2011) and the second period (2012-2021): a) Salinity, b) Chlorine, c) Magnesium, d) Calcium, m) Sodium, f) Bicarbonate and j) Total Dissolved Solids

Conclusions

In the present study, the effect of Herat's flood spreading on the quality of the groundwater was discussed and investigated. Kriging method for zoning water quality characteristics in this area is better than deterministic methods (IDW, RBF, GPI and LPI). In downstream of flood spreading and the outlet of the aquifer, the amount of positive changes (improvement) increased and in upstream of flood spreading, the amount of negative changes (deterioration) increases. The electrical conductivity variable and other qualitative parameters have been increasing from the west to the east of the aquifer area. The flood spreading of Herat has increased the quality of

agricultural water in the downstream areas. By considering spatial pattern, effect of flood spreading projects in this area has been positive and has been able to control the decline in quality of groundwater.

Data Availability

The data can be sent on request by the corresponding author via f.fotouhi@ardakan.ac.ir email.

Conflicts of interest

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



ISSN: 2476-3683

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد سامانه پخش سیلاب بر کیفیت آب زیرزمینی

طاهره پورامینی^۱، فرزانه فتوحی فیروزآباد^{۲*} و جلال برخوردار^۳

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
^۲استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
^۳استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۵/۰۱]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۰۸/۲۴]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۱۰/۰۳]

واژه‌های کلیدی:

آبخیزداری

پخش سیلاب

درون‌یابی

کیفیت آب

یزد

*نویسنده مسئول:

f.fotouhi@ardakan.ac.ir



پخش سیلاب یکی از راه‌کارهای مدیریت منابع آب است که می‌تواند تأثیرات مثبتی بر منابع آب زیرزمینی داشته باشد. هدف از پژوهش حاضر، بررسی برخی تغییرات کیفی آبخوان هرات متأثر از ایستگاه پخش سیلاب منطقه بود. آمار پارامترهای Ca ، HCO_3 ، Mg ، Na ، Cl ، TDS و EC چاه‌های کشاورزی استخراج شد. جهت ارزیابی تأثیر آبخیزداریها و به تبع آن تأثیر رسوب‌گیری بر میزان کارایی سامانه پخش سیلاب، سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۹۰ به‌عنوان دوره اول و ۱۳۹۱-۱۴۰۰ به‌عنوان دوره دوم انتخاب شدند. برای بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی، روش‌های مختلف درون‌یابی استفاده شد. با استفاده از روابط ریاضی نقشه درصد تغییرات مکانی هر پارامتر نیز به دست‌آمد. نتایج بررسی درصد تغییرات مکانی پارامترها بیانگر افزایش کیفیت آب در پایین دست پخش سیلاب و خروجی آبخوان می‌باشد. کم‌ترین EC مربوط به چاه‌های غرب منطقه با کم‌تر از $1000 \mu mho/cm$ و بیش‌ترین EC مربوط به چاه‌هایی با بیش‌تر از $10000 \mu mho/cm$ در شرقی‌ترین نقطه آبخوان می‌باشد. این امر تأثیر مثبت پخش سیلاب را تقویت می‌کند. با در نظر گرفتن الگوی مکانی، اثرگذاری پروژه‌های پخش سیلاب در این منطقه مثبت بوده و توانسته افت کیفیت آب‌های زیرزمینی را کنترل کند.

نحوه استناد به این مقاله:

پورامینی، طاهره، فتوحی فیروزآباد، فرزانه، & برخوردار، جلال. (۱۴۰۳). بررسی عملکرد سامانه پخش سیلاب بر کیفیت آب زیرزمینی. محیط‌زیست و مهندسی آب. 10(2) 212-226. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.409401.1883>



۱- مقدمه

ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است، از اینرو لازم است که خشکی و خشکسالی را به‌عنوان پدیده‌های طبیعی پذیرفته و از منابع موجود بر حسب شرایط زمان و مکان بیش‌ترین بهره‌برداری را برد. این موضوع سبب شده است تا مردم بومی و دولت‌مردان به فکر چاره‌جویی و ارائه راه‌حلی برای کاهش اثر زیان‌بار آن‌ها باشند. بهره‌گیری از سیلاب‌ها جهت تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها، راهبردی برای تقویت و توسعه منابع آبی است که از دیرباز مورد توجه کارشناسان و روستائیان مناطق مختلف ایران بوده است، به‌طوری که پیشینه تغذیه مصنوعی در ایران به ۳۰۰۰ سال پیش بازمی‌گردد (Kosar 2014). نگهداری و بهره‌برداری از آب‌های سطحی در مناطق خشک، با روش‌های مختلف از قبیل طرح‌های آبخوان‌داری، احداث بندها و غیره صورت می‌پذیرد که بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی تأثیرگذار بوده و در توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی منطقه طرح مفید می‌باشد (Moslemi et al. 2017). در حال حاضر برای استحصال آب با اهداف مورد نظر در ایران، از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. یکی از روش‌ها، بهره‌برداری از سیلاب‌ها با استفاده از روش پخش سیلاب بر آبخوان‌هاست که پایش عملکردهای آن در زمینه‌های مختلف در دست انجام می‌باشد (Jabari and Telvari 2014).

در مناطقی که مسائل مربوط به انباشتگی تدریجی نمک در برخی از پروژه‌های تغذیه مصنوعی مورد توجه مدیریت منابع آب قرار گیرد، اندازه‌گیری پارامترهای کلی نظیر TDS و یا EC می‌تواند برای مقاصد کنترل حجم نمک‌ها کافی باشد (Kamali et al. 2014). در واقع یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین اثرات طرح‌های تغذیه مصنوعی اندازه‌گیری EC در چاه‌های تحت تأثیر است. لذا جهت بررسی و ارزیابی چگونگی این تأثیرگذاری نیاز به مطالعه دقیق و تحقیق در مورد اثرات کمی و کیفی آن بر منابع آب منطقه می‌باشد. نتیجه این کار با دستیابی به اثرات مثبت یا منفی کمی طرح بر منابع آب منطقه می‌تواند جهت مدیریت و برنامه‌ریزی این‌گونه طرح‌ها و مکان‌یابی مناسب آنها مورد استفاده قرار گیرد.

