



Determining The Vulnerability of The Khezri Aquifer Using DRASTIC and GODS Methods

Amir Boskabadi¹ | Seyyed Nasser Bashi-Azghadi² Farhad Khamchin-Moghaddam³

1. PhD Student, Department of Water Engineering and Hydraulic Structure, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering and Environment, Khavaran Institute of Higher Education, Mashhad, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran.

✉ Corresponding Author: Bashinasser64@gmail.com

Received:
02 December 2023

Accepted:
13 January 2024

Published:
20 January 2024

Keywords:

*Khezri aquifer,
Khezri plain,
Vulnerability,
sensitivity analysis,*

Extended abstract

Introduction

Population growth, industrialization process and the limited water resources in semi-arid to arid region have led the necessity of maintaining underground water in terms of quantity and quality. Aquifers, as one of the most vulnerable water resources, are exposed to various contaminants in different forms, are detecting and controlling pollution in these resources is more difficult and costly than surface water. The best way to prevent their contamination is to identify polluting sources and vulnerable areas, prepare vulnerable zoning maps and adopt appropriate management policies.

Material and Method

In this study, the DRASTIC and GODS methods are used to assess the Khezri area. Khezri area is one of the sub-basins of Khaf-Petorgan Playa Iran, based on the political divisions of the country, and located in the southern Khorasan province near Qayen city, between the longitudes of 35 58 to 17 59 east and latitudes 41 33 to 6 34. Khezri plain is one of the most important plains of South Khorasan province. The most important determining factors for controlling groundwater pollution in the DRASTIC method are: groundwater depth, net recharge, aquifer media, soil media, topography, Impact of the vadose zone media and hydraulic conductivity.

Cite this article: Boskabadi, A., Bashi-Azghadi, S. N. & Khamchin-Moghaddam, F. (2023). Determining the vulnerability of the Khezri aquifer using DRASTIC and GODS methods. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 4 (1), 151-168. DOI: <http://doi.org/10.22077/jaaq.2024.6993.1056>



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/>).

GODS method is determined based on three parameters of aquifer type, the layer on the saturated zone of the aquifer and the depth to the groundwater level. Moreover, two types of sensitivity analysis are evaluated in DRASTIC model namely 1) sensitivity analysis of parameter removal, 2) single parameter sensitivity analysis. Sensitivity analysis of parameter removal shows the sensitivity of the vulnerability map to the removal of one or more parameters. Single-parameter sensitivity analysis evaluates the effect of each DRASTIC parameter on the vulnerability index.

Results

In recent years, the increase in water consumption and the lack of surface water in many parts of Iran have caused double pressure on the country's groundwater resources quantity and quality, Therefore, one of the best ways to protect underground water is to prevent it from being polluted. One of the appropriate ways to prevent pollution is to identify vulnerable areas of underground water systems and land use management; Therefore, the importance of preparing a vulnerability zoning map is necessary to prevent contamination of the aquifer. The results of the DRASTIC for the study area showed that a small part of the area has very low vulnerability, a very wide area of the plain has low vulnerability (69.68%), and the northwest and west of this plain have medium, high and very high vulnerability. Sensitivity analysis is also done in this area with two methods of eliminating the parameter and a single parameter. In the single parameter sensitivity analysis, the aquifer environment parameter has the most effective weight and the parameter of the topographic slope percentage has the least effective weight in calculating the vulnerability index.

The GODS method divided the plain into three areas where the vulnerability potential of low 42%, medium 37% and high 21% of the area was obtained.

Conclusion

In the map zoned by both methods, the points with high vulnerability are in the area of Khezri city and the steel factory. Based on the obtained results for both methods, the area with high vulnerability are determined. The drinking water supply of the villages, surrounding cities (Khezri-Dasht Bayad-Dahshak), agricultural lands and industrial town is provided from this area. Therefore, for future projects in this area should be carried out with high precision and the release of urban sewage in the plain or the digging of absorption wells should be avoided. In future studies, it is suggested to verify the accuracy of the models using the concentration of water quality parameters such as nitrate.



سنجش آسیب پذیری آبخوان دشت خضری با استفاده از روش‌های GODS و DRASTIC

امیر بسکابادی^۱ | سید ناصر باشی ازغدی^۲ | فرهاد خام چین مقدم^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
۲. استادیار گروه مهندسی عمران و محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران.
۳. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران.

✉ نویسنده مسئول: Bashinasser64@gmail.com

چکیده

سفره‌های آب زیرزمینی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آبی آسیب‌پذیر، به شکل‌های مختلف در معرض آلودگی قرار دارند که تشخیص و کنترل آلودگی در آن‌ها نسبت به آب‌های سطحی مشکل‌تر و پرهزینه‌تر است. بهترین روش جلوگیری از آلودگی آن‌ها، شناسایی منابع آلوده‌کننده و مناطق آسیب‌پذیر، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیر و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب است. برای ارزیابی دشت خضری در این تحقیق از دو روش دراستیک و گادز استفاده شده است. این دشت که جزو زیر حوضه‌های نمکزار خواف- دق پترگان ایران می‌باشد از جنبه تقسیمات سیاسی کشور جزو استان خراسان جنوبی و در محدوده شهرستان قاینات مابین طول‌های ۳۵° ۵۸ تا ۱۷° ۵۹ شرقی و عرض‌های ۴۱° ۳۳ تا ۶° ۳۴ واقع گردیده است. نتایج حاصل از دراستیک برای این دشت نشان می‌دهد که بخش کوچکی از منطقه دارای آسیب‌پذیری بسیار کم (۶/۶۰ درصد) و ناحیه بسیار وسیعی از دشت دارای آسیب‌پذیری کم (۶۹/۶۸ درصد) و شمال غربی و غرب این دشت دارای آسیب‌پذیری متوسط (۱۲/۹۳ درصد)، زیاد (۷/۵۲ درصد) و خیلی زیاد (۳/۲۷ درصد) می‌باشد؛ ولی در روش گادز نتایج آسیب‌پذیری دشت در سه محدوده کم (۴۲/۴۱ درصد)، متوسط (۳۶/۸۸ درصد) و زیاد (۲۰/۷۱ درصد) قرار گرفته است. تحلیل حساسیت به دو روش حذف پارامتر و تک پارامتر انجام‌گرفته است. در تحلیل حساسیت تک پارامتر، پارامتر محیط آبخوان بیشترین وزن مؤثر و پارامتر درصد شیب توپوگرافی کمترین وزن مؤثر را در محاسبه شاخص آسیب‌پذیری دارند. در نقشه پهنه‌بندی شده توسط هر دو روش نقاط با آسیب‌پذیری زیاد در محدوده شهر خضری است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

کلیدواژه‌ها:

آبخوان خضری

دشت خضری،

آسیب‌پذیری،

تحلیل حساسیت

مقدمه

افزایش جمعیت و روند صنعتی شدن کشور و محدود بودن ذخایر آب‌های سطحی و قرار گرفتن محدوده طرح در منطقه نیمه‌خشک تا خشک ضرورت حفظ آب‌های زیرزمینی از جنبه کمیت و کیفیت را صدچندان نموده است. تأثیرپذیری آبخوان‌ها در مقابل آلودگی سریع و قابل تشخیص نبوده و معمولاً بعد از آلوده شدن چاه‌ها شناسایی می‌شوند؛ و رفع آلودگی از آبخوان‌ها بسیار پرهزینه می‌باشد. یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان و مدیریت کاربری اراضی است (Khodayee et al., 2006). روش‌های متعددی برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی ارائه شده است که مهم‌ترین آن‌ها شامل دراستیک، گادز، سینتکس، اپیک، پی. سی. او هستند. تفاوت این روش‌ها با هم با توجه به دسترس بودن اطلاعات از منطقه طرح و برحسب دقت مدل می‌باشد. تحقیقات فراوانی تاکنون در ارتباط با ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی صورت گرفته است که به برخی در ادامه اشاره خواهد شد. نخعی و همکاران ارزیابی پتانسیل آلودگی و آنالیز حساسیت آب زیرزمینی در آبخوان خاتون‌آباد در استان کرمان، با استفاده از مدل DRASTIC مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد ارزیابی قرار گرفت و دقت مدل با یون نترات سنجیده شده و به این نتیجه رسیده که مدل دقیق و صحیح است و قابلیت استفاده دارد. (Nakhaee et al., 2013). موسوی و چیت‌سازان با به‌کارگیری مدل DRASTIC و SINTACS به ارزیابی آبخوان خویش در استان خوزستان پرداختند میزان هم‌بستگی نقشه هم‌نیترات آب زیرزمینی با مدل دراستیک و سینتکس به ترتیب ۴۰ و ۸۴ درصد به دست آمد. با تحلیل حساسیت به دو روش حذف نقشه و تک پارامتری نیز میزان تأثیرگذاری هرکدام از پارامترها در آلوده‌سازی آبخوان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که جنوب شرق منطقه دارای بیشترین خطر آسیب‌پذیری است. (Mosavi et al., 2016).

در تحقیق دیگری، با استفاده از روش DRASTIC به ارزیابی پتانسیل و آنالیز حساسیت آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی استان تهران پرداخته شد (Samadzade & Najafipour, 2018). همچنین روش DRASTIC با استفاده از پلت فرم آرک جی. آی. اس برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در حوضه آپرین ایرلند شمالی مورد ارزیابی قرار گرفت (Yang & Wang, 2010). آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی آبخوان در بخشی از شهر باندآچه اندونزی را مورد بررسی قرار دادند (Machdar et al., 2018). کان و همکاران به ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل DRASTIC مبتنی بر GIS پرداختند؛ نتایج مطالعات نشان داد که ۷۳ درصد منطقه مورد مطالعه (لیبریا) نسبت به آلودگی بسیار حساس است، در حالی که ۱۵ درصد و ۱۱ درصد حساسیت متوسط و ضعیف به آلودگی دارند، اثربخشی مدل DRASTIC در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی تأیید شد و نزدیک به ۶۰٪ از چاه‌ها حاوی غلظت فلوراید بودند که از حد مجاز استاندارد کیفیت آب فراتر می‌باشد (Koon et al., 2023). در تحقیق دیگری از روش‌های مختلف تخمین آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نظیر دراستیک معمولی، اصلاح شده و فازی در دشت قزوین استفاده شد. نتایج نشان داد که آسیب‌پذیری متوسط دشت از ۶۳ درصد در مدل دراستیک معمولی به ۸۷ درصد در دراستیک اصلاحی و ۹۷ درصد در دراستیک فازی تغییر یافته است (Moradinejad et al., 2023). در این پژوهش با به‌کارگیری مدل‌های DRASTIC و GODS به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت خضری در استان خراسان جنوبی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

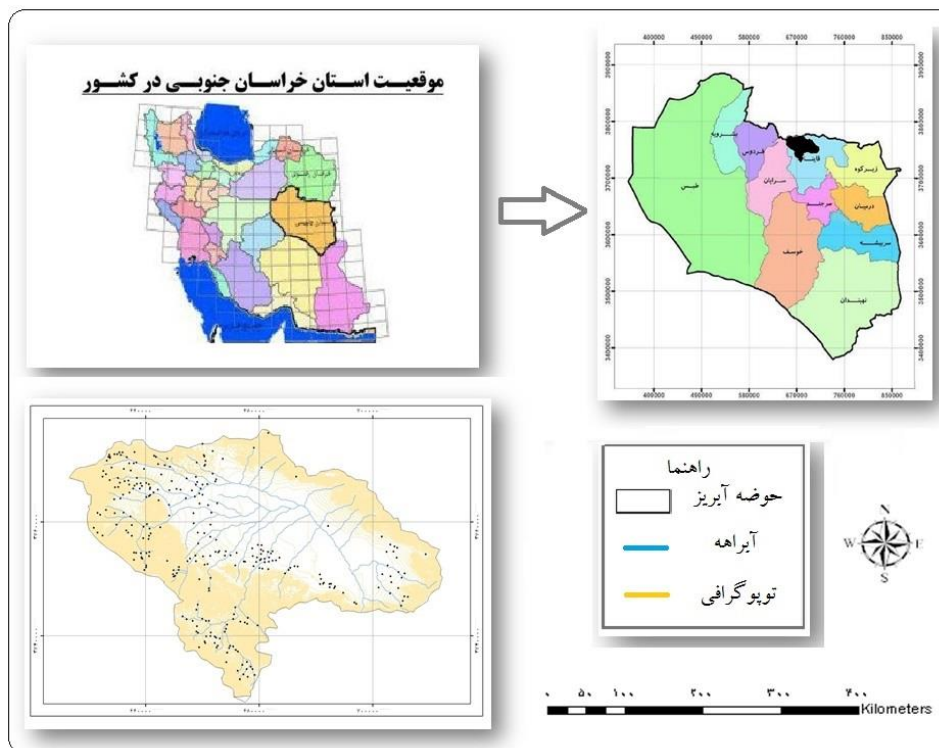
دشت مورد مطالعه خضری جزو زیر حوضه‌های نم‌کنزار خواف - دق پترگان ایران می‌باشد. این دشت از جنبه تقسیمات سیاسی کشور جزو استان خراسان جنوبی و در محدوده شهرستان قاینات مطابق شکل ۱ واقع شده است.

این دشت از شمال و شمال شرق به محدوده گناباد و گیسور، از شرق و جنوب شرق به محدوده اسفدن و قاین و از جنوب شرق و غرب به محدوده چاهک موسویه و سرایان محدود گردیده است. این حوضه

در تحقیق دیگری، با استفاده از روش DRASTIC به ارزیابی پتانسیل و آنالیز حساسیت آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی استان تهران پرداخته شد (Samadzade & Mosavi et al., 2016).

بلندترین نقطه دشت در ارتفاعات شمال غرب ۲۸۶۰ متر و پست‌ترین آن در شرق با بلندی از سطح دریای آزاد بیش از ۱۴۱۸ متر و در بستر کال بزرگ ثبت شده است و متوسط ارتفاع دشت ۱۶۷۶ متر از سطح دریا می‌باشد.

تقریباً مثلثی شکل بوده و دارای طول متوسط ۵۰ کیلومتر و عرض متوسط ۳۰ کیلومتر می‌باشد و مساحت آن بر اساس نقشه رقومی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ برابر ۱۵۸۰/۵۰ کیلومترمربع و محیط آن ۲۳۷/۷ کیلومتر می‌باشد. طول آبراهه اصلی این دشت ۶۳ کیلومتر است.



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز و آبخوان دشت خضری

Fig 1. The Location of the Watershed and Aquifer of the Khezri Plain

مواد و روش‌ها

معرفی مدل DRASTIC

زیرزمینی می‌شود، (۳) آلودگی از طریق آب انجام می‌شود، (۴) منطقه مورد مطالعه در روش دراستیک بایستی بزرگ‌تر از ۴/۵ کیلومترمربع باشد (Aller et al., 1987). مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده برای کنترل آلودگی آب‌های زیرزمینی در این روش عبارتند از: عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، اثر منطقه غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C). مدل دراستیک از سه بخش وزن، بازه و رتبه تشکیل گردیده است؛ بر این اساس، در مدل دراستیک به هر یک از پارامترهای هفت‌گانه با توجه به تأثیر آن در آلودگی وزن نسبی از ۱ تا ۵ داده که به مهم‌ترین آن وزن ۵ و به کم‌اهمیت‌ترین آن عدد ۱ داده می‌شود

مدل دراستیک برای اولین بار در سال ۱۹۸۷ توسط آلر معرفی شد و آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا این روش را در سال ۱۹۹۰ توسعه دادند که به این طریق می‌توان از این مدل به‌عنوان یک سیستم استاندارد شده برای ارزیابی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد. مدل دراستیک در بسیاری از کشورها استفاده می‌شود، زیرا اطلاعات ورودی مورد نیاز برای کاربرد آن به راحتی قابل دسترسی است یا از سازمان‌های مختلف دولتی به راحتی می‌توان آن را دریافت کرد (Boughriba et al., 2010). در مدل دراستیک چهار فرضیه کلی در نظر گرفته می‌شود که عبارتند از: (۱) در سطح زمین آلودگی تولید می‌شود، (۲) آلودگی از طریق شستشو باران و نفوذ وارد آب

(جدول ۱). سپس هر فاکتور دراستیک به محدوده‌های مشخصی تقسیم و در نهایت رتبه‌بندی برای هر فاکتور DRASTIC با توجه به اهمیت نسبی هر محدوده، ارزشی بین ۱ تا ۱۰ نسبت داده می‌شود (Aller et al., 1987).

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

که در این رابطه r رتبه و W وزن مربوط به هر کدام از پارامترهای این مدل می‌باشد. پس از محاسبه شاخص دراستیک نواحی آسیب‌پذیر مشخص می‌شوند. هر چه مقدار این شاخص بزرگ‌تر باشد، خطر ایجاد آلودگی

بیشتر است. همچنین باید توجه داشت که این شاخص فقط یک ارزیابی نسبی را ارائه می‌دهد و قابلیت ارزیابی مطلق را ندارد (جدول ۲).

جدول ۱. محدوده‌ها و رتبه‌بندی‌های روش دراستیک (Aller et al., 1987)

Table 1. Ranges and Ratings of The DRASTIC Method (Aller et al., 1987)

ب: محدوده‌ها و رتبه‌بندی‌های تغذیه خالص B: Ranges and ratings of pure recharge		الف: محدوده‌ها و رتبه‌بندی‌های عمق آب زیرزمینی A: Ranges and ratings of groundwater depth	
رتبه Rate	محدوده (میلی‌متر بر سال) Range (mm / year)	رتبه Rate	محدوده (متر) Range (m)
1	0-50	10	0-1/5
3	50-100	9	1/5-4/5
6	100-180	7	4/5-9
8	180-250	5	9-15
9	> 250	3	15-23
	وزن دهی: 4	2	23-30
		1	> 30
			وزن دهی: 5
د: محدوده‌ها و رتبه‌بندی‌های محیط خاک D: Ranges and ratings of the soil media		ج: محدوده‌ها و رتبه‌بندی‌های محیط آبخوان C: Ranges and ratings of the aquifer media	
رتبه Rate	محدوده Range	رتبه Rate	محدوده Range
10	نازک یا نبود لایه خاک	2	شیل توده‌ای
10	شن	3	آذرین / دگرگونی
9	ماسه	4	آذرین / دگرگونی هوازده
8	کود گیاهی (peat)	5	یخرفت‌ها (رسوبات یخچالی)
7	رس فشرده / یا متراکم	6	ماسه‌سنگ لایه‌لایه، سنگ‌آهک و توالی شیل‌ها
6	لوم ماسه‌ای	6	ماسه‌سنگ توده‌ای
5	لوم	8	سنگ‌آهک توده‌ای
4	لوم سیلتی	8	شن و ماسه
3	لوم رس‌دار	9	بازالت
2	کود (muck)	10	سنگ‌آهک کارستی
1	رس غیر متراکم		وزن دهی: 3
4	لوم سیلتی		
	وزن دهی: 2		

و: محدوده‌ها و رتبه‌بندی‌های اثر منطقه غیراشباع

F: Ranges and ratings of impact of the vadose zone media

رتبه Rate	محدوده Range
1	لایه محبوس‌کننده
3	سیلت / رس
3	شیل
6	سنگ‌آهک
6	ماسه‌سنگ
6	ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک و شیل‌های لایه‌لایه
6	شن و ماسه با مقدار زیادی رس و سیلت
8	شن و ماسه
9	بازالت
10	سنگ‌آهک کارستی
وزن دهی: 5	

ه: محدوده‌ها و رتبه‌بندی‌های درصد شیب توپوگرافی

E: Ranges and ratings of topographic slope percentage

رتبه Rate	محدوده (درصد شیب (%)) Range (slope percentage (%))
10	0-2
9	2-6
5	6-12
3	12 - 18
1	> 18
وزن دهی: 1	

ز: محدوده‌ها و رتبه‌بندی‌های هدایت هیدرولیکی

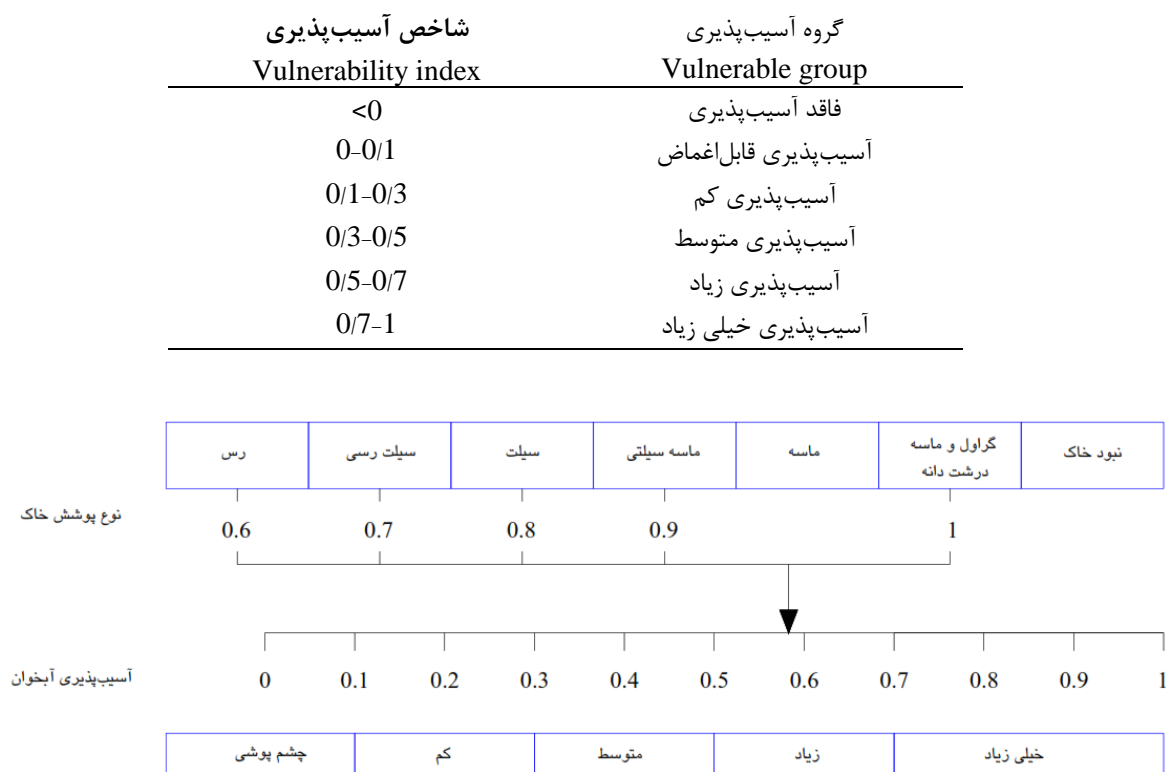
G: Ranges and ratings of hydraulic Conductivity of aquifer

رتبه Rate	محدوده (متر بر روز) Range (m/day)
1	0/5-5
2	5-15
4	15-35
6	35-50
8	50-100
10	> 100
وزن دهی: 3	

جدول ۲. مقادیر شاخص آسیب‌پذیری (Foster et al., 2002)

Table 2. Vulnerability Index Values (Foster et al., 2002)

شاخص آسیب‌پذیری Vulnerability index	آسیب‌پذیری Vulnerability	شرایط عملی آسیب‌پذیری Practical conditions of vulnerability
26-23	قابل‌اغماض	لایه‌های محبوس‌کننده که مؤلفه عمودی جریان در آن‌ها ناچیز است
79-26	کم	تغذیه پیوسته، آلاینده‌ها توانایی ایجاد واکنش در محیط را دارند
99-79	متوسط	تغذیه پیوسته، آلاینده‌ها توانایی ایجاد واکنش در محیط را ندارند
112-99	زیاد	آسیب‌پذیری نسبت به بسیاری از آلاینده‌ها ایجاد می‌شود
200-112	خیلی زیاد	آسیب‌پذیری نسبت به اکثر آلاینده‌ها در اکثر مواقع ایجاد می‌شود



شکل ۳. مدل GODS برای ارزیابی آسیب پذیری آبخوان در برابر آلودگی (Foster et al., 2002)
Fig 3. GODS Model for Evaluation of Aquifer Vulnerability Against Pollution (Foster et al., 2002)

کلاسه بندی و ارزش گذاری شده و نقشه عمق تا تراز آب زیرزمینی در شکل ۴-الف ارائه گردیده است.

۲- لایه تغذیه خالص سالانه (R): این پارامتر به میزان آبی اطلاق می شود که از طریق بارش به صورت افقی نفوذ کرده و به آبخوان می رسد. معمولاً هر قدر تغذیه بیشتر باشد پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی بیشتر است (Aller et al., 1987). برای تهیه لایه تغذیه خالص سالانه آبخوان باید دو لایه شبکه هم بارش و نفوذ پذیری تهیه و با یکدیگر ضرب شوند. ابتدا بر اساس اطلاعات بارندگی ایستگاه هواشناسی، اقدام به تهیه لایه شبکه هم بارش با توجه به گرادیان بارندگی شده و سپس با توجه به تبخیر بالای منطقه، درصد نفوذ بارندگی در حدود ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است. حال برای تهیه لایه نفوذ پذیری ابتدا برای چاه های محدوده طرح یک لایه تیسن بر اساس نوع مصرف آب هر چاه تهیه کرده به عبارتی تغذیه ناشی از پساب های کشاورزی و مصارف شهری متفاوت است بنابراین ۸۰ درصد دبی چاه های شرب و همچنین ۲۰ درصد دبی چاه های کشاورزی و ۵ درصد دبی چاه های

نتایج و بحث دراستیک

۱- عمق تا سطح ایستابی (D): این پارامتر تعیین کننده مسافتی است که آلاینده باید طی کند تا به سطح آب زیرزمینی برسد. به دلیل اهمیت بالای این پارامتر وزن ۵ را برای آن در نظر گرفته می شود (Aller et al., 1987). به منظور تهیه لایه عمق تا آب زیرزمینی، از آمار و اطلاعات سطح آب در ۱۵ پیژومتر حفاری شده در دشت خضری استفاده شده است. این اطلاعات شامل مختصات X و Y چاه مورد نظر، نام منطقه حفاری، ارتفاع از سطح دریا و عمق آب در چاه ها بین سال های ۸۷-۱۳۸۶ تا ۹۵-۱۳۹۴ می باشد که در نرم افزار اکسل تهیه شده و سپس این اطلاعات به فرمت قابل قبول برای نرم افزار Arc GIS تبدیل گردید؛ بعد از آن به روش آی. دی. دبلیو جهت تبدیل داده های نقطه ای ذکر شده به سطح استفاده شده است. بنابراین نقشه هم عمق تا سطح ایستابی جهت تلفیق با سایر لایه های دیگر مطابق با اطلاعات جدول ۱-الف

و در نتیجه پتانسیل آلودگی بیشتری ایجاد می‌کند. توپوگرافی به‌صورت شیب مورد توجه قرار می‌گیرد (Aller et al., 1987). برای تهیه این لایه نقشه‌های توپوگرافی در محیط جی. آی. اس به مدل رقومی-ارتفاع تبدیل شده و سپس نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع بر اساس توابع موجود در نرم‌افزار Arc GIS محاسبه و استخراج شده است. ارزش عددی مربوط به هر یک از کلاس‌های توپوگرافی با استفاده از جدول ۱-۵ تهیه و در شکل ۴-۵ نقشه نهایی درصد شیب توپوگرافی ارائه شده است.

۶- منطقه غیراشباع (I): این پارامتر به ناحیه بین قسمت زیرین محیط خاک تا بالای سطح ایستابی گفته می‌شود و مانند لایه خاک بستگی به نفوذپذیری و خصوصیات این محیط دارد (Aller et al., 1987). برای تهیه این اطلاعات همانند تهیه اطلاعات لایه محیط آبخوان استفاده می‌شود. با این تفاوت که جنس ستون چاه از قسمت زیرین لایه خاک سطحی تا سطح ایستابی با توجه به اطلاعات لوگ چاه در نرم‌افزار اکسل تهیه شده است. بر این اساس، نقشه محیط آبخوان جهت تلفیق با سایر لایه‌های دیگر تهیه، مطابق با اطلاعات جدول ۱-۶ و کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری و نقشه نهایی محیط آبخوان در شکل ۴-۶ ارائه شده است.

۷- هدایت هیدرولیکی (C): این پارامتر به معنای توانایی مواد تشکیل‌دهنده آبخوان برای انتقال آب است. بنابراین هرچقدر هدایت هیدرولیکی بیشتر باشد، امکان انتقال آلودگی بیشتر است و پتانسیل آلودگی بیشتری را ایجاد می‌کند (Aller et al., 1987) برای تهیه این لایه ابتدا لایه هم‌قابلیت انتقال تهیه سپس لایه هم‌ضخامت آبخوان تهیه شده است. از تقسیم لایه‌های هم‌قابلیت انتقال بر هم ضخامت آبخوان، لایه هدایت هیدرولیکی به دست می‌آید. بنابراین نقشه محیط آبخوان جهت تلفیق با سایر لایه‌های دیگر تهیه شده و مطابق با اطلاعات جدول ۱-۷ کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری و نقشه محیط آبخوان در شکل ۴-۷ ارائه شده است.

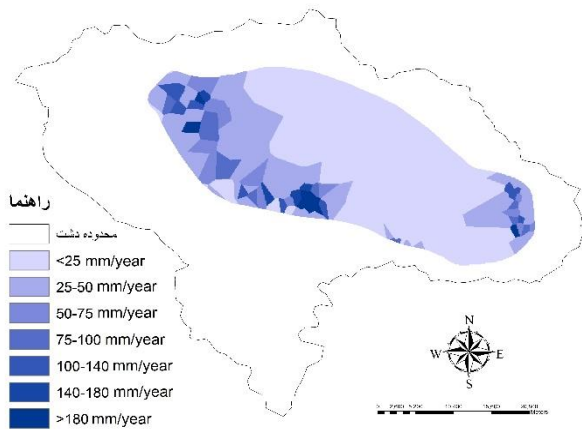
نتایج برای کل محدوده مطالعاتی در شکل ۵ ارائه شده است.

صنعتی به‌صورت یکنواخت برگشتی در نظر گرفته ولی با توجه به اینکه مقدار بارندگی در منطقه طرح پایین بوده و شدت تبخیر بالا است عملاً روانابی ایجاد نمی‌شود بنابراین تغذیه ناشی از جریانات سطحی نادیده گرفته شده است. حال این دو لایه تهیه و در یکدیگر ضرب و مطابق با اطلاعات جدول ۱-۸ کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری شده و در نهایت مطابق شکل ۴-۸ نقشه تغذیه خالص سالانه تهیه گردیده است.

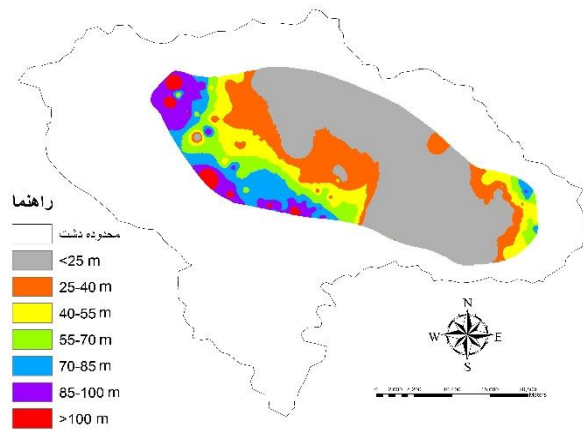
۳- محیط آبخوان (A): این پارامتر تعیین‌کننده طول و روند مسیر آلاینده‌ها در آبخوان است. به عبارت دیگر نشان‌دهنده پتانسیل انتقال جانی آلاینده‌ها در آب زیرزمینی است (Aller et al., 1987). برای تهیه این لایه از لوگ‌های چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی استفاده شده است. این اطلاعات شامل طول و عرض جغرافیایی یا مختصات X و Y چاه موردنظر، عمق آب در چاه و جنس ستون چاه از سطح ایستابی تا کف چاه می‌باشد. این اطلاعات در نرم‌افزار اکسل تهیه شده و سپس این اطلاعات به فرمت قابل‌قبول برای نرم‌افزار Arc GIS تبدیل گردیده؛ در نهایت نقشه محیط آبخوان جهت تلفیق با سایر لایه‌های دیگر مطابق با اطلاعات جدول ۱-۹ کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری و در شکل ۴-۹ ارائه شده است.

۴- محیط خاک (S): به ناحیه بالای منطقه غیراشباع گفته می‌شود. به عبارتی تا حد نفوذ ریشه گیاهان، مربوط به پارامتر محیط خاک می‌باشد. تأثیر این لایه تابعی از خصوصیات خاک مانند بافت، نفوذپذیری و غیره است (Aller et al., 1987). برای تهیه این لایه می‌توان از نقشه‌های خاک‌شناسی تهیه‌شده توسط مؤسسات آب‌و خاک کشور و یا انجام مطالعات خاک‌شناسی و حفر پروفیل خاک و نمونه‌برداری استفاده نمود که مطابق با اطلاعات جدول ۱-۱۰ کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری شده است. در نهایت نقشه محیط خاک به‌صورت یک‌لایه رستری مطابق شکل ۴-۱۰ تهیه شده است.

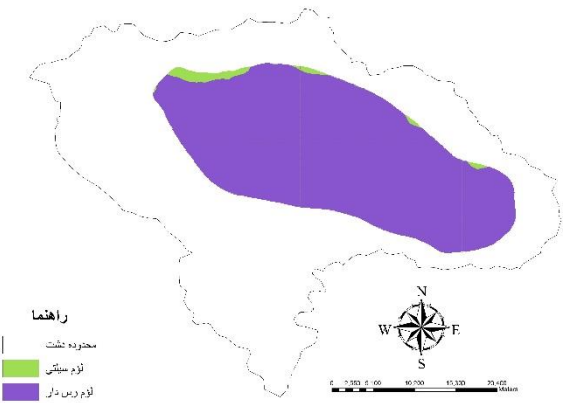
۵- توپوگرافی (T): این پارامتر باعث حرکت و یا نگهداری آلوده‌کننده بر روی سطح زمین می‌شود. به عبارت دیگر هرچه شیب ملایم‌تر باشد، امکان نفوذ آلاینده بیشتر است



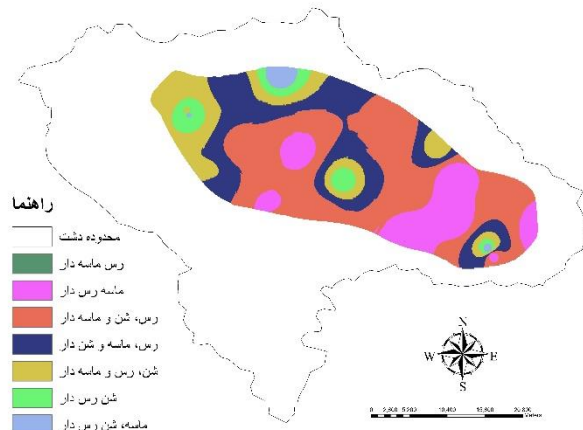
ب: نقشه پارامتر تغذیه خالص آبخوان
B: Map of Pure Recharge Parameter



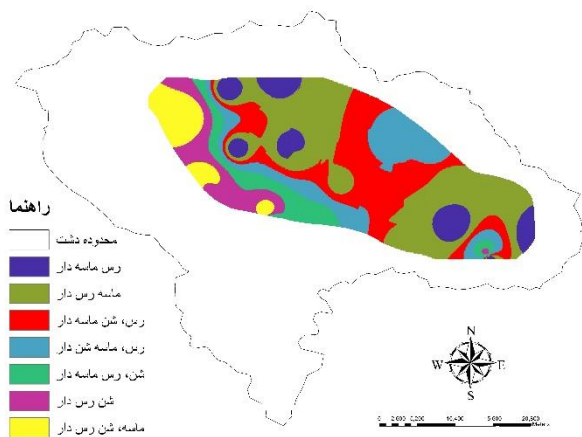
الف: نقشه پارامتر عمق تا سطح آب زیرزمینی
A: Map of Depth to The Groundwater Level Parameter



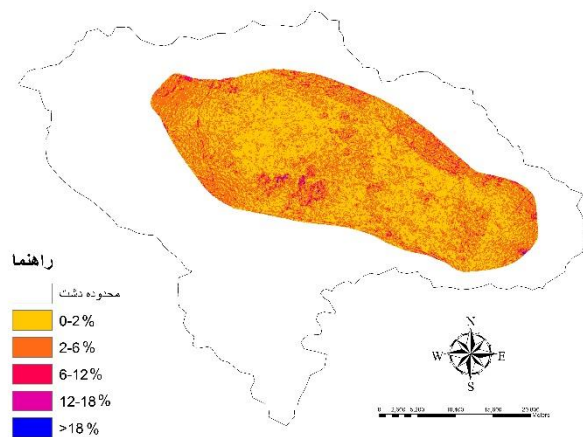
د: نقشه پارامتر محیط خاک
D: Map of Soil Media Parameter



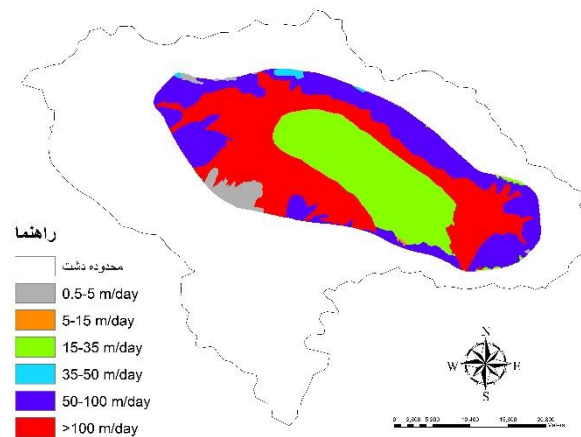
ج: نقشه پارامتر محیط آبخوان
C: Map of Aquifer Media Parameter



و: نقشه پارامتر اثر منطقه غیراشباع آبخوان
F: Map of The Impact of The Vadose Zone Media Parameter

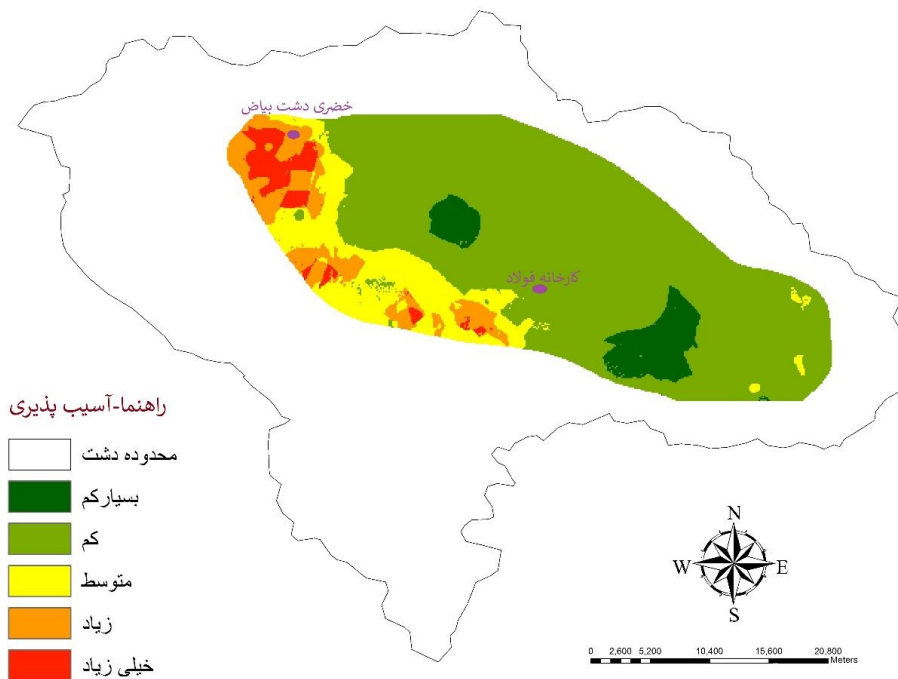


ه: نقشه پارامتر درصد شیب توپوگرافی
E: Map of The Topography Slope Percentage Parameter



ز: نقشه پارامتر هدایت هیدرولیکی آبخوان
G: Map of Hydraulic Conductivity of Aquifer Parameter

شکل ۴. محدوده‌ها و رتبه‌بندی‌های روش دراستیک
Fig 4. Ranges and Ratings of DRASTIC Method



شکل ۵. شاخص آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان خضری به روش مدل دراستیک
Fig 5. Inherent Vulnerability Index of Khezri Aquifer Using DRASTIC Method

دو نوع تحلیل حساسیت در مدل دراستیک صورت می‌گیرد (Babiker et al., 2005).
الف- تحلیل حساسیت حذف پارامتر (Lodwick et al., 1990).
ب- تحلیل حساسیت تک پارامتری (Napolitano & Fabbri, 1996).

تحلیل حساسیت مدل DRASTIC
تحلیل حساسیت اطلاعات با ارزشی در رابطه با تأثیر مقادیر وزن‌های تئوری و رتبه‌های اختصاص داده‌شده به هر پارامتر فراهم نموده و تشخیص صحیح اهمیت هر یک از عناصر اصلی را هموار می‌نماید (Gogu & Dassargues, 2000; Sheykhvanloo et al., 2006).

تحلیل حساسیت حذف پارامتر

تحلیل حساسیت حذف پارامتر، حساسیت نقشه آسیب‌پذیری را به حذف یک یا چند پارامتر نشان می‌دهد و طی دو مرحله از طریق روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌گردد.

$$S_{xi} = \left| \frac{V_i}{N} - \frac{V_{xi}}{n} \right| \quad (3)$$

S_{xi} ضریب حساسیت‌پذیری، V_i شاخص آسیب‌پذیری محاسبه‌شده بر اساس شاخص دراستیک (شاخص آسیب‌پذیری حاصل از هفت پارامتر)، V_{xi} شاخص آسیب‌پذیری بدون پارامتر X . N و n تعداد لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده برای محاسبه V_i و V_{xi} می‌باشند. این رابطه در هر سلول بیانگر قابلیت اثر تغییرات حذف پارامتر در شاخص نهایی است و ضرایب وزنی در آن نقشی ندارند، به طوری که حساسیت بیشتر بیانگر دامنه تغییرات کمتر در شاخص نهایی است و برعکس. به منظور برآورد بزرگی تغییرات ایجاد شده ناشی از حذف یک یا چند پارامتر، شاخص تغییرات به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$VX_i = \frac{V_i - V_{xi}}{V_i} \times 100 \quad (4)$$

که VX_i شاخص تغییرات حاصل از حذف پارامتر X ، V_i شاخص آسیب‌پذیری حاصل از هفت پارامتر و V_{xi} شاخص آسیب‌پذیری بدون پارامتر یا پارامترهای حذف‌شده

می‌باشند. شاخص تغییرات تأثیر پارامتر حذف‌شده را بر بزرگی مقادیر شاخص آسیب‌پذیری نشان می‌دهد. مقادیر آن بر اساس شاخص آسیب‌پذیری می‌تواند مثبت یا منفی باشد. مقادیر مثبت بیانگر این است که حذف پارامتر، شاخص آسیب‌پذیری را کاهش می‌دهد بنابراین شاخص آسیب‌پذیری محاسبه‌شده افزایش یافته است. مقادیر منفی بیانگر این است که حذف پارامتر، شاخص آسیب‌پذیری را افزایش می‌دهد بنابراین شاخص آسیب‌پذیری محاسبه‌شده کاهش یافته است. اولین مرحله در تحلیل حساسیت حذف پارامتر، محاسبه شاخص آسیب‌پذیری با استفاده از شش پارامتر به جای هفت پارامتر است، بنابراین شاخص نهایی آسیب‌پذیری در هر سلول حاصل شش پارامتر است. با مقایسه شاخص جدید و شاخص اولیه تأثیر پارامتر حذف‌شده را می‌توان به طور مستقیم اندازه گرفت. برای مقایسه پارامترهای دراستیک مشخصات آماری هفت پارامتر پس از ارزش‌گذاری وزن دهی محاسبه و مرتب‌شده‌اند سپس تحلیل حساسیت به دو روش حذف پارامتر و تک پارامتر انجام گرفته است. تحلیل حساسیت حذف پارامتر با حذف یک پارامتر انجام شده و ضریب حساسیت‌پذیری و شاخص تغییرات بر اساس رابطه‌های (۳) و (۴) محاسبه و نتایج آن در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است.

جدول ۴. مشخصات آماری ضریب حساسیت‌پذیری نسبت به حذف یک پارامتر

Table 4. Statistical Characteristics of The Sensitivity Coefficient to The Removal of A Parameter

پارامتر Parameter	ضریب حساسیت‌پذیری Sensitivity coefficient			
	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Average	انحراف معیار Standard deviation
D	3/89	5/88	4/02	0/41
R	1/65	3/64	2/28	0/41
A	1/01	3/29	1/49	0/51
S	0/30	2/70	1/71	0/58
T	0/54	2/78	1/64	0/48
I	0/50	2/78	1/35	0/49
C	0/59	2/79	1/59	0/46

جدول ۵. شاخص تغییرات حاصل از حذف پارامتر X

Table 5. Variation Index Resulting from The Removal of The Parameter X

پارامتر Parameter	ضریب حساسیت‌پذیری Sensitivity coefficient			
	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار

	Minimum	Maximum	Average	Standard deviation
D	-7/53	-2/02	-3/85	1/05
R	-4/85	-3/05	-3/80	1/10
A	-8/96	3/20	0/89	1/40
S	4/96	9/50	5/20	1/80
T	6/20	14/50	9/20	1/30
I	6/10	14/20	9/10	1/35
C	6/30	14/60	9/50	1/28

تحلیل حساسیت تک پارامتری

تحلیل حساسیت تک پارامتری اثر هرکدام از پارامترهای DRASTIC را بر روی شاخص آسیب‌پذیری ارزیابی می‌کند. این تحلیل حساسیت برای مقایسه وزن واقعی یا وزن مؤثر هرکدام از پارامترها با وزن تفویض اختصاص داده‌شده در مدل تحلیلی انجام می‌شود. وزن مؤثر تابعی از ارزش یک پارامتر نسبت به پارامترهای دیگر وزن اختصاص داده‌شده به آن توسط مدل می‌باشد. وزن مؤثر یا وزن واقعی در هر سلول با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌گردد (Babiker et al., 2005).

$$W_{xi} = \frac{X_{Ri} - X_{wi}}{V_i} \times 100 \quad (5)$$

W_{xi} وزن مؤثر پارامتر، X_{Ri} و X_{wi} به ترتیب ارزش عددی کلاس‌بندی شده وزن پارامتر X می‌باشند و V_i شاخص آسیب‌پذیری محاسبه‌شده بر اساس مدل دراستیک است. مشخصات آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. مشخصات آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری

Table 6. Statistical characteristics of One Parameter Sensitivity Analysis

پارامتر Parameter	وزن تئوری Theoretical weight	وزن تئوری (%) Theoretical weight (%)	وزن مؤثر (%) Effective weight (%)			
			حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Average	انحراف معیار Standard deviation
D	5	22/79	4/14	31/69	16/30	10/90
R	4	21/77	4/85	23/63	13/15	9/91
A	3	17/55	16/13	25/52	23/16	4/51
S	2	6/91	5/73	14/32	12/69	4/82
T	1	4/09	3/75	13/52	8/65	3/45
I	5	27/13	19/69	29/53	22/64	6/41
C	3	19/50	3/95	35/43	18/30	12/36

۲- لایه روی منطقه اشباع آبخوان (O): این پارامتر همانند پارامتر منطقه غیراشباع در مدل دراستیک است و ظرفیت میرایی آلاینده‌ها را مشخص می‌کند. برای تهیه این لایه از اطلاعات لوگ‌های چاه‌ها استفاده می‌شود. به این صورت که برای تهیه این لایه با توجه به جنس خاک مواد تشکیل‌دهنده منطقه غیراشباع در هر چاه، رتبه‌های بر اساس شکل ۳ اختصاص داده می‌شود سپس نقشه محیط غیراشباع بر اساس فرمت رستری تهیه می‌شود (شکل ۶-ب).

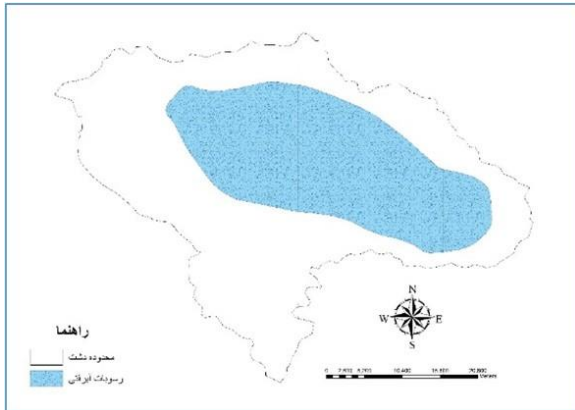
GODS

مشخصه‌های مدل GODS به شرح زیر است:

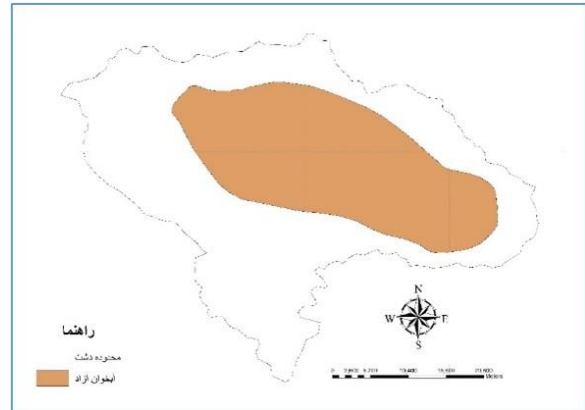
۱- نوع آبخوان (G): در این مدل با توجه به اینکه آبخوان وجود نداشته باشد یا داشته باشد ارزش عددی بین ۰ تا ۱ داده می‌شود. در دشت خضری با توجه به لوگ‌های حفاری مشخص می‌شود این دشت از نوع آزاد است؛ و با توجه به شکل ۶-الف ارزش عددی ۱ را به پارامتر G برای این مدل در نظر گرفته می‌شود.

۴- نوع خاک (S): این پارامتر همانند پارامتر نوع خاک در مدل دراستیک است؛ و برای تهیه این لایه همانند روش دراستیک از نقشه‌های خاک‌شناسی استفاده می‌کنیم با این تفاوت که در این روش محدوده ارزش‌گذاری متفاوت است (شکل ۶-د). ارزش‌گذاری نهایی نیز در شکل ۷ انجام گرفته است.

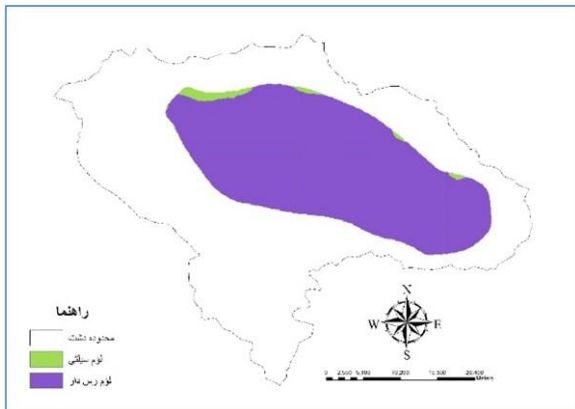
۳- عمق تا سطح آب زیرزمینی (D): این پارامتر همانند پارامتر عمق تا سطح آب زیرزمینی در مدل دراستیک است؛ و برای تهیه این لایه همانند روش دراستیک عمل می‌کنیم با این تفاوت که در این روش محدوده ارزش‌گذاری متفاوت است (شکل ۶-ج).



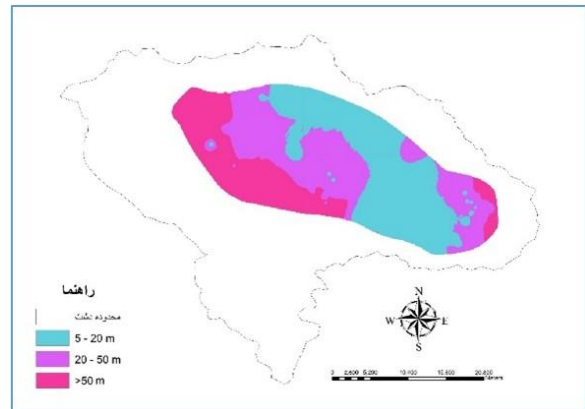
ب: نقشه پارامتر لایه‌های فوقانی آبخوان
B: Map of The upper layers of The Aquifer Parameter



الف: نقشه پارامتر نوع آبخوان
A: Map of the Aquifer Type Parameter

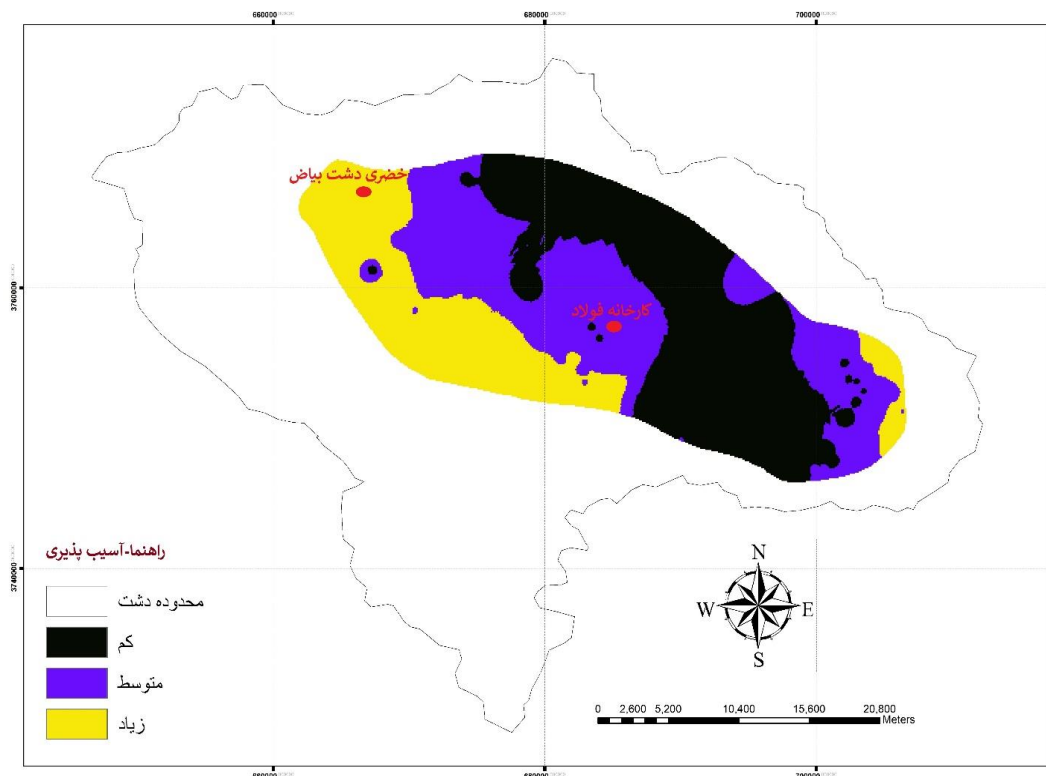


د: نقشه پارامتر پوشش خاک
D: Map Soil Cover Parameter



ج: نقشه پارامتر عمق تا سطح آب زیرزمینی
C: Map of The Depth to The Groundwater Level Parameter

شکل ۶. محدوده‌ها و رتبه‌بندی‌های روش GODS
Fig 6. Ranges and Rankings of The GODS Method



شکل ۷. شاخص نهایی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان خضری به روش مدل GODS

Fig 7. The Final Index of Intrinsic Vulnerability of The Khezri Aquifer Using The GODS Method

نقشه آسیب‌پذیری این دشت به روش‌های DRASTIC و GODS پرداختیم. که مهم‌ترین نتایجی که از این تحقیق به دست آمده عبارت‌اند از:

۱- با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری حاصل از دو مدل، آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان خضری در سه گروه کلی آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد ارزیابی شده است و تنها حدود گسترش محدوده‌های آسیب‌پذیری متفاوت است.

۲- نتایج حاصل از دراستیک برای این دشت نشان می‌دهد که بخش کوچکی از منطقه دارای آسیب‌پذیری بسیار کم (۶/۶۰ درصد) و ناحیه بسیار وسیعی از دشت دارای آسیب‌پذیری کم (۶۹/۶۸ درصد) و شمال غربی و غرب این دشت دارای آسیب‌پذیری متوسط (۱۲/۹۳ درصد)، زیاد (۷/۵۲ درصد) و خیلی زیاد (۳/۲۷ درصد) می‌باشد؛

۳- روش گادز دشت را به سه محدوده تقسیم کرده که پتانسیل آسیب‌پذیری کم حدود ۴۲ درصد، متوسط ۳۷ درصد و زیاد ۲۱ درصد مساحت به دست آمده است.

۴- مقایسه نتایج حاصل از دو مدل نشان می‌دهد که مدل DRASTIC آسیب‌پذیری آبخوان را کمتر از مدل

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، افزایش مصرف آب و کمبود آب‌های سطحی در بسیاری از نقاط کشور باعث فشار مضاعف بر روی منابع آب زیرزمینی کشور شده است و در بسیار از دشت‌ها با کاهش سطح آب در چاه‌ها روبه‌رو هستیم. حال در کشور ما علاوه بر از بین بردن آبخوان‌ها با مشکلی دیگری یعنی آلوده شدن آن‌ها مواجه هستیم که متأسفانه آلودگی آبخوان زمانی مشخص می‌شود که چاه‌های آب شرب آلوده شده باشد که رفع آلودگی از آبخوان بسیار پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد؛ بنابراین یکی از بهترین روش‌های حفاظت از آب زیرزمینی جلوگیری از آلوده شدن می‌باشد. یکی از راه‌های مناسب برای پیشگیری از آلودگی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر سامانه‌های آب زیرزمینی و مدیریت کاربری اراضی است؛ بنابراین اهمیت تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری برای جلوگیری از آلوده شدن آبخوان ضروری است.

دشت خضری یکی از دشت‌های مهم استان خراسان جنوبی به حساب می‌آید. با توجه به اهمیت این دشت در تأمین آب موردنیاز کشاورزی، شرب و صنعت به تهیه

۶- در نقشه پهنه‌بندی شده توسط هر دو روش نقاط با آسیب‌پذیری زیاد در محدوده شهر خضری است و پروژه‌های آتی در این محدوده باید با دقت بالای انجام شود و از رهاسازی فاضلاب شهری در دشت و یا حفر چاه‌های جاذب جداً خودداری شود؛ لازم به ذکر است تأمین آب شرب روستاها، شهرهای اطراف (خضری-دشت بیاض-دهشک)، زمین‌های کشاورزی و شهرک صنعتی از این محدوده تأمین می‌شود.

۷- پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده صحت سنجی مدل‌ها به‌وسیله غلظت پارامترهای کیفی مانند نترات انجام شود.

۸- استفاده از روش‌های شبکه عصبی و منطق فازی برای ارزیابی مدل دراستیک تا بتوان به یک نقشه آسیب‌پذیری دقیق‌تری دست‌یافت.

GODS برآورد می‌کند. دلیل این امر کمتر بودن میزان پارامترها، محدوده‌ها و وزن‌ها در مدل GODS می‌باشد. ولی این مدل با توجه به کمتر بودن اطلاعات آن امکان استفاده در مناطق بیشتری از دنیا را دارا می‌باشد ولی به نتایج آن کمتر مورد استقبال قرار گرفته شده است.

۵- تحلیل حساسیت به دو روش حذف پارامتر و تک پارامتر انجام گرفته شده است. در تحلیل حساسیت حذف پارامتر، بیشترین حساسیت شاخص آسیب‌پذیری عمق تا سطح آبخوان و کمترین حساسیت اثر هدایت هیدرولیکی محاسبه شده است. در تحلیل حساسیت تک پارامتر، پارامتر محیط آبخوان بیشترین وزن مؤثر و پارامتر درصد شیب توپوگرافی کمترین وزن مؤثر را در محاسبه شاخص آسیب‌پذیری دارند.

منابع

- Lodwick, W. A., Monson, W., & Svoboda, L. (1990). Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems: suitability analysis. *International Journal of Geographical Information System*, 4(4), 413-428.
- Machdar, I., Zulfikar, T., Rinaldi, W., & Alfiansyah, Y. (2018). Assessment of groundwater vulnerability using DRASTIC Model and GIS: A case study of two sub-districts in Banda Aceh city, Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- 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*, 1(3), 35-56. [In Persian].
- Mosavi, F., Yagubee, M., & Chitsazan, M. (2016). Vulnerability assessment of Khois aquifer by applying Drastic and Syntex model to manage land use. *Journal of Water and Wastewater*, 3(75-79). [In Persian].
- Nakhaei, M., Amiri, V., & Sharbabaki, M. (2013). Assessment of Groundwater Vulnerability and Sensitivity Analysis in Khatoon Abad Aquifer using a GIS-based DRASTIC Model. *Advanced Applied Geology*, 3(2), 1-10. [In Persian].
- Napolitano, P., & Fabbri, A. (1996). Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*, 235(235), 559-566.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J., Petty, R., & Hackett, G. (1987). DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. *US Environmental Protection Agency*. Washington, DC, 455.
- Babiker, I. S., Mohamed, M. A., Hiyama, T., & 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.
- Boughriba, M., Barkaoui, A.-e., Zarhloule, Y., Lahmer, Z., El Houadi, B., & Verdoya, M. (2010). Groundwater vulnerability and risk mapping of the Angad transboundary aquifer using DRASTIC index method in GIS environment. *Arabian Journal of Geosciences*, 3(2), 207-220.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & Paris, M. (2002). *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies*. Washington, DC: World Bank.
- Gogu, R. C., & Dassargues, A. (2000). Sensitivity analysis for the EPIK method of vulnerability assessment in a small karstic aquifer, southern Belgium. *Hydrogeology Journal*, 8(3), 337-345.
- Khodayee, K., Shahsavari, A. A., & Etebari, B. (2006). Vulnerability assessment of Jovin aquifer by DRASTIC and GODS. *Iranian Journal of Geology*, 2(4), 73-87. [In Persian].
- Koon, A.B., Anornu, G.K., Dekongmen, B.W., Sunkari, E.D., Agyare, A., Gyamfi, C. (2023). Evaluation of groundwater vulnerability using GIS-based DRASTIC model in Greater Monrovia, Montserrado County, Liberia. *Urban Climate*, 48, 101427.

- Samadzade, P., & Najafipour, S. (2018). Evaluation of the potential and sensitivity analysis of the vulnerability of underground waters of Tehran province - Alborz province by drastic method. The second National Conference of Knowledge and Technology of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment. [In Persian].
- Sheikhvanloo, M., Akbari, G., Nakhaee, M., & Etebari, B. (2006). Assessing the vulnerability potential of the Birjand Plain Aquifer. M.Sc. Thesis, Sistan and Baluchestan University.
- Ministry of Power. (2012). Regional Water Company of South Khorasan, Basic Water Studies. [In Persian].
- Yang, Y., & Wang, L. (2010). Catchment-scale vulnerability assessment of groundwater pollution from diffuse sources using the DRASTIC method: a case study. *Hydrological Sciences Journal–Journal des Sciences Hydrologiques*, 55(7), 1206-1216.