

Research Article

Vulnerability zoning of the Alborz County of Qazvin Province aquifer using DRASTIC method and GIS

Hosein Atashgaran¹, Massumeh Rostamabadi^{2✉}, Saeed Kazemi Mohsenabadi³

1. MSc student of water and hydraulic structures engineering, Islamic Azad University, Buin Zahra Branch, Buin Zahra, Iran.

2,3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, BuZ. C. Islamic Azad University, BuinZahra, BuinZahra, Iran.

(✉ Corresponding Author: rostamabadi@iaui.ac.ir)

ARTICLE INFO	HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Received: 17 May 2024	Atashgaran, H., & Roatamabadi. M., & Kazemi Mohsenabadi, S., (2025).
Revised: 3 June 2025	Vulnerability zoning of the Alborz County of Qazvin Province aquifer using
Accepted: 7 June 2025	DRASTIC Method and GIS. (In Persian with English abstract). Journal of
Available Online: 28 June 2025	Irrigation and Drainage Structures Engineering Research.V.26, No.98, P: 67
	https://doi.org/10.22092/idsr.2025.369519.1621

Introduction

Groundwater resources, as the main supplier of agricultural, drinking and industrial uses, are affected by polluting factors such as irrigation return water, urban and rural wastewater, and industrial effluents. Alborz County, one of the important agricultural and industrial regions of Qazvin Province, is at risk of groundwater pollution due to its increasing development and population. Due to the lack of implementation of appropriate wastewater disposal systems, a large volume of pollutants, including nitrate, enter the aquifer of this plain. The aim of this study is to investigate the vulnerability of the Alborz County aquifer using the DRASTIC method and to utilize the Geographic Information System (GIS) to determine areas susceptible to pollution and to provide management solutions to maintain the quality of groundwater resources.

Materials and Methods

Geographical Location

Alborz County is located in the northeast of Qazvin Province with an area of about 428 square kilometers. The county borders Qazvin County to the north, Abyeq County to the east, Abyek and Buin Zahra County to the south, and Qazvin County to the west. This region is heavily affected by environmental pressures due to industrial and agricultural development.

DRASTIC Model

The DRASTIC method, introduced by the US Environmental Protection Agency, focuses on assessing groundwater vulnerability using seven key parameters: depth of groundwater (D), net recharge (R), aquifer media (A), soil media (S), topography (T), Impact of vadoes zone (I), Hydraulic conductivity of the aquifer (C). A rate value and a weight were determined for each of these parameters based on table (1), and then these data were processed in ARCGIS software to prepare a vulnerability map of the region.

Table 1- Drastic parameter weight and rate table for Alborz County

Parameter	D	R	A	S	T	I	C
Weight	5	4	3	2	1	5	3
Rate	1--2	6--9	6--8	4--7	8--10	5--6	1--4

The vulnerability index (DI) was calculated based on the combination of these factors according to equation (1) and levels of vulnerability were identified.

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

Based on the analysis, the vulnerability index of the Alborz County plain varies between 87 and 136. According to the Drastic classification, the study area is divided into two zones of low vulnerability (31 percent) and medium vulnerability (69 percent). The western and central areas of the aquifer have the highest vulnerability potential due to the high groundwater level and low land slope and require more monitoring.

To examine the accuracy of the vulnerability zoning map, the nitrate level of groundwater in the area was examined. The results showed that areas with higher vulnerability have higher nitrate concentrations, indicating a direct relationship between the vulnerability index and groundwater quality. The most important polluting factor in this area is the excessive use of chemical fertilizers and the lack of urban wastewater treatment systems.

In order to assess the effect of different parameters on the vulnerability index, a sensitivity analysis of layer removal was performed. The results showed that the most important parameters affecting vulnerability are Impact of vadoes zone (I) and net recharge (R). Removing these factors caused significant changes in the vulnerability index, indicating their critical role in the transfer of contaminants to groundwater.

Conclusion

This research, by providing vulnerability maps, provides an important tool for planning and managing groundwater resources in Alborz County and will assist officials in major environmental and executive decisions. The results showed that Alborz County has areas with a moderate level of vulnerability, and the western and central parts of the aquifer should be considered as critical areas. Accordingly, the following suggestions are made:

Management of chemical fertilizer use: Modifying the cropping pattern and monitoring the use of nitrate fertilizers in order to reduce the transfer of contaminants to groundwater.

Implementation of urban and rural wastewater treatment projects: To prevent the entry of contaminated wastewater into groundwater resources.

Monitoring well drilling in vulnerable areas: Preventing hydraulic communication between contaminated and uncontaminated aquifers.

Accurate monitoring of groundwater quality: Implementing continuous monitoring systems to control and manage groundwater pollution.

Keywords: Vulnerability, Alborz Plain, Drastic .GIS



نوع مقاله: پژوهشی

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان شهرستان البرز استان قزوین به روش دراستیک و سامانه اطلاعات جغرافیایی

حسین آتشگران^۱، معصومه رستم‌آبادی^۲✉، سعید کاظمی محسن‌آبادی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۷

چکیده

منبع ارزشمند آب زیرزمینی که تامین کننده اصلی مصارف کشاورزی، شرب و صنعتی است، تحت تأثیر آلودگی ناشی از آب‌های برگشتی آبیاری آغشته به کودهای نیتراتی، فاضلاب شهری و روستایی و پساب‌های صنعتی است. در دشت شهرستان البرز، از قطب‌های بزرگ توسعه کشاورزی و صنعتی، هر ساله شهرک‌های متعدد ساخته می‌شود و جمعیت انسانی و تقاضای آب در آن رو به افزایش است. سالانه حجم بالایی از آلاینده‌ها از جمله نیترات به دلیل اجرانشدن سامانه مناسب دفع پساب‌ها وارد آبخوان این دشت می‌شود. هدف از این پژوهش، علاوه بر مشخص کردن مناطق مستعد آلوده شدن، کمک به تبیین سیاست‌های کاربردی برای برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست منطقه و مدیریت کیفی منابع آب زیرزمینی است. بدین منظور با مراجعه به سازمان‌های متعدد، آمار و داده‌های عمق سطح ایستابی، تغذیه خالص، ساختار زمین‌شناسی آبخوان، بافت خاک، شیب منطقه، محیط غیراشباع، قابلیت انتقال و هم‌ضخامت آبرفت این آبخوان جمع‌آوری شد. پس از آن با استفاده از روش دراستیک بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان (امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها از سطح زمین به آب زیرزمینی) تهیه و با اطلاعات موجود نیترات آب زیرزمینی در محیط GIS مقایسه و صحت‌سنجی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد دشت شهرستان البرز به دو پهنه قابل طبقه‌بندی است. حدود ۳۱ درصد از مساحت کل منطقه متعلق به کلاس آسیب‌پذیری کم و ۶۹ درصد از مساحت در کلاس آسیب‌پذیری متوسط قرار دارد. قسمت غربی و مرکزی آبخوان دشت شهرستان البرز به دلیل اینکه شیب زمین، در این نواحی بسیار کم و سطح آب زیرزمینی بالا است، پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، دشت شهرستان البرز، دراستیک، سامانه اطلاعات جغرافیایی

مقدمه

استفاده بیشتر از کودهای شیمیایی هرچند به بیشتر شدن محصول می‌انجامد، خطری جدی برای آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شود. آلوده شدن آب‌های زیرزمینی علاوه بر مشکلات اقتصادی تهیه آب شیرین، مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی مانند شیوع بیماری‌ها را به دنبال دارد. تشخیص و کنترل آلودگی آب‌های زیرزمینی مشکل‌تر است تا آب‌های سطحی و از این رو بهترین راه مدیریت آب‌های زیرزمینی شناسایی عوامل آلاینده و جلوگیری از آلوده شدن آنهاست. یکی از راه‌های پیشگیری از آلودگی آب

زیرزمینی شناسایی مناطقی است که استعداد آلوده شدن بالایی دارند. با شناخت این موضوع می‌توان منطقه را از لحاظ آسیب‌پذیری پهنه‌بندی کرد و با اعمال تمهیدات لازم از آلوده شدن مناطق با آسیب‌پذیری بالا جلوگیری کرد (Babiker et al., 2005).

مفهوم آسیب‌پذیری آب زیرزمینی اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ در فرانسه برای هشدار درباره آلودگی آب ارائه گردید و به معنی امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها از سطح زمین به آب زیرزمینی است (Vrba, 1994). یکی از مدل‌هایی که بیشترین کاربرد آن برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوئین زهرا، بوئین زهرا، ایران.^۲ استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد بوئین زهرا، دانشگاه آزاد اسلامی، بوئین زهرا، ایران. ✉ نویسنده مسئول: (Email: rostamabadi@iaui.ac.ir)^۳ استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد بوئین زهرا، دانشگاه آزاد اسلامی، بوئین زهرا، ایران.

