

پهنه بندی آسیب‌پذیری و ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران

با استفاده از شبیه DRASTIC و شاخص کیفی GWQI

فرحناز عزیزی^{1*}، حسین محمدزاده²

تاریخ دریافت: 91/1/20 تاریخ پذیرش: 91/6/15

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، 4/2، 56/2 و 37/0 درصد از آبخوان امامزاده جعفر به ترتیب دارای آسیب‌پذیری بالا، متوسط و کم بوده، و آسیب‌پذیری 2/6 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 1/6، 83/4 و 12/1 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: آسیب‌پذیری آبخوان، شبیه DRASTIC، شاخص GWQI، دشت امامزاده جعفر گچساران

¹ - کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

² - استادیار، مرکز تحقیقات آبهای زیرزمینی (متاب)، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، صندوق پستی: 1436 - 91775

* - نویسنده مسئول: Fazizi90@yahoo.com

مقدمه

آبخوان شامل عمق سطح ایستابی (D)⁵، تغذیه ی خالص (R)⁶، محیط آبخوان (A)⁷، محیط خاک (S)⁸، پستی و بلندی (T)⁹، محیط غیراشباع (I)¹⁰ و هدایت آبی (C)¹¹ مورد بررسی قرار می گیرد (آلر و همکاران، 1987). این شبیه کاربرد وسیعی را در بررسی آسیب پذیری آب زیرزمینی نسبت به دامنه ی وسیعی از آلاینده های بالقوه دارد (آلر و همکاران، 1987؛ ایوانز و مایرز، 1990؛ فریچ و همکاران، 2000؛ آل-آدامت و همکاران، 2003؛ اتازارنی، 2006 و ناکا و همکاران، 2006). 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، 1987؛ فریچ و همکاران، 2000)؛ ناحیه ی ژانگ جی در چین (یان و همکاران، 2006)، منطقه ی روسیفا در اردن، (ناکا و همکاران، 2006)، آبخوان کاکامیگهارا در ژاپن، (بابیکر و همکاران، 2005)، آبخوان ام الربیع در مراکش، (اتازارنی، 2006)، و همچنین در ایران برای آبخوانهای متعددی از جمله: آبخوان دشت خاش، (احمدی و آبرومند، 2009)؛ آبخوان دشت تهران-کرج، (نیکنام و همکاران، 2007)، آبخوان دشت جویین، (خدایی و همکاران، 2006)، و آبخوان دشت هشتگرد، (آزادشهرکی و همکاران، 2010) تهیه شده است.

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 شامیدنی آنها از زیر زمین تأمین می گردد، ارزیابی کیفیت این آبها حائز اهمیت بسیار بوده، و از این رو شاخصهای کیفی متعددی (مثل GWQI¹)، 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. روشهای مختلفی برای ارزیابی آسیب پذیری سفره های آب زیرزمینی ارائه شده اند که می توان آنها را به سه گروه روشهای پردازشی، همپوشانی² و آماری تقسیم بندی نمود.

شبیه DRASTIC بر اساس روش همپوشانی استوار بوده و به وسیله ی سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (US-EPA)³ و انجمن چاههای آب آمریکا (AWWA)⁴ ارائه شده است. در شبیه DRASTIC، هفت فراسنج مؤثر بر آسیب پذیری

5 - Depth to water table

6 - Net Recharge

7 - Aquifer media

8 - Soil type

9 - Topography

10 - Impact of vadose zone

11 - Hydraulic Conductivity

1 - ground water quality index (GWQI)

2 - Overlay and index method

3 - United state Environmental protection Agency

4 - American water wells Association

موقعیت جغرافیایی، زمین شناسی و آبشناسی

منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت امامزاده جعفر در فاصله 5 کیلومتری شمال شرق شهر گچساران و در ناحیه‌ی گرمسیری و خشک جنوب استان کهگیلویه و بویراحمد، بین عرض $30^{\circ} 16'$ تا $30^{\circ} 28'$ شمالی، و طول جغرافیایی $50^{\circ} 52'$ تا $51^{\circ} 2'$ شرقی واقع شده است (شکل 1- الف). حوضه‌ی آبخیز این دشت از زیر مجموعه حوضه‌ی آبخیز رود زهره به وسعت 220 کیلومتر مربع بوده، که حدود 160 کیلومتر مربع آن کوهستانی و بقیه دشت نسبتاً مسطح است. میانگین ارتفاع دشت از سطح دریا 720 متر می‌باشد. میانگینهای دما و بارش سالانه در دشت به ترتیب 394/5 میلی‌متر و 23 درجه سانتیگراد می‌باشند. اقلیم منطقه نیمه‌خشک با تابستانهای خیلی گرم و زمستان معتدل است.

