

بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت نیشابور با استفاده از روش دراستیک در محیط GIS

ابوالقاسم امیراحمدی^۱ - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران
مجید ابراهیمی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران
محمد علی زنگنه اسدی - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران
الهه اکبری - مربی سنجش از دور و GIS، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۱۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۵/۲۵

چکیده

شناسایی و تهیه نقشه پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان، یعنی مناطقی که امکان نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی وجود دارد، یک ابزار مدیریتی مناسب برای جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی می‌باشد. با توجه به اهمیت دشت نیشابور در تأمین آب کشاورزی، شرب و صنعت منطقه، از مدل دراستیک جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان استفاده شده است. در مدل دراستیک از مشخصه‌های مؤثر در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان آب زیرزمینی شامل عمق سطح ایستایی، شبکه تغذیه، جنس آبخوان، نوع خاک، شیب توپوگرافی، مواد تشکیل دهنده منطقه غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی استفاده می‌شود که به صورت هفت لایه در نرم افزار ArcGIS تهیه شدند و با وزندهی و رتبه‌بندی و تلفیق هفت لایه فوق، نقشه نهایی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلودگی تهیه گردید. با انطباق یون نترات بر روی نقشه نهایی دراستیک، مشخص شد کلیه تقاطعی که دارای نترات بالا هستند، در محدوده آلودگی زیاد قرار گرفته‌اند که دقت و صحت مدل را مورد تأیید قرار می‌دهد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی به‌دست آمده حدود ۲۳/۵۵ درصد از منطقه مورد مطالعه در محدوده آسیب‌پذیری خیلی کم، ۱۷/۱۶ درصد آسیب‌پذیری کم، ۱۹/۲۱ درصد آسیب‌پذیری متوسط، ۲۸/۷۲ درصد آسیب‌پذیری زیاد و ۱۱/۳۶ درصد در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار می‌گیرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد بیشترین درصد پتانسیل آسیب‌پذیری مربوط به کلاس زیاد است و مناطق جنوبی و غربی دشت از پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی برخوردار بوده و نواحی شمالی کمترین پتانسیل را دارند.

کلید واژه‌ها: آسیب‌پذیری، مدل دراستیک، آب‌های زیرزمینی، دشت نیشابور.

۱. مقدمه

توسعه روز افزون جوامع بشری و گسترش فعالیت‌های صنعتی سهم عمده‌ای در آلودگی‌های محیط زیست به ویژه آب دارد (رحمان^۱، ۲۰۰۸: ۳۳). بنابراین فعالیت‌های انسانی در بعضی موارد به توازن‌های ظرفیت موجود در طبیعت آسیب می‌رساند (کنودل^۲ و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۲۵). یکی از مهم‌ترین منابع آبی آسیب‌پذیر در برابر آلودگی، آبخوان‌ها هستند. این منابع به شکل‌های مختلف در معرض آلودگی قرار دارند که تشخیص و کنترل آلودگی در آنها نسبت به آب‌های سطحی مشکل‌تر و پرهزینه است. همچنین به دلیل استمرار آلودگی در این منابع، بهترین روش جلوگیری از آلودگی آن‌ها، شناسایی منابع آلوده‌کننده و مناطق آسیب‌پذیر، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب می‌باشد (کنودل و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۳۵؛ بابیکر^۳ و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۳۰). مفهوم آسیب‌پذیری برای اولین بار در اواخر سال ۱۹۶۰ میلادی در فرانسه برای آگاهی بخشی در مورد آلودگی آب زیرزمینی ارائه شده است (وربا و زوپوروزک^۴، ۱۹۹۴: ۵۸). آسیب‌پذیری نوعی خصوصیت نسبی، بدون بُعد و غیر قابل اندازه‌گیری است و به ویژگی‌های آبخوان، محیط زمین شناسی و هیدرولوژی بستگی دارد (آنتناکوس و لامبراکیس^۵، ۲۰۰۷: ۲۹۰). تا کنون تعاریف زیادی در مورد آسیب‌پذیری آبخوان در هیدروژئولوژی ارائه شده است، که از آن جمله می‌توان به تعریف کمیته ملی علوم آمریکا در سال ۱۹۹۳ اشاره کرد. این کمیته، آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نسبت به آلودگی را، تمایل یا احتمال رسیدن آلاینده‌ها به یک مکان مشخص در سیستم آب زیرزمینی بعد از به وجود آمدن آن‌ها در برخی محل‌ها در بالای سطح آبخوان می‌داند (آلماسری^۶، ۲۰۰۸: ۵۷۸). روش‌های مختلفی برای بررسی و ارزیابی پتانسیل آلودگی در یک آبخوان وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های پردازشی^۷، روش‌های شاخص همپوشانی^۸ و روش‌های آماری^۹ اشاره کرد (آلماسری، ۲۰۰۸: ۸۷۹). در روش‌های پردازشی از مدل‌های شبیه‌سازی برای تخمین حرکت آلاینده‌ها بهره می‌برند. روش‌های آماری از روابط همبستگی بین متغیرهای مکانی و میزان آلاینده‌های موجود در آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. روش‌های شاخص همپوشانی پارامترهای کنترل‌کننده حرکت آلاینده‌ها از سطح زمین به منطقه اشباع را تلفیق کرده و شاخصی به نام شاخص آسیب‌پذیری را در نقاط مختلف یک منطقه تعیین می‌کنند (دیکسون^{۱۰}، ۲۰۰۵: ۳۲۹). در تمامی

1 Rahman

2 Knodel

3 Babiker

4 Vrba and Zoporozec

5 Antonakos and Lambrakis

6 Almasri

7 Processing

8 Overlay

9 Statistical

10 Dixon

روش‌ها آسیب‌پذیری آبخوان بر اساس انتقال آلودگی از سطح زمین به لایه آبدار برآورد شده است. یکی از روش‌های متداول برای آسیب‌پذیری آبخوان، روش دراستیک^۱ است که توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (US-EPA) جهت تعیین پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی ارائه شده است (آلر^۲ و همکاران، ۱۹۸۷: ۸۳). تا کنون مطالعات زیادی در زمینه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک انجام شده است. کابرا و زاهوری^۳ (۲۰۰۸)، ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی برای حوضه آبخیز بانیاس در مناطق ساحلی را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که ۲ درصد از منطقه مورد مطالعه در محدوده آسیب‌پذیری کم، ۵۴ درصد آسیب‌پذیری متوسط، ۳۹ درصد آسیب‌پذیری زیاد و ۵ درصد در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارد. کاتا^۴ و همکاران (۲۰۱۰) ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان کیتی در قبرس را با استفاده از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد کلاس آسیب‌پذیری بالا، وسعت زیادی را از منطقه مورد مطالعه، شامل می‌شود. نوبر^۵ و همکاران (۲۰۰۷)، بررسی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را با استفاده از منطق فازی و مدل دراستیک برای کشور نپال انجام دادند. مقایسه روش فازی و دراستیک نشان داد که نتایج روش دراستیک کارتر و قابل اعتمادتر بوده و ۷۵ و ۵۸ درصد از منطقه مورد مطالعه به ترتیب دارای آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد است. استیگر^۶ و همکاران (۲۰۰۶) آسیب‌پذیری آبخوان را در ناحیه‌ای از پرتقال به کمک مدل دراستیک بررسی کردند و گزارش نمودند که میزان مصرف نیترات بر آلودگی آبخوان مؤثر است. شهید^۷ و همکاران (۲۰۰۷) مدل دراستیک را برای بررسی آسیب‌پذیری آبخوان مناطق بنگال غربی نسبت به آفت‌کش‌ها به کار بردند. نتایج نشان داد ۸۱ درصد منطقه آسیب‌پذیری بالایی نسبت به آفت‌کش‌ها دارد. روش دراستیک در ایران برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به‌طور موردی به کار گرفته شده است. افروزی و محمدزاده (۱۳۹۱) آسیب‌پذیری آبخوان دشت بروجن-فراذنبه به آلودگی را با استفاده از روش دراستیک بررسی کردند. نقشه پهنه‌بندی به‌دست آمده نشان داد که به ترتیب در حدود ۶۶، ۱۶ و ۱۸ درصد از سطح منطقه دارای آسیب‌پذیری متوسط، زیاد و کم می‌باشد. شهرکی و همکاران (۱۳۸۸) آنالیز حساسیت آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت هشگرد به روش دراستیک را انجام دادند و نتیجه گرفتند که بیشترین درصد پتانسیل آسیب‌پذیری مربوط به کلاس متوسط است و مناطق شمالی

