

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیستم، تابستان ۱۳۹۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۲۹

صفحات: ۶۶ - ۵۳

ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت عجب شیر به منظور پیشگیری از خطرات آلودگی و اعمال مدیریت بهینه

مهسا نخستین روحی^۱، محمدحسین رضائی مقدم^{۲*}، توحید رحیم پور^۳

چکیده

منابع آب زیرزمینی دارای اهمیت فراوانی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری این منابع جهت پیشگیری از آلودگی و حفاظت آن‌ها جزو اولویت‌های سازمان‌های زیست محیطی محسوب می‌شود. دشت عجب شیر در استان آذربایجان شرقی و در شمال غرب ایران واقع شده است. تحقیق حاضر با هدف تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت عجب شیر با استفاده از روش‌های GODS و DRASTIC انجام یافته است. پارامترهای مدل دراستیک شامل عمق سطح ایستابی، تغذیه‌ی خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی آبخوان هستند. در مدل GODS نیز از چهار پارامتر نوع آبخوان، منطقه غیر اشباع، عمق آب زیرزمینی و نوع خاک استفاده می‌شود. تهیه لایه‌های هر مدل و رتبه‌بندی و وزن‌دهی آن‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام یافته است. سپس نقشه‌های آسیب‌پذیری از هم پوشانی این لایه‌ها تهیه شده است. در مدل دراستیک، منطقه مورد مطالعه در چهار طبقه آسیب‌پذیری خیلی کم (۱۳/۴۸ درصد)، کم (۵۵/۴۳ درصد)، متوسط تا کم (۲۸/۶۹ درصد) و متوسط تا زیاد (۳/۰۸ درصد) تقسیم شده است. مدل GODS منطقه را در سه طبقه آسیب‌پذیری کم (۴۳/۳۶ درصد)، متوسط (۵۲/۴۲ درصد) و زیاد (۴/۲۱ درصد) تقسیم نموده است. به طور کلی آسیب‌پذیری سطح عمده‌ای از آبخوان در هر دو روش کم و متوسط ارزیابی شده است، در حالی که بیشترین آسیب‌پذیری در هر دو روش سطح بسیار کوچکی از منطقه را پوشش داده است.

واژگان کلیدی: آبخوان، آسیب‌پذیری، GODS، DRASTIC.

Mahsa.nakhostinrouhi@gmail.com

Rezmogh@tabrizu.ac.ir

Rahimpour1990@gmail.com

^۱- کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز

^۲- استاد، گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

^۳- دانشجوی دکتری، گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز

مقدمه

آب زیرزمینی، حاصل نفوذ ریزش‌های جوی در شکاف و درز سنگ‌ها در نواحی کوهستانی و خلل و فرج زمین در دشت‌های آبرفتی می‌باشد. جریان آب در جهت شیب هیدرولیکی، سفره‌های آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند. به طور کلی آب زیرزمینی، بخشی از چرخه آب در طبیعت می‌باشد که توسط چاه‌ها، قنات‌ها، زهکش‌ها و یا چشمه‌های طبیعی قابل جمع‌آوری است و عمده‌ترین تأمین کننده نیازهای کشاورزی و شرب می‌باشد. آب 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 است (چیت سازان و اختری، ۲۰۰۶). این منابع ارزشمند پس از یخچال‌ها، دومین منبع آب شیرین موجود در جهان هستند. نیازهای آبی حدود یک‌سوم جمعیت جهان به‌وسیله‌ی آب زیرزمینی تأمین می‌شود و بیش از ۷۰ درصد منابع آب زیرزمینی به مصرف کشاورزی می‌رسد (سبزواری، ۱۳۸۷). در کشور ایران منابع آب زیرزمینی حدود یک‌سوم منابع آب کشور را شامل می‌شود. لیکن این منابع تأمین‌کننده‌ی حدود ۵۰ درصد مصارف آب کل کشور است. در بسیاری از مناطق شهری و روستایی کشور آب‌های زیرزمینی تنها تأمین‌کننده‌ی آب مورد نیاز شرب و کشاورزی است (صداقت، ۱۳۹۰). تشخیص و کنترل آلودگی در آب‌های زیرزمینی در مقایسه با آب‌های سطحی دشوارتر و پرهزینه‌تر است. در نتیجه مناسب‌ترین روش جلوگیری از آلودگی آن‌ها، شناسایی منابع آلاینده و مناطق آسیب‌پذیر از طریق تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری است (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۲). امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها به درون سیستم آب زیرزمینی، آسیب‌پذیری نامیده می‌شود (ال - نکا^۱ و همکاران، ۲۰۰۶). فاستر^۲ (۱۹۸۷)، آسیب‌پذیری را ترکیبی از دو فاکتور در نظر گرفت. اول: در دسترس نبودن ناحیه‌ی اشباع در مقابل نفوذ آلاینده‌ها و دوم: ظرفیت تضعیف و میرایی قشر قرارگرفته بر روی ناحیه‌ی اشباع در نتیجه‌ی قابلیت حفاظت فیزیکی و شیمیایی این لایه یا رفتار آلاینده‌ها. آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را می‌توان به دو گروه آسیب‌پذیری ذاتی^۳ و آسیب‌پذیری ویژه^۴ تقسیم‌بندی کرد (بابیکر^۵ و همکاران، ۲۰۰۵). تفاوت عمده‌ی روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی و ویژه در آن است که در دسته‌ی اول، فرض بر این است که منطقه‌ی مورد مطالعاتی در معرض هیچ آلاینده‌ای قرار ندارد و با توجه به شاخص آسیب‌پذیری به‌دست‌آمده، بعداً در معرض آلاینده‌های مختلف و کاربری‌های متفاوت قرار می‌گیرد. در صورتی که در دسته‌ی دوم این روش‌ها، فرض بر این است که در منطقه‌ی موردنظر کاربری‌های مختلفی موجودند و شاخص آسیب‌پذیری با در نظر گرفتن آن‌ها تعیین می‌گردد. بنابراین روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی جهت آمایش سرزمین و روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ویژه با در نظر گرفتن وضعیت موجود، می‌توانند به‌منظور تعیین محل حفر چاه در منطقه جهت تأمین نیازهای آبی مورد استفاده قرار گیرند (رضایی، ۱۳۹۰).

