



نویسنده مسئول محترم مقاله جناب آقای محسن افروزی

با سلام و احترام

با کمال خوشوقتی به استحضار می‌رساند که مقاله جنابعالی با کد ۹۰۴۳۲ و عنوان:
ارزیابی و پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت بروجن - فرادنبه به آلودگی
با استفاده روش DRATIC در محیط GIS

نویسنده (نویسنده گان) به ترتیب: محسن افروزی و حسین محمدزاده
بر اساس نظر داوران و هیات تحریریه به صورت یادداشت فنی مورد پذیرش نهایی و
در اولویت چاپ قرار گرفت. از اینکه مجله پژوهش آب ایران را برای انتشار نتایج
تحقیقات خود انتخاب نمودید از شما سپاسگزاری می‌گردد. اص

با تقدیم احترام

دکتر سید حسن طباطبائی
عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب و
سر دبیر مجله پژوهش آب ایران

ارزیابی و پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت بروجن - فرادنبه به آلودگی با استفاده روش DRASTIC در محیط GIS

محسن افروزی^۱، حسین محمدزاده^۲

چکیده

شناسایی و تهیه نقشه پهنه بندی مناطق آسیب پذیر آبخوان، یعنی مناطقی که امکان نفوذ و پخش آلاینده ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی وجود دارد، یک ابزار مدیریتی مناسب برای جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی می باشد. روشهای مختلفی برای ارزیابی آسیب پذیری آبخوان وجود دارد که به طور کلی به سه گروه اصلی یعنی روشهای آماری، روش های ریاضی و روش های شاخص هم پوشانی تقسیم بندی می شوند. در این مقاله، جهت تهیه نقشه پهنه بندی پتانسیل آسیب پذیری آبخوان دشت بروجن- فرادنبه، از توابع مرکزی استان چهارمحال و بختیاری، روش دراستیک (DRASTIC)، یکی از کاربردی ترین روشهای همپوشانی، بکار گرفته شده است. نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت، حاصل از تلفیق نقشه های رستری هفت گانه پارامترهای مدل دراستیک (عمق آب زیرزمینی، تغذیه، محیط آبخوان، نوع خاک، توپوگرافی، اثر منطقه غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی) در محیط GIS، نشان می دهد که شاخص دراستیک بین ۹۸ تا ۱۵۹ متغیر بوده و بترتیب در حدود ۶۶، ۱۶ و ۱۸ درصد از سطح منطقه دارای آسیب پذیری متوسط، زیاد و کم می باشد. علاوه بر آن، صحت سنجی مدل با غلظت نترات، نشان می دهد که همبستگی شدیدی بین مناطق آسیب پذیر دشت با مناطق با غلظت بالای نترات در دشت وجود دارد.

کلمات کلیدی: آسیب پذیری سفره، شاخص دراستیک، دشت بروجن - فرادنبه، GIS

مقدمه

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد، هیدروژئولوژی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد afroozi032@yahoo.com

^۲ - استادیار، مرکز تحقیقات آب های زیر زمینی (متاب)، دانشگاه فردوسی مشهد mohammadzadeh@ferdowsi.um.ac.ir

مدیریت کیفی منابع آب زیرزمینی از مهمترین مسائل و دغدغه های روز می باشد که بایستی با دقت و با استفاده از روش های نوین و کارآمد مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. کنترل تغییرات کیفی درمقاطع زمانی مناسب علاوه بر آشکارسازی وضعیت کیفی منابع آب امکان ردیابی آلاینده ها را فراهم و پیشگیری آلودگی آبخوان را میسر می سازد. درسالهای اخیر افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش نیازهای آبی و همچنین کاهش کیفیت و آلودگی آبهای زیرزمینی بدلیل توسعه صنعت و کشاورزی موجب توجه به کیفیت منابع آب زیرزمینی گردیده است. یکی از راه های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آب های زیر زمینی، شناسایی مناطق آسیب پذیر آبخوان و مدیریت بهره برداری از منابع آب و کاربری اراضی است. آسیب پذیری از نظر مفهومی به دو دسته ذاتی و ویژه تقسیم می گردد. آسیب پذیری ذاتی به خصوصیات آبخوان (هدایت هیدرولیکی، گرادبان هیدرولیکی و چگونگی خلل و فرج) و تنش های وارده به سیستم (تغذیه، ارتباط با آب سطحی، زمان ماندگاری آب در منطقه اشباع و دبی پمپاژ) بستگی دارد و به عبارت دیگر آسیب پذیری ذاتی فقط به خصوصیات زمین شناسی، هیدرولوژی و هیدرولوژیکی یک آبخوان بستگی داشته و ربطی به منابع آلودگی طبیعی یا غیر طبیعی ناشی از فعالیت های انسانی ندارد. این در حالی است که آسیب پذیری ویژه نشان دهنده آسیب پذیری آب های زیرزمینی به آلاینده های خاص یا گروهی از آلاینده های ناشی از فعالیت های انسانی می باشد. به عبارت بهتر آسیب پذیری ویژه از واکنش آلاینده ها با اجزای مختلف آسیب پذیری ذاتی، بوجود می آیند (چیت سازان ، ۱۳۸۵)

روشهای مختلفی برای تعیین پتانسیل آسیب پذیری سفره وجود دارد که از جمله آن می توان به روش های همپوشانی (GOD^۳ ، DRASTIC^۴ ، SINTACS^۵ ، COP^۶ ، AVI^۷) ، روشهای ریاضی^۸ و روشهای آماری^۹ اشاره کرد (ولایکو^{۱۰} ، ۲۰۰۸). روشهای همپوشانی بر پایه تلفیق لایه های حاصل از پارامتر های مختلف بنا نهاده شده اند و اساس کار یکسانی دارند بر ارزیابی توصیفی و کمی آسیب پذیری تکیه دارند. این روشها در به کارگیری نوع و تعداد پارامتر ها با هم تفاوت داشته ولی در نهایت منجر به ثبت یک شاخص عددی یا امتیاز برای هر ویژگی می گردد. از کاربردی ترین روش های شاخص-همپوشانی ، روش دراستیک می باشد که توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (US-EPA) جهت تعیین پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی ارائه شد. تحقیقات زیادی در این زمینه انجام گرفته است از جمله : بررسی پتانسیل آسیب پذیری آبخوان کم عمق آلیگرای هند (آتیکور^{۱۱} ، ۲۰۰۸) ، ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت کاکامیگهارا (اینساف و بابیکر^{۱۲} ، ۱۹۹۸) ، ارزیابی آسیب پذیری آبخوان نوار غزه (بالوشا^{۱۳} ، ۲۰۰۶) ، ارزیابی آسیب پذیری چانگجو کره جنوبی (یان^{۱۴} ، ۱۹۹۹) و یا بررسی پتانسیل آسیب پذیری دشت خران در استان خوزستان (چیت سازان ، ۱۳۸۵) اشاره نمود.

^۳- از حاصل ضرب نوع آبخوان (G) ، محیط غیر اشباع (O) ، عمق آب زیرزمینی (D) بدست می آید.

^۴- در متن مقاله توضیح داده شده است.

