



## ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت ایسین با استفاده از مدل‌های دراستیک و گادز (GODS) در سیستم اطلاعات جغرافیایی

مقاله  
پژوهشی

مجید پوربلیغی، سحر رضایان، مریم رفعتی، رخشاد حجازی

دریافت: ۲۲ بهمن ۱۳۹۹ / پذیرش: ۱۲ فروردین ۱۴۰۰

دسترسی اینترنتی: ۱۵ دی ۱۴۰۰

### چکیده

همراه با رشد جمعیت از سوی دیگر استفاده بیش‌ازحد از منابع طبیعی و گسترش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی و تولید انبوه پسماندها و آلودگی گسترده آب‌های زیرزمینی و رشد و آگاهی فکری جوامع بشری در مورد اهمیت این منابع آسیب‌پذیر، منجر به تلاش‌های وسیعی جهت محافظت از آب‌های زیرزمینی شده است. فرایند احیاء آبخوان‌ها در مقیاس منطقه‌ای در یک قالب زمانی معقول امکان‌پذیر نیست زیرا آب‌های زیرزمینی خیلی کند جریان پیدا می‌کنند. ارزیابی آسیب‌پذیری به‌عنوان روشی برای پهنه‌بندی مکان‌هایی است که بیشتر در معرض آلودگی هستند؛ بنابراین برای جلوگیری از آلوده شدن و مدیریت مؤثر آب‌های زیرزمینی، ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌ها ضروری است زیرا آسیب‌پذیری می‌توان به تعیین سیاست‌های کاربردی و عملی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی در مسیر بهره‌برداری پایدار کمک شایانی نماید. در کشور ما در دهه اخیر، ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در برابر آلودگی، از رشد چشمگیری برخوردار بوده و نتایج مطلوبی نیز به دنبال داشته است. ارزیابی آسیب‌پذیری روشی کم‌هزینه و قدرتمند در شناسایی مناطق نواحی مستعد به آلودگی است. در دشت ایسین هرمزگان به دلیل وسعت کم، بارش سالیانه کم و کمبود منابع آب در این منطقه، استفاده از منابع آب زیرزمینی بسیارحائزاهمیت است. با توجه به افزایش جمعیت، فعالیت‌های صنعتی و توسعه کشاورزی و استفاده از سموم کشاورزی و کودهای شیمیایی در این دشت و به

پیشینه و هدف در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران که متوسط بارش سالانه آن کمتر از یک‌سوم متوسط بارش سالانه جهان است، آب‌های زیرزمینی منبع مهم و اصلی برای تأمین آب شرب است. کمی و نامنظمی بارندگی، ضایعات، منابع آب زیرزمینی را مورد تهدید جدی قرار داده و سبب پیدایش آلودگی‌های زیادی گردیده است. از نظر کیفی بیشتر مخازن آب زیرزمینی نسبت به منابع آلاینده نقطه‌ای وزیر نقطه‌ای آسیب‌پذیر می‌باشند. منابع آلاینده نقطه‌ای ناشی از پساب فاضلاب‌های خانگی و صنعتی و منابع آلاینده غیر نقطه‌ای از مصرف بی‌رویه و بیش‌ازحد کودها و سموم کشاورزی و شسته شدن آن‌ها به سمت آب‌های زیرزمینی منتج می‌شود. محدودیت منابع آب‌های سطحی و نبودن آن در بسیاری از مناطق کشور، باعث شده که از آب‌های زیرزمینی استفاده وسیعی گردد. امروزه افزایش فعالیت‌های کشاورزی، باغداری و دامداری از یکسو و فعالیت‌های صنعتی و کارگاهی و توسعه سکنه گزینی

مجید پوربلیغی<sup>۱</sup>، سحر رضایان<sup>۲</sup> (✉)، مریم رفعتی<sup>۳</sup>، رخشاد حجازی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری آمایش محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه

آزاد واحد تهران شمال، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد واحد شاهرود،

شاهرود، ایران

۳. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد واحد

تهران شمال، تهران، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات : [s.rezayan99@yahoo.com](mailto:s.rezayan99@yahoo.com)

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.4.4.1>

که تقریباً کامل‌ترین شاخص برای ارزیابی نیروی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی است، نشان داد دامنه مقادیر شاخص دراستیک بین ۵۹ تا ۱۶۳ است. نقشه این شاخص در ۶ طبقه از بدون آسیب‌پذیری تا آسیب‌پذیری زیاد استخراج شده است. بیشترین مساحت منطقه (۳۳/۶۶ درصد) که بخش‌های شمال شرق، بخش‌هایی از مرکز تا جنوب دشت را پوشش می‌دهد، دارای آسیب‌پذیری کم تا متوسط است. پس از آن به ترتیب آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد (۱۹/۲۹ درصد) در بخش‌هایی از مرکز و شمال غرب قرار داشته و همچنین آسیب‌پذیری خیلی کم (۱۴/۷۵ درصد) در قسمت‌های از جنوب و شرق، در بخش‌هایی از مناطق شرق و جنوب بدون آسیب‌پذیری (۱۱/۲۹ درصد)، در مناطق شمال و بخشی از مرکز و جنوب دارای آسیب‌پذیری کم (۱۰/۱۵ درصد) و در نهایت آسیب‌پذیری زیاد (۱۰/۸۴ درصد) در قسمتی از مرکز و غرب در رده‌های بعدی از لحاظ مساحت قرار داشتند. در واقع طبق مدل دراستیک اکثر بخش‌های آبخوان دشت ایسین از نظر پتانسیل آسیب‌پذیری در کلاس‌های آسیب‌پذیری کم و کم تا متوسط قرار داشتند. همچنین نتایج حاصل از مدل گادز نشان داد، منطقه مورد مطالعه به سه بخش شامل آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد تقسیم شده است، قسمت اعظم دشت ایسین (۶۶/۸۳ درصد) در محدوده آسیب‌پذیری متوسط با رتبه‌ای بین ۰/۳ تا ۰/۵ قرار می‌گیرند و کمترین سطح (۱۱/۳۱ درصد) هم مربوط به پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد با رتبه ۰/۵ تا ۰/۷ است.