1- El-Naqa

2- Foster

3- Intrinsic Vulnerability

4- Specific Vulnerability

5- Babiker

با توجه به اهمیت روز افزون ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، تحقیقات مختلفی با بکارگیری روش‌های گوناگون در داخل و خارج از کشور در این زمینه انجام یافته است. پولمیو^۱ و همکاران (۲۰۰۹)، به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی در منطقه آپولیا واقع در جنوب شرق ایتالیا پرداختند. در این تحقیق از روش‌های مختلف از جمله GOD، DRASTIC و SINTACS استفاده شد. در نقشه‌های آسیب‌پذیری ذاتی تهیه شده در GIS آسیب‌پذیری منطقه از کم تا خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. روش DRASTIC آسیب‌پذیری منطقه را به صورت کم و بیشتر متوسط ارائه داد، در حالی که در روش GOD کل منطقه در محدوده آسیب‌پذیری کم واقع شد. بو فکان^۲ و سیغی^۳ (۲۰۱۳) از روش‌های GOD، DRASTIC و SI جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دره نیل در شمال شرق الجزایر استفاده نمودند. بررسی توزیع نترات در آب زیرزمینی نشان داد که روش دراستیک بهترین روش برای این منطقه بوده و روش‌های GOD و SI در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. هم‌چنین آب‌های منطقه با آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد شناسایی شد. گاد^۴ و همکاران (۲۰۱۵) آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان وادی التومیلات^۵، واقع در دلتای شرقی مصر را بر اساس روش‌های GOD، PRAST و DRASTIC ارزیابی نمودند. از طریق نقشه آسیب‌پذیری، محدوده بزرگی از منطقه با آسیب‌پذیری متوسط شناسایی شد. سه علت عمده برای آسیب‌پذیری زیاد در برخی از قسمت‌های منطقه معرفی شد که شامل عمق کم آب، نفوذ پذیری بالای خاک و منطقه غیراشباع می‌باشند. جنوب منطقه مورد مطالعه نیز به عنوان مناسب‌ترین ناحیه جهت فعالیت احیای مجدد تشخیص داده شد. خدائی و همکاران (۱۳۸۵)، با استفاده از مدل‌های GODS و DRASTIC آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوبین را پهنه‌بندی نمودند. پس از مقایسه دو روش، روش DRASTIC آسیب‌پذیری آبخوان را کمتر از روش GODS نشان داد. محمودزاده و همکاران (۱۳۹۲)، سه روش GODS، DRASTIC و AVI را برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان میمه اصفهان به کار گرفتند. مقایسه نتایج روش‌های مذکور نشان داد که روش دراستیک آسیب‌پذیری آبخوان را بیشتر از دو روش دیگر ارزیابی کرده است. هم‌چنین در هر سه روش، محدوده‌های آسیب‌پذیری کم و متوسط ولی با حدود گسترش متفاوت ارزیابی شد. اصغری مقدم و برزگر (۱۳۹۳)، آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت تبریز را به کمک روش‌های GOD و AVI ارزیابی نمودند. بخش‌های جنوب و جنوب شرقی دشت با پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری شناسایی شد. سلطانی و همکاران (۱۳۹۵)، به ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی دشت کردکندی - دوزدوزان با استفاده از روش‌های GODS و AVI پرداختند. بر اساس روش AVI، بخش‌های شمال غربی و شرقی دشت و بر اساس روش GODS بخش‌های شمال غربی و جنوب شرقی دشت به عنوان مناطق دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتر نسبت به سایر مناطق تعیین شدند.

سطح دشت عجب شیر به طور عمده با کاربری کشاورزی پوشیده شده است. بنابراین استفاده از سموم و کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی این دشت بسیار متداول است. بعلاوه فاضلاب‌های شهری و روستایی نیز منابع آب

1- Polemio

2- Boufekane

3- Saighi

4- Gad

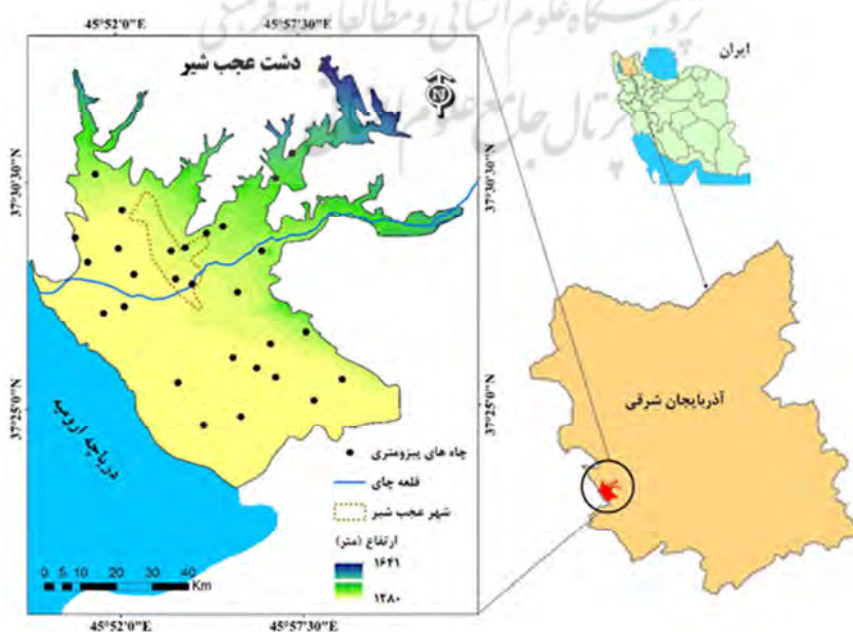
5- Wadi El-Tumilat

زیرزمینی در این منطقه را تهدید می‌نماید. در نتیجه تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان دشت عجب شیر برای تعیین مناطق در معرض خطر آلودگی می‌تواند در حفاظت از این منبع ارزشمند کمک شایانی نماید. بنابراین هدف از انجام پژوهش حاضر، تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان دشت عجب شیر با استفاده از دو مدل DRASTIC و GODS و استفاده از توانایی سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

