Kharazmi University

Spatial Analysis Environmental Hazards

Online ISSN: 2588-5146
Homepage: https://khu.ac.ir

Vulnerability Assessment of Mashhad Plain Aquifer Using a Combination of DRASTIC and SI Models

Vajiheh Gholizadeh [1] | Amir Safari [2]✉ | Ali Ahmadabadi [3] | Amir Karam [4]

1. Department of Geomorphology, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: vajihe_gholizade@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Geomorphology, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: saffari@khu.ac.ir
3. Department of Geomorphology, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: amhadabadi@khu.ac.ir
4. Department of Geomorphology, Kharazmi University, Tehran, Iran.E-mail: aa_karam@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 05 September 2022
Accepted 20 June 2023
Published online 23 September 2025

Keywords:
SI,
DRASTIC,
Mashhad Plain Aquifer,
Vulnerability.

ABSTRACT

Objective: Currently, the Mashhad Plain aquifer is a critical and vulnerable area due to its specific conditions and the presence of industrial units and agricultural activities, numerous cities and towns, and the aim of this research is to assess the vulnerability of the Mashhad Plain aquifer for the purpose of quality monitoring and management of groundwater resources and preventing its future pollution.

Methods: The data and information layers required for use in the DRASTIC and SI models were provided by the Khorasan Razavi Regional Water Company. Seven hydrogeological parameters were used in the DRASTIC model and five in the SI model, and after weighting, ranking, and combining the layers in the ArcGIS software environment, a vulnerability map of the Mashhad Plain aquifer was obtained.

Results: The results of the DRASTIC model show that the study area is located in four zones with very low (21.85%), low (32.09%), medium to low (31.05%), and medium to high (14.59%) vulnerability. Also, based on the results of the SI model, the study area is located in five zones with very low (0.4%), low (24.63%), medium to low (23.98%), medium to high (18.71%), and high (32.25%). By comparing the results of the models, the aquifer vulnerability generally increases from the southeast to the northwest. Also, to verify the accuracy of the vulnerability maps, the TDS quality index was compared, and the results showed that both models have high accuracy in zoning the vulnerability of the Mashhad Plain aquifer.

Conclusions: The results results can be used in environmental assessments and analysis of various pollutions and can be used as a basis for management decisions.

Cite this article: Gholizadeh, V., Safari, A., Ahmadabadi, A., & Karam, A. (2025). Vulnerability Assessment of Mashhad Plain Aquifer Using a Combination of DRASTIC and SI Models. *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 12 (46 & 795), 1-18. http//doi.org/10.61882/jsaeh.12.46.795.1

© The Author(s)
DOI: http//doi.org/10.61882/jsaeh.12.46.795.1

Publisher: Kharazmi University

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Currently, a large part of the country's water consumption, especially in the drinking part, is supplied by underground water resources, which are mainly open aquifers, and these aquifers are more vulnerable to pollutants caused by agricultural, industrial and urban activities. Assessing the vulnerability and pollution of the aquifer is necessary for the management, development and allocation of land use, quality monitoring, prevention and protection of groundwater pollution (Samadi, 2015).

In the quantitative assessment of the vulnerability of the aquifer, attention is paid to the transfer and flow models in the saturated and unsaturated zone, and the effect of the physical and hydrological characteristics of the soil, recharge and penetration depth is evaluated in the transfer of pollution. This method simulates the physical processes of water movement and the path related to pollution transfer and determines the distribution of sensitive or vulnerable areas (Almasri, 2008). The purpose of this research is to identify and analyze the qualitative vulnerability of the Mashhad plain aquifer in order to monitor and manage underground water resources and prevent its future pollution.

Methods

The Mashhad plain is located in the northeast of Iran between Binalood and Hezarmasjed mountains and in the watershed of the Kashafroud river, and its area is 2527 square kilometers. An open water aquifer is spread throughout the Mashhad plain, which continues to the edge of Binalood mountain. This aquifer is a critical and vulnerable area due to its special conditions and the presence of industrial units and agricultural activities, many cities and towns.

In this research, the vulnerability of the Mashhad Plain aquifer was evaluated with DRASTIC and SI models, and ArcGIS was used to analyze the parameters and prepare the vulnerability map.

DRASTIC model, which is one of the most common methods for assessing the inherent vulnerability potential of groundwater, is one of the overlap and index methods. In this method, the seven measurable parameters for the hydrogeological system include the depth of the groundwater level(D), net recharge(R), aquifer environment(A), soil environment(S), topography(T), Impact of the unsaturated Zone(I) and hydraulic conductivity(C) is used (Babiker, al, et. 2005). Equation 1 is used to prepare the drastic index map:

- Equation (1): $DI = \sum_{j=1}^{7} r_j\, w_j = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r s_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$

In the above Equation, DI: drastic index, uppercase letters represent the first letters of the layers, index r: rank of the layer and index w: weight of the layer. The ratings for the sub-layers of each criterion vary from one to ten depending on their impact on the vulnerability potential. The weight of each layer is also a fixed value between 1 and 5; which shows the relative importance of each layer compared to other layers in the vulnerability potential of the aquifer (Rahman, 2008). SI method (Sensitivity Index): In this method, five parameters of groundwater depth(D), net recharge (R), aquifer lithology(A), topography(T) and landuse (LU) are used for aquifer vulnerability. After preparing the SI model layers and weighting each of the layer classes using the functions available in the ArcGIS, the sensitivity index is obtained from the weighted sum of the mentioned parameters.

- Equation (2): $DI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + T_r T_w + LU_r LU_w$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

In this Equation, SI: sensitivity index, capital letters are the first letter of the names of layers, index r: rank of layer and index w: weight of layer. The numerical value of the sensitivity index can vary between 0 and 100 (Ribeiro, 2000).

Results

After weighting and preparing each layer of the DRASTIC and SI models to prepare the vulnerability map of the aquifer, the layers of each model were combined in the ArcGIS and the area of each layer was calculated and the final map was prepared. The results of the DRASTIC model show that the study area is divided into four zones with very low vulnerability (21.85%), low (32.09%), medium to low (31.05%) and medium to high vulnerability (14.59%). Also, based on the results of the SI model, the study area is divided into five areas with very low vulnerability (0.4%), low (24.63%), medium to low (23.98%), medium to high (18.71%) and high vulnerability (32.25%). Comparison of two models shows that in the drastic model, the largest area of this aquifer in terms of vulnerability is in the low and medium to low zone, while in the SI model, the largest area is in the medium to high and high zone. In terms of geographic location, there is a match between the vulnerability ranges in both models. In general, the vulnerability of the aquifer increases from the southeast to the northwest.

The reason for this can be attributed to the east-west direction of the underground water flow, The height water level of the aquifer, adaptation to the uses of water agriculture and gardens, and population and industrial centers and type of sediments in the aquifer environment. For verification, statistical method and calculation of correlation coefficient between vulnerability maps and TDS layer was used in TerrSet software and the results showed that both DRASTIC and SI models have high accuracy in zoning the vulnerability of Mashhad plain aquifer, so that the correlation coefficient of vulnerability maps with index The quality of TDS in Drastic model is (0.996) and in SI model (0.995).

Conclusion

The results can be used in environmental assessments and analysis of various pollutions and can be used as a basis for management decisions.

Keywords: SI, DRASTIC, Mashhad Plain Aquifer, Vulnerability.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

The datasets used and analyzed during this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

This study adheres to ethical research practices. All data used in this research were obtained from publicly available sources or provided by authorized institutions. No human or animal subjects were involved, and thus, no ethical approval was required.

Funding

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]

[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

This article has no financial support.

Conflict of interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]

[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

دانشگاه خوارزمی

تحلیل فضایی مخاطرات محیطی

شاپا الکترونیکی: ۲۵۸۸ –۵۱۴۶

Homepage: https://khu.ac.ir

ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت مشهد با استفاده از تلفیق مدل های DRASTIC و SI

وجیهه قلی زاده [۱] | امیر صفاری [۲]✉ | علی احمدآبادی [۳] | امیر کرم [۴]

۱. گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: vajihe_gholizade@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: saffari@khu.ac.ir

۳. گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: amhadabadi@khu.ac.ir

۴. گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: aa_karam@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱

کلیدواژه‌ها:
SI،
DRASTIC،
آبخوان دشت مشهد،
آسیب‌پذیری.

هدف: در حال حاضر آبخوان دشت مشهد به علت شرایط خاص خود و وجود واحدهای صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی، شهرها و شهرک‌های متعدد از مناطق بحرانی و آسیب‌پذیر می باشد و هدف از این پژوهش، ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت مشهد به جهت پایش کیفی و مدیریت منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از آلودگی‌های آتی آن است.

روش پژوهش: داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز جهت استفاده در مدل‌های DRASTIC و SI از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه گردید. در مدل DRASTIC از هفت و در مدل SI از پنج پارامتر هیدروژئولوژیکی استفاده‌شد و پس از وزن دهی و رتبه‌بندی و تلفیق لایه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS، نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت مشهد به دست آمد.

یافته‌ها: نتایج حاصله از مدل DRASTIC نشان می‌دهد که محدوده مطالعاتی در چهار پهنه با آسیب‌پذیری خیلی کم (۲۱/۸۵) درصد، کم (۳۲/۰۹) درصد، متوسط تا کم (۳۱/۰۵) درصد و متوسط تا زیاد (۱۴/۵۹) درصد قرار می‌گیرد. همچنین براساس نتایج مدل SI محدوده مطالعاتی در پنج پهنه با آسیب‌پذیری خیلی کم (۰/۴) درصد، کم (۲۴/۶۳) درصد، متوسط تا کم (۲۳/۹۸) درصد، متوسط تا زیاد (۱۸/۷۱) درصد و زیاد (۳۲/۲۵) درصد قرار دارند. با مقایسه نتایج مدل‌ها به‌طورکلی میزان آسیب‌پذیری آبخوان از سمت جنوب شرق به شمال غرب افزایش می‌یابد. همچنین برای صحت سنجی نقشه‌های آسیب‌پذیری با شاخص کیفی TDS مقایسه گردید و نتایج نشان داد هر دو مدل دقت بالایی در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت مشهد دارند.

نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق می‌تواند در ارزیابی‌ها و تحلیل‌های زیست‌محیطی آلودگی‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد و به عنوان مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: قلی زاده، وجیهه؛ صفاری، امیر؛ احمدآبادی، علی؛ و کرم، امیر (۱۴۰۴). ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت مشهد با استفاده از تلفیق مدل های DRASTIC و SI. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۲ (۴۶ و ۷۹۵)، ۱–۱۸. http//doi.org/10.61882/jsaeh.12.46.795.1

ناشر: دانشگاه خوارزمی

© نویسندگان

CC BY NC

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

مقدمه

افزایش جمعیت، توسعه کشاورزی و صنایع باعث افزایش شدید در مصرف آب و به تبع آن کاهش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی شده است. افت گسترده در سطح تراز منابع آب زیرزمینی شیرین و نفوذ آبهای سطحی و بارش ها به این منابع، جریانات سطحی را با کاهش دراماتیک مواجه کرده است و در اکثر مناطق ایران، آب زیرزمینی مهمترین منبع تامین کننده آب کشاورزی، شرب و صنعت گردیده است (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین فعالیتهای انسانی اخیر، محیط آسیب پذیری را به وجود آورده، بطوری که آب زیرزمینی را به عنوان منبعی طبیعی در معرض آلاینده های صنعتی و کشاورزی قرار داده اند (تاپینتا و هوداک[1]، ۲۰۰۳). در حال حاضر، بخش قابل ملاحظه ای از مصارف آب کشور بخصوص در بخش شرب، توسط منابع آب زیرزمینی تامین می شود که عمدتاً آبخوان‌های آزاد می‌باشد و این آبخوان‌ها از آسیب‌پذیری[2] بالاتری نسبت به آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهرنشینی برخوردار هستند. ارزیابی آسیب‌پذیری و آلودگی آبخوان برای مدیریت، توسعه و تخصیص کاربری اراضی، نحوه پایش کیفیت، پیشگیری و حفاظت از آلودگی آب‌های زیرزمینی ضروری است (صمدی[3]، ۲۰۱۵).

تا کنون تعاریف مختلفی از آسیب‌پذیری ارائه‌شده است از جمله (ترنر[4] و همکاران، ۲۰۰۳) آن را به‌عنوان درجه‌ای از احتمال آسیب دیدن سیستم به دلیل قرار گرفتن در معرض خطر تعریف می‌کند. همچنین آسیب‌پذیری به‌عنوان استعداد حساسیت پذیری به خسارت و پتانسیل تغییر یا تحول در نظر گرفته می‌شود (گالوپین[5]، ۲۰۰۶). آسیب‌پذیری، درواقع برآورد نوع (مدیریتی و محیطی) و میزان (مقدار) آسیب‌های وارده به یک سیستم که در معرض آشفتگی و اختلال برونی یا درونی قرارگرفته، می‌باشد (برند و جکس[6]، ۲۰۰۷). ارزیابی آسیب‌پذیری فرایندی است که طی آن اطلاعات مشخص‌کننده آسیب‌پذیری با یکدیگر تلفیق و نواحی با آسیب‌پذیری بالا از نواحی با آسیب‌پذیری کم از هم متمایز می‌شوند (سیویتا و دلا[7]، ۱۹۹۴). در ارزیابی کمی آسیب‌پذیری آبخوان به مدل‌های انتقال و جریان در ناحیه اشباع و نااشباع توجه می‌شود و اثر ویژگی‌های فیزیکی و آبی خاک، تغذیه و عمق نفوذ را در انتقال آلودگی ارزیابی می‌کند. این روش فرایندهای فیزیکی حرکت آب و مسیر مربوط به انتقال آلودگی را شبیه‌سازی و توزیع منطقه‌های حساس یا آسیب‌پذیر را مشخص می‌کند (الماسری[8]، ۲۰۰۸).

محدوده موردمطالعه در این پژوهش با عنوان آبخوان دشت مشهد به‌عنوان مرکز عمده فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی استان است که از سال ۱۳۴۷ به دلیل افت سطح آب دشت‌های ممنوعه اعلام‌شده بود، امروزه علاوه بر اینکه از لحاظ کمی در وضعیت ممنوعه بحرانی قرار دارد، از لحاظ کیفی نیز با چالش‌های جدی مواجه شده است؛ بنابراین هدف کلی از انجام این تحقیق، شناخت و تحلیل وضعیت آسیب‌پذیری کیفی آبخوان دشت مشهد است که سبب می‌شود پتانسیل آسیب‌پذیری نسبت به آلودگی با دقت بیشتری قابل‌تعیین باشد و این کار با استفاده از مقایسه نقشه‌ها و نتایج دو مدل دراستیک و SI به انجام می‌رسد.

پیشینه پژوهش

۱. پیشینه تجربی

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌ها انجام‌گرفته است که ازجمله آن‌ها می‌توان به مواردی که در ادامه می آید اشاره نمود:

---

[1] - Thapinta & Hudak
[2] - Vulnerability
[3] - Samadi
[4] - Turner
[5] - Gallopin
[6] - Brand & Jax
[7] - Civita & della
[8] - Almasri

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

آنیش[1] و همکاران (۲۰۲۲) آسیب پذیری یک سفره آبی ساحلی شهری در هند را با استفاده از مدل DRASTIC مبتنی بر GIS بررسی نمودند. این مطالعه نشان می دهد که آلودگی و آسیب پذیری در برابر آلاینده ها یکی از دلایل اصلی نگرانی برای بیش از ۳/۸۲ میلیون نفر ساکن در این منطقه است. ابوبکر[2] (۲۰۲۰) آسیب پذیری آب های زیرزمینی در انواع سفره های زیرزمینی را در مصر مطالعه کردند؛ نتایج این مطالعه وضعیت آسیب پذیری آبخوان در سه منطقه المینیا، وادی النترون و واحه الخارگا را در پهنه های کم تا متوسط نشان داده است. بردبار[3] و همکاران (۲۰۱۹) آسیب پذیری آبخوان ساحلی قره سو-گرگانرود را در مقابل پیشروی آب شور بررسی نموده و نتیجه گرفتند که مدل GALDIT نسبت به روش های دیگر از جمله SINTACS و DRASTIC برتری دارد.

فعال و همکاران (۱۴۰۰) کاربرد تغذیه سطحی آبخوان در اصلاح روش GALDIT برای ارزیابی خطر پیشروی آب‌شور در آبخوان قم را بررسی و مطالعه کردند. نتایج پژوهش نشان داد که نواحی با آسیب‌پذیری زیاد و متوسط در بخش شرقی آبخوان قم با وسعت حدود ۱۴ درصد از کل مساحت آبخوان مستعد پیشروی آب شور بوده و می‌توانند به عنوان محدوده گسترش آب شور برای پایش و مدیریت بهینه آبخوان ساحلی در نظر گرفته شوند. شکاری تپه و همکاران (۱۴۰۰) پژوهشی با عنوان مدل‌سازی و ارزیابی پخش سیلاب در آبخوان دشت سلماس با استفاده از کد MODFLOW انجام دادند که نتایج پژوهش نشان داد حجم آبی معادل ۲/۶ میلیون مترمکعب در داخل آبخوان ذخیره می شود که معادل ۴۴/۷ درصد کل آب تغذیه شده به آبخوان است. ملکی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهش خود آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی دشت کرمانشاه و توده بیستون- پرآو را با استفاده از مدل COP بررسی و مطالعه نمودند که نتایج آن نشان می‌دهد که ۳۱/۴ درصد مساحت منطقه در پهنه آسیب‌پذیری متوسط و۳۰/۷ درصد مساحت منطقه در پهنه آسیب‌پذیری کم واقع‌شده و ۳۷/۹ درصد در پهنه با آسیب‌پذیری خیلی کم واقع شده است. آقارضی آشتیانی و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی با عنوان تعیین علل تغییر کیفیت آب زیرزمینی با روش‌های ایزوتوپی و شیمیایی در آبخوان شبستر- صوفیان انجام دادند؛ نتایج نشان داد که آب دریاچه ارومیه عامل شوری آبخوان نیست. جعفری و خوش‌روش (۱۳۹۸) آسیب‌پذیری آبخوان شهرستان بابل را با استفاده از مدل دراستیک اصلاح‌شده بررسی و مطالعه نمودند. با در نظر گرفتن ویژگی‌های اصلی منطقه مورد مطالعه (بافت شهری و زمین های شالیزاری) شاخص دراستیک محاسبه شد که درجه آسیب پذیری آبخوان شهرستان بابل در محدوده ۱۲۷ تا ۱۷۶ قرار گرفت.