^۵- این روش از نظر پارامتر ها شبیه روش دراستیک است با این تفاوت که فرآیند وزن دهی و رتبه دهی پارامترها با هم فرق می کند.

^۶- برای آبخوانهای کارستی کاربرد دارد و شامل پارامتر های تمرکز جریان (C) ، لایه های پوشش (O) ، بارش (P) می باشد.

^۷- با استفاده از دو پارامتر هدایت هیدرولیکی (K) و ضخامت واحد های رسوبی بالای سفره (D) می توان شاخص آسیب پذیری سفره را بدست آورد.

^۸- روشهای ریاضی از مدلهای شبیه سازی برای تخمین حرکت آلاینده ها استفاده می کنند.

^۹- روشهای آماری از روابط همبستگی بین متغیرهای مکانی و میزان آلاینده های موجود در آب زیرزمینی استفاده می کنند.

^{۱۰} Vlaicu

^{۱۱} Atiqur Rahman

^{۱۲} Insaf & Babiker

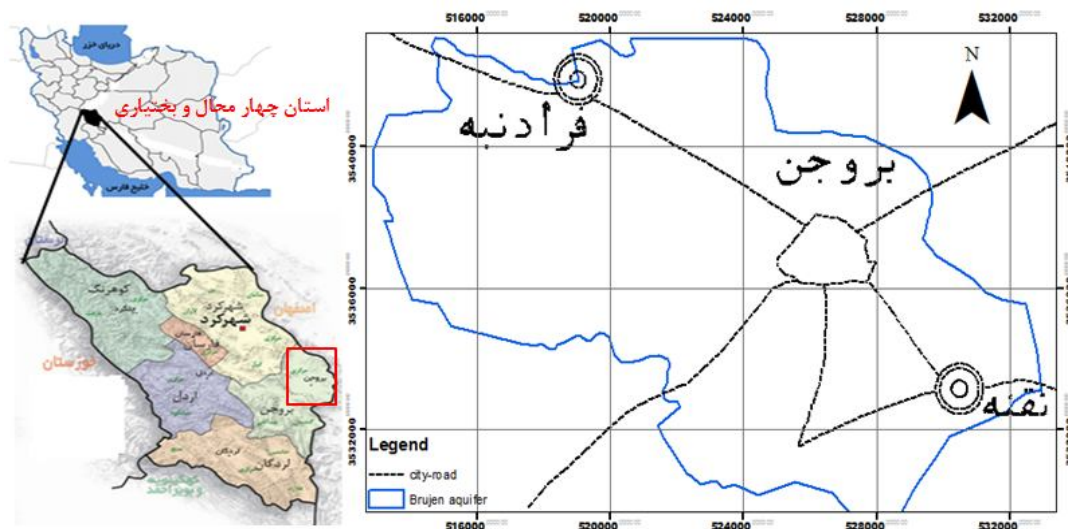
^{۱۳} Baalousha H.

^{۱۴} Youn Jong Kim

هدف از این تحقیق ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت بروجن - فرادنبه با به کارگیری روش دراستیک در محیط GIS و صحت سنجی آن با استفاده از پراکندگی غلظت نیترات در آبخوان مورد نظر می باشد. با توجه به اهمیت دشت بروجن-فرادنبه در استان چهارمحال و بختیاری، در این مقاله سعی شده است ضمن تهیه نقشه پهنه بندی پتانسیل آسیب پذیری، اقدامات پیشگیرانه و مدیریتی برای مناطق مستعد آلودگی ارائه گردد.

موقعیت جغرافیایی، زمین شناسی و هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

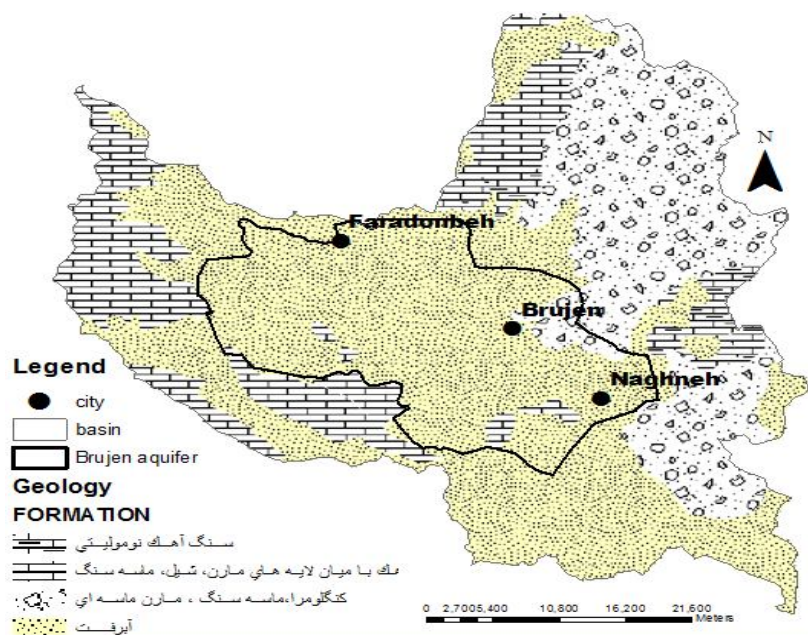
آبخوان دشت بروجن-فرادنبه با مساحتی حدود ۱۷۰ کیلومترمربع و در موقعیت جغرافیایی در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی در استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده بروجن- فرادنبه از لحاظ تقسیمات زمین شناسی ایران در زون سنندج- سیرجان و از نظر تکتونیکی روراندگی سرتاسری زاگرس (با مسیر عبور شمال، شمال غربی- جنوب شرقی حوضه) قرار دارد. نمود تکتونیکی منطقه شامل چین خوردگیهای کما بیش منظمی است که اکثرا حول محورگسل اصلی زاگرس یعنی شمال غرب-جنوب شرق بوقوع پیوسته است. از نظر چینه شناسی قدیمی ترین تشکیلات زمین شناسی قابل مشاهده در این محدوده مربوط به کرتاسه تحتانی شامل آهکهای متورق و نازک لایه

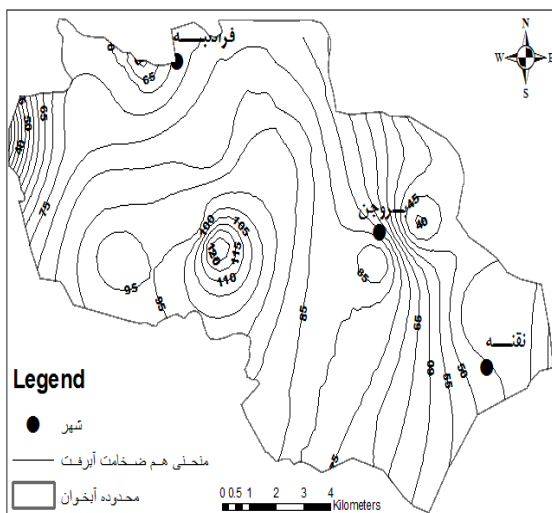
همراه با شیل، مارن و ماسه سنگ می باشد بر روی این تشکیلات، آهکهای کارستیک کرتاسه میانی قرار گرفته که نمود آنها به رنگ خاکستری و حاوی فسیلهای اربیتولین بوده و دارای درصد زیادی از توسعه است. تشکیلات ائوسن با ساختاری متناوب از کنگلومرا و آهکهای نومولیتی در حدود ۷ کیلومتری شمال شرقی فرانسه رخنمون دارد که بطور دگر شیب روی تشکیلات کرتاسه میانی قرار گرفته و توسط کنگلومرای نئو ژن محاصره شده اند. تشکیلات بختیاری با لیتولوژی کنگلومرا و ماسه سنگ در مناطق غرب و جنوب غرب منطقه رخنمون دارند. رسوبات مربوط به دوران چهارم با ضخامتی قریب به ۷۰ متر در نواحی خروجی دشت، عمدتاً از آبرفتهای جوان در نواحی وسط دشت بخصوص حاشیه مسیلهها و مخروط افکنه ها را تشکیل می دهد (شکل ۲) (گزارش مطالعاتی دشت بروجن ، ۱۳۸۷).