(2012) با استفاده از مدل دراستیک و سامانه اطلاعات جغرافیایی به پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان داورزن در برابر عوامل آلاینده پرداختند و با انطباق یون نیترا روی نقشه نهایی دراستیک دریافتند همه نقاطی که دارای نیترا بالا هستند، در محدوده آلودگی زیاد قرار دارند که دقت و صحت مدل را تایید می کند. لاتامانی و همکاران (Lathamani et al., 2015) به تعیین آسیب پذیری آبخوان با استفاده از روش دراستیک و با هدف تعیین منطقه حساس برای آلودگی آب های زیرزمینی با ادغام لایه های هیدروژئولوژیک در محیط سامانه اطلاعات جهانی پرداختند. این محققان کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی مدل دراستیک را روشی مناسب به منظور تحلیل آسیب پذیری آب های زیرزمینی در محیط شهری می دانند. کریشنا و همکاران (Krishna et al., 2015) روش دراستیک را برای تهیه نقشه آلودگی آب های زیرزمینی در ناحیه رانچی، جارکند در هند، در نظر گرفتند و گزارش دادند نقشه های آسیب پذیری آبخوان تولید شده در این مطالعه می تواند به منظور برنامه ریزی زیست محیطی و مدیریت آب های زیرزمینی استفاده شود. نخستین روحی و همکاران (Nakhostin Rouhi et al., 2017) در منطقه عجب شیر، آسیب پذیری منابع آب زیرزمینی آبخوان را با استفاده از دو مدل دراستیک و شاخص حساسیت^۱ (SI) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی ارزیابی کردند. ارزیابی دو مدل استفاده شده با شاخص کیفی (کل جامدات محلول) TDS^۲ نیز نشان داد مدل SI با ضریب همبستگی ۰/۷۶ نسبت به مدل دراستیک دقت زیادتری برای تهیه نقشه آسیب پذیری منطقه دارد. سرچشمه و شاه محمدی (Sarcheshmeh and Shahmohammadi, 2017) با ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت سلماس در برابر آلودگی ها، با استفاده از مدل دراستیک و سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان دادند عمق سطح ایستابی و منطقه غیر اشباع مهم ترین پارامترهای تأثیرگذار بر شاخص آسیب پذیری محدوده مطالعاتی سلماس هستند. محققان دیگر (Bera et al.,

نسبت به دامنه وسیعی از آلاینده های بالقوه است، یعنی مدل DRASTIC، آلودگی آب زیرزمینی را با استفاده از مهم ترین عوامل هیدروژئولوژیکی موثر محاسبه می کند (Aller et al., 1987). رحمان (Rahman, 2008) با ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی در سفره های کم عمق شهر آلیگرا، هند، با استفاده از مدل دراستیک و سامانه اطلاعات جغرافیایی، نشان داد بیش از ۸۰ درصد از آب های زیرزمینی شهر در معرض آسیب پذیری متوسط تا زیاد است. رنگزن و همکاران (Rangzan et al., 2008) آسیب پذیری آبخوان آبرفتی دشت ورامین را با استفاده از روش دراستیک در محیط GIS ارزیابی کردند. نقشه نهایی نشان داد ۰/۰۶ درصد از آبخوان کاملاً آسیب پذیر، ۱/۹۴ درصد دارای پتانسیل آلودگی خیلی زیاد، ۸ درصد زیاد، ۱۷ درصد متوسط تا زیاد، ۲۶ درصد متوسط تا کم، ۳۸ درصد کم و ۹ درصد دارای پتانسیل آلودگی خیلی کم است. چیت سازان و اختر (Chitsazan and Akhtari, 2009) به منظور ارائه نقشه آسیب پذیری آب های زیرزمینی در دشت خران، استان خوزستان، نقشه ای را برای نشان دادن مناطق با بالاترین پتانسیل آلودگی آب های زیرزمینی بر اساس شرایط هیدروژئولوژیکی و تأثیرات انسانی به دست آوردند و نشان دادند غرب و جنوب غربی آبخوان در معرض آسیب پذیری متوسط و غلظت بالای نیترا هستند و مناطق کوچکی در شمال غرب و شرق خطر آلودگی ندارند. فتحی و بیگی (Fathie and Beygi, 2012) در تحقیقات خود پتانسیل آسیب پذیری آبخوان شهرکرد را به کمک مدل دراستیک در محیط GIS و اثر تغییرات فصلی غلظت نیترا و فسفات را بر صحت پیش بینی مدل مورد نظر بررسی کردند. بر اساس نقشه نهایی آلودگی، آب های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه ۱۱/۵ درصد دارای پتانسیل آلودگی خیلی کم، ۷۹/۶ درصد دارای آسیب پذیری کم و ۸/۹ درصد دارای آسیب پذیری متوسط تعیین گردید. این محققان می افزایند در صحت سنجی مدل دراستیک باید به زمان نمونه برداری توجه شود. امیراحمدی و همکاران (Amirahmadi et al.,

² Total Dissolved Solids¹ Susceptibility Index (SI)

آسیب‌پذیری بالاست. پوربلیغی و همکاران (Pourbalighy *et al.*, 2022) با تهیه نقشه آسیب‌پذیری سفره آب‌های زیرزمینی دشت ایسین هرمزگان با استفاده از روش‌های دراستیک و گادز با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی گزارش دادند دامنه مقادیر شاخص دراستیک بین ۵۹ تا ۱۶۳ است و نقشه این شاخص در شش طبقه از بدون آسیب‌پذیری تا آسیب‌پذیری زیاد استخراج شد. در مطالعات مرادی‌نژاد و همکاران (Moradinejad *et al.*, 2023) از روش‌های مختلف تخمین آسیب‌پذیری آب زیرزمینی مانند دراستیک معمولی اصلاح شده و فازی به وسیله سامانه اطلاعات جغرافیایی در دشت قزوین و تعیین روش بهینه از میان آنها استفاده شده است. در این مطالعه نیز کل دشت قزوین ارزیابی شده است. این مطالعه نشان داد روش دراستیک اصلاحی می‌تواند مدل بهینه در این دشت محسوب شود. حامد و همکاران (Hamed *et al.*, 2024) با استفاده از روش دراستیک و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مناطق آسیب‌پذیر آب زیرزمینی را در منطقه اربیل عراق رسم کردند و نشان دادند بیشترین پتانسیل آسیب‌پذیری در بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی منطقه است در حالی که مناطق مرکزی شمالی و شمال غربی کمترین پتانسیل آسیب‌پذیری را دارند. اوزگین و همکاران (Ozegin *et al.*, 2024) در تحقیقی با ارزیابی حساسیت آب‌های زیرزمینی به آلودگی و همچنین با تعیین نقشه شاخص کیفیت آب به منظور تعیین تناسب آن در ایالت ادو (نیجریه) با استفاده از مدل‌های دراستیک و دراستیک اصلاح شده نشان دادند خطر آلودگی در ۴۵ درصد از مناطق بسیار کم، در ۱۰ درصد کم، در ۲۰ درصد متوسط و در ۲۵ درصد زیاد است. گانور و همکاران (Ganwer *et al.*, 2024) در مطالعات خود به ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی حوضه سیونات با کمک دراستیک در سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. هدف آنها شناسایی مناطقی بود که در معرض آلودگی آب‌های زیرزمینی قرار گرفته‌اند. نتایج به‌دست آمده ارتباط معنی‌داری را بین مقادیر غلظت نیترات نمونه و مقادیر شاخص مدل دراستیک اصلاح شده

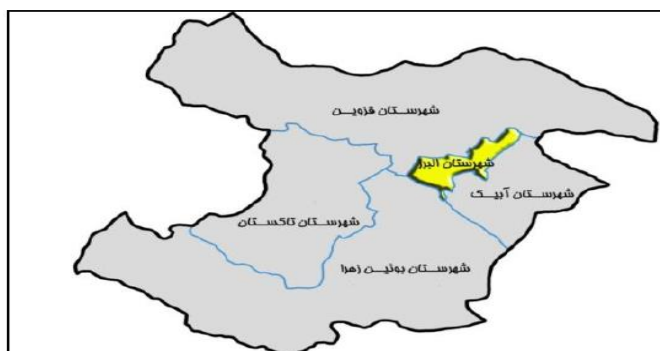
2021; Amiri *et al.*, 2020; Bhuvaneswaran and Ganesh, 2019; Ahmed and Nazzal, 2015; دراستیک و GIS برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مناطق مورد مطالعه خود استفاده کردند. یزدانی و منصوریان (Yazdani and Mansourian, 2019) با بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت قزوین با چهار روش مختلف از جمله دراستیک نشان دادند با استفاده از روش دراستیک ۳۳ درصد از منطقه دارای آسیب‌پذیری خیلی کم، ۴۹ درصد آسیب‌پذیری کم، ۱۵ درصد آسیب‌پذیری کم تا متوسط و حدود ۳ درصد دارای آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد است؛ در این بررسی، قسمتی از شهرستان آبیک در استان قزوین مورد بررسی قرار گرفت. مردان و یارقلی (Mardan & Yargholi, 2020) با هدف پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت اردبیل از مدل دراستیک و سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند و نشان دادند پتانسیل و میزان آلودگی آبخوان دشت اردبیل بالاست و با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی منطقه، که برای هدف‌های مختلف به‌کار می‌رود، حفاظت این مناطق به منظور جلوگیری از آلودگی و مدیریت بهینه منابع آب ضروری است. طاهری تیزرو و همکاران (Taheri Tizro *et al.*, 2021) با ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت قزوین با استفاده از روش دراستیک اصلاح شده مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان دادند نقشه آسیب‌پذیری به‌دست آمده با شاخص‌های کیفی مورد نظر تطابق نسبی دارد. نوین‌پور و همکاران (Novinpour *et al.*, 2022) آسیب‌پذیری سفره‌های زیرزمینی دشت چهاردولی را در شرق استان کردستان با استفاده از روش دراستیک اصلاح شده و منطق فازی بهینه بررسی کردند و گزارش دادند مناطق مرکزی، شمال غربی و شرقی دارای بالاترین سطح آلودگی بالقوه در منطقه مورد مطالعه هستند. آقازاده و همکاران (Aghazadeh *et al.*, 2022) با اصلاح برخی پارامترها از مدل دراستیک برای تعیین آسیب‌پذیری آبخوان مناطق شهری ارومیه استفاده کردند و نشان دادند که در اکثر مناطق ریسک آلودگی کم تا متوسط است و در برخی نواحی که فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی بالا و عمق آب زیرزمینی کم است، میزان

مناطق مستعد آلوده شدن، کمک به تبیین سیاست های کاربردی برای برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست منطقه و مدیریت کیفی منابع آب زیرزمینی است. بدین منظور آمار و داده های مورد نیاز این آبخوان جمع آوری گردید. برای به دست آوردن آماری که دارای دقت کافی باشد، به سازمان های دولتی زیادی مراجعه شد. برای گردآوری داده های مورد نیاز و بررسی صحت و سقم آنها زمان زیادی صرف شد. افزون بر آن، همکاری نکردن برخی نهادها نیز مشکلات فراوان دیگری را در راه تحقیق ایجاد کرد. اما نتایج پژوهش حاضر می تواند در درک هرچه بیشتر وضعیت موجود و اتفاقات احتمالی آینده کمک موثری باشد.

