

## پهنه بندی آسیب‌پذیری و ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران با استفاده از شبیه DRASTIC و شاخص کیفی GWQI

فرحناز عزیزی<sup>۱\*</sup>، حسین محمدزاده<sup>۲</sup>

### چکیده

یکی از راههای مناسب برای جلوگیری از آلودگی آبهای زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان به آلودگی، و بررسی تغییرات مکانی کیفیت آبهای زیرزمینی به منظور مدیریت بهره برداری از منابع آب و کاربری اراضی می باشد. در این تحقیق، برای نخستین بار نقشه ی پهنه بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران، واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد، با کاربری شبیه DRASTIC تهیه شده است. بررسی عوامل آب و زمین شناسی مؤثر بر آسیب‌پذیری آبخوان و نتایج حاصل از تحلیل حساسیت شبیه با روشهای حذف فراسنج و تک فراسنجی، نشان می‌دهند که محیط غیراشباع آبخوان بیشترین تأثیر را بر شاخص آسیب‌پذیری دارا می‌باشد. براساس نتایج حاصل از شبیه DRASTIC، ۴/۲، ۵۶/۲ و ۳۷/۰ درصد از آبخوان امامزاده جعفر به ترتیب دارای آسیب‌پذیری بالا، متوسط و کم بوده، و آسیب پذیری ۲/۶ درصد از منطقه قابل اغماض است. از آن جا که منطقه‌ی با آسیب‌پذیری بالا در سراب جریان آبهای زیرزمینی قرار دارد، در صورت ورود هر نوع آلودگی به این بخش از آبخوان، احتمال پخش آن در کل آبخوان وجود دارد. همچنین، نقشه ی پهنه بندی کیفی آب از نظر شرب، تهیه شده بر اساس شاخص GWQI، و مقایسه آن با نتایج روش شولر، نشان می‌دهد که حدود ۱/۶، ۸۳/۴ و ۱۲/۱ درصد از آبهای زیرزمینی دشت امامزاده جعفر به ترتیب دارای کیفیتی عالی، خوب و بد می‌باشند. بطور کلی، آب‌زیرزمینی در اکثر نقاط دشت دارای کیفیتی عالی و خوب، و فقط در بخشهای شمال غربی آن، به دلیل عبور آب از لایه‌های تبخیری سازند گچساران، دارای کیفیت بد تا خیلی بد می باشد.

واژه های کلیدی: آسیب پذیری آبخوان، شبیه DRASTIC، شاخص GWQI، دشت امامزاده جعفر گچساران

<sup>۱</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۲</sup> - استادیار، مرکز تحقیقات آبهای زیرزمینی (متاب)، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

\*- نویسنده مسئول: [Fazizi90@yahoo.com](mailto:Fazizi90@yahoo.com)

## مقدمه

آلودگی آبهای زیرزمینی، بعد از آلوده شدن چاههای آب شرب، و در زمانی تشخیص داده می شود که رفع آلودگی آبخوان تقریباً غیرممکن می گردد؛ بنابراین، حفاظت کیفی منابع آب و بررسی آسیب پذیری آبخوانها از اهمیت زیادی برخوردار است. در مناطقی که آب آشامیدنی آنها از زیر زمین تأمین می گردد، ارزیابی کیفیت این آبها حائز اهمیت بسیار بوده، و از این رو شاخصهای کیفی متعددی (مثل GWQI<sup>۳</sup>)، که فراسنجهای مختلف را با یکدیگر تلفیق و با معیارهای جهانی مقایسه می کنند، در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی استفاده می شوند.

آسیب پذیری آب زیرزمینی به معنی امکان نفوذ و انتشار آلاینده ها از سطح زمین به درون سامانه ی آب زیرزمینی می باشد (واربا و زاپرس، ۱۹۹۴). روشهای مختلفی برای ارزیابی آسیب پذیری سفره های آب زیرزمینی ارائه شده اند که می توان آنها را به سه گروه روشهای پردازشی، همپوشانی<sup>۴</sup> و آماری تقسیم بندی نمود.

شبهه DRASTIC بر اساس روش همپوشانی استوار بوده و به وسیله ی سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (US-EPA)<sup>۵</sup> و انجمن چاههای آب امریکا (AWWA)<sup>۶</sup> ارائه شده است. در شبهه DRASTIC، هفت فراسنج مؤثر بر آسیب پذیری آبخوان شامل عمق سطح ایستابی (D)<sup>۷</sup>، تغذیه ی خالص (R)<sup>۸</sup>، محیط آبخوان (A)<sup>۹</sup>، محیط خاک (S)<sup>۱۰</sup>، پستی و بلندی (T)<sup>۱۱</sup>، محیط غیراشباع (I)<sup>۱۲</sup> و هدایت آبی (C)<sup>۱۳</sup> مورد بررسی قرار می گیرد (آلر و همکاران، ۱۹۸۷). این شبهه کاربرد وسیعی را در بررسی آسیب پذیری آب زیرزمینی نسبت به دامنه ی وسیعی از آلاینده های بالقوه دارد (آلر و همکاران، ۱۹۸۷؛ ایوانز و مایرز، ۱۹۹۰؛ فریچ و همکاران، ۲۰۰۰؛ آل-آدامت

و همکاران، ۲۰۰۳؛ اتازارنی، ۲۰۰۶ و ناکا و همکاران، ۲۰۰۶). با استفاده از این شبیه و سامانه ی اطلاعات جغرافیایی، نقشه های آسیب پذیری آب زیرزمینی مناطق مختلفی، از جمله: بخشهایی از ایالات متحده ی آمریکا (آلر و همکاران، ۱۹۸۷؛ فریچ و همکاران، ۲۰۰۰)؛ ناحیه ی ژانگ جی در چین (یان و همکاران، ۲۰۰۶)، منطقه ی روسیفا در اردن، (ناکا و همکاران، ۲۰۰۶)، آبخوان کامیگهارا در ژاپن، (بابیکر و همکاران، ۲۰۰۵)، آبخوان ام الربیع در مراکش، (اتازارنی، ۲۰۰۶)، و همچنین در ایران برای آبخوانهای متعددی از جمله: آبخوان دشت خاش، (احمدی و آبرومند، ۱۳۸۸)؛ آبخوان دشت تهران\_کرج، (نیکنام و همکاران، ۱۳۸۶)، آبخوان دشت جوبین، (خدایی و همکاران، ۱۳۸۵)، و آبخوان دشت ورامین، (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۷) تهیه شده است.

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی به کمک شاخص کیفی GWQI به وسیله ی بابیکر و همکاران (۲۰۰۷) ارائه شده است که به کمک آن فراسنجهای TDS، Cl<sup>-</sup>، SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>، Ca<sup>2+</sup>، Mg<sup>2+</sup> و Na<sup>+</sup> با هم تلفیق، و تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی بررسی می شود. این شاخص نیز به وسیله ی شارما و پاتل (۲۰۱۰) برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان سورات سیتی در هندوستان به کار گرفته شده است، ایشان ۵ فراسنج pH، EC، TH و Cl<sup>-</sup> را بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان مذکور مؤثر دانسته و بیان می کنند که فراسنجهای مختلفی در سایر مناطق می توانند در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی مؤثر در نظر گرفته شوند. این شاخص به عنوان ابزاری کاربردی در بررسی کیفیت آب جهت مصارف شرب شناخته شده است (تایواری و میشر، ۱۹۸۵؛ میترا ۱۹۹۸؛ بوردالو و همکاران، ۲۰۰۱؛ میشر و پاتل، ۲۰۰۱).

