



## ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی حوزه طرقله شانديز استان خراسان با استفاده از تکنیک های دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی

مهری انتظاری<sup>۱</sup>، فاضل امیری<sup>۲\*</sup>، طیبه طباطبایی<sup>۳</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه محیط زیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

۲. دانشیار گروه محیط زیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

۳. استادیار گروه محیط زیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

### مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۵ آبان ۱۳۹۶

پذیرش: ۷ خرداد ۱۳۹۷

دسترسی اینترنتی: ۳۰ آبان ۱۳۹۷

واژه های کلیدی:

آسیب پذیری آب های زیرزمینی

دراستیک

سیستم اطلاعات جغرافیایی

طرقله - شانديز

### چکیده

آلودگی آب های زیرزمینی در حوزه طرقله شانديز در استان خراسان رضوی به دلیل افزایش جمعیت، توسعه صنعتی و همچنین فعالیت های کشاورزی یک مسئله مهم است. هدف از این تحقیق تهیه نقشه آسیب پذیری آب های زیرزمینی در این حوزه با استفاده از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی می باشد. داده های هفت پارامتر (سطح آب زیرزمینی، شبکه تغذیه، محیط آبخوان، جنس خاک، توپوگرافی، ناحیه غیراشباع، هدایت هیدرولیکی) مدل دراستیک جمع آوری و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به نقشه تبدیل شد. نتایج نشان داد که تغییرات شاخص دراستیک در محدوده ۲۲۵-۶۸ است. که خطر آلودگی آب های زیرزمینی منطقه در پنج ناحیه با آسیب پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی گردید. نقشه دراستیک نشان می دهد که ۱۵/۹٪ در آسیب پذیری خیلی کم، ۲۰/۲۹٪ در آسیب پذیری کم، ۲۶/۳۳٪ در آسیب پذیری متوسط، ۲۴/۳۴٪ در آسیب پذیری زیاد و ۱۳/۱۴٪ در آسیب پذیری خیلی زیاد قرار دارد. جریان آب رودخانه از شمال شرق منطقه سبب می شود که آب هنگام جریان به پایین دست کودهای زمین های کشاورزی را به آب های زیرزمینی تخلیه و از این رو منجر به آسیب پذیری آب های زیرزمینی این منطقه شود. صحت نقشه آسیب پذیری با انطباق نقشه تغییرات نترات با نقشه شاخص دراستیک تعیین گردید. نتایج نشان داد که کلیه نقاطی که دارای یون نترات بالا هستند در محدوده آلودگی خیلی زیاد قرار گرفته اند که این می تواند دقت و صحت مدل را تأیید نماید.

\*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [famiri@iaubushehr.ac.ir](mailto:famiri@iaubushehr.ac.ir)

## مقدمه

آب‌های زیرزمینی منبع اصلی آب و از مهم‌ترین منابع آب شیرین روی زمین است. کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی با توجه به افزایش شهرنشینی و عوارض جانبی آن رو به وخامت است (۱، ۱۱، ۲۱ و ۲۷). شهرستان طرقله شاندریز به دلیل وسعت کم، بارش سالیانه کم و کمبود منابع آب در این منطقه استفاده از منابع آب زیرزمینی بسیار اهمیت دارد. با توجه به محدود بودن دسترسی به منابع آب و مسائل مربوط به کیفیت آب، نیاز به تکنیک‌های سریع شناسایی و ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در این منطقه ضروری است. نقشه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی براین اساس که برخی از اراضی نسبت به دیگر اراضی بیشتر در معرض آلودگی هستند (۲۳)، و امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی بیشتر است، شکل گرفته است. در آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمین تنها به هیدرولوژی منطقه توجه می‌شود بدون آنکه به آلودگی توجه شود. روش‌های زیادی برای ارزیابی ریسک ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش مبتنی بر فرایند، روش آماری و روش‌های همپوشانی که در مطالعات بن علیا و همکاران (۷)، چاندراسخار و همکاران (۹)، دوراز و اوزدمیر (۱۰)، نارمادا و همکاران (۲۱)، ماگش و چاندراسخار (۱۹) و سعادت نوری و همکاران (۲۴) اشاره کرد. اغلب برای ترسیم نقشه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی از مدل تجربی دراستیک استفاده می‌کنند (۲۷ و ۲۸). مدل دراستیک به‌وسیله آلر و همکاران (۲) با همکاری آژانس حفاظت از محیط‌زیست و انجمن ملی آب ایالات متحده برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به آلاینده‌ها به‌عنوان یک مدل جدید در محیط‌های هیدرولوژیکی ارائه شد. پس‌از آن این مدل، توسط محققین زیادی با در نظر گرفتن پارامترهای زمین‌شناسی یا هیدرولوژیکی، شرایط آب و هوایی، و دیگر شرایط خاص برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی توسعه پیدا کرد (۸). این روش براین فرض است که برخی از عوامل عمده کنترل آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را می‌توان وزن‌دهی کرد. به دلیل اینکه داده‌های موردنیاز مدل دراستیک به‌آسانی در

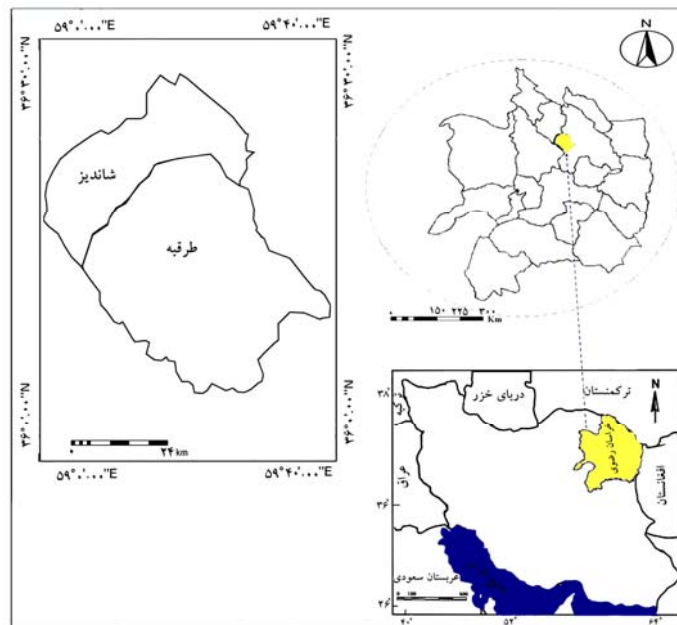
دسترس می‌باشد از این مدل به‌طور گسترده در بسیاری از کشورها برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود (۱۴ و ۱۵). در تعیین ارزش شاخص دراستیک برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای به دست آوردن نتیجه قابل‌اطمینان‌تر و سریع می‌باشد. کورا و همکاران (۱۸) در ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی و رابطه مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی با پارامترهای زمین‌شناسی، توپوگرافی، پوشش زمین و منابع آلودگی از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. درزمینه ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک می‌توان به مطالعات؛ آلما و همکاران (۱)، گوپتا (۱۳)، کالیراج و همکاران (۱۶)، کومار و همکاران (۱۷)، محمد و همکاران (۲۰)، سو و همکاران (۲۹) و بین و همکاران (۳۱)، اشاره کرد.