مواد و روش ها

موقعیت جغرافیایی منطقه

شهرستان البرز یکی از شهرستان های استان قزوین با مساحت ۴۲۸ کیلومتر مربع در شمال شرقی استان که مرکز آن شهر الوند با ارتفاع ۱۲۱۸ متر از سطح دریاست. این شهرستان از شمال به شهرستان قزوین، از شرق با شهرستان آبیک، از جنوب با شهرستان های آبیک و بوئین زهرا و از غرب به شهرستان قزوین محدود است و ۲/۴ درصد از مساحت استان قزوین را تشکیل می دهد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهرستان البرز را در استان قزوین نشان می دهد.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی شهرستان البرز در استان قزوین (سازمان مسکن و شهر سازی استان قزوین)

Fig. 1- Map of the geographical location of Alborz County in Qazvin Province (Qazvin Provincial Housing and Urban Development Organization)

آسیب پذیری آب زیرزمینی ارائه داده است که بر اساس آن پارامترهای مختلف هیدروژئولوژی بالقوه تاثیرگذار بر احتمال آلودگی، با ضریب وزنی و ضریب ارزش با یکدیگر

نشان داد. در گزارش اضافه شده است ابیستر منطقه مورد مطالعه در مناطق نسبتاً آسیب پذیر قرار دارد.

مرور مطالعات گذشته نشان می دهد آسیب پذیری آب های زیرزمینی در برابر آلودگی در شهرستان البرز استان قزوین تاکنون ارزیابی نشده است. شهرستان البرز به دلیل قابلیت های اقلیمی و جغرافیایی و همچنین توسعه های صنعتی و کشاورزی، یکی از قطب های کشاورزی و صنعتی استان قزوین است، به گونه ای که با ساخت شهرک های متعدد، سالانه بر جمعیت انسانی آن افزوده شده است که نتیجه آن افزایش قابل توجه تقاضای آب شهری و متوازن نبودن منابع آبی موجود با مصارف نظیر بوده است. به منظور تامین نیاز شرب و کشاورزی، تاکنون تلاشی مضاعف برای استفاده حداکثر از پتانسیل های سطحی منطقه صورت گرفته است و از آنجا که این منابع به تنهایی جوابگوی نیازها نبوده اند، از مخازن آب زیرزمینی نیز بهره برداری شده است. اجرانشدن سیستم مناسب دفع پساب های خانگی، صنعتی و کشاورزی سالانه حجم بالایی از آلاینده ها از جمله نیترات را وارد آبخوان دشت شهرستان البرز می کند.

با توجه به افزایش میزان آلودگی در این منطقه و در راستای حفظ کیفی منابع آب زیرزمینی، این تحقیق به کمک مدل کاربردی DRASTIC و سامانه اطلاعات جغرافیایی به اجرا در آمد. هدف از این پژوهش علاوه بر مشخص کردن

مدل دراستیک

سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا روش استاندارد را با نام روش دراستیک برای ارزیابی

مقدار آب نشت کرده به زمین دارد. آلودگی به شکلی وسیع از نوع و مقدار رس موجود در خاک متأثر است که امکان تورم یا متراکم شدن را دارد. هرچه رس موجود در خاک متورم‌تر شود و اندازه دانه‌های خاک کوچک‌تر باشد، تراوایی نسبی خاک پایین‌تر است و احتمال رسیدن آلودگی به سطح آب زیرزمینی کمتر خواهد بود (Dixon, 2005).

توپوگرافی⁵ (T) شیب سطح زمین (بر حسب درصد) است. در سطح با شیب زیاد امکان آلودگی آبخوان کمتر است و در سطوح کم شیب و افقی زمان ماندگاری آلودگی بیشتر و از این رو میزان نفوذ آن بیشتر خواهد بود (Dixon, 2005). ناحیه غیر اشباع⁶ (I) در تعریف دراستیک به محدوده بالای خط ایستایی آب زیرزمینی اطلاق می‌شود که همه خلل و فرج آن با آب پر نشده است. ناحیه غیر اشباع خاک تاثیر زیادی بر میزان نفوذ، طول مسیر و چگونگی حرکت آلاینده دارد و آن را کنترل می‌کند، از این رو بر زمان لازم برای میرایی و افت آلودگی تاثیرگذار است (Dixon, 2005). ضریب هدایت هیدرولیکی⁷ (C) (بر حسب متر بر روز) به قابلیت هدایت آب توسط مواد تشکیل دهنده آبخوان گفته می‌شود که عمدتاً به واسطه تخلخل مواد تشکیل دهنده آبخوان کنترل می‌شود. میزان انتشار وانتقال آلودگی در ناحیه اشباع تا حد زیادی به این پارامتر بستگی دارد. این مفهوم باید با مفهوم محیط آبخوان به خوبی تفکیک شود زیرا ممکن است محیط آبخوان تا حد زیادی نفوذناپذیر باشد ولی شامل شکاف‌های بزرگ باشد (Dixon, 2005).

به هریک از هفت پارامتر یادشده یک ارزش و یک وزن بر حسب اهمیت آن اختصاص داده می‌شود. از این رو شاخص دراستیک بر اساس وزن‌دهی به هفت پارامتر به صورت رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود که در آن DI شاخص دراستیک، I, T, S, A, R, D و C پارامترهای هفت‌گانه یادشده، r ارزش و w وزنی است که به هر پارامتر تخصیص داده می‌شود. به عنوان

جمع می‌شوند و نقشه آسیب‌پذیری را ارائه می‌دهند (Aller *et al.*, 1987). برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری دراستیک، داده‌های مربوط به پارامترهای مختلف به محیط نرم افزار ARCGIS داده می‌شود و پس از برهم نهی لایه‌های داده‌های هیدروژئولوژیکی، نقشه آسیب‌پذیری ارائه می‌شود (Dixon, 2005). DRASTIC از حروف اول کلمات هفت‌گانه زیر به دست آمده است:

عمق آب زیرزمینی^۱ (D) فاصله سطح زمین تا سطح ایستایی آبخوان یا ضخامت است که آب باید طی کند تا به سطح آبخوان برسد. افزایش این ضخامت منجر به تصفیه و حذف آلودگی به واسطه زون غیر اشباع خاک می‌شود. به طور معمول، پتانسیل حفاظت از آلوده شدن آب با افزایش این پارامتر بیشتر می‌شود (Dixon, 2005). تغذیه خالص^۲ (R) میزان آبی است (بر حسب میلی‌متر بر سال) که از طریق زون غیراشباع خاک و توسط عوامل مختلفی مانند بارش به آب زیرزمینی می‌رسد. آب نفوذی عاملی اصلی برای انتقال آلودگی از محیط غیراشباع به ناحیه اشباع است و حامل آلودگی‌های جامد و مایعی است که به سطح آب زیرزمینی منتقل می‌شود و به افزایش کمی آلودگی و افت کیفی آب می‌انجامد. به طور کلی، هر ناحیه با تغذیه بالای آب در ریسک آلودگی بالاتری قرار دارد (Dixon, 2005). محیط آبخوان^۳ (A) به ساختار زمین در قسمت اشباع آبخوان گفته می‌شود. این پارامتر به نوع ترکیب و دانه‌بندی خاک بستگی دارد. به طور کلی ترکیب دانه‌های درشت و بازشدگی‌هایی مانند درز و شکاف در محیط آبخوان باعث انتقال سریع آلاینده و در نتیجه افزایش پتانسیل آلودگی می‌شود. از این رو هر چه محیط آبخوان ریزدانه‌تر باشد آلودگی کمتر خواهد بود (Dixon, 2005). محیط خاک^۴ (S) ناحیه بالایی زمین است که به طور متوسط عمقی در حدود شش فوت (حدود ۱/۸ متر) یا کمتر دارد. خاک و بافت آن اثر قابل توجهی بر

⁵ Topography

⁶ Impact of vadoes zone

⁷ Hydraulic Conductivity of the aquifer

¹ Depth to ground water

² Net Recharge

³ Aquifer media

⁴ Soil media

پارامترهای هفت گانه روش دراستیک ارائه کردند. این وزن ها با توجه به اهمیت پارامترها به آنها اختصاص داده می شود. برای نمونه، موثرترین فاکتورها که عمق برخورد به آب زیرزمینی و تاثیر محیط غیراشباع هستند، وزن پنج را دارند و کم اثرترین فاکتور توپوگرافی سطح زمین (شیب زمین) دارای وزن یک است. ارزش هر پارامتر هم به صورت عددی از ۱ یک تا ۱۰ متغیر است و این اجازه را به کاربر می دهد تا مدل را به صورت مناسب برای مناطق داده شده تنظیم کند. هر چه عمق آب زیرزمینی کمتر باشد، سهولت رسیدن آلاینده به سطح آب زیرزمینی بیشتر است. بیشترین ارزش یعنی ۱۰ مربوط به عمق کمتر از ۱/۵ متر و کمترین ارزش یعنی یک برای عمق های بیشتر از ۳۰ متر است (Babiker et al., 2005).

