

ارزیابی آسیب پذیری آبخوان آزاد دشت تبریز

مهری تبرمايه^{۱*} - عبدالرضا واعظی هیر^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۱۲

چکیده

رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی هزینه زیادی دارد از این رو لازم است از روش مناسبی برای پیشگیری از آلودگی استفاده شود. یکی از راه‌های جلوگیری از آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی، شناسایی نواحی مستعد در برابر آلودگی‌های سطحی می‌باشد. به همین منظور جهت پتانسیل‌یابی آلودگی منابع آب زیرزمینی در دشت تبریز از مدل دراستیک (DRASTIC) استفاده و نقشه آسیب‌پذیری آبخوان در مقابل آلودگی تهیه شد. نقشه پهنه بندی آسیب‌پذیری برگرفته از نتایج، نشان می‌دهد که ۵۵/۸۴ درصد از منطقه دارای اندیس دراستیک بین (۱۴۰-۱۲۰) بوده که از لحاظ آسیب‌پذیری در محدوده کم تا متوسط قرار می‌گیرد. و به ترتیب ۲۲/۰۸، ۲۱/۸۱ و ۰/۲۶ درصد در محدوده متوسط تا زیاد، کم و زیاد قرار دارند. با تحلیل حساسیت به روش حذف پارامتر و نیز تحلیل حساسیت به روش تک پارامتری، میزان تأثیرگذاری هر کدام از پارامترها در آلوده‌سازی آبخوان مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج هر دو تحلیل نشان می‌دهند که مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر شاخص آسیب‌پذیری، عمق سطح آب می‌باشد. با هم‌پوشانی نقشه کاربری اراضی و نقشه آسیب‌پذیری DRASTIC، نواحی دارای آسیب‌پذیری متفاوت، تحت خطر آلودگی ناشی از کشاورزی، مشخص گردید و در نهایت نقشه پراکنندگی مقادیر نترات و مدل SINTACS نیز نتایج حاصل از مدل را تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، دراستیک، پتانسیل آلودگی، دشت تبریز، تحلیل حساسیت

مقدمه

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب می‌باشد (۷). مفهوم آسیب‌پذیری برای اولین بار در اواخر سال ۱۹۶۰ میلادی در فرانسه برای آگاهی بخشی در مورد آلودگی آب‌زیرزمینی ارائه شده است (۲۲). آسیب‌پذیری را می‌توان به عنوان امکان نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی تعریف کرد. آسیب‌پذیری معمولاً به عنوان یک استعداد ذاتی سیستم آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود که وابسته به میزان حساسیت این سیستم به تأثیرات انسانی و یا طبیعی می‌باشد. به عبارت دیگر آسیب‌پذیری ویژه، آسیب‌پذیری ذاتی را با احتمال قرار گرفتن آب‌های زیرزمینی در معرض نفوذ آلوده‌کننده‌ها از منابع مشخص ترکیب می‌کند (۲۲). آسیب‌پذیری نوعی خصوصیت نسبی، بدون بعد و غیرقابل اندازه‌گیری است و به ویژگی‌های آبخوان، محیط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی بستگی دارد (۶).

روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه شده است که می‌توان به گروه روش‌های پردازشی، روش‌های شاخص هم‌پوشانی و روش‌های آماری تقسیم‌بندی کرد (۱۹). روش‌های پردازشی از مدل‌های شبیه‌سازی برای تخمین حرکت آلاینده‌ها استفاده می‌کنند. روش‌های آماری از روابط همبستگی بین متغیرهای مکانی و میزان آلاینده‌های موجود در آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. روش‌های

آب‌های زیرزمینی به دلیل استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آب‌های سطحی به عنوان یک منبع مهم در منابع آب مورد توجه می‌باشند (۲۱). ولی وجود منابع مهم آلودگی‌های انتشاری و نقطه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی در سطح زمین و نفوذ آن‌ها به آب زیرزمینی باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی شده و ارزش آن را برای مصرف‌کننده کاهش می‌دهد. علاوه بر آن با افزایش روزافزون برداشت آب، سطح آب زیرزمینی در بسیاری از دشت‌های کشور به حد بحرانی رسیده است. این در حالی است که بخش قابل ملاحظه‌ای از مصارف شرب، کشاورزی و صنعت از منابع آب زیرزمینی تامین می‌گردد. بنابراین آب‌های زیرزمینی به شکل‌های مختلف در معرض آلودگی قرار دارند که تشخیص و کنترل آلودگی در آن‌ها نسبت به آب‌های سطحی مشکل‌تر و پرهزینه‌تر است. همچنین، به دلیل استمرار آلودگی در این منابع، بهترین روش جلوگیری از آلودگی آن‌ها، شناسایی منابع آلوده‌کننده و مناطق آسیب‌پذیری،

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

(*- نویسنده مسئول: Email: mehritabarmayeh@yahoo.com)

آب‌های زیرزمینی در دشت شیراز پرداخت و به این نتیجه رسید که حداقل اندیس دراستیک در دشت شیراز برابر ۵۸ و حداکثر آن برابر ۱۷۵ می‌باشد، که از نظر طبقه‌بندی آسیب پذیری آبخوان در محدوده نامناسب (آسیب پذیری زیاد) تا بد (آسیب پذیری خیلی زیاد) قرار می‌گیرد. ۸۵ درصد دشت دارای آسیب پذیری زیاد و ۱۵ درصد آن دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد می‌باشد، که محدوده دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد بیشتر در حاشیه‌های آهکی دشت واقع شده‌است.

بر پایه نتایج حاصل از مدل‌سازی دراستیک توسط خدایی و همکاران (۲) در سال ۱۳۸۴، آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوبین در دو گروه آسیب‌پذیری کم و متوسط واقع شده است که تقریباً نیمه شمالی دشت در گروه آسیب‌پذیری کم و نیمه جنوبی در گروه آسیب‌پذیری متوسط قرار گرفته است. در این تحقیق براساس نتایج حاصل از مدل GODS نیز آسیب‌پذیری آبخوان این دشت در دو گروه آسیب‌پذیری کم و متوسط قرار گرفته است و همانند روش دراستیک، آسیب‌پذیری کم در حاشیه شمالی دشت واقع شده است. مدل دراستیک را می‌توان در کنار سایر روش‌های تحلیلی نظیر روش‌های فازی و شبکه‌های عصبی نیز به کار برد اما این مدل دارای یک سری محدودیت‌هایی می‌باشد. از جمله این که انتخاب ارزش عددی پارامترها تا حدودی کارشناسی بوده و این روش‌ها نمی‌توانند به عنوان یک روش دقیق پیش‌بینی مورد استفاده قرار گیرند و مهم‌تر این که در این روش یک مقدار آسیب‌پذیری مطلق ارائه نمی‌شود با وجود این سادگی و سهولت تهیه اطلاعات مورد نیاز آن‌ها در مقیاس ناحیه‌ای از مزایای عمده این روش می‌باشد.

معرفی منطقه مورد مطالعه

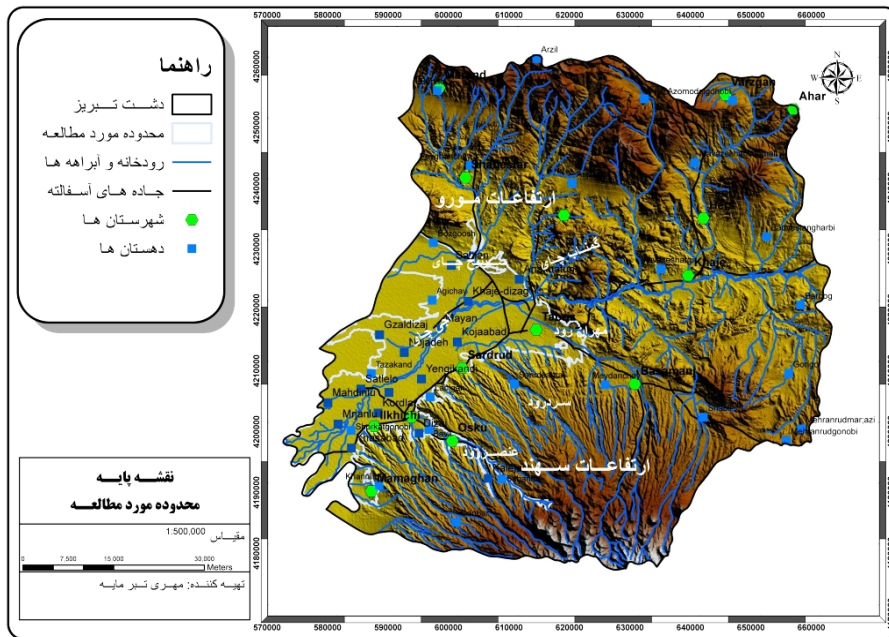
دشت تبریز، با مساحت ۵۳۹۲/۲ کیلومتر مربع در استان آذربایجان شرقی بزرگترین دشت موجود در این استان بعد از دشت‌های مرند و جلفا می‌باشد. این دشت از شمال به دامنه‌های جنوبی کوه‌های میشو، از جنوب به دامنه‌های شمالی سهپند، از شرق به محدوده شهر تبریز و از غرب به اراضی شورزار و دریاچه ارومیه محدود می‌شود. آجی‌چای بزرگترین رودخانه دائمی محدوده مطالعاتی تبریز به شمار می‌رود که از دامنه جنوب خاوری کوه سبلان و دامنه شمالی رشته کوه بزقوش سرچشمه گرفته و پس از گذر از محدوده‌های مطالعاتی سراب بیلوردی - دوزدوزان و بستان آباد وارد دشت تبریز می‌شود. این دشت در فاصله و طول شرقی (بین مختصات ۴۱۷۵۷۰۰ تا ۵۷۱۰۰۰) و عرض شمالی (بین مختصات ۴۲۶۰۰۰ تا ۴۱۷۵۷۰۰) واقع گردیده است. پست‌ترین نقطه ارتفاعی در منطقه مورد مطالعاتی ۱۰۳۰ متر از سطح دریا در غرب دشت و بیشترین ارتفاع در کوه‌های جنوب شرقی (سهپند) با ارتفاعی بیش از ۳۰۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱).

