



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

تعیین آسیب پذیری آبخوان اردبیل با استفاده از روش دراستیک در GIS

کبری جعفری^{۱*}، ناصر حافظی مقدس^۲، علیرضا مظلومی^۱، اعظم قزی^۲

۱- گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: منابع آب زیرزمینی یکی از ارزش‌ترین منابع هر کشور محسوب می‌شود. در دشت اردبیل رونق فعالیت‌های کشاورزی و استفاده غیرمتعارف از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، دفع نادرست فاضلاب‌های شهری و شهرک‌های صنعتی می‌تواند باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی شود. با توجه به اینکه حذف آلودگی از منابع آب‌های زیرزمینی پرهزینه است یکی از روش‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی، شناسایی پهنه‌های آسیب‌پذیر آبخوان جهت مدیریت زیست‌محیطی منابع آب و توسعه پایدار است.

۹۸/۰۴/۱۹

تاریخ دریافت:

۹۸/۰۷/۱۰

تاریخ ویرایش:

۹۸/۰۷/۱۶

تاریخ پذیرش:

۹۸/۰۹/۳۰

تاریخ انتشار:

روش بررسی: در این مطالعه برای تعیین آسیب‌پذیری آبخوان اردبیل، ابتدا ۵۲ داده اکسلی چاه‌های پیژومتری، ۴۳ داده اکسلی آزمایش پمپاژ، میانگین بارندگی سالیانه از داده‌های ۸ ایستگاه، ۴۵ داده لاگ حفاری مربوط به چاه‌های اکتشافی، نقشه کاربری اراضی، نقشه توپوگرافی و نقشه زمین‌شناسی جمع‌آوری شدند. سپس تمامی داده‌ها برای آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، اثر منطقه غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (C) در نرم افزار ArcGIS تهیه شدند و مطابق با روش دراستیک همپوشانی انجام گرفت.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری، دشت اردبیل،

سیستم اطلاعات جغرافیایی، شاخص دراستیک،

نیرترات

یافته‌ها: نقشه پهنه‌بندی حاصل از همپوشانی نشان داد که دامنه شاخص دراستیک از ۶۳ تا ۱۹۵ است. مناطق با امتیاز بالای آسیب‌پذیری دارای ویژگی‌هایی مانند عمق کم آب زیرزمینی، بافت درشت خاک، عمق کم خاک و شیب کمتر بودند. صحت‌سنجی نقشه حاصل از مدل دراستیک با نقشه توزیع غلظت نیرترات بیانگر غلظت بالای نیرترات در پهنه مستعد به آسیب‌پذیری است. نتیجه‌گیری: مناطق با آسیب‌پذیری بالا در شمال غرب و قسمت‌های مرکزی دشت واقع شده‌اند. نتایج این تحقیق به کاهش اثرات زیست‌محیطی آلاینده‌ها بر روی منابع آب زیرزمینی در آینده کمک خواهد کرد.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

k_jafari1986@yahoo.com

مقدمه

منابع آب زیرزمینی یکی از با اهمیت ترین منابع آب در زمین هستند که نقش بزرگی در اقتصاد یک کشور دارند و منبعی حیاتی برای مصارف کشاورزی، خانگی و صنعتی محسوب می شوند (۱). رشد روز افزون جمعیت نیاز به تولیدات کشاورزی و مواد غذایی را افزایش داده و زمینه توسعه فعالیت های کشاورزی را فراهم آورده است. این افزایش تولید دارای تبعات زیست محیطی فراوان از جمله افزایش بهره برداری آب و به دنبال آن استفاده بیشتر از انواع آفت کش ها و کودها بوده که در نتیجه باعث شستشو و جابجایی آلاینده ها به لایه های مختلف خاک و در نهایت ورود آنها به آب زیرزمینی می گردد (۲). از آلاینده هایی که در آب های زیرزمینی ظاهر شده است می توان به فلزات سنگین، آفت کش ها، مواد آلی و کودها اشاره کرد (۳). آسیب پذیری آبخوان پتانسیل آلوده شدن آن را پس از نفوذ آلاینده ها از سطح زمین و ورودشان به منابع آب زیرزمینی نشان می دهد (۴). آسیب پذیری آب های زیرزمینی را می توان به دو گروه آسیب پذیری ذاتی و آسیب پذیری ویژه تقسیم بندی کرد. در آسیب پذیری ذاتی، آسیب پذیری آب های زیرزمینی در نتیجه آلودگی های ایجاد شده توسط فعالیت های بشری مد نظر بوده و در محاسبه آن از خصوصیات ذاتی زمین شناسی، هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی منطقه، مستقل از خصوصیات آلاینده استفاده می شود. در آسیب پذیری ویژه، آسیب پذیری آب های زیرزمینی نسبت به یک آلودگی خاص یا گروهی از آلاینده ها مورد ارزیابی قرار گرفته و در محاسبه آن خصوصیات آلاینده ها و ارتباط آنها با اجزای مختلف آسیب پذیری ذاتی مدنظر هستند (۵). روش های مختلفی برای تعیین پتانسیل آسیب پذیری سفره وجود دارد که از آن جمله می توان به روش های همپوشانی (COP، AVI)، روش های ریاضی و (GOD، DRASTIC، SINTACS)، روش های آماری اشاره کرد. روش های همپوشانی بر پایه تلفیق لایه های حاصل از پارامترهای مختلف بنا نهاده شده اند و اساس کار یکسانی دارند و بر ارزیابی توصیفی و کمی آسیب پذیری تکیه دارند. این روش ها در به کارگیری نوع و تعداد پارامترها با

هم تفاوت داشته ولی در نهایت منجر به ثبت یک شاخص عددی یا امتیاز برای هر ویژگی می گردند. از کاربردی ترین روش های شاخص همپوشانی، روش دراستیک است که توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالت متحده آمریکا (USEPA) جهت تعیین پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی ارائه شده است (۶). تحقیقات زیادی در زمینه ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی از آلودگی در مناطق مختلف دنیا انجام گرفته است. Sener و همکار (۲۰۱۳) در بررسی آسیب پذیری آب زیرزمینی حوضه ایگیردیر در ایسپارتای ترکیه براساس مدل دراستیک، علاوه بر پارامترهای هفت گانه دراستیک پارامتر کاربری اراضی و خطواره های دشت را به این پارامترها اضافه و برای انعطاف پذیر کردن وزن دهی از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. نتایج نشان داد نقش کاربری اراضی در بالا بردن پتانسیل آسیب پذیری آب زیرزمینی بیشتر است (۳). Haifeng و همکار (۲۰۰۸) با استفاده از روش دراستیک، آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت بیچینگ چین از نشت شیرابه لندفیل های غیراستاندارد را در مقیاس منطقه ای بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند بسیاری از لندفیل های غیراستاندارد بر روی پهنه های با آسیب پذیری بالا قرار گرفته اند و شیرابه آنها می تواند باعث آلودگی آب های زیرزمینی گردد (۷). Taany و همکاران (۲۰۱۳) در منطقه کوفرینجای اردن نقشه آسیب پذیری آبخوان از آلودگی را با استفاده از روش دراستیک تهیه کردند. نتایج نشان داد ۴۸ درصد منطقه در پهنه آسیب پذیری بالا واقع شده است (۸). Mimi و همکار (۲۰۰۹) آسیب پذیری آب زیرزمینی در حوضه رام الله فلسطین را با روش دراستیک در جهت مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی و تعیین مناطق مناسب برای توسعه پایدار مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که وسعت بیشتری از منطقه دارای پتانسیل آسیب پذیری پایینی است و این مناطق برای توسعه و پیشرفت مراکز مختلف مناسب هستند (۹). Neshat و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از روش دراستیک و تحلیل سلسله مراتب آسیب پذیری آب زیرزمینی در دشت کرمان ایران را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد بخش جنوب و جنوب شرقی دشت مستعد به آلودگی بوده و در برابر