نمونه D_w وزن عمق آب زیرزمینی و D_r ارزش عمق آب زیرزمینی در شاخص دراستیک است.

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

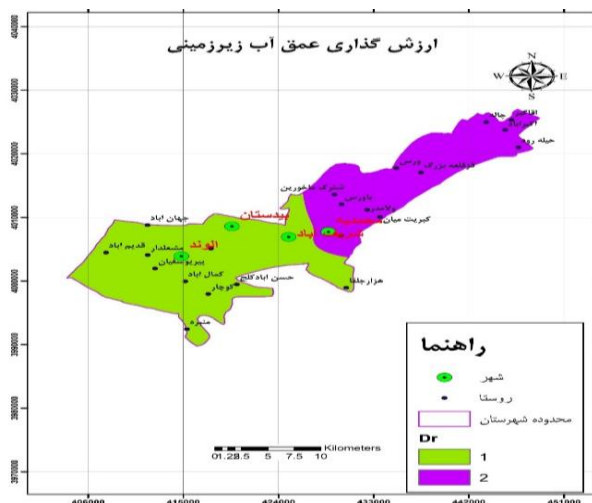
پارامترهای عمق آب زیرزمینی، شیب، محیط آبخوان و ناحیه غیر اشباع و نیز ساختار خاک به ترتیب از داده های سطح ایستابی، توپوگرافی سطح زمین، لوگ چاه ها و پروفیل خاک به دست می آیند. در منطقه مورد مطالعه، تغذیه آبخوان از پارامترهای بارش، آب برگشتی از کشاورزی، پساب شرب و صنعت و تغذیه از رودخانه به دست آمده است. به دلیل نبود اطلاعات مستقیم از میزان پارامتر هدایت هیدرولیکی، برای به دست آوردن آن، نقشه هم قابلیت انتقال بر نقشه هم ضخامت آب رفت تقسیم شده است.

آلر و همکاران (Aller et al., 1987) طی تحقیقاتی وزن های یک تا پنج را مطابق جدول (۱) برای وزن دهی به

جدول ۱- وزن های نسبت داده شده به پارامترهای هفت گانه (Rahman, 2008)

Table 1- Weights attributed to the seven parameters (Rahman, 2008)						
D_w	R_w	A_w	S_w	T_w	I_w	C_w
5	4	3	2	1	5	3

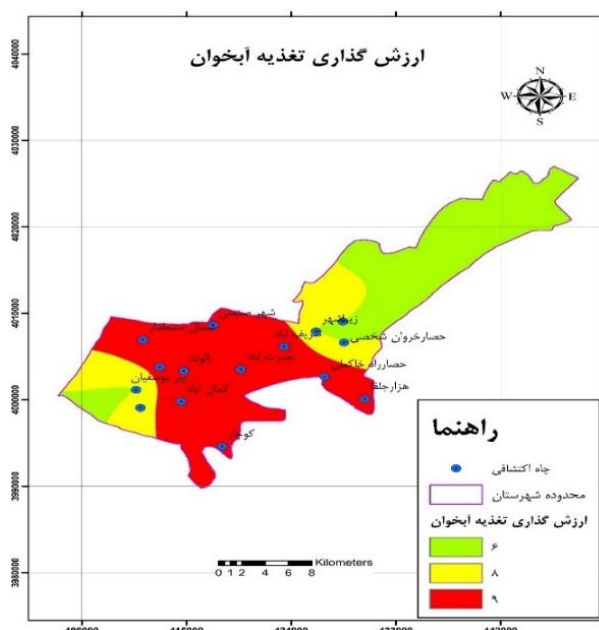
در منطقه مورد مطالعه، برای آگاهی از عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی از داده های مربوط به شبکه های پیزومتری استفاده شد که در محدوده های ۳۰-۲۳ متر در قسمت شمالی و بزرگ تر از ۳۰ متر در محدوده مرکز و غرب است. از این رو ارزش عمق سطح ایستابی این آبخوان مطابق شکل (۲) بین یک تا دو به دست آمد.



شکل ۲- ارزش گذاری عمق آب زیرزمینی
Fig. 2 - Groundwater depth rating

کانال‌ها، چاه‌ها، نفوذ از بارندگی در سطح دشت و چاه‌های شرب به محدوده آبخوان ۳۰/۵۷ سانتی بر سال است. بیشترین مقدار تغذیه در حوالی شهرهای الوند، شهر صنعتی البرز، محمدیه، نصرت آباد و شریف آباد در حدود ۳۹ سانتی‌متر بر سال و کمترین میزان تغذیه نیز مربوط به اراضی شمال شرقی و جنوب غربی دشت مانند روستاهای کوچار و پیروسیان با تغذیه حدود ۱۲ سانتی‌متر بر سال است. با تقسیم‌بندی لایه فوق و ارزش‌گذاری به محدوده‌های مختلف، دسته‌بندی دراستیک پارامتر تغذیه خالص آبخوان دشت شهرستان البرز مطابق شکل (۳) بین شش تا نه به‌دست آمد.

برای تغذیه بیش از ۲۵۰ میلی‌متر بر سال، ارزش پارامتر تغذیه خالص حداکثر مقدار یعنی نه است. از طرفی، در مناطق با تغذیه سطحی کمتر از ۵۰ میلی‌متر بر سال ارزش این پارامتر به عدد یک (کمترین ارزش) می‌رسد که کمترین احتمال آلودگی در این حالت وجود دارد (Babiker et al., 2005). با استفاده از منحنی‌های هم‌باران، آب برگشتی از شرب، صنعت و کشاورزی (شامل تغذیه زیرزمینی و تغذیه سطحی) و سپس اعمال ضریب‌های نفوذ، میزان نفوذ خالص به‌وسیله برهم‌نهی این لایه‌ها به‌دست آمد. میزان متوسط تغذیه ناشی از آب برگشتی از جریان ورودی رودخانه و

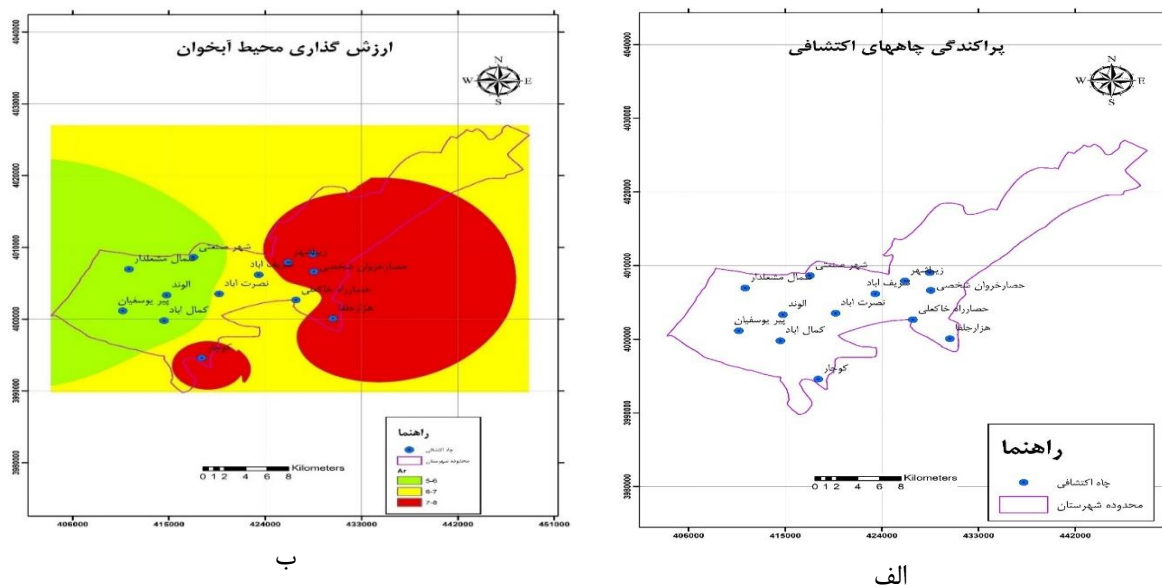


شکل ۳- ارزش‌گذاری تغذیه آبخوان

Fig. 3 Net Recharge rating

محیط غیر اشباع آبخوان دشت شهرستان البرز استفاده شده است در شکل (۴-الف) نشان داده شده است. با توجه به نیمرخ زمین‌شناسی چاه‌های اکتشافی و لوگ‌های حفاری، بیشتر مواد تشکیل‌دهنده محیط آبخوان مورد مطالعه ماسه سنگ توده شده و شن و ماسه است، بدین ترتیب مطابق شکل (۴-ب) ارزش محیط آبخوان شش تا هشت است.

