صص ۱۱۵-۹۵

بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت خنج– فیشور لارستان با استفاده از مدل دراستیک

عبدالرسول قنبری*

استادیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۲۸

چکیده

منابع آب زیرزمینی دومین منبع آب شیرین موجود در جهان است. حدود یک‌سوم جمعیت جهان وابسته به این منبع می‌باشند. وجود منابع مهم آلاینده‌های انتشاری و نقطه‌ای، ناشی از فعالیت‌های انسانی در سطح زمین و نفوذ این آلاینده‌ها به آبخوان، موجب کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. بررسی آسیب‌پذیری، روشی کم هزینه در شناسایی نواحی مستعد به آلودگی است که در مدیریت منابع آب نقش اساسی دارد. شناسایی و تهیه نقشه پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان، یعنی مناطقی که امکان نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمینه سیستم آب زیرزمینی وجود دارد، یک ابزار مدیریتی مناسب برای جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی است. جهت انجام این پژوهش، پارامترهای هیدروژئولوژیکی تشکیل‌دهنده مدل دراستیک شامل عمق آب، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، اثرات ناحیه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی، در دشت خنج –فیشور لارستان، واقع در جنوب استان فارس، مورد مطالعه قرار گرفت. از نرم‌افزار ArcGIS برای تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری از طریق همپوشانی لایه‌های هیدروژئولوژیکی، استفاده شد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، آب‌های زیرزمینی دشت مورد مطالعه به‌شدت در معرض خطر آلودگی قرار دارد. به نحوی که نزدیک به ۶۲ درصد از مساحت منطقه در شرایط آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد است. این نواحی عموماً در پایین دست و مرکز دشت قرار دارد. با توجه به اینکه آب زیرزمینی، مهم‌ترین منبع آبی منطقه است، پیشگیری[1] از راه‌یابی آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی با ایجاد حریم‌های حفاظت کیفی در اطراف منابع آب و رعایت ضابطه‌های تخلیه آلاینده‌ها به منابع پذیرنده، از راهکارهای مؤثر جهت حفظ کیفیت این منابع است. ابزارهای مدیریتی مهم مانند نقشه‌های آسیب‌پذیری و حریم کیفی جهت برنامه‌ریزی برای استقرار مناسب کاربری‌ها و مدیریت آن‌ها بر روی آبخوان حائز اهمیت است.

واژگان کلیدی: **آسیب‌پذیری، آب‌های زیرزمینی، مدل دراستیک (DRASTIC)، پتانسیل آلودگی، سامانه اطلاعات جغرافیایی.**

مقدمه

نیاز روزافزون جوامع به آب در کشورهای مختلف از جمله ایران، به‌عنوان یک چالش جدی، روزبه‌روز با اهمیت‌تر شده، به‌طوری که ضرورت و اهمیت این موضوع در آینده فزونی خواهد یافت. در عصر حاضر با توجه به رشد روزافزون فناوری،

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۷۸۸۲۱۷۲۸

Email: dr.ghanbari121@yahoo.com

[1] Prevention

صنعت، جمعیت، کاهش چشمگیر منابع آب سالم، توجه به مسائل زیست‌محیطی افزایش‌یافته و مدیریت بهینه منابع آب به‌عنوان یکی از شاخص‌های توسعه یافتگی ملل مختلف، مطرح است. این امر به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود کمی و کیفی منابع آب مواجه هستند، اهمیت ویژه یافته است. سفره‌های آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع آبی هر کشور محسوب می‌شود. آب زیرزمینی به دلیل استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آب‌های سطحی، به‌عنوان یک منبع مهم در منابع آب مورد توجه است (گرگانی و همکاران، ۱۳۹۵).

فعالیت‌های انسان در بسیاری از موارد به توازن‌های ظریف موجود در طبیعت آسیب می‌رساند. بعضی از این آسیب‌ها توسط طبیعت قابل جبران است. طبیعت می‌تواند بعضی از خرابی‌ها را ترمیم و محیط خود را احیاء نماید؛ اما توانایی جبران آلودگی در طبیعت شامل تمام آسیب‌های وارد شده به آن نمی‌شود همچنین، جبران خسارات وارد شده به زمان نیاز دارد. در بسیاری از موارد آلودگی به‌واسطه کاربری‌های مختلف وارد آبخوان می‌شود و آب زیرزمینی را آلوده می‌سازد. فعالیت‌های نابخردانه انسان، موجب نشر و انتقال آلاینده‌های مختلف به این منابع شده است. سیستم آب زیرزمینی نسبت به آلودگی پاسخ سریع نمی‌دهد، و زمان رسیدن آلاینده به محدوده آب زیرزمینی و انتشار آن در آبخوان، معمولاً طولانی است. برای پاک‌سازی آب‌های زیرزمینی آلوده و مصرف مجدد آن، اغلب باید وقت و هزینه زیادی صرف شود و یافتن منبع آبی جایگزین همیشه امکان‌پذیر نیست (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۹۵)، لذا در دست داشتن ابزارهای مدیریتی مهم مانند نقشه‌های آسیب‌پذیری و حریم کیفی جهت برنامه‌ریزی برای استقرار مناسب کاربری‌ها و مدیریت آن‌ها بر روی آبخوان حائز اهمیت است؛ بنابراین تصمیم‌گیری و اتخاذ سیاست‌های مناسب برای آینده و فعالیت‌های مدیریتی حال، شناخت وضعیت آسیب‌پذیری آب زیرزمینی و حساسیت آن‌ها به آلودگی سطحی اهمیت زیادی دارد (فرهادی، ۱۳۹۴).

مفهوم ارزیابی و توانایی آسیب‌پذیری برای اولین بار در اواخر سال ۱۹۶۰ میلادی در فرانسه برای هشدار در مورد آلودگی آب زیرزمینی ارائه شده است. آسیب‌پذیری آبخوان، نیروی آن را برابر نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی نشان می‌دهد. آسیب‌پذیری نوعی ویژگی نسبی، بدون بعد و غیرقابل اندازه‌گیری است (امیر احمدی و همکاران، ۱۳۹۰)؛ و از نظر مفهومی به دودسته ذاتی و ویژه تقسیم می‌شود. آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان به ویژگی‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژیولوژیکی یک آبخوان بستگی دارد؛ و ربطی به منابع آلودگی طبیعی یا غیرطبیعی ناشی از فعالیت انسانی ندارد؛ این در حالی است که آسیب‌پذیری وِیژه نشان‌دهنده آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به آلاینده خاص یا گروهی از آلاینده‌های ناشی از فعالیت انسانی است (بوستانی و همکاران، ۱۳۹۳). به‌طورکلی، آسیب‌پذیری متمایز از خطرپذیری آلودگی است. کمیته‌ای تحت نظارت انجمن ملی تحقیقات آمریکا، آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را به صورت تمایل یا احتمال رسیدن آلاینده‌ها به یک مکان مشخص در سیستم آب‌های زیرزمینی، بعد از به وجود آمدن آن، در برخی مکان‌ها در بالاترین سطح آبخوان، تعریف می‌کنند. خطر آلودگی نه تنها آسیب‌پذیری، بلکه به میزان بارگذاری آلاینده عمده از آلاینده شاخص وارد شده به محیط زیرسطحی نیز بستگی دارد. یک آبخوان

ممکن است قابلیت آسیب‌پذیری بالایی داشته باشد، در حالی که بارگذاری آلاینده عمده و شاخص در آن وجود نداشته باشد. علاوه بر این ممکن است آبخوان مورد نظر علی‌رغم داشتن خطرپذیری آلودگی بالا، دارای قابلیت آسیب‌پذیری پایینی باشد (آصفی و همکاران، ۱۳۹۳). مفهوم آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بر اساس این فرض بیان‌شده که محیط فیزیکی ممکن است از آب‌های زیرزمینی در برابر برخی آثار نامطلوب طبیعی محافظت کند، به‌ویژه در مواردی که آلودگی وارد زمین می‌شود (یوسف دوست و همکار، ۱۳۹۶). هرچند روش مطلقی برای پیش‌بینی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در حال حاضر وجود ندارد، اما برای بررسی و ارزیابی پتانسیل آلودگی در یک آبخوان، روش‌های مختلفی از جمله، روش‌های پردازشی، روش‌های شاخص همپوشانی و روش‌های آماری وجود دارد. در روش‌های پردازشی از مدل‌های شبیه‌سازی برای تخمین حرکت آلاینده‌ها، و در روش‌های آماری از روابط همبستگی بین متغیرهای مکانی و میزان آلاینده‌های موجود در آب زیرزمینی استفاده می‌شود؛ و در روش‌های شاخص همپوشانی پارامترهای کنترل کننده حرکت آلاینده‌ها از سطح زمین به منطقه اشباع را تلفیق کرده و شاخصی به نام شاخص آسیب‌پذیری را در نقاط مختلف یک نقطه تعیین می‌کنند (دیکسون، ۲۰۰۵). تمامی روش‌های آسیب‌پذیری آبخوان، بر اساس انتقال آلودگی از سطح زمین به لایه‌های آبدار، بنا نهاده شده‌اند.

