



Assessment of the contamination potential in the Northern Dezful-Andimeshk aquifer with emphasis on intrinsic and specific vulnerability

Sepideh Shakour^{1✉}, Manouchehr Chitsazana², Seyed Yahya Mirzaee³

1. PhD Student of Hydrogeology, Department of Geology, Earth Sciences Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: sed_shakur@yahoo.com

2. Professor, Department of Geology, Earth Sciences Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: Chitsazan_m@scu.ac.ir

3. Associate Professor, Department of Geology, Earth Sciences Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: Yahya2010@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 9 June 2024

Received in revised form 30 August 2024

Accepted 1 September 2024

Keywords:

Aquifer, Intrinsic Vulnerability, Northern Dezful Andimeshk, Potential for Contamination, Specific Vulnerability.

ABSTRACT

One of the appropriate ways to prevent groundwater pollution is to identify vulnerable aquifer areas. The Dezful-Andimeshk Plain has two landfills that do not comply with the necessary standards for waste disposal and a river that recharges the aquifer, which can be potential pollutants for the aquifer. Therefore, evaluating the pollution potential of this aquifer is considered a necessity. To achieve this goal, for the first time in this area, the assessment of the aquifer pollution potential was carried out based on the intrinsic vulnerability (DRASTIC) and specific vulnerability (DLR), and finally, the potential contamination (PC) in the region was evaluated. Based on the results, the value of the inherent vulnerability index ranges from 106 to 162 and has two vulnerability classes: moderate and high. The high vulnerability is related to the western margin of the plain and near the outlet of the plain, as well as in the middle of the plain with a northeast-southwest trend. The low vulnerability is associated with the northern and southern parts of the region. The specific vulnerability index ranges from 25 to 75, which, based on expert opinion, is classified into two classes: low and medium vulnerability. The highest intrinsic vulnerability is in the middle of the plain and around the Dez River. According to the results, the aquifer's PC ranges from 130 to 207 due to specific and intrinsic vulnerabilities. It is classified into three classes: medium, high, and very high, mainly affected by the river, land use, soil, and hydraulic conductivity.

Introduction

One of the key methods for preventing aquifer contamination is the assessment of aquifer vulnerability. This concept can be generalized into two perspectives in groundwater resources: Intrinsic Vulnerability and Specific Vulnerability. Many researchers have successfully used the DRASTIC method and its modified models to determine the intrinsic vulnerability of aquifers (Aghazadeh et al., 2022; Taghavi et al., 2023; Ozegin et al., 2024; Shirazi et al., 2012; Fijani et al., 2013). In addition, some researchers have improved the

assessment of aquifer contamination potential by integrating the DRASTIC method with other specific vulnerability indices tailored to environmental conditions and the types of potential contaminants in the area. These indices include the DRAIYA index by Vaezihir and Tabarmayeh (2015), the GQI index by Riahi et al. (2022), and the NBL index by Casadiegos et al. (2024), which were used to calculate the overall risk of the area, leading to a more accurate assessment of the aquifer's contamination potential.

Cite this article: Shakour, S., Chitsazana, M., Mirzaee, Y. (2024). Assessment of the Contamination Potential in the Northern Dezful-Andimeshk Aquifer with Emphasis on Intrinsic and Specific Vulnerability. *Journal of Engineering Geology*, 18 (2), 286-302. <https://doi.org/10.22034/JEG.2024.18.2.1019821>



In the northern Dezful-Andimeshk region, due to the rapid population growth and increasing livestock and agricultural activities, groundwater is heavily affected by pollution from animal waste and nitrate fertilizers. Additionally, the region contains two landfills, Jareme and Mahoorberenji, and a river between the counties of Andimeshk and Dezful, where waste disposal is sometimes conducted improperly and unsanitary. Therefore, assessing the contamination potential of the aquifer in this region and providing management strategies to prevent its pollution is essential. To achieve this goal, for the first time internationally, a specific vulnerability index named DLR was defined and integrated with the intrinsic vulnerability index DRASTIC, ultimately creating a comprehensive contaminants potential map for the entire region.

Materials and Methods

In terms of research steps, the first stage involved collecting data related to the DRASTIC hydrogeological parameters. Data from the region's piezometers created the D and R layers. The A and I layers were developed using information from the observation wells' logs and the area's exploratory boreholes. For the S and T layers, the region's soil shapefile and Digital Elevation Model (DEM) were employed, while the C layer was drawn from the results of well pump tests and aquifer thickness obtained from the observation well logs. After gathering the raw data necessary for each layer, the following steps were conducted sequentially:

- **Data Preparation:** An Excel file containing the essential information for each layer was prepared.
- **Data Conversion:** The Excel files were converted into a format compatible with ArcGIS software (in this case, they were converted into point shapefiles).
- **Interpolation:** Interpolation was performed using the Kriging method.

- **Rasterization:** The resulting interpolated file was rasterized, and cell size was determined for all layers.
- **Reclassification and Weighting:** The raster file created in the previous step was reclassified, and weights ranging from 1 to 10 were assigned. Finally, an overlay operation was performed based on the weight assigned to each criterion layer, and the intrinsic vulnerability map was drawn.

The DLR index is a specific vulnerability index designed to determine the impact of pollutants from landfills, rivers, and land use on the aquifer. Similar to the DRASTIC method, this index employs an overlay-index approach. In this index, D represents the distance from the landfill, L stands for land use, and R represents the river. This method used expert judgment to define intervals for each parameter, with a rating from 1 to 10 assigned to each interval. For creating the R and D layers, the Euclidean distance command in the GIS environment was used, while the L layer was generated using the land use shapefile of the area. Reclassification and overlay operations were performed after creating the R, D, and L layers, and the specific vulnerability map was drawn.

Finally, the intrinsic and specific vulnerability maps were integrated using the Raster Calculator, and the overall pollution potential map for the area was produced.

Results and Discussion

The pollution potential in the study area ranges from 130 to 207, which, according to Aller's (1987) standard, falls into three categories: moderate, high, and very high vulnerability. The highest pollution potential is observed around the Dez River, which is likely influenced by specific vulnerability factors (R layer) and on the western edge of the plain, possibly due to intrinsic vulnerability factors (D component) in this area. According to the regional risk map, the western edge of the plain exhibits very high

vulnerability. The central plain shows high vulnerability, with a northeast-southwest trend, particularly reaching its maximum on both sides of the Dez River. The northern part of the area has a moderate vulnerability.

A comparison of the intrinsic and specific vulnerability maps with the overall regional risk map indicates that the very high vulnerability on the western edge is probably due to high hydraulic conductivity (C), the aquifer environment (A), and soil composition (S), all of which are components of intrinsic vulnerability. The very high vulnerability on both sides of the Dez River is attributed to the river's influence (R), a specific vulnerability component. The high vulnerability observed in the central plain results from both specific and intrinsic vulnerabilities, being influenced by the proximity to landfills (D) and extensive agriculture (L), both of which are specific vulnerability factors, and by the appropriate grain size in the vadose zone (I), the aquifer environment (A) and, to some extent, the soil composition (S), which are intrinsic vulnerability factors.

Nitrate data from samples collected in 2020 were used to validate the results of the implemented models and the resulting risk map. A comparison of the nitrate concentration distribution with the overall risk map reveals a high degree of

correlation. In areas with high regional risk, nitrate concentrations are also high, particularly in the central plain. Conversely, nitrate concentrations are also low in the southern tip and the northwestern part of the plain, where vulnerability is lower than in other parts.

Conclusion

Comparison of the nitrate distribution across the plain with the risk map confirms the accuracy and reliability of the implemented models. In high-risk areas, higher nitrate levels have infiltrated the groundwater, leading to nitrate contamination of the aquifer. Therefore, it is recommended that relevant authorities, particularly in water and environmental management, take proactive measures. These measures should include proper management and control of contaminated wastewater entering the Dez River, as well as standardization of landfills and waste disposal methods to mitigate the negative impacts of specific vulnerability. Additionally, reducing the excessive use of chemical fertilizers, preventing soil contamination, and implementing artificial recharge of clean water into the aquifer are necessary to mitigate the negative impacts of intrinsic and specific vulnerabilities on the aquifer.



ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان دزفول اندیمشک شمالی با تأکید بر آسیب پذیری ذاتی و ویژه

سپیده شکور^۱، منوچهر چیتسازان^۲، سید یحیی میرزایی^۳

۱. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: sed_shakur@yahoo.com

۲. استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: Chitsazan_m@scu.ac.ir

۳. دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: Yahya2010@yahoo.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱

کلیدواژه‌ها:

آبخوان، دزفول- اندیمشک شمالی، آسیب پذیری ذاتی، آسیب پذیری ویژه، پتانسیل آلودگی.