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. روش‌های GODS (۹)، IRISH (۱۰)، DRASTIC (۵)، SI (۱۱) از جمله روش‌های شاخص هم‌پوشانی هستند که برای محاسبه آسیب‌پذیری ذاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. عقیده بر این است که در ارزیابی آسیب‌پذیری به روش شاخص و هم‌پوشانی با استفاده از تعداد زیادی لایه‌های اطلاعاتی، اثرات خطاها و عدم قطعیت‌های موجود در یک پارامتر منفرد در خروجی نهایی محدود می‌شود (۱۶) بر اساس مطالعات انجام یافته، دراستیک از کاربردی - ترین و رایج‌ترین مدل‌های کیفی است که هزینه انجام آن پایین بوده و با اطلاعات کم و در دسترس برای تولید درجات آسیب‌پذیری برای مناطق وسیع با ترکیب چندین لایه طراحی شده است (۵). بنابراین در این پژوهش از مدل دراستیک برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی دشت تبریز استفاده گردید و نتایج آن با روش SINTACS مورد مقایسه قرار گرفت. مدل‌های کیفی که در زمینه بررسی و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی یا آسیب‌پذیری ذاتی استفاده می‌شوند، مقدار آلودگی را ارائه نمی‌کنند بلکه نقاط مختلف را به لحاظ خطر آلودگی نسبت به یکدیگر ارزیابی می‌کنند (۱۳).

مطالعات زیادی با استفاده از مدل دراستیک انجام شده است به عنوان مثال بایبکر و همکاران (۷) در سال ۲۰۰۴ برای تعیین مناطق مستعد در برابر آلودگی ناشی از منابع انسانی در آبخوان کاکامیگاهارا^۱ در ژاپن مرکزی، از مدل دراستیک در محیط GIS استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که بخش غربی آبخوان کاکامیگاهارا در رده بندی آسیب‌پذیری بالا و بخش شرقی در رده بندی آسیب‌پذیری متوسط قرار می‌گیرند. نقشه آسیب‌پذیری نهایی آبخوان کاکامیگاهارا نشان می‌دهد که خطر بالای آلودگی در بخش شرقی آبخوان در نتیجه پتانسیل آلودگی بالای کشاورزی و زراعت وجود دارد. آن‌ها همچنین به این نتیجه دست یافتند که پارامتر تغذیه خالص بیشترین تاثیر را بر روی آسیب‌پذیری آبخوان داشته و به دنبال آن محیط خاک، توپوگرافی، زون وادوز و هدایت هیدرولیکی در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

کامرون و پلوسو (۸) در سال ۲۰۰۴ در مقاله‌ای با عنوان کاربرد منطق فازی در ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان‌ها، استفاده از روش‌های منطق فازی را به عنوان روشی مناسب در ارزیابی آلودگی آبخوان‌ها معرفی کردند.

در ایران نیز تاکنون مطالعات مختلفی در مورد آسیب‌پذیری آبخوان‌های مختلف انجام شده است از جمله رنجبر (۱) در سال ۱۳۸۳ در تحقیقی تحت عنوان "بررسی استعداد بالقوه آلودگی دشت شیراز با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS" به ارزیابی آسیب‌پذیری



شکل ۱- نقشه موقعیت و هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- پارامترهای مدل دراستیک (۷)

وزن نسبی	توصیف	فاکتور
۵	تعیین کننده عمقی است که آلوده کننده باید طی کند تا به سطح ایستابی برسد، هرچه سطوح ایستابی عمیق تر باشد، شانس وقوع آلودگی کمتر است.	عمق آب زیرزمینی (D)
۴	مقدار آبی که از سطح زمین نفوذ کرده و به سطح ایستابی می‌رسد؛ آب تغذیه‌ای وسیله‌ای برای انتقال آلاینده‌ها به آب زیرزمینی می‌باشد.	تغذیه خالص (R)
۳	به خصوصیات مواد منطقه اشباع اطلاق می‌باشد که فرآیندهای رقیق شدن آلاینده‌ها را کنترل می‌کند.	محیط آبخوان (A)
۲	به بخش هوازده بالایی منطقه غیراشباع اطلاق می‌شود و میزان آب نفوذی را کنترل می‌کند.	محیط خاک (S)
۱	شیب سطح زمین که تعیین کننده باقی ماندن آلاینده‌ها در سطح زمین و یا ورود آن به منطقه اشباع است.	توپوگرافی (T)
۵	منطقه بالایی سطح ایستابی تا زمین که غیر اشباع بوده و نقش موثری در سرعت انتقال و میرایی آلودگی دارد.	محیط غیراشباع (I)
۳	توانایی آبخوان در انتقال آب بوده و نرخ جریان مواد آلوده کننده را درون سیستم آب زیرزمینی تعیین می‌کند.	هدایت هیدرولیکی (C)

مواد و روش‌ها

روش تحقیق و معرفی مدل دراستیک

متداول ترین روش برای ارزیابی آسیب پذیری ذاتی آبخوان، روش دراستیک است که توسط انجمن ملی آب زیرزمینی با همکاری آژانس حفاظت محیطی ایالات متحده^۲ ایجاد شده است (۵). یک روش برای ارزیابی پتانسیل آلودگی مدل دراستیک می‌باشد. این مدل در بسیاری از کشورهای دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا اطلاعات ورودی مورد نیاز برای این مدل نسبت به روش‌های دیگر ارزیابی آسیب پذیری، قابل دسترس تر می‌باشد. مدل دراستیک دارای هفت پارامتر می‌باشد و متناسب با این پارامترها هفت لایه اطلاعاتی، ورودی‌های مدل را تشکیل می‌دهند (۱۲). پارامترهای مدل دراستیک شامل: عمق سطح ایستابی^۳ (D)، تغذیه خالص^۴ (R)، محیط آبخوان^۵ (A)، خاک^۶ (S)، توپوگرافی^۷ (T)، منطقه غیر اشباع^۸ (I)، هدایت هیدرولیکی^۹ (C) است (جدول ۱).

- 1- Intrinsic vulnerability
- 2- US Environmental Protection Agency
- 3- Depth to Water Table
- 4- Net Recharge
- 5- Aquifer Media
- 6- Soil Media
- 7- Topography
- 8- Impact of Vadose Zone Media
- 9- Hydraulic Conductivity

نتایج و بحث

با توجه به مراحل تهیه مدل دراستیک و با به کارگیری و تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده از منطقه مورد مطالعه ضمن تهیه

تهیه و مطابق با جدول ۲ رتبه‌بندی و ارزش‌گذاری شد. نقشه نرخ بندی عمق تا سطح ایستابی مورد استفاده در مدل دراستیک دشت تبریز در شکل ۴ نشان داده شده است.

تغذیه خالص

جهت تهیه لایه تغذیه از روش پیسکوپو^۱ استفاده شد (۱۷). پیسکوپو پتانسیل تغذیه یک منطقه براساس میزان بارندگی، شیب و میزان نفوذپذیری منطقه را جایگزین روش ارائه شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده کرد. برای محاسبه میزان تغذیه یک مدل رقومی ارتفاعی (DEM)^۲ از منطقه تهیه شد. سپس شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از DEM تهیه شده استخراج شده و با استفاده از معیارهای جدول ۳ طبقه بندی گردید. نقشه نفوذپذیری و بارندگی منطقه نیز با توجه به معیارهای جدول ۳ تهیه و طبقه‌بندی شد. سپس تمام نقشه‌ها Grid شدند. سرانجام بعد از تهیه نقشه‌های مذکور برای به دست آوردن لایه تغذیه خالص، هر سه نقشه شیب و نفوذپذیری و بارندگی منطقه هم پوشانی شدند. و تغذیه خالص از معادله ۲ بدست آمد.

