

## ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی دشتهای بازرگان و پلدشت با استفاده از مدل دراستیک بر اساس GIS

### چکیده

دشتهای بازرگان و پلدشت در شمال غرب ایران و شمال استان آذربایجان غربی قرار دارند. مهم ترین منابع آب موجود در دشتهای بازرگان و پلدشت را آب زیرزمینی تشکیل می دهد. در این تحقیق با توجه به ویژگی های هیدرولوژی و هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه، آسیب پذیری آبخوان در برابر عوامل آلاینده پهنه بندی شده است. برای این منظور از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پردازش و تجزیه و تحلیل کیفی آبخوان استفاده شده است. در مدل دراستیک از مشخصه های مؤثر در ارزیابی آسیب پذیری سفره آب زیرزمینی شامل عمق سطح ایستابی، تغذیه، جنس سفره، نوع خاک، شیب توپوگرافی، مواد تشکیل دهنده منطقه غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی استفاده می شود که به صورت هفت لایه در نرم افزار Arc View تهیه شدند و با وزن دهی و رتبه بندی و تلفیق هفت لایه فوق، نقشه نهایی آسیب پذیری آبخوان نسبت به آلودگی، با تقسیم بندی به سه محدوده آسیب پذیری کم، متوسط و زیاد تهیه و شاخص دراستیک برای کل منطقه بین ۷۱ تا ۱۷۵ برآورد شد. برای صحت سنجی نقشه نهایی آسیب پذیری از یون فلورئورید استفاده شد. با انطباق غلظت فلورئورید بر روی نقشه نهایی دراستیک مشخص شد که کلیه نقاطی که دارای فلورئورید بالا هستند، در محدوده با نیروی آلودگی زیاد قرار گرفته اند که این می تواند دقت و صحت مدل را مورد تأیید قرار دهد. از نظر وسعت می توان گفت که حدود ۳ درصد از منطقه مورد مطالعه در محدوده آسیب پذیری کم، ۳۷ درصد متوسط و ۶۰ درصد در محدوده آسیب پذیری زیاد قرار می گیرد که قسمت های وسیعی از شرق، غرب و بخشی از مرکز را شامل می شود. با توجه به حجم زیاد منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه و استفاده از آن در شرب، کشاورزی و پرورش آبزیان، حفاظت این مناطق به منظور جلوگیری از آلودگی و مدیریت بهینه منابع آب ضروری است.

### کلید واژه

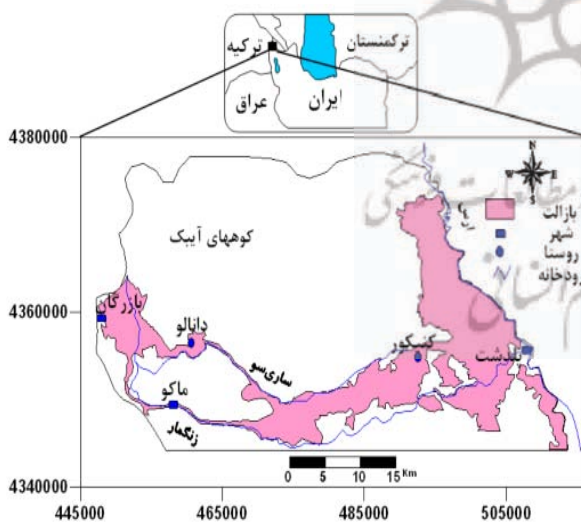
دشتهای بازرگان و پلدشت، آسیب پذیری آب زیرزمینی، مدل دراستیک، سیستم اطلاعات جغرافیایی

### سر آغاز

محیط آسیب پذیری را به وجود آورده، به طوری که آب زیرزمینی را به عنوان منبعی طبیعی در معرض آلاینده های صنعتی و کشاورزی قرار داده اند (Thapinta, and Hudak, 2003). مفهوم توانایی آسیب پذیری آبهای زیرزمینی اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ در فرانسه جهت هشدار درباره آلودگی آب ارائه شد (Vrba & Zaporozec, 1994). آسیب پذیری آبخوان، نیروی آن را برای نفوذ و پخش آلاینده ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی نشان می دهد، به طوری که آلودگی تولید شده در سطح زمین بتواند به آب زیرزمینی برسد و در آن پراکنده شود

سفره های آب زیرزمینی یکی از مهم ترین منابع آبی هر کشور است که متأسفانه بی توجهی به آن باعث نشر و انتقال آلاینده های مختلف به این منابع شده است. عدم شناخت صحیح، و یا عدم درک میزان آسیب پذیری سریع آبهای زیرزمینی ممکن است سبب ایجاد آلودگی های شدید در این منابع شود و چه بسا اتفاق می افتد که دیگر نتوان از این منابع با ارزش استفاده کرد و برای رفع آلودگی و مصرف مجدد، باید وقت و هزینه زیادی صرف شود. فعالیت های انسانی اخیر

رودخانه دائمی زنگمار، ساری سو و ارس جریانات سطحی و آب چشمه‌های منطقه را زهکشی می‌کنند (شکل شماره ۱). آب زیرزمینی در منطقه از طریق درز و شکاف‌های موجود در بازالت‌ها و از آبرفت‌های بسیار نفوذپذیر موجود در زیر بازالت‌ها جریان می‌یابد (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۴). بنابراین تغذیه از طریق درز و شکاف‌های موجود در بازالت‌ها و آهک‌ها صورت می‌گیرد. بازالت‌ها و آهک‌ها معمولاً بدون پوشش خاک بوده، و یا این‌که از خاک سطحی بسیار کم ضخامت برخوردارند و سطح آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین است، بنابراین آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی خیلی زیاد است و اگر هر نوع آلاینده‌ای در مسیر جریان آب قرار بگیرد، یا وارد آب زیرزمینی شود با فاصله زمانی کم و بدون کاهش غلظت از چشمه‌ها و چاه‌های منطقه بیرون خواهد آمد. علاوه بر این، در منابع آبی منطقه مورد مطالعه آلودگی فلوتورید وجود دارد که اخیراً مطالعاتی در خصوص منشاء و توزیع آن در منطقه صورت گرفته است (اصغری مقدم و فیجانی، ۱۳۸۶؛ Asghari Moghaddam & Fijani, 2008). کل آب شرب شهرستان پلدشت، اکثر روستاهای منطقه و قسمتی از آب شهرستان‌های ماکو و بازرگان از آب زیرزمینی موجود در گدازه‌های بازالتی تأمین می‌شود (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۶).