برآورد آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در سه کلاسه، هم‌پوشانی و ارزش‌گذاری، شبیه‌سازی و پردازش، و روش‌های آماری صورت می‌گیرد. معمولاً روش‌های آماری و هم‌پوشانی برای برآورد آسیب‌پذیری ذاتی و روش‌های شبیه‌سازی، برای برآورد آسیب‌پذیری ویژه، مورد استفاده قرار می‌گیرد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۶)؛ روش‌های هم‌پوشانی، بر پایه تلفیق لایه‌های حاصل از پارامترهای مختلف بنا نهاده شده و اساس کار یکسانی دارند؛ بر ارزیابی توصیفی و کمی آسیب‌پذیری تکیه دارند. این روش‌ها در به‌کارگیری نوع و تعداد پارامترها باهم تفاوت داشته ولی درنهایت منجر به ثبت یک شاخص عددی یا امتیاز برای هر ویژگی می‌گردد. اصولاً روش‌های هم‌پوشانی از ترکیب پارامترهای هیدرولوژیکی مؤثر در انتقال آلودگی به آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌شوند. در این روش‌ها برای تعیین اهمیت نسبی، هرکدام از پارامترها نسبت به سایرین، ارزیابی می‌شود. اگرچه در این روش‌ها فرایندهای مؤثر در آلوده شدن منابع آب زیرزمینی را کاملاً شرح نمی‌دهد و امتیاز دهی به اختیار کارشناسان وابسته است، اما به دلیل سادگی و در دسترس بودن اطلاعات اولیه مورد نیاز، از اهمیت و کارایی ویژه‌ای برخوردار شده است (آرزومند و همکاران، ۱۳۹۴)؛ شاخص‌ها و مدل‌های مختلفی برای تخمین آسیب‌پذیری آبخوان‌ها در جهان توسعه پیدا کرده است. رایج‌ترین این روش‌ها و مدل‌ها عبارتنداز: مدل دراستیک (DRASTIC)، GOD، AVI، SINTAES، ISIS، GERMN، EPIK و ... .

– **مدل دراستیک:** جزء روش‌های رتبه دهی محسوب می‌شود که آسیب‌پذیری یا حساسیت ذاتی آبخوان را بر اساس درجه‌بندی بالا، متوسط و پایین، طبقه‌بندی می‌کند. و نتایج آن جهت تصمیمات مدیریتی استفاده می‌شود. هدف از ارزیابی آسیب‌پذیری کمک به تبیین سیاست‌های کاربردی و عملی برای مدیریت منابع زیرزمینی در مسیر بهره‌برداری پایدار از آن‌ها می‌باشد. و تابعی از مشخصات و خصوصیات ذاتی تشکیلات آبخوان است. سیستم اطلاعات جغرافیایی

(GIS) ابزاری کارآمد و مدرن در زمینه مدیریت آب‌های زیرزمینی از نظر بررسی آلودگی است که توانمندی‌های آن ازنظر دقت، سرعت و هزینه نسبت به روش‌های دستی و سنتی بسیار برتری دارد (فاضلی و همکاران، ۱۳۸۹). می‌توان گفت که شاخص دراستیک یک مدل هم‌پوشانی است که در آن داده‌های حاصل از پارامترهای مختلف، به‌صورت تلفیقی و به‌طور موازی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرند، و سپس توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی پردازش می‌شوند. تاکنون پژوهش-های زیادی در زمینه مطالعه مدل دراستیک در داخل کشور صورت گرفته از جمله می‌توان از موارد زیر نام برد:

- صباغ و همکاران (۱۳۹۹) آسیب‌پذیری آبخوان دشت نکا رود را با مدل دراستیک مورد ارزیابی قرار داده و مدل دراستیک و صحت سنجی عناصر کیفی یک راهبرد علمی برای مطالعه و تعیین حساسیت آبخوان منطقه نتیجه گرفته‌اند؛ قنبری و همکاران (۱۳۹۸) مدل دراستیک و هوش مصنوعی را در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت رامهرمز بکار گرفته و ضریب تعیین را برای مدل خارجی ۹۹ درصد به دست آورده‌اند؛
- محبی و همکار (۱۳۹۷) به ارزیابی آبخوان دشت کهریز با مدل دراستیک در محیط GIS پرداخته و مهم‌ترین تغییر تأثیرگذار بر شاخص آسیب‌پذیری اثر منطقه غیراشباع مشخص کرده‌اند؛
- یوسف دوست و همکار (۱۳۹۶) با روش دراستیک استاندارد و روش‌های داده مبنا به تعیین آسیب‌پذیری آبخوان کوچصفهان پرداخته و نشان داده‌اند که مدل‌های هوش مصنوعی بر روش دراستیک در بررسی آسیب‌پذیری آبخوان‌ها برتری ویژه دارد؛
- سلیمی و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان واقع در مکان جدید دفن پسماند شهری اصفهان بر اساس مدل دراستیک پرداخته و استفاده از این مدل را یک روش ارزشمند برای ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط شیرابه حاصل از مکان دفت پسماند دانسته‌اند؛
- امیر احمدی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت نیشابور با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که بیشترین درصد پتانسیل آسیب‌پذیری منطقه در کلاس خیلی است.

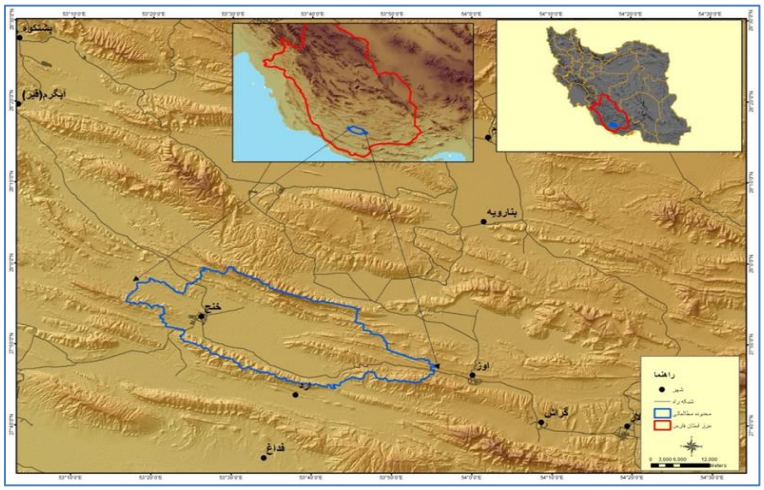
در این پژوهش از مدل دراستیک برای مطالعه و محاسبه آسیب‌پذیری دشت خنج-فیشور به‌عنوان یکی از دشت‌های مهم لارستان، واقع در جنوب استان فارس استفاده شده است. با توجه به اینکه این دشت، تاکنون از نظر پتانسیل آلودگی مورد بررسی قرار نگرفته است؛ لذا مطالعه و شناخت مناطق با پتانسیل بالای آلودگی در منطقه می‌تواند در مدیریت منابع آبی و تهیه نقشه خطر، مفید واقع شود. هدف کلی این پژوهش، شناسایی مناطق با پتانسیل آلودگی بالا و تهیه نقشه آسیب‌پذیری و تعیین نقاطی با نیروی بالای آلودگی زیرزمینی در منطقه و کمک به مدیریت صحیح در حفظ منابع آب زیرزمینی بوده است.

داده‌ها و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

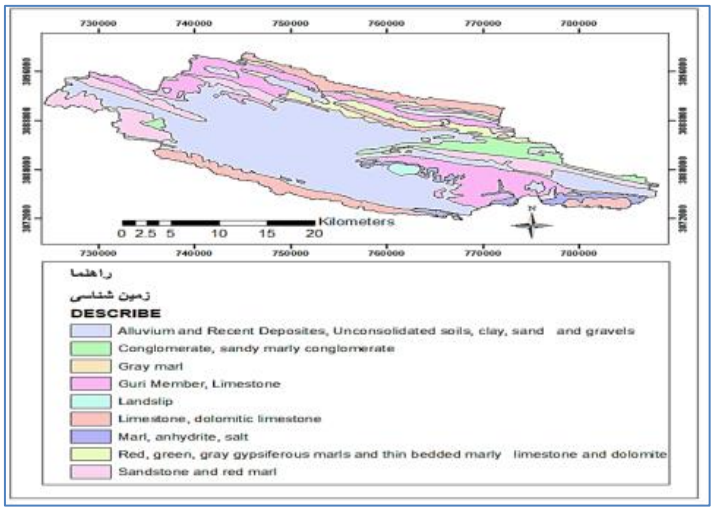
محدوده مورد مطالعه در جنوب استان فارس، بین عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و ۵۳ درجه و ۲۲ الی ۵۴ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی؛ از نظر تقسیمات سیاسی جزء شهرستان خنج و لارستان می‌باشد. این دشت با وسعتی نزدیک به ۴۰۴ کیلومتر مربع، در زون زاگرس چین‌خورده واقع شده است. در این منطقه، توالی منظم چین‌خوردگی، محور چین‌خوردگی را از روند کلی شمال غربی –جنوب شرق به حالتی شرقی–غربی درآورده است. از نظر اقلیمی، دارای تابستان طولانی و زمستان کوتاه، با میانگین دمای سالیانه ۲۴ درجه و بارش ۲۰۷/۵ میلی‌متر و پتانسیل تبخیر بیش از ۳۳۰۰ میلی‌متر در سال مشخص می‌شود.

