

ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت میمه اصفهان با استفاده از روشهای تطبیقی DRASTIC، GODS و AVI

الهه محمودزاده^{۱*}، سحر رضایان^۲، آزاده احمدی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان

s_rezaian@yahoo.com

۲- استادیار گروه محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

aahmadi@cc.iut.ac.ir

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۹ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۱۵

چکیده

این تحقیق با هدف پهنه‌بندی آسیب پذیری آبخوان میمه با استفاده از روشهای DRASTIC، GODS و AVI و مقایسه پهنه‌بندی‌ها در سه روش مذکور انجام شده است. روش DRASTIC از ترکیب هفت مشخصه هیدروژئولوژیک قابل اندازه‌گیری و مؤثر در انتقال آلودگی به آبهای زیرزمینی تشکیل شده است. روش GODS، از ترکیب چهار مشخصه و روش AVI نیز دارای دو مشخصه است. نتایج حاصل از روش DRASTIC که تقریباً کاملترین شاخص برای ارزیابی نیروی آسیب پذیری آبهای زیرزمینی است، محدوده آسیب‌پذیری کم را ۴۴/۷۶ درصد و آسیب‌پذیری متوسط را ۵۵/۲۴ درصد، برآورد کرده است. نتایج روش GODS، حاکی از آن است که آبخوان میمه در دو کلاس آسیب‌پذیری کم و متوسط به ترتیب با ۷۱/۵۸ و ۲۸/۴۲ درصد قرار دارد. نتایج روش AVI نیز نشان می‌دهد که ۵۴/۳۲ درصد از آبخوان دارای نیروی آلودگی کم و ۴۵/۶۸ درصد از آن دارای نیروی آلودگی متوسط است. مقایسه نتایج سه روش مذکور نشان می‌دهد که روش DRASTIC آسیب‌پذیری آبخوان را بیشتر از دو روش دیگر ارزیابی کرده است. همچنین دو هر سه روش، نیروی آسیب پذیری ذاتی آبخوان میمه در محدوده‌های آسیب پذیری کم و متوسط ارزیابی شده، ولی حدود گسترش محدوده‌های آسیب‌پذیری متفاوت است و مدل DRASTIC به طور دقیق‌تری محدوده‌های مختلف آسیب پذیری را مشخص کرده است. دلیل آن مشخصه‌های بیشتر و وزن دهی متفاوت مشخصه‌ها بر اساس نقش آنها در تعیین آلودگی است.

کلید واژه

آبخوان، روش DRASTIC، آب زیرزمینی، دشت میمه اصفهان

سر آغاز

آسیب پذیری آبهای زیرزمینی شاخصی تعریف می‌شود، برای پهنه‌هایی که شاخص آن بزرگتر باشد، نیروی آلودگی در آنها بیشتر است. بدین ترتیب می‌توان مناطق مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد و معیاری واحد برای ارزیابی در اختیار داشت. مفهوم "توانایی آسیب پذیری آبهای زیرزمینی" اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ در فرانسه برای هشدار درباره آلودگی آب ارائه شد (Vrba & Zaporozec, 1994). نیاز به تهیه نقشه‌های آسیب پذیری آبخوان‌ها در مقابل آلاینده‌ها، روز به روز افزایش می‌یابد، زیرا از طرفی آبهای زیرزمینی منبع اصلی تأمین آب آشامیدنی هستند و از طرف دیگر فعالیت‌های زیاد انسانی و اقتصادی مانند فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و فعالیت‌های خانوارها، عوامل اصلی، و یا بالقوه تأثیرگذار بر آلودگی آبهای زیرزمینی است (Rahman, 2008).

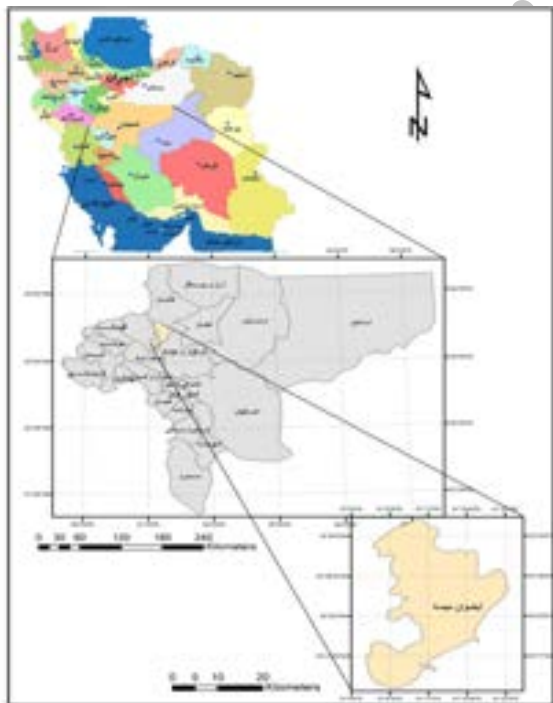
سفره‌های آب زیرزمینی، به عنوان یکی از مهمترین منابع آبی آسیب پذیر، به شکل‌های مختلف در معرض آلودگی قرار دارند که تشخیص و کنترل آلودگی در آنها نسبت به آبهای سطحی مشکل‌تر و پرهزینه‌تر است. همچنین، به دلیل استمرار آلودگی در این منابع، بهترین روش جلوگیری از آلودگی آنها، شناسایی منابع آلوده‌کننده و مناطق آسیب پذیر، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب پذیری و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب است. یکی از ابزارهای مناسب که کمک مؤثری به مدیریت آبهای زیرزمینی می‌کند، تهیه نقشه‌هایی است که در آنها مناطق آسیب پذیر یا حساس به آلودگی مشخص شده باشند. بدین منظور نقشه‌هایی از مناطق حساس و مستعد نسبت به بروز آلودگی تهیه می‌شود. در روشهای موجود برای ارزیابی

همچنین غرب حوضه حساسترین منطقه نسبت به مشخصه تغذیه خالص است و این در حالی است که شرق و مرکز حوضه فاقد تغییرات شدیدی در شاخص آسیب‌پذیری در مقابل مشخصه تغذیه است. هدف از این مطالعه، تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی در آبخوان میمه با استفاده از سه روش پر کاربرد DRASTIC، GODS، AVI و مقایسه نتایج و انتخاب بهترین روش است. با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه که برای فعالیت‌های شرب، کشاورزی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدیریت هرچه بهتر منابع آبی ضروری است.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

آبخوان میمه، در زون ۳۹ شمالی قرار گرفته و در محدوده عرض‌های جغرافیایی ۳۷۱۸۰۵۱/۰۵۹ و ۳۶۷۵۶۵۰/۱۰۴ و طول‌های جغرافیایی ۵۰۳۲۰۱/۹۶۳ و ۵۳۴۷۷۵/۳۳۴ است. بخش میمه در شمالی‌ترین قسمت استان اصفهان، در فاصله ۸۵ کیلومتری از مرکز استان و در کنار اتوبان اصفهان - تهران قرار دارد. شکل شماره (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی آبخوان میمه دارای وسعت ۶۷۳/۵ کیلومتر مربع است و مربوط به حوزه آبخیز دستکن (از شاخه‌های زاینده رود و حوضه آبخیز زاینده رود) است. این حوزه از سطح آزاد دریا به طور

در تمامی روشها، آسیب‌پذیری آبخوان براساس انتقال آلودگی از سطح زمین به لایه آبدار برآورد می‌شود. تفاوت این روشها در تعداد مشخصه‌های استفاده شده در ارزیابی نیروی آلودگی و امتیازات مربوط به هر مشخصه است. در کشورهای مختلف جهان ارزیابی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی با روشهای مختلف و به طور عمده به وسیله روش DRASTIC انجام شده است. در جنوب کشور اسپانیا (Vias, et al., 2006)، ارزیابی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی به چهار روش COP¹، DRASTIC²، GOD³، AVI⁴ انجام گردیده و مقایسه نتایج نشان می‌دهد که پهنه‌های آسیب‌پذیری دو روش GOD و DRASTIC بسیار نزدیک به هم است. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوانی در جنوب ایتالیا (Polemio, et al., 2009) با روشهای DRASTIC EPIK⁵، GOD و SINTACS⁶ انجام شده است. در روش DRASTIC منطقه دارای آسیب‌پذیری کم و بیشتر متوسط ارزیابی شده است. در روش GOD، کل منطقه، در محدوده آسیب‌پذیری کم قرار دارد و پیشنهاد شده که این روش برای ارزیابی آسیب‌پذیری مناطقی که داده‌های کمی برای استفاده در مدل وجود ندارد، استفاده شود. در جنوب اردن آبهای زیرزمینی منطقه (Al-Adamat, et al., 2010) با استفاده از شاخص DRASTIC ترکیب با تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی و آزمایش‌های آبشویی ناشی از خاکسترهای سوختن چاه‌های نفت، ارزیابی شد. بر این اساس بیشتر منطقه در محدوده آسیب‌پذیری متوسط قرار گرفت. در ایران تحقیقی با هدف پهنه بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوین با روشهای DRASTIC و GODS انجام شده است. آسیب‌پذیری این آبخوان در دو گروه کم و متوسط قرار می‌گیرد و مقایسه نتایج این دو روش نشان می‌دهد که روش DRASTIC آسیب‌پذیری را کمتر از روش GODS برآورد کرده است (خدایی و همکاران، ۱۳۸۵). نیروی آلودگی دشت باغملک با استفاده از روشهای DRASTIC، GOD و AVI مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این تحقیق نتایج حاصل از سه روش مذکور با هم مقایسه شده و آمده است که مدل DRASTIC به طور دقیق‌تری محدوده‌های مختلف دارای نیروی آلودگی را مشخص کرده است (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۶).

آبهای زیرزمینی حوضه آبریز زاینده‌رود به روش DRASTIC، مورد ارزیابی قرار گرفته و نقشه شاخص آسیب‌پذیری منطقه تهیه شده است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۱). در این بررسی تغذیه خالص در سه وضعیت حداقل، حداکثر و متوسط در نظر گرفته شده و ۵۰ درصد حوضه در محدوده آسیب‌پذیری کم قرار گرفته است.