شکل شماره (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر توپوگرافی از مناطق کوهستانی و پست پوشیده از بازالت تشکیل یافته است. شیب مناطق بازالتی کم و در نتیجه سطح آب زیرزمینی فوق‌العاده بالاست. چشمه‌های موجود در بازالت‌ها نیز در مکان‌های متعددی تخلیه و در سطح وسیعی پخش می‌شوند. در فصول پر آبی بسیاری از پستی‌های محلی موجود در بازالت‌ها با آب پوشیده شده است.

(Worrall, and Besien, 2004; Babiker, et al., 2005). آسیب‌پذیری نوعی خصوصیت نسبی، بدون بعد و غیرقابل اندازه‌گیری است و به ویژگی‌های آبخوان، محیط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی بستگی دارد (Antonakos, and Lambrakis, 2007). ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد (Vrba, and Zoporozec, 1994).

در تمامی روش‌ها آسیب‌پذیری آبخوان براساس انتقال آلودگی از سطح زمین به لایه آبدار برآورد شده است. یکی از روش‌های متداول برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، روش دراستیک است که کاربرد زیادی داشته است. این روش در مناطق مختلف دنیا نظیر کره جنوبی (Kim, and Hamm, 1999)، امارات متحده عربی (Zabet, 2002)، هند (Rahman, 2007)، الجزایر (Samey, and Gang, 2008) و ایران (میرزایی، ۱۳۸۶) استفاده شده است. در این تحقیق برای بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی منطقه از مدل دراستیک و برای تهیه نقشه از محیط GIS استفاده شده است. هدف از این مطالعه، تهیه نقشه آسیب‌پذیری و تعیین مناطقی با نیروی بالای آلودگی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه است. با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه که برای مقاصد مختلف شرب، کشاورزی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مطالعه آسیب‌پذیری آبخوان، بخصوص مناطق بازالتی به علت وجود جریان مجرای و حفاظت این مناطق برای توسعه و مدیریت بهینه منابع آب ضروری به نظر می‌رسد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب کشور و شمال استان آذربایجان غربی قرار گرفته است که از غرب به کشور ترکیه و از شرق به رود ارس محدود می‌شود. مساحت کل منطقه ۱۶۰۰ کیلومتر مربع است که بیش از ۳۸۰ کیلومتر مربع آن توسط گدازه‌های بازالتی پوشیده شده است. شهرهای ماکو، پلدشت و بازرگان از شهرهای مهم منطقه است که ارتباط آنها از طریق جاده‌های درجه یک برقرار است. شکل شماره (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. براساس طبقه‌بندی آمبرژه، این منطقه جزء مناطق سرد و خشک محسوب شده و متوسط بارندگی سالانه آن ۳۰۰ میلیمتر است. میانگین تبخیر ماهانه از تشتک برای یک دوره ۱۰ ساله (۷۵ تا ۱۳۸۵) از ایستگاه پلدشت ۱۷۱۷ میلیمتر و از ایستگاه ماکو-بازرگان ۱۳۰۰ میلیمتر به‌دست آمده است. سه

صحرائی، بروندهای بازالتی بعد از این منطقه نیز در طول مسیر این رودخانه تا رسیدن مجدد به بازالت‌های مسیر زنگمار در نقاط زیادی قابل مشاهده است و احتمالاً بیشترین گدازه‌های بازالتی از طریق این مسیر به پایین دست منطقه جریان یافته است. مسیلی که از منطقه آداغان وارد رودخانه ساری‌سو می‌شود در بالا دست با عبور از سازندهای مارنی و رسوبات دانه‌ریز آبرفت‌های زیادی را وارد مسیر رودخانه می‌کند که در نتیجه روی بازالت‌های این قسمت از مسیر رودخانه در بیشتر مناطق با رسوبات آبرفتی کم ضخامت پوشیده شده است. علاوه بر این، بررسی کیفیت منابع آب دشت پلدشت، جریان آب زیرزمینی را به این دشت از طریق بازالت‌ها مسیر رودخانه ساری سو تأیید می‌کند، بنابراین لازم است که برای نشان دادن مسیر جریان گدازه‌ها، سنگ‌های بازالتی این قسمت نیز در نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان داده شوند (اصغری‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۷). مناطق مرتفع ناحیه جنوبی نیز بیشتر با سازندهای آهکی، دولومیتی، شیلی و شیستی و تشکیلات قم پوشیده شده است. از نظر هیدروژئولوژیکی در منطقه مورد مطالعه علاوه بر سازندهای شیلی و مارنی و کنگلومرا که با وسعت کمی در منطقه دیده می‌شوند، دو نوع سازند سخت مهم وجود دارد: گدازه‌های بازالتی که بیشتر زمین‌های پست و مسیر رودخانه‌های قدیمی را می‌پوشانند و دیگری آهک‌های سازند قم و آهک‌های توده‌ای و دولومیت‌های سازند روته که در بعضی مناطق بازالت‌ها را احاطه کرده‌اند. شایان ذکر است که سازندهای آبدار منطقه را بیشتر بازالت‌های کواترنری، آهک پرمین و سازند قم (رخساره آهکی آن) تشکیل می‌دهند. آهک‌های مجاور بازالت‌ها، بویژه آهک‌های سازند روته بشدت کارستی شده و از نفوذپذیری بسیار بالایی برخوردارند، به طوری که در پشت تپه‌های شمال شرق کنیکور (۱۲ کیلومتری غرب شهرستان پلدشت) چشمه پرآب کوس بلاغی با آبدی بیش از ۶۰ لیتر بر ثانیه وجود دارد، همچنین در ۵ کیلومتری شمال شرق شهرستان بازرگان در نزدیکی روستای یاریم قیه آهک‌های پرمین و الیگوس در نزدیکی مرز بازالت‌ها بشدت کارستی شده و تشکیل غار داده‌اند. براساس مطالعات ژئوالکتریکی انجام گرفته در دشت بازرگان، بیشترین عمق سنگ کف ۱۵۰ متر تخمین زده شده است. در دو حلقه چاه آب شرب حفر شده در این دشت، ضخامت بازالت بیش از ۵۴ متر گزارش شده است. در دشت پلدشت بیشترین ضخامت بازالت‌ها حدود ۴۰ متر و ضخامت آبرفت قرار گرفته در زیر بازالت‌ها نیز در بعضی نقاط بیش از ۱۰۰ متر گزارش شده است. رسوبات آبرفتی زیر بازالت‌ها از نفوذپذیری بسیار خوبی برخوردارند. تخلخل و هدایت هیدرولیکی