حوضه آبریز دشت خنج–فیشور، جزء حوضه‌های بسته و چاله‌های داخلی لارستان از حوضه آبریز خلیج فارس—دریای عمان محسوب می‌گردد. مساحت این حوضه بالغبر ۹۷۴ کیلومترمربع است که حدود ۴۰۴ کیلومترمربع آن دشت و مابقی کوهستان و تپه ماهور است. دشت مورد مطالعه، یک دشت تقریباً بسته و فاقد جریانی دائم است که جریانات موقت سطحی و زیرزمینی، از تمام جهات به سمت مرکز دشت سرازیر می‌شوند. از این جهت یک محدوده تبخیری در پهنه مرکزی دشت به وجود آمده است. لذا بهره‌برداری از آب زیرزمینی تنها در حواشی دشت صورت می‌پذیرد بدین لحاظ چاه‌های متعددی (بیش از ۱۰۲۴ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق و دستی) در منطقه حفر شده که اغلب، آب آن‌ها کیفیت مناسبی ندارند. مجموع تخلیه سالیانه این دشت ۳۳/۸۲ میلیون مترمکعب است که ۷۳۳۷/۶ هزار مترمکعب از طریق چاه‌های عمیق است. بر اساس بررسی‌های انجام شده به‌طور کلی دو نوع سفره آبدار آبرفتی و آهکی در محدوده مورد مطالعه وجود دارد. شکل‌های شماره یک موقعیت جغرافیایی,۲، زمین‌شناسی، ۳، مراکز جمعیتی،۴، منابع آب زیرزمینی،۵، عمق آب زیرزمینی، منطقه را نشان می‌دهد.



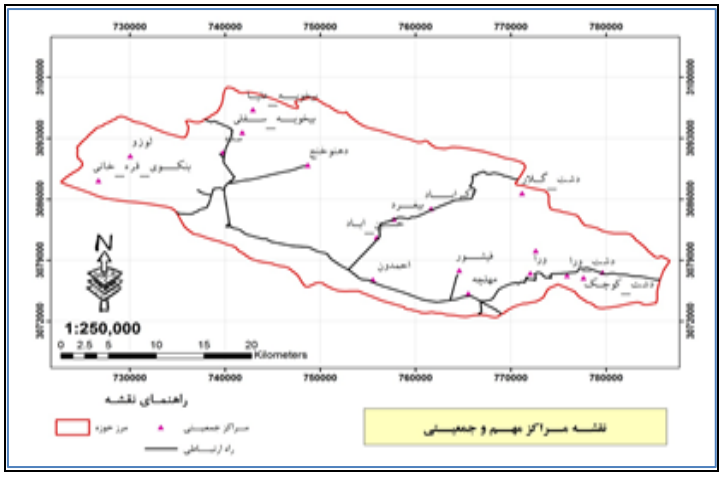
مأخذ: نگارنده

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



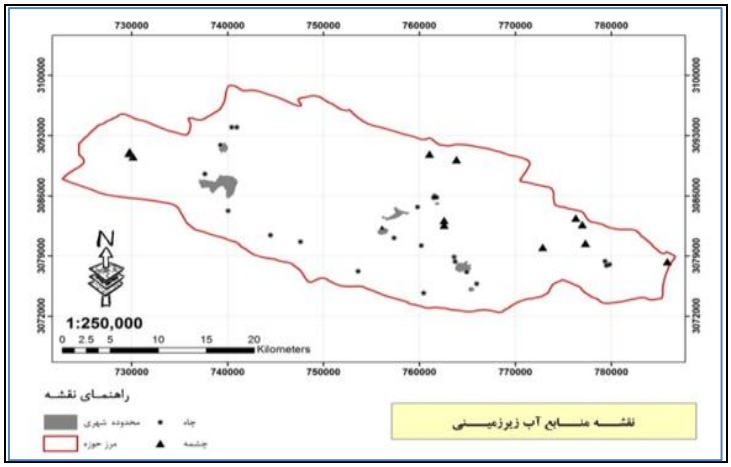
مآخذ: نگارنده

شکل ۲: زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه



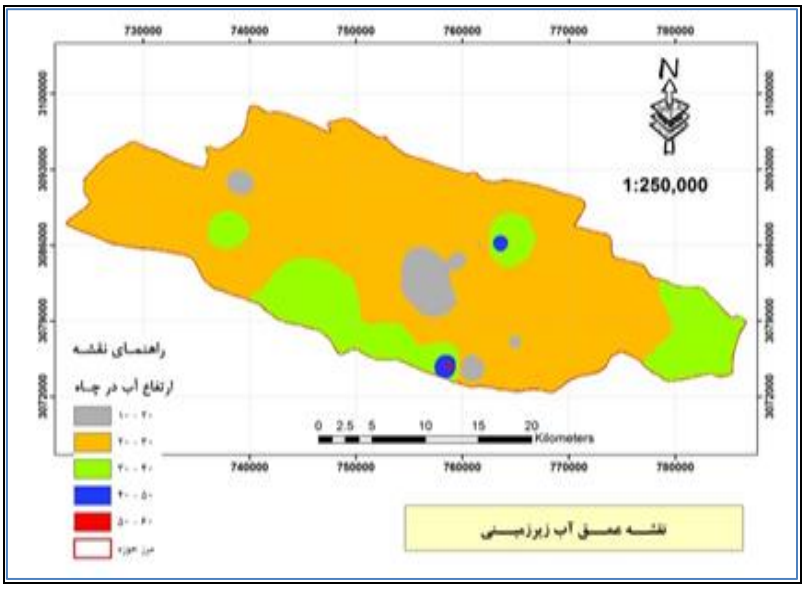
مآخذ: نگارنده

شکل ۳: مراکز جمعیتی منطقه مورد مطالعه



مآخذ: نگارنده

شکل ۴: نقشه منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



مأخذ: نگارنده

شکل ۵: عمق آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

معرفی مدل دراستیک (DRASTIC)

متداول‌ترین روش برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، روش دراستیک است که توسط انجمن ملی آب زیرزمینی، با همکاری آژانس حفاظت ملی ایالت متحده امریکا ایجادشده است (آلر و همکاران، ۱۹۸۷). این شاخص بدون بعد و غیرقابل اندازه‌گیری است و به خصوصیات آبخوان بستگی دارد (Goodarzi, 2016). به علت اینکه ورودی‌های مورد استفاده برای این مدل به‌طور کلی به‌آسانی در دسترس قرار دارد کاربران زیادی داشته و به‌طور گسترده در اکثر کشورهای جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل بر پایه چهار فرض زیر استوار است:

الف) آلودگی از سطح زمین به سفره نفوذ می‌کند؛

ب) آلودگی به‌وسیله بارندگی به داخل آبخوان نفوذ می‌کند؛

ج) عامل اصلی حرکت آلودگی در داخل زمین، آب زیرزمینی است؛

د) منطقه مورد مطالعه باید بیش از ۰/۴ کیلومترمربع (۴۰۰ هکتار) وسعت داشته باشد (Gharekhani. 2105).

مدل مذکور، مدلی تجربی است که آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی نسبت به آلودگی را بر اساس وضعیت هیدرولوژی مطالعه و برآورد می‌کند. واژه دراستیک از هفت پارامتر بکار رفته در این مدل تشکیل شده که عبارتند از:

D= عمق سطح ایستابی (Depth to water table)؛

R= تغذیه خالص (Recharge)؛

A= محیط آبخوان (Aquifer media)؛

S= محیط خاک (Soil media)؛

T= توپوگرافی (Topography)؛

I= تأثیر محیط غیراشباع جنس منطقه‌ای وادوز و مواد تشکیل‌دهنده زون غیراشباع Impact of Vadose Zone Media؛

C= هدایت الکتریکی (Conductivity) (بایکر و همکاران؛ ۲۰۰۵).

در این روش برای ارزیابی پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی از شاخص آسیب‌پذیر استفاده می‌شود. برای به دست آوردن شاخص آسیب‌پذیر از سه عامل:

اول: وزن دهی (به هر پارامتر بر اساس اهمیت آن وزنی بین ۱ تا ۵)؛

دوم: درجه‌بندی (به هریک از پارامترها برحسب موقعیت آن‌ها در محدوده ارزشی بین یک تا ده)؛

سوم: پهنه‌بندی پارامترهای هفت‌گانه؛ استفاده می‌شود.

با مشخص شدن وزن و رتبه هر پارامتر شاخص آسیب‌پذیری، از مجموع حاصل‌ضرب وزن و رتبه هر پارامتر، مطابق فرمول (۱) به دست می‌آید.

$$DRASTIC_{index} = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W$$

که DI مقدار نهایی شاخص و Wj وزن فاکتور j و Rj رتبه فاکتور j است.

$$D_I = \sum(W_J R_J)$$

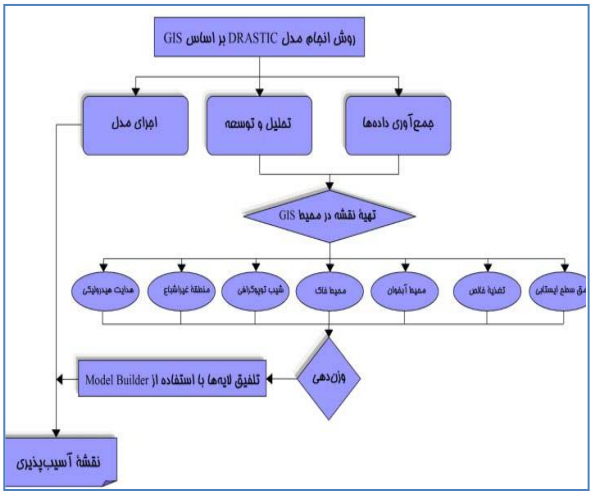
پس از محاسبه شاخص می‌توان گفت که کدام واحد کاری در خطر آلودگی بیشتری قرار دارد. به‌طور کلی شاخص دراستیک دارای عددی بین ۲۳ تا ۲۳۰ است. بالا بودن مقدار شاخص دراستیک، آسیب‌پذیری بیشتر نسبت به آلودگی آب زیرزمینی را نشان می‌دهد Boughriba (2010). باید توجه داشت که شاخص دراستیک تنها یک ابزار ارزیابی نسبی را تهیه می‌کند و قابلیت ارزیابی مطلق را ندارد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۲). اعمال نظر شخصی و کارشناسی برای تعیین وزن و رتبه، از عمده موارد ضعف این مدل است.