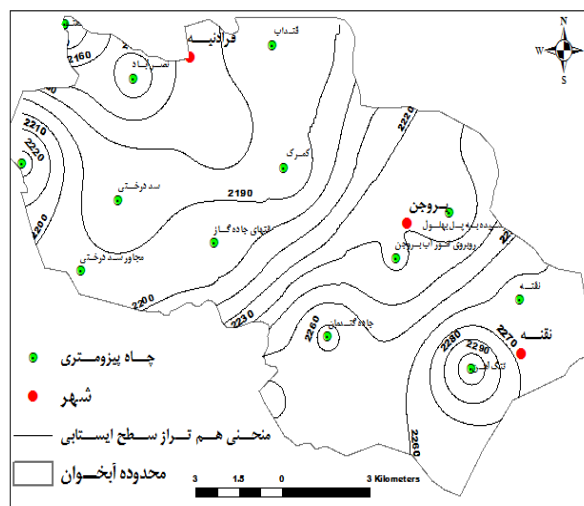
شکل ۲: نقشه زمین شناسی بروجن-فردانبه

از نظر هیدروژئولوژی مساحت آبخوان دشت بروجن-فردانبه در حدود ۱۶۲ کیلومتر مربع می باشد. آبخوان دشت از اطراف توسط تشکیلات آهکی و کنگلومرایی احاطه شده است. سنگ کف در نواحی اطراف دشت شامل طبقات آهکی کرتاسه، کنگلومرای بختیاری و در نواحی دیگر طبقات رسی دوران چهارم می باشد. اطلاعات بدست آمده از لوگ چاههای حفاری و نقشه های سنگ کف ژئوالکتریکی، نشان میدهد که حداکثر

ضخامت آبرفت ۱۲۵ متر می رسد ولی به طور میانگین ۴۵ متر می باشد (شکل ۳) گزارش توجیهی تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی بروجن-فرادنبه (۱۳۸۷). براساس نقشه تراز آب زیرزمینی (شکل ۴) جهت جریان در آبخوان دشت بروجن-فرادنبه از جنوب شرقی و جنوب غربی به طرف شمال دشت یعنی تنگ دهنو می باشد.

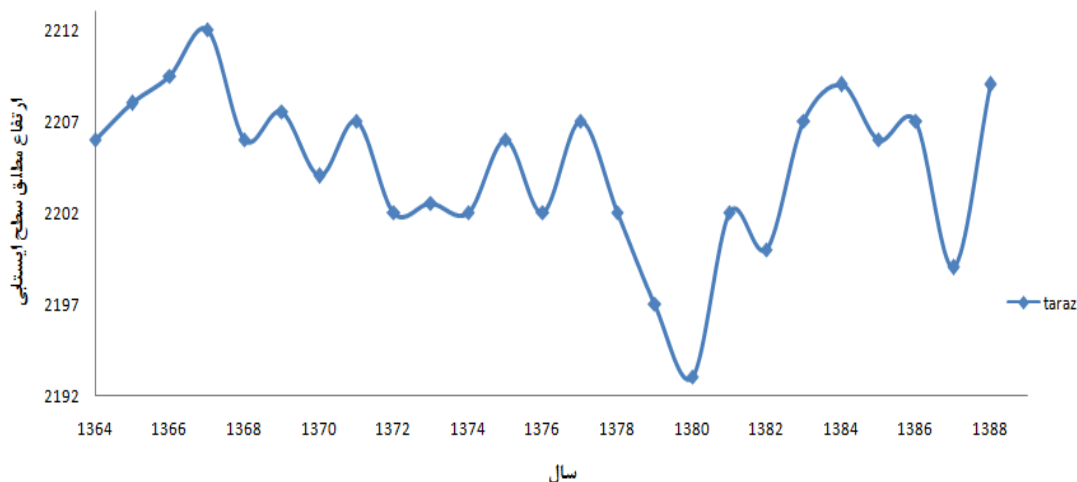


شکل ۴: تغییرات ضخامت آبخوان بروجن-فرادنبه



شکل ۳: نقشه تراز آب زیرزمینی دشت بروجن-فرادنبه

مقدار متوسط ضریب قابلیت انتقال (T) و ضریب دخیره (S) مواد آبخوان که بر اساس داده های حاصل از آزمایشات پمپاژ انجام گرفته در چاههای مختلف دشت و همچنین سایر روشها محاسبه شده است، به ترتیب ۲۵۰ متر مربع در روز و ۳ درصد می باشد (گزارش توجیهی تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی بروجن-فرادنبه ۱۳۸۷). هیدروگراف واحد ۲۴ ساله آب زیرزمینی دشت بروجن-فرادنبه (شکل ۵) نشان می دهد که سطح آب زیر زمینی از سال ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۸۰ روندی نزولی داشته و بعد از آن سیر صعودی بخود گرفته و متاسفانه در سال آبی ۸۷ مجددا روند نزولی شده است.



شکل ۵: هیدروگراف هیدروگراف واحد ۲۴ ساله آب زیرزمینی دشت بروجن-فردنبه

مواد و روشها

عبارت DRASTIC مخفف پارامترهایی است که در سیستم هیدروژئولوژیکی کنترل کننده آلودگی آب زیرزمینی می‌باشند. این پارامترها شامل: عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه (R)، مواد تشکیل دهنده آبخوان (A)، نوع خاک (S)، توپوگرافی (T)، اثر منطقه غیر اشباع (I) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (C) می‌باشد. در این روش شاخص آسیب‌پذیری از مجموع حاصلضرب وزن و رتبه هفت پارامتر فوق‌الذکر مطابق رابطه (۱) بدست می‌آید. رتبه مربوط به هر پارامتر بین ۱ تا ۱۰ و وزن هر پارامتر با توجه به اهمیت آن بین ۱ تا ۵ متغیر می‌باشد (که در بخش بعد به تفصیل توضیح داده خواهد شد).