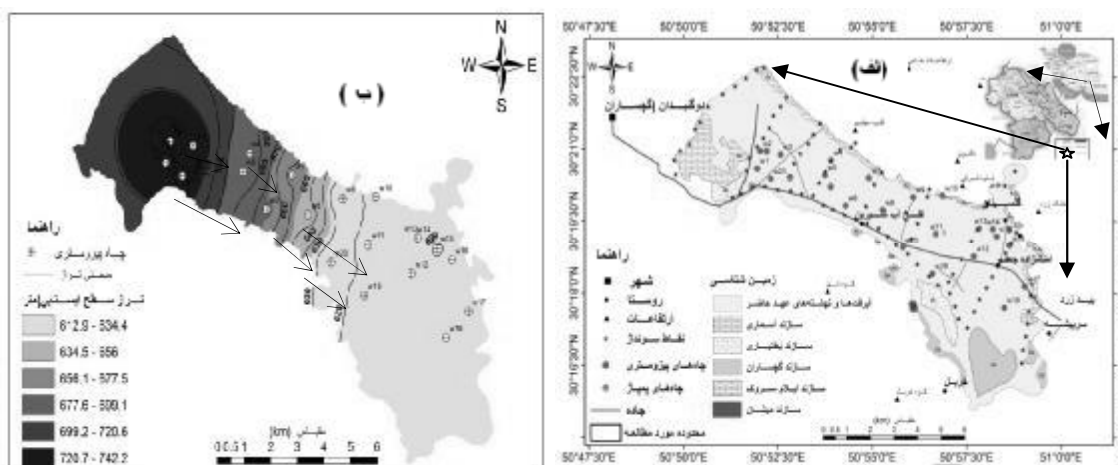
از دیدگاه زمین‌شناسی، دشت امامزاده جعفر با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی در منطقه‌ی زاگرس چین خورده واقع شده‌است. تشکیلات زمین شناسی مختلفی از ته نشستهای متعلق به دوران ژوراسیک تا دوران چهارم در محدوده‌ی مورد مطالعه رخنمون دارند. ضخامت آبرفتهای دشت از صفر در دامنه‌ی ارتفاعات تا حدود 132 متر در مرکز آن متغیر است، در نواحی شمالی، مواد آبرفتی و واریزه‌ای در امتداد مخروطهای افکنه غالباً

ارزیابی کیفیت آب‌زیرزمینی به کمک شاخص کیفی GWQI توسط بابیکر و همکاران (2007) ارائه شده است که به کمک آن فراسنجهای SO_4^{2-} ، Cl^- ، TDS، Ca^{2+} ، Mg^{2+} و Na^+ با هم تلفیق، و تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی بررسی می‌شود. این شاخص نیز به وسیله‌ی شارما و پاتل (2010) برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان سورات سیتی در هندوستان به کار گرفته شده است، ایشان 5 فراسنج TDS، pH، EC، TH و Cl^- را بر کیفیت آب‌زیرزمینی آبخوان مذکور مؤثر دانسته و بیان می‌کنند که فراسنجهای مختلفی در سایر مناطق می‌توانند 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، 1985؛ بوردالو و همکاران، 2001؛ میشر و پاتل، 2001).

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 آسیب‌پذیری آب‌زیرزمینی نسبت به آلاینده‌های بالقوه، با کاربرد شبیه DRASTIC، و تغییرات مکانی کیفیت آب‌زیرزمینی این دشت به کمک شاخص GWQI مورد بررسی قرار گرفته است.

(شکل 1-ب)، متوسط ضخامت آبخوان حدود 79 متر و بیشترین و کمترین ژرفای آب زیرزمینی به ترتیب حدود 90 متر (در نواحی شمالی) و حدود 20 متر (در نواحی جنوبی دشت) است.

درشت از نوع قله‌سنگ، ریگ و ماسه، در بخش مرکزی با دانه‌بندی متوسط، و در منطقه ی خروجی دشت، مواد ریزدانه از جنس لای و رس می‌باشد. جهت جریان آبهای زیرزمینی در دشت از شمال غرب به جنوب شرق بوده



شکل 1- الف) موقعیت جغرافیایی و نقشه‌ی زمین شناسی و ب) نقشه‌ی تراز سطح ایستابی دشت امامزاده جعفر گچساران.

بسته به اهمیت، به هر یک از فراسنجهای شبیه DRASTIC وزنی برابر 1 تا 5 اختصاص داده، و با اعمال رتبه بندی مناسب (جدول 2)، 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_i ، 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)¹ و هندوستان (Indian Standard)

مواد و روشها

شبیه DRASTIC توان آلودگی یک ناحیه را با جمع کردن عوامل کلیدی مؤثر بر انتقال مواد محلول ارزیابی می کند. این شاخص از مجموع حاصلضرب وزن (w) و رتبه‌ی (r) فراسنجهای مؤثر در ارزیابی آسیب پذیری (رابطه 1) محاسبه، و به پنج گروه آسیب پذیری تقسیم بندی می‌گردد (جدول 1):

$$D_i = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (1)$$

در این رابطه D_i 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.

¹ - World Health Organization

1- 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.

2- تغذیه‌ی 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 می‌توان مطابق رابطه ی (5) از حاصل ضرب نقشه ی رستری آبدهی ویژه ی دشت (شکل 2-الف) در نقشه ی رستری نوسان تراز سطح آب زیرزمینی (شکل 2-ب) به دست آورد. با احتساب متوسط تغذیه ی آبخوان در هر متر مربع از آن برابر با 0/053 متر، و با در نظر گرفتن مساحت دشت (71/8 میلیون متر مربع)، مقدار حجم آب ذخیره شده ΔV در سال آبی 89-1388 در این آبخوان حدود 3/8 میلیون مترمکعب برآورد گردیده است:

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

(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_i) بین 1-5 اختصاص داده می‌شود (سینگ، 1992)، سپس مطابق رابطه ی (2) وزن نسبی (W_r) برای هر فراسنج محاسبه می‌گردد.

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

با تقسیم غلظت هر فراسنج (C_i) بر میزان غلظت معیار ارائه شده (C_{si}) مطابق جدول (3) و رابطه ی (3)، رتبه ی کیفی برای هر کدام از آنها (q_i) محاسبه می‌گردد:

$$(q_i) = (c_i / c_{si}) \times 100 \quad (3)$$

و در نهایت، شاخص GWQI مطابق رابطه ی (4) محاسبه می‌شود:

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

بطورکلی، کیفیت آبهای زیرزمینی بر اساس شاخص GWQI به 5 گروه عالی، خوب، بد، خیلی بد و نامناسب برای شرب (جدول 1) تقسیم می‌گردد.