خالص (R)³، محیط آبخوان (A)⁴، محیط خاک (S)⁵، توپوگرافی یا شیب سطح زمین (T)⁶، مواد تشکیل دهنده زون غیر اشباع (I)⁷ و هدایت هیدرولیکی (C)⁸ است، تشکیل شده است (آزاد شهری و همکاران، ۱۳۸۹). این مشخصه‌ها در محیط نرم افزار GIS به صورت هفت لایه ظاهر می‌شود. برای تعیین اهمیت نسبی هر کدام از عوامل هفتگانه استفاده شده در مدل، هر مشخصه نسبت به سایر عوامل ارزیابی می‌شود، به طوری که به هر کدام با توجه به اهمیت تأثیر در آلودگی سیستم آب زیرزمینی یک وزن نسبی^۹، از یک تا پنج، تعلق می‌گیرد که نشان دهنده اثر نسبی هر مشخصه بر انتقال آلودگی در آبهای زیرزمینی است (احمدی و آبرومند، ۱۳۸۸؛ اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۸). در این مدل به بازه‌های هر یک از مشخصه‌های هیدرولوژیک نیز یک رتبه^{۱۰} از یک تا ده بر اساس تأثیر آنها بر آسیب‌پذیری، اختصاص داده می‌شود و به استفاده کننده از مدل این امکان را می‌دهد که مدل دراستیک را با ناحیه مورد مطالعه همسنگ کنند. در رتبه‌ها، عدد بیشتر از ۸ برای حوضه‌هایی با آبریزی بیشتر مانند توده‌های آبی و آبخوان‌های دارای شن درشت، تعیین شده است. این به دلیل آن است که در این مناطق آلودگی به آسانی به آبهای زیرزمینی وارد شده و آسیب‌پذیری بیشتری در برابر آلودگی وجود دارد (Rahman, 2008). در این روش وزن‌های عددی هر مشخصه، با استفاده از روش دلفی^{۱۱} پایه‌ریزی شده است. در روش دلفی از کارشناسان رشته هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی خواسته شده که میزان خطر مربوط به فعالیت‌های خاصی را تعیین کنند که تحت تأثیر مجموعه‌ای از شرایط اولیه انجام شود را تعیین کنند. (Rahman, 2008). در پایان پس از جمع‌آوری و رقومی کردن اطلاعات هیدروژئولوژیکی، هفت عامل نامبرده که نیروی آلودگی را کنترل می‌کنند، برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری با یکدیگر همپوشانی و تلفیق می‌شوند و یک لایه جدید به نام شاخص دراستیک^{۱۲}، طبق رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$\text{DRASTIC index} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (1)$$

در این رابطه حروف D, R, A, S, T, I, C، مشخصه‌های تأثیرگذار در مدل دراستیک و اندیس‌های I و W به ترتیب رتبه و وزن هر مشخصه هستند، بنابراین شاخص آسیب‌پذیری ذاتی در این روش از حاصل ضرب وزن هر مشخصه در رتبه آن به دست می‌آید (اخوان، ۱۳۸۹؛ احمدی و آبرومند، ۱۳۸۸؛ Al-Adamat, et al., 2003).

متوسط ۱۹۶۵ متر ارتفاع دارد و به عنوان بلندترین دشت جلگه‌ای استان اصفهان شناخته شده. دشت میمه از لحاظ آب و هوایی منطقه‌ای است نیمه خشک که دارای تابستان‌های کم‌وبیش گرم و خشک و زمستان‌های سرد است و از نظر اقلیم شناسی جزء مناطق استپی و سرد کشور است. متوسط بارندگی سالانه در منطقه میمه حدود ۲۵۰-۳۰۰ میلی‌متر در سالهای پرباران و در سالهای کم باران حداکثر ۱۸۹ میلی‌متر و به طور متوسط ۱۶۲/۷ میلی‌متر ثبت شده است. گردنه ونداده با شیب نسبتاً تنیدی در جنوب دشت میمه و گردنه قرقچی با شیب بسیار تند در شمال دشت میمه واقع شده اند. این دو گردنه کلیه نزولات آسمانی را به مرکز حوزه آبخیز در پست ترین نقطه این دشت (چاله سیاه علی آباد) هدایت می‌کنند. این ساختمان طوری ایجاد شده است که از اطراف به مرکز دشت، نزولات جوی زهکش می‌شود، به طوری که می‌توان محل استقرار شهرهای میمه، وزوان و تعدادی از روستاهای تابعه را آثاری از زهکش‌های آبهای سطحی دانست که طی سالهای متمادی بوجود آمده‌اند. به استناد نتایج حفاری چاههای اکتشافی و مطالعات هیدرولوژی و ژئوفیزیکی در منطقه آبخوان میمه دو سفره آبدار وجود دارد که جنس بستر آنها در دامنه کوههای غربی، قلوه سنگ و شن‌های درشت دانه و گاهی کمی رس و در نواحی مرکزی، شن و ماسه و در نواحی جنوبی از ماسه‌های ریزدانه تشکیل شده است. در منطقه مورد مطالعه آب روان و جاری به شکل رودخانه، و یا چشمه وجود ندارد و آبهای زیرزمینی از طریق قنات و چاههای عمیق و نیمه عمیق برای کشاورزی و گاهی از طریق چاههای دستی، برای مصارف خانگی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند (معینیان، ۱۳۸۶).

روش DRASTIC

مدل دراستیک مدل رتبه بندی عددی است که اولین بار در سال ۱۹۸۷ آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA)⁷ و انجمن چاههای آب آمریکا (AWWA)⁸ برای ارزیابی نیروی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی ایالات متحده مطرح و براساس مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی^۱ استوار است (احمدی و آبرومند، ۱۳۸۸؛ رنگزن و همکاران، ۱۳۸۷؛ Al-Adamat et al., 2003). وضعیت هیدروژئولوژیکی در واقع مبین ترکیبی از همه شاخص‌های زمین شناسی و هیدرولوژیکی است که حرکت آبهای زیرزمینی را در یک منطقه کنترل می‌کند. این مدل از ترکیب هفت مشخصه هیدروژئولوژیک قابل اندازه‌گیری و مؤثر در انتقال آلودگی به آبهای زیرزمینی که شامل عمق آب زیرزمینی (D)²، تغذیه

مشخصه‌های مدل DRASTIC

۱- عمق سطح ایستابی: عمق آب زیرزمینی یکی از عوامل مهم در کنترل توانایی آلاینده برای رسیدن به آبخوان است. این مشخصه تعیین کننده عمقی است که آلوده کننده باید طی کند تا به سطح ایستابی برسد و اهمیت زیادی دارد (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۸؛ خدایی و همکاران، ۱۳۸۵). هرچه عمق سطح ایستابی بیشتر باشد زمان بیشتری طول می کشد تا مواد آلاینده به آب های زیرزمینی برسند، بنابراین سطوح ایستابی عمیق تر شانس آلودگی کمتری دارند. استانداردهای رتبه بندی و وزن دهی مشخصه عمق سطح ایستابی در جدول شماره (۱) ذکر شده است. نقشه عمق سطح ایستابی با درون یابی نقاط حاصل از میانگین عمق سطح ایستابی پیژومترها برای یک دوره ۸ ساله (۸۲ تا ۱۳۸۹) در محیط نرم افزار Arc GIS با استفاده از روش کریجینگ به دست آمد.

جدول شماره (۱): رتبه بندی و وزن دهی عمق سطح ایستابی

عمق سطح ایستابی	
رتبه	محدوده (متر)
۱۰	۰-۱/۵
۹	۱/۵-۴/۵
۷	۴/۵-۹
۵	۹-۱۵
۳	۱۵-۲۳
۲	۲۳-۳۰
۱	> ۳۰
وزن نسبی: ۵	

(منبع: Aller, et al., 1987)

۲- تغذیه خالص آبخوان: عامل بسیار مهمی برای نفوذ و انتقال آلاینده ها از منطقه غیر اشباع به منطقه اشباع است و آلاینده های جامد و مایع را به سطح آب برده و همچنین می تواند سطح آب را افزایش دهد (Rahman, 2008). تغذیه بیشتر سرعت بالاتری را برای انتقال آلاینده ها به سطح آب زیرزمینی فراهم می آورد. هرچه

جدول شماره (۲): رتبه بندی و وزن دهی مشخصه تغذیه خالص

میزان تغذیه		نفوذپذیری خاک		بارندگی		شیب	
محدوده	فاکتور	محدوده	فاکتور	بارش (میلیمتر)	فاکتور	شیب (درصد)	فاکتور
۱۱-۱۳	۱۰	زیاد	۵	> ۸۵۰	۴	< ۲	۴
۹-۱۱	۸	متوسط تا زیاد	۴	۷۰۰-۸۵۰	۳	۲-۱۰	۳
۷-۹	۵	متوسط	۳	۵۰۰-۷۰۰	۲	۱۰-۳۳	۲
۵-۷	۳	کم	۲	< ۵۰۰	۱	> ۳۳	۱
۳-۵	۱	خیلی کم	۱				

(منبع: Piscopo, 2001)

تغذیه زیادتر باشد، آسیب پذیری آب زیرزمینی به علت احتمال انتقال بیشتر آلاینده ها، بیشتر می شود. برای تهیه لایه تغذیه از روش پیسکوپو^{۱۳} (۲۰۰۱)، استفاده شد. پیسکوپو مشخصه تغذیه خالص را بر اساس میزان بارندگی، شیب و نفوذپذیری خاک منطقه، جایگزین روش ارائه شده به وسیله آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده کرد (Piscopo, 2001). معادله پیسکوپو به صورت رابطه شماره (۲) است:

(۲) نمره نفوذپذیری خاک + نمره بارندگی + نمره درصد شیب = نمره تغذیه .
برای محاسبه میزان تغذیه، یک مدل رقومی ارتفاعی (DEM)^{۱۴} از منطقه تهیه شد (با استفاده از نقشه هایی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور)، سپس شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از معیارهای جدول شماره (۲) طبقه بندی شد. نفوذپذیری خاک نیز با استفاده از روشهای مختلف صحرائی و آزمایشگاهی مشخص می شود که بستگی زیادی به شرایط فیزیکی خاک سطحی دارد و بر این اساس نقشه مربوط به نفوذپذیری خاک منطقه تهیه و سپس طبق معیارهای جدول شماره (۲) رده بندی شد. در پایان تمام نقشه ها به فرمت رستری تبدیل شد. نقشه مربوط به لایه تغذیه، با همپوشانی نقشه شیب و نفوذ پذیری خاک به همراه نمره بارندگی منطقه که در مورد منطقه مورد مطالعه برابر یک است (با توجه به اطلاعات هواشناسی ثبت شده مربوط به منطقه) تهیه شد. در نهایت برای به دست آوردن رتبه واقعی تغذیه از معیارهای جدول شماره (۲) استفاده شد.