منطقه مورد مطالعه

شهرستان اردبیل در بخش باختری رشته کوه‌های البرز واقع شده و طبق تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران جزئی از واحد زمین‌ساختی البرز غربی - آذربایجان به شمار می‌آید (۱۴). دشت اردبیل از غرب توسط سنگ‌های آتشفشانی عهد حاضر سبلان، از جنوب توسط سنگ‌های رسوبی نئوژن، از شمال شرق توسط سنگ‌های رسوبی کرتاسه و ولکانیک‌های ائوسن و از شمال غرب توسط سنگ‌های آذرین درونی ائوسن احاطه شده است. آبخوان اردبیل با مختصات جغرافیایی $45^{\circ} 47'$ تا $49^{\circ} 37'$ طول شرقی و $38^{\circ} 30'$ عرض شمالی در قسمت شمال غربی ایران در شهرستان اردبیل واقع شده است. آبخوان اردبیل را می‌توان به صورت حوضه بسته‌ای که از رسوبات آبرفتی انباشته شده و به صورت کاسه‌ای در میان ارتفاعات سبلان، تالش و بزقوش واقع شده در نظر گرفت. رواناب‌های سطحی ارتفاعات پیرامون به سمت مرکز دشت سبب تشکیل آبخوان آبرفتی مناسبی شده که عمده منبع آب زراعی دشت را تامین می‌نماید. آبخوان آبرفتی دشت اردبیل در واحد هیدرولوژیک قره سوی علیا قرار گرفته که با مساحت 900 km^2 عمدتاً از رسوبات دریاچه‌ای متشکل از ماسه دانه‌ریز، سیلت و رس با میان لایه‌های درشت‌دانه تشکیل شده است. لایه‌های دانه‌ریز به‌علت نفوذپذیری کم لایه‌های آبدار را از هم جدا می‌سازند. بنابراین آبخوان اردبیل در قسمت اعظم دشت، از یک لایه آبدار سطحی آزاد و چند لایه آبدار نیمه تحت فشار تشکیل شده است. به‌دلیل وجود ارتباط هیدرولیکی بین لایه‌های آبدار مذکور می‌توان مجموعه این لایه‌ها را از نظر بهره‌برداری به‌صورت یک آبخوان آزاد در نظر گرفت (۱۵).

ضخامت آبرفت در دشت اردبیل بین ۱۰۰ m تا ۲۰۰ m متغیر است. میانگین ضخامت لایه اشباع آبخوان ۸۰ m است. در شمال غربی دشت ضخامت آبرفت به حداقل می‌رسد و سنگ بستر در اعماق کمتری قرار گرفته است. عمق برخورد به آب زیرزمینی در بخش‌های جنوب‌شرقی دشت بیشتر بوده (تا حدود ۵۰ m) ولی در بخش‌های شمال غربی و مرکزی دشت حداقل شده و به حدود ۵ m می‌رسد. بنابراین بخشی از آب

آلودگی نیاز به محافظت ویژه دارد (۱۰). Jafari Gharieh و همکاران (۲۰۱۳) آسیب‌پذیری آبخوان مشهد را با استفاده از روش دراستیک بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد پهنه‌های آسیب‌پذیر در مناطق مرکزی، جنوبی، جنوب شرقی و غرب دشت قرار گرفته‌اند (۱۱). Azad Shahraki و همکاران (۲۰۱۲) آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت هشتگرد را با روش دراستیک انجام داده و به این نتیجه رسیدند پهنه شمالی دشت به علت واقع شدن بر روی رسوبات دانه‌درشت از آسیب‌پذیری بالاتری نسبت به پهنه جنوبی برخوردار است (۱۲). Derakhshani و همکار (۲۰۱۱) آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت خاتون‌آباد از آلودگی را با مدل دراستیک مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد منطقه با آسیب‌پذیری بالا، در بالادست جریان آب‌های زیرزمینی قرار دارد و در صورت ورود آلودگی به این بخش از آبخوان، احتمال پخش آن در کل آبخوان وجود خواهد داشت (۱۳).

در دشت اردبیل به‌علت رونق فعالیت‌های کشاورزی، استفاده از کودهای شیمیایی افزایش یافته و آبخوان اردبیل همواره در معرض آلودگی ناشی از آب‌های برگشتی آبیاری آغشته به کودهای شیمیایی است. به‌علت واقع شدن شهر اردبیل، و همچنین فعالیت‌های صنعتی، تصفیه‌خانه‌ها، مرغداری‌ها و دامداری‌ها روی رسوبات آبرفتی، فاضلاب‌ها و پساب‌های تولید شده از این مراکز از سطح زمین به آب زیرزمینی انتقال یافته و باعث آلودگی آبخوان خواهند شد. با توجه به اینکه تصفیه آب‌های زیرزمینی آلوده شده هزینه‌بر بوده و گاهی امکان‌پذیر نیست و با در نظر گرفتن اهمیت این موضوع که منابع آب زیرزمینی دشت اردبیل یکی از مهمترین منابع آبی استان محسوب می‌شود که برای مصارف گوناگون کشاورزی، شرب و صنعت استفاده می‌شود، یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی این منابع با ارزش، شناسایی مناطق مستعد به آلودگی در سطحی گسترده با استفاده از روش دراستیک است. مطالعه آسیب‌پذیری آبخوان دشت اردبیل جهت مدیریت زیست‌محیطی منابع آب و حفاظت از آن برای توسعه پایدار ضروری است.

زیرزمینی در نواحی شمال غربی و مرکزی دشت تبخیر می‌شود. متوسط عمق آب در دشت حدود ۲۴ m است. حداکثر تراز آب زیرزمینی حدود ۱۴۳۵ m در جنوب شرقی دشت و حداقل آن ۱۲۹۵ m در شمال غربی دشت است. شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی در مناطق تغذیه‌ای و ورودی به دشت، بین ۳ تا ۱۸ در هزار متغیر است اما در مناطق مرکزی، شمال غرب و حوالی شهر اردبیل به حدود ۲ تا ۳ در هزار می‌رسد. جهت جریان آب زیرزمینی در دشت اردبیل از جنوب شرق به شمال غرب است. براساس آزمایش‌های پمپاژ در دشت اردبیل، حداقل و حداکثر قابلیت انتقال آبخوان این دشت به ترتیب در حدود $50 \text{ m}^2/\text{day}$ و $2200 \text{ m}^2/\text{day}$ محاسبه شده است. ضریب ذخیره این آبخوان حدود ۶ درصد بوده و آبخوان از نوع آزاد محسوب می‌شود (۱۵).

مواد و روش‌ها

- گردآوری اطلاعات

برای تعیین آسیب پذیری آبخوان اردبیل به روش دراستیک، ابتدا ۵۲ داده اکسلی چاه‌های پیرومتری، ۴۳ داده اکسلی آزمایش پمپاژ، میانگین بارندگی سالیانه از داده‌های ۸ ایستگاه، ۴۵ داده لاگ حفاری مربوط به چاه‌های اکتشافی، نقشه مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی، نقشه توپوگرافی و نقشه زمین‌شناسی از شرکت آب منطقه‌ای اردبیل جمع‌آوری شدند. سپس تمامی داده‌ها برای آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، اثر منطقه غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (C) به سیستم اطلاعات جغرافیایی فراخوانی و رقومی شدند. اهمیت و نحوه آماده‌سازی هر یک از لایه‌های اطلاعاتی مذکور در آلودگی منابع آب زیرزمینی به شرح زیر است:

لایه عمق آب زیرزمینی (D): پارامتر عمق از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده و تعیین کننده عمقی است که آلوده کننده بایستی طی کند تا به سطح ایستایی برسد. ظرفیت میرایی آلاینده پتانسیل فیلتر شدن و جذب آلاینده‌ها توسط منطقه غیراشباع قبل از رسیدن آنها به سطح آب زیرزمینی

است. هر چه سطح آب زیرزمینی عمیق تر باشد مسافتی که آلاینده از منطقه غیراشباع طی می‌کند تا به سطح آب زیرزمینی برسد بیشتر شده و احتمال فیلتر شدن و جذب آلاینده‌ها توسط ذرات خاک افزایش یافته و احتمال نفوذ آلاینده به آب زیرزمینی کمتر خواهد شد. برای تهیه لایه عمق آب زیرزمینی داده اکسل سطح آب در چاه‌های پیرومتری وارد محیط GIS شده سپس از قسمت **Spatial Analyst > Interpolate to raster > IDW** نقشه رستری عمق آب زیرزمینی تهیه شد.