مناطق مورد استفاده از آبهای خروجی از چشمه‌ها در مسافت نسبتاً دوری قرار گرفته‌اند و آب در کانال‌های روباز دهها کیلومتر جریان پیدا می‌کند تا به محل مصرف برسد. در برخی نواحی از جمله منطقه کنیکور و بازرگان آب زیرزمینی به صورت تراوش در سطح ظاهر شده و احیاناً باتلاق‌هایی را تشکیل می‌دهد. این وضعیت باعث تخییر شدید از آب زیرزمینی و به هدر رفتن آن و تنزل کیفیت آب منطقه می‌شود (اصغری‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۴).

### زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از ورقه زمین‌شناسی ماکو به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ در زون زمین‌ساختی البرز-آذربایجان است. بازالت‌های کواترنر که بر روی انباشته‌های قرمز فوقانی و کنگلومرای پلیوسن-کواترنر جریان یافته و مناطق پست و کم ارتفاع را پوشانده، در منطقه گسترش زیادی دارند (Alavi Naini, Bolurchi, 1973).

این بازالت‌ها بخشی از گدازه‌های حاصل از فوران آتشفشانی کوه‌های آرات است (Yilmaz, et al., 1998) که گسترده‌ترین سازند در ورقه ماکو را تشکیل داده‌اند. شکل شماره (۱) موقعیت بازالت‌ها و مسیرهای جریان آن به دشت پلدشت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود کوه‌های بلند آبیک (شمال شرق بازرگان و روستای دانالو) با ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر با روند شمال غربی - جنوب شرقی، هم امتداد با آرات بزرگ و کوچک، ورقه ماکو را به نواحی شمالی شامل بورالان - شوطلو - پلدشت و جنوبی شامل بازرگان - ماکو - پلدشت تقسیم کرده است. در پایین دست این کوه‌ها بازالت‌ها از طریق مسیر رودخانه‌های ساری‌سو و زنگمار جریان یافته‌اند و مناطق مرتفع این ناحیه به وسیله سازندهای آهکی، دولومیتی، شیلی و شیستی پوشیده شده است. در ناحیه جنوبی دو افتادگی اساسی وجود دارد که یکی از آنها مسیر ساری‌سو و دیگری مسیر زنگمار را تشکیل می‌دهد. این دو مسیر در شمال ماکو توسط کوه مرتفع قیه‌داغ کاملاً از هم جدا شده‌اند ولی در قسمت‌های بالایی و پایین دست مناطق مرتفع برجسته‌ای بین این دو مسیر وجود ندارد. بنابراین جریان گدازه که از مسیر ساری‌سو وارد دشت بازرگان می‌شود بخشی از آن از جنوب شرق بازرگان (از روستاهای میلان و سنگر) وارد دره ماکو شده و از طریق مسیر زنگمار و قسمتی نیز از مسیر ساری‌سو تا پلدشت و شمال غرب پلدشت ادامه یافته است. سازمان زمین‌شناسی ایران در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه جریان گدازه در مسیر ساری‌سو (مسیر اصلی گدازه‌های بازالتی) را فقط تا روستاهای تخته دوز و دانالو (شمال ماکو) ادامه داده است، حال آن‌که طبق مشاهدات

هیدروژنولوژیکی برآورد می‌شود (Evans, and Mayers, 1990; Al-Adamat, et al., 2003; Babiker, et al., 2005). این عوامل شامل عمق آب زیرزمینی<sup>۳</sup>، تغذیه<sup>۴</sup>، محیط آبخوان<sup>۵</sup>، محیط خاک<sup>۶</sup>، توپوگرافی، یا شیب سطح زمین<sup>۷</sup>، مواد تشکیل دهنده زون غیراشباع<sup>۸</sup> و هدایت هیدرولیکی<sup>۹</sup> هستند. این عوامل به صورت عددی برآورد می‌شوند، به طوری که به هر کدام از آنها با توجه به پتانسیل آلودگی آن، نرخی<sup>۱۰</sup> 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<sup>۱۱</sup> ضرب شده که براساس معیار کیفی، نه کمی، (از ۱ تا ۵) متغیر براساس قضاوت نویسنده تعیین می‌شود (Panagopoulos, et al., 2006). 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 می‌توانند تغییر یابند. جدول شماره (۱) این عوامل و ضرایب وزنی اصلی و تغییر یافته آنها را با در نظر گرفتن شرایط منطقه نشان می‌دهد (فیجانی، ۱۳۸۶).

بازالت‌ها به ترتیب ۱۰ تا ۱۵ درصد و  $10^{-9}$  تا  $10^{-2}$  متر بر ثانیه برآورد شده است. این آبخوان بیشتر از نوع آزاد بوده و ضریب توانایی انتقال آن از داده‌های آزمایش افت پله‌ای برای ۳۴ حلقه چاه بهره‌برداری به روش ژاکوب به طور متوسط ۱۱۶ متر بر روز (مینیمم ۲۲ و ماکزیمم ۱۰۶۰) به دست آمده است (Asghari moghaddam & Fijani, 2009).