دشت امامزاده جعفر، در شمال شرقی شهر گچساران قرار دارد. آبخوان دشت مزبور به دلیل اهمیت آن در تأمین آب مورد نیاز صنعت، شرب و کشاورزی این شهرستان و روستاهای اطراف، از نظر آسیب پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلاینده های بالقوه، با کاربرد شبیه DRASTIC، و تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی این

3 - ground water quality index (GWQI)

4 - Overlay and index method

5 - United state Environmental protection Agency

6 - American water wells Association

7 - Depth to water table

8 - Net Recharge

9 - Aquifer media

10 - Soil type

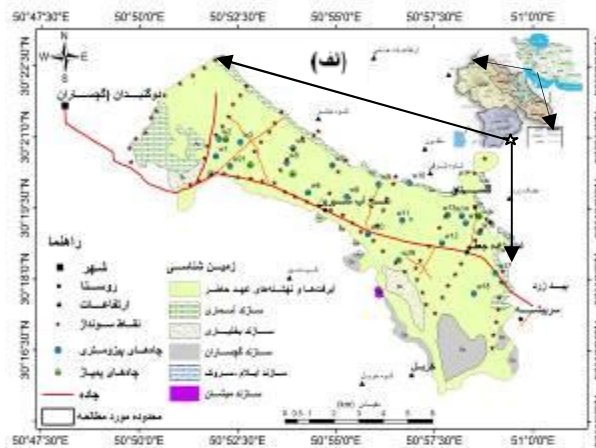
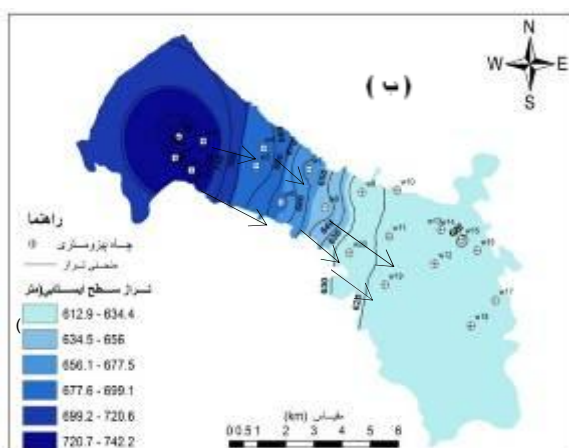
11 - Topography

12 - Impact of vadose zone

13 - Hydraulic Conductivity

نیمه‌خشک با تابستانهای خیلی گرم و زمستان معتدل است.

از دیدگاه زمین‌شناسی، دشت امامزاده جعفر با امتداد شمال غربی\_جنوب شرقی در منطقه‌ی زاگرس چین خورده واقع شده‌است. تشکیلات زمین‌شناسی مختلفی از ته نشستهای متعلق به دور ژوراسیک تا دوران چهارم در محدوده‌ی مورد مطالعه رخنمون دارند. ضخامت آبرفتهای دشت از صفر در دامنه‌ی ارتفاعات تا حدود ۱۳۲ متر در مرکز آن متغیراست، در نواحی شمالی، مواد آبرفتی و واریزه‌ای در امتداد مخروطهای افکنه غالباً درشت از نوع قلوه‌سنگ، ریگ و ماسه، در بخش مرکزی با دانه‌بندی متوسط، و در منطقه‌ی خروجی دشت، مواد ریزدانه از جنس لای و رس می‌باشد. جهت‌جریان آبهای زیرزمینی در دشت از شمال غرب به جنوب شرق بوده (شکل ۱-ب)، متوسط ضخامت آبخوان حدود ۷۹ متر و بیشترین و کمترین ژرفای آب‌زیرزمینی به ترتیب حدود ۹۰ متر (در نواحی شمالی) و حدود ۲۰ متر (در نواحی جنوبی دشت) است.



شکل ۱- الف) موقعیت جغرافیایی و نقشه‌ی زمین‌شناسی و ب) نقشه‌ی تراز سطح ایستابی دشت امامزاده جعفر گچساران.

ارزیابی می‌کند. این شاخص از مجموع حاصلضرب وزن (W) رتبه‌ی (I) فراسنجهای مؤثر در ارزیابی آسیب‌پذیری (رابطه ۱) محاسبه، و به پنج گروه آسیب‌پذیری تقسیم بندی می‌گردد (جدول ۱):

دشت به کمک شاخص GWQI مورد بررسی قرار گرفته است.

### موقعیت جغرافیایی، زمین‌شناسی و آبشناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت امامزاده جعفر در فاصله ۵ کیلومتر متوسطتری شمال شرق شهر گچساران و در ناحیه‌ی گرمسیری و خشک جنوب استان کهگیلویه و بویراحمد، بین عرض ۱۶' ۳۰' تا ۲۸' ۳۰' شمالی، و طول جغرافیایی ۵۲' ۵۰' تا ۵۱' ۲' شرقی واقع شده است (شکل ۱-الف). حوضه‌ی آبخیز این دشت از زیر مجموعه حوضه‌ی آبخیز رود زهره به وسعت ۲۲۰ کیلومتر متوسطتر مربع بوده، که حدود ۱۶۰ کیلومتر متوسطتر مربع آن کوهستانی و بقیه دشت نسبتاً مسطح است. میانگین ارتفاع دشت از سطح دریا ۷۲۰ متر می‌باشد. میانگینهای دما و بارش سالانه در دشت به ترتیب ۳۹۴/۵ میلیمتر و ۲۳ درجه سانتیگراد می‌باشند. اقلیم منطقه

### مواد و روشها

شیبه DRASTIC توان آلودگی یک ناحیه را با جمع کردن عوامل کلیدی مؤثر بر انتقال مواد محلول

بطور کلی، کیفیت آبهای زیرزمینی بر اساس شاخص GWQI به ۵ گروه عالی، خوب، بد، خیلی بد و نا مناسب برای شرب (جدول ۱) تقسیم می‌گردد.

### نتایج و بحث

#### فراسنج‌های شبیه DRASTIC و نقش آنها در ارزیابی آسیب‌پذیری سفره

##### عمق سطح ایستابی (D)

این فراسنج با فاصله‌ای که مواد آلاینده طی می‌کنند تا به سطح ایستابی برسند، مرتبط است. بدیهی است ظرفیت میرایی با افزایش عمق تا سطح ایستابی افزایش می‌یابد، و امکان پخش و جذب مواد آلاینده در خاک وجود خواهد داشت، این فراسنج از درون یابی اطلاعات مربوط به عمق آب در چاههای مشاهده ای به صورت آماری در محیط نرم افزار ArcGIS9.3 تهیه شد.

##### تغذیه ی خالص آبخوان (R)

تغذیه عبارت است از حجم آبی که در واحد سطح سفره (برای یک دوره ی یک ساله) به درون زمین نفوذ کرده و موجب انتقال ماده ی آلوده کننده به صورت عمودی تا سطح ایستابی می‌گردد. میزان تغذیه ی آبخوان را می توان مطابق رابطه ی (۵) از حاصل ضرب نقشه ی رستری آبدهی ویژه ی دشت (شکل ۲-الف) در نقشه ی رستری نوسان تراز سطح آب زیرزمینی (شکل ۲-ب) به دست آورد. با احتساب متوسط تغذیه ی آبخوان در هر متر مربع از آن برابر با ۰/۰۵۳ متر، و با در نظر گرفتن مساحت دشت (۷۱/۸ میلیون متر مربع)، مقدار حجم آب ذخیره شده (ΔV) در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ در این آبخوان حدود ۳/۸ میلیون مترمکعب برآورد گردیده است:

$$\Delta V = A \times S_y \times \frac{dh}{dt} \quad (5)$$

که در آن A، مساحت محدوده ی مورد مطالعه، S<sub>y</sub>، آبدهی ویژه و dh/dt، نوسان تراز سطح ایستابی می باشد.