1 DRASTIC

2 Aller

3 Kabera and Zhaohuri

4 Katta

5 Nobre

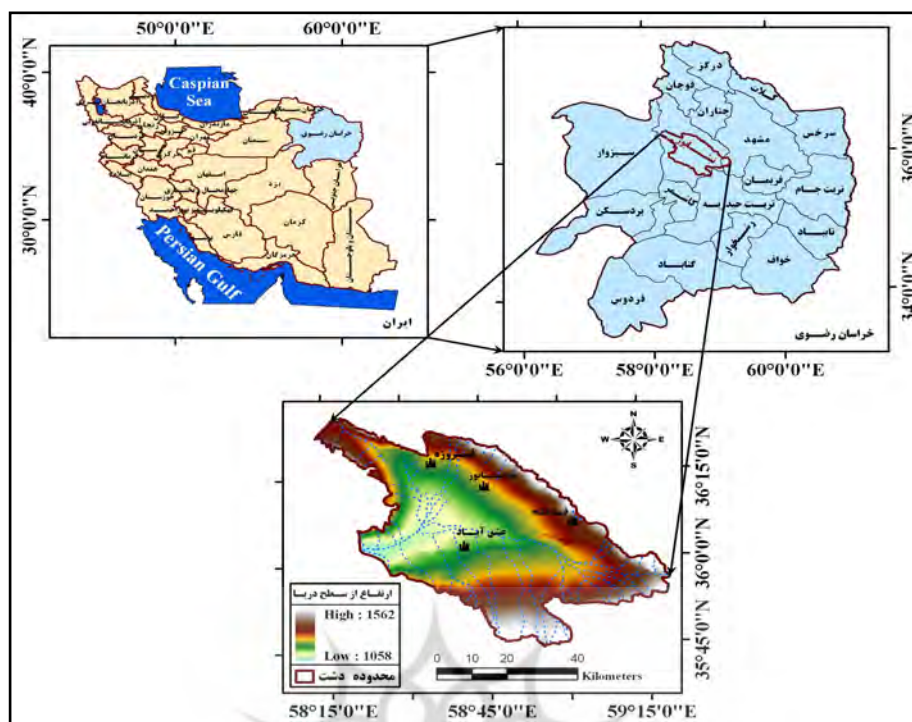
6 Stigter

7 Shahid

دشت از پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی برخوردار بوده و نواحی جنوبی دشت کمترین پتانسیل آسیب‌پذیری را دارند. خسروی و همکاران (۱۳۹۱) در دشت دهگلان در استان کردستان آسیب‌پذیری آبخوان را به کمک این مدل بررسی و ۰/۰۲ درصد منطقه را با آسیب‌پذیری بسیار شدید معرفی کردند. امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۱) مدل دراستیک را برای بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت داورزن به کار بردند. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان آلودگی و پتانسیل آلودگی آبخوان بسیار بالاست و میزان مصرف نترات بر آلودگی آبخوان بسیار مؤثر است. آمار و اطلاعات این روش در بیشتر دشت‌های ایران فراهم نبوده و محدودیت‌هایی ایجاد می‌کند. هدف از انجام این مطالعه، تهیه نقشه آسیب‌پذیری و تعیین مناطقی با نیروی بالای آلودگی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه است. با توجه به اهمیت دشت مذکور در تأمین آب شرب، صنعت و کشاورزی منطقه با استفاده از مدل دراستیک نسبت به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر اقدام گردید تا در مناطقی با آسیب‌پذیری بیشتر از مکان‌گزینی صنایع آلوده‌کننده جلوگیری و در مصرف کود و سموم شیمیایی در مناطق فوق توسط سازمان‌های مربوطه محدودیت اعمال گردد و به منظور اطمینان از آنکه آبخوان این دشت بتواند به عنوان منبع تأمین آب سالم در منطقه باقی بماند، ضروری است تا مکان‌هایی که بیشتر مستعد دریافت و انتقال آلودگی هستند، شناسایی شوند.

۲. منطقه مورد مطالعه

دشت نیشابور با وسعت ۳۳۵۱/۳۸ کیلومتر مربع بخشی از حوضه آبریز کویر مرکزی بوده که در دامنه‌ی جنوبی ارتفاعات بینالود و در شمال شرق کویر مرکزی واقع شده و دارای اقلیم نیمه خشک است. این دشت در طول جغرافیایی ۱۷° ۵۷' تا ۱۰° ۵۹' ۳۰" شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰° ۴۰' ۳۵" تا ۳۶° ۳۹' ۴۴" شمالی قرار داشته و از شمال به خط الرأس ارتفاعات بینالود، از شرق به بلندی‌های لیلاجوق و یال پلنگ، از جنوب به تپه ماهورهای نیزه بند، سیاه کوه و کوه نمک و از غرب به حوضه‌ی آبخیز دشت سبزوار محدود شده است (ولایتی و همکاران، ۱۳۷۰: ۱۶۱). منابع آبی موجود در دشت شامل رودها، قنات‌ها، چشمه‌ها، و چاه‌ها هستند. چاه‌ها منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز منطقه بوده که از آبخوان دشت نیشابور تغذیه می‌شوند، قنات نیز در زهکشی آب زیرزمینی نقش دارند. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. حداکثر ارتفاع دشت نیشابور در ارتفاعات بینالود ۱۵۶۲ متری از سطح دریا و پست‌ترین نقطه در خروجی دشت با ارتفاع ۱۰۵۸ متری از سطح دریا قرار دارد. میزان بارندگی آن به طور متوسط برای محدوده دشت ۲۹۲ میلی‌متر گزارش شده است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۴). دشت نیشابور در سال‌های اخیر به علت برداشت زیاد از آب‌های زیرزمینی برای کاربردهای کشاورزی با مشکل افت شدید سفره‌های آزاد آب مواجه شده، به گونه‌ای که از سال ۱۳۶۵ به بعد، وزارت نیرو این دشت را ممنوعه اعلام کرده است (حسینی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳).



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۳. مواد و روش‌ها

۳،۱ مواد: به منظور مدل‌سازی پتانسیل آلودگی آبخوان دشت نیشابور در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مراحل ساختن پایگاه داده، پردازش لایه‌های ورودی و تلفیق نقشه‌های معیار^۱ اعمال گردید. جهت ساختن پایگاه داده، داده‌های مورد نیاز برای تهیه نقشه‌های معیار تهیه گردید و به فرمت قابل قبول برای ورود به نرم افزار ArcGis تبدیل شد. هدف نهایی از تهیه نقشه معیار، تلفیق آنها و به دست آوردن نقشه آسیب‌پذیری منطقه می‌باشد. در این تحقیق از منابع اطلاعاتی گوناگونی از جمله نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (سازمان جغرافیایی ارتش، ۱۳۵۲) و نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۷۸)، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۵)، نقشه خاک (مؤسسه آب و خاک کشور، ۱۳۷۲)، آمار هواشناسی، هیدرولوژی، سطح آب زیرزمینی، نتایج آزمایش پمپاژ، لوگ حفاری، چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری، نقشه‌های مطالعات ژئوفیزیکی، و آمار منابع و مصارف آب از شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه گردید (سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۹).