روش‌شناسی

هدف مطالعات آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، تهیه نقشه و تعیین مناطقی با پتانسیل بالای آسیب‌پذیری است. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان، می‌توان از محیط GIS استفاده کرد. مدل دراستیک در ابتدا برای استفاده در سیستم اطلاعات جغرافیایی، طراحی نشده بود؛ اما پژوهش‌ها نشان دادند که چنین اجرایی از این مدل بسیار مزایا دارد (Merchant.1994). با استفاده از امکانات تحلیل فضایی که در GIS قابل‌دسترسی است، لایه‌های اطلاعاتی بر اساس هفت مؤلفه دراستیک ایجاد می‌شود. وقتی مقادیر دراستیک از طریق GIS نشان داده شوند، رابطه فضایی بین اجرای مدیریت اراضی و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی مشخص می‌شود (Soper. 2006). در این نوشتار نیز برای بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه و تهیه نقشه از محیط GIS استفاده‌شده است. بدین منظور از منابع اطلاعاتی گوناگون ازجمله نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰؛ ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش و نقشه‌برداری، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و شرکت نفت، نقشه خاک

موسسه آب و خاک کشور، آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی، هیدرولوژی سطحی، آب‌های زیرزمینی، کاربری اراضی، نتایج آزمایش پمپاژ، لوگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای، اکتشافی و بهره‌برداری، و آمار منابع و مصارف آب از شرکت سهامی آب منطقه‌ای، استفاده شده است. و در کل می‌توان گفت که مراحل انجام این پژوهش عبارتند از:

عمق آب‌های زیرزمینی توسط داده‌های چاه‌های پیزومتری گردآوری و با استفاده از روش‌های زمین آمار داده‌ها تحلیل شده و نقشه پهنه‌بندی هم عمق تهیه گردید. تغذیه خالص نیز میزان نفوذ پذیری زمین را نشان می‌دهد که وابسته به بارش و نفوذپذیری است. لایه تغذیه خاک از ضرب لایه‌های مربوط به این دو پارامتر درهم تهیه می‌شود. لایه محیط آبخوان از اطلاعات ستون چاه‌ها استفاده شده است و برای هریک از پیزومترها با توجه به جنس لوگ چاه یک ارزش عددی داده شده است. برای تهیه لایه خاک سطح در ابتدا با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی واحدهای لند فرم استخراج گردید و طی عملیات میدانی نوع خاک آن مشخص شده است و سپس وزن مناسب به هر لایه اختصاص داده شد. لایه شیب توپوگرافی بر اساس نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری تهیه‌شده است. ابتدا تصحیحات اولیه بر روی لایه‌ها صورت گرفته و در محیط GIS؛ لایه مدل ارتفاعی رقومی استخراج گردید و سپس لایه شیب توپوگرافی تهیه شد. لایه محیط غیراشباع به لایه زیرین خاک سطحی تا سطح ایستابی آب اشاره می‌کند که داده‌های آن از چاه‌های پیزومتری استخراج گردید. برای تهیه لایه تغذیه خالص از داده‌های شیب، بارش و نفوذ پذیری استفاده شده و با استفاده از روش پسکوپو میزان تغذیه برآورد شد. برای ایجاد نقشه هدایت هیدرولیکی از نقشه ضخامت لایه اشباع و قابلیت انتقال استفاده شده و با تقسیم نقشه قابلیت انتقال بر ضخامت لایه اشباع، نقشه هدایت هیدرولیکی به دست آمد. پس از تهیه لایه‌های هفت‌گانه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی و تهیه اطلاعات موردنظر با استفاده از اسناد مذکور، داده‌های مورد استفاده همگی در محیط ArcGIS به فرمت رستری تبدیل و عمل تلفیق لایه‌های مورد نظر انجام، بعد از تهیه نقشه رستری بر طبق جدول پیشنهادی خانم Aller (طراح مدل) کلاسه‌بندی شده و در وزن مربوط به هر لایه ضرب، و مدل اجرا گردید در نهایت نقشه آسیب‌پذیری استخراج شده است (شکل ۶).



شکل ۶: فلوچارت مدل‌سازی روش دراستیک بر اساس GIS

نقش پارامترهای مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان

فاکتور ۱، لایه عمق آب زیر زمینی D

عمق آب زیرزمینی عبارت است از فاصله سطح زمین تا سطح ایستایی که یکی از مهم‌ترین فاکتورهای شاخص دراستیک است، زیرا بر اساس آن میزان ضخامتی که باید طی کند تا به سطح آبخوان برسد مشخص می‌شود (Guo X. 2018). افزایش این ضخامت منجر به تصفیه و حذف آلودگی توسط زون غیراشباع خاک می‌شود. به‌طور معمول، پتانسیل حفاظت از آلوده شدن آب با افزایش عمق، بیشتر می‌شود. اطلاعات آماری عمق آب زیرزمینی از چاه‌های مشاهده‌ای حفاری شده در آبخوان حاصل می‌گردد. با استفاده از عمق‌یابی ماهانه سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای دشت مورد مطالعه و بررسی صحت و سقم داده‌ها و در صورت لزوم تصحیح آن‌ها، با استفاده از روش درون‌یابی (Spline) نقشه هم ارزش عمق آب زیرزمینی تهیه‌شده است. وزن دهی طبق طراحی مدل آلر و همکاران بوده و بر اساس جدول یک است (شکل ۷)، (جدول ۱).

جدول ۱: بازه وزن و رتبه‌های عمق آب زیرزمینی

عمق آب زیرزمینی به متر (Depth water table)	۲-۰	۳-۲	۹-۳	۱۹-۱۵	۲۳-۱۹	۳۰-۲۳	۳۰<	**وزن نسبی**
رتبه	۱۰	۹	۷	۵	۳	۲	۱	۵

مأخذ: نگارنده

فاکتور ۲، لایه تغذیه خالص سالانه R

تغذیه به مقدار آبی اطلاق می‌شود که از سطح زمین نفوذ می‌کند و به سطح ایستابی می‌رسد. عمل تغذیه منجر به انتقال عمودی آلودگی به سطح ایستایی و همچنین حرکت افقی آن در داخل سفره می‌شود. در گزارش‌ها از تغذیه به‌عنوان عاملی در انتقال آلودگی یاد شده است. به‌طور کلی می‌توان عنوان کرد که با تغذیه بیشتر، پتانسیل آلودگی افزایش می‌یابد. در مدل دراستیک فرض بر این است که عمده‌ترین حرکت عمودی آب، تغذیه ناشی از بارندگی است که از سطح زمین و به‌طور عمودی وارد سفره آب زیرزمینی می‌شود (Balakrishnam 2011). در صورتی که منابع تغذیه‌ای دیگری مانند تغذیه مصنوعی، آبیاری کشاورزی و آب فاضلاب دارای مقادیر قابل توجهی در دشت است باید در تهیه نقشه این عوامل در نظر گرفته شوند.

برای تهیه لایه تغذیه خاص سالانه دو پارامتر اصلی که شامل شبکه هم بارش و نقشه نفوذ پذیری سطحی که وابسته به جنس خاک است، ضروری می‌باشد. لایه تغذیه خاص از ضرب لایه‌های مربوط به این دو پارامتر در هم تهیه می‌شود. با توجه به گزارش‌های بیلان آب دشت مورد مطالعه، در بعضی از مناطق مقادیری از آب برگشتی کشاورزی در تهیه نقشه تغذیه دشت لحاظ گردید. در ادامه با توجه به متأثر بودن میزان نفوذ باران از جنس خاک، اقدام به تهیه نقشه منطقه شد. در مرحله بعد با توجه به اینکه ضریب نفوذ باران تابعی از نوع خاک و شیب زمین است، با استفاده از جدول

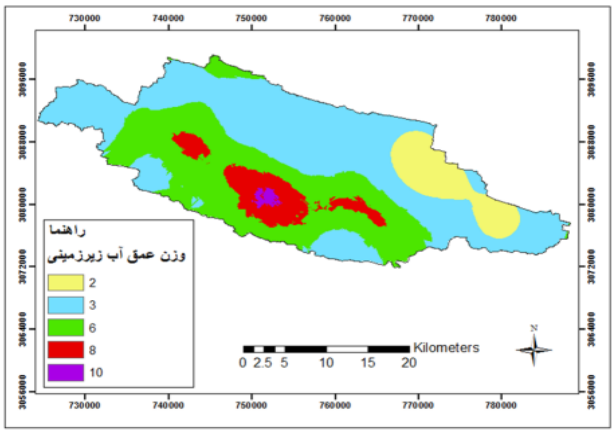
استاندارد (۲) به هر پلیگون، یک ضریب خاص تعلق گرفت. سپس جهت امکان تجزیه و تحلیل اطلاعات حاصله، نقشه فوق به رستر تبدیل شد. با توجه به مقدار نفوذپذیری خاک (In) و شیب توپوگرافی (S) مناطق مختلف، و با در نظر داشتن رابطه (۲)، لایه تغذیه تهیه شد (شکل ۸)، (جدول ۲).

$$R=Slope_{\%}+Ra_{mm}+In_{mm} \qquad (۲)$$

جدول ۲: رتبه‌بندی تغذیه خالص (پیسکوپو، ۲۰۰۱)