الف: منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در پژوهش حاضر دشت عجب شیر می‌باشد که با مساحت ۱۴۴/۶۹ کیلومترمربع در قسمت جنوب‌غربی استان آذربایجان شرقی و جنوب شرقی دریاچه‌ی ارومیه واقع شده است. این منطقه از لحاظ موقعیت جغرافیایی در طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۹ دقیقه و ۲۳ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۲ دقیقه و ۲۵ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۳ دقیقه و ۴ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۳۳ دقیقه و ۲۹ ثانیه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). حداقل و حداکثر ارتفاع این دشت به ترتیب ۱۲۸۰ و ۱۶۴۱ متر از سطح دریا می‌باشد. طبق طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم نیمه‌خشک بوده و میانگین بارش سالانه آن ۳۰۰ میلی‌متر در سال است و بیشترین بارش مربوط به ماه‌های اسفند و اردیبهشت می‌باشد. سطح اراضی کشاورزی این دشت حدود ۷۰۰۰ هکتار می‌باشد که به کشت محصولات مختلف زراعی و باغی اختصاص دارد. مطالعات مربوط به منابع آب کشاورزی دشت عجب شیر نشان می‌دهد که به‌طور متوسط از کل آب مصرفی کشاورزی این منطقه یعنی ۶۴/۴ میلیون مترمکعب در سال حدود ۳۶/۷ میلیون مترمکعب آن از منابع آب زیرزمینی استخراج می‌شود (اداره آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

ب: روش تحقیق

روش‌های بکار رفته در این تحقیق جهت تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان دشت عجب شیر، روش‌های DRASTIC و GODS می‌باشد. در تحقیق حاضر، جهت تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان دشت عجب شیر از روش‌های DRASTIC و GODS استفاده شده است. روش دراستیک جزو روش‌های هم‌پوشانی و شاخص است و یکی از متداول‌ترین روش‌های ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری ذاتی آب‌های زیرزمینی می‌باشد. روش دراستیک که یکی از متداول‌ترین روش‌های ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری ذاتی آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شود، جزو روش‌های هم‌پوشانی و شاخص است. این روش توسط آلر^۱ و همکاران در سال ۱۹۸۷ با هدف ارزیابی سیستماتیک پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی توسعه یافت (استیگر و همکاران، ۲۰۰۶). در این روش از پارامترهای هفت گانه قابل اندازه‌گیری برای سیستم هیدروژئولوژیکی شامل عمق سطح ایستابی (D)، تغذیه‌ی خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، اثر محیط غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (C) استفاده می‌شود (بابیگر و همکاران، ۲۰۰۵). جهت تهیه‌ی نقشه‌ی شاخص دراستیک از معادله‌ی ۱ استفاده می‌شود:

$$DI = \sum_{j=1}^7 r_j w_j = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (1)$$

در رابطه فوق DI شاخص دراستیک، حروف بزرگ؛ حروف اول نام لایه‌ها، اندیس r: رتبه‌ی لایه و اندیس w: وزن لایه را معرفی می‌کنند. رتبه‌های مربوط به زیرلایه‌های هر معیار بسته به میزان تأثیر آن‌ها بر پتانسیل آسیب‌پذیری از ۱ تا ۱۰ متغیر است. وزن هر لایه نیز مقدار ثابتی بین ۱ تا ۵ می‌باشد که اهمیت نسبی هر لایه را نسبت به لایه‌های دیگر در پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان نشان می‌دهد (رحمان^۲، ۲۰۰۸).

در روش GODS از چهار پارامتر نوع آبخوان، ویژگی‌های لیتولوژیکی منطقه غیر اشباع (فقط در مورد آبخوان‌های آزاد)، عمق آب زیرزمینی و نوع خاک استفاده می‌شود (کازاکیس و ودوریس^۳، ۲۰۱۱). شاخص آسیب‌پذیری در این روش با استفاده از رابطه ۲ به دست می‌آید که در آن ارزش کلاس‌های پارامترها از صفر تا یک متغیر است و به تمامی پارامترها وزن یکسانی اختصاص داده می‌شود (فاستر، ۱۹۸۷).

$$I_v = G.O.D.S \quad (2)$$

در این رابطه I_v شاخص آسیب‌پذیری، G امتیاز نوع آبخوان، O امتیاز لیتولوژیکی منطقه غیر اشباع، D امتیاز عمق آب زیرزمینی و S امتیاز نوع خاک را نشان می‌دهد.

1- Aller

2- Rahman

3- Kazakis and Voudouris

ج: تهیه لایه‌های اطلاعاتی

در تحقیق حاضر برای تهیه لایه‌ی عمق سطح ایستابی از آمار سطح آب که از میانگین سطح آب اندازه‌گیری شده در چهار ماه از سال برای یک دوره ۱۰ ساله (۹۳-۱۳۸۴) و در ۲۶ چاه پیزومتری به دست آمده، استفاده شد. این پارامتر مشخص کننده عمقی است که آلاینده باید طی کند تا به سطح ایستابی برسد (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۸). از روش پیسکوپو^۱ (۲۰۰۱) برای تهیه لایه تغذیه خالص استفاده شد. نقشه این پارامتر از هم پوشانی سه لایه بارندگی، شیب (درصد) و نفوذپذیری خاک در محیط نرم افزار ArcGIS تهیه شد. جهت تهیه نقشه‌ی محیط آبخوان از اطلاعات مربوط به جنس طبقه‌ی اشباع در ۲۷ مقطع حفاری و لوله‌گذاری و کاوش‌های ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی در منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده شد. وجود ذرات درشت دانه در این ناحیه منجر به بالا رفتن سرعت نفوذ آلاینده‌ها در آن می‌شود (نخعی و همکاران، ۱۳۹۲). محیط آبخوان (منطقه اشباع) با ننگه داشت یا عبور دادن جریان آب و آلاینده‌ها از طریق شکستگی‌ها و فضاها‌ی خالی بر جریان درون خود تاثیر می‌گذارد (آلر و همکاران، ۱۹۸۷).

لایه محیط خاک توزیع مکانی بافت خاک را از سطح زمین تا قسمت بالایی منطقه غیر اشباع نشان می‌دهد (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۰). در این تحقیق، نقشه‌ی خاک با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از اداره‌ی جهاد کشاورزی تهیه و در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی شد و جهت وارد کردن به مدل، تبدیل به فرمت رستری شد. به طور کلی، کمبود مواد آلی و رس منجر به افزایش نفوذپذیری و پویایی آلاینده می‌شود که لایه محیط خاک نیز از این قاعده مستثنی نیست (نخستین روحی، ۱۳۹۴). نقشه توپوگرافی (شیب) با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با ابعاد پیکسل ۳۰*۳۰ متر در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. جهت تهیه نقشه‌ی منطقه غیر اشباع مانند لایه محیط آبخوان از داده‌های مربوط به جنس خاک منطقه‌ی غیر اشباع در ۲۷ مقطع حفاری و لوله‌گذاری استفاده شد. قسمت زیرین لایه خاک سطحی تا سطح ایستابی را منطقه غیر اشباع (وادوز) گویند (نخعی و همکاران، ۱۳۹۲).