لایه تغذیه (R): عامل بسیار مهمی برای نفوذ و انتقال آلاینده‌ها از منطقه غیراشباع به منطقه اشباع است و آلاینده‌های جامد و مایع را به سطح آب برده و همچنین می‌تواند سطح آب را افزایش دهد. تغذیه بیشتر، سرعت بالاتری را برای انتقال آلاینده‌ها به سطح آب زیرزمینی فراهم می‌آورد. برای تهیه لایه تغذیه از روش **Piscopo (۲۰۰۱)**، استفاده شد (جدول ۱). **Piscopo** مشخصه تغذیه خالص براساس میزان بارندگی، شیب و نفوذپذیری خاک منطقه است (۱۶). معادله **Piscopo** به صورت معادله ۱ است.

$$\text{Recharge value} = \text{Slope (\%)} + \text{Rainfall (mm)} + \text{Soil permeability} \quad (1)$$

لایه محیط آبخوان (A): محیط آبخوان و مواد تشکیل دهنده آن، طول و چگونگی مسیر جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می‌کند. چگونگی مسیر که شدیداً متأثر از میزان درز، شکاف و تخلخل است، نقش مؤثری در سرعت انتقال آلودگی داشته و طول مسیر، زمان لازم برای انجام فرایندهای میرایی آلاینده را تعیین می‌کند. هر چه محیط آبخوان از مواد دانه ریز تشکیل شده باشد جریان آب زیرزمینی آهسته تر شده و امکان جذب آلاینده توسط مواد ریزدانه افزایش یافته و احتمال انتقال و پراکندگی آلاینده در طول آبخوان کاهش خواهد یافت. در این مطالعه با استفاده از لاگ‌های حفاری، مطالعات ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی منطقه، لایه محیط آبخوان تهیه شد. بخش‌هایی

جدول ۱- رتبه‌بندی و وزن‌دهی مشخصه تغذیه خالص (۱۶)

تغذیه (R)		نفوذ پذیری خاک (S)		بارندگی (R)		شیب (S)	
محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده (mm)	رتبه	محدوده (درصد)	رتبه
۱۱-۱۳	۱۰	بالا	۵	>۸۵۰	۴	<۲	۴
۹-۱۱	۸	نسبتا بالا	۴	۷۰۰-۸۵۰	۳	۲-۱۰	۳
۷-۹	۵	متوسط	۳	۵۰۰-۷۰۰	۲	۱۰-۳۳	۲
۵-۷	۳	کم	۲	<۵۰۰	۱	>۳۳	۱
۳-۵	۱	خیلی کم	۱				

آب زیرزمینی بیشتر می‌شود. هر چه شیب کمتر باشد زمان تماس آب‌های سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین بیشتر می‌شود به طوری که مناطق دارای شیب کمتر فرصت بیشتری را برای نفوذ آلاینده به آب زیرزمینی فراهم می‌سازد. برای ساختن لایه شیب، ابتدا با استفاده از عارضه خطی و منحنی‌های میزان از قسمت 3D Analyst > Creat TIN لایه TIN منطقه مورد مطالعه استخراج گردید سپس با معرفی لایه TIN ساخته شده به قسمت 3D Analyst > Surface > Slope لایه شیب به دست آمد.

لایه منطقه غیراشباع (I): منطقه غیراشباع منطقه بالای سطح ایستابی تا سطح زمین است که از آب غیراشباع است. ضخامت، خصوصیات هیدرولیکی و مواد زمین‌شناسی منطقه غیراشباع که نرخ تغذیه و مدت زمان تغذیه به آبخوان را کنترل می‌کنند از عوامل کلیدی در تعیین آسیب‌پذیری آبخوان هستند. برای ساخت لایه منطقه غیراشباع از روشی مشابه با محیط آبخوان استفاده گردید.

لایه هدایت هیدرولیکی (C): توانایی مواد تشکیل دهنده آبخوان در انتقال آب را گویند که به درصد فضاهای خالی مرتبط به هم در لایه آبدار (تخلخل مؤثر) بستگی دارد. این مشخصه، حرکت آلاینده و پخش آن را از نقطه نفوذ تا رسیدن به منطقه اشباع کنترل می‌کند. هر چه هدایت هیدرولیکی بیشتر باشد، امکان جریان یافتن آلاینده‌ها در آبخوان بیشتر خواهد بود. برای تهیه لایه هدایت هیدرولیکی از روشی مشابه با لایه عمق آب زیرزمینی استفاده شد.

که جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان یکسان و دارای رتبه برابری بودند به صورت یک پلی‌گون جداسازی شده و سپس به لایه رستری تبدیل شدند.

لایه محیط خاک (S): بافت خاک سرعت تراوش آلاینده، میزان جذب آلاینده و نیز نفوذ آب‌های سطحی به داخل آبخوان را کنترل می‌کند و در فیلتر کردن آلاینده‌ها مؤثر است. محیط خاک تاثیر بسیار مهمی در رسیدن تغذیه مؤثر به سطح ایستابی و چگونگی حرکت آلاینده دارد. وجود مواد با بافت دانه‌ریز نظیر سیلت و رس تراوایی نسبی خاک را کاهش می‌دهد و مهاجرت و حرکت آلوده کننده‌ها را محدود می‌سازد. در خاک رس‌دار بیشتر فلزات پالایش می‌گردند. فعالیت نسبتا بالای میکروبی، وجود مواد آلی و ریشه گیاهان در خاک باعث افزایش ظرفیت میرایی لایه خاک نسبت به بخش‌های زیرین منطقه غیراشباع می‌گردد. در نقاط با بافت درشت‌دانه نفوذ آلاینده سریع‌تر انجام شده و باعث نشر افقی سریع‌تر در آبخوان و آلودگی وسیع در منطقه می‌گردد. در این مطالعه لایه خاک با استفاده از فراخوانی نقشه مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی در محیط GIS و رقومی کردن آن تهیه شد.

لایه شیب (T): توپوگرافی که شیب و تغییرات شیب سطح زمین را نشان می‌دهد نقش مهمی در حرکت آلاینده و نگهداری آن بر سطح زمین دارد. علاوه بر آن توپوگرافی بر گسترش خاک و در نتیجه بر میرایی آلاینده نیز مؤثر است. زمین‌های با شیب کم به ویژه زمین‌های کشاورزی، باعث کاهش رواناب و افزایش نفوذ آب به آبخوان شده و در نتیجه احتمال نفوذ آلاینده به

مدل سازی دراستیک داده‌ها رقومی، طبقه‌بندی و رتبه‌بندی شدند. شکل ۱ لایه‌های رستری رتبه‌بندی شده را نشان می‌دهد. **عمق آب زیرزمینی:** در لایه رستری عمق آب زیرزمینی، قسمت‌های شمالی و شمال غربی دشت به‌علت بالا بودن سطح آب زیرزمینی رتبه بالاتری را به خود اختصاص دادند. در قسمت‌های جنوبی به ویژه جنوب شرقی دشت سطح آب زیرزمینی پایین بوده و آسیب‌پذیری آبخوان به آلودگی کمتر است، به همین دلیل رتبه‌های پایین به این مناطق تعلق گرفت.