سنگ‌های آهکی کارستی به دلیل وجود درزها و شکاف‌ها دارای بیشترین ضریب ارزش (۱۰) هستند. شیل‌های توده‌ای که حرکت آب در آن‌ها کند است دارای ارزش دو هستند. از سال ۱۳۴۶ تاکنون پی‌زومترهای متعددی برای اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت شهرستان البرز حفر شده است. موقعیت چاه‌های اکتشافی و پی‌زومترهایی که اطلاعات حاصل از آن‌ها برای نقشه‌های پهنه‌بندی محیط آبخوان و

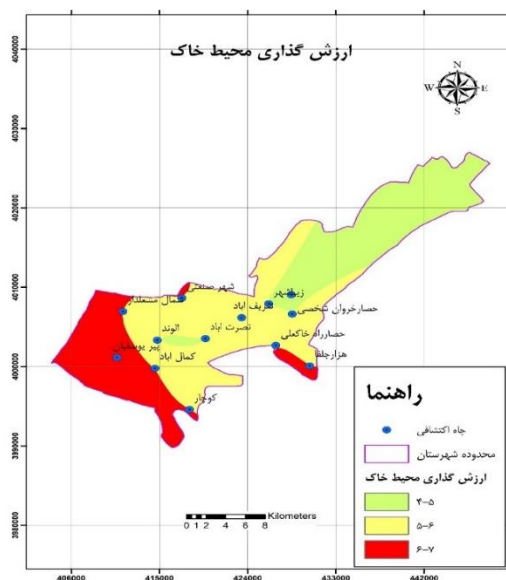


شکل ۴- الف: نقشه لوگ های حفاری، ب: ارزش گذاری محیط آبخوان

Fig. 4- a: Drilling log map, b: Aquifer media rating

ریزدانه بودن بافت خاک باعث کاهش انتقال آلودگی به آب زیرزمینی می شود و با درشت دانه تر شدن محیط خاک امکان انتقال آلودگی افزایش می یابد، از این رو ارزش یک به خاک های رسی متورم نشده و ارزش ۱۰ به شن و جاهایی است.

نسبت داده می شود که بافت خاک نازک است یا وجود ندارد (Babiker et al., 2005). مطابق شکل (۵) ارزش گذاری محیط خاک منطقه مورد مطالعه در محدوده چهار تا ۷ هفت است.

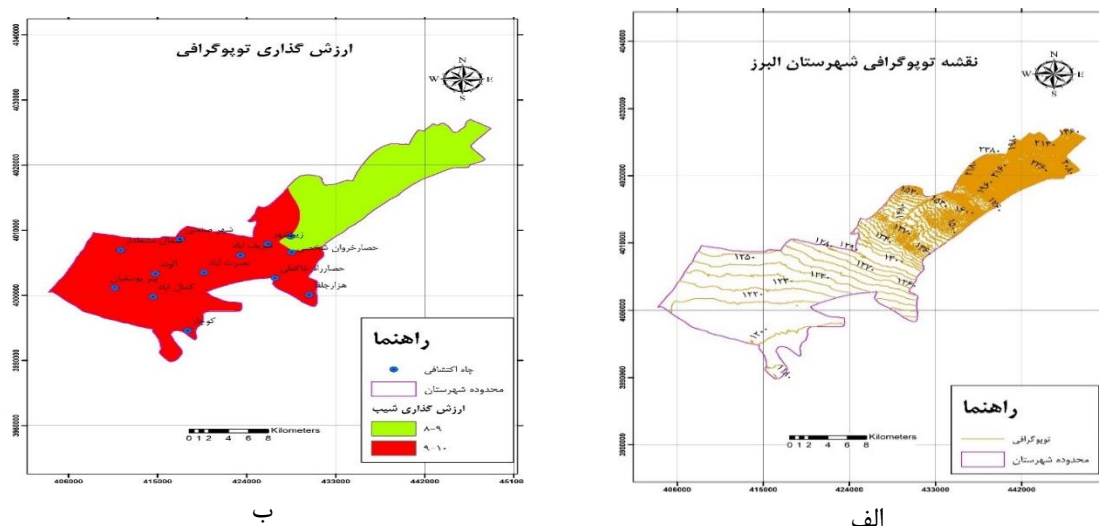


شکل ۵- ارزش گذاری محیط خاک

Fig 5- Soil media rating

در مناطق با شیب کم، زمان ماندگاری آب بر سطح زمین بیشتر است، از این رو آب فرصت بیشتری برای نفوذ و در نتیجه انتقال آلاینده پیدا می کند و بالعکس. بدین ترتیب برای مناطق با شیب کمتر از دو درصد ارزش ۱۰ و برای مناطق با شیب بیشتر از ۱۸ درصد ارزش یک منظور شده است. بر اساس ارتفاع نقاط در مناطق مختلف دشت

شهرستان البرز شکل (۶-الف) ابتدا مدل رقومی ارتفاعی در به‌دست آمد. ارزش شیب مطابق شکل (۶-ب) از هشت تا محیط GIS تهیه شد و پس از آن شیب نقاط برحسب درصد ۱۰ متغیر است.

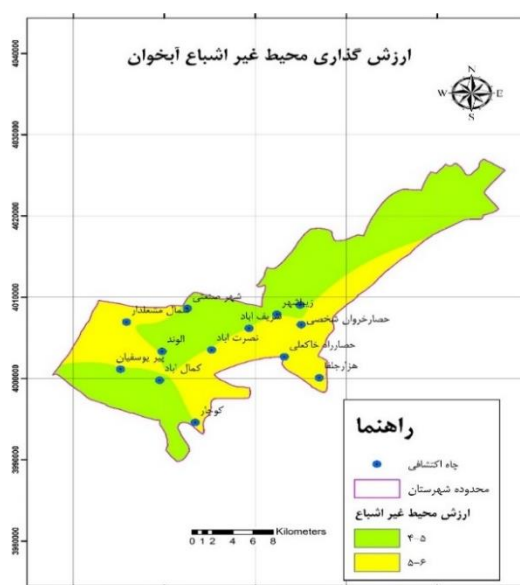


شکل ۶- الف: نقشه خطوط هم‌تراز شهرستان البرز، ب: ارزش گذاری توپوگرافی

Fig.6- a: Topographic map of Alborz County, b: Topographic rating

در مناطقی که زون غیراشباع خاک از سنگ آهک کارستی تشکیل شده است، به دلیل وجود درز و ترک سرعت حرکت آلاینده بیشتر است و آلاینده زمان کمتری لازم دارد تا به آب زیرزمینی برسد. در این حالت ارزش ۱۰، در مناطقی که محیط آبخوان از مواد ریزدانه نظیر سیلت و رس تشکیل شده باشد ارزش سه و در مناطقی که در محیط آبخوان لایه

محبوس کننده وجود داشته باشد ارزش یک برای پارامتر محیط آبخوان در نظر گرفته می‌شود، (Dixon, 2005). بر اساس جنس و نوع منطقه غیر اشباع حاصل از لوگ‌های حفاری، محدوده شهرستان به دو ارزش پنج و شش که بیانگر وجود ماسه‌سنگ، شن و ماسه با مقدار زیادی رس و سیلت است، مطابق شکل (۷) تقسیم‌بندی شده است.



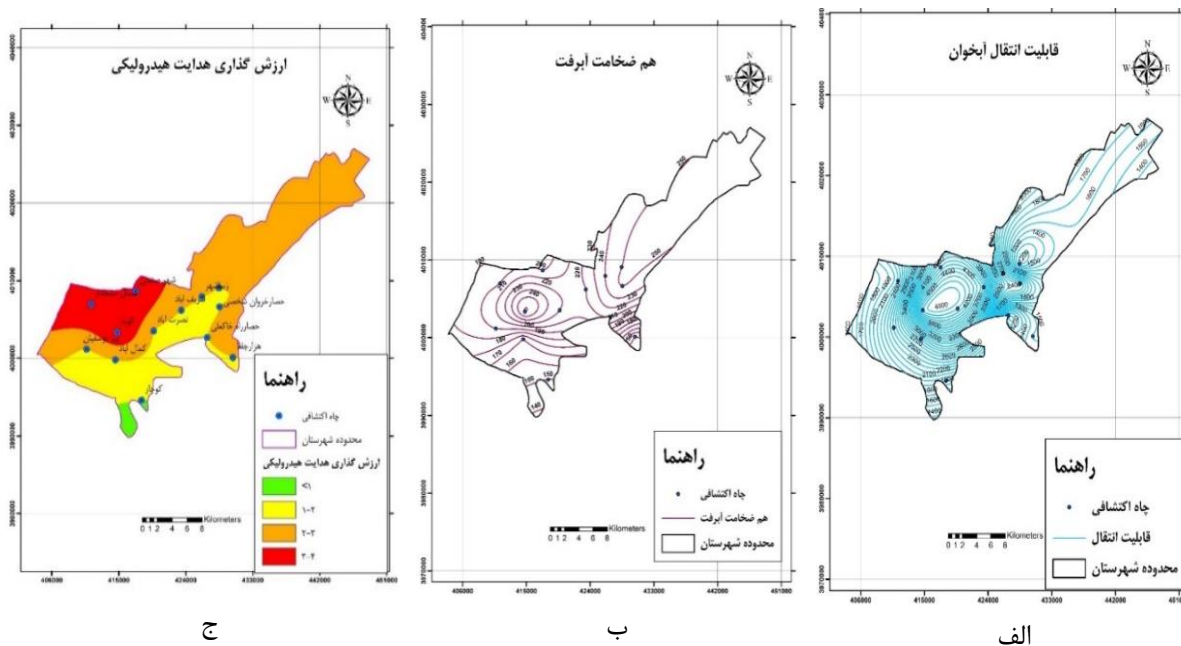
شکل ۷- ارزش گذاری محیط غیراشباع آبخوان

Fig. 7- Vadoes zone rating

در این منطقه تعداد زیادی چاه، بالغ بر ۲۰۰ حلقه، در گذشته مورد آزمایش پمپاژ قرار گرفت. با توجه به نقشه هم قابلیت انتقال (T) دشت شهرستان البرز شکل (۸- الف) بیشینه ضریب قابلیت انتقال بیش از ۱۰۰۰ مترمربع در روز است که میزان متوسط آن در قسمت مرکزی تا ۴۶۰۰ مترمربع در روز و در جهت شرق از مقدار آن کاسته شده و تا کمتر از ۱۲۰۰ مترمربع در روز نیز محاسبه شده است. با توجه به عملکرد رودخانه های موجود و مسیل های شمالی دشت، رسوبات آبرفتی در ناحیه شمال و غرب دشت غالباً دانه درشت اند و در جهت شرق به رسوبات ریزدانه رسی تبدیل می شوند. در ناحیه مرکزی و حوالی مرداب نمکی وجود تناوبی از لایه های رسی و ماسه ای سفره های تحت فشار را تشکیل داده است. براساس بررسی های ژئوالکتریک،

