

Assessment of the pollution potential of groundwater in Khaledabad Badrood aquifer using DRASTIC model

Alireza Asadsoltani¹, Mozghan Ahmadi Nadoushan^{2*} 

1. Master of Environmental sciences, Department of Environmental sciences, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

2. *Corresponding Author*, Assistant professor, Department of Environmental sciences, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 13 November 2020

Revised: 10 October 2021

Accepted: 31 October 2021

Keywords:

Drastic model, vulnerability, aquifer, Nitrate.

ABSTRACT

Surface water resources are limited in many regions in Iran, so groundwater resources are considered the most suitable resources for supplying water. The excessive use of chemical pests and fertilizers has resulted in groundwater pollution. Therefore, it is necessary to determine the vulnerable areas to preserve these vital resources. In this study, the DRASTIC model was used to analyze the vulnerability of groundwater in Khaled-Abad- Bardood plain. Seven factors including the nutrition of pure water, groundwater depth, unsaturated area, soil texture, Hydraulic conductivity, aquifer media, and topography were used in the model. After the preparation of 7 layers, appropriate weight was assigned to these factors. Finally, by mapping these layers and applying their weight to them in ArcGIS 10.5, the vulnerability maps of the groundwater were generated. To validate the model, sampling and measuring the amount of nitrate for 13 wells located in the Khaled-Abad-Bardood plain were conducted. The results indicated that 22% of the plain was vulnerable based on the DRASTIC model, which was located in the vicinity of Bardood city and its eastern areas. The results also showed that the correlation of the DRASTIC vulnerability map with the measured nitrate was found to be 74 %.

Cite this article: Asadsoltani, A., & Ahmadi Nadoushan, M. (2022). Assessment of the pollution potential of groundwater in Khaledabad Badrood aquifer using DRASTIC model. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(33), 39-58. DOI: 10.22111/jneh.2021.36460.1728



© Mozghan Ahmadi Nadoushan.

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2021.36460.1728

* Corresponding Author Email: m.ahmadi@khuisf.ac.ir



مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره یازدهم، شماره ۳۳، پاییز ۱۴۰۱

ارزیابی پتانسیل آلودگی آب های زیرزمینی آبخوان خالد آباد-بادرود نطنز با مدل دراستیک

علیرضا اسدسلطانی^۱، مژگان احمدی ندوشن^{۲*}

۱. کارشناسی ارشد محیط زیست، گروه محیط زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان

۲. استادیار، گروه محیط زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان (نویسنده مسئول)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	از آنجا که منابع آب سطحی در بسیاری از مناطق کشور محدود است، آبهای زیرزمینی به عنوان مناسب ترین منبع در دسترس جهت تامین آب موردنیاز به حساب می آید، از طرف دیگر استفاده بیش از حد آفات و کودهای شیمیایی منجر به آلودگی آبهای زیرزمینی گردیده است، لذا تعیین عرصه های آسیب پذیر در حفظ این منابع حیاتی امری ضروری به نظر می رسد. در این پژوهش، به منظور تحلیل آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت خالدآباد- بادرود به آلودگی از مدل دراستیک بهره گرفته شد و به طور کلی ۷ فاکتور تغذیه آب خالص، عمق آب زیرزمینی، ناحیه غیراشباع، بافت خاک، هدایت هیدرولیکی، محیط آبخوان، توپوگرافی در مدل دراستیک دخیل گردید. پس از تهیه نقشه این فاکتور ها، تعیین وزن این فاکتورها انجام گردید و در نهایت با روی هم گذاری این لایه ها و اعمال وزن آنها در نرم افزار ArcGIS 10.5 نقشه ی آسیب پذیری آب زیرزمینی تهیه شدند. به منظور اعتبارسنجی مدل دراستیک، اقدام به برداشت نمونه و تعیین میزان نیترات برای ۱۳ چاه آب واقع در دشت خالدآباد- بادرود گردید. نتایج حاکی از آنست که در مدل دراستیک، ۲۲ درصد از دشت در محدوده آسیب پذیر واقع شده است که بیشتر در محدوده اطراف شهر بادرود و نواحی شرقی قرار دارد. همچنین نتایج مقایسه نقشه نیترات با نتایج مدل دراستیک بیانگر این است که مدل دراستیک با میزان نیترات اندازه گیری شده دارای همبستگی ۷۴ درصد است.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۲۳	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۹	
واژه های کلیدی:	
مدل دراستیک، آسیب پذیری، آبخوان، نیترات.	

استناد: اسدسلطانی، علیرضا، & احمدی ندوشن، مژگان. (۱۴۰۱). ارزیابی پتانسیل آلودگی آب های زیرزمینی آبخوان خالد آباد-بادرود نطنز با مدل

دراستیک. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۳)، ۵۸-۳۹. DOI: 10.22111/jneh.2021.36460.1728



© علیرضا اسدسلطانی، مژگان احمدی ندوشن*

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

اخیراً، با رشد سریع جمعیت، رشد شهرنشینی و صنعتی شدن، منابع آب زیرزمینی در معرض خطر قرار گرفته اند و مشکل جدی زیست محیطی ایجاد کرده اند (افسار و همکاران، ۲۰۲۰). در چند دهه اخیر با افزایش رشد جمعیت و به دنبال آن افزایش نیاز آبی کشور، تعادل منابع آبی در معرض تهدید قرار گرفته است (گودرزی و همکاران، ۲۰۱۴). امروزه، تهیه آب آشامیدنی یکی از مهمترین نگرانی ها در سراسر جهان است. این مشکل در کشورهای خشک و نیمه خشک جدی تر از سایر کشورهاست (نخستین روحی و رضایی مقدم، ۲۰۱۹). با توجه به افزایش نیاز مبرم به آب و اینکه تنها منبع مطمئن بهره برداری در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران سفره آب زیر زمینی می باشد لذا نقش مدیریت صحیح بهره برداری و حفاظت از آب های زیرزمینی آشکار می شود. نحوه مدیریت این منابع باید به صورتی باشد که از اثرات زیان آوری مانند برداشت مازاد، نامناسب شدن کیفیت آب و اثر آن روی آب آشامیدنی و محصولات کشاورزی و نشست زمین بر اثر برداشت بیش از اندازه آب چه در حال و آینده جلوگیری نماید (حمزه و همکاران، ۲۰۱۵). از آنجایی که مناطق خشک و نیمه خشک وابسته به منابع آب زیرزمینی هستند، جلوگیری از آلودگی این منابع آبی امری ضروری در مدیریت یکپارچه منابع آب می باشد (مرادی و همکاران، ۲۰۱۷). منابع آب زیرزمینی در سراسر جهان برای اهداف کشاورزی، صنعتی و خانگی مورد بهره برداری قرار گرفته اند. منابع گوناگون آلودگی نقطه ای و غیرنقطه ای آلاینده ها ناشی از فعالیت های کاربری اراضی گوناگون، افزایش شهرنشینی و پساب های صنعتی آبخوان ها را آلوده می کند و بر کیفیت آب زیرزمینی تاثیرگذار است (نشاط و همکاران، ۲۰۱۴؛ آریا و همکاران، ۲۰۲۰). لذا یکی از راههای مناسب برای جلوگیری از آلودگی های آب زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب پذیر آبخوان و مدیریت کاربری اراضی می باشد (احمدی و همکاران، ۲۰۱۳). مدیریت آب زیرزمینی را می توان به طور موثر با ارزیابی آسیب پذیری منابع آب زیرزمینی به آلودگی انجام داد. نقشه آسیب پذیری راهنمایی برای تصمیم گیران برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در مقیاس منطقه ای می باشد. مدل های ارزیابی آسیب پذیری در فراهم کردن اطلاعات در مورد آسیب پذیری آب زیرزمینی به آلودگی در زمان کوتاه و با هزینه کم در مناطق وسیع بسیار کارایی دارد (افسار و همکاران، ۲۰۲۰). ارزیابی آسیب پذیری می تواند حساسیت یک منطقه به آلودگی را تعیین کند و به تصمیم گیران برای ارزیابی مناطق آسیب پذیر به منظور تمرکز روی فعالیت های ضروری برای اصلاح کمک کند (آریا و همکاران، ۲۰۲۰). روش های مختلفی برای ارزیابی پتانسیل آلودگی در یک آبخوان وجود دارد که از جمله آن می توان به روش های همپوشانی (GODS, DRATIC, SINTAC, COP, AVI)، روش های آماری و روش های ریاضی اشاره کرد. روش دراستیک از بیشترین مشخصه های موثر در آسیب پذیری استفاده می کند و به همین علت اثر عدم قطعیت های احتمالی در مشخصه ها را کاهش می دهد. در بیشتر روش های شاخص و همپوشانی و از جمله روش دراستیک، باید اطلاعات به دست آمده از پارامترهای مختلف تلفیقی تجزیه و تحلیل شوند (خلقی و تاکی، ۲۰۰۴؛ خمیری و همکاران، ۲۰۱۳). سامانه اطلاعات جغرافیایی به دلیل ویژگی ها و توانایی های خاص خود، می تواند ابزاری بسیار مفید باشد. ویرایش و به هنگام سریع داده ها، مدل سازی و تهیه گزارش به شکل های گوناگون از ویژگی های این سامانه می باشند (ملک محمود و همکاران، ۲۰۱۴). تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ایجاد، ذخیره سازی، تجزیه و تحلیل و مدیریت داده های مکانی و زمانی کارایی دارد (حیدریان و همکاران، ۲۰۱۴). با استفاده از امکانات تحلیل فضایی که در GIS قابل دسترسی است، لایه های اطلاعاتی بر اساس هفت مولفه ی

دراستیک ایجاد می‌شود. وقتی مقادیر دراستیک از طریق GIS نشان داده شوند، رابطه‌ی فضایی بین اجرای مدیریت اراضی و آسیب پذیری آب زیرزمینی مشخص می‌شود (برزگر و همکاران، ۲۰۱۵). هدف مطالعات آسیب پذیری آب زیرزمینی، تهیه نقشه و تعیین مناطقی با نیروی بالای آسیب پذیری است (انتظاری و همکاران، ۲۰۱۴؛ دیکسون، ۲۰۰۵؛ وودوریس و همکاران، ۲۰۱۰). دراستیک، مدلی است که عملاً در بسیاری از کشورهای جهان، برای ارزیابی آسیب پذیری آبخوان استفاده می‌شود. از دلایل موفقیت این مدل می‌توان به این موارد اشاره نمود که نسبتاً ارزان می‌باشد، داده‌های ورودی مورد نیاز را می‌توان از شرکت آب منطقه‌ای استان و با ابزارهای GIS تهیه کرد و به راحتی در سامانه اطلاعات جغرافیایی قابل اجرا می‌باشد، همچنین نتایج این مدل به راحتی تفسیر شده و با فرآیندهای تصمیم‌گیری ترکیب می‌گردد. بنابراین در این مطالعه و مطالعات مشابه می‌توان از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت کاهش صرف وقت و افزایش دقت در تهیه لایه‌های اطلاعاتی و تلفیق آن‌ها استفاده کرد (علیپور و همکاران، ۲۰۱۵؛ آل سعود، ۲۰۱۰).

