



## Designing The Quality Monitoring Network of Groundwater Resources Based on The Intrinsic Vulnerability of The Aquifer: A Case Study: Aquifer of Bolook Shera Study Area

Mina Tuzandeh-jani <sup>1</sup>✉ | Ali Pishjoo <sup>2</sup> | Ali Shoghi <sup>1</sup> | Seyyed Naser Bashi-azghadi <sup>3</sup> |  
Reza Azimi <sup>4</sup>

1. MSc Graduate of Isfahan University of Technology and Expert of Toosab Consulting Engineering Company, Mashhad, Iran.
2. MSc Graduate of Ferdowsi University of Mashhad and Expert of Toosab Consulting Engineering Company, Mashhad, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering and Environment, Khavaran Institute of Higher Education, Mashhad, Iran.
4. PhD Graduate of University of Tabriz and Expert of Regional Water Company of Markazi Province, Arak, Iran.

✉ Corresponding Author: [M.touzande@yahoo.com](mailto:M.touzande@yahoo.com)

Received:  
03 December 2023

Accepted:  
13 January 2024

Published:  
20 January 2024

### Keywords:

*Monitoring network,  
Groundwater,  
Intrinsic Vulnerability,  
Bolook Shera aquifer,  
DRASTIC.*

### Extended abstract

#### Introduction

Remediation of groundwater quality after contamination is difficult and the cost of remediation may be very high. Therefore, the improvement of water quality may not be economically possible. So, it is very important to know the areas of the aquifer that are vulnerable to pollution, in order to prevent pollution and take preventive measures.

#### Material and Method

In this study, using the DRASTIC method, the sensitivity and vulnerability of the Bolook Shera aquifer has been evaluated, and based on the output of the model and the quality zoning maps of the aquifer, the priority areas for protection and monitoring have been identified and the basic quality monitoring network of the aquifer has been designed. The study area of Bolook Shera with code 4919 is located in Markazi province. The area of this Bolook Shera is 998 square kilometers, of which 454 square kilometers are plains and 544 square kilometers are Mountains.

**Cite this article:** Tuzandejani, M., Pishjoo, A., Shoghi, A., Bashi-Azghadi, S.N. & Azimi, R. (2023). Designing the quality monitoring network of groundwater resources based on the intrinsic vulnerability of the aquifer: A Case Study: Aquifer of Bolook Shera Study Area. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 4 (1), 138-150. DOI: <http://doi.org/10.22077/jaaq.2024.7015.1057>



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/>).

### Results

The results of the Drastic model show that the vulnerability of the Bolook Shera aquifer varies between 98 and 150. The vulnerability of this plain is in the "very low" to "moderate to high" vulnerability categories. According to the obtained results and the zoning map of the intrinsic vulnerability of the Block shera aquifer, most of the aquifer is rank 4 with a low to medium degree of vulnerability. Also, according to the zoning map, the western part of the Block shera aquifer is the most vulnerable. According to the No.620 of the Ministry of Energy, in the overview and basic monitoring, the minimum number of sampling stations is equal to 10 to 30 points. A smaller number (10 stations) is suitable for open aquifers in which there are few spatial changes in water quality on a local scale, and a larger number (30 stations) is suitable for polluted surface aquifers. According to the mentioned cases, in order to determine the water quality changes in the aquifer, the EC parameter was used as an index of groundwater quality, and using the statistics and qualitative information of 2018 of the Regional Water Company of Markazi Province, a map of the electrical conductivity of the Block shera aquifer was prepared. Based on the obtained results, the minimum electrical conductivity value is 370  $\mu\text{s}/\text{cm}$  and is related to the southern part of the aquifer. The maximum value of electrical conductivity with a value of 1790  $\mu\text{s}/\text{cm}$  is related to the middle part of the aquifer and in the vicinity of Javersian city. In general, the quality of groundwater is high at the entrance of the aquifer and feeding places, and its quality decreases in the direction of the flow and at the end of the aquifer. The direction of the underground water flow in the study area of block Shera is from the south of the aquifer to the north, and the overall changes in water quality follow this trend. It is noteworthy that the EC values measured at the stations in the middle part of the aquifer show a noticeable increase in salinity values compared to other stations in the range. Considering the absence of an important pollutant source upstream of the mentioned stations, the decrease in water quality in these stations seems to have a geological source. After checking the quality history of the mentioned wells, it was found that the reason for the increasing in the salinity in these two wells is the gypsum compounds in the aquifer and it is only present in a spot in the vicinity of these two wells. Due to the average changes of EC in the aquifer and according to the recommendations of No.620 of the Ministry of Energy, 20 stations have been proposed to monitor the groundwater resources of the Block shera aquifer.

### Conclusion

In general, areas of the aquifer that are highly vulnerable are prioritized for protection. Therefore, according to the prepared map of the intrinsic vulnerability of the aquifer, priority areas for protection and monitoring have been determined, and the monitoring network has been designed. In locating the monitoring stations, as much as possible, it has been tried to consider the water quality changes.



## طراحی شبکه پایش کیفی منابع آب زیرزمینی بر اساس آسیب پذیری ذاتی آبخوان،

### مطالعه موردی: آبخوان محدوده مطالعاتی بلوک شراء

مینا توزنده جانی<sup>۱</sup> | علی پیش جو<sup>۲</sup> | علی شوقی<sup>۱</sup> | سید ناصر باشی ازغدی<sup>۲</sup> | رضا عظیمی<sup>۴</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان و کارشناس شرکت مهندسی مشاور طوس آب، مشهد، ایران.
۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد و کارشناس شرکت مهندسی مشاور طوس آب، مشهد، ایران.
۳. استادیار، گروه مهندسی عمران و محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران.
۴. دانش آموخته دکتری دانشگاه تبریز و کارشناس شرکت آب منطقه‌ای استان مرکزی، اراک، ایران.