**نتیجه‌گیری** به‌طور کلی در هر دو روش، نیروی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان ایسین در محدوده‌های آسیب‌پذیری کم تا زیاد ارزیابی شده ولی حدود گسترش محدوده‌های آسیب‌پذیری آن‌ها متفاوت بوده است و مدل دراستیک محدوده‌های مختلف آسیب‌پذیری را به دلیل مشخصه‌های بیشتر و وزن‌دهی متفاوت این مشخصه‌ها بر اساس نقش آن‌ها در تعیین آلودگی به‌طور دقیق‌تری مشخص کرده است.

**واژه‌های کلیدی:** آب زیرزمینی، مدل دراستیک، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل گادز (GODS)، دشت ایسین

دلیل عدم شناخت و یا عدم درک از میزان دقیق آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در این محدوده، نیاز به تکنیک‌های سریع شناسایی و ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در این منطقه است لذا هدف از این تحقیق تهیه نقشه آسیب‌پذیری سفره آب‌های زیرزمینی دشت ایسین هرمزگان با استفاده از روش‌های دراستیک و گادز (GODS) و با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی تعیین شده است

**مواد و روش‌ها** این تحقیق با روش‌های دراستیک و گادز با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد. روش دراستیک مهم‌ترین روش رتبه دهی تعیین آسیب‌پذیری است که در بین محققین و کارشناسان رایج‌تر بوده و مورد استفاده قرار گرفته است. روش دراستیک از ترکیب هفت مشخصه هیدروژئولوژیک قابل اندازه‌گیری و مؤثر در انتقال آلودگی به آب‌های زیرزمینی شامل عمق سطح ایستابی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، اثر محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیک تشکیل شده که ابتدا نقشه‌های هر یک از مشخصه‌های هیدروژئولوژیک فوق‌الذکر در دشت ایسین را بر اساس داده‌های موجود که از شرکت آب منطقه‌ای هرمزگان استخراج شده در محیط GIS تهیه و پس از رتبه‌بندی و وزن دهی آن‌ها بین ۱ تا ۱۰ و رویهم گذاری آن‌ها، نقشه نهایی آسیب‌پذیری آبخوان ایسین بر اساس مدل دراستیک به دست آمد. در مدل گادز که یک روش بسیار ساده، عملی و تجربی برای ارزیابی سریع پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی است نیز دارای چهار مشخصه نوع آبخوان، منطقه غیراشباع، عمق آب زیرزمینی و نوع خاک بوده که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های مورد استفاده در مدل‌های فوق‌الذکر از ۱۹ حلقه چاه پیزومتری واقع در دشت ایسین که از سال ۱۳۶۸ لغایت ۱۳۹۵ موجود بوده استخراج شد. در روش گادز نیز مانند روش دراستیک برای هر کدام از مشخصه‌های هیدروژئولوژیک بر اساس داده‌های موجود، در محیط GIS نقشه تهیه و رتبه‌بندی بین ۱ تا ۵ انجام، سپس بعد از رویهم‌گذاری آن‌ها نقشه‌های آسیب‌پذیری دشت ایسین با مدل گادز به دست آمد.

**نتایج و بحث** از آنجایی که در شاخص مدل دراستیک حداقل ممکن برای آسیب‌پذیری برابر ۲۳ و حداکثر آن برابر با ۲۳۰ است؛ اما نتایج نقشه نهایی آسیب‌پذیری آبخوان ایسین به روش دراستیک

## مقدمه

سفره‌های آب زیرزمینی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آبی آسیب‌پذیرمکن است به روش‌های مختلف در معرض آلودگی قرار گیرند که تشخیص و کنترل آلودگی آن‌ها نسبت به آب‌های سطحی با توجه به عدم مشاهده مستقیم، مشکل‌تر و پرهزینه‌تر است. همچنین، به دلیل آلودگی در مدت زمان زیاد در این منابع، بهترین روش جلوگیری از آلودگی آن‌ها، شناسایی منابع آلوده‌کننده و مناطق آسیب‌پذیر، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب برای کاهش آلودگی است (۲۳). در دشت ایسین هرزگان به دلیل وسعت کم، بارش سالیانه کم و کمبود منابع آب در این منطقه، استفاده از منابع آب زیرزمینی بسیارحائزاهمیت است. با توجه به افزایش جمعیت، فعالیت‌های صنعتی و توسعه کشاورزی و استفاده از سموم کشاورزی و کودهای شیمیایی در دشت ایسین و به دلیل عدم شناخت صحیح و یا عدم درک از میزان دقیق آسیب‌پذیری سریع آب‌های زیرزمینی در این محدوده، نیاز به تکنیک‌های سریع شناسایی و ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در این منطقه ضروری است. نقشه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بر اساس اینکه برخی از اراضی نسبت به دیگر اراضی بیشتر در معرض آلودگی هستند و امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی بیشتر است، شکل‌گرفته است. روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی تاکنون ارائه شده است که می‌توان به روش‌های همچون پردازشی، همپوشانی مثل دراستیک (Drastic)، (AVI) (Aquifer Vulnerability Index)، گادز و سینتکس (SINTACTS) و آماری اشاره کرد (۲۳). در تمامی روش‌های مذکور، آسیب‌پذیری آبخوان بر اساس انتقال آلودگی از سطح زمین به لایه آبدار برآورد می‌شود. تفاوت این روش‌ها در تعداد مشخصه‌های استفاده‌شده در ارزیابی نیروی آلودگی و امتیازات مربوط به هر مشخصه است. در کشورهای مختلف جهان ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با روش‌های مختلف و به‌طور عمده به‌وسیله روش دراستیک انجام‌شده است. ازجمله می‌توان به مطالعات، بوف

کانه و ثیقی (۱۲)، شرسناو همکاران (۲۶)، برا و همکاران (۱۰)، بهیووانسواران و گانش (۱۱)، دوتاگوپتا و همکاران (۱۳)، آریا و همکاران (۳)، گواتایا و همکاران (۱۵)، کنوز و همکاران (۱۸)، بنابدلوا و همکاران (۹)، لورا و همکاران (۱۹) اشاره کرد. سامانه اطلاعات جغرافیایی، به دلیل ویژگی‌ها و توانایی‌های خاص خود، در بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی می‌تواند ابزاری بسیار مفید باشد. این سامانه قابلیت جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و تجزیه‌وتحلیل هم‌زمان پارامترهای مختلف را دارد و نمایش داده مکانی را در مدت‌زمان کوتاه فراهم می‌سازد. در راستای ارزیابی آسیب‌پذیری سفره آب‌های زیرزمینی تحقیقات زیادی صورت گرفته است. نتایج مطالعه لو را و همکاران (۱۹) در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در منطقه بایر شهر تا (مراکش) با روش در استیک نشان دادبخش اعظم محدوده مورد مطالعه از آسیب‌پذیری بالایی برخوردار است. نتایج پژوهش اسفاو و ایالیو (۴)، در مدل‌سازی آسیب‌پذیری حوضه آبخیز مِگچ (Megech) در برابر آلودگی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش دراستیک اصلاح‌شده در شمال غرب اتیوپی حاکی از آن است که ۸۵ درصد از آب‌های زیرزمینی حوضه آبخیز دارای آلودگی زیاد تا متوسط، ۵/۷۴ درصد دارای آسیب‌پذیری متوسط و ۹/۲۶ درصد هم آسیب‌پذیری کم را دارا بودند. بووانسواران و گانش (۱۱) در مطالعه خود، در خصوص ارزیابی مکانی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک مبتنی با سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبریز، نندیار، در هند به این نتیجه رسیدند که ۶۲ درصد از آب‌های زیرزمینی این منطقه در معرض آسیب‌پذیری متوسط در برابر آلودگی آب قرار دارند. نتایج تحقیق نخستین روحی و همکاران (۲۳) در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت عجب‌شیر به‌منظور پیشگیری از خطرات آلودگی و اعمال مدیریت بهینه با روش‌های گادز و دراستیک نشان داد، سطح عمده آبخوان در هر دو روش دارای آسیب‌پذیری کم و متوسط بوده است. انتظاری و همکاران (۱۴) در مطالعه خود تحت عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی حوزه طرqbه شاندریز استان

ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری دشت ایسین هرمزگان انجام شد، لذا از این نظر این تکنیک برای این منطقه دارای نوآوری است.

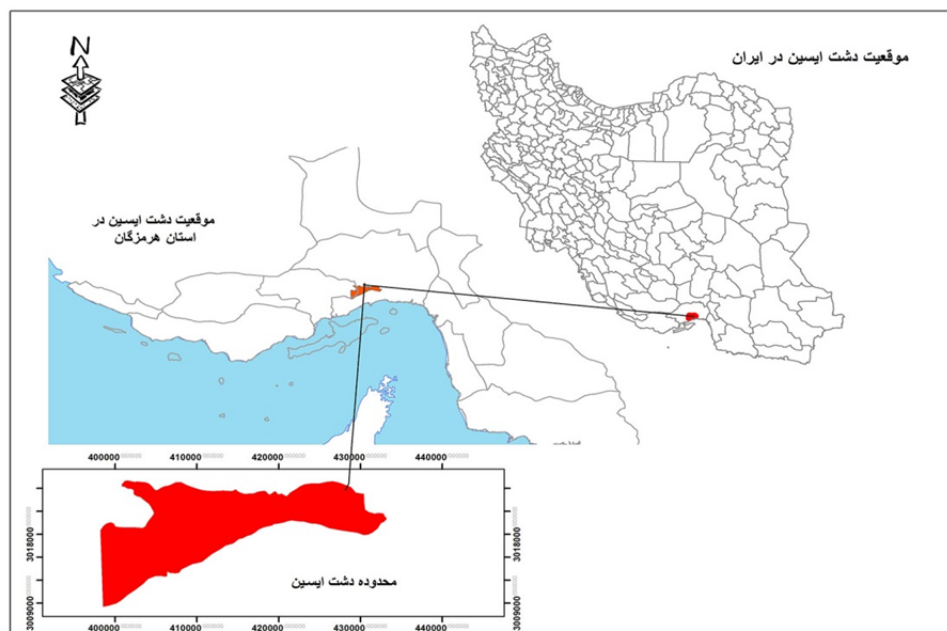
### روش تحقیق

#### محدوده مورد مطالعه

دشت ایسین هرمزگان به وسعت ۲۴۴ کیلومترمربع در ۱۰ کیلومتری شمال شهر بندرعباس، در محدوده مختصات جغرافیایی  $01^{\circ} 56'$  تا  $01^{\circ} 21'$  طول شرقی و  $01^{\circ} 27'$  تا  $01^{\circ} 27'$  عرض شمالی قرار دارد. این دشت در محدوده دو شهرستان بندرعباس و بندر خمیر واقع شده است (شکل ۱). از نظر اقلیم، منطقه مورد مطالعه دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک و بیابانی و دارای میانگین دمای سالانه ۲۷ درجه و میانگین بارندگی ۲۰ سال گذشته آن ۱۶۷ میلی‌متر و میانگین تبخیر سالانه برابر با ۳۲۳۷/۸ میلی‌متر است (۱۶). دشت ایسین دارای ۲۹ آبادی با جمعیت ۷۱۰۰ نفر و ۶۰ مزرعه به مساحت ۶۵۰۰ هکتار است. تعداد کل چاه‌های کشاورزی ۳۸۶ حلقه و چاه‌های پیزومتری ۱۹ حلقه در این دشت وجود دارد.

خراسان با استفاده از روش دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی به این نتیجه رسیدند که حوزه طریقه شاندریز دارای ۱۵/۹ درصد آسیب‌پذیری خیلی کم، ۲۰/۲۹ درصد آسیب‌پذیری کم، ۲۶/۳۳ درصد آسیب‌پذیری متوسط، ۲۴/۳۴ درصد آسیب‌پذیری زیاد و ۱۳/۱۴ درصد هم آسیب‌پذیری خیلی زیاد است.

هدف این تحقیق، تهیه نقشه آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی آبخوان دشت ایسین با استفاده از مدل‌های تلفیقی گادز و دراستیک با استعانت از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مقایسه نتایج آن‌ها و انتخاب بهترین روش است. با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه که برای فعالیت‌های شرب و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و از آنجایی که این دشت قطب تولید سبزی‌های استان هرمزگان است، لذا مدیریت هرچه بهتر منابع آبی آن بسیار ضروری است؛ و با توجه به اینکه برای نخستین بار با استفاده از دو تکنیک گادز و دراستیک با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی

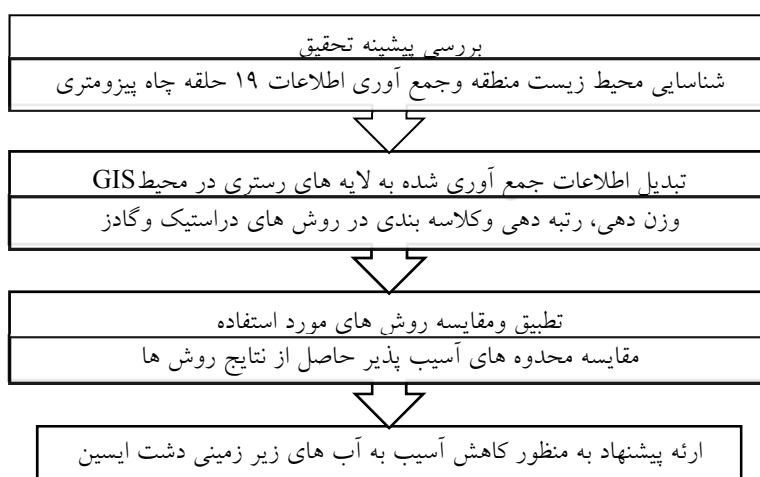


شکل ۱. موقعیت مکانی سفره آب زیرزمینی دشت ایسین هرمزگان

Fig. 1. Location of ground water reservoir of Haormozgan's Dasht-Aisin

مورد نیاز انجام گرفت که از آن جمله می توان به تبدیل داده های نقطه ای به سطح، شامل درون یابی کریجینگ (Kriging)، ایجاد شبکه تیسن و غیره اشاره کرد. تعداد ایستگاه های نمونه برداری در محدوده مورد مطالعه شامل اطلاعات ۱۹ حلقه چاه پیژومتری بود. در نهایت بر اساس نتایج به دست آمده، مدل بهینه برای ارزیابی آسیب پذیری آبخوان مورد مطالعه معرفی شد. در شکل ۲ مراحل انجام پژوهش (فلوچارت) به تفکیک نشان داده شده است.

به منظور ارزیابی آلودگی آب های زیرزمینی دشت ایسین در محیط جی آی اس (GIS) از تلفیق روش های در استیک و گادز، پس از جمع آوری داده ها و اطلاعات مورد نیاز، استفاده گردید. با اعمال تبدیلاتی، داده های جمع آوری شده در محیط GIS به لایه های رستری تبدیل و بر اساس معیارهای تعریف شده در روش های مدنظر، بررسی، وزن دهی، رتبه دهی و کلاس بندی صورت گرفت. برای تهیه نقشه های معیارهای مورد نیاز مدل ها، آنالیزهای مکانی مختلفی روی داده های



شکل ۲. فرایند ارزیابی آسیب پذیری محیط زیستی آب های زیرزمینی دشت ایسین هرمزگان به روش های تلفیقی در استیک و گادز

Fig. 2. The process of assessment of the environmental vulnerability of ground water reservoir of Aisin's Dasht-e Hormozgan by the compilation methods DRASTIC and GODS.

تحلیل های لازم بر روی آن ها انجام می شود، ظاهر می گردد. برای تعیین اهمیت نسبی هر کدام از عوامل هفت گانه استفاده شده در مدل، هر پارامتر نسبت به سایر عوامل ارزیابی می شود، به طوری که به هر کدام با توجه به اهمیت تأثیر در آلودگی سیستم آب زیرزمینی یک وزن نسبی، از یک تا پنج، تعلق می گیرد که نشان دهنده اثر نسبی هر پارامتر بر انتقال آلودگی در آب های زیرزمینی است (۲). در این روش وزن های عددی که به هر پارامتر داده شده است با استفاده از روش دلفی پایه ریزی شده و در سرتاسر دنیا مورد استفاده قرار می گیرد. در روش دلفی از کارشناسان رشته هیدروژئولوژی و زمین شناسی خواسته شده که میزان خطر مربوط به فعالیت های خاصی را که تحت تأثیر یک سری از شرایط اولیه انجام شود

### روش در استیک (DRASTIC)

روش در استیک جزء روش های همپوشانی و شاخص بوده و از متداول ترین روش های ارزیابی پتانسیل آسیب پذیری ذاتی آب های زیرزمینی محسوب می شود. این روش توسط آلر و همکاران (۱) با هدف ارزیابی سامانمند پتانسیل آلودگی آب های زیرزمینی توسعه یافت. این مدل از ترکیب هفت پارامتر هیدروژئولوژیک قابل اندازه گیری و مؤثر در انتقال آلودگی به آب های زیرزمینی، شامل عمق سطح ایستابی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، اثر محیط غیر اشباع (I) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (c) تشکیل شده است (۲). این هفت مشخصه در محیط نرم افزار جی آی اس (GIS) به صورت هفت لایه که

مشخصه‌های مدل دراستیک (DRASTIC)

عمق تا سطح ایستابی (Depth to water table)

عمقی که آلودگی باید طی کند تا به سطح ایستابی برسد را عمق سطح آب گویند. هر چه عمق سطح آب بیشتر باشد زمان حرکت و ماندگاری آلودگی آن بیشتر می‌شود (۶). در نتیجه احتمال از بین رفتن آلودگی با عمق سطح ایستابی افزایش می‌یابد. نقشه عمق سطح ایستابی با درون‌یابی نقاط حاصل از میانگین عمق سطح ایستابی پیژومترها در محیط GIS برای یک دوره ۲۷ ساله (۱۳۶۶ تا ۱۳۹۳) با استفاده از کریجینگ (Kriging) به دست آمد. سپس طبق جدول ۱ و بر اساس روش دلفی رتبه‌بندی و وزن دهی شد. به هر پارامتر بر اساس استعداد و حساسیت نسبی در برابر آلاینده، یک وزن نسبی از ۱ تا ۵ اختصاص داده می‌شود. همچنین رتبه‌بندی بر اساس مقیاس ۱ تا ۱۰ (۱ به معنای کمترین و ۱۰ بیشترین خطر برای آلودگی آب زیرزمینی) و اهمیت نسبی آن در پتانسیل آلودگی در منطقه مورد ارزیابی انجام گرفت.

را تعیین نمایند. این فعالیت‌ها و شرایط، عموماً در طبیعت وجود دارد و مختص مکان خاصی نیست پس وزن‌های داده‌شده به هر پارامتر در روش دراستیک، اتفاق نظر کارشناسان در مورد میزان خطر مربوط به هر پارامتر است (۲۵). برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری پس از جمع‌آوری و رقومی کردن اطلاعات هیدروژئولوژیکی که پتانسیل آلودگی را کنترل می‌کنند، آن‌ها را با یکدیگر هم‌پوشانی و تلفیق کرده و یک لایه جدید به نام شاخص دراستیک، طبق رابطه ۱ محاسبه گردید.

[۱]

$$DRASTIC\ Index = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$

در این رابطه؛ حروف بزرگ، مشخصه‌های تأثیرگذار در مدل دراستیک، اندیس  $r$ ، رتبه لایه و اندیس  $w$ ، وزن لایه را معرفی می‌کنند؛ بنابراین شاخص آسیب‌پذیری ذاتی در این روش از حاصل ضرب وزن هر پارامتر در رتبه آن به دست می‌آید (۲ و ۵).

جدول ۱. رتبه‌بندی و وزن دهی عمق سطح ایستابی دشت ایسین (۸)

Table 1. Ranking and weighting of the depth to water table of Haormozgan's Dasht-Aisin (8)

رتبه	محدوده (متر)
۱۰	(۰-۱/۵)
۹	(۱/۵-۴/۶)
۷	(۴/۶-۹/۱)
۵	(۹/۱-۱۵/۸)
۳	(۱۵/۸-۲۲/۹)
۲	(۲۲/۹-۳۰/۴)
۱	۳۰/۴ <

وزن نسبی ۵

بیشتر خواهد بود. برای محاسبه میزان تغذیه، از رابطه ۲ استفاده شد (۲۴). بدین منظور می‌بایست نقشه‌های درصد شیب، میزان بارندگی و نفوذپذیری خاک تهیه گردد که برای تهیه نقشه درصد شیب با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع (DEM) از منطقه تهیه، سپس

تغذیه خالص (Net recharge)

مقدار آبی که از سطح زمین نفوذ کرده و موجب انتقال آلودگی به صورت عمودی تا سطح ایستابی می‌شود و سپس به صورت افقی در آبخوان منتشر می‌گردد تغذیه خالص گویند. معمولاً هر چه تغذیه بیشتر باشد پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی

رتبه بارندگی منطقه که در مورد منطقه مورد مطالعه برابر یک است (با توجه به اطلاعات هواشناسی ثبت شده مربوط به منطقه). برای محاسبه پتانسیل تغذیه یک منطقه از رابطه ۲ محاسبه گردید.

[۲]

درصد شیب + میزان بارندگی + نفوذپذیری خاک = مقدار تغذیه

برای نقشه شیب دشت مورد مطالعه با استفاده از اکستنشن (D3 ArcGIS) در نرم‌افزار ArcGIS استخراج و با استفاده از معیارهای جدول ۲ رده‌بندی و نقشه شیب مهیا شد. برای تهیه نقشه خاک، با استفاده از نقشه بافت خاک موجود در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان و با توجه به معیارهای موجود در جدول ۲ تهیه و رتبه‌بندی گردید. در پایان تمام نقشه‌ها به فرمت رستری تبدیل و نقشه مربوط به لایه تغذیه، با همپوشانی نقشه شیب و نفوذپذیری خاک به همراه

جدول ۲. رتبه‌بندی و وزن دهی تغذیه خالص دشت ایسین (۲۳)

Table 2. Ranking and weighting of the net recharge of Haormozgan's Dasht-Aisin (23)

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

#### محیط آبخوان (Aquifer media)

برحسب نسبت جنس مواد تشکیل‌دهنده آبخوان در هرکدام از چاه‌ها طبق جدول ۳ مدل دراستیک و بر اساس نظریه کارشناسی (روش دلفی) (۲۵) رتبه‌بندی و وزن دهی، سپس با اعمال درون‌یابی (کریجینگ) لایه رستری محیط آبخوان تهیه گردید.

محیط آبخوان و مواد تشکیل‌دهنده آن طول و چگونگی روند مسیر سیستم جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می‌کند. برای تهیه نقشه محیط آبخوان، ابتدا با استفاده از راهنمای ستون عمودی عمق ۱۹ چاه‌های مشاهده‌ای (پیزومتری) و نقشه زمین‌شناسی در محیط GIS اقدام و

جدول ۳. رتبه‌بندی و وزن دهی مشخصه محیط آبخوان (۲۳)

Table 3. Ranking and weighting of aquifer media of Haormozgan's Dasht-Aisin (23)

محیط آبخوان	
رتبه‌بندی	محدوده
۲	شیل بزرگ
۳	سیلت
۴	ماسه ریز و سیلت
۵	ماسه باکمی سیلت و رس
۶	گر اول و ریز ماسه و سیلت
۷	گر اول و ماسه ریز و سیمان آهکی
۸	گر اول و سیمان آهکی
۹	ماسه و گراول درشت

وزن نسبی = ۳

**محیط خاک (Soil media)**

زیرزمینی افزایش می‌دهد. برای تهیه این لایه از نقشه ۱:۲۵۰۰۰ مطالعات نیمه تفضیلی خاک‌های منطقه بندرعباس مرکز تحقیقات کشاورزی استفاده کرده آنگاه طبق جدول ۴ مدل دراستیک در محیط GIS بر اساس نظریه کارشناسی (روش دلفی) (۲۵) رتبه‌بندی و وزن دهی سپس نقشه محیط خاک استخراج شد.

به بخش هوازده بالای منطقه غیراشباع گفته می‌شود. این بخش از لحاظ فعالیت‌های بیولوژیکی و وجود مواد آلی بسیار دارای اهمیت است. وجود مواد بافت ریز مانند سیلت و رس، درصد مواد آلی و ضخامت خاک بیشتر، تراوایی خاک را کاهش می‌دهد و برعکس مواد دانه‌درشت تر مانند شن، نفوذپذیری خاک و در نتیجه توانایی انتقال آلاینده‌ها را به سیستم آب

جدول ۴. رتبه‌بندی و وزن دهی مشخصه محیط خاک (۸)

Table4. Ranking and weighting of soil media of Haormozgan's Dasht-Aisin (8)

محیط خاک	
رتبه‌بندی	محدوده
۱۰	نازک بودن لایه خاک
۷	ماسه‌ای- لومی
۶	لوم ماسه‌ای
۵	لوم
۴	لوم سیلتی
۳	لوم رس دار

وزن نسبی = ۲

برای نفوذ به آبخوان داشته، به طوری که مناطق دارای شیب کمتر، آسیب‌پذیری بیشتری دارند. برای تهیه لایه شیب از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده و بر اساس جدول ۵ و همچنین بر اساس نظریه کارشناسی (روش دلفی) (۲۵) رتبه‌بندی و وزن دهی انجام شد.

**توپوگرافی (Topography)**

به تغییرات شیب سطح زمین اشاره دارد. شیب افزون بر این‌که 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 آلوده‌کننده‌ها شانس بیشتری

جدول ۵. رتبه‌بندی و وزن دهی توپوگرافی (۸)

Table5. Ranking and weighting of topography of Haormozgan's Dasht-Aisin (8)

توپوگرافی	
رتبه‌بندی	محدوده
۱۰	۰-۲
۹	۲-۶
۵	۶-۱۲
۳	۱۲-۱۸
۱	۱۸<

وزن نسبی = ۱



مورد دانه‌بندی و خصوصیات رسوبات مابین سطح آب زیرزمینی و سطح زمین مورد توجه قرار گرفت. برای تهیه لایه مربوط به محیط غیراشباع از راهنمای جایگاه چاه‌های موجود در منطقه استفاده و بر پایه جدول ۶ و همچنین بر اساس نظریه کارشناسی (روش دلفی) (۲۵) رتبه‌بندی و وزن دهی انجام شد.

**محیط غیراشباع (Impact of vadose zone)**

شامل فضای بین سطح ایستابی و محیط خاک است که اساساً غیراشباع، و یا به‌طور ناپیوسته اشباع است. در محیط غیراشباع عبور و رقیق شدن مواد آلاینده را به منطقه اشباع کنترل می‌کند. برای تولید این مشخصه در مدل، روشی مشابه با مشخصه محیط آبخوان استفاده شد. با این تفاوت که در این

جدول ۶. رتبه‌بندی و وزن محیط غیراشباع (۷)

Table 6. Ranking and weighting of impact of vadose zone of Haormozgan's Dasht-Aisin (7)

رتبه‌بندی	محدوده
۳	سیلت
۴	سیلت ماسه‌ای و رسی
۵	سیلت ماسه‌ای
۶	ماسه و سیلت و رس
۷	گر اول ماسه و کمی سیلت و رس
۸	ماسه
۹	شن و ماسه درشت
۱۰	شن و گر اول

وزن نسبی = ۵

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 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 ۷ و همچنین بر اساس نظریه کارشناسی (روش دلفی) (۲۵) رتبه‌بندی و وزن دهی انجام شد.

**هدایت هیدرولیکی آبخوان (Hydraulic conductivity)**

به قابلیت انتقال آب توسط مواد تشکیل‌دهنده آبخوان، هدایت هیدرولیکی گویند که به‌وسیله تخلخل و مقدار فضاهای خالی مواد آبخوان کنترل می‌شود. 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 شد. با توجه به آنکه 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

جدول ۷. رتبه‌بندی و وزن دهی مشخصه هدایت هیدرولیکی (۸)

Table 7. Ranking and weighting hydraulic conductivity e of Haormozgan's Dasht-Aisin (8)

هدایت هیدرولیکی	
رتبه‌بندی	محدوده
۱	۰/۰۴-۴/۱
۲	۴/۱-۱۲/۳
۴	۱۲/۳-۲۸/۷
۶	۲۸/۷-۴۱
۸	۴۱-۸۲
۱۰	۸۲<

وزن نسبی = ۳

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 در استیک در محیط GIS، برای تلفیق نقشه‌های آماده‌شده از دستور ماشین‌حساب رستری (Raster Calculator) استفاده شد. با استفاده از این ماشین‌حساب رستری هر لایه در ضریب خود ضرب و سپس تمام لایه‌ها با یکدیگر جمع شد. در پایان پهنه‌های آسیب‌پذیری بر اساس این روش کلاس‌بندی گردید.

### نقشه نهایی ارزیابی آسیب‌پذیری به روش دراستیک

پس از تهیه مشخصه‌های موردنیاز برای ارزیابی آسیب‌پذیری به روش دراستیک اقدام به تهیه نقشه آسیب‌پذیری شد. در این روش از تلفیق مشخصه‌های هفت‌گانه بر اساس رابطه ۱ شاخص آسیب‌پذیری به دست می‌آید. کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری کلاس‌های مربوط به هرکدام از مشخصه‌ها بر اساس روش استاندارد دراستیک (۱) در محیط GIS، انجام شد. با تلفیق مشخصه‌ها، نتیجه حاصل، شبکه‌ای است که بر اساس جدول ۸ طبقه‌بندی می‌شود. در این لایه سلول‌های دارای اعداد

جدول ۸. رتبه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری دراستیک (۱۰)

Table 8. Ranking and weighting Drastic vulnerability index (10)

شاخص آسیب‌پذیری دراستیک	
رتبه	محدوده
بدون آلودگی	<۸۰
آلودگی خیلی کم	۸۰-۹۹
آلودگی کم	۱۰۰-۱۱۹
آلودگی کم تا متوسط	۱۲۰-۱۳۹
آلودگی متوسط تا زیاد	۱۴۰-۱۵۹
آلودگی زیاد	۱۶۰-۱۷۹

به تمامی پارامترها وزن یکسانی اختصاص داده شد. برای به دست آوردن شاخص آسیب‌پذیری پارامترهای گادز طبق رابطه ۳ چهار پارامتر مذکور باهم ضرب و شاخص آسیب‌پذیری به دست آمد. اطلاعات مربوط به نوع آبخوان از اطلاعات نقشه منابع آب حاصل گردید. تعیین حدود گسترش و نوع

### روش گادز

در روش گادز از چهار پارامتر نوع آبخوان، ویژگی لیتولوژی منطقه غیراشباع (فقط در مورد آبخوان‌های آزاد)، عمق آب زیرزمینی و نوع خاک استفاده شد (۱۷). ارزش کلاس‌های مختلف پارامترها از صفر تا یک تغییر کرده و

### نوع آبخوان

بر اساس جایگاه حفاری چاه‌ها، آبخوان دشت ایسین از نوع آزاد است. طبق جدول ۹ ارزش‌گذاری نوع آبخوان از صفر تا یک است.

**منطقه غیراشباع** برای تهیه نقشه‌های لایه‌های منطقه غیراشباع، مانند روش دراستیک انجام و سپس طبق جدول ۹ رتبه‌بندی آن صورت گرفت.

**عمق آب زیرزمینی** برای تهیه نقشه‌های لایه‌های عمق آب زیرزمینی، مانند روش دراستیک از میانگین عمق یک دوره ۲۷ ساله استفاده سپس طبق جدول ۹ رتبه‌بندی آن انجام گرفت.

**محیط خاک** مانند روش دراستیک از نقشه خاکشناسی موجود در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استفاده شد. سپس مطابق جدول ۹ رتبه‌بندی شد.

آبخوان‌های دشت مورد مطالعه بر اساس جایگاه حفاری چاه‌های مشاهده‌ای، بهره‌برداری و اکتشافی و گزارش‌ها و اطلاعات موجود به دست آمد. در این روش که در جدول ۹ نشان داده شده، ارزش‌گذاری نوع آبخوان از صفر تا یک برآورد شده است (۲۰). شاخص آسیب‌پذیری در این روش با استفاده از رابطه ۳ به دست آمد.

$$IV = G \cdot O \cdot D \cdot S \quad [3]$$

در این رابطه؛ IV شاخص آسیب‌پذیری، 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. 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 مشخصه‌های روش گادز در جدول ۹ نشان داده شده است.

### مشخصه‌های مدل گادز

جدول ۹. ارزش‌گذاری پارامترهای مدل گادز (۲۳)

Table 9. Evaluation of GODS model parameters (23)

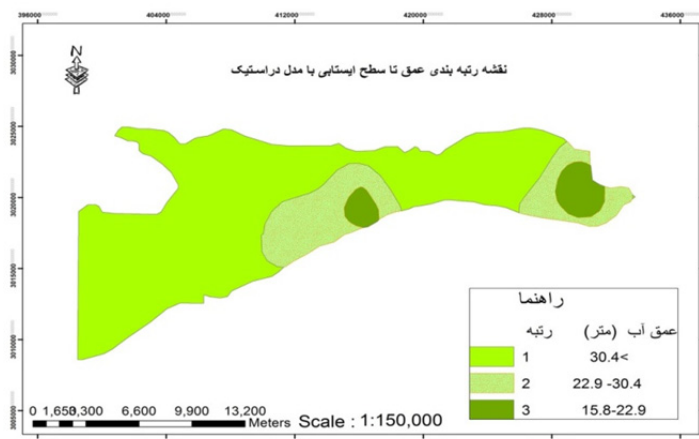
رتبه	محیط غیراشباع	رتبه	عمق آب زیرزمینی (متر)	ردیف
۰/۴	رس و خاک‌های بر جا	۰/۴	۱۰۰ <	۱
۰/۵	لوم، سیلت آبرفتی	۰/۵	۵۰-۱۰۰	۲
۰/۶	ماسه بادی	۰/۶	۲۰-۵۰	۳
۰/۷	ماسه آبرفتی و ماسه بادی	۰/۷	۱۰-۲۰	۴
۰/۸	ماسه سنگ و ماسه آبرفتی	۰/۸	۱۰-۲۰	۵
۰/۹	گر اول مخروط افکن	۰/۹	۲-۵	۶
۱	گر اول و رسوبات (مواد سخت نشده)	۱	< ۲	۷
	۵		۵	وزن
رتبه	محیط خاک	رتبه	نوع آبخوان	ردیف
۱	نبود خاک، گر اول ماسه درشت‌دانه، ماسه	۱	آزاد	۱
۰/۹	ماسه سیلتی	۰/۶	آزاد با پوشش	۲
۰/۸	سیلت	۰/۴	نیمه محبوس	۳
۰/۶	سیلت رسی	۰/۲	محبوس	۴
۰/۵	رس	۰	آرتزین	۵
-	-		نبود آبخوان	۶
	۲		۱	وزن

نتایج

نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری به روش دراستیک

نقشه عمق سطح ایستابی نقشه هم عمق آب زیرزمینی آبخوان دشت ایسین در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که عمق سفره آب زیرزمینی تقریباً در بیشتر محدوده‌های دشت ایسین (۷۶/۸۲ درصد) بیش از ۳۰ متر قرار

داشته و رتبه ۱ به خود اختصاص دادند. در بخش‌هایی از شرق دشت (۵/۵۴ درصد)، عمق برخورد به آب زیرزمینی بین ۱۶ تا ۲۲ متر بوده و دارای رتبه ۳ است. در بخش جنوبی و قسمتی از شرق (۱۷/۶۲ درصد) رتبه ۲ به مساحت ۴۲۸۰/۳۳ هکتار را به خود اختصاص دادند.

