ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت قزوین و تحلیل حساسیت حذف پارامترها با بکارگیری GIS

وحید یزدانی[۱*] حمید منصوریان[۲]،

تاریخ ارسال:۱۳۹۴/۰۴/۱۲
تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۱۰/۲۶

مقاله پژوهشی

چکیده

امروزه به دلیل رونق در بخش کشاورزی و افزایش استفاده ازکودهای شیمیایی و دفع نادرست فاضلاب‌های صنعتی و شهری احتمال آلودگی لایه‌های آبدار افزایش یافته است؛ بنابراین نیاز به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیر زمینی و مدیریت کاربری اراضی احساس می‌شود. بدین منظور، جهت تعیین پتانسیل آلودگی آب‌های زیر زمینی از چهار روش AVI، GOD، DRASTIC و SINTACS بر روی قسمتی از دشت قزوین استفاده گردید. بر اساس مقایسه‌های صورت گرفته میان شاخص‌ها و کلاس‌های تعیین شده در هر شاخص، کلاس آسیب‌پذیری غالب منطقه کم تا متوسط تعیین شد. در دو شاخص DRASTIC و SINTACS بیشترین حساسیت منطقه مورد مطالعه در قسمت مرکزی دشت قرار گرفته است. برای شاخص AVI بیشترین سطح از منطقه دارای آسیب پذیری خیلی کم بوده و برای شاخص GOD بیشترین مساحت در کلاس متوسط قرار می گیرند. از مقایسه شاخص های مذکور، در شاخص SINTACS آسیب پذیری منطقه محافظه کارانه تر از سایر شاخص ها محاسبه شده است و در شاخص AVI کمترین آسیب پذیری برای منطقه مشخص شده است. از میان شاخص های فوق با توجه به حساسیت آب های زیرزمینی در منطقه روش SINTACS از سایر روشها برآورد بهتری از آسیب پذیری آب های زیرزمینی در اختیار قرار می دهد. میزان تاثیرگذاری پارامترهای موثر در تعیین آسیب‌پذیری روش های DRASTIC و SINTACS با استفاده از تحلیل حساسیت حذف پارامتر، مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که پارامتر تغذیه خالص و نوع خاک بیشترین تاثیر را در تعیین آسیب پذیری منطقه دارند.

واژه‌های کلیدی: آسیب پذیری لایه آبدار، تحلیل حساسیت، SINTACS، DRASTIC، GOD، AVI

۱.دکتری علوم و مهندسی آب- مدیر عامل شرکت مهندسی مشاور هیدروپی میراب شمس، ۰۹۱۵۳۲۲۱۸۴۱ نویسنده مسئول مقاله
v.yazdany@yahoo.com
۲. کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب، ۰۹۱۵۱۵۶۸۲۸۴، mansourian.h@gmail.com

مقدمه

حفاظت کیفی آب‌های زیرزمینی به دلیل کاربرد فراوان این منابع در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب از اهمیت زیادی برخوردار است. رفع آلودگی آب زیرزمینی بسیار پرهزینه و فرآیندی طولانی است و اغلب زمانی آلودگی تشخیص داده می‌شود که رفع آلودگی آبخوان تقریبا غیرممکن می‌گردد. یکی از راه-های مناسب برای جلوگیری از آلودگی‌های آب زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان و مدیریت کاربری اراضی است. آسیب پذیری را می توان به عنوان امکان نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی تعریف کرد. روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب پذیری ارائه شده است که می توان در سه گروه روش‌های پردازشی[۱]، شاخص ـ همپوشانی و آماری تقسیم بندی کرد. روش‌های پردازشی از مدل-های شبیه سازی برای تخمین حرکت آلاینده‌ها استفاده می کنند. روش‌های آماری از روابط همبستگی بین متغیرهای مکانی و میزان آلاینده‌های موجود در آب زیرزمینی استفاده می کنند. روش‌های شاخص ـ همپوشانی پارامترهای کنترل کننده حرکت آلاینده‌ها از سطح زمین به منطقه اشباع را تلفیق کرده و شاخصی به نام شاخص آسیب پذیری را در نقاط مختلف یک منطقه تعیین می کنند. در روش‌های شاخص ـ همپوشانی انتخاب ارزش عددی پارامترها تا حدودی کارشناسی بوده و نمی توانند به عنوان یک روش دقیق پیش بینی مورد استفاده قرار گیرند. با این وجود سادگی و سهولت تهیه اطلاعات مورد نیاز آنها در مقیاس ناحیه-ای از مزایای عمده این روش‌ها است. در هر کدام از شاخص‌های SINTACS، AVI، GOD و DRASTIC برخی از پارامترهای عمق آب زیرزمینی، تغذیه، محیط آبخوان[۲]، نوع خاک، توپوگرافی، اثر منطقه غیر اشباع[۳]، هدایت هیدرولیکی و ضخامت لایه آبدار برای پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان استفاده می شوند. آمار و اطلاعات مورد نیاز برای این روش‌ها در اکثر دشت‌های ایران فراهم نبوده و محدودیت‌هایی را ایجاد می نماید. عبارت آسیب‌پذیری در هیدروژئولوژی برای اولین بار توسط مارگات[۴] در سال ۱۹۷۰ مورد استفاده قرار گرفت؛ وی آسیب‌پذیری آبخوان را امکان نفوذ و پخش آلودگی از سطح زمین به سطح آب مخازن طبیعی در شرایط طبیعی تعریف نمود (مان و همکاران، ۱۹۷۴). آسیب پذیری آبخوان پتانسیل آبخوان را برای آلودگی نشان می دهد و نباید با خطر آلودگی اشتباه گردد. بدین معنی که ممکن است در یک منطقه آسیب پذیری کم و متوسط باشد ولی بدلیل حضور گسترده منابع آلاینده ، از نظر آلودگی منطقه پر خطری باشد. بر عکس ممکن است در منطقه ای آسیب پذیری بالا باشد ولی به دلیل عدم حضور منابع آلاینده هیچ گونه خطر آلودگی آب زیرزمینی را تهدید نکند.

بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی بطور جدی از سال ۱۹۷۰ توسط آلبینت[۵] و مارگات شروع شد و سپس توسط آست و همکاران در سال ۱۹۸۰ پیگیری گردید. بعد از آن روش‌های مختلفی جهت برآورد آسیب‌پذیری و همچنین تهیه نقشه برای مناطق مختلف با توجه به شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان‌ها پیشنهاد شد (آلادامت و همکاران، ۲۰۰۷). پیسکوپو[۶] (۲۰۰۱) با استفاده از DRASTIC و GIS نقشه آسیب‌پذیری آب زیرزمینی حوضه کستلریا[۷] در استرالیا را تهیه کرد. وی در این تحقیق از پارامتر هدایت هیدرولیکی به علت فقدان داده صرف نظر کرد و پارامتر تغذیه خالص را بر اساس کمیت‌های بارندگی، نفوذپذیری خاک و شیب تعیین نمود (پیسکوپو و همکاران، ۲۰۰۱). آزاد شهرکی و همکاران (۱۳۸۷) آسیب پذیری دشت هشتگرد را

[1]- Process – based۱
[2] - Aquifer media
[3] - Impact of vadose zone
[4]-Margat
[5]-Albinet
[6]- Piscopo
[7]- Castlereagh

توسط روش DRASTIC بررسی کردند. در پهنه‌بندی انجام شده دشت هشتگرد به سه محدوده آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی گردید. بیشترین منطقه به محدوده پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط اختصاص یافت. براساس این تحقیق قسمت شمال و شمال شرقی دشت دارای پتانسیل آلودگی زیاد بوده و مستعد ترین مناطق نسبت به آلودگی بودند (آزاد شهرکی و همکاران، ۱۳۸۷). مونتنو و همکاران (۲۰۱۰) برای قسمتی از کشور رومانی به تحقیق درباره مدیریت مناطق کارست پرداختند. شاخص مورد استفاده این گروه EPIK بود که منطقه را به ۴ کلاس طبقه‌بندی نمودند و برای هر کدام یک چارچوب حفاظت خاص مشتمل بر راه‌حل‌های مدیریتی مناسب و طراحی شده برای مدیران زیست محیطی اختصاص دادند (مونتانو و همکاران، ۲۰۱۰). لوردانا و همکاران (۲۰۱۰) برای جنوب سویودا در ایتالیا با استفاده از مدل SINTACS به ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان و همچنین آلودگی نیترات پرداختند. در این تحقیق آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که منطقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد می‌باشد اما برای بیان دقیق این مطلب نیاز به داشتن پایگاه اطلاعاتی و داده‌ای کامل و قابل اعتماد در زمینه‌های گوناگون، همچون آب‌وهوای منطقه، پوشش گیاهی و زیرساخت‌های زمین می‌باشد(لوردانا و همکاران، ۲۰۱۰).

در این تحقیق ضمن پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت قزوین با شاخص های مختلف، نتایج حاصل از شاخص‌های تعیین آسیب پذیری با یکدیگر مقایسه شد. در انتها میزان تاثیر گذاری پارامترها بر شاخص های DRASTIC و SINTACS با استفاده از روش‌های تحلیل حساسیت تک پارامتری[1]و حذف پارامتر[2] مورد ارزیابی قرار گرفت.

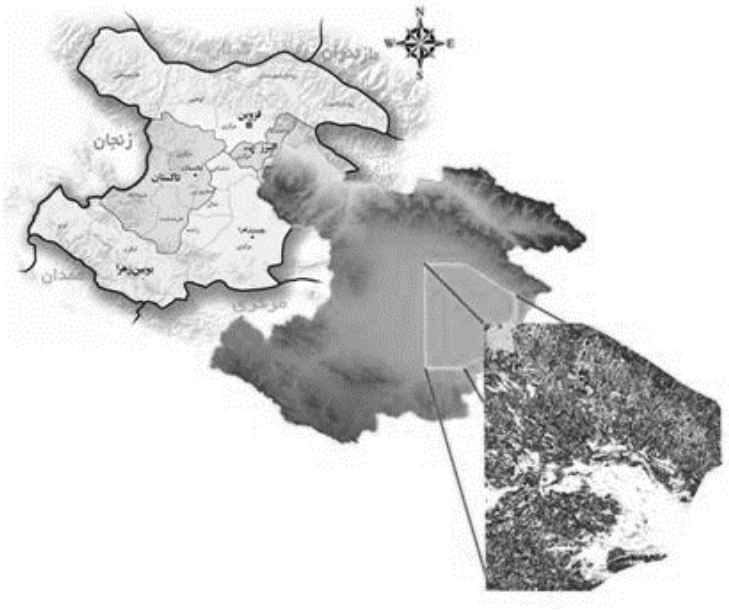
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه قسمتی از دشت قزوین واقع در استان قزوین می‌باشد. این قسمت، در حوزه مرکزی ایران با مساحتی معادل ۲۱۹۲۵۵ هکتار در موقعیت جغرافیای بین ۴۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۳ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که زمین‌های آبرفتی منطقه قزوین دارای نفوذپذیری مناسبی بوده و هر نوع مواد زائدی که در سطح زمین تولید شود در اثر بارندگی و یا مجاورت با منابع آبی در داخل زمین نفوذ میکند و مخازن آب-های زیر زمینی که به صورت پیوسته و وسیع در منطقه گسترش دارند آلوده می شوند . به این دلیل آبخوان این منطقه از نظر پتانسیل و استعداد آلودگی آب‌های زیر زمینی آن باید بررسی شود. شکل(۱) موقعیت جغرافیایی و تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد

[1]- Single_parameter sensitivity analysis

[2]- Map removal sensitivity analysis



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی و تصویر ماهواره‌ای منطقه مطالعاتی

پارامتر های کاربردی در تعیین آسیب پذیری آبخوان

پارامتر عمق آب زیرزمینی

عمقی که آلودگی باید طی کند تا به سطح ایستابی برسد به عمق سطح آب زیرزمینی معروف می‌باشد. هرچه سطح آب زیرزمینی عمیق‌تر باشد موجب می‌گردد که زمان حرکت و ماندگاری آلودگی افزایش یابد و به این ترتیب ظرفیت میرایی[1] با افزایش عمق سطح ایستابی افزایش می‌یابد. در آبخوان‌های تحت فشار این پارامتر به صورت عمق تا بالای سطح آبخوان در نظر گرفته می‌شود. در آبخوان‌های نیمه تحت فشار با توجه به شرایط آبخوان و ویژگی‌های آن به صورت تحت فشار و یا به صورت آزاد فرض می‌شود. جهت تهیه لایه عمق آب زیر زمینی از داده‌های چاه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه و تا فاصله ۱۵ کیلومتر اطراف محدوده استفاده گردید. برای تعیین کد ارتفاعی مشخص برای هر یک از چاه‌های مورد مطالعه منطقه (۱۰۵ مورد)، از داده‌های موجود در ماه‌های مختلف میانگین‌گیری گردید و سپس به هر چاه یک میانگین ارتفاعی آب مربوطه اختصاص داده شد.

به منظور استفاده از روش های میان یابی زمین آمار، داده ها با استفاده از نرم افزار MiniTab نرمال شدند، که نتایج در جدول (۱) آورده شده است. نرمال بودن داده ها با حدود اطمینان ۹۵ درصد برر سی شد؛ برای نرمال بودن داده ها ضریب اندر سون باید کمتر از ۲/۵ و سطح اطمینان به دست آمده هم بزرگ تر از سطح اطمینان در نظر گرفته شده با شد(مان و همکاران، ۱۹۷۴).

[1]- Attenuate capacity

جدول ۱: نتایج آزمون نرمال بودن داده‌ها

متغیر	تعداد	ضریب آزمون (اندرسون دارلینگ)	حدود اطمینان
عمق آب زیرزمینی	۱۰۵	۰/۷۲۹	۰/۰۵۶

داده‌های نرمال شده وارد نرم افزار GS^+ گردیده و نیم تغییر نمای تجربی و مدل مناسب برای داده‌های چاه‌ها رسم گردید. در جدول (۲) نتایج پارامترهای نیم تغییر نما آورده شده است(حسنی پاک، ۱۳۷۷).

جدول ۲: پارامترهای نیم تغییر نما برای داده‌های عمق آب زیرزمینی

دامنه تاثیر	آستانه	اثر قطعه ای	R^2	استحکام ساختار فضایی (( )C0/(C+C0
۳۱۶۸۰	۳۳۶.۶	۲۰	۰/۹۵۴	۰/۹۴۱

در محیط نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از نرم‌افزار کمکی Geostatical Analyst با استفاده از روش کریجینگ معمولی، میان‌یابی میان نقاط نرمال شده انجام گرفت و نقشه عمق آب زیرزمینی برای هر نقطه تهیه شد.

پارامتر تغذیه خالص

تغذیه عبارت است از حجم آبی که در واحد سطح سفره (برای یک دوره یکساله) به درون زمین وارد می شود. یکی از عوامل اصلی انتقال مواد آلاینده به درون زمین، حرکت عمودی آب است. برای تهیه نقشه تغذیهٔ خالص از روش پیشنهادی پیسکوپو (۲۰۰۱) استفاده شد. در این روش پارامترهای بارندگی، شیب و نفوذپذیری خاک که در تغذیهٔ آبخوان اهمیت دارند، با یکدیگر ترکیب و نقشهٔ نهایی تغذیه آبخوان به دست آمد. نقشهٔ نفوذپذیری منطقه با فاکتورهای پیشنهادی پیسکوپو تهیه شد با توجه به داده‌های بارندگی (برای دشت قزوین متوسط بارش در این استان برابر با ۳۱۵ میلی‌متر می‌باشد و حداکثر بارندگی کمتر از ۵۰۰ میلی متر می باشد) در روش پیسکوپو، رتبه بندی بارندگی نسبت۱گرفت. درصد شیب تهیه شده برای توپوگرافی، با نسبت‌های روش پیسکوپو برای پارامتر تغذیه خالص به کار گرفته شد.

مقادیرتغذیه=درصد شیب+بارندگی + نفوذپذیری

بر این اساس مقادیر تغذیه رتبه بندی و نقشه پارامتر تغذیه خالص تهیه شد (جدول ۳).

جدول ۳: رتبه‌بندی میزان تغذیه آبخوان

میزان تغذیه	رتبه‌بندی
۱۱ – ۱۳	۱۰
۹ – ۱۱	۸
۷ – ۹	۵
۵ – ۷	۳
۳ – ۵	۱

محیط آبخوان

محیط آبخوان بیان کننده خصوصیت میرایی مواد تشکیل دهندهٔ آبخوان می باشد. این ویژگی نشان دهنده میزان پویایی و تحرک آلودگی، در میان اجزاء

آبخوان است. بر اساس مطالعات سازمان آب تهران در سال ۱۳۸۲ جنس‌های مختلف آبخوان دارای مقاومت الکتریکی متفاوتی می‌باشند. بنابراین با به کارگیری مطالعات مقاومت الکتریکی نوع لایه آبدار مشخص می گردد. به همین منظور برای تهیه نقشه محیط آبخوان از نقشه مقاومت ویژه ظاهری با فاصله الکترودی عمق تقریبی برابر با AB/2=100 متر استفاده گردید. سپس با توجه به روش های تعیین آسیب پذیری، خصوصیات محیط آبخوان ارزش گذاری شد.

نوع خاک

لایه خاک معمولاً با ضخامتی حدود ۰/۵ تا ۲ متر به لحاظ میکروبیولوژی منطقه بسیار فعال به شمار می‌رود. لایه خاک به دلیل فعالیت نسبتاً بالای میکروبی، وجود مواد آلی بالا و وجود ریشه گیاهان، برای حذف و کاهش غلظت آلاینده‌ها از پتانسیل بالایی برخوردار است. در این تحقیق نقشه خاک منطقه که توسط موسسه آب وخاک کشور تهیه شده است رقومی شده و مورد استفاده قرار گرفت.

توپوگرافی

توپوگرافی حرکت آلوده‌کننده و نگهداری آن را بر سطح زمین در کنترل دارد. شیب‌های کم موجب می‌شوند حرکت آلوده کننده ها در سطح زمین کند بوده و آلوده‌کننده‌ها شانس بیشتری برای نفوذ داشته باشند. بنابراین شیب کم پتانسیل بیشتری برای آلودگی آب زیرزمینی ایجاد می کند. همچنین توپوگرافی بر گسترش خاک و در نتیجه بر میرایی آلوده‌کننده مؤثر است. برای تهیه نقشه شیب از نقشه‌های رقومی سازمان جغرافیایی ارتش با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شد. برای این منظور نقشه‌های توپوگرافی در نرم افزار ArcGIS به مدل رقومی ارتفاع تبدیل شده و سپس نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع محاسبه و استخراج گردید.

پارامتر اثر ناحیه غیراشباع

این لایه مربوط به جنس خاک منطقه می‌باشد، که از زون خاک سطحی شروع و تا سطح ایستابی ادامه می‌یابد و از نظر دارا بودن آب، به دو ناحیه غیر اشباع یا اشباع تقسیم می‌شود. در آبخوان‌های آزاد توانایی منطقه غیر اشباع در میرایی آلودگی، بسته به نوع مواد و ضخامت لایه و همچنین میزان جریانی که در سرتا سر ناحیه وجود دارد، تغییر می‌نماید. در صورتی که آبخوان تحت فشار باشد، فرض می‌شود که مواد ناحیه غیراشباع همانند مواد لایه تحت فشار هستند. لایه تحت فشار معمولاً لایه‌ای با قابلیت نفوذ کم می‌باشد؛ بنابراین در مکان‌هایی با آبخوان تحت فشار، کم‌ترین وزن در هر شاخص به جنس لایه غیر اشباع داده می‌شود. نوع لایه غیر اشباع بر روی مدل حرکت مواد محلول آلاینده (یعنی اینکه به صورت افشانی حرکت کنند) تاثیرگذار است؛ و نوع حرکت آلاینده بر میزان آسیب‌پذیری تاثیرگذار می‌باشد. به طور کلی فاکتورهایی که در تعیین اثر منطقهٔ غیراشباع مورد توجه قرار می گیرند، عبارتند از تراوایی خاک، ظرفیت میرایی خاک، عمق آب زیرزمینی و شکستگی‌های زمین و... اثر ناحیه غیراشباع منطقه با ترکیب نفوذپذیری و عمق سطح ایستابی محاسبه گردید. بنابراین بر این اساس نقشهٔ نفوذپذیری منطقه تهیه شد و دو نقشه عمق سطح ایستابی و نفوذپذیری برای به دست آوردن نقشهٔ نهائی اثر ناحیهٔ غیراشباع همپوشانی شدند. و در انتها نقشهٔ اثر ناحیه غیراشباع به دست آمد.

پارامتر ضخامت لایه آبدار

بر اساس عمق مربوط به سنگ بستر در دشت قزوین و همچنین عمق آب زیرزمینی که در قسمت‌های قبل توسط چاه‌های مشاهده‌ای بدست آمده است ضخامت لایه آبدار تعیین شد. نقشه خطوط هم عمق سنگ بستر تهیه و با استفاده از نرم افزار ArcGIS میانیابی گردید. سپس با به کارگیری نقشه رستری عمق آب زیرزمینی و نقشه عمق سنگ بستر، نقشه ضخامت لایه آبدار بدست آمد.

هدایت هیدرولیکی

این لایه مربوط به نفوذپذیری سفره یا توانائی مواد سفره به منظور انتقال آب یا مواد محلول می باشد. در واقع هدایت هیدرولیکی (K) شدتی است که آب زیر زمینی تحت شیب هیدرولیکی محیط، جریان پیدا می کند (تاد و لاری، ۲۰۰۵). هدایت هیدرولیکی عامل کنترل کننده حرکت و زمان ماندگاری مواد آلاینده از نقطه‌ای که وارد سطح خاک می‌شود تا درون سفره می‌باشد. به همین خاطر افزایش K باعث پتانسیل آلودگی بیشتر یا بالاتر می‌باشد. هدایت هیدرولیکی از تقسیم قابلیت انتقال بر ضخامت لایه آبدار حاصل می‌گردد (شمسایی، ۱۳۸۱). نقشه مربوط به قابلیت انتقال به صورت نقشه خطوط هم قابلیت انتقال در محیط AutoCAD تهیه گردید. سپس این لایه برای استفاده در محیط ArcGIS آماده شد و به آن انتقال داده شده و میانیابی گردید. با تقسیم نقشه قابلیت انتقال بر نقشه ضخامت لایه آبدار، نقشه هدایت هیدرولیکی منطقه تهیه شد.

نوع آبخوان

اطلاعات مربوط به نوع آبخوان با استفاده از اطلاعات نقشه منابع آب حاصل می گردد. تعیین حدود گسترش و نوع آبخوان بر اساس لوگ حفاری چاههای مشاهده ای، بهره برداری و اکتشافی و گزارش ها و اطلاعات موجود صورت گرفت. بر اساس لوگ حفاری چاهها، آبخوان دشت قزوین از نوع آبخوان آزاد است. میزان تاثیر پارامترهای فوق بر روی شدت آسیب‌پذیری متفاوت می‌باشد و به همین دلیل به هر کدام از آنها در شاخص‌های مختلف، یک ضریب اختصاص داده شده است. ارزیابی آسیب پذیری هر منطقه باید براساس اهمیت هریک از پارامترها در آن منطقه صورت گیرد و همچنین اثر متقابل پارامترها بر هم نیز در نظر گرفته شد (یارمحمدی و همکاران، ۱۳۸۵).

ارزیابی آسیب پذیری به روش DRASTIC

این شاخص توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در سال ۱۹۸۷ توسعه یافت. روش DRASTIC از هفت پارامتر عمق آب زیرزمینی، تغذیه، محیط آبخوان، نوع خاک، توپوگرافی، اثر منطقه غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی برای پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان استفاده می کند (آلر و همکاران الف، ۱۹۸۷).

چهار فرضیه‌ای که در این مدل در نظر گرفته شد عبارتند از:

- آلودگی در سطح زمین تولید می‌گردد.
- آلودگی از طریق نفوذ به زمین وارد می‌شود.
- عامل حرکت آلودگی آب می‌باشد و
- منطقه مورد مطالعه بایستی بزرگ‌تر از ۰/۴ کیلومتر مربع باشد یا به عبارتی بزرگ‌تر از ۱۰۰ ایکر باشد.

فرضیات فوق موجب می‌شود که در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان به آلودگی محدودیت‌هایی وارد گردد (آلر و همکاران ب، ۱۹۸۷). شاخص آسیب پذیری در این روش از حاصل ضرب وزن هر پارامتر در رتبه آن مطابق رابطه زیر بدست می‌آید.

$$D_i = \sum^{7} (W_j * R_j) \qquad (۱)$$

که در آن، D_i مقدار نهایی شاخص آسیب‌پذیری، R_j رتبه هر یک از پارامترهای هفت‌گانه و W_j وزن هر یک از پارامترها می‌باشند. رتبه مربوط به هر پارامتر بین ۱ تا ۱۰ متغیر است و وزن هر پارامتر با توجه به اهمیت آن بین ۱ الی ۵ متغیر می‌باشد.

ارزیابی آسیب‌پذیری به روش AVI

در این روش از برآورد دو پارامتر شاخص آسیب‌پذیری سفره تعیین شد. با دانستن ضخامت هر یک از واحدهای رسوبی در آبخوان (d) و ضریب هدایت هیدرولیکی هر یک از لایه‌ها (K)، مقاومت هدایت هیدرلیکی آبخوان طبق رابطه زیر تعیین گردید.

$$C = \sum_{i=0}^{n} \frac{d_i}{k_i} \qquad (۲)$$

که آن C مقاو مت ه یدرولیکی، n ت عداد لا یه‌ها، k_i هدایت ه یدرولیکی در هر یک از لا یه‌ها و d_i ضخامت لا یه های آ بدار می‌با شد. بر ا ساس م قدار Log C کلا سه‌بندی در پنج گروه آ سیب پذیری خی لی کم (LogC> ۴)، کم (۴-۳)، متو سط (۳-۲)، ز یاد (۲-۱) و خی لی ز یاد (LogC<۱) ان جام گر فت و نق شه آ سیب‌پذیری آبخوان تهیه شد (استمپورت و همکاران، ۱۹۹۳).

ارزیابی آسیب پذیری به روش GOD

این روش از روش‌های تجربی و سریع محاسبه آسیب‌پذیری سفره از نظر کیفی می‌باشد. سه پارامتر اصلی این روش عبارتند از : پایش آب زیرزمینی (از نظر نوع سفره آزاد یا تحت فشار) لیتولوژی آبخوان (از نظر نوع تشکیلات، آبرفتی یا آهکی و یا آذرین و زیرمجموعه آن‌ها) و عمق سطح آب زیرزمینی می‌باشد (فوستر، ۱۹۸۷).

$$GOD = G \times O \times D \qquad (۳)$$

که در آن، G شرایط آبخوان، D عمق آب زیرزمینی و O نوع جنس لایه آبدار می باشند. در این روش ارزش کلاس‌های مختلف پارامترها از صفر تا یک تغییر می کند و به تمامی پارامترها وزن یکسانی اختصاص داده می شود. از حاصلضرب پارامترهای فوق نقشه‌ای حاصل خواهد شد که ارزش عددی سلولهای آن از صفر تا یک متغیر می‌باشد. با کلاسه‌بندی آن به پنج گروه قابل اغماض (۰/۱-۰)، آسیب‌پذیری کم(۱/۳-۰/۰)، متوسط (۳/۵-۰/۰)، زیاد (۵/۷-۰/۰) و خیلی زیاد (۷-۰/۱) نقشه آسیب‌پذیری آبخوان تهیه گردید.

ارزیابی آسیب پذیری به روش SINTACS

این روش بر اساس روش DRASTIC تهیه شده است با این تفاوت که فرآیند وزن‌بندی در آن انعطاف‌پذیرتر می‌باشد. به این صورت که وزن‌ها را می‌توان با توجه به شرایط نقطه‌ای آبخوان در هر منطقه تعیین کرد. شاخص آسیب‌پذیری در این روش براساس رابطه زیر حاصل می‌گردد (Civita., 1994).

$$I_v = \sum_{j=1}^{7} (W_j * R_j) \qquad (۴)$$

که در آن، I_v مقدار نهایی شاخص آسیب‌پذیری، R_j مقدار عددی هر یک از پارامترهای هفت‌گانه و W_j وزن هر یک از پارامترها می‌باشند. براساس نوع منطقه وزن هرکدام از پارامترهای تاثیرگذار در آسیب‌پذیری آبخوان برای این شاخص متفاوت است (باقرزاده و همکاران، ۱۳۸۹).

تحلیل حساسیت

یکی از مزیت‌های اصلی مدل SINTACS و DRASTIC انجام ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از تعداد زیاد لایه‌ی اطلاعاتی (پارامتر) است. عقیده بر این است که در این حالت، اثرات خطاها و عدم قطعیت‌های موجود در یک پارامتر منفرد در خروجی نهایی محدود می‌گردد. برخی از محققین بر این عقیده هستند که با تعداد کمتری از پارامترها و با دقت بیشتر و هزینه کمتر می‌توان به نتایجی معادل مدل‌های یاد شده دست یافت. در برخی از مطالعات، مدل DRASTIC را با تعداد کمتری از پارامترها انجام داده‌اند. تحلیل حساسیت حذف پارامتر، حساسیت نقشه آسیب‌پذیری را به حذف یک یا چند پارامتر نشان می‌دهد و از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$S = \left[\frac{\left(V/N - V'/n \right)}{V} \right] \qquad (۵)$$

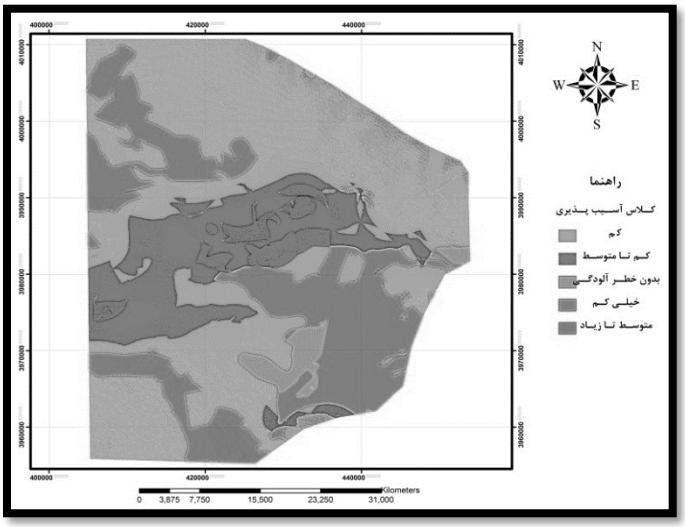
که در آن S میزان حساسیت را نشان می‌دهد، V و V' به ترتیب، شاخص‌های آسیب‌پذیری بدون حذف و با حذف پارامتر می‌باشند، N و n تعداد لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده برای محاسبه‌ی V و V' هستند. شاخص آسیب‌پذیری اصلی حاصل از تمامی پارامترها به عنوان V و شاخص حاصل از حذف یک یا چند پارامتر به عنوان V' در نظر گرفته شد.

نتایج

ارزیابی آسیب پذیری به روش DRASTIC

نتایج مربوط به آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی در مقابل آلودگی در تک تک سلولها به صورت طیف رنگی در شکل ۲ نشان داده شده است.

نتایج نشان داد که در حالت طبیعی محدوده آسیب‌پذیری بین اعداد ۵۷ تا ۱۵۴ تغییر می نماید. بر اساس تحلیل صورت گرفته حدود ۴۹ درصد از منطقه براساس وزن‌دهی کاربری طبیعی در شاخص DRASTIC در محدوده خطرپذیری کم قرار دارد؛ در بعضی مناطق هیچ گونه خطری آب‌های زیرزمینی را تهدید نمی‌کند. این نشان می‌دهد که استفاده از این مناطق برای مواردی همچون احداث کارخانه و تخلیه پساب‌ها مناسب می‌باشد.



شکل۲: کلاس بندی آسیب پذیری به روش DRASTIC

با تلفیق پارامترها طبق رابطه ۱، نتیجه حاصله یک لایه شبکه ای است که در این لایه سلول‌های دارای اعداد بزرگتر بیان کننده مناطقی هستند که آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی در مقابل آلودگی بیشتر است و سلول‌های دارای ارزش عددی کمتر مناطقی را نشان می‌دهند که آسیب‌پذیری ذاتی آبهای زیرزمینی در مقابل آلودگی کمتر می‌باشد. در مدل DRASTIC شاخص نهایی حاصل ضرب ارزش عددی رتبه بندی شده هر پارامتر در وزن آن پارامتر می باشد. در جدول ۴ کلاس بندی آسیب پذیری در شاخص DRASTIC مشخص شده است.

جدول ۴: محدوده شاخص آسیب‌پذیری به روش **DRASTIC**

کلاس آسیب‌پذیری	محدوده شاخص DRASTIC در حالت طبیعی
بدون خطر آلودگی	۸۰ >
خیلی کم	۸۰ - ۹۹
کم	۱۰۰ – ۱۱۹
کم تا متوسط	۱۲۰ – ۱۳۹
متوسط تا زیاد	۱۴۰ – ۱۵۹
زیاد	۱۶۰ - ۱۷۹
خیلی زیاد	۱۸۰ - ۱۹۹
کاملا مستعد آلودگی	۱۹۹ >

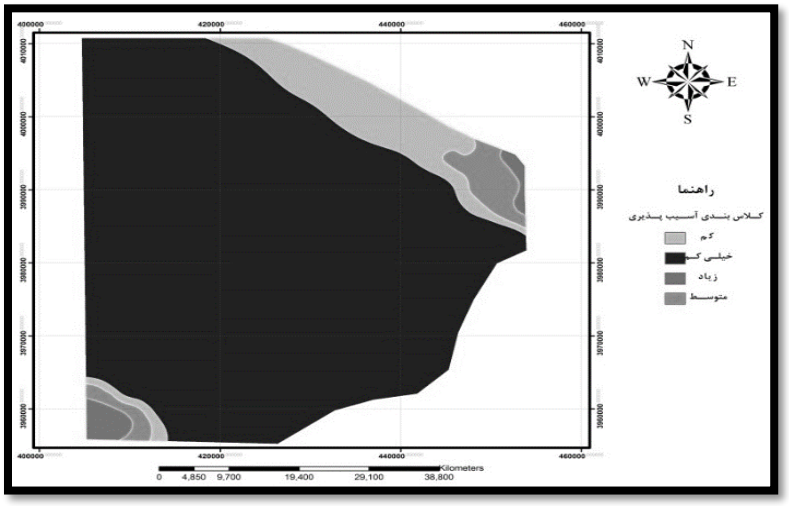
در ادامه برای ارائه تصویر روشنتری از نتایج، رتبه بندی مربوط به پارامتر های مدل DRASTIC در منطقه مورد مطالعه در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵: رتبه بندی مربوط به پارامتر های مدل DRASTIC در منطقه مورد مطالعه

عمق سطح آب	رتبه	جنس لایه خاک	رتبه
۱/۵-۰	۱۰	نازک یا نبود لایه خاک	**۱۰**
۴/۵-۱/۵	۹	شن	**۱۰**
۹-۴/۵	۷	ماسه	**۹**
۱۳/۵-۹	۵	کود گیاهی	**۸**
۱۸-۱۳/۵	۳	رس فشرده یا متراکم	**۷**
۲۲/۵-۱۸	۲	لوم ماسه ای	**۶**
>۲۲/۵	۱	لوم	**۵**
جنس لایه آبدار	**رتبه**	لوم سیلتی	**۴**
شیل توده ای	۲	لوم رس دار	**۳**
آذرین/ دگرگونی	۳	کود	**۲**
آذرین / دگرگونی هوازده	۴	رس غیرمتراکم	**۱**
یخرفت‌ها	۵	**شیب سطح زمین بر حسب درصد**	**رتبه**
ماسه سنگ لایه لایه، سنگ آهک و توالی شیل‌ها	۶	۲-۰	**۱۰**
ماسه سنگ توده ای	۶	۶-۲	**۹**
سنگ آهگ توده ای	۶	۱۲-۶	**۵**
شن و ماسه	۸	۱۸-۱۲	**۳**
بازالت	۹	>۱۸	**۱**
سنگ آهگ کارستی	۱۰	**مقدار تغذیه(سال/ mm)**	**رتبه**
جنس منطقه غیراشباع	**رتبه**	۵۰-۰	**۱**
لایه محبوس کننده	۱	۱۰۰-۵۰	**۳**
سیلت / رس	۳	۱۷۵-۱۰۰	**۶**
شیل	۳	۲۵۰-۱۷۵	**۸**
سنگ آهک	۶	>۲۵۰	**۱۰**
ماسه سنگ	۶	**مقدار هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)**	**رتبه**
ماسه سنگ، سنگ آهک، و شیل‌های لایه لایه	۶	۵-۰	**۱**
شن و ماسه با مقدار زیادی رس و سیلت	۶	۱۵-۵	**۲**
آذرین / دگرگونی	۴	۳۵-۱۵	**۴**
شن و ماسه	۸	۵۰-۳۵	**۶**
بازالت	۹	۱۰۰-۵۰	**۸**
سنگ آهک کارستی	۱۰	>۱۰۰	**۱۰**

ارزیابی آسیب‌پذیری به روش AVI

شاخص AVI بر پایه عمق لایه آبدار و جنس و هدایت هیدرولیکی لایه آبدار می‌باشد. بنابراین در این شاخص پارامترهای بیرونی از قبیل میزان تغذیه و همچنین جنس لایه‌های غیر اشباع تاثیری ندارند. در این حالت محدوده آسیب‌پذیری بین اعداد ۱/۱۷۸ تا ۸/۲۴۷ تغییر می نماید. با توجه به نتایج مندرج در شکل ۳ منطقه مورد مطالعه به صورت زیر کلاسه‌بندی می‌گردد. بر این اساس حدود ۸۶ در صد از منطقه در کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم (منطقه مرکزی دشت) قرار می‌گیرد و بعد از آن منطقه آسیب‌پذیری کم دارد. بنابراین آسیب‌پذیری منطقه بر اساس این شاخص دارای پتانسیل آسیب‌پذیری کم و بسیار کم می‌باشد (منطقه شمال شرقی و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه).



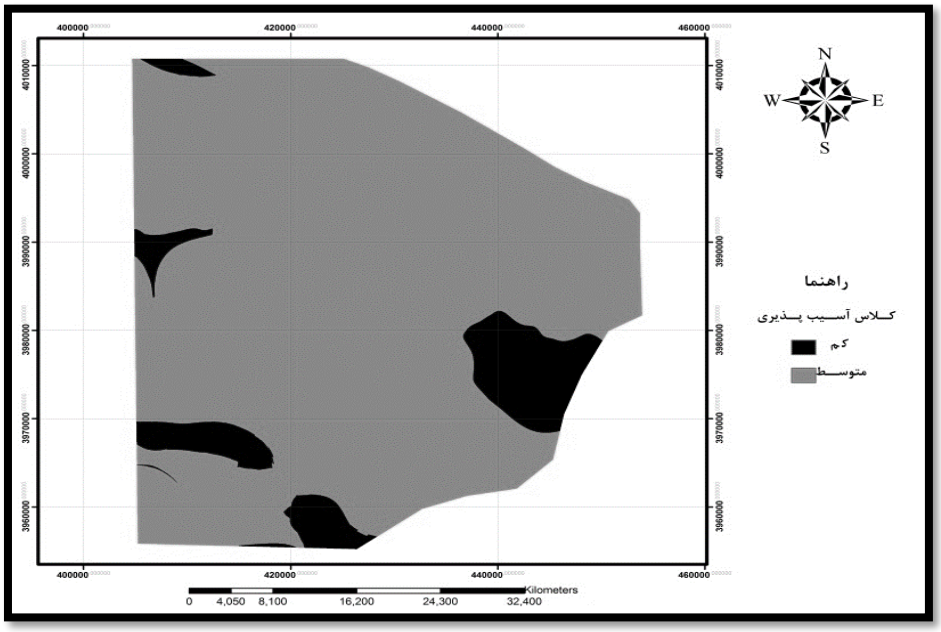
شکل ۳: کلاس بندی آسیب پذیری به روش AVI

ارزیابی آسیب پذیری به روش GOD

نتایج مربوط به تعیین آسیب پذیری توسط شاخص GOD در شکل ۴ نشان داده شده است. در شاخص GOD، نوع آبخوان، جنس لایه و عمق آب زیرزمینی تاثیرگذار است. بنابراین این شاخص از شاخص AVI پارامترهای موثر بیشتری را شامل می شود؛ اما میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی منظور نشده است. در این حالت محدوده آسیب‌پذیری بین اعداد ۰/۲۷۳ تا ۰/۴۲ تغییر می نماید. براساس شکل ۴ منطقه مورد مطالعه در دو گروه کم و متوسط از نظر آسیب‌پذیری قرار می‌گیرد که بیشترین مقدار با سطحی معادل ۹۰ در صد در کلاس آسیب‌پذیری متوسط و تنها ۱۰ در صد در کلاس آسیب پذیری کم قرار دارد. این مطلب نشان دهندۀ پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط در منطقه است.

جدول ۶: رتبه بندی مربوط به پارامتر های مدل GOD در منطقه مورد مطالعه

شرایط آبخوان	رتبه‌بندی
منطقه بدون آبخوان	۰
آبخوان محدود	/۲
آبخوان نیمه محدود	/۴
آبخوان آزاد (محدود)	۰/۶
آبخوان آزاد نا محدود	۰/۷ – ۱
نوع جنس آبخوان	رتبه‌بندی
سفالی (رسی)	< ۰/۴
خاک‌های برجامانده	۰/۴
خاک‌های آبرفتی	۰/۵
شیل	۰/۵
نیمه سنگی	۰/۵
نوع جنس آبخوان	رتبه‌بندی
تشکل‌های آذرین / دگرگونی	۰/۶
آتشفشانی توف	۰/۶ – ۰/۷
آبرفتی و یخبندان ماسه	۰/۷
گراول و آبرفت	۰/۸
ماسه سنگ	۰/۷ ۰/۸
گدازه‌های آتش فشانی اخیر	۰/۸
گچی و سنگ آهک	۰/۹
عمق آب زیرزمینی	**رتبه**
۵ >	۰/۹
۲۰ – ۵	۰/۸
۲۰ –	۰/۷
۵۰ >	۰/۶



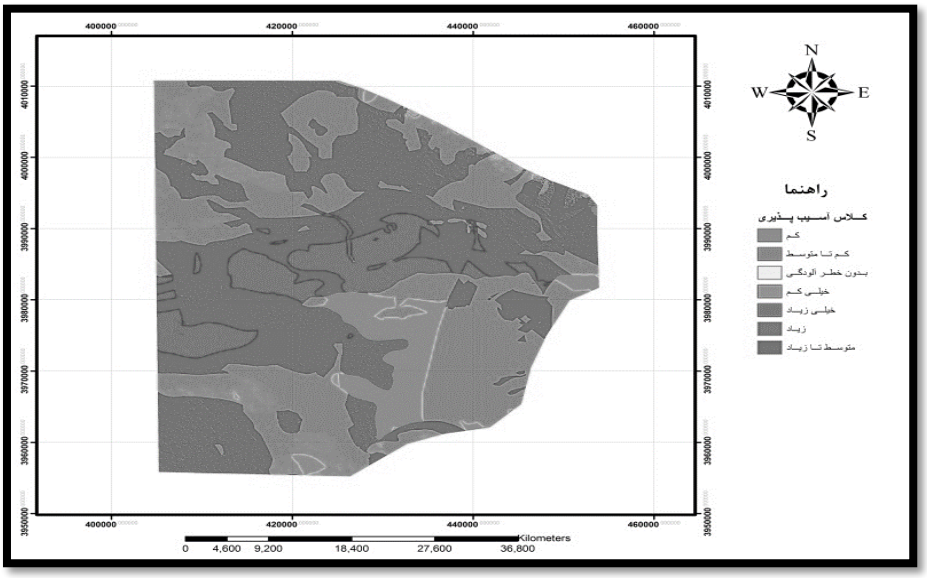
شکل ۴: کلاس بندی آسیب پذیری به روش GOD

ارزیابی آسیب پذیری به روش SINTACS

رتبه بندی مربوط به پارامتر های مدل SINTACS در منطقه مورد مطالعه در جدول ۷ نشان داده شده است. بر اساس نتایج موجود در جدول ۷ شکل ۵ حاصل شده است. بر اساس نتایج بدست آمده آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی از حساسیت متوسطی برخوردار می باشد. در این حالت محدوده آسیب‌پذیری بین اعداد ۸۰ تا ۲۰۴ تغییر می نماید. بیشترین قسمت از محدوده مورد مطالعه دارای حساسیت آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد می‌باشد که حدوداً ۴۵ درصد از کل منطقه را شامل می‌گردد. بعد از آن حدود ۳۹ درصد از منطقه دارای پتانسیل آلودگیکم تا متوسط می‌باشد.

جدول ۷: رتبه بندی مربوط به پارامتر های مدل SINTACS در منطقه مورد مطالعه

عمق سطح آب (S)	رتبه	محیط خاک (T)	رتبه
۰-۳	۹	گراول	۱۰
۳-۵	۸	ماسه	۹
۵-۷	۷	ماسه رس دار	۷
۷-۱۰	۶	لوم ماسه ای	۶
۱۰-۱۳	۵	لوم	۵
۱۳-۲۰	۴	سیلت و رس	۳
۲۰-۳۰	۳	لوم رسی	۲
>۳۰	۲	**محیط آبخوان (A)**	**رتبه**
تغذیه خالص (I)	**رتبه**	رسوبات آبرفتی دانه درشت (ماسه و گراول)	۹
۰-۵۰	۸	ماسه	۷
۵۰-۱۰۰	۵	رسوبات آبرفتی دانه ریز (سیلت و رس همراه با ماسه‌های ریز دانه)	۶
۱۰۰-۱۷۵	۳	رس و سیلت	۳
>۱۷۵	۱	**هدایت هیدرولیکی (C)**	**رتبه**
توپوگرافی (شیب ٪ S)	**رتبه**	۸۶/۴-۳۶۶/۳۹	۹
۰ – ۳	۱۰	۴۳/۲-۸۶/۴	۸
۳ – ۵	۹	۸/۶۴ - ۴۳/۲	۷
۵ – ۷	۸	۴/۳۲ – ۸/۶۴	۶
۷ – ۱۰/۵	۷	۰/۸۶۴ – ۴/۳۲	۵
۱۰/۵ – ۱۳/۵	۶	۰/۱ – ۰/۸۶۴	۴
۱۳/۵ – ۱۶/۵	۵	۰/۰۷ – ۰/۱	۳
۱۶/۵ – ۱۹/۵	۴	**محیط غیر اشباع (N)**	**رتبه**
۱۹/۵ – ۲۳	۳	رسوبات آبرفتی دانه درشت (ماسه و گراول)	۹
۲۳ – ۲۷/۵	۲	ماسه	۷
> ۲۷/۵	۱	رسوبات آبرفتی دانه ریز (سیلت و رس همراه با ماسه‌های ریز دانه)	۵
		رس و سیلت	۲



شکل ۵: کلاس بندی آسیب پذیری به روش SINTACS

تحلیل حساسیت

با توجه به هفت پارامتر به کار رفته در تعیین آسیب‌پذیری میزان ماکزیمم، مینیمم و میانگین حساسیت نسبت به حذف هر پارامتر، در جداول زیر برای شاخص‌های SINTACS و DRASTIC به صورت جداگانه در جدول‌های ۸ و ۹ مشخص گردیده است.

جدول ۸: تحلیل حساسیت حذف پارامتر بر روی شاخص DRASTIC در حالت طبیعی

نوع پارامتر	وزن اختصاصی در شاخص	مینیمم حساسیتS(٪)	ماکزیمم حساسیتS(٪)	میانگین حساسیتS(٪)	انحراف معیار حساسیتS(٪)
هدایت هیدرولیکی	۳	۰/۰۰۱	۶/۵۴۷	۱/۱۸۲	۱/۱۶۳
عمق آب زیرزمینی	۵	۰/۰۰۱	۵/۱۶۴	۱/۰۳۱	۱/۰۱۴
اثر منطقه غیراشباع	۵	۰/۰۰۱	۴/۴۷۸	۱/۲۳۹	۱/۰۱۱
تغذیه خالص	۴	۰/۰۰۱	۳/۷۶۳	۱/۲۵۹	۰/۸۱۵
نوع خاک	۲	۰/۰۰۱	۶/۵۴۷	۰/۷۹۵	۱/۰۲
توپوگرافی (شیب)	۱	۰/۰۰۱	۵/۹۳۲	۰/۷۴۳	۱/۰۵۶
نوع لایه آبدار	۳	۰/۰۰۱	۶/۵۴۷	۰/۷۶۱	۱/۰۷۷

برا ساس نتایج موجود در جدول ۸ و شاخص DRASTIC پارامتر تغذیه خالص با میانگین ۱/۲۵۹ بیشترین حساسیت را در منطقه دارا می‌باشد و بعد از آن اثر ناحیه غیرا شباع قرار دارد. کمترین حساسیت نیز مربوط به پارامتر نوع لایه آبدار می‌با شد. بیشترین انحراف معیار را شاخص هدایت هیدرولیکی دارد.

بر اساس شاخص SINTACS، نوع خاک سطحی و بعد از آن تغذیه خالص بیشترین حساسیت را دارا می‌با شند؛ کمترین حساسیت مربوط به هدایت هیدرولیکی ا ست. با توجه به انحراف معیار محاسبه شده داده‌های نوع خاک بیشترین پخشودگی را نشان می‌دهد.

جدول ۹: تحلیل حساسیت حذف پارامتر بر روی شاخص نرمال SINTACS

نوع پارامتر	وزن اختصاصی در شاخص	مینیمم حساسیتS (٪)	ماکزیمم حساسیتS (٪)	میانگین حساسیتS (٪)	انحراف معیار حساسیتS (٪)
هدایت هیدرولیکی	۳	۰/۰۰۱	۴/۰۷۵	۰/۳۵۶	۰/۷۱۸
عمق آب زیرزمینی	۵	۰/۰۰۱	۴/۹۴۸	۰/۶۰۵	۰/۷۶۷
اثر منطقه غیراشباع	۵	۰/۰۰۱	۳/۴۶۶	۰/۵۲۲	۰/۷۰۴
تغذیه خالص	۴	۰/۰۰۱	۳/۰۷۴	۰/۶۹۵	۰/۵۹۹
نوع خاک	۳	۰/۰۰۱	۳/۰۵۷	۰/۸۱۲	۰/۸۶۹
توپوگرافی (شیب)	۳	۰/۰۰۱	۳/۶۷۶	۰/۶۸۳	۰/۷۴۹
نوع لایه آبدار	۳	۰/۰۰۱	۴/۵۳۷	۰/۶۸۸	۰/۸۵۷

نتیجه گیری

با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی مقدار شاخص طبیعی DRASTIC برای آبخوان دشت قزوین بین ۵۷ تا ۱۵۴ بدست آمد. با توجه به این شاخص تقریبا ۳۳ درصد از منطقه دارای آسیب پذیری خیلی کم، ۴۹ درصد دارای آسیب پذیری کم، ۱۵ درصد دارای آسیب پذیری کم تا متوسط و حدود ۳ درصد دارای آسیب پذیری متوسط تا زیاد می باشند. مقدار شاخص نرمال SINTACS بین ۸۰ تا ۲۰۴ تغییر می کند و حدود ۷ درصد منطقه دارای آسیب پذیری کم، ۳۹ درصد دارای آسیب پذیری کم تا متوسط، ۴۵ درصد دارای آسیب پذیری متوسط تا زیاد و ۹ درصد دارای آسیب پذیری زیاد می باشد. مقدار شاخص AVI بین ۱/۱۷۸ تا ۸/۲۴۷ تغییر می کند و حدود ۸۶/۵ درصد منطقه دارای آسیب پذیری خیلی کم، ۹ درصد دارای آسیب پذیری کم، ۳ درصد دارای آسیب پذیری متوسط و ۱/۵ درصد دارای آسیب پذیری زیاد می باشد. مقدار شاخص GOD بین ۰/۲۷۳ تا ۰/۴۲ تغییر می کند و حدود ۱۰ درصد منطقه دارای آسیب پذیری کم و ۹۰ درصد دارای آسیب پذیری متوسط می باشد. در دو شاخص DRASTIC و SINTACS بیشترین حساسیت منطقه مورد مطالعه در قسمت مرکزی دشت قرار گرفته است. برای شاخص AVI بیشترین سطح از منطقه دارای آسیب پذیری خیلی کم بوده و برای شاخص GOD بیشترین مساحت در کلاس متوسط قرار می گیرند. از مقایسه شاخص های مذکور، در شاخص SINTACS آسیب پذیری منطقه محافظه کارانه تر از سایر شاخص ها محاسبه شده است و در شاخص AVI کمترین آسیب پذیری برای منطقه مشخص شده است. از میان شاخص های فوق با توجه به حساسیت آب های زیرزمینی در منطقه روش SINTACS از سایر روشها برآورد بهتری از آسیب پذیری آب های زیرزمینی در اختیار قرار می دهد. بر اساس تحلیل حساسیت حذف

پارامتر برای شاخص های DRASTIC و SINTACS، به ترتیب تغذیه خالص و نوع خاک بیشترین حساسیت را در تخمین اسیب پذیری دارا می باشند.

منابع

باقرزاده، س.، ن.ا. کلانتری، م. مرادزاده، و م.ح. رحیمی. ۱۳۸۹.استفاده از GIS برای تحلیل حساسیت تک پارامتری روش‌های SINTACS و DRASTIC جهت ارزیابی آسیب پذیری منابع آب زیرزمینی دشت بهبهان، همایش ملی ژئوماتیک. ۱۰ صفحه.

حسنی پاک، ع.ا. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتیستیک)، انتشارات دانشگاه تهران.

شمسایی، ا. ۱۳۸۱. هیدرولیک جریان آب در محیط‌های متخلخل، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، مهندسی آبهای زیرزمینی، جلد دوم.

آزاد شهرکی، ف. ع.و. آغاسی، ف، آزاد شهرکی، و ع.ر. زارعی. ۱۳۸۷. ارزیابی پتانسیل و آنالیز حساسیت آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت هشتگرد به روش DRASTIC"، مجله آب و فاضلاب، ۲۱(۲): ۷۰-۶۱

یارمحمدی، ا.، و م. چیتسازان. ۱۳۸۵. بررسی پتانسیل آسیب پذیری آبخوان دشت عقیلی با استفاده از روش-های DRASTIC و SINTACS در محیط GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

Al-adamat, R.A.N, I.D.L. Foster, S.M.J. Baban. 2003. Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS and Remote sensing and DRASTIC, Applied Geography.

Aller, L, T. Bennet, J.H. Lehr, R.J. Petty, G. Hackett. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological settings. National Water Well Association, Dublin, Ohio, J of Hydrogeology. 65(6): 266-274.

ller, L. T. Bennet, J.H. Lehr, RJ Petty .1987. DRASTIC: a standard system for evaluating groundwater pollution potential using hydrologic setting, US EPAReport, 600/2-871-Ada-Ok.

Foster, S.S.D. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: Duijvenbooden W van, Waegeningh HG van (eds) Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, Proceedings and Information, vol 38. TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, pp 69–86

Loredana, M., M. Testa, G. Uras. 2010. Assessment of groundwater vulnerability to nitrate contamination in the surficial aquifer of the rio cixerri plain (Southsardinia, ITALY), Italian Journal of Engineering Geology and Environment.10 (1):23-33.

Mann N. Schafer R. and Singpurwalla N. 1974. Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data. John Wiley. NY

Munteanu, C.M., M. Vlaicu, C. Marin. A. Tudorache. 2010. Geological and hydrogeochemical research, tools forkarst management in the north of the caras gorge (Banat mountains, Romania), Trav. Inst. Spéol. «Émile Racovitza», t. XLIX,. 165–178,

Piscopo, G., P. Please, P. Sinclair. 2001. Macquarie Catchment Groundwater Vulnerability Map Explanatory Notes, Department of Land and Water Conservation, New South Wales.

Stempvoort, D, L. Evert, L, Wassenaar. 1993. Aquifer vulnerability index: a GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping, J of Water Res 18:25–37

Todd, P.K. W. M. Larry.2005. Groundwater Hydrology 3rd Edition, Wiley Instructor Companion Site.

The assessment vulnerability of Qazvin-plain aquifer, sensitivity analysis removing parameters by using GIS

Vahid yazdani,[1]Hamid Mansourian[2],

Abstract

These days, boom in agricultural section, use of pesticide lavishly, disposal of Industrial and urban wastes result in boosting the probability of aquifer pollution. So, it needs to identify the vulnerable regions for preventing of groundwater pollution and land use management. Thus, we use four methods) AVI ،GOD ،DRASTIC و SINTACS (for evaluating of ground water contamination in Qazvin- plain. Based on the comparison between indexes and classifications show the majority of vulnerability classification in this region is low to moderate. DRASTIC and SINTACS indexes are the most sensitivities in the central of plain. AVI index is low sensitive and GOD index is classified in moderate. By comparison the following indexes, the vulnerability of SINTACS index region calculated more conservative than other indexes, but AVI index is the lowest vulnerability. Among the above indicators with respect to the groundwater sensitivity in the area, SINTACS index is the better estimation than other indexes. The amount of effective parameters for determining vulnerability in DRASTIC and SINTACS by using the remove of parameters been evaluated, finally the analytical results show that the net nutrition parameters and the type of soil were the most impact on vulnerability of this region .

Keywords: Aquifer vulnerability, sensitivity analysis, SINTACS, DRASTIC, GOD, AVI

1 Managing Director of Hidropay Consulting Engineer, corresponding Author09153221841 v.yazdany@yahoo.com
[2] Master of Civil Water Engineering .mansourian.h@gmail.com