۳،۲ روش‌شناسی: ساده‌ترین و رایج‌ترین روش برای آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلودگی، استفاده از مدل‌های وزندهی است. در این روش‌ها مشخصه‌ها بر اساس تأثیری که بر آلودگی آب زیرزمینی دارند امتیازدهی

می‌شوند (لیگرانده، ۱۹۶۴: ۹۶۲). متداول‌ترین روش برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، روش دراستیک است که توسط انجمن ملی آب زیرزمینی با همکاری آژانس حفاظت محیطی ایالات متحده ایجاد شده است (آلر و همکاران، ۱۹۸۷: ۸۹۷). یکی از بزرگ‌ترین مزایای روش دراستیک انجام بررسی‌ها با استفاده از تعداد بیشتری از لایه‌های ورودی است که تأثیر خطاها و یا عوامل نامعلوم را بر روی خروجی نهایی محدود می‌کند (کاتا و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۱۰۵). از مزایای دیگر این روش می‌توان سهولت حصول داده‌ها، دقت آماری، هزینه کم و استفاده در مناطق وسیع را نام برد. در این روش هفت عامل، یا مشخصه قابل اندازه‌گیری برای سیستم هیدروژئولوژیکی برآورد می‌شود (آل-آدامت^۲ و همکاران، ۲۰۰۳: ۳۰۷؛ بایکر و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۲۹). این عوامل شامل: عمق آب زیرزمینی^۳، شبکه تغذیه^۴، محیط آبخوان^۵، نوع خاک^۶، توپوگرافی^۷، اثر منطقه غیر اشباع^۸ و هدایت هیدرولیکی^۹ هستند. شکل ۲ مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری یک آبخوان با استفاده از مدل دراستیک را نشان می‌دهد. این عوامل به صورت عددی برآورد می‌شوند، به طوری که به هر کدام از آنها با توجه به پتانسیل آلودگی آن، نرخی^{۱۰} از ۱ تا ۱۰ اختصاص داده شده است (۱ به معنای کمترین و ۱۰ بیشترین خطر برای آلودگی آب زیرزمینی) هر یک از این مشخصه‌ها با توجه به اهمیت نسبی آن در توانایی انتقال آلودگی به سیستم آب زیرزمینی در ضریب وزنی^{۱۱} ضرب شده که بر اساس معیار کیفی نه کمی، (از ۱ تا ۵) متغیر و بر اساس قضاوت نویسنده تعیین می‌شود (پاناگولوس^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۶: ۸۹۸). در این روش شاخص آسیب‌پذیری از مجموع حاصل ضرب وزن و رتبه هفت پارامتر یادشده مطابق رابطه (۱) به دست می‌آید و وقتی مقادیر دراستیک از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نشان داده شوند، رابطه فضایی بین اجرای مدیریت آراضی و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی مشخص می‌شود.

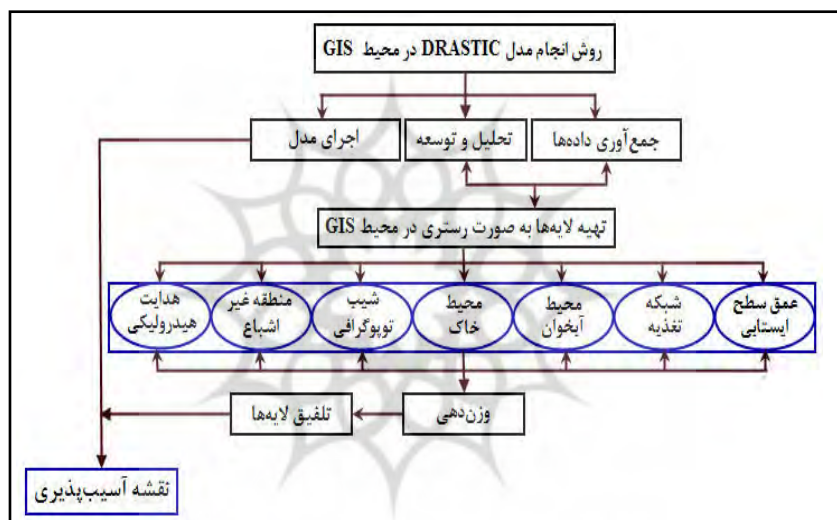
$$D_i = \sum_{j=1}^7 (W_j \times R_j) \quad \text{رابطه (۱)}$$

D_i : مقدار نهایی شاخص دراستیک در پیکسل i ام؛ W_j : وزن پارامتر j ؛ R_j : رتبه پارامتر j می‌باشد. روش دراستیک از بیشترین مشخصه‌های مؤثر در آسیب‌پذیری استفاده می‌کند و به همین علت اثر عدم قطعیت‌های احتمالی در مشخصه‌ها را کاهش می‌دهد. ضرایب در این روش با توجه به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه می‌تواند تغییر یابد. جدول ۱ این عوامل و ضرایب وزنی اصلی و تغییر یافته آنها را با در نظر گرفتن شرایط منطقه نشان می‌دهد.

- 1 LeGrand
- 2 Al-Adamat
- 3 Depth to water
- 4 Net Recharge
- 5 Aquifer media
- 6 Soil type
- 7 Topography
- 8 Impact of vadose zone
- 9 Hydraulic Conductivity
- 10 Rate
- 11 Weight
- 12 Panagopoulos

جدول ۱ عوامل دراستیک و ضرایب وزنی اصلی و تغییر یافته آنها در منطقه مورد مطالعه

وزن‌های تغییر یافته دراستیک با توجه به شرایط منطقه	وزن‌های اصلی دراستیک	عوامل دراستیک	D R A S T I C
۵	۵	عمق آب زیرزمینی	
۳	۴	شبکه تغذیه	
۳	۳	محیط آبخوان	
۲	۲	محیط خاک	
۱	۱	توپوگرافی	
۴	۵	منطقه غیر اشباع	
۴	۳	هدایت هیدرولیکی	



شکل ۲ مراحل روش مدل‌سازی دراستیک بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

۳.۳. نقش پارامترهای مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان

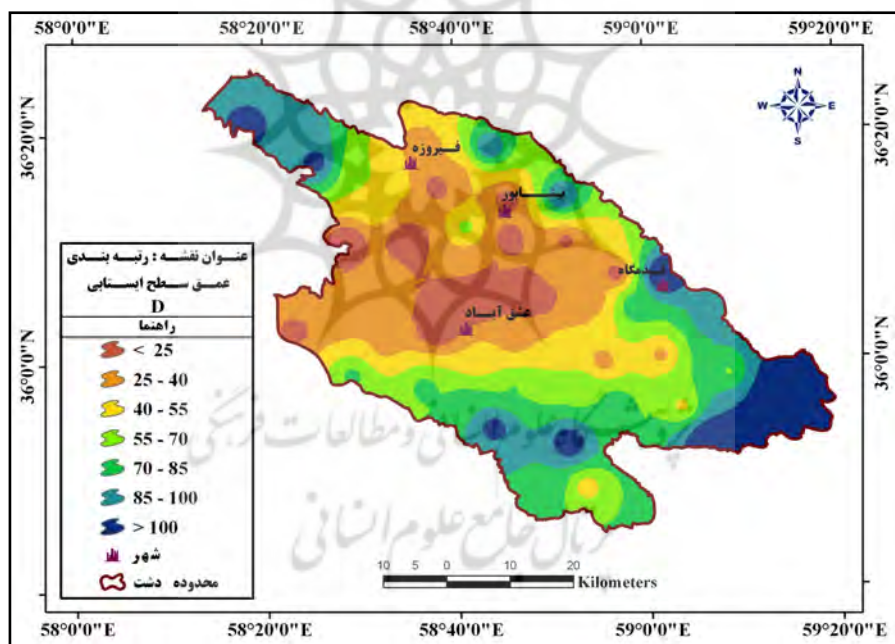
- لایه عمق آب زیرزمینی (D): عمق آب زیرزمینی عبارت است از فاصله سطح زمین تا سطح ایستابی که یکی از مهم‌ترین فاکتورهای شاخص دراستیک است؛ زیرا بر اساس آن میزان ضخامتی که آب باید طی کند تا به سطح آبخوان برسد مشخص می‌شود (استیگنر و همکاران، ۲۰۰۶: ۹۳). افزایش این ضخامت منجر به تصفیه و حذف آلودگی توسط زون غیر اشباع خاک می‌شود. به طور 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 نیشابور و بررسی صحت و سقم داده‌ها و در صورت لزوم تصحیح آنها، با استفاده از روش

درون‌یابی (Spline) نقشه هم ارزش عمق آب زیرزمینی تهیه شده است. لازم به یادآوری است وزن‌دهی طبق طراحی مدل توسط (آر و همکاران، ۱۹۸۷) می‌باشد. رتبه‌بندی عمق آب زیرزمینی در مدل بر اساس جدول ۲ است.