در این تحقیق از توانایی سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی منطقه طرقله شاندریز استفاده شد. این تحقیق، در سه مرحله ایجاد پایگاه داده‌های فضایی، آنالیز داده‌های مکانی و ادغام داده‌ها انجام شد. پایگاه داده‌های فضایی لایه‌های مدل دراستیک (سطح آب زیرزمینی، شبکه تغذیه، محیط آبخوان، جنس خاک، توپوگرافی، ناحیه غیراشباع، هدایت هیدرولیکی) از منابع مختلف تهیه گردید. پس از رقومی شدن نقشه‌های موضوعی مربوطه تهیه، خطاها ویرایش و اطلاعاتی توصیفی به آن‌ها اضافه گردید و در محیط GIS با فرمت مکانی رویهم‌اندازی شد.

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

شهرستان طرقله شاندریز در استان خراسان رضوی با مساحت ۱۱۸۴/۸۲ کیلومتر مربع، در طول شرقی ۱۰' ۵۹° تا ۲۲' ۵۹° و عرض شمالی ۵' ۳۶° تا ۳۰' ۳۶° واقع شده است (شکل ۱). متوسط دمای منطقه ۱۳/۳ درجه سانتی‌گراد و میزان متوسط بارندگی سالیانه این منطقه ۲۱۲/۶ میلی‌متر است.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه شهرستان طریقه شاندیز استان خراسان

#### مدل دراستیک

[۱]

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

در این رابطه؛  $D_r$  رتبه عمق سطح آب زیرزمینی،  $D_w$  وزن به‌دست‌آمده برای عمق سطح آب،  $R_r$  رتبه منطقه تغذیه،  $R_w$  وزن به‌دست‌آمده برای منطقه تغذیه،  $A_r$  رتبه محاسبه‌شده برای محیط آبخوان،  $A_w$  وزن محاسبه‌شده برای محیط آبخوان،  $S_r$  رتبه نوع خاک،  $S_w$  وزن نوع خاک،  $T_r$  رتبه به‌دست‌آمده از شیب،  $T_w$  وزن به‌دست‌آمده از شیب،  $I_r$  رتبه محاسبه‌شده برای لایه محیط غیراشباع،  $I_w$  رتبه محاسبه‌شده برای لایه محیط غیراشباع،  $C_r$  رتبه به‌دست‌آمده برای لایه هدایت هیدرولیکی،  $C_w$  وزن به‌دست‌آمده برای لایه هدایت هیدرولیکی (۲۷، ۲۸، ۲۹ و ۳۱). در شاخص دراستیک میزان انتشار آلاینده‌های یک منطقه که به آب‌های زیرزمینی می‌رسد محاسبه می‌شود و رتبه‌های بالاتر دلالت بر آلودگی زیاد دارند. با توجه به پتانسیل آلودگی منطقه، رتبه‌ی ۱ تا ۱۰ اختصاص داده می‌شود (۱ به معنای کمترین و ۱۰ بیشترین خطر برای آلودگی آب زیرزمینی). در مرحله بعد به هر یک از این هفت پارامتر با توجه به اهمیت نسبی آن در توانایی انتقال آلودگی به سیستم

دراستیک یک مدل تجربی است که برای ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی در مقیاس منطقه‌ای به وجود آمده است. متغیرهای مؤثر در مدل، در سه دسته کلی قابل طبقه‌بندی است؛ سطح زمین، منطقه غیراشباع و منطقه اشباع. این مدل بر مبنای چهار فرض زیر است؛ الف- آلودگی در سطح زمین، ب- آلاینده توسط بارش به آب زیرزمینی نفوذ کرده است. ج- آب باعث حرکت آلودگی می‌شود. د- حداقل مساحت ناحیه ارزیابی شده به وسیله دراستیک  $0.4$  کیلومترمربع است. پارامترهای مدل دراستیک شامل؛ عمق سطح آب زیرزمینی (Depth to water; D) (D)، شبکه تغذیه (Net recharge; R)، محیط آبخوان (Aquifer media; A)، جنس خاک (Soil type; S)، توپوگرافی منطقه (Topography; T)، محیط غیراشباع (Impact of vadose zone; I) و هدایت هیدرولیکی (Hydraulic conductivity; C) (۲۷ و ۲۸). برای ارزیابی شدت آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه با استفاده از مدل دراستیک از اکستنشن Spatial Analyst Tool در محیط ArcGIS استفاده شد. در این تحقیق ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بر اساس رابطه ۱ تعیین گردید.

### عمق آب زیرزمینی

عمق سطح آب زیرزمینی یک رابطه معکوس با آلودگی آب‌های زیرزمینی دارد. هر چه عمق سطح آب زیرزمینی بیشتر باشد، زمان بیشتری طول می‌کشد تا مواد آلاینده به سفره برسند و امکان پخش شدن و رقیق شدن یا جذب مواد آلاینده در خاک وجود دارد (۲۷). برای تهیه عمق آب زیرزمینی در محیط ArcGIS، از داده‌های سطح آب ۳۵ چاه پیزومتری مربوط به سال آبی ۹۵-۹۴ استفاده و با درونیابی نقاط به روش معکوس فاصله وزن (IDW) عمق آب زیرزمینی ترسیم گردید. سپس رتبه‌بندی عمق آب زیرزمینی انجام گرفت (۲۲) (جدول ۲). نتایج نقشه عمق آب زیرزمینی در شکل ۳ آورده شده است.