یکی از روش‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آبهای زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان است. دشت دزفول اندیمشک دارای دو لندفیل با عدم رعایت استانداردهای کامل در دفن زباله و یک رودخانه تغذیه کننده ی آبخوان است که می‌توانند آلاینده‌های بالقوه برای آبخوان باشند، لذا ارزیابی پتانسیل آلودگی در این آبخوان، موضوعی ضروری و قابل توجه است. جهت تحقق این هدف برای نخستین بار در این منطقه ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان با تکیه بر آسیب‌پذیری ذاتی (DRASTIC) و آسیب‌پذیری ویژه (DLR) انجام شد و در نهایت پتانسیل آلودگی (PC) در منطقه ارزیابی گردید. براساس نتایج مقدار شاخص آسیب‌پذیری ذاتی از ۱۰۶ تا ۱۶۲ متغیر است و دارای دو رده آسیب‌پذیری متوسط و زیاد است به طوری که آسیب‌پذیری زیاد مربوط به حاشیه غربی دشت و نزدیک به خروجی دشت و همچنین در میانه دشت با روند شمال شرقی - جنوب غربی است و آسیب‌پذیری کم مربوط به شمال و جنوب منطقه است. مقدار شاخص آسیب‌پذیری ویژه از ۲۵ تا ۷۵ متغیر است که براساس نظر کارشناسی در دو ردهی آسیب‌پذیری کم و متوسط قرار می‌گیرد. بیشترین آسیب‌پذیری ذاتی در میانه دشت و در اطراف رودخانه دز است. براساس نتایج، پتانسیل آلودگی (PC) آبخوان، بین ۱۳۰ تا ۲۰۷ متغیر است که ناشی از هر دو نوع آسیب‌پذیری ویژه و ذاتی است و در سه ردهی متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرد که عمدتاً متأثر از عوامل، رودخانه، کاربری اراضی، خاک و هدایت هیدرولیکی است.

مقدمه

مورد آلودگی آب‌های زیرزمینی ارائه شده است (Vrba and Zaporozec, 1994). آسیب‌پذیری (Vulnerability) را می‌توان به عنوان امکان نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب‌های زیرزمینی تعریف کرد (Babiker, 2005). این تعریف از دو دیدگاه آسیب‌پذیری ذاتی (Instinct Vulnerability) و آسیب‌پذیری ویژه (Special Vulnerability) در منابع آب‌های زیرزمینی قابل تعمیم است (Vulnerability jia et al., 2019; Kardan moghaddam et al., 2019).

رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی بسیار پرهزینه و فرایندی طولانی است و اغلب زمانی آلودگی تشخیص داده می‌شود که رفع آلودگی آبخوان تقریباً غیرممکن می‌گردد. یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان و مدیریت کاربری اراضی است. مفهوم آسیب‌پذیری برای اولین بار در اواخر سال ۱۹۶۰ میلادی در فرانسه برای آگاهی بخشی در

استناد: شکور، س.، چیتسازان، م.، میرزایی، ی. (۱۴۰۳). ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان دزفول اندیمشک شمالی با تأکید بر آسیب‌پذیری ذاتی و ویژه. مجله زمین شناسی

مهندسی، ۱۸ (۲)، ۲۸۶-۳۰۲. <https://doi.org/10.22034/JEG.2024.18.2.1019821>



لندفیل رسمی به نام‌های جارمه (Jareme) و ماهور برنجی (Mahoorberenji) در شهرستان‌های اندیمشک و دزفول، وجود دارد که گاهاً عمل دفع زباله در آن‌ها به صورت غیراصولی و غیربهداشتی انجام می‌گیرد. افزون بر این، در مرکز این دشت رودخانه‌ی دز قرار دارد که طی مطالعات انجام گرفته توسط فاریابی (Faryabi, 2020) به عنوان رودخانه‌ی تغذیه کننده برای آبخوان معرفی شده است و متأسفانه در برخی نقاط در شهرک‌های حاشیه شهر، بدون هیچ‌گونه ملاحظه‌ای به محلی برای دفع فاضلاب‌های تصفیه نشده از بیمارستان و کشتارگاه‌ها، دامداری‌ها و کارخانه‌ها بدل شده است. بنابراین ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان در منطقه و ارائه راه‌کارهای مدیریتی برای جلوگیری از آلودگی آن امری ضروری است. جهت تحقق این هدف، برای نخستین بار در سطح بین الملل، شاخص آسیب‌پذیری ویژه‌ی DLR را که مخفف سه پارامتر: فاصله از لندفیل (Distance from the Landfill) و کاربری اراضی (Land use) و فاصله از رودخانه (Distance from the River) است، تعریف و با شاخص آسیب‌پذیری ذاتی DRASTIC تلفیق شد و در نهایت نقشه‌ی پتانسیل آلودگی کل منطقه ترسیم شد.

مواد و روش‌ها

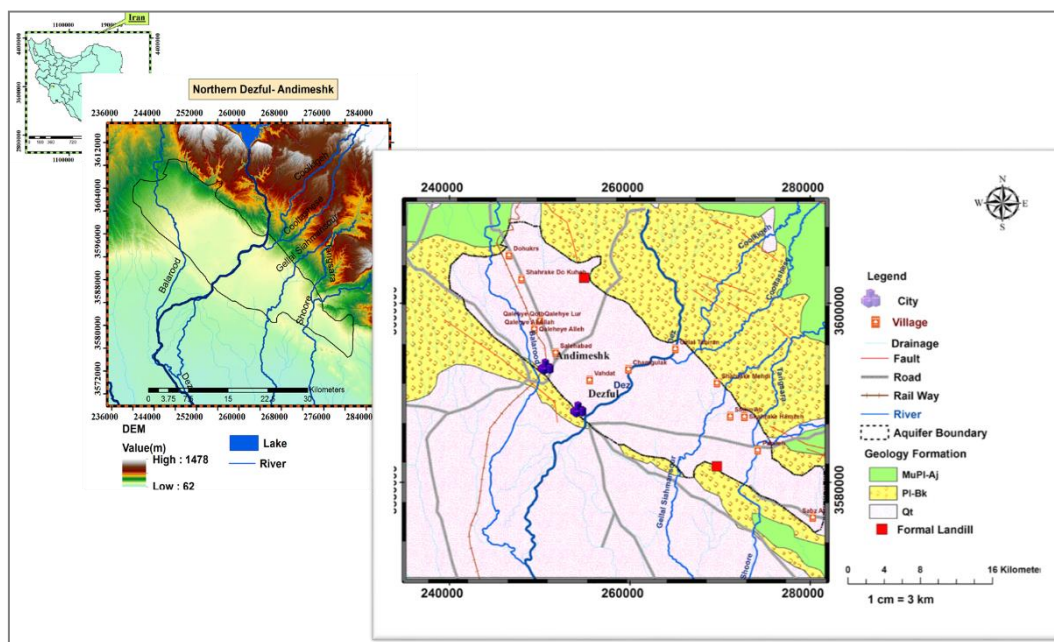
در این پژوهش جهت ارزیابی ریسک آلودگی آبخوان سه مرحله اصلی وجود دارد، که هر سه مرحله در محیط Arc GIS 10.8 انجام می‌شوند. در مرحله اول، جهت تعیین آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان از شاخص DRASTIC، که در سال ۱۹۸۷ توسط آلر (Aller, 1987) ارائه شده است، استفاده می‌شود، در مرحله دوم، جهت تعیین آسیب‌پذیری ویژه از شاخص DLR که نخستین بار در جهان، ارائه شده است، استفاده می‌شود و در مرحله سوم جهت تهیه نقشه ریسک کلی منطقه، آسیب‌پذیری ذاتی و ویژه‌ی آبخوان با هم تلفیق می‌شوند و نقشه ریسک کلی منطقه ترسیم می‌شود.

2020). آسیب‌پذیری ذاتی به دلیل وابستگی با خصوصیات هیدروژئولوژی و سایر خصوصیات ذاتی آبخوان در گذر زمان ثابت است ولی آسیب‌پذیری ویژه بر پایه فعالیت‌های بشری در گذر زمان متغیر است. از میان روش‌های مختلفی که برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی به کار می‌رود، روش DRASTIC است، که مخفف هفت پارامتر عمق آب زیرزمینی (Depth to water)، نرخ تغذیه (net Recharge)، محیط آبخوان (Aquifer media)، خاک (Soil type)، توپوگرافی (Topography)، اثر منطقه غیراشباع (Impact of vadose zone)، و هدایت هیدرولیکی (hydraulic Conductivity) برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان استفاده می‌کند. این روش جزء روش‌های متداول برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان است، به طوری که محققین زیادی از دراستیک و مدل‌های اصلاح شده آن جهت تعیین آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان استفاده کرده‌اند (Aghazadeh et al., 2022; Taghavi et al., 2023; Ozegin et al., 2024; Shirazi et al., 2012; Fijani et al., 2013) و به موفقیت‌هایی دست پیدا کرده‌اند. گروهی نیز در جهت بهبود ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان، متناسب با شرایط محیطی و نوع آلاینده‌های احتمالی منطقه، روش دراستیک را با سایر شاخص‌های آسیب‌پذیری ویژه، از جمله: شاخص DRAIYA توسط واعظی هیر و تبرمایه (Vaezihir and Tabarmayeh, 2015)، شاخص GQI توسط ریاحی و همکاران (Riahi et al., 2022)، شاخص NBL توسط کاسادیگوس و همکاران (Casadiegos et al., 2024) و تلفیق کرده و ریسک کلی منطقه را محاسبه کرده‌اند و ارزیابی مناسب‌تری از پتانسیل آلودگی آبخوان ارائه داده‌اند. در محدوده دزفول اندیمشک شمالی به دلیل گسترش روز افزون جمعیت و فعالیت دامداری و کشاورزی، آب‌های زیرزمینی شدیداً تحت تأثیر آلودگی ناشی از فضولات حیوانی و کودهای نیترات قرار دارند. علاوه بر این، در این منطقه دو