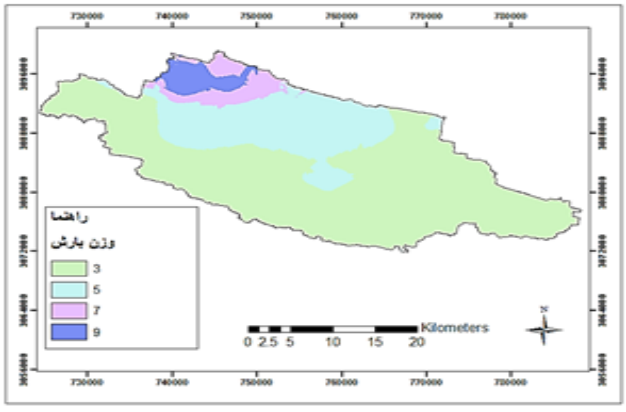
شیب	Slope(%)	بارندگی	Rainfall(mm)	نفوذپذیری خاک	Soil permeability(m/s)	تغذیه	Recharge
رتبه	محدوده (٪)	رتبه	محدوده (mm)	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده
۴	۲>	۴	>۸۵۰	۵	بالا	۱۰	۱۴-۱۱
۳	۱۰-۲	۳	۸۵۰-۷۰۰	۴	نسبتاً بالا	۸	۱۱-۹
۲	۳۳-۱۰	۲	۷۰۰-۵۰۰	۳	متوسط	۵	۹-۷
۱	>۳۳	۱	<۵۰۰	۲	کم	۳	۷-۵
				۱	خیلی کم	۱	۵-۴
						وزن نسبی	۴

مآخذ: نگارنده



مآخذ: نگارنده

شکل ۷: نقشه وزن لایه عمق آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



مآخذ: نگارنده

شکل ۸: نقشه وزن لایه بارش (تغذیه خالص) در منطقه مورد مطالعه

فاکتور ۳، لایه محیط آبخوان A

محیط آبخوان و مواد تشکیل دهنده آن تعیین کننده طول و روند مسیر سیستم جریان آب زیرزمینی در سفرها می‌باشد؛ این عامل به ویژگی‌های مواد تشکیل‌دهنده منطقه اشباع نظیر میزان تخلخل، جنس، اندازه و جور شدگی ذرات بستگی دارد که میزان پویایی تحرک آلودگی و به عبارتی فرآیندهای رقیق‌سازی آلودگی نظیر تجزیه شیمیایی، جذب، پخش و تأخیر را کنترل می‌کند. به‌طورکلی، هر چه مواد سفره دانه درشت‌تر باشد، به دلیل نفوذ پذیری بالاتر این مواد، پتانسیل آلودگی آبخوان نیز بیشتر خواهد شد. در مورد سفره‌های چند لایه‌ای نزدیک به سطح زمین، لایه بالاتر در نظر گرفته می‌شود و سفره‌های پایین در نظر گرفته نمی‌شوند (Voudouris et al, 2010) .

برای تهیه این لایه از اطلاعات ستون چاه‌ها (پیزومترها) در محدوده دشت استفاده شد .سپس یک جدول شامل اطلاعات و نام چاه، موقعیت آن‌ها برحسب UTM و جنس لوگ چاه (از سطح ایستایی تا سنگ کف) یک ارزش عددی بر اساس جدول ۳ داده، و در نهایت نقشه رستری با روش درون‌یابی (Kriging) ترسیم شد (نقشه ۹).

جدول ۳: رتبه‌بندی محیط آبخوان

محیط آبخوان Aquifer media	رتبه (Rating)	محیط آبخوان Aquifer media	رتبه (Rating)
سنگ‌های آتشفشانی	۱	پهنه‌های رسی	۳
ماسه‌سنگ متناوب باشیل و رس	۵	گنگولومرا با سیمان شدگی ضعیف	۷
شن و ماسه	۹	دولومیت و آهک	۱۰

مآخذ: نگارنده

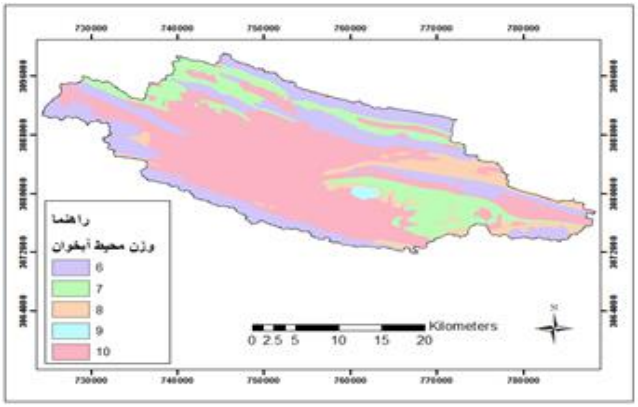
فاکتور ۴، نوع خاک

منظور از بافت خاک، ناحیه بالایی منطقه غیراشباع زمین است که تا حد نفوذ ریشه گیاهان ادامه دارد و به‌طور متوسط عمقی در حدود ۶ فوت (۱/۸۲ متر) یا کمتر را تحت پوشش قرار می‌دهد. نوع خاک، تأثیر بسیار مهمی در تغذیه و توانایی آلاینده‌ها برای نفوذ به محیط و ادوز دارد و از این‌رو بر چگونگی حرکت آلوده کننده مؤثر است وجود مواد با بافت ریز دانه نظیر سیلت و رس، تراوایی نسبی خاک را کاهش و مهاجرت و حرکت آلوده‌کننده‌ها را محدود می‌سازد (Huang ۲۰۱۸ ,Y). فعالیت نسبتاً بالای میکروبی، وجود مواد آلی و ریشه گیاهان، باعث افزایش ظرفیت میرایی لایه خاک نسبت به بخش‌های زیرین منطقه غیراشباع می‌شود. همچنین، جای که افق خاک ضخیم باشد، فرآیندهای میرایی نفوذ، جذب و فرار گازها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. محیط خاک برحسب رده‌بندی بافتی آن مشخص و بر اساس پتانسیل آلودگی امتیازبندی می‌شود (جدول ۴). برای تهیه این لایه، از نقشه خاک منطقه با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ استفاده شد. بدین ترتیب که پس از اسکن کردن، نقشه مورد نظر در نرم‌افزار اتوکد رقومی شد. با توجه به چند ضلعی‌های ایجاد شده که هر کدام نشان‌دهنده تیپ خاک موجود در منطقه بوده‌اند و با توجه به گزارش‌ها در نقشه مورد نظر به هرکدام از آن‌ها یک نرخ تعلق گرفت (شکل ۱۰).

جدول ۴: رتبه‌بندی محیط خاک

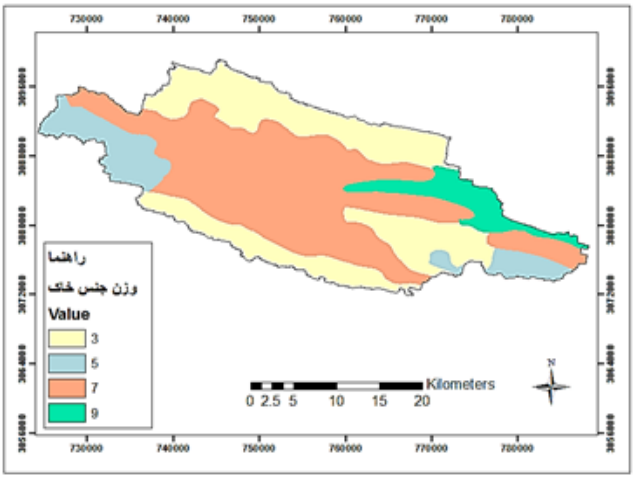
محیط خاک	رتبه	محیط خاک	رتبه	محیط خاک	رتبه
نازک یا نبود خاک	۱۰	شن	۱۰	ماسه	۹
کود گیاهی	۸	رس فشرده و متراکم	۷	لوم ماسه‌ای	۶
اوم	۵	لوم سیلتی	۴	لوم رسی	۳
کود	۲	رس غیر متراکم	۱	وزن نسبی	۲

مآخذ: نگارنده



مآخذ: نگارنده

شکل ۹: نقشه محیط آبخوان در منطقه مورد مطالعه



مآخذ: نگارنده

شکل ۱۰: نقشه محیط خاک در منطقه مورد مطالعه

فاکتور ۵، توپوگرافی (Topography)

این لایه به تغییرات شیب سطح زمین اشاره دارد. شیب سطح زمین علاوه بر اینکه بر حرکت و نفوذ آب‌های سطحی و آلاینده‌ها در سطح زمین تأثیر می‌گذارد، بر گسترش خاک و درنتیجه بر میرایی آلاینده‌ها نیز مؤثر است؛ بنابراین هرچه شیب سطح زمین کمتر باشد زمان تماس آب‌های سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین بیشتر است و در نتیجه امکان نفوذ

آلاینده‌ها به داخل آبخوان بیشتر می‌شود. شیب بیشتر باعث می‌شود که مواد محلول به صورت رواناب جاری شود و کمتر نفوذ کند. در مدل دراستیک خطوط توپوگرافی به صورت مناطق هم‌شیب به صورت درصد پهنه‌بندی می‌شود. شیب صفر تا ۲ درصد بیشترین فرض نفوذ را دارد و رتبه ۱۰ را دارا است؛ و نواحی با شیب بالای ۱۰ درصد در پایین‌ترین رتبه قرار می‌گیرند، چون کمترین نفوذ را دارا می‌باشند. تأثیر دیگر شیب در توسعه خاک است، به طوریکه در شیب‌های بالا ضخامت لایه خاک سطحی کم می‌شود؛ به‌منظور تهیه این لایه ابتدا یک مدل رقومی ارتفاعی از منطقه تهیه شد و سپس با استفاده از ابزار Slope نقشه در صد شیب از این مدل رقومی استخراج شد .با توجه به رتبه‌بندی (جدول ۵) نقشه درصد شیب به دست آمد (شکل ۱۱).