نقشه‌ی هدایت هیدرولیکی با تقسیم نقشه‌ی قابلیت انتقال بر نقشه‌ی ضخامت لایه‌ی اشباع تهیه شد. این پارامتر بیانگر نفوذپذیری آبخوان یا توانایی مواد آبخوان در انتقال آب و مواد محلول است (تاد^۲، ۱۹۸۰). در مدل GODS، لایه نوع آبخوان بر اساس لوگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای، بهره‌برداری و اکتشافی و گزارش‌ها و اطلاعات موجود دریافت شده از سازمان آب منطقه‌ی استان آذربایجان شرقی مشخص گردید. سایر لایه‌های مورد نیاز در مدل GODS، همانند لایه‌های مدل دراستیک تهیه شدند. در جداول (۱ و ۲)، وزن هر یک از پارامترهای مدل دراستیک ارائه شده است. جدول (۳) نیز وزن پارامترهای مدل GODS را نشان می‌دهد.

جدول ۱: رتبه و وزن پارامترهای مدل دراستیک (آلر و همکارن، ۱۹۸۷)

عمق آب زیرزمینی (متر) (۵)							
محدوده	۰ - ۱/۵	۱/۵ - ۴/۶	۴/۶ - ۹/۱	۹/۱ - ۱۵/۲	۱۵/۲ - ۲۲/۸	۲۲/۸ - ۳۰/۴	> ۳۰/۴
رتبه	۱۰	۹	۷	۵	۳	۲	۱
توپوگرافی (درصد) (۱)							
محدوده	۰ - ۲	۲ - ۶	۶ - ۱۲	۱۲ - ۱۸	> ۱۸		
رتبه	۱۰	۹	۵	۳	۱		
هدایت هیدرولیکی (متر در روز) (۳)							
محدوده	۰/۰۴ - ۴/۱	۴/۱ - ۱۲/۳	۱۲/۳ - ۲۸/۷	۲۸/۷ - ۴۱	۴۱ - ۸۲	> ۸۲	
رتبه	۱	۲	۴	۶	۸	۱۰	
محیط آبخوان (۳)							
نوع سازند	شیل توده‌ای	دگرگونی	دگرگونی هوازده	آبرفت	ماسه‌سنگ، آهک	شیل و سنگ آهک	توده‌ی ماسه‌سنگ
رتبه	۲	۳	۴	۵	۶	۶	۱۰
توده‌ی شن و ماسه	بازالت	سنگ آهک کارستی					
محیط خاک (۲)							
جنس لایه خاک	نازک یا عدم وجود	گراول	ماسه	پیت	رس ترک‌خورده	ماسه‌ی لومی	لوم
رتبه	۱۰	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵
سیلت لومی	سپت لومی	سپت لومی	سپت لومی	سپت لومی	سپت لومی	سپت لومی	سپت لومی
سنگ آهک کارستی	بازالت	سنگ آهک کارستی					
منطقه غیر اشباع (۵)							
نوع سازند	لایه‌ی محصورکننده	سیلت و رس	شیل	سنگ آهک	ماسه‌سنگ	ماسه‌سنگ، شیل	شن و ماسه و رس
رتبه	۱	۱	۳	۳	۶	۶	۶
سپت لومی	سپت لومی	سپت لومی	سپت لومی	سپت لومی	سپت لومی	سپت لومی	سپت لومی

جدول ۲: رتبه‌بندی تغذیه‌ی خالص و عوامل مؤثر بر آن (پیسکوبو، ۲۰۰۱)

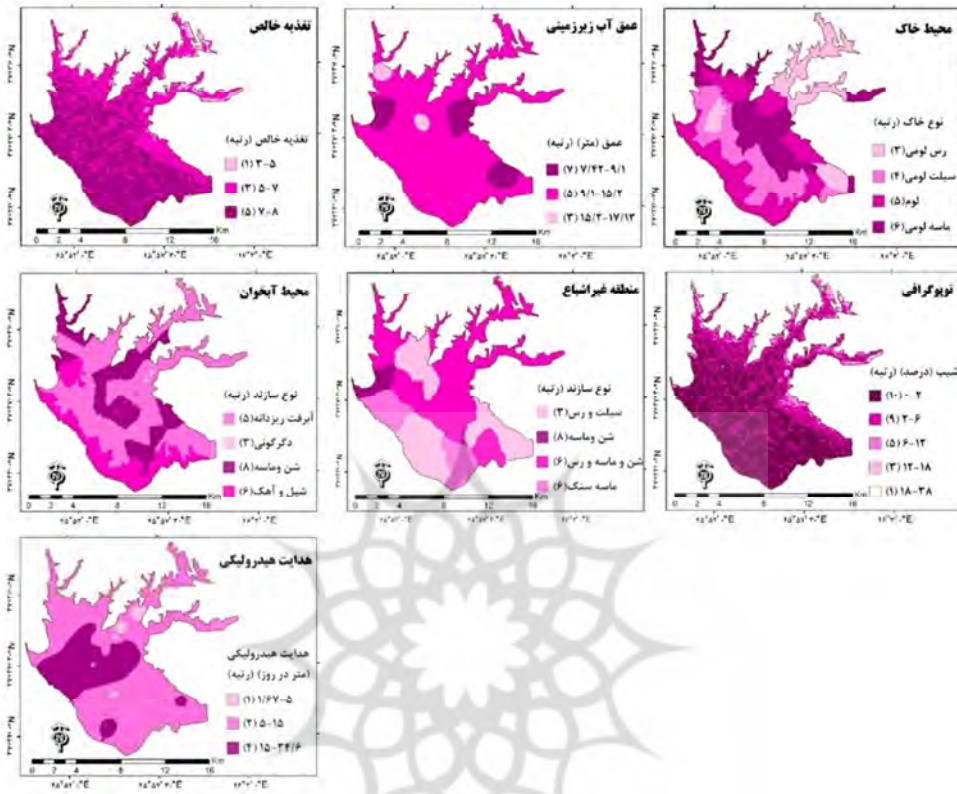
شیب (درصد)		بارندگی (میلی‌متر)		نفوذپذیری خاک		میزان تغذیه (۴)	
محدوده	فاکتور	محدوده	فاکتور	محدوده	فاکتور	محدوده	رتبه
بیشتر از ۱۸	۱	> ۵۰	۱	خیلی کم	۱	۳-۵	۱۰
۱۲-۱۸	۲	۵۰-۷۰	۲	کم	۲	۵-۷	۳۰
۶-۱۲	۳	۷۰-۸۵	۳	متوسط	۳	۷-۹	۵۰
۲-۶	۴	بیشتر از ۸۵	۴	متوسط تا زیاد	۴	۹-۱۱	۸۰
۰-۲	۵	-	-	زیاد	۵	۱۱-۱۴	۱۰۰