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

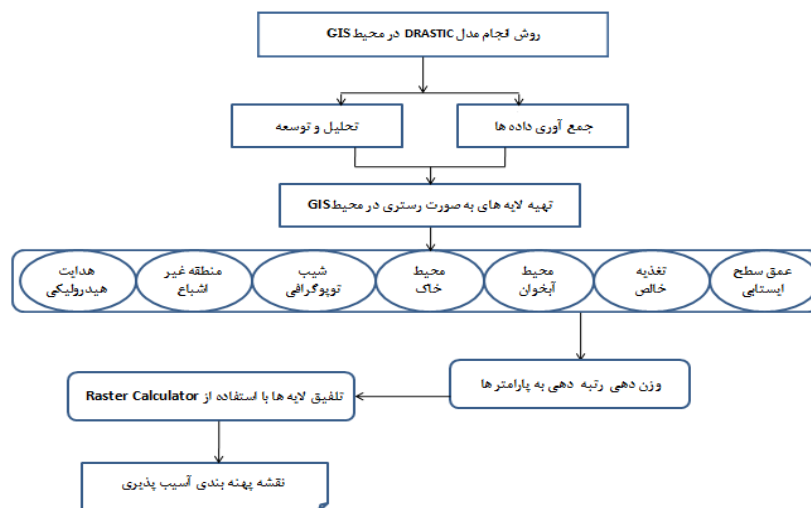
که در آن:

D_i : مقدار نهایی شاخص دراستیک در پیکسل i ام، W_j : وزن پارامتر j ، R_j : رتبه پارامتر j می‌باشد.

شکل (۶) مراحل تهیه نقشه پهنه بندی آسیب‌پذیری یک آبخوان با استفاده از مدل دراستیک را نشان می‌دهد. با تهیه نقشه‌های رستری پارامترهای دراستیک در محیط GIS و بکارگیری قابلیت

Raster Calculator نرم افزار GIS می توان لایه های مختلف را تلفیق و نقشه پهنه بندی آسیب پذیری را

تهیه نمود.



شکل ۶: مراحل تهیه مدل دراستیک (تغییر یافته از مقدم ۱۳۸۸)

وزن دهی پارامترها

به هر یک از پارامتر هفت گانه دراستیک به نسبت اهمیت آن در آسیب پذیری، وزنی بین ۱ تا ۵ داده می شود (جدول ۱). به مهم ترین پارامتر وزن ۵ و به کم اهمیت ترین آن ها وزن ۱ داده می شود (آلر^{۱۵} و همکاران، ۱۹۹۷). ارزیابی آسیب پذیری هر منطقه بایستی براساس اهمیت هر یک از پارامترها در آن منطقه صورت بگیرد. به طور مثال توپوگرافی در یک منطقه کوهستانی نسبت به یک دشت مسطح از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین بایستی توجه داشت که بعضی از پارامترها در ایجاد دیگر پارامترهای هفت گانه دراستیک موثر می باشند. به عنوان مثال توپوگرافی (T) بر پارامتر عمق آب زیرزمینی (D) در یک منطقه موثر است و هر چند که اثر توپوگرافی قبلاً به طور مجزا در برآورد شاخص دراستیک اعمال شده است.

جدول ۱: وزن های نسبت داده شده به پارامترهای

هفت گانه دراستیک (آلر و همکاران، ۱۹۹۷)

پارامتر	وزن نسبی
عمق آب زیرزمینی (D)	۵

^{۱۵} Aller, L.

۴	تغذیه (R)
۳	محیط اشباع (A)
۲	محیط خاک (S)
۱	توپوگرافی (T)
۵	محیط غیر اشباع (I)
۳	هدایت هیدرولیکی (C)

رتبه بندی پارامترها

به هر یک از پارامترهای کیفی دراستیک مانند محیط خاک (S) ، محیط غیر اشباع (I) و محیط اشباع (A) بر اساس نوع خاک و مواد زمین شناسی تشکیل دهنده و به هر یک از پارامترهای عددی دراستیک (عمق ، تغذیه (D) ، تغذیه (R) ، توپوگرافی (T) ، هدایت هیدرولیکی (C)) بر اساس محدوده ها یا کلاسه های عددی متفاوت ارزشی بین ۱ تا ۱۰ داده می شود (جدول های ۲ و ۳). محدوده های عددی موثر در حوزه مورد نظر، براساس اثر آن ها بر پتانسیل آلودگی تعیین می شوند.

جدول ۲: رتبه بندی پارامترهای دراستیک (آر و همکاران ، ۱۹۹۷)

رتبه	محدوده	محیط اشباع (A)		محیط خاک (S)		توپوگرافی (T)		درصد شیب	رتبه	رتبه	عمق آب زیرزمینی (D) بر حسب متر
		مواد زمین شناسی	رتبه	نوع خاک	رتبه	محدوده	عمق				
۱	۰-۲	شیل توده های	۲	نازک یا نبودن خاک یا شن	۱۰	۱۰	۰-۲	۱۰	۲	۱۰	۰-۱/۵
۳	۲-۶	آذرین یا دگرگونی	۳	ماسه	۹	۹	۲-۶	۹	۳	۹	۱/۵-۴/۶
۶	۶-۱۲	آذرین یا دگرگونی هوازه	۴	کود گیاهی	۸	۸	۶-۱۲	۵	۴	۷	۴/۶-۹/۱
۸	۱۲-۱۸	یخرفت	۵	رس فشرده	۷	۷	۱۲-۱۸	۳	۵	۵	۹/۱-۱۵/۲
۹	>۱۸	ماسه سنگ لایه لایه	۶	لوم ماسه ای	۶	۶	>۱۸	۱	۶	۳	۱۵/۲-۲۲/۸
۱۰		آهک توده ای یا شن و ماسه	۸	لوم	۵	۵			۸	۲	۲۲/۸-۳۰/۴
		پازلت دارای شکستگی	۹	لوم سیاهی	۳	۳			۹	۱	>۳۰/۴
		کارسن	۱۰	کود (Muck)	۲	۲					

هبات هیدرولیکی (C) بر حسب (mm/day)	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه	رتبه
محدوده	۰/۴-۴/۱	۴/۱-۱۲/۳	۲۸/۷-۱۲/۳	۲۸/۷-۴/۱	۴/۱-۸۲	>۸۲			
مواد زمین شناسی	لایه محبوس کننده	سیلت/رُس / سنگ آهک	ماسه سنگ / ماسه سنگ لایه لایه ، سنگ آهک و توالی شیلی	شن و ماسه	بازالت دارای شکستگی	سنگ آهک کارستی			

جدول ۲: رتبه بندی تغذیه خالص (پیسکوپو ، ۲۰۰۱)

تغذیه (R)		نفوذ پذیری خاک (In)		بارندگی (P)		شیب توپوگرافی (T)	
محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده (mm)	رتبه	محدوده (%)	رتبه
۱۱-۱۴	۱۰	۵	بالا	>۸۵۰	۴	<۲	۴
۹-۱۱	۸	۴	نسبتاً بالا	۷۰۰-۸۵۰	۳	۲-۱۰	۳
۷-۹	۵	۳	متوسط	۵۰۰-۷۰۰	۲	۱۰-۳۳	۲
۵-۷	۳	۲	کم	<۵۰۰	۱	>۳۳	۱
۳-۵	۱	۱	خیلی کم				

بحث و بررسی

با توجه به مراحل تهیه مدل دراستیک (شکل ۶) و با به کارگیری و تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع آوری شده از منطقه مورد مطالعه ضمن تهیه لایه های اطلاعاتی مورد نیاز و تلفیق آنها در محیط GIS ، نقشه پهنه بندی پتانسیل آسیب پذیری آبخوان دشت بروجن-فردانیه تهیه و صحت سنجی آن با مقایسه با نقشه غلظت نیترات مورد بررسی قرار گرفته است. که در زیر به مراحل آن اشاره می گردد.