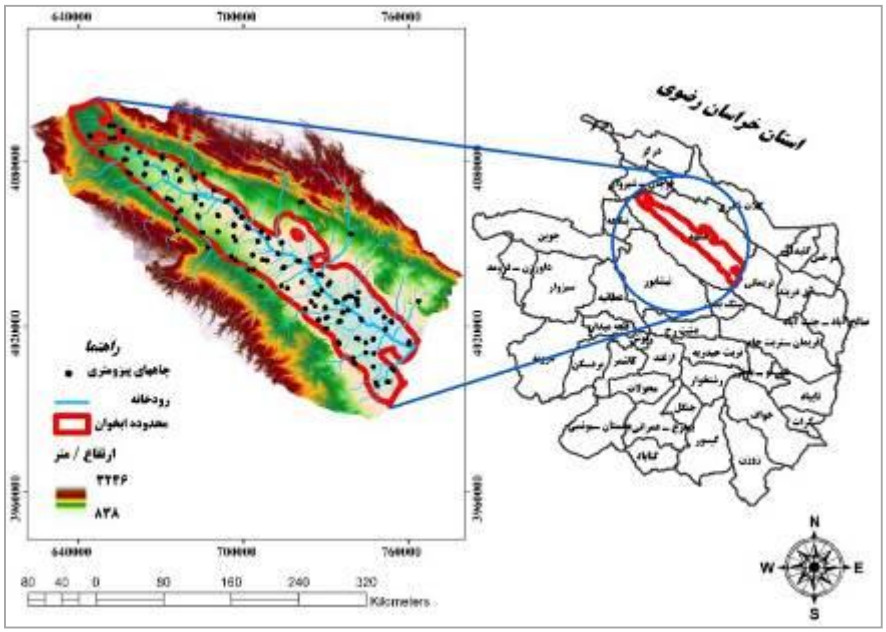
روش‌شناسی پژوهش

۱. قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

دشت مشهد به‌صورت دره‌ای وسیع در شمال شرقی ایران بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزار مسجد واقع‌شده است. آبخوان دشت مشهد با مختصات جغرافیایی ´۲۹ °۵۸ تا ´۶۵ °۵۹ طول شرقی و´۵۸ °۳۵ تا ´۰۳ °۳۷ عرض شمالی در حوضه آبریز رودخانه کشف رود واقع‌شده است. کلان‌شهر مشهد در طول شرقی´۳۰ °۵۹ تا ´۴۰ °۵۹ و ´۱۵ °۳۶ تا ´۲۰ °۳۶ عرض شمالی قرار دارد. وسعت محدوده مطالعاتی مشهد-چناران ۹۹۵۷ کیلومترمربع، وسعت آبخوان آن ۲۵۲۷ کیلومترمربع و وسعت شهر مشهد حدود ۳۵۲ کیلومترمربع می‌باشد. زهکش اصلی این محدوده رودخانه کشف رود است که از جهت شمال غرب به سمت جنوب شرق در دشت مشهد جریان دارد. در این منطقه سازندهای مختلف دوران اول تا کواترنر دیده می‌شود. دشت مشهد از آبرفت‌های کواترنر پوشیده شده است که حاصل فعالیت رودخانه کشف رود و سیلاب‌های فصلی رودخانه‌هایی نظیر رادکان، کارده، طرقبه و شاندیز است که از کوه‌های هزار مسجد و بینالود سرچشمه می‌گیرند (لشگری پور و همکاران، ۱۳۸۴). در سرتاسر دشت مشهد یک آبخوان آزاد گسترش‌یافته، که تا حاشیه ارتفاعات بینالود ادامه دارد. به علت ناهمواری سنگ کف و وجود نواحی تغذیه از کوه‌های بینالود و هزار مسجد، این آبخوان همگن نبوده و ازنظر آبدهی نیز وضع یکسانی ندارد (اکبری و همکاران، ۱۳۸۸).

[1] - Aneesh
[2] - Abu-Bakr
[3] - Bordbar

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

۲. داده‌ها و روش کار

روش‌های مختلفی برای بررسی و ارزیابی پتانسیل آلودگی در یک آبخوان وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی، روش‌های آماری و روش‌های شاخص همپوشانی اشاره کرد (الماسری و کالوراچچی[1]، ۲۰۰۵). اصولاً روش‌های شاخص و همپوشان از ترکیب پارامترهای هیدروژئولوژیک مؤثر در انتقال آلودگی به آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌شوند. در این روش‌ها برای تعیین اهمیت نسبی، هرکدام از پارامترها نسبت به سایرین ارزیابی می‌شوند. همچنین روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه شده که می‌توان آن‌ها را به سه دسته کلی شامل: رتبه دهی توصیفی، آماری و تحلیلی و روش ترکیبی تقسیم کرد (نیکنام[2] و همکاران، ۲۰۰۷). از مهم‌ترین روش‌های رتبه دهی می‌توان به روش‌های GOD، AVI، DRASTIC، SINTACS و SI اشاره نمود. این روش‌ها بر پایه تلفیق لایه‌های حاصل از پارامترهای مختلف بنا نهاده شده‌اند و اساس کار یکسانی دارند. همچنین این روش‌ها در بکارگیری نوع و تعداد پارامترها با هم تفاوت داشته ولی در نهایت منجر به ثبت یک شاخص عددی یا امتیاز برای هر ویژگی می گردند (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۹۶). در این پژوهش، ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت مشهد با مدل های DRASTIC و SI انجام شده و محیط ArcGIS به دلیل توانایی بسیار زیاد در مدیریت حجم انبوهی از داده های مکانی، جهت تحلیل پارامترهای مدل Drastic و SI و تهیه نقشه آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۱. مدل DRASTIC

یکی از روش‌های مؤثر در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، مدل DRASTIC می باشد. این مدل را سازمان حفاظت محیطزیست ایالات‌متحده امریکا، باهدف ارزیابی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی، برای سراسر ایالات‌متحده طراحی کرد. این مدل بر پایه مفهوم هیدروژئولوژیکی استوار است و در حقیقت، تمامی عوامل زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی مهمی را توصیف می‌کند که درحرکت آب‌های زیرزمینی هنگام ورود، حین عبور و بیرون از سیستم یک ناحیه تأثیر می‌گذارند و آن را کنترل می‌کنند (ون[3] و همکاران، ۲۰۰۹). روش دراستیک که یکی از متداول‌ترین روش‌های ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری ذاتی آب‌های زیرزمینی محسوب

[1] - Almasri & Kaluarachchi
[2] - Niknam
[3] - Wen

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

می‌شود، جزو روش‌های همپوشانی و شاخص است. این روش توسط آلر[1] و همکاران در سال ۱۹۸۷ باهدف ارزیابی سیستماتیک پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی توسعه یافت (استیگر[2] و همکاران، ۲۰۰۶). در این روش از پارامترهای هفت‌گانه قابل‌اندازه‌گیری برای سیستم هیدروژئولوژیکی شامل عمق سطح ایستابی(D)، تغذیه خالص(R)، محیط آبخوان(A)، محیط خاک(S)، توپوگرافی(T)، اثر محیط غیراشباع(I) و هدایت هیدرولیکی آبخوان(C) استفاده می‌شود (بابیکر[3] و همکاران، ۲۰۰۵). جهت تهیه‌ی نقشه‌ی شاخص دراستیک از معادله‌ی ۱ استفاده می‌شود:

$$DI = \sum_{j=1}^{7} r_j\, w_j = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r s_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$ رابطه (۱)

در رابطه فوق DI: شاخص دراستیک، حروف بزرگ حروف اول نام لایه‌ها، اندیس r: رتبه لایه و اندیس w: وزن لایه را معرفی می‌کنند. رتبه‌های مربوط به زیر لایه‌های هر معیار بسته به میزان تأثیر آنها بر پتانسیل آسیب پذیری از یک تا ده متغیر است. وزن هر لایه نیز مقدار ثابتی بین یک تا پنج می باشد؛ که اهمیت نسبی هر لایه را نسبت به لایه های دیگر در پتانسیل آسیب پذیری آبخوان نشان می دهد (رحمان[4]، ۲۰۰۸).

۲-۲. روش SI (شاخص حساسیت)

روشی برای ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری ویژه آبخوان است. در این روش پنج پارامتر عمق آب زیرزمینی(D)، تغذیه خالص(R)، سنگ‌شناسی آبخوان(A)، توپوگرافی(T) و کاربری اراضی(LU) برای آسیب‌پذیری آبخوان استفاده می‌شود. مهم‌ترین تفاوت این روش با روش دراستیک ورود پارامتر کاربری اراضی به آن می‌باشد. این روش در سال ۲۰۰۰ توسط ریبیرو[5] (۲۰۰۰)، با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان در مقیاس بزرگ تا متوسط ۱:۵۰۰۰۰ تا ۱:۲۰۰۰۰۰ ارائه گردیده است. در این روش پس از تهیه لایه‌های مدل SI و وزن دهی هر یک از طبقات لایه‌ها با استفاده از توابع موجود در محیط ArcGIS ، شاخص حساسیت از مجموع وزنی پارامترهای ذکرشده به دست می آید.

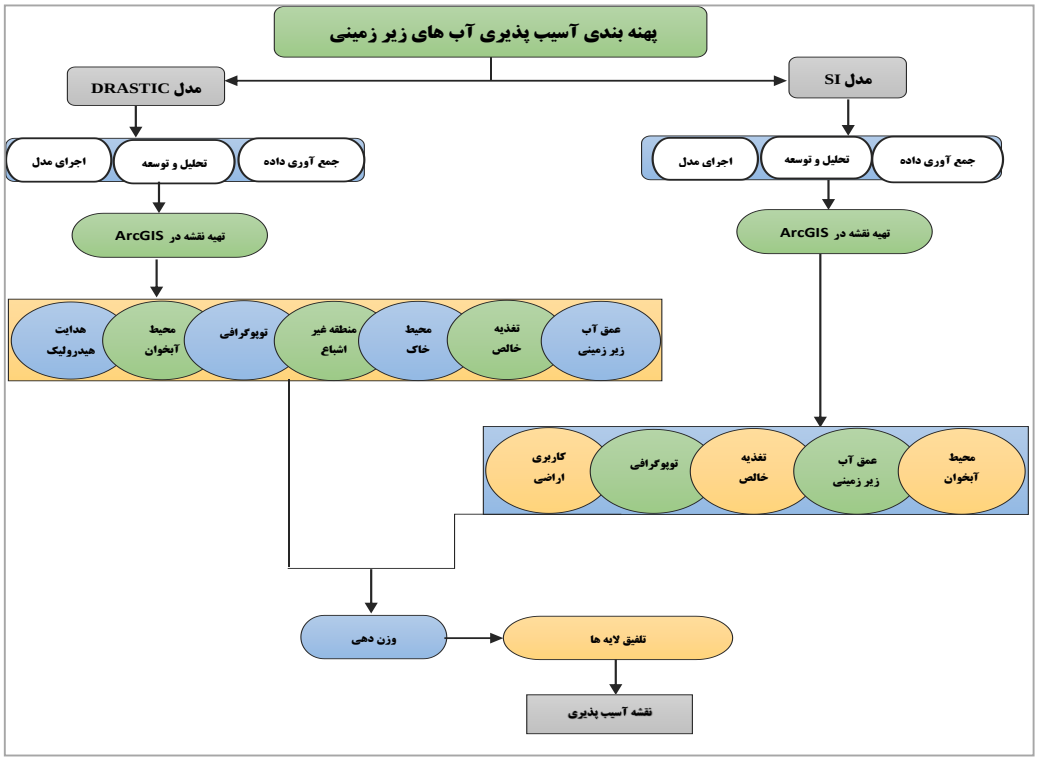
$$DI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + T_r T_w + LU_r LU_w$$ رابطه (۲)

در این رابطه SI: شاخص حساسیت، حروف بزرگ حرف اول نام لایه‌ها، اندیس r: رتبه لایه و اندیس w: وزن لایه است. مقدار عددی شاخص حساسیت می‌تواند بین صفرتا ۱۰۰ متغیر باشد (ریبیرو[6]، ۲۰۰۰).