جدول ۲ رتبه‌بندی و وزن‌دهی عمق آب زیرزمینی

عمق آب زیرزمینی بر حسب متر (Depth water table)	
رتبه (Rating)	محدوده (Range)
۱۰	۰ - ۲۵
۹	۲۵ - ۴۰
۷	۴۰ - ۵۵
۵	۵۵ - ۷۰
۳	۷۰ - ۸۵
۲	۸۵ - ۱۰۰
۱	> ۱۰۰

وزن نسبی: ۵



شکل ۳ نقشه کلاسه‌بندی شده عمق آب زیرزمینی دشت نیشابور

- لایه شبکه تغذیه (R): یکی از عوامل اصلی انتقال مواد آلاینده به درون زمین، حرکت عمودی آب می‌باشد که با خود مواد آلاینده را شسته و به صورت محلول یا کلوئیدی و یا تعلیق به درون زمین حمل می‌کند. شدت و گذر مواد محلول به شدت و حرکت عمودی آب به درون زمین بستگی دارد. در این مدل، فرض بر این است که عمده‌ترین عامل حرکت عمودی آب، تغذیه نزولات جوی است که از سطح زمین به صورت عمودی وارد می‌شود. منابع دیگر مثل تغذیه

مصنوعی، بیاری کشاورزی و آب فاضلاب اگر قابل توجه باشد در نظر گرفته می‌شود. تغذیه عبارت است از حجم آبی که در واحد سطح سفره برای یک دوره یک ساله به درون زمین وارد می‌شود. برای تهیه نقشه تغذیه خالص دشت، ابتدا مقدار متوسط بارندگی سالیانه (Ra) و سپس با توجه به مقدار نفوذپذیری خاک (In) و شیب توپوگرافی (S) مناطق مختلف دشت (تود^۱، ۱۹۳۳: ۲۵۸)، میزان تغذیه خالص تقسیم‌بندی شد (جدول ۳) و نقشه تغذیه خالص طبق رابطه ۲ تهیه گردید.

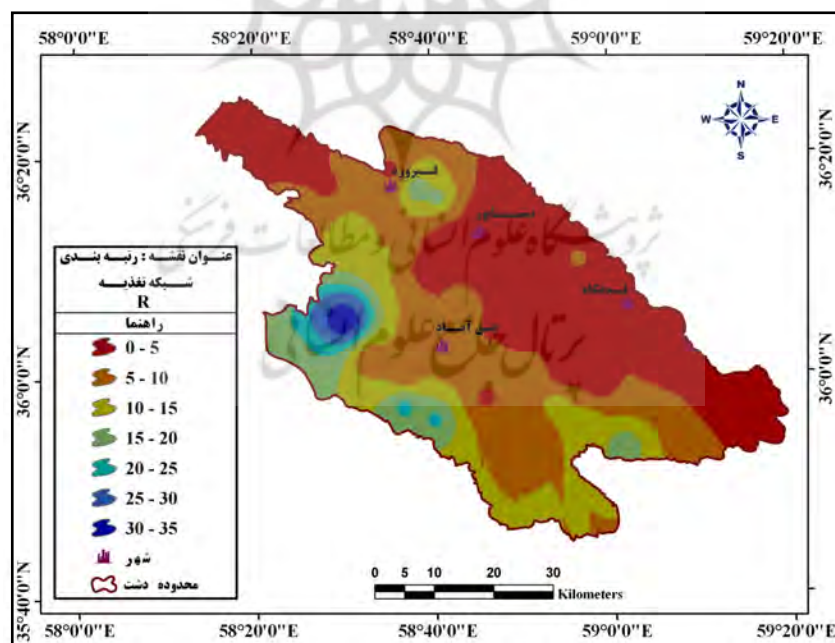
رابطه (۲)

$$R = Slope_{\%} + Ra_{mm} + In_{mm}$$

جدول ۳ رتبه‌بندی و وزن‌دهی شبکه تغذیه

تغذیه خالص بر حسب سانتیمتر بر سال (Net Recharge)	
رتبه (Rating)	محدوده (Range)
۱	۰ - ۵
۳	۵ - ۱۰
۴	۱۰ - ۱۵
۶	۱۵ - ۲۰
۸	۲۰ - ۲۵
۹	۲۵ - ۳۰
۱۰	۳۰ - ۳۵

وزن نسبی: ۳



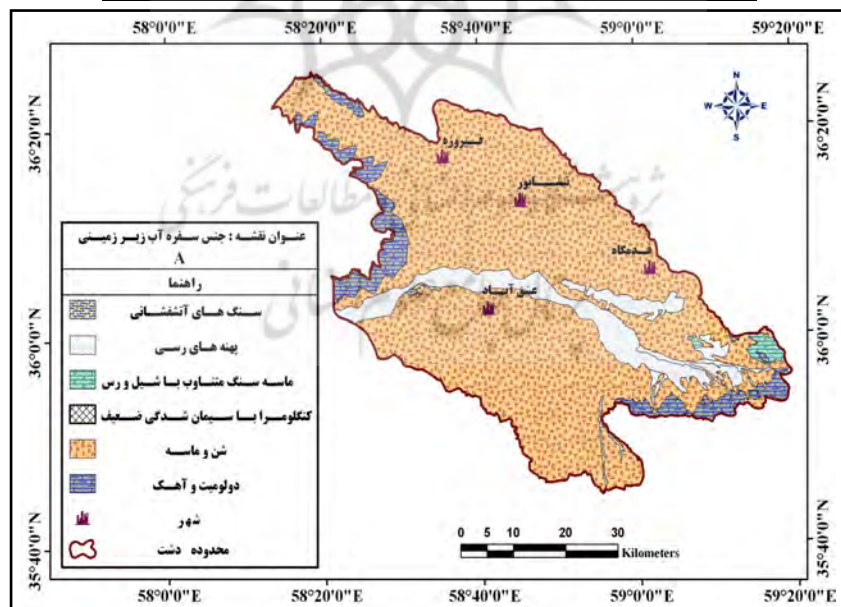
شکل ۴ نقشه کلاسه‌بندی تغذیه خالص آبخوان دشت نیشابور

- لایه محیط آبخوان (A): محیط آبخوان و مواد تشکیل دهنده آن، طول و چگونگی مسیر سیستم جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می‌کند. چگونگی مسیر که شدیداً متأثر از میزان درز و شکاف و تخلخل می‌باشد، نقش مؤثری در سرعت انتقال آلودگی داشته و طول مسیر، زمان لازم برای انجام فرآیندهای میرایی^۱ (نظیر جذب، واکنش شیمیایی و پراکنش) آلودگی را تعیین می‌کند. اطلاعات مربوط به محیط آبخوان در دشت نیشابور از طریق چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری موجود در منطقه مورد مطالعه که توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه شده است، استفاده گردید و بر حسب نسبت جنس مواد تشکیل دهنده آن، محیط آبخوان، ارزش گذاری شده (جدول ۴) و نقشه رتبه‌بندی محیط آبخوان در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ترسیم گردید (شکل ۵).