۳- محیط آبخوان: شامل فضاهای خالی و شکستگی هایی

است که آب را در خود نگه داشته و عبور می دهند. بنابراین مواد تشکیل دهنده آبخوان بر جریان درون آن تأثیر می گذارد. این مسیر، جریان حرکت آلاینده ها را از طریق این محیط تعیین می کند.

با استفاده از نرم افزار GIS به صورت رستر، بر اساس روش دراستیک و جدول شماره (۴) نمره دهی شد.

جدول شماره (۴): رتبه بندی و وزن دهی مشخصه محیط خاک

محیط خاک	
رتبه	محدوده
۱۰	فاقد خاک یا نازک لایه بودن خاک
۱۰	گراول
۹	ماسه
۸	کود گیاهی ^{۱۵}
۷	رس فشرده یا متراکم
۶	لوم ماسه ای
۵	لوم
۴	لوم سیلتی
۳	لوم رس دار
۲	کود (سرگین) ^{۱۶}
۱	رس غیر متراکم
وزن نسبی: ۲	

(منبع: Aller, et al., 1987)

۵- توپوگرافی: به تغییرات شیب سطح زمین اشاره دارد. شیب افزون بر این که بر حرکت و نفوذ آبهای سطحی و آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارد، بر گسترش خاک و در نتیجه بر میرایی آنها نیز مؤثر است. پس هر چه شیب کمتر باشد زمان تماس آبهای سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین بیشتر و آلوده کننده‌ها شانس بیشتری برای نفوذ به آبخوان داشته، به طوری که مناطق دارای شیب کمتر، آسیب پذیری بیشتری دارند. برای تهیه لایه شیب از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ استفاده و بر اساس جدول شماره (۵) نمره دهی شد.

جدول شماره (۵): رتبه بندی و وزن دهی مشخصه توپوگرافی

توپوگرافی	
رتبه	محدوده (درصد)
۱۰	۰ - ۲
۹	۲ - ۶
۵	۶ - ۱۲
۳	۱۲ - ۱۸
۱	> ۱۸
وزن نسبی: ۱	

(منبع: Aller, et al., 1987)

۶- محیط غیر اشباع: شامل قسمت قرار گرفته بین سطح ایستابی و محیط خاک است که اساساً غیر اشباع، و یا به طور ناپیوسته اشباع است. جذب در محیط غیر اشباع یکی از سازوکارهای عمده بازدارندگی مهاجرت آلاینده‌هاست و عبور و رقیق شدن مواد آلاینده را به منطقه اشباع کنترل می‌کند. تأثیر منطقه غیر اشباع در

به عبارتی محیط آبخوان و مواد تشکیل دهنده آن چگونگی روند جریان حاکم بر سیستم آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می‌کند. برای تولید لایه مربوط به محیط آبخوان از لوگ پیزومترها، لوگ چاههای اکتشافی موجود در منطقه موقعیت جغرافیایی لوگ‌ها، نوع و جنس محیط آبخوان مشخص شد (شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۳۸۸). بدین نحو که برحسب نسبت جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان در هر چاه، رتبه‌هایی بر اساس جدول شماره (۳) به هر نقطه اختصاص داده شد و سپس پلی‌گون‌های مربوط به نقشه محیط آبخوان، توسط نرم افزار GIS تهیه و نقشه نرخ بندی شده محیط آبخوان به فرمت رستری و اندازه سلول ۱۰ متر در تمام مشخصه‌ها (سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۸۶) تهیه شد.

جدول شماره (۳): رتبه بندی و وزن دهی مشخصه محیط آبخوان

محیط آبخوان	
رتبه	محدوده
۱-۳	شیل توده ای
۲-۳	سنگ آذرین یا دگرگونی
۳-۵	سنگ آذرین یا دگرگونی هوازده
۴-۶	رسوبات یخچالی
۵-۹	ماسه سنگ لایه لایه، سنگ آهک و توالی شیل ها
۴-۹	ماسه سنگ توده ای
۴-۹	سنگ آهک توده ای
۴-۹	ماسه و گراول
۲-۱۰	بازالت
۹-۱۰	سنگ آهک کارستی
وزن نسبی: ۳	

(منبع: Aller, et al., 1987)

۴- محیط خاک: به بخش هوازده بالای منطقه غیر اشباع گفته می‌شود. این بخش از لحاظ فعالیت‌های بیولوژیکی و وجود مواد آلی بسیار دارای اهمیت است و برای حذف و کاهش غلظت آلاینده‌ها از نیروی بالایی برخوردار است. وجود مواد با بافت ریز مانند سیلت و رس، درصد مواد آلی و ضخامت خاک بیشتر، تراوایی خاک را کاهش می‌دهد و برعکس مواد دانه درشت تر مانند شن، نفوذ پذیری خاک و در نتیجه توانایی انتقال آلاینده‌ها را به سیستم آب زیرزمینی افزایش می‌دهد. این لایه با توجه به اطلاعات اخذ شده از نقشه ارزیابی منابع و توانایی اراضی (ارایه شده توسط معاونت فنی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری اصفهان، با توجه به اطلاعات موسسه تحقیقات خاک و آب) و همچنین اطلاعات لوگ چاههای مشاهده‌ای و آرای کارشناسی تهیه شد و سپس پلی‌گون‌ها

آب، نقشه ضخامت اشباع حاصل شد و بعد از تقسیم نقشه ضریب توانایی انتقال بر نقشه ضخامت اشباع آبخوان، نقشه هدایت هیدرولیکی دشت به دست آمد. نقشه حاصل با توجه به جدول شماره (۷) نمره دهی شد.

جدول شماره (۷): رتبه بندی و وزن دهی هدایت هیدرولیکی

هدایت هیدرولیکی	
رتبه	محدوده (متر بر روز)
۱	۰/۰۴-۴/۱
۲	۴/۱-۱۲/۳
۴	۱۲/۳-۲۸/۷
۶	۲۸/۷-۴۱/۰
۸	۴۱/۰-۸۲/۰
۱۰	>۸۲/۰
وزن نسبی: ۳	

(منبع: Aller, et al., 1987)

پس از تهیه مشخصه‌های مورد نیاز برای ارزیابی آسیب‌پذیری به روش دراستیک اقدام به تهیه نقشه آسیب‌پذیری می‌شود. در این روش از تلفیق مشخصه‌های هفت گانه بر اساس رابطه شماره (۱) شاخص آسیب‌پذیری به دست می‌آید. کلاس بندی و ارزش گذاری کلاس‌های مربوط به هر کدام از مشخصه‌ها بر اساس روش استاندارد دراستیک (Aller, et al., 1987)، در محیط GIS، انجام می‌شود. با تلفیق مشخصه‌ها، نتیجه حاصل شبکه‌ای است که بر اساس جدول شماره (۸) طبقه بندی می‌شود. در این لایه سلول‌های دارای اعداد بزرگتر بیان‌کننده مناطقی هستند که نیروی آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی در مقابل آلودگی در آنها بیشتر است و سلول‌های دارای ارزش عددی کمتر آسیب‌پذیری ذاتی کمتری دارند. پس از تهیه هفت لایه مربوط به مشخصه‌های مدل دراستیک در محیط GIS، برای تلفیق نقشه‌های آماده شده از دستور Raster Calculator در جعبه ابزار Spatial Analyst، استفاده می‌شود. با استفاده از این ماشین حساب رستری هر لایه در ضریب خود ضرب و سپس تمام لایه‌ها با یکدیگر جمع شد. در پایان پهنه‌های آسیب‌پذیری بر اساس این روش کلاس بندی شد.

جدول شماره (۸): رتبه بندی شاخص آسیب‌پذیری دراستیک

شاخص آسیب‌پذیری دراستیک	
رتبه	محدوده
آسیب‌پذیری کم	۱-۱۰۰
آسیب‌پذیری متوسط	۱۰۱-۱۴۰
آسیب‌پذیری زیاد	۱۴۱-۲۰۰
آسیب‌پذیری خیلی زیاد	> ۲۰۰

(منبع: Almasri, 2008)

آلودگی آبخوان، مشابه محیط خاک استنبوده و به نفوذ پذیری مواد تشکیل‌دهنده و خصوصیات محیط غیر اشباع بستگی دارد. برای تولید این مشخصه در مدل، روشی مشابه با مشخصه محیط آبخوان استفاده می‌شود. با این تفاوت که در این مورد دانه بندی و خصوصیات رسوبات مابین سطح آب زیرزمینی و سطح زمین مورد توجه قرار می‌گیرد. برای تهیه لایه مربوط به محیط غیر اشباع از راهنمای لوگ چاه‌های موجود در منطقه استفاده و بر پایه جدول شماره (۶) رتبه بندی شد.