در شکل (۲) ساختار مدل DRASTIC و SI برای ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان دشت مشهد ارائه گردیده است.

[1] - Aller
[2] - Stigter
[3] - Babiker
[4] - Rahman
[5] - Ribeiro
[6] - Ribeiro

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]



شکل ۲. ساختار مدل DRASTIC و SI برای ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان دشت مشهد

۲-۳. معرفی متغیرها و لایه های مورد استفاده در دو مدل DRASTIC و SI

۲-۳-۱. عمق آب زیرزمینی (D)

به فاصله بین سطح زمین تا سطح ایستابی آب، عمق آب زیرزمینی گفته می‌شود. به بیان دیگر، این پارامتر بیان کننده عمقی است که آلاینده باید طی کند تا به سطح ایستابی برسد(احمدی و همکاران، ۱۳۹۲). هر چه عمق آب زیرزمینی بیشتر باشد، مدت زمانی که طول می‌کشد تا آلاینده به سفره آب زیرزمینی برسد افزایش می‌یابد و مواد آلاینده نیز در خاک پخش، رقیق یا جذب می‌شوند و احتمال پالایش آلاینده‌ها افزایش می‌یابد. در نتیجه با افزایش عمق، پتانسیل آلودگی کاهش خواهد یافت (نخستین روحی و همکاران، ۱۳۹۶).

۲-۳-۲. تغذیه خالص (R)

تغذیه مقدار آبی است که در سطح زمین نفوذ می‌کند و به سطح ایستابی می‌رسد (رحمان[1]، ۲۰۰۸). در واقع تغذیه عبارت است از حجم آبی که در واحد سطح سفره برای یک دوره یک‌ساله به درون زمین وارد می‌شود. یکی از عوامل اصلی انتقال مواد آلاینده به درون زمین، حرکت عمودی آب می باشدکه با خود مواد آلاینده را شسته و به‌صورت محلول یا کلوئیدی و یا معلق به درون زمین حمل می‌کند. شدت و گذر مواد محلول به شدت و حرکت عمودی آب به درون زمین بستگی دارد (بوور[2]، ۱۹۷۸).

۲-۳-۳. محیط آبخوان (A)

این عامل به خصوصیات مواد تشکیل دهنده منطقه اشباع مانند میزان تخلخل، جنس، اندازه و جورشدگی ذرات مربوط است که میزان پویایی و تحرک آلودگی و به بیانی فرایندهای رقیق‌سازی آلودگی مانند تجزیه شیمیایی، جذب، پخش و تأخیر را کنترل می‌کند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۲). محیط آبخوان و مواد تشکیل دهنده آن تعیین کننده طول و روند مسیر سیستم جریان آب زیرزمینی در سفره است (وودوریس[3] و همکاران، ۲۰۱۰). هر چه ذرات مواد تشکیل‌دهنده محیط آبخوان دانه‌درشت باشد، میزان

[1] - Rahman
[2] - Bouwer
[3] - Voudouris

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

نفوذپذیری در این ناحیه بیشتر خواهد بود و هیچ واکنشی بین آلاینده و خاک صورت نخواهد گرفت و در نتیجه سرعت زیاد انتشار آلاینده‌ها، پتانسیل آلودگی افزایش می‌یابد (نخعی و همکاران، ۱۳۹۲).

۲-۳-۴. محیط خاک (S)

به بخش هوازده بالایی منطقه غیراشباع گفته می‌شود که تا حد نفوذ ریشه گیاهان ادامه دارد. این بخش از نظر فعالیت‌های بیولوژیکی و وجود مواد آلی اهمیت بسیاری دارد و میزان آب نفوذی و نیز نفوذ آلاینده‌ها را به داخل آبخوان کنترل می‌کند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۲). این فاکتور که برای تعیین توزیع مکانی انواع خاک در منطقه استفاده می‌شود، نشان‌دهنده بافت خاک از سطح زمین تا قسمت بالایی منطقه غیراشباع می‌باشد. لایه خاک معمولاً با ضخامتی حدود ۰/۵ تا ۲ متر به دلیل فعالیت نسبتاً زیاد میکروبی، وجود مواد آلی زیاد و وجود ریشه گیاهان، برای حذف و کاهش غلظت آلاینده‌ها پتانسیل زیادی دارد (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۰). محیط خاک برحسب رده بندی بافتی آن مشخص می‌گردد و بر اساس پتانسیل آلودگی امتیازبندی می‌شود (مردان و یارقلی، ۱۳۹۹). پتانسیل آلودگی آبخوان به خصوصیات خاک مانند نفوذپذیری، بافت و درصد مواد آلی خاک بستگی دارد (نخستین روحی و همکاران، ۱۳۹۶).

۲-۳-۵. توپوگرافی (T)

توپوگرافی به‌صورت شیب و تغییر شیب سطح زمین مورد توجه قرار می گیرد. توپوگرافی به کنترل حرکت آلودگی و یا نگهداری آن بر روی سطح زمین کمک می کند. شیب هایی که فرصت نفوذ بالاتری را فراهم می کنند، پتانسیل آلودگی بالاتری را دارند (پلیمال[1] و همکاران، ۲۰۰۲). عامل توپوگرافی، بیان‌کننده تغییرات شیب منطقه است (استیگر[2] و همکاران، ۲۰۰۶).

۲-۳-۶. منطقه غیراشباع (I)

نوع محیط منطقه غیراشباع، تعیین‌کننده خصوصیات میرایی مواد تشکیل‌دهنده منطقه خاک و سنگ‌های بالای سطح ایستابی است. محیط منطقه غیراشباع، طول مسیر و چگونگی روند حرکت آلوده‌کننده را در کنترل دارد و از این رو بر زمان لازم برای مقدار و میرایی موادی که در برخورد با آلودگی هستند، مؤثر است (پلیمال[3] و همکاران، ۲۰۰۲). محیط غیراشباع، ویژگی‌های هیدرولیکی مواد زمین‌شناسی منطقه را کنترل می‌کند که از عوامل کلیدی تعیین آسیب‌پذیری آبخوان محسوب می‌شوند (آلر[4] و همکاران، ۱۹۸۷). این لایه نشان‌دهنده جنس خاک از منطقه زیرین محیط خاک تا سطح ایستابی، یعنی ناحیه غیراشباع است. خلل و فرج این ناحیه به لحاظ آبدار بودن، غیراشباع یا نیمه اشباع است (خدائی و همکاران، ۱۳۸۵).

۲-۳-۷. هدایت هیدرولیکی (C)

هدایت هیدرولیکی توانایی محیط آبخوان برای انتقال آب و مواد آلاینده همراه آن است. این پارامتر انتقال و پراکندگی آلاینده را از نقطه تزریق در داخل منطقه اشباع کنترل می‌کند (رحمان[5]، ۲۰۰۸). برای تهیه نقشه هدایت هیدرولیکی، ضریب قابلیت انتقال بر ضخامت لایه اشباع تقسیم می‌شود. ضریب انتقال یا قابلیت انتقال یک لایه آبدار عبارت است از مقدار آبی که از یک واحد سطح مقطع لایه آبدار تحت شیب هیدرولیکی واحد عبور می‌کند و واحد آن مترمربع در روز (متر در روز در هر متر ضخامت لایه) است. در مفهوم ضریب انتقال فرض می‌شود که حرکت آب در آبخوان به‌صورت افقی است (علیزاده[6]، ۲۰۱۱). به‌طورکلی با توجه به اینکه در آزمایش‌های پمپاژ، مقدار پارامتر ضریب قابلیت انتقال آب اندازه‌گیری می‌شود، لذا با استفاده از ضخامت اشباع آبخوان، مقدار هدایت هیدرولیکی از تقسیم ضریب قابلیت انتقال آب بر ضخامت اشباع به دست می‌آید (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

۲-۳-۸. کاربری اراضی (LU)

[1] - Plymale
[2] - Stigter
[3] - Plymale
[4] - Aller
[5] - Rahman
[6] - Alizadeh

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

در دهه های اخیر، از میان نگرانی ها در زمینهٔ تغییرات محیط زیست جهانی، مسائل مربوط به تغییر کاربری درگذر زمان، از مهمترین دغدغه ها است. افزایش آلاینده های شیمیایی شهری و صنعتی و شیوه های نوین کشاورزی و تغییر کاربری از تهدیدات جدی محیط زیست به حساب می آیند. (پورمقدس[1]، ۲۰۰۲) از این رو در مناطق خشک و نیمه خشک که وابستگی به منابع آب زیرزمینی بیشتر است، اثر تخریبی کیفیت این منابع به علت ضعف طبیعی در منابع آب و خاک شدت بیشتری خواهد داشت (یزدان پناهی و همکاران، ۱۳۹۷). برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI، گذر ۱۵۹ و ردیف ۳۴ و ۳۵، مربوط به ۱۴ می ۲۰۲۱ (۲۴ اردیبهشت۱۴۰۰) و با قدرت تفکیک مکانی۳۰ متر استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

برای رسیدن به اهداف تحقیق و تهیه هر یک از لایه‌های استفاده شده در مدل DRASTIC و SI، از سیستم اطلاعات جغرافیایی و فناوری سنجش از دور استفاده شد که در ادامه، چگونگی تهیه هر یک از لایه ها تشریح شده است. در جدول (۱) وزن هریک از طبقات لایه‌های استفاده شده در روش DRASTIC ارائه گردیده است. همچنین چهار پارامتر محیط اشباع، عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص و توپوگرافی در روش SI مانند روش دراستیک رتبه بندی شده اند و تنها تفاوت آن ها در این است که در روش SI، رتبه‌های زیر معیارهای این لایه‌ها در عدد ۱۰ ضرب گردیده اند؛ (یعنی اگر رتبه یکی از زیر بخش‌های لایه‌ای در روش دراستیک ۳ باشد در روش SI به ۳۰ تبدیل می‌شود). در واقع رتبه زیربخش‌های لایه‌های روش SI بین صفرتا ۱۰۰ متغیر است.