Weesakul et al. (2010) در پژوهشی برای جلوگیری از خطر فرونشست زمین و کاهش کیفیت آب زیرزمینی در منطقه‌ی بانکوک و اطراف آن که به دلیل نفوذ آب‌های شور

مورد تهدید بوده است، پیشنهاد استفاده از طرح‌های پخش سیلاب را داده‌اند و آن را بهترین گزینه برای کاهش اثرات این خطر معرفی کرده‌اند. (Mousavi and Rezaei 2011) در ارزیابی تأثیر پخش سیلاب بر منابع آبی در دشت سهرین زنجان اظهار داشته‌اند که اجرای پروژه‌ی پخش سیلاب تأثیر درخور توجهی بر منابع آب زیرزمینی داشته است. Ghazavi et al. (2012) گزارش داده‌اند که با اجرای پخش سیلاب و تغذیه‌ی آبخوان در شهرستان داراب، پارامترهای کیفی آب از جمله pH، EC، Ca، Mg، Cl، HCO₃ و SO₄ کاهش محسوس داشته‌اند. (Vayskarami et al. 2013) مطالعه‌ی خود اظهار داشته‌اند که قبل از اجرای پروژه‌ی پخش سیلاب در دشت کوه‌دشت، سطح ایستابی در آب‌های زیرزمینی روند کاهشی داشته، اما با اجرای طرح، سطح آب زیرزمینی افزایش یافته و روند کاهشی آن متوقف شده است. (Choopani 2013) در بررسی تأثیر تغذیه‌ی مصنوعی لاورفین بر کمیت‌های آب زیرزمینی اظهار داشته است که سطح آب زیرزمینی بعد از اجرای طرح، افزایش چشم‌گیری داشته است. (Kosar 2014) ظرفیت ذخیره سیلاب در دشت گریباگان فسا را حدود ۱۰۰ MCM برآورد کرده است. (Moslemi et al. 2017) و (Moslemi et al. 2018) در مطالعه‌های خود به ارزیابی آثار پخش سیلاب بر منابع آب زیرزمینی دشت هشت‌بندی پرداخته است. بعد از گذشت ۱۰ yr و چند مرحله سیل‌گیری، سطح چاه مشاهده‌ای ۳ m افزایش یافته است. در این بررسی همچنین مشخص شده مقدار شوری آب در محدوده‌ی اجرای طرح پخش سیلاب تغییر خاصی نداشته، اما در مرکز دشت به دلیل برداشت بی‌رویه، شوری آب چاه‌ها افزایش یافته است. (Dahmardeh Ghaleno et al. 2019) در بررسی تأثیر پخش سیلاب کوه خواجه سیستان به این نتیجه رسیدند که پخش سیلاب باعث کاهش معنادار اسیدیته و EC شده است. (Jahantigh and Jahantigh 2020) در پژوهشی به بررسی تأثیر سیلاب‌های ورودی از کشور افغانستان بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت سیستان پرداختند. نتایج بررسی یادشده در مورد هیدروگراف واحد دشت نشان داد سطح آب بعد از سیلاب ۲/۱۶ m افزایش داشته است. همچنین مشخص شد که ورود جریان‌های سیلابی سبب کاهش معنادار EC شده، اما کاهش مقدار pH از نظر آماری معنادار نبوده است. (Charles et al. 2020)

هرات، متوسط بارش سالانه حوضه 217 mm/yr است که طبق اقلیم کلی منطقه یزد، قسمت اعظم آن در زمستان و پاییز می‌بارد به طوری که 54% در فصل زمستان، 25% در پاییز و 21% در فصل بهار می‌باشد. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن جزء اقلیم نیمه‌خشک سرد می‌باشد (Pooramini et al. 2021). محیط حوضه برابر 237 km و آبراهه اصلی آن به نام رودخانه اعظم 91 km طول دارد. این منطقه از نظر زمین‌شناسی قسمتی از زون ایران مرکزی را تشکیل می‌دهد که در شمال شرق رشته چین‌خورده زاگرس قرار دارد. منطقه مورد مطالعه از نظر لیتولوژی متنوع بوده و از قدیمی‌ترین تشکیلات متعلق به پالئوزوئیک تا آبرفت‌های دوران چهارم را شامل می‌شود. نهشته‌های کواترنر با مساحت 820 km^2 بیشترین گسترش داشته و بیش از 58% از کل منطقه مورد مطالعه را می‌پوشاند (Pooramini et al. 2021).

موقعیت سایت‌های پخش سیلاب اجرا شده در انتهای خروجی حوضه هرات و به وسعت 490 ha ، شامل چهار عرصه اجرایی بوده که در شکل (۱) نشان داده شده است. هر کدام از عرصه‌ها دارای سیستم آبیگری و بخش‌های جداگانه شامل سازه انحراف آب، دریچه، کانال انحراف و انتقال آب، حوضچه رسوب‌گیر و عرصه پخش سیلاب که شامل دایک‌ها (خاکریزها)، دستک‌ها، سرریزها (که معمولاً از سنگ و سیمان ساخته شده‌اند)، کانال پخش و سرریز خروجی که در آخرین بند یا پهنه پخش طراحی شده و آب اضافه استحصال شده را به رودخانه اصلی برمی‌گرداند (Fazelpour Aghdai et al. 2017).

به‌منظور بررسی و ارزیابی تأثیرات پروژه‌های پخش سیلاب بر منابع آب زیرزمینی، از محدوده آبخوان تحت تأثیر این پروژه‌ها استفاده شد که در این محدوده 17 چاه کشاورزی دارای داده و اطلاعات وجود داشت. مساحت این آبخوان حدود 116 km^2 ، محیط حدود 51 km می‌باشد که در خروجی حوضه آبخیز هرات قرار دارد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی آبخوان، حوضه آبخیز هرات و چاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

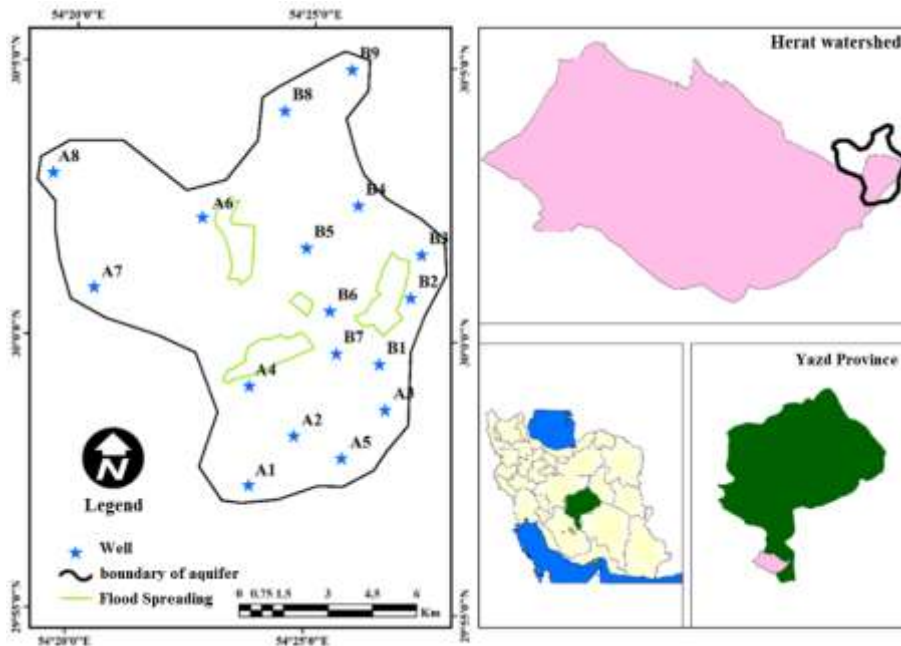
در ارزیابی تأثیر سیلاب بر کیفیت آب زیرزمینی در کشور لیبیا از آزمون T زوجی استفاده و اقدام به بررسی اختلاف معناداری بین پارامترهای کیفی آب در دو دوره خشک و مرطوب کرده‌اند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد بین دوره مرطوب و خشک از نظر کدورت، نیتريت، نترات، مس، سرب و کادمیوم اختلاف آماری وجود داشت، در حالی که برای ۳ پارامتر pH، روی و فسفات اختلاف آماری مشاهده نشد. همچنین، مشخص شد سطح آلودگی از فصل خشک به فصل مرطوب روند افزایشی داشته، به طوری که همه‌ی نمونه‌ها کیفیت مناسب شرب را بر اساس استانداردهای (WHO) از دست داده‌اند. (Alam et al (2021) با بررسی ۱۱۲۷ پروژه اجرا شده تغذیه مصنوعی آبخوان به‌صورت مدیریت شده، اظهار داشتند که این پروژه‌ها بیشتر در خاک‌های لوم رسی شنی که با گروه هیدرولوژیک C اجرا شده است. اجرای این روش می‌تواند در حذف کربن آلی محلول و اغلب فلزات مؤثر باشد.