##### محیط آبخوان (A)

سامانه ی حاکم بر سفره ی آب زیرزمینی از محیط سفره تأثیر می پذیرد. نوع ترکیب، دانه بندی و خصوصیات مواد تشکیل دهنده ی منطقه اشباع نظیر میزان تخلخل،

$$D_i = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r \quad (1)$$

$$S_w + T_r T_w + I_r I_w$$

در این رابطه D<sub>i</sub> شاخص دراستیک، D عمق سطح ایستابی، R مقدار تغذیه، A محیط آبخوان، S بافت خاک، T پستی و بلندی، I منطقه ی غیر اشباع و C هدایت آبی می‌باشند.

بسته به اهمیت، به هر یک از فراسنجهای شبیه DRASTIC وزنی برابر ۱ تا ۵ اختصاص داده، و با اعمال رتبه بندی مناسب (جدول ۲)، نقشه ی پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان تهیه گردیده است. نقشه ی نهایی یک لایه رستری است که سلولهای دارای ارزش عددی بزرگتر برای شاخص D<sub>i</sub>، نشان دهنده ی مناطق آسیب پذیر آبخوان در مقابل آلودگی می باشند.

شاخص GWQI یکی از کاربردیترین شاخصها در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی از نظر آشامیدن است، که فراسنجهای مختلف را با یکدیگر تلفیق، و با معیارهای جهانی مثل معیار سازمان بهداشت جهانی (WHO<sup>۴</sup>) و هندوستان (Indian Standard Drinking Water Specification (IS 10500) ارتباط می‌دهد. برای محاسبه ی شاخص GWQI به هر یک از فراسنجهای مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی، با توجه به نقش و درجه ی اهمیت تأثیر، عامل وزنی (W<sub>i</sub>) بین ۱-۵ اختصاص داده می‌شود (سینگ، ۱۹۹۲)، سپس مطابق رابطه ی (۲) وزن نسبی (W<sub>r</sub>) برای هر فراسنج محاسبه می‌گردد.

$$w_{ri} = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

با تقسیم غلظت هر فراسنج (C<sub>i</sub>) بر میزان غلظت معیار ارائه شده (C<sub>si</sub>) مطابق جدول (۳) و رابطه ی (۳)، رتبه ی کیفی برای هر کدام از آنها (q<sub>i</sub>) محاسبه می‌گردد:

$$(q_i) = \left( \frac{C_i}{C_{si}} \right) \times 100 \quad (3)$$

و در نهایت، شاخص GWQI مطابق رابطه ی (۴) محاسبه می‌شود:

$$GWQI = \sum_{i=1}^n (w_{ri} \times q_i) \quad (4)$$

گسترش خاک و در نتیجه بر میرایی آلاینده‌ها نیز مؤثر است. نقشه‌ی شیب از شبیه رقومی ارتفاع در محیط نرم افزار ArcGIS9.3 محاسبه و استخراج شده‌است.

### محیط غیر اشباع آبخوان (I)

این فراسنج از منطقه‌ی خاک سطحی شروع و تا سطح ایستابی ادامه می‌یابد. در شبیه DRASTIC فرض بر این است که محیط و شرایط منطقه غیر اشباع اثر زیادی بر مواد آلاینده دارد زیرا در این منطقه آلاینده‌ها تا قبل از رسیدن به سطح ایستابی فرصت جذب و یارقیق شدگی را پیدا می‌کنند. اطلاعات مربوط به محیط غیر اشباع نیز مانند محیط آبخوان به دست می‌آید، با این تفاوت که جنس ته نشستها بالاتر از سطح ایستابی در نظر گرفته می‌شود.

### هدایت آبی (C)

هدایت آبی، عمدتاً به وسیله‌ی تخلخل مواد تشکیل دهنده‌ی آبخوان تعیین می‌شود. عامل تعیین کننده‌ی حرکت، زمان ماندگاری مواد آلاینده از نقطه‌ی نفوذ تا رسیدن به منطقه‌ی اشباع می‌باشد. افزایش K باعث توان آلودگی بیشتر می‌باشد. نقشه‌ی هم ارزش تغییرات هدایت آبی دشت از تقسیم نقشه‌ی هم قابلیت انتقال آبخوان (شکل ۳-الف) بر نقشه‌ی هم ضخامت آبخوان (شکل ۳-ب) به دست آمد و مطابق جدول (۲) رتبه بندی گردید.

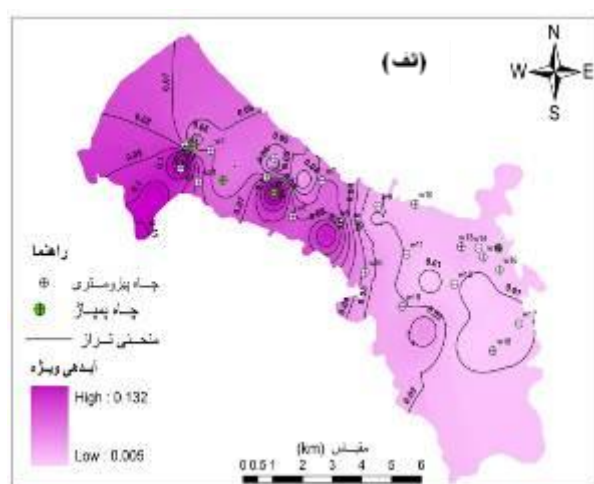
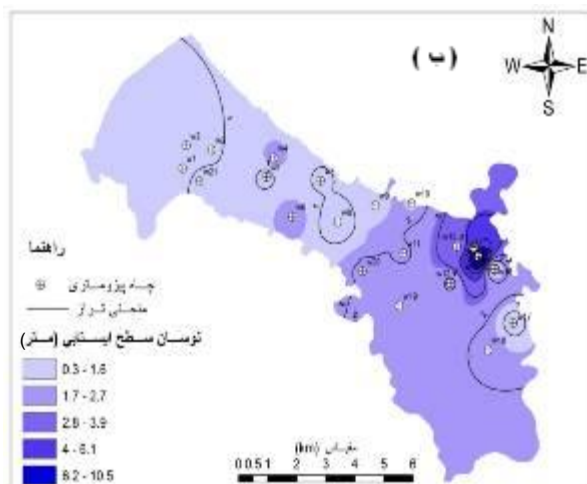
جنس، اندازه و جورشدگی ذرات، بر طول مسیر و جهت جریان آب تأثیر دارد. اطلاعات مربوط به محیط آبخوان از کاوشهای زیرسطحی، چاه نمودار حفاریهای اکتشافی، کاوشهای ژئوفیزیکی و مطالعه‌ی زمین شناسی و زمین ساخت منطقه به دست می‌آید. بر حسب جنس مواد تشکیل دهنده‌ی آبخوان براساس جدول (۲)، به هر نقطه با جنس ته نشستهای مشخص، رتبه‌هایی اختصاص داده شد، سپس به کمک روشهای زمین‌آماری در محیط نرم افزار ArcGIS9.3 نقشه‌ی هم‌ارزش محیط آبخوان تهیه گردید.