### روش شناسی

ساده‌ترین و رایج‌ترین روش برای برآورد 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 (LeGrand, 1964). محصول تکامل یافته این روش‌ها، مدل‌های PCSM<sup>۲</sup> هستند، در این مدل‌ها علاوه بر طبقه‌بندی مشخصه‌های مختلف، ضرایب وزنی نسبی برای هر عامل تعیین می‌شود (Panagopoulos, et al., 2006). متداول‌ترین روش PCSM برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، روش دراستیک است که توسط انجمن ملی آب زیرزمینی با همکاری آژانس حفاظت محیطی ایالات متحده ایجاد شده است (Aller, et al., 1987). در این روش هفت عامل، یا مشخصه قابل اندازه‌گیری برای سیستم

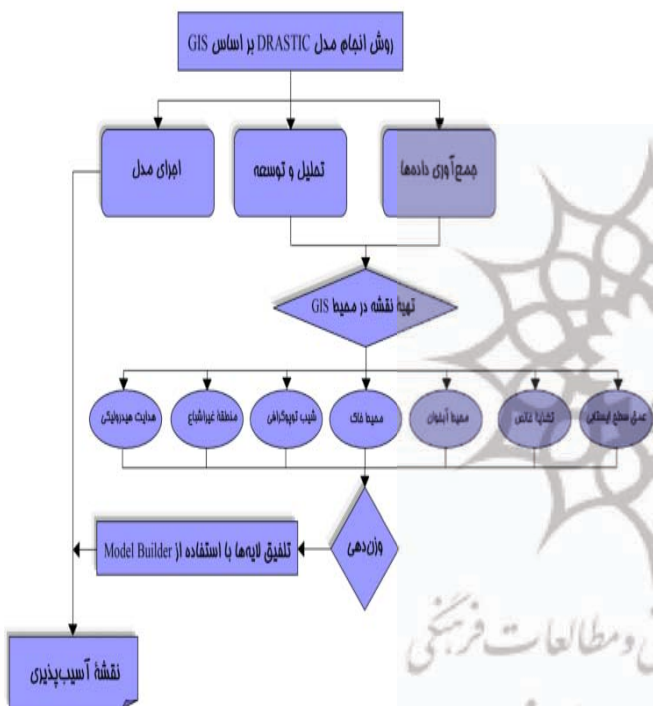
### جدول شماره (۱): عوامل دراستیک و ضرایب وزنی اصلی و تغییر یافته آنها

عوامل دراستیک	وزن‌های اصلی دراستیک	وزن‌های تغییر یافته دراستیک با توجه به شرایط منطقه
D	۵	۵
R	۴	۳
A	۳	۳
S	۲	۲
T	۱	۲
I	۵	۳
C	۳	۴

از محیط GIS استفاده کرد. در محیط GIS امکان تلفیق مجموعه داده‌های مختلف برآورد شده با استفاده از روش فوق وجود دارد. مدل دراستیک ابتدا برای استفاده در سیستم اطلاعات جغرافیایی طراحی نشده بود، اما تحقیقات نشان دادند که چنین اجرایی از این مدل مزایای بسیاری دارد (Merchant, 1994). با استفاده از امکانات تحلیل فضایی که در GIS قابل دسترسی است، لایه‌های اطلاعاتی براساس هفت

هدف مطالعات آسیب‌پذیری آب زیرزمینی، تهیه نقشه و تعیین مناطقی با نیروی بالای آسیب‌پذیری است. استفاده از روش مناسب برای تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری در یک منطقه بستگی به وجود داده‌ها و توزیع آنها، موقعیت هیدروژنولوژی و مقیاس و هدف نقشه دارد. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان می‌توان

گرفت که از آن جمله می‌توان توابع آنالیز توپولوژیکی مانند بریدن<sup>۱۳</sup>، ادغام کردن<sup>۱۴</sup>، بر هم نهی<sup>۱۵</sup> و توابع تحلیلی سطوح مانند استخراج شیب از مدل ارتفاعی رقومی<sup>۱۶</sup> را نام برد. از تبدیل‌های انجام گرفته می‌توان به تبدیل نقطه به ناحیه که شامل درون‌یابی کریجینگ<sup>۱۷</sup> (یکی از ساده‌ترین روش‌های تخمین مکانی که با توجه به نحوه توزیع مکانی متغیر مورد نظر به تخمین مقادیر مجهول در موقعیت‌های مکانی مطلوب و معلوم می‌پردازد) و تبدیل بردار به رستر است، اشاره کرد.



شکل شماره (۲): روش مدل‌سازی دراستیک بر اساس GIS

### عمق آب زیرزمینی

عمق آب زیرزمینی یکی از عوامل مهم در کنترل توانایی آلاینده برای رسیدن به آبخوان است. این مشخصه به دلیل تعیین ضخامت موادی که آب نفوذی باید قبل از رسیدن به آبخوان آن را طی کند، اهمیت دارد. عمق کم آب زیرزمینی باعث می‌شود آلاینده‌ها سریع‌تر به سیستم آب زیرزمینی راه یابند. زمان عبور آب و در نتیجه احتمال از بین رفتن آلودگی با عمق سطح ایستابی در سطوح عمیق‌تر افزایش می‌یابد. برای تهیه این لایه، ابتدا موقعیت و عمق سطح ایستابی چاه‌های موجود در منطقه به محیط اکسل وارد و سپس به فرمت قابل قبول برای نرم‌افزار ArcView تبدیل شد. به منظور ایجاد این لایه به حالت

مؤلفه دراستیک ایجاد می‌شوند. وقتی مقادیر دراستیک از طریق GIS نشان داده شوند، رابطه فضایی بین اجرای مدیریت اراضی و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی مشخص می‌شود (Soper, 2006). در این تحقیق نیز، برای بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در منطقه و تهیه نقشه از محیط GIS استفاده شده است. برای اجرای مدل دراستیک بر اساس GIS نرم‌افزار ArcView-GIS استفاده شده است. یکی از دلایل استفاده از این نرم‌افزار برخورداری آن از برنامه‌های مکمل<sup>۱۸</sup> برای کاربرد پیشرفته است که امکانات تخصصی مورد نیاز را به نرم‌افزار می‌افزایند (مطیعی، ۱۳۸۲). از جمله این برنامه‌ها که در این تحقیق نیز به کار رفته‌اند، می‌توان به Spatial Analyst برای تحلیل‌های مکانی، Geoprocessing برای ویرایش داده‌های مکانی و Model Builder به منظور فراهم‌سازی محیطی جهت ساخت انواع مدل‌ها با توانایی‌های ویژه اشاره کرد.