زمین‌ساختی زاگرس چین خورده قرار دارد. ساخت زمین شناسی این ناحیه ساده، ملایم و شامل مجموعه‌ای از رشته تاقدیس‌ها و ناودیس‌های نزدیک و به هم فشرده با سطح محوری معمولاً قائم و روند شمال غربی- جنوب شرقی است. ارتفاع منطقه مورد مطالعه غالباً بین ۶۲ تا ۸۰ متر است ولی ارتفاعات اطراف آن تا ۱۴۷۲ متر از سطح دریا نیز می‌رسد. موقعیت مکانی و نقشه‌های زمین‌شناسی، مدل رقومی ارتفاع دشت دزفول اندیمشک شمالی در شکل ۱ آمده است. در این منطقه دو لندفیل رسمی به نام‌های جارمه (Jareme) و ماهور برنجی (Mahoorberenji) در شهرستان‌های اندیمشک و دزفول، وجود دارد که گاهاً عمل دفن زباله در آن‌ها به صورت غیر اصولی و غیر بهداشتی انجام می‌گیرد. افزون بر این، در مرکز این دشت رودخانه دائمی دز و چند رودخانه فصلی وجود دارد که در شکل ۱ آورده شده‌اند.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی دزفول- اندیمشک شمالی با مساحت تقریبی ۴۷۵ کیلومتر مربع در شهرستان‌های دزفول و اندیمشک قرار دارد و از نظر هیدروژئولوژیکی از زیر حوضه های کارون بزرگ محسوب می‌شود. منبع اصلی آب شرب در این دشت، منابع آب زیرزمینی است. براساس بازدیدهای میدانی و نقشه‌ی ۱/۲۵۰۰۰ خوزستان، این دشت از نظر چین‌شناسی شامل: آبرفت‌های عهد حاضر، گنگلومراهای سازند بختیاری (پالئوسن) و سازند مارنی آغاچاری (پلیوسن و میوسن) است. دسترسی به منطقه مورد مطالعه از طریق جاده اهواز- شوش- اندیمشک و اهواز- شوشتر- دزفول امکان پذیر است. این منطقه از نظر زمین‌شناسی در زون



شکل ۱. نقشه موقعیت، زمین‌شناسی و مدل رقومی ارتفاع دشت دزفول اندیمشک شمالی

Fig.1. Map of location, geology and DEM of Dezful Andimeshk North plain

based methods)، شاخصی _ هم‌پوشانی (index- overlap methods) و آماری (statistical methods) تقسیم‌بندی کرد. روش‌های پردازشی از مدل‌های شبیه‌سازی

آسیب‌پذیری

روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه شده‌است که می‌توان در سه گروه روش‌های پردازشی (processing-

ی ۱ تا ۱۰ و وزن ۱ تا ۵ اختصاص داده می‌شود، ۱ به معنای کم‌ترین و ۱۰ بیش‌ترین خطر برای آلودگی آب زیرزمینی، در نظر گرفته می‌شود. از این رو شاخص دراستیک، بر اساس رابطه (۱) و وزن و رتبه‌دهی به هفت پارامتر مذکور محاسبه می‌شود (Aller et al., 1987; Al-Adamat et al., 2003).

$$IVI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (1)$$

در این رابطه (IVI) (Intrinsic Vulnerability Index)، شاخص آسیب‌پذیری ذاتی است، حروف بزرگ نشان‌دهنده پارامترهای هفت‌گانه و r نرخ ارزش (رتبه) و w وزنی است که به هر پارامتر تخصیص داده می‌شود. پس از محاسبه شاخص دراستیک، نواحی آسیب‌پذیر آبخوان مشخص می‌شوند. در این رابطه، مقدار آسیب‌پذیری ذاتی با افزایش عمق سطح آب و شیب توپوگرافی کاهش یافته ولی با افزایش سایر پارامترها افزایش می‌یابد.

از لحاظ انجام مراحل پژوهش، در گام نخست ابتدا اطلاعات مربوط به پارامترهای هیدروژئولوژیکی DRASTIC جمع آوری شد، به طوری که برای تهیه لایه‌های D و R از اطلاعات پیرومترهای منطقه تهیه شد، برای تهیه لایه A و I از اطلاعات مربوط به لاگ چاه‌های مشاهده‌ای و گمانه‌های اکتشافی منطقه استفاده شد. برای ترسیم لایه‌های S و T از شیپ فایل (Shape file) خاک و نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه استفاده شد و برای ترسیم لایه C از نتایج آزمایش پمپاژ چاه‌ها و ضخامت آبخوان، برگرفته از لاگ چاه‌های مشاهده‌ای استفاده شد. پس از تهیه داده‌های خام مورد نیاز برای هر لایه مراحل زیر به ترتیب انجام شدند. ۱- تهیه فایل اکسل از اطلاعات ضروری هر لایه. ۲- تبدیل فایل اکسل تهیه‌شده، به فرمت قابل قبول نرم‌افزار Arc Gis (در اینجا به شیپ فایل نقطه‌ای تبدیل شدند) ۳- انجام درون‌یابی به روش Kriging ۴- رسترکردن فایل تهیه‌شده حاصل از درون‌یابی در مرحله قبل و تعیین سل سایز (Cell Size)

برای تخمین حرکت آلاینده‌ها استفاده می‌کنند. روش‌های آماری از روابط هم‌بستگی بین متغیرهای مکانی و میزان آلاینده‌های موجود در آب‌زیرزمینی استفاده می‌کنند. روش‌های شاخص _ هم‌پوشانی پارامترهای کنترل‌کننده حرکت آلاینده‌ها از سطح زمین به منطقه اشباع را تلفیق کرده و شاخصی به نام شاخص آسیب‌پذیری را در نقاط مختلف یک منطقه تعیین می‌کنند. در روش‌های شاخص _ هم‌پوشانی، انتخاب ارزش عددی پارامترها تا حدودی کارشناسی بوده و نمی‌توانند به‌عنوان یک روش دقیق پیش‌بینی مورد استفاده قرار بگیرند. با این وجود، سادگی و سهولت تهیه اطلاعات مورد نیاز آن‌ها در مقیاس ناحیه‌ای از مزایای عمده این روش‌ها است. آسیب‌پذیری آبخوان به مفهوم احتمال ورود آلودگی به منابع آب‌زیرزمینی است و این تعریف از دو دیدگاه آسیب‌پذیری ذاتی و ویژه در منابع آب‌زیرزمینی قابل تعمیم است (Kardan Moghaddam, et al., 2017). آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان وابسته به ویژگی‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی منطقه است و نسبتاً با گذر زمان پایدار است ولی آسیب‌پذیری ویژه بر پایه فعالیت‌های بشری است و با نگرش بر نوع آلاینده، در گذر زمان متغیر است. از آنجا که آسیب‌پذیری ویژه و ذاتی آبخوان مستقل از هم هستند، تلفیق این دو می‌تواند ارزیابی مناسب‌تری را از پتانسیل آلودگی آبخوان ارائه دهد.