(۲) مقدار تغذیه = درصد شیب + میزان بارندگی + میزان نفوذپذیری با استفاده از معیارهای جدول ۳ میزان تغذیه محاسبه شده و با توجه به به رتبه‌های مدل دراستیک در جدول ۲ نقشه تغذیه خالص تهیه گردید (شکل ۵).

محیط آبخوان

اطلاعات مربوط به محیط آبخوان از کاوش‌های زیر سطحی^۳ (لاگ چاه‌های اکتشافی و مشاهده‌ای) بدست آمده است. برای تهیه لایه محیط آبخوان برحسب نسبت جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان در هر کدام از لاگ‌ها (به طور کلی آبخوان دشت تبریز عمدتاً از شن، ماسه، رس، سیلت و به صورت ترکیبی از آن‌ها می‌باشد) با توجه به جدول ۲ ارزش عددی از ۱ تا ۱۰ اختصاص داده شد و سپس این اطلاعات وارد بانک اطلاعات شد و براساس مختصات جغرافیایی مربوطه، به یک لایه نقطه‌ای تبدیل شده و سپس با استفاده از الگوریتم‌های درون‌یابی به کل منطقه تعمیم داده شد. بدین ترتیب از درون‌یابی این اطلاعات نقطه‌ای، رتبه‌بندی نقشه محیط آبخوان تهیه گردید (شکل ۶).

لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز و تلفیق آنها در محیط GIS، نقشه پهنه بندی پتانسیل آسیب پذیری آبخوان دشت تبریز تهیه گردید که در زیر به مراحل آن اشاره می‌گردد.

جدول ۲- رتبه‌های مربوط به پارامترهای مدل دراستیک در منطقه

نمره	پارامتر	نمره	پارامتر
			عمق تا سطح ایستابی (متر)
۱۰	توپوگرافی (شیب %)	۹	۰-۱۰
۹	۰-۲	۷	۱۰-۲۰
۸	۲-۴	۶	۲۰-۳۰
۶	۴-۶	۵	۳۰-۴۰
	>۶	۴	>۴۰
	محیط غیراشباع		تغذیه خالص (میلی‌متر در سال)
۸	شن و ماسه		۱۷۵-۲۵۰
۶	شن و ماسه با اندکی سیلت و رس	۸	۱۰۰-۱۷۵
۴	رس و سیلت با اندکی ماسه	۵	۵۰-۱۰۰
۲	رس و سیلت	۳	۰-۵۰
	محیط خاک	۱	محیط آبخوان
۹	بافت سطحی خیلی سبک	۷	ماسه به همراه مقداری گراول
۷	بافت سطحی سبک	۵	ماسه به همراه مقداری سیلت و رس
۵	بافت سطحی متوسط	۳	رس و سیلت همراه مقداری ماسه
۳	بافت سطحی سنگین	۱	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)
		۹	>۷۵
		۷	۵۵-۷۵
		۶	۳۵-۵۵
		۴	۲۵-۳۵
		۳	<۲۵

تهیه لایه های اطلاعاتی

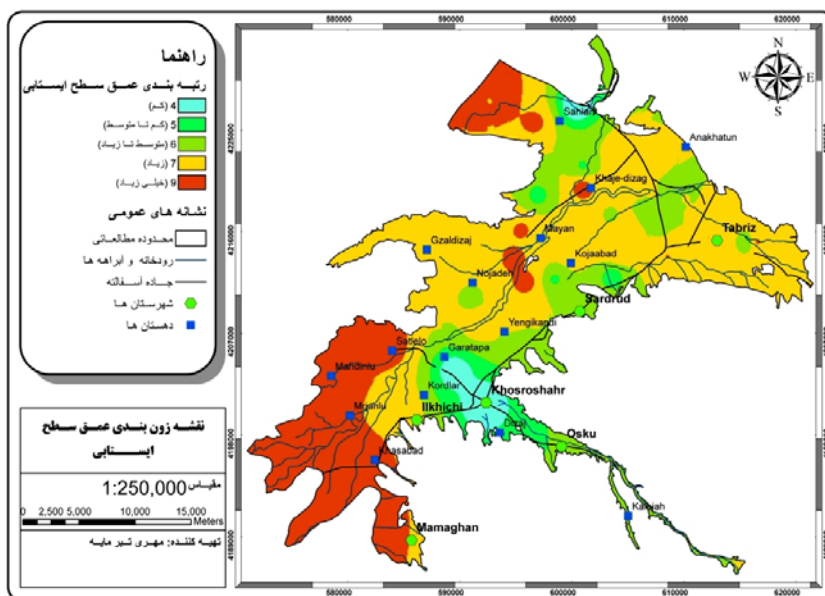
عمق سطح ایستابی

جهت تهیه نقشه عمق سطح ایستابی، از داده های اندازه‌گیری ماهانه سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومترهای دشت تبریز اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی با بررسی صحت و سقم داده‌ها و در صورت لزوم تصحیح آنها استفاده شده است. از این اطلاعات نقشه هم ارزش عمق تا سطح ایستابی

1- Piscopo

2- Digital Elevation Model

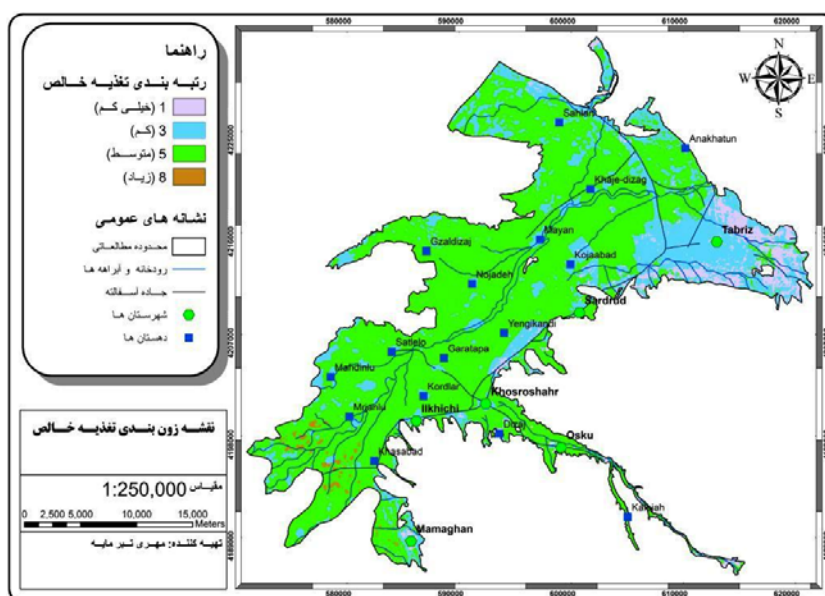
3- Geological log



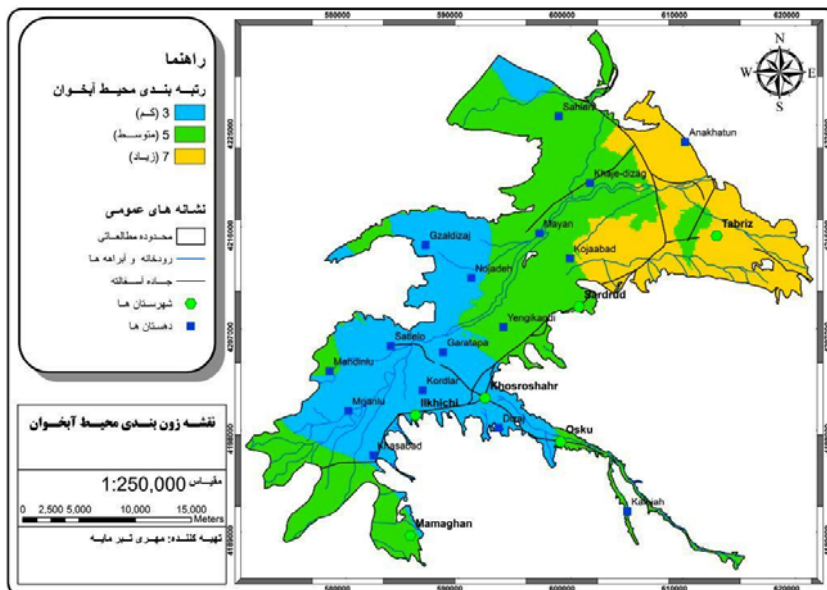
شکل ۴- رتبه بندی عمق سطح ایستابی آبخوان دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی

جدول ۳- رتبه تغذیه برای منطقه مورد مطالعه (۱۷)

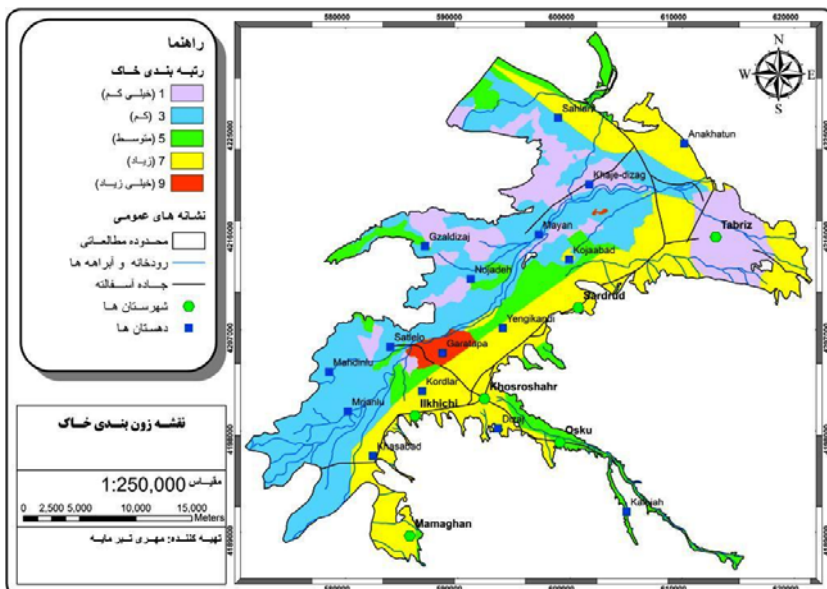
د) میزان تغذیه		ج) نفوذپذیری سطح		ب) بارندگی		الف) شیب	
رتبه	محدوده	فاکتور	محدوده	فاکتور	بارش (میلی متر)	فاکتور	شیب (درصد)
۱۰	۱۱-۱۳	۵	زیاد	۴	>۸۵۰	۴	<۲
۸	۹-۱۱	۴	متوسط تا زیاد	۳	۷۰۰-۸۵۰	۳	۲-۱۰
۵	۹-۷	۳	متوسط	۲	۵۰۰-۷۰۰	۲	۱۰-۳۳
۳	۵-۷	۲	کم	۱	<۵۰۰	۱	>۳۳
۱	۳-۵	۱	خیلی کم				



شکل ۵- رتبه بندی تغذیه خالص آبخوان دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی



شکل ۶- رتبه بندی محیط آبخوان دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی



شکل ۷- رتبه بندی نوع خاک دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی

محیط خاک

نقشه خاک منطقه با استفاده از نقشه (با مقیاس ۱:۲۰۰۰) و گزارش مطالعات خاک شناسی نیمه تفصیلی دقیق اراضی دشت تبریز (۳) و در بسیاری از نقاط به دلیل کمبود اطلاعات محلی، از نقشه خاک کشوری استخراج و به صورت یک لایه رستری ذخیره شد و در نهایت با استفاده از جدول نرخ بندی گردید (شکل ۷).

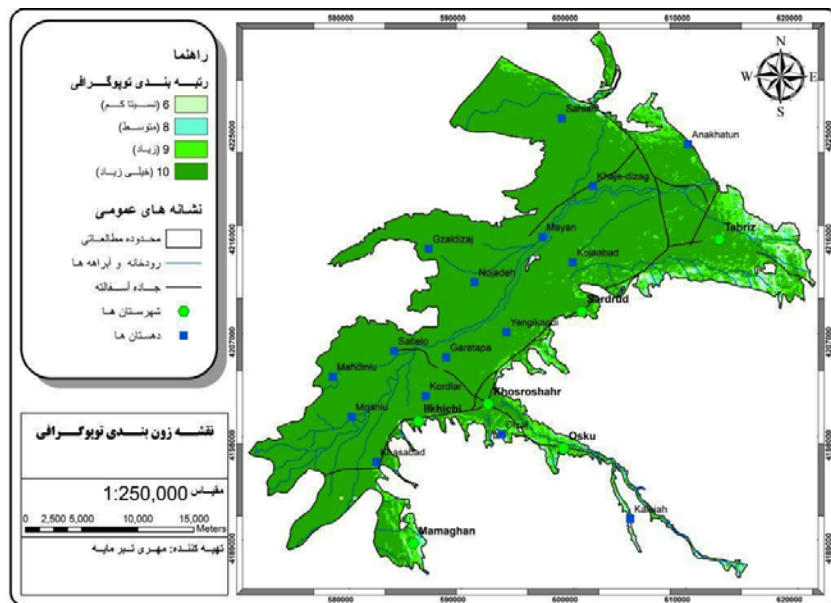
توپوگرافی

برای تهیه لایه توپوگرافی ابتدا مدل رقمی ارتفاعی منطقه^۱، از

فایل‌های رقمی با مقیاس سازمان نقشه برداری کشور که شامل خطوط میزان، آبراهه‌ها و نقاط ارتفاعی می‌باشند، تهیه گردید و پس از ویرایش DEM به دست آمده در محیط Arc GIS، در قسمت تحلیل مکانی^۲ با ابزار تعیین شیب^۳، شیب منطقه محاسبه و استخراج شده و سپس با توجه به رتبه‌های مدل درستی در جدول ۲ لایه توپوگرافی منطقه تهیه گردید (شکل ۸).

2- Spatial Analyst
3- Slope

1- Digital Elevation Model

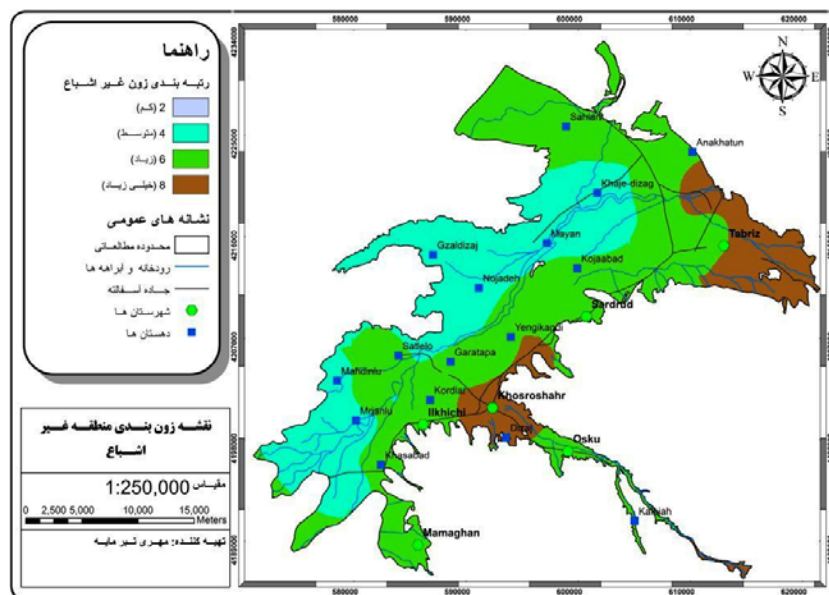


شکل ۸- رتبه بندی پارامتر توپوگرافی برای دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی

محیط غیر اشباع

در بخش غیر اشباع، جنس منطقه غیراشباع و قدرت جذب و نگاه‌دارندگی مواد آلاینده و بافت مواد زمین‌شناسی موجود در آن مدنظر قرار می‌گیرد که ذرات ریز در حد رس قدرت جذب و نگاه‌دارندگی بیشتری نسبت به ذرات درشت داشته و مانع حرکت آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی شده و از استعداد آلودگی آبخوان می‌کاهد. برای تهیه این لایه از لاگ‌های اکتشافی و مشاهده‌ای استفاده گردید و روشی مشابه تهیه لایه محیط آبخوان به کار گرفته

شده است با این تفاوت که برای لایه محیط غیراشباع ضخامت و جنس لایه‌های منطقه غیر اشباع در لاگ‌ها مورد توجه قرار گرفته است. بر حسب نسبت جنس مواد تشکیل دهنده محیط غیراشباع در هر کدام از لاگ‌ها، نمره مربوط به هر لاگ برطبق جدول شماره ۲ محاسبه شد و بر اساس مختصات جغرافیایی مربوطه، به یک لایه نقطه‌ای تبدیل شده و سپس با استفاده از الگوریتم‌های درون‌یابی به کل منطقه تعمیم داده شد و رتبه بندی گردید (شکل ۹).