جدول شماره (۶): رتبه بندی و وزن دهی محیط غیر اشباع

محیط غیر اشباع	
رتبه	محدوده
۱	لایه محبوس‌کننده
۲-۶	سیلت، رس
۲-۵	شیل
۲-۷	سنگ آهک
۴-۸	ماسه سنگ
۴-۸	سنگ آهک لایه لایه، ماسه سنگ و شیل
۴-۸	ماسه و گراول با تداخل سیلت و رس
۲-۸	سنگ آذرین یا دگرگونی
۶-۹	ماسه و گراول
۲-۱۰	بازالت
۸-۱۰	سنگ آهک کارستی
وزن نسبی: ۵	

(منبع: Aller, et al., 1987)

۷- هدایت هیدرولیکی: توانایی مواد تشکیل‌دهنده آبخوان در انتقال آب را گویند که به درصد فضاهای خالی مرتبط به هم در لایه آبدار (تخلخل مؤثر) بستگی دارد. این مشخصه، حرکت آلاینده و پخش آن را از نقطه نفوذ تا رسیدن به منطقه اشباع کنترل می‌کند. پس، هر چه هدایت هیدرولیکی بیشتر باشد، امکان جریان یافتن آلاینده‌ها در آبخوان بیشتر خواهد بود. اطلاعات مربوط به هدایت هیدرولیکی از محاسبات آزمایش پمپاژ حاصل می‌شود (شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۳۸۹). با توجه به آن که در آزمایش‌های پمپاژ، مقدار مشخصه ضریب توانایی انتقال آب محاسبه می‌شود، با استفاده از ضخامت اشباع آبخوان، مقدار هدایت هیدرولیکی از تقسیم ضریب توانایی انتقال آب بر ضخامت اشباع آبخوان به دست آمد. مقدار و نقاط جغرافیایی مربوط به ضریب توانایی انتقال و هم ضخامت آبرفت دشت از اطلاعات و گزارش‌های موجود تهیه شد. سپس با استفاده از تابع محاسبه‌گر رستری، از تفریق نقشه هم ضخامت آبرفت و نقشه هم عمق سطح

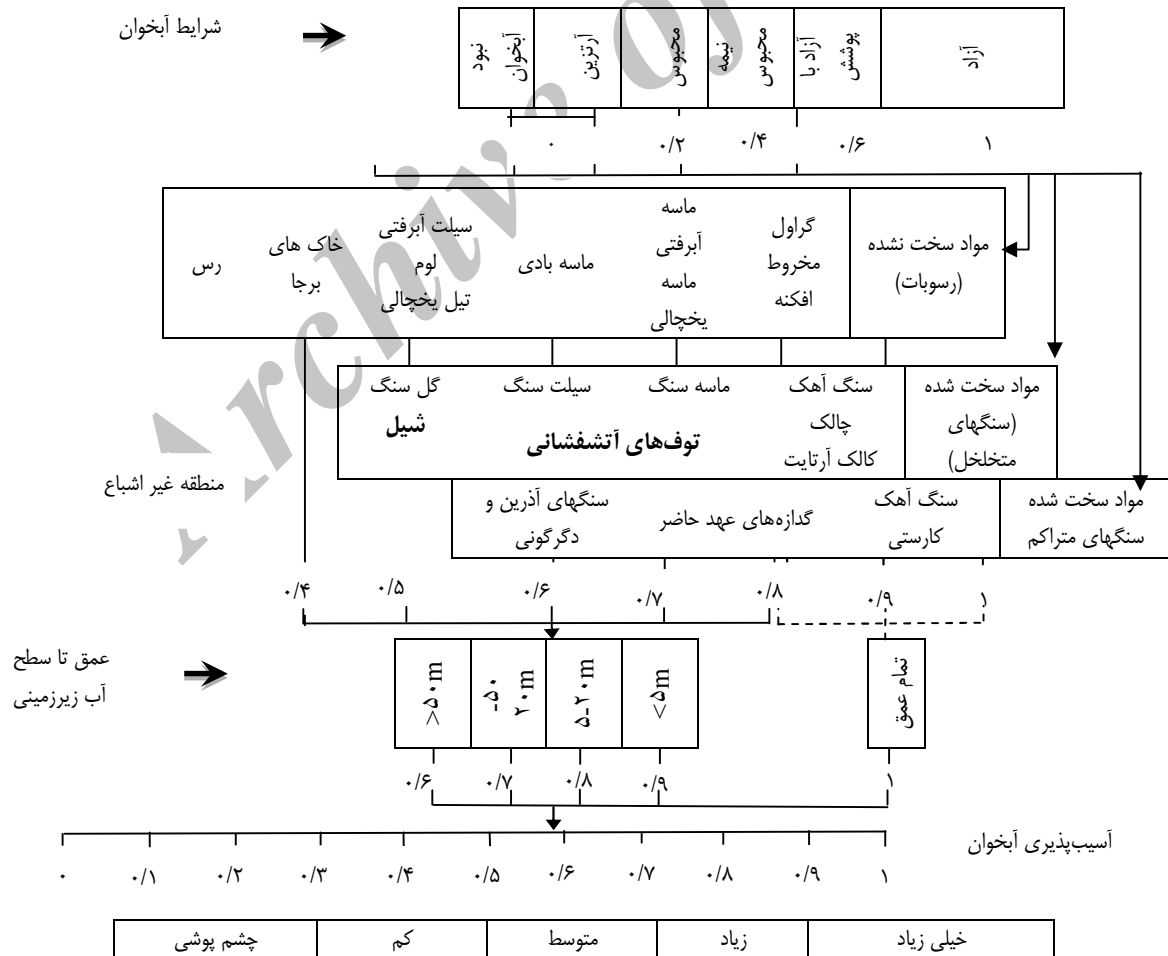
روش GODS

برخی از محققان بر این عقیده اند که با تعداد کمتری از مشخصه‌ها و با دقت بیشتر و هزینه کمتر می‌توان به نتایجی معادل دراستیک دست یافت. در راستای همین دیدگاه روش GOD ارائه شد (Chilton, et al., 1990). این مدل بسیار ساده، عملی و روشی تجربی برای ارزیابی سریع نیروی آلودگی است. شاخص آسیب‌پذیری GOD آسیب‌پذیری آبخوان را در برابر آلودگی براساس سه مشخصه وضعیت هیدرولیکی آب زیرزمینی در آبخوان^{۱۷}، لایه‌های روی منطقه اشباع بر حسب وضعیت و درجه استحکام آنها^{۱۸} (که میزان ظرفیت میرایی آلاینده‌ها را تعیین می‌کنند) و عمق تا سطح ایستابی یا عمق آب زیرزمینی در سفره‌های محبوس^{۱۹}، تعیین می‌کند. روش اولیه GOD به لایه خاک که یکی از مهمترین بخش‌های کاهش و حذف آلاینده‌هاست به طور کاملاً صریح نپرداخته بود. به همین منظور روش GODS

با لحاظ کردن مشخصه S (نشان دهنده حساسیت شست‌وشوی خاک) ارائه شده است (Paeze, et al., 1990). در این روش ارزش کلاس‌های مختلف مشخصه‌ها از صفر تا یک تغییر می‌کند و به تمامی مشخصه‌ها وزن یکسانی اختصاص داده می‌شود. شاخص آسیب‌پذیری GODS طبق معادله شماره (۳) از حاصل ضرب مشخصه‌ها به دست می‌آید.

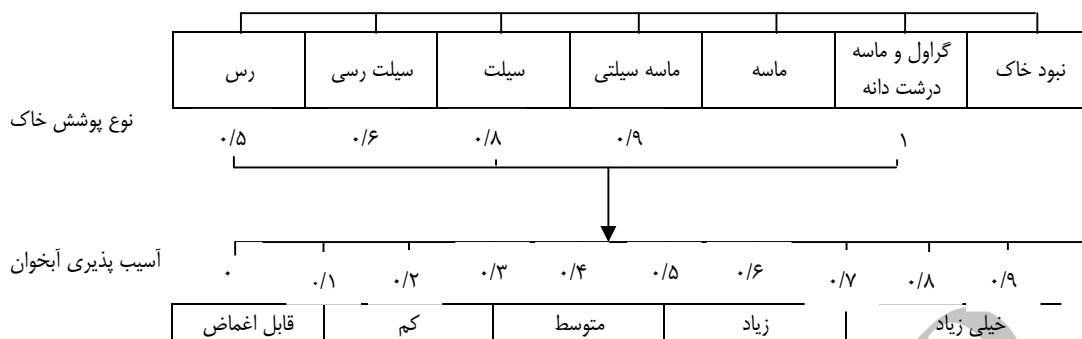
$$\text{GODS index} = G \cdot O \cdot D \cdot S \quad (3)$$

در این رابطه G، امتیاز نوع سفره آبدار O، امتیاز لیتولوژی منطقه بالای سفره آبدار D، امتیاز عمق تا سطح ایستابی و S، امتیاز نوع پوشش خاک است. نحوه تعیین محدوده و ارزش‌گذاری مشخصه‌های روش GOD در شکل شماره (۱) مشخص شده است. همچنین نحوه اعمال نوع خاک در روش GOD و تبدیل آن به شاخص GODS در شکل شماره (۲) نشان داده شده است.



شکل شماره (۱): نحوه تعیین محدوده و ارزش‌گذاری مشخصه‌های روش GOD

(منبع: Chilton, et al., 1990) شاخص GOD (۰-۱)



شکل شماره (۲): نحوه اعمال نوع خاک و تبدیل شاخص GOD به شاخص GODS

(منبع: Paez, 1990)

دراستیک از میانگین‌گیری یک دوره ۸ ساله (۸۹-۱۳۸۲) استفاده شد و با توجه به ارزشگذاری روش GODS رتبه بندی شد (شکل شماره ۱).