جدول ۴ رتبه‌بندی و وزن‌دهی محیط آبخوان

محیط آبخوان (Aquifer media)	
رتبه (Rating)	محدوده (Range)
۱	سنگ‌های آتشفشانی
۳	پهنه‌های رسی
۵	ماسه سنگ متناوب با شیل و رس
۷	کنگومرا با سیمان شدگی ضعیف
۹	شن و ماسه
۱۰	دولومیت و آهک

وزن نسبی: ۳



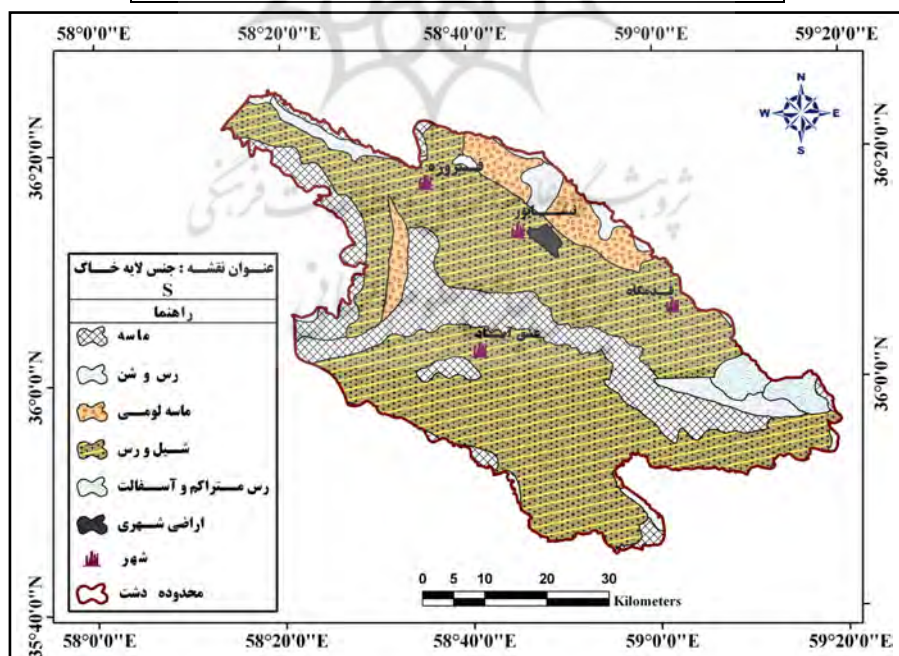
شکل ۵ نقشه محیط آبخوان دشت نیشابور

- لایه محیط خاک (S): محیط خاک، تأثیر بسیار مهمی در تغذیه دارد و از این رو بر چگونگی حرکت آلاینده‌ها مؤثر است. به طور کلی آلودگی به طور وسیعی از نوع و مقدار رس موجود در خاک متأثر است که امکان تورم یا متراکم شدن دارد. بنابراین هر چه رس موجود در خاک کمتر متراکم و متورم شود و اندازه دانه‌های خاک کوچک‌تر باشد، تراوایی نسبی خاک کاهش می‌یابد؛ از این رو احتمال رسیدن آلودگی به سطح آب زیرزمینی کمتر خواهد بود (آل‌آدامت و همکاران، ۲۰۰۳: ۳۱۹). برای تهیه لایه خاک از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ مطالعات نیمه تقضیلی خاک‌های منطقه نیشابور، که مؤسسه آب و خاک کشور تهیه کرده، استفاده گردید (مؤسسه آب و خاک کشور، ۱۳۷۲). این نقشه ابتدا اسکن و زمین مرجع شد. سپس با توجه به سری خاک‌های موجود، رقمی گردید (شکل ۶) و لایه محیط خاک بر اساس جدول ۵ ارزش گذاری شد.

جدول ۵ رتبه‌بندی و وزن‌دهی محیط خاک

محیط خاک (Soil media)	
رتبه (Rating)	محدوده (Range)
۱۰	ماسه
۹	رس و شن
۷	ماسه لومی
۵	شیل و رس
۳	رس متراکم و آسفالت
۱	اراضی شهری

وزن نسبی: ۲



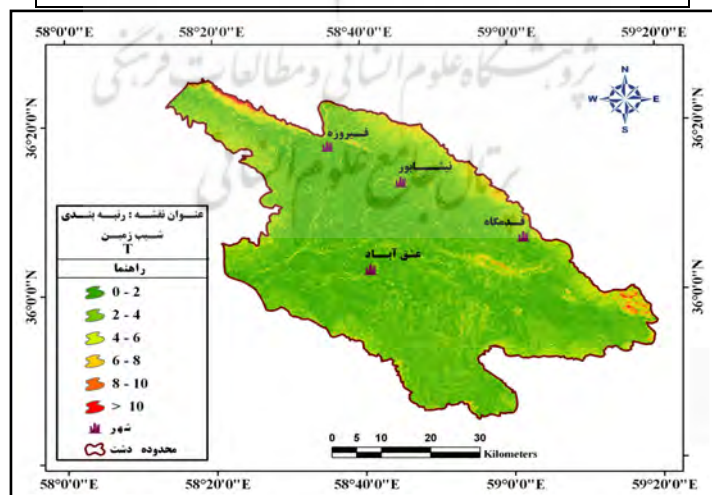
شکل ۶ نقشه محیط خاک آبخوان دشت نیشابور

- لایه شیب زمین (T): این لایه به تغییرات شیب سطح زمین مربوط می‌شود. فرض بر این است که هر چه شیب کمتر باشد، مواد آلاینده محلول، فرصت بیشتری برای نفوذ خواهند داشت. پس ناحیه با شیب کمتر، رتبه بیشتری در مدل خواهد داشت. شیب بیشتر باعث می‌شود که مواد محلول به صورت رواناب جاری شود و کمتر نفوذ کند (نوبر و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۸۸). در مدل دراستیک خطوط توپوگرافی به صورت مناطق هم شیب به صورت درصد پهنه‌بندی می‌شود. شیب صفر تا ۲ درصد بیشترین فرض نفوذ را دارد و رتبه ۱۰ را داراست. و نواحی با شیب بالای ۱۰ درصد در پایین‌ترین رتبه قرار می‌گیرند، چون کمترین نفوذ را دارند. تأثیر دیگر شیب در توسعه خاک است؛ بطوری که در شیب‌های بالا ضخامت لایه خاک سطحی کم می‌شود. برای تهیه نقشه شیب از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور استفاده گردید (سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۷۲). برای این منظور نقشه‌های توپوگرافی رقومی شده در نرم افزار ArcGis به مدل رقومی ارتفاع تبدیل شده و سپس نقشه شیب از مدل ارتفاع رقومی (DEM) محاسبه و استخراج شده است (شکل ۷). ارزش گذاری این لایه بر اساس جدول (۶) صورت پذیرفت.

جدول ۶ رتبه‌بندی و وزن‌دهی شیب زمین

توپوگرافی (Topography)	
رتبه (Rating)	محدوده (Range)
۱۰	۰ - ۲
۹	۲ - ۴
۷	۴ - ۶
۵	۶ - ۸
۳	۸ - ۱۰
۱	> ۱۰