✉ نویسنده مسئول: [M.touzande@yahoo.com](mailto:M.touzande@yahoo.com)

### چکیده

بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی پس از آلوده شدن دشوار است و ممکن است هزینه بالایی را به همراه داشته باشد. به طوری که در برخی موارد، بهبود کیفیت آب ممکن است از نظر اقتصادی امکان پذیر نباشد. بنابراین شناخت مناطقی از آبخوان که در برابر آلودگی آسیب پذیر است برای انجام اقدامات پیشگیرانه جهت جلوگیری از آلودگی از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا در این مطالعه با استفاده از شاخص آسیب پذیری DRASTIC، حساسیت و آسیب پذیری آبخوان محدوده مطالعاتی بلوک شراء مورد ارزیابی قرار گرفته و بر اساس خروجی نتایج به دست آمده از مدل مذکور و نقشه‌های پهنه بندی کیفی آبخوان، پهنه‌های دارای اولویت حفاظت و پایش مشخص و نسبت به طراحی شبکه پایش کیفیت پایه آبخوان اقدام شده است. نتایج حاصل از مدل DRASTIC نشان می‌دهد که میزان آسیب پذیری آبخوان بلوک شراء بین اعداد ۹۸ تا ۱۵۰ تغییر می‌کند. آسیب پذیری این دشت در بین رده‌های آسیب پذیری «خیلی کم» تا «متوسط الی زیاد» قرار می‌گیرد. در نهایت بر اساس نتایج به دست آمده تعداد ۲۰ ایستگاه پایش کیفی آب زیرزمینی مشخص شده‌اند. در جانمایی ایستگاه‌های پایش سعی گردیده است تا روند تغییرات کیفیت آب مدنظر قرار گیرد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

### کلیدواژه‌ها:

شبکه پایش،

آب زیرزمینی،

آسیب پذیری ذاتی،

آبخوان بلوک شراء،

شاخص DRASTIC.

## مقدمه

در مناطقی که از کمیت و کیفیت آب زیرزمینی داده و اطلاعات موجود است، برای باز طراحی شبکه پایش و سنجش می‌توان از روش‌های آماری و زمین‌آمار استفاده کرد. این روش‌ها بسیار متنوع هستند و طیف وسیعی از روش‌های آماری ساده (مانند استفاده از انحراف معیار داده‌ها) تا روش‌های پیچیده‌تر زمین‌آمار و ترکیب آن‌ها با روش‌های بهینه‌سازی را شامل می‌شوند (Joodavi et al., 2022). جوهانسون و همکاران (Johansson et al., 1999) چهارچوبی را برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی ارائه کرد و از آن برای برنامه‌ریزی حفاظت سیستم آب زیرزمینی ماناگوا در نیکاراگوئه استفاده کرد. آن‌ها در مطالعه موردی خود آسیب‌پذیری آبخوان را نسبت به آلودگی تعیین کرده و منابع آلودگی را نیز در پنج دسته اصلی صنعتی، شهری، کشاورزی، محل‌های دفن زباله و سایر (پمپ‌بنزین‌ها، حوضچه‌های اکسایش، آرامستان و...) تقسیم‌بندی نمود. در این رویکرد منابع آلودگی با بار آلودگی زیاد که در نواحی با آسیب‌پذیری بالا قرار دارند، دارای بالاترین ریسک آلودگی برای آب زیرزمینی قرار گرفتند و منابع واقع شده در نواحی با بار آلودگی کم و در نواحی با آسیب‌پذیری پایین در شمار منابع دارای ریسک پایین طبقه‌بندی شدند.

نینگ و چانگ (Ning and Chang, 2005) در پژوهش خود اظهار داشتند که تعیین موقعیت و پراکندگی ایستگاه‌ها در شبکه پایش نیازمند اطلاعات تجربی و نظرات کارشناسی می‌باشد. مؤسسه ملی ریسک محیط زیست اتحادیه اروپا (INERIS, 2013) دستورالعمل بهینه‌سازی پایش بلندمدت را توسعه داد که در آن برخی مفاهیم ابزارهای بهینه‌سازی پایش بلندمدت را توضیح می‌دهد. اسکویول و همکاران (Esquivel et al., 2015) از روش طبقه‌بندی برای تحلیل و مدل کردن معیارهای اصلی تأثیرگذار بر طراحی بهینه شبکه پایش سطح آب زیرزمینی استفاده کرده‌اند. در این مطالعات برای تعیین وزن عوامل از فرایند سلسله مراتبی تحلیلی AHP استفاده شده است. به‌منظور پیدا کردن نقشه اولویت‌بندی مناطق برای پایش، نقشه به‌دست آمده در GIS طبقه‌بندی می‌شود.

منابع آب زیرزمینی یکی از حیاتی‌ترین منابع طبیعی هستند که هسته سیستم محیط زیستی را تشکیل می‌دهند. این منابع تأمین‌کننده اصلی مصارف آب آشامیدنی، فعالیت‌های خانگی، کشاورزی، صنعتی، تفریحی و محیط زیست می‌باشند. از آنجا که هر گونه آلودگی آب‌های زیرزمینی به‌طور مستقیم با ایمنی و سلامت انسان در ارتباط است، تعیین کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب‌های زیرزمینی برای مصارف مختلف از اهمیت خاصی برخوردار است. تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی در یک منطقه، تابعی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی می‌باشد که به‌شدت تحت تأثیر فرآیندهای طبیعی مانند سازه‌های زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی هستند (Janatrostami et al., 2020). افزایش نیاز آبی در کنار توسعه صنایع و شهرها و افزایش آلودگی منابع آب منجر به نیاز به برنامه‌هایی برای مقابله و کنترل آلودگی می‌باشد که طرح ریزی و پیاده‌سازی این برنامه‌ها باید بر اساس اطلاعات صحیح و نظارت (پایش مناسب صورت پذیرد. با توجه به گسترش انواع آلودگی، سامانه پایش باید به‌طور مستمر ارزیابی و اصلاح شود تا از یک سو اهداف نظارتی خود را حفظ نموده و از سوی دیگر سبب افزایش هزینه‌های پایش نشود (Joodavi et al., 2021). پایش فرایندی نظارتی با طرحی علمی و پویا بر مبنای مشاهده، اندازه‌گیری، نمونه‌برداری و ارزیابی نتایج و ثبت آن می‌باشد. همچنین فرایند بهینه‌سازی، فرایند تصمیم‌گیری برای داشتن بهترین ترکیب در بین ایستگاه‌های موجود است. پایش بلندمدت بدون در نظر گرفتن بهینه‌سازی، سبب افزایش هزینه پایش می‌شود. از این رو طراحی شبکه پایش منابع آب باید بر اساس اهداف مشخص و از پیش تعیین شده باشد. در میان انواع شبکه پایش منابع آب، شبکه‌های پایش آب زیرزمینی اهمیت به‌سزایی دارند و طراحی شبکه پایش کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی یک گام ضروری در تشریح وضعیت سفره آب زیرزمینی است. اطلاعات استخراج شده از یک شبکه پایش با طراحی صحیح باید نماینده‌ای قابل اعتماد از وضعیت کمی و کیفی آبخوان مورد مطالعه باشد (Pearson et al., 2011).