تهیه لایه های اطلاعاتی

لایه عمق (D)

پارامتر عمق از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده و تعیین کننده عمقی است که آلوده کننده بایستی طی کند تا به سطح ایستایی برسد. هر چقدر سطح آب عمیق تر باشد زمان حرکت و ماندگاری آلوده کننده و در نتیجه ظرفیت میرایی آن افزایش یابد. حضور لایه های با تراوایی کم موجب ایجاد محدودیت

در حرکت آلوده کننده به یک آبخوان می‌شوند. در آبخوان‌های محصور پارامتر عمق به صورت عمق تا بالای آبخوان در نظر گرفته می‌شود. ولی آبخوان‌های نیمه تحت فشار با توجه به شرایط آبخوان و ویژگی‌های آن می‌تواند به صورت تحت فشار و یا به صورت آزاد در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از آمار و اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای موجود در دشت بروجن-فردانبه، ابتدا نقشه هم عمق آب زیرزمینی تهیه و سپس با کمک رتبه‌بندی عمق (جدول ۲) نقشه رتبه بندی عمق (شکل ۷-الف) تهیه گردید.

لایه تغذیه (R)

تغذیه خالص مقدار آبی است که از سطح زمین نفوذ کرده و به سطح ایستابی می‌رسد. تغذیه آب موجب انتقال آلودگی به صورت عمودی و رسیدن به سطح ایستابی و به صورت افقی در آبخوان حرکت کند. برای تهیه نقشه تغذیه خالص دشت، ابتدا مقدار متوسط بارندگی سالیانه (Ra) و سپس با توجه به مقدار نفوذپذیری خاک (In) (طبق جدول ۳-۴ کتاب هیدرولوژی آب زیرزمینی (تاد) ترجمه رازقی ۱۳۵۳) و شیب توپوگرافی مناطق مختلف دشت، میزان تغذیه خالص تقسیم‌بندی شد. نقشه تغذیه خالص بصورت رستری و اندازه سلول ۱۰۰ متری تهیه شد و با توجه به رتبه‌ای که در محاسبه شاخص آسیب‌پذیری برای پارامتر تغذیه در نظر گرفته شده (جدول ۳) و طبق رابطه (۲)، نقشه رتبه‌بندی تغذیه بدست آمده است (شکل ۷-ب).

$$R = \text{Slope} (\%) + Ra(\text{mm}) + In(\text{mm}) \quad \text{رابطه (۲)}$$

لایه محیط آبخوان (A)

محیط آبخوان و مواد تشکیل دهنده آن، طول و چگونگی مسیر سیستم جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می‌کند. چگونگی مسیر که شدیداً متأثر از میزان درز و شکاف و تخلخل می‌باشد، نقش موثری در سرعت انتقال آلودگی داشته و طول مسیر، زمان لازم برای انجام فرآیندهای میرایی (نظیر جذب، واکنش‌های شیمیایی و پراکنش) آلودگی را تعیین می‌کند. علاوه بر این محیط آبخوان بر مقدار سطح موثر موادی که با آلوده کننده در تماس هستند، تاثیر می‌گذارد. در این مقاله با استفاده از لوگ‌های حفاری چاه‌های موجود در محدوده مطالعاتی و نقشه‌های مقاطع ژئوالکتریک، نقشه نوع و جنس محیط آبخوان

تهیه و با توجه به رتبه محیط آبخوان (جدول ۲) نقشه رستری رتبه‌بندی محیط آبخوان در اندازه سلول ۱۰۰ متری در محیط GIS تهیه شد. (شکل ۷-ج)

لایه محیط خاک (S)

محیط خاک تأثیر بسیار مهمی در رسیدن تغذیه موثر به سطح ایستابی و بر چگونگی حرکت آلوده کننده دارد. وجود مواد با بافت ریزدانه نظیر سیلت و رس تراوایی نسبی خاک را کاهش می‌دهند و مهاجرت و حرکت آلوده کننده‌ها را محدود می‌سازند. فعالیت نسبتاً بالای میکروبی، وجود مواد آلی و ریشه گیاهان در خاک باعث افزایش ظرفیت میرایی لایه خاک نسبت به بخش‌های زیرین منطقه غیر اشباع می‌گردد. محیط خاک بر حسب رده‌بندی بافتی آن مشخص و براساس پتانسیل آلودگی امتیاز بندی می‌شود. با استفاده از لوگ حفاری چاه‌های نقشه نوع و جنس خاک تا عمق ۲ متری تهیه و سپس با توجه به رتبه بندی این پارامتر (جدول ۲). نقشه رستری محیط خاک در اندازه سلول ۱۰۰ متری در محیط GIS تهیه گردیده است (شکل ۷-د).

لایه شیب (T)

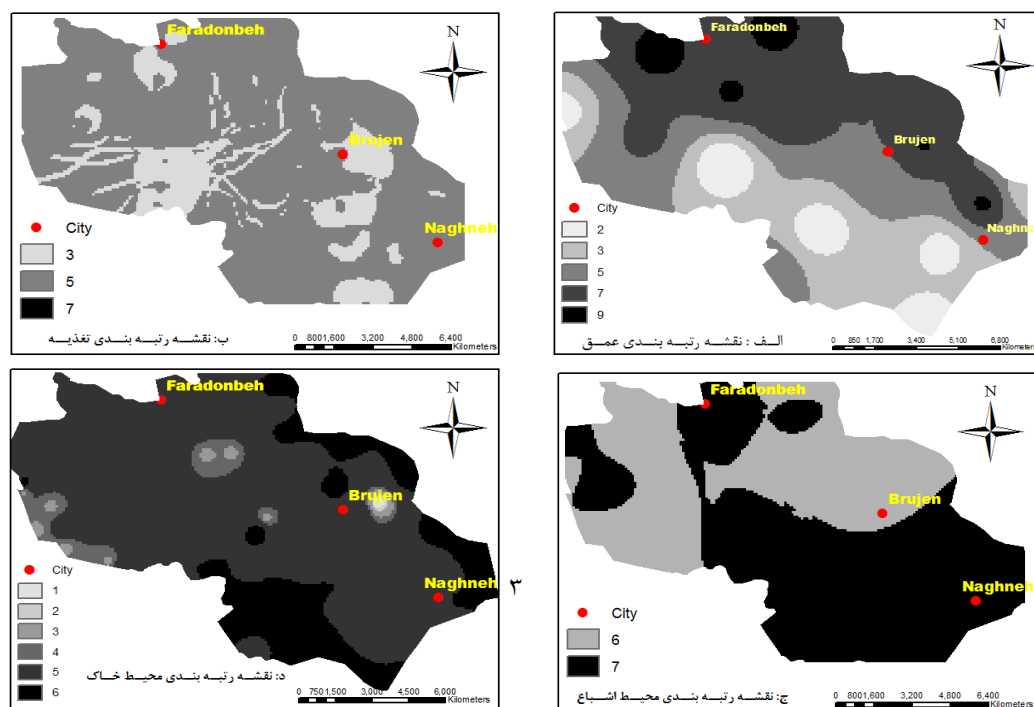
لایه توپوگرافی که شیب و تغییرات شیب سطح زمین را نشان می‌دهد نقش مهمی در حرکت آلوده کننده و نگهداری آن بر سطح زمین دارد. علاوه بر آن توپوگرافی بر گسترش خاک و در نتیجه بر میرایی آلوده کننده‌ها نیز مؤثر است. زمین‌های با شیب‌های کم به ویژه زمین‌های کشاورزی، باعث کاهش رواناب و افزایش نفوذ به آبخوان و در نتیجه شانس بیشتر نفوذ آلوده کننده‌ها و انتقال بیشتر آلودگی به آب زیرزمینی می‌شود. برای تهیه نقشه شیب از نقشه رقومی توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به همراه نقاط ارتفاعی کمکی مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای استفاده شده است. ابتدا نقشه رستری توپوگرافی و سپس به کمک آن نقشه رستری درصد شیب تهیه و در نهایت با استفاده از رتبه بندی این پارامتر (جدول ۲) نقشه رتبه بندی شیب با اندازه سلول ۱۰۰ متری در محیط GIS تهیه گردید (شکل ۷-ر).