روش DRASTIC

یکی از روش‌های مرسوم ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، روش DRASTIC است، که از هفت پارامتر عمق آب زیرزمینی (D)، نرخ تغذیه (R)، محیط آبخوان (A)، خاک (S)، توپوگرافی (T)، اثر منطقه غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C)، برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان استفاده می‌کند. به هرکدام از این پارامترها با توجه به پتانسیل آلودگی و استاندارد آلر (Aller et al., 1987)، رتبه

برای تمام لایه‌ها ۵- Reclassify و وزن دهی از عدد ۱ تا ۱۰ (جدول ۱) به فایل رستر تهیه شده در مرحله‌ی قبل و در نهایت براساس رابطه (۱) و وزن اختصاص داده شده به

جدول ۱. نرخ و وزن‌های معیارهای آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دزفول- اندیمشک شمالی

Table 1. Rates and weights of intrinsic vulnerability criteria of Northern Dezful-Andimeshk aquifer

Depth to Water (m)		net Recharge (in/y)		Aquifer media		Soil media	
Range	Rating	Range	Rating	Range	Rating	Range	Rating
0-5	10	0-2	1	clay	1	Silty sand	5
5-15	9	2-4	3	Silt	3	Sand	6
15-30	7	4-7	6	Silty sand	4	Sandy gravell	7
30-50	5	7-10	8	Sand	6		
50-75	3	>10	10	Sandy gravell	8		
75-100	2			gravel	9		
>100	1						
Weight = 5		Weight = 4		Weight = 3		Weight = 2	
Topography		Impact on vadose zone		Hydrolic Conductivity			
Range	Rating	Range	Rating	Range	Rating		
0-2	10	Silt	3	1-5	1		
2-6	9	Silty sand	5	4-20	2		
6-12	3	Sand	7	20-35	5		
12-18	3	Sandy gravell	8	35-50	7		
>18	1	gravel	9	50-65	9		
				>65	10		
Weight = 1		Weight = 5		Weight = 3			

مشخص شود. در این شاخص مانند دراستیک از روش همپوشانی- شاخصی استفاده شده‌است. D معرف فاصله از لندفیل (Distance from the landfill) و L معرف کاربری اراضی (Land use) و R معرف رودخانه (Distance from the River) است. در این روش نیز برای هر پارامتر برحسب نظر کارشناسی بازه‌هایی در نظر گرفته شد و برای هر بازه‌ی این پارامترها، نرخی از ۱ تا ۱۰ اختصاص داده شد. ۱ به معنای کم‌ترین و ۱۰ بیش‌ترین خطر برای آلودگی آب زیرزمینی است.

معرفی روش DLR

به‌دلیل ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه دز و آبخوان (Faryabi, 2020) و وجود دو لندفیل جارمه در اندیمشک و ماهوربرنجی در دزفول که گاهی دفع زباله در آن‌ها غیراصولی انجام می‌گیرد و هم‌چنین گستردگی فعالیت کشاورزی در این منطقه، ارزیابی آسیب‌پذیری ویژه آبخوان، یک ضرورت است. DLR یک نوع شاخص آسیب‌پذیری ویژه است که برای نخستین‌بار در این پژوهش، معرفی شده است تا اثر آلاینده‌های لندفیل و رودخانه و کاربری اراضی بر آبخوان

جدول ۲. نرخ و وزن‌های معیارهای آسیب‌پذیری ویژه آبخوان دزفول - اندیمشک شمالی

Table 2. Rates and weights of special vulnerability criteria of Northern Dezful-Andimeshk aquifer

River		Land use		Landfill	
Range	Rating	Range	Rating	Range	Rating
<500	10	Agriculture land	10	<500	10
500-1000	8	Wetland	8	500-1000	7
1000-2000	4	Urban land	7	1000-2000	4
2000-4000	2	Dryland farming	3	2000-5000	2
>4000	1	Barren land	4	>5000	1
		Pivot irrigation	6		
Weight = 4		Weight = 5		Weight = 3	

و متأثر از آلاینده‌های انسان‌زاد و زمین‌زاد است و با نگرش بر نوع آلاینده در گذر زمان متغیر است. از طرفی به دلیل اینکه این دو نوع آسیب‌پذیری آبخوان مستقل از هم هستند، تلفیق این دو می‌تواند ارزیابی مناسب‌تری را از وضعیت آسیب‌پذیری کلی آبخوان ارائه دهد. برای این کار پس از اینکه نقشه آسیب‌پذیری ذاتی و آسیب‌پذیری ویژه حاصل شد، با وزن برابر و براساس معادله‌ی (۳) با استفاده از دستور Raster Calculator در محیط GIS نقشه پتانسیل آلودگی منطقه محاسبه می‌شود.

$$PC = IVI_w + SVI_w \quad (3)$$

در این رابطه PC به مفهوم پتانسیل آلودگی (Potential for contamination) آبخوان، IVI و SVI به ترتیب آسیب‌پذیری ذاتی و ویژه و W وزن هر لایه هستند که در اینجا برای هر دو برابر یک در نظر گرفته شده‌است.

نتایج و بحث

ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان به روش

DRASTIC

عمق آب‌زیرزمینی یکی از عوامل مهم در کنترل توانایی آلاینده برای رسیدن به آبخوان می‌باشد. این پارامتر به دلیل تعیین ضخامت موادی که آب نفوذی باید قبل از رسیدن به آبخوان آن را طی کند، اهمیت دارد. عمق کم آب‌زیرزمینی

هریکی از این پارامترها با توجه به اهمیت نسبی آن، در توانایی انتقال آلودگی به سیستم آب‌زیرزمینی، در ضریب وزنی (وزن ۱ تا ۵) ضرب می‌شود. از این رو شاخص DLR براساس وزن‌دهی به مجموع سه پارامتر به صورت رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$SVI = D_r D_w + L_r L_w + R_r R_w \quad (2)$$

در این رابطه SVI شاخص آسیب‌پذیری ویژه (Special Vulnerability Index) است. حروف بزرگ نشان‌دهنده پارامترهای سه گانه و r نرخ ارزش (رتبه) و W وزنی است که به هر پارامتر تخصیص داده می‌شود. پس از محاسبه شاخص DLR نواحی آسیب‌پذیر آبخوان مشخص می‌شوند. بزرگ‌تر بودن این شاخص بیانگر آسیب‌پذیری بیش‌تر آبخوان می‌باشد و کم‌تر بودن آن حاکی از آسیب‌پذیری کم‌تر آبخوان است. در این رابطه بین افزایش مقدار پارامترهای معیار R و D با VSI، رابطه معکوس برقرار است.

ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان (PC)

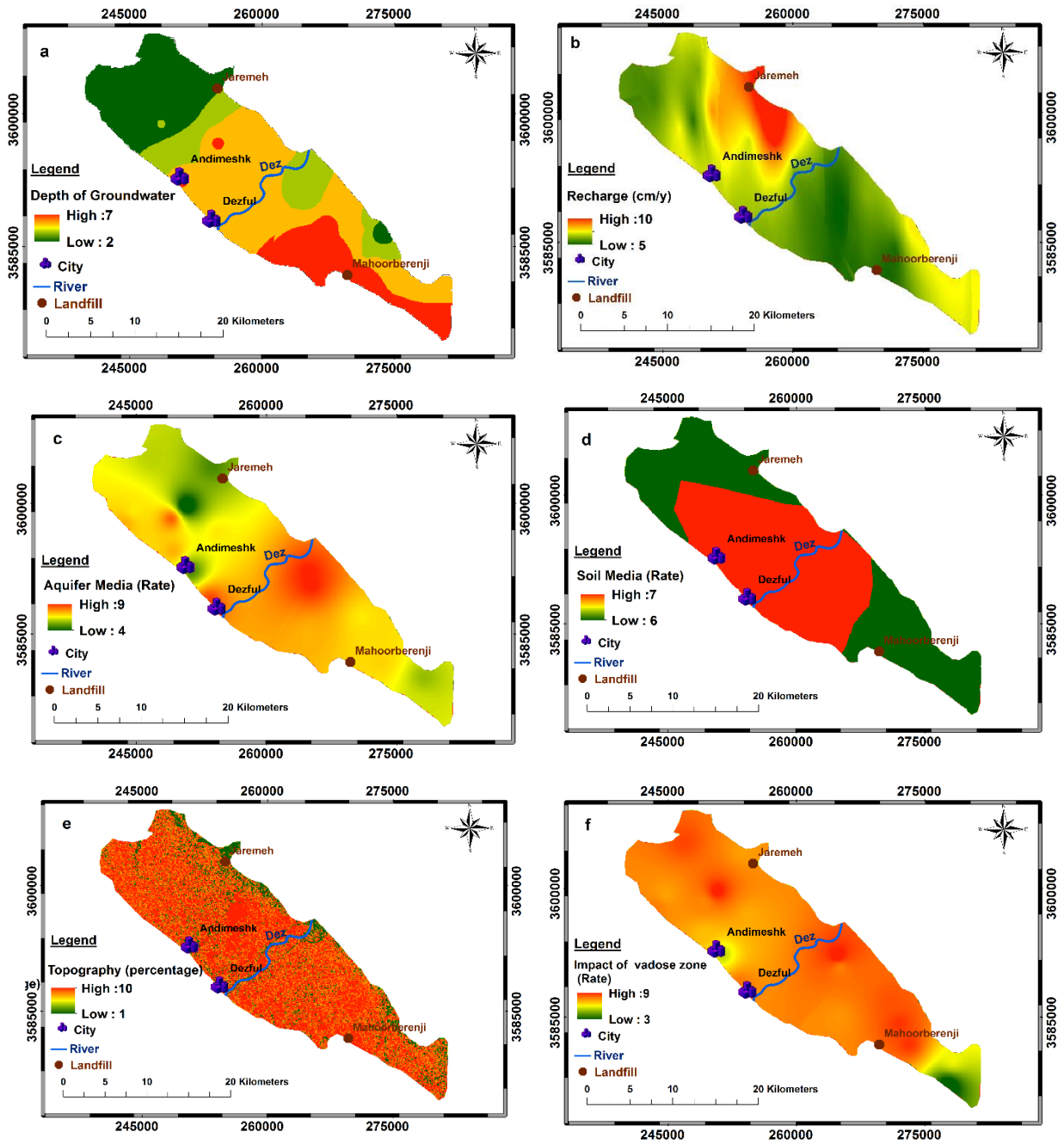
برای ارزیابی پتانسیل آلودگی منطقه می‌توان آسیب‌پذیری ذاتی و آسیب‌پذیری ویژه را با هم تلفیق کرد، چرا که آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان وابسته به ویژگی‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی منطقه است و با گذشت زمان کم و بیش پایدار است ولی آسیب‌پذیری ویژه بر پایه فعالیت‌های بشری