جدول ۳: رتبه و وزن پارامترهای مدل GODS (پایز، ۱۹۹۰)

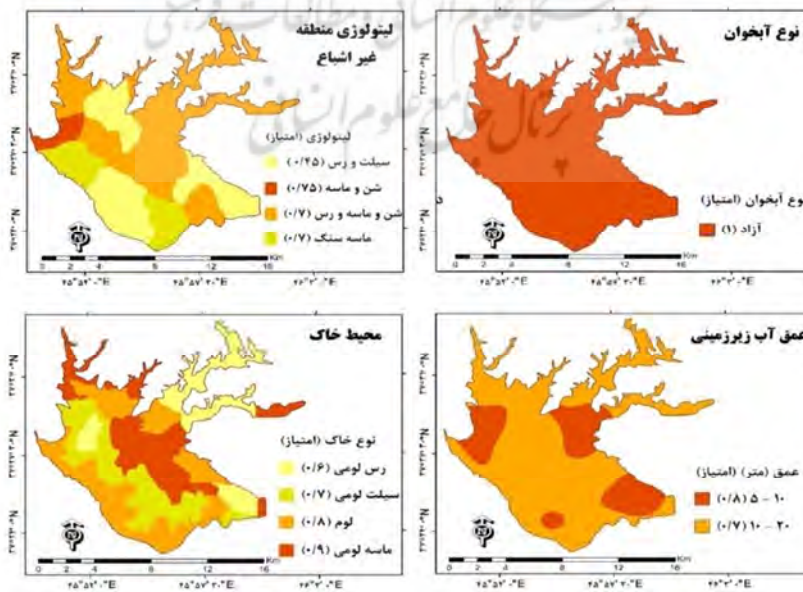
شرایط آبخوان						
آزاد	آزاد با پوشش	نیمه محبوس	محبوس	آرتزین	فاقد آبخوان	
۱	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰	
خصوصیات لیتولوژیکی منطقه غیر اشباع						
مواد سخت نشده (رسوبات)	گراول مخروط افکنه	ماسه آبرفتی ماسه یخچالی	ماسه بادی	سیلت آبرفتی	خاک های برجا	
مواد سخت شده (سنگ های متخلخل)	سنگ آهک گچ دار	ماسه سنگ	سیلتستون	گل سنگ		
مواد سخت شده (سنگ های متراکم)	سنگ آهک کارستی	گدازه های عهد حاضر	سنگ های آذرین و دگرگونی			
	۱	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴
عمق سطح آب زیرزمینی (متر)						
< ۲	۲ - ۵	۵ - ۱۰	۱۰ - ۲۰	۲۰ - ۵۰	۵۰ - ۱۰۰	> ۱۰۰
۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴
نوع پوشش خاک						
نبود خاک	گراول و ماسه درشت دانه	ماسه	ماسه سیلتی	سیلت	سیلت رسی	رس
	۱		۰/۹	۰/۸	۰/۶	۰/۵

یافته‌های تحقیق

در شکل (۲) نقشه‌های مدل دراستیک و در شکل (۳) نقشه‌های مدل GODS که در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده، نشان داده شده است.



شکل ۲: نقشه‌های مدل دراستیک



شکل ۳: نقشه‌های مدل GODS

نتایج و بحث

نتایج وزن‌دهی هر یک از لایه‌ها در مدل دراستیک در آبخوان دشت عجب شیر به این صورت می‌باشد که دامنه‌ی مقادیر عمق آب زیرزمینی در دشت عجب‌شیر از ۷/۴۲ تا ۱۷/۱۳ متر متغیر بوده و در سه طبقه بر اساس جدول ۱ تقسیم‌بندی شده است. مقدار این پارامتر در اکثر قسمت‌های دشت بین ۹/۱ تا ۱۵/۲ متر می‌باشد. با توجه به این‌که هر چه عمق آب زیرزمینی کمتر باشد مدت زمان لازم جهت رسیدن آلاینده از سطح زمین به سطح ایستابی کاهش می‌یابد و پتانسیل آلودگی آبخوان بالا می‌رود، عمق‌های پایین نسبت به عمق‌های بالا رتبه‌ی بزرگ‌تری دریافت نموده‌اند. نقشه‌ی تغذیه‌ی خالص حاصل از روش پیسکوپو در سه رده بر اساس جدول ۲ طبقه‌بندی شده است. بیشتر قسمت‌های منطقه در مرکز، جنوب و غرب دارای حداکثر تغذیه‌ی خالص (۷-۸) می‌باشد که علت آن پایین بودن شیب در این نواحی است. در واقع همان‌طور که از غرب به شرق منطقه شیب افزایش می‌یابد، تغذیه‌ی خالص کاهش پیدا می‌کند. از آن‌جا که تغذیه‌ی خالص بالا نشان‌دهنده‌ی افزایش مواد آلاینده‌ی ورودی به سفره‌ی آب زیرزمینی و نیز پتانسیل آلودگی بالا در آبخوان می‌باشد، بنابراین بالاترین رتبه به طبقه‌ی با بیشترین تغذیه‌ی خالص تعلق یافته و با کاهش میزان تغذیه، رتبه‌ی طبقات نیز کاهش یافته است. در محدوده مورد مطالعه جنس محیط آبخوان شامل چهار نوع آبرفت ریزدانه، دگرگونی، شن و ماسه و شیل و آهک است. بخش دگرگونی به دلیل یکپارچگی و نفوذپذیری پایین، کمترین رتبه را دریافت کرده است. شن و ماسه به دلیل درشت‌دانه بودن، فقدان رس و وجود درز و شکاف‌های بزرگ‌تر بیشترین پتانسیل آلودگی را ایجاد کرده و بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داده است. نقشه محیط خاک نشان می‌دهد که چهار نوع خاک در منطقه وجود دارد. رس لومی به دلیل وجود ذرات ریزدانه‌ی رس باعث کاهش نفوذپذیری خاک و پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان شده و در نتیجه کمترین امتیاز را به خود اختصاص داده است. اندازه‌ی ذرات به ترتیب در سیلت لومی، لوم و ماسه‌ی لومی افزایش یافته و ورود آلاینده‌ها به آبخوان در این نواحی تسهیل می‌شود. در نتیجه این سه نوع خاک به ترتیب امتیازهای بالاتری را دریافت کرده‌اند. مطابق نقشه شیب تهیه شده، اکثر قسمت‌های منطقه دارای پایین‌ترین شیب (۰ تا ۲ درصد) می‌باشد که گواهی بر دشت بودن منطقه است. با حرکت از غرب و مرکز به سمت شرق و شمال شیب افزایش می‌یابد. شیب کم با افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب و فرسایش همراه بوده و باعث افزایش استعداد آسیب‌پذیری آبخوان می‌شود. در نتیجه بالاترین رتبه به کمترین طبقه‌ی شیب و برعکس پایین‌ترین رتبه به بالاترین طبقه‌ی شیب اختصاص یافته است. بر اساس نقشه منطقه غیر اشباع، سیلت و رس به دلیل ریزدانه بودن و کاهش نفوذپذیری کمترین امتیاز را به خود اختصاص داده است. شن و ماسه و رس و ماسه‌سنگ به لحاظ نفوذپذیری تقریباً یکسان بوده و نسبت به سیلت و رس در رتبه‌ی بالاتری قرار گرفته‌اند. شن و ماسه نیز به دلیل درشت‌دانه بودن بالاترین نفوذپذیری را داشته و بیشترین امتیاز را دریافت کرده است. مقدار پارامتر هدایت هیدرولیکی بین ۱/۷ تا ۳۵ متر در روز متغیر بوده و در سه رده طبقه‌بندی شده است. هدایت هیدرولیکی بالا نشان‌دهنده‌ی توزیع سریع آب و آلاینده‌ها و پتانسیل آلودگی بالا در آبخوان می‌باشد. در نتیجه مناطق با هدایت هیدرولیکی زیاد رتبه‌های بالاتری نسبت به نواحی با هدایت هیدرولیکی پایین دریافت کرده‌اند.