تغذیه: حاشیه دشت به علت نزدیک بودن به ارتفاعات دارای میانگین بارندگی سالیانه بیشتری نسبت به مناطق مرکزی است. همچنین در حاشیه دشت بافت خاک درشت‌دانه است به همین دلیل این مناطق در لایه تغذیه حاصل از جمع لایه‌های رستری شیب، بارندگی و نفوذپذیری خاک (مطابق با روش Piscopo) رتبه بالاتری را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به اینکه مناطق مرکزی دارای بارندگی کمتر و خاک‌هایی با بافت ریزدانه هستند در لایه تغذیه حاصل رتبه پایین‌تری را به خود اختصاص داده‌اند.

محیط خاک: مناطق مرکزی دشت اردبیل دارای خاک‌هایی ضخیم با بافت ریزدانه هستند در صورتی که مناطق منتهی به حاشیه ارتفاعات دارای خاک‌های کم‌عمق با بافت درشت‌دانه و سنگ‌ریزه‌دار هستند. در نواحی دشتی اردبیل، مقادیر اندکی از شن و ماسه در خاک‌هایی که عمدتاً از نوع سیلت و رس هستند، یافت می‌شود. این خاک‌ها، به وسیله باد یا جریان آب از ارتفاعات پیرامون به سمت دشت انتقال یافته و در آن انباشته شده‌اند. شن یا قلوه‌سنگ در حاشیه دشت اردبیل دیده می‌شود و هر چه قدر به طرف مرکز پیش برویم رسوبات دانه‌ریزتر می‌شوند. با کم شدن شیب، قدرت حمل رودخانه‌ها نیز کاهش یافته و آنها فقط مواد ریز معلق را تا وسط دشت جابجا کرده و در آن انباشته کرده‌اند. قسمت‌های حاشیه دشت به علت درشت‌دانه بودن رتبه بالاتری را به خود اختصاص دادند و به قسمت‌های مرکزی به علت ریزدانه بودن رتبه کمتری تعلق گرفت.

تجزیه و تحلیل داده‌ها در GIS: لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده از بخش اول در این مرحله مطابق با رتبه‌بندی ارائه شده توسط Aller و همکاران (۱۹۸۷) و با توجه به قابلیت منطقه در آسیب‌پذیری آبخوان، با استفاده از قابلیت Reclassify در نرم افزار ArcGIS9.3 طبقه‌بندی و رتبه‌بندی شدند (۱۷). به هر یک از طبقه‌های لایه‌های اطلاعاتی عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه (R)، مواد تشکیل دهنده آبخوان (A)، نوع خاک (S)، توپوگرافی (T)، اثر منطقه غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (C) ارزش عددی بین ۱ تا ۱۰ تعلق گرفت. با توجه به غیرهمسان بودن تاثیر هر پارامتر دراستیک بر میزان آسیب‌پذیری آبخوان، به هر یک از پارامترهای هفت‌گانه دراستیک به نسبت اهمیت آنها در آسیب‌پذیری وزنی بین ۱ تا ۵ داده شد. در جدول ۲ نحوه طبقه‌بندی و رتبه‌دهی پارامترهای دراستیک ارائه شده است. بعد از رتبه‌بندی، تمامی لایه‌ها با استفاده از دستور Convert از منوی SpatialAnalyst براساس رتبه به رستر تبدیل شدند.

در پایان برای همپوشانی لایه‌های رستری و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری از دستور Raster Calculator در منوی SpatialAnalyst استفاده گردید به‌صورتی که مطابق با معادله ۲ هر لایه در وزن نسبی خود ضرب و سپس تمام لایه‌ها با یکدیگر جمع شدند.

(۲)

$$DI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$

در این فرمول DI شاخص دراستیک و $D_r, R_r, A_r, S_r, T_r, I_r, C_r$ لایه‌های اطلاعاتی رستر شده براساس رتبه و $D_w, R_w, A_w, S_w, T_w, I_w, C_w$ وزن نسبی اختصاص داده شده به هر لایه است (۱۸).

یافته‌ها

در این مطالعه به منظور بررسی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در دشت اردبیل، بعد از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مربوط به

جدول ۲- طبقه‌بندی و رتبه‌دهی پارامترهای مدل دراستیک در این مطالعه

پارامترهای دراستیک	طبقه‌بندی هر پارامتر	رتبه‌دهی هر طبقه	وزن نسبی هر پارامتر
عمق تا سطح ایستایی (m)	۰-۱۰	۱۰	۵
	۱۰-۲۰	۸	
	۲۰-۳۰	۶	
	۳۰-۴۰	۳	
	>۴۰	۱	
تغذیه (mm)	۱۱-۱۳	۱۰	۴
	۹-۱۱	۸	
	۷-۹	۵	
	۵-۷	۳	
	۳-۵	۱	
شیب (درصد)	۰-۲	۱۰	۱
	۲-۸	۸	
	۸-۱۵	۵	
	>۱۵	۳	
منطقه غیراشباع	گراول، قلوه‌سنگ، مواد درشت‌دانه	۱۰	۵
	رس، مارن، ماسه، شن، خاک‌های زراعی	۵	
	رس - رس با کمی ماسه	۱	
	مناطق بدون پوشش خاکی همراه با بیرون‌زدگی‌های سنگی زیاد، پوشش خاکی بسیار کم عمق، خاک‌های با بافت سبک و درشت‌دانه	۹	
	محیط خاک	۷	
هدایت هیدرولیکی	خاک‌های با بافت متوسط تا سبک	۷	۲
	خاک‌های با بافت متوسط تا سنگین	۴	
	مواد ریزدانه، رس، خاک‌های با بافت سنگین تا خیلی سنگین	۱	
	خیلی بالا	۱۰	
	بالا	۸	
محیط آبخوان	متوسط	۴	۳
	کم	۲	
	گراول، قلوه سنگ، مواد درشت‌دانه	۹	
	رس، مارن، ماسه، شن	۴	
	رس - رس با کمی ماسه	۱	

زیاد است. طبقه دارای پتانسیل آلودگی زیاد در حاشیه شمال غربی و در قسمت‌های مرکزی دشت واقع شده‌اند (شکل ۲).

بحث

در حاشیه شمال غربی دشت بافت خاک درشت‌دانه، عمق خاک کمتر، محیط غیراشباع درشت‌دانه و سطح آب زیرزمینی در اعماق کمتری قرار دارد که این ویژگی‌ها منطقه را برای آسیب‌پذیر بودن مستعد کرده است. در این حاشیه سطح آب زیرزمینی بالا بوده و به ۵ m می‌رسد. با توجه به اینکه در این مناطق فعالیت کشاورزی رونق دارد و بافت خاک درشت‌دانه و عمق خاک کمتر است، آلاینده‌های ناشی از مصرف کود و آفت‌کش‌ها سریع‌تر می‌تواند به آب زیرزمینی نفوذ کرده و باعث آلودگی آن شود. لذا پهنه آسیب‌پذیر واقع شده در شمال غرب از پتانسیل آلودگی بالایی برخوردار است.

چهار منطقه در مناطق مرکزی دارای آسیب‌پذیری بالایی است. با توجه به اینکه در قسمت‌های مرکزی دشت ضخامت خاک زیاد و بافت خاک ریزدانه‌تر می‌شود، ویژگی‌هایی مانند سطح بالای آب زیرزمینی و شیب پایین این بخش‌ها را نسبت به آسیب‌پذیری مستعد کرده است. عمیق بودن خاک و ریزدانه بودن آن در این مناطق باعث می‌شود آلاینده‌ها هنگام عبور از لایه‌های خاک فیلتر شده و آسیب کمتری به آب زیرزمینی برسانند. لذا مناطق آسیب‌پذیر واقع در قسمت‌های مرکزی نسبت به حاشیه شمال غرب از پتانسیل آلودگی پایینی برخوردارند.