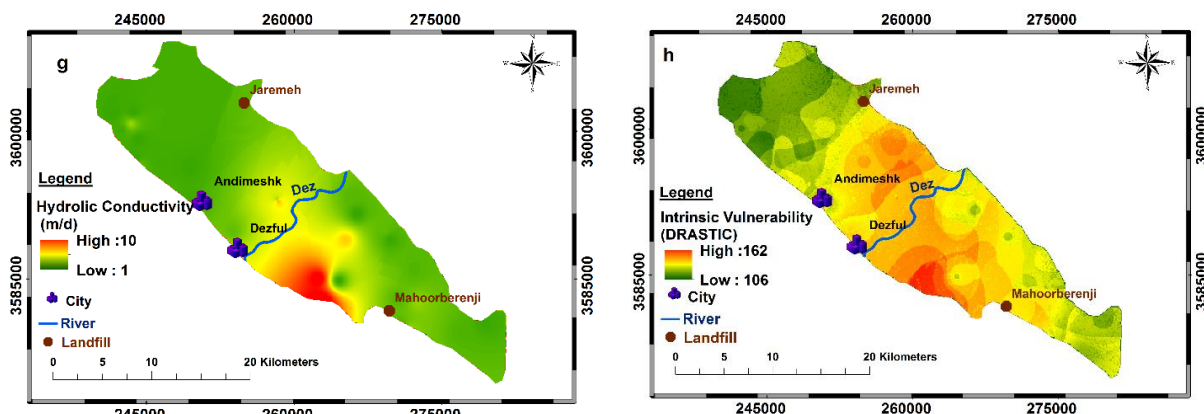
باعث می‌شود آلاینده‌ها سریع‌تر به سیستم آب‌زیرزمینی راه یابند. لذا در فرایند رتبه‌دهی، بیش‌ترین رتبه، به کم‌ترین عمق تعلق می‌گیرد. در دشت دزفول اندیشک شمالی عمق سطح آب‌های زیرزمینی، نسبتاً زیاد است، این عمق، در شمال منطقه به حدود ۹۰ متر می‌رسد و در پایین دست رودخانه دز و حاشیه غربی دشت به حدود ۲۰ متر می‌رسد، بنابراین، کمترین رتبه (رتبه ۲) به شمال منطقه و بیشترین رتبه (رتبه ۷) به حاشیه غربی رودخانه تعلق می‌گیرد. نقشه‌ی عمق سطح آب زیرزمینی در شکل ۲، قسمت a آمده است. یکی از عوامل اصلی انتقال مواد آلاینده به آبخوان، تغذیه یا حرکت عمودی آب بوده که با خود مواد آلاینده را شسته و به درون زمین حمل می‌کند. در مناطق شهری با توجه به گسترش سطوح نفوذناپذیر، نفوذ مستقیم از بارندگی کاهش می‌یابد، ولی نفوذ غیرمستقیم از قبیل تغذیه ناشی از هدر رفت آب در شبکه آب شهری و تغذیه ناشی از فاضلاب، باعث تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شود. برای تهیه لایه تغذیه آبخوان، از هیدروگراف واحد (معرف) دشت برای مشخص کردن فصل‌تر (بیشینه تراز سطح آب‌زیرزمینی) و فصل خشک (کمینه تراز سطح آب‌زیرزمینی) استفاده شد و سپس میزان تغذیه با استفاده از رابطه‌ی ارائه شده توسط ندیری و همکاران (Nadiri et al., 2017) محاسبه شد. مقدار تغذیه در این دشت، از ۱ تا ۷۷ اینچ متغیر است و رتبه‌ی ۵ تا ۱۰ به آن تعلق گرفته که نقشه‌ی آن در شکل ۲، قسمت b آورده شده است. براساس این نقشه، بیش‌ترین تغذیه در نقاط ورودی دشت، در پایین دست لندفیل جارمه و از طریق محدوده پخش سیلابی، که در آنجا واقع شده است، صورت می‌گیرد و رتبه‌ی ۱۰ را به خود اختصاص می‌دهد. از این‌رو این منطقه به دلیل واقع شدن در پایین دست لندفیل باید بسیار مورد مراقبت قرار گیرد، تا آلودگی احتمالی ناشی از لندفیل جارمه وارد آبخوان نشود. لایه محیط آبخوان تهیه شده از لاگ پیژومترها، چاه‌های اکتشافی نشان می‌دهد که

جنس رسوبات آبخوان عمدتاً ماسه، شن تا گراول است. براساس جنس لایه‌ی منطقه اشباع و جدول ۱ به بخش‌های مختلف دشت، رتبه‌ای از ۱ تا ۱۰ تعلق گرفت و در محیط Arc Map بر روی آن‌ها درون‌یابی انجام شد، سپس رستر شدند و در نهایت نقشه‌ی محیط آبخوان منطقه ترسیم شد که در شکل ۲، قسمت c آمده است. از آنجایی که جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان عمدتاً متوسط تا درشت دانه هستند رتبه‌ی ۴ تا ۱۰ را به خود اختصاص داده‌اند و توانایی نسبتاً زیادی در انتقال آلودگی‌های احتمالی همراه آب، مخصوصاً در حاشیه میانی و پایین دست رودخانه دز را دارند. به بالاترین بخش منطقه غیراشباع که با فعالیت بیولوژیکی عمده مشخص می‌گردد، محیط خاک گفته می‌شود. این محیط میزان آب نفوذی را که به سطح آب‌زیرزمینی می‌رسد، تعیین می‌کند و در نتیجه تأثیر به‌سزایی بر چگونگی حرکت آلاینده‌ها دارد. بافت محیط خاک بر میزان تغذیه و توانایی آلاینده‌ها برای نفوذ به محیط وادوز تأثیر می‌گذارد. برای تهیه لایه محیط خاک از نقشه خاک منطقه استفاده گردید. این نقشه پس از رقوم‌سازی در GIS به حالت رستری تبدیل شد و براساس جدول ۱ به لایه‌ها رتبه داده شد و در نهایت نقشه خاک منطقه تهیه شد، که در شکل ۲، قسمت d آمده است. در این نقشه جنس خاک غالباً ماسه و گراول است و رتبه‌ی ۶ و ۷ به آن تعلق گرفته است در این نقشه بیش‌ترین رتبه متعلق به میانه دشت است و می‌تواند اثرگذاری بیش‌تری را بر آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان داشته باشد. توپوگرافی برحسب شیب و تغییرات آن عامل کنترل‌کننده‌ای در نفوذ آلاینده‌ها و تشکیل رواناب به شمار می‌رود. در شیب کم، فرصت نفوذ آب و پتانسیل آلودگی بیش‌تری برای نفوذ آلاینده‌ها وجود دارد، درحالی‌که در شیب بیش‌تر از ۱۳ درجه، تشکیل رواناب بیش‌تر و نفوذ کم‌تر می‌شود. بنابراین آلاینده‌ها کم‌تر به سیستم آب‌زیرزمینی راه می‌یابند. مقادیر تعیین شده برای مقادیر مختلف شیب در جدول ۱