پژوهشگران مختلف از روش‌ها و مبانی مختلفی برای طراحی شبکه پایش آلودگی آب زیرزمینی بهره‌گرفته‌اند.

مناطق از آبخوان که در برابر آلودگی آسیب‌پذیر است برای جلوگیری از آلودگی و انجام اقدامات پیشگیرانه از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا هدف از این مطالعات، طراحی شبکه پایش کیفیت آب زیرزمینی آبخوان محدوده مطالعاتی بلوک شراء در استان مرکزی بر مبنای حساسیت و آسیب‌پذیری آبخوان و با استفاده از شاخص DRASTIC می‌باشد که کاربرد آن در محدوده مطالعاتی بلوک شراء تاکنون مورد توجه قرار نگرفته و از این جنبه می‌تواند دارای نوآوری باشد.

## مواد و روش‌ها

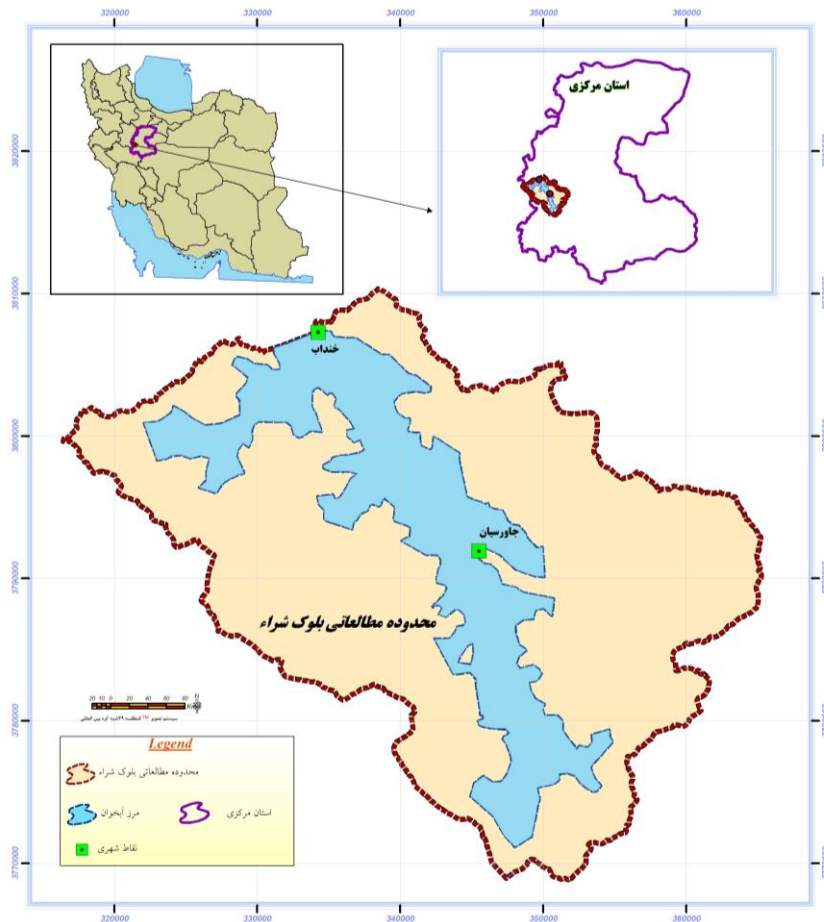
### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، آبخوان محدوده مطالعاتی بلوک شراء با کد ۴۹۱۹ در استان مرکزی قرار دارد. این محدوده مطالعاتی مساحتی معادل ۹۹۸ کیلومتر مربع دارد که ۴۵۴ کیلومتر مربع از آن را دشت و ۵۴۴ کیلومتر مربع آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. رودخانه اصلی شراء از جنوب به شمال در آن جریان دارد. علاوه بر رودخانه شراء، رودخانه‌های دیگری همچون خانقا، تورگیر و قرل قلعه جاری است که به سمت رودخانه شراء زهکشی می‌کنند. در محدوده مطالعاتی بلوک شراء تعداد ۶۶۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق با مصارف کشاورزی، شرب و صنعت وجود دارد که سالانه ۱۷۰/۹ میلیون مترمکعب از آبخوان برداشت می‌نمایند. حداقل، متوسط و حداکثر آبدهی چاه‌های محدوده مطالعاتی بلوک شراء به ترتیب کمتر از ۴۲/۵ و بیش از ۸۰ لیتر در ثانیه است. حدود ۵۰ درصد از چاه‌ها دارای آبدهی کمتر از ۲۵ لیتر در ثانیه هستند و فقط سه درصد از چاه‌ها دارای آبدهی بیش از ۸۰ لیتر در ثانیه می‌باشند. چاه‌های با آبدهی بیش از ۵۰ لیتر در ثانیه در سرتاسر طول آبخوان در امتداد رودخانه شراء واقع شده‌اند. در شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه نمایش داده شده است.

نیکسدورف و همکاران (Nixdorf et al., 2017) روشی را برای کمی ساختن ریسک آلودگی آب زیرزمینی در حوضه آبریز رودخانه سونگ هوا کشور چین بر پایه مدل‌سازی GIS ارائه کردند. در روش آن‌ها نتایج مدل DRASTIC و مدل عددی آب زیرزمینی با هم تلفیق شده است تا مناطق دارای ریسک بالای آلودگی در آبخوان مشخص شود. لی و همکاران (Li et al., 2017) با تلفیق مدل DRASTIC و توان آلاینده‌ی منابع آلودگی، ریسک آلودگی منابع آب زیرزمینی در دشت وینگ کشور چین را ارزیابی کردند. لی و همکاران (Li et al., 2020) به منظور ارزیابی ریسک آلودگی آب زیرزمینی در دشت یین چوان کشور چین، از ترکیب شاخص‌های میزان سمیت و تولید آلاینده‌ها، ارزش آب زیرزمینی و آسیب‌پذیری آبخوان در بستر GIS استفاده کردند.

علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2018) از روش آن‌تروپی در طراحی شبکه پایش کیفی دشت اشتهداد استفاده کرده‌اند. در این تحقیق شوری آبخوان TDS به عنوان متغیر بهینه‌سازی استفاده شده است. شوقی و همکاران (Shoghi et al., 2022) به بررسی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان شازند با استفاده از روش DRASTIC پرداختند. در این مطالعه شاخص آسیب‌پذیری کل آبخوان نیز با هم‌پوشانی و تأثیر ضرایب وزنی نقشه‌های آسیب‌پذیری ذاتی محاسبه و سپس با استفاده از نتایج غلظت نیترات در ۴۰ حلقه چاه بهره‌برداری اصلاح شد. بر اساس نتایج، میزان هم‌بستگی از ۱۴ درصد به ۹۴ درصد افزایش پیدا کرد. همچنین، حدود ۷۰ درصد از آبخوان در رده آسیب‌پذیری بی‌خطر، ۲۲ درصد در رده کم‌خطر، ۴/۵ درصد در رده خطرناک و ۳/۵ درصد بحرانی قرار دارد.