نتایج و بحث

فراسنجهای شبیه DRATIC و نقش آنها در ارزیابی

آسیب‌پذیری سفره

که در آن A ، مساحت محدوده ی مورد مطالعه، S_y ، آبدهی ویژه و dh/dt ، نوسان تراز سطح ایستابی می باشد.

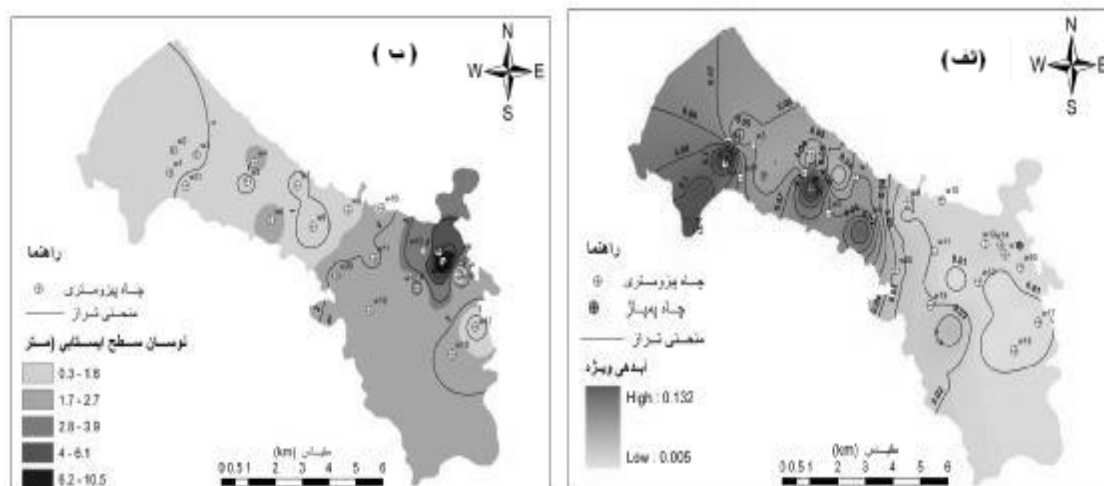
جدول 2- رتبه بندی و وزن دهی فراسنجهای DRASTIC در منطقه ی مورد مطالعه (تغییر یافته از آلو همکاران، 1987؛ آل - آدامت و همکاران، 2003؛ بابیکر و همکاران، 2005)

هدایت آبی (C)		منطقه غیر اشباع (I)		پستی و بلندی (T)		محیط خاک (S)		محیط آبخوان (A)		تغذیه خالص (R)		عمق سطح ایستابی (D)	
رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده
1	0 - 4	1	لایه محبوس کننده	10	0 - 2	10	نازک یا نبودن ماسه بافت متوسطی	1	پلمه سنگ توده ای	1	0 - 25	10	0 - 1/5
2	4 - 12	2	لای رس	9	2 - 6	9	بافت متوسط ماسه ای	2	دگرگونی / آذرین سنگ آذرین - دگرگونی هوازه	3	25 - 50	9	1/5 - 4/5
4	12 - 20	3	پلمه سنگ	5	6 - 12	7	بافت متوسط ماسه ای	4	سنگ آذرین - دگرگونی هوازه	6	50 - 90	7	4/5 - 9
6	20 - 24	3	سنگ آهک	3	12 - 18	6	بافت متوسط همراه با ریگ	5	یخرفتهای یخچالی	8	90 - 125	5	9 - 15
8	24 - 30	5	ماسه سنگ	1	> 18	5	بافت متوسط رسی	6	ماسه سنگ و سنگ آهک لایه ای	10	> 125	3	15 - 23
10	> 30	6	ماسه سنگ و سنگ آهک لایه ای	6		3	بافت متوسط رسی	5	ماسه سنگ توده ای			2	23 - 30
		7	ماسه و ریگ همراه رس					8	آهک توده ای			1	> 30
		9	ماسه و ریگ					9	ماسه و ریگ				
		9	سنگ آهک کارستی						سنگ آهک کارستی				
3	5	1	2	3	4	5	وزن						

جدول 3 - فراسنجهای کیفی مورد استفاده برای محاسبه شاخص GWQI در تابستان 1389. کلیه غلظتها بر حسب (mg/l) و EC بر حسب (µmhos/cm) می باشد.

	pH	TDS	EC	TH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	طبقه بندی کیفی آب شرب		X	Y
											شولر	GWQI		
W1	7/1	2910	3559	2100	381/5	274/5	1481/2	120	640	111/5	356/5	نامناسب	486290	3356030
W2	7/8	306	420	225	12/4	195/2	55/2	24	50	5/7	40/6	خوب	487140	3357030
W3	7/4	470	403	197	15/9	231/8	1/4	4/8	71	5/7	40/3	خوب	488910	3356910
W4	7/3	318	400	220	19/5	225/7	30/2	9/6	72	11/5	40/1	خوب	492000	3356160
W5	7/6	290	410	200	19/5	210/4	23/1	15/6	54	11/5	38/2	خوب	493650	3355370
W6	7/2	760	1180	365	204/2	262/3	91/6	33/6	90	106/2	93/4	قابل قبول	494400	3354980
W7	7/0	695	1024	525	15/9	259/2	287/5	42	140	5/1	85/3	قابل قبول	496550	3354320
W8	6/4	720	1024	550	12/4	274/5	303/3	54	130	5/7	87/8	قابل قبول	497810	3353870
W9	6/9	800	1221	525	44/3	289/7	311/1	57/6	114	46/0	97/8	قابل قبول	498460	3352280
W10	7/3	770	1102	560	40/8	237/9	332/1	48	144	20/1	95/7	قابل قبول	495300	3352100
W11	7/0	864	1252	650	44/3	234/8	392/6	78	130	17/7	107/9	متوسط	495472	3353505
W12	7/5	290	414	200	17/7	222/6	11/5	3/6	74	9/6	37/0	خوب	491200	3356500
W13	7/4	690	961	500	26/6	183/0	329/7	36	140	14/9	86/9	قابل قبول	493501	3353713
W14	7/6	624	945	325	118/9	274/0	105/6	24	90	71/3	79/6	قابل قبول	492006	3354906
*C _s _i	7/5	500	1500	300	250	45	250	30	75	200	-	-	-	-
W _i	2	5	5	3	5	5	4	2	3	4	-	-	-	-
W _r	0/05	0/13	0/13	0/07	0/13	0/13	0/10	0/05	0/07	0/10	-	-	-	-

* C_{si}، میزان غلظت معیار برای هر یون بر اساس معیار سازمان بهداشت جهانی و Indian Standard Drinking Water Specification، W_i، عامل وزنی و W_r، وزن نسبی هر فراسنج در شاخص GWQI (IS 10500)،



شکل 2: الف) نقشه‌ی پهنه بندی آبدهی ویژه‌ی آبخوان و ب) نقشه نوسان تراز سطح آب زیرزمینی دشت امامزاده جعفر گچساران در سال آبی 89-1388.

جدول 1- رده بندی شاخص آسیب پذیری DRASTIC، و کیفیت آب زیرزمینی برای شرب بر اساس شاخص GWQI.

شاخص	قابل اغماض	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
آسیب پذیری بر اساس شاخص DRASTIC	23 - 46	46 - 92	92 - 136	136 - 184	184 - 230
کیفیت آب زیرزمینی بر اساس شاخص GWQI	عالی	خوب	بد	خیلی بد	نامناسب برای شرب
	< 50	50 - 100	100 - 200	200 - 300	> 300

تشکیل دهنده‌ی آبخوان براساس جدول (2)، 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.

4- محیط خاک (S)

محیط خاک، قسمت بالایی منطقه‌ی غیراشباع آبخوان می‌باشد که تا حد نفوذ ریشه گیاهان یا فعالیت موجودات خاکزی ادامه دارد. خاک و بافت آن اثر قابل توجهی بر

3- محیط آبخوان (A)

سامانه‌ی حاکم بر سفره‌ی آب زیرزمینی از محیط سفره تأثیر می‌پذیرد. نوع ترکیب، دانه بندی و خصوصیات مواد تشکیل دهنده‌ی منطقه اشباع نظیر میزان تخلخل، 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

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 یاریق 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.

7- هدایت آبی (C)

هدایت آبی، عمدتاً به وسیله ی تخلخل مواد تشکیل دهنده ی آبخوان تعیین می‌شود. عامل تعیین کننده ی حرکت، زمان ماندگاری مواد آلاینده از نقطه ی نفوذ تا رسیدن به منطقه ی اشباع می‌باشد. افزایش K باعث توان آلودگی بیشتر می باشد. نقشه ی هم ارزش تغییرات هدایت آبی دشت از تقسیم نقشه ی هم قابلیت انتقال آبخوان (شکل 3-الف) بر نقشه ی هم ضخامت آبخوان (شکل 3-ب) به دست آمد و مطابق جدول (2) رتبه بندی گردید.

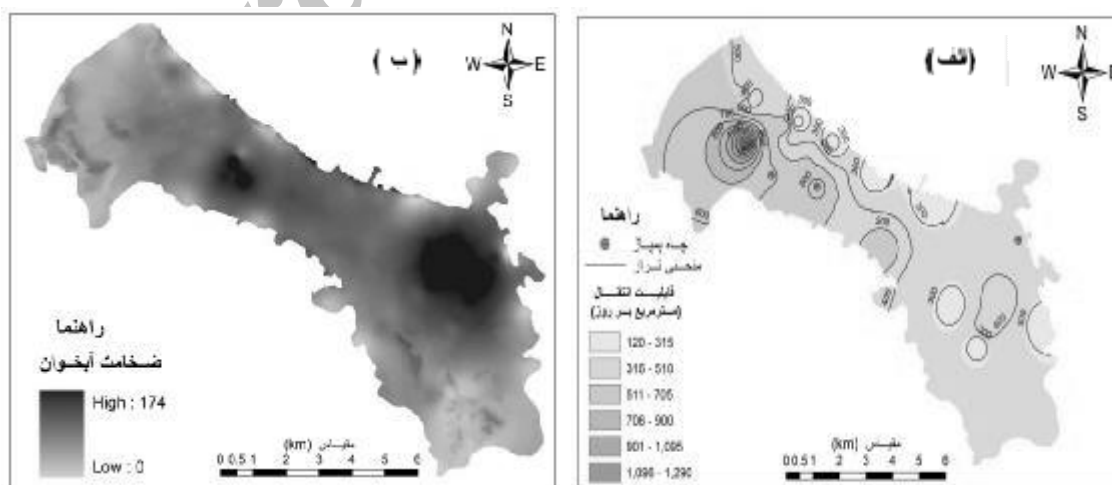
نفوذ مواد آلاینده به درون زمین، و در نهایت به سطح آب زیرزمینی را داراست. به منظور تعیین نوع خاک، می‌توان از نقشه‌های خاک تهیه شده به وسیله ی مؤسسه ی خاک و آب، و انجام مطالعات خاکشناسی و حفر نیمرخ و نمونه برداری استفاده کرد.

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

6- محیط غیر اشباع آبخوان (I)

این فراسنج از منطقه ی خاک سطحی شروع و تا سطح ایستابی ادامه می‌یابد. در شبیه DRASTIC فرض بر



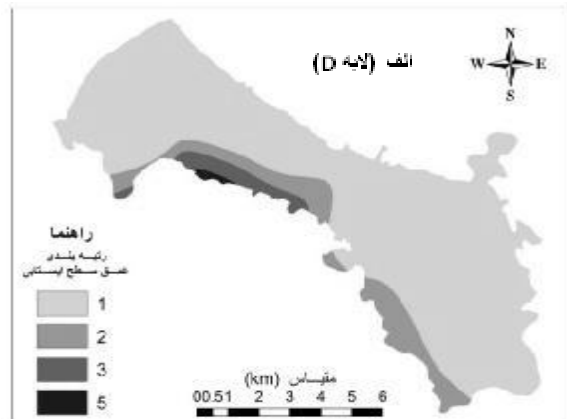
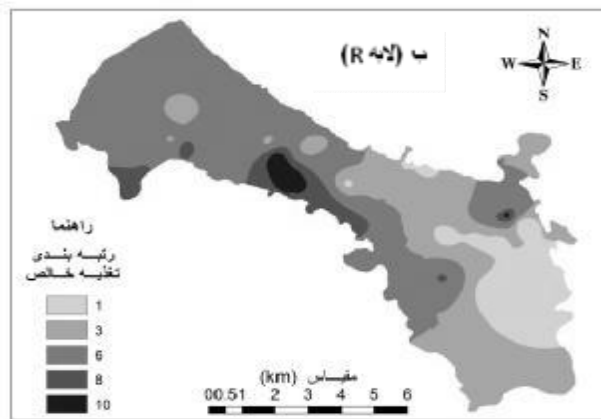
شکل 3: الف) نقشه ی هم قابلیت انتقال آبخوان و ب) نقشه هم ضخامت منطقه اشباع آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران

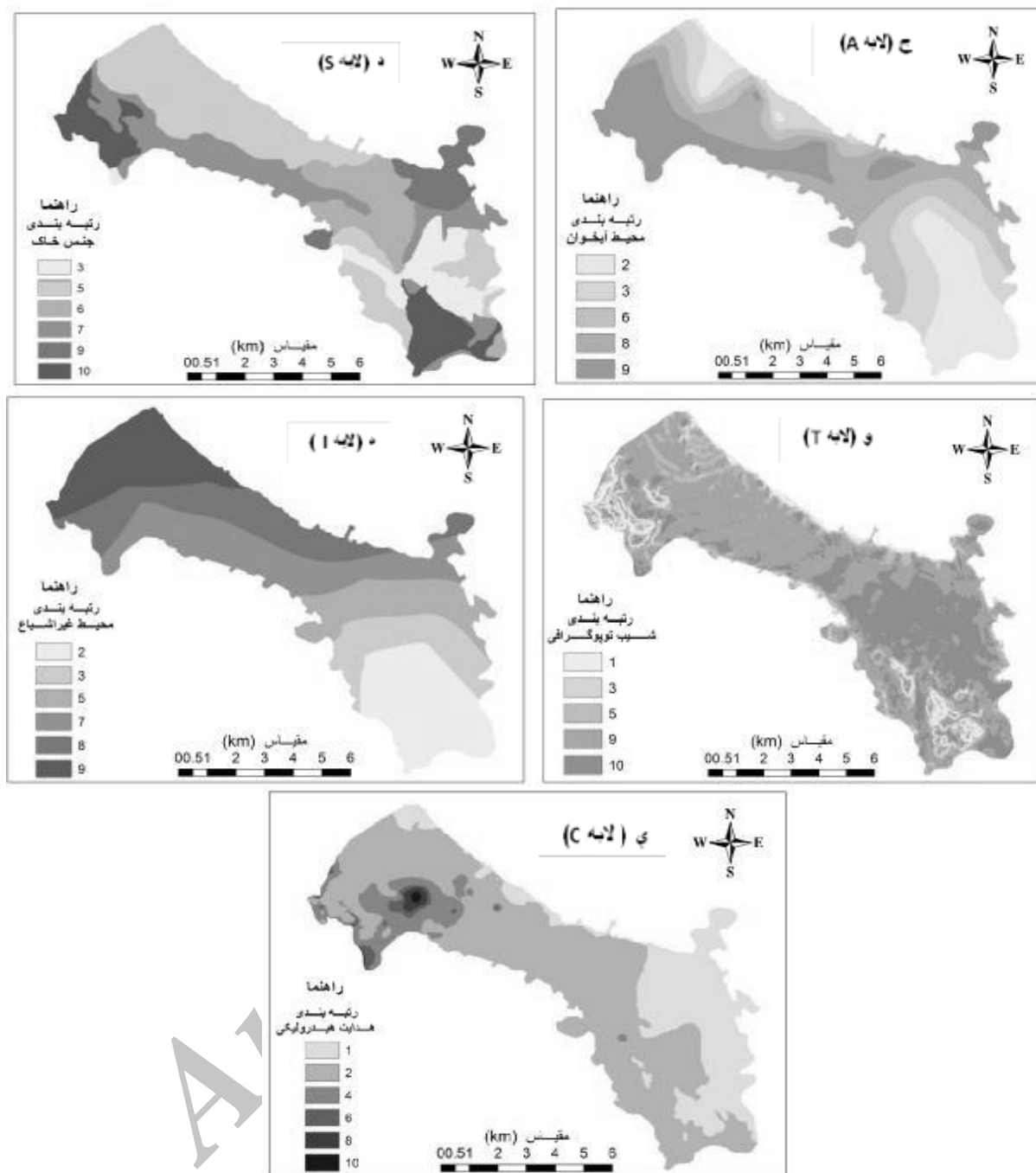
قابل اغماض می‌باشد (شکل 5). بخش جنوب شرقی دشت دارای کمترین آسیب پذیری، و بخشهای میانی دشت دارای آسیب پذیری متوسط می‌باشند. با توجه به فراسنجهای آب و زمین شناسی مؤثر بر آسیب پذیری آبخوان، به دلیل کم عمق بودن سطح ایستابی و بالا بودن میزان تغذیه و هدایت آبی در بخشهای شمال غربی دشت، مکانهای با آسیب پذیری 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 خواهدداشت.

نقشه‌ی پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت

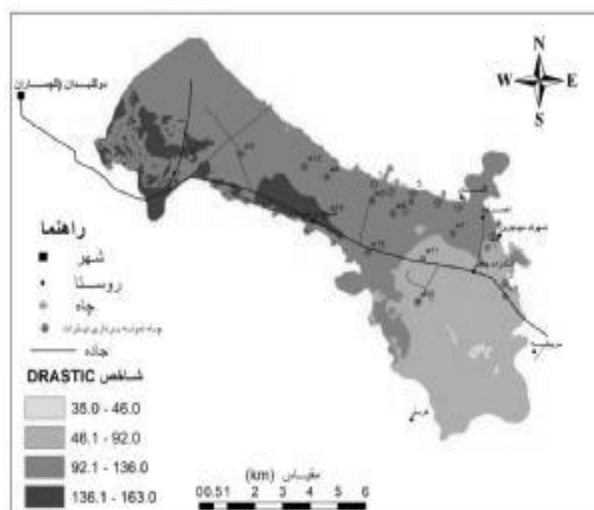
امامزاده جعفر

پس از تجزیه و تحلیل اطلاعات، لایه های مورد نیاز شبیه DRASTIC تهیه (شکل 4) و با اعمال رتبه بندی مطابق جدول (2)، (به منظور هم مقیاس کردن نقشه‌های رستری هریک از فراسنج جهت استفاده در سامانه‌ی محاسباتی یکسان)، و وزن دهی مناسب نقشه‌ی پهنه‌بندی آسیب پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر تهیه شده است. شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC در دشت امامزاده جعفر از 35 تا 163 تغییر می‌کند (شکل 5). با توجه به جدول (1)، و نتایج حاصل از شبیه DRASTIC، 56/4، 2/2 و 37/0 درصد از آبخوان امامزاده جعفر به ترتیب دارای آسیب‌پذیری بالا، متوسط و کم بوده، و آسیب پذیری 2/6 درصد از منطقه





شکل 4- نقشه های رتبه بندی شده فراسنجهای شبیه DRASTIC 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 5- نقشه‌ی پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران.

(جدول 3) و نقشه‌ی پهنه بندی کیفی آبخوان از نظر شرب تهیه گردیده است (شکل 6). همان گونه که شکل (6) نشان می‌دهد، میزان شاخص GWQI آبخوان دشت بین 37 تا 357 تغییر می‌کند، که بر اساس جدول (1) نوع کیفیت آب از نظر شرب در محدوده‌های عالی، خوب، بد و خیلی بد قرار می‌گیرد. بیشتر قسمت‌های آبخوان دارای کیفیت آب خوب بوده و فقط بخش جنوب غربی بالا دست دشت کیفیت آب از نظر شرب، به دلیل بالا بودن میزان TH، TDS و EC نامناسب و بد می‌باشد. با توجه به بررسی‌های ژئوفیزیک، چینه شناسی منطقه و بررسی داده‌ها در طول دوره آماری، کیفیت بد و نامناسب آب در این بخش آبخوان، در اثر تماس آب با لایه‌های انیدریتی و آهکری سازند تبخیری گچساران در اثر گسل خوردگی‌های متعدد می‌باشد. جهت صحت سنجی نتایج به دست آمده

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 تجزیه‌ی شیمیایی 14 چاه عمیق (شکل 6) مربوط به تابستان 1389 محاسبه شده است. با استفاده از ده فراسنج کیفی آب (Na^+ , Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Cl^- ، NO_3^- ، SO_4^{2-} ، pH، EC، TDS و TH) و ابزار تجزیه و تحلیل مکانی¹ نرم افزار Arc GIS 9.3، ابتدا نقشه‌های رستری هر یک از فراسنجهای (C_i) رسم، سپس با مقایسه‌ی غلظتها با معیارهای ارائه شده هر یک از فراسنجهای، رتبه‌ی کیفی هر فراسنج (q_i) محاسبه، و در نهایت با به کارگیری رابطه‌ی (4) مقادیر GWQI محاسبه

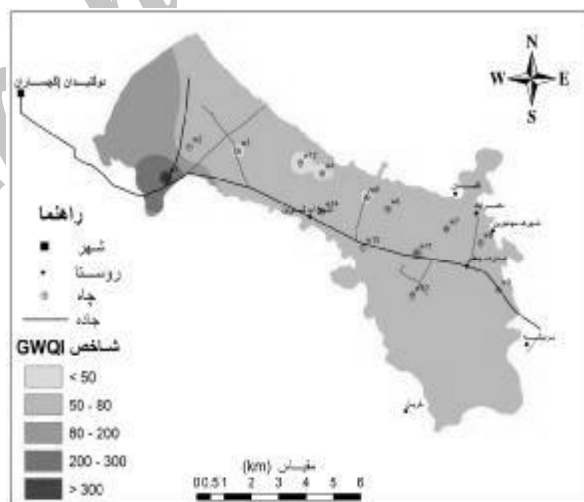
¹ - Spatial Analyst Extensions

تجزیه و تحلیل حساسیت شبیه DRASTIC

ارزیابی آسیب پذیری با استفاده از فراسنجهای متعدد تاثیر خطاها و یا عوامل نامعلوم و عدم قطعیتهای موجود در یک فراسنج منفرد، در مورد خروجی نهایی را محدود می گرداند (ایوانز و مایرز، 1990).

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 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، 1994؛ ناپولیتانو و فابری، 1996).

از روش GWQI، نمونه های آب زیرزمینی این محدوده (14 نمونه آب) با استفاده از نمودار شولر نیز طبقه بندی شده است. نتایج هر دو روش در جدول (3) مقایسه شده اند که گویای تطابق در هر دو روش می باشد. هر چند نقشه ی پهنه بندی کیفی آب زیرزمینی از نظر شرب، بر حسب شاخص GWQI، انطباق خوبی با نقشه ی پهنه بندی آسیب پذیری دشت (شکل 5) دارد، اما باید توجه داشت که نقشه ی 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 منطقه ای توان آسیب پذیری بالا باشد، ولی به دلیل عدم حضور منابع آلاینده هیچ گونه خطری آلودگی آبهای زیرزمینی را تهدید نکند.



شکل 6- موقعیت چاه های نمونه برداری و نقشه ی پهنه بندی کیفی دشت امامزاده جعفر از نظر شرب بر حسب شاخص GWQI.

1 - تحلیل حساسیت حذف فراسنج

که در آن، S میزان حساسیت، D_i و D_i' به ترتیب، شاخصهای آسیب‌پذیری بدون حذف و با حذف فراسنج، و n تعداد لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده برای محاسبه ی D_i و D_i' می‌باشند.

نتایج حاصل از این تجزیه تحلیل (جدول 4) حاکی از آنست که بیشترین تغییر در شاخص توان آسیب‌پذیری آبخوان با حذف فراسنج محیط غیراشباع اتفاق می‌افتد. این مسأله، به دلیل وزن زیاد فراسنج، و خصوصیات منطقه ی غیراشباع در دست می‌باشد.

این روش حساسیت نقشه آسیب‌پذیری را به حذف یک یا چند فراسنج، و اهمیت هر یک از فراسنجهای را در ارزیابی آسیب‌پذیری نشان می‌دهد. این روش اولین بار به وسیله ی مانسون و سابودا در سال 1990 ارائه شده است. میزان حساسیت در این روش از رابطه ی (6) به دست می‌آید:

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

جدول 4- نتایج آماری تحلیل حساسیت شبیه‌سازی پذیري به روش حذف فراسنج و تحلیل حساسیت تک فراسنجی.

فراسنج	تحلیل حساسیت به روش حذف فراسنج				وزن نظری	وزن نظری %	تحلیل حساسیت تک فراسنجی			
	شاخص تغییرات			انحراف معیار			وزن مؤثر			انحراف معیار
	میانگین	حداقل	حداکثر				میانگین	حداقل	حداکثر	
D	1/26	0/02	1/80	0/43	5	21/74	6/74	3/44	18/38	1/23
R	0/95	0/00	2/73	0/51	4	17/40	18/32	4/41	30/67	2/60
A	0/86	0/01	2/38	0/45	3	13/04	17/32	5/70	28/60	2/50
S	0/67	0/00	2/94	0/59	2	8/70	13/94	4/40	31/98	1/97
T	0/01	0/00	2/25	0/51	1	4/34	3/46	0/00	13/00	1/66
I	2/42	0/01	5/95	1/37	5	21/74	28/85	13/70	50/00	3/58
C	1/35	0/14	1/94	0/35	3	13/04	2/37	0/86	5/92	1/13

DRASTIC مقایسه می‌شود. وزن مؤثر یا وزن واقعی هر

سلول با استفاده از رابطه (7) محاسبه می‌گردد:

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

2 - تحلیل حساسیت تک فراسنجی

تحلیل حساسیت تک فراسنجی اثر هر کدام از فراسنجهای DRASTIC را در مورد شاخص نهایی آسیب‌پذیری ارزیابی می‌کند (ناپولیتانو و فابری، 1996). در این تحلیل حساسیت، وزن مؤثر یا واقعی هر فراسنج با وزن نظری اختصاص داده شده به آن در شبیه

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 نیترا ت معلوم عدد DRASTIC آن با توجه به نقشه‌ی شاخص محلی DRASTIC مشخص شد و با تقسیم غلظت نیترا ت $[NO_3^-]$ (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 همه‌ی 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 (5) می توان گفت که این شبیه از دقت بالایی برخوردار است.

جدول 5- مقادیر غلظت نیترا ت (بر حسب mg/l) و شاخص DRASTIC در محدوده ی دشت امامزاده جعفر

ردیف	X	Y	$[NO_3^-]$	D_i	Q
1	494348	3355994	15	87	0/17
2	494792	3355921	11	87	0/12
3	495505	3355747	10	103	0/09
4	495716	3355751	11	103	0/10
5	496369	3355505	13	110	0/12
6	426269	3355860	14	98	0/14
7	496029	3355854	12	102	0/12
8	494740	3355874	14	90	0/15

عمده، در سه محدوده با آسیب پذیری بالا، متوسط و کم قرار می گیرد. بررسی آماری دقت شبیه نسبت به آلودگی ناشی از یون نیترا ت تأیید می کند که شبیه از دقت بالایی برخوردار بوده، و از آن جا که منطقه دارای آسیب پذیری

که در آن، W_i وزن مؤثر فراسنج i ام، P_{ij} 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.

نتایج این تحلیل حساسیت (جدول 4) نیز بیشترین حساسیت شبیه را نسبت به فراسنج محیط غیراشباع نشان می دهد؛ پس از آن، میزان تغذیه ی خالص با میانگین وزن مؤثر 18/3 درصد در رتبه ی دوم حساسیت قرار دارد.

صحت سنجی شبیه با کاربرد یون نیترا ت

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 نیترا تی مورد استفاده قرار می گیرد. افزون بر آن، از یون نیترا ت، که به خاطر داشتن بار منفی به آسانی آبشویی می گردد، جهت

نتیجه گیری

نقشه ی پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر با کاربرد DRASTIC نشان می دهد که آبخوان مزبور از لحاظ آسیب پذیری آب زیرزمینی بطور

شبیه DRASTIC و شاخص GWQI برای دشتهای استفاده کرد.

منابع

- 1- Ahmadi, A., and M. Aberoumand. 2009. Vulnerability of Khash- plain Aquifer, Eastern Iran, to Pollution Using Geographic Information System (GIS). *Applied Geology*. 5(1): 1-11.
- 2- 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.
- 3- - 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.
- 4- Azad Shahraki, F., A. Aghasi, F. Azad Shahraki, and A. Zarei. 2010. Vulnerability Mapping of the Hashtgerd Aquifer Using DRASTIC Method and Sensitivity Analysis. *Journal of Water and Wastewater*. 2: 61-71.
- 5- Babiker, I. S., M. A. A. Mohamed, T. Hiyama, and K. KATO. 2005. A GIS-based DRASTIC Model for Assessin Aquifer Vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, Central Japan: *Sci Total Environ*. 345:127–140.
- 6- Babiker, I. S., M. A. A. Mohamed, and T. Hiyama. 2007. Assessing Ground Water Quality Using GIS: *Water Resources Management*. 11: 669 – 715.

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 اکتشافی حفر شده و جنس ته نشست‌های آبخوان با دقت بیشتری تعیین گردد. نقشه‌ی پهنه بندی شاخص GWQI نشان می‌دهد که 83/4 درصد از آبخوان دشت امامزاده جعفر دارای کیفیت خوب از نظر شرب بوده، و کیفیت آب تنها پایاب بخش‌های 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 آسیب‌پذیری 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 وسیله‌ی نهادهای ذیربط مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به مشکل اغلب دشتهای ایران می‌توان برای ارزیابی و مدیریت مناسب از نتایج

- 7- Bordalo, A. A., W. Nilsumranchit, and K. Chalermwat. 2001. Water Quality and Uses of the Bangpakongriver (Eastern Thailand): *Water Res.* 15(35): 3642-3635.
- 8- Ettazarini, S. 2006. Groundwater Pollution Risk Mapping for the Eocene Aquifer of the Oum Er-Rabia Basin, Morocco. *Environmental Geology.* 51(3): 341-347.
- 9- Evans, B. M., and W. L. Mayers. 1990. A GIS Based Approach to Evaluating Regional Groundwater Pollution Potential with DRASTIC: *Journal of Soil and Water Conservation.* 45: 242-245.
- 10- Fritch, T. G., C. L. McKnight, J. C. Elderman, and J. G. Arnold. 2000. An Aquifer Vulnerability Assessment of the Paluxy Aquifer, Central Texas, USA, Using GIS and a Modified DRASTIC Approach. *Environ Manage.* 25: 337-345.
- 11- Indian Standard (IS: 10500). 1992. Drinking Water Specification, (Reaffirmed 1993).
- 12-Khodaei, k., A. Shahsavari, B. Etebari. 2006. Juvein Aquifer Vulnerability Assessment Using DRASTIC and GOD Methods. *Journal of Geology.* 2(4): 73-87.
- 13- 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.
- 14- 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 and Ecoplanning.* 5(2): 293-298.
- 15- 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.
- 16- Napolitano, P., and A. G. Fabbri. 1996. Single-parameter Sensitivity Aanalysis for Aquifer Vulnerability Aassessment 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.
- 17-Niknam, R., K. Mohammadi, and V. Johari Majd. 2007. Tehran - Karaj Aquifer Vulnerability Assessment Using DRASTIC Method and Fuzzy Logic. *Water Resources Research.* 3(2): 64-72.
- 18- 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.
- 19- 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).
- 20- 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.
- 21- Tiwari, T.N. and M.A. Mishra. 1985. A Preliminaryassignment of Wwater Quality Index of Major Indianrivers. *Indian J. Environmental Protection.* 5: 276-279.
- 22- WHO, (1993). *Guidelines for Drinking Water Quality* (2nd ed., Vol. 1, pp: 188). Recommendations, Geneva: World Health Organization. 9: 21-29.
- 23- 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.