وزن نسبی: ۱

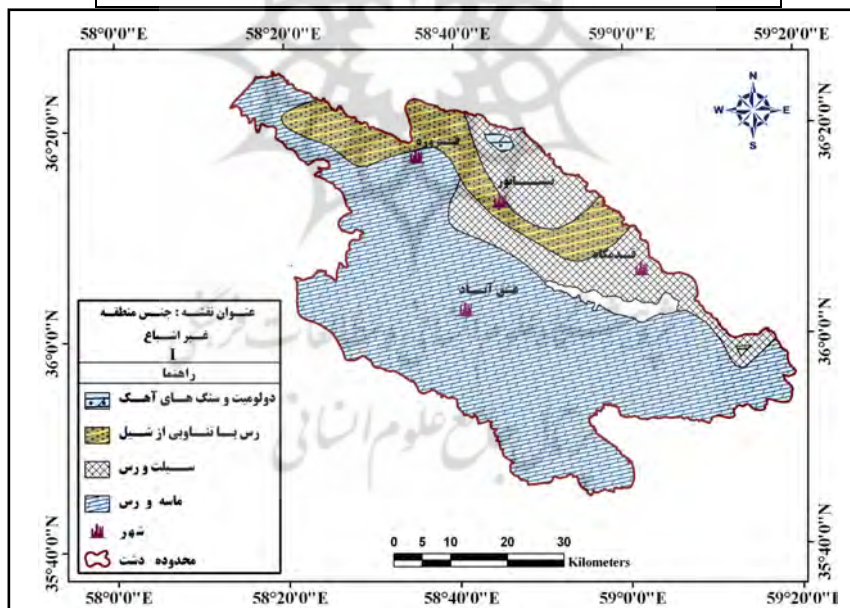


شکل ۷ نقشه کلاسه‌بندی شیب زمین بر حسب درصد

- لایه منطقه غیر اشباع (I): این لایه مربوط به جنس خاک می‌باشد، که از زون خاک سطحی شروع و تا سطح ایستایی ادامه می‌یابد و از نظر دارا بودن آب، غیر اشباع یا به صورت ناپیوسته اشباع می‌باشد. در مدل دراستیک فرض بر این است که محیط و شرایط منطقه غیر اشباع اثر زیادی بر مواد آلاینده دارد؛ زیرا در این منطقه (تا قبل از رسیدن به سطح ایستایی) فرصت جذب و یا رقیق شدگی پیدا می‌کنند (آلر و همکاران، ۱۹۸۷: ۳۸۵). برای تولید لایه محیط غیر اشباع از لوگ چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری استفاده و روش مشابه با پارامتر محیط آبخوان به کار برده شد. با این تفاوت که ضخامت و جنس لایه‌های بالا عمق برخورد به آب مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۸). ارزش‌گذاری این لایه در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷ رتبه‌بندی و وزن‌دهی منطقه غیر اشباع

محیط غیر اشباع (Impact of vadose zone media)	
رتبه (Rating)	محدوده (Range)
۱	دولومیت و سنگ‌های آهک دولومیتی
۳	رس با تناوبی از شیل
۵	سیلت و رس
۹	بازالت
۱۰	ماسه و رس
وزن نسبی: ۴	



شکل ۸ نقشه اثر منطقه غیر اشباع دشت نیشابور

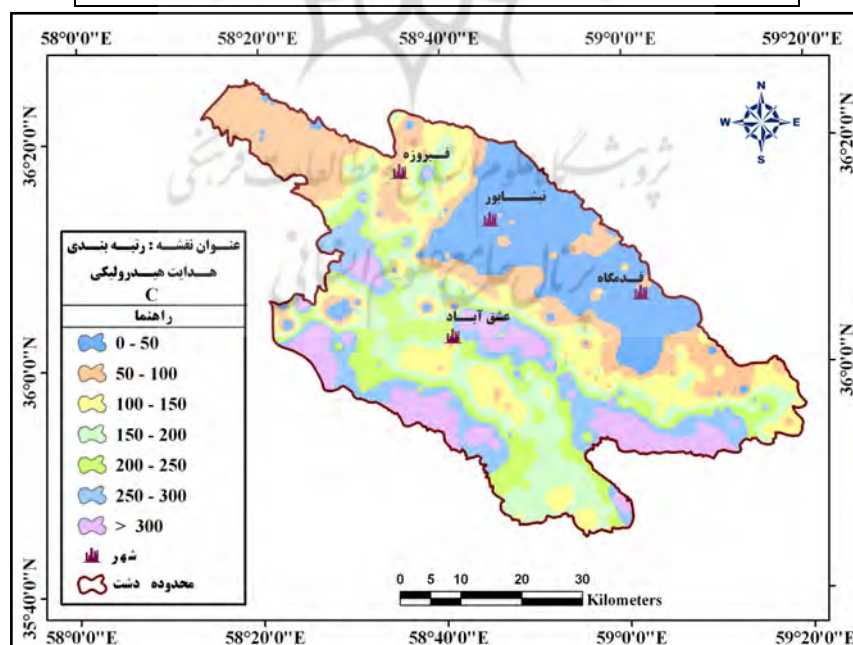
- لایه هدایت هیدرولیکی (C): هدایت هیدرولیکی توسط حفره‌ها، شکستگی‌ها و سطوح لایه‌بندی تعیین می‌شود و میزان آب نفوذ یافته را از طریق محیط آبخوان مشخص می‌سازد (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۸: ۶۱). این لایه مربوط به نفوذپذیری سفره یا توانایی مواد سفره به منظور انتقال آب یا مواد محلول است. در مسائل هیدرولوژی هدایت هیدرولیکی

با حرف بزرگ (K) نشان می‌دهند و دیمانسیون آن از نوع سرعت می‌باشد. در واقع شدتی است که آب زیرزمینی تحت شیب هیدرولیکی محیط، جریان پیدا می‌کند (تود، ۱۹۸۰: ۱۷۸). هدایت هیدرولیکی عامل کنترل کننده حرکت و زمان ماندگاری مواد آلاینده است از نقطه‌ای که وارد سطح خاک می‌شود تا درون سفره قرار می‌گیرد. به همین خاطر افزایش (K) باعث پتانسیل آلودگی بیشتر یا بالاتر می‌باشد. اطلاعات مربوط به هدایت هیدرولیکی از محاسبات آزمایش پمپاژ حاصل می‌گردد. در مناطقی که آزمایش پمپاژ انجام نگردیده است، بر اساس مقادیر نمونه و ساختارهای مشابه، نوع و بافت رسوبات تشکیل دهنده آبخوان هدایت هیدرولیکی تخمین زده می‌شود. نقشه هدایت هیدرولیکی از نتایج مدل ریاضی آب زیرزمینی دشت نیشابور استخراج شده است (شرکت مهندسی مشاور ساز آب شرق، ۱۳۸۸). در نهایت با توجه به رتبه‌بندی محدوده‌های هدایت هیدرولیکی (جدول ۸)، نقشه رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی به دست آمد (شکل ۹).

جدول ۸ رتبه‌بندی و وزن‌دهی هدایت هیدرولیکی

هدایت هیدرولیکی بر حسب متر بر روز (Hydraulic Conductivity)	
رتبه (Rating)	محدوده (Range)
۱	۰ - ۵۰
۳	۵۰ - ۱۰۰
۵	۱۰۰ - ۱۵۰
۷	۱۵۰ - ۲۰۰
۹	۲۰۰ - ۲۵۰
۱۰	> ۳۰۰

وزن نسبی: ۴



شکل ۹ نقشه کلاسه‌بندی هدایت هیدرولیکی بر حسب متر بر روز

۴. بحث و نتایج

۴.۱. تحلیل همپوشانی

از آنجا که داده‌های مورد استفاده همگی به فرمت رستری تبدیل شده بودند، بنابراین تابع همپوشانی برای این هدف استفاده شد. این تابع به دو صورت ریاضی^۱ و وزنی^۲ عمل ترکیب داده‌ها را انجام می‌دهد. با توجه به این که لایه‌های مورد نظر در مدل دراستیک هر یک دارای وزن خاصی بودند، برای ترکیب و تلفیق داده‌ها از تابع همپوشانی وزنی از طریق منوی (Raster calculator) در نرم افزار ArcGis برای تلفیق لایه‌ها استفاده شد. برای این کار تمام لایه‌ها همراه با ضرایب به صورت درصد برای مدل تعریف شد و سپس عمل تلفیق لایه‌های مورد نظر صورت پذیرفت. نقشه نهایی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلودگی، با تقسیم‌بندی به پنج محدوده آسیب‌پذیری خیلی کم، آسیب‌پذیری کم، آسیب‌پذیری متوسط، آسیب‌پذیری زیاد، آسیب‌پذیری خیلی زیاد در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