اصلاح کیفیت آب‌های زیرزمینی پس از آلوده شدن دشوار است و ممکن است هزینه اصلاح آن بسیار بالا باشد. به طوری که در برخی موارد، اصلاح کیفیت آب ممکن است از نظر اقتصادی امکان‌پذیر نباشد. بنابراین شناخت



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه نسبت به کشور و استان مرکزی

Fig 1. location of The Studied Area Relative to The Country and Markazi Province

محیط هیدروژئولوژیکی به صورت توصیف ترکیبی از تمام فاکتورهای زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی تعریف می‌شود که حرکت آب‌های زیرزمینی را کنترل می‌کند (Aller et al., 1987). اولین هدف روش DRASTIC اعمال فوریت‌های اجرایی فعالیت‌هایی است که در رابطه با آب زیرزمینی صورت می‌گیرند. همچنین تهیه ابزاری کاربردی برای ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی به آلودگی از اهداف دیگر این روش می‌باشد. از روش DRASTIC می‌توان برای تنظیم چگونگی انجام فعالیت‌ها در پایش آب زیرزمینی در یک منطقه استفاده کرد.

شاخص DRASTIC یا شاخص پتانسیل آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، بیانگر پتانسیل ذاتی آسیب‌پذیری آبخوان در هر سلول یا چندضلعی موجود در نقشه است که از حاصل جمع پارامترهای وزن دهی و رتبه‌بندی شده حاصل می‌شود. طبق تئوری این مدل، شاخص از رابطه ۱ به دست می‌آید.

ارزیابی کیفیت آب و شناسایی عوامل آلاینده و نقاط آلوده در مناطقی که از منابع آب زیرزمینی برای مصارف شرب استفاده می‌شود بسیار با اهمیت است. به عبارت دیگر پایش کیفی آب‌های زیرزمینی قسمت جدانشدنی سیستم اطلاعات محیط زیستی است. روش‌های مختلفی برای طراحی شبکه پایش آب زیرزمینی وجود دارد. در تحقیق حاضر سعی شده است با توجه به نقشه حساسیت و آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان بلوک شراء، نسبت به جانمایی ایستگاه‌های پایش اقدام شود. جهت تهیه نقشه آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان بلوک شراء از شاخص DRASTIC استفاده شده است.

#### شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC

شاخص DRASTIC یک مدل کمی است که در سال (۱۹۷۸) توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (US EPA) برای برآورد پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی در یک مقیاس ناحیه‌ای طراحی شد. این مدل بر پایه مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار است.

$$\text{DRASTIC}_{\text{Index}} = D_r \times D_w + R_r \times R_w + A_r \times A_w + S_r \times S_w + T_r \times T_w + I_r \times I_w + C_r \times C_w \quad (1)$$

در جدول شماره (۲) رتبه‌بندی پارامترهای مذکور ارائه شده است.

که در این رابطه  $r$  رتبه و  $w$  وزن هر یک از پارامترها است. در جدول شماره (۱) پارامترهای مدل DRASTIC و

جدول ۱. پارامترهای مدل DRASTIC در منطقه مورد مطالعه (Pearson et al., 2011)

Table 1. DRASTIC Model Parameters in The Study Area (Pearson et al., 2011)

وزن نسبی	توصیف	فاکتور
۵	تعیین کننده عمقی است که آلوده کننده باید طی کند تا به سطح ایستایی برسد، هرچه سطوح ایستایی عمیق‌تر باشد، شانس وقوع آلودگی کمتر است.	عمق آب زیرزمینی (D)
۴	مقدار آبی است که از سطح زمین نفوذ کرده و به سطح ایستایی می‌رسد؛ آب تغذیه‌ای وسیله‌ای برای انتقال آلاینده‌ها به آب زیرزمینی می‌باشد.	تغذیه خالص (R)
۳	به خصوصیات مواد منطقه اشباع اطلاق می‌باشد که فرآیندهای رقیق شدن آلاینده‌ها را کنترل می‌کنند.	محیط آبخوان (A)
۲	به بخش هوازده بالایی منطقه غیراشباع اطلاق می‌شود و میزان آب نفوذی را کنترل می‌کند.	محیط خاک (S)
۱	شیب سطح زمین که تعیین کننده باقی ماندن آلاینده‌ها در سطح زمین و یا ورود آن به منطقه اشباع است.	توپوگرافی (T)
۵	منطقه بالایی سطح ایستایی تا زمین که غیر اشباع بوده و نقش مؤثری در سرعت انتقال و میرایی آلودگی دارد.	محیط غیر اشباع (I)
۳	توانایی آبخوان در انتقال آب بوده و نرخ جریان مواد آلوده کننده را درون سیستم آب زیرزمینی تعیین می‌کند.	هدایت هیدرولیکی (C)

جدول ۲. رتبه‌های مربوط به پارامترهای مدل DRASTIC در منطقه مورد مطالعه

(Pearson et al., 2011)

Table 2. The Ranks of DRASTIC Model Parameters in The Study Area (Pearson et al., 2011)

نمره	پارامتر	نمره	پارامتر
	توپوگرافی (شیب %)		عمق تا سطح ایستایی (متر)
۱۰	۰-۲	۱۰	۰-۱۰
۹	۲-۴	۹	۱۰-۲۰
۸	۴-۶	۷	۲۰-۳۰
۶	> ۶	۵	۳۰-۴۰
	محیط غیر اشباع	۱	> ۴۰
۸	شن و ماسه		تغذیه خالص (میلی‌متر در سال)
۶	شن و ماسه با اندکی سیلت و رس	۸	۱۷۵-۲۵۰
۴	رس و سیلت با اندکی ماسه	۵	۱۰۰-۱۷۵
۲	رس و سیلت	۳	۵۰-۱۰۰
	محیط خاک	۱	۰-۵۰
۹	شن و ماسه		محیط آبخوان
۷	شن و ماسه با اندکی سیلت و رس	۸	ماسه به همراه مقداری گراول