۱. عمق آب زیرزمینی (D)

لایه عمق آب زیرزمینی با استفاده از روش درون یابی IDW به دلیل دقت بیشتر نسبت به سایر روش‌ها در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. مطابق جدول (۱) این لایه به ۷ محدوده از ۲۵-۰ الی ۱۳۴/۵- ۹۲ طبقه بندی شده و برای هر یک از محدوده ها وزن متناسب از ۱ تا ۱۰ ثبت شده است.

۲. تغذیه خالص (R)

در تحقیق حاضر از روش پیسکوپو[2] برای تهیه لایه تغذیه خالص استفاده شد. این روش سه عامل بارندگی، شیب (درصد) و نفوذپذیری خاک را مد نظر قرار می‌دهد. برای تهیه نقشه بارندگی از آمار متوسط بارندگی سالانه ایستگاه‌های موجود در منطقه و روش درون‌یابی IDW به دلیل دقت بیشتر استفاده شد. نقشه شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاع تهیه شد و نقشه نفوذپذیری خاک نیز بر اساس نقشه خاک منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. رتبه‌بندی نقشه‌های نفوذپذیری خاک، بارش، شیب و تغذیه خالص در جدول (۱) ارائه شده است. مطابق این جدول رتبه ۱ به نقشه بارندگی اطلاق شد، چراکه متوسط بارندگی منطقه ۲۷۶ میلی‌متر در سال است. در نهایت، بر اساس معادله پیسکوپو نقشه‌های رتبه‌بندی شیب و نفوذپذیری و رتبه بارش یعنی ۱ در محیط نرم‌افزار ArcGIS جمع شده و نقشه تغذیه حاصل شد.

جدول ۱. رتبه‌بندی لایه تغذیه خالص (پیسکوپو[3]، ۲۰۰۱)

نفوذپذیری خاک		بارندگی / میلی‌متر		شیب / درصد		تغذیه خالص	
فاکتور	دامنه / درصد	فاکتور	دامنه / درصد	فاکتور	دامنه / درصد	فاکتور	دامنه / درصد
۵	بالا	۴	۸۵۰>	۴	۲<	۱۰	۱۳-۱۱
۴	نسبتا بالا	۳	۸۵۰-۷۰۰	۳	۱۰-۲	۸	۱۱-۹
۳	متوسط	۲	۷۰۰-۵۰۰	۲	۳۳-۱۰	۵	۹-۷
۲	کند	۱	۵۰۰<	۱	۳۳>	۳	۷-۵
۱	خیلی کند	-	-	-	-	۱	۵-۳

[1] - Pourmoghadas
[2] - Piscopo
[3] - Piscopo

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

۳. محیط آبخوان (A)

برای تهیه نقشه این فاکتور از اطلاعات مربوط به جنس طبقه اشباع در ۳۹ مقطع حفاری و لوله گذاری و کاوش‌های ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی در محدوده مورد مطالعه استفاده شد. محیط آبخوان منطقه مورد مطالعه از شن، ماسه، رس، شیل، سیلت، گراول و آهک تشکیل شده است و هر یک بر حسب میزان نفوذپذیری وزن دهی شده است که در جدول (۱) ارائه گردیده است. ذرات دانه درشت مانند شن و گراول، وزن بالاتر و ذرات ریزدانه تر مانند رس و سیلت وزن کمتری به خود اختصاص داده اند. در مناطقی با میزان نفوذپذیری بالاتر، هیچ واکنشی بین آلاینده و خاک به جود نمی آید و به علت سرعت زیاد انتشار آلاینده‌ها، پتانسیل آلودگی بیشتر می باشد.

۴. محیط خاک (S)

در این تحقیق برای تهیه نقشه خاک از نتایج تجزیه تحلیل ۳۹ پروفیل برداشت شده از منطقه استفاده گردید. محیط خاک برحسب رده بندی بافتی آن مشخص شده و بر اساس پتانسیل آلودگی امتیازبندی گردیده است. محیط خاک در محدوده مطالعاتی از رسی با وزن ۱ تا لومی–ماسه ای با وزن ۵ طبقه بندی شده است. با توجه به اینکه پتانسیل آلودگی آبخوان به خصوصیات خاک مانند نفوذپذیری، بافت و درصد مواد آلی خاک بستگی دارد، وجود مواد با بافت ریزدانه نظیر سیلت و رس، تراوایی نسبی خاک را کاهش داده و حرکت آلوده‌کننده‌ها را محدود ساخته اند و مواد درشت دانه مانند ماسه حرکت آلاینده را در بخش هایی از محدوده مطالعاتی تسهیل نموده است.

۵. توپوگرافی (T)

در این تحقیق نقشه شیب با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع باقدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. متوسط درصد شیب بین دو نقطه از تقسیم فاصله عمودی بر فاصله افقی بین آن‌ها و ضرب این مقدار در عدد ۱۰۰ حاصل شده است. با توجه به عامل توپوگرافی، شیب هایی که فرصت نفوذ بالاتری را فراهم می کنند، پتانسیل آلودگی بالاتری نیز دارند.

۶. منطقه غیراشباع (I)

برای تهیه نقشه این پارامتر از داده‌های مربوط به جنس خاک منطقه غیر اشباع در ۳۹ مقطع حفاری و لوله گذاری در دشت مشهد استفاده شد. نحوه تهیه اطلاعات مربوط به منطقه غیراشباع همانند محیط آبخوان بوده است با این تفاوت که در این مورد، دانه بندی و خصوصیات رسوبات مابین سطح آب زیرزمینی و سطح زمین مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس هر چه منطقه غیر اشباع نفوذپذیری بیشتری داشته است، واکنش کمتری بین آلاینده‌ها و ذرات خاک شکل گرفته و سرعت شستشو به سمت آبخوان سریعتر و بیشتر شده است؛ بنابراین نتیجه پتانسیل آلودگی افزایش پیدا کرده است. مطابق آنچه که در جدول (۱) نیز قابل مشاهده است سازندهای محدوده مطالعاتی شامل رس، مارن و سیلت (وزن ۱)، شیل (وزن ۶)، ماسه و شن (وزن ۸) و سازند گراول (وزن ۱۰) می باشد، بنابراین میزان نفوذپذیری در مناطقی با سازند گراول بیش از سایر نقاط می باشد.

۷. هدایت هیدرولیکی (C)

در این پژوهش برای تهیه نقشه هدایت هیدرولیکی، ضریب قابلیت انتقال بر ضخامت لایه اشباع تقسیم شده است. نقشه قابلیت انتقال از نتایج آزمایش‌های پمپاژ و با استفاده از روش درون‌یابیIDW به دست آمد. نقشه ضخامت لایه اشباع نیز از درون‌یابی داده‌های مربوط به عمق ناحیه اشباع حاصل از مقاطع حفاری به روش IDW حاصل شد. بر این اساس هدایت هیدرولیکی منطقه مطالعاتی به ۶ محدوده از ۱/۳–۰/۰۱ تا بیش از ۲۴/۲ و با وزن دهی از ۱ تا ۱۰ مطابق جدول (۲) بدست آمد.

جدول ۲. رتبه و وزن پارامترهای مدل دراستیک

عمق آب زیرزمینی							
محدوده	۰–۲۵	۲۵–۳۹	۳۹–۵۰	۵۰–۶۳	۶۳–۷۷	۷۷–۹۲	۹۲–۱۳۴/۵
رتبه	۱۰	۹	۷	۵	۳	۲	۱

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

عمق آب زیرزمینی							
توپوگرافی / درصد							
محدوده	۰-۲	۲-۶	۶-۱۲	۱۲-۱۸	۱۸<	-	
رتبه	۱۰	۹	۵	۳	۱	-	
هدایت هیدرولیکی / متر در روز							
محدوده	۰/۰۱ -۱/۳	۱/۳ -۳/۹	۸/۶-	۸/۶ -۱۳	۱۳ -۲۴/۲	۲۴/۲ <	-
رتبه	۱	۲	۴	۶	۸	۱۰	-
محیط خاک							
لایه	رسی	لومی رسی	لومی	لومی ماسه	لوم سیلتی	سیلتی	-
رتبه	۱	۲	۴	۵	۳	۲	-
محیط غیراشباع							
نوع	شن	رس	گراول	ماسه	شیل	مارن	سیلت
رتبه	۸	۱	۱۰	۸	۶	۱	۱
محیط اشباع							
نوع	شن	ماسه	رس	گراول	شیل	آهک	سیلت
رتبه	۸	۸	۱	۱۰	۳	۳	۱

۸. کاربری اراضی (LU)

برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI، گذر ۱۵۹ و ردیف ۳۴ و ۳۵، مربوط به ۱۴ می ۲۰۲۱ (۲۴ اردیبهشت ۱۴۰۰) و باقدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد. محدوده مورد مطالعه دارای کاربری های زراعت دیم، مراتع، مراکز جمعیتی، زراعت آبی و باغ، جنگل و رودخانه می‌باشد. بیشترین رتبه به کاربری کشاورزی داده شده است، چراکه کودهای شیمیایی استفاده شده در مزارع توسط آب آبیاری و بارندگی شسته شده و براحتی در سطح زمین نفوذ می‌کنند. شیب کم در این نواحی نیز نفوذ آلاینده‌ها را آسان می‌کند. مناطق مسکونی، تأسیسات صنعتی و جاده‌ها در دومین رتبه از لحاظ افزایش پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان قرار دارند. این می‌تواند به دلیل آلودگی های ناشی از عوامل انسانی باشد. همچنین رودخانه به دلیل نفوذپذیری بسیار اندک رتبه صفر را از لحاظ افزایش پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان به خود اختصاص داده است. رتبه‌بندی غیر معیارهای این پارامتر در جدول (۳) نشان داده‌شده است.