### محیط خاک (S)

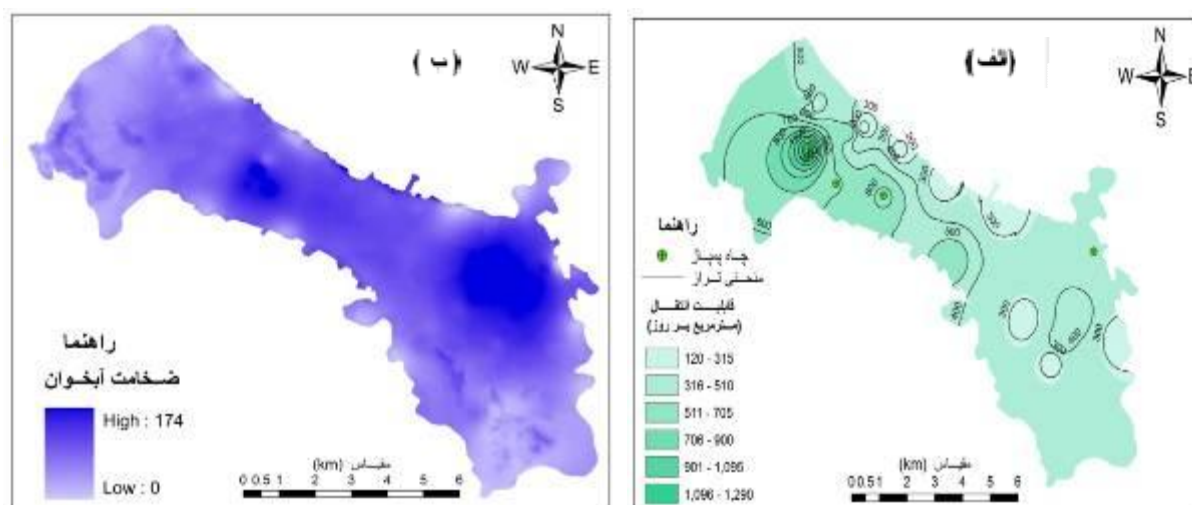
محیط خاک، قسمت بالایی منطقه‌ی غیر اشباع آبخوان می‌باشد که تا حد نفوذ ریشه گیاهان یا فعالیت موجودات خاکزی ادامه دارد. خاک و بافت آن اثر قابل توجهی بر نفوذ مواد آلاینده به درون زمین، و در نهایت به سطح آب زیرزمینی را داراست. به منظور تعیین نوع خاک، می‌توان از نقشه‌های خاک تهیه شده به وسیله‌ی مؤسسه‌ی خاک و آب، و انجام مطالعات خاکشناسی و حفر نیمرخ و نمونه برداری استفاده کرد.

### پستی و بلندی (T)

این فراسنج تغییرات شیب سطح زمین را مورد توجه قرار می‌دهد. شیب، حرکت مواد آلوده نامطلوب، و یا نگهداری آن بر سطح زمین را تنظیم می‌کند. همچنین، بر



شکل ۲: الف) نقشه ی پهنه بندی آبدهی ویژه ی آبخوان و ب) نقشه نوسان تراز سطح آب زیرزمینی دشت امامزاده جعفر گچساران در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸.

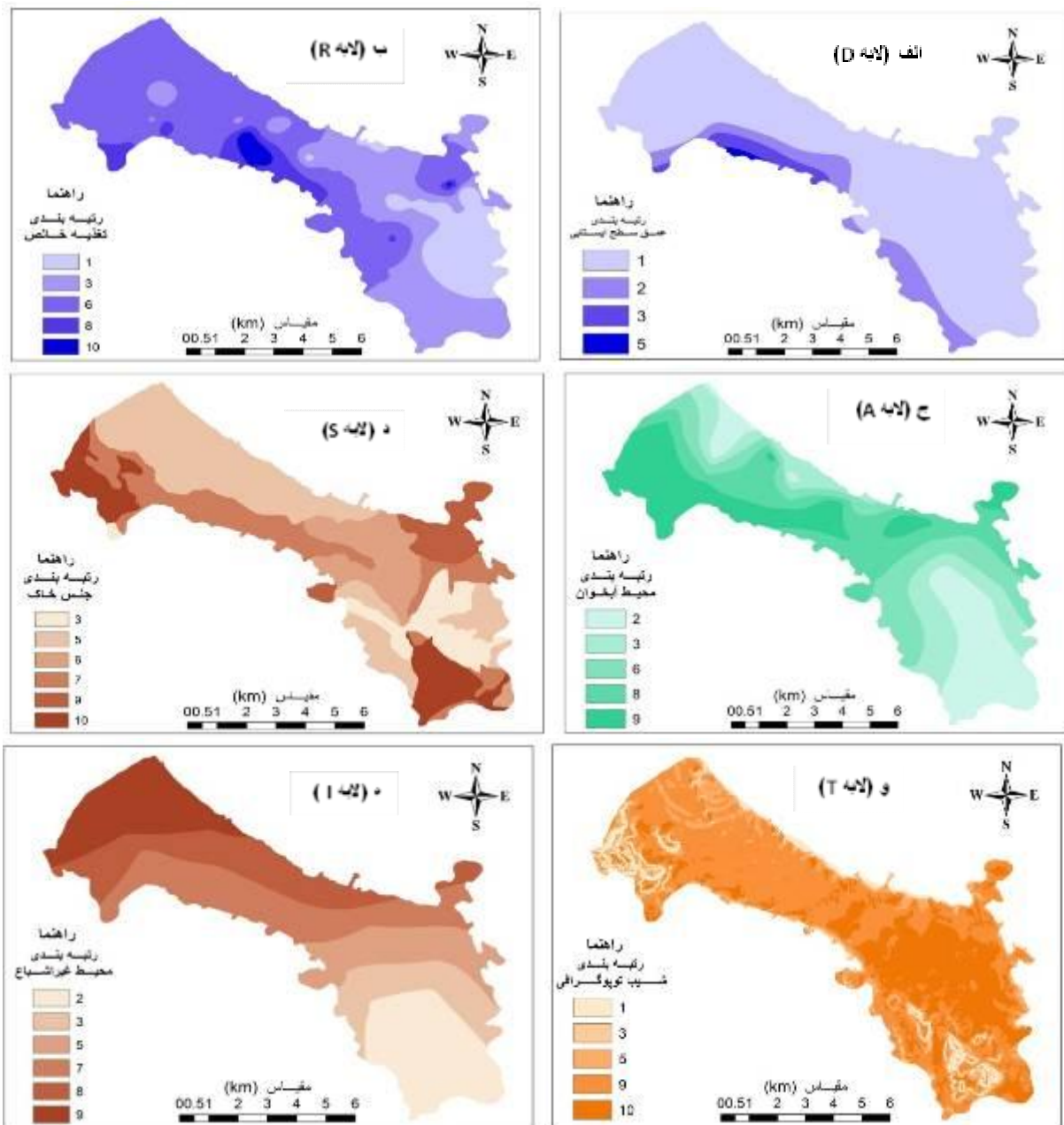


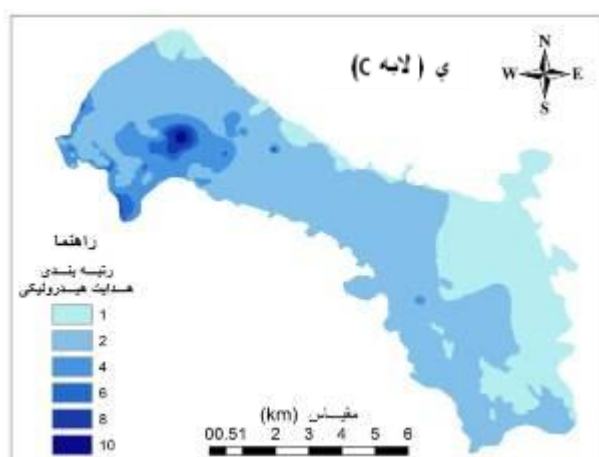
شکل ۳: الف) نقشه ی هم قابلیت انتقال آبخوان و ب) نقشه هم ضخامت منطقه اشباع آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران

(شکل ۵). بخش جنوب شرقی دشت دارای کمترین آسیب پذیری، و بخشهای میانی دشت دارای آسیب پذیری متوسط می باشند. با توجه به فراسنجهای آب و زمین شناسی مؤثر بر آسیب پذیری آبخوان، به دلیل کم عمق بودن سطح ایستابی و بالا بودن میزان تغذیه و هدایت آبی در بخشهای شمال غربی دشت، مکانهای با آسیب پذیری زیاد عمدتاً در این بخش آبخوان، یعنی در سراب جریان آبهای زیرزمینی منطقه قرار داشته، و با توجه به مجاورت این مناطق با شهر صنعتی و نفت خیز گچساران، و توسعه ی مناطق شهری و واحدهای صنعتی در این ناحیه، در صورت ورود آلودگی به این بخش از آبخوان احتمال پخش آن در کل آن وجود خواهد داشت.

