

ارزیابی حساسیت آب‌های زیرزمینی به آلودگی در دشت خاتون‌آباد با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی

رضا درفشانی* و محمود علیپور^۱

۱) گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان، reza_1217@yahoo.com

۲) شرکت ملی صنایع مس ایران، Alipour2000@gmail.com

* عهده‌دار مکاتبات

چکیده

دشت خاتون‌آباد در استان کرمان در جنوب شرقی کشور ایران واقع شده است. با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه، هیچ‌گونه رودخانه‌ی دائمی در منطقه وجود ندارد و همچون سایر نقاط استان کرمان کاملاً به آب‌های زیرزمینی وابسته می‌باشد. به دلیل وجود کارخانه‌ی ذوب مس خاتون‌آباد و همچنین کارخانه‌ی مولیبدن در این دشت و اهمیت آبخوان مذکور در تأمین آب مورد نیاز صنعت، کشاورزی و شرب، در این بررسی با استفاده از مدل دراستیک (DRASTIC)، میزان آسیب‌پذیری آبخوان دشت خاتون‌آباد به آلودگی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین‌منظور سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) جهت تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری آبخوان خاتون‌آباد مورد استفاده قرار گرفت. براساس نتایج ۸/۵۴ درصد از منطقه دارای آسیب‌پذیری بالا، ۶۳/۵۵ درصد آسیب‌پذیری متوسط و ۲۷/۹۱ درصد از منطقه دارای آسیب‌پذیری کم می‌باشد. منطقه با آسیب‌پذیری بالا در بالادست جریان آب‌های زیرزمینی منطقه قرار دارد و در صورت ورود آلودگی به این بخش از آبخوان، احتمال پخش آن در کل آبخوان وجود خواهد داشت. با توجه به این‌که صنایع واقع در منطقه (ذوب مس خاتون‌آباد و کارخانه مولیبدن)، در بخش با آسیب‌پذیری بالا قرار گرفته‌اند، پایش آب زیرزمینی و همچنین خاک منطقه از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. براساس آنالیز حساسیت، آسیب‌پذیری منطقه بیشترین حساسیت را نسبت به لایه‌ی غیر اشباع (I) دارد، بعد از آن نسبت به لایه‌ی تغذیه‌ی کل (R) بیشترین حساسیت را دارا می‌باشد. همچنین کمترین حساسیت مربوط به جنس لایه‌ی خاک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، دراستیک، رودخانه، آبخوان، کرمان

۱- مقدمه

مد نظر بوده و در محاسبه‌ی آن از خصوصیات ذاتی زمین‌شناسی، خصوصیات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی منطقه، جدای از طبیعت آلودگی استفاده می‌شود. در آسیب‌پذیری ویژه، آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نسبت به یک آلودگی خاص و یا گروهی از آلاینده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته و در محاسبه‌ی آن خصوصیات آلاینده و ارتباط آن با اجزای مختلف آسیب‌پذیری ذاتی مد نظر می‌باشند (Babiker et al. 2005).

آسیب‌پذیری با خطر آلودگی فرق دارد. خطر آلودگی علاوه بر آسیب‌پذیری به وجود مقادیر قابل توجه‌ای از آلاینده‌ها که به زیرزمین منتقل می‌شوند، نیز بستگی دارد. مطالعه‌ی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی جهت ارزیابی فعالیت‌های کاربری اراضی و ارزیابی اثرات

آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک که دسترسی به آب‌های سطحی محدود می‌باشد، اهمیت بسیار دارد (Todd 1980). جهت طراحی آمایش زمین (کاربری اراضی) و مدیریت منابع آب حساس به آلودگی، استفاده از ارزیابی آسیب‌پذیری جهت مشخص نمودن مناطقی که نسبت به آلودگی از استعداد بیشتری برخوردار می‌باشند، به یک ابزار مهم تبدیل شده است (Babiker et al. 2005).

آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را می‌توان به دو گروه آسیب‌پذیری ذاتی (Intrinsic Vulnerability) و آسیب‌پذیری ویژه (Specific Vulnerability) تقسیم‌بندی کرد. در آسیب‌پذیری ذاتی، آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به آلودگی‌های ایجاد شده توسط فعالیت‌های بشری

- جنس لایه‌خاک (S=Soil Media): به بالاترین بخش منطقه غیر اشباع اشاره داشته که توسط فعالیت‌های بیولوژیکی مشخص می‌شود. خصوصیات لایه‌خاک حرکت سطحی و رو به پایین آلاینده‌ها را متأثر می‌کند.
- توپوگرافی (T=Topography): به تغییرات شیب سطح زمین اشاره دارد. این پارامتر ماندگاری آلاینده را بر روی سطح زمین و امکان نفوذ آن را در منطقه تحت تأثیر قرار می‌دهد.
- تأثیر بخش غیراشباع (I= Impact of vadoze zone): این بخش مواد موجود بین لایه‌خاک و سطح آب‌های زیرزمینی را شامل می‌شود. در این بخش حفرات و درز و شکاف به‌صورت غیر اشباع بوده و تأثیر آن مانند لایه‌خاک می‌باشد.
- ضریب هدایت هیدرولیکی (C=Hydraulic Conductivity): نشان‌دهنده‌ی توانایی آبخوان در عبور آب و در نتیجه جریان آلاینده‌ها می‌باشد.

۲- پمٹ

دشت خاتون‌آباد بین طول‌های جغرافیائی ۳۰°، ۵۵° و ۱۵°، ۵۵° و عرض‌های جغرافیائی ۲۹°، ۱۰° و ۳۰° قرار گرفته است. این محدوده از شمال و جنوب توسط ارتفاعات محدود می‌شود. ارتفاعات شمالی و شرقی در بالاترین نقطه نسبت به دشت ۱۲۰۰ متر اختلاف ارتفاع دارند. اختلاف ارتفاع بین دشت و ارتفاعات جنوبی زیاد نبوده، در حدود ۱۵۰ متر می‌باشد. سطح کل محدوده‌ی مورد مطالعه ۳۱۷ کیلومتر مربع می‌باشد. براساس مطالعات انجام شده، آبخوان دشت خاتون‌آباد از نوع آزاد بوده و عمق آب‌های زیرزمینی بین ۵ تا ۵۰ متر متغیر می‌باشد. تصویر ۱ موقعیت دشت خاتون‌آباد را در ایران نشان می‌دهد.

با توجه به کیفیت مناسب آب آبخوان خاتون‌آباد، علاوه بر تأمین آب مورد نیاز کشاورزی در منطقه، آب مورد نیاز کارخانجات ذوب مس سرچشمه و خاتون‌آباد و آب آشامیدنی منطقه را نیز تأمین می‌کند. متوسط بارندگی در دشت خاتون‌آباد ۱۵۰ میلی‌متر گزارش شده است. تخلیه از آبخوان توسط چاه‌های عمیق و نیمه عمیق صورت می‌گیرد. متوسط سالیانه‌ی تخلیه از آبخوان دشت خاتون‌آباد در حدود ۶۷ میلیون متر مکعب می‌باشد.

برای اولین بار روش دراستیک توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده‌ی آمریکا توسعه داده شده است. در این روش با ترکیب ۷ پارامتر گفته شده، نقشه‌ی آسیب‌پذیری آبخوان تهیه می‌شود.

اقتصادی دفع مواد زائد در مناطق آسیب‌پذیر مفید می‌باشد. علاوه بر این، آن اطلاعات اولیه و معیارهای تصمیم‌گیری را در مواردی مانند تخصیص کنترل‌های کاربری اراضی، طرح شبکه‌ی پایش و مدیریت منابع آب در زمینه‌ی طراحی منطقه‌ای فراهم می‌آورد. در حال حاضر، استفاده از نقشه‌های آسیب‌پذیری جهت مدیریت زیست‌محیطی منابع آب زیرزمینی، به یک ابزار مفید و محبوب در دنیا تبدیل شده است (Connell & Van den Daele 2003). مفهوم آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بر اساس این فرض که محیط فیزیکی ممکن است آب‌های زیرزمینی را در برابر برخی از اثرات نامطلوب طبیعی مخصوصاً در مواردی که آلودگی وارد سطح زیرزمینی می‌شود، حفاظت کنند، بنا شده است (El-Naqa et al. 2006). در حال حاضر استفاده از روش دراستیک جهت تهیه‌ی این نقشه‌ها رو به فزونی می‌باشد. روش دراستیک بر ۴ فرض زیر استوار است:

- آلودگی از سطح زمین وارد می‌شود.
 - آلودگی در نتیجه‌ی بارندگی به سمت آب‌های زیرزمینی رانده می‌شود.
 - قابلیت تحرک آلودگی با آب یکسان است.
 - منطقه‌ی مورد مطالعه ۰/۴ کیلومتر مربع و یا بیشتر می‌باشد.
- استفاده از روش دراستیک بسیار گسترده بوده و در بخش‌هایی از ایالات متحده‌ی آمریکا (Plymale & Angle 2002)، در چین (Kabera & Zhaohui 2008)، بنگلادش (Shahid & Hazarika 2007)، آفریقای جنوبی (Lynch et al. 1997)، در مصر (El-Naqa et al. 2006) و نیگارا (Johansson et al. 1999) مورد استفاده قرار گرفته است.
- روش دراستیک بر پایه‌ی ۷ پارامتر که جهت محاسبه‌ی ایندکس دراستیک باید به‌عنوان ورودی به مدل داده شوند، بنا شده است (Aller et al. 1987). پارامترهای مورد استفاده در مدل دراستیک را می‌توان به‌صورت زیر تعریف نمود:
- عمق آب زیرزمینی (D=Depth): عبارت است از فاصله‌ی بین سطح زمین و سطح آب‌های زیرزمینی، هر چه عمق آب‌های زیرزمینی بیشتر باشد شانس رسیدن آلاینده‌ها به آن کمتر خواهد شد.
 - تغذیه‌ی کل (R=Recharge): نشان‌دهنده‌ی مقدار آبی است که به‌داخل زمین نفوذ کرده و به سطح آب‌های زیرزمینی می‌رسد. تغذیه، امکان رسیدن آلاینده‌ها را به سطح آب‌های زیرزمینی مهیا می‌کند.
 - جنس آبخوان (A=Aquifer Media): به جنس بخش اشباع آبخوان اشاره داشته که میرایی آلاینده‌ها را کنترل می‌کند.

۷- تهیه نقشه‌ی آسیب‌پذیری

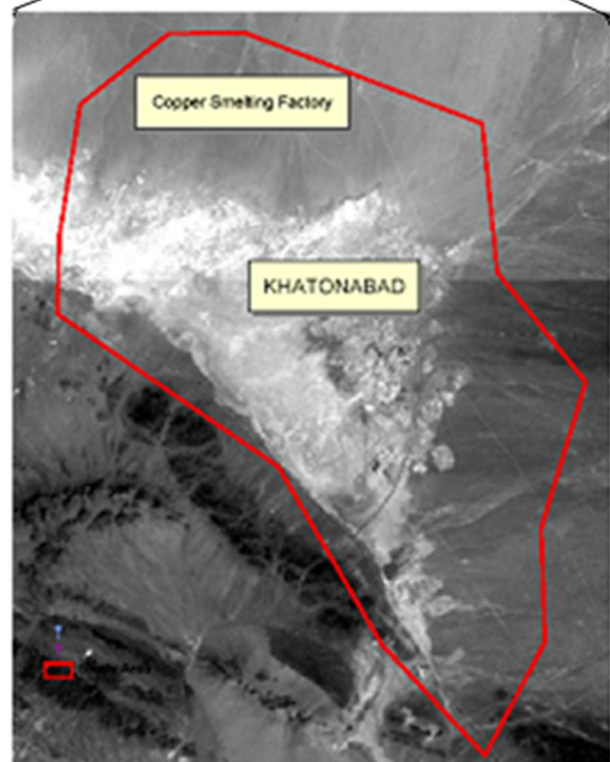
در این تحقیق وزن‌دهی و رتبه‌بندی پارامترهای ۷ گانه با توجه به جدول ۱ انجام شده است. در ادامه‌ی توضیحات لازم در ارتباط با رتبه‌بندی و همچنین تهیه نقشه‌های امتیاز مربوط به هر پارامتر آورده شده است.

۷-۱- عمق آبخوان (D)

در این تحقیق عمق سطح آب زیرزمینی با استفاده از اطلاعات مربوط به مختصات سرگمانه‌ها و همچنین مختصات سطح آب زیرزمینی در آن‌ها محاسبه گردید. تصویر ۲ پراکندگی گمانه‌های مورد استفاده را در محدوده‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد. بعد از محاسبه‌ی عمق آب در بخش‌های مختلف آبخوان، با توجه به جدول ۱ بخش‌های مختلف آن رده‌بندی و سپس رتبه‌بندی گردید. سپس با استفاده از نرم افزار آرک ویو (Arc View) نقشه‌ی امتیاز عمق (Factor Score Map for Depth) تهیه گردید (تصویر ۳).

۷-۲- تغذیه‌ی کل (R)

جهت محاسبه‌ی میزان تغذیه در محدوده‌ی مورد مطالعه، علاوه بر استفاده از داده‌های مدل آب‌های زیرزمینی از داده‌های مربوط به بارندگی و همچنین محاسبه‌ی بیلان نیز استفاده شده است. براساس آمار موجود، متوسط بارندگی در محدوده‌ی مورد مطالعه ۱۵۰ میلیمتر می‌باشد. مطالعات انجام شده میزان تغذیه‌ی ناشی از بارندگی را در حدود ۱۰ درصد بارندگی در نظر گرفته‌اند. همچنین در این مطالعه میزان تغذیه‌ی ناشی از سیلاب‌ها نیز محاسبه گردید. با توجه به محاسبات بیلان آب‌های سطحی، در حدود ۱۰ درصد از روان‌آب‌های سطحی به سطح آب‌های زیرزمینی راه پیدا می‌کنند. در منطقه‌ی مورد مطالعه



تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

پارامترهای به‌کار گرفته شده در روش دراستیک براساس اهمیت آن‌ها در انتقال آلودگی به آبخوان وزن‌دهی می‌شوند. هر پارامتر با توجه به معیارهای خاص به چند رده تقسیم‌بندی می‌شود. سپس با توجه به اهمیت هر رده در خصوص انتقال آلودگی به آبخوان، رتبه‌بندی می‌شوند. مراحل تهیه‌ی مدل دراستیک را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

۱- تهیه‌ی اطلاعات مربوط به پارامترهای ۷ گانه

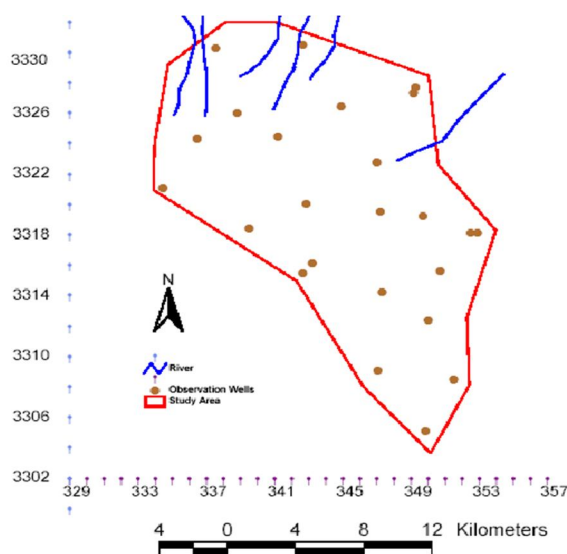
۲- رده‌بندی پارامترها

۳- رتبه‌بندی

۴- وزن‌دهی

۵- محاسبه‌ی شاخص دراستیک برای هر پارامتر با ضرب کردن وزن هر پارامتر در رتبه‌ی آن

۶- جمع شاخص‌های مربوط به پارامترهای ۷ گانه و محاسبه‌ی شاخص کلی دراستیک



تصویر ۲- موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه

۶-۶- تأثیر بخش غیر اشباع (I)

برای محاسبه‌ی نقشه‌ی امتیاز مربوط به بخش غیر اشباع از لاگ حفاری مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای استفاده گردید. تصویر ۳، نقشه‌ی امتیاز مربوط به این فاکتور را نشان می‌دهد.

۶-۷- ضریب هدایت هیدرولیکی (C)

در محدوده‌ی مورد مطالعه ۱۰ آزمایش پمپاژ جهت محاسبه‌ی ضریب هدایت هیدرولیکی انجام گرفته است. با توجه به نتایج به دست آمده از این ۱۰ آزمایش و همچنین در نظر گرفتن نتایج مربوط به نتایج حاصل از واسنجی مدل آب‌های زیرزمینی، پراکنندگی ضریب هدایت هیدرولیکی در محدوده محاسبه و براساس آن نقشه‌ی امتیاز این فاکتور تهیه گردید (تصویر ۳).

بعد از تهیه‌ی نقشه‌های مربوط به ۷ فاکتور اشاره شده در بالا، با استفاده از نرم‌افزار ArcView کلیه‌ی نقشه‌ها با یکدیگر تلفیق و نقشه‌ی آسیب‌پذیری محدوده‌ی مورد مطالعه تهیه گردید (تصویر ۳).

۳- آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت اطلاعات ارزشمندی در ارتباط با اثرات مقادیر رتبه‌بندی (Rating Value) و وزن اختصاص داده شده برای هر پارامتر ارائه می‌دهد (Al-Adamat et al. 2003). جهت افزایش اطمینان به داده‌های ارائه شده توسط روش‌های تعیین آسیب‌پذیری آبخوان، آن‌ها نیاز به تصدیق دارند (Ramos-Leat & Rodriguez-Castillo 2003).

رودخانه‌ی دائمی وجود ندارد. بنابراین روان‌آب‌های سطحی به صورت سیلاب در منطقه دیده می‌شوند. در محاسبات مربوطه، تغذیه‌ی ناشی از سیلاب‌ها در بستر رودخانه‌های موقت و همچنین در منطقه‌ای که سیلاب پخش می‌گیرد، در نظر گرفته شده است. همچنین نفوذ ناشی از آب مورد استفاده از کشاورزی نیز با مشخص نمودن مناطق مورد استفاده برای کشاورزی و محاسبه‌ی آب مورد استفاده برای کشاورزی محاسبه گردید. در تصویر ۳ نقشه‌ی امتیاز تغذیه‌ی کل آورده شده است.

۳-۳- مواد آبخوان (A)

مواد آبخوان با توجه به لاگ حفاری مربوط به گمانه‌های اکتشافی منطقه، لاگ‌های ژئوفیزیک و لاگ چاه‌های مشاهده‌ای تهیه گردید. در تصویر ۳ امتیاز مواد آبخوان نشان داده شده است.

۴-۲- لایه‌خاک (S)

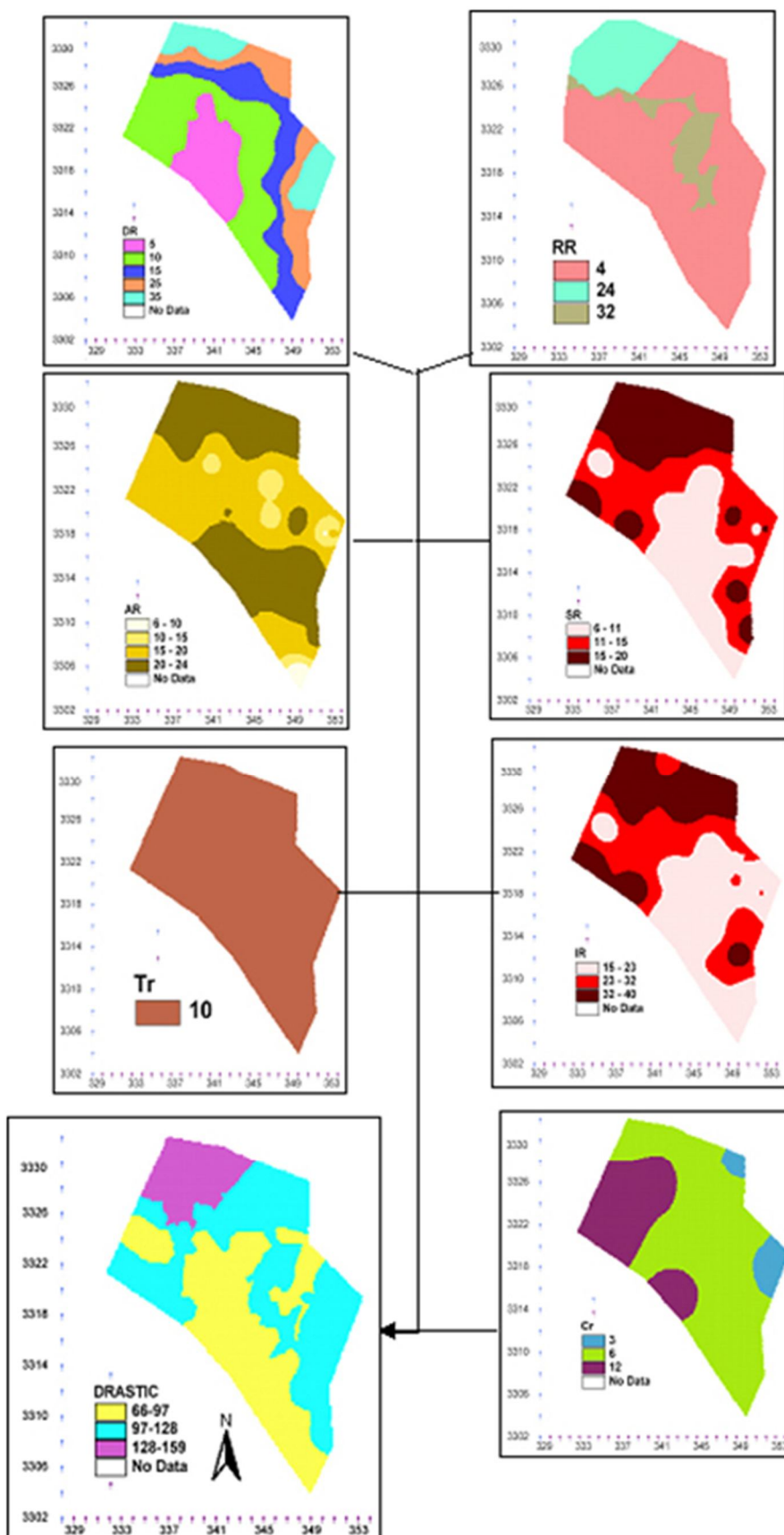
جنس لایه‌خاک با کمک از لاگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای تهیه شده است. تصویر ۳، نقشه‌ی امتیاز مربوط به جنس لایه‌خاک را نشان می‌دهد.

۵-۲- توپوگرافی (T)

نقشه‌ی توپوگرافی منطقه تهیه و سپس با استفاده از نرم‌افزار آرک‌ویو (Arc View) درصد شیب در بخش‌های مختلف محاسبه و با استفاده از آن نقشه‌ی امتیاز توپوگرافی تهیه گردید. تصویر ۳ نقشه‌ی امتیاز مربوط به شیب را نشان می‌دهد.

جدول ۱- وزن و رتبه‌ی مربوط به پارامترهای ۷ گانه (Aller et al. 1987)

عمق آب زیرزمینی به متر		تغذیه کل بر حسب میلیمتر بر سال		جنس آبخوان		جنس لایه خاک		توپوگرافی (درصد)		تأثیر لایه‌ی غیر اشباع		ضریب هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)	
دامنه	ضریب	دامنه	ضریب	دامنه	ضریب	دامنه	ضریب	دامنه	ضریب	دامنه	ضریب	دامنه	ضریب
0-1.5	10	0-50.8	1	شیل ضخیم	2	نازک یا عدم وجود	10	0-2	10	لایه‌های محبوس	1	0.04-4.1	1
1.5-4.6	9	50.8-101.6	3	دگرگونی آذرین	3	گراول	10	2-6	9	رس/سیلت	3	4.1-12.3	2
4.6-9.1	7	101.6-177.8	6	دگرگونی آذرین هوازده	4	ماسه	9	6-12	5	شیل	3	12.3-28.7	4
9.1-15.2	5	177.8-254	8	تیل‌های یخچالی	5	پیت	8	12-18	3	سنگ آهک	3	28.7-41	6
15.2-22.8	3	>254	9	ماسه سنگ، سنگ آهک لایه‌بندی شده	6	رس ترک خورده	7	>18	1	ماسه سنگ	6	41-82	8
22.8-30.4	2			ماسه سنگ ضخیم	6	ماسه لومی	6			ماسه سنگ، سنگ آهک لایه‌ای	6	>82	10
>30.4	1			سنگ آهک ضخیم	8	لوم	5			ماسه و گراول	6		
				ماسه و گراول	8	سیلت لومی	4			ماسه و گراول	8		
				بازالت	9	رس لومی	3			بازالت	9		
				سنگ آهک کارستی	10	ماک	2			سنگ آهک کارستی	10		
						نبود رس ترک خورده	1						



تصویر ۳- نقشه‌های مختلف و نقشه شاخص دراستیک در محدوده‌ی مورد مطالعه DR: نقشه‌ی امتیاز عمق، RR: نقشه‌ی امتیاز تغذیه‌ی کل، AR: نقشه‌ی امتیاز جنس مواد آبخوان SR: نقشه‌ی امتیاز جنس لایه‌خاک، TR: نقشه‌ی امتیاز توپوگرافی، IR: نقشه‌ی امتیاز اثر بخش غیر اشباع و CR: نقشه‌ی امتیاز ضریب هدایت هیدرولیکی

جدول ۳ پارامترهای آماری مربوط به شاخص تغییرپذیری ناشی از خارج نمودن تک تک پارامترهای دراستیک می‌باشد. شاخص دراستیک برای هر پارامتر دراستیک، نشان‌دهنده تأثیر حذف هر پارامتر می‌باشد. مقادیر مثبت نشان می‌دهند با حذف پارامتر مربوطه، شاخص دراستیک کاهش یافته است. از آنجایی که تمامی مقادیر محاسبه شده در این تحقیق مثبت می‌باشند، حذف هر کدام از پارامترهای ۷ گانه منجر به کاهش شاخص دراستیک می‌شود. بر اساس نتایج، بیشترین تأثیر مربوط به پارامتر I و بعد از آن مربوط به پارامتر A می‌شود. و کمترین تأثیر نیز مربوط به پارامتر C می‌شود.

جدول ۳- پارامترهای آماری مربوط به شاخص تغییرپذیری ناشی از خارج نمودن پارامترهای دراستیک

لايه‌ی خارج شده	حداقل	حداکثر	متوسط	انحراف از استاندارد
تأثیر لایه‌ی غیر اشباع	۰/۱۵	۰/۳۹	۰/۲۷	۰/۰۴
لایه جنس آبخوان	۰/۰۹	۰/۲۹	۰/۲۰	۰/۰۴
عمق آب زیرزمینی	۰/۰۴	۰/۳۷	۰/۱۴	۰/۰۷
جنس خاک	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۰۲
توپوگرافی	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۰۲
توپوگرافی	۰/۰۳	۰/۳۴	۰/۰۹	۰/۰۸
ضریب هدایت هیدرولیکی	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۰۳

۴- نتیجه‌گیری

آبخوان مورد نظر به دلیل کیفیت بالا، یکی از منابع مهم آب در منطقه به‌شمار می‌رود. جهت تهیه نقشه‌ی آسیب‌پذیری آبخوان مورد نظر، از مدل دراستیک و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی استفاده گردید. براساس نقشه‌ی آسیب‌پذیری سه منطقه با آسیب‌پذیری کم، متوسط و بالا مشخص گردید. براساس نتایج ۸/۵۴ درصد از منطقه دارای آسیب‌پذیری بالا، ۶۳/۵۵ درصد آسیب‌پذیری متوسط و ۲۷/۹۱ درصد از منطقه دارای آسیب‌پذیری کم می‌باشد. مناطق با آسیب‌پذیری کم در جنوب دشت در جایی که به دلیل حمل مواد دانه‌ریز توسط سیلاب‌ها، لایه‌خاک از مواد دانه‌ریز تشکیل شده است قرار گرفته است. منطقه با آسیب‌پذیری بالا در جایی قرار دارد، که مواد دانه‌درشت لایه‌ی سطحی خاک را تشکیل می‌دهند. همچنین به دلیل عبور رودخانه‌های فصلی از این بخش، احتمال نفوذ سیلاب‌ها به آبخوان وجود دارد. منطقه‌ی متوسط نیز بین این دو زون قرار گرفته است. با توجه به این که منطقه با آسیب‌پذیری بالا در بالادست جریان آب زیرزمینی قرار گرفته است، توجه به این امر بسیار مهم می‌باشد. در صورتی که آلودگی وارد این بخش از آبخوان شود، احتمال انتقال آن به پایین دست و آلودگی کل آبخوان وجود دارد. از آنجایی که کارخانه‌ی

به‌منظور محاسبه‌ی حساسیت، ابتدا شاخص دراستیک با تلفیق هر ۷ پارامتر محاسبه گردید. در مرحله‌ی دوم شاخص دراستیک با در نظر گرفتن شش پارامتر محاسبه گردید. این روش را می‌توان به‌صورت زیر نمایش داد:

$$S_i = \left| \frac{DN_i}{N} - \frac{Dx_i}{n} \right| \quad (1)$$

در اینجا: S_i برابر با حساسیت در سلول DN_i برابر با شاخص دراستیک محاسبه شده با در نظر گرفتن هفت پارامتر در سلول N ، تعداد کل پارامترهای در نظر گرفته شده جهت محاسبه‌ی شاخص دراستیک در سلول DN_i برابر با شاخص دراستیک در سلول AM با حذف پارامتر x_i و n برابر با تعداد پارامترهای مورد استفاده در آنالیز حساسیت می‌باشد.

علاوه بر محاسبه‌ی میزان حساسیت، شاخص تغییرپذیری نیز طبق تعریف ارائه شده توسط گگو و دیسارگوس در سال ۲۰۰۰ محاسبه گردید (Gogu & Dassargues 2000). در تعریف ارائه شده، شاخص تغییرپذیری به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$VX_i = \frac{DN_i - Dx_i}{DN_i} \quad (2)$$

در اینجا: VX_i برابر با شاخص تغییرپذیری بوده و بقیه‌ی علائم مانند قبل می‌باشد.

جدول ۲ پارامترهای آماری مربوط به آنالیز حساسیت ناشی از خارج نمودن یک پارامتر را نشان می‌دهد. همان‌طور که از جدول پیداست بیشترین حساسیت مربوط به پارامتر I می‌شود. بعد از I تغذیه‌ی کل (R) بیشترین حساسیت را دارا می‌باشد. کمترین حساسیت مربوط به جنس لایه‌خاک می‌باشد.

جدول ۲- پارامترهای آماری مربوط به آنالیز حساسیت خارج نمودن یک پارامتر

لايه‌ی خارج شده	حداقل	حداکثر	متوسط	انحراف از استاندارد
تأثیر لایه‌ی غیر اشباع	۰/۰۸	۴/۲	۲/۲۵	۱/۹
تغذیه کل	۰/۲۲	۳/۱	۱/۶۹	۱/۴
ضریب هدایت هیدرولیکی	۰/۰۰	۲/۷۸	۱/۴	۱/۳۵
عمق آب زیرزمینی	۰/۰۰	۳/۵۹	۱/۳۰	۱/۵۹
جنس آبخوان	۰/۰۰	۲/۰۵	۱/۰۱	۰/۹۸
توپوگرافی	۰/۰۰	۲/۱۲	۰/۹۴	۱/۰۰
جنس خاک	۰/۰۰	۱/۲۶	۰/۴۱	۰/۴۸

Plymale, C. L. & Angle, M. P., 2002, "Groundwater pollution potential of Fulton County, Ohio", *Ohio Department of Natural resources division of water, water resources section, Groundwater pollution potential report no.45*.

Ramos-Leal, J. A., Rodríguez-Castillo, R., 2003, "Aquifer vulnerability mapping in the Turbio river valley, Mexico; A validation study", *Geofísica Internacional, Vol. 42 (1): 141-156*.

Shahid, S. & Hazarika, M. K., 2007, "Geographic Information System for the Evaluation of Groundwater Pollution Vulnerability of the Northwestern Barind Tract of Bangladesh", *Environmental Research Journal, Vol. 1(1-4): 27-34*.

Todd, D. K., 1980, "Groundwater Hydrology", 2nd edition, *John Wiley, New York, 535 pp*.

ذوب مس خاتون‌آباد و همچنین کارخانه‌ی مولیبدن در این بخش از دشت قرار گرفته است، توجه به مسائل زیست محیطی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

مراجع

Al-Adamat, R. A. N., Foster I. D. L. & Baban, S. M. J., 2003, "Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC", *Journal of Applied Geography, Vol. 23 (4): 303-324*.

Aller, L., Bennett, 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, US Environmental Protection Agency, Robert S Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, Oklahoma 74820, USA*.

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, Vol. 345: 127-140*.

Connell, L. D. & Van den Daele, G., 2003, "A quantitative approach to aquifer vulnerability mapping", *Journal of Hydrology, Vol. 276(1-4): 71-88*.

El-Naqa, A., Hammouri, N. & Kioso, M., 2006, "GIS-based evaluation of groundwater vulnerability in the Russeifa area", *Jordan: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 23(3), 277-287*

Fetter, C. W., 1994, "Applied hydrogeology", 3rd Edition. *Macmillan College Publishing Company, New York, 691 pp*.

Gogu, R. C. & Dassargues, A., 2000, "Sensitivity Analysis for the EPIK Method of Vulnerability Assessment in a Small Karstic Aquifer, Southern Belgium", *Hydrogeology Journal, Vol. 8(3): 337-345*.

Johansson, P. O., Scharp, C., Alveteg, T. & Choza, A., 1999, "Framework for Ground Water Protection - the Managua Ground Water System as an Example", *Ground Water, Vol. 37(2): 204-213*.

Kabera, T. & Zhaohui L., 2008, "A GIS Based DRASTIC Model for Assessing Groundwater in Shallow Aquifer in Yuncheng Basin, Shanxi, China", *Research Journal of Applied Sciences, Vol. 3(3): 195-205*.

Lynch, S. D., Reynders, A. G. & Schulze, R. E., 1997, "A DRASTIC approach to groundwater vulnerability in South Africa" *South African Journal of Science, Vol. 93(2): 59-60*.