ی DRASTIC، هدایت هیدرولیکی که توسط حفره‌ها، شکستگی‌ها و سطوح لایه‌بندی تعیین می‌شود و میزان آب نفوذ یافته به سیستم از طریق محیط آبخوان را مشخص می‌سازد. به‌علت رابطه مستقیم بین IVI و C، بیش‌ترین نرخ به مناطقی با بیش‌ترین هدایت هیدرولیکی اختصاص داده‌می‌شود. برای تعیین مقادیر هدایت هیدرولیکی در نقاط مختلف دشت، مقادیر قابلیت انتقال بر ضخامت بخش اشباع آبخوان تقسیم‌گردید و داده‌های خام مورد نیاز برای تهیه لایه هدایت هیدرولیکی فراهم گردید، سپس بر روی آن عملیات، درون‌یابی (Interpolation)، تبدیل به رستر (Raster) و ریکلاسیفای (Reclassify) بر روی آن‌ها انجام شد و در نهایت نقشه‌ی هدایت هیدرولیکی منطقه (C) ترسیم شد که در شکل ۲، قسمت g آمده است. براساس این نقشه بیش‌ترین هدایت هیدرولیکی از سمت حاشیه شرقی دشت به سمت حاشیه غربی روندی افزایشی دارد، بطوری‌که رتبه ۷ تا ۱۰ به آن تعلق گرفته است ولی در دوطرف دشت مقدار آن کم‌تر است تا در حواشی جنوبی و شمالی دشت به حداقل خود می‌رسد. پس از تهیه نقشه‌های ۷ لایه معیار، نقشه آسیب‌پذیری ذاتی حاصل شد که در شکل ۲، قسمت h براساس این شکل، مقدار شاخص آسیب‌پذیری ذاتی (IVI) از ۱۰۶ تا ۱۶۲ متغیر است، لذا براساس استاندارد آلر این منطقه دارای دو رده از آسیب‌پذیری متوسط و زیاد است به طوری‌که آسیب‌پذیری زیاد مربوط به حاشیه غربی دشت و نزدیک به خروجی دشت و همچنین در میانه دشت با روند شمال شرقی - جنوب غربی است و آسیب‌پذیری کم مربوط به شمال و جنوب منطقه است. براساس مقایسه نقشه‌ی نهایی آسیب‌پذیری ذاتی در شکل ۲، قسمت h و نقشه‌ی لایه‌های دراستیک، ارتباط معنا داری بین مقدار آسیب‌پذیری ذاتی و هدایت هیدرولیکی، جنس خاک و تا حدودی عمق کم‌آب‌های زیرزمینی در برخی از نقاط برقرار است و نشان می‌دهد، مقدار IVI بیشتر متاثر از این لایه‌ها است.

داده شده‌است. در این منطقه شیب بسیار کم است و تنها در حاشیه شرقی و شمالی دشت، شیب متوسط برقرار است. برای تهیه لایه توپوگرافی (T) از مدل رقومی ارتفاعی (Dem) منطقه برای تهیه نقشه‌ی شیب منطقه استفاده شد. براساس درجه شیب منطقه و جدول ۱ رتبه‌های ۱ تا ۱۰ به آن داده شد و در نهایت نقشه‌ی پهنه بندی T در شکل ۲، قسمت e، ترسیم شد. در این نقشه، شیب کلی دشت خیلی کم است و تنها در حواشی شمال و غرب به نقاط با شیب بیش‌تر برخورد می‌کند؛ بنابراین رتبه ۹ تا ۱۰ به بخش اعظم منطقه (به‌علت شیب کم) و رتبه ۱ تا ۲ به حاشیه شرقی (به‌علت شیب بیش‌تر در این نواحی)، تعلق می‌گیرد، بنابراین توپوگرافی کلی منطقه ممکن است باعث افزایش IVI، شود. محیط وادوز به صورت زون بالای سطح ایستابی که غیراشباع است، تعریف می‌گردد. این زون بین افق خاک و سطح ایستابی قرار گرفته است. کاهش فعالیت‌های زیستی، خنثی‌سازی، پالایش مکانیکی، واکنش شیمیایی، تبخیر و پراکندگی فرآیندهایی هستند که در این محیط صورت می‌پذیرند. بافت این زون، زمان انتقال آلاینده‌ها از طریق این محیط را تعیین می‌کند. برای تهیه لایه وادوز مانند لایه محیط آبخوان از لاگ‌های حفاری منطقه استفاده شد، بدین صورت که با توجه به جنس رسوبات در بخش غیراشباع لاگ‌ها و استاندارد آلر در جدول ۱ برای انواع رسوبات منطقه‌ی وادوز، میانگین‌گیری شد و به آن‌ها رتبه‌ای از عدد ۱ تا ۱۰ داده شد و نهایتاً فایل اکسل Vadose Zone Media تهیه شد. سپس بر روی آن عملیات، درون‌یابی (Interpolation)، رسترسازی (Raster) و طبقه‌بندی مجدد (Reclassify) بر روی آن‌ها انجام شد و در نهایت نقشه‌ی تأثیر زون وادوز منطقه (I) ترسیم شد که در شکل ۲، قسمت f، آمده است. براساس این نقشه به‌علت دانه بندی مناسب در منطقه تهویه، کل دشت دارای رتبه بالایی است و قابلیت افزایش IVI، مخصوصاً در میانه دشت به سمت شرق را دارد. آخرین مؤلفه





شکل ۲. (a) طبقه بندی عمق سطح آب، (b) طبقه بندی تغذیه خالص، (c) طبقه بندی محیط‌های آبخوان، (d) طبقه بندی محیط‌های خاک، (e) طبقه بندی توپوگرافی، (f) طبقه بندی محیط وادوز، (g) طبقه بندی هدایت هیدرولیکی و (h) نقشه آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دزفول اندیمشک شمالی.

Fig. 2. (a) Classification of depth to water. (b) Classification of the net recharge, (c) Classification of aquifer media, (d) Classification of soil media, (e) Classification of topography, (f) Classification of the vadose zone, (g) Classification of hydraulic and (h) is intrinsic vulnerable zones of the Northern Dezful Andimeshk aquifer

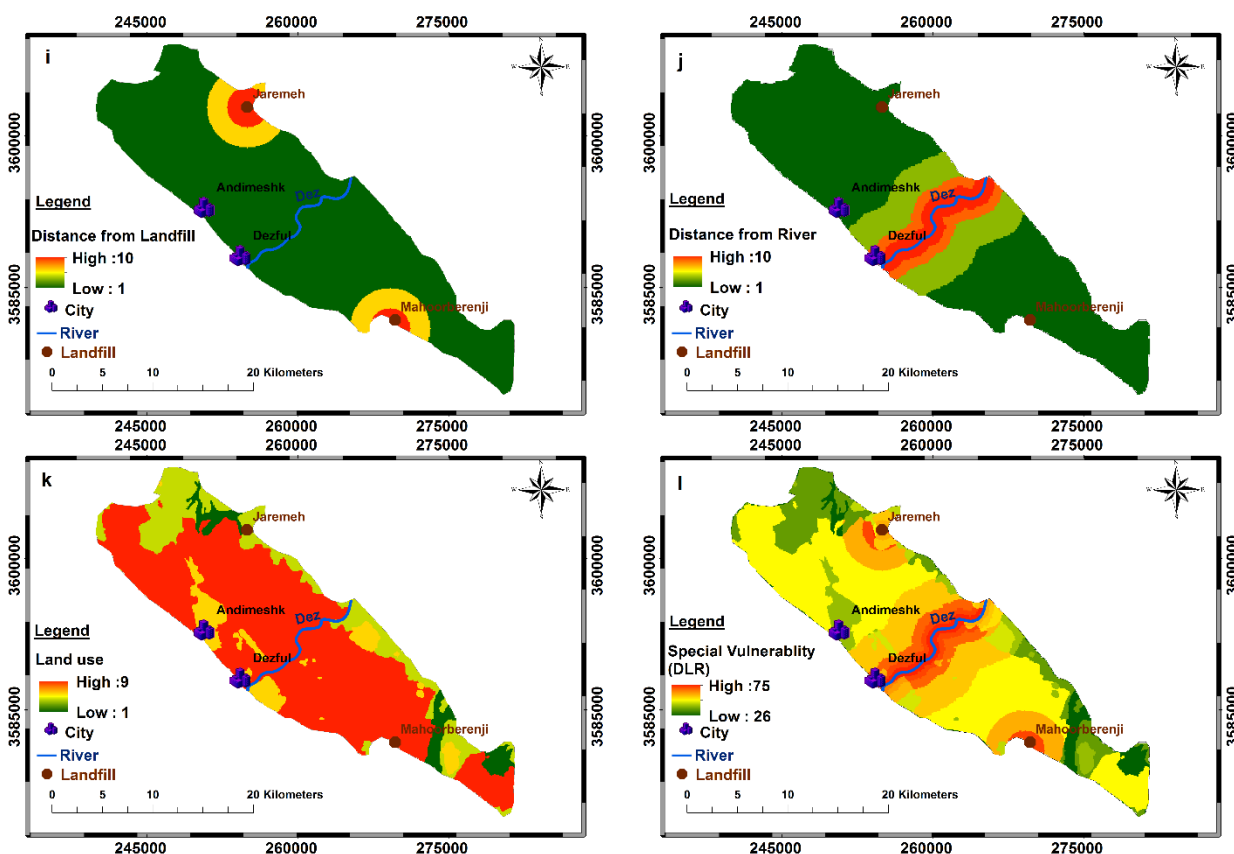
لایه کاربری اراضی (L) نیز به هر نوع از اراضی، رتبه‌ای از ۱ تا ۱۰ تعلق گرفت. به طوری که به زمین‌های: کشاورزی، شهری، بایر، کشت دیم، به ترتیب رتبه‌های ۱۰، ۷، ۴، ۳ تعلق گرفت، سپس عملیات رسترسازی و طبقه‌بندی مجدد، بر روی آن‌ها انجام شد و در نهایت نقشه‌ی کاربری اراضی تهیه شد که در شکل ۳ قسمت ۳ k نمایش داده شد. مطابق این نقشه، دشت دزفول اندیمشک شمالی غالباً کاربری کشاورزی دارد، که مناطقی مستعد برای نفوذ آلودگی به آبخوان را فراهم کرده است و تنها در حواشی شرقی دشت که زمین‌های کشت دیم و بایر هستند رتبه ۳ تا ۴ و پتانسیل کمی برای ایجاد آلودگی دارند. پس از این مراحل برای تعیین آسیب‌پذیری ویژه مطابق رابطه ۲ و وزن‌های داده شده در جدول ۲، در محیط Arc Map با استفاده از دستور Raster Calculator نقشه‌ی آسیب‌پذیری ویژه ترسیم شد، که در شکل ۳، قسمت ۱ نشان داده شده است. براساس این نقشه مقدار DLR از ۲۵ تا ۷۵ متغیر است که براساس نظر کارشناسی در دو رده‌ی آسیب‌پذیری کم و متوسط قرار می‌گیرد. بیش‌ترین آسیب‌پذیری ذاتی در میانه دشت و در اطراف رودخانه دز است و سپس در اطراف لندفیل‌ها قرار