- **ارزیابی صحت مدل دراستیک با توجه به غلظت نیترات**
بسته به شرایط اکسیداسیون - احیاء، نیتروژن در آب‌های طبیعی به شکل گونه‌های NH_3 و NH_4^+ ، N_2 ، NO_2^- ، NO_3^- وجود دارد. تحت شرایط کاهنده، گونه‌های غالب نیتروژن NH_3 و NH_4^{++} است و در شرایط اکسیداسیون نیتروژن به شکل گونه‌های NO_2^- و NO_3^- در آب رخ می‌دهد. به استثناء pH خیلی اسیدی بار سطحی بیشتر ذرات منفی است. بنابراین NH_4^+ می‌تواند توسط جذب به سوی رس‌ها و ماده آلی از نظر ژئوشیمیایی غیرمتحرک گردد. در مقابل گونه‌های نیترات و

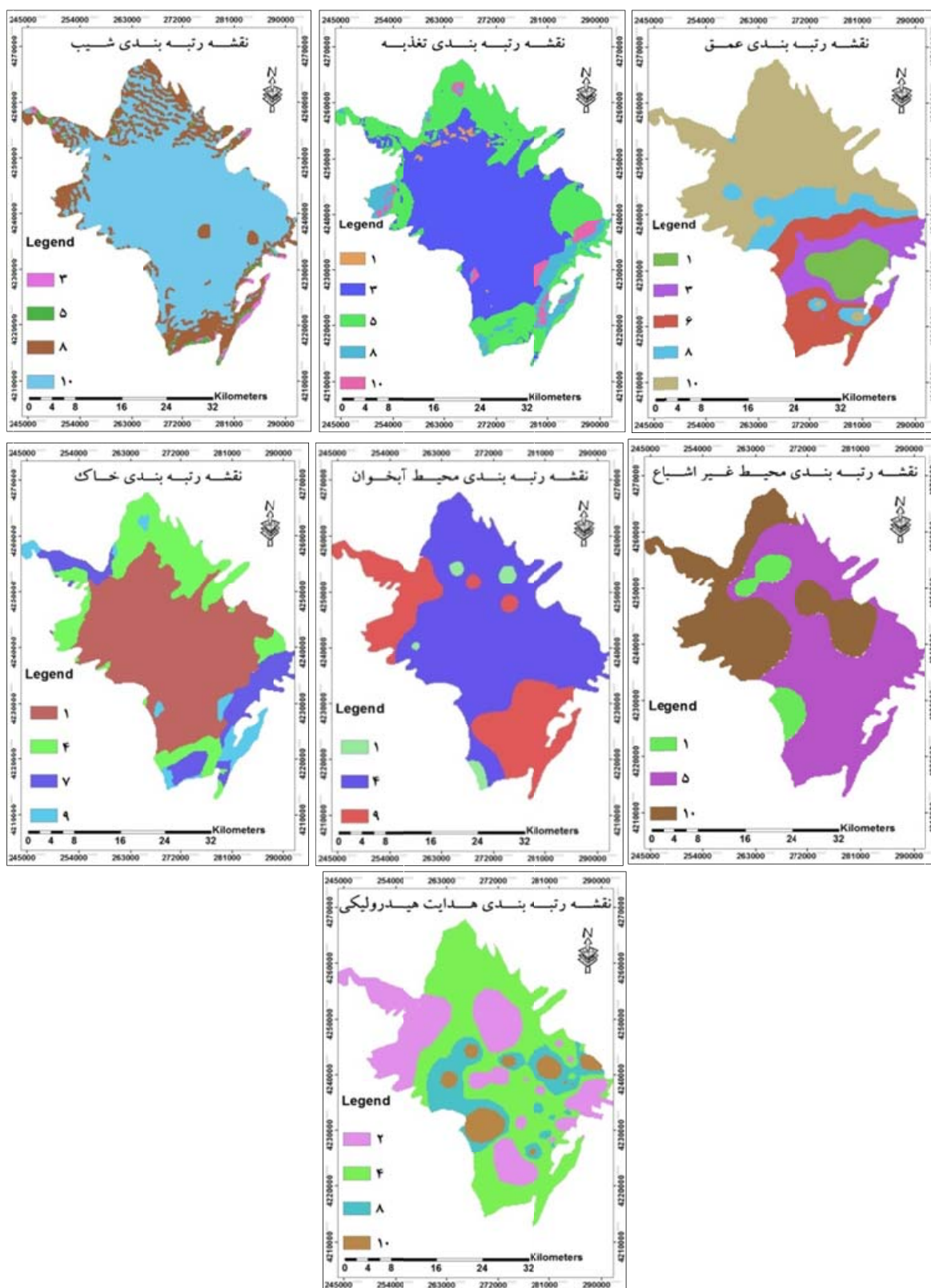
شیب: مناطق گسترده‌ای از دشت دارای شیب ۰ تا ۲ درصد است لذا احتمال نفوذ آلاینده‌ها به آب زیرزمینی از این مناطق بیشتر است. به همین علت این مناطق رتبه بالاتری نسبت به حاشیه دشت دارند.

منطقه غیراشباع: به بخش‌های کوچکی از منطقه غیراشباع در شمال و جنوب غرب دشت که از مواد ریزدانه و رسی تشکیل شده‌اند رتبه ۱ اختصاص داده شد. به وسعت بیشتری از منطقه غیراشباع که از رس، مارن و درصد کمتری ماسه و شن تشکیل شده رتبه ۵ تعلق گرفت. بخش‌های شمال غرب و غرب منطقه غیراشباع از گراول، قلوه‌سنگ و مواد درشت‌دانه تشکیل شده و رتبه ۱۰ را به خود اختصاص می‌دهند.

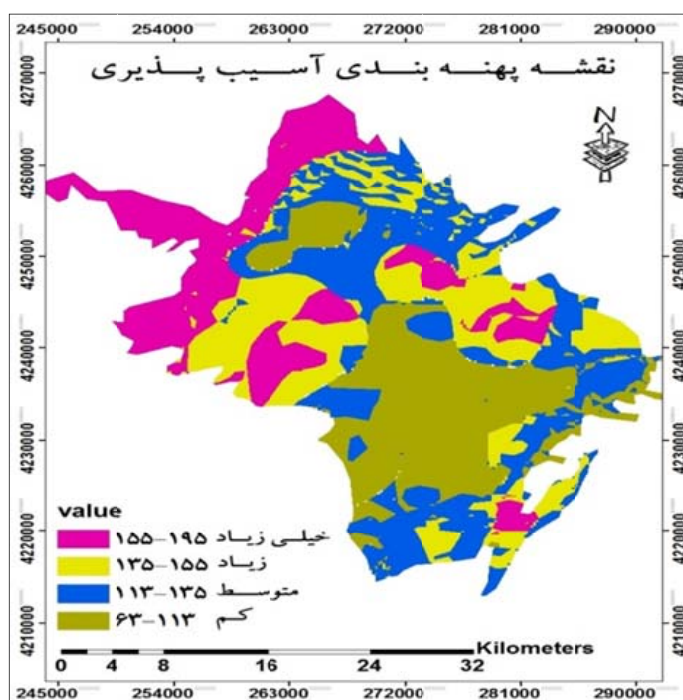
محیط آبخوان: با توجه به لایه رستری محیط آبخوان (شکل ۱)، بخش کمتری از مواد تشکیل دهنده آبخوان از مواد ریزدانه و رسی تشکیل شده که به این مناطق رتبه ۱ تعلق گرفت. وسعت بیشتری از محیط آبخوان که مخلوطی از مواد ریزدانه و درشت‌دانه است رتبه ۴ را به خود اختصاص داد. به بخش‌های شمال غرب و جنوب شرق محیط آبخوان که فقط از مواد درشت دانه تشکیل یافته‌اند رتبه ۹ تعلق گرفت.