ضخامت آبرفت در ناحیه دشت و مخروط افکنه رودخانه خررود و ابهررود در حدود ۳۰۰ متر است و در مرکز حوالی نصرت آباد به ۲۵۰ متر می رسد شکل (۸- ب). از تقسیم نقشه ضریب قابلیت انتقال بر ضخامت آبرفت، نقشه هدایت هیدرولیکی منطقه مطابق شکل (۸- ج) به دست آمده است. هرچه میزان هدایت هیدرولیکی بالاتر باشد، سرعت حرکت آب زیرزمینی و امکان انتقال آلاینده بیشتر است و بالعکس. از این رو برای نفوذپذیری بیشتر از ۸۰ متر بر روز ارزش ۱۰ و برای نفوذپذیری کمتر از پنج متر بر روز ارزش یک در نظر گرفته می شود (Babiker et al., 2005).

ارزش پارامترهای دراستیک در شهرستان البرز در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل ۸- الف: نقشه قابلیت انتقال، ب: نقشه هم ضخامت آبرفت، ج: ارزش گذاری هدایت هیدرولیکی
Fig. 8- a: Transmissibility map, b: Alluvial iso-thickness map, c: Aquifer Hydraulic conductivity rating

جدول ۲- ارزش های نسبت داده شده به پارامترهای هفت گانه

Table 2- Rates attributed to the seven parameters

Dr	Rr	Ar	Sr	Tr	Ir	Cr
۱ تا ۲	۶ تا ۹	۶ تا ۸	۴ تا ۷	۸ تا ۱۰	۵ تا ۶	۴ تا ۱

نتایج

محاسبه شاخص دراستیک

کردن لایه‌های ارزش‌گذاری شده در وزن مربوط و جمع کردن تمامی لایه‌ها، نقشه شاخص آسیب‌پذیری بر اساس رابطه (۱) بدست می‌آید و سپس محدوده مورد مطالعه از نظر آسیب‌پذیری طبق جدول (۳) طبقه‌بندی می‌شود.

پس از ارزش‌گذاری و وزن‌دهی به هریک از پارامترهای روش دراستیک، برای ارزیابی آسیب‌پذیری دشت شهرستان البرز نقشه آسیب‌پذیری در محیط GIS تهیه گردید. با ضرب

جدول ۳- طبقه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری به روش دراستیک (Rahman, 2008)

Table 3- Classification of vulnerability index by drastic method (Rahman, 2008)

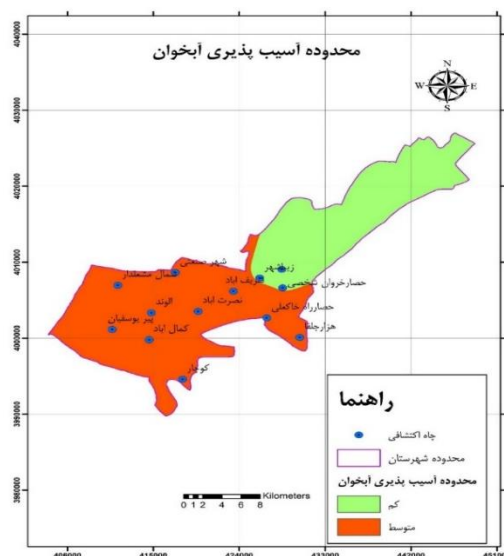
میزان آسیب‌پذیری	شاخص دراستیک (DI)
ناچیز و قابل صرف نظر	< 46
کم	47-92
متوسط	93-136
زیاد	137-184
خیلی زیاد	185 <

شیب زمین در قسمت‌های غربی و مرکز آبخوان بسیار کم و سطح آب زیرزمینی بالا است، از طرفی پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط شده است، از این رو باید کنترل این قسمت‌ها در مقابل آلودگی نسبت به سایر نواحی که دارای پتانسیل آسیب‌پذیری کم هستند مد نظر قرار گیرد.

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت قزوین به روش دراستیک معمولی در مطالعات مرادی‌نژاد و همکاران (Moradinejad et al., 2023) نشان داد شاخص آسیب‌پذیری برای آبخوان دشت قزوین بین ۶۶ تا ۱۴۱ به دست آمد یعنی حدود ۳۳ درصد از دشت در محدوده آسیب‌پذیری کم و بیش از ۶۲ درصد در محدوده آسیب‌پذیری متوسط و کمتر از پنج درصد دشت در ناحیه شرقی (قسمت شهرستان آبیک در شکل ۱) در محدوده آسیب‌پذیری زیاد قرار دارد. بر اساس پژوهش حاضر، دشت البرز که قسمتی از دشت قزوین است نیز دارای شاخص آسیب‌پذیری کم و متوسط است.

در مطالعات طاهری تیزرو و همکاران (Taheri Tizro et al., 2021) نشان داده شد که شاخص آسیب‌پذیری دراستیک دشت قزوین بین ۱۰۰ و ۱۵۳ متغیر است و شرق دشت قزوین دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی است.

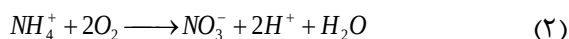
توصیف علمی میزان آسیب‌پذیری کم عبارت‌است از اینکه تغذیه به صورت پیوسته و گسترده به آبخوان صورت می‌گیرد و آلاینده‌ها توانایی واکنش در محیط را ندارند. در میزان متوسط تغذیه به صورت پیوسته به آبخوان وجود دارد، اما آسیب‌پذیری نسبت به بعضی از آلاینده‌ها ایجاد می‌شود. در شاخص زیاد، آسیب‌پذیری در خیلی از موارد نسبت به خیلی از آلاینده‌ها (به جز آنها که جذب یا انتقال بالایی دارند) ایجاد می‌شود. و در حالت خیلی زیاد آسیب‌پذیری نسبت به اکثر آلاینده‌ها با تأثیر سریع ایجاد می‌شود (Aller et al., 1987). هرچقدر شاخص دراستیک بزرگ‌تر باشد پتانسیل آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در مقابل آلودگی بیشتر خواهد بود و پهنه‌هایی که شاخص کوچک‌تر دارند، اگر چه این امکان وجود دارد که عاری از آلودگی نباشند اما پتانسیل کمتری برای آلوده‌شدن خواهند داشت (Dixcon, 2005). بر اساس رابطه (۱)، شاخص آسیب‌پذیری دراستیک دشت شهرستان البرز بین ۸۷ تا ۱۳۶ متغیر است. بنابراین با توجه به جدول (۳)، دشت شهرستان البرز به دو پهنه با آسیب‌پذیری کم (شاخص بین ۴۷ تا ۹۲) و متوسط (شاخص بین ۹۳ تا ۱۳۶) طبقه‌بندی می‌شود. شکل (۹) پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت را نشان می‌دهد. به دلیل اینکه



شکل ۹- پهنه بندی آسیب پذیری دشت شهرستان البرز استان قزوین

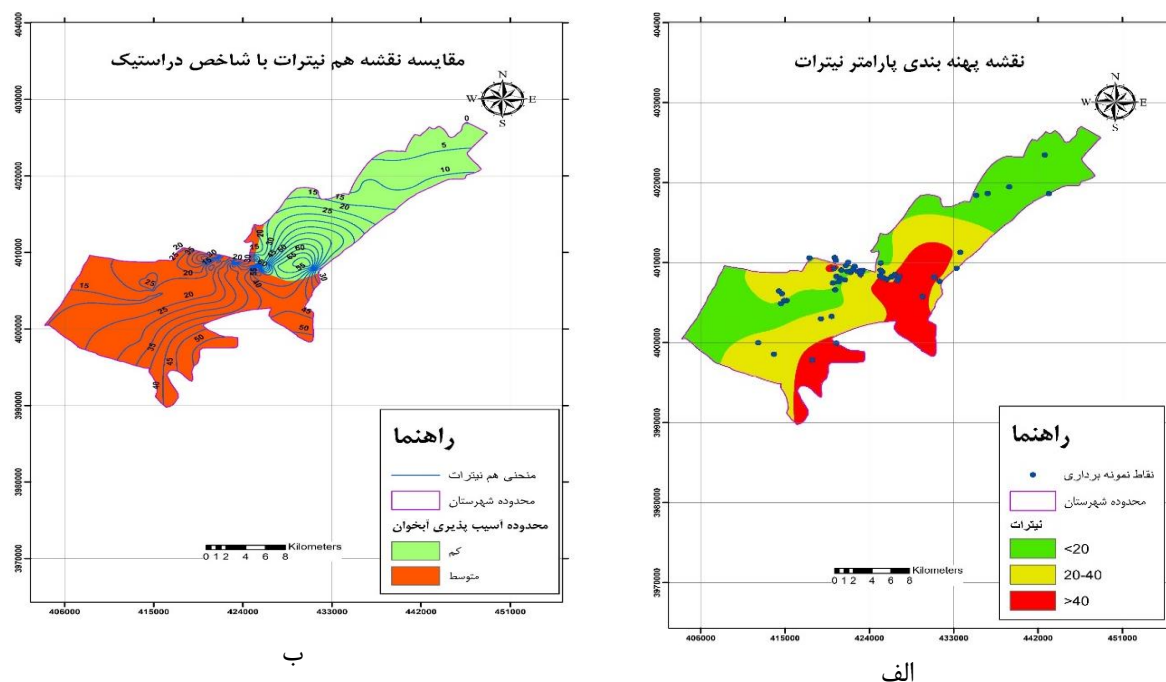
Fig. 9- Vulnerability zoning of the Alborz County plain, Qazvin Province

نیترات مستقیماً در فاضلاب خانگی و آب برگشتی از کشاورزی وجود ندارد ولی در اثر واکنش هیدرولیز اوره به آمونیوم تبدیل می شود. بر اساس رابطه (۲)، آمونیوم موجود نیز در اثر واکنش هوازی درون مخازن چاه های فاضلاب و محیط غیراشباع خاک، به نیترات تبدیل می شود که در اصطلاح علمی این پدیده را نیتریفیکاسیون می گویند و به آب زیرزمینی نشت می کند.