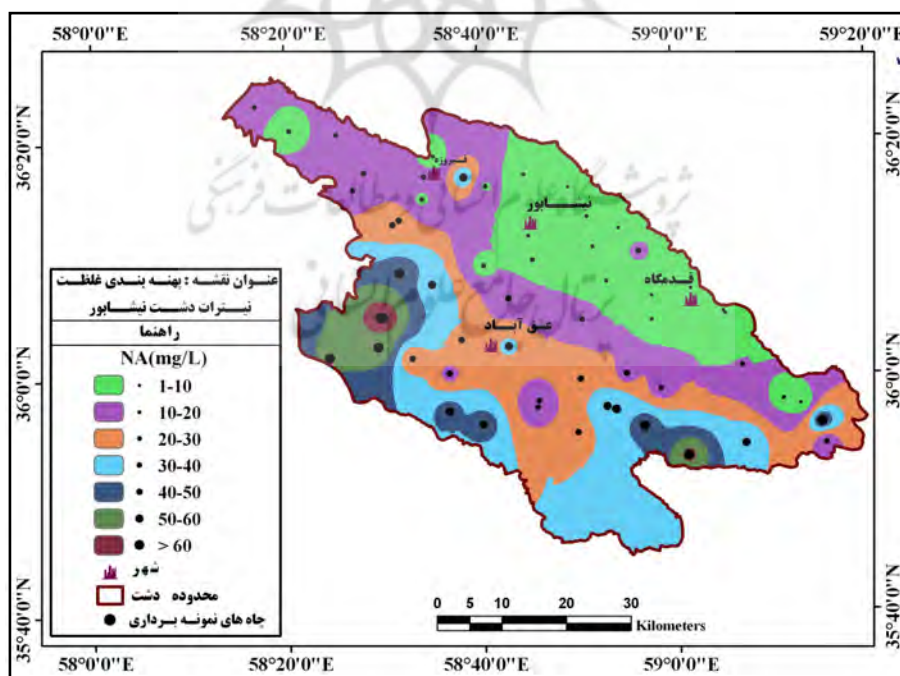
شکل ۱۰ نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت نیشابور به روش دراستیک

۴.۲. بررسی صحت سنجی مدل دراستیک با توجه به غلظت نترات

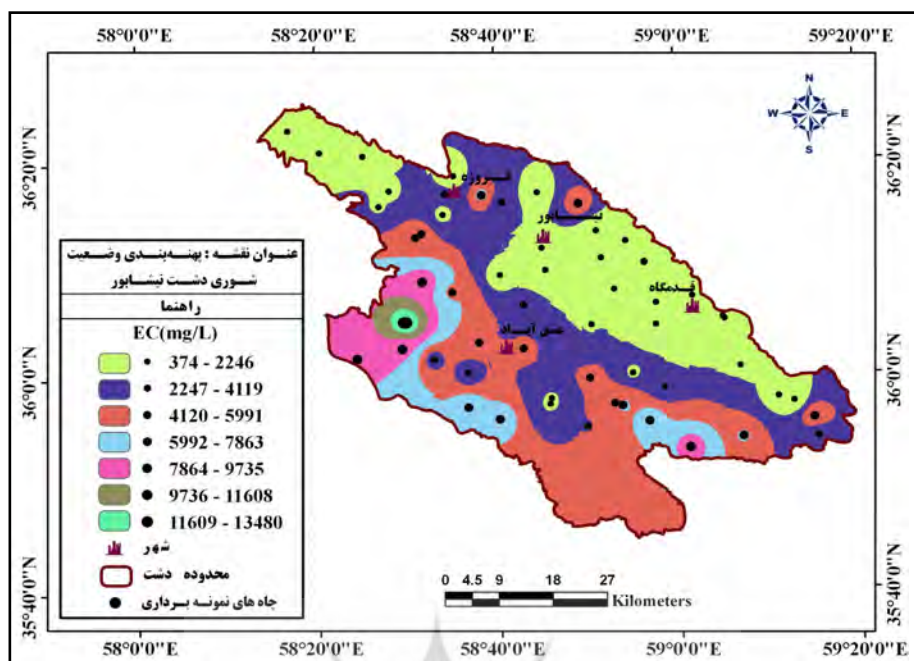
یکی از معایب روش دراستیک این است که کلاسه‌بندی و ارزش‌گذاری پارامترها تا حدودی کارشناسی بوده و به شرایط آبخوان بستگی دارد، که به نوبه خود باعث بروز عدم قطعیت در نتایج می‌شود (روح‌افزایان، ۱۳۸۷: ۹۶).

- 1 Arithmetic
- 2 Weighted

بنابراین باید مدل دراستیک را با استفاده از پراکندگی غلظت آلاینده‌های طبیعی مانده نیترات، آفت‌کش‌ها و غیره که منجر به آسیب‌پذیری ویژه آبخوان می‌شود، کالیبره گردد. با توجه به این‌که در منطقه مورد مطالعه کشاورزی از رونق خاصی برخوردار است و غالباً از کودهای حیوانی و یا کودهای شیمیایی نیتراتی استفاده می‌شود، جهت صحت سنجی مدل از یون نیترات (NA) و شوری (EC) استفاده گردید. لذا انتظار می‌رود غلظت نیترات و میزان شوری در آب‌های زیرزمینی به دلیل فرونشست این کودها از سطح خاک و انتقال آنها به آبخوان زیاد باشد. علاوه بر این به سبب قابلیت تحرک و زمان ماندگاری بالای نیترات در آب زیرزمینی و با توجه به اینکه نیترات و میزان شوری از شاخص‌های مهم برای نشان دادن کیفیت آب آشامیدنی و کشاورزی است، در این تحقیق از داده‌های غلظت نیترات و شوری ۵۷ نمونه آب چاه جهت واسنجی مدل دراستیک استفاده شده است. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نقشه پهنه‌بندی آلودگی نیترات و شوری را در آبخوان دشت نیشابور نشان می‌دهد. با انطباق غلظت نیترات و شوری بر روی نقشه‌نهایی آسیب‌پذیری مشخص شد که کلیه نقاطی که دارای نیترات و شوری بالا هستند، در محدوده‌ای با نیروی آلودگی زیاد قرار گرفته‌اند که این می‌تواند دقت و صحت مدل را تأیید کند. همان‌طور که در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود بیشترین غلظت آلودگی نیترات و شوری در محدوده جنوب و غرب دشت دیده می‌شود، که با نواحی دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد (شکل ۱۰) همپوشانی دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت رابطه بسیار نزدیکی بین وسعت و شدت توزیع میزان غلظت نیترات و شوری در آبخوان و پتانسیل آسیب‌پذیری دشت وجود دارد.



شکل ۱۱ نقشه وضعیت نیترات بر حسب میلی‌گرم بر لیتر در دشت نیشابور



شکل ۱۲ نقشه وضعیت شوری بر حسب میلی‌گرم بر لیتر در دشت نیشابور

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت نیشابور در مقابل آلودگی با استفاده از مدل دراستیک در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شده است. با توجه به اینکه دشت نیشابور یکی از دشت‌های مهم استان خراسان رضوی از دیدگاه کشاورزی محسوب می‌شود، این دشت جهت انجام مطالعه انتخاب گردید. نقشه پتانسیل آسیب‌پذیری به‌دست آمده، آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان را نشان می‌دهد و فقط می‌تواند به عنوان ابزار اولیه برای توسعه آتی منطقه به کار رود. ضمن اینکه این ابزار جایگزین برخی مطالعات خاص در محل نمی‌شود و همچنین هیچ گونه اطلاعاتی از نوع آلاینده و میزان آن در اختیار قرار نمی‌دهد. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت نیشابور، که از تلفیق نقشه‌های رستری هفت‌گانه پارامترهای مدل دراستیک با لحاظ کردن وزن هر پارامتر در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌دست آمد، نشان می‌دهد که در منطقه دشت نیشابور پارامترهای عمق آب زیرزمینی و محیط غیر اشباع بیشترین و پارامتر شیب زمین کمترین تأثیر را در تعیین میزان آسیب‌پذیری آبخوان دارد. برای صحت‌سنجی نقشه‌نهایی آسیب‌پذیری از یون نیترات (به عنوان آلاینده طبیعی در منطقه) و میزان شوری استفاده گردید. با انطباق یون نیترات بر روی نقشه‌نهایی دراستیک مشخص شد که کلیه نقاطی که درای یون نیترات بالا هستند در محدوده‌ای با نیروی آلودگی زیاد قرار گرفته‌اند که این می‌تواند دقت و صحت مدل را مورد تأیید قرار دهد. از نظر وسعت می‌توان گفت که حدود ۲۳/۵۵ درصد از منطقه مورد مطالعه در محدوده آسیب‌پذیری خیلی کم، ۱۷/۱۶ درصد آسیب‌پذیری کم، ۱۹/۲۱ درصد آسیب‌پذیری متوسط، ۲۸/۷۲ درصد آسیب‌پذیری زیاد و ۱۱/۳۶ درصد در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار می‌گیرد. قسمت‌های جنوبی و غربی