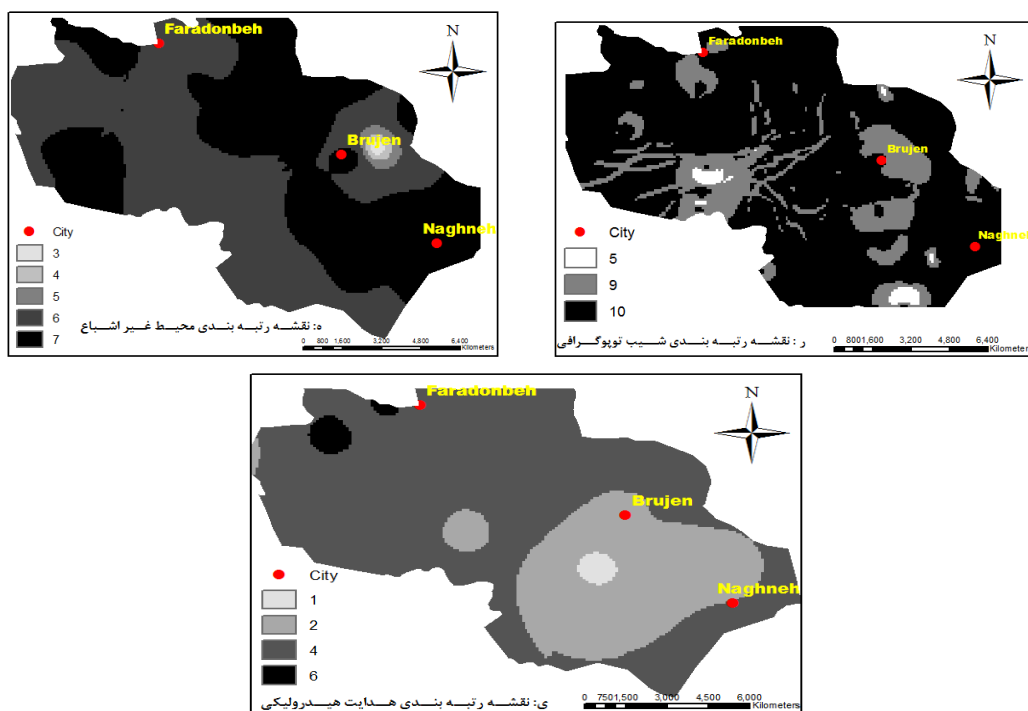
لایه منطقه غیر اشباع (I)

منطقه غیر اشباع منطقه بالایی سطح ایستابی تا سطح زمین است که از آب غیر اشباع می باشد. ضخامت و خصوصیات هیدرولیکی مواد زمین شناسی منطقه غیر اشباع که نرخ تغذیه و مدت زمان تغذیه به آبخوان را کنترل می کنند از عوامل کلیدی تعیین آسیب پذیری آبخوان هستند. با استفاده از لوگ های حفاری چاه ها و نقشه های مقاطع ژئوالکتریک دشت ، نوع و جنس مواد تشکیل دهنده منطقه غیر اشباع مشخص و نقشه رستری منطقه غیر اشباع تهیه گردید و سپس به کمک این نقشه و با توجه به جدول (۲) نقشه رستری رتبه بندی مربوط به منطقه غیر اشباع با اندازه سلول ۱۰۰ متری تهیه گردید (شکل ۷-۵).

لایه هدایت هیدرولیکی (C)

هدایت هیدرولیکی با مقدار فضاهای خالی مرتبط به هم در آبخوان کنترل و حاصل تخلخل بین دانه ای، درز و شکاف ها و صفحات لایه بندی است. مقدار هدایت هیدرولیکی (C) رامی توان از تقسیم مقدار ، بر ضخامت اشباع آبخوان (b) بدست آورد. از این رو ابتدا نقشه رستری ضریب قابلیت انتقال (با استفاده از داده های T نقاط مختلف دشت) نقشه رستری ضخامت اشباع (از تفریق نقشه رستری هم ضخامت آبرفت به نقشه هم عمق سطح آب) را بدست آورده و و سپس از تقسیم نقشه ضریب قابلیت انتقال بر نقشه ضخامت آبخوان، نقشه رستری هدایت هیدرولیکی دشت بدست آمده است. در نهایت با توجه به رتبه بندی محدودهای هدایت هیدرولیکی (جدول ۲) نقشه رستری رتبه بندی هدایت هیدرولیکی بدست آمده است (شکل ۷-۵)





شکل ۷: نقشه رتبه بندی پارامترهای دراستیک برای منطقه مورد مطالعه

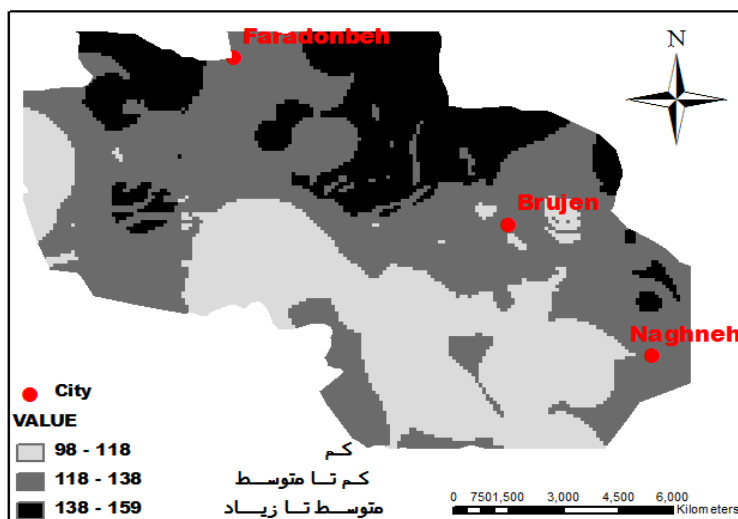
شاخص آسیب پذیری سفره آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه

با استفاده از نقشه های رتبه بندی پارامترها (شکل ۷) و وزن هر یک از پارامترهای هفت گانه دراستیک (جدول ۲)، نقشه پهنه بندی آسیب پذیری محدوده مورد مطالعه تهیه شده است (شکل ۷). همانگونه که شکل ۷ نشان میدهد، شاخص دراستیک در دشت بروجن-فرادنبه با توجه بین ۹۸ تا ۱۵۹ متغیر است. با توجه به جدول طبقه بندی کیفی میزان آسیب پذیری (جدول ۴) حدود ۱۸ درصد دشت دارای آسیب پذیری کم (نواحی جنوبی و غربی دشت) و ۶۶ درصد دشت دارای آسیب پذیری متوسط (نواحی مرکزی دشت) و ۱۶ درصد دشت دارای آسیب پذیری زیاد (نواحی شمالی و شرقی دشت) می باشد. باید توجه داشت که نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان، پتانسیل آبخوان به آلودگی، نه میزان آلودگی آبخوان، را نشان می دهد. بدین معنی که ممکن است در یک منطقه پتانسیل آسیب پذیری کم و متوسط باشد ولی بدلیل حضور گسترده منابع آلاینده، آبهای زیرزمینی آلوده شده

باشد. بر عکس ممکن است در منطقه ای پتانسیل آسیب پذیری بالا باشد ولی به دلیل عدم حضور منابع آلاینده هیچ گونه خطری آلودگی آبهای زیرزمینی را تهدید نکند.

جدول ۳: طبقه بندی کیفی میزان آسیب پذیری (بالوشا، ۲۰۰۶)

پتانسیل آلودگی	بدون خطر آلودگی	خیلی کم	کم	کم تا متوسط	متوسط تا زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	کاملاً مستعد آلودگی
شاخص دراستیک	<۷۹	۸۰-۹۹	۱۰۰-۱۱۹	۱۲۰-۱۳۹	۱۴۰-۱۵۹	۱۶۰-۱۷۹	۱۸۰-۱۹۹	>۱۹۹

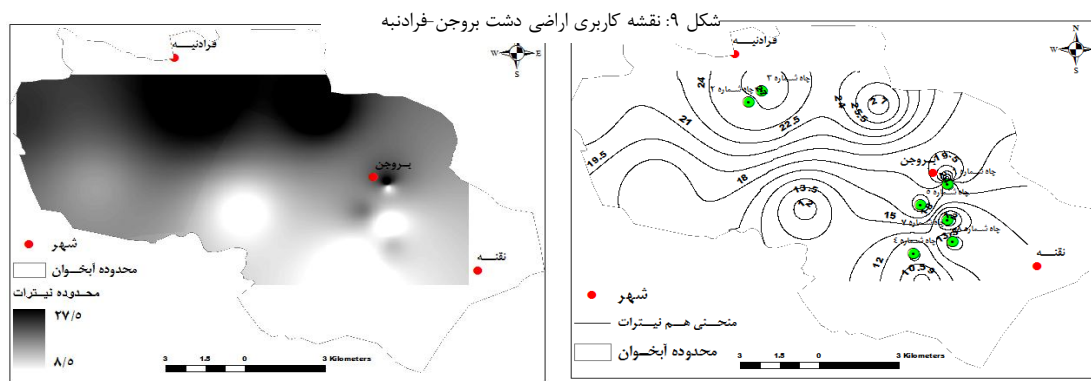


شکل ۷: پهنه بندی آسیب پذیری دشت بروجن-فرادنبه

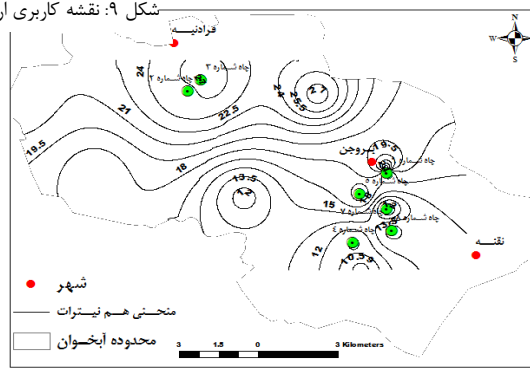
بررسی صحت سنجی مدل دراستیک با توجه به غلظت نیترات

یکی از معایب روش دراستیک این است که کلاسه بندی و ارزش گذاری پارامترها تا حدودی کارشناسی و به شرایط آبخوان بستگی دارد، که به نوبه خود باعث بروز عدم قطعیت در نتایج می شود. بنابراین باید مدل DRASTIC را با استفاده از پراکندگی غلظت آلاینده‌های خاص مانند نیترات، آفت کشها و غیره (روح افزایان ، ۱۳۸۷) که منجر به آسیب پذیری ویژه آبخوان می شود ، کالیبره گردد. با توجه به اینکه مهمترین منبع آلاینده آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، کودهای شیمیایی نیترا ته ، سولفات ه و فسفات ه مورد استفاده در کشاورزی می باشد، لذا انتظار میرود که غلظت نیترات و فسفات در آبهای زیرزمینی بدلیل فروشست این کودها از سطح خاک و انتقال آنها به آبخوان زیاد باشد. علاوه بر این به سبب قابلیت تحرک و زمان ماندگاری بالای آن در آب زیرزمینی و با توجه به اینکه نیترات یکی از شاخص های مهم بر ای نشان دادن کیفیت آب آشامیدنی و کشاورزی است ، از غلظت این یون در آبهای زیرزمینی (در ۱۰ چاه انتخابی شرکت

آب و فاضلاب شهری استان چهارمحال و بختیاری در سال ۱۳۸۷) برای صحت سنجی مدل DRASTIC استفاده گردیده است. شکل (۸) نقشه پهنه بندی آلودگی نیترات در آبهای زیرزمینی را در آبخوان دشت بروجن-فرادنبه نشان میدهد. همانطور که در شکل دیده میشود، بیشترین میزان آلودگی نیترات در محدوده شمال و شمال شرقی دشت دیده میشود، که با نواحی دارای پتانسیل آسیب پذیری زیاد (شکل ۷) همپوشانی دارد. بطور کلی رابطه بسیار نزدیکی بین وسعت و شدت فعالیتهای کشاورزی (شکل ۹)، توزیع میزان غلظت نیترات در آبخوان (شکلهای ۱۰ و ۱۱) و پتانسیل آسیب پذیری دشت (شکل ۷) وجود دارد.