شکل ۹- رتبه بندی محیط غیراشباع آبخوان دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی

هدایت هیدرولیکی

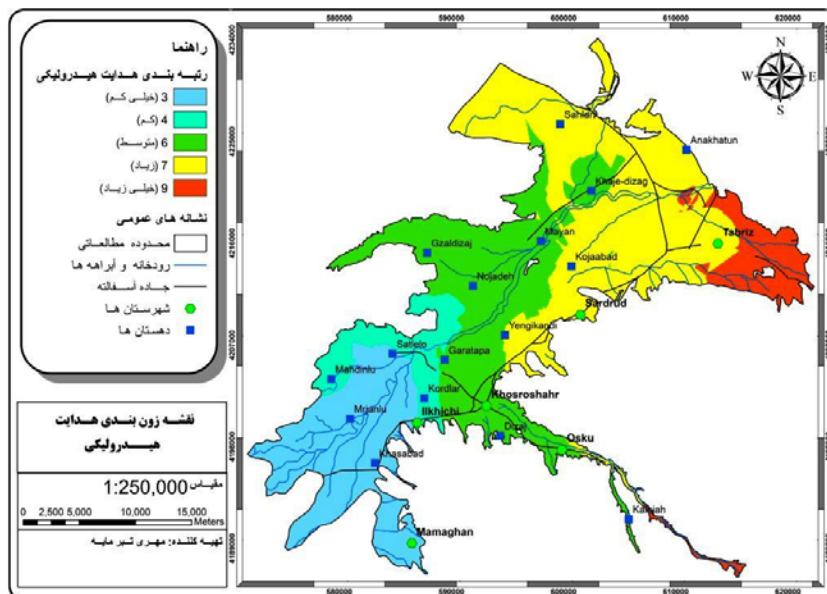
هدایت هیدرولیکی نشان دهنده سهولت حرکت آب زیرزمینی در محیط سفره را نشان می دهد و به تبع سهولت حرکت آلودگی از یک نقطه به نقطه دیگر با بالا بودن هدایت هیدرولیکی میسر می شود لذا اثر این محیط در جابجایی آلودگی موثر است. با توجه به در دسترس نبودن داده های آزمایش پمپاژ، برای تهیه لایه مذکور از لاگ های حفاری و جنس و ترکیب آبخوان در هر لاگ و جداول تعیین ضرایب نفوذپذیری (۲۰) استفاده شد و با در نظر گرفتن عمق بخش اشباع آبخوان مقادیر هدایت هیدرولیکی مربوط به محدوده هر لاگ تعیین گردید و به یک لایه نقطه ای تبدیل شد. در نهایت با استفاده از درون یابی نقاط ذکر شده و رتبه بندی بر اساس جدول ۲ نقشه ای حاصل گردید که نشان دهنده هدایت هیدرولیکی در محدوده دشت تبریز می باشد (شکل ۱۰).

ارزیابی آسیب پذیری آبخوان

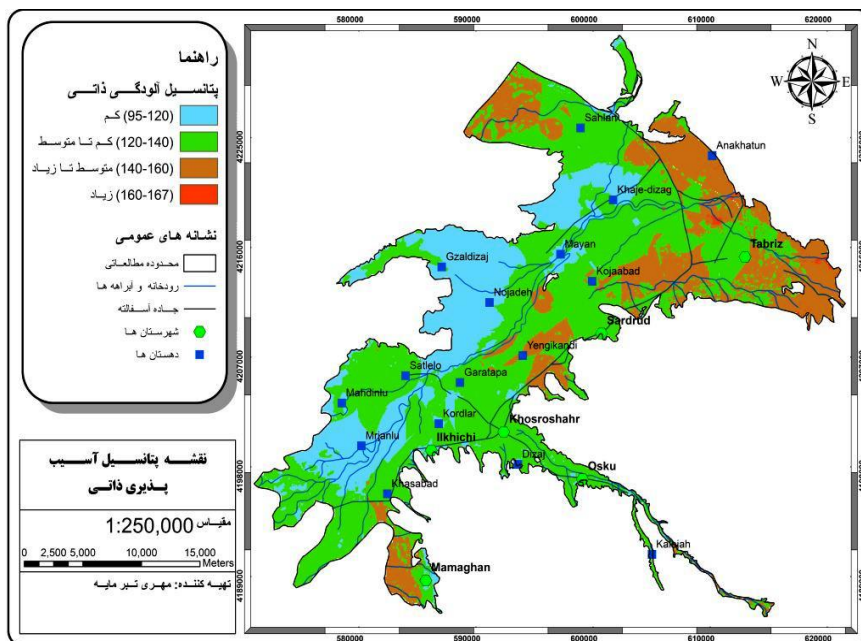
با توجه به این که داده های مورد استفاده در مدل همگی به فرمت رستری تبدیل شده بودن، بنابراین در نرم افزار GIS به منظور ترکیب لایه های رستری از تابع همپوشانی استفاده شد. این تابع به دو صورت ریاضی و وزنی عمل ترکیب داده ها را انجام می دهد. با توجه به این که هر یک از لایه های مورد نظر در مدل دراستیک دارای وزن و رتبه

خاصی بودند، برای ترکیب و تلفیق داده ها بر اساس رابطه ۱، از ابزار محاسبات رستری تابع همپوشانی وزنی استفاده شد. برای این کار تمام لایه ها همراه با ضرایب براساس معادله ۱ به صورت درصد برای مدل تعریف شد و سپس عمل تلفیق لایه های مورد نظر صورت پذیرفت و اندیس نهایی محاسبه گردید. برای به دست آوردن اندیس نهایی DRASTIC از معادله ۱ استفاده شد. برای درک بهتر اندیس آسیب پذیری و مقایسه بین نواحی متفاوت به طور همزمان روش آلر و همکاران (۵) استفاده شد. شاخص نهایی در محدوده مورد مطالعه بین ۱۶۷-۹۵ متغیر است. که با توجه به محدوده عددی آسیب پذیری، پهنه بندی حاصل بر اساس طبقه بندی آلر و همکاران (۵) به ۴ کلاس (ده) طبقه بندی شد (شکل ۱۱).

براساس طبقه بندی جدول ۴ بیشترین آسیب پذیری آب های زیرزمینی با مساحت ۵۵/۸۴ درصد مربوط به محدوده شرق منطقه مورد مطالعه است که دارای آسیب پذیری کم تا متوسط می باشد و تقریباً قسمت غربی منطقه مورد مطالعه با درصد مساحت ۲۱/۸۱ در بازه ی آسیب پذیری کم قرار دارد بجز بخش خیلی ناچیزی در شمال شرق منطقه با ۰/۲۶ درصد مساحت که در محدوده با آسیب پذیری زیاد قرار می گیرد سایر قسمت ها با درصد مساحت ۲۲/۰۸ آسیب پذیری متوسط تا زیاد را نشان می دهند (جدول ۴).



شکل ۱۰- پهنه بندی هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی



شکل ۱۱- نقشه‌ی پهنه بندی آسیب پذیری با استفاده از تلفیق پارامترهای هفت گانه دراستیک

جدول ۴- شاخص دراستیک برای منطقه مورد مطالعه

وضعیت آبخوان	اندیس دراستیک	مساحت (Km2)	درصد مساحت
آسیب پذیری کم	۹۵-۱۲۰	۱۵۹/۹۴	۲۱/۸۱
آسیب پذیری کم تا متوسط	۱۲۰-۱۴۰	۴۰۹/۴۶	۵۵/۸۴
آسیب پذیری متوسط تا زیاد	۱۶۰-۱۴۰	۱۶۱/۸۸	۲۲/۰۸
آسیب پذیری زیاد	۱۶۷-۱۶۰	۱/۹۵	۰/۲۶
جمع کل		۷۳۳/۲۴	۱۰۰/۰۰

به کمک این روش می توان موثرترین پارامتر بر آلودگی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه را شناسایی کرد (۷). میزان حساسیت مدل به روش حذف تک پارامتر از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$S = \frac{|(V/N) - (V'/n)|}{V} * 100 \quad (3)$$

که S میزان حساسیت یا به عبارتی اندیس تغییرپذیری^۲ را نشان می دهد V و V' به ترتیب اندیس‌های آسیب‌پذیری بدون حذف و با حذف پارامتر می باشند. N و n تعداد لایه‌های مورد استفاده در محاسبه V و V' می‌باشند. V اندیس واقعی آسیب پذیری که با استفاده از تمام هفت پارامتر دراستیک به دست می‌آید، به عنوان اندیس آسیب پذیری غیرآشفته^۳ نیز در نظر گرفته می‌شود، درحالی که V' آسیب پذیری محاسبه شده با استفاده از تعداد کمتری از لایه‌ها در نتیجه حذف یک یا چند پارامتر می‌باشد به عنوان اندیس آسیب

تحلیل حساسیت^۱

آنالیز حساسیت یک گام اساسی در این مدل کاربردی می‌باشد. در طی این مرحله، پارامترهای ورودی مدل تغییر داده می شوند و عکس العمل سیستم نسبت به این تغییرات مورد ارزیابی قرار می گیرد. در نتیجه میزان حساسیت هر پارامتر مشخص می‌شود. میزان تأثیرگذاری هر کدام از پارامترهای به کار برده شده، جهت ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت تبریز با استفاده از دو نوع تحلیل حساسیت حذف پارامتر (۱۴) و تحلیل حساسیت تک پارامتری (۱۵) مورد ارزیابی قرار گرفت.