ارزیابی آسیب‌پذیری ویژه به روش DLR

براساس لایه‌های معیار در نظر گرفته شده در DLR، بین فاصله لندفیل و رودخانه و میزان آسیب‌پذیری رابطه معکوس برقرار است، به طوری که در پارامتر R، برای فواصل کم‌تر از ۵۰۰ متر، مطابق جدول ۲ رتبه‌ی ۱۰ تعلق گرفته است و برای فواصل ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر رتبه‌ی ۸، برای فواصل ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر رتبه ۴، و بیش از ۴۰۰۰ متر رتبه ۱ تعلق گرفته است. یه عبارتی براساس نظر کارشناسی، استاندارد مشابه با استاندارد آلر برای لایه‌های معیار شاخص آسیب‌پذیری ویژه در نظر گرفته شده است که در جدول ۲ آمده است. سپس برای تهیه پارامتر R و D از دستور Euclidean Distance در محیط Arc Map استفاده شد و بر حسب استاندارد تعریف شده عملیات رتبه‌دهی و طبقه‌بندی مجدد انجام شد و در نهایت نقشه‌های R و D ترسیم شدند که در شکل ۳ قسمت ۱ و ۲ نمایش داده شدند. براساس نقشه‌های لایه R و D هر چه فاصله از رودخانه و لندفیل بیش‌تر می‌شود، اثرگذاری این دو مولفه در شاخص DLR کم‌تر می‌شود و رتبه‌های کم‌تری به آن‌ها تعلق می‌گیرد. برای تهیه

قرار گیرد و با مدیریت صحیح از ورود پساب آلوده به رودخانه ی دز جلوگیری به عمل آید.

دارد، ولی در حواشی شرق و شمال شرقی دشت، آسیب پذیری ویژه ناچیز است. بنابراین مناطق میانی دشت و اطراف رودخانه باید از لحاظ فعالیت های انسانی مورد مراقبت



شکل ۳. (i) طبقه بندی فاصله از لندفیل، (j) طبقه بندی فاصله از رودخانه، (k) طبقه بندی کاربری اراضی، (l) نقشه آسیب پذیری ویژه آبخوان دزفول اندیمشک شمالی

Fig. 3. (a) Classification distance from landfill. (b) Classification distance from the river, (c) Classification of land use, (d) is special vulnerable zones of the Northern Dezful Andimeshk aquifer

آسیب پذیری متوسط، زیاد و خیلی زیاد است قرار می گیرد. بیشترین پتانسیل آلودگی مربوط به اطراف رودخانه دز است که می تواند متأثر از آسیب پذیری ویژه (لایه ی R) و همچنین در حاشیه غربی دشت است که احتمالاً ناشی از آسیب پذیری ذاتی (مولفه ی D) در این ناحیه ایجاد شده است. براساس نقشه ریسک منطقه، حاشیه غربی دشت دارای آسیب پذیری خیلی زیاد است. میانه دشت نیز دارای آسیب پذیری زیاد با روند شمال شرقی- جنوب غربی است، مخصوصاً که در

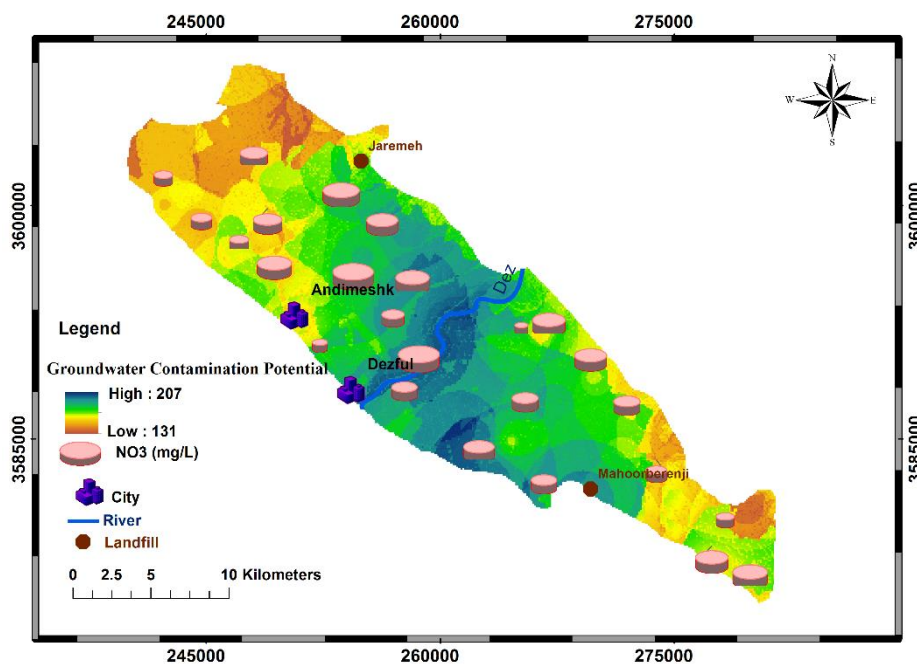
ارزیابی پتانسیل آلودگی منطقه مورد مطالعه

جهت ارزیابی ریسک کلی منطقه نقشه های رستر شده حاصل از آسیب پذیری ذاتی و ویژه آبخوان را با استفاده از رابطه ی ۳ و ابزار Raster Calculator در محیط Arc GIS تلفیق کرده که حاصل آن تحت عنوان نقشه پتانسیل آلودگی منطقه در شکل ۴ آمده است. براساس این نقشه، مقدار ریسک کلی منطقه بین ۱۳۰ تا ۲۰۷ متغیر است که براساس استاندارد آلر (Aller, 1987) این شاخص در سه رده ی:

خاک (S) است که از مولفه‌های آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان هستند.

به‌منظور صحت‌سنجی نتایج مدل‌های اجرا شده و نقشه ریسک حاصل‌شده، از داده‌های نیترات نمونه‌های برداشت شده از منطقه در سال ۱۳۹۹ استفاده شده‌است. براساس مقایسه‌ی توزیع غلظت نیترات و نقشه ریسک کلی در منطقه، مطابقت بالایی استنباط می‌شود، به‌طوری‌که در نقاطی که ریسک کلی منطقه بالا است، غلظت نیترات نیز مخصوصاً در میانه دشت بالا است، و در دماغه جنوبی و شمال غربی دشت که آسیب‌پذیری کم‌تر است، غلظت نیترات نیز کم‌تر است. شکل ۴ این موضوع بر صحت مدل اجرا شده و دقت نقشه‌ی ریسک منطقه، دلالت دارد و توجه و مراقبت بیش‌تر از مناطق با ریسک بالا را طلب می‌کند.

طرفین رودخانه دز به حداکثر خود می‌رسد، هم‌چنین شمال منطقه دارای آسیب‌پذیری متوسط است. براساس مقایسه نقشه‌های آسیب‌پذیری ذاتی و ویژه با نقشه‌ی ریسک کلی منطقه، آسیب‌پذیری خیلی زیاد در حاشیه غربی احتمالاً ناشی از هدایت هیدرولیکی بالا (C)، محیط آبخوان (A) و جنس خاک (S) است که همگی از مولفه‌های آسیب‌پذیری ذاتی هستند و آسیب‌پذیری خیلی زیاد در طرفین رودخانه دز ناشی از تأثیر رودخانه (R) است که از مولفه‌های آسیب‌پذیری ویژه است. آسیب‌پذیری زیاد واقع شده در میانه‌ی دشت، ناشی از هر دو نوع آسیب‌پذیری ویژه و ذاتی است، به‌طوری‌که هم متأثر از فاصله از لندفیل‌ها (D) و کشاورزی گسترده در منطقه (L) است که هر دو مولفه‌های آسیب‌پذیری ویژه هستند و هم متأثر از دانه‌بندی مناسب در محیط تهویه (I) و محیط آبخوان (A) و تا حدودی جنس



شکل ۴. نقشه پتانسیل آلودگی کل آبخوان دشت دزفول- اندیمشک شمالی

Fig. 4. Map of the overall groundwater potential contamination of the Northern Dezful- Andimeshk plain

نتیجه گیری

آسیب پذیری ذاتی در میانه دشت و در اطراف رودخانه دز است و سپس در اطراف لندفیلها قرار دارد، ولی در حواشی شرق و شمال شرقی دشت، آسیب پذیری ویژه ناچیز است. بنابراین مناطق میانی دشت و اطراف رودخانه باید از لحاظ فعالیت های انسانی مورد مراقبت قرار گیرد و با مدیریت صحیح از ورود پساب آلوده به رودخانهی دز جلوگیری به عمل آید.