### نقشه ی پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر

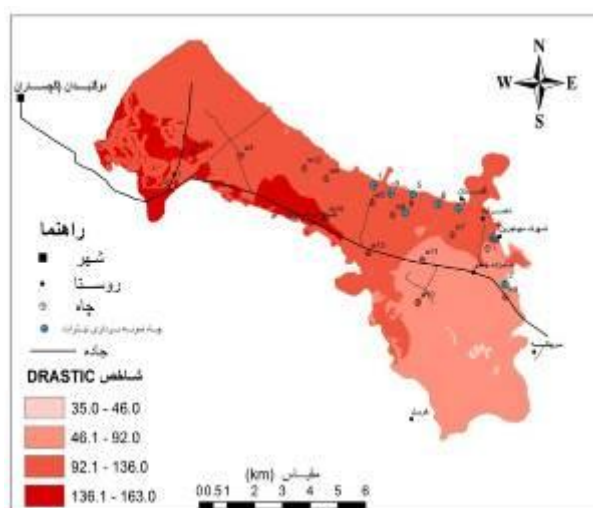
پس از تجزیه و تحلیل اطلاعات، لایه های مورد نیاز شبیه DRASTIC تهیه (شکل ۴) و با اعمال رتبه بندی مطابق جدول (۲)، (به منظور هم مقیاس کردن نقشه های رستری هر یک از فراسنج جهت استفاده در سامانه ی محاسباتی یکسان)، و وزن دهی مناسب نقشه ی پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر تهیه شده است. شاخص آسیب پذیری DRASTIC در دشت امامزاده جعفر از ۳۵ تا ۱۶۳ تغییر می کند (شکل ۵). با توجه به جدول (۱)، و نتایج حاصل از شبیه DRASTIC، ۴/۲، ۵۶/۲ و ۳۷/۰ درصد از آبخوان امامزاده جعفر به ترتیب دارای آسیب پذیری بالا، متوسط و کم بوده، و آسیب پذیری ۲/۶ درصد از منطقه قابل اغماض می باشد





شکل ۴- نقشه های رتبه بندی شده فراسنجهای شبیه DRATIC (الف) عمق سطح ایستابی، (ب) تغذیه ی خالص، (ج) محیط آبخوان،

(د) محیط خاک، (ه) پستی و بلندی، (و) محیط غیراشباع، (ی) هدایت آبی



شکل ۵- نقشه ی پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران.

نقشه‌های رستری هر یک از فراسنجهها ( $C_i$ ) رسم، سپس با مقایسه‌ی غلظتها با معیارهای ارائه شده هر یک از فراسنجهها، رتبه ی کیفی هر فراسنجه ( $Q_i$ ) محاسبه، و در نهایت با به کارگیری رابطه ی (۴) مقادیر GWQI محاسبه (جدول ۳) و نقشه ی پهنه بندی کیفی آبخوان از نظر شرب تهیه گردیده است (شکل ۶). همان گونه که شکل (۶) نشان می‌دهد، میزان شاخص GWQI آبخوان دشت بین ۳۷ تا ۳۵۷ تغییر می‌کند، که بر اساس جدول (۱) نوع کیفیت آب از نظر شرب در محدوده های عالی، خوب، بد و خیلی بد قرار می‌گیرد. بیشتر قسمتهای آبخوان دارای کیفیت آب خوب بوده و فقط بخش جنوب غربی بالا دست

## ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای شرب با کاربرد شاخص GWQI

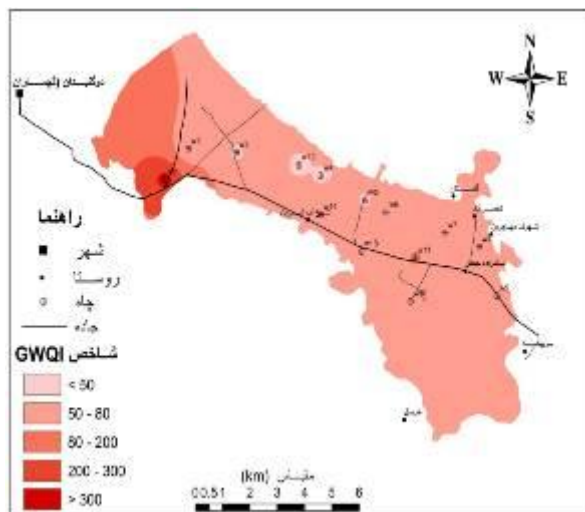
به منظور ارزیابی و بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت امامزاده جعفر برای شرب، شاخص GWQI بر اساس نتایج تجزیه ی شیمیایی ۱۴ چاه عمیق (شکل ۶) مربوط به تابستان ۱۳۸۹ محاسبه شده است. با استفاده از ده فراسنجه کیفی آب ( $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , EC, pH, TDS و TH) و ابزار تجزیه و تحلیل مکانی<sup>۱۵</sup> نرم افزار Arc GIS 9.3، ابتدا

<sup>15</sup> - Spatial Analyst Extensions



ی پهنه بندی کیفی آب زیرزمینی از نظر شرب، بر حسب شاخص GWQI، انطباق خوبی با نقشه‌ی پهنه بندی آسیب پذیری دشت (شکل ۵) دارد، اما باید توجه داشت که نقشه‌ی پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان، توان آبخوان به آلودگی، نه میزان آلودگی آبخوان، را نشان می دهد، بدین معنی که ممکن است در یک منطقه توان آسیب پذیری کم باشد ولی به دلیل حضور گسترده منابع آلاینده، آبهای زیرزمینی آلوده شده باشند. بر عکس، ممکن است در منطقه‌ای توان آسیب پذیری بالا باشد، ولی به دلیل عدم حضور منابع آلاینده هیچ گونه خطری آلودگی آبهای زیرزمینی را تهدید نکند.

دشت کیفیت آب از نظر شرب، به دلیل بالا بودن میزان TH، TDS و EC نامناسب و بد می باشد. با توجه به بررسیهای ژئوفیزیک، چینه شناسی منطقه و بررسی داده ها در طول دوره آماری، کیفیت بد و نامناسب آب در این بخش آبخوان، در اثر تماس آب با لایه های انیدریتی و آهکری سازند تبخیری گچساران در اثر گسل خوردگیهای متعدد می باشد. جهت صحت سنجی نتایج به دست آمده از روش GWQI، نمونه های آب زیرزمینی این محدوده (۱۴ نمونه آب) با استفاده از نمودار شولر نیز طبقه بندی شده است. نتایج هر دو روش در جدول (۳) مقایسه شده اند که گویای تطابق در هر دو روش می باشد. هر چند نقشه



شکل ۶- موقعیت چاه های نمونه برداری و نقشه ی پهنه بندی کیفی دشت امامزاده جعفر از نظر شرب بر حسب شاخص GWQI.

به فراسنجهای شبیه دارای دقت کافی هستند یا نه، تجزیه و تحلیل حساسیت شبیه به دو روش حذف فراسنج و تک فراسنجی انجام گرفته است. در طی این مرحله، فراسنجهای ورودی شبیه تغییر داده شده، و عکس العمل سامانه نسبت به این تغییرات مورد ارزیابی قرار گرفته است (مرچانت، ۱۹۹۴؛ ناپولیتانو و فابری، ۱۹۹۶).

#### تحلیل حساسیت حذف فراسنج

این روش حساسیت نقشه آسیب پذیری را به حذف یک یا چند فراسنج، و اهمیت هر یک از فراسنجهای

#### تجزیه و تحلیل حساسیت شبیه DRASTIC

ارزیابی آسیب پذیری با استفاده از فراسنجهای متعدد تاثیر خطاها و یا عوامل نامعافت متوسط و عدم قطعیت های موجود در یک فراسنج منفرد، در مورد خروجی نهایی را محدود می گرداند (ایوانز و مایرز، ۱۹۹۰).