نوع خاک

نحوه تهیه مشخصه نوع خاک همانند روش دراستیک است ولی محدوده و ارزشگذاری رده‌ها در روش GODS متفاوت است. که در شکل شماره (۲) نشان داده شده است. از حاصل ضرب مشخصه‌های ذکر شده مربوط به روش GODS، همان‌طور که در فرمول شماره (۳) آمده، نقشه‌ای حاصل خواهد شد که ارزش عددی سلول‌های آن از صفر تا یک متغیر است. با کلاس بندی آن به پنج گروه چشم پوشی (۰/۱ - ۰)، آسیب‌پذیری کم (۰/۳ - ۰/۱)، متوسط (۰/۵ - ۰/۳)، زیاد (۰/۷ - ۰/۵)، و خیلی زیاد (۱ - ۰/۷) نقشه آسیب پذیری آبخوان تهیه می‌شود. پس از تهیه نقشه‌های نوع آبخوان، چینه‌ها یا لایه‌های منطقه غیراشباع، عمق آب زیرزمینی و نوع خاک منطقه آبخوان میمه بر اساس روش GODS، در محیط GIS با استفاده از ماشین حساب رستری، لایه‌ها در یکدیگر ضرب و نقشه نهایی مربوط به پهنه‌های آسیب‌پذیری GODS استخراج شد. سپس آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه کلاس بندی شد.

روش AVI

در روش مربوط به شاخص آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی (AVI)²⁰ از دو مشخصه برای سنجش میزان آسیب‌پذیری استفاده می‌کند که عبارتند از ضخامت هر لایه رسوبی بالای سفره آبدار (d) و هدایت هیدرولیکی تخمینی هر لایه (K). با توجه به مشخصه‌های گفته شده میزان مقاومت هیدرولیکی سفره آبدار به صورت رابطه شماره (۴) محاسبه می‌شود (Van Stempvoort, et al., 1993):

مشخصه‌های مدل GODS

نوع آبخوان

اطلاعات مربوط به نوع آبخوان با استفاده از اطلاعات نقشه منابع آب حاصل می‌شود. تعیین حدود گسترش و نوع آبخوان دشت میمه بر اساس لوگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای، بهره برداری و اکتشافی و گزارش‌ها و اطلاعات موجود صورت گرفته است. بر اساس لوگ حفاری چاه آبخوان دشت میمه از نوع آزاد است. در این روش همان‌طور که در شکل شماره (۱) نشان داده شده است، ارزشگذاری نوع آبخوان از صفر تا یک است.

چینه‌ها یا لایه‌های منطقه غیر اشباع

این مشخصه ظرفیت میرایی آلاینده‌ها را تعیین می‌کند. مشخصات و ویژگی‌های لایه غیر اشباع با استفاده از اطلاعات چاه‌های اکتشافی و یا سایر چاه‌های حفر شده در محدوده مورد مطالعه به دست می‌آید (شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۳۸۸). مشخصات لایه غیر اشباع همانند روش دراستیک می‌باشد. با این تفاوت که که ارزش رده‌های آن در روش GODS از صفر تا یک تغییر می‌کند. برای تولید لایه مربوط به منطقه غیر اشباع از راهنمای لوگ چاه‌های موجود در منطقه استفاده شد. بدین نحو که بر حسب نسبت جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان در هر چاه، رتبه‌هایی بر اساس شکل شماره (۱) به هر نقطه اختصاص داده و سپس نقشه نرخ بندی شده محیط غیر اشباع به فرمت رستری تهیه شد.

عمق آب زیرزمینی

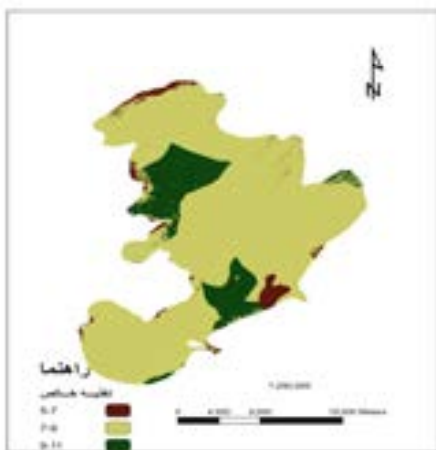
نحوه تهیه نقشه مربوط به این مشخصه، همانند روش دراستیک است ولی محدوده و ارزشگذاری رده‌ها در روش GODS متفاوت است. برای ایجاد این لایه برای آبخوان میمه مانند روش

قسمتهایی در غرب و شرق منطقه و بیشترین عمق مربوط به مرکز، شمال و جنوب است. این لایه در ۳ کلاس (۱، ۲، ۳) قرار می‌گیرد. پس آسیب‌پذیری آبخوان در قسمت‌های شرق و غرب زیاد و در قسمت‌های مرکزی، شمال و جنوب کم است.



نقشه شماره (۱): نقشه پهنه بندی عمق آب زیرزمینی

نقشه شماره (۲) تغذیه خالص آبخوان میمه را نشان می‌دهد. بر اساس روش پیسکوپو برای شاخص تغذیه حداکثر نمره ۸ و حداقل نمره ۳ به دست آمد و قسمت عمده‌ای از منطقه دارای رتبه ۵ است. پس مساحت زیادی از محدوده مطالعاتی سرعت متوسطی برای انتقال آلاینده‌ها به سطح آب زیرزمینی دارد و احتمال انتقال آلاینده‌ها به آبهای زیرزمینی وجود دارد.



نقشه شماره (۲): نقشه تغذیه خالص

طبق نقشه شماره (۳) محیط آبخوان دشت میمه دارای نمره‌های ۶ (شن با سیلت و رس) و ۷ (ماسه، شن با رس) و به میزان خیلی کم دارای نمره ۸ (ماسه و شن) می‌باشد. پس به دلیل

$$c = \sum_{i=1}^{i=n} d_i / K_i \quad (4)$$

در این رابطه c مقاومت هیدرولیکی سفره آبدار، d_i ضخامت لایه‌های بالای سفره بر حسب متر و K_i هدایت هیدرولیکی تخمینی هر لایه بر حسب متر بر روز است. مشخصه مقاومت هیدرولیکی دارای بعد زمانی است که بیان کننده زمان حرکت آب زیرزمینی از لایه لای خلل و فرج سطح فوقانی بخش اشباع به سمت پایین است.

پس از محاسبه میزان شاخص آسیب‌پذیری، از طریق مقایسه آن با جدول شماره (۹)، میزان نیروی آلودگی آب زیرزمینی مشخص می‌شود. برای تعیین نیروی آلودگی سفره آب زیرزمینی میمه به روش AVI از لوگ چاههای موجود در منطقه استفاده شد (شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۳۷۵). بر طبق پیشنهاد مؤلفان این روش (Van Stempvoort, et al., 1993)، ابتدا مقدار مشخصه مقاومت هیدرولیکی (c) برای هر کدام از چاهها محاسبه و پس از لگاریتم‌گیری از آنها، با استفاده از نرم افزار Arc GIS10 خطوط هم مقدار مقاومت هیدرولیکی آبخوان رسم شد و در پایان با استفاده از جدول شماره (۹) میزان نیروی آلودگی آبخوان مشخص و کلاس بندی شد.

جدول شماره (۹): نیروی آسیب پذیری بر اساس مقاومت

هیدرولیکی در روش AVI

نیروی آلودگی	Log c	مقاومت هیدرولیکی (c) بر حسب سال
خیلی زیاد	< ۱	۰-۱۰
زیاد	۱-۲	۱۰-۱۰۰
متوسط	۲-۳	۱۰۰-۱۰۰۰
پایین	۳-۴	۱۰۰۰-۱۰۰۰۰
خیلی پایین	> ۴	> ۱۰۰۰۰

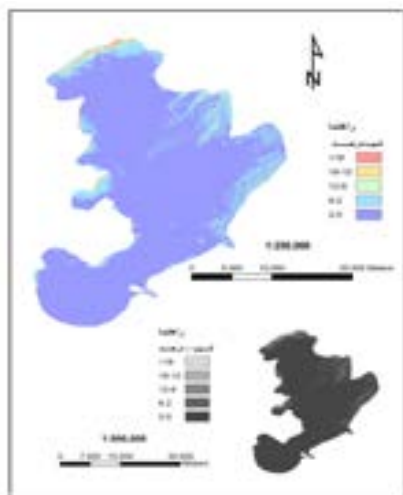
(منبع: Van Stempvoort, et al., 1993)

یافته‌ها

نتایج حاصل از روش DRASTIC

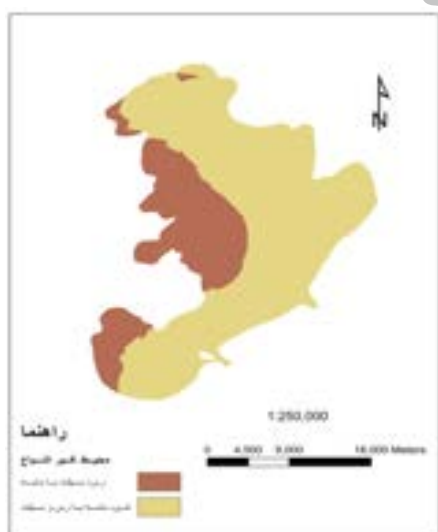
نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی آبخوان میمه در نقشه شماره (۱) نشان داده شده است. عمق برخورد به سطح ایستابی در آن از ۱۹ تا ۸۱/۵ متر از سطح زمین متغیر است. کمترین عمق مربوط به

و شانس بیشتری برای نفوذ وجود دارد و این مسئله نیروی آلودگی را در منطقه افزایش می‌دهد.



نقشه شماره (۵): نقشه کلاس بندی شده توپوگرافی

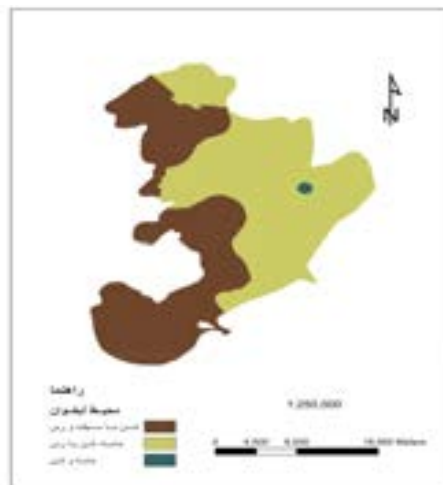
همان‌طور که در نقشه شماره (۶) مشاهده می‌شود، قسمت عمده‌ای از محیط غیر اشباع آبخوان میمه دارای رتبه ۶ (شن، ماسه با رس و سیلت) است که قسمت‌های شرقی، شمالی و جنوبی را در بر می‌گیرد و غرب آبخوان دارای رتبه ۵ (رس، سیلت با ماسه) است.