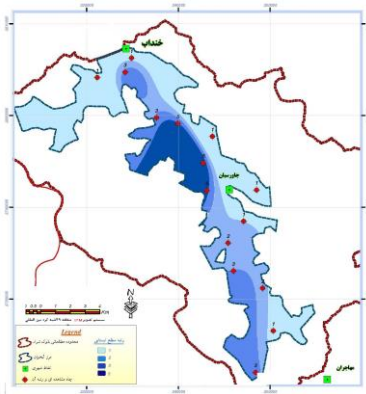


۵	لوم	۶	ماسه به همراه مقداری سیلت و رس
۳	رس و سیلت با اندکی ماسه	۴	رس و سیلت همراه مقداری ماسه
۱	رس و سیلت	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)	
		۹	$75 >$
		۷	۵۵-۷۵
		۶	۳۵-۵۵
		۴	۲۵-۳۵
		۳	$25 <$

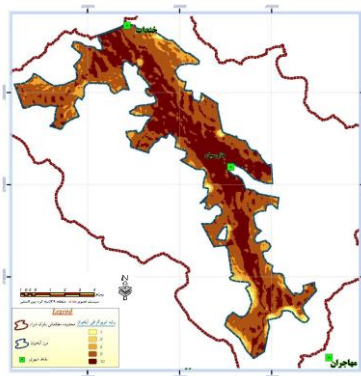
زیرزمینی است. در اشکال شماره (۲) الی (۷) نقشه لایه های مورد استفاده در مدل دراستیک نمایش داده شده است. در نهایت با تلفیق لایه های اولیه، نقشه نهایی آسیب پذیری ذاتی آبخوان تهیه گردید. در شکل (۸) نقشه نهایی رتبه بندی شاخص آسیب پذیری ذاتی آبخوان بلوک شرا با استفاده از مدل دراستیک ارائه گردیده است.

### نتایج و بحث

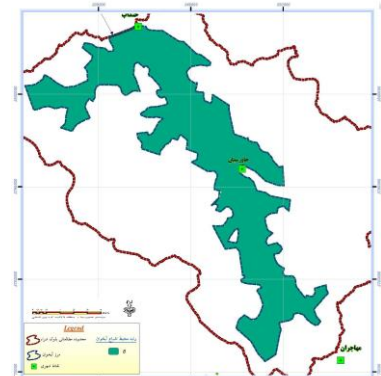
در روش DRASTIC شاخص آسیب پذیری می تواند بین ۲۳ تا ۲۳۰ تغییر کند و هرچه این شاخص عدد بالاتری را نشان دهد، حاکی از آسیب پذیرتر بودن منطقه نسبت به آلودگی می باشد. مدل DRASTIC تقریباً کامل ترین شاخص برای ارزیابی پتانسیل آسیب پذیری آب های



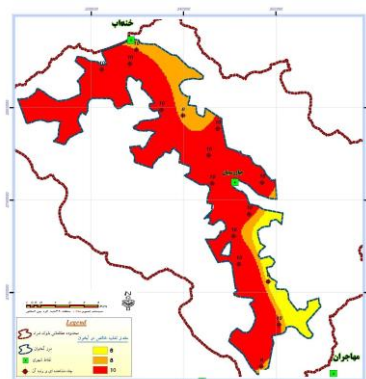
شکل ۴. نقشه سطح ایستابی آبخوان (D)  
Fig 4. Depth of Water Level (D)



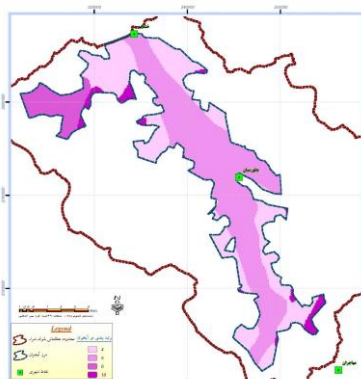
شکل ۳. نقشه توپوگرافی (T)  
Fig 3. Topography Map (T)



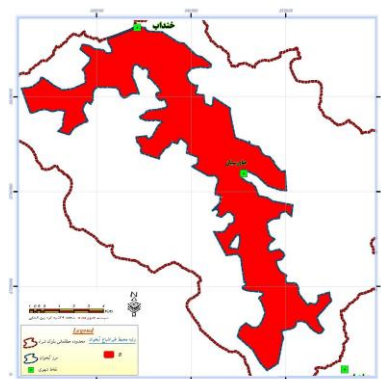
شکل ۲. نقشه محیط آبخوان (A)  
Fig 2- aquifer Media (A)



شکل ۷. نقشه تغذیه خالص آبخوان (R)  
Fig 7. Net Recharge (R)

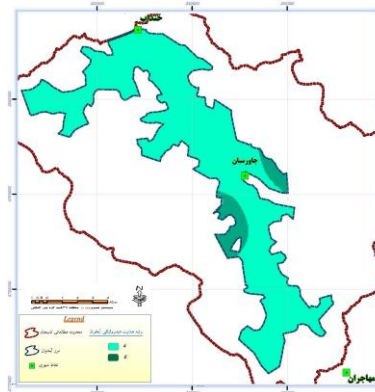


شکل ۶. نقشه محیط خاک (S)  
Fig 6. Soil Media (S)



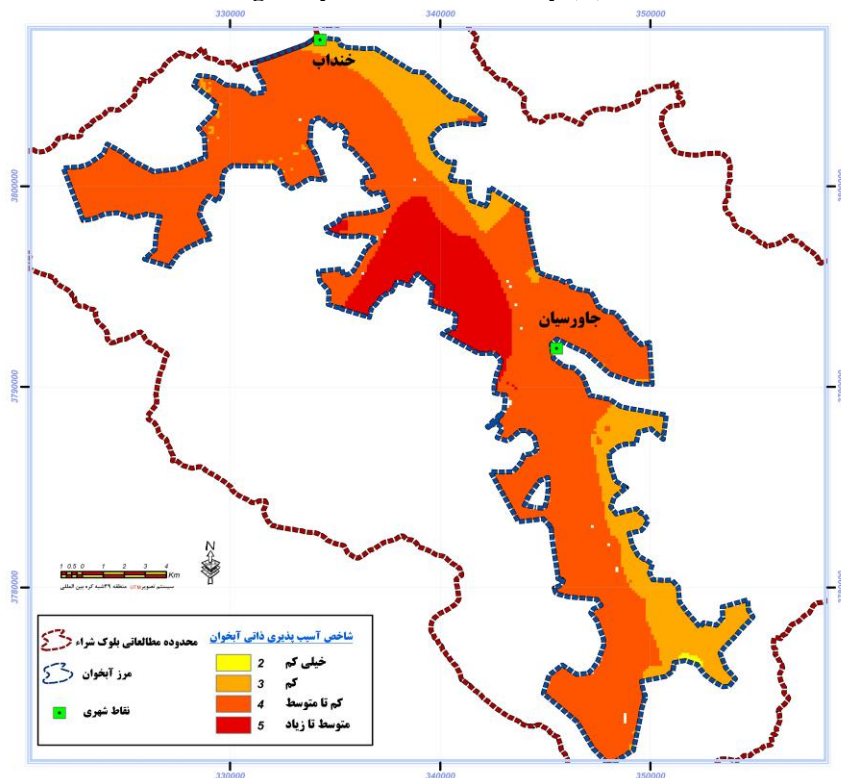
شکل ۵. نقشه محیط غیراشباع آبخوان (I)  
Fig 5. Vadose Zon (I)





شکل ۸. نقشه هدایت هیدرولیکی (C)

Fig 8. Hydraulic conductivity (C)



شکل ۹. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ذاتی (DRASTIC) آبخوان بلوک شرا

Fig 9. Vulnerability Index of Bolook-Shera Aquifer

با توجه به نتایج به‌دست آمده و نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان بلوک شرا مشاهده می‌شود، بیشترین سطح آبخوان را رتبه ۴ با درجه آسیب‌پذیری کم تا متوسط تشکیل داده است. همچنین با توجه به نقشه پهنه‌بندی، بیشترین آسیب‌پذیری در آبخوان بلوک شرا مربوط به بخش غربی این آبخوان است. تعداد نقاط پایش و نمونه برداری به وسعت محدوده مطالعاتی، پیچیدگی هیدرولوژیکی و گستردگی کاربری‌های آلاینده بستگی دارد.

نتایج حاصل از شاخص DRASTIC آبخوان بلوک شرا نشان می‌دهد که میزان آسیب‌پذیری آبخوان بلوک شرا بین اعداد ۹۸ تا ۱۵۰ تغییر می‌کند. آسیب‌پذیری این دشت با توجه به موارد مذکور و همچنین نحوه طبقه‌بندی ارائه شده در جدول فوق در بین رده‌های آسیب‌پذیری «خیلی کم» تا «متوسط الی زیاد» قرار می‌گیرد (جدول ۳). بیشترین سطح آبخوان را رتبه کم تا متوسط تشکیل داده است. همچنین در قسمتی از بخش غربی رتبه آبخوان متوسط تا زیاد می‌باشد.

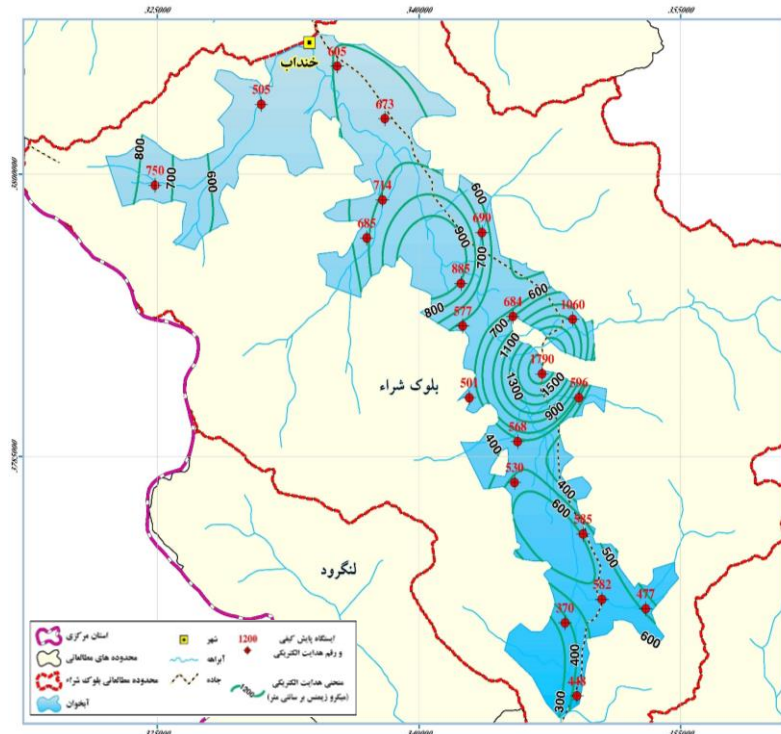
جدول ۳. شاخص آسیب پذیری آبخوان بلوک شرا

Table 3. Vulnerability Index of Bolook-Shera Aquifer

سهم در آبخوان بلوک شرا (درصد)	درجه آسیب پذیری	شاخص آسیب پذیری
percentage	Degree of vulnerability	Vulnerability index
-	بدون خطر آلودگی	<۷۹
۰/۲	خیلی کم	۷۹ - ۹۹
۱۸/۱۱	کم	۱۰۰ - ۱۱۹
۶۹/۳۴	کم تا متوسط	۱۲۰ - ۱۳۹
۱۲/۲۸	متوسط تا زیاد	۱۴۰ - ۱۵۹
-	زیاد	۱۶۰ - ۱۷۹
-	خیلی زیاد	۱۸۰ - ۱۹۹
-	کاملاً مستعد آلودگی	>۲۰۰

تغییرات مکانی کیفیت آب در مقیاس محلی کم است، و تعداد بیشتر (۳۰ ایستگاه) برای آبخوان‌های سطحی آلوده مناسب است. با توجه به موارد ذکر شده جهت تعیین تغییرات کیفیت آب در آبخوان از پارامتر EC به عنوان شاخص کیفیت آب زیرزمینی استفاده گردید و با استفاده از آمار و اطلاعات کیفی سال ۱۳۹۸ شرکت آب منطقه‌ای استان مرکزی، نسبت به تهیه نقشه هم هدایت الکتریکی آبخوان بلوک شرا اقدام گردید. در شکل ۱۰ تغییرات هدایت الکتریکی آبخوان بلوک شرا نمایش داده شده است.