آبخوان دشت نیشابور از آسیب‌پذیری زیادی برخوردار است. از این رو، کنترل این ناحیه در مقابل آلودگی باید مد نظر قرار گیرد. آلودگی نیترات این منطقه نیز بالا است، لذا این ناحیه نیاز به مراقبت بیشتر و همچنین اعمال محدودیت‌های خاصی دارد. مناطق مرکزی دشت از پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط و نواحی شمالی دشت از پتانسیل آسیب‌پذیری کمی برخوردار هستند. به علت اینکه حذف آلودگی از منابع آب زیرزمینی پر هزینه است، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت نیشابور می‌تواند به عنوان ابزار ارزشمندی در اختیار مسئولان و متولیان قرار گیرد تا به کمک آن بتوانند تصمیمات لازم را جهت کاربری اراضی و مدیریت آبخوان دشت نیشابور اتخاذ کنند. این تصمیمات می‌تواند شامل اعمال مدیریت در مصرف کودهای کشاورزی و فاضلاب شهری به نقاط مطمئن‌تر و تغییر کاربری اراضی باشد.

فهرست منابع و مآخذ

- آزاد شهرکی، فخرالدین، آغاسی، عبدالوحید، آزاد شهرکی، فرزاد و زارعی، علیرضا. (۱۳۸۹). ارزیابی پتانسیل و آنالیز حساسیت آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت هسگرد به روش دراستیک. مجله آب و فاضلاب. شماره ۲. صص ۶۸ - ۶۱.
- اصغری مقدم، اصغر، فیجانی، الهام و ندیری، عطا الله. (۱۳۸۸). ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت‌های بازرگان و پلدشت با استفاده از مدل دراستیک بر اساس GIS. نشریه محیط شناسی. شماره ۵۲. صص ۶۵ - ۵۵.
- افروزی، محسن، محمد زاده، حسین. (۱۳۹۱). ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت بروجن - فردنبه به آلودگی با استفاده از روش DRATIC در محیط GIS. مجله پژوهش آب ایران. شماره ۶. صص ۲۰ - ۱.
- امیراحمدی، ابوالقاسم، آب‌باریکی، زکیه و ابراهیمی، مجید. (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت داورزن به روش دراستیک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. شماره ۶. صص ۵۱ - ۶۶.
- تاد، دیوید کیت (۱۳۵۲). هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی. ترجمه عبدالرازق رازقی؛ قهرمان قدرت نما، تهران، انتشارات فرانکلین. ۴۲۵ ص.
- خسروی، خه‌بات، حبیب نژاد، کریم، سلیمانی، محمود و بابایی، خلیل. (۱۳۹۱). ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک بر پایه GIS (منطقه مورد مطالعه: دشت دهگلان، استان کردستان). پژوهشنامه مدیریت حوضه آبریز، شماره ۵. صص ۶۲ - ۴۲.
- روح افزایان، سکینه. (۱۳۷۸). ارزیابی آسیب‌پذیری سفره آب زیرزمینی دشت کرج نسبت به نیترات با استفاده از GIS (مطالعه موردی: قسمتی از آبخوان کرج). پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست (گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست).
- سازمان جغرافیایی ارتش جمهوری اسلامی ایران. (۱۳۵۲). نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.
- سازمان زمین شناسی کشور. (۱۳۷۵). نقشه زمین شناسی نیشابور با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.

سازمان نقشه‌برداری کشور. (۱۳۷۸). نقشه های ۱:۲۵۰۰۰۰ رقومی توپوگرافی.
 شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی. (۱۳۸۹). مدیریت پایه منابع آب های زیرزمینی.
 شرکت مهندسی مشاور ساز آب شرق. (۱۳۸۸). مدیریت به هم پیوسته منابع آب شهرستان سبزوار.
 فرج زاده، منوچهر، ولایتی، سعدالله و حسینی، آمنه. (۱۳۸۴). تحلیل بحران آب در دشت نیشابور با رویکرد برنامه‌ریزی
 محیطی. شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان. کمیته تحقیقات شرکت پژوهشگران.
 موسسه آب و خاک کشور. (۱۳۷۲). نقشه خاک دشت نیشابور.
 ولایتی، سعدالله، توسلی، سعید. (۱۳۷۰). منابع و مسائل آب استان خراسان. مشهد، انتشارات استان قدس رضوی، ۲۷۹
 ص.

- Al-Adamat, R.A.N., I.D.L., Foster, S.M.J., Baban. 2003. Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS. remote sensing and DRASTIC. Applied Geography, Vol. 23: 303-324.
- Aller, L., Bennet, T., IHER, J.H., Petty, R.J & Hackett, G. 1987. DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using geo-hydrogeologic settings, E. P. A., Report No.600/2-87-035:622p.
- Almasri, M. N. 2008. Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza Coastal aquifer. Palestine, J. Environ. Manag., Vol. 88: 577-593.
- Atiqur, R. 2008. A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India, Applied Geography, Vol. 28: 32-53.
- Antonakos, A.K., N.J., Lambrakis. 2007. Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates. based on the drastic model, an example from NE Korinthia, Greece. Journal of Hydrology, Vol. 333, 288-304.
- Babiker, I. S., Mohamed, M. A. A., Hiyama, T. & Kato, k. 2005. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights. Gifu Prefecture, central Japan, Sci. Total Environ., Vol. 345: 127-140.
- Dixon, B. 2005. Groundwater vulnerability mapping: A GIS and fuzzy rule based integrated tool. Applied Geography, Vol. 25:25:327-347.
- Kabera, T. and L. Zhaohuri. 2008. A GIS based DRASTIC Model assessing Groundwater in Shallow Aquifer in Yuncheng Basin. Shanxi, China, Research journal of Applied Science, 2(3): 195-205.
- Katta, B., A.F. Walid and A.R. Al Charideh. 2010. Groundwater vulnerability assesment for the Banyas Catchment of the Syrian coastal area using GIS and the RISK method. Jornal of Environmental Management 91: 1103-1110.
- Knodel, K., Lange, G., & Voigt, H. J. 2007. Environmental Geology. Handbook Field Methods and Case Studies, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1357p.
- LeGrand, H.E. 1964. System for evaluating the contamination potential of some waste sites. Journal of American Water Works Association, Vol. 56: 959-974.

- Nobre, R.C.M., O.C. Rotunno Filho, W.J. Mansur, M.M.M. Nober and C.AN. Cosenza. 2007. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS. modeling and a fuzzy logic tool. *Journal of Contamination Hydrology*, 94: 277-292.
- Panagopoulos, G., A., Antonakos, N., Lambrakis. 2006. Optimization of DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment, by the use of simple statistical methods and GIS. *Hydrogeology Journal*, Vol. 14, no. 6, pp: 894-911.
- Rahman, A. 2008. A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh India. *Applied Geography*, Vol. 28: 32-53.
- Stigter, T. Y., Ribeiro, L. & Carvalho Dill, A. M. M. 2006. Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater assessment method in comparison with in to agricultural regions in the south of Portugal. *J. Hydrol.*, Vol. 14: 79-99.
- Todd, P.K. 1980. *Ground water, Hydrology*. Kluwer Academic Publisher, 400 p.
- Vrba, J. & A. Zoporozec, A. (1994). *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. IAH International Contribution for Hydrogeology, Vol. 16: xxiii, 131p.