یکی از اهداف مهم طرح‌های پخش سیلاب، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و افزایش کمی و کیفی این منابع می‌باشد. آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی‌های کوتاه‌مدت قرار نمی‌گیرند و چنانچه به‌درستی استفاده شود منبع مطمئنی برای رفع نیازهای انسان است. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین اثرات طرح‌های تغذیه مصنوعی اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی در چاه‌های تحت تأثیر است. هدف اصلی از پژوهش حاضر، ارزیابی روند تغییرات مکانی پارامترهای کیفی سفره آب زیرزمینی در محدوده‌ی پخش سیلاب هرات در دو دوره آماری مختلف و تعیین تأثیر پخش سیلاب در این تغییرات می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز هرات به وسعت 1413 km^2 با مختصات $21'$ 54° تا $38' 31''$ 58° طول شرقی و $12'$ 30° تا $29'$ 47° عرض شمالی در جنوب استان یزد و جنوب غرب شهرستان خاتم واقع شده است. ارتفاع متوسط این حوضه 2207 m ، حداکثر ارتفاع 3265 m و حداقل آن حدود 1730 m از سطح دریا می‌باشد. طبق داده‌های بلندمدت ایستگاه کلیماتولوژی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز هرات، سایت‌های پخش سیلاب هرات، آبخوان تحت‌تأثیر و چاه‌های مورد مطالعه
 Fig. 1 Geographical location of Herat watershed, Herat flood distribution sites, affected aquifer and studied wells

درون‌یابی مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور، روش‌های مختلف درون‌یابی در نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از الحاقی^۱ Geostatistical Analyst تهیه و با یکدیگر مقایسه شدند. از روش‌های درون‌یابی قطعی شامل عکس فاصله^۲ (IDW)، توابع شعاعی (RBF)^۳، تخمین‌گر چندجمله‌ای جهانی (GPI)^۴، تخمین‌گر چندجمله‌ای محلی (LPI)^۵ و روش درون‌یابی زمین‌آمار شامل کریجینگ^۶ استفاده شد (Pooramini et al. 2021). به‌منظور انتخاب بهترین روش درون‌یابی پارامترهای کیفی آبخوان هرات، میزان خطای اندازه‌گیری با پارامترهای آماری مجذور مربعات خطا و ضریب تعیین بدست آمد. مقادیر هر پارامتر کیفی در نقشه‌های درون‌یابی شده، در چهار طبقه تفکیک شده و مساحت هر طبقه بر حسب کیلومتر مربع به دست آمد. سپس مساحت مربوط به هر طبقه در دو دوره با یکدیگر مقایسه شد.

۲-۳-۱- روش‌های درون‌یابی قطعی

در روش معکوس فاصله (IDW) به هر یک از نقاط، وزنی بر اساس فاصله بین هر نقطه تا موقعیت نقطه مجهول تخصیص

۲-۲- داده‌های کیفیت آب

داده‌های اندازه‌گیری شده پارامترهای کیفی مربوط به این دشت، از شرکت آب منطقه‌ای و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد دریافت شد. جهت بررسی کیفی آب، داده‌های متغیرهای کلسیم، کربنات، منیزیم، سدیم، کلر، کل جامدات محلول و شوری ۱۷ چاه کشاورزی در محدوده آبخوان استخراج شد. از آنجایی که داده‌های پارامترهای کیفی چاه‌های کشاورزی قبل از احداث پخش سیلاب وجود نداشت. بنابراین با توجه به زمان آبگیری سامانه پخش سیلاب، برای بررسی کارکرد سامانه بر کیفیت چاه‌های کشاورزی، دوره‌ی آماری موجود به دو دوره تقسیم شد. به‌طوری‌که سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۲ به‌عنوان دوره اول و سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۱ به‌عنوان دوره دوم می‌باشد.

۲-۳- تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی

از آنجا که آمار کلاسیک، قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی نمی‌باشد، از روش‌های موجود در نرم‌افزار ArcGIS برای رسیدن به هدف، استفاده شد. امروزه برای بررسی متغیرهای مکانی از قبیل پارامترهای کیفی آب زیرزمینی از روش‌های درون‌یابی استفاده می‌شود. در روش‌های درون‌یابی، وجود همبستگی مکانی بین مقادیر متغیر در یک ناحیه، مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی، روش‌های مختلف

¹Extension

²Inverse Distance Weighting (IDW)

³Radial Basis Functions (RBF)

⁴Global Polynomial Interpolation (GPI)

⁵Local Polynomial Interpolation (LPI)

⁶Kriging

واریانس خواند. بنابراین باید عاری از خطای سیستماتیک باشد. همچنین واریانس تخمین نیز باید حداقل باشد. بنابراین برای شرط عاری از خطا بودن، باید میانگین خطای تخمین صفر باشد. ضمن آنکه، شرط ناریبی کریجینگ، این محدودیت که مجموع ضرایب تخمین باید مساوی یک باشد را اعمال می‌کند. روش کریجینگ نیز همانند روش معکوس فاصله، برای برآورد نقطه ناشناخته، به هریک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده وزنی را نسبت می‌دهد (رابطه ۲).

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

که، Z^* مقدار متغیر مکانی برآورد شده، $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه x_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه i ام در برآورد است. شرط استفاده از این تخمینگر این است که، متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. در غیر اینصورت یا باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا اینکه به نحوی توزیع متغیرها را به نرمال تبدیل کرد (Pooramini et al. 2021).

۲-۴- پارامترهای آماری تعیین میزان خطا

ضریب تعیین در معادلات رگرسیونی با علامت R^2 نشان داده می‌شود و بیانگر میزان احتمال هم‌بستگی میان دو دسته داده در آینده می‌باشد. این پارامتر از رابطه (۳) به دست می‌آید (Utia et al. 2023).