جدول (۳) رتبه‌بندی کاربری اراضی در مدل شاخص حساسیت (استیگر[1] و همکاران، ۲۰۰۶)

نوع کاربری اراضی		رتبه
مناطق کشاورزی	محیط های آبیاری(محصولات سالیانه)، مزارع برنج	۹۰
	محصولات دائمی(باغستان، تاکستان)	۷۰
	مناطق کشاورزی ناهمگن	۵۰
	مراتع و نواحی جنگلی-کشاورزی	۵۰
مناطق مصنوعی (ساخته انسان)	ضایعات صنعتی، محل های دفن زباله	۱۰۰
	معادن سنگ، کارخانه‌های کشتی‌سازی، معادن صحرایی	۸۰
	مناطق شهری پیوسته، فرودگاه، بندرها، جاده، راه‌آهن، مناطق صنعتی و تجاری خارج از فضای سبز	۷۵
	مناطق شهری ناپیوسته	۷۰
مناطق طبیعی	محیط های آبی(باتلاق‌های نمک، دریاچه نمک، نواحی جذر و مدی)	۵۰
	جنگل‌ها و نواحی نیمه طبیعی	۰
	مناطق آبی	۰

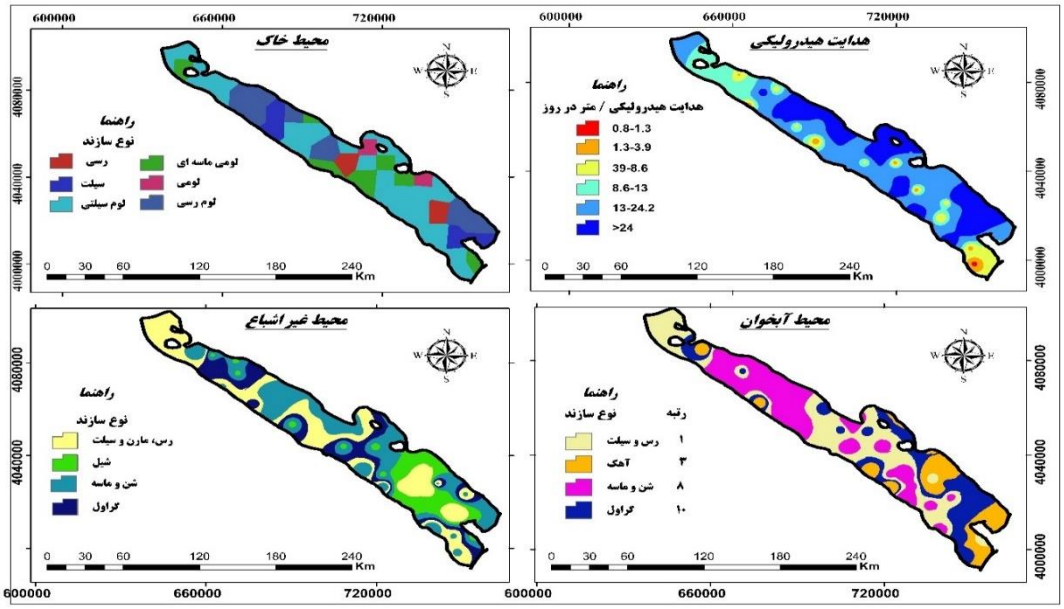
[1] - Stigter

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

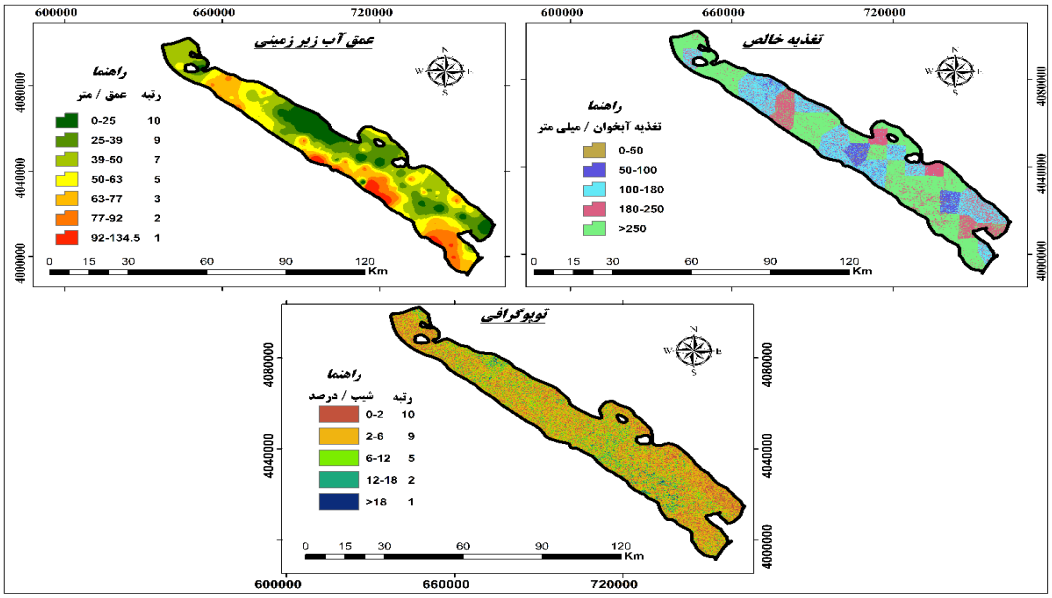
در اشکال (۳)، (۴) و (۵) هر یک از لایه‌های مدل DRASTIC و SI و رتبه هریک از طبقات نشان داده شده است. پس از تهیه هر یک از لایه های مدل DRASTIC و SI برای تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان، لایه‌های هر مدل در محیط نرم‌افزار ArcGIS باهم تلفیق شد و نقشه نهایی به دست آمد شکل (۶). سپس مساحت هر یک از طبقات محاسبه گردید جدول (۴).

جدول ۴. مساحت و درصد طبقات آسیب‌پذیری در نقشه‌های مدل SI و DRASTIC

مساحت / درصد	مساحت /Km^2	مدل DRASTIC و SI	مساحت /Km^2	مساحت / درصد
۲۱/۸۵	۵۹۳/۴	خیلی کم	۱۰/۹	۰/۴
۳۲/۰۹	۸۷۱/۶	کم	۶۶۹/۵۴	۲۴/۶۳
۳۱/۰۵	۸۵۴/۰۳	متوسط تا کم	۶۵۱/۹	۲۳/۹۸
۱۴/۵۹	۳۹۶/۴	متوسط تا زیاد	۵۰۸/۵	۱۸/۷۱
–	–	زیاد	۸۷۶/۵۷	۳۲/۲۵

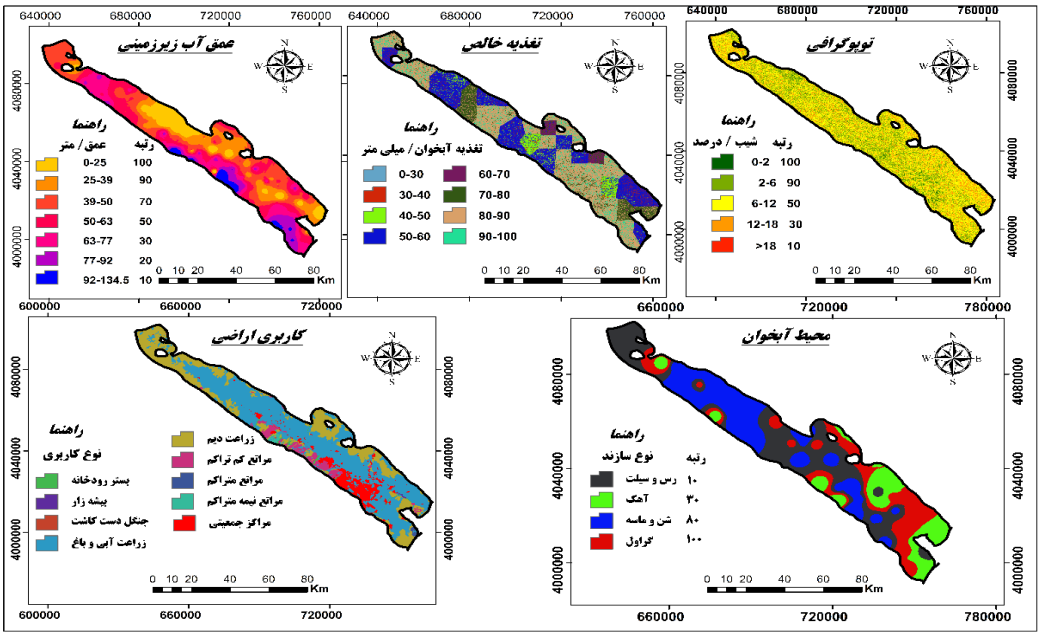


شکل ۳. نقشه لایه‌های DRASTIC



شکل ۴. نقشه لایه‌های DRASTIC

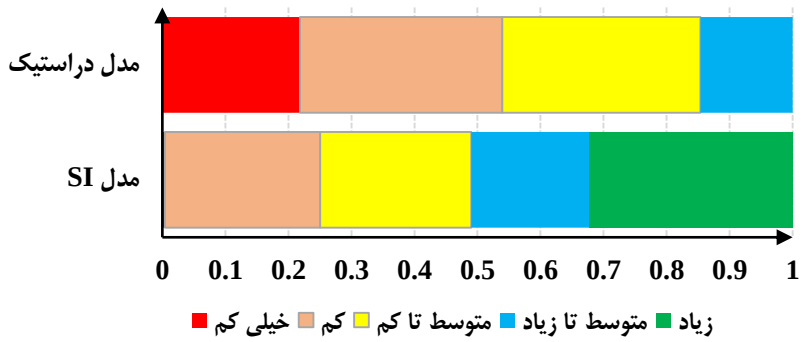
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]