نقشه شماره (۶): نقشه پهنه بندی محیط غیر اشباع

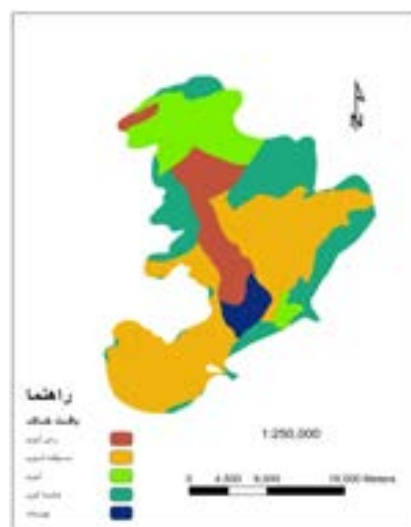
پس از شرق به غرب تأثیر منطقه غیر اشباع کاهش می‌یابد. یعنی نقش دانه بندی و خصوصیات رسوبات مابین سطح زمین و آب زیرزمینی، در مهاجرت و انتقال آلاینده‌های موجود در منطقه به آب زیرزمینی در حد متوسط بوده و نقش این مشخصه در کلاس بندی هدایت هیدرولیکی آبخوان میمه طبق نقشه شماره (۷) نشان می‌دهد که قسمت عمده آبخوان دارای هدایت هیدرولیکی $4/1-12/3$

آن که محیط آبخوان تقریباً درشت دانه است، جریان حرکت آلاینده‌ها در سیستم آب زیرزمینی آبخوان افزایش می‌یابد.



نقشه شماره (۳): نقشه پهنه بندی محیط آبخوان

خاکهای محدوده مورد مطالعه بیشتر به صورت آبرفت‌های بادبزنی شکل سنگریزه دار و بیشتر هموار است و عموماً آبرفتی و جوان و فاقد تکامل و دارای بافت سبک تا متوسط همراه با سنگریزه بوده که کم‌کم به سمت پایین از میزان سنگریزه کاسته می‌شود. با توجه به نقشه شماره (۴) قسمت اعظم منطقه دارای بافت سیلتی لوم (نمره ۴) و بعد از آن (نمره ۶) یعنی بافت ماسه لومی قرار دارد. وجود مواد با بافت ریز مثل سیلت توانایی انتقال آلاینده‌ها را از سطح خاک به سیستم آب زیرزمینی کاهش می‌دهد.

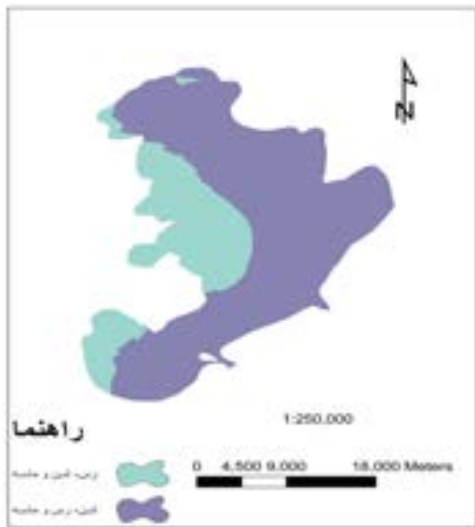


نقشه شماره (۴): نقشه پهنه بندی محیط خاک

با توجه به نقشه شماره (۵)، قسمت عمده‌ای از منطقه شیب ۰-۲ درصد (رتبه ۱۰) دارد. با توجه به شیب کم منطقه، زمان تماس آبهای سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین افزایش یافته داشته

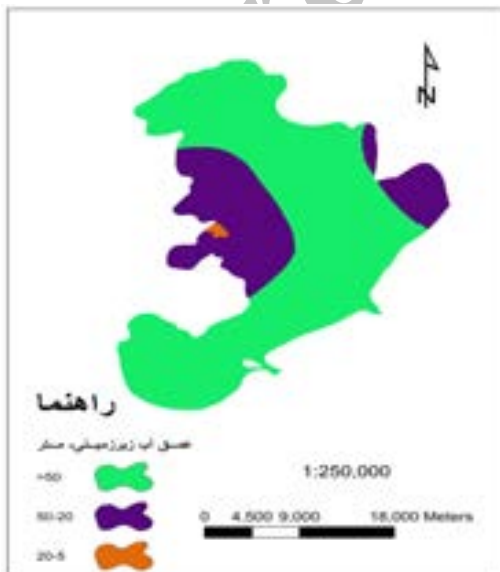
نتایج حاصل از روش GODS

نوع آبخوان میمه با توجه به اطلاعات موجود در مورد منابع آب منطقه از نوع آزاد است و کل منطقه دارای ارزش یک است. طبق نقشه شماره (۹)، قسمت عمده‌ای از ناحیه غیر اشباع (شرق و شمال و جنوب) دارای رتبه ۰/۶ (شن، رس و ماسه) و قسمت‌های غربی دارای رتبه ۰/۵ (رس، شن و ماسه) است.



نقشه شماره (۹): نقشه پهنه بندی لایه های منطقه غیر اشباع

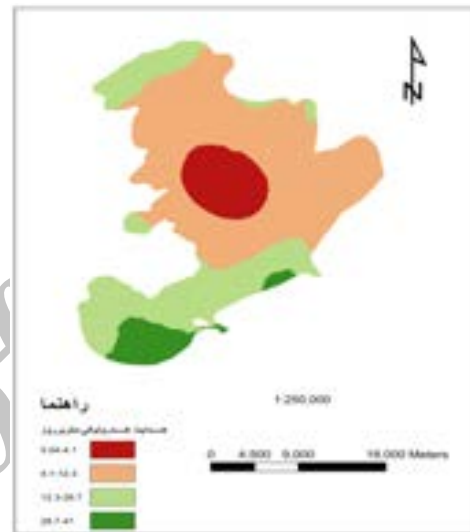
نقشه شماره (۱۰) نشان دهنده لایه عمق آب زیرزمینی بعد از ارزشگذاری است. این لایه در آبخوان میمه در ۳ کلاس (۰/۸، ۰/۷، ۰/۶) قرار می‌گیرد. در قسمت عمده‌ای از آبخوان، عمق آب زیرزمینی بالای ۵۰ متر است.



نقشه شماره (۱۰): نقشه پهنه بندی مشخصه عمق

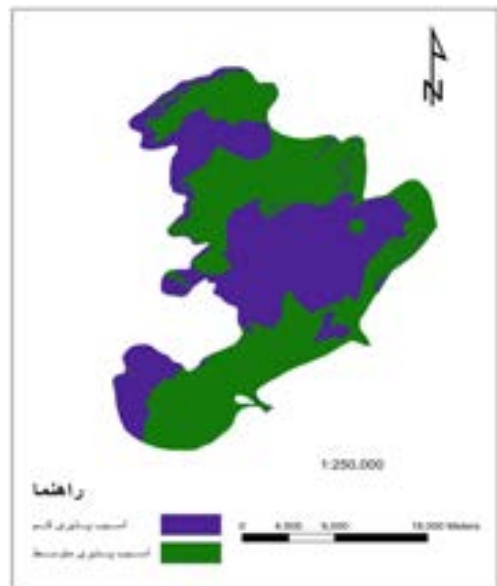
آب زیرزمینی

متر بر روز یعنی نمره ۲ است و بعد از آن رتبه ۴ (هدایت هیدرولیکی ۱۲/۳-۲۸/۷ متر بر روز) قرار دارد. یعنی توانایی مواد تشکیل دهنده آبخوان میمه در قسمت های زیادی از منطقه برای انتقال آب تقریباً کم است و این مسئله امکان جریان آلاینده‌ها و پخش آنها را در سفره آبدار کاهش داده و آسیب پذیری را کم خواهد کرد. این حالت در قسمت‌های مرکزی، شرقی و غربی آبخوان وجود دارد.



نقشه شماره (۷): نقشه پهنه بندی هدایت هیدرولیکی

نقشه مربوط به شاخص دراستیک آبخوان میمه در نقشه شماره (۸) نشان داده شده است. در این روش نیروی آسیب‌پذیری در محدوده ۱۲۸-۷۵ (آسیب‌پذیری کم و متوسط) قرار می‌گیرد.



نقشه شماره (۸): نقشه پهنه آسیب پذیری به روش دراستیک

هیدرولیکی تخمینی هر لایه، محاسبه و پس از لگاریتم گیری، با استفاده از نرم افزار Arc GIS 10 برای کل آبخوان، میان یابی شد. در این روش نیروی آسیب پذیری آبخوان میمه در محدوده ۳-۱ یعنی آسیب پذیری کم و متوسط قرار دارد. نقشه شماره (۱۳) نتایج پهنه بندی آسیب پذیری به روش AVI را نشان می دهد.