بر اساس شکل (۱۰-الف) اطلاعات مربوط به یون نیترات در اختیار بود و از این یون به عنوان شاخصی مناسب برای ارزیابی شاخص دراستیک استفاده شد و با نقشه پهنه بندی دراستیک منطقه در شکل (۱۰-ب) مقایسه شد. میزان آلاینده نیترات در نقاط مختلف دشت متفاوت است، مثلاً در بخش شمال شرقی دشت به علت کم بودن فعالیت کشاورزی و مصرف کم کودهای شیمیایی نیتروژنی، میزان نیترات موجود در آب زیرزمینی کم است و نقشه توزیع نیترات هماهنگی مناسبی با پهنه بندی آسیب پذیری این قسمت دارد. در قسمت مرکزی نیز که آسیب پذیری منطقه بالاست آلودگی نیترات این منطقه نیز بالاست، از این رو این ناحیه نیاز به مراقبت بیشتر دارد.

مقایسه نقشه هم نیترات با نقشه پهنه بندی دراستیک برای بررسی صحت نقشه آسیب پذیری تهیه شده باید نقشه تهیه شده را با معیار مناسبی مقایسه کرد. در میان آلودگی های غیرآلی مربوط به آب زیرزمینی بیشتر نگرانی ها مربوط به انتشار آلودگی های نیتراتی و فسفاتی است. نیترات بهترین شاخص برای نشان دادن آلودگی در اثر فعالیت های انسان و همچنین معیار مناسبی برای تشخیص محل های آسیب پذیر است. نیترات به لحاظ محیط زیستی نیز باعث مشکلات عدیده ای می شود. منابع مختلف ایجاد آلودگی نیتراتی در آب زیرزمینی به طور کلی شامل فعالیت های کشاورزی و فاضلاب های خانگی هستند. مقدار نیترات منتشر شده در زیر سطح زمین در اثر کاربرد کودهای شیمیایی شدیداً زیاد شده است، به طوری که در سال های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ که مصرف کودهای نیتراتی پنج تا شش برابر افزایش یافته، مقدار نیترات در زیر سطح زمین سه تا شش برابر زیاد شده است. البته باید مقدار نیتروژن ورودی به محیط تحت تاثیر بارندگی ها را در نظر گرفت که این منبع در مقایسه با کودها، نیتروژن بسیار کمتری وارد می کند (Jokar Niasar, 2002).



شکل ۱۰- نقشه هم نیترات دشت شهرستان البرز (الف)، مقایسه آن با پهنه‌بندی آلودگی دراستیک (ب)

Fig. 10- The iso-Nitrate (a) and Comparison of DRASTIC Vulnerability zoning and the iso-Nitrate maps of Alborz County plain (b)

زیرین منطقه باشد که باعث تفکیک لایه‌های شور و شیرین شده است. وجود این لایه‌ها از معجزات الهی در اکثر آب‌رفت‌هاست.

تحلیل حساسیت با حذف لایه‌ها

برخی محققان معتقدند که آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلودگی ممکن است بدون استفاده از همه پارامترهای دراستیک نیز به‌دست آید و وزن‌ها و ارزش‌های نسبت داده شده دقت کافی نداشته باشند، برخی دیگر معتقدند که وزن‌ها و ارزش‌های نسبت داده شده به شاخص آسیب‌پذیری دراستیک دقت کافی دارند و هیچ دلیلی برای شک‌کردن به این ضریب‌ها وجود ندارد. از این رو آنالیز حساسیت نسبت به پارامترهای این مدل اجرا می‌شود. برای عملی‌کردن این تحلیل، در سطح دشت شهرستان البرز ابتدا با حذف تک تک لایه‌ها میزان حساسیت شاخص آسیب‌پذیری نسبت به هر پارامتر به‌دست آمد که نتایج به‌دست‌آمده از این تحلیل در جدول (۴) ارائه شده است.

به‌طور کلی قسمت‌هایی از غرب و مرکز دشت از لحاظ آسیب‌پذیری پتانسیل بالایی دارند. یکی از مهم‌ترین دلایل آن وجود رودخانه اصلی منطقه یعنی خررود است که همپوشانی نقشه‌های هم‌نیترات و آسیب‌پذیری با رودخانه خررود موید این موضوع است. نقش این رودخانه در اینجا انتقال‌دادن آلودگی است. عبور این رودخانه از مناطق با شیب زیاد باعث حمل آلودگی (کودهای شیمیایی شسته شده و فاضلاب‌های شهری و روستایی) از مناطق بالادست و نفوذ آلودگی در مناطق پایین‌دست پس از کاهش شیب مسیر و عبور از ارتفاعات و کاسته شدن از شدت جریان است. بالابودن سنگ کف و سطح ایستایی باعث شده است تا غلظت نیترات در این مناطق که اغلب دارای منابع تامین آب سطحی از قبیل قنات، چشمه و چاه‌های دستی هستند، نمود داشته باشد. در بررسی چاه‌های عمیق منطقه مشخص شد که تاکنون خوشبختانه آسیب جدی به این منابع ارزشمند تامین آب شیرین و باکیفیت وارد نشده که شاید یکی از دلایل آن وجود لایه‌های نفوذناپذیر رسی و مارنی در لایه‌های

جدول ۴- تحلیل حساسیت شاخص دراستیک به حذف لایه ها

Table 4- DRASTIC Index sensitivity analysis to the layered removing

پارامتر حذف شده Removed parameter	وزن Weight	تغییرات شاخص آسیب پذیری (بر حسب درصد) Vulnerability index changing (%)			
		Min	Mean	Max	SD
D	5	0	1.3	5.7	0.85
R	4	0.1	1.5	3.8	0.71
A	3	0	0.3	1.4	0.34
S	2	0	0.8	2.6	0.54
T	1	0.05	1	2.6	0.54
I	5	0	1.6	5.65	1.2
C	3	0	0.5	2.7	0.64

به دلیل بالابودن هزینه حذف آلودگی از منابع آب زیرزمینی، پهنه بندی آسیب پذیری ابزار ارزشمندی در اختیار مسئولان قرار می دهد تا بتوانند تصمیمات لازم را در مدیریت مصرف آب کشاورزی و کودهای کشاورزی، فاضلاب شهری و روستایی، تغییر کاربری اراضی و ... در دشت شهرستان البرز اتخاذ کنند. با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می شود دستگاه های اجرایی ذی ربط تا پیش از بروز آسیب های جدی تر موارد زیر را اجرایی کنند:

سازمان جهاد کشاورزی بر مصرف کودهای شیمیایی و اصلاح الگوی کشت نظارت کند. نظام قیمت کودهای شیمیایی و افزایش قیمت محصولات کشاورزی سبب بالارفتن مصرف کودهای شیمیایی شده است. این سازمان می تواند از عملکرد دیگر کشورها در مهار مصرف بی رویه کودهای شیمیایی استفاده کند. برای مثال در انگلستان تولید گندم در هر هکتار در حدود هفت تن تثبیت شده و تولید بیشتر از آن را وزارت کشاورزی صرفا به دلیل مسائل محیط زیستی ممنوع اعلام کرده است. در بلژیک غلظت نیترات در زهاب مزارع را اندازه گیری می کنند و اگر غلظت نیترات آن از غلظت نیترات رودخانه بیشتر باشد با دادن اخطار و جریمه کردن، مقدار کود مصرفی را کاهش می دهند. شرکت های آب و فاضلاب روستایی و شهری در مناطقی که سنگ کف منطقه و عمق سطح آب بالا است طرح های انتقال و تصفیه فاضلاب را اجرایی می کند تا از آسیب رسیدن به منابع آب سطحی این مناطق جلوگیری شود. شرکت های

همانطور که در جدول (۴) مشاهده می شود، بیشترین وزن مؤثر با میانگین ۱/۶ مربوط به تاثیر ناحیه غیر اشباع (I) است که با وزن تئوری مربوط به این پارامتر همخوانی دارد، پس از آن نیز بیشترین وزن مربوط به تغذیه خالص (R) با مقدار ۱/۵ است. کمترین وزن مؤثر متعلق به محیط آبخوان (A) است. دلیل کم بودن وزن مؤثر عمق آب زیرزمینی، به رغم بالا بودن وزن تئوری آن را می توان به دلیل عمیق بودن سطح آب زیرزمینی در دشت شهرستان البرز دانست. می توان به این نکته پی برد که در نظر نگرفتن هر یک از پارامترها ممکن است باعث ایجاد خطاهایی در نتیجه گیری از مدل شود ولی می توان با دید کارشناسی نسبت به منطقه، وزن های مورد استفاده در مدل را تا حد معقولی تغییر داد و اصلاح کرد.