شکل ۵. نقشه لایه‌های SI

شکل ۶. نقشه پهنه بندی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان دشت مشهد

بر اساس نتایج حاصل از مدل دراستیک منطقه مورد مطالعه در چهار پهنه با آسیب پذیری خیلی کم، کم، متوسط تا کم و متوسط تا زیاد قرار گرفت که به ترتیب ۲۱/۸۵، ۳۲/۰۹، ۳۱/۰۵ و ۱۴/۵۹ درصد از منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. همچنین بر اساس نتایج مدل شاخص حساسیت آبخوان دشت مشهد که از ترکیب خطی پارامترهای مدل SI ایجاد شد، نقشه آسیب پذیری در پنج پهنه با آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط تا کم، متوسط تا زیاد و زیاد تهیه شد که به ترتیب ۰/۴، ۲۴/۶۳، ۲۳/۹۸، ۱۸/۷۱ و ۳۲/۲۵ درصد از این منطقه را شامل می گردد. با مقایسه دو مدل مشخص می شود که در مدل دراستیک بیشترین مساحت این آبخوان از نظر آسیب‌پذیری در پهنه کم و متوسط تا کم قرار می‌گیرد در حالیکه در مدل شاخص حساسیت بیشترین مساحت منطقه مورد مطالعه در پهنه متوسط تا زیاد و زیاد قرار می‌گیرد اما از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین محدوده های آسیب پذیری در هر دو مدل تطبیق وجود دارد. شکل (۷).



شکل ۷. نمودار مقایسه نتایج حاصل از مدل دراستیک و شاخص حساسیت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

صحت سنجی نقشه های آسیب پذیری DRASTIC و SI

به‌طورکلی، غلظت مقادیر TDS کل مواد جامد محلول در آب‌های زیرزمینی آلوده و قابل شرب به ترتیب زیاد و نسبتاً کم است (اوزلر[1]، ۲۰۰۳؛ محمدی[2] و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین، برای صحت سنجی نقشه‌های آسیب‌پذیری تهیه شده از هر دو مدل، ضریب همبستگی بین نقشه‌های آسیب‌پذیری و شاخص کیفی TDS محاسبه شد. اطلاعات مربوط به مقادیر TDS چاههای پیزومتری منطقه از اداره آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی تهیه شد. لایه TDS مطابق طبقه بندی (تاد[3]، ۱۹۸۰)، به دوطبقه ۰- ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر(نشان‌دهنده آب شیرین) و ۱۰۰۰- ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر(بیان‌کننده آب شور و آلوده) تقسیم شد. در تحقیق حاضر، از روش آماری و محاسبه ضریب همبستگی بین نقشه‌های آسیب‌پذیری و لایه TDS در محیط نرم‌افزار TerrSet انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد هر دو مدل دقت بالایی در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت مشهد دارند (جدول ۵).

جدول ۵. ضریب همبستگی مقادیر TDS با نقشه‌های آسیب‌پذیری DRASTIC و SI

مدل	ضریب همبستگی
DRASTIC	۰/۹۹۶
SI	۰/۹۹۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مطالعه انجام شده بر روی آبخوان دشت مشهد، بر اساس مدل دراستیک قسمت‌های شمال غربی، مرکزی و جنوب شرقی محدوده مطالعاتی جزو نواحی با آسیب‌پذیری خیلی کم و کم می‌باشند و سایر نواحی دارای آسیب‌پذیری متوسط تا کم و متوسط تا زیاد می‌باشند. بر اساس مدل SI قسمت‌های شمال غربی، جنوب شرقی و قسمت‌هایی از نواحی مرکزی محدوده مطالعاتی جزو نواحی با آسیب‌پذیری کم و متوسط تا کم می‌باشد. حدفاصل قسمت جنوبی تا شمالی محدوده مطالعاتی عموماً آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد و زیاد را نشان می‌دهد و فقط لکه‌های بسیار کوچکی به صورت پراکنده در نواحی جنوب غربی محدوده آسیب‌پذیری خیلی کم دارند. با مقایسه دو مدل مشخص می‌گردد که در مدل دراستیک بیشترین مساحت این آبخوان از نظر آسیب پذیری در پهنه متوسط تا کم قرار می‌گیرد در حالیکه در مدل شاخص حساسیت بیشترین مساحت منطقه مورد مطالعه در پهنه آسیب پذیری زیاد قرار می گیرد ولی از لحاظ موقعیت پهنه های آسیب پذیر، هر دو مدل با یکدیگر تطبیق مشخصی دارند. علت تفاوت در وسعت پهنه های آسیب پذیر در دو مدل مذکور، تفاوت در نوع و تعداد عوامل مورد بررسی در هر یک از مدلهای دراستیک و SI می باشد شکل (۷). به طور کلی می توان گفت که میزان آسیب پذیری آبخوان از سمت جنوب شرق به شمال غرب افزایش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان به مسیر جریان آب زیرزمینی که از شرق به غرب می باشد و همچنین زیاد بودن سطح ایستابی در این مناطق نسبت داد. همچنین به طور کاملا مشخصی پهنه های با آسیب پذیری متوسط، متوسط تا زیاد و زیاد در انطباق با کاربری های زراعت آبی و باغات و مراکز جمعیتی و صنعتی می باشند. از لحاظ جنس رسوبات در محیط آبخوان، محدوده های شنی و ماسه ای به علت نفوذپذیری بیشتر، آسیب پذیری متوسط تا زیاد را نشان می دهند در حالیکه در محدوده های رس و سیلتی کمترین میزان آسیب پذیری را شاهد می باشیم. نتایج صحت سنجی نشان داد هر دو مدل DRASTIC و SI دقت بالایی در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت مشهد دارند به‌طوری‌که ضریب همبستگی نقشه‌های آسیب‌پذیری با شاخص کیفی TDS در مدل دراستیک (۰/۹۹۶) و در مدل SI (۰/۹۹۵) می‌باشد؛ بنابراین می‌توان از نتایج پژوهش زیر در ارزیابی‌های زیست‌محیطی و تحلیل آلودگی‌های مختلف مورد استفاده قرار داد و مبنای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی قرار داد.

[1] - Ozler
[2] - Mohammadi
[3] - Todd

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پتانسیل آلودگی آبخوان دشت مشهد نسبتاً بالا می باشد. از آنجائی که تغییرات کوچک در یک سیستم آسیب‌پذیر، تخریب بزرگ ایجاد می‌کند (فولک[1]، ۲۰۰۶).

به منظور حفاظت و مدیریت بهینه این منابع با ارزش و جلوگیری از آلودگی بیشتر آبخوان دشت مشهد، انجام اقدامات زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. جهت پیشگیری از شدت بیشتر آسیب کیفی آبخوان، مانیتورینگ دقیق و مداوم مقادیر آلاینده‌ها به‌ویژه نیترات و تعیین حریم کیفی منابع آب با بررسی‌های کارشناسی بیشتری در سطح دشت و آبخوان انجام شود که از این طریق بتوان مدل آلودگی منطقه‌ای را به‌روزرسانی و تدقیق نمود.
۲. با توجه به تاثیر زیان بار آلودگی برکیفیت آب زیرزمینی کاهش استفاده از سموم و کودهای شیمیایی و نیتراته به‌ویژه در مناطق با آسیب‌پذیری بالا لحاظ گردد و نیز نسبت به کنترل آلودگی‌های کشاورزی، صنعتی، خانگی، بیمارستانی و... (مطابق با برنامه پایش مدیریت کیفی، کنترل و پیشگیری از آلودگی منابع آب) اقدام گردد.
۳. از ایجاد واحدهای صنعتی مولد آلودگی و واحدهای جدید در پهنه‌های با آسیب‌پذیری بالا جلوگیری شده و سیستم دفع فاضلاب صنعتی، دفن و حتی بازیافت پسماندهای صنعتی، شهری و روستایی مطابق استانداردها انجام شود.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه مطابق با شیوه‌های پژوهش اخلاقی انجام شده است. تمام داده‌های استفاده شده در این تحقیق از منابع عمومی در دسترس یا توسط مؤسسات مجاز تأمین شده‌اند. هیچ انسانی یا حیوانی در این مطالعه درگیر نبود و بنابراین نیازی به اخذ تأییدیه اخلاقی نبود.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به یک اندازه مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر از حمایت مالی برخوردار نبوده است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

منابع

احمدی، جعفر؛ آخوندی، لیلی؛ عباسی، هادی؛ خاشعی سیوکی، عباس و علیمددی، مجتبی (۱۳۹۲). تعیین آسیب پذیری آبخوان با استفاده از مدل دراستیک و اعمال آنالیز حساسیت تک پارامتری و حذف (مطالعه موردی: دشت سلفچگان–نی زار). *نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک*، ۲ (۳)، ۲۷–۱.

