



## ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت قزوین و تحلیل حساسیت حذف پارامترها با بکارگیری GIS

وحید یزدانی<sup>۱</sup> حمید منصوریان<sup>۲</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۴/۰۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱۰/۲۶

مقاله پژوهشی

### چکیده

امروزه به دلیل رونق در بخش کشاورزی و افزایش استفاده از کودهای 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 GOD، AVI، 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 می‌گیرند. از مقایسه شاخص‌های مذکور، در شاخص SINTACS آسیب‌پذیری منطقه محافظه کارانه تر از سایر شاخص‌ها محاسبه شده است و در شاخص AVI کمترین آسیب‌پذیری برای منطقه مشخص شده است. از میان شاخص‌های فوق با توجه به حساسیت آب‌های زیرزمینی در منطقه روش SINTACS از سایر روشها برآورد بهتری از آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در اختیار قرار می‌دهد. میزان تاثیرگذاری پارامترهای موثر در تعیین آسیب‌پذیری روش‌های 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 آسیب‌پذیری منطقه دارند.

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

۱. دکتری علوم و مهندسی آب - مدیر عامل شرکت مهندسی مشاور هیدروپوی 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 تقریباً غیرممکن می‌گردد. یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی‌های آب زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان و مدیریت کاربری اراضی است. آسیب پذیری را می‌توان 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 می‌توان در سه گروه روش‌های پردازشی، شاخص - همپوشانی و آماری تقسیم بندی کرد. روش‌های پردازشی از مدل‌های شبیه سازی برای تخمین حرکت آلاینده‌ها استفاده می‌کنند. روش‌های آماری از روابط همبستگی بین متغیرهای مکانی و میزان آلاینده‌های موجود در آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. روش‌های شاخص - 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 می‌کنند. در روش‌های شاخص - همپوشانی انتخاب ارزش عددی پارامترها تا حدودی کارشناسی بوده و نمی‌توانند 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 GOD, AVI, SINTACS و DRATIC برخی از پارامترهای عمق آب زیرزمینی، تغذیه، محیط آبخوان، نوع خاک، توپوگرافی، اثر منطقه

غیر اشباع<sup>۳</sup>، هدایت هیدرولیکی و ضخامت لایه آبدار برای پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان استفاده می‌شوند. آمار و اطلاعات مورد نیاز برای این روش‌ها در اکثر دشت‌های ایران فراهم نبوده و محدودیت‌هایی را ایجاد می‌نماید. عبارت آسیب‌پذیری در هیدروژئولوژی برای اولین بار توسط مارگات<sup>۴</sup> 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 می‌دهد 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 آلبنیت<sup>۵</sup> 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<sup>۶</sup> (۲۰۰۱) با استفاده از DRATIC و GIS نقشه آسیب‌پذیری آب زیرزمینی حوضه کستلریا<sup>۷</sup> 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

<sup>5</sup>-Albinet

<sup>6</sup>- Piscopo

<sup>7</sup>- Castlereagh

<sup>1</sup>- Process - based

<sup>2</sup>- Aquifer media

<sup>3</sup>- Impact of vadose zone

<sup>4</sup>-Margat



آبخوان دشت قزوین با شاخص های مختلف، نتایج حاصل از شاخص های تعیین آسیب پذیری با یکدیگر مقایسه شد. در انتها میزان تاثیر گذاری پارامترها بر شاخص های DRASTIC و SINTACS با استفاده از روش های تحلیل حساسیت تک پارامتری و حذف پارامتر مورد ارزیابی قرار گرفت.

## مواد و روش ها

### منطقه مطالعاتی

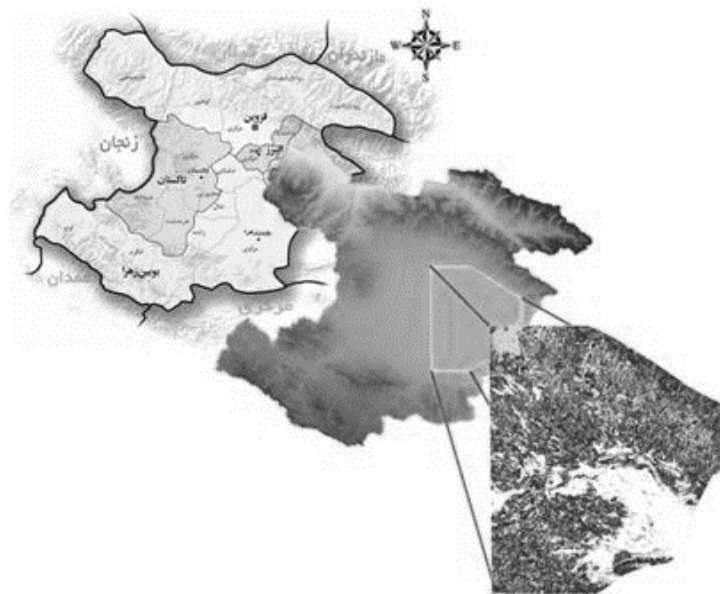
منطقه مورد مطالعه قسمتی از دشت قزوین واقع در استان قزوین می باشد. این قسمت، در حوزه مرکزی ایران با مساحتی معادل ۲۱۹۲۵۵ هکتار در موقعیت جغرافیای بین ۴۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۳ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. بررسی های انجام شده نشان می دهد که زمین های 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 آب های زیر زمینی آن باید بررسی شود. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی و تصویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد

توسط روش DRASTIC بررسی کردند. در پهنه بندی انجام شده دشت هشتگرد به سه محدوده آسیب پذیری کم، متوسط و زیاد تقسیم بندی گردید. بیشترین منطقه به محدوده پتانسیل آسیب پذیری 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). مونتانو 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 طبقه بندی نمودند و برای هر کدام یک چارچوب حفاظت خاص مشتمل بر راه حل های مدیریتی مناسب و طراحی شده برای مدیران زیست محیطی اختصاص دادند (مونتانو و همکاران، ۲۰۱۰). لوردانا و همکاران (۲۰۱۰) برای جنوب سوئد در ایتالیا با استفاده از مدل SINTACS به ارزیابی پتانسیل آسیب پذیری آبخوان و همچنین آلودگی نیترات پرداختند. در این تحقیق آن ها به این نتیجه دست یافتند که منطقه دارای پتانسیل آسیب پذیری زیاد می باشد اما برای بیان دقیق این مطلب نیاز به داشتن پایگاه اطلاعاتی و داده ای کامل و قابل اعتماد در زمینه های گوناگون، همچون آب و هوای منطقه، پوشش گیاهی و زیرساخت های زمین می باشد (لوردانا و همکاران، ۲۰۱۰).

در این تحقیق ضمن پهنه بندی آسیب پذیری

<sup>۱</sup> Map removal sensitivity analysis

<sup>۱</sup> Single\_parameter sensitivity analysis



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

(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 روش‌های میان‌یابی زمین آمار، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MiniTab نرمال شدند، که نتایج در جدول (۱) آورده شده است. نرمال بودن داده‌ها با حدود اطمینان ۹۵ درصد بررسی شد؛ برای نرمال بودن داده‌ها ضریب اندرسون باید کمتر از  $2/5$  و سطح اطمینان به دست آمده هم بزرگتر از سطح اطمینان در نظر گرفته شده باشد (مان و همکاران، ۱۹۷۴).

## پارامترهای 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<sup>۱</sup> 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

<sup>۱</sup>- Attenuate capacity



جدول ۱: نتایج آزمون نرمال بودن داده‌ها

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

چاه‌ها رسم گردید. در جدول (۲) نتایج پارامترهای نیم تغییر نما آورده شده است (حسنی پاک، ۱۳۷۷).

داده‌های نرمال شده وارد نرم افزار  $GS^+$  گردیده و نیم تغییر نمای تجربی و مدل مناسب برای داده‌های

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

دامنه تاثیر	آستانه	اثر قطعه ای	$R^2$	استحکام ساختار فضایی (C0/(C0+C1))
۳۱۶۸۰	۳۳۶٫۶	۲۰	۰/۹۵۴	۰/۹۴۱

یکدیگر ترکیب و نقشه نهایی تغذیه آبخوان به دست آمد. نقشه 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 میلی‌متر می‌باشد) در روش پیسکوپو، رتبه بندی بارندگی نسبت گرفت. درصد شیب تهیه شده برای توپوگرافی، با نسبت‌های روش پیسکوپو برای پارامتر تغذیه خالص به کار گرفته شد.

مقادیر تغذیه = درصد شیب + بارندگی + نفوذپذیری

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

در محیط نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از نرم‌افزار کمکی Geostatistical 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 می‌شود. یکی از عوامل اصلی انتقال مواد آلاینده به درون زمین، حرکت عمودی آب است. برای تهیه نقشه تغذیه خالص از روش پیشنهادی پیسکوپو (۲۰۰۱) استفاده شد. در این روش پارامترهای بارندگی، شیب و نفوذپذیری خاک که در تغذیه آبخوان اهمیت دارند، با

جدول ۳: رتبه‌بندی میزان تغذیه آبخوان

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



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 منطقه غیراشباع مورد توجه قرار می‌گیرند، 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 نقشه نفوذپذیری منطقه تهیه شد و دو نقشه عمق سطح ایستابی و نفوذپذیری برای به دست آوردن نقشه نهایی اثر ناحیه غیراشباع همپوشانی شدند. و در انتها نقشه 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

### محیط آبخوان

محیط آبخوان بیان کننده خصوصیت میرایی مواد تشکیل دهنده 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 می‌گردد. 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 روش‌های تعیین آسیب‌پذیری، 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 و خاک 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 آلوده‌کننده‌ها در سطح زمین کند بوده و آلوده‌کننده‌ها شانس بیشتری برای نفوذ داشته باشند. بنابراین شیب کم پتانسیل بیشتری برای آلودگی آب زیرزمینی ایجاد می‌کند. 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



و نقشه عمق سنگ بستر، نقشه ضخامت لایه آبدار بدست آمد.

#### 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 آسیب‌پذیری در این روش از حاصل ضرب وزن هر پارامتر در رتبه آن مطابق رابطه زیر بدست می‌آید.

$$D_i = \sum_{j=1}^7 (W_j * R_j) \quad (1)$$

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

تهیه و با استفاده از نرم افزار ArcGIS میانمایی گردید. سپس با به کارگیری نقشه رستری عمق آب زیرزمینی

#### هدایت هیدرولیکی

این لایه مربوط به نفوذپذیری سفره یا توانائی مواد سفره به منظور انتقال آب یا مواد محلول می‌باشد. 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 (شمسائی، 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 میانمایی 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 می‌گردد. 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 آسیب‌پذیری هر منطقه باید براساس اهمیت هر یک 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 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).

$$I_v = \sum_{j=1}^7 (W_j * R_j) \quad (4)$$

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 هر کدام 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.

$$S = \left[ \frac{\left( \frac{V}{N} - \frac{V'}{n} \right)}{V} \right] \quad (5)$$

هیدرولیکی هر یک از لایه‌ها ( $K$ )، مقاومت هدایت هیدرولیکی آبخوان طبق رابطه زیر تعیین گردید.

$$C = \sum_{i=0}^n \frac{d_i}{k_i} \quad (2)$$

که آن  $C$  مقاومت هیدرولیکی،  $n$  تعداد لایه‌ها،  $k_i$  هدایت هیدرولیکی در هر یک از لایه‌ها و  $d_i$  ضخامت لایه‌های آبدار می‌باشد. بر اساس مقدار  $C$   $\log C$  کلاس‌بندی در پنج گروه آسیب‌پذیری خیلی کم ( $\log C < 4$ )، کم (۴-۳)، متوسط (۳-۲)، زیاد (۲-۱) و خیلی زیاد ( $\log C > 1$ ) انجام گرفت و نقشه آسیب‌پذیری 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).

$$GOD = G \times O \times D \quad (3)$$

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

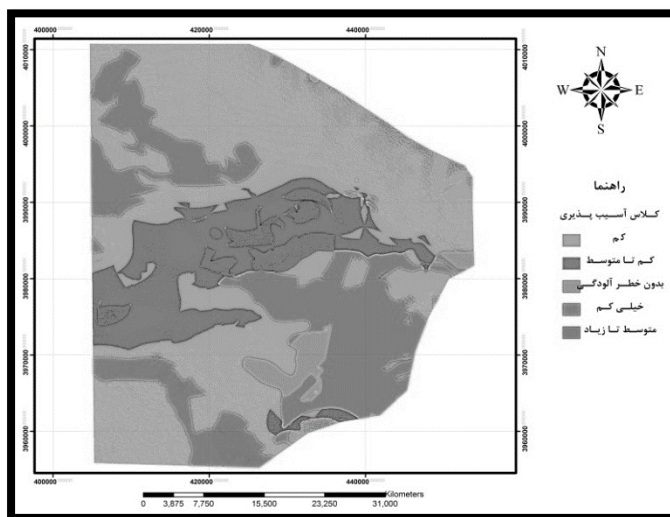


مقابل آلودگی در تک تک سلولها به صورت طیف رنگی در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در حالت طبیعی محدوده آسیب پذیری بین اعداد ۵۷ تا ۱۵۴ تغییر می نماید. بر اساس تحلیل صورت گرفته حدود ۴۹ درصد از منطقه براساس وزن دهی کاربری طبیعی در شاخص DRASTIC در محدوده خطر پذیری کم قرار دارد؛ در بعضی مناطق هیچ گونه خطری آب های زیرزمینی را تهدید نمی کند. این نشان می دهد که استفاده از این مناطق برای مواردی همچون احداث کارخانه و تخلیه پسابها مناسب می باشد.

که در آن  $S$  میزان حساسیت را نشان می دهد،  $V$  و  $V'$  به ترتیب، شاخص های آسیب پذیری بدون حذف و با حذف پارامتر می باشند،  $N$  و  $n$  تعداد لایه های اطلاعاتی مورد استفاده برای محاسبه  $V$  و  $V'$  هستند. شاخص آسیب پذیری 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 آسیب پذیری ذاتی آب زیرزمینی در



شکل ۲: کلاس بندی آسیب پذیری به روش DRASTIC

زیرزمینی در مقابل آلودگی در این مناطق کمتر می باشد. 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.

با تلفیق پارامترها طبق رابطه ۱، نتیجه حاصله یک لایه شبکه ای است که در این لایه سلول های دارای اعداد بزرگتر بیان کننده مناطقی هستند که آسیب پذیری ذاتی آب زیرزمینی در مقابل آلودگی بیشتر است و سلول های دارای ارزش عددی کمتر مناطقی را نشان می دهند که آسیب پذیری ذاتی آبهای



جدول ۴: محدوده شاخص آسیب پذیری به روش DRASTIC

محدوده شاخص DRASTIC در حالت طبیعی	کلاس آسیب پذیری
$80 >$	بدون خطر آلودگی
۸۰ - ۹۹	خیلی کم
۱۰۰ - ۱۱۹	کم
۱۲۰ - ۱۳۹	کم تا متوسط
۱۴۰ - ۱۵۹	متوسط تا زیاد
۱۶۰ - ۱۷۹	زیاد
۱۸۰ - ۱۹۹	خیلی زیاد
$199 <$	کاملاً مستعد آلودگی

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

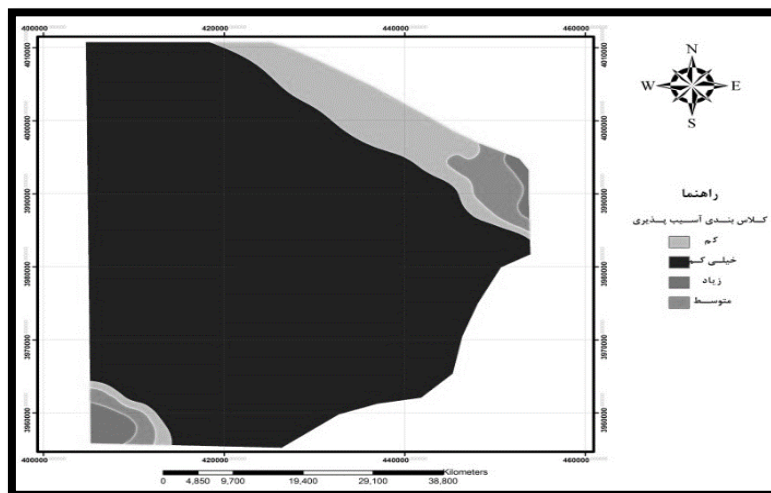
جدول ۵: رتبه بندی مربوط به پارامترهای مدل DRASTIC در منطقه مورد مطالعه

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

### ارزیابی آسیب پذیری 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 آسیب پذیری بین اعداد ۱/۱۷۸ تا ۸/۲۴۷ تغییر می‌نماید. با توجه به نتایج مندرج در

شکل ۳ منطقه مورد مطالعه به صورت زیر کلاسه‌بندی می‌گردد. بر این اساس حدود ۸۶ درصد از منطقه در کلاس آسیب پذیری خیلی کم (منطقه مرکزی دشت) قرار می‌گیرد و بعد از آن منطقه آسیب پذیری کم دارد. بنابراین آسیب پذیری منطقه بر اساس این شاخص دارای پتانسیل آسیب پذیری کم و بسیار کم می‌باشد (منطقه شمال شرقی و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه).



شکل ۳: کلاس بندی آسیب پذیری به روش AVI

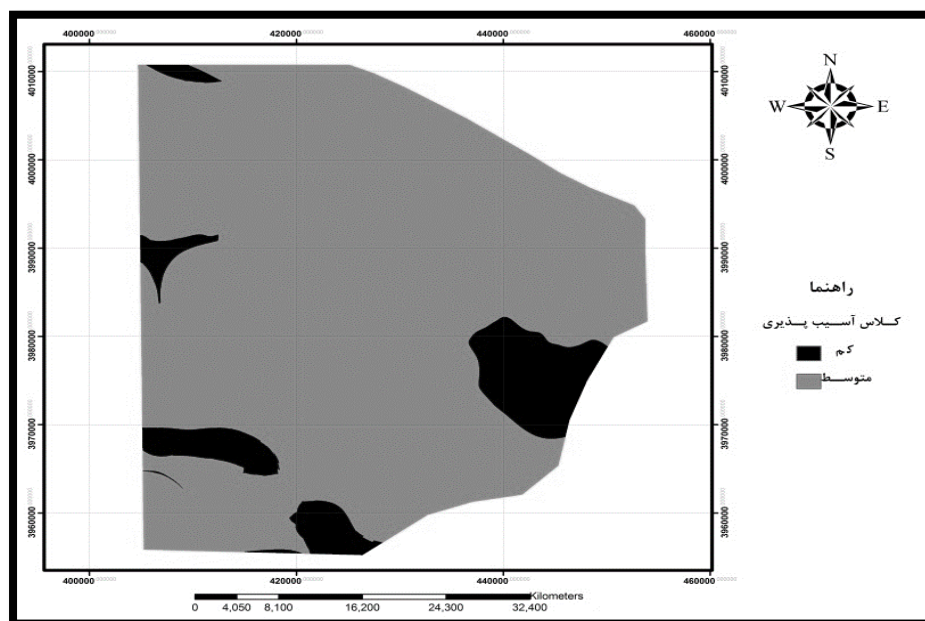
نشده است. در این حالت محدوده آسیب پذیری بین اعداد ۰/۲۷۳ تا ۰/۴۲ تغییر می‌نماید. براساس شکل ۴ منطقه مورد مطالعه در دو گروه کم و متوسط از نظر آسیب پذیری قرار می‌گیرد که بیشترین مقدار با سطحی معادل ۹۰ درصد در کلاس آسیب پذیری متوسط و تنها ۱۰ درصد در کلاس آسیب پذیری کم قرار دارد. این مطلب نشان دهنده پتانسیل آسیب پذیری متوسط در منطقه است.

### 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 می‌شود؛ اما میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی منظور

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

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



شکل ۴: کلاس بندی آسیب پذیری به روش GOD

باشد. در این حالت محدوده آسیب پذیری بین اعداد ۸۰ تا ۲۰۴ تغییر می نماید. بیشترین قسمت از محدوده مورد مطالعه دارای حساسیت آسیب پذیری متوسط تا زیاد می باشد که حدوداً ۴۵ درصد از کل منطقه را شامل می گردد. بعد از آن حدود ۳۹ درصد از منطقه دارای پتانسیل آلودگی کم تا متوسط می باشد.

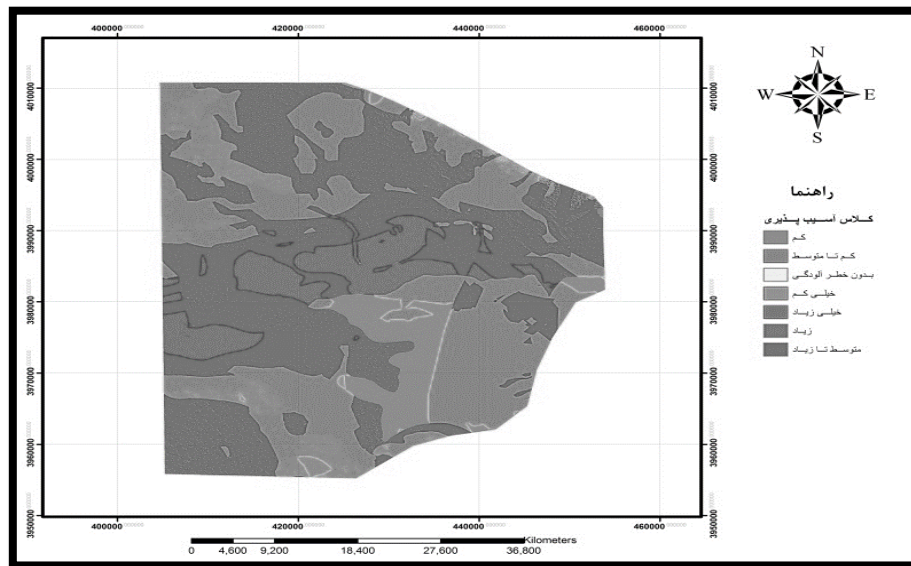
#### ارزیابی آسیب پذیری به روش SINTACS

رتبه بندی مربوط به پارامترهای 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 آسیب پذیری آب های زیرزمینی از حساسیت متوسطی برخوردار می

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

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





شکل ۵: کلاس بندی آسیب پذیری به روش SINTACS

تحلیل حساسیت  
 با توجه به هفت پارامتر به کار رفته در تعیین  
 آسیب پذیری میزان ماکزیمم، مینیمم و میانگین

حساسیت نسبت به حذف هر پارامتر، در جداول زیر  
 برای شاخص های SINTACS و DRASTIC به صورت  
 جداگانه در جدول های ۸ و ۹ مشخص گردیده است.

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

انحراف معیار حساسیت S (%)	میانگین حساسیت S (%)	ماکزیمم حساسیت S (%)	مینیمم حساسیت S (%)	وزن اختصاصی در شاخص	نوع پارامتر
۱/۱۶۳	۱/۱۸۲	۶/۵۴۷	۰/۰۰۱	۳	هدایت هیدرولیکی
۱/۰۱۴	۱/۰۳۱	۵/۱۶۴	۰/۰۰۱	۵	عمق آب زیرزمینی
۱/۰۱۱	۱/۲۳۹	۴/۴۷۸	۰/۰۰۱	۵	اثر منطقه غیراشباع
۰/۸۱۵	۱/۲۵۹	۳/۷۶۳	۰/۰۰۱	۴	تغذیه خالص
۱/۰۰۲	۰/۷۹۵	۶/۵۴۷	۰/۰۰۱	۲	نوع خاک
۱/۰۵۶	۰/۷۴۳	۵/۹۳۲	۰/۰۰۱	۱	توپوگرافی ( شیب)
۱/۰۷۷	۰/۷۶۱	۶/۵۴۷	۰/۰۰۱	۳	نوع لایه آبدار



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

بر اساس 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 غیراشباع قرار دارد. کمترین حساسیت نیز مربوط به پارامتر نوع لایه آبدار می‌باشد. بیشترین انحراف معیار را شاخص هدایت هیدرولیکی دارد.

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

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

پذیری کم، ۳ درصد دارای آسیب پذیری متوسط و ۱/۵ درصد دارای آسیب پذیری زیاد می‌باشد. مقدار شاخص GOD بین ۰/۲۷۳ تا ۰/۴۲ تغییر می‌کند و حدود ۱۰ درصد منطقه دارای آسیب پذیری کم و ۹۰ درصد دارای آسیب پذیری متوسط می‌باشد. 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 می‌گیرند. از مقایسه شاخص‌های مذکور، در شاخص SINTACS آسیب پذیری منطقه محافظه کارانه تر از سایر شاخص‌ها محاسبه شده است و در شاخص AVI کمترین آسیب پذیری برای منطقه مشخص شده است. از میان شاخص‌های فوق با توجه به حساسیت آب‌های زیرزمینی در منطقه روش SINTACS از سایر روشها

### 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 تقریباً 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 می‌باشند. مقدار شاخص نرمال SINTACS بین ۸۰ تا ۲۰۴ تغییر می‌کند 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 می‌باشد. مقدار شاخص AVI بین ۱/۱۷۸ تا ۸/۲۴۷ تغییر می‌کند و حدود ۸۶/۵ درصد منطقه دارای آسیب پذیری خیلی کم، ۹ درصد دارای آسیب



به ترتیب تغذیه خالص و نوع خاک بیشترین حساسیت را در تخمین آسیب پذیری دارا می باشند.

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.

### منابع

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

حسینی پاک، ع.ا. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتستیک)، انتشارات دانشگاه تهران.

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

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

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 EPA Report, 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 for karst 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, Hamid Mansourian<sup>۱</sup>

### 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

---

<sup>۱</sup>Managing Director of Hidropay Consulting Engineer, corresponding Author 09153221841

v.yazdany@yahoo.com

<sup>۲</sup>Master of Civil Water Engineering .mansourian.h@gmail.com