جدول ۵: رتبه‌بندی و وزن دهی شیب زمین

محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه
۲-۰	۱۰	۴-۲	۹	۵-۴	۸	۶-۵	۷	۷-۶	۶
۸-۷	۵	۹-۸	۴	۱۱-۹	۳	۱۸-۱۱	۲	>۱۸	۱

مآخذ: نگارنده

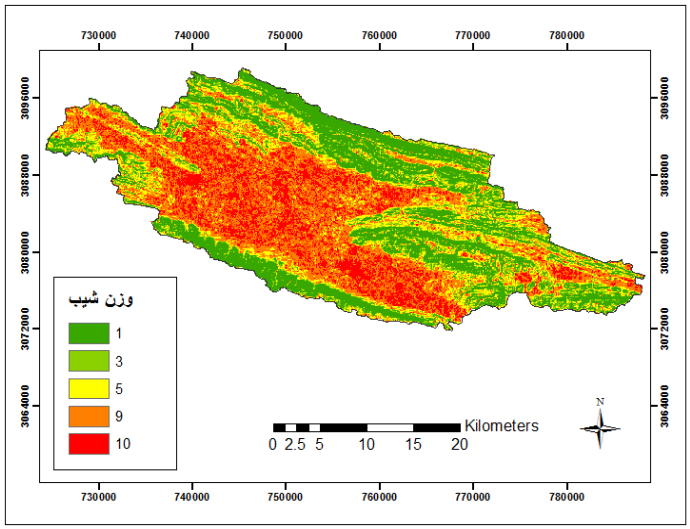
فاکتور ۶، محیط غیراشباع

زون و ادوز یک‌بخشی از زیرزمین با منافذ دانه‌دانه (گرانولار) غیراشباع یا به‌طور ناپیوسته اشباع است. رفتار آلاینده‌ها در این زون یک عنصر کلیدی در میرایی آلودگی می‌باشد، به دلیل اینکه محیط غیراشباع خانه‌ای برای بسیاری از موجودات زنده است که مواد تشکیل‌دهنده آلودگی را تجزیه می‌نمایند فرآیندهای میرایی گوناگونی ممکن است بین افق خاک و سطح ایستابی رخ دهد، مثلاً فیلتری شن (پالایش) مکانیکی، عمل تبخیر، تجزیه زیستی، واکنش شیمیایی، پراکندگی و خنثی شدن نوع زون وادوز به دلیل اینکه بر مسیریابی و طول مسیر (آلاینده) تأثیرگذاراست، از اهمیت بالایی برخوردار است. با استفاده از لوگ چاه‌های حفاری و پیزومتری و نقشه‌های مقاطع ژئوالکتریک دشت، نوع و جنس مواد تشکیل‌دهنده منطقه غیراشباع مشخص و نقشه رستری منطقه غیراشباع تهیه شد و سپس به کمک این نقشه و با توجه به جدول ۶، نقشه رستری رتبه‌بندی مربوط به منطقه غیراشباع با اندازه سلول ۱۰۰ متری تهیه گردید (شکل ۱۲).

جدول ۶: وزن دهی و رتبه‌بندی محیط غیراشباع

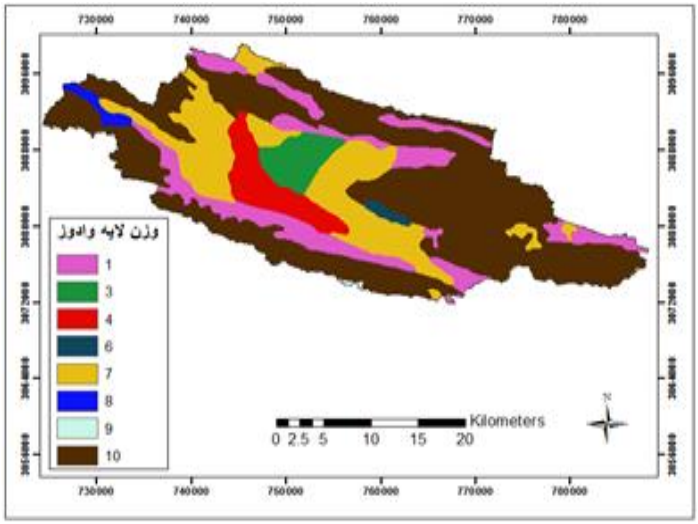
محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه
کارستی	۱۰	**دولومیتی**	۹	**ماسه**	۸	**ماسه سیلتی**	۷	**ماسه رسی**	۶
سیلت ماسه‌ای	۵	**رس‌ماسه‌ای**	۴	**رس سیلتی**	۳	**مان و رس**	۲	**لایه محصور کننده با رس متراکم**	۱

مآخذ: نگارنده



مآخذ: نگارنده

شکل ۱۱: نقشه وزن لایه شیب و ناهمواری دشت خنج



مآخذ: نگارنده

شکل ۱۲: نقشه وزن لایه وادوز در دشت خنج

فاکتور ۷، هدایت هیدرولیکی

به قابلیت مواد تشکیل‌دهنده آبخوان جهت انتقال آب، هدایت هیدرولیکی می‌گویند که به‌نوبه خود، شدت جریان آب زیرزمینی تحت گرادیان هیدرولیکی معین را کنترل می‌کند. هدایت هیدرولیکی با مقدار فضاهای خالی و اتصال بین آن‌ها در آبخوان کنترل می‌شود این مفهوم باید با مفهوم محیط آبخوان به‌خوبی تفکیک شود زیرا ممکن است محیط آبخوان تا حدی نفوذ ناپذیر باشد ولی شامل شکاف‌های بزرگ باشد. سرعت حرکت و انتشار آلاینده‌ها در آبخوان توسط هدایت الکتریکی کنترل می‌شود. هرچه هدایت الکتریکی اشباع بیشتر باشد، امکان جریان یافتن آلاینده‌ها درآبخوان بیشتر می

شود (چیت‌ساز و اختری،۲۰۰۹). درهرصورت، دستیابی به تخمین دقیقی از میزان هدایت هیدرولیکی مشکل است و این مورد را می‌توان از نقاط ضعف مدل دراستیک محسوب کرد.

مقادیر برای هدایت هیدرولیکی بر پایه آبدهی چاه و ویژگی‌های آبخوان برآورد می‌شوند، به دلیل اینکه نقشه‌های هدایت هیدرولیکی برای منطقه موردمطالعه موجود نیست؛ بنابراین مقادیر هدایت هیدرولیکی با استفاده از دو مؤلفه قابلیت انتقال آب و ضخامت بخش اشباع بر پایه رابطه ۳ حاصل می‌گردد؛ که T قابلیت انتقال آب، K هدایت هیدرولیکی و b ضخامت آبخوان است. با توجه به مقادیر هدایت هیدرولیکی محاسبه‌شده، نقشه رستری هدایت هیدرولیکی تهیه و در نهایت با توجه به رتبه‌بندی محدوده‌های هدایت هیدرولیکی (جدول ۷) نقشه رستری رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی به دست آمد (شکل ۱۳).

$$T=K.b \qquad (۳)$$

جدول ۷: رتبه‌بندی فاکتور هدایت الکتریکی

محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه
کمتر از ۴	۱	۱۲-۴	۲	۲۸-۱۲	۴	۴۰-۲۸	۶
۸۰-۴۰	۸	بیشتر از ۸۰	۱۰	وزن نسبی	۳		

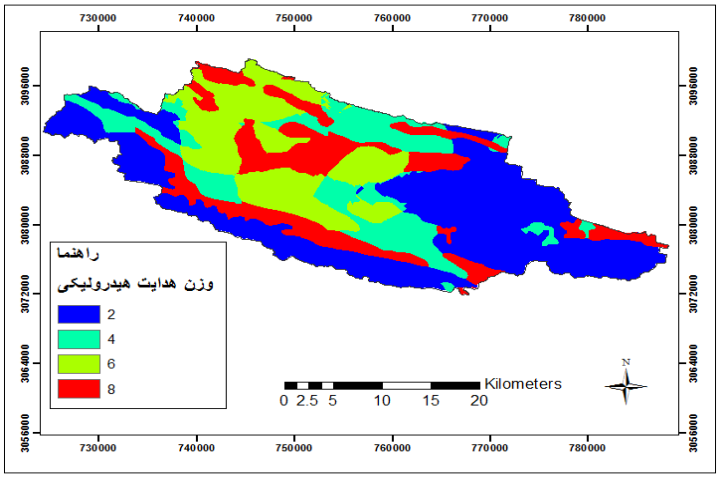
مآخذ: نگارنده

تلفیق لایه‌های هفت‌گانه و تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت

پس از تهیه هفت لایه مورد نیاز برای استفاده از مدل دراستیک، باید روش مدل‌سازی و تلفیق این لایه‌ها را انتخاب کرد. در این پژوهش، تلفیق لایه‌ها با استفاده از منطق بولین و هم‌پوشانی شاخص‌ها صورت گرفت .در تلفیق لایه‌ها باید نکات زیر را در نظر گرفت:

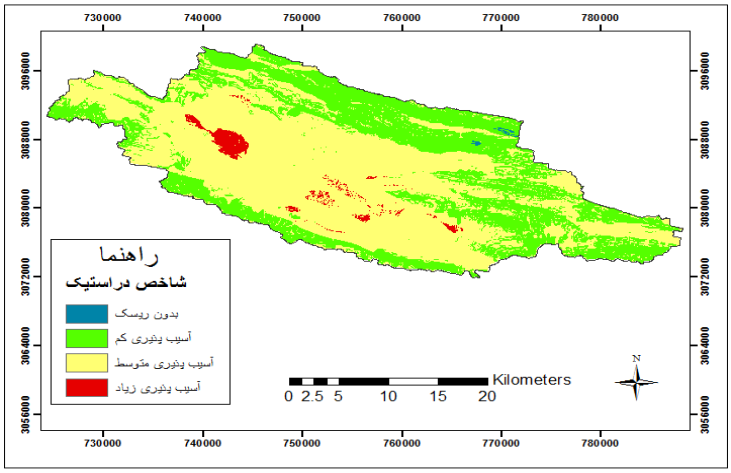
- تمامی لایه‌های ساخته‌شده به‌صورت رس‌تر باشند؛
- اندازه پیکسل‌ها در همه لایه‌ها یکسان باشد؛
- تمامی لایه‌ها در یک سیستم مختصات مشابه تهیه شوند.