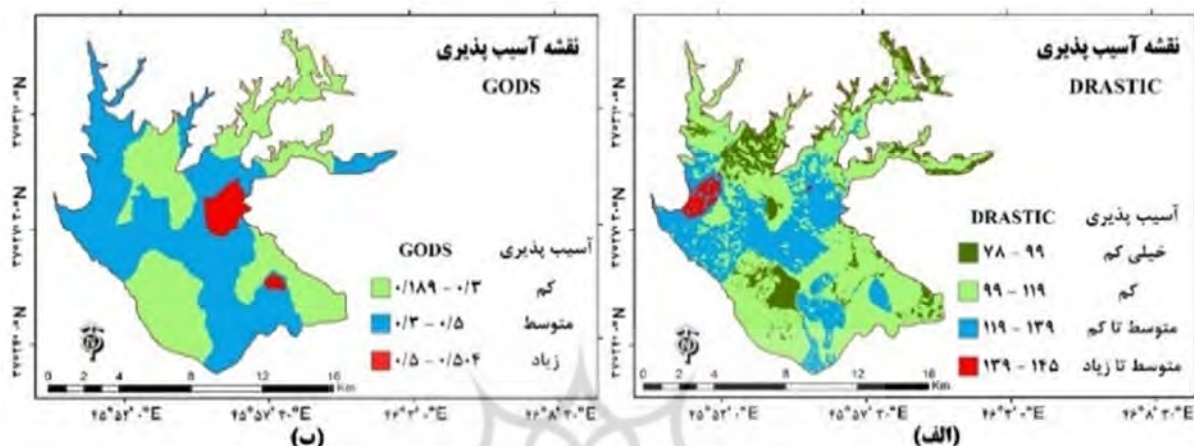
بر اساس نقشه‌های تهیه شده در مدل GODS، آبخوان دشت عجب شیر از نوع آزاد می‌باشد. بنابراین امتیاز ۱ به کل منطقه اختصاص داده شده است. در نقشه منطقه غیر اشباع، کم‌ترین امتیاز (۰/۴۵) به سازند سیلت و رس به دلیل ریزدانه بودن و بیشترین امتیاز (۰/۷۵) به سازند شن و ماسه با درز و شکاف‌های زیاد اختصاص یافته است. در منطقه مورد مطالعه عمق آب زیرزمینی در محدوده ۵ تا ۱۰ متر با امتیاز ۰/۸ و محدوده ۱۰ تا ۲۰ متر با امتیاز ۰/۷ تقسیم شده است. در واقع طبقه اول با عمق کم در مقایسه با طبقه دوم با عمق زیاد دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری می‌باشد. نقشه محیط خاک نیز نشان می‌دهد که در آبخوان دشت عجب شیر، انواع خاک‌ها بر اساس الگوریتم مدل GODS به ترتیب دارای امتیازهای ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ می‌باشد.