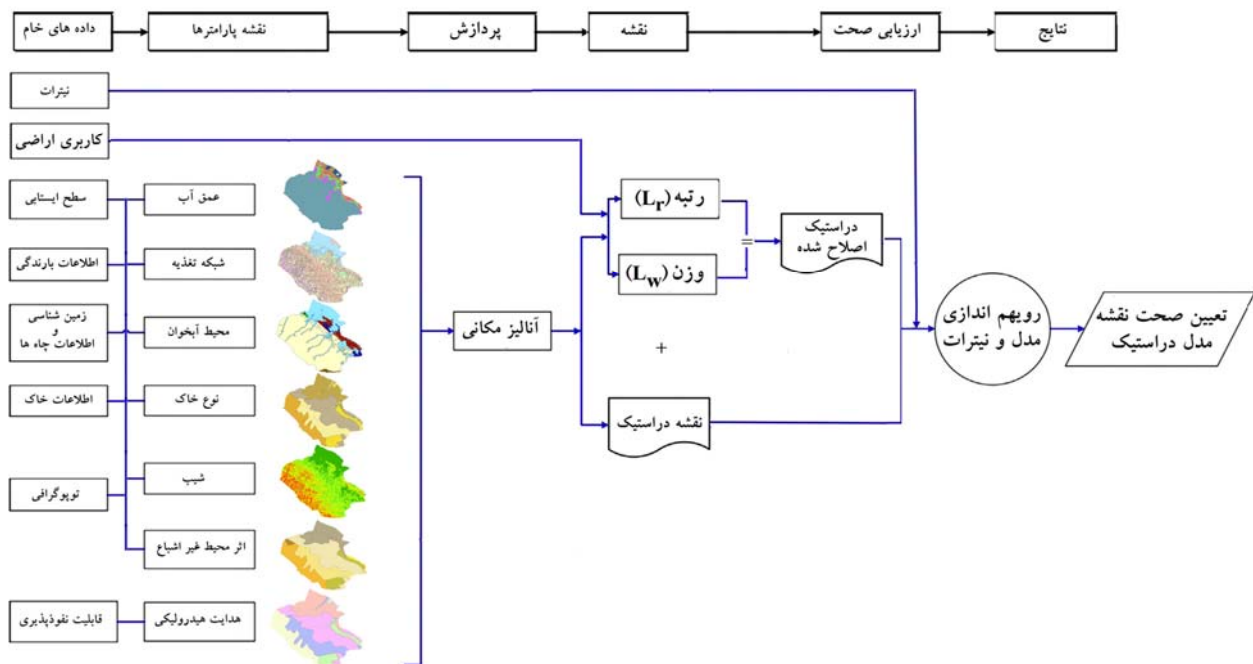
آب زیرزمینی بر اساس معیار کیفی وزنی بین ۱ تا ۵ بر اساس جدول ۱ داده شد. و نهایتاً از مجموع حاصل ضرب وزن و رتبه هر هفت پارامتر کنترل‌کننده یا تأثیرگذار در آلودگی، که در GIS به صورت هفت لایه ظاهر می‌شوند و با استفاده از رابطه ۱ و همپوشانی این ۷ لایه در محیط ArcGIS، شاخص آسیب‌پذیری دراستیک ( $DRASTIC_{Index}$ ) تعیین گردید. هر چه مقدار شاخص دراستیک بالاتر باشد نشان دهنده آلودگی بیشتر آب‌های زیرزمینی منطقه است. مراحل انجام تحقیق در شکل ۲ آورده شده است.

### نتایج و بحث

برای انجام ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه با استفاده از روش دراستیک، نحوه تهیه، دامنه و وزن هفت لایه در مدل در زیر آورده شده است.

جدول ۱. پارامترهای مدل دراستیک (۲)

وزن	توضیح	لایه‌های دراستیک
۵	نشان‌دهنده عمق از سطح زمین تا سطح آب است هر چه سطح آب زیرزمینی عمیق‌تر باشد شانس آلودگی کمتر است.	D عمق آب زیرزمینی
۴	نشان‌دهنده مقدار آبی است که از سطح زمین نفوذ می‌کند و به سطح آب زیرزمینی می‌رسد.	R شبکه تغذیه
۳	محیط آبخوان به مواد زمین‌شناسی تحکیم یافته یا تحکیم نیافته‌ای اطلاق می‌شود که بدنه یک آبخوان را تشکیل می‌دهند.	A محیط آبخوان
۲	بستگی به جنس خاک و اندازه ذرات در خاک دارد و میزان آب نفوذی و نفوذ آلاینده‌ها به آب زیرزمینی را کنترل می‌کند.	S نوع خاک
۱	این لایه به تغییرات شیب سطح زمین مربوط می‌شود. شیب سطح زمین بر روی مقدار نفوذ آب و آلاینده تأثیر می‌گذارد. هر چه شیب کمتر باشد، مواد آلاینده محلول، فرصت بیشتری برای نفوذ خواهند داشت.	T توپوگرافی
۵	منطقه غیراشباع از زون خاک سطحی شروع و تا سطح ایستابی ادامه می‌یابد که از نظر دارا بودن آب غیراشباع یا به‌طور ناپیوسته اشباع می‌باشد.	I اثر منطقه غیراشباع
۳	این لایه مربوط به نفوذپذیری سفره یا توانایی مواد سفره به‌منظور انتقال آب یا مواد محلول می‌باشد.	C هدایت هیدرولیکی



شکل ۲. فلوچارت روش تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی

### شبکه تغذیه

فرمت رقومی تبدیل گردید. به منظور تهیه لایه بارندگی از گرادیان بارندگی ۲۵ ساله ۴ ایستگاه هواشناسی گلمکان استفاده و میزان بارندگی نسبت به ارتفاع با توجه به مدل رقومی ارتفاعی منطقه، در هر نقطه از منطقه ترسیم گردید. پارامترهای شیب، بارندگی و خاک با استفاده از معیارهای جدول ۳ طبقه‌بندی شدند. در نهایت سه لایه فوق در محیط ArcGIS، همپوشانی و لایه تغذیه خالص تهیه گردید. بر اساس جدول ۴ وزن ۴ برای لایه شبکه تغذیه در نظر گرفته شد. نقشه نفوذپذیری و شبکه تغذیه در شکل ۳، اطلاعات دامنه، رتبه و وزن شبکه تغذیه در جدول ۲ ارائه شده است.

### محیط آبخوان

محیط آبخوان به مواد زمین‌شناسی تحکیم یافته یا تحکیم نیافته‌ای اطلاق می‌شود که بدنه یک آبخوان را تشکیل می‌دهند. این پارامتر طول و چگونگی روند مسیر سیستم جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می‌کند. همچنین بر مقدار سطح مؤثر موادی که با آلوده‌کننده در تماس هستند، مؤثر است (۳). برای تهیه محیط آبخوان از اطلاعات لاگ حفاری چاه‌های

یکی از عوامل اصلی انتقال مواد آلاینده به درون زمین، حرکت عمودی آب است. تغذیه خالص نشان‌دهنده مقدار آبی است که از سطح زمین نفوذ کرده و به سطح ایستایی می‌رسد. پوشش گیاهی، شیب، نفوذپذیری خاک، بارش، و مقدار آبی که در خاک نفوذ می‌کند بر تغذیه تأثیر می‌گذارند (۲۵ و ۲۶). آب موجب می‌گردد که تا آلوده‌کننده به صورت عمودی انتقال یافته و به سطح ایستایی برسد و به صورت افقی در آبخوان حرکت کند. معمولاً هرچه قدر تغذیه بیشتر باشد پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی بیشتر است (۱۸). بنابراین، نقشه تغذیه بر اساس لایه تغذیه (R) با روش پیسکوپیو (۲۳) با استفاده از نقشه شیب (T)، بارندگی (P) و نفوذپذیری (In) با استفاده از رابطه ۲ تهیه گردید.

$$R=In+P+T \quad [2]$$

شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه تهیه گردید. نقشه نفوذپذیری خاک منطقه از سازمان حفاظت محیط‌زیست تهیه و در محیط ArcGIS به

کمترین نفوذ را دارا می‌باشند. برای تهیه نقشه شیب، از مدل رقومی ارتفاعی منطقه استفاده شد. در نهایت براساس جدول ۷ رتبه طبقات شیب و وزن محاسبه شده برای لایه توپوگرافی تعیین گردید. نقشه طبقات توپوگرافی (شیب) منطقه در شکل ۳ ارائه شده است. نقشه طبقات شیب نشان می‌دهد که تغییرات شیب منطقه بین ۰ تا بیشتر از ۳۵ درصد می‌باشد. درصد شیب منطقه در ۵ کلاس ۰-۵، ۵-۱۵، ۱۵-۲۵، ۲۵-۳۵ و ۳۵-۴۰ طبقه بندی گردید. بیشتر سطح اراضی منطقه در طبقه شیب ۵-۱۵ درصد (۴۵۷ کیلومتر مربع) قرار گرفت که آب‌های زیرزمینی این کلاس شیب نسبت به آلودگی آسیب پذیرتر هستند.