برای ترکیب لایه‌های رستری از تابع همپوشانی استفاده می‌شود. این تابع به دو صورت ریاضی و وزنی عمل ترکیب داده‌ها را انجام می‌دهد. جهت تلفیق این لایه‌ها از دستور Raster Calculater در جعبه‌ابزار Spatial Analyst استفاده شد و در نتیجه شاخص آسیب‌پذیری دراستیک به دست آمد. نتیجه حاصله یک‌لایه شبکه‌ای است که در این لایه سلول‌های دارای اعداد بزرگ‌تر، بیان‌کننده مناطقی هستند که آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی در مقابل آلودگی بیشتراست و سلول‌های دارای ارزش عددی کمتر مناطقی را نشان می‌دهند که آسیب‌پذیری ذاتی آب‌های زیرزمینی در مقابل آلودگی در این مناطق کمتراست. با استفاده از جدول ۸ شاخص‌های به‌دست‌آمده برای منطقه مورد مطالعه به درجات مختلف آسیب‌پذیری تبدیل شد (شکل ۱۴).



مأخذ: نگارنده

شکل ۱۳: نقشه وزن لایه هدایت الکتریکی



مأخذ: نگارنده

شکل ۱۴: میزان آسیب‌پذیری به‌دست‌آمده با شاخص درستیک در دشت موردمطالعه

جدول: ۸ مقادیر شاخص آسیب‌پذیری و توصیف عملی درجات آن

توصیف عملی آسیب‌پذیری	شاخص	مقدار
زمانی که لایه‌های محبوس کننده که مؤلفه‌های عمودی جریان در آن‌ها ناچیزاست در محیط وجود داشته باشند.	قابل اغماض	۴۶-۲۳
زمانی که تغذیه به‌طور پیوسته و گسترده به آبخوان صورت گیرد و آلاینده‌ها توانایی ایجاد واکنش در محیط ندارند	کم	۹۲-۴۷
زمانی که تغذیه به‌طور پیوسته به آبخوان باشد، آسیب‌پذیری نسبت به بعضی از آلاینده‌ها ایجاد می‌شود.	متوسط	۱۳۶-۹۲
آسیب‌پذیری در خیلی از موارد نسبت به بسیاری از آلاینده‌ها (به‌جز آلاینده‌هایی که انتقال بالایی دارند ایجاد می‌شود.	زیاد	۱۸۴-۱۳۶
آسیب‌پذیری نسبت به اکثر آلاینده‌ها با تأثیر سرعت در اکثر مواقع ایجاد می‌شود.	خیلی زیاد	۲۳۰-۱۸۴

مأخذ: نگارنده

صحت سنجی مدل دراستیک

در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، عدم قطعیت امری ذاتی است. بخشی از این عدم قطعیت ناشی از خطای اطلاعاتی و متغیر بودن پارامترهای هیدروژئولوژیکی نسبت به زمان و مکان می‌باشد. با توجه به اینکه در منطقه مورد

مطالعه کشاورزی رونق زیادی دارد و غالباً از کودهای حیوانی و شیمیایی حاوی نیترات استفاده می‌شود، بنابراین برای صحت سنجی مدل دراستیک از مقادیر اندازه‌گیری شده یون نیترات در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه استفاده گردید . با انطباق یون نیترات بر روی نقشه آسیب‌پذیری مشخص شد که نقاط دارای نیترات بالا در محدوده با پتانسیل آلودگی متوسط و زیاد قرار می‌گیرند که این خود می‌تواند دقت و صحت مدل را تأیید کند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت خنج-فیشور لارستان، از روش دراستیک استفاده شد؛ چراکه این روش نسبت به سایر روش‌ها از پارامترهای بیشتری برای مدل‌سازی استفاده می‌کند، و نسبت به دیگر روش‌های وزن و رتبه دهی، کاربردی‌تر و تکامل‌یافته‌تر به نظرمی رسد. در این پژوهش با استفاده از تمام داده‌های هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی واقعی موجود، اجرای مدل دراستیک از نظر وضعیت آسیب‌پذیری آلودگی آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه میسر گردید. خروجی مدل دراستیک اعمال شده در منطقه مورد مطالعه، شکل ۱۴ بود که بر اساس آن منطقه به چهار کلاسه آسیب‌پذیر، زیاد، متوسط، کم و بدون ریسک تقسیم؛ و مشخص شد که بیش از ۹۹٫۸۸ درصد از کل منطقه دارای ریسک آسیب‌پذیری است و فقط حدود ۰/۱۲ درصد از خطر آلودگی فعلاً در امان باقی‌مانده است. حدود ۳۷٫۴۵٪ در محدوده آسیب‌پذیری کم و ۶۰٫۶۴٪ در بخش آسیب‌پذیر متوسط و ۱٫۸٪ در ناحیه مرکزی دشت و اطراف شهر خنج در معرض آلودگی زیاد تا بسیار زیاد است. با توجه به تحلیل حساسیت تک پارامتری، تأثیرگذاری پارامترهای دراستیک در منطقه به ترتیب؛ عمق آب زیرزمینی، محیط غیراشباع، توپوگرافی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، هدایت الکتریکی و جنس خاک در آسیب‌پذیری منطقه مؤثر بوده‌اند.

روش دراستیک همانند سایر روش‌های رتبه‌بندی آسیب‌پذیری، نتایج دقیق و مطلقی از آسیب‌پذیری را ارائه نمی‌کند و فقط نواحی دارای آسیب‌پذیری زیاد و کم را از یکدیگر متمایز می‌سازد؛ و برآورد نسبی از مقدار آلودگی را نشان می‌دهد؛ لذا پیشنهاد می‌شود که به‌منظور دستیابی به نتایج دقیق و مطلق از مدل کمی فازی و شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردد. هرچند که خطرپذیری منطقه فعلاً در شرایط حاد و خیلی زیاد نیست. ولی با توجه به اقلیم منطقه و خشک‌سالی‌های متعدد اخیر، افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی، افزایش فعالیت کشاورزی و صنعتی، در نتیجه افزایش آلودگی‌های ناشی از فاضلاب شهری، پساب کشاورزی و صنعتی و در مقابل افزایش نیازمندی به آب جهت تأمین مصارف آشامیدنی، لزوم شناسایی مناطق مستعد آلودگی و جلوگیری از توسعه بی‌رویه فعالیت‌های انسانی در مناطق بحرانی ضروری است و یا اقدام به کاهش میزان فعالیت آن کاربری در واحد سطح آبخوان نمود. همچنین در مناطقی از آبخوان که توسعه فعالیت‌های انسانی و یا کاربری جدیدی مدنظر است می‌توان با نقشه‌های آسیب‌پذیری، این فعالیت‌ها را به مناطق کم‌خطر یا بی‌خطر سوق داد. این امر تنها با مشارکت مردم، کارشناسان، مسئولین و مدیران مربوطه تحقق و ادامه خواهد یافت.

پیشنهادها

– با توجه به خطر بالای آلودگی می‌بایست تا حد امکان از ایجاد تأسیسات صنعتی که می‌توانند منجر به افزایش و پراکنش آلاینده‌ها شوند جلوگیری کرد و یا در صورت تأسیس تمهیدات لازم برای تصفیه آلاینده‌ها در نظر گرفته شود؛ این موضوع به‌خصوص در نواحی مرکزی دشت دارای اهمیت زیادی است. ایجاد یک سیستم فاضلاب و توصیه برای مراکز جمعیتی و کشاورزی راهکار مهم دیگری است که می‌تواند در نظر گرفته شود؛

– زهکشی در نواحی در معرض آلودگی می‌تواند به کاهش خطر کمک کند. در نهایت با توجه به انتقال آب‌های سطحی از نواحی پیرامونی دشت به سمت مرکز باید از گسترش آلودگی‌ها در نواحی پیرامونی نیز جلوگیری کرد تا آلودگی از طریق جریانات سطحی به نواحی مرکزی منتقل نشود؛

– تصویب قوانین مدون در مورد استفاده و بهره‌برداری از منابع آبخوان؛

– افزایش سخت‌گیری و کنترل بر نوع و میزان بهره‌برداری؛

– کنترل پراکنش آلودگی‌ها، نوع و میزان سموم و مواد شیمیایی مورد استفاده در اراضی کشاورزی بر اساس پهنه‌های آسیب‌پذیر؛

– توجه به پهنه‌های آسیب‌پذیری در صدور مجوزهای مربوط به صنایع و کارگاه‌های آلاینده؛

– توجه به پهنه‌های آسیب‌پذیری در آمایش سرزمین و مکان‌یابی صنایع و کارگاه‌ها؛

– توجه به اولویت‌های مدیریتی و حفاظتی در تخصیص سرمایه‌ها و بودجه در جهت حفظ و ارتقای شرایط کمی و کیفی آبخوان منطقه؛

– لزوم همکاری و هماهنگی میان سازمانی بین حوضه‌های مدیریت محلی و سازمان‌های متولی همچون سازمان آب منطقه‌ای در حفظ و نگهداری و مدیریت آبخوان‌های زیرزمین؛

– نظارت و کنترل بر اجرای استانداردهای مربوط به محیط‌زیست و آلاینده‌های خطرناک؛

– استفاده از تکنولوژی و مدل‌های جدیدتر در تعیین و تحلیل پراکندگی و روند تغییرات آلاینده‌ها در آبخوان‌های زیرزمینی و استفاده از نتایج در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت منطقه‌ای به‌منظور حفظ و حراست از سرمایه‌های ملی کشور؛

– به‌منظور بهینه‌سازی نتایج حاصل از روش دراستیک از روش‌های ماشینی مانند ماشین‌های بردار پشتیبان و یا شبکه عصبی مصنوعی نیز استفاده گردد.