اگر هدف، ارزیابی کیفیت آب یک آبخوان باشد، باید نمونه برداری از تعداد کافی نقاط انجام شود تا توزیع آماری پارامترهای کیفیت آب به دست آید. مهم‌ترین عامل در انتخاب تعداد نقاط نمونه برداری شناخت یا پیش بینی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی است. چرا که اگر تغییرات مکانی زیاد باشد، تعداد بیشتری نقطه باید نمونه برداری شوند. مطابق نشریه شماره ۶۲۰ وزارت نیرو (۱۵)، در بررسی‌های اجمالی و پایش پایه حداقل تعداد ایستگاه‌های نمونه برداری برابر با ۱۰ تا ۳۰ نقطه است. تعداد کمتر (۱۰ ایستگاه) برای آبخوان‌های آزاد که در آن‌ها



شکل ۱۰. تغییرات هدایت الکتریکی در محدوده مطالعاتی

Fig 10. Electrical Conductivity Variation in the Study Area

چاه‌های مذکور مشاهده شد علت افزایش املاح در این دو چاه ترکیبات گچی موجود در آبخوان بوده و فقط به‌صورت نقطه‌ای در مجاورت این دو چاه وجود دارد. با توجه به تغییرات متوسط EC در محدوده آبخوان بلوک شراء، مطابق توصیه‌های نشریه ۶۲۰ وزارت نیرو، تعداد ۲۰ ایستگاه جهت پایش منابع آب زیرزمینی آبخوان بلوک شراء پیشنهاد شده است.

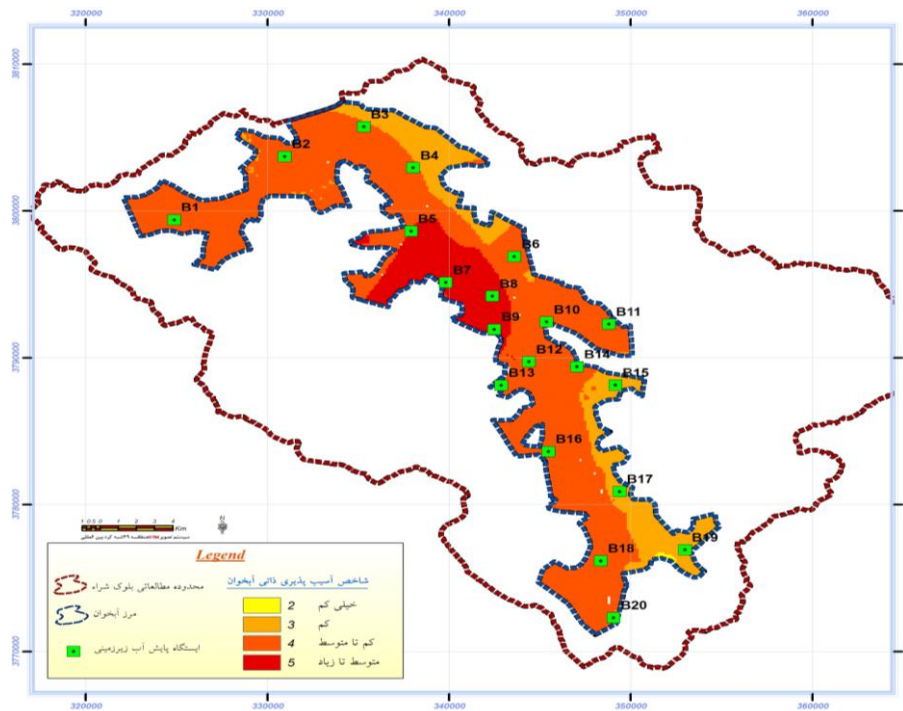
به‌طور کلی مناطقی از آبخوان برای حفاظت دارای اولویت هستند که آسیب‌پذیری بالایی دارند. لذا با توجه به نقشه تهیه شده آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، پهنه‌های دارای اولویت حفاظت و پایش مشخص و بر اساس آن شبکه پایش طراحی و ایستگاه‌های نمونه‌برداری مشخص شده‌اند. در جانمایی ایستگاه‌های پایش حتی‌المقدور سعی گردیده است تا تغییرات کیفیت آب مدنظر قرار گیرد. مشخصات ایستگاه‌های پایش پیشنهادی در جدول ۴ ارائه شده است. در شکل ۱۱ نیز موقعیت ایستگاه‌های پایش در محدوده طرح نمایش داده شده است.

بر اساس نتایج به‌دست آمده مقدار حداقل هدایت الکتریکی، ۳۷۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر و مربوط به بخش جنوبی آبخوان است. حداکثر مقدار هدایت الکتریکی با مقدار ۱۷۹۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر، مربوط به بخش میانی آبخوان و در مجاورت شهر جاورسیان است. به‌طور کلی کیفیت آب زیرزمینی در ورودی آبخوان و محل‌های تغذیه بالا بوده و در جهت جریان و در انتهای آبخوان از کیفیت آن کاسته می‌شود. جهت جریان آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی بلوک شراء از جنوب آبخوان به سمت شمال بوده و روند تغییرات کلی کیفیت آب نیز از این روند تبعیت می‌کند. نکته قابل توجه اینکه مقادیر EC سنجش شده در ایستگاه‌های بخش میانی آبخوان، افزایش محسوس مقادیر شوری را نسبت به سایر ایستگاه‌های محدوده نشان می‌دهد. با توجه به عدم وجود منبع آلاینده مهم در بالادست ایستگاه‌های مذکور، کاهش کیفیت آب در این ایستگاه‌ها به نظر می‌رسد منبع زمین‌شناسی دارد. پس از بررسی سابقه کیفی

جدول ۴. مشخصات ایستگاه‌های پایش پیشنهادی

Table 4. Specifications of The Proposed Monitoring Stations

شخص آسیب‌پذیری	هدایت الکتریکی μS/cm	مختصات مکانی		کد ایستگاه
		UTMX	AMY	
آسیب‌پذیری کم تا متوسط	۸۶۰	۳۲۴۸۷۰	۳۷۹۹۴۰۴	B1
آسیب‌پذیری کم تا متوسط	۴۹۵	۳۳۰۹۶۰	۳۸۰۳۷۲۰	B2
آسیب‌پذیری کم تا متوسط	۶۰۴	۳۳۵۳۰۷	۳۸۰۵۷۴۵	B3
آسیب‌پذیری کم تا متوسط	۶۶۵	۳۳۸۰۳۳	۳۸۰۲۹۴۸	B4
آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد	۷۱۵	۳۳۷۹۱۱	۳۷۹۸۶۳۰	B5
آسیب‌پذیری کم تا متوسط	۶۵۱	۳۴۳۶۰۰	۳۷۹۶۹۰۰	B6
آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد	۷۲۵	۳۳۹۸۳۴	۳۷۹۵۱۳۴	B7
آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد	۸۹۰	۳۴۲۳۹۴	۳۷۹۴۲۰۱	B8
آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد	۵۸۴	۳۴۲۵۰۰	۳۷۹۱۹۵۰	B9
آسیب‌پذیری کم تا متوسط	۷۵۸	۳۴۵۳۷۳	۳۷۹۲۴۵۱	B10
آسیب‌پذیری کم تا متوسط	۱۰۱۸	۳۴۸۸۰۰	۳۷۹۲۳۰۰	B11
آسیب‌پذیری کم تا متوسط	۶۲۵	۳۴۴۴۰۲	۳۷۸۹۷۴۰	B12
آسیب‌پذیری کم تا متوسط	۴۸۰	۳۴۲۸۸۵	۳۷۸۸۱۳۶	B13
آسیب‌پذیری کم تا متوسط	۱۸۱۰	۳۴۷۰۵۰	۳۷۸۹۴۰۰	B14
آسیب‌پذیری کم	۵۶۸	۳۴۹۱۶۷	۳۷۸۸۱۴۶	B15
آسیب‌پذیری کم تا متوسط	۵۳۵	۳۴۵۴۷۱	۳۷۸۳۶۲۹	B16
آسیب‌پذیری کم	۵۸۰	۳۴۹۴۰۰	۳۷۸۰۹۰۰	B17
آسیب‌پذیری کم تا متوسط	۳۶۴	۳۴۸۳۶۰	۳۷۷۶۱۷۲	B18
آسیب‌پذیری کم	۴۶۵	۳۵۲۹۸۶	۳۷۷۶۹۲۹	B19
آسیب‌پذیری کم تا متوسط	۴۷۵	۳۴۹۰۵۰	۳۷۷۲۳۰۰	B20



شکل ۱۱. موقعیت ایستگاه‌های پایش پیشنهادی در محدوده طرح

Fig 11. Location of Proposed Monitoring Stations in the Study Area

پذیری این دشت با توجه به موارد مذکور در بین رده‌های آسیب‌پذیری «خیلی کم» تا «متوسط الی زیاد» قرار می‌گیرد. در نهایت سعی گردید با توجه به پهنه‌های آسیب پذیر و تغییرات هدایت الکتریکی به‌عنوان شاخص کیفیت آب، نقاط پیشنهادی پایش انتخاب گردد.

#### قدردانی

نویسندگان این مقاله، از دفتر کیفیت و محیط زیست شرکت آب منطقه‌ای استان مرکزی و آقای دکتر عبدالرضا واعظی هیر، دانشیار دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز، به‌جهت یاری در انجام مطالعه حاضر، صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

using GIS and multicriteria analysis. *Water resources management*, 29, 3175-3194.

Instruction for Groundwater Quality Monitoring, No.620, Ministry of Energy, Bureau of Engineering and Technical Criteria for Water and Wastewater, (2013).

Janatrostami, S., & Salahi, A. (2020). Design of the optimal groundwater quality monitoring network using a genetic algorithm-based optimization approach. *Environmental Sciences*, 18(2), 19-40. [In Persian].

Johansson, P. O., Scharp, C., Alveteg, T., & Choza, A. (1999). Framework for Ground Water

#### نتیجه‌گیری

در این مطالعات با توجه به نیاز به ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی بلوک شراء، اقدام به طراحی شبکه پایش کیفیت آب زیرزمینی گردید. طراحی شبکه پایش کیفی بر اساس اولویت‌های حفاظتی به‌دست آمده از روش ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان و همچنین نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی آبخوان انجام گرفت. بدین منظور، ابتدا به تعیین هر یک از لایه‌های مدل DRASTIC پرداخته شد. سپس نقشه‌های آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان تهیه شد. نتایج حاصل از DRASTIC آبخوان بلوک شراء نشان می‌دهد که میزان آسیب‌پذیری آبخوان بلوک شراء بین اعداد ۹۸ تا ۱۵۰ تغییر می‌کند. آسیب

#### منابع

Alizadeh, Z., Yazdi, J., & Moridi, A. (2018). Development of an entropy method for groundwater quality monitoring network design. *Environmental Processes*, 5, 769-788.

Aller, L., & Thornhill, J. (1987). *DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.

Esquivel, J. M., Morales, G. P., & Esteller, M. V. (2015). Groundwater monitoring network design

Protection- the Managua Ground Water System as an Example. *Groundwater*, 37(2), 204-213.

Joodavi, A., Aghlmand, R., Podgorski, J., Dehbandi, R., & Abbasi, A. (2021). Characterization, geostatistical modeling, and health risk assessment of potentially toxic elements in groundwater resources of northeastern Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 37, 100885.

Joodavi, A., Majidi Khalilabad, N., & Majidi Khalilabad, M. (2022). Designing a monitoring network for detecting groundwater pollution based on intrinsic vulnerability, pollution sources and groundwater value: a case study in Khash plain, Sistan and Baluchestan province, Iran. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 16(1), 13-25. [In Persian].

Li, X., Gao, Y., Qian, H. & Wu, H. (2017). Groundwater vulnerability and contamination risk assessment of the Weining Plain, using a modified DRASTIC model and quantized pollution loading method. *Arabian Journal of Geoscience*. 10 (21), 1-11.

Li, X., Wu, H., & Qian, H. (2020). Groundwater contamination risk assessment using intrinsic vulnerability, pollution loading and groundwater value: a case study in Yinchuan Plain, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(36), 45591-45604.

Moradinejad T, Rezaei, M, & Nakhaei, M. (2023). Vulnerability Assessment of Groundwater Resources in Qazvin aquifer with Drastic, Modified and Fuzzy Methods, *Journal of Drought and Climate Change Research (JDCCR)*, 1(3), 35-56. [In Persian].

Ning, S. K., & Chang, N. B. (2005). Screening the Relocation Strategies of Water Quality Monitoring Stations by Compromise Programming 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 41(5), 1039-1052.

Nixdorf, E., Sun, Y., Lin, M., & Kolditz, O. (2017). Development and application of a novel method for regional assessment of groundwater contamination risk in the Songhua River Basin. *Science of the Total Environment*, 605, 598-609.

Pearson, S., Falteisek, J., & Berg, J. (2011). Minnesota groundwater level monitoring network-guidance document for network development. *Minnesota, United States*.

Shoghi, A., Rezaei, H., Pishjoo, A., Touzandeh-Jani, M. & Azimi, R. (2022). *Evaluation of Groundwater Potential to Pollution using DRASTIC; A Case Study of Shazand Aquifer*. 15th Symposium on Advances in Science and Technology (SciTech 2022), Mashhad, Iran. [In Persian].