هدایت هیدرولیکی: بخش‌های جنوب غربی و شرق دشت از هدایت هیدرولیکی بالایی برخوردارند و رتبه بالایی را به خود اختصاص می‌دهند. مناطق پیرامون از هدایت هیدرولیکی پایینی برخوردار بوده لذا رتبه پایین تری را به خود اختصاص می‌دهند. از ناحیه میانی دشت به سمت ارتفاعات میزان هدایت هیدرولیکی کاهش می‌یابد.

برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری، تمامی لایه‌ها در محیط GIS تحت فرایند محاسبات رستری مورد همپوشانی قرار گرفتند و امتیاز لایه رستری (لایه شاخص دراستیک تولید شده در قسمت محاسبات رستری) حاصل از محاسبه دارای دامنه تغییرات ۶۳ تا ۱۹۵ است. با توجه به این امتیازات، لایه رستری حاصل با روش هم‌مساحت به چهار طبقه، طبقه‌بندی شد (۱۹). طبقه ۱۱۳-۶۳ دارای پتانسیل آلودگی کم، طبقه ۱۳۵-۱۱۳ دارای پتانسیل آلودگی متوسط، طبقه ۱۵۵-۱۳۵ دارای پتانسیل آلودگی زیاد و طبقه ۱۹۵-۱۵۵ دارای پتانسیل آلودگی خیلی



شکل ۱- لایه‌های رستری رتبه‌بندی شده برای مدل‌سازی دراستیک در منطقه مورد مطالعه



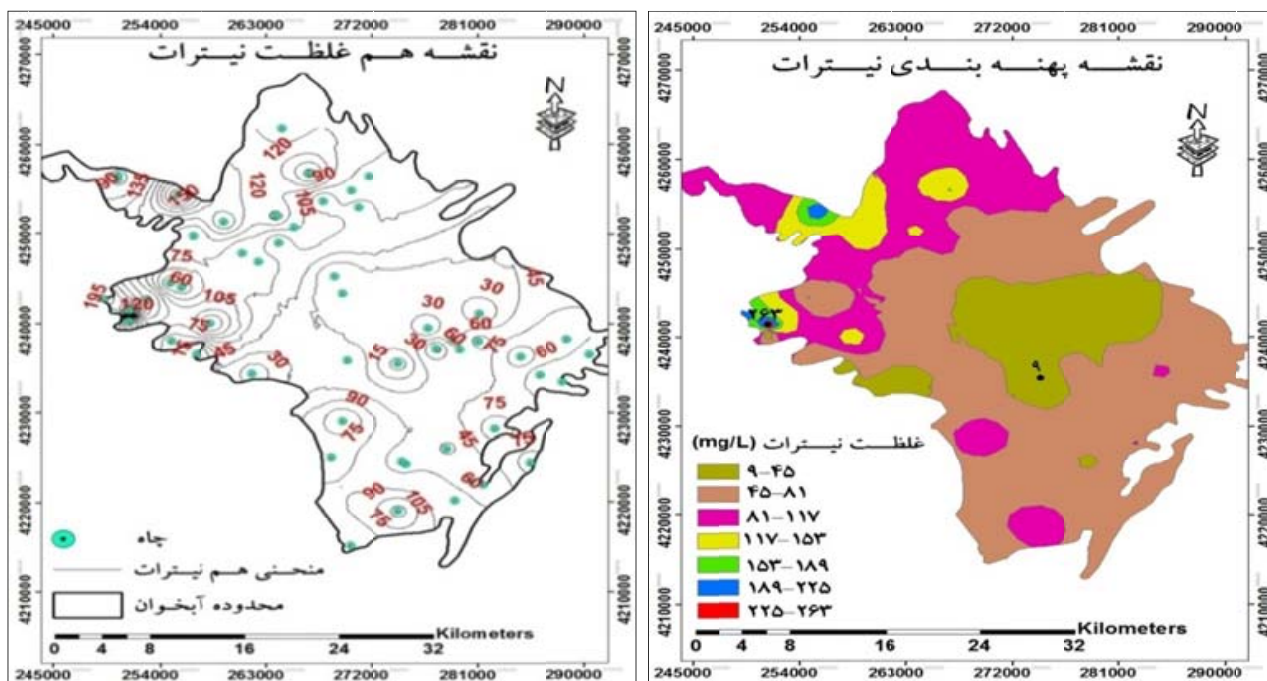
شکل ۲- نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان اردبیل نسبت به آلاینده های سطحی

نیتрат رسم شد (شکل ۳). غلظت نیترات در چاه های محدوده مطالعاتی از 9 mg/L تا 263 mg/L متغیر است. کمترین غلظت نیترات در چاهی در مرکز دشت با غلظت 9 mg/L در طبقه ای با پایین ترین آسیب پذیری واقع شده است و بیشترین غلظت نیترات با غلظت 263 mg/L در چاهی دیده شده که در بالاترین طبقه آسیب پذیری واقع شده است. نتایج رسم نقشه پهنه بندی نیترات نشان داد که پهنه با نیترات بالا در محدوده شمال غربی دشت واقع است. با توجه به اینکه این منطقه از دشت دارای آسیب پذیری بالایی هم است لذا بین طبقه با آسیب پذیری بالا و پهنه با غلظت بالای نیترات مطابقت وجود دارد.

بنابر یافته های تحقیق حاضر پهنه شمال غربی دشت که پتانسیل آلودگی بالایی دارد بخشی است که فعالیت های کشاورزی در اطراف رودخانه قره سو رونق فراوانی دارد لذا الگوی آبیاری زمین های کشاورزی باید بهینه شود. در این

نیتريت که بار منفی دارند تحت شرایط اکسیداسیون جذب نمی شوند. به همین دلیل این گونه ها محرک هستند (۲۰). نیتروژن اضافه شده به خاک ناشی از استفاده کودهای کشاورزی توسط ذرات خاک نگهداری نمی شود و به آسانی به شکل یون های نیترات آبشویی شده و به آب های زیرزمینی منتقل می شود (۲۱). نیترات در شرایط طبیعی در آب زیرزمینی وجود ندارد و معمولاً از لایه سطحی وارد آب های زیرزمینی می شود، به همین دلیل می توان از آن به منزله شاخصی برای نشان دادن وضعیت آسیب پذیری واقعی منطقه استفاده کرد (۲۲).

پس از تهیه نقشه پهنه بندی آسیب پذیری به روش دراستیک برای بررسی صحت نتایج حاصل از این روش اقدام به رسم نقشه پهنه بندی نیترات گردید. برای همین منظور داده های آنالیز شیمیایی نیترات مربوط به ۵۲ چاه پیژومتر که در محدوده مطالعاتی پراکندگی داشتند از شرکت آب منطقه اردبیل جمع آوری شده و به روش IDW نقشه پهنه بندی



شکل ۳- نقشه پهنه بندی نترات و نقشه هم غلظت نترات در آبخوان اردبیل

آبخوان دشت اردبیل و نحوه انتقال آلاینده نترات از طریق برنامه MT3D در نرم افزار GMS شبیه سازی شده و غلظت نترات فروشویی شده از آب برگشتی زمین های کشاورزی، فاضلاب های شهری و سایر مکان های مولد آلودگی محاسبه شود.