منابع

۱– آرزومند، م و همکاران. (۱۳۹۴): ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت آستانه –کوچ اصفهان با استفاده از مدل اصلاح‌شده دراستیک. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره یک، جلد نه ص ۷۵–۸۲.

۲- آصفی، مهر ناز و همکاران. (۱۳۹۳): بهینه‌سازی مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی. مجله علمی کشاورزی (علوم و مهندسی آبیاری)، جلد ۳۷، شماره یک، ص ۵۵-۶۷.
۳- احمدی، ج. و همکاران. (۱۳۹۲): تعیین آسیب‌پذیری آبخوان با استفاده از مدل دراستیک و اعمال آنالیز حساسیت تک پارامتری و حذفی (مطالعه موردی: دشت سلفچگان- نی‌زار). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۰، شماره ۳، صفحه ۱-۲۵.
۴- اصغری مقدم؛ ا. و همکاران. (۱۳۹۵): ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت بستان‌آباد با استفاده از روش دراستیک و سینت کس، فصل‌نامه هیدروژئومورفولوژی، شماره ۸، ص ۲۱-۵۲.
۵- امیر احمدی، ا. و همکاران، (۱۳۹۲): بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت نیشابور با استفاده از روش دراستیک در محیط GIS. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۶. ص ۳۷-۵۶.
۶- امیر احمدی، ا. و همکاران، (۱۳۹۰): ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت داروزن به روش دراستیک، مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال دوم، شماره شش، ص ۵۱-۶۶.
۷- بوستانی، علی و همکاران، (۱۳۹۳): بررسی کیفی و آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی دشت بجنورد با استفاده از مدل دراستیک. نخستین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی در آمایش سرزمین. دانشگاه آزاد اسلامی یزد.
۸- رضایی، محسن و همکاران، (۱۳۸۶): مطالعه حساسیت پذیری آبخوان دشت یزد –اردکان نسبت به آلودگی. سومین همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیطزیست، اسلامشهر. ص ۲۱-۲۷.
۹- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. نقشه‌های توپوگرافی.
۱۰- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی (۱۳۹۴): زمین‌شناسی خنج، مؤلف: طهمورث یوسفی.
۱۱- سلیمی، م. و همکاران، (۱۳۹۳): ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان واقع در مکان جدید دفن پسماند شهری اصفهان بر اساس مدل دراستیک. مجله تحقیقات نظام سلامت، سال دهم، شماره دوم، ص ۳۹۵-۴۰۵.
۱۲- شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس- لارستان، (۱۳۷۸): گزارش شناسایی منابع آب زیرزمینی خنج لارستان.
۱۳- صباغ، س، ع. و همکاران، (۱۳۹۹): ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت نکا رود با استفاده از مدل دراستیک. مجله پژوهش آب ایران، شماره ۳۶، ص ۱۴۱-۱۵۲.
۱۴- فاضلی، مریم و همکاران، (۱۳۸۹): پهنه‌بندی خطر آلودگی آبخوان دشت زیدون، همایش ملی ژیوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور.
۱۵- فرهادی، مهدی، (۱۳۹۴): آسیب‌پذیری آبخوان دشت خنج... دانشگاه آزاد اسلامی لارستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد GIS. استاد راهنما: عبدالرسول قنبری.
۱۶- قنبری، ن. و همکاران، (۱۳۹۸): بهبود نتایج حاصل از مدل دراستیک با استفاده از هوش مصنوعی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک. جلد ۲۴. شماره ۲. ص ۴۵-۶۵.
۱۷- گرگانی، شهرام و همکاران، (۱۳۹۵): ارزیابی پتانسیل آب‌های زیرزمینی با شاخص دراستیک. مجله سلامت و محیطزیست. دوره نهم. شماره ۴. ص ۵۲۷-۵۳۶.
۱۸- مدیریت و معاونت اداره کل جهاد کشاورزی لارستان، (۱۳۹۵): آمار چاه‌های دشت فیشور –خنج.
۱۹- محبی، ی. و همکار، (۱۳۹۷): ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت کهریز با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS. فصل‌نامه زمین‌شناسی محیطزیست. شماره ۴۵.
۲۰- وزارت کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات آب‌وخاک (۱۳۷۴): مطالعات خاکشناسی اجمالی غرب و شمال غرب لارستان (دشت‌های خنج، سیف‌آباد، لاغر، حمامی، شهرستان لاله) در استان فارس، تهیه‌کننده: خسرو راه منشی.
۲۱- یوسف دوست، آ و همکار، (۱۳۹۶): تعیین آسیب‌پذیری آبخوان با روش دراستیک استاندارد و روش داده مبنا... مجله سنجش از دور و GIS ایران. سال نهم. شماره دوم. ص ۹۹-۱۱۶.

22- Akhtari, Y. (2009): Evaluation Of Aquifer Pollution Potential Model Zvyrchry And Kheran Using DRASTIC, M.Sc. Thesis, Department Of Geology, Shahid Chamran University, Pp. 170.

23- Aller. L. Bennett. T. Lehr. J. Petty. R. Hackett. G. (1987): DRASTIC: A Standardized System For Evaluating Ground Water Pollution Pollution Potential Using Hydrogelogic Setting. Anda, Oklahoma: U. S. And Environmental Protection Agency
25- Babiker, I.S, A.A. Mohamed & H. Tetsuya, (2005): A GIS – Based DRASTIC Model Assessing Aquifer Vulnerability In Kakamigahara Height Gifu Prefecture, Science Of The Total Environment Journal 345(1):127-140.
26- Balakrishnam.A. Malli Karjun, D, (2011): "Ground Watter Quality Mapping Using Geographic Information System: A Case Study Of Gulbarga City, Karnataka, India, Africa Journal Of Environment Science And Technology.
27- Boughriba, M. Barkaoui, A. Zarhloule, Y. Lahmer, Z. El Houadi, B. And Verdoya, M. (2010): Groundwater The Angad Transboundary Aquifer Using DRASTIC Index Method In GIS Environment. Arabian Journal Of Geosciences, 3: Pp. 207–220.
28- Goodarzi, L. And Javadi, S. (2016): Assessment Of Aquifer Vulnerability Using The DRASTIC Model; A Case Study Of The Dezful- And Imeshk Aquifer. CRPASE. 02(01): 17-22.
29- Gharekhani, M. Nadiri, A.A. Asghari Moghaddam, A. And Sadeghi Aghdam, F. (2015): Optimization Of DRASTIC Model By Support Vector Machine And Artificial Neural Network For Evaluating Of Intrinsic Vulnerability Of Ardabil Plain Aquifer. Eco Hydrology 2: Pp. 311-324.
30- Guo X. Zuo R. Meng L. Wang J. Teng Y. Liu X. And Chen M. (2018): Seasonal And Spatial Variability Of Anthropogenic And Natural Factors Influencing Groundwater Quality Based On Source Apportionment. Environmental Research And Public Health. 15: Pp. 1-19.
31- Huang Y. Zuo R. Li J. Wu J. Zhai Y. And Teng Y. (2018): The Spatial And Temporal Variability Of Groundwater Vulnerability And Human Health Risk In The Limin District, Harbin, China Water. International Conference On Tropical Hydrology And Caribbean Water Resources, San Juan De Puerto Rico. Pp. 279-289.
32- Merchant, J. (1994): GIS-Based Groundwater Pollution Hazard Assessment: A Critical Review Of The DRASTIC Model. Photogrammetric Engineering And Remote Sensing. 60: 9. Pp. 1117-1127.
33- Piscopo G. (2001): Groundwater Vulnerability Map, Explanatory Notes, Cast Lereagh Catchment, NSW. Departmant Of Land And Wate Conservation, Australia. http://Www.Dlwc.Nsw.Gov.Au./Care/Water/Groundwater/Reports/Pdfs/Castlereagh_Map_ Notes. Pdfs.>.R
34- Soper, R.C. (2006): Groundwater Vulnerability To Agrochemicals: A GIS- Based Drasticmodel Analysis Of Carrol, Chariton, And Saline Counties, Missouri, USA. M.Sc. Thesis, University Of Missouri-Columbia
35- Vououris. K. Nazakis. N. Polemio. M. Marekles. K. (2010): Assessment Of Intrinsic Vulnerability Using The DRASTIC Model And GIS In The Kiti Aquifer, Cyprus, European Water, 30: Pp. 13-24.