اصغری مقدم، اصغر؛ قره خانی، مریم؛ ندیری، عطاالله و گرد، مهدی (۱۳۹۶). ارزیابی آسیب پذیری ذاتی آبخوان دشت اردبیل با استفاده از روش های DRASTIC، SINTACS، SI. جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۱ (۶۱)، ۷۴–۵۷.

اکبری، مرتضی؛ جرگه، محمدرضا و مدنی سادات، حمید (۱۳۸۸). بررسی افت سطح آب های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیای (GIS) (مطالعه موردی: آبخوان دشت مشهد). *پژوهش های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۱۶ (۴)، ۶۳–۷۸

[1] - Folke

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]
[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

امیراحمدی، ابوالقاسم؛ آب باریکی، زکیه و ابراهیمی، مجید (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت داورزن به روش دراستیک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). *مطالعات جغرافیای مناطق خشک، ۶، ۶۶-۵۱*

آقارضی آشتیانی، مهرناز؛ رحمتی، سیده هدی؛ خلج امیر حسینی، یوسف؛ فریدونی، فرشید و بالدرره، ورنر (۱۳۹۸). تعیین علل تغییر کیفیت آب زیرزمینی با روش های ایزوتوپی و شیمیایی در آبخوان شبستر – صوفیان. *نشریه آب و فاضلاب*، ۳۰ (۳)، ۹۸-۸۷.

جعفری؛ فاطمه صیادی و خوش روش، مجتبی (۱۳۹۸). بررسی آسیب پذیری آبخوان شهرستان بابل با کمک مدل دراستیک اصلاح شده و سامانه اطلاعات جغرافیایی. *نشریه آب و خاک*، ۲۹ (۱)، ۸۲-۶۹.

حسین زاده، منصوره؛ افراسیاب، پیمان؛ خاشعی سیوکی، عباس؛ رمضانی، یوسف و دلبری، معصومه (۱۳۹۵). بررسی تأثیر کاربری اراضی بر آسیب پذیری آبخوان با استفاده از روش دراستیک و ANP (مطالعه موردی: دشت مشهد). *چهارمین همایش ملی کاربرد فناوریهای نوین در علوم مهندسی دانشگاه تربت حیدریه.*

خدائی، کمال؛ شهسواری، علی اکبر و اعتباری، بهروز (۱۳۸۵). ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت جوین به روش های DRASTIC و GODS، *زمین شناسی ایران*، ۲ (۴)، ۸۷-۷۳

شکاری تپه، رضا، پرویشی، علیرضا و قنبرزاده لک، مهدی (۱۴۰۰). مدلسازی و ارزیابی سیلاب در آبخوان با استفاده از کد MODFLOW (مطالعه موردی: آبخوان دشت سلماس). *نشریه تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۷ (۳)، ۳۷۷-۳۶۰.

فعال، فاطمه، غفوری، حمیدرضا و اشرفی، سیدمحمد (۱۴۰۰). کاربرد تغذیه سطحی آبخوان در اصلاح روش GALDIT برای ارزیابی خطر پیشروی آب شور در آبخوان قم. نشریه آب و فاضلاب. ۳۲ (۳)، ۱۱۲-۹۴.

قنبریان، مجید و احمدی ندوشن، مژگان (۱۳۹۷). ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت لردگان با استفاده از مدل های GODS، AVI و DRASTIC. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*، ۴ (۴).

لشگری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد؛ سویزی، زینب و پیوندی، زکیه (۱۳۸۴). افت سطح آب زیر زمینی و نشست زمین در دشت مشهد. *نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران*. تهران.

مردان، حجت اله و یارقلی، بهمن (۱۳۹۹). پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت آبرفتی اردبیل با استفاده از تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل دراستیک. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲ (۶).

ملکی، امجد؛ باقری سیدشکری، سجاد و مطاعی، سارا (۱۳۹۸). ارزیابی آسیب پذیری آبخوانهای کارستی دشت کرمانشاه و توده بیستون – پرآو با استفاده از مدل COP، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۹ (۵۲)، ۱۵۴-۱۲۹.

نخستین روحی، مهسا؛ رضائی مقدم، محمدحسین و رحیم پور، توحید (۱۳۹۶). پهنه بندی آسیب پذیری آب های زیرزمینی با استفاده از مدل DRASTIC و SI در محیط GIS (مطالعه موردی دشت عجب شیر). نشریه اکوهیدرولوژی، ۴ (۲)، ۵۹۹-۵۸۷.

نخعی، محمد؛ امیری، وهاب و رحیمی شهر بابکی، مهدی (۱۳۹۲). ارزیابی آلودگی و آنالیز حساسیت آب زیرزمینی در آبخوان خاتون آباد با استفاده از مدل دراستیک مبتنی بر GIS، زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ۳ (۸)، ۱۰-۱.

یزدان پناهی، علی؛ احمدالی، خالد؛ گل افشانی، مهدی و حیدری علمدارلو، اسماعیل (۱۳۹۷). بررسی اثر کاربری اراضی بر تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مشهد). علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۴۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]

[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

References

Abu-Bakr, H. A. E. A. (2020). Groundwater vulnerability assessment in different types of aquifers. *Agricultural Water Management*, 240, 106275.

Alizadeh, A. (2011). *Principles of applied Hydrology*. 33nd edition, Mashhad, Imam Reza University Press (In Persian)

Aller, L. (1985). DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. *Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory*. Office of Research and Development. US Environmental Protection Agency

Aller, L; Bennet, T., Lehr, J.H., Petty, R.J & Hackett, G. (1987). DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings, EPA/600/2-87/035, U.S. *Environmental Protection Agency*. Ada, Oklahoma, 19-25.

Almasri, M. (2008). Assessment of Intrinsic Vulnerability to Contamination for Gaza Coastal Aquifer. Palestine, *Journal of Environmental Management*. 88, 577-593

Almasri, M.N & Kaluarachchi, J.J. (2005). Modular neural networks to predict the nitrate distribution in ground water using the on- ground nitrogen loading and recharge data. *Environmental Molelling& Software*. 22, 851- 871.

Aneesh T., DaNair, A. M., Prasad, K. R., & Srinivas, R. (2022). Groundwater vulnerability assessment of an urban coastal phreatic aquifer in India using GIS-based DRASTIC model. *Groundwater for Sustainable Development*, 100810.

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.

Bordbar, M., Neshat, A., & Javadi, S. (2019). A new hybrid framework for optimization and modification of groundwater vulnerability in coastal aquifer. *Environmental Science and Pollution Research*. 26(21), 21808-21827.

Bouwer, H. (1978). Groundwater Hydrology. *McGraw-Hill Company*. New York. 480

Brand, F.S., & Jax, K. (2007). Focusing the Meaning(s) of Resilience: Resilience as a Descriptive Concept and a Boundary Object. *Ecology and Society*. 12, 23

Civita, M. (1994). Le carte della vulnerabilit`a degli acquiferi all'inquinamiento: Teoria e pratica (Contamination Vulnerability Mapping of the Aquifer: Theory and Practice). *Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale*, Pitagora.

Folke, C. (2006). Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267.

Gallopín, G. C., (2006).Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity, *Global Environmental Change*.16(16).293-303

Mohammadi, Z., Zare, M., & Sharifzade, B. (2012). Delineation of groundwater salinization in a coastal aquifer, Bousheher, South of Iran. *Environmental Earth Sciences*. 67(5), 1473-1484

Niknam, R., Mohammadi, K., & Johari, M. V. (2007). Groundwater Vulnerability Evaluation of Tehran-Karaj Aquifer Using DRASTIC Method and Fuzzy Logic. *Iran Water Resources Research*. 2, 39-47.

Ozler, M. H. (2003). Hydrochemistry and salt-water intrusion in the Van aquifer, east Turkey. *Environmental Geology*, 43(7), 759-775.

Piscopo, G. (2001). Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW, *Department of Land and Water Conservation*, Australia.

Plymale C.L., & Angle M.P. (2002). Groundwater Pollution Potential of Fulton County. Ohio. Ohio Department of Natural Resources Division of Water. Water Resources Section. *Groundwater Pollution Potential*, Report (45).

Pourmoghadas, H. (2002). A study of ground water quality in Lenjana township of Isfahan province. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*, 4, 31-40. (In Persian)

Rahman, A. (2008). A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh. India. *Applied geography*. 28(1), 32-53

Ribeiro, L. (2000*). SI: a new index of aquifer susceptibility to agricultural pollution*. ERSHA/CVRM, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]

[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

Samadi, J. (2015). Assessment of Kashan Aquifer-Land Use Composite Vulnerability Impact on Groundwater Pollution Using DRASTIC Method and Degradation Model. *IranWater Resources Research*. 11(1), 13-21 (in Persian)

Stigter, T. Y., Ribeiro, L., & Dill, A. M. M. (2006). Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal. *Hydrogeology journal*. 14(1), 79-99.

Thapinta, A., & Hudak, P. (2003). Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential by pesticides in Central Thailand. *Environmental International*. 29, 87-93

Todd, P.K. (1980). Ground water, Hydrology. *Kluwer Academic Publisher*.

Turner (2003). *A framework for vulnerability analysis in sustainability science*, Proc. Nat. Acad. Sci, 100 (14), 8074-8079.

Voudouris, K., Nazakis, N., Polemio, M., & Kareklas, K. (2010). Assessment of intrinsic vulnerability using the DRASTIC model and GIS in the Kiti aquifer. Cyprus. *European Water*. 30,13-24

Wen, X., Jun, W., & Jianhua, Si. (2009). A GIS-based DRASTIC model for assessing shallow groundwater vulnerability in the Zhangye Basin. northwestern China. *Environmental Geology*. 57,1435–1442.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]

[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.2.1.0]

[DOI: 10.61882/jsaeh.12.46.795.1]