### اجرای مدل دراستیک بر اساس GIS

برای اجرای این مدل ابتدا اطلاعات هیدروژئولوژی لازم در ارتباط با هفت مؤلفه دراستیک جمع‌آوری می‌شوند. بر اساس اطلاعات به دست آمده، مدل مذکور برای قسمتی از منطقه مطالعاتی که از داده‌های به نسبت مناسبی برخوردار بود، اجرا شد. داده‌های جمع‌آوری شده وارد محیط GIS شده و با توجه به موقعیت مکانی آنها بر روی نقشه منطقه عملی می‌شوند.

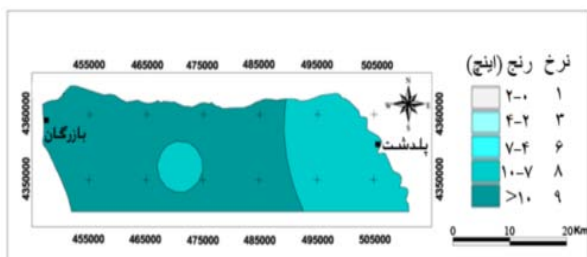
با توجه به نرخ‌های هر یک از مشخصه‌ها نقشه پهنه‌بندی هر کدام از آنها به دست می‌آید. نقشه‌های تهیه شده با استفاده از برنامه جانبی Model Builder در نرم‌افزار ArcView-GIS با وزن‌دهی و رتبه‌بندی تلفیق شده و نقشه نهایی به دست می‌آید. شکل شماره (۲) این فرایند مدل‌سازی را به صورت گرافیکی نشان می‌دهد.

### بحث و بررسی

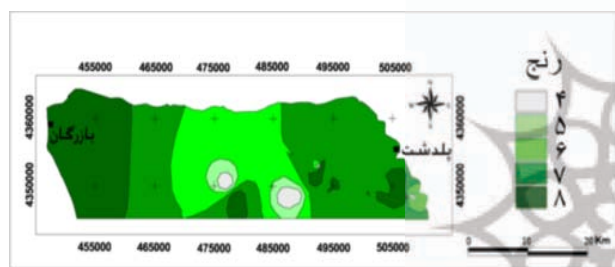
به منظور اجرای مدل دراستیک بر اساس GIS برای ارزیابی نیروی آلودگی آب زیرزمینی در منطقه، مراحل آماده‌سازی نقشه‌ها، وزن‌دهی و تلفیق اعمال شده است. داده‌های مورد نیاز برای تهیه مشخصه‌های دراستیک از منابع مختلف و با فرمت‌های گوناگون جمع‌آوری شده است. پایگاه اطلاعاتی برای داده‌های با فرمت نقطه‌ای ابتدا در محیط نرم‌افزار اکسل تهیه شده، سپس به محیط GIS آورده شد.

تمامی داده‌ها به سیستم تصویر درآمدند. همچنین توابع تحلیلی مکانی مختلفی بر روی داده‌ها برای تبدیل آنها به نقشه صورت

اشباع) و با استفاده از گزارش‌ها و نقشه‌های زمین‌شناسی و لاگ چاههای منطقه، به هر کدام از آنها نرخ اختصاص داده شد و با اعمال درون‌یابی لایه محیط آبخوان به دست آمد (شکل شماره ۵).



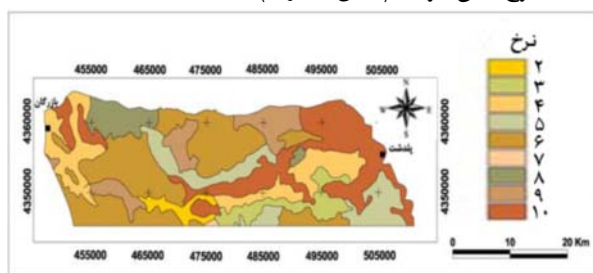
شکل شماره (۴): نقشه پهنه‌بندی تغذیه آب زیرزمینی



شکل شماره (۵): نقشه پهنه‌بندی محیط آبخوان

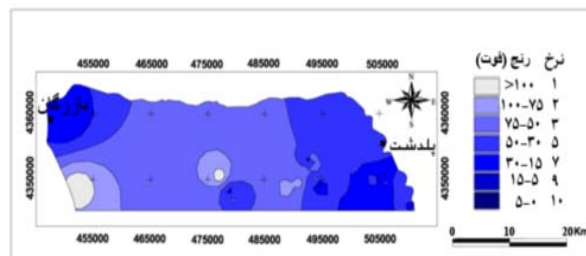
### محیط خاک

محیط خاک میزان آب نفوذی را که به سطح آب زیرزمینی می‌رسد، تعیین می‌کند و بی‌شک تأثیر بسزایی بر چگونگی حرکت آلاینده‌ها دارد. بافت محیط خاک بر میزان تغذیه و توانایی آلاینده‌ها برای نفوذ به محیط وادوز تأثیر می‌گذارد. برای تهیه این لایه، از نقشه خاک منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده شد. بدین ترتیب که پس از اسکن کردن، نقشه مورد نظر در نرم‌افزار اتوکد رقمی شد. با توجه به چندضلعی‌های ایجاد شده که هر کدام نشان دهنده تپ خاک موجود در منطقه بوده‌اند و با توجه به گزارش‌ها در نقشه مورد نظر به هر کدام از آنها یک نرخ تعلق گرفت (شکل شماره ۶).



شکل شماره (۶): نقشه پهنه‌بندی محیط خاک

رستری و برای تلفیق با لایه‌های دیگر، از روش کریجینگ برای تهیه نقشه عمق آب زیرزمینی استفاده شد (شکل شماره ۳).



شکل شماره (۳): نقشه پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی

### تغذیه آب زیرزمینی

یکی از راههای اصلی انتقال آلاینده‌ها به آب زیرزمینی، تغذیه است. تغذیه بیشتر سرعت بالاتری را برای انتقال آلاینده‌ها به سطح آب زیرزمینی فراهم می‌آورد. بارش، منبع اولیه آب زیرزمینی است، به دلیل این‌که تعیین مقدار تغذیه نسبت به سایر مقادیر مشخصه‌های دراستیک از دقت کمتری برخوردار است و دستیابی به آن نیز مشکل است، بنابراین محدوده‌های تغذیه گسترده‌تر ارائه شده‌اند. منبع اصلی تغذیه به بازالت‌های منطقه، بیشتر نفوذ مستقیم از بارندگی است. تغذیه از طریق بارش مستقیم در مناطق مختلف بازالتی جهان بین ۱۰ تا ۲۰ درصد کل بارندگی تخمین زده شده است (Singhal, & Gupta, 1999). آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه از طریق درز و شکاف‌های موجود در بازالت‌ها و از آبرفت‌های بسیار نفوذپذیر موجود در زیر بازالت‌ها جریان می‌یابد. تغذیه به آبخوان از طریق درز و شکاف‌های موجود در بازالت‌ها و آهک‌ها صورت می‌گیرد. بنابراین مقدار تغذیه از بارندگی بسیار زیاد است. به منظور تهیه این لایه از داده‌های مربوط به بارندگی در منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

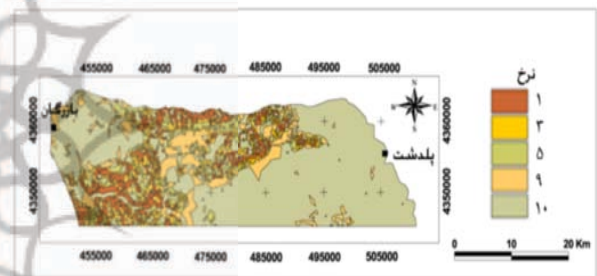
بدین صورت که نقشه توزیع بارندگی با اعمال درون‌یابی کریجینگ تهیه شده و در نهایت نقشه تغذیه آب زیرزمینی برای منطقه با اعمال ضریب مناسب به دست آمد (شکل شماره ۴).

### محیط آبخوان

محیط آبخوان شامل فضاهای خالی و شکستگی‌هایی است که آب را در خود نگه داشته و عبور می‌دهند. بنابراین مواد تشکیل دهنده آبخوان بر جریان درون آن تأثیر می‌گذارد. این مسیر، جریان، حرکت آلاینده‌ها را از طریق این محیط تعیین می‌کند (Aller, et al., 1987). با توجه به جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان (بخش

## توپوگرافی

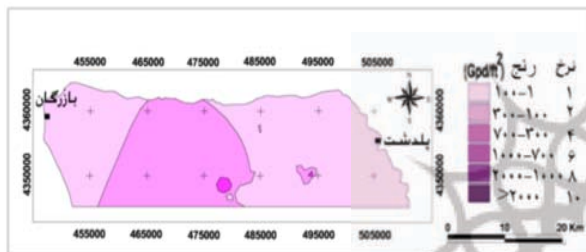
توپوگرافی برحسب شیب و تغییرات آن عامل کنترل‌کننده‌ای در نفوذ آلاینده‌ها و تشکیل رواناب به شمار می‌رود. در شیب کم، فرصت نفوذ بالاتر و نیروی آلودگی بیشتر برای نفوذ آلاینده‌ها وجود دارد، در حالی‌که در شیب بیشتر از ۱۸ درجه، تشکیل رواناب بیشتر و نفوذ کمتر می‌شود، بنابراین آلاینده‌ها کمتر به سیستم آب زیرزمینی راه می‌یابند. برای تهیه نقشه شیب از مدل ارتفاعی رقومی استفاده شد. بدین ترتیب که نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ مربوط به منطقه پس از اسکن کردن، در نرم‌افزار اتوکد رقومی شده و با فرمت مناسب به نرم‌افزار ArcView وارد شده و مدل ارتفاعی رقومی منطقه تهیه و نقشه شیب از مدل ارتفاعی رقومی استخراج شد (شکل شماره ۷).



شکل شماره (۷): نقشه شیب منطقه

## هدایت هیدرولیکی

هدایت هیدرولیکی توسط حفره‌ها، شکستگی‌ها و سطوح لایه‌بندی تعیین می‌شود و میزان آب نفوذیافته را به سیستم از طریق محیط آبخوان مشخص می‌سازد. برای به‌دست آوردن این لایه از اطلاعات موجود در منطقه (توانایی انتقال و ضخامت بخش اشباع) استفاده شد. بدین ترتیب که این اطلاعات به محیط اکسل وارد و سپس به فرمت قابل قبول برای نرم‌افزار ArcView تبدیل شد. به منظور ایجاد این لایه به حالت رستری از روش کریجینگ استفاده شد و نقشه هدایت هیدرولیکی به دست آمد (شکل شماره ۹).



شکل شماره (۹): نقشه پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی

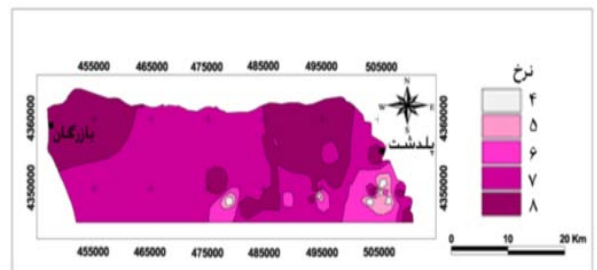
## ترکیب و تلفیق لایه‌ها

در GIS برای ترکیب لایه‌های رستری از تابع همپوشانی<sup>۱۸</sup> استفاده می‌شود. 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<sup>۱۹</sup> و وزنی<sup>۲۰</sup> عمل ترکیب داده‌ها را انجام می‌دهد. با توجه به این‌که لایه‌های مورد نظر در مدل دراستیک هر یک دارای وزن خاصی بودند، برای ترکیب و تلفیق داده‌ها از تابع همپوشانی وزنی با به کارگیری برنامه‌جانی Model Builder برای تلفیق لایه‌ها استفاده شد. برای این کار تمام لایه‌ها همراه با ضرایب آنها به صورت درصد برای مدل تعریف شده و سپس عمل تلفیق لایه‌های مورد نظر صورت می‌پذیرد. نقشه نهایی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلودگی، با تقسیم‌بندی به سه محدوده آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد در شکل شماره (۱۰) نشان داده شده است. شاخص دراستیک برای کل منطقه بین ۷۱ تا ۱۷۵ برآورد شده است.

برای صحت‌سنجی نقشه نهایی آسیب‌پذیری از یون فلوئورید (به عنوان آلاینده طبیعی در منطقه) استفاده شد (شکل شماره ۱۱). با انطباق غلظت فلوئورید بر روی نقشه نهایی دراستیک مشخص شد که

## محیط غیر اشباع

بافت زون غیراشباع، زمان انتقال آلاینده‌ها را از طریق این محیط تعیین می‌کند. برای تهیه این نقشه روشی مشابه با مشخصه محیط آبخوان استفاده شد، با این تفاوت که ضخامت و جنس لایه‌های بالای سطح ایستابی در لاگ چاهها استفاده شد (شکل شماره ۸).



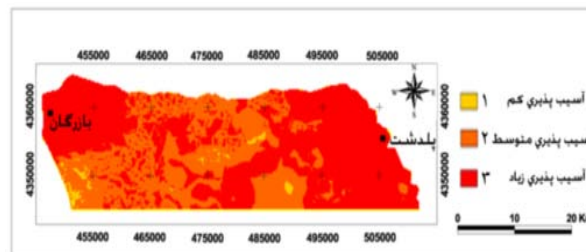
شکل شماره (۸): نقشه پهنه‌بندی محیط غیر اشباع

نرم افزار ArcView-GIS استفاده شده است. با وزن دهی و رتبه بندی و تلفیق هفت لایه دراستیک در محیط GIS، نقشه نهایی آسیب پذیری آبخوان نسبت به آلودگی، با تقسیم بندی به سه محدوده آسیب پذیری کم، متوسط و زیاد به دست آمد. شاخص دراستیک برای کل منطقه بین ۷۱ تا ۱۷۵ برآورد شده است. برای صحت سنجی نقشه نهایی آسیب پذیری از یون فلئورید استفاده شد. با انطباق غلظت فلئورید بر روی نقشه نهایی دراستیک مشخص شد که کلیه نقاطی که دارای فلئورید بالا هستند در محدوده ای با نیروی آلودگی زیاد قرار گرفته اند که این می تواند دقت و صحت مدل را مورد تأیید قرار دهد. از نظر وسعت می توان گفت که حدود ۳ درصد از منطقه مورد مطالعه در محدوده آسیب پذیری کم، ۳۷ درصد متوسط و ۶۰ درصد در محدوده آسیب پذیری زیاد قرار می گیرد که قسمت های وسیعی از شرق، غرب و بخشی از مرکز را شامل می شود. با توجه به نقشه به دست آمده می توان گفت که به طور کلی نواحی بازالتی از نیروی بیشتری برای آلودگی نسبت به دیگر مناطق برخوردارند که احتمالاً در ارتباط با هدایت هیدرولیکی خوب آنها و نداشتن پوشش خاک سطحی مناسب است. با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه که برای مقاصد مختلف مورد استفاده قرار می گیرد، حفاظت این مناطق به منظور جلوگیری از آلودگی و مدیریت بهینه منابع آب ضروری است.

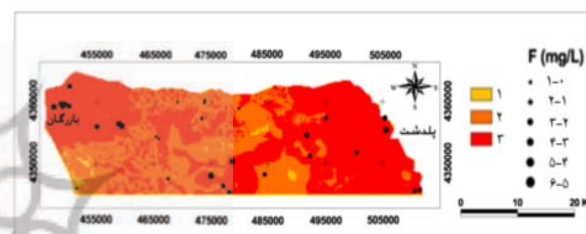
#### یادداشت ها

- 1- Drastic
- 2- Point Count System Models
- 3-Depth of groundwater
- 4-Recharge
- 5-Aquifer media
- 6-Soil media
- 7-Topography
- 8-Impact of the vadose zone media
- 9-Conductivity
- 10-Rate
- 11-Weight
- 12- Extension
- 13- Clip
- 14- Merge
- 15- Overlay
- 16- Digital Elevation Model (DEM)
- 17- Kriging
- 18- Overlay
- 19- Arithmetic
- 20- Weighted

کلیه نقاطی که دارای فلئورید بالا هستند، در محدوده با نیروی آلودگی زیاد قرار گرفته اند که این می تواند دقت و صحت مدل را تأیید کند.



شکل شماره (۱۰): نقشه پهنه بندی آسیب پذیری منطقه



شکل شماره (۱۱): انطباق غلظت فلئورید بر روی نقشه نهایی آسیب پذیری منطقه

#### نتیجه گیری

در این تحقیق زمین شناسی، منطقه مطالعاتی با استفاده از نقشه های موجود و مشاهدات صحرایی دقیق بررسی و با توجه به ویژگی های هیدرولوژی و هیدروژئولوژی منطقه، آسیب پذیری آبخوان در برابر عوامل آلاینده پهنه بندی شده است. در بررسی نقشه های منطقه مشاهده شد که سازمان زمین شناسی ایران در نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه جریان گدازه در مسیر ساری سو (مسیر اصلی گدازه های بازالتی) را فقط تا شمال ماکو ادامه داده است، حال آنکه طبق مشاهدات صحرایی، بروندهای بازالتی بعد از این منطقه نیز در طول مسیر این رودخانه در مناطق زیادی قابل مشاهده است و احتمالاً بیشترین گدازه های بازالتی از طریق این مسیر به پایین دست منطقه جریان یافته است، در حالی که بازالت های این قسمت از مسیر رودخانه در بیشتر نقاط با رسوبات آبرفتی کم ضخامت پوشیده شده است. بنابراین لازم است که جهت نشان دادن مسیر جریان گدازه ها، سنگ های بازالتی این قسمت نیز در نقشه زمین شناسی منطقه نشان داده شود. به منظور ارزیابی آسیب پذیری منطقه، از مدل دراستیک بر اساس GIS با به کارگیری



**منابع مورد استفاده**

- اصغری‌مقدم، ا.، جمیری، ر.، محمدی، ع. ۱۳۸۴. مطالعهٔ مشخصات هیدروژئولوژیکی بازالت‌های منطقهٔ ماکو جهت بهره‌برداری بهینه از آبهای زیرزمینی با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی و GIS. طرح تحقیقاتی. دانشگاه تبریز، گروه زمین‌شناسی، ۱۵۵ صفحه.
- اصغری‌مقدم، ا.، جمیری، ر.، محمدی، ع. ۱۳۸۶. منشاء غلظت بالای فلئورید در آبهای زیرزمینی گدازه‌های بازالتی دشت‌های بازرگان - بلدشت و تأثیر نامطلوب آن بر سلامتی اهالی منطقه. مجلهٔ محیط‌شناسی دانشگاه تهران، دانشکدهٔ محیط زیست، سال سی و سوم، شمارهٔ ۴۱، ۲۵-۳۲.
- اصغری‌مقدم، ا.، فیجانی، الف. ۱۳۸۷. مطالعات هیدروژئولوژیک و هیدروشیمیایی آبخوان‌های بازالتی و کارستیک منطقهٔ ماکو در ارتباط با سازندهای زمین‌شناسی منطقه. مجلهٔ علوم زمین سازمان زمین‌شناسی ایران. ۶۷-۲-۱۳.
- اصغری‌مقدم، ا.، فیجانی، ا. و ندیری، ع. ۱۳۸۷. تأثیر بازالت‌های منطقهٔ ماکو در غلظت فلئورید منابع آب زیرزمینی. طرح تحقیقاتی، دانشگاه تبریز، گروه زمین‌شناسی، ۱۰۷ صفحه.
- فیجانی، ا. ۱۳۸۶. بررسی هیدروژئولوژی و هیدروشیمی آبخوان‌های بازالتی ابرفتی دشت‌های بازرگان و بلدشت. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد آب‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ۱۴۱ صفحه.
- مطیعی، ه. ۱۳۸۲. آشنایی با ArcView-GIS. انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق.
- میرزایی، ل. ۱۳۸۶. ارزیابی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS. مطالعهٔ موردی دشت ورامین. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- 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 ±
- Alavi Naini, M., M.H., Bolurchi . 1973. Explanatory text Maku Quadrangle Map 1:250000. Geological Survey of Iran.
- Aller, L., et al. 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings, EPA 600/2-87-035. Ada, Oklahoma: U.S. Environmental Protection Agency.
- 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. -RXIQDRI + \ GURQJ ±
- Asghari Moghaddam, A., E., Fijani . 2008. Distribution of fluoride in groundwater of Maku area, northwest of Iran. Environment Geology, 56, 281-287.
- Asghari Moghaddam, A., E., Fijani . 2009. Hydrogeologic framework of the Maku area basalts, north western Iran. Hydrogeology Journal, 17, 949-959.
- Babiker, I.S., et al. 2005. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara, ±
- Evans, B.M., W.L., Mayers . 1990. A GIS-based approach to evaluating regional groundwater pollution ±

- LeGrand, H.E. 1964. System for evaluating the contamination potential of some waste sites. Journal of Hydrology: 15: 1-10.
- Kim, Y.J., S.Y., Hamm. 1999. Assessment of the potential for ground water contamination using the DRASTIC/EGIS technique, Cheongju area, South Korea: Hydrogeol. J., 7 (2): 227-235.
- Merchant, J. 1994. GIS-based groundwater pollution hazard assessment: a critical review of the DRASTIC model. Environmental Modelling: 8: 1-14.
- 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 (published online).
- Rahman, A. 2007. A GIS based model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Algarh, India. Applied Geogr., 28 (1): 32-53.
- Samey, A.A., C., Gang. 2008. A GIS based DRASTIC model for the assessment of groundwater vulnerability to pollution in west Mitidja: Blida city, Algeria. Research Journal of Applied Sciences 3 (7): 500-507.
- Singhal, B.B.S., R.P., Gupta. 1999. Applied Hydrogeology of Fractured Rocks. Kluwer Academic Publisher. 400 p.
- Soper, R.C. 2006. Groundwater vulnerability to agrochemicals: A GIS-based DRASTIC model analysis of Carroll, Chariton, and Saline Counties, Missouri, USA. Master science thesis, University of Missouri-Columbia.
- Thapinta, A., P., Hudak. 2003. Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential in the upper Midwest. Environmental Modelling: 17: 1-14.
- Vrba, J., A., Zaporozec. 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International Contributions to Hydrogeology. Verlag Heinz Heise GmbH and Co. KG.
- Worrall, F., T., Besien. 2004. The vulnerability of groundwater to pesticide contamination estimated directly using the DRASTIC model. Environmental Modelling: 18: 1-14.
- Yilmaz, Y., Y., Guner, F., Saroglu. 1998. Geology of the quaternary volcanic centers of the east Anatolia. Journal of Volcanology and Geothermal Research 85, 173-210.
- Zabet, T.A. 2002. Evaluation of aquifer vulnerability to contaminant potential using DRASTIC method. Environ. Geol., 43(1-2): 203-208.