شکل ۸: پهنه بندی رستری غلظت نیترات دشت بروجن-فرادنبه



نتیجه گیری

با توجه به اینکه روش دراستیک نسبت به سایر روشهای تعیین پتانسیل آسیب پذیری آبخوان به آلودگی، از کاربردی ترین روشهای رتبه دهی محسوب می گردد و از تعداد پارامترهای بیشتری در تهیه مدل استفاده می کند، لذا از این روش برای تعیین پتانسیل آسیب پذیری دشت بروجن-فرادنبه استفاده شده است. نقشه

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت، که از تلفیق نقشه‌های رستری هفت گانه پارامترهای مدل دراستیک با لحاظ کردن وزن هر پارامتر در محیط GIS بدست آمده است، نشان می‌دهد که در منطقه دشت بروجن-فرادنبه پارامترهای عمق سطح ایستابی (D) و محیط غیراشباع (I) بیشترین و پارامتر تغذیه دشت (R) کمترین تاثیر را در تعیین میزان آسیب‌پذیری سفره دارد. شاخص دراستیک در نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت بین ۹۸ تا ۱۵۹ متغیر بوده و بترتیب در حدود ۶۶، ۱۶ و ۱۸ درصد از سطح منطقه دارای آسیب‌پذیری متوسط، زیاد و کم می‌باشد. صحت‌سنجی مدل با استفاده از میزان غلظت نیترات در آبهای زیرزمینی، نشان می‌دهد که همپوشانی بسیار نزدیکی بین توزیع پتانسیل آسیب‌پذیری دشت و میزان غلظت نیترات وجود دارد. به طوری که میانگین غلظت نیترات در محدوده با آسیب‌پذیری زیاد تقریباً برابر ۲۴ میلی‌گرم در لیتر (چاه شماره ۳) و در مناطق با آسیب‌پذیری کم تقریباً ۱۰ میلی‌گرم در لیتر (چاه شماره ۴) می‌باشد. پیشنهاد می‌گردد در مناطق با پتانسیل آسیب‌پذیری بالا (نواحی شمالی و شمال شرقی دشت)، ضمن عدم استفاده از کودهای شیمیایی در فعالیتهای کشاورزی از ایجاد واحدهای صنعتی مولد آلودگی در این مناطق جلوگیری شود.

منابع

- محمدی، ک.، جوادی پیر بازاری، س.، و کاوه کار، ن. (۱۳۸۷)، "واسنجی روش DRASTIC نسبت به آلودگی نیترات در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان آستانه کوچصفهان با روش‌های آماری و GIS". چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران
- چیت‌سازان، م.، اختری، ی. (۱۳۸۵)، "پتانسیل‌یابی آلودگی آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خران با استفاده از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی"، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۹
- رازق منش، م.، محمدی، ک. (۱۳۸۳)، "تخمین آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی به روش دراستیک (مطالعه موردی: دشت چمچمال)"، دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، شیراز
- باقرزاده، س.، کلانتری، ن.، مرادزاده، م.، رحیمی، م. ح.، و فاضلی، م. (۱۳۸۹)، "جدیدترین روش پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی با استفاده از تکنیک‌های GIS و سنجش از دور: روش COP (مطالعه موردی آبخوان کارستی شیمبا)"، همایش ملی ژئوماتیک

- احمدی، ع.، آبرومند، م. (۱۳۸۸)، "بررسی پتانسیل آلودگی آبخوان دشت خاش، شرق ایران، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی"، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان
 - اکبری، ا.، کلانتری، ن.، رحیمی، م. (۱۳۸۵)، "بررسی و ارزیابی آب زیرزمینی دشت میان آب شوشتر با استفاده از GIS"، اولین همایش بهینه از منابع آب حوضه های کارون و زاینده رود، شهرکرد
 - روح افزایان، س. (۱۳۸۷)، "ارزیابی آسیب پذیری سفره آب زیرزمینی دشت کرج نسبت به نیترات با استفاده از GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران
 - گزارش توجیهی تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی بروجن-فردانیه (۱۳۸۷)، شرکت سهامی آب منطقه ای چهار محال و بختیاری، مدیریت مطالعات پایه گروه آبهای زیرزمینی
 - آمار کمی و کیفی دشت بروجن، شرکت سهامی آب منطقه ای چهار محال و بختیاری، مدیریت مطالعات پایه گروه آبهای زیرزمینی
 - آمار کیفی چاههای آب شرب، شرکت سهامی آب فاضلاب شهری چهار محال و بختیاری، مطالعات کیفی
-
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H., Petty, R.J., and Hackett, G., (۱۹۸۷), " DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential using Hydrogeologic Settings", *EPA/۶۰۰/۲-۸۷/۰۳۵*, pp ۱۹-۲۵, U.S.Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma
 - Youn J.K. (۱۹۹۹), " Assessment of the potential for groundwater contamination using the DRASTIC/EGIS technique, Cheongju area, South Korea", *Hydrogeology Journal*
 - Hamza, M.H., Added, A., Rodri'guez R., Abdeljaoued, S. , Ben Mammou A. (۲۰۰۷) ," GIS-based DRASTIC vulnerability and net recharge reassessment inan aquifer of a semi-arid region (Metline-Ras Jebel-Raf Raf aquifer,Northern Tunisia)" , *Journal of Environmental Management*
 - Vlaicu, M. ,Munteanu ,C.M. (۲۰۰۸) ,"Karst groundwaters vulnerability assessment method"
 - Atiqur, R.(۲۰۰۸), " A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India" , *Applied Geography*
 - Baalousha, H. (۲۰۰۶)," Vulnerability assessment for the Gaza Strip, Palestine using DRASTIC" Springer-Verlag

- Erhan, S. , Sehnaz, S. , Aysen, D. (۲۰۰۹) "Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and DRASTIC methods: a case study of the Senirkent-Uluborlu Basin (IspartaTurkey)" Hydrogeology Journal
- Naqa, A. (۲۰۰۴) , "Aquifer vulnerability assessment using the DRASTIC model at Russeifa landfill, northeast Jordan" Springer-Verlag
- Jamrah, A., Al-Futaisi ,A., Rajmohan, N. , Al-Yaroubi, S. (۲۰۰۷) ," Assessment of groundwater vulnerability in the coastal region of Oman using DRASTIC index method in GIS environment" , Environ Monit Assess , Springer Science & Business Medi
- Insaf , S., Babiker, Mohamed, A., Tetsuya H., Kikuo, K.(۲۰۰۴),"A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan", journal of Science of the Total Environment
- Piscopo, G. (۲۰۰۱). "Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment,NSW." *Department of Land and Water Conservation, Australia*,
<http://www.dlwc.nsw.gov.au/care/water/groundwater/reports/pdfs/castlereagh_map_notes.pdf>

Evaluation of Brujen-Faradonbeh aquifer vulnerability using DRASTIC method and GIS techniques

Abstract

Identifying and preparing the aquifer zoning map of vulnerable areas, where the pollutants from surface water can infiltrate and spread into groundwater system, is an important management tool for preventing groundwater resource contamination. There are various methods to evaluate aquifer vulnerability, which in general, can be divided in three main statistical, mathematical, and overlapping-index methods.

In this article, the DRASTIC, one of the most applicable overlapping-index methods, is used to prepare aquifer vulnerability zoning map of Borujen-Fradonbeh plain. The aquifer vulnerability zoning map results from integration of raster maps of seven DRASTIC parameters (depth to water table, recharge, aquifers environment, soil environment, topography, hydraulic conductivity and unsaturated zone environment) in ArcGIS, shows that the DRASTIC index ranged between 98 and 109 and about 66, 16 and 18 percent of the aquifer have moderate, high, and low vulnerability, respectively. In addition, the model calibration using nitrate concentrations in aquifer, shows the existence of a strong correlation between the vulnerable areas of aquifer and high nitrate concentrations areas.

Keywords: Aquifer vulnerability index, DRASTIC, Plain Brujen-Fradonbeh, GIS