به منظور از بین بردن تردیدها در مورد این که آیا می توان آسیب پذیری آب زیرزمینی را نسبت به آلودگی با تعداد کمتری از فراسنجهای، و با دقت بیشتر و هزینه کمتر ارزیابی کرد، و آیا وزنها و رتبه های نسبت داده شده

نتایج این تحلیل حساسیت (جدول ۴) نیز بیشترین حساسیت شبیه را نسبت به فراسنج محیط غیراشباع نشان می دهد؛ پس از آن، میزان تغذیه ی خالص با میانگین وزن مؤثر ۱۸/۳ درصد در رتبه ی دوم حساسیت قرار دارد.

### صحت سنجی شبیه با کاربرد یون نیترات

هدف از این مرحله به دست آوردن اطمینان بیشتر از شبیه تهیه شده است. با توجه به این که در مناطق مورد مطالعه کشاورزی از رونق خاصی برخوردار بوده، و غالباً کودهای حیوانی و شیمیایی نیتراتی مورد استفاده قرار می گیرد. افزون بر آن، از یون نیترات، که به خاطر داشتن بار منفی به آسانی آبشویی می گردد، جهت صحت سنجی شبیه استفاده شد. جهت بررسی دقت شبیه، صحت سنجی آن از نظر آماری به این صورت انجام گردید که برای هر یک از نقاط دارای نیترات معبافت متوسط عدد DRASTIC آن با توجه به نقشه ی شاخص محلی DRASTIC مشخص شد و با تقسیم غلظت نیترات  $[NO_3^-]$  (mg/l) بر شاخص DRASTIC به دست آمده، یک نسبت ثابت (Q) حاصل می گردید:

$$Q = \frac{[NO_3^-]}{D_i} \quad (8)$$

هر چه این نسبت برای همه ی نقاط به هم نزدیکتر باشند، دقت شبیه بیشتر است. برای دشت امامزاده جعفر، این نسبت برای نقاط مختلف به هم نزدیک بوده و با توجه به داده های جدول (۵) می توان گفت که این شبیه از دقت بالایی برخوردار است.

را در ارزیابی آسیب پذیری نشان می دهد. این روش اولین بار به وسیله ی مانسون و سابودا در سال ۱۹۹۰ ارائه شده است. میزان حساسیت در این روش از رابطه ی (۶) به دست می آید:

$$S = \left( \frac{D_i - D_i'}{n - 1} \right) \times 100 \quad (6)$$

که در آن، S میزان حساسیت،  $D_i$  و  $D_i'$  به ترتیب، شاخصهای آسیب پذیری بدون حذف و با حذف فراسنج، و n تعداد لایه های اطلاعاتی مورد استفاده برای محاسبه ی  $D_i$  و  $D_i'$  می باشند.

نتایج حاصل از این تجزیه تحلیل (جدول ۴) حاکی از آنند که بیشترین تغییر در شاخص توان آسیب پذیری آبخوان با حذف فراسنج محیط غیراشباع اتفاق می افتد. این مسأله، به دلیل وزن زیاد فراسنج، و خصوصیات منطقه ی غیراشباع در دشت می باشد.

### تحلیل حساسیت تک فراسنجی (واحد)

تحلیل حساسیت تک فراسنجی اثر هر کدام از فراسنجهای DRASTIC را در مورد شاخص نهایی آسیب پذیری ارزیابی می کند (ناپولیتانو و فابری، ۱۹۹۶). در این تحلیل حساسیت، وزن مؤثر یا واقعی هر فراسنج با وزن نظری اختصاص داده شده به آن در شبیه DRASTIC مقایسه می شود. وزن مؤثر یا وزن واقعی هر سلول با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می گردد:

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{P_{rj} P_{wj}}{D_{ij}} \times 100 \quad (7)$$

که در آن،  $W_i$  وزن مؤثر فراسنج i ام،  $P_{rj}$  و  $P_{wj}$  به ترتیب رتبه و وزن فراسنج در سلول j ام، و  $D_{ij}$  شاخص آسیب پذیری فراسنج i ام در سلول j ام است.

جدول ۱- رده بندی شاخص آسیب پذیری DRASTIC، و کیفیت آب زیرزمینی برای شرب بر اساس شاخص GWQI.

خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	قابل اغماض	آسیب پذیری بر اساس شاخص DRASTIC
۱۸۴-۲۳۰	۱۳۶-۱۸۴	۹۲-۱۳۶	۴۶-۹۲	۲۳-۴۶	
نامناسب برای شرب	خیلی بد	بد	خوب	عالی	کیفیت آب زیرزمینی بر اساس شاخص GWQI
> ۳۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۵۰-۱۰۰	< ۵۰	

جدول ۲- رتبه‌بندی و وزن‌دهی فراسنجهای DRASTIC در منطقه‌ی مورد مطالعه (تغییر یافته از آلر و همکاران، ۱۹۸۷: آل-آدامت و همکاران، ۲۰۰۳): بایبکر و همکاران، ۲۰۰۵

عمق سطح ایستایی (D)		تغذیه خالص (R)		محیط آبخوان (A)		محیط خاک (S)		پستی و بلندی (T)		منطقه غیر اشباع (I)		هدایتایی (C)	
محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه
۰-۱/۵	۱۰	۰-۲۵	۱	پلمه سنگ توده ای	۱	نازک یا نبودن	۱۰	۰-۲	۱۰	لایه محبوس کننده	۱	۰-۴	۱
۱/۵-۴/۵	۹	۲۵-۵۰	۳	دگرگونی/ آذرین	۲	ماسه بافت متوسط	۹	۲-۶	۹	لای/رس	۲	۴-۱۲	۲
۴/۵-۹	۷	۵۰-۹۰	۶	سنگ آذرین-دگرگونی هوازده	۴	بافت متوسط ماسه‌ای	۷	۶-۱۲	۵	پلمه سنگ	۳	۱۲-۲۰	۴
۹-۱۵	۵	-۱۲۵ ۹۰	۸	یخرفتهای یخچالی	۵	بافت متوسط همراه با ریگ	۶	۱۲-۱۸	۳	سنگ آهک	۳	۲۰-۲۴	۶
۱۵-۲۳	۳	> ۱۲۵	۱۰	ماسه سنگ و سنگ آهک لایه‌ای	۶	بافت متوسط	۵	> ۱۸	۱	ماسه سنگ	۵	۲۴-۳۰	۸
۲۳-۳۰	۲			ماسه سنگ توده‌ای	۵	بافت متوسط رسی	۳			ماسه سنگ و سنگ آهک لایه‌ای	۶	> ۳۰	۱۰
> ۳۰	۱			آهک توده‌ای	۳					ماسه و ریگ همراه رس	۷		
				ماسه و ریگ	۸					ماسه و ریگ	۹		
				سنگ آهک کارستی	۹					سنگ آهک کارستی	۹		
وزن	۵	۴	۳	۲	۱	۵	۳						

جدول ۳- فراسنجهای کیفی مورد استفاده برای محاسبه شاخص GWQI در تابستان ۱۳۸۹. کلیه غلظتها بر حسب (mg/l) و EC بر حسب (µmhos/cm) می باشد.