از آنجا که کشور ایران در یکی از خشک‌ترین مناطق جهان قرار دارد و متوسط بارندگی کشور ۲۵۲ میلی‌متر بوده که برابر یک سوم متوسط جهانی است، در سال‌های اخیر بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی موجب ایجاد نگرانی‌هایی شده است. آنچنان که با افزایش روبه‌افزون جمعیت، توسعه صنعت، رشد شهرنشینی و به تبع آن افزایش تقاضا به مواد غذایی، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی چندین برابر شده بطوری که میزان بهره‌کشی از آبخوان‌های زیرزمینی بیشتر از میزان تغذیه این منابع است.

یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی‌های آب زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان و مدیریت کاربری اراضی است (احمدی و همکاران، ۲۰۱۳). به عبارت دیگر آبخوان‌ها به شکل‌های مختلف در معرض آلودگی قرار دارند که تشخیص و کنترل آلودگی در آن‌ها نسبت به آب‌های سطحی مشکل‌تر و پرهزینه‌تر می‌باشد. همچنین به دلیل استمرار آلودگی آبخوانها توسط منابع آلوده‌کننده و افزایش مناطق آسیب‌پذیر، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی امری ضروری می‌باشد (رحیم‌زاده کیوی و همکاران، ۲۰۱۵). آسیب‌پذیری بیانگر استعداد سیستم در تاثیرپذیری از عوامل آلوده‌کننده است (بای و همکاران، ۲۰۱۱).

در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان در کشورهای مختلف صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. حقی‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی به بررسی پتانسیل یابی آلودگی آب زیرزمینی دشت قهاوند همدان به روش دراستیک پرداختند. در این مطالعه ۷ پارامتر مهم در تعیین آلودگی وارد مدل شد و در محیط نرم افزار ArcGIS اقدام به روی هم گذاری لایه‌ها گردید و در نهایت نقشه آسیب‌پذیری آب زیر زمینی تهیه گردید که نتایج بیانگر دقت قابل قبول روش دراستیک در تعیین مناطق آسیب‌پذیر است. اصغری مقدم و همکاران (۱۳۹۷) ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت اشنویه را با استفاده از مدل‌های دراستیک و سینتکس انجام دادند. نتایج نشان داد هر دو مدل برای تعیین آسیب‌پذیری این آبخوان مناسب هستند و مدل دراستیک اصلاحی نسبت به مدل سینتکس اصلاحی، نتایج بهتری ارائه داد. بر اساس نتایج، مناطق مرکزی دشت دارای بیشترین و مناطق جنوب غربی و حاشیه‌های دشت دارای کمترین میزان پتانسیل آسیب‌پذیری هستند.

لازاگنا و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی به بررسی آسیب پذیری آب زیرزمینی در شمال غربی ایتالیا پرداختند. در این مطالعه از روش دراستیک اصلاح شده بهره گرفته شد، همچنین از مقادیر نیترات هم جهت صحت سنجی استفاده گردید. نتایج بیانگر عدم همبستگی بین میزان آسیب پذیری و نیترات بود و این می‌تواند به دلیل عدم توانایی نیترات در ردیابی فعالیت های شیمیایی آب زیر زمینی باشد زیرا نیترات تنها یک نشانه از فعالیت های فیزیکی و زیستی در آب زیرزمینی است.

آریا و همکاران (۲۰۲۰) مطالعه ای به منظور ارزیابی آسیب پذیری آبخوان رودخانه واتامالاکارای واقع در جنوب هند برای حفاظت منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش دراستیک انجام دادند. نتایج نشان داد که منطقه دارای زون های با ریسک آلودگی بالا، متوسط و پایین است. بیشتر سطح آبخوان تحت شرایط ریسک آلودگی متوسط است.

افسوا همکاران (۲۰۲۰) ارزیابی آسیب پذیری آبخوان مگچ واقع در شمال غربی اتیوپی را با استفاده از مدل دراستیک اصلاح شده و ۸ فاکتور انجام دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که بیش از ۸۵ درصد آب زیرزمینی منطقه دارای آسیب پذیری متوسط تا بالا به آلودگی است و در مناطق با ریسک بالای آلودگی، میزان نیترات و کلی فرم از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی بالاتر است.

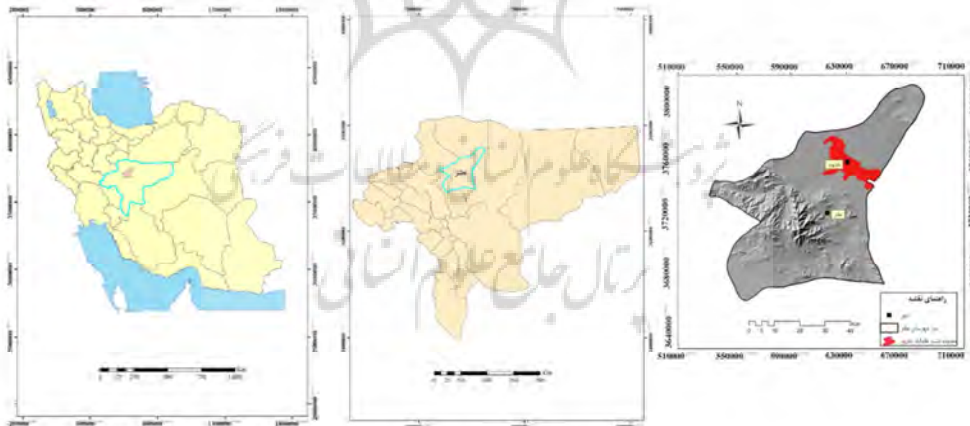
استان اصفهان جز مناطق خشک و نیمه خشک ایران محسوب می‌شود و به نظر می‌رسد مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی و برنامه‌ریزی در راستای استفاده بهینه از این منبع از الویت بالایی برخوردار است. در این میان آمار نشان‌دهنده این است که بدلیل برداشت بی رویه و عدم بارندگی در چند سال اخیر، سطح آب زیرزمینی در شهرستان نطنز شدیداً کاهش یافته است، علاوه بر این کیفیت آب تغییر پیدا کرده است و شوری و میزان مواد محلول افزایش یافته است، از این رو به نظر می‌رسد حفظ منابع آب زیر زمینی در این شهرستان امری ضروری است. لذا هدف از این مطالعه، ارزیابی آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی به آلودگی در آبخوان دشت خالدآباد- بادرود با استفاده از مدل دراستیک و نیز اعتبارسنجی مدل با استفاده از اندازه گیری نیترات است که در راستای اجرای مدل دراستیک نیاز به عمق برخورد به سطح ایستابی (D)، نرخ تغذیه خالص (R)، مواد تشکیل دهنده آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، اثر منطقه غیر اشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) می‌باشد.

داده ها و روش کار

قلمرو جغرافیایی تحقیق

شهر بادرود در ۱۳۵ کیلومتری شمال اصفهان، ۲۵ کیلومتری شمال نطنز، ۶۰ کیلومتری جنوب شرق کاشان و ۵۵ کیلومتری غرب اردستان و شاهراه ترانزیت تهران بندرعباس قرار دارد. مطابق آخرین سرشماری کشور جمعیت بادرود بیش از ۱۳ هزار نفر است. بادرود دارای آب و هوای گرم و خشک کویر است، دارای تابستانی نسبتاً گرم و بارندگی بسیار کم و شب‌های تقریباً خنک و دارای زمستانی سرد و در بعضی اوقات با بارش بسیار کم برف همراه است. بارش باران در دو فصل زمستان و تابستان نسبتاً کم است و بیشتر در فصل‌های بهار و پاییز باران می‌بارد. گرم‌ترین زمان بادرود ماه تیر و اوایل مرداد بوده و سردترین زمان آن هم آذر و دی و تا اواسط بهمن می‌باشد ولی میانگین هوا در تابستان ۳۰ درجه سانتیگراد و در زمستان روزها ۶ درجه سانتیگراد است. ارتفاع شهر از سطح دریا

حدود ۹۵۵ متر بوده و متوسط بارندگی سالانه در بادرود حدود ۱۰۸ میلیمتر می‌باشد. دشت خالدآباد- بادرود با مرکزیت شهر بادرود به عنوان یکی از مهم ترین دشت‌های ایران در ذخیره آب محسوب می‌گردد اما متأسفانه در سال های اخیر با برداشت بی رویه آب مواجه گردیده است که منجر به ایجاد نگرانی‌هایی در این زمینه گردید است. محصولات منطقه کرفس، انار، خیار، هویج، شلغم، پیاز، زردآلو، گوجه سبز، طالبی، گرمک آفاعلی عباسی، خیار چنبر، کدو، هندوانه، گندم، جو، برنج، بلال، کلزا، خرمالو، سیب گلاب و انجیر است. منطقه بادرود از نظر توپوگرافی به سه قسمت تقسیم می‌شود: الف) سمت جنوبی: که از آبرفتهای کوه کرکس نطنز تشکیل شده، دشت حاصلخیزی است و دارای خاک رس و ماسه نرم و مستعد برای کشاورزی و دارای منابع آب زیرزمینی نسبتاً خوب است. این منطقه در طول ۳۰ کیلومتر و عرض ۱۵ کیلومتر است. ب) قسمت مرکزی: به طول ۳۰ کیلومتر و عرض ۱۰ کیلومتر (به مساحت ۳۰۰ کیلومتر مربع) از تپه‌های شن‌های روان پوشیده شده و منطقه کویری است که از سال ۱۳۵۴ با ایجاد ایستگاه تثبیت شن و نهال کاری و بذر پاشی منطقه نسبتاً حالت آرام به خود گرفته است. ج) قسمت شمالی و شمال شرقی: به طول ۹۰ تا ۹۵ کیلومتر و عرض ۳۰ کیلومتر که ابتدای محدوده و حد و مرز شهر ورامین است و دارای یک رشته کوه (به نام سیاه کوه) بوده که نسبتاً نمکزار است. سفره های آب زیرزمینی آبخوان در این منطقه دارای بستر رسی است. دشت خالدآباد-بادرود دارای وسعت ۸۳۸ کیلومترمربع است. آبخوان آبرفتی این محدوده مطالعاتی با وسعت ۵۸۳ کیلومترمربع یکی از مهمترین آبخوان های آبرفتی حوزه آبریز است. منابع آب زیرزمینی موجود در دشت شامل ۱۷۳ حلقه چاه، ۹ رشته قنات و ۱ دهنه چشمه با مجموع تخلیه سالانه ۸۶ میلیون مترمکعب است. میزان تبخیر و تعرق واقعی ۹۹/۵ میلیمتر در سال است. نقشه موقعیت دشت در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

مدل دراستیک

دراستیک^۱ مخفف پارامترهای عمق برخورد به سطح ایستابی (D)، نرخ تغذیه خالص (R)، مواد تشکیل دهنده آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، اثر منطقه غیر اشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) است که یک سیستم

^۱-DRASTIC

هیدروژئولوژیکی کنترل کننده آلودگی آب زیر زمینی می‌باشد. در این روش جهت هم مقیاس‌سازی هر کدام از فاکتورها که ذکرگردید از دانش کارشناسی و استفاده از تابع طبقه‌بندی مجدد بهره گرفته می‌شود. در این مدل متناسب با جداول آلر و همکاران (۱۹۸۷) رتبه بندی صورت می‌گیرد، بدین صورت که به هر یک از پارامترها وزن بین ۱ تا ۵ داده می‌شود. همچنین از مهمترین فرضیات روش دراستیک می‌توان به بزرگتر بودن منطقه مورد مطالعه از ۴۰ هکتار، سطح زمین تولید کننده آلودگی است، آلودگی از طریق آب به زمین نفوذ می‌کند و آب مهمترین محرک و حرکت آلودگی آب می‌باشد. معادله این روش به صورت زیر است (جوانشیر و همکاران، ۲۰۱۶؛ حقی زاده، ۲۰۱۷).

جهت تهیه لایه پارامترهای موثر در مدل دراستیک بصورت زیر عمل می‌شود:

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

که در معادله بالا r رتبه و w وزن هر پارامتر است (آلر و همکاران، ۱۹۸۷). هر لایه به طبقات مناسب طبقه بندی می‌شود و رتبه‌ای در محدوده‌ی ۱ تا ۱۰ به آن اختصاص می‌یابد. وزن‌ها از ۱ تا ۵ به لایه‌ها داده می‌شود (ندیری و همکاران، ۲۰۱۹). شکل ۲ فلوجارت مراحل تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۲: فلوجارت مراحل تحقیق

پارامترهای مدل دراستیک

عمق آب زیر زمینی

این پارامتر تعیین کننده عمقی است که آلاینده باید طی کند تا به سطح ایستابی برسد. عمق کم آب زیرزمینی سبب می‌شود آلاینده‌ها سریعتر به سیستم آب زیرزمینی راه یابند. برای تهیه لایه عمق آب زیرزمینی داده اکسل سطح آب در چاه‌های پیژومتری به محیط نرم افزار ArcGIS 10.5 وارد شد و نقشه رستری عمق آب زیرزمینی با روش درونابی کریجینگ تهیه شد.

تغذیه خالص

مقدار آبی که از سطح زمین نفوذ کرده و به سطح ایستابی میرسد است. تغذیه خالص عاملی برای انتقال آلاینده ها به منطقه اشباع از طریق ناحیه غیراشباع است. تغذیه آب موجب می شود تا آلاینده ها به صورت عمودی انتقال یابد و به سطح ایستابی برسد. تغذیه بیشتر، سرعت بالاتری را برای انتقال آلاینده ها به سطح آب زیرزمینی فراهم می کند. هر چه میزان تغذیه بالاتر باشد، آسیب پذیری آب زیرزمینی به علت احتمال انتقال آلاینده ها بیشتر می شود. برای تهیه این لایه از روش پیسکوپو (۲۰۰۱) و از همپوشانی سه لایه بارندگی، شیب و نفوذپذیری خاک استفاده شد.

محیط آبخوان

محیط آبخوان و خصوصیات مواد تشکیل دهنده آن مانند میزان تخلخل، جنس و اندازه ذرات بر میزان پویایی و تحرک آلودگی و به بیانی فرایندهای رقیق سازی آلودگی تأثیرگذار است. با توجه به جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان و با استفاده از گزارشها و نقشه های زمین شناسی و لاگ های حفاری، اقدام به تهیه این لایه شده است. برای این لایه ابتدا جنس مواد تشکیل دهنده بخش اشباع آبخوان مشخص و بخش هایی که جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان یکسان و دارای رتبه برابری بودند به صورت یک پلی گون جداسازی شد و به لایه رستری تبدیل شد.

محیط خاک

محیط خاک دربرگیرنده بخش هوازده بالای منطقه غیراشباع است و بر چگونگی حرکت آلاینده ها تأثیرگذار است. بر میزان تغذیه و توانایی آلاینده ها برای نفوذ به محیط تأثیر می گذارد. وجود مواد دارای بافت ریزدانه مانند سیلت و رس، تراوایی خاک را کاهش می دهند و به عکس مواد دانه درشت تر مانند شن، نفوذپذیری خاک و در نتیجه قابلیت انتقال آلاینده ها به سیستم آب زیرزمینی را افزایش می دهند. برای تهیه این لایه، از نقشه بافت محیط خاک استفاده شد، همانند لایه های درگیر در نهایت از آنالیز درون یابی جهت تهیه این لایه استفاده شد.

توپوگرافی

از لایه شیب برای این پارامتر از پارامترهای ۷ گانه دراستیک استفاده می شود که به شیب زمین اطلاق می شود. مناطقی که دارای شیب کم هستند، تمایل به نگهداری طولانی تر آب دارند و احتمال نفوذ آلودگی به آب زیرزمینی در آنها بالاتر است؛ از این رو مناطق دارای شیب کمتر دارای پتانسیل آلودگی زیادتر دارند. جهت تهیه این لایه، مدل رقومی ارتفاعی منطقه خالد آباد بادرود از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا^۱ دانلود شد و در ادامه از این مدل، با دستور Spatial Analyst نرم افزار ArcGIS 10.5، نقشه شیب تهیه شد.

^۱ - USGS

محیط غیر اشباع

بخش بالای سطح ایستابی است که غیر اشباع بوده و بین لایه خاک و سطح ایستابی قرار دارد. تاثیر منطقه غیر اشباع در آلودگی آبخوان، مشابه خاک بوده و به نفوذپذیری مواد تشکیل دهنده و خصوصیات محیط غیر اشباع بستگی دارد. برای تهیه این لایه از دو لایه ضخامت و جنس لایه‌های بالای سطح ایستابی در لاگ های حفاری استفاده شد و در ادامه با روش های درون یابی اقدام به تهیه لایه محیط غیر اشباع گردید.

هدایت هیدرولیکی

هدایت هیدرولیکی میزان نرخ آب نفوذیافته به سیستم آب زیرزمینی را از طریق محیط آبخوان مشخص می‌سازد، پس مناطق دارای هدایت هیدرولیکی بیشتر در ارزیابی پتانسیل آب های زیرزمینی رتبه بیشتری را به خود اختصاص خواهند داد. در این لایه پس از تهیه لایه پایه هدایت هیدرولیکی از آنالیز درون یابی در محیط نرم افزار 10.5 ArcGIS بهره گرفته شد.

صحت سنجی مدل با پهنه بندی نیترات

شایان ذکر است جهت اعتبارسنجی مدل دراستیک از مقادیر نیترات اندازه گیری شده استفاده می‌شود. بدین صورت که مقدار نیترات با نمونه برداری از چاه آب های واقع شده در آبخوان خالد آباد - با درود اقدام به اندازه گیری شد. نمونه برداری نیترات بصورت تصادفی و در ۱۳ چاه آب صورت گرفته است.

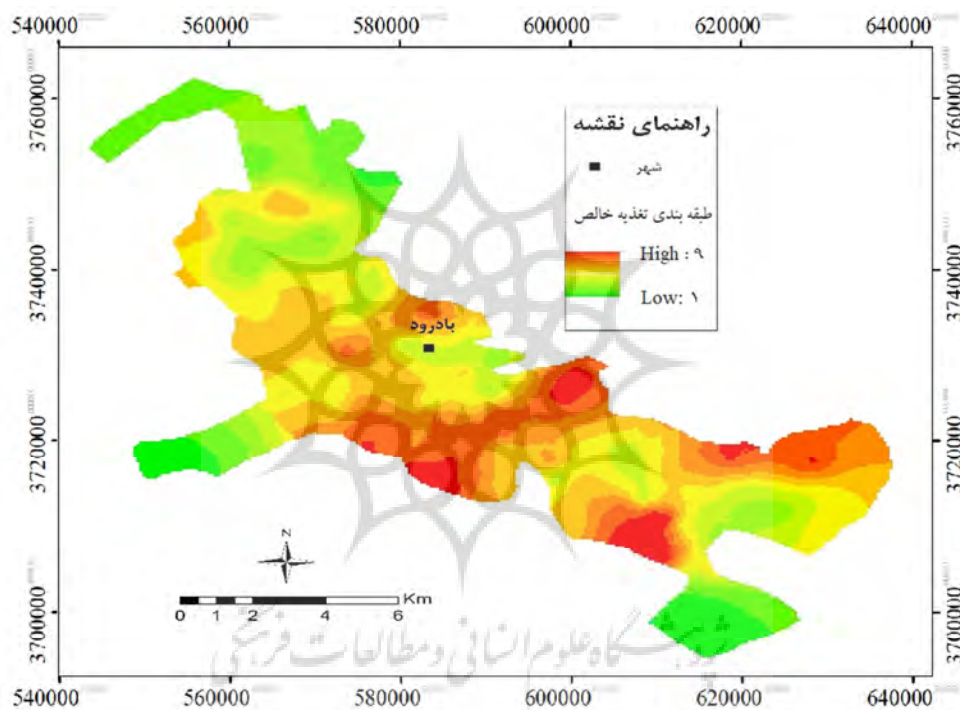
جهت اندازه گیری نیترات، بعد از انتقال نمونه به آزمایشگاه از دستگاه اسپکتروفتومتری استفاده می‌شود، بدین صورت که نمونه را صاف کرده که کدورت آب رفع شود. سپس ۵۰ سی سی نمونه را برداشته و ۱ سی سی اسید کلریدریک ۱ نرمال به آن اضافه می‌شود، در ادامه در طول موج ۲۲۰ نانومتر با سل uv جذب آن خوانده می‌شود و سپس در طول موج ۲۷۵ نانومتر نیز جذب را خوانده می‌شود تا خطای حاصل از مواد آلی را به دست آورید. در نهایت ۲ برابر جذب ۲۷۵ نانومتر را از جذب در ۲۲۰ نانومتر کم کرده تا جذب نیترات به دست آید (استاندارد متد، ۱۹۹۵). در ادامه با وارد سازی این اطلاعات به فضای نرم افزار ArcGIS 10.5 اقدام به درون یابی نیترات می‌شود، بدین صورت که با بهره گیری دستور کریجینگ عمل درون یابی صورت پذیرفت.

یافته ها

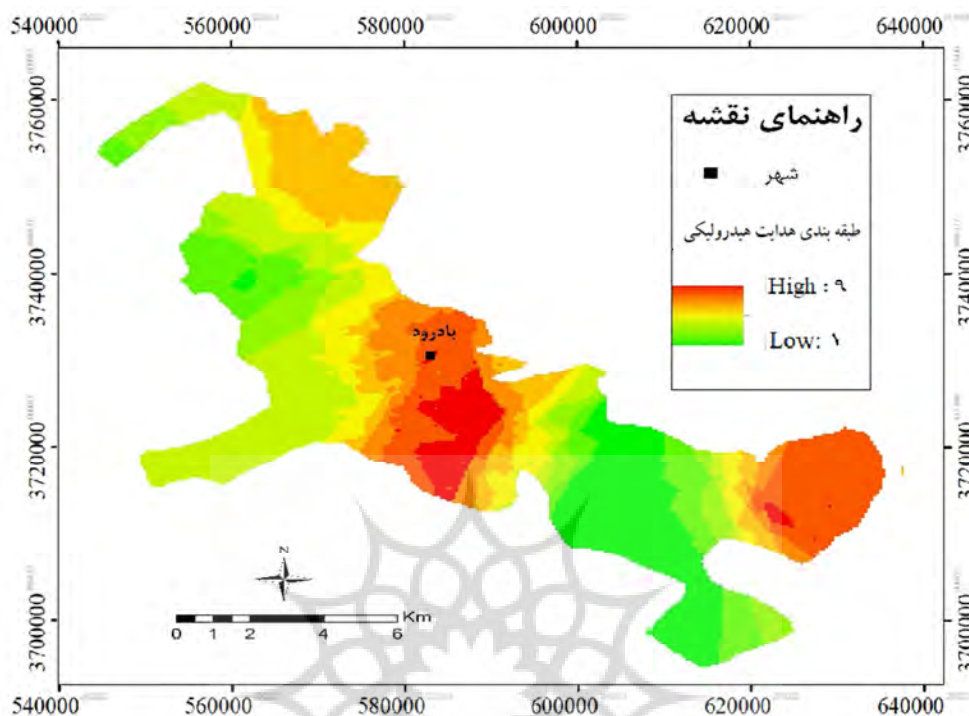
پس از جمع آوری اطلاعات مرتبط با آب زیرزمینی دشت خالدآباد-با درود، ۷ نقشه ورودی به مدل دراستیک در فضای نرم افزار ArcGIS 10.5 تهیه گردید، بدین صورت که ابتدا اطلاعات پایه هر فاکتور در وارد فضای این نرم افزار گردید، سپس با بهره گیری از روش های درون یابی و طبقه بندی آلر و همکاران (۱۹۸۷) لایه های مربوطه تهیه گردید که نتایج آن در ذیل مشاهده می شود.

لایه تغذیه خالص

از آنجاکه بالا بودن میزان بیلان آبی موجب بهبود انتقال عمودی آب زیرزمینی می‌شود. لذا در طبقه بندی این لایه، مناطق با میزان بیلان آبی بالاتر در طبقه ۹ قرار گرفتند، بدین معنا که خطر آسیب پذیری بالاتری دارند و بالعکس نواحی با میزان بیلان کمتر در طبقه های پایین تر قرار گرفتند. نقشه طبقه بندی تغذیه خالص در شکل (۳) نشان داده شده است.



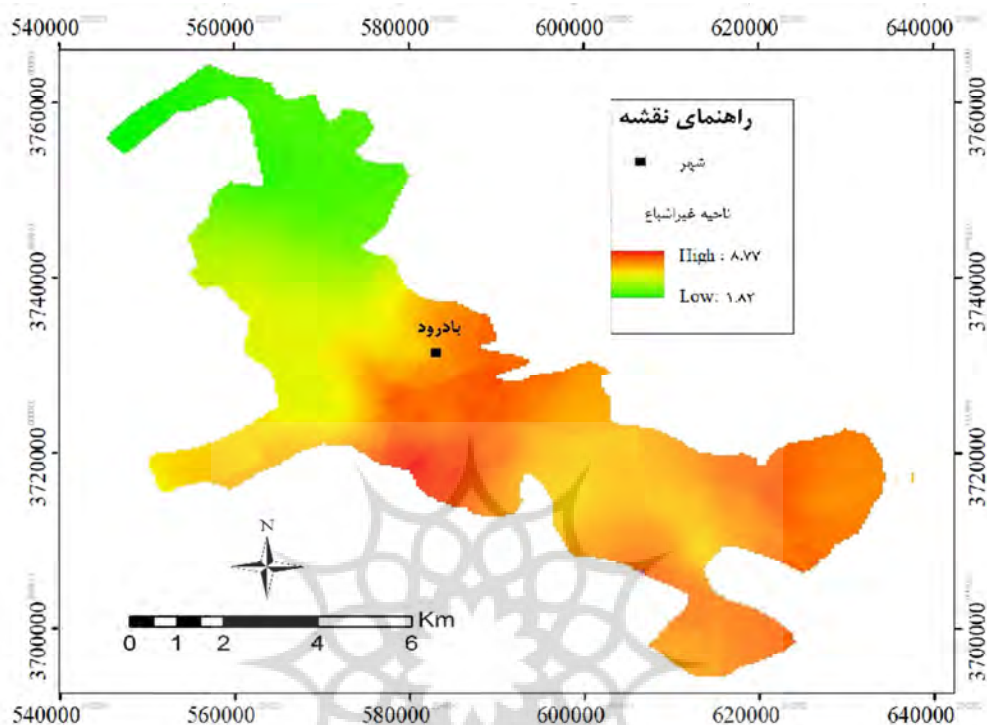
شکل ۳: نقشه طبقه بندی تغذیه خالص



شکل ۴: نقشه طبقه بندی هدایت هیدرولیکی

لایه ناحیه غیراشباع

برای تهیه این لایه با توجه به لاگ چاه های پیزومتری، به هر یک از چاه ها با توجه به معیارهای آلر و همکاران (۱۹۸۷) رتبه ای اختصاص یافت و لایه رستری با روش کریجینگ در نرم افزار ArcGIS 10.5 ایجاد گردید (شکل ۵). در طبقه بندی این لایه، مناطق با میزان نفوذ پذیری بالاتر در طبقه بالاتر قرار گرفتند، بدین معنا که قدرت انتقال آلودگی بیشتری دارند و بالعکس نواحی با میزان بیلان نفوذ پذیری پایین تر در طبقه های پایین تر قرار گرفتند.



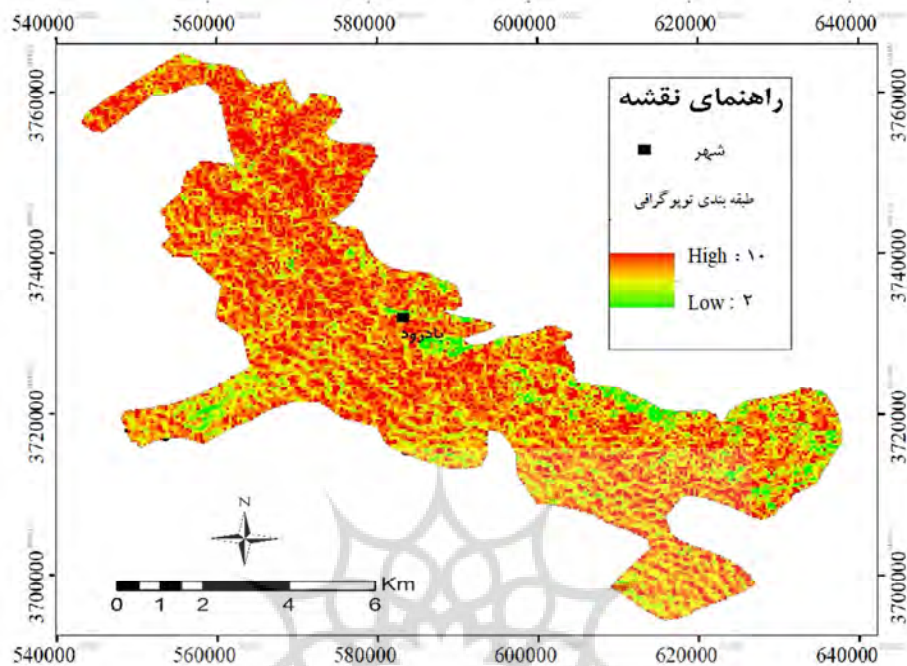
شکل ۵: نقشه ناحیه غیراشباع

لایه توپوگرافی

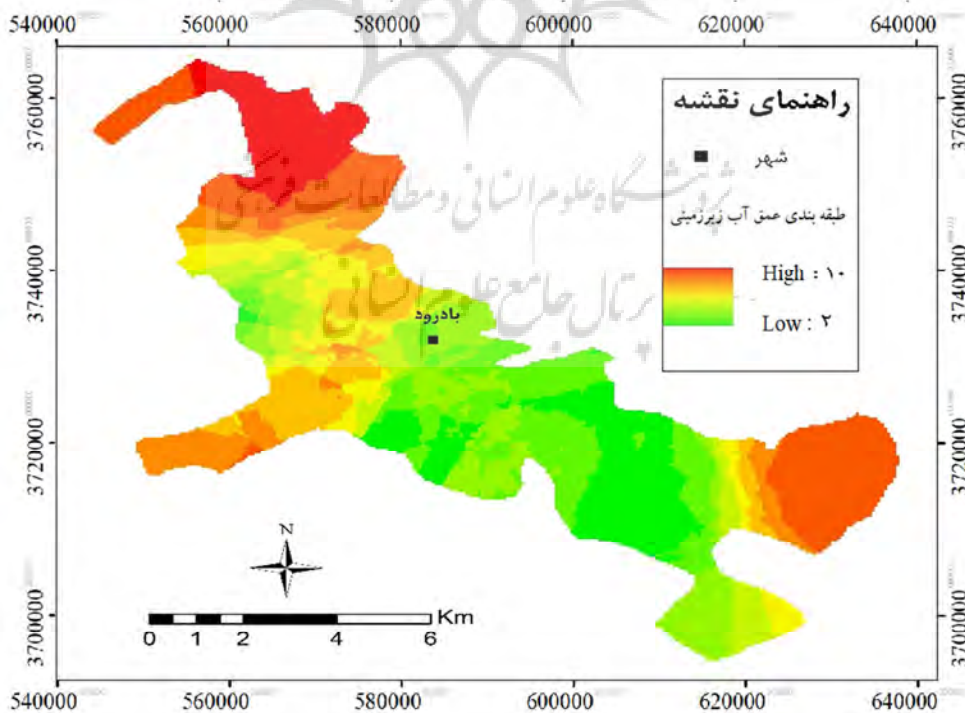
پس از محاسبه مقادیر شیب دشت خالد آباد-بادرود با بهره گیری از خطوط رقومی ارتفاعی، اقدام به طبقه بندی لایه شیب گردید (شکل ۶). مناطق با شیب کمتر از میزان نگهداری آب بیشتر و در نتیجه نفوذ بیشتر آب و قدرت انتقال آلودگی بیشتری برخوردارند، لذا در طبقه بندی این لایه، مناطق با میزان شیب کمتر در طبقه بالاتر قرار گرفتند و بالعکس نواحی با میزان شیب بیشتر در طبقه های پایین تر قرار گرفتند.

لایه عمق آب زیرزمینی

برای تهیه این لایه، داده اکسل سطح آب در چاه های پیژومتری به محیط نرم افزار ArcGIS 10.5 وارد شد و نقشه رستری عمق آب زیرزمینی با روش درونیابی کریجینگ تهیه شد. (شکل ۷). نواحی با عمق آب زیر زمینی کمتر، از پتانسیل یا نرخ آسیب پذیری بیشتری برخوردارند، لذا در طبقه بندی این لایه، مناطق با میزان عمق آب زیرزمینی کمتر در طبقه بالاتر قرار گرفتند و بالعکس نواحی با میزان عمق آب زیرزمینی بیشتر در طبقه های پایین تر قرار گرفتند.



شکل ۶: نقشه طبقه بندی توپوگرافی



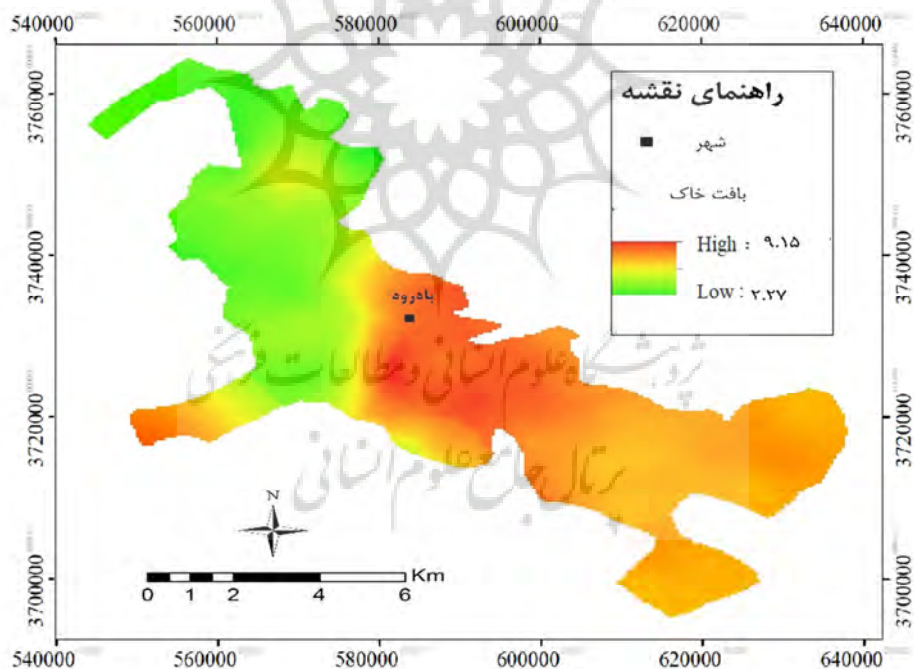
شکل ۷: نقشه طبقه بندی عمق آب زیرزمینی

لایه بافت خاک

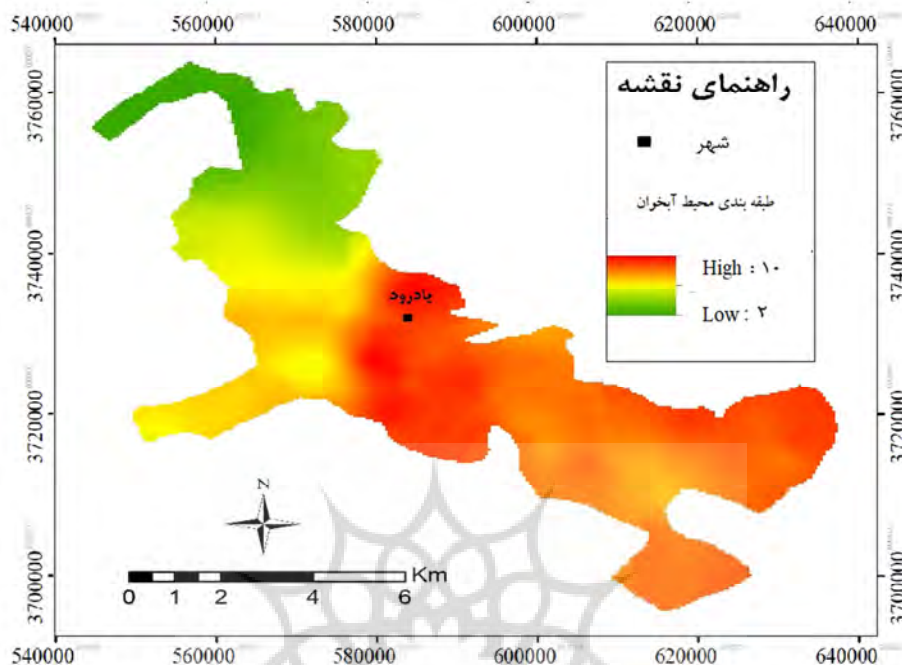
بافت خاک از اثرگذاری قابل توجهی در انتقال آلاینده ها به آب زیرزمینی برخوردار است، بنابراین بسته به نوع بافت خاک و با بهره گیری از طبقه بندی آلر مقادیری بین ۱ تا ۱۰ معین گردید، سپس اقدام به درون یابی با روش کریجینگ گردید. در ادامه مناطقی با میزان بافت خاک نفوذ پذیرتر بالاتر در طبقه بالاتر قرار گرفتند و بالعکس نواحی با میزان بافت خاک نفوذناپذیرتر در طبقه های پایین تر قرار گرفتند (شکل ۸).

لایه محیط آبخوان

با بهره گیری از لاگ های حفاری و اطلاعات زمینی شناسی موجود، محیط آبخوان آنها تعیین گردید. در ادامه برحسب میزان جورشدگی، جنس لایه های تشکیل دهنده اقدام به رتبه بندی شد و سپس اقدام به درون یابی با روش کریجینگ گردید، سپس با استفاد از طبقه بندی آلر نواحی بین ۱ تا ۱۰ معین گردید نتایج نشان داد که مناطق با نفوذپذیری بیشتر در اطراف شهر بادرود واقع گردیده است (شکل ۹).



شکل ۸: نقشه بافت خاک



شکل ۹: نقشه طبقه بندی محیط آبخوان

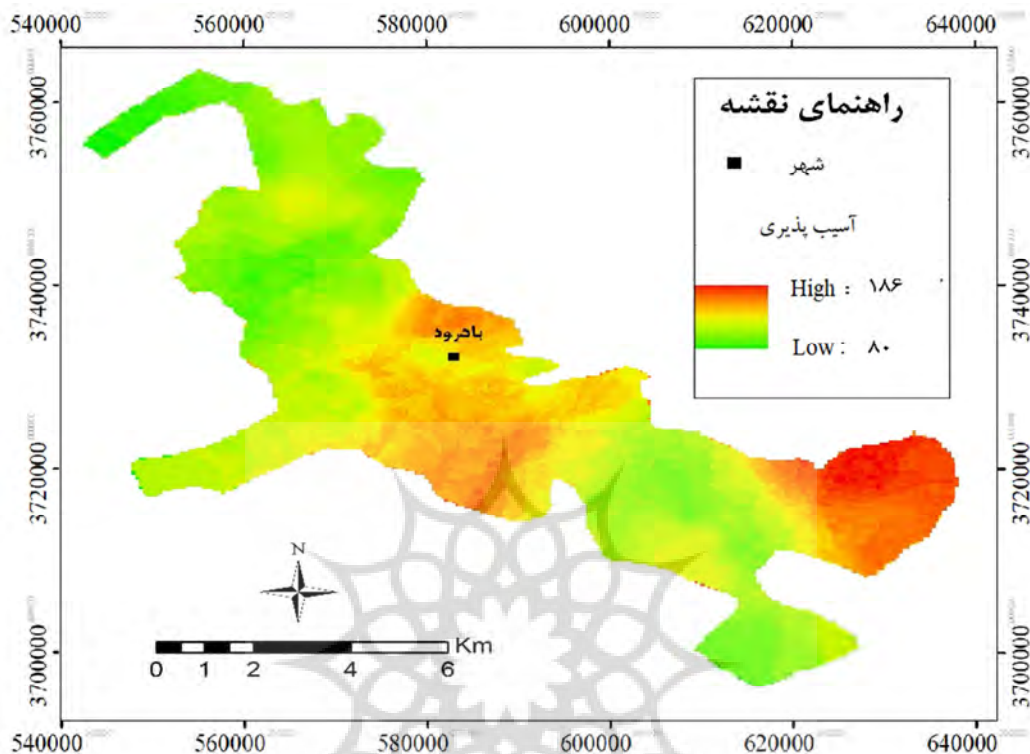
نتایج و بحث

تهیه نقشه آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت خالدآباد-بادرود با روش دراستیک بعد از تهیه ۷ لایه ورودی به مدل دراستیک، اقدام به تعیین وزن لایه ها جهت روی هم گذاری آنها شد. مطابق جدول ۱ به ترتیب عمق آب زیرزمینی و تغذیه خالص از اهمیت بیشتری برخوردارند و وزن ۵ گرفتند و لایه توپوگرافی از درجه اهمیت پایین تری برخوردار است و وزن ۱ گرفته است سپس با اعمال وزن هر لایه در نقشه های تهیه شده هر لایه و با بهره گیری از دستور ماشین حساب رستر^۱، لایه نهایی آسیب پذیری دشت خالدآباد به آلودگی آب زیرزمینی با روش دراستیک تهیه گردید (شکل ۱۰).

جدول ۱: اهمیت نسبی فاکتورها در مدل دراستیک برای دشت خالدآباد-بادرود.

وزن	لایه
۵	عمق آب زیرزمینی
۵	تغذیه خالص
۴	ناحیه غیراشباع
۳	محیط آبخوان
۳	بافت خاک
۳	هدایت هیدرولیکی
۱	توپوگرافی

^۱ - Raster calculator



شکل ۱۰: نقشه آسیب پذیری آب زیرزمینی با روش دراستیک

پس از تهیه لایه آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت خالد-آباد-بادرود با روش دراستیک، اقدام به رتبه بندی این دشت به مناطق با آسیب پذیری کم، متوسط و زیاد گردید. نتایج حاکی از آنست که در این مدل ۲۲ درصد از دشت خالد آباد در طبقه با آسیب پذیری زیاد به آلودگی قرار گرفته است که این مناطق بیشتر در اطراف شهر بادرود و مناطق شرقی این دشت واقع گردیدند.

همچنین در حدود ۳۳ درصد از دشت در طبقه آسیب پذیری متوسط و ۴۵ درصد از دشت نیز در طبقه با آسیب پذیری کم قرار گرفتند. در ادامه اقدام به نمایش هم پوشانی لایه نیترات و لایه طبقه بندی آسیب پذیری به آلودگی دشت خالد-آباد-بادرود گردید. به منظور سنجش صحت مدل دراستیک، لایه نیترات هم به سه طبقه کم، متوسط و زیاد طبقه بندی شد و با محاسبه میزان همبستگی طبقات نیترات با لایه آسیب پذیری میزان همبستگی مدل معین گردید، لذا نتایج نشان داد که میزان همبستگی روش دراستیک با نیترات ۷۴ درصد می باشد (شکل ۱۱).

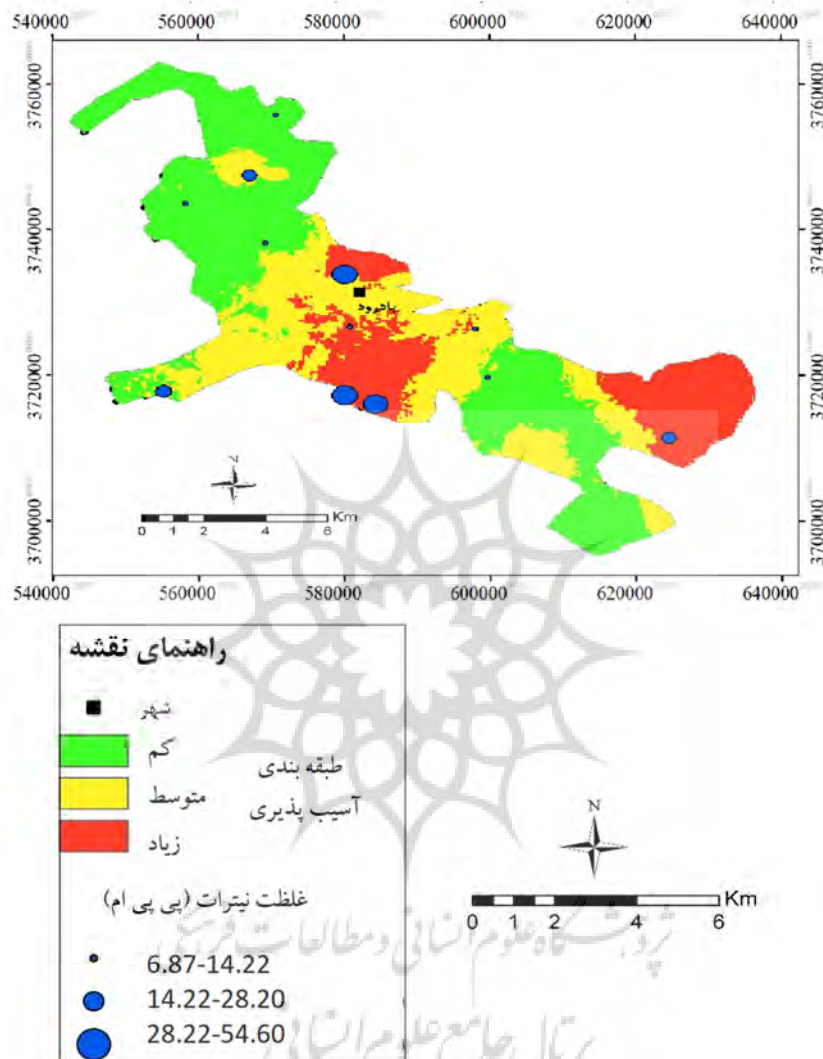
نتایج این پژوهش حاکی از آنست که در مدل دراستیک ۲۲ درصد از دشت خالدآباد- بادرود در ناحیه با آسیب پذیری زیاد قرار دارد که این نواحی بیشتر در قسمت های شرقی و اطراف شهر بادرود واقع گردیده است. این نواحی دارای بافت خاک نفوذپذیر و شیب کمتر می باشد همچنین هدایت هیدرولیکی در این نواحی بسیار بالا است و نشان از بالا بودن احتمال انتقال آلودگی به آب زیرزمینی می باشد. این نکته با نتایج پژوهش دیکسون و همکاران (۲۰۰۵)

همخوانی دارد. نقشه آسیب پذیری آبخوان نشان داد که پتانسیل آسیب پذیری آبخوان در مناطق پست نسبت به ارتفاعات بیشتر است. این یافته‌ها با نتایج آلامیت و همکاران (آل آدمات و همکاران، ۲۰۰۳) در رابطه با اثر ارتفاع بر میزان شاخص آسیب پذیری مطابقت دارد. نتایج محاسبه میزان همبستگی طبقات نیترات با لایه آسیب پذیری میزان همبستگی مدل را ۷۴ درصد نشان داد که نشان دهنده این است که مدل از کارایی نسبتاً بالایی برخوردار است.

باتوجه به نقشه های آسیب پذیری به دست آمده بر اساس ۷ عامل موثر آسیب پذیری یابی منابع آب زیرزمینی دشت خالدآباد- بادرود در قالب لایه های مختلف اطلاعاتی می توان پهنه های آسیب پذیر دشت خالدآباد- بادرود مشاهده کرد توصیه می گردد نتایج این مطالعه در اختیار مدیران قرار گیرد تا با معرفی نواحی آسیب پذیر به مردم محلی آموزش لازم جهت استفاده کمتر از علف کش ها و سایر منابع آلوده کننده داده شود. همچنین با توجه به هم پوشانی ناحیه آسیب پذیر در مدل دراستیک با کاربری اراضی کشاورزی، بهتر است در استفاده پایدار تر از کودهای شیمیایی تصمیمات جدی گرفته شود خصوصاً در نواحی شرقی و اطراف شهر بادرود که جنس بافت خاک و لایه های زمین شناسی آسیب پذیر تر می باشند و احتمال انتقال آلودگی به آب زیرزمینی در این نواحی بالاتر است.

شایان ذکر است تلفیق داده های سنجش از دور با داده های زمینی و بهره گیری از مجموعه نرم افزارهای جغرافیایی ابزار کارامدی در ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی است. به عبارت دیگر ترکیب سیستم اطلاعات مکانی (GIS) و داده های هیدرولوژیکی و زمین شناسی ابزارهای مفید و دقیق در زمینه تحقیقات آب های زیرزمینی می باشد.

به این دلیل که تعداد پارامترهای مدل سازی پهنه بندی آلودگی آب زیرزمینی در روش دراستیک نسبت به روش های دیگر بیشتر بوده، لذا از تکامل بیشتری برخوردار بوده و پرکاربردترین روش نسبت به سایر روش های رتبه دهی و وزن دهی است، به عبارت دیگر روش دراستیک یک روش موثر و سریع برای ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی است. نقشه های آسیب پذیری آب زیرزمینی به آلودگی از ابزارهای اصلی در برنامه ریزی مکانی و پیش بینی اثرات آلودگی آبخوان هستند و پایه ای برای برنامه ریزی های مدیریت اراضی و حفاظت از سیلاب و پیش بینی اثرات تغییر اقلیم می باشد (آریا و همکاران، ۲۰۲۰؛ کروگولچ و همکاران، ۲۰۱۹). اطلاعات در مورد وضعیت فعلی آلودگی آب زیرزمینی می تواند به عنوان هشدار اولیه برای مسئولان برای گرفتن تصمیمات صحیح به منظور جلوگیری از اعمال استرس و فشار بر این منابع ارزشمند مورد استفاده قرار گیرد (آسفاو و همکاران، ۲۰۲۰).



شکل ۱۱: نقشه همپوشانی لایه آسیب پذیری با مقادیر نیترات با روش دراستیک.

نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ۲۲ درصد از دشت خالدآباد- بادرود از آسیب پذیری زیاد برخوردار است که این نواحی عمدتاً در قسمت های شرقی و اطراف شهر بادرود واقع گردیده است. این نواحی عموماً دارای بافت خاک نفوذپذیر و هدایت هیدرولیکی بسیار بالاست که نشان از بالا بودن احتمال انتقال آلودگی به آب زیرزمینی است. همچنین، نقشه آسیب پذیری آبخوان نشان داد که پتانسیل آسیب پذیری آبخوان در مناطق پست نسبت به ارتفاعات بیشتر است. نقشه پراکنش غلظت نیترات، نتایج حاصل از مدل دراستیک را تایید می کند. نتایج محاسبه میزان همبستگی طبقات نیترات با لایه آسیب پذیری، میزان همبستگی مدل را ۷۴ درصد نشان داد که نشان دهنده این

است که مدل دراستیک از کارایی نسبتاً بالایی برخوردار است. ارزیابی آسیب‌پذیری برای ترسیم نقشه مناطق آسیب پذیر به آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی برای مدیریت منابع و برنامه ریزی کاربری اراضی دارای اهمیت است. با توجه به یافته‌های تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد روش دراستیک در برنامه ریزی محیطی اهمیت بسزایی دارد لذا استفاده از این روش، علم برنامه ریزی محیطی را به صورت کاربردی تر و موفق تر از همیشه در برنامه ریزی و مدیریت بحران مطرح سازد. با توجه به نقشه‌ی آسیب‌پذیری به دست آمده بر اساس ۷ عامل موثر آسیب‌پذیری، نتایج این مطالعه می‌تواند در اختیار مدیران قرار گیرد تا با در اختیار قرار دادن و معرفی کردن نواحی آسیب‌پذیر به مردم محلی در راستای استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی به آنها آموزش لازم جهت استفاده کمتر از علف‌کش‌ها و سایر منابع آلوده‌کننده داده شود. نتایج نشان داد که روش دراستیک یک روش موثر و سریع برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی است و به طور کلی، اطلاع از وضعیت فعلی آلودگی آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های گوناگون می‌تواند به عنوان هشدار اولیه برای مسئولان برای گرفتن تصمیمات صحیح به منظور جلوگیری از اعمال فشار بر این منابع ارزشمند مورد استفاده قرار گیرد. نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری نه تنها پتانسیل آب زیرزمینی به آلودگی را نشان می‌دهد بلکه اساس علمی مناسبی برای برنامه ریزی و استفاده از منابع آب زیرزمینی فراهم می‌کند.

منابع

- آریاپور، علی؛ حدیدی، مسلم؛ امیری، فاضل؛ بیرانوند، علی حسین. (۱۳۹۴). تعیین مدل شایستگی تولید علوفه در مراتع سراب سفید بروجرد با استفاده از سیستم سامانه اطلاعات جغرافیایی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۶(۱): ۶۰-۴۷.
- احمدی، جعفر؛ آخوندی، لیلی؛ عباسی، هادی؛ خاشعی سیوکی، عباس؛ علیمددی، مجتبی. (۱۳۹۲). تعیین آسیب‌پذیری آب‌خوان با استفاده از مدل دراستیک و اعمال آنالیز حساسیت تک پارامتری و حذفی (مطالعه موردی: دشت سلفچگان نی زار). مجله پژوهشهای حفاظت آب و خاک، ۲۰: ۲۵-۱.
- انتظاری، علیرضا؛ اکبری، الهه؛ میوانه، فاطمه. (۱۳۹۲). بررسی کیفیت آب شرب استحصالی از منابع زیرزمینی بر بیماری‌های انسانی دهه اخیر در دشت مشهد. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۳: ۱۵۷-۱۷۳.
- اصغری مقدم، اصغر؛ آدیگوزل پور، علی؛ محمدی، عباس. (۱۳۹۷). ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌خوان دشت اشنویه با استفاده از مدل‌های دراستیک و سینتکس. مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۱۷: ۱۲۰-۹۹. [10.22111/JNEH.2017.19542.1219](https://doi.org/10.22111/JNEH.2017.19542.1219)
- بختیاری عنایت، بهرام؛ ملکیان، آرش؛ سلاجقه، علی. (۱۳۹۵). ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های ترکیبی دراستیک اصلاح شده، رگرسیون لجستیک و تحلیل سلسله مراتبی دراستیک (دشت هشتگرد). تحقیقات آب و خاک ایران، ۷۴(۲): ۲۶۹-۲۴۹. [10.22059/IJSWR.2016.58333](https://doi.org/10.22059/IJSWR.2016.58333)
- برزگر، رحیم؛ اصغری مقدم، اصغر؛ ندیری، عطالله؛ فیجانی، الهام. (۱۳۹۴). استفاده از روش‌های مختلف فازی برای بهینه‌سازی مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌خوان، مطالعه موردی آب‌خوان دشت تبریز. فصلنامه علوم زمین. ۹۵: ۲۲۲-۲۱۱. [10.22071/GSJ.2015.42204](https://doi.org/10.22071/GSJ.2015.42204)
- جوانشیر، گلنار؛ ندیری، عطالله؛ صادق فام، سینا؛ نوین پور، اسفندیار. (۱۳۹۴). ارائه روشی جدید به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌خوان دشت مغان بر مبنای ترکیب روش دراستیک، سینتکس و آی.اس. اکوهیدرولوژی، ۳(۴): ۵۳-۴۹. [10.22059/ije.2016.60345](https://doi.org/10.22059/ije.2016.60345)
- حیدریان، پیمان؛ رنگزن، کاظم؛ ملکی، سعید؛ تقی زاده، ایوب. (۱۳۹۲). پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش مقایسه پس از طبقه بندی تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی: اراضی شهر تهران)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۴(۴): ۱۰-۱.

- حقی زاده، علی؛ آرتیمانی، مهدی؛ طهماسبی پور، ناصر. (۱۳۹۷). تحلیل پتانسیل یابی آلودگی آب زیرزمینی به روش دراستیک اصلاح شده در محیط GIS (مطالعه موردی دشت قهاوند-رزن استان همدان)، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۱: ۱۷-۱۰.
- خلقی، مجید؛ تاکی، رضوان. (۱۳۸۲). ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی دشت قزوین. مجله مهندسی زمین شناسی، ۳: ۹۹-۱۰۱.
- رحیم زاده کیوی، مهسا، حمزه، سعید، کاردان مقدم، حمید. (۱۳۹۴). تعیین قابلیت آسیب پذیری کیفی آب زیرزمینی دشت بیرجند با استفاده از مدل دراستیک و واسنجی آن به روش تحلیل سلسله مراتبی. پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۳): ۴۸۱-۴۹۸. 10.22059/jphgr.2015.55343
- گودرزی، لیلا؛ آخوندعلی، علی محمد؛ زارعی، حیدر. (۱۳۹۳). تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: دشت اشترینان)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۴۵(۴): ۶۰-۴۷.
- محمودزاده، الهه؛ رضائیان، سحر؛ احمدی، آزاده. (۱۳۹۲). ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت میمه ی اصفهان با استفاده از روش های تطبیقی DRATIC، GODS و AVI. مجله محیط شناسی، ۲: ۴۵-۶. 10.22059/JES.2013.35413
- مرادی، پویا؛ روحی، حسن؛ رنگزن، کاظم؛ کلانتری، نصراله؛ قنبری، نازنین. (۱۳۹۵). ارزیابی آسیب پذیری آبخوان رامهرمز با تلفیق مدل دراستیک و تحلیل سلسله مراتبی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۴): ۷۸-۶۲.
- Al Saud, M. (2010). Mapping potential areas for groundwater storage in Wadi Aurnah Basin, western Arabian Peninsula, using remote sensing and geographic information system techniques. *Hydrogeology Journal*, 8, pp 1431–2174. DOI: 10.1007/s10040-010-0598-9.
- Al-Adamat, R., Foster, I., Baban, S. M. J. (2003). Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, remote sensing, and DRATIC. *J. Applied Geography*, 23, pp 303–324. DOI: 10.1016/j.apgeog.2003.08.007.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R.J., Hackett, G. (1987). DRATIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings. EPA/600/2-87/035.
- APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Ed, USA, 1995.
- Arya, S., Subramani, T., Vennila, G., Roy, P.D., (2020). Groundwater vulnerability to pollution in the semi-arid Vattamalaikarai River Basin of south India thorough DRATIC index evaluation. *Geochemistry*, DOI: 10.1016/j.chemer.2020.125635.
- Asfaw, D., Ayalew, D. (2020). Modeling Megech watershed aquifer vulnerability to pollution using a modified DRATIC model for sustainable groundwater management, Northwestern Ethiopia. *Groundwater for Sustainable Development*, DOI: 10.1016/j.gsd.2020.100375.
- Asghari Moghaddam, A., Adigozalpour, A., Mohammady, A. (2018). Vulnerability Assessment of Oshnavieh Plain Aquifer by SINTACS and DRATIC Models. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(17), 99-120. DOI: 10.22111/jneh.2017.19542.1219.
- Bai, L., Wang, Y., Men, F. (2011). Application of DRATIC and extension theory in the groundwater vulnerability evaluation. *Water and Environment Journal*, 26(3), pp 381-391. DOI: 10.1111/j.1747-6593.2011.00298.x.
- Dixon, B. (2005). Groundwater vulnerability mapping: a GIS and fuzzy rule-based integrated tool. *Journal of Applied Geography*, 25, pp 327-347. DOI: [10.1016/j.apgeog.2005.07.002](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2005.07.002)
- Ghazavi, R., Ebrahimi, Z. (2015). Assessing groundwater vulnerability to contamination in an arid environment using DRATIC and GOD models. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(9), pp 2909-2918. . DOI: 10.1007/s13762-015-0813-2
- Hamza, S.M., Ahsan, A., Imteaz, M. A., Rahman, A., Mohammad, T. A., Ghazali. A. H. (2015). Accomplishment and subjectivity of GIS-based DRATIC groundwater vulnerability assessment method: a review. *Environ Earth Sci.*, 73, pp 3063 – 3076.
- Khemiri, S., Khnissi, A., Alaya, M. B., Saidi, S., Zargouni, F. (2013). Using GIS for the comparison of intrinsic parametric methods assessment of groundwater vulnerability to pollution in scenarios of semi-arid climate: the case of Foussana groundwater in the central of Tunisia. *Journal of Water Resource and Protection*, 5, pp 835-845. DOI: 10.4236/jwarp.2013.58084.
- Krogulec, E., Zablocki, S., Zadrozna. D. (2019). Variability of Intrinsic Groundwater Vulnerability to Pollution in River Valley due to Groundwater Depth and Recharge Changes. *Appl. Sci.*, 9, 1133; pp 1-18, doi:10.3390/app9061133.

- Lasagna, M., Domenico, D., Franchino, E. (2018). Intrinsic groundwater vulnerability assessment: issues, comparison of different methodologies and correlation with nitrate concentrations in NW Italy. *Environmental Earth Sciences*. 77. DOI: 10.1007/s12665-018-7452-0.
- Malik Muhammad, A., Zhonghua, T., Salman Dawood, A., Earl, B. (2015). Evaluation of local groundwater vulnerability based on DRASTIC index method in Lahore, Pakistan. *GEOFÍSICA INTERNACIONAL*, 21, pp 39-53.
- Nadiri, A.A., Norouzi, H., Khatibi, R., Gharekhani, M. (2019). Groundwater DRASTIC Vulnerability Mapping by Unsupervised and Supervised Techniques Using a Modelling Strategy in Two Levels. *Journal of Hydrology*, DOI: [10.1016/j.jhydrol.2019.04.039](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.039).
- Nakhostinrouhi, M., Rezaei moghaddam, M. H. (2019). Groundwater vulnerability mapping using a modified-drastic model in Ajabshir plain, southeast coast of Urmia lake, Iran, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-4/W18. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-789-2019.
- Neshat, A., Pradhan, B., Dadras, M. (2014). Groundwater vulnerability assessment using an improved DRASTIC method in GIS. *Resources, Conservation and Recycling*, 86, pp 74–86. doi:10.1016/j.resconrec.2014.02.008.
- Piscopo, G., (2001), Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW, Department of Land and Water Conservation, Australia.
- Voudouris, K., Kazakis, N., Polemio, M., Kareklas, K. (2010). Assessment of Intrinsic Vulnerability using the DRASTIC Model and GIS in the Kiti Aquifer, Cyprus. *European water*, 30, pp 13.



References

References (in Persian)

- Ahmadi J., Akhondi L., Abbasi H., Khashei siuki A., Alimadadi M. (2013). Determination of aquifer vulnerability using the DRASTIC model and a single parameter sensitivity analysis and acts and omissions (case study: Salafchegan-neyzar plain). *Journal of agricultural sciences and natural resources*, 20(3), pp 1-25. [In Persian]
- Ariapour A., Hadidi M., Amiri F., Biranvand A.H. (2015). Forage production suitability modeling in Sarab Sefid rangeland of Borujerd by the geographic information system (GIS). *Journal of applied RS and GIS techniques in natural resource science*, 6(1), pp 47-60. [In Persian]
- Bakhtiari Enayat, B. Malekian, A., Salajegheh, A. (2016). Determination of aquifer vulnerability using modified DRASTIC, logistic regression, and hierarchical analysis process, Iran. *J Soil Water Res*, 74(2), pp 249-269. DOI: 10.22059/IJSWR.2016.58333 [In Persian]
- Barzegar R., Asghari moghaddam A., Nadiri A., Fijani E. (2015). Using different fuzzy logic methods to optimize drastic model, case study: Tabriz plain aquifer. *Geosciences*, 24(95), pp 211-222. 10.22071/GSJ.2015.42204 [In Persian]
- Entezari, A., Akbari, E., Mayvaneh, F. (2014). Investigation of drinking water quality obtained from groundwater on human diseases in recent decade in Mashhad plain. *Journal of geographical sciences*, 13(31), pp 157-172.
- Goodarzi, L., Akhondali, A., Zarei, H. (2014). Identification of sites suitable for artificial recharging using GIS and AHP techniques Case study: Oshtorinan Plain. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 54, pp 47-60. [In Persian]
- Haghizadeh, A., Artimani, M., Tahmasebipour, N. (2017). Analysis of Groundwater Potential Vulnerability Using GIS-Based DRASTIC-LU Model (Case Study: Ghahavand-Razan, Hamadan Province). *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(13). pp 1-17. [In Persian]
- Heydariyan, P., Rangzan, K., Maleki, S., Taghizadeh, A. (2014). Land use change detection using post-classification comparison LandSat satellite images (Case study: land of Tehran). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 4(4), pp 1-10. [In Persian]
- Javanshir, G., Nadiri, A., Sadeghfam, S., Abbas Novinpour, E. (2016). Introducing a new method to aquifer vulnerability assessment of Moghan plain based on a combination of DRASTIC, SINTACS, and SI methods. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 3(4), pp 491-503. DOI: 10.22059/ije.2016.60345. [In Persian]
- Kholghi, M., Taki, R. (2004). Evaluating Groundwater vulnerability in Ghazvin Plain. *Journal of Engineering Geology*, 1(3), pp 255-270. [In Persian]
- Mahmoudzadeh, E., Rezaian, S., Ahmadi, A. (2013). Assessment of Meymeh Plain Aquifer Vulnerability in Esfahan Using Comparative Method AVI, GODS, DRASTIC. *Journal of Environmental Studies*, 39, pp 45-60. DOI: 10.22059/jes.2013.35413. [In Persian]
- Rahimzadeh kivi, M., Hamzeh, S., Kardan Moghadam, H. (2015). Identification of Vulnerability Potential of Groundwater Quality in Birjand Plain using DRASTIC Model and its calibration using AHP. *Physical Geography Research Quarterly*, 47(3), pp 481-498. DOI: 10.22059/jphgr.2015.55343. [In Persian]
- Moradi, P., Rouhi, H., Rangzan, K., Kalantari, N., Ghanbari, N. (2017). Assessing groundwater vulnerability in Ramhormoz aquifer using GIS and DRASTIC Techniques. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 7(4), pp 62-78. [In Persian]

References (in English)

- Al Saud, M. (2010). Mapping potential areas for groundwater storage in Wadi Aurnah Basin, western Arabian Peninsula, using remote sensing and geographic information system techniques. *Hydrogeology Journal*, 8, pp 1431-2174. DOI: 10.1007/s10040-010-0598-9.
- Al-Adamat, R., Foster, I., Baban, S. M. J. (2003). Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, remote sensing, and DRASTIC. *J. Applied Geography*, 23, pp 303-324. DOI: 10.1016/j.apgeog.2003.08.007.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R.J., Hackett, G. (1987). DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings. EPA/600/2-87/035.
- APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Ed, USA, 1995.
- Arya, S., Subramani, T., Vennila, G., Roy, P.D., (2020). Groundwater vulnerability to pollution in the semi-arid Vattamalaikarai River Basin of south India thorough DRASTIC index evaluation. *Geochemistry*, DOI: 10.1016/j.chemer.2020.125635.

- Asfaw, D., Ayalew, D. (2020). Modeling Megech watershed aquifer vulnerability to pollution using a modified DRASTIC model for sustainable groundwater management, Northwestern Ethiopia. *Groundwater for Sustainable Development*, DOI: 10.1016/j.gsd.2020.100375.
- Asghari Moghaddam, A., Adigozalpour, A., Mohammady, A. (2018). Vulnerability Assessment of Oshnavieh Plain Aquifer by SINTACS and DRASTIC Models. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(17), 99-120. DOI: 10.22111/jneh.2017.19542.1219.
- Bai, L., Wang, Y., Men, F. (2011). Application of DRASTIC and extension theory in the groundwater vulnerability evaluation. *Water and Environment Journal*, 26(3), pp 381-391. DOI: 10.1111/j.1747-6593.2011.00298.x.
- Dixon, B. (2005). Groundwater vulnerability mapping: a GIS and fuzzy rule-based integrated tool. *Journal of Applied Geography*, 25, pp 327-347. DOI: [10.1016/j.apgeog.2005.07.002](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2005.07.002)
- Ghazavi, R., Ebrahimi, Z. (2015). Assessing groundwater vulnerability to contamination in an arid environment using DRASTIC and GOD models. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(9), pp 2909-2918. . DOI: 10.1007/s13762-015-0813-2
- Hamza, S.M., Ahsan, A., Imteaz, M. A., Rahman, A., Mohammad, T. A., Ghazali. A. H. (2015). Accomplishment and subjectivity of GIS-based DRASTIC groundwater vulnerability assessment method: a review. *Environ Earth Sci.*, 73, pp 3063 – 3076.
- Khemiri, S., Khnissi, A., Alaya, M. B., Saidi, S., Zargouni, F. (2013). Using GIS for the comparison of intrinsic parametric methods assessment of groundwater vulnerability to pollution in scenarios of semi-arid climate: the case of Foussana groundwater in the central of Tunisia. *Journal of Water Resource and Protection*, 5, pp 835-845. DOI: 10.4236/jwarp.2013.58084.
- Krogulec, E., Zabłocki, S., Zadrozna. D. (2019). Variability of Intrinsic Groundwater Vulnerability to Pollution in River Valley due to Groundwater Depth and Recharge Changes. *Appl. Sci.*, 9, 1133; pp 1-18, doi:10.3390/app9061133.
- Lasagna. M., Domenico, D., Franchino, E. (2018). Intrinsic groundwater vulnerability assessment: issues, comparison of different methodologies and correlation with nitrate concentrations in NW Italy. *Environmental Earth Sciences*. 77. DOI: 10.1007/s12665-018-7452-0.
- Malik Muhammad, A., Zhonghua, T., Salman Dawood, A., Earl, B. (2015). Evaluation of local groundwater vulnerability based on DRASTIC index method in Lahore, Pakistan. *GEOFÍSICA INTERNACIONAL*, 21, pp 39-53.
- Nadiri, A.A., Norouzi, H., Khatibi, R., Gharekhani, M. (2019). Groundwater DRASTIC Vulnerability Mapping by Unsupervised and Supervised Techniques Using a Modelling Strategy in Two Levels. *Journal of Hydrology*, DOI: [10.1016/j.jhydrol.2019.04.039](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.039).
- Nakhostinrouhi, M., Rezaei moghaddam, M. H. (2019). Groundwater vulnerability mapping using a modified-drastic model in Ajabshir plain, southeast coast of Urmia lake, Iran, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-4/W18. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-789-2019.
- Neshat, A., Pradhan, B., Dadras, M. (2014). Groundwater vulnerability assessment using an improved DRASTIC method in GIS. *Resources, Conservation and Recycling*, 86, pp 74–86. doi:10.1016/j.resconrec.2014.02.008.
- Piscopo, G., (2001), Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW, Department of Land and Water Conservation, Australia.
- Voudouris, K., Kazakis, N., Polemio, M., Kareklas, K. (2010). Assessment of Intrinsic Vulnerability using the DRASTIC Model and GIS in the Kiti Aquifer, Cyprus. *European water*, 30, pp 13.