در این مطالعه برای تعیین پتانسیل آسیب پذیری آبخوان اردبیل از روش دراستیک استفاده شد. دراستیک روشی نسبی است که رتبه دهی به لایه ها با روشی تجربی و کارشناسی انجام می پذیرد و نقشه پهنه بندی حاصل شده از این روش می تواند فقط به عنوان ابزار اولیه برای توسعه پایدار در منطقه و مدیریت زیست محیطی منابع آب زیرزمینی بکار رود. از سوی دیگر پارامترهای محیط آبخوان و منطقه غیراشباع که در این تحقیق استفاده شده اند دارای عدم قطعیت هستند. ارزیابی دقیق لایه محیط آبخوان و منطقه غیراشباع نیازمند داده های بیشتر و دقیق تر لاگ های حفاری، مطالعات ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی

مناطق باید با افزایش راندمان مؤثر آبیاری، آب های برگشتی کشاورزی به منابع آب زیرزمینی را کاهش داد، زیرا این گونه آب ها اغلب آغشته به کودهای شیمیایی، سموم دفع آفات و علف کش ها هستند که آلاینده گی بالایی دارند. با توجه به اینکه شهر اردبیل بر روی پهنه با پتانسیل بالای آلودگی واقع شده با احداث شبکه جمع آوری فاضلاب باید از نشت فاضلاب های خانگی به منابع آب زیرزمینی جلوگیری کرد. در مناطق با پتانسیل بالای آلودگی بهتر است تا حد امکان از مکان گزینی لندفیل، شهرک های صنعتی، کارخانجات و سایر واحدهای مولد آلودگی جلوگیری شده یا در صورت احداث سیستم مناسب جمع آوری فاضلاب برای آن مکان ها احداث گردد. در تحقیقات آتی پیشنهاد می شود محدوده شمال غربی دشت که پتانسیل آلاینده گی بالایی دارد از جنبه زمین شیمی زیست محیطی و زیست دسترس پذیری فلزات سنگین در محیط خاک و آب مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. همچنین مدل سازی کیفی

تکمیل شده‌تر و همچنین بررسی مشخصات سه بعدی جنس مواد تشکیل دهنده در محیط آبخوان و منطقه غیراشباع یا به عبارت دیگر بررسی مشخصات مهندسی آبرفت روی سنگ بستر است. هر چند که در این مطالعه برای ارزیابی دو لایه محیط آبخوان و منطقه غیراشباع از لاگ حفاری و مطالعات ژئوفیزیکی جمع‌آوری شده از شرکت آب منطقه‌ای اردبیل استفاده شد ولی مطالب جمع‌آوری شده برای ارزیابی سطحی و نسی مناسب بودند.

ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان در دشت مسجد سلیمان توسط Naseri و همکار (۲۰۱۲) نشان داد بیشترین میزان آسیب‌پذیری در شرق دشت مسجد سلیمان مشاهده می‌شود. بالا بودن میزان تغذیه، هدایت هیدرولیکی بالا و دانه‌درشت بودن محیط آبخوان، محیط غیر اشباع و محیط خاک از عوامل مستعدکننده دشت به آسیب‌پذیری بالا بود. غلظت نترات در پهنه با آسیب‌پذیری بالا نسبت به مناطق دیگر بالاتر بود (۲۳). نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت هشتگرد به روش دراستیک توسط Azad Shahraki و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد مناطق شمالی دشت از پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی برخوردار بوده و تطابق نسبتاً خوبی را با غلظت بالای نترات نشان می‌دهند. این مناطق به علت وجود رسوبات دانه‌درشت و تغذیه سطحی بالا، از آسیب‌پذیری بالاتری در مقایسه با اراضی جنوبی برخوردار بودند (۱۲). نتایج مطالعه Kholfi و همکار (۲۰۰۴) در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت قزوین با روش دراستیک نشان داد محدوده باتلاق و اراضی بایر واقع در شرق و مرکز دشت دارای آسیب‌پذیری بالا بوده و افزایش غلظت نترات با پهنه‌های با آسیب‌پذیری بالا مطابقت دارد. پهنه‌های آسیب‌پذیر روی مناطقی با سطح ایستابی بالا و تشکیلات درشت‌دانه محیط آبخوان قرار گرفته بود (۲۴). نتایج بررسی آسیب‌پذیری آبخوان مشهد با استفاده از روش دراستیک توسط Jafari Gharieh Ali و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد پهنه با آسیب‌پذیری بالا در مناطقی با بافت خاک درشت‌دانه، تراکم جمعیت بالا و سطح ایستابی بالا واقع شده‌اند (۱۱). نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت کرمان با روش

دراستیک و تحلیل سلسله مراتب توسط Neshat و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد بخش جنوب و جنوب شرق دشت کرمان دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالا و غلظت بالای نترات است و نیاز به محافظت ویژه دارد. استفاده گسترده از کودها در زمین‌های کشاورزی این مناطق باعث نشت نترات از سطح خاک و ورود آن به آب زیرزمینی شده بود (۱۰). در مدلسازی دراستیک آبخوان جزیره سیپروس که توسط Voudouris و همکاران (۲۰۱۰) انجام گرفت در پهنه با آسیب‌پذیری بالا ضخامت منطقه وادوز خیلی کم، سطح ایستابی بالا و غلظت نترات بالا بود (۲۵). در بررسی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی کوفربنجاهی اردن با روش دراستیک توسط Ta'any و همکاران (۲۰۱۳)، نتایج مطالعه نشان داد ۴۸ درصد منطقه تحت تاثیر آسیب‌پذیری بالا است که ناشی از سطح ایستابی بالا، قابلیت انتقال بالا در محیط آبخوان، توزیع کارست و گسل‌های فراوان است (۸). هر چند که ویژگی‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژی و خاک‌شناسی منطقه و نحوه امتیازدهی به پارامترها در هر مطالعه‌ای فرق می‌کند ولی از بررسی نتایج مطالعات ذکر شده و این مطالعه استنباط می‌شود که سطح بالای آب و عمق کم خاک و منطقه غیراشباع نقش بیشتری در بالا بودن پتانسیل آلودگی داشتند. همچنین در این مطالعه مطابق با مطالعات دیگر غلظت بالای نترات در پهنه با آسیب‌پذیری بالا بود.

در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت اردبیل با استفاده از روش‌های SINTACS, DRASTIC و SI که توسط Asghari Moghaddam و همکاران انجام گرفته است، قابلیت این سه مدل در نشان دادن آسیب‌پذیری مورد مقایسه قرار گرفته بود که به این نتیجه رسیدند مدل دراستیک کارایی بهتری برای نشان دادن آسیب‌پذیری دارد (۲۶). در این مطالعه با استفاده از روش دراستیک سعی شده که منطقه با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد. به همین دلیل دامنه تغییرات شاخص دراستیک که ۶۳ تا ۱۹۵ است با روش هم‌مساحت به چهار طبقه، طبقه‌بندی شدند تا آسیب‌پذیرترین مناطق بهتر مشخص شود. طبقه ۶۳-۱۱۳ دارای پتانسیل آلودگی کم، طبقه ۱۱۳-۱۳۵ دارای پتانسیل آلودگی متوسط،

با امتیاز بالای آسیب‌پذیری در حاشیه شمال غربی دشت و در قسمت‌های مرکزی واقع شده‌اند. نتایج حاصل از مدل دراستیک با استفاده از نقشه پهنه‌بندی نیترات مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. نتیجه بیانگر آن بود مطابقت بسیار نزدیکی بین توزیع پتانسیل آسیب‌پذیری آب‌برزمینی و میزان غلظت نیترات وجود دارد. با توجه به اینکه زمین‌های کشاورزی و شهر اردبیل بر روی پهنه با پتانسیل آلودگی بالا واقع شده‌اند بهینه‌سازی الگوی آبیاری زمین‌های کشاورزی جهت کاهش آلاینده‌های ناشی از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و احداث شبکه جمع‌آوری فاضلاب‌های شهری جهت جلوگیری از نشت فاضلاب‌های شهری به منابع آب‌برزمینی ضروری است.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

طبقه ۱۵۵-۱۳۵ دارای پتانسیل آلودگی زیاد و طبقه ۱۹۵-۱۵۵ دارای پتانسیل آلودگی خیلی زیاد است. در مطالعه حاضر تلاش بر این بود به جای آنکه مدلسازی‌های مختلف بررسی شود ویژگی‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژی، توپوگرافی، خاک‌شناسی منطقه و استعداد آسیب‌پذیری‌شان به‌طور جداگانه مورد بحث قرار گیرد و مناطق آسیب‌پذیری با جزئیات بیشتری مورد تشریح قرار بگیرد. در مطالعه حاضر مناطق با پتانسیل آلودگی زیاد در حاشیه شمال غربی و در قسمت‌های مرکزی دشت واقع شده‌اند ولی در مطالعه Asghari Moghaddam و همکاران مناطق مستعد به آسیب‌پذیری در بخش‌های شمالی و غربی قرار گرفته‌اند (۲۶).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای بررسی آسیب‌پذیری آبخوان اردبیل نسبت به آلاینده‌های سطحی از مدل دراستیک بهره گرفته شد. همپوشانی لایه‌های رستری در محیط GIS نشان داد که امتیاز شاخص دراستیک بین ۶۳ تا ۱۹۵ متغیر است. مناطق