نتیجه گیری

در این پژوهش، وضعیت آسیب پذیری آبخوان دشت شهرستان البرز با روش دراستیک و GIS بررسی شد. نتایج بررسی ها نشان داد در دشت شهرستان البرز با مساحت ۴۲۸ کیلومتر مربع حدود ۳۱ درصد از مساحت کل منطقه متعلق به کلاس آسیب پذیری کم و ۶۹ درصد از مساحت در قسمت غربی و مرکز آبخوان در کلاس آسیب پذیری متوسط قرار دارد. این پهنه بندی با توزیع نیترات آب زیرزمینی دشت شهرستان البرز از همخوانی خوبی دارد. از این رو لازم است کنترل این ناحیه ها در مقابل آلودگی مد نظر قرار گیرد.

آب منطقه‌ای در هنگام صدور مجوز حفاری در مناطق آسیب‌پذیر یا حتی کنار روخانه‌ها و آبراهه‌های آلوده دقت کنند عملیات حفاری باعث برقراری ارتباط هیدرولیکی بین لایه‌های آبدار بالایی و لایه‌های آبدار پایین نشود و آلودگی از سفره‌های آلوده بالایی به سفره‌های آبدار پایینی منتقل نشود. برای تغذیه مصنوعی لایه‌های آبدار با آب‌های جاری در مناطق شنی باید دقت کافی در آزمایش آب قبل از تغذیه داشته باشند تا موجب انتقال آلودگی به لایه‌های آبدار نشود. برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان روش‌های متعددی وجود دارد، در این مطالعه تنها از روش دراستیک برای دشت شهرستان البرز استفاده شده است، بهتر است از روش‌های دیگر نیز در این پهنه‌بندی استفاده شود و با مقایسه نتایج به دست آمده صحت، دقت، مزیت‌ها و معایب روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل شود. روش دراستیک از قضاوت مهندسی در ارزش‌گذاری و وزن‌دهی به پارامترهای مختلف تاثیرپذیر است.

سپاسگزاری

از سازمان مدیریت و پژوهش‌های اقتصادی کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، وزارت نیرو، سازمان حفاظت آب و خاک، آب منطقه‌ای استان قزوین، آب و فاضلاب استان قزوین و سازمان مراتع و جنگل‌های استان قزوین که آمار و اطلاعات را در اختیار گذاشته‌اند سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- Aghazadeh, N., Chitsazan, M., Mirzaee, Y. & Ebrahimi, H. (2022). Modifying DRASTIC Model DRAST-VUL to determine groundwater vulnerability in an urban aquifer. *Watershed Engineering and Management*, 13(4), 690-703. doi: 10.22092/ijwmse.2021.125064.1596. (In Persian).
- Ahmed, I. & Nazzal, Y. (2015). Hydrogeological vulnerability and pollution risk apping of the Saq and overlying aquifers using the DRASTIC model and GIS techniques, NW Saudi Arabia. *Environment Earth Science*. 64: 342-356.
- Aller, L., T. Bennet, J.H. Lehr, R.J. Petty, & G. Hackett. (1987). *DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings*. EPA/600/2-87/035. US Environmental Protection Agency, Ada, OK, USA.
- Amirahmadi, A., Abbariki, Z. & Ebrahimi, M. (2022). Evaluation of the vulnerability of Davarzan Aquifer by DRASTIC method using GIS. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 2(6), 51-66. (In Persian).
- Amiri F., Tabatabaie, T., & Entezari M. (2020). GIS based DRASTIC and modified DRASTIC techniques for assessing groundwater vulnerability to pollution in Torghabeh-Shandiz of Khorasan County, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(12): 1-16. doi:https://doi.org/10.1007/s12517-020-05445-0.
- Babiker, IS., Mohamed, MAA., & Hiyama, T. (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.
- Bera, A., Mukhopadhyay, BP., Chowdhury, P., Ghosh, A., & Biswas, S. (2021). Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC model in Nangasai River Basin, India with special emphasis on agricultural contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214: 112085.
- Bhuvaneswaran, C., & Ganesh, A. (2019). Spatial assessment of groundwater vulnerability using DRASTIC model with GIS in Uppar odai subwatershed, Nandiyar, Cauvery Basin, Tamil Nadu. *Groundwater for Sustainable Development*, 9:100270. doi:https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100270.
- Chitsazan, M., & Akhtari, Y. (2009). A GIS-based DRASTIC Model for Assessing Aquifer Vulnerability in Kherran Plain, Khuzestan, Iran. *Water Resource Management*, 23, 1137-1155. doi:10.1007/s11269-008-9319-8.
- Dixon B. (2005). Applicability of neuro-fuzzy techniques in predicting groundwater vulnerability: a GIS-based sensitivity analysis. *Journal of Hydrology*. 309(1-4):17-38. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.11.010>.

- Fathie, H. A. & Beygi, H. H. (2012). Zoning the vulnerability potential of Shahrekord aquifer using the DRASTIC model and its validation using seasonal changes in nitrate and phosphate pollutant concentrations. *Water Resources Engineering*, 5(14), 1-16. Doi: [20.1001.1.20086377.1391.5.14.1.6](https://doi.org/10.1001.1.20086377.1391.5.14.1.6) (In Persian).
- Ganwer, S., Sinha, M. Multaniya, A., & Ghodichore, N. (2024). Introducing reverse Multi Influencing Factor technique in DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment. *Groundwater for Sustainable Development*, Volume 25, 101106. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101106>.
- Hamed Masoud, H., Dara Rebwar, N., & Kirlas Marios, C. (2024). Groundwater vulnerability assessment using a GIS-based DRASTIC method in the Erbil Dumpsite area (Kani Qirzhala), Central Erbil Basin, North Iraq. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 12(1): 16-33. doi: 10.26599/JGSE.2024.9280003.
- Jokar Niasar, V. (2002). Investigation and estimation of nitrate transfer from absorbent wells to the groundwater surface in Tehran, Master's thesis, Sharif University of Technology. (In Persian).
- Krishna, R., Iqbal, J., & Gorai, A.K. (2015). Groundwater vulnerability to pollution mapping of Ranchi district using GIS. *Applied Water Science* 5, 345–358. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0198-2>.
- Lathamani, M.R., Janardhana, B., Mahalingam, S., & Suresha. (2015). Evaluation of Aquifer Vulnerability Using Drastic Model and GIS: A Case Study of Mysore City, Karnataka, India, *Aquatic Procedia*. 4, Pages 1031-1038, doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.130.
- Mardan, H., & Yargholi, B. (2020). Ardabil Alluvial Plain Aquifer Vulnerability Zoning Using a Combination of GIS and DRASTIC Method. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(6(97)), 391-406. (In Persian).
- 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. doi: 10.22077/jdcr.2023.6186.1020. (In Persian).
- Nakhostin Rouhi, M., Rezaei Moghaddam, M. H., & Rahimpour, T. (2017). Groundwater vulnerability zonation using DRASTIC and SI models in GIS (Case Study: Ajabshir Plain). *Journal of Eco hydrology*, 4(2), 587-599. doi: 10.22059/ije.2017.61496. (In Persian).
- Novinpour, E.A., Moghimi, H., & Kaki, M. (2022). Aquifer vulnerability based on classical methods and GIS-based fuzzy optimization method (case study: Chahardoli plain in Kurdistan province, Iran). *Arabian Journal of Geoscience* 15, 360 (2022). doi.org/10.1007/s12517-022-09549-7.
- Ozegin, K., Ilugbo, S. & 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*, Volume 134 103562, doi.org/10.1016/j.pce.2024.103562.
- Pourbalighy, M., Rezayan, S., Rafaty, M., & hejazi, R. (2022). Evaluation of groundwater vulnerability of aquifers in aisin plain by drastic and GODS models and GIS. *Journal of RS and GIS for natural resources*, 12(4 (45), 71-94. (In Persian).
- Rahman, A. (2008). A GIS based model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Algarh, India. *Applied Geography*, 28(1):32–53.
- Rangzan, k., Firouzabadi, P, Mirzaei, & Alijani, f. (2008). Mapping of groundwater vulnerability using drastic and empirical assessment of unsaturated zone in gis, varamin plain. *Iranian journal of geology*, 2(6), 21-32. (In Persian).
- Sarcheshmeh, B. & Shahmohammadi-Kalalagh, S. (2017). Evaluation of Salmas Plain Aquifer Vulnerability to Pollution Using DRASTIC Model and GIS. *Water and Soil Science*, 26(4.2), 55-67. (In Persian).
- Taheri Tizro, A., Qaleban Tgmedash, M., & Farajy, F. (2021). Vulnerability evaluation of Qazvin Plain Using DRASTIC-AHP Based on Geographic Information System. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(29), 145-160. doi: 10.22111/jneh.2020.34024.1659. (In Persian).
- Vrba J., & Zoporozec A. (1994). *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. International Contributions to Hydrogeology. Verlag Heinz Heise GmbH and Co, KG.
- Yazdani, V., & Mansourian, H. (2019). The assessment vulnerability of Qazvin-plain aquifer, sensitivity analysis removing parameters by using GIS. *Irrigation and Water Engineering*, 10(2), 127-145. doi: 10.22125/iwe.2019.100746. (In Persian).