تحلیل حساسیت حذف نقشه

تحلیل حساسیت حذف پارامتر، حساسیت نقشه آسیب پذیری را به حذف یک یا چند پارامتر نشان می‌دهد. در این روش ابتدا هر کدام از پارامترها به طور جداگانه از محاسبات حذف شده و اندیس تغییرپذیری دراستیک محاسبه می‌شود.

2- Variation Index

3- Unperturbed vulnerability index

1- Sensitivity Analysis

پارامترهای عمق سطح ایستابی، تغذیه خالص، توپوگرافی در مقایسه با فرضیات مدل دراستیک تاثیر بیشتری را بر روی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه دارند.

مقایسه وزن مؤثر هر پارامتر با وزن تئوری اختصاص داده شده به آن در آبخوان دشت تبریز نشان می‌دهد که وزن مؤثر و تئوری پارامترهای دراستیک تقریباً با هم تطابق دارد. بنابراین می‌توان به این نکته پی برد که وزن‌های نسبت داده شده به پارامترهای شاخص دراستیک از صحت خوبی برخوردار بوده است.

آسیب پذیری آبخوان و کاربری زمین

از آنجائی که مهمترین منبع آلودگی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه کودهای مورد استفاده در فعالیتهای کشاورزی می‌باشد، بنابراین برای تصدیق این که آیا یک ارتباط مکانی بین کاربری زمین و آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد، نقشه اراضی کشاورزی استخراج شده از کاربری کل استان آذربایجان شرقی بر روی نقشه آسیب پذیری آبخوان هم‌پوشانی گردید. هدف از هم‌پوشانی نقشه اراضی کشاورزی بر روی نقشه آسیب‌پذیری آبخوان این است که یکی از منابع بالقوه آلاینده بر روی نواحی دارای پتانسیل آسیب‌پذیری مختلف، پیاده گردد تا پتانسیل ویژه با پتانسیل ذاتی تلفیق شده و تحلیل نتایج به واقعیات منطقه نزدیکتر شود. نتایج این کار در جدول ۸ که رابطه بین رده‌های کاربری زمین و نواحی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد آورده شده است. (شکل ۱۱).

نتایج موجود در جدول ۸ نشان می‌دهد که قسمت اعظم زمین‌های کشاورزی در محدوده آسیب‌پذیری کم و کم تا متوسط قرار دارند و توسعه کشاورزی در نواحی با آسیب‌پذیری پایین خطر زیادی را بر روی آلودگی آب‌های زیرزمینی ایجاد نمی‌کند. ولی در مناطقی با آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد و زیاد که حدود ۸/۶۵ درصد از مساحت منطقه (۶۳/۴۶ کیلومتر) را شامل شده و کشاورزی نیز در آن مناطق صورت می‌گیرد، نیاز به مراقبت و پایش ویژه‌ای دارند، تا از آلودگی آب‌های زیرزمینی در آن نواحی جلوگیری شود.

واسنجی مدل دراستیک

با توجه به این که آلاینده نترات جز یکی از آلاینده‌های مهم و پایدار موجود در آب زیرزمینی محسوب می‌شود، از این رو به منظور واسنجی (کالیبراسیون) پهنه‌بندی مدل دراستیک از این آلاینده استفاده شد. برای پراکندگی یکنواخت نمونه‌ها پس از تهیه نقشه آسیب‌پذیری، نقشه موقعیت چاه‌های کشاورزی بر روی آن هم‌پوشانی شد. سپس چاه‌های نمونه‌گیری طوری انتخاب شدند که از تمام رده‌های آسیب‌پذیری متفاوت، نمونه گرفته شود و نتایج صحت سنجی مدل

پذیری آشفته^۱ مورد توجه قرار می‌گیرد. تغییر پذیری اندیس آسیب‌پذیری در نتیجه حذف فقط یک لایه برای محدوده مورد مطالعه در جدول ۵ نشان داده شده است.

نتایج این جدول نشان می‌دهد که مهمترین پارامتر تاثیرگذار بر روی اندیس آسیب‌پذیری، پارامتر عمق سطح آب می‌باشد این می‌تواند به دلیل وزن تئوریک بالای این پارامتر (۵) وسعت زیاد محدوده با نمره‌های بالا (قسمت اعظم دشت تبریز) باشد. پس از آن شاخص آسیب‌پذیری حساسیتی را نسبت به حذف پارامتر محیط غیراشباع نشان می‌دهد که احتمالاً به دلیل وزن بالای این پارامتر می‌باشد. با توجه به نتایج این جدول کم‌اثرترین پارامتر نیز محیط خاک می‌باشد.

تحلیل حساسیت تک پارامتری

تحلیل حساسیت تک پارامتری توسط ناپولیتانو و فابرو (۱۵) در سال ۱۹۹۶ برای ارزیابی تاثیر هر کدام از پارامترهای دراستیک بر روی اندیس آسیب‌پذیری انجام شد. از این روش برای مقایسه وزن مؤثر یا واقعی هر کدام از پارامترهای ورودی در هر پیکسل با وزن تئوریک اختصاص یافته به آن پارامتر توسط مدل تحلیلی دراستیک استفاده گردید. از آنجایی که تحلیل حساسیت حذف نقشه در بخش قبل، اهمیت هر هفت پارامتر را در ارزیابی اندیس آسیب‌پذیری دراستیک در منطقه مورد مطالعه نشان داد، تحلیل حساسیت تک پارامتری وزن‌های مؤثر و تئوریک پارامترها را با هم مقایسه می‌کند. وزن مؤثر در هر پیکسل با استفاده از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$W = (Pr Pw) / V * 100 \quad (3)$$

که W وزن مؤثر هر پارامتر، Pr و Pw به ترتیب نمره و وزن هر کدام از پارامترها و V اندیس نهایی آسیب‌پذیری می‌باشد.

با توجه به جدول ۷ پارامتر عمق سطح ایستابی به عنوان مؤثرترین پارامتر در ارزیابی آسیب‌پذیری می‌باشد (میانگین وزن مؤثر ۲۳ درصد) که نتایج حاصل از تحلیل حساسیت حذف نقشه را نیز تایید می‌کند. میانگین وزن مؤثر این پارامتر کمی بیش از وزن تئوریک اختصاص داده شده به آن توسط مدل دراستیک می‌باشد. پارامترهای عمق سطح ایستابی، تغذیه خالص و توپوگرافی نیز وزن مؤثر بیشتری را از وزن تئوریک نشان می‌دهند ولی پارامترهای محیط خاک، غیر اشباع و محیط آبخوان وزن مؤثر کمتری نسبت به وزن تئوریک اختصاص داده شده به آن‌ها توسط مدل دراستیک نشان می‌دهند. این نتایج نشان می‌دهد که پارامترهای محیط خاک، و محیط آبخوان و محیط غیر اشباع تاثیر کمتری بر روی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، در مقایسه با مدل تئوریک دراستیک دارند و در عوض

تبریز) بیشتر از بخش غربی آن می باشد که نتایج به دست آمده از مدل دراستیک را نیز تایید می کند. با توجه به این که نتایج حاصل از پهنه بندی مدل دراستیک با توزیع نیترات آب زیرزمینی دشت تبریز از هم خوانی خوبی برخوردار است بنابراین ضرورتی برای تغییر وزن ها و رتبه های اختصاص داده شده اولیه وجود ندارد یا به عبارت دیگر پارامترها کالیبره می باشند. در غیر این صورت لازم بود با اصلاح وزن ها و رتبه های اختصاص داده شده به پارامترها بر اساس شرایط منطقه، پهنه بندی دقیق تری انجام داده و مدل دراستیک تصحیح شود.

قابل اعتماد باشد. جهت صحت سنجی مدل از چاه های کشاورزی منتخب نمونه برداری صورت گرفت و یون نیترات موجود در نمونه های برداشت شده از آب های زیرزمینی مورد تجزیه و تحلیل قرار داده شد و سپس نقشه پراکندگی مقادیر نیترات آب های زیرزمینی تهیه گردید.