References

1. Kuria N, Ghachari M, Macharia M, Mungai E. Mapping groundwater potential in Kitui District, Kenya using geospatial technologies. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*. 2011;4(1):15-22.
2. Ehteshami M, Khorasani N, Eizaddostdar A. Study effect pesticide on quality of groundwater in Shahrriar. *Journal of Human and Environment*. 1998;4(2):4-11 (in Persian).
3. Sener E, Davraz A. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: the case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey). *Hydrogeology Journal*. 2013;21(3):701-14.
4. Amirahmadi A, Abbariki Z, Ebrahimi M. Evaluation of the Davarzan Aquifer by DRASTIC method using GIS. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*. 2012;2(6):51-66 (in Persian).
5. Al-Abadi AM, Al-Shamma'a AM, Aljabbari MH. A GIS-based DRASTIC model for assessing intrinsic groundwater vulnerability in northeastern Misan governorate, southern Iraq. *Journal of Applied Water Science*. 2017;7(1):89-101.
6. Afrozi M, Mohammadzadeh H. Evaluation of Brujen-Faradonbeh aquifer vulnerability using DRASTIC method on the basis of Nitrate. *Iranian*

- Water Researches Journal. 2014;7(12):219-24 (in Persian).
7. Haifeng Z, Wei J, Guangqian W, Yaping C, editors. Study on the evaluation method of groundwater vulnerability to pollution from informal landfills in regional scale. 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering; 2008; Shanghai, China.
 8. Ta'any RA, Alaween MA, Al-Kuisi MM, Al-Manaseer NM. GIS based model of groundwater vulnerability and contamination Risk of Wadi Kufrija catchment area, Jordan. World Applied Science Journal. 2013;24(5):570-581.
 9. Mimi ZA, Assi A. Intrinsic vulnerability, hazard and risk mapping for karst aquifers: a case study. Journal of Hydrology. 2009;364(3-4):298-310.
 10. Neshat A, Pradhan B, Dadras M. Groundwater vulnerability assessment using an improved DRASTIC method in GIS. Resources, Conservation and Recycling. 2014;86:74-86.
 11. Jafari Gharieh Ali A, Kazemi G, Hafezimoghad-das N, Mosavi Aster Abadi S. Application of GIS in the study of groundwater pollution in urban areas (Case Study: Mashhad City). Iran-Water Resources Research. 2013;8(2):80-86 (in Persian).
 12. Azad Shahraki F, Aghasi A, Zarei A. Vulnerability mapping of the Hashtgerd aquifer DRASTIC method and sensitivity analysis. Water and Wastewater. 2012;21(2):61-70 (in Persian).
 13. Derakhshani R, Alipor M. Evaluating sensitivity ground water from pollution in Khatonabad plain using geographic information system. Journal of Geotechnical Geology. 2011;5(4):285-91(in Persian).
 14. Darvishzadeh A. Geological of Iran : Stratigraphic, Tectonic, Magmatic. 3rd ed. Tehran: Amirkabir Publication; 2010 (in Persian).
 15. Regional Water Company of Ardabil. Report of study aquifer of Ardabil plain. Ardabil: Regional Water Company of Ardabil; 2013 (in Persian).
 16. Piscopo G. Groundwater vulnerability map explanatory notes-Castlereagh Catchment. Australia: NSW Department of Land Water Conservation; 2001.
 17. Aller L, Bennett T, Lehr J, Petty R, Hackett G. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings. Oklahoma: US Environmental Protection Agency; 1987.
 18. Nobre R, Rotunno Filho O, Mansur W, Nobre M, Cosenza C. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and a fuzzy logic tool. Journal of Contaminant Hydrology. 2007;94(3-4):277-92.
 19. Azimi Hoseini M, Nazari Far M, Momeni R. Usage GIS in Site Selection. 2nd ed. Tehran: Mehreganeghalem Publication; 2011 (in Persian).
 20. Mor F, Modberi S, Farghani Tehrani G. Principles of Environmental Geochemistry. Tehran: Publication of University Center; 2012 (in Persian).
 21. Selinus O, Alloway B, Centeno J, Finkelman R, Fuge R, Lindah U, et al. Essentials of Medical Geology, impact of the natural environment on public health. Netherlands: Elsevier Academic Press; 2005.
 22. Asefi M, Radmanesh F, Zarei H. Optimization of DRASTIC and SINTACS models according to geographical information system with the use in analytical hierarchy process (AHP) case study: Andimeshk plain. Journal of Environmental Studies. 2014;40(1):79-94 (in Persian).
 23. Naseri H, Saremi Neghad F. Comparison of evaluating aquifer vulnerability with DRASTIC and Fuzzy logic methods case study: gelgir plain of masjid soliman. Journal of Natural Geographic. 2012;4(11):17-34 (in Persian).
 24. Kholfi M, Taki R. Evaluating groundwater vulnerability in Ghazvin plain. Journal of Engineering Geology. 2004;1(3):255-270 (in Persian).
 25. Voudouris K, Kazakis N, Polemio M, Kareklas K. Assessment of intrinsic vulnerability using DRASTIC model and GIS in Kiti aquifer, Cyprus. European Water. 2010;30:13-24.
 26. Asghari Moghaddam A, Gharekhani M, Nadiri

AA, Khord M, Fijani E. Evaluation of intrinsic vulnerability of Ardabil plain using DRASTIC, SIN-TACS and SI methods. Journal of Geography and Planning. 2017;21(61):57-74 (in Persian).



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Determination of vulnerability of aquifer Ardebil using DRASTIC method in GIS

K Jafari^{1,*}, N Hafezi Moghaddas², AR Mazloumi¹, A Ghazi²

1- Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran

2- Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 10 July 2019

Revised: 2 October 2019

Accepted: 8 October 2019

Published: 21 December 2019

Keywords: Vulnerability, Ardebil plain, Geographic information system, DRASTIC index, Nitrate

***Corresponding Author:**

k_jafari1986@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective: Groundwater resources are the most valuable resources of each country. Development of agricultural activities in Ardabil plain and over-use of fertilizers and pesticides, improper disposal of municipal sewage and industrial areas are responsible for groundwater pollution. Clean-up of groundwater resources is very difficult and expensive. One of suitable method in preventing groundwater contamination is determination of the vulnerable zones of an aquifer to manage water resources and sustainable development.

Materials and Methods: In this study for determining of vulnerability of aquifer Ardebil, information of 52 observational wells, 43 pumping tests, average of annual precipitation of 8 stations, 45 logs of exploration wells, land use map, topographic map and geological map have been gathered. Then, data layers of groundwater depth (D), Recharge (R), Aquifer media (A), Soil media (S), topography (T), impact of vadose zone (I) and hydraulic conductivity of aquifer (C) were prepared and overlaid based on DRASTIC method in ArcGIS software.

Results: Zoning map of DRASTIC method showed that DRASTIC index varied between 63 to 195 units. Areas with high vulnerability potential were characteristic with shallow depth groundwater, coarse-texture soil, thin soil and gentle topographic slope. Accuracy of the zoning map was evaluated by nitrate concentration map which showed the increase of DRASTIC index with nitrate concentration.

Conclusion: Northwestern and central parts of the Ardabil plain showed high vulnerability. The results of this study could help to reduce the environmental impact of contaminants on groundwater resources of the study area in future.