	pH	TDS	EC	TH	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	طبقه بندی کیفی آب شرب		X	Y
											GWQI	شور		
W <sub>1</sub>	۷/۱	۲۹۱۰	۳۵۵۹	۲۱۰۰	۳۸۱/۵	۲۷۴/۵	۱۴۸۱/۲	۱۲۰	۶۴۰	۱۱۱/۵	۳۵۶/۵	نامناسب	۴۸۶۲۹۰	۳۳۵۶۰۳۰
W <sub>۲</sub>	۷/۸	۳۰۶	۴۲۰	۲۲۵	۱۲/۴	۱۹۵/۲	۵۵/۲	۲۴	۵۰	۵/۷	۴۰/۶	خوب	۴۸۷۱۴۰	۳۳۵۷۰۳۰
W <sub>۳</sub>	۷/۴	۴۷۰	۴۰۳	۱۹۷	۱۵/۹	۲۳۱/۸	۱/۴	۴/۸	۷۱	۵/۷	۴۰/۳	خوب	۴۸۸۹۱۰	۳۳۵۶۹۱۰
W <sub>۴</sub>	۷/۳	۳۱۸	۴۰۰	۲۲۰	۱۹/۵	۲۲۵/۷	۳۰/۲	۹/۶	۷۲	۱۱/۵	۴۰/۱	خوب	۴۹۲۰۰۰	۳۳۵۶۱۶۰
W <sub>۵</sub>	۷/۶	۲۹۰	۴۱۰	۲۰۰	۱۹/۵	۲۱۰/۴	۲۳/۱	۱۵/۶	۵۴	۱۱/۵	۳۸/۲	خوب	۴۹۳۶۵۰	۳۳۵۵۳۷۰
W <sub>۶</sub>	۷/۲	۷۶۰	۱۱۸۰	۳۶۵	۲۰۴/۲	۲۶۲/۳	۹۱/۶	۳۳/۶	۹۰	۱۰۶/۲	۹۳/۴	قابل قبول	۴۹۴۴۰۰	۳۳۵۴۹۸۰
W <sub>۷</sub>	۷/۰	۶۹۵	۱۰۲۴	۵۲۵	۱۵/۹	۲۵۹/۲	۲۸۷/۵	۴۲	۱۴۰	۵/۱	۸۵/۳	قابل قبول	۴۹۶۵۵۰	۳۳۵۴۳۲۰
W <sub>۸</sub>	۶/۴	۷۲۰	۱۰۲۴	۵۵۰	۱۲/۴	۲۷۴/۵	۳۰۳/۳	۵۴	۱۳۰	۵/۷	۸۷/۸	قابل قبول	۴۹۷۸۱۰	۳۳۵۳۸۷۰
W <sub>۹</sub>	۶/۹	۸۰۰	۱۲۲۱	۵۲۵	۴۴/۳	۲۸۹/۷	۳۱۱/۱	۵۷/۶	۱۱۴	۴۶/۰	۹۷/۸	قابل قبول	۴۹۸۴۶۰	۳۳۵۳۲۸۰
W <sub>۱۰</sub>	۷/۳	۷۷۰	۱۱۰۲	۵۶۰	۴۰/۸	۲۳۷/۹	۳۳۲/۱	۴۸	۱۴۴	۲۰/۱	۹۵/۷	قابل قبول	۴۹۵۳۰۰	۳۳۵۲۱۰۰
W <sub>۱۱</sub>	۷/۰	۸۶۴	۱۲۵۲	۶۵۰	۴۴/۳	۲۳۴/۸	۳۹۲/۶	۷۸	۱۳۰	۱۷/۷	۱۰۷/۹	متوسط	۴۹۵۴۷۲	۳۳۵۳۵۰۵
W <sub>۱۲</sub>	۷/۵	۲۹۰	۴۱۴	۲۰۰	۱۷/۷	۲۲۲/۶	۱۱/۵	۳/۶	۷۴	۹/۶	۳۷/۰	خوب	۴۹۱۲۰۰	۳۳۵۶۵۰۰
W <sub>۱۳</sub>	۷/۴	۶۹۰	۹۶۱	۵۰۰	۲۶/۶	۱۸۳/۰	۳۲۹/۷	۳۶	۱۴۰	۱۴/۹	۸۶/۹	قابل قبول	۴۹۳۵۰۱	۳۳۵۳۷۱۳
W <sub>۱۴</sub>	۷/۶	۶۲۴	۹۴۵	۳۲۵	۱۱۸/۹	۲۷۴/۰	۱۰۵/۶	۲۴	۹۰	۷۱/۳	۷۹/۶	قابل قبول	۴۹۲۰۰۶	۳۳۵۴۹۰۶
*C <sub>si</sub>	۷/۵	۵۰۰	۱۵۰۰	۳۰۰	۲۵۰	۴۵	۲۵۰	۳۰	۷۵	۲۰۰	-	-	-	-
W <sub>i</sub>	۲	۵	۵	۳	۵	۵	۴	۲	۳	۴	-	-	-	-
W <sub>r</sub>	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱۰	-	-	-	-

\* C<sub>si</sub>، میزان غلظت معیار برای هر یون بر اساس معیار سازمان بهداشت جهانی و Indian Standard Drinking Water Specification (IS 10500)، W<sub>i</sub>، عامل وزنی و W<sub>r</sub>، وزن نسبی هر فراسنج در شاخص GWQI

جدول ۴- نتایج آماری تحلیل حساسیت شبیه آسیب پذیری به روش حذف فراسنج و تحلیل حساسیت تک فراسنجی.

فراسنج	تحلیل حساسیت تک فراسنجی					تحلیل حساسیت به روش حذف فراسنج				
	وزن مؤثر			وزن نظری %	وزن نظری	شاخص تغییرات			انحراف معیار	
	انحراف معیار	حداکثر	حداقل			میانگین	انحراف معیار	حداکثر		حداقل
D	۱/۲۳	۱۸/۳۸	۳/۴۴	۶/۷۴	۲۱/۷۴	۵	۰/۴۳	۱/۸۰	۰/۰۲	۱/۲۶
R	۲/۶۰	۳۰/۶۷	۴/۴۱	۱۸/۳۲	۱۷/۴۰	۴	۰/۵۱	۲/۷۳	۰/۰۰	۰/۹۵
A	۲/۵۰	۲۸/۶۰	۵/۷۰	۱۷/۳۲	۱۳/۰۴	۳	۰/۴۵	۲/۳۸	۰/۰۱	۰/۸۶
S	۱/۹۷	۳۱/۹۸	۴/۴۰	۱۳/۹۴	۸/۷۰	۲	۰/۵۹	۲/۹۴	۰/۰۰	۰/۶۷
T	۱/۶۶	۱۳/۰۰	۰/۰۰	۳/۴۶	۴/۳۴	۱	۰/۵۱	۲/۲۵	۰/۰۰	۰/۰۱
I	۳/۵۸	۵۰/۰۰	۱۳/۷۰	۲۸/۸۵	۲۱/۷۴	۵	۱/۳۷	۵/۹۵	۰/۰۱	۲/۴۲
C	۱/۱۳	۵/۹۲	۰/۸۶	۲/۳۷	۱۳/۰۴	۳	۰/۳۵	۱/۹۴	۰/۱۴	۱/۳۵

جدول ۵- مقادیر غلظت نترات (بر حسب mg/l) و شاخص DRASTIC در محدوده ی دشت امامزاده جعفر

ردیف	X	Y	[NO <sub>3</sub> -]	D <sub>i</sub>	Q
۱	۴۹۴۳۴۸	۳۳۵۵۹۹۴	۱۵	۸۷	۰/۱۷۲
۲	۴۹۴۷۹۲	۳۳۵۵۹۲۱	۱۱	۸۷	۰/۱۲۶
۳	۴۹۵۵۰۵	۳۳۵۵۷۴۷	۱۰	۱۰۳	۰/۰۹۷
۴	۴۹۵۷۱۶	۳۳۵۵۷۵۱	۱۱	۱۰۳	۰/۱۰۶
۵	۴۹۶۳۶۹	۳۳۵۵۵۰۵	۱۳	۱۱۰	۰/۱۱۸
۶	۴۲۶۲۶۹	۳۳۵۵۸۶۰	۱۴	۹۸	۰/۱۴۲
۷	۴۹۶۰۲۹	۳۳۵۵۸۵۴	۱۲	۱۰۲	۰/۱۱۷
۸	۴۹۴۷۴۰	۳۳۵۵۸۷۴	۱۴	۹۰	۰/۱۵۵

## نتیجه گیری

اکتشافی حفر شده و جنس ته نشستهای آبخوان با دقت بیشتری تعیین گردد. نقشه ی پهنه بندی شاخص GWQI نشان می‌دهد که ۸۳/۴ درصد از آبخوان دشت امامزاده جعفر دارای کیفیت خوب از نظر شرب بوده، و کیفیت آب تنها بخشهای پایاب شمال غربی دشت بد تا خیلی بد می‌باشد.

با توجه به تاثیر زیانبار آلودگی بر کیفیت آبهای زیرزمینی، و به منظور حفاظت کیفی منابع مزبور، پیشنهاد می‌گردد که در مناطق دارای توان آسیب پذیری بالا (بخشهای شمال غربی دشت)، از فعالیتهای صنعتی و کشاورزی آلوده کننده‌ی محیط جلوگیری شده، و الگوی مدیریتی مناسبی در راستای بهره‌وری بهینه از منابع آب زیرزمینی و کاربری اراضی منطقه پیشنهاد گردد. نقشه‌های حساسیت و قابلیت آسیب‌پذیری آبخوان می‌توانند به عنوان یکی از راهبردها به وسیله ی نهادهای ذیربط مورد استفاده

نقشه‌ی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر با کاربرد DRASTIC نشان می‌دهد که آبخوان مزبور از لحاظ آسیب‌پذیری آب‌زیرزمینی بطور عمده، در سه محدوده با آسیب‌پذیری بالا، متوسط و کم قرار می‌گیرد. بررسی آماری دقت شبیه نسبت به آلودگی ناشی از یون نترات تأیید می‌کند که شبیه از دقت بالایی برخوردار بوده، و از آن جا که منطقه دارای آسیب‌پذیری بالا در قسمتهای شمال غربی دشت، یعنی در سراب جریان آبهای زیرزمینی منطقه قرار دارد، لذا به توجه و نظارت بیشتر نیاز دارد. نتایج آماری تحلیل حساسیت به روش حذف فراسنج نشان می‌دهد که مهمترین فراسنج تاثیرگذار بر شاخص آسیب‌پذیری محیط غیراشباع آبخوان می‌باشد، که باید در نقاط بیشتری از آبخوان گمانه‌های

- Heights, Gifu Prefecture, central Japan: *Sci Total Environ.* 345:127-140.
- 8- Babiker, I. S., M. A.A. Mohamed, and T. Hiyama. 2007. Assessing ground water quality using GIS: water Resources management. 11: 669 – 715.
- 9- Bordalo, A.A., W. Nilsumranchit, and K. Chalermwat. 2001. Water quality and uses of the Bangpakongriver (Eastern Thailand): *Water Res.* 15(35): 3642- 3635.
- 10- Ettazarini, S. 2006. Groundwater pollution risk mapping for the Eocene aquifer of the Oum Er-Rabia basin, Morocco. *Environmental Geology.* 51(3): 341-347.
- 11- Evans, B. M., and W. L. Mayers. 1990. A GIS based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC: *Journal of Soil andWater Conservation.* 45: 242-245.
- 12- Fritch, T. G., C. L. McKnight, J. C. elderman, and J. G. Arnold. 2000. An aquifer vulnerability assessment of the Paluxy quifer, Central Texas, USA, using GIS and a modified DRASTIC approach. *Environ Manage.* 25: 337-345.
- 13- Indian Standard (IS: 10500). 1992. Drinking Water Specification, (Reaffirmed 1993).
- 14- Merchant, J. W. 1994. GIS-based groundwater pollution hazard assessment: A critical review of the DRASTIC model. *Photogramm. Engng & Remote Sensing.* 60(9): 1117-112.
- 15- Mishra, P.C. and R.K. Patel. 2001. Study of the pollution load in the drinkingwater of Rairangpur, a small tribal dominatedtown of North Orissa. *Indian J. Environment andEcoplanning.* 5(2): 293-298.
- 16- Mitra, B.K. 1998. Spatial and Temporal Variation ofGround Water Quality in Sand Dune Area of AomoriPrefecture in Japan.
- 17- Naqa, A., N. Hammouri, and M. Kuisi. 2006. GIS-based evaluation of groundwater vulnerability in the Russeifa area, Jordan: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.* 23(3): 277-287.
- قرار گیرند. با توجه به مشکل اغلب دشتهای ایران می‌توان برای ارزیابی و مدیریت مناسب از نتایج شبیه DRASTIC و شاخص GWQI برای دشتهای استفاده کرد.

## منابع

- ۱- احمدی، ع. و م. آبرومند. ۱۳۸۸. بررسی توان آلودگی آبخوان دشت خاش، شرق ایران، با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه زمین شناسی کاربردی. ۵ (۱): ۱-۱۱
- ۲- خدایی، ک.، ع. شهبواری و ب. اعتباری. ۱۳۸۵. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوین به روش‌های DRASTIC و GOD. مجله زمین شناسی ایران. ۲(۴): ۷۳-۸۷
- ۳- رنگرن، ک.، پ. ضیائیان فیروز آبادی، ل. میرزایی و ف. علیجانی. ۱۳۸۷. پهنه بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت ورامین با استفاده از DRASTIC و ارزیابی تجربی اثر منطقه غیر اشباع در محیط GIS. فصلنامه زمین شناسی ایران. ۲(۶): ۲۱-۳۲
- ۴- نیکنام، ر.، ک. محمدی و و. جوهری مجد. ۱۳۸۶. ارزیابی آسیب‌پذیری سفره آب‌زیرزمینی تهران - کرج با روش DRASTIC و منطق فازی. تحقیقات منابع آب ایران. ۳(۲): ۶۴-۷۲
- 5- Al-Adamat, R. A. N., I. D. L. Foster, and 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.* 23: 303-324.
- 6- Aller, L., T. Bennet, J. H. Lehr, R. J. Petty, and G. Hackett. 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential using Hydrogeologic Settings: EPA/600/2-87/035:19-25. U.S.Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma.
- 7- Babiker, I. S., M. A. A. Mohamed, T. Hiyama, and K. KATO. 2005. A GIS-based DRASTIC model for assessin aquifer vulnerability in Kakamigahara

- vulnerability: International Association of Hydrogeologists, Verlag, Heinz Heise.
- 24- WHO, (1993). Guidelines for drinking water quality (2nd ed., Vol. 1, pp: 188). Recommendations, Geneva: World Health Organization. 9: 21-29.
- 25- Yuan, M., X. Zhang, and L. Wang. 2006. Fuzzy pattern recognition method for assessing groundwater vulnerability to pollution in the Zhangji area: Journal of Zhejiang University SCIENCE A. 7(11): 1917-1922.
- 18- Napolitano, P., and A. G. Fabbri. 1996. Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS. HydroGIS 96: application of geographical information systems in hydrology and water resources management: Proceedings of Vienna Conference. IAHS Pub. 235: 559-566.
- 19- Reza, R., and G. Singh. 2010. Assessment of ground water quality status by using Water Quality Index Method in Orissa, India: world Applied sciences journal. 9(12): 1392 – 1397.
- 20- Sharma, N. D., and J. N. Patel. 2010. Evaluation of Groundwater Quality Index of the Urban Segments of Surat City, India: International Journal of geology, 4:(1).
- 21- Singh, D. F. 1992. Studies on the water quality index of some major rivers of Pune, Maharashtra: Proceedings of the Academy of Environmental Biology. 1: 61-66.
- 22- Tiwari, T.N. and M.A. Mishra. 1985. A preliminary assignment of water quality index of major Indian rivers. Indian J. Environmental Protection. 5: 276-279.
- 23- Vrba, J., and A. Zaporozec. 1994. Guide book on mapping groundwater