برای برخی مناطق دشت از داده های غلظت نیترات که توسط شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی اندازه گیری شده است استفاده گردید. با توجه به شکل ۱۲ میزان نیترات موجود در آب های زیرزمینی در بخش مرکزی و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه (دشت

جدول ۵- نتایج آماری تحلیل حساسیت حذف تک نقشه

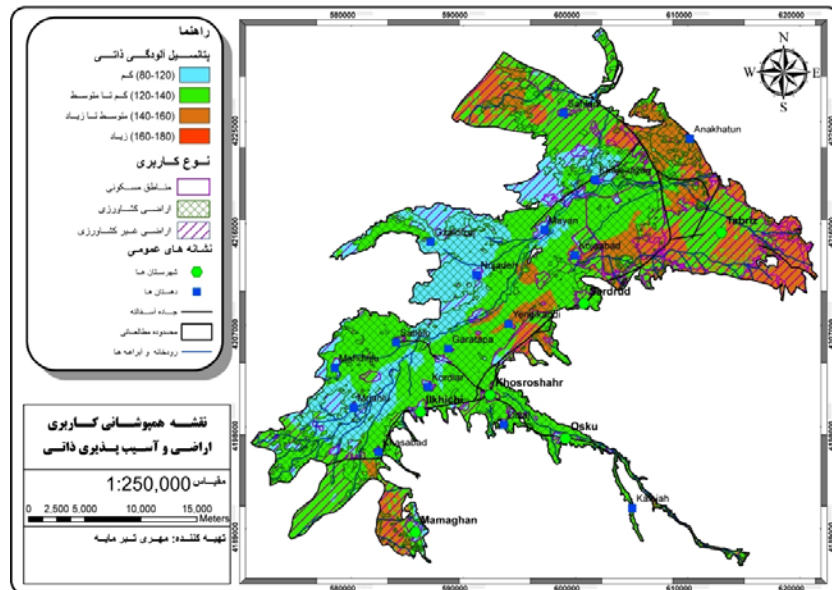
پارامترهای حذف شده	میانگین	اندیس تغییر پذیری (S%)	
		بیشینه	کمینه
D	۲۵/۶۰	۳۱/۵۷	۲۰/۹۵
R	۱۲/۴۴	۱۲/۶۳	۱۱/۹۷
A	۱۱/۷۰	۱۱/۸۰	۹/۵۰
S	۷/۰۰	۷/۱۸	۳/۱۵
T	۹/۳۴	۱۰/۵۲	۵/۹۸
I	۲۲/۱۰	۲۳/۰۴	۱۰/۵۰
C	۱۲/۶۳	۱۵/۲۸	۱۲/۵۷

جدول ۶- نتایج آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری

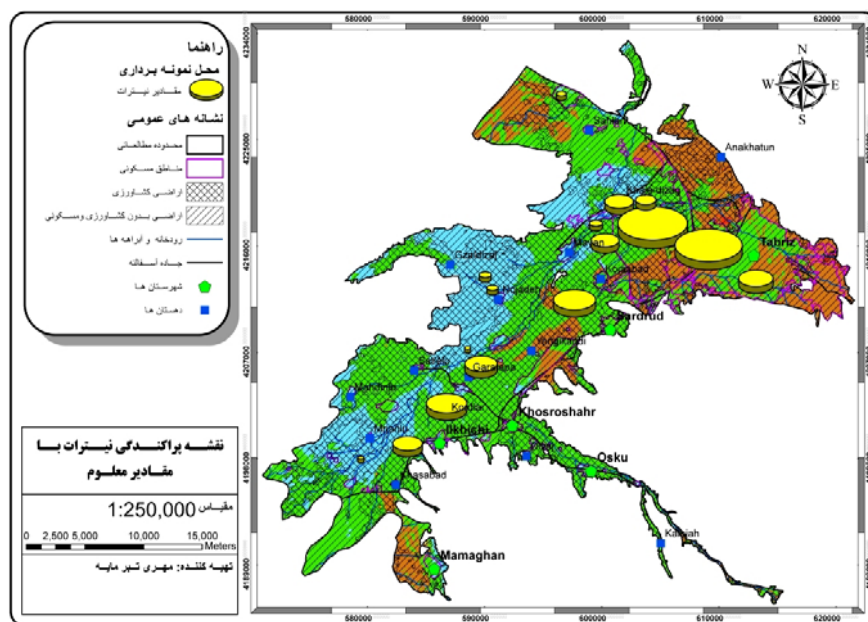
پارامتر	وزن تئوریک	وزن تئوریک (%)	وزن موثر (درصد)		
			میانگین	بیشینه	کمینه
D	۵	۲۱/۷۰	۲۳/۰۰	۲۶/۰۰	۲۱/۰۰
R	۴	۱۷/۴۰	۱۹/۰۰	۲۶/۰۰	۱۲/۰۰
A	۳	۱۳/۰۰	۱۱/۰۰	۱۲/۰۰	۹/۰۰
S	۲	۸/۷۰	۷/۵۰	۱۰/۰۰	۲/۱۰
T	۱	۴/۳۰	۶/۲۰	۶/۳۰	۵/۹۰
I	۵	۲۱/۷۰	۱۸/۰۰	۲۳/۰۰	۱۰/۰۰
C	۳	۱۳/۰۰	۱۳/۰۰	۱۶/۰۰	۹/۰۰

جدول ۷- توزیع کاربری زمین درون نواحی دارای آسیب پذیری متفاوت

آسیب پذیری	رده های کاربری اراضی (مساحت (Km ²))		رده های کاربری اراضی (درصد مساحت)	
	اراضی کشاورزی	اراضی غیر کشاورزی	اراضی کشاورزی	اراضی غیر کشاورزی
آسیب پذیری کم	۹۳/۶۵	۶۶/۲۸	۱۵۹/۹۳	۲۱/۸۲
آسیب پذیری کم تا متوسط	۲۴۰/۰۹	۱۶۹/۳۶	۴۰۹/۴۵	۵۵/۸۴
آسیب پذیری متوسط تا زیاد	۶۲/۲۸	۹۹/۵۹	۱۶۱/۸۷	۲۲/۰۸
آسیب پذیری زیاد	۱/۱۸	۰/۷۶	۱/۹۴	۰/۲۶
	۳۹۷/۲	۳۳۵/۹۷	۷۳۳/۱۹	۱۰۰



شکل ۱۱- نقشه کاربری اراضی هم پوشانی شده بر روی نقشه آسیب پذیری منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۲- نقشه پراکندگی مقادیر نیترات

و دارای ساختمان ترکیبی است. در حقیقت پارامترهای این روش همان پارامترهای به کار برده شده در روش DRASTIC بوده ولی با این تفاوت که فرآیند وزن و رتبه دهی پارامترها در روش SINTACS انعطاف بیشتری دارد (۴).

واژه SINTACS از کنار هم قرار گرفتن حروف اول پارامترهای بکار رفته در آن (S عمق سطح ایستابی، I مقدار تغذیه، N محیط غیر اشباع، T محیط خاک، A محیط آبخوان، C هدایت هیدرولیکی، S توپوگرافی) تشکیل شده است.

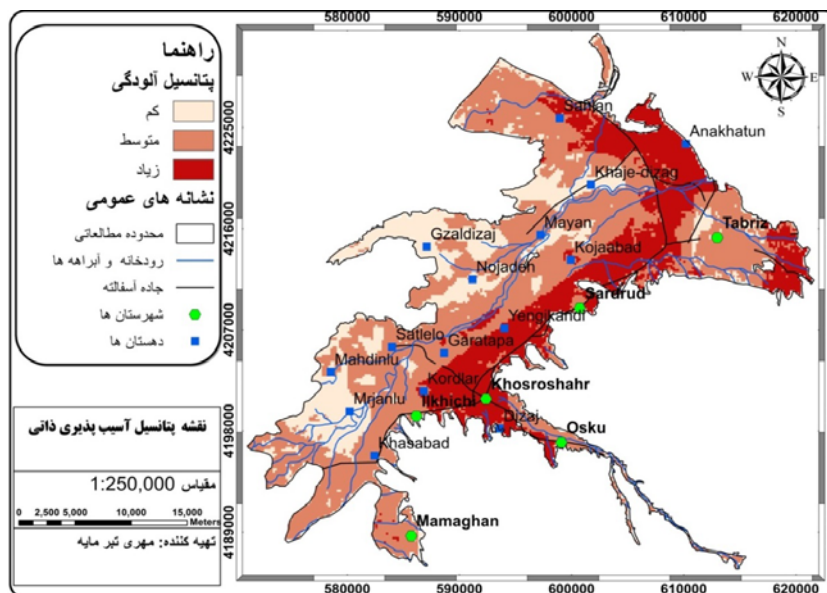
مقایسه مدل درستیک با مدل SINTACS

جهت حصول اطمینان از صحت تعیین مناطق آسیب پذیر دشت، از بین سایر مدل‌های آسیب پذیری با لایه‌های اطلاعاتی بیشتر، روش SINTACS استفاده گردید. این روش اولین بار توسط سیویتا^۱ و همکاران (۹) در سال ۱۹۹۰ برای بررسی آسیب پذیری جنوب ایتالیا به کار برده شد. مدل SINTACS، از مدل DRASTIC مشتق شده

1-Civita

مناطق برخوردار می‌باشد که اکثراً مناطق با پتانسیل آسیب پذیری بیشتر، قسمت های صنعتی و تراکم شهر نشینی را شامل می‌شود (شکل ۱۳).