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS} \quad (3)$$

که، RSS مجموع مربعات باقی‌مانده و TSS کل مجموع مربعات می‌باشد. خطای میانگین مربعات یا همان Mean Square Error که به صورت مخفف با MSE نیز شناخته می‌شود (Utia et al. 2023)، یکی از ابزارهای آماری برای یافتن دقت پیش‌بینی انجام شده در مدل‌سازی می‌باشد. این پارامتر تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می‌باشد. $RMSE$ نیز یک ابزار خوبی برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی توسط یک مجموعه داده می‌باشد که از رابطه (۴) به دست می‌آید (Utia et al. 2023).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (At - Ft)^2}{n}} \quad (4)$$

که، At داده واقعی و Ft داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل می‌باشد.

می‌یابد. این وزن‌ها به وسیله توان وزن‌دهی کنترل می‌شود. به طوری که توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد تخمین را کاهش و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط همسایه توزیع می‌کند. در این روش مقدار متغیر وزنی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Johnston et al. 2001).

$$Z^*(x_0) = \frac{\frac{1}{d_i^\alpha}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^\alpha}} Z(x_i) = \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

که، λ_i وزن ایستگاه i ام، d_i فاصله بین نقطه تخمین تا هر کدام از نمونه‌های واقع در همسایگی آن، $Z(x_i)$ مقدار نمونه‌های واقع در همسایگی محل تخمین، $Z^*(x_0)$ مقدار برآورد در محل مورد تخمین و α توان وزن‌دهی می‌باشد. توابع پایه شعاعی (RBF)، از نوع شبکه‌های روبه‌جلو همراه با یک لایه میانی هستند. شبکه‌های توابع پایه شعاعی دارای پایه ریاضیاتی بسیار قوی، بر مبنای فرضیه منظم‌سازی برای حل مسائل مشکل می‌باشند. این شبکه‌ها، تقریباً به طور کلی، از سه لایه شامل ورودی، مخفی و خروجی تشکیل شده‌اند. توابع پایه شعاعی منظم به عنوان تابع تحریک نرون‌های لایه مخفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. عموماً آموزش شبکه RBF به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول عمدتاً از نوع بدون نظارت است که با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی، پارامترهای توابع پایه (مراکز و عرض‌ها) با استفاده از اطلاعات ورودی تعیین می‌شود و در بخش دوم که یادگیری از نوع با نظارت است، وزن‌های بین لایه میانی و لایه خروجی با استفاده از روش‌های کاهش شیب و رگرسیون خطی تعیین می‌شود (Johnston et al. 2001؛ Eivazi and Mosaedi 2012). روش چندجمله‌ای جهانی (GPI) با استفاده از تابع ریاضی، یک رویه هموار را بر نقاط نمونه‌برداری شده برازش می‌دهد. این رویه به تدریج تغییر می‌کند و الگوی (تغییرات) داده‌ها را ضبط می‌کند (Eivazi and Mosaedi 2012). روش چندجمله‌ای محلی (LPI) نیز همانند روش GPI از تابع چندجمله‌ای جهت درونیابی استفاده می‌کند و تنها تفاوت آن‌ها در این است که در این روش تعداد زیادی چندجمله‌ای بر داده‌های محدود در یک همسایگی معین، برازش داده می‌شود.

۲-۳-۲- روش درونیابی زمین آمار

روش کریجینگ بر اساس میانگین متحرک وزنی بوده و می‌توان آن را بهترین تخمینگر خطی نارایب با کمترین مقدار

جدول (۱) نتیجه این ارزیابی را نشان می‌دهد. بر این اساس، جهت بررسی تغییرات مکانی تمامی مشخصه‌ها به‌جز منیزیم از روش کریجینگ استفاده شد. برای بررسی تغییرات مکانی متغیر منیزیم با توجه به شاخص‌های آماری $RMSE$ و R^2 روش RBF به عنوان روش بهینه انتخاب گردید. نتایج نشان داد روش‌های زمین‌آمار جهت پهنه‌بندی مشخصه‌های کیفی آب در این منطقه بهتر از روش‌های قطعی بوده که با نتایج Sabzevari et al. و Eivazi and Mosaedi (2012) (2020) مطابقت دارد. بررسی پژوهش‌های گذشته در این زمینه و مقایسه با نتایج پژوهش حاضر نشان داد، روش‌های درون‌یابی در هر زمینه و هر منطقه‌ای باید مورد ارزیابی قرار گرفته و بهترین روش اتخاذ و نتیجه در هر منطقه به شرایط مختلف بستگی داشته و قابل تعمیم به مناطق دیگر نیست.

۲-۵- نقشه درصد تغییرات مکانی متغیرها

جهت یافتن درصد تغییرات مکانی هر پارامتر با استفاده از رابطه ریاضی نقشه درصد تغییرات مکانی هر پارامتر نیز به دست آمد. به‌منظور تهیه نقشه مکانی تغییرات متغیرهای کیفی آب، از رابطه (۵) استفاده شد (Smiraglia et al. 2016).

$$[(f_{t+1} - f_t)/f_t] \times 100 \quad (5)$$

که، f میانگین دوره‌ای متغیرهای کیفی در مقیاس پیکسل می‌باشد، f_t مربوط به دوره اول (۱۳۸۲-۱۳۹۰) و f_{t+1} مربوط به دوره دوم (۱۳۹۱-۱۴۰۰) می‌باشد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب

برای بررسی تغییرات مکانی مشخصه‌های کیفی، روش بهینه با توجه به مقدار $RMSE$ کمتر و R^2 بیش‌تر به دست آمد.