مقایسه روش‌های GODS و DRASTIC

پس از تهیه هر یک از لایه‌های مورد نیاز و تعیین وزن هر یک از طبقات، با تلفیق لایه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان دشت عجب شیر به دست آمد. نقشه‌های هر یک از دو مدل براساس طبقه‌بندی آلر و همکارانش (۱۹۸۷) و پایز (۱۹۹۰) طبقه‌بندی شده‌اند. دامنه‌ی مقادیر شاخص دراستیک برای منطقه‌ی مورد مطالعه بین ۷۸ تا ۱۴۵ به دست آمده است. نقشه‌ی این شاخص در ۴ طبقه از آسیب‌پذیری خیلی کم تا آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد استخراج شده است. بیشترین مساحت منطقه (۵۵/۴۳ درصد) که بخش‌های زیادی از شمال و جنوب دشت را پوشش می‌دهد، دارای آسیب‌پذیری کم می‌باشد. پس از آن به ترتیب آسیب‌پذیری متوسط تا کم (۲۸/۶۹ درصد) در بخش‌هایی از مرکز، شرق، غرب و جنوب، آسیب‌پذیری خیلی کم (۱۳/۴۸ درصد) در قسمت‌هایی از شمال، شمال شرق و مرکز و در نهایت آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد (۳/۰۸ درصد) در بخش کوچکی از غرب در رده‌های بعدی از لحاظ مساحت قرار دارند. در واقع طبق مدل دراستیک اکثر بخش‌های آبخوان دشت عجب شیر دارای پتانسیل آسیب‌پذیری کم و متوسط تا کم می‌باشد (شکل ۴ الف و جدول ۴). شکل (۴ ب) نشان می‌دهد که بر اساس مدل GODS منطقه مورد مطالعه به سه بخش شامل آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد تقسیم می‌شود. در این مدل برخلاف مدل دراستیک بیشترین پتانسیل آسیب‌پذیری در شرق منطقه با ۴/۲۱ درصد از سطح منطقه تشخیص داده شده است. هم‌چنین اغلب نواحی در شمال، مرکز و جنوب با پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط شناسایی شده‌اند. تفاوت در تعداد و نوع پارامترهای مورد استفاده در دو مدل علت اختلاف در نتیجه حاصل از آن دو می‌باشد. مدل دراستیک در مقایسه با مدل GODS از پارامترهای بیشتری بهره می‌برد و در نتیجه تهیه نقشه آسیب‌پذیری در این روش دشوارتر و پرهزینه‌تر خواهد بود. با این حال تعداد زیاد پارامترها در مدل دراستیک تا حدودی اثر عدم قطعیت برخی پارامترها را خنثی می‌نماید (خدائی و همکاران، ۱۳۸۵). با توجه به نتایج به دست آمده، جهت پیشگیری از آلودگی آبخوان منطقه مورد مطالعه به ویژه در قسمت‌های غربی دشت که آسیب‌پذیری بیشتری را در مدل دراستیک نشان می‌دهد می‌بایست از روش‌های مدیریتی سخت گیرانه‌تری بهره گرفت. برخی از راهکارهای مهم شامل عدم استفاده از مقادیر غیرمجاز سموم و کودهای شیمیایی توسط کشاورزان و پیشگیری از دفن زباله‌های صنعتی، شهری و روستایی در مناطق مسطح که دارای شیب کم و نفوذپذیری بالا هستند می‌باشد. روش‌های مدیریتی مناسبی را به کار گرفت. دو مورد مهم از این راهکارها عبارتند از:

-عدم استفاده از مقادیر غیرمجاز سموم و کودهای شیمیایی

-پیشگیری از دفن زباله‌های صنعتی و شهری و روستایی در مناطق مسطح (دارای شیب کم و نفوذپذیری بالا)



شکل ۴: الف) نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان به روش DRASTIC (ب) نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان به روش GODS

جدول ۴: مساحت طبقات آسیب‌پذیری در نقشه‌های مدل GODS و DRASTIC

مدل GODS	مساحت (Km ²)	درصد مساحت	آسیب‌پذیری	آسیب‌پذیری	درصد مساحت	مساحت (Km ²)	مدل DRASTIC
۰/۱۸۹ - ۰/۳	۶۲/۷۴	۴۳/۳۶	کم	خیلی کم	۱۳/۴۸	۱۹/۴۴	۷۸ - ۹۹
۰/۳ - ۰/۵	۷۲/۸۵	۵۲/۴۲	متوسط	کم	۵۵/۴۳	۷۹/۹۳	۹۹ - ۱۱۹
۰/۵ - ۰/۵۰۴	۶/۱	۴/۲۱	زیاد	متوسط تا کم	۲۸/۶۹	۴۱/۳۷	۱۱۹ - ۱۳۹
				متوسط تا زیاد	۳/۰۸	۴/۴۵	۱۳۹ - ۱۴۵

نتیجه‌گیری

بر اساس نقشه آسیب‌پذیری دراستیک، منطقه مورد مطالعه به لحاظ پتانسیل آسیب‌پذیری نسبت به آلودگی به چهار طبقه آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط تا کم و متوسط تا زیاد تقسیم می‌شود. بیشتر مساحت منطقه (۵۵/۴۳ درصد) در شمال و جنوب دارای آسیب‌پذیری کم و بخش کوچکی با مساحت ۳/۰۸ درصد در غرب دارای آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد است. طبق نقشه آسیب‌پذیری GODS منطقه به سه طبقه آسیب‌پذیری شامل آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد تقسیم شده است. در هر دو روش منطقه مورد مطالعه عمدتاً با آسیب‌پذیری کم و متوسط تشخیص داده شده است. بیشترین آسیب‌پذیری در مدل دراستیک در غرب منطقه شناسایی شد در حالی که در مدل GODS در شرق تعیین شده است که می‌تواند به دلیل عدم استفاده از برخی پارامترهای موثر در آسیب‌پذیری آبخوان از جمله تغذیه خالص در این مدل باشد. بر اساس دو مدل GODS و DRASTIC، به ترتیب غرب و شرق

منطقه با بیشترین پتانسیل آسیب‌پذیری شناسایی شده است. نتیجه حاصل می‌تواند به سبب عدم استفاده از برخی پارامترهای موثر در آسیب‌پذیری آبخوان از جمله تغذیه خالص در مدل دوم باشد. با این حال در هر دو مدل بیشترین آسیب‌پذیری سطح بسیار کوچکی از منطقه را پوشش داده است. روش DRASTIC با وجود دشواری در جمع‌آوری داده و هزینه بر بودن به روش GODS ترجیح داده می‌شود؛ چرا که تعداد بیشتری از پارامترهای موثر در آسیب‌پذیری آبخوان در این مدل به کار گرفته شده است. هم‌چنین این مدل می‌تواند عدم قطعیت برخی پارامترها را خنثی نماید. به طور کلی استفاده از روش دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان به دلیل دقت بالای آن در مقایسه با روش GODS بیشتر توصیه می‌گردد. اگرچه در این پژوهش، آبخوان دشت عجب شیر با پتانسیل آسیب‌پذیری کم و متوسط تشخیص داده شده است، اعمال راهکارهای مدیریتی مناسب جهت پیشگیری از آلودگی این منابع ضروری می‌نماید. بر اساس نقشه آسیب‌پذیری دراستیک، بخش غربی منطقه نیازمند توجه بیشتر مدیران و برنامه‌ریزان می‌باشد.