بر اساس نقشه حاصل مشخص گردید که در هر دو مدل مناطق شمال شرقی و شرق محدوده مطالعاتی دارای پتانسیل آسیب پذیری بیشتر و مناطق غربی از پتانسیل آلودگی کمتری نسبت به سایر



شکل ۱۳- نقشه پتانسیل آسیب پذیری آبخوان دشت تبریز در مدل SINTACS

نتیجه گیری

ارتباط بین کاربری زمین و نقشه آسیب پذیری ذاتی مشخص گردید که بیشترین مساحت زمین‌های کشاورزی در محدوده آسیب پذیری کم و کم تا متوسط قرار دارند و توسعه کشاورزی در این نواحی تاثیر شدیدی بر آلودگی آب های زیرزمینی ایجاد نمی کند اما سایر نواحی باید تحت مراقبت و کنترل بیشتری قرار بگیرد. نقشه آسیب پذیری دیگری که به روش SINTACS تهیه گردید با نقشه آسیب پذیری تهیه شده به روش دراستیک مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت که نتایج بدست آمده از مدل دراستیک را تایید کرد. بنابراین، در این مناطق برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی بایستی مراقبت و کنترل بیشتری صورت گیرد و از استقرار واحدهای صنعتی آلاینده و یا توسعه کشاورزی در این مناطق پرهیز گردد.

در این پژوهش از مدل دراستیک برای ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت تبریز استفاده گردید. با توجه به نقشه آسیب پذیری نهایی، بیشترین آسیب پذیری مربوط به محدوده شمال شرقی منطقه مورد مطالعه است که دارای آسیب پذیری متوسط تا زیاد و زیاد می‌باشند. این مناطق که محل تمرکز واحدهای صنعتی بوده و مراکز شهری مهمی نظیر خود شهر تبریز را شامل می‌شود، ۲۲/۳۴ درصد از مساحت کل منطقه را به خود اختصاص می دهد. نتایج آماری حاصل از آنالیز حساسیت به روش حذف پارامتر و روش تک پارامتری نیز نشان می دهند که در هر دو مورد مهمترین پارامتر تأثیرگذار بر شاخص آسیب پذیری عمق سطح ایستابی می باشد. بر اساس بررسی

منابع

- ۱- رنجبر ع. ۱۳۸۳. ارزیابی استعداد بالقوه آب زیرزمینی دشت شیراز با استفاده از مدل DRASTIC در محیط GIS. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- ۲- خدائی ک، شهسواری ع. و اعتباری ب. ۱۳۸۵. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوبین به روش‌های DRASTIC و GODS. مجله زمین شناسی ایران. ۲(۴): ۷۳-۸۷.
- ۳- شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی. ۱۳۹۱. مطالعات نیمه تفصیلی آب‌های زیرزمینی دشت‌های تحت پوشش شرکت سهامی آب منطقه‌ای. شماره ۱۲-۱.
- ۴- یارمحمدی ا. ۱۳۸۵. محاسبه میزان تأثیر گذاری پارامترهای مدل DRASTIC بر آسیب پذیری آبخوان دشت عقیلی. بیست و پنجمین

- 5- Aller L., Bennett T., Lehr J.H., Petty R.J. and Hackett G. 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. Kerr Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency Report (EPA), 600/2:87-035.
- 6- Antonakos A.K., Lambrakis N.J. 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*, 333: 288- 304.
- 7- Babiker I.S., Mohamed M.A.A., Hiyama T. and Kato K. 2005. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. *Sci, Total Environ*, 345: 127-140
- 8- Cameron E., and Peloso G F. 2001. An application of fuzzy logic to the assessment of aquifers pollution potential. *J. Environmental Geology*, 40: 1305-1315.
- 9- Civita M. 1994. Le carte della vulnerabilita` degli acquiferi all'inquinamento. Teoria & practica (Aquifer vulnerability maps to pollution) (in Italian), Pitagora Ed, Bologna, 325.
- 10- Daly D. and Drew D. 1999. Irish Methodology for Karst aquifer protection. In: Beck, B.F., Pettit, A.J. and Herring, J.G. (eds.), 267-272.
- 11- Foster S.S. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy, In: van Duijvenbooden, W., Van Waegeningh, H.G. (Eds.), *Vulnerability of Soils and Groundwater to Pollution*, TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, Proceedings and Information, 38: 69-86.
- 12- Hammouri N. and Kuisi M. 2006. GIS-based evaluation of groundwater vulnerability in the Russeifa area, Jordan, *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, 23: 277-287.
- 13- Ibrahim M., and Jagath J. 2003. Multi-criteria decision analysis with probabilistic risk assessment for the management of contaminated groundwater. *Environmental Impact Assessment Review*, 23 (6): 683-721.
- 14- Lodwick W.A., Monson W. and Svoboda L. 1990. Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems: suitability analysis, *Int. J. Geogr. Intl. Sys*, 4 (4): 413-428.
- 15- Napolitano P. and Fabbri A.G. 1996. Single parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS Hydro GIS 96: application of geographical information systems in hydrology and water resources management. *Proceedings of Vienna Conference, IAHS Pub*, 235: 559-566.
- 16- McLay C.D.A., Dragten R., Sparling G., and Selvarajah N. 2001. Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches. *Environmental Pollution*. 115:191-204.
- 17- Piscopo G. 2001. Groundwater vulnerability map explanatory notes - Lachlan Catchment. NSW Department of Land and Water Conservation, Parramatta, NSW, Australia. 14 p.
- 18- Ribeiro L. 2000. Desenvolvimento de um índice para avaliar a susceptibilidade dos aquíferos à contaminação. Nota interna, (não publicada), ERSHA-CVRM, 8 p.
- 19- Tesoriero A.J., Inkpen E.L. and Voss F.D. 1998. Assessing ground-water vulnerability using logistic regression. *Proceedings for the Source Water Assessment and Protection 98 Conference*, Dallas, TX: 157- 65.
- 20- Todd D. and Mays K. 2005. *Ground water, Hydrology*. 3rd End. John Wiley and Sons. Inc, New York.
- 21- US EPA. 1985. DRASTIC: A standard system for evaluating groundwater potential using hydrogeological settings. Ada, Oklahoma, WA/EPA Series, 163.
- 22- Vrba J. and Zoporozec A. 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. *IAH International Contribution for Hydrogeology*, Hannover7 Heise, 16:131.



Investigation on Vulnerability of Tabriz-plain Unconfined Aquifer

M. Tabarmayeh^{1*} - A. Vaezi Hir²

Received:25-12-2013

Accepted:04-10-2014

Abstract

It is more expensive to remove pollution from groundwater than to prevent it. Delineation areas that are vulnerable to surface pollutants is one of methods to prevent pollution of groundwater resources. Focusing on this issue, DRASTIC model was used for evaluation of vulnerability of Tabriz-plain aquifer to pollution and the aquifer vulnerability map was prepared. The study shows that main zone of the aquifer's groundwater is low to moderate vulnerability to pollution (DRASTIC Index of 120-40) that consist of about 55.84% and areas with low, moderate to high, and high risk zones comprise 21.81, 22.08.% and 0.26% of the studied area, respectively. Two tests of sensitivity analyses were carried out: the map removal and the single-parameter sensitivity analyses. Based on the characteristics of the studied area, the results from both map removal and single-parameter sensitivity analyses showed that the depth to water table has the most significant impact on the vulnerability risk zone. By overlaying of the vulnerability and landuse maps the areas where are subjected to potential release of pollutants from the agricultural activities were determined. Nitrate ion concentration and SINTACS model confirms the results of the vulnerability assessment.

Keywords: Aquifer, DRASTIC, Tabriz-plain, Potential pollution, Sensitivity analyses GIS

1 , 2 - M.Sc Student and Assistant Professor of Earth Science Department, Faculty of Natural Science, University of Tabriz

(* - Corresponding Author Email: mehritabarmayeh@yahoo.com)