#### محیط غیراشباع

منطقه غیراشباع از زون خاک سطحی شروع و تا سطح ایستابی ادامه می‌یابد. این پارامتر نفوذ منطقه غیراشباع به سطح آب را نشان می‌دهد و کنترل کننده مسیر آلاینده‌ها به آبخوان است. منطقه غیراشباع سهم قابل توجهی در کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی به دلیل فرآیندهایی مانند تجزیه بیولوژیکی، تصفیه، خصوصیات مکانیکی، واکنش‌های شیمیایی که در مسیر آلاینده‌ها در این لایه رخ می‌دهد، دارد (۲۸). نوع محیط غیراشباع، خصوصیات تغذیه‌ای و رقیق‌سازی مواد زیر پروفیل خاک و بالای سطح ایستابی را تعیین می‌کند. این لایه مربوط به جنس خاک می‌باشد. در مدل دراستیک فرض براین است که محیط و شرایط منطقه غیراشباع اثر زیادی بر مواد آلاینده دارد زیرا در این منطقه، تا قبل از رسیدن به سطح ایستابی، فرصت جذب و یا رقیق‌شدگی پیدا می‌کنند (۵). مساحت طبقات، رتبه و وزن لایه محیط غیراشباع براساس جدول ۲ محاسبه گردید. نقشه طبقات لایه محیط غیراشباع منطقه در شکل ۳ نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی بخش‌های غربی و مرکزی منطقه بیشتر در معرض آسیب پذیری آلودگی است. از این رو رتبه و وزنی که به این مناطق داده شده است، بیشتر است.

#### هدایت هیدرولیکی

پیزومتری و بهره‌برداری موجود در منطقه مطالعاتی استفاده شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به لاگ چاه‌ها، مطالعه ستون عمودی لیتولوژیکی چند چاه عمیق مشخص شد و جنس غالب در بخش اشباع، محیط آبخوان در محیط ArcGIS، با روش درون‌یابی معکوس (IDW) تهیه گردید. سپس بر اساس نوع سازنده محیط آبخوان، رتبه بندی شد. وزن مربوط به این لایه با توجه جدول ۲، محاسبه شد. نقشه وزن دهی شده محیط آبخوان در شکل ۳ آورده شده است.

#### جنس خاک

خاک تأثیر مهمی بر روی میزان تغذیه نفوذی به سطح ایستابی و حرکت ماده آلاینده می‌گذارد. پتانسیل آلودگی خاک بستگی به جنس یا نوع خاک، اندازه ذرات و پتانسیل جذب آلودگی در خاک دارد. هرچه قطر ذرات تشکیل دهنده خاک ریزتر، نفوذپذیری خاک کمتر و ضخامت خاک بیشتر باشد، پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی کاهش می‌یابد (۴). با استفاده از اطلاعات لاگ حفاری چاه‌های پیزومتری و بهره‌برداری موجود در منطقه، نقشه نوع و جنس خاک منطقه به عمق ۲ متر در محیط ArcGIS مشخص و بر اساس جنس خاک وزن این لایه تعیین گردید. نقشه این لایه با توجه به اطلاعات جدول ۲، تهیه گردید (شکل ۳).

#### توپوگرافی

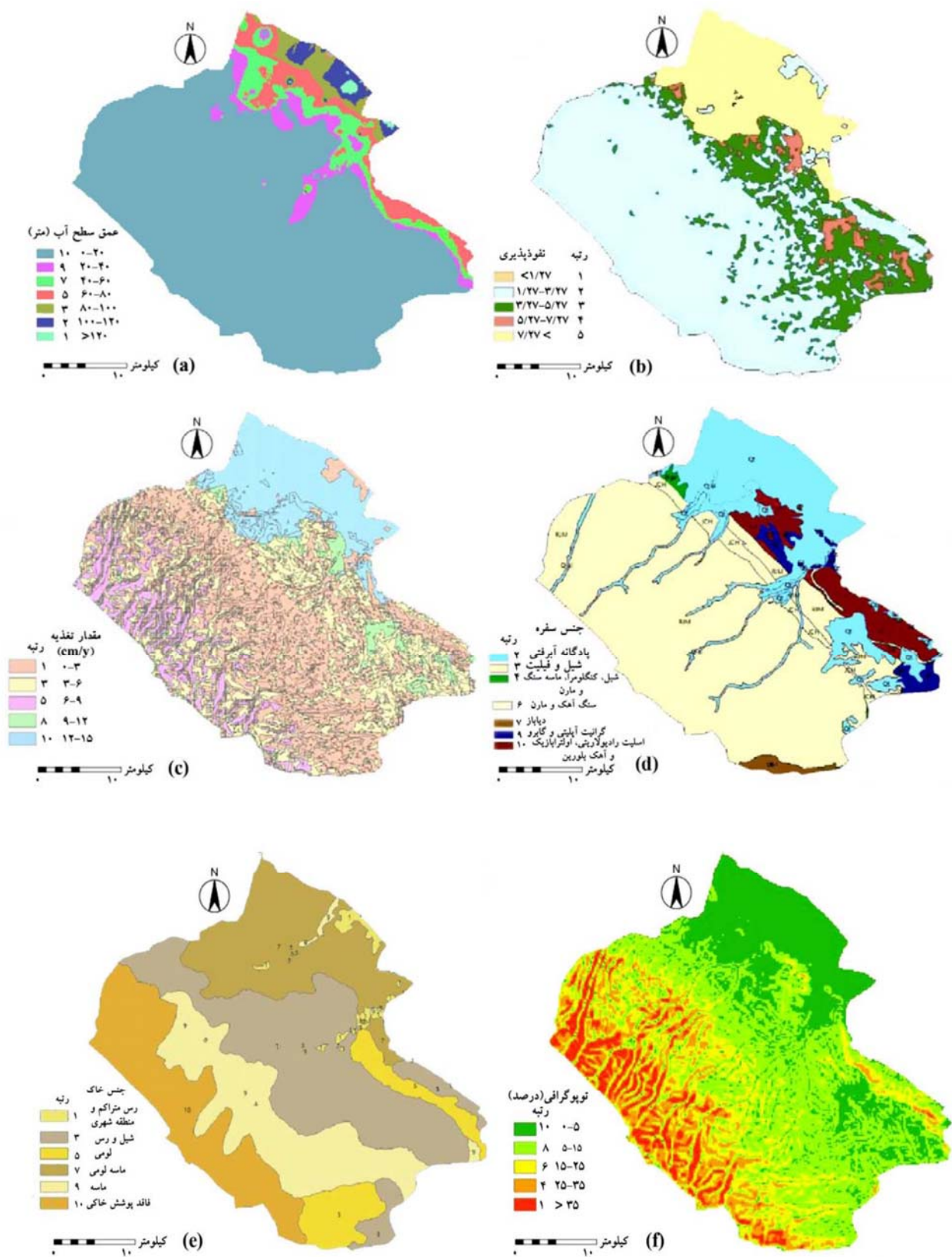
این لایه به تغییرات شیب سطح زمین مربوط می‌شود. شیب سطح زمین بر روی مقدار نفوذ آب و آلاینده تأثیر می‌گذارد. هر چه شیب کمتر باشد، مواد آلاینده محلول، فرصت بیشتری برای نفوذ خواهند داشت. پس ناحیه با شیب کمتر، رتبه بیشتری در مدل خواهد داشت شیب بیشتر باعث می‌شود که مواد محلول به صورت رواناب جاری شود و کمتر نفوذ کند (۱۲). در مدل دراستیک خطوط توپوگرافی مناطق هم‌شیب به صورت درصد، پهنه بندی می‌شوند. شیب ۰-۵ درصد بیشترین فرض نفوذ را دارد و رتبه این طبقه ۱۰ و نواحی با شیب بالای ۳۵ درصد پایین‌ترین رتبه را داشته، چون