منابع

- اصغری مقدم اصغر؛ فیجانی الهام؛ ندیری عطاله (۱۳۸۸). ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت های بازرگان و پلدشت با استفاده از مدل دراستیک بر اساس GIS، مجله محیط شناسی، سال سی و پنجم، شماره ۵۲، صص ۶۴-۵۵.
- اصغری مقدم اصغر؛ برزگر رحیم (۱۳۹۳). بررسی منشا ناهنجاری غلظت نیترات منابع آب زیرزمینی دشت تبریز با استفاده از روش های GOD و AVI، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۴، صص ۲۷-۱۱.
- امیراحمدی ابوالقاسم؛ آب باریکی زکیه؛ ابراهیمی مجید (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت داورزن به روش دراستیک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال دوم، شماره ۶، صص ۵۶-۵۱.
- خدائی کمال؛ شهسواری علی اکبر؛ اعتباری بهروز (۱۳۸۵). ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوبین به روش های DRASTIC و GODS. زمین شناسی ایران، سال دوم، شماره ۴، صص ۸۷-۷۳.
- رضایی فرشاد (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از منطق فازی، مطالعه‌ی موردی: آبخوان‌های حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- سبزواری مهدی (۱۳۸۷). افت سطح آب زیرزمینی. یک مشکل جهانی، سایت خبری وزارت نیرو [www.wnn.ir].
- سلطانی شهلا؛ اصغری مقدم اصغر؛ برزگر رحیم؛ کاظمیان نعیمه (۱۳۹۵). ارزیابی غلظت نیترات و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با روش های GODS و AVI (مطالعه موردی: دشت کردکندی- دوزدوزان، آذربایجان شرقی)، اکوهیدرولوژی، دوره ۳، شماره ۴، صص ۵۳۱-۵۱۷.
- صداقت محمود (۱۳۹۰). زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ چهارم، ۲۸۸ صفحه.
- محمودزاده الهه؛ رضایان سحر؛ احمدی آزاده (۱۳۹۲). ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت میمه اصفهان با استفاده از روش های تطبیقی DRASTIC، GODS و AVI، محیط شناسی، سال سی و نهم، شماره ۲، صص ۶۰-۴۵.
- نخستین روحی مهسا (۱۳۹۴). کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در پهنه‌بندی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک و شاخص حساسیت (مطالعه‌ی موردی: دشت عجب‌شیر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز، ۱۱۳ صفحه.
- نخعی محمد؛ امیری وهاب؛ رحیمی شهربابکی مهدی (۱۳۹۲). ارزیابی پتانسیل آلودگی و آنالیز حساسیت آب زیرزمینی در آبخوان خاتون‌آباد با استفاده از مدل دراستیک مبتنی بر GIS، مجله‌ی زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۳، شماره ۸، صص ۱۰-۱.

- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H., Petty, R.J., Hackett, G., (1987), DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings, EPA/600/2-87/035, U.S. Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma, 641p.
- Babiker, I.S., Mohamed, M.A.A., Hiyama, T., Kato, K., (2005), A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, Central Japan, *Science of the Total Environment*, 345, 127-140.
- Boufekane, A., Saighi, O., (2013), Assessment of groundwater pollution by nitrates using intrinsic vulnerability methods: a case study of Nil Valley Groundwater (Jijel, North-East Algeria), *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(10), 949-960.
- Chitsazan, M., Akhtari, Y., (2006), Evaluating the potential of groundwater pollution in Kherran and Zoweircherry Plains through GIS-based DRASTIC model, *Journal of Water and Wastewater*, 17, 39-51.
- El-Naqa, A., Hammouri, N., Kioso, M., (2006), GIS-based evaluation of groundwater vulnerability in the Russeifa area, Jordan, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(3), 277-287.
- Foster, S.S.D., (1987), Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy, In van Duijvenbooden W, van Waegeningh HG (eds) *Proceedings and information in vulnerability of soil and ground-water to pollutants*, vol 38. TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, 69-86.
- Gad, M.I., El-Kammar, M.M., Ismail, H.M.G., (2015), Groundwater vulnerability assessment using different overlay and index method for quaternary aquifer of Wadi El- Tumilat, East Delta, Egypt, *Asian Review of Environmental and Earth Sciences*, 2(1), 9-22.
- Kazakis, N., oudouris, K., (2011), Comparison of three applied methods of groundwater vulnerability mapping: a Case study from the Florina Basin, Northern Greece, *Proceedings of 9th International Hydrogeological Congress*, Kalavrita, Greece, *Advances in the Research of Aquatic Environment*, Springer, 359-367.
- Paez, G., (1990), Evaluacion de la vulnerabilidad a la contaminacion de las aguas subterranas en el Valle del Cauca, *Informe Ejecutivo*, Corporeginal del Valle del Cauca, Cauca, Colombia, 352(3), 95-120.
- Piscopo, G., (2001), 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/castlereag_map_notes.pdf.
- Polemio, M., Casarano, D., Limoni, P.P., (2009), Karstic aquifer vulnerability assessment methods and results at a test site (Apulia, southern Italy), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1461-1470.
- Rahman, A., (2008), A GIS-based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow Aquifer in Aligarh, India, *Applied Geography*, 28, 32-53.
- Stigter, T.Y., Ribeiro, L., Carvalho Dill, A.M.M., (2006), Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal, *Hydrogeol J*, 14, 79-99.
- Todd, P.K., (1980), *Ground water*, Hydrology, Kluwer Academic Publisher, 400p.

Evaluating the Aquifer Vulnerability in Ajabshir Plain to Prevent Contamination Risks and Apply Optimal Management

Mahsa Nakhostinrouhi¹, Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam^{*2}, Tohid Rahimpour³

Received: 10-10-2017

Accepted: 19-05-2018

Abstract

Groundwater resources are considered very important, particularly in the arid and semi-arid regions. Evaluating the vulnerability potential of these resources for conserving and preventing them from being polluted is included as the environmental organizations' priorities. Ajabshir plain is located in East Azerbaijan Province and northwest of Iran. The present study has been conducted to prepare intrinsic vulnerability maps in the aquifer of Ajabshir plain using DRASTIC and GODS methods. In DRASTIC model 7 factors including depth to water, net recharge, aquifer media, soil media, topography, the impact of vadose zone and hydraulic conductivity are used. Four factors including aquifer type, vadose zone, depth of the groundwater, and soil media are also used in GODS model. Providing, ranking, and weighting of the layers in each model have been done in ArcGIS software. Then vulnerability maps have been provided through overlaying these layers. In the DRASTIC model, the study area has been classified into four classes, including very low (13.48%), low (55.43%), moderate to low (28.69%), and moderate to high (3.08%). The study area has also been classified into three classes, including low (43.36%), moderate (52.42%), and high (4.21%) by GODS model. Generally, the vulnerability has been evaluated low and moderate in a massive area of the aquifer while a very small part of the study area has been recognized as the most vulnerable area through both models.

Keywords: Aquifer, Vulnerability, DRASTIC, GODS.

¹- M.A. in Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

^{2*}- Professor of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Email: Rezmogh@tabrizu.ac.ir

³- PhD in Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran