



دانشگاه گلستان، رشت، ایران

نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی

جلد ششم، شماره دوم، ۱۳۹۶

<http://ejang.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/ejang.2019.8270.1233

## ارزیابی آسیب‌پذیری محیط‌زیستی آب‌های زیرزمینی دشت بهار همدان به روش‌های تلفیقی GODS، DRASTIC و AVI

\*سیدعلی جوزی<sup>۱</sup>، نسیم رونیاسی<sup>۲</sup> و صدف عطائی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادتمام گروه محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، آدرس‌آموخته دکتری

محیط‌زیست، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران، آدرس‌آموخته کارشناسی ارشد

گروه محیط‌زیست ارزیابی و آمایش سرزمین، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۸

### چکیده

**سابقه و هدف:** این پژوهش با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت بهار همدان و مقایسه پهنه‌بندی‌ها با استفاده از روش‌های GODS، DRASTIC و AVI انجام شده است.

**مواد و روش‌ها:** پس از شناسایی محیط‌زیست منطقه و جمع‌آوری اطلاعات ۷۰ حلقه چاه در محدوده مورد مطالعه، اطلاعات در نرم‌افزار GIS به لایه‌های رستری تبدیل گردید. پس از تهیه لایه رستری حاصل از موقعیت چاه‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای سه روش، وزن‌دهی رتبه‌دهی و کلاس‌بندی هر روش صورت گرفته و نقشه‌های آسیب‌پذیری سه روش با هم مقایسه گردید.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از روش DRASTIC که تقریباً کامل‌ترین شاخص برای ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی است، محدوده آسیب‌پذیری کم را ۴۱/۹۷ درصد و آسیب‌پذیری متوسط را ۵۷/۶۸ درصد، برآورد کرده است. نتایج روش GODS، بیانگر آن است که دشت مورد مطالعه در دو کلاس آسیب‌پذیری کم و متوسط به‌ترتیب با ۸۱/۵۰ و ۱۸/۵۰ درصد قرار دارد. نتایج روش AVI نیز نشان می‌دهد که ۵۳/۴۲ درصد از آبخوان دارای پتانسیل آلودگی کم و ۴۶/۵۸ درصد از آن دارای پتانسیل آلودگی متوسط است. در هر سه روش آسیب‌پذیری، دشت بهار در دو گروه آسیب‌پذیری کم و متوسط قرار گرفته است ولی حدود گسترش محدوده‌های آسیب‌پذیری متفاوت می‌باشد. در دو روش دراستیک و GODS محل‌های آسیب‌پذیری، بیشتر با هم هم‌خوانی داشته و روش دراستیک آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت بهار را بیشتر از روش GODS برآورد کرده است. در دو روش دراستیک و AVI، پراکندگی پهنه‌های آسیب‌پذیری متوسط موجود منطقه با هم هم‌خوانی دارد.

**نتیجه‌گیری:** به‌طورکلی نتایج نشان‌دهنده انطباق بیشتر مدل‌های به‌کار برده با شرایط واقعی آبخوان است. با توجه به محدودیت منابع و افت سطح ایستابی و همچنین حساسیت ویژه این دشت در تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت شهر همدان و بهار، تصمیم‌گیری برای مدیریت آب زیرزمینی در محدوده دشت الزامی است.

**واژه‌های کلیدی:** آبخوان، آسیب‌پذیری، روش AVI، روش DRASTIC، روش GODS

\* مسئول مکاتبه: sajozi@yahoo.com

### مقدمه

آب‌های زیرزمینی به دلیل استعداد آلودگی کم‌تر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آب‌های سطحی به‌عنوان منبعی مهم در منابع آب مورد توجه است. وجود آلاینده‌های انتشاری و نقطه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی در سطح زمین و نفوذ این آلاینده‌ها به آبخوان با کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. به همین دلیل، جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، ضروری به‌نظر می‌رسد (۱۸). امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها به درون آب زیرزمینی را آسیب‌پذیری می‌نامند. آسیب‌پذیری به‌عنوان یک استعداد ذاتی سیستم آبی زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود که وابسته به‌میزان حساسیت این سیستم به تأثیرات انسانی و یا طبیعی می‌باشد. آسیب‌پذیری ذاتی، به مفهوم حساسیت آبخوان به عوامل طبیعی است در حالی که آسیب‌پذیری ویژه، آسیب‌پذیری ذاتی را همراه با احتمال قرار گرفتن آب‌های زیرزمینی در معرض نفوذ آلاینده‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد (۲۵). حفاظت و نگهداری از منابع آب زیرزمینی در برابر آلودگی، برای برنامه‌ریزی، مدیریت و آمایش زمین ضروری و مهم تلقی می‌شود. بنابراین، ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، برای مدیریت معقول این منابع دارای اهمیت است (۸).

ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد (۲۵). در تمامی روش‌ها آسیب‌پذیری آبخوان بر اساس انتقال آلودگی از سطح زمین به لایه آبدار برآورد شده است. یکی از روش‌های متداول برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، روش دراستیک است کاربرد زیادی داشته است. در کشورهای مختلف جهان ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با روش‌های مختلف و به‌طور عمده به‌وسیله روش DRASTIC انجام شده است.

سینر و داوراز (۲۰۱۲)، به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی حوضه دریاچه اجیردیر در ترکیه از مدل DRASTIC بهینه‌سازی شده استفاده کردند (۲۵). در جنوب اردن آب‌های زیرزمینی منطقه با استفاده از شاخص DRASTIC در ترکیب با آنالیزهای شیمیایی و آزمایش‌های آبشویی ناشی از خاکسترهای سوختن چاه‌های نفت، ارزیابی گردید (۳).

در ایران به‌منظور بررسی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی مقایسه‌ای بین روش‌های DRASTIC و Logistic Regression اصلاح‌شده و AHP-DRASTIC انجام شد (۱۵). ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت با هدف بهینه‌بندی آسیب‌پذیری از روش‌های GODS و AVI، DRASTIC صورت گرفت (۱۴ و ۱۷). با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با استفاده از مدل‌های SINTACS و DRASTIC با هدف اصلاح هر دو مدل به ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت پرداخته شد (۵).

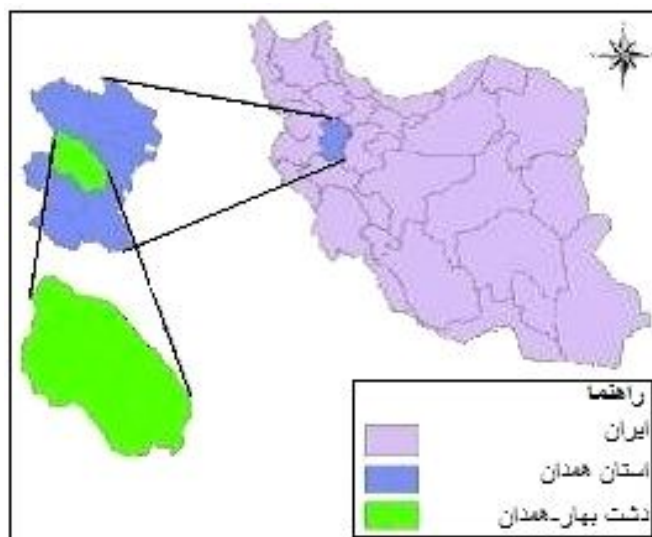
از این‌رو، هدف اصلی این مطالعه، پاسخگویی به این سوال که آیا استفاده از روش‌های تلفیقی DRASTIC، GODS و AVI از کارآمدی بیشتری برای تعیین پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت بهار همدان برخوردار هستند؟ صورت گرفت.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** دشت همدان - بهار یکی از چهار دشت منطقه همدان در ۲۳ کیلومتری این شهر می‌باشد که به‌دلیل بروز افت مداوم و کاهش ذخایر مخازن آب زیرزمینی در طی دو دهه گذشته از یک طرف و روند افزایشی تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، مواد زائد و جامد، کاربرد سموم و کودهای شیمیایی در محدوده آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱۹). حوزه آبریز دشت همدان - بهار با وسعت

بهار و آب صنعتی کارخانجات، الگوی مناسبی برای تجزیه و تحلیل‌های مورد نظر در این پژوهش بوده و نتایج حاصل از آن در مدیریت کمی و کیفی منابع آب دشت بهار قابل اهمیت است. متوسط آمار بارندگی سالانه در دوره آماری ۳۹ ساله بر اساس داده‌های ایستگاه باران‌سنجی همدان، سداکباتان و آق‌کهریز (بهادریگ) ۳۲۴/۳ میلی‌متر می‌باشد (۱۹). در شکل ۱ موقعیت مکانی سفره آب زیرزمینی دشت همدان- بهار نشان داده شده است.

۲۴۷۵ کیلومترمربع در دامنه شمالی ارتفاعات الوند واقع است. دشت در محدوده طول شرقی ۴۸°، ۱۷' تا ۴۸°، ۳۳' و عرض شمالی ۳۴°، ۴۹' تا ۳۵°، ۰۲' قرار دارد. تغذیه سفره آب زیرزمینی عموماً از ریزش‌های جوی و آبراهه‌های متعدد منشعب از دامنه‌های الوند کوه است. به‌علاوه تغذیه نامتعارفی نیز از طریق تخلیه فاضلاب‌های مسکونی شهر همدان در مناطق شهرک فرهنگیان، جورقان و مریانج در جنوب‌شرق دشت انجام می‌شود. این دشت به‌دلیل تامین آب شرب شهرستان‌های همدان و بهار، آب کشاورزی دشت

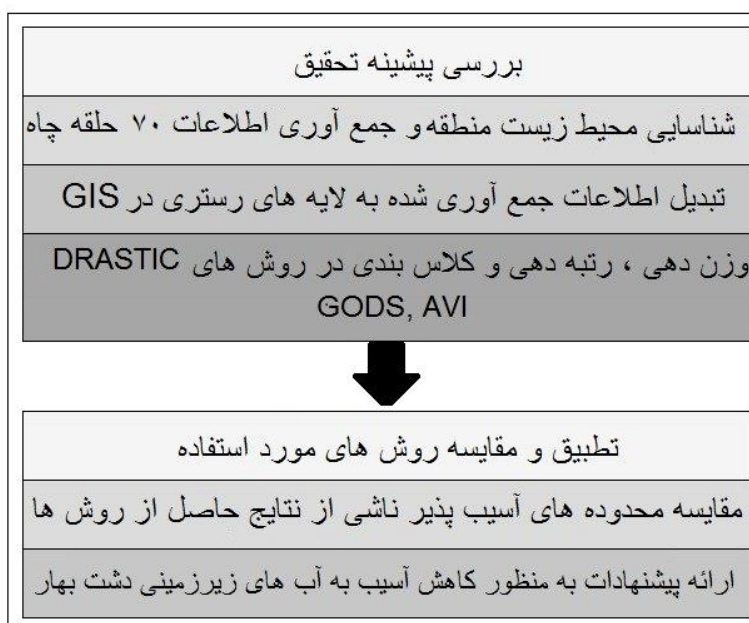


شکل ۱- موقعیت مکانی سفره آب زیرزمینی دشت همدان- بهار.

Figure 1. Location of ground water reservoir of Hamedan's Dasht-e Bahar.

داده‌های مورد نیاز، صورت گرفت که از آن جمله می‌توان به تبدیل داده‌های نقطه‌ای به سطح، شامل درونیابی کریجینگ، ایجاد شبکه تیسن و غیره اشاره کرد. تعداد ایستگاه‌های نمونه‌برداری در محدوده مورد مطالعه شامل اطلاعات ۷۰ حلقه چاه بود. در نهایت بر اساس نتایج به‌دست آمده، مدل بهینه برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان مورد مطالعه معرفی شد. در شکل ۲ مراحل انجام پژوهش به تفکیک نشان داده شده است.

**مواد و روش‌ها:** به‌منظور ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت بهار- همدان در محیط GIS از تطبیق روش‌های GODS، AVI، DRASTIC و پس از جمع‌آوری داده و اطلاعات مورد نیاز، استفاده گردید. با اعمال تبدیلاتی، داده‌های جمع‌آوری شده به لایه‌های رستری تبدیل و بر اساس معیارهای تعریف شده در روش‌های مدنظر، بررسی، وزن‌دهی، رتبه‌دهی و کلاس‌بندی صورت گرفت. برای تهیه نقشه‌های معیار مورد نیاز مدل‌ها، آنالیزهای مکانی مختلفی روی



شکل ۲- فرایند ارزیابی آسیب پذیری محیط زیستی آب‌های زیرزمینی دشت بهار همدان به روش‌های تلفیقی DRASTIC، GODS و AVI.  
 Figure 2. The process of assessment of the environmental vulnerability of ground water reservoir of Hamedan's Dasht-e Bahar by the compilation methods DRASTIC, GODS and AVI.

مدل، هر پارامتر 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، از یک تا پنج، تعلق می‌گیرد که نشان‌دهنده اثر نسبی هر پارامتر بر انتقال آلودگی در آب‌های زیرزمینی است (۲).

در این روش وزن‌های عددی که به هر پارامتر داده شده است با استفاده از روش دلفی پایه‌ریزی شده و در سرتاسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش دلفی از کارشناسان رشته هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی خواسته شده که میزان خطر مربوط به فعالیت‌های خاصی را که تحت تأثیر یک سری از شرایط اولیه انجام شود را تعیین نمایند. این فعالیت‌ها و شرایط عموماً در طبیعت وجود دارد و مختص مکان خاصی نمی‌باشد. پس وزن‌های داده‌شده به هر پارامتر در روش دراستیک اتفاق نظر کارشناسان در مورد میزان خطر مربوط به هر پارامتر است (۲۲). پس از جمع‌آوری و

روش DRASTIC: دراستیک مدلی تجربی است که آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی نسبت به آلودگی را بر اساس وضعیت هیدروژئولوژیکی منطقه مربوطه برآورد می‌کند (۱۳). وضعیت هیدروژئولوژیکی در واقع بیانگر ترکیبی از همه فاکتورهای زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی است که حرکت آب‌های زیرزمینی را در یک منطقه کنترل می‌کند. این مدل از ترکیب هفت پارامتر هیدروژئولوژیکی قابل اندازه‌گیری و مؤثر در انتقال آلودگی به آب‌های زیرزمینی، شامل عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی یا شیب سطح زمین (T)، مواد تشکیل‌دهنده زون غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) می‌باشد، تشکیل شده است (۷).

این هفت مشخصه در محیط نرم‌افزار GIS به صورت هفت لایه که تحلیل‌های لازم بر روی آن‌ها انجام می‌شود، ظاهر می‌گردد. برای تعیین اهمیت نسبی هر کدام از عوامل هفت‌گانه استفاده شده در

می‌گردند و یک لایه جدید به نام شاخص دراستیک، طبق رابطه ۱ به دست می‌آید:

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

چینه‌ها یا لایه‌های منطقه غیراشباع (O)، این پارامتر ظرفیت میرایی آلاینده‌ها را تعیین می‌کند. مشخصات و ویژگی‌های لایه غیراشباع با استفاده از اطلاعات چاه‌های اکتشافی و یا سایر چاه‌های حفر شده در محدوده مورد مطالعه به دست می‌آید. مشخصات لایه غیراشباع، عمق آب زیرزمینی (D) و نوع خاک (S)، نحوه تهیه این پارامترها همانند روش دراستیک است ولی محدوده و ارزش رده‌ها در روش GODS متفاوت است. شاخص آسیب‌پذیری GODS طبق رابطه ۲ از حاصل ضرب پارامترها به دست می‌آید (۲۰).

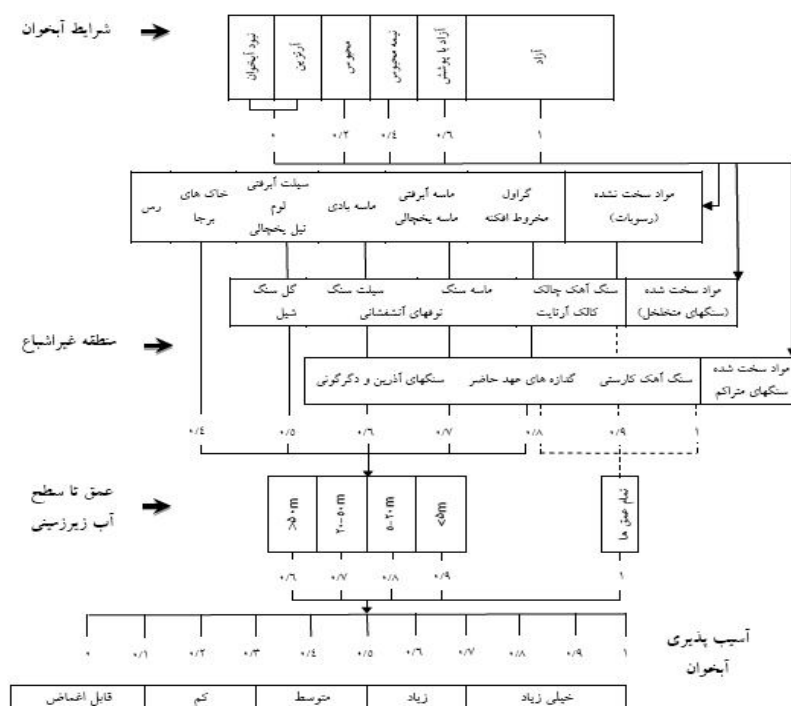
$$GODS\ index = G.O.D.S \quad (2)$$

از حاصل ضرب پارامترهای فوق نقشه‌ای حاصل خواهد شد که ارزش عددی سلول‌های آن از صفر تا یک متغیر است. نحوه تعیین محدوده و ارزش‌گذاری پارامترهای روش GOD در شکل ۱ آمده است. همچنین نحوه اعمال نوع خاک در روش GOD و تبدیل آن به شاخص GODS در شکل ۳ نشان داده شده است.

رقومی کردن اطلاعات هیدروژئولوژیکی، هفت عامل نام‌برده که پتانسیل آلودگی را کنترل می‌کنند، برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری با یکدیگر هم‌پوشانی و تلفیق

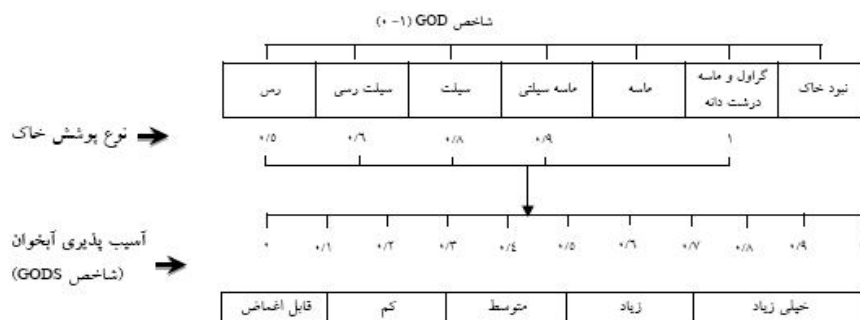
که در آن، حروف D, R, A, S, T, I, C، پارامترهای تأثیرگذار در مدل دراستیک و اندیس‌های r و w به ترتیب رتبه و وزن هر پارامتر می‌باشند، بنابراین شاخص آسیب‌پذیری ذاتی در این روش از حاصل ضرب وزن هر پارامتر در رتبه آن به دست می‌آید (۳).

روش GODS: این روش از چهار پارامتر نوع آبخوان، خصوصیات منطقه غیراشباع، عمق آب زیرزمینی و نوع خاک استفاده می‌کند. ارزش کلاس‌های مختلف پارامترها از صفر تا یک تغییر می‌کند و به تمامی پارامترها وزن یکسانی اختصاص داده می‌شود. از حاصل ضرب پارامترها به GODS شاخص آسیب‌پذیری دست می‌آید. اطلاعات مربوط به نوع آبخوان نوع آبخوان از اطلاعات نقشه منابع آب حاصل می‌گردد. تعیین حدود گسترش و نوع آبخوان‌های دشت مورد مطالعه بر اساس لوگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای، بهره‌برداری و اکتشافی و گزارش‌ها و اطلاعات موجود صورت می‌گیرد. در این روش که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، ارزش‌گذاری نوع آبخوان از صفر تا یک می‌باشد (۱۰).



شکل ۳- نحوه تعیین محدوده و ارزش گذاری پارامترهای روش GOD.

Figure 3. Determine the range and value of the parameters of the GOD method (10).



شکل ۴- نحوه اعمال نوع خاک و تبدیل شاخص GOD به شاخص GODS.

Figure 4. Method of apply the soil type and convert the GOD index to the GODS index (20).

$$c = \sum_{i=1}^n l \frac{d_i}{K_i} \quad (3)$$

که در آن، C مقاومت هیدرولیکی سفره آبدار  $d_i$  ضخامت لایه‌های بالای سفره آبدار  $n(m)$  تعداد لایه‌ها (بدون بعد)  $-K_i$  هدایت هیدرولیکی تخمینی هر لایه (m/day) است. پارامتر C برای تعیین مقاومت به جریان عمودی به کار می‌رود و بعد از آن زمان است

روش AVI: در این روش با استفاده از دو پارامتر می‌توان شاخص آسیب‌پذیری سفره آبدار را تخمین زد. این دو پارامتر عبارتند از ضخامت هر واحد رسوبی بالای سفره آبدار (D) و هدایت هیدرولیکی تخمینی هر لایه (K). ضخامت لایه‌های رسوبی را می‌توان از لوگ چاه‌های حفاری شده در منطقه تعیین کرد. با این پارامترها میزان مقاومت هیدرولیکی سفره آبدار از رابطه ۳ به دست می‌آید.

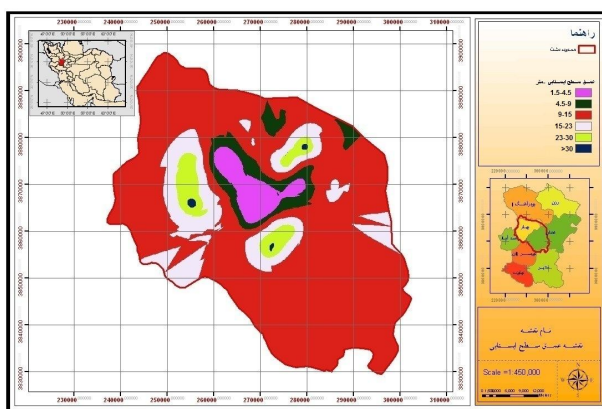
(۱۶). این سیستم در علم هیدروژئولوژی ابزار محسوب می‌شود و در زمینه شناسایی، مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی کمک زیادی به متخصصان کرده است (۲۱). بنابراین، سامانه اطلاعات جغرافیایی، به‌علت ویژگی‌ها و توانایی‌های خاص خود، در بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی ابزاری بسیار مفید محسوب می‌شود.

### نتایج

**خروجی حاصل از روش DRASTIC:** نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی آبخوان در شکل ۵ نشان داده شده است. پس از تهیه نقشه هم‌عمق سطح آب، نواحی مختلف منطقه بر اساس روش آلر پهنه‌بندی گردید. محدوده طبق تقسیم‌بندی آلر در شش کلاس قرار گرفتند که عمق برخورد به سطح ایستایی در آن از ۱/۵ تا بیش‌تر از ۳۰ متر از سطح زمین متغیر است. کم‌ترین عمق مربوط به قسمت مرکزی منطقه و بیش‌ترین عمق به‌صورت سه منطقه پراکنده کوچک است. پس آسیب‌پذیری آبخوان در کل منطقه، زیاد و در سه منطقه مرکزی، کم می‌باشد.

که بیان‌کننده زمان حرکت آب زیرزمینی از لابه‌لای خلل و فرج سطح فوقانی بخش اشباع به سمت پایین است (۱۱). در روش AVI به‌طور غیرمستقیم از پارامترهای مختلف مدل DRASTIC به‌جز توپوگرافی و نوع سفره آبدار استفاده می‌شود. ابتدا مقدار پارامتر مقاومت هیدرولیکی (c) برای هر کدام از چاه‌ها محاسبه و پس از محاسبه لگاریتم از آن‌ها، با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS10 خطوط هم‌مقدار مقاومت هیدرولیکی آبخوان رسم گردید i و در نهایت میزان پتانسیل آلودگی آبخوان مشخص و طبقه‌بندی می‌گردد (۲۴).

**نقش سامانه اطلاعات جغرافیایی در محاسبه ارزیابی آسیب‌پذیری:** اطلاعات جغرافیایی سامانه‌ای قدرتمند برای ذخیره‌سازی، تحلیل و نمایش داده‌های مکانی محسوب می‌شوند و این داده‌ها به‌منظور تصمیم‌گیری در مناطق مختلف، در رشته‌های مهندسی و زیست‌محیطی کاربرد دارند (۹). هزینه کم، دقت محاسباتی بالا، استفاده از توابع تحلیلی پیچیده، قابلیت تفکیک طیفی، مکانی و زمانی درخور توجه و قابلیت‌های ویرایشی و به‌هنگام‌سازی سریع داده‌ها، مدل‌سازی و تهیه گزارش به اشکال متعدد از ویژگی‌های دیگر این سامانه است

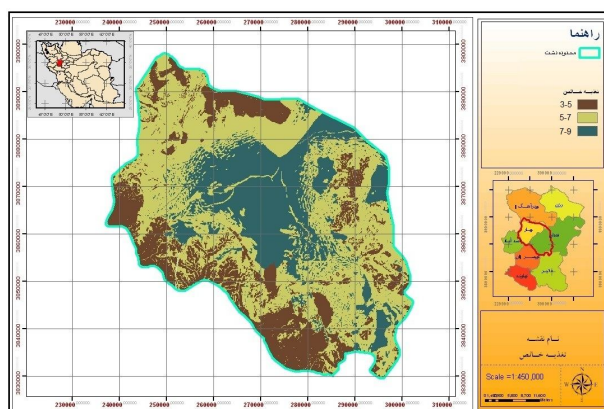


شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی.

Figure 5. Ground water depth zoning map

کلاس قرار گرفت. 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.

با استخراج شیب از مدل رقومی ارتفاعی منطقه و رتبه‌بندی آن، همچنین رتبه‌بندی نفوذپذیری خاک و میزان نزولات جوی، رتبه برآوردشده تغذیه خالص در منطقه پهنه‌بندی گردید. پهنه‌بندی رتبه‌های پارامتر تغذیه خالص در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود محدوده طبق تقسیم‌بندی آلر در سه

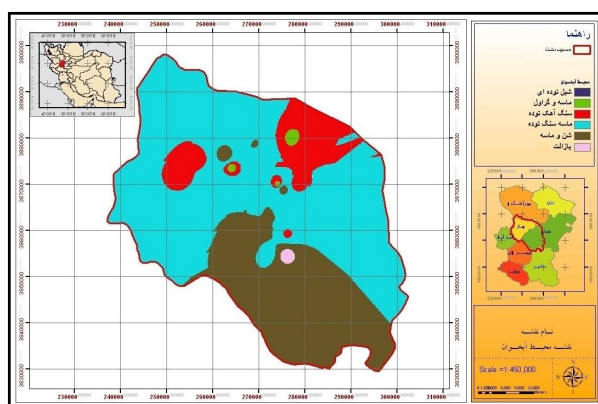


شکل ۶- نقشه تغذیه خالص.

Figure 6. Pure nutrition map.

گراول همراه با ذرات رس و سیلت می‌تواند موجب سرعت نسبتاً قابل توجه انتشار آلودگی بوده و بدین ترتیب جریان حرکت آلاینده‌ها در سیستم آب زیرزمینی آبخوان افزایش می‌یابد.

همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود سطح غالب منطقه مربوط به ماسه‌سنگ توده و کم‌ترین مساحت مربوط به بازالت می‌باشد. با توجه به این‌که بیش‌ترین قسمت دشت همدان- بهار از رسوبات آبرفتی تشکیل شده است، وجود ماسه و



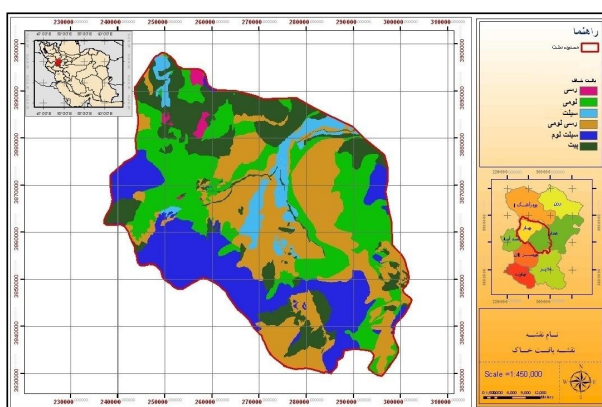
شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی محیط آبخوان.

Figure 7. Aquifer zoning map.



لومی و رسی لومی و کم‌ترین مساحت مربوط به منطقه‌ای با بافت رسی می‌باشد. وجود مواد با بافت ریز توانایی انتقال آلاینده‌ها را از سطح خاک به سیستم آب زیرزمینی کاهش می‌دهد. در نتیجه با وجود درشت بودن بافت خاک در دشت مورد مطالعه توانایی انتقال آلاینده‌ها به آب زیرزمینی بالا می‌باشد.

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی محیط خاک، ابتدا نقشه خاک از سازمان تحقیقات کشاورزی تهیه شده و سپس زمین مرجع گردید و در ادامه سطوح منطقه مورد مطالعه بر اساس نوع بافت خاک و محدوده‌های تعیین شده، ارزش‌گذاری گردید. با توجه به شکل ۸ دیده می‌شود، بیش‌ترین مساحت مربوط به محدوده‌های

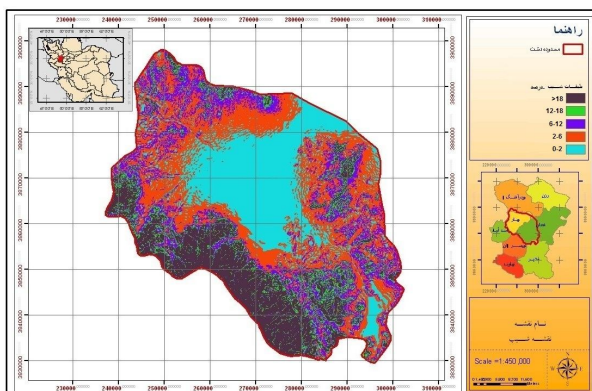


شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی محیط خاک.

Figure 8. Soil zoning map.

کم‌ترین مساحت با شیب ۶ تا ۱۲ درصد می‌باشد. با توجه به شیب متوسط منطقه، زمان تماس آب‌های سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین افزایش یافته داشته و شانس بیش‌تری برای نفوذ وجود دارد و این مسأله نیروی آلودگی را در منطقه افزایش می‌دهد.

ابتدا مدل رقومی ارتفاعی منطقه از سازمان نقشه‌برداری همدان تهیه گردید و نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاعی استخراج گردیده و سپس لایه توپوگرافی بر اساس معیار آلر رتبه‌بندی گردید. با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌گردد که بیش‌ترین شیب در محدوده بین ۶ تا ۱۲ درصد می‌باشد، همچنین

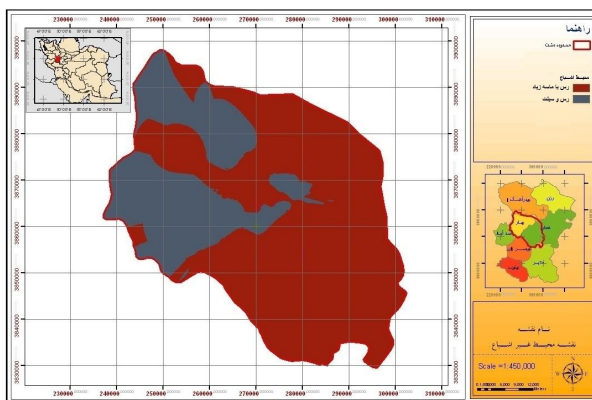


شکل ۹- نقشه کلاس‌بندی شده توپوگرافی.

Figure 9. Topographic classification map.

رتبه ۷ (رس و سیلت) است که قسمت‌های شرقی و جنوبی دشت را در بر می‌گیرد و غرب دشت دارای رتبه ۵ (رس، سیلت) می‌باشد.

بر طبق جنس و دانه‌بندی مواد، لایه محیط غیراشباع پس از پهنه‌بندی در شکل ۱۰ مشاهده می‌گردد که عمده‌ای از محیط غیراشباع دشت دارای

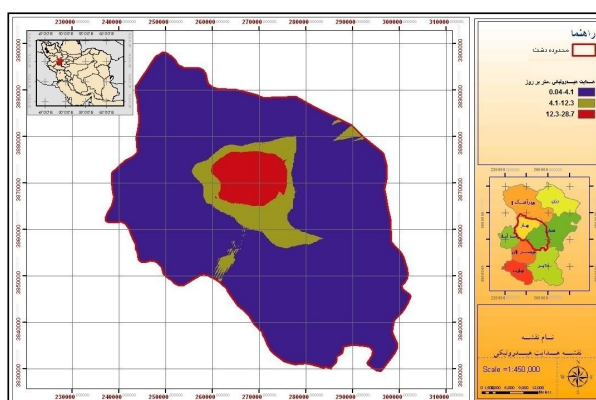


شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی محیط غیراشباع.

Figure 10. Zoning map of the unsaturated zone.

یعنی نمره ۱ می‌باشد که این نمره به معنی توانایی کم مواد تشکیل‌دهنده در بخش عمده‌ای از دشت برای انتقال آب بوده و این مسأله امکان جریان آلاینده‌ها و پخش آن‌ها را در سفره آبدار کاهش و آسیب‌پذیری را کم خواهد کرد. این حالت به غیر از مرکز دشت در سایر مناطق وجود دارد.

با بررسی آزمایش پمپاژ چاه‌ها و تقسیم ضریب قابلیت انتقال بر ضخامت لایه اشباع در هر نقطه، مقدار هدایت هیدرولیک آن نقطه محاسبه گردید و در ادامه با استفاده از رتبه‌های پیشنهادی آلر تقسیم‌بندی گردید. با توجه به شکل ۱۱ قسمت عمده دشت دارای هدایت هیدرولیکی ۰/۰۴ تا ۱/۴ متر بر روز

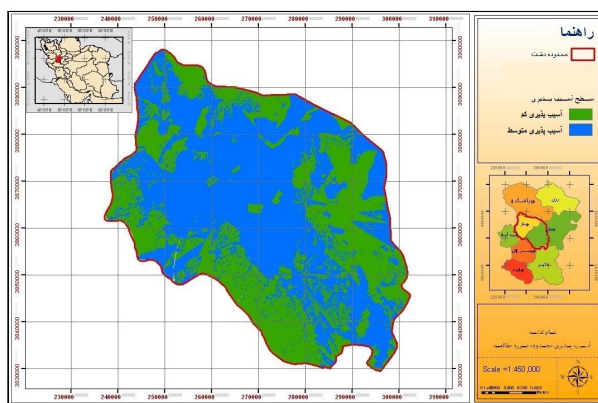


شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی.

Figure 11. Hydraulic conduction zoning map.

حساسیت سفره به آلوده شدن بوده به این ترتیب که اعداد بزرگتر نشان‌دهنده استعداد بیش‌تر سفره آب زیرزمینی نسبت به آلوده شدن می‌باشد. با توجه به شکل ۱۲ مشاهده می‌شود که نیروی آسیب‌پذیری در محدوده ۱۳۶-۴۷ (آسیب‌پذیری کم و متوسط) قرار می‌گیرد.

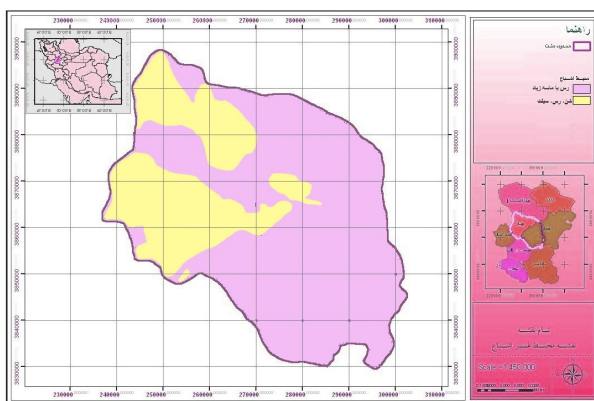
نقشه آسیب‌پذیری آبخوان منطقه بر اساس مدل **DRASTIC**: با استفاده از نقشه‌های تهیه شده و به کمک وزن‌های در نظر گرفته شده برای هر پارامتر در روش آلر و با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS، نقشه آسیب‌پذیری سفره آب زیرزمینی دشت همدان- بهار تهیه گردید. عدد به‌دست آمده نشان‌دهنده میزان



شکل ۱۲- نقشه پهنه آسیب‌پذیری به روش **DRASTIC**.  
**Figure 12. Vulnerability map by DRASTIC method.**

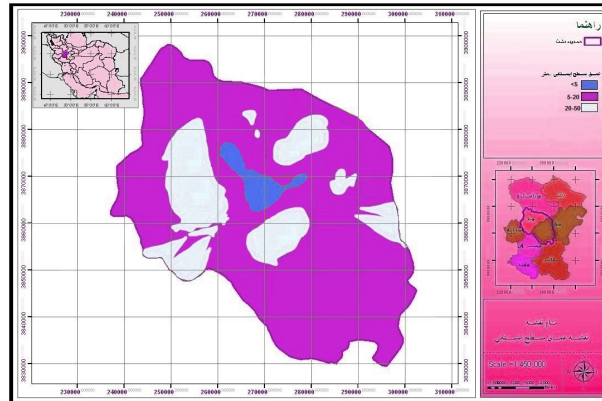
شکل ۱۳، قسمت عمده‌ای از ناحیه غیراشباع (شرق و جنوب) دارای رتبه ۶/۰ (رس با ماسه) و غرب دارای رتبه ۵/۰ (شن، رس و سیلت) است.

خروجی حاصل از روش **GODS**: نوع دشت با توجه به اطلاعات موجود در مورد منابع آب از نوع آزاد می‌باشد و کل منطقه دارای ارزش یک است. طبق



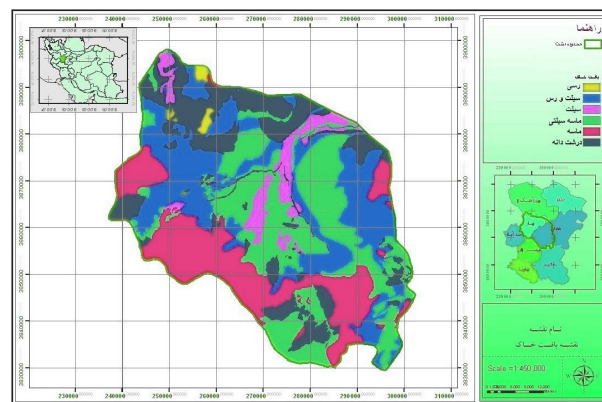
شکل ۱۳- نقشه پهنه‌بندی لایه‌های منطقه غیراشباع.  
**Figure 13. Unsaturated area layers zoning map.**

شکل ۱۴ نشان‌دهنده لایه عمق آب زیرزمینی بعد از ارزش‌گذاری است. این لایه در دشت مورد مطالعه در ۳ کلاس (۰/۷، ۰/۸، ۰/۹) قرار می‌گیرد. در قسمت عمده‌ای از آبخوان، عمق آب زیرزمینی بین ۲۰ تا متر است.



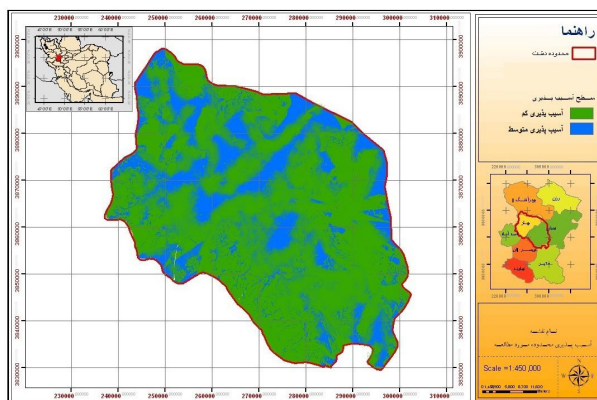
شکل ۱۴- نقشه پهنه‌بندی پارامتر عمق آب زیرزمینی.  
Figure 14. Ground water depth zoning map.

نقشه مربوط به لایه محیط خاک به روش GODS همانند لایه مربوط به محیط خاک در روش دراستیک تهیه گردید که نتایج حاصله در نقشه شکل ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۵- نقشه پهنه‌بندی پارامتر نوع خاک منطقه.  
Figure 15. Zoning map of the soil type region.

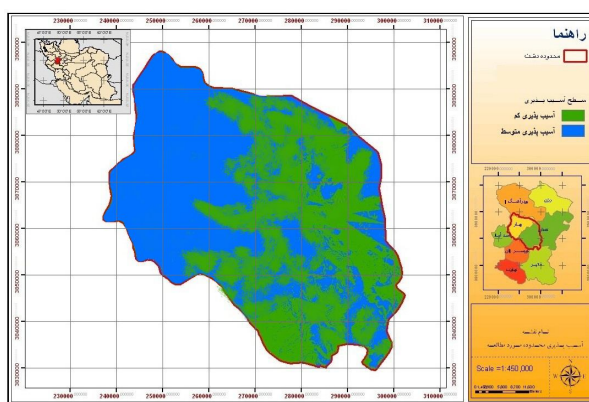
شکل ۱۶ نقشه آسیب‌پذیری آبخوان میمه را به روش GODS نشان می‌دهد. در این روش پتانسیل آسیب‌پذیری در محدوده ۰/۱-۰/۵ قرار می‌گیرد که با توجه به کلاس‌بندی روش GODS در محدوده آسیب‌پذیری کم و متوسط قرار دارد.



شکل ۱۶- نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری به روش GODS.  
Figure 16. Vulnerability zoning map by GODS method.

برای کل آبخوان، میان‌یابی گردید. در این روش پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان میمه در محدوده ۳-۱ یعنی آسیب‌پذیری کم و متوسط قرار دارد. شکل ۱۷ نتایج پهنه‌بندی آسیب‌پذیری به روش AVI را نشان می‌دهد.

خروجی حاصل از روش AVI: مقاومت هیدرولیکی برای هر لوگ حفاری با استفاده از اطلاعات مربوط به ضخامت لایه‌های بالای سفره آبدار و هدایت هیدرولیکی تخمینی هر لایه، محاسبه و پس از لگاریتم‌گیری، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10



شکل ۱۷- پهنه‌بندی آسیب‌پذیری به روش AVI.  
Figure 17. Vulnerability zoning map by AVI method.

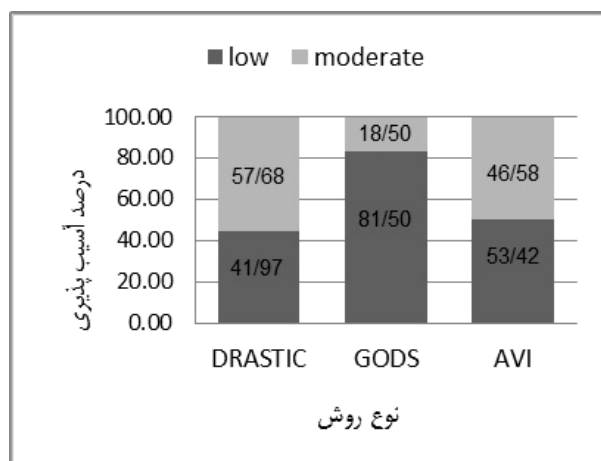
نقش آن‌ها در تعیین آلودگی، به‌طور دقیق‌تری محدوده‌های مختلف آسیب‌پذیری را مشخص کرده است. شیب متوسط قسمت‌های مرکزی منطقه نیز می‌تواند عاملی مؤثر برای افزایش زمان تماس آب‌های سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین و افزایش شانس برای نفوذ و در نتیجه، بالا رفتن پتانسیل آسیب‌پذیری این نواحی باشد. نتایج حاصل از مدل GODS، بیانگر

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از روش DRASTIC گویای آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت بهار در دو محدوده کم و متوسط به‌ترتیب با نسبت‌های ۴۱/۹۷ و ۵۷/۶۸ درصد بود. قسمت‌های مرکزی شرقی دشت دارای آسیب‌پذیری متوسط هستند. مدل دراستیک به‌دلیل پارامترهای بیش‌تر و وزن‌دهی متفاوت بر اساس

نشان داد. در این روش محدوده با پتانسیل آلودگی کم، بیش‌ترین وسعت را در منطقه مورد بررسی نشان داد. در هر سه روش آسیب‌پذیری دشت بهار در دو گروه کم و متوسط قرار گرفت ولی حدود گسترش محدوده‌های آسیب‌پذیری متفاوت است. در دو روش دراستیک و GODS محل‌های آسیب‌پذیری، بیش‌تر با هم همخوانی دارد. روش دراستیک آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت بهار را بیش‌تر از روش GODS برآورد کرده است. در دو روش دراستیک و AVI، پراکندگی پهنه‌های آسیب‌پذیری متوسط موجود منطقه با هم همخوانی دارد (شکل ۱۸).

آن است که آبخوان مورد مطالعه در دو کلاس آسیب‌پذیری کم با ۸۱/۵۰ درصد و آسیب‌پذیری متوسط با ۱۸/۵۰ درصد که در منطقه به‌صورت پراکنده قرار دارند، تقسیم‌بندی شدند. روش GODS از چهار پارامتر استفاده نمود که سه مورد آن‌ها (عمق آب زیرزمینی، نوع خاک و منطقه غیراشباع) با روش دراستیک مشترک می‌باشد. نتایج روش AVI نشان می‌دهد که ۵۳/۴۲ درصد از آب‌های زیرزمینی دارای پتانسیل آلودگی کم و ۴۶/۵۸ درصد از آن دارای پتانسیل آلودگی متوسط است. در روش AVI به‌دلیل مقدار کم پارامترهای آن در ارزیابی پتانسیل آلودگی، یک ارزیابی کلی از وضعیت پتانسیل آلودگی دشت



شکل ۱۸- درصد پهنه‌های آسیب‌پذیری در روش‌های DRASTIC، GODS و AVI.

Figure 18. Percent of vulnerable zone in methods DRASTIC, GODS, AVI.

کمبود آمار و اطلاعات پایه امکان‌پذیر نیست. فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز برای ارزیابی آسیب‌پذیری به روش GODS به مراتب 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. روش AVI از دقت کم‌تری نسبت به دو روش دیگر برخوردار است زیرا فقط از پارامترهای جنس لایه‌های محیط غیراشباع و ضخامت هر یک از آن لایه‌ها استفاده می‌کند.

اساساً از روش DRASTIC به شرط داشتن اطلاعات کافی از منطقه، می‌توان به‌عنوان پیش‌زمینه‌ای نظری برای ایجاد روش‌های ترکیبی مختلف برای بررسی ریسک آلودگی دشت استفاده کرد. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری به روش دراستیک هزینه و زمان بیش‌تری را نسبت به دو روش دیگر می‌طلبد. زیرا این روش از هفت پارامتر آسیب‌پذیری استفاده می‌کند و فراهم نمودن پارامترهای مورد نیاز برای پهنه‌بندی در برخی از موارد به‌ویژه در ایران به‌دلیل

دیگر نسبت داد. مدل DRASTIC به طور دقیق تری محدوددهای مختلف دارای پتانسیل آلودگی را مشخص کرده است.

### رهیافت‌های ترویجی

سه روش مورد استفاده در این پژوهش را می‌توان به‌عنوان روش‌های استاندارد معرفی و برای تمام آبخوان‌های موجود در کشور به‌منظور مدیریت و حفاظت کیفی منابع آب زیرزمینی به‌کار برد. ایجاد و استقرار سیستم مدیریت محیط‌زیست در جهت نظارت و کنترل دقیق و کامل سیستم‌های آبیاری و کودپاشی، میزان هدررفت آب و زه‌آب‌های تولیدی و در نهایت کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی. تلاش در جهت شناسایی مشکلات آبی محدودده مورد مطالعه و بهبود شرایط و ترویج آموزش‌های لازم در جهت ارتقاء فرهنگ صحیح استفاده از آب. اعمال قوانین و مقررات و محدودیت‌هایی جهت جلوگیری از مصارف نامناسب و هدررفت آب‌های زیرزمینی. اعمال قوانین و مقررات جهت جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی. استفاده از شیوه‌های علمی جدید مورد استفاده در کشورهای توسعه‌یافته در جهت حفاظت، بهره‌برداری و توسعه بهینه منابع آبی. انجام نمونه‌برداری‌های دوره‌ای از آب‌های زیرزمینی و شیرابه موجود در محدوده مورد مطالعه به‌منظور پایش کنترل کیفی آب‌های زیرزمینی. به‌منظور افزایش ضریب اطمینان در صحت داده‌های ورودی و افزایش دقت مدل چند چاه اکتشافی با پراکندگی کافی در محدوده مورد مطالعه حفر و آزمایش نفوذپذیری برای تهیه داده انجام گردد.

سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌دلیل قابلیت بالا در مدیریت حجم زیادی از داده‌های مکانی، محیط مناسبی را برای تحلیل پارامترهای دراستیک و تهیه نقشه آسیب‌پذیری فراهم کرد. پارامترهای روش‌های مورد استفاده در پژوهش با استفاده از توابع موجود در محیط GIS ساخته و طبقه‌بندی شدند.

مقایسه نتایج این پژوهش با نتیجه ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی حوضه دریاچه اجیردیر در ترکیه نشان داد که در پژوهش مذکور به‌علت استفاده از یک مدل برای ارزیابی منطقه مورد مطالعه، امکان مقایسه بین چند روش و انتخاب روش برتر وجود نداشته و خطاهای احتمالی حاصل از استفاده یک روش را باید نادیده گرفت (۲۰). پژوهش صورت‌گرفته در جنوب اردن به‌منظور ارزیابی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه خود تنها با هدف بررسی ناشی از خاکسترهای سوختن چاه‌های نفت، مورد بررسی قرار گرفته، اما در پژوهش پیش‌رو آلودگی‌های ناشی از تمام عوامل مدنظر بود (۳).

همچنین در مقایسه نتایج با پژوهش محمودزاده و همکاران (۲۰۱۳)، باید گفت که نتایج به هم نزدیک می‌باشد (۱۷). در پژوهش آصفی و همکاران (۱۳۹۳)، به‌منظور انطباق بیشتر مدل‌های اصلاح‌شده با شرایط واقعی آبخوان از مدل‌های SINTACS و DRASTIC بهره گرفته شد که دارای هدفی یکسان نسبت به هدف پژوهش پیش‌رو می‌باشد (۵). در مقایسه نتایج مطالعات کلاتری و همکاران (۲۰۰۷)، باید ذکر کرد که در هر دو مطالعه نتایج یکسانی کسب شده است (۱۴). در هر دو مطالعه محدوده‌های آسیب‌پذیری به روش‌های DRASTIC و GODS نسبت به روش AVI، شباهت بیشتری با یکدیگر داشته‌اند. علت آن را می‌توان به دقت کم‌تر روش AVI نسبت به دو مدل

منابع

1. Abyane, Z., Abdolsalehi, S.E., and Kazemi, A. 2013. Erosion and sedimentation study of groundwater plain Hamedan. *J. Environ. Sci. Technol.* 12: 82-92.
2. Ahmadi, A., and Aberoumand, M. 2009. Vulnerability of Khash-Plain Aquifer, Eastern Iran, to Pollution Using Geographic Information System (GIS). *J. Geotechnic. Geol.* 5: 1-11. (In Persian)
3. Al-Adamat, R.A.N., Al-Harashseh, A., and Al-Farajat, M. 2010. The use of GIS and leachability tests to investigate groundwater vulnerability to pollution from oil shale utilization at Lajjoun area/southern Jordan, *Jordan J. Civil Engin.* 3: 253-263.
4. Al-Adamat, R.A.N., Foster, I.D.L., and Baban, S.M.J. 2003. Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC, *Applied Geography*, 23: 303-324.
5. Asefi, M., Radmanesh, F., and Zreie, H. 2014. DRASTIC and SINTACS optimization models based on geographic information system using the analytic hierarchy process (Case study: Plain Andimeshk). *J. Environ. Stud.* 40: 79-94. (In Persian)
6. Asghari Moghadam, M., Fijani, A., and Nadiri, A. 2009. The Bazargan and Poldasht groundwater vulnerability assessment using DRASTIC model based on GIS. *J. Environ. Stud.* 52: 55-64. (In Persian)
7. Azad Shahraki, F., Aghasi, A., Azad Shahraki, F., and Zarei, A. 2010. Vulnerability Mapping of the Hashtgerd Aquifer Using DRASTIC Method and Sensitivity Analysis. *J. Water Wastewater.* 2: 61-70. (In Persian)
8. Bai, L., Wang, Y., and Meng, F. 2011. Application of DRASTIC and extension theory in the groundwater vulnerability evaluation, *Water Environ. J.* 26: 3. 381-391.
9. Balakrishnan, P., Saleem, A., and Mallikarjun, N.D. 2011. Groundwater quality mapping using geographic information system (GIS): a case study of Gulbarg city, Karnataka, Ind. *Afric. J. Environ. Sci. Technol.* 5: 12. 1069-1084.
10. Chilton, P.J., Vlugman, A., and Foster, S. 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, Pp: 279-289.
11. Gogu, R.C., and Dassargues, A. 2000. Current trends in vulnerability Assessment using overlay and index methods, *Environment Geology*, 39: 6. 549-559.
12. Hamedan province's environment department. 2012. Plain underground water pollution study of Hamadan-Bahar. 51p.
13. Hasiniaina, F., Zhou, J., and Guoyi, L. 2010. Regional assessment of groundwater vulnerability in Tamtsag basin, Mongolia using drastic model. *J. Amer. Sci.* 6: 11. 65-78. (In Persian)
14. Kalantari, N., Faryabi, M., and Rahimi, M.H. 2007. Pollution potential assessment of Baghmalek plain groundwater with use of AVI method, GOD and DRASTIC models in GIS media. *J. Environ. Geol.* 2: 431-450. (In Persian)
15. Karami Shahmaleki, N., Behbahani, S.M., Massah Bavani, A., and Khodaie K. 2012. Comparison of Logistic Regression, DRASTIC modified AHP-DRASTIC groundwater vulnerability review. *J. Environ. Stud.* 4: 79-92. (In Persian)
16. Robert, M.E. 1997. Determination of transmissivity from specific capacity tests in a karst aquifer. *Ground Water*, 35: 5. 738-742.
17. Mahmoud Zade, E., Rezaian, S., and Ahmadi, A. 2013. Meyme of aquifer vulnerability assessment using comparative methods DRASTIC, GODS, AVI. *J. Environ. Stud.* 4: 45-60. (In Persian)
18. Merchant, J. 1994. GIS-based groundwater pollution hazard assessment: a critical review of the DRASTIC model. *Photogram Eng. Remote Sensing.* 60: 9. 1117-1127.
19. Office of Water Resources. 2011. Report of the balance of groundwater resources of Hamadan-Bahar. 22p.



20. 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. 8p.
21. Prasad, R.K., Mondal, N.C., Banerjee, P., Nandakumar, M.V., and Singh, V.S. 2008. Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS, *Environmental Geology*, 55: 3. 467-475.
22. Rahman, A. 2008. A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Applied Geography*, 28: 32-53.
23. Sener, E., and Davraz, A. 2012. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: the case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey).
24. Van Stempvoort, D., Ewert, L., and Wassenaar, L. 1993. Aquifer vulnerability index: a GIS-compatible method for groundwater vulnerability mapping, *Can. Water Resour. J.* 1: 25-37.
25. Vrba, J., and Zoporozec, A. 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability, *International Contribution for Hydrogeology*, 131p.



## **Evaluating the environmental vulnerability of the groundwater of Hamedan's Dasht-e Bahar through DRASTIC, GODS and AVI integrated methods**

**\*S.A. Jozi<sup>1</sup>, N. Roniasi<sup>2</sup> and S. Ataei<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Professor, Dept. of Environmental Science, Faculty of Technical and Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, <sup>2</sup>Ph.D. Graduate, Dept. of Environmental Science, The Club of Young and Elite Researchers, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran, <sup>3</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Environmental Assessment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 09.10.2014; Accepted: 02.07.2015

### **Abstract**

**Background and Objectives:** This research has been conducted with the aim to evaluate the vulnerability of Hamedan's Dasht-e Bahar groundwater and to compare the zonings through utilizing DRASTIC, GODS, and AVI methods.

**Materials and Methods:** The data were turned into raster layers in the GIS software after exploring the region's environment and collecting the data of 70 wells located in the study area. Each method's weight giving, ranking, and classification was conducted after the raster layers obtained from the wells' locations and the essential data were prepared. The vulnerability maps of the three methods were then compared to each other.

**Results:** The results obtained from DRASTIC method, which is almost the most thorough method of evaluating the groundwater vulnerability potential, estimated 41.97 percent of the area to have low vulnerability and 57.68 percent of the area as moderately vulnerable. The results of GODS method indicate that the 50.81 and 50.18 percent of the study plain is located in two low and moderate vulnerability classes, respectively. The results of the AVI method also indicate that 53.42 percent of the aquifer has a low pollution potential and 46.58 percent of it has a moderate pollution potential. Based on all three methods Dasht-e Bahar is in low and moderate vulnerability classes but the extents of the development of the vulnerability zones are different. The vulnerability areas were more consistent in DRASTIC and GODS methods and the DRASTIC method estimated the vulnerability of Dasht-e Bahar's groundwater to be greater than what the GODS method had estimated. The distributions of the moderately vulnerable areas in the region were consistent in both DRASTIC and AVI method.

**Conclusion:** The results generally indicate that the utilized models are more consistent with the actual condition of the aquifer. With regard to the resources limitation and the water table drop and also the fact that this plain is a sensitive area in providing drinking water and industrial and agricultural water for Hamedan and Bahar, it is crucial to manage the groundwater of the plain region.

**Keywords:** Aquifer, AVI method, DRASTIC method, GODS method, Vulnerability

---

\* Corresponding author: sajozi@yahoo.com