این لایه مربوط به نفوذپذیری سفره یا توانائی مواد سفره به منظور انتقال آب یا مواد محلول می‌باشد. هدایت هیدرولیکی شدتی است که آب زیرزمینی تحت شیب هیدرولیکی محیط، جریان پیدا می‌کند (۲۸). هر چه میزان آن بیشتر باشد امکان جریان آلاینده‌ها بیشتر می‌باشد که میزان آن به بافت خاک وابسته است. هرچه بافت خاک درشت‌دانه باشد هدایت هیدرولیکی بیشتر است. هدایت هیدرولیکی، عامل کنترل‌کننده حرکت و زمان ماندگاری مواد آلاینده از نقطه‌ای ورود به سطح خاک تا درون سفره می‌باشد. به همین خاطر افزایش هدایت هیدرولیکی باعث افزایش پتانسیل آلودگی می‌شود. با توجه به

اینکه این لایه به بافت خاک بستگی دارد، رتبه این لایه براساس نقشه خاک تعیین گردید (۲۷). مساحت و وزن طبقات لایه هدایت هیدرولیکی بر اساس جدول ۲ تعیین شد و نقشه این لایه در شکل ۳ ارائه شد. در منطقه مورد مطالعه، هدایت هیدرولیکی در بخش‌های غربی و مرکزی منطقه بیشتر است بنابراین این مناطق بیشتر در معرض آسیب‌پذیری آلودگی است و خاک این مناطق فاقد پوشش گیاهی و بافت درشت می‌باشد. از این رو رتبه و وزنی که به این مناطق داده شده است، بیشتر می‌باشد.

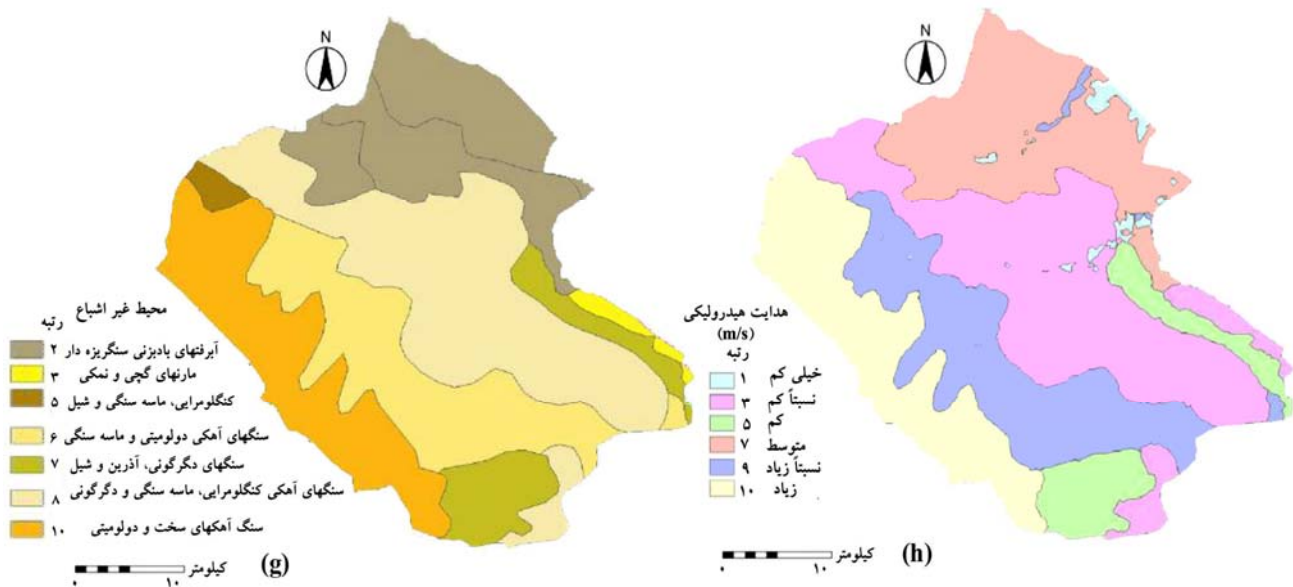
جدول ۲. پارامترهای کمی مدل دراستیک

وزن	عمق آب زیرزمینی × (۵) (m)	شبکه تغذیه (cm/year) × (۴)	محیط آبخوان × (۳)	نوع خاک × (۲)	توپوگرافی (%) × (۱)	اثر منطقه غیراشباع × (۵)	هدایت هیدرولیکی (m/s) × (۳)
۱۰	>۲۰	۱۲-۱۵	اسلیت رادیولاریتی	فاقد پوشش خاکی	۰-۵	آهکی‌های سخت و دولومیتی	زیاد
۹	۲۰-۴۰		گرانیت و گابرو	ماسه		-	نسبتاً زیاد
۸		۹-۱۲	-	-	۵-۱۵	سنگ‌های آهکی کنگلومرایی، ماسه‌سنگی و دگرگونی	-
۷	۴۰-۶۰		دیاباز	ماسه لومی		سنگ‌های دگرگونی آذرین و شیل	متوسط
۶			سنگ‌آهک میکربیتی و مارن	-	۱۵-۲۵	سنگ‌های آهکی دولومیتی و ماسه‌سنگی	-
۵	۶۰-۸۰	۶-۹	-	لومی		کنگلومرایی، ماسه‌سنگی و شیل	کم
۴			شیل کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن		۲۵-۳۵	-	
۳	۸۰-۱۰۰	۳-۶	شیل و فیلیت	شیل و رس		مارن‌های گچی و نمکی	نسبتاً کم
۲	۱۰۰-۱۲۰		پادگانه‌های آبرفتی	-		آبرفت‌های بادبزنی سنگریزه‌دار	
۱	<۱۲۰	۰-۳	-	رس متراکم و منطقه شهری	<۳۵	-	خیلی کم



شکل ۳. عمق آب زیرزمینی (a)، نفوذپذیری خاک (b)، شبکه تغذیه (c)، محیط آبخوان (d)، جنس خاک (e)، شیب (f)



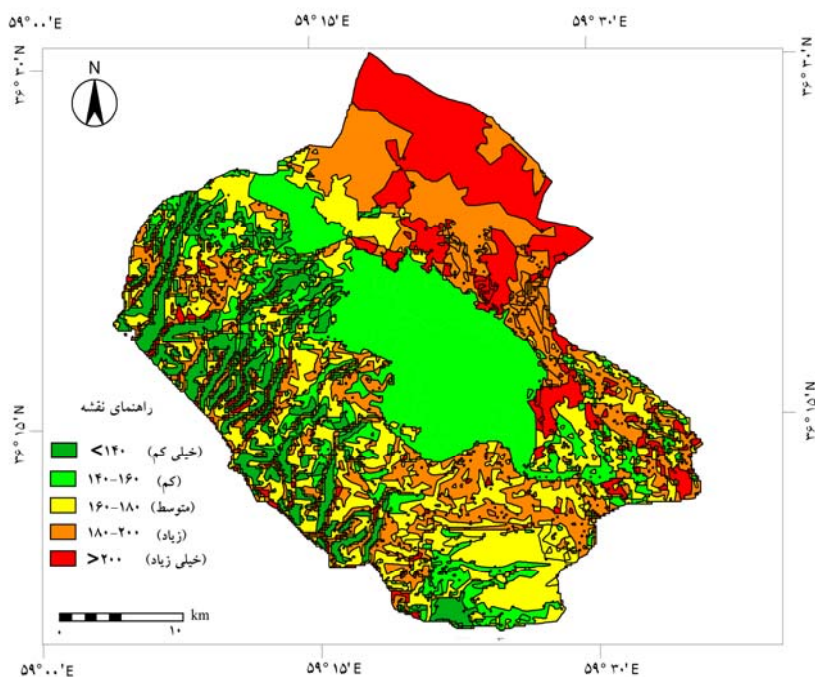


ادامه شکل ۳. محیط غیراشباع (g)، هدایت هیدرولیکی (h)

(جدول ۳). مناطق آسیب‌پذیر بالا در قسمت‌های شمال شرقی و شرقی حوزه آبریز وجود دارد. این ممکن است به دلیل افزایش مقدار تغذیه (۱۵-۱۲ سانتیمتر در سال) در این مناطق است که آلودگی سطح را همراه بانفوذ آب به مناطق عمیق‌تر حمل می‌کند که باعث آلودگی زیاد در این مناطق می‌شود. نوع خاک در این مناطق نیز خاکی است که به نفوذ آسان آلاینده‌ها برای رسیدن به آب‌های زیرزمینی این منطقه کمک می‌کند. شیب منطقه نیز روند آلودگی را تسریع می‌کند، زیرا آلودگی زمان بیشتری برای نفوذ در سطوح صاف توپوگرافی دارد. هدایت هیدرولیکی در ناحیه شمال شرقی و شرقی نیز احتمال آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را به آلودگی در این منطقه افزایش می‌دهد. منطقه بسیار آسیب‌پذیر مساحت ۱۸۱/۷۸ کیلومترمربع را پوشش می‌دهد و در جهت شمال شرقی و شرقی منطقه قرار دارد.

#### نقشه آسیب‌پذیری با شاخص دراستیک ( $D_{index}$ )

پس از تبدیل تمام لایه‌های بردار به رستری، ترکیب و تلفیق داده‌ها با استفاده از تابع همپوشانی وزنی، شاخص آسیب‌پذیری دراستیک تهیه گردید (۳۰). در ابتدا کلیه لایه‌ها همراه با ضرایب (جدول ۱) به صورت عددی برای مدل تعریف و سپس عمل تلفیق لایه‌های موردنظر صورت پذیرفت. شاخص حداقل و حداکثر دراستیک در محدوده کمتر از ۱۴۰ تا بیشتر از ۲۰۰ قرار دارد و به پنج کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، آسیب‌پذیری متوسط و زیاد و آسیب‌پذیری خیلی زیاد دسته‌بندی شد (شکل ۴). نقشه آسیب‌پذیر دراستیک نشان می‌دهد که در حدود ۲۴ و ۱۵/۳ درصد از این منطقه در محدوده آسیب‌پذیری زیاد تا خیلی زیاد آلودگی آب‌های زیرزمینی و مناطق باقیمانده ۲۴/۱۶، ۲۷/۶۷ و ۸/۷۶ درصد با خطر متوسط تا خطر کم و خیلی کم آلودگی روبرو هستند



شکل ۴. نقشه آسیب پذیری دراستیک

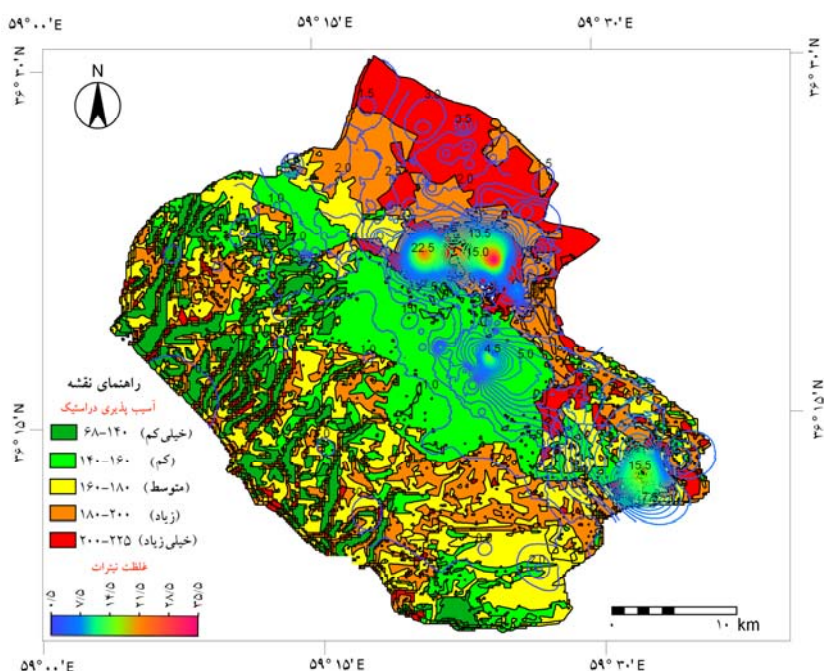
جدول ۳. طبقه بندی میزان آسیب پذیری دراستیک

پتانسیل آلودگی	شاخص	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
خیلی کم	<140	10378	8/76
کم	140-160	32779	27/67
متوسط	160-180	28631	24/16
زیاد	180-200	28516	24/07
خیلی زیاد	200<	18178	15/34

نیترات از حد مجاز ۴۵ میلی گرم در لیتر کمتر است. در شکل ۵ مناطق با آسیب پذیری خیلی کم تا خیلی زیاد نشان داده شده است. بنابراین، نقشه خطر ایجاد شده توسط مدل دراستیک می تواند در سیاست های توسعه مدیریت اراضی استفاده گردد (۶). با انطباق یون نیترات بر روی نقشه نهایی دراستیک مشخص شد که کلیه نقاطی که دارای یون نیترات بالا هستند در محدوده آلودگی خیلی زیاد قرار گرفته اند که این می تواند دقت و صحت مدل را تأیید نماید.

#### ارزیابی صحت نقشه آلودگی آب های زیرزمینی

جهت تعیین صحت نقشه آسیب پذیری تهیه شده با مدل دراستیک در شرایط میدانی، نمونه آب های زیرزمینی برای تجزیه و تحلیل تغییرات نیترات ( $NO_3$ )، به عنوان یکی از منابع آلاینده آب زیرزمینی به علت استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی، گرفته شد و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری مدل DR5000 نیترات اندازه گیری گردید. نتایج آنالیز شیمیایی ۲۱۰ نمونه آب نشان داد که دامنه تغییرات غلظت نیترات از ۰/۲ تا ۳۶ میلی گرم در لیتر است. که در کلیه نمونه ها غلظت



شکل ۵. نقشه غلظت نترات انطباق شده با غلظت آلودگی آب‌های زیرزمینی مدل دراستیک

### نتیجه‌گیری

در گروه آسیب‌پذیری زیاد تا خیلی زیاد قرار دارد. این مطالعه به مدیران، برنامه‌ریزان و سازمان‌های نظارتی در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نسبت به آلودگی از منابع مختلف آلاینده کمک می‌کند. علاوه بر این، نتایج این مطالعه برای درک آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از منابع کمک می‌نماید. محدوده امتیاز هر پارامتر تابع شرایط منطقه است بنابراین محدوده امتیاز هر پارامتر در مدل می‌تواند با در نظر گرفتن کاربری اراضی تعیین گردد. این مطالعه نشان داد استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان آماده‌سازی لایه‌های مدل دراستیک برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر را به راحتی فراهم می‌سازد. نقشه آسیب‌پذیری ابزار مناسبی برای ارزیابی محلی و منطقه‌ای در شناسایی مناطق مستعد به آلودگی به‌ویژه آلودگی‌های غیر نقطه‌ای در ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، در طراحی یک شبکه نظارتی، است. این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که مدل دراستیک می‌تواند در اولویت‌بندی مناطق آسیب‌پذیر در شناسایی و جلوگیری از ورود آلودگی بیشتر به این مناطق استفاده شود.

در این تحقیق نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان طریقه-شاندیز، با استفاده از مدل دراستیک تهیه گردید. در مدل دراستیک از هفت پارامتر عمق سطح ایستابی، شبکه تغذیه، جنس سفره، جنس خاک، شیب توپوگرافی، مواد تشکیل‌دهنده منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی استفاده شده است و با وزن دهی و رتبه‌بندی این هفت عامل تلفیق لایه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، انجام گرفت. نتایج آسیب‌پذیری مدل دراستیک نشان داد که قسمت اعظم آب‌های زیرزمینی منطقه در طبقه آسیب‌پذیر آلودگی متوسط تا زیاد قرار گرفت. نتایج مدل دراستیک نشان داد که ۸/۷۶ درصد از منطقه مورد مطالعه در محدوده آسیب‌پذیری خیلی کم، ۲۷/۶۷ درصد آسیب‌پذیری کم، ۲۴/۱۶ درصد آسیب‌پذیری متوسط، ۲۴/۰۷ درصد آسیب‌پذیری زیاد و ۱۵/۳۴ درصد در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار گرفت. بر پایه نتایج حاصل از مدل‌سازی دراستیک، آسیب‌پذیری آبخوان طریقه-شاندیز در محدود کم تا زیاد قرار دارد. میزان آلودگی و پتانسیل آلودگی آبخوان در مرکز در آسیب‌پذیری کم و در شمال شرقی و شرق

- Alam F, Umar R, Ahmed S, Dar FA. 2014. A new model (DRASTIC-LU) for evaluating groundwater vulnerability in parts of central Ganga Plain, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(3): 927-937.
- Aller L, Lehr JH, Petty R, Bennett T. 1987. Drastic: A standhrdized system to evaluate ground water pollution potential using hydrugedlugic settings. EPA/600/2-87/035:38-57.
- Al-Rawabdeh A, Al-Ansari N, Al-Taani A, Al-Khateeb F, Knutsson S. 2014. Modeling the risk of groundwater contamination using modified DRASTIC and GIS in Amman-Zerqa Basin, Jordan. *Central European Journal of Engineering*, 4(3): 264-280.
- Al-Shatnawi AM, Al-Shboul R, Al-Fawwaz BM, Al-Sharafat W, Khalf RMB. 2014. Vulnerability assessment using raster calculation and DRASTIC model for the Jordan valley subsurface basin (AB1) imaging maps. *Journal of Geographic Information System*, 6(06): 585-593.
- Arzu Firat E, Fatma G. 2013. DRASTIC-based methodology for assessing groundwater vulnerability in the Gümüşacıköy and Merzifon basin (Amasya, Turkey). *Earth Sciences Research Journal*, 17(1): 33-40.
- Baalousha HM. 2011. Mapping groundwater contamination risk using GIS and groundwater modelling. A case study from the Gaza Strip, Palestine. *Arabian Journal of Geosciences*, 4(3-4): 483-494.
- Ben Alaya M, Saidi S, Zemni T, Zargouni F. 2014. Suitability assessment of deep groundwater for drinking and irrigation use in the Djeffara aquifers (Northern Gabes, Southeastern Tunisia). *Environmental Earth Sciences*, 71(11):3387-3421.
- Chandoul I, Bouaziz S, Dhia H. 2014. Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC models in shallow aquifer of Gabes North (South East Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 1-11.
- Chandrasekar N, Selvakumar S, Srinivas Y, John Wilson JS, Simon Peter T, Magesh NS. 2014. Hydrogeochemical assessment of groundwater quality along the coastal aquifers of southern Tamil Nadu, India. *Environmental Earth Sciences* 71(11): 4739-4750.
- Davraz A, Özdemir A. 2014. Groundwater quality assessment and its suitability in Çeltikçi plain (Burdur/Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 72(4): 1167-1190.
- Duarte L, Teodoro AC, Gonçalves JA, Guerner Dias AJ, Espinha Marques J. 2015. A dynamic map application for the assessment of groundwater vulnerability to pollution. *Environmental Earth Sciences*: 1-13.
- Fernandes LFS, Cardoso LVRQ, Pacheco FAL, Leitão S, Moura JP. 2014. DRASTIC and GOD vulnerability maps of the Cabril River Basin, Portugal. *Rem: Revista Escola de Minas*, 67(2): 133-142.
- Gupta N. 2014. Groundwater Vulnerability Assessment using DRASTIC Method in Jabalpur District of Madhya Pradesh. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 3: 36-46.
- Hussain HM, Al-Ansari NA, Knutsson S. 2015. Groundwater Pollution Potential in Part of the Western Desert, Iraq. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 5(14): 1-17.
- Jilali A, Zarhloule Y, Georgiadis M. 2015. Vulnerability mapping and risk of groundwater of the oasis of Figuig, Morocco: application of DRASTIC and AVI methods. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(3): 1611-1621.
- Kaliraj S, Chandrasekar N, Peter TS, Selvakumar S, Magesh NS. 2014. Mapping of coastal aquifer vulnerable zone in the south west coast of Kanyakumari, South India, using GIS-based DRASTIC model. *Environmental Monitoring Assessment*, 187: 4073.
- Kumar P, Bansod BK, Debnath SK, Thakur PK, Ghanshyam C. 2015. Index-based groundwater vulnerability mapping models using hydrogeological settings: A critical evaluation. *Environmental Impact Assessment Review*, 51: 38-49.
- Kura N, Ramli M, Ibrahim S, Sulaiman W, Aris A, Tanko A, Zaudi M. 2015. Assessment of groundwater vulnerability to anthropogenic pollution and seawater intrusion in a small tropical island using index-based methods. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(2): 1512-1533.
- Magesh NS, Chandrasekar N. 2013. Evaluation of spatial variations in groundwater quality by WQI and GIS technique: A case study of virudunagar district, tamil nadu, india. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(6): 1883-1898.
- Muhammad AM, Zhonghua T, Dawood AS, Earl B. 2015. Evaluation of local groundwater vulnerability based on DRASTIC index method in Lahore, Pakistan. *Geofísica Internacional*, 54(1): 67-81.
- Narmada K, Bhaskaran G, Gobinath K. 2015. Assessment of Groundwater Quality in the Amaravathi River Basin, South India. *Environmental Management of River Basin Ecosystems*, 549-573.
- Pacheco FAL, Pires LMGR, Santos RMB, Sanches Fernandes LF. 2015. Factor weighting in DRASTIC modeling. *Science of The Total Environment*, 505(0): 474-486.
- Piscopo G. 2001. Groundwater vulnerability map explanatory notes-Castlereagh Catchment. Parramatta NSW: Australia NSW Department of Land and Water Conservation, 1-20.
- Sadat-Noori SM, Ebrahimi K, Liaghat AM. 2014.

- Groundwater quality assessment using the Water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 71(9): 3827-3843.
25. Saidi S, Bouri S, Dhia HB. 2010. Groundwater vulnerability and risk mapping of the Hajeb-jelma aquifer (Central Tunisia) using a GIS-based DRASTIC model. *Environmental Earth Sciences*, 59(7): 1579-1588.
26. Samake M, Tang Z, Hlaing W, Innocent N, Kasereka K, Balogun WO. 2011. Groundwater vulnerability assessment in shallow aquifer in Linfen Basin, Shanxi Province, China using DRASTIC model. *Journal of Sustainable Development*, 4(1): 53-71.
27. Shekhar S, Pandey AC, Tirkey A. 2015. A GIS-based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in hard rock granitic aquifer. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(3): 1385-1401.
28. Shirazi SM, Imran HM, Akib S, Yusop Z, Harun ZB. 2013. Groundwater vulnerability assessment in the Melaka State of Malaysia using DRASTIC and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*, 70(5): 2293-2304.
29. Su X, Yuan W, Xu W, Du S. 2015. A groundwater vulnerability assessment method for organic pollution: a validation case in the Hun River basin, Northeastern China. *Environmental Earth Sciences*, 73(1): 467-480.
30. Uhan J, Vižintin G, Pezdič J. 2011. Groundwater nitrate vulnerability assessment in alluvial aquifer using process-based models and weights-of-evidence method: Lower Savinja Valley case study (Slovenia). *Environmental Earth Sciences*, 64(1): 97-105.
31. Yin L, Zhang E, Wang X, Wenninger J, Dong J, Guo L, Huang J. 2013. A GIS-based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in the Ordos Plateau, China. *Environmental Earth Sciences*, 69(1): 171-185.



## A GIS, DRASTIC techniques for assessing groundwater vulnerability in Torghabeh –Shandiz watershed of Khorasan county

M. Entezari<sup>1</sup>, F. Amiri<sup>2\*</sup>, T. Tabatabaie<sup>3</sup>

1. MSc. Graduated Student, Department of Environmental, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

2. Assoc. Prof. Department of Environmental, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

3. Assist. Prof. Department of Environmental, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 16 November 2017

Accepted 28 May 2018

Available online 21 November 2018

#### Keywords:

Groundwater vulnerability

DRASTIC

Geographic Information System (GIS)

Torghabeh –Shandiz

### ABSTRACT

The state of groundwater pollution in Torghabeh-Shandiz watershed of Khorasan County has become a major problem, particularly in respect of the increasing population, and the agricultural, industrial and commercial development. The present work attempts to interpret the groundwater vulnerability of this watershed using the DRASTIC model together with the geographic information system (GIS). The data which correspond to the seven parameters (depth to water level, net recharge, aquifer media, soil media, topography, the impact of vadose zone and hydraulic conductivity) of the DRASTIC model were collected and converted into thematic maps with GIS. The study showed that the DRASTIC index shows lies in the range of 68 to 225 which were classified into five zones, very low, low, moderate, high, and very high risk zone of groundwater contamination. The DRASTIC map illustrates that an area of 15.9% is a very low vulnerability, 20.29% low vulnerability, 26.33% moderate vulnerability, 24.34% high vulnerability and 13.14% very high vulnerability in the study area. The river flows from the northeast region of the watershed allows more recharge of water, which may drain the fertilizers from the surrounding agricultural lands along with it to the groundwater and hence leads to groundwater vulnerability of this region. To check the reliability of the DRASTIC index map in the field condition, groundwater samples were collected for the analysis of nitrate ( $\text{NO}_3$ ) which is found as one of the pollutants in groundwater resulting due to use of fertilizers during agriculture. The presence of high nitrate concentration over high to moderate risk pollution zone in the study area validated satisfactorily.

\* Corresponding author e-mail address: famiri@iaubushehr.ac.ir