براساس نتایج پتانسیل آلودگی (PC) منطقه، بین ۱۳۰ تا ۲۰۷ متغیر است که ناشی از هر دو نوع آسیب پذیری ویژه و ذاتی است و در ۳ رده ی متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار می گیرد. پتانسیل آلودگی در اطراف رودخانه دز خیلی زیاد است و احتمالاً ناشی از آسیب پذیری ویژه و رودخانه دز است. هم چنین لایه های کاربری اراضی و خاک و هدایت هیدرولیکی و محیط آبخوان بر روی پتانسیل بالای آلودگی در مرکز دشت بیشترین تأثیر را داشته اند.

مقایسه توزیع نیترات در دشت با نقشه ریسک، حاکی از صحت و دقت مدل های اجرا شده است، بطوری که در مناطق با ریسک بالا مقدار نیترات بیشتری به زیرزمین نفوذ کرده است و آبخوان را دچار آلودگی نیترات کرده است. لذا پیشنهاد می شود نهادهای ذیربط مخصوصاً در حوزه آب و محیط زیست، در این مورد چاره اندیشی کنند و با مدیریت مناسب و کنترل فاضلاب های آلوده به رودخانهی دز و هم چنین استانداردهای لندفیلها و روش های دفع زباله در آن ها، اثرات منفی آسیب پذیری ویژه را تقلیل دهند و هم چنین با جلوگیری مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی، جلوگیری از آلوده شدن خاک و هم چنین اجرای تغذیه مصنوعی آب سالم به آبخوان، اثرات منفی ایجاد شده ی ناشی از آسیب پذیری ذاتی و ویژه آبخوان را تقلیل دهند.

قدردانی

نویسندگان از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) به خاطر حمایت آنها قدردانی می کنند.

دزفول اندیمشک شمالی یکی از دشتهای واقع در شمال خوزستان است که بخش اعظم آب مصرفی آن، از آب های زیرزمینی تأمین می شود. در این منطقه دو لندفیل با عدم رعایت همه ی استانداردهای کافی، به نام های جارمه و ماهور برنجی و یک رودخانه تغذیه کننده ی آبخوان (دز) وجود دارد که در برخی نقاط دفع پساب و زباله به آن انجام می گیرد. علاوه بر آن، منطقه دزفول اندیمشک شمالی با رشد روز افزون جمعیت و کشاورزی روبه رو است. از طرفی بخش اصلی آب شرب و آب کشاورزی و صنعتی منطقه به وسیله آب های زیرزمینی تأمین می شود، لذا شناسایی نقاط آسیب پذیر منطقه، در جهت کنترل آلودگی احتمالی در آینده امری ضروری است. بر خلاف تحقیقات گذشته در منطقه که تنها معطوف به آسیب پذیری ذاتی بوده است در این پژوهش علاوه بر ارزیابی آسیب پذیری ذاتی آبخوان، به منظور تعیین تأثیر لندفیلها، رودخانه، کاربری اراضی و نقش آنها در پتانسیل آلودگی آبخوان از آسیب پذیری ویژه استفاده شد. پس از آن برای تعیین ریسک کلی منطقه، آسیب پذیری ذاتی و ویژه با هم تلفیق شده و نقشه ریسک کلی منطقه ترسیم شد.

بر اساس نتایج ارزیابی به روش DRASTIC مقدار IVI از ۱۰۶ تا ۱۶۲ متغیر است، لذا براساس استاندارد آلر این منطقه دارای دو رده از آسیب پذیری متوسط و زیاد است به طوری که آسیب پذیری زیاد مربوط به حاشیه غربی دشت و نزدیک به خروجی دشت و همچنین در میانه دشت با روند شمال شرقی - جنوب غربی است. هم چنین ارتباط معناداری بین مقدار آسیب پذیری ذاتی و هدایت هیدرولیکی، جنس خاک در برخی از نقاط برقرار است.

براساس نتایج ارزیابی به روش DLR، مقدار SVI از ۲۵ تا ۷۵ متغیر است که براساس نظر کارشناسی در دو رده ی آسیب پذیری کم و متوسط قرار می گیرد. بیشترین

References

- Aghazadeh, N., Chitsazan, M., Mirzaei, Y., Ebrahimi, H., (2022). Development of modified DRAST-VUL model to determine aquifer vulnerability in urban areas. *Watershed Engineering and Management*, 13(4), 690-703. <http://doi:10.22092/ijwmse.2021.125064.1596>
- Aller L, Bennet T, Leher JH, Petty RJ, Hackett G (1987) DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological settings. Robert S Kerr Environmental
- Al-Adamat, R. A., Foster, I. D., and Baban, S. M. (2003). Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, remote sensing and DRASTIC. *Applied Geography*, 23(4), 303-324.
- Babiker, I. S., Mohamed, M. A., Hiyama, T., and Kato, K. (2005). A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. *Science of the Total Environment*, 345(1-3), 127-140. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.11.005>
- Casadiegos-Agudelo, L., Cetina-Tarazona, M. A., Dominguez-Rivera, I. C., and Gomez-Isidro, S. (2024). Validation of the intrinsic vulnerability to pollution of fractured siliciclastic aquifers using natural background levels. *Groundwater for Sustainable Development*, 101143. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101143>
- Faryabi, M., Chitsazan, M., and Zarasvaandei, A. (2020). Use of a mathematical modeling approach to investigate interaction between groundwater and river: A case study on the north of the Dezful-Andimeshk plain, southwest of Iran. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 7(1), 14-22.
- Fijani, E., Nadiri, A. A., Moghaddam, A. A., Tsai, F. T. C., and Dixon, B. (2013). Optimization of DRASTIC method by supervised committee machine artificial intelligence to assess groundwater vulnerability for Maragheh-Bonab plain aquifer, Iran. *Journal of hydrology*, 503, 89-100.
- Jia, Z., Bian, J., Wang, Y., Wan, H., Sun, X., and Li, Q. (2019). Assessment and validation of groundwater vulnerability to nitrate in porous aquifers based on a DRASTIC method modified by projection pursuit dynamic clustering model. *Journal of contaminant hydrology*, 226, 103522. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2019.103522>
- Kardan Moghaddam, H., Javadi, S., and Rahimzadeh, Z. (2020). Evaluation of Aquifer Vulnerability Assessment Methods for Alluvial and Coastal Aquifers, Case Study in Astaneh-Koochesfahan Aquifer, Guilan, Iran. *Journal of water and irrigation management*, 10(2), 203-220 [In Persian].
- Ozegin, K. O., Ilugbo, S. O., and Adebo, B. (2024). Spatial evaluation of groundwater vulnerability using the DRASTIC-L model with the analytic hierarchy process (AHP) and GIS approaches in Edo State, Nigeria. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 134, 103562.
- Nadiri, A. A., M. Gharekhani, R. Khatibi, S. Sadeghfam and A. Asghari Moghaddam.)2017(. Groundwater vulnerability indices conditioned by Supervised Intelligence Committee Machine (SICM). *Science of the Total Environment*, 574: 691-706.
- Riahi, W. F., Danesh Kar Arasteh, P., and Kardan Moghadam, H. (2022). Using two approaches of intrinsic and special vulnerability to identify potentials for the development of exploitation of underground water resources. *Water and Irrigation Management*, 11(4), 739-751.
- Shirazi, S. M., Imran, H. M., and Akib, S. (2012). GIS-based DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment: a review. *Journal of Risk Research*, 1-16.
- Taghavi, N., Niven, R. K., Kramer, M., and Paull, D. J. (2023). Comparison of DRASTIC and DRASTICL groundwater vulnerability assessments of the Burdekin Basin, Queensland, Australia. *Science of the Total Environment*, 858, 159945.
- Vaezihir, A., and Tabarmayeh, M. (2015). Total vulnerability estimation for the Tabriz aquifer (Iran) by combining a new model with DRASTIC. *Environmental Earth Sciences*, 74, 2949-2965.
- Vrba, J., and Zaporozec, A. (1994). *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. International Contributions to Hydrogeology. Verlag Heinz Heise.