جدول ۱- مقایسه روش‌های درون‌یابی از نظر دقت برآوردها برای متغیرهای کیفیت آب

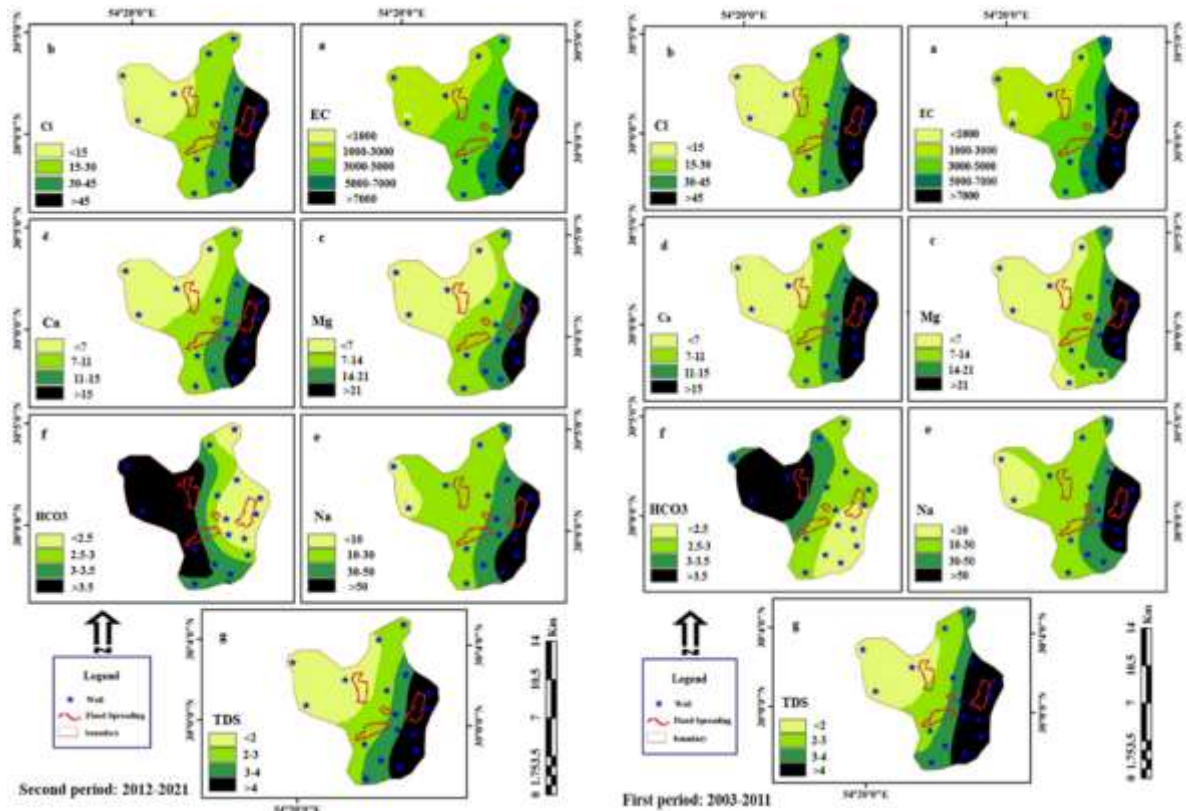
Table 1 Comparison of interpolation methods in terms of estimation accuracy for water quality factors

Water quality factors	Kriging		IDW		GPI		LPI		RBF	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
Ca	0.90	1.94	0.7	3.43	0.8	2.76	0.87	2.25	0.89	2.09
Hco3	0.65	0.50	0.5	0.59	0.46	0.62	0.5	0.6	0.63	0.5
Mg	0.69	5.43	0.62	5.97	0.83	4	0.79	4.39	0.83	3.97
Na	0.94	5.42	0.79	10.18	0.92	6.15	0.92	6.2	0.87	7.95
Cl	0.95	6.39	0.73	14.24	0.93	7.2	0.91	8.12	0.8	11.93
TDS	0.95	0.47	0.74	1.07	0.92	0.6	0.9	0.68	0.8	0.9
Ec	0.93	866.21	0.71	1731.17	0.91	935.21	0.9	1012.67	0.78	1492.64

شرقی‌ترین نقطه آبخوان تحت تأثیر می‌باشد. در بررسی‌های انجام‌شده بر روی سایر پارامترهای کیفی نیز مشخص گردید که این روند تغییرات برای کلیه پارامترهای کیفی به همین شکل می‌باشد. لذا روند افزایش هدایت الکتریکی و دیگر پارامترهای کیفی از غرب به شرق محدوده آبخوان را می‌توان با توجه به ریزدانه شدن مواد تشکیل‌دهنده آبرفت در این جهت و همچنین عدم وجود هرگونه خروجی زیرزمینی در مرز شرقی آبخوان توجیه نمود که باعث ماندگاری بیش از حد آب به دلیل کاهش سرعت حرکت می‌شود. راستای تغییرات پارامترهای کیفی در جهت عمومی جریانات سطحی رودخانه، مسیل‌ها و آبراهه‌ها می‌باشد که این جریان در انتهای محدوده تغییر جهت داده و خروجی کلیه مسیل‌ها به سمت شمال شرقی حوزه که کویر بین هرات و مروست می‌باشد جریان می‌یابد (Pooramini et al. 2021).

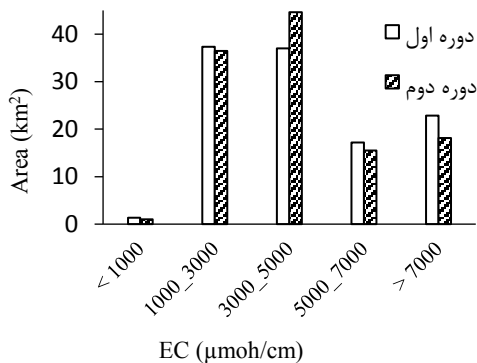
همان‌طور که در قبل ذکر شد، جهت بررسی تأثیرات رسوب، و همچنین بررسی میزان تغییرات کیفیت آب زیرزمینی، ابتدا دوره ۱۹ ساله، به دو دوره شامل سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۹۰ به‌عنوان دوره‌ی اول و سال‌های ۱۳۹۱-۱۴۰۰ به‌عنوان دوره‌ی دوم تقسیم شد و میانگین‌گیری از پارامترهای مختلف کیفی در این دوره‌ها انجام شد. با استفاده از روش‌های درون‌یابی منتخب به کمک نرم‌افزار ArcGIS نقشه توزیع مکانی پارامترهای کیفی در دوره‌های مختلف ترسیم شد. شکل (۲) پهنه‌بندی متغیرهای کیفی مربوط به دوره اول و دوره دوم را نشان می‌دهد.

در بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفیت آب، کم‌ترین EC مربوط به چاه‌های غرب منطقه با EC کمتر از $1000 \mu mho/cm$ و بیش‌ترین EC مربوط به چاه‌های بهره‌برداری با EC بیش‌تر از $10000 \mu mho/cm$ در

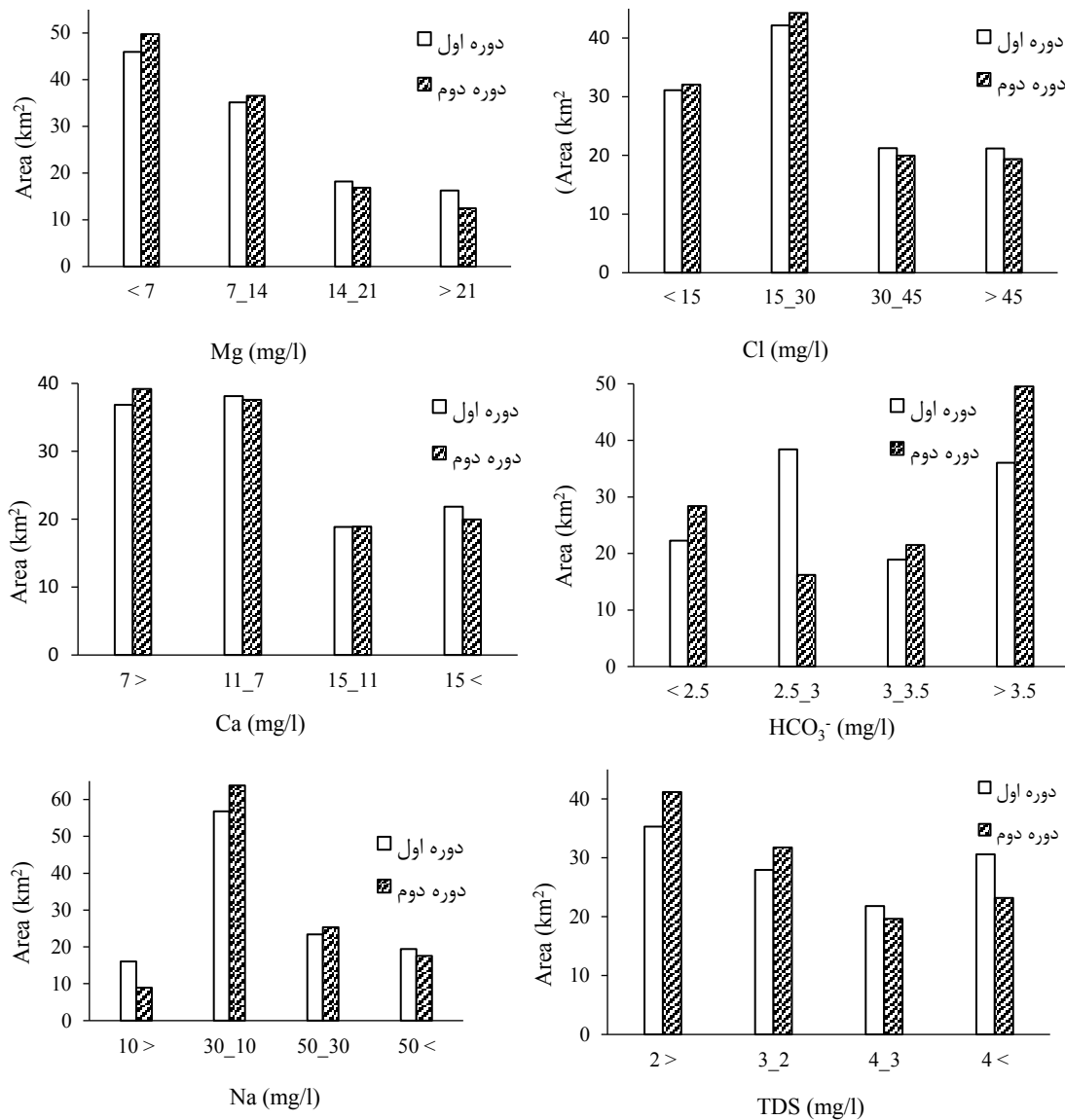


شکل ۲- پهنه‌بندی متغیرهای کیفی مربوط به دوره‌های اول و دوم
 Fig. 2 Zoning of quality factors related to first and second periods

افزایش از بالادست پروژه به سمت پایین دست در حال حرکت می‌باشد. شایان ذکر است طبقه اول مربوط به این متغیر به سمت خروج آبخوان مقدار کاهش را داراست. پس اثرات پخش سیلاب بر این پارامتر قابل تأیید نبوده و به‌منظور یافتن ارتباطات میان پخش سیلاب هرات و بی‌کربنات نیاز به آزمایش‌ها و پژوهش‌های متعدد دیگر می‌باشد.



جهت بررسی تغییرات مکانی در سال‌های مختلف، به مقایسه مساحت و درصد مساحت کلاس‌ها در دو دوره پرداخته شد. شکل (۳) میزان مساحت و درصد مساحت متغیرهای مورد بررسی را در دو دوره نشان می‌دهد. مطابق با شکل (۳) کاهش در طبقات انتهایی نشان از بهبود شرایط و کاهش در طبقات ابتدایی نشان از بدتر شدن شرایط متغیرها دارد. بررسی نهایی متغیر شوری نشان داد که دو طبقه ابتدایی که شوری کمتر از ۳۰۰۰ می‌باشد در حال کاهش بوده که بیانگر کنترل نسبی شوری در این آبخوان می‌باشد. پخش سیلاب تنها توانسته شوری را کنترل کند و در بهبود متغیر شوری موفق نبوده است. شایان ذکر است EC در آب‌های زیرزمینی تابعی از مقدار مواد جامد حل شده و درجه حرارت می‌باشد و با افزایش آن مقدار EC افزایش می‌یابد. بررسی نهایی در متغیر بی‌کربنات نشان داد، بی‌کربنات در محدوده آبخوان تحت تأثیر پخش سیلاب هرات، در حال افزایش بوده و بر اساس مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی بی‌کربنات دو دوره، این



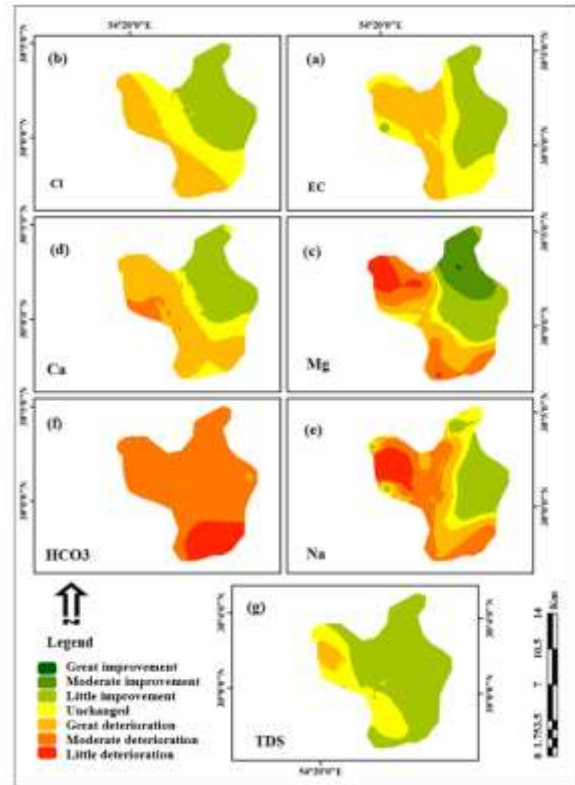
شکل ۳- سهم مساحت مربوط به طبقات مختلف متغیرهای کیفی آب
Fig. 3 Area share related to different classes of water quality parameters

نتایج نشان داد که متغیرهای Ca ، Cl ، EC و TDS تغییرات الگوی مکانی مشابهی دارند به طوری که از خروجی به سمت بالادست آبخوان تحت تأثیر پخش سیلاب، میزان تغییرات پارامترها افزایش می‌یابد اما فاقد کلاس‌های وخامت متوسط و زیاد هستند. رویه تغییرات الگوی مکانی شوری به کل مواد جامد محلول و درجه حرارت بستگی داشته به طوری که با افزایش دو متغیر مذکور شوری نیز افزایش می‌یابد (Piri et al. 2014).

۳-۲- نقشه درصد تغییرات مکانی متغیرها

در نهایت با استفاده از فن‌های ریاضی، نقشه الگوی مکانی درصد تغییرات هر متغیر استخراج شد (شکل ۴). به منظور تعیین میزان تغییرات، بازه طبقه‌بندی‌ها به همراه درصد مساحت هر طبقه در جدول (۲) آورده شده است (Pooramini et al. 2021). همان‌طور که در جدول مذکور مشخص است، میزان تغییرات ۵ درصدی به سمت بهبود و وخامت (بدتر شدن کیفیت آب) به عنوان کلاس بدون تغییر انتخاب شد. بر اساس میزان تغییرات منفی، بهبود (بهتر شدن کیفیت آب) و بر اساس میزان تغییرات مثبت، وخامت (بدتر شدن کیفیت آب) در آبخوان افزایش می‌یابد.

افزایش می‌یابد. همچنین در محدوده پخش سیلاب، متغیرهای مذکور کلاس بدون تغییر و یا بهبود و وخامت کم را نشان می‌دهند که فرضیه تأثیر مثبت این دست پروژه‌ها را تقویت می‌کند. تغییرات مکانی متغیر منیزیم نیز به‌گونه‌ای است که از پایین‌دست به بالادست وضعیت این متغیر به کلاس وخیم متوسط و زیاد گرایش دارد و تفاوت این متغیر با متغیرهای Ca، Cl، EC، و TDS در تعداد کلاس‌هاست. به‌طوری‌که Mg در تمام هفت کلاس موجود تغییراتی را نمایان ساخته است. تغییرات و کلاس‌های آن در پارامتر سدیم نیز مشابه با منیزیم است اما استثنایی در بالادست پروژه‌ها را نشان می‌دهد که نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد. تنها پارامتری که رویه متفاوتی را نشان می‌دهد، بی‌کربنات است. به‌طوری‌که قسمت اعظم آبخوان در کلاس وخامت متوسط و قسمت کوچکی از جنوب آبخوان در کلاس وخامت زیاد قرار دارد. پارامتر مذکور فاقد کلاس‌های بدون تغییر و بهبود می‌باشد که این تفاوت نسبت به سایر پارامترهای مورد بررسی توسط روندیابی ناپارامتری و خطی زمانی نیز تایید شده است (Pooramini et al. 2021). با توجه به الگوی یکسان بوده و میزان آن‌ها از غرب به شرق افزایش می‌یابد که با نتایج پژوهش (Piri et al. 2014) مطابقت دارد.



شکل ۴- پهنه‌بندی درصد تغییرات متغیرهای کیفی آب
Fig. 4 Zoning of percentage changes of water quality parameters

از پخش سیلاب به سمت پایین‌دست و خروجی آبخوان، میزان تغییرات مثبت (بهبود) افزایش یافته و از پخش سیلاب به سمت بالادست، میزان تغییرات منفی (وخامت)

جدول ۲- مساحت دامنه درصد تغییرات متغیرهای کیفی آبخوان هرات

Table 2 The area of the range of changes percentage in the quality factors of the Harat aquifer

Variation range (%)	< -50	-50 to -25	-25 to -5	-5 to 5	5 to 25	25 to 50	>50
Classification	Great improvement	Moderate improvement	Little improvement	Unchanged	Little deterioration	Moderate deterioration	Great deterioration
Area (%)							
Ca	-	-	34.85	14.86	45.3	4.98	-
Cl	-	-	42.4	27.86	29.74	-	-
EC	-	-	35.66	29.06	35.28	-	-
HCO ₃ ⁻	-	-	-	-	0.4	84.49	15.1
Mg	0.18	20.56	23.19	8.19	19.34	20.23	8.32
Na	-	-	26.62	12.91	21.59	28.76	10.12
TDS	-	-	72.84	22/59	4.58	-	-

آبخوان سفیددشت شهرکرد توسط (Taheri et al. 2012) نشان داد که تحلیل کلی بر روی پارامترهای کیفیت آب، بیانگر کاهش کیفیت بوده است. به‌طور متوسط، دامنه‌ی تغییرات شاخص‌های کیفی مورد بررسی آب، از ۶۰- تا ۲۰٪، متغیر بوده و دارای روند افزایشی است، که همگی بر کاهش

نتایج پژوهش حاضر با نتایج حاصل از پژوهش (Gorganli Davaji et al. 2021) مطابقت دارد. از این نظر که با بررسی تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که در اغلب چاه‌های مشاهده‌ای بعد از سیلاب مقدار EC، آنیون‌ها و کانیون‌ها کاهش یافته است. نتایج حاصل از بررسی اثرات ناشی از اجرای طرح تغذیه مصنوعی بر کیفیت

۱۰۰۰ و بیش‌ترین EC مربوط به چاه‌های بهره‌برداری با EC بیش‌تر از $10000 \mu\text{mho/cm}$ در شرقی‌ترین نقطه آبخوان تحت تأثیر می‌باشد.

۵- سامانه پخش سیلاب هرات باعث افزایش کیفیت آب کشاورزی مناطق پایین‌دست شده است.

اگرچه بررسی تأثیرات چنین پروژه‌هایی که با حفظ و یا نابودی ارکان مهم حیات (آب و خاک) سروکار دارد نیاز به دقت و صرف هزینه و زمان بیشتری است اما در مجموع با در نظر گرفتن نتایج الگوی مکانی، اثرگذاری پروژه‌های پخش سیلاب در این منطقه مثبت بوده و توانسته افت کیفیت آب‌های زیرزمینی را کنترل کند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل (f.fotouhi@ardakan.ac.ir) قابل ارسال می‌باشد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

کیفیت آب دلالت دارند. بنابراین نتایج پژوهش Taheri et al. (2012) با نتایج تحقیق حاضر مطابقت ندارد.

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب در محدوده پخش سیلاب هرات در دو دوره آماری مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در واقع تأثیر عملکرد سامانه پخش سیلاب هرات بر کیفیت سفره آب زیرزمینی مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج کلی این پژوهش به صورت زیر می‌باشد:

۱- روش کریجینگ جهت پهنه‌بندی مشخصه‌های کیفی آب در منطقه هرات بهتر از روش‌های قطعی (IDW, RBF, GPI و LPI) می‌باشد.

۲- با توجه به بررسی‌های الگوی مکانی و نقشه درصد تغییرات متغیرها، میزان تغییرات مثبت (بهبود) به سمت خروجی آبخوان زیاد شده و میزان تغییرات منفی (وخامت) به سمت بالادست آبخوان افزایش می‌یابد.

۳- متغیر EC و سایر پارامترهای کیفی از غرب به شرق محدوده آبخوان روند افزایشی داشته‌اند.

۴- در بررسی وضعیت EC چاه‌ها، کم‌ترین EC مربوط به چاه‌های موجود در غرب منطقه با EC کم‌تر از $\mu\text{mho/cm}$

References

- Alam, S., Borthakur, A., Ravi, S., & Gebremichael, M. (2021). Managed aquifer recharge implementation criteria to achieve water sustainability. *Sci. Total Environ.*, 768(6), 1-10. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.144992](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144992)
- Charles, J. Ngumbu, R. S., Toe, J. T., & Sangodoyin, A. (2020). Evaluation of the impact of flood on groundwater quality in hand-dug wells in Monrovia, Liberia. *Int. J. Energy Water Resour.*, 4(3), 181-188. DOI: [10.1007/s42108-020-00060-x](https://doi.org/10.1007/s42108-020-00060-x)
- Choopani, S. (2013). Evaluating the effects of Lavar Fin dam on groundwater quantity, Hormozgan province, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran [In Persian].
- Dahmardeh Ghaleno, M. R., Nohtani, M., & Askari Dehno, S. (2019). Studying impact of flood water spreading on changes of vegetation and topsoil in Koh Khajeh flood spreading station, Sistan. *Watershed Eng. Manage.* 11(1), 211-219, DOI: [10.22092/ijwmse.2019.118437](https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.118437) [In Persian].
- Eivazi, M., Mosaedi, A. (2012). An investigation on spatial pattern of annual precipitation in Golestan Province by using deterministic and geostatistics models. *J. Water Soil*, 26(1), 53-64. DOI: [10.22067/JSW.V010.13629](https://doi.org/10.22067/JSW.V010.13629) [In Persian].
- Fazelpour Aghdaei, M., Maleki Nezhad, H., Ekhtesasi, M., Barkhordari, J., & Zare Chahooki, A. (2017). Assessment of floodwater spreading projects on soil characteristics in Yazd Province. *J. Range Watershed Manage.*, 69(4), 983-987, DOI: [10.22059/jrwm.2017.61202](https://doi.org/10.22059/jrwm.2017.61202) [In Persian].
- Ghazavi, R., Vali, A. B., & Eslamian, S. (2012). Impact of flood spreading on groundwater level variation and groundwater quality in an arid environment. *Water Resour. Manag.*

- 26(6), 1651-1663. DOI: [10.1007/s11269-012-9977-4](https://doi.org/10.1007/s11269-012-9977-4) [In Persian].
- Gorganli Davaji, A., Jandaghi, N., G. Mahmoodlu, M., & Nick Ghogh, Y. (2021). Effect of natural flood spreading of March 2019 on the quantitative and qualitative characteristics of groundwater in floodplain at the end of Gorganroud basin. *Ecohydrol.*, 8(2), 535-550. DOI: [10.22059/IJE.2021.320806.1483](https://doi.org/10.22059/IJE.2021.320806.1483) [In Persian].
- Jabari, E., & Telvari, A. (2014). A guide for investigating the effects of implementing artificial feeding plans on the condition of the aquifer. 256 pp. [In Persian].
- Jahantigh, M., & Jahantigh, M. (2020). Investigating the effects of incoming floods from Afghanistan on the quantitative and qualitative changes of groundwater resources in the Sistan Plain. *Iran. J. Ecohydrol.*, 7(2), 463-479. DOI: [10.22059/IJE.2020.290738.1222](https://doi.org/10.22059/IJE.2020.290738.1222) [In Persian].
- Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K., and Lucas, N. (2001). Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI Inc. Redlands.
- Kamali, K., Eslami, A. R., Jalali, N., Mostafaei, A., Jalal al-Dini Kerki, M. S. Ghiathi, N.G., & Seidi, E. (2014). Fundamental of flood water spreading on aquifers. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute Publications. 238 pp [In Persian].
- Kosar, A. (2014). An introduction to flood mitigation and optimization of floodwater utilization: flood irrigation, artificial recharge of groundwater, small earth dams. The publication of Research Institute of Forests and Rangelands, 522p [In Persian].
- Moslemi, H., Abkar, A., & Choopani, S. (2017). Assessment the effects of Dhendar flood spreading on groundwater resources in Hashtbandi plain, Hormozgan province. *Watershed Eng. Manag.* 8 (4), 377-388. DOI: [10.22092/ijwmse.2016.107184](https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.107184) [In Persian].
- Moslemi, H., Choopani, S., & Abkar, A. (2018). Impact of Floodwater Spreading on Salinity Groundwater (Case Study: Dhenedar Floodwater Spreading Hormozgan province). *Iran J. Watershed Manage. Sci. Eng.* 12(41), 13-22 [In Persian].
- Mousavi, S.J. and Rezaei, A. (2011). The effects of water spreading on groundwater resources in Sohrin plain (Zanjan). The 2nd Iranian National Conference on Applied Research in Water Resources, Zanjan [In Persian].
- Piri, H. Ansari, H., & Bameri, A. (2014). Spatial variation of groundwater quality for drinking and agricultural plains Bajestan using geostatistical methods. *Irrig. Sci. Eng.* 37(3), 107-122. DOI: [20.1001.1.25885952.1393.37.3.11.3](https://doi.org/20.1001.1.25885952.1393.37.3.11.3) [In Persian].
- Pooramini, T., Fotouhi Firoozabad, F., & Barkhordari, J. (2021). Impact of aquifers artificial recharge on some of agricultural water quality parameters (Case Study: Harat Flood Spreading). Master's Thesis, University of Ardakan, Ardakan, Iran. 94 pp [In Persian].
- Sabzevari, Y., Nasrolahi, A. H., & Yonesi, H. (2020). Investigation of temporal-spatial variations of groundwater resources quality in Borujerd-Dorood Plain. *J. Irrig. Water Eng.* 11(1), DOI: [10.22125/IWE.2020.114959](https://doi.org/10.22125/IWE.2020.114959) [In Persian].
- Smiraglia, D. T., Ceccarelli, S., Bajocco, L. Salvati, L. & Perini, L. (2016). Linking trajectories of land change, land degradation processes and ecosystem services. *Environ. Res.*, 147, 590-600. DOI: [10.1016/j.envres.2015.11.030](https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.11.030)
- Taheri Dehkordi, R., Ekhtesasi, M. R., Malekinezhad, H., & Tabatabaei, S. H. (2013). Impact assessment of groundwater artificial recharge on aquifer quantity and quality (A case Study: Sefid-Dasht, Chaharmahal and Bakhtiari province). Master's Thesis, Yazd University, Yazd, Iran. 224pp.
- Utia, M. N., Md Dina, A.H., Yusof, N., & Yaakob, O. (2023). A spatial-temporal clustering for low ocean renewable energy resources using K-Means clustering. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4446224> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4446224>.
- Vayskarami, I., Payamani K, Shahkarami A, & Sepahvand, A. (2013). The effects of water spreading on groundwater resources in Kohdasht Plain. *J. Water Soil Sci.* 17(65), 153-160 [In Persian].

Weesakul, U., Watanabe, K., & Natkitta, S. (2010). Application of soft computing techniques for analysis of groundwater table

fluctuation in Bangkok area and its vicinity. *Int. Transact. J. Eng. Manage. Appl. Sci. Technol.*, 1(1), 53-65.