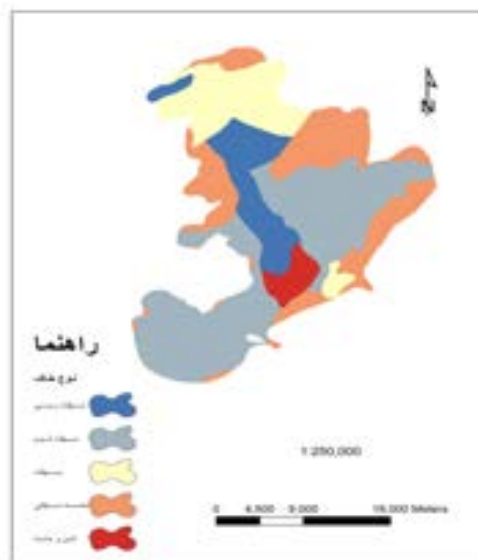


نقشه شماره (۱۳): پهنه بندی آسیب پذیری به روش AVI

بحث و نتیجه گیری

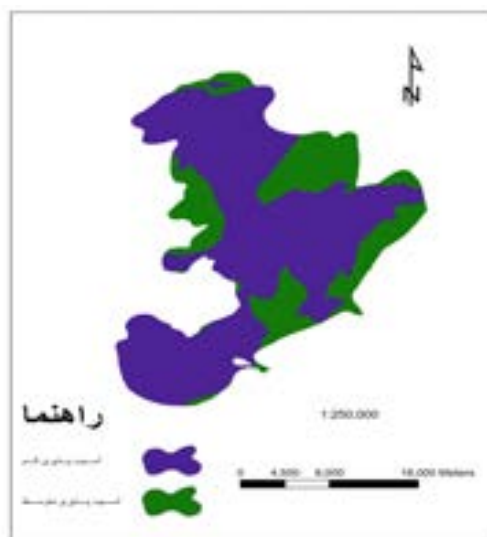
نتایج حاصل از مدل دراستیک که تقریباً کامل ترین شاخص برای ارزیابی نیروی آسیب پذیری آبهای زیرزمینی است، نشان می دهد که آسیب پذیری آبخوان میمه در دو محدوده آسیب پذیری کم و متوسط به ترتیب با نسبت های ۴۴/۷۶ و ۵۵/۲۴ درصد قرار می گیرد. قسمت های جنوبی، شمالی و مرکزی آبخوان دارای آسیب پذیری متوسط هستند. علت افزایش آسیب پذیری قسمت های ذکر شده را می توان در منطقه غیر اشباع این محدوده ها که از رسوبات آبرفتی و رودخانه ای با میزان زیاد ماسه و شن و رس کمتر است جستجو کرد. همچنین نفوذ پذیری متوسط تا زیاد این محدوده ها باعث افزایش تغذیه خالص شده است. باید گفت که شیب خیلی کم قسمت های مرکزی آبخوان نیز می تواند عاملی مؤثر در بالا رفتن نیروی آسیب پذیری این نواحی باشد. نتایج حاصل از مدل GODS، حاکی از آن است که آبخوان میمه در دو کلاس آسیب پذیری کم با ۷۱/۵۸ درصد (قسمت های مرکزی، جنوبی و شمالی) و آسیب پذیری متوسط با ۲۸/۴۲ درصد که بیشتر در حواشی آبخوان قرار دارند، تقسیم بندی می شود. نتایج روش AVI نشان می دهد که ۵۴/۳۲ درصد از آبخوان دارای نیروی آلودگی کم و ۴۵/۶۸ درصد از آن دارای نیروی آلودگی متوسط است. در روش

نقشه مربوط به لایه محیط خاک به روش GODS همانند لایه مربوط به محیط خاک در روش دراستیک تهیه شد که نتایج حاصل در نقشه شماره (۱۱) نشان داده شده است.



نقشه شماره (۱۱): نقشه پهنه بندی مشخصه نوع خاک منطقه

نقشه شماره (۱۲) نقشه آسیب پذیری آبخوان میمه را به روش GODS نشان می دهد. در این روش نیروی آسیب پذیری در محدوده ۰/۱ تا ۰/۵ قرار می گیرد که با توجه به کلاس بندی روش GODS در محدوده آسیب پذیری کم و متوسط قرار دارد.



نقشه شماره (۱۲): پهنه بندی آسیب پذیری به روش GODS

نتایج حاصل از روش AVI

مقاومت هیدرولیکی برای هر لوگ حفاری با استفاده از اطلاعات مربوط به ضخامت لایه های بالای سفره آبدار و هدایت

نسبت به دو روش دیگر می‌طلبد. زیرا این روش از هفت مشخصه آسیب‌پذیری (عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، نوع خاک، توپوگرافی، منطقه غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی) استفاده می‌کند و تهیه و فراهم کردن مشخصه‌های مورد نیاز برای پهنه‌بندی در برخی از موارد بویژه در ایران به دلیل کمبود آمار و اطلاعات پایه امکان‌پذیر نیست. روش GODS از چهار مشخصه استفاده می‌کند که سه مورد آنها (عمق آب زیرزمینی، نوع خاک و منطقه غیر اشباع) با روش دراستیک مشترک است. فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز برای ارزیابی آسیب‌پذیری به روش GODS بمراتب ساده‌تر بوده و به هزینه کمتری نیاز دارد. ولی در روش GODS میزان تغذیه سطحی لحاظ نشده است که از ضعف‌های عمده این مدل محسوب می‌شود. زیرا میزان تغذیه سطحی آبخوان در آسیب‌پذیری بسیار مؤثر است. در روش AVI نیز فقط از مشخصه‌های جنس لایه‌های محیط غیر اشباع و ضخامت هر یک از آن لایه‌ها استفاده شده است. پس از دقت کمتری نسبت به دو روش دیگر برخوردار است و می‌تواند یک ارزیابی کلی از نیروی ارزیابی ارائه دهد. از آنجا که تنها مشخصه مشترک در این سه روش محیط غیر اشباع و عمق تا سطح ایستابی است، بنابراین می‌توان گفت که این دو مشخصه مهمترین مشخصه‌های تأثیرگذار در ارزیابی نیروی آلودگی هستند. با توجه به بررسی‌های انجام شده می‌توان گفت که روش دراستیک معیاری نیز دارد از جمله:

(۱) نمره دهی مشخصه‌ها براساس تجربه کارشناسان و بررسی‌های کیفی است نه براساس مطالعات کمی

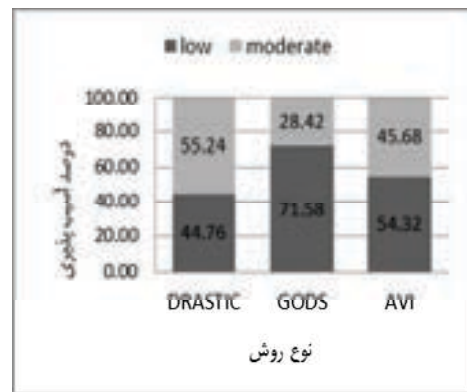
(۲) تعداد زیادی از عوامل مهم مانند جذب سطحی^{۲۱}، زمان رسیدن به آبخوان^{۲۲} و رقیق سازی^{۲۳} به طور مستقیم در شاخص نهایی این مدل بررسی نمی‌شود

(۳) این مدل مقدار آسیب‌پذیری در آبخوان‌های متخلخل^{۲۴} را نسبت به آبخوان‌های درز و شکاف دار^{۲۵} بهتر تخمین می‌زند

(۴) صحت سنجی مدل سخت است چون نیاز به آلاینده با خصوصیات فرض شده (با آب باران یا آبیاری به آب زیرزمینی وارد شود و دارای حرکت به سمت آب زیرزمینی باشد) در مدل دارد که به صورت کم‌وبیش یکنواخت در منطقه پخش شده باشد و در طی چندین سال در منطقه مورد بررسی قرار گرفته باشد تا اثر واکنش سیستم هیدروژئولوژیکی قابل بررسی باشد.

در این روش انتخاب مشخصه‌های زیاد و مرتبط به هم، احتمال نادیده گرفتن برخی از مشخصه‌های مهم را کاهش می‌دهد

AVI به دلیل مقدار کم مشخصه‌های آن در ارزیابی نیروی آلودگی، یک ارزیابی کلی از وضعیت نیروی آلودگی سفره آبدار به دست آمده است. در این روش محدوده با نیروی آلودگی کم، بیشترین وسعت را در منطقه مورد بررسی دارد. با مقایسه روشها در این مطالعه می‌توان گفت که نتایج حاصل از سه روش جهت نیروی آلودگی برای آبخوان میمه شباهت زیادی با هم دارد. در هر سه روش آسیب‌پذیری، آبخوان دشت میمه در دو گروه آسیب‌پذیری کم و متوسط قرار می‌گیرد ولی حدود گسترش محدوده‌های آسیب‌پذیری متفاوت است. در دو روش دراستیک و GODS محل‌های آسیب‌پذیری، بیشتر با هم همخوانی دارد با این تفاوت که محدوده‌های آسیب‌پذیری در روش GODS کاهش پیدا کرده است و روش دراستیک آسیب‌پذیری آبخوان را بیشتر از روش GODS برآورد کرده است. در دو روش دراستیک و AVI، پهنه‌های آسیب‌پذیری متوسط موجود در جنوب آبخوان به خوبی با هم همخوانی دارد. در روش دراستیک با مقایسه دو روش دیگر، درصد بیشتری از آبخوان در محدوده آسیب‌پذیری متوسط قرار دارد (نمودار شماره ۱).



نمودار شماره (۱): درصد پهنه های آسیب پذیری

مدل دراستیک به طور دقیق تری محدوده‌های مختلف آسیب‌پذیری را مشخص کرده است. دلیل آن مشخصه‌های بیشتر و وزن‌دهی متفاوت مشخصه‌ها بر پایه نقش آنها در تعیین آلودگی است. در این روش به دلیل تعداد زیاد مشخصه‌ها، اثر عدم قطعیت برخی از مشخصه‌ها تا حدودی خنثی می‌شود. بدین ترتیب که در روش دراستیک در مواقعی که عدم قطعیت در یکی از مشخصه‌ها زیاد باشد، اثر آن تا حدودی توسط مشخصه‌های دیگر پوشش داده می‌شود. در حالی که در دو روش دیگر، عدم قطعیت در هر مشخصه، نتیجه پهنه‌بندی را تا حدود زیادی تغییر می‌دهد. ولی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری به روش دراستیک هزینه و زمان بیشتری را

۲- به این علت که حذف آلودگی در منابع آب زیرزمینی پرهزینه است، پهنه‌بندی‌های صورت گرفته می‌تواند به عنوان ابزار ارزشمندی در اختیار متولیان و مسئولان قرار گرفته تا به کمک آن بتوانند تصمیمات لازم را برای مدیریت آبخوان میمه اتخاذ کنند. مناطق با استعداد آلودگی بیشتر برای احداث مراکز صنعتی، و یا کشاورزی با توانایی آلوده سازی بالا مناسب نیست.

۳- بنابر آنچه گفته شد دقت روش دراستیک بیشتر بوده هرچند که از هزینه بالایی برخوردار است. در مواردی هم که برخی از مشخصه‌ها دارای عدم قطعیت هستند پیشنهاد می‌شود ابتدا مدل دراستیک با عدم قطعیت موجود اجرا شده و سپس تحلیل حساسیت صورت پذیرد. اگر حساسیت مدل به مشخصه دارای عدم قطعیت، زیاد نباشد می‌توان از نتایج مدل استفاده کرد، در غیر این صورت یا باید اطلاعات مورد نظر فراهم شود، یا از روش‌های دیگر استفاده شود.

۴- پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان میمه با روش‌های دیگر ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی انجام پذیرد و نتایج با نتایج این تحقیق مقایسه شود.

یادداشت‌ها

- 1- Hydrogeological Setting
- 2- Depth to Water
- 3- Net Recharge
- 4- Aquifer Media
- 5- Soil Media
- 6- Topography (slope)
- 7- Impact of Vadose Zone
- 8- Hydraulic Conductivity
- 9- Weight
- 10- Rating
- 11- Delphi Technique
- 12- DRASTIC Index
- 13- Pisco
- 14- Digital Elevation Model
- 15- Peat
- 16- Muck
- 17- Groundwater Confinement
- 18- Overlying Strata
- 19- Depth to Groundwater Table
- 20- Aquifer Vulnerability Index
- 21- Sorption Capacity
- 22- Travel Time
- 23- Dilution
- 24- Porous Media Aquifers
- 25- Fractured Media

و نیز تأثیر خطاهای اتفاقی در محاسبه یک مشخصه را محدود کرده و در نتیجه دقت آماری مدل افزایش می‌یابد، اما ممکن است بعضی از مشخصه‌های حساس که در آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی تأثیر بیشتری دارند، تحت تأثیر دیگر مشخصه‌های مربوط به آسیب‌پذیری در شاخص نهایی تغییر کنند. مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج تحقیقات در جنوب کشور اسپانیا (Vias, et al, 2006)، نشان می‌دهد که پهنه‌های آسیب‌پذیری دو روش GOD و DRASTIC بسیار نزدیک به هم است. همچنین در مقایسه نتایج با تحقیق انجام شده در جنوب ایتالیا (Polemio, et al., 2009)، باید گفت که نتایج به هم نزدیک است یعنی در هر دو تحقیق روش GOD نیروی آسیب‌پذیری آبخوان را کمتر از روش دراستیک ارزیابی کرده است. مقایسه تحقیق انجام شده در آبخوان دشت جوین (خدایی و همکاران، ۱۳۸۵) با تحقیق حاضر نشان می‌دهد که در هر دو روش، آسیب‌پذیری در دو گروه کم و متوسط قرار می‌گیرد. اما در آبخوان میمه روش دراستیک آسیب‌پذیری را بیشتر از روش GODS برآورد می‌کند. در مقایسه نتایج مطالعات دشت باغملک (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۶) باید ذکر کرد که در هر دو مطالعه نتایج یکسانی کسب شده است. در هر دو مطالعه محدوده‌های آسیب‌پذیری به روش‌های GODS و DRASTIC نسبت به روش AVI، شباهت بیشتری با یکدیگر داشته‌اند. علت آن را می‌توان به دقت کم تر روش AVI نسبت به دو مدل دیگر نسبت داد. مدل DRASTIC به طور دقیق‌تری محدوده‌های مختلف دارای نیروی آلودگی را مشخص کرده است. نتایج حاصل از پهنه‌بندی ارزیابی نیروی آسیب‌پذیری به روش دراستیک برای آبخوان میمه، آسیب‌پذیری منطقه را به دو محدوده آسیب‌پذیری کم و متوسط تقسیم می‌کند در حالی که نتایج حاصل از ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی حوزه زاینده رود در مقابل تغذیه خالص در حالت متوسط (رضایی و همکاران، ۱۳۹۱)، آبخوان میمه را دارای آسیب‌پذیری کم می‌داند.

پیشنهادها

۱- با توجه به نتایج این پژوهش، سه روش استفاده شده در این تحقیق که روش‌های مناسبی برای ارزیابی نیروی آلودگی آب‌های زیرزمینی هستند، به عنوان روش‌های استاندارد تعریف شده و برای تمام آبخوان‌های موجود در کشور به منظور مدیریت و حفاظت کیفی منابع آب زیرزمینی استفاده شود.

منابع مورد استفاده

- احمدی، ع؛ ابرومند، م. ۱۳۸۸. بررسی نیروی آلودگی آبخوان دشت خاش، شرق ایران، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه زمین شناسی کاربردی، سال پنجم، شماره ۱، ۱ تا ۱۱.
- اخوان، س. ۱۳۸۹. استفاده از مدل های SWAT و DRASTIC به منظور بررسی آلودگی نترات آبهای زیرزمینی و ارائه راهکارهای مدیریتی در دشت همدان - بهار. پایان نامه دکترای رشته آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- آزاد شهرکی، ف؛ آغاسی، ع.، آزاد شهرکی، ف.، زارعی، ع. ۱۳۸۹. ارزیابی نیروی و آنالیز حساسیت آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت هشتگرد به روش دراستیک. مجله آب و فاضلاب، شماره ۲، ۶۱ تا ۷۰.
- اصغری مقدم، ا؛ فیجانی، ا؛ ندیری، ع. ۱۳۸۸. ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت های بازرگان و پلدشت با استفاده از مدل دراستیک بر اساس GIS. مجله محیط شناسی، سال سی و پنجم، شماره ۵۲، ۵۵ تا ۶۴.
- خدائی، ک؛ شهسواری، ع؛ اعتباری، ب. ۱۳۸۵. ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت جوین به روش DRASTIC و GODS. فصلنامه زمین شناسی ایران، سال دوم، شماره ۴، ۷۳ تا ۸۷.
- رضایی، ف؛ صفوی، ح؛ احمدی، ا. ۱۳۹۱. ارزیابی و آنالیز حساسیت آبهای زیرزمینی حوضه آبریز زاینده رود در مقابل مشخصه تغذیه خالص به روش دراستیک. نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- رنگزن، ک؛ ضیائیان فیروزآبادی، پ؛ میرزایی، ل؛ علیجانی، ف. ۱۳۸۷. پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت ورامین با استفاده از DRASTIC و ارزیابی تجربی اثر منطقه غیر اشباع در محیط GIS. فصلنامه زمین شناسی ایران، سال دوم، شماره ۶، ۲۱ تا ۳۲.
- سازمان نقشه برداری کشور. ۱۳۸۶. دستورالعمل همسان نقشه برداری، جلد ششم، داده های شبکه ای و تصویری. نشریه شماره ۶ تا ۱۱۹.
- شرکت آب منطقه ای اصفهان. ۱۳۷۵. برآورد ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان ها از طریق دانه سنجی. دستورالعمل شماره ۴.
- شرکت آب منطقه ای اصفهان. ۱۳۸۸. گزارش به هنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوزه آبریز گاوخونی. جلد اول
- شرکت آب منطقه ای اصفهان. ۱۳۸۹. گزارش آزمایش پمپاژ چاه های منطقه میمه و مورچه خورت.
- کلاتنری، ن.، فاریابی، م.، رحیمی، م. ۱۳۸۶. بررسی نیروی آلودگی آب زیرزمینی دشت باغملک با استفاده از روش GOD و DRASTIC در محیط GIS. نشریه زمین شناسی مهندسی، جلد دوم، شماره ۲، ۴۳۱ تا ۴۵۰.
- معینیان، م. ۱۳۸۶. میمه شهری ناشناخته در حاشیه کویر. چاپ اول. اصفهان. جهاد دانشگاهی واحد اصفهان. ۶۴۶ صفحه.

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, Remote sensing and DRASTIC. Applied Geography, 23, 303-324.

Al-Adamat, R.A.N., A., Al-Harashsheh, M., Al-Farajat. 2010. The use of GIS and leachability tests to investigate groundwater vulnerability to pollution from oil shale utilization at Lajjoun area/southern Jordan. Jordan Journal of Civil Engineering, 3, 253-263.

Almasri, M.N. 2008. Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza coastal aquifer, Palestine. *Journal of Environmental Management*, 88, 577–593.

Aller, L., et al. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological settings. EPA 600/2-87-035; 1987. 622.

Chilton, P.J., A., Vlugman, S., Foster. 1990. A groundwater pollution risk assessment for public water supply sources in Barbados, American Water Resources Association International Conference on Tropical Hydrology and Caribbean Water resources, San Juan de Puerto Rico, 279-289.

Paez, G., 1990. Evaluacion de la vulnerabilidad a la contaminacion de las aguas subterranas en el Valle del Cauca, Informe Ejecutivo, Corporeginal del Valle del Cauca, Cauca, Colombia.

Piscopo, G. 2001. Groundwater vulnerability map explanatory notes – Castlereagh Catchment. Land & Water Conservation of Australia.

Polemio, M., D., Casarano, P.P., Limoni. 2009. Karstic aquifer vulnerability assessment methods and results at a test site (Apulia, southern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1461-1470.

Rahman, A. 2008. A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Applied Geography*, 28, 32–53.

Van Stempvoort, D., L., Ewert, L., Wassenaar. 1993. Aquifer vulnerability index: a GIS-compatible method for groundwater vulnerability mapping. *Canadian Water Resources Journal*, 1, 25-37.

Vias, J.M., et al. 2006. Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP. *Hydrogeology Journal*, 14, 912-925.

Vrba, J. A., Zoporozec. 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH International Contribution for Hydrogeology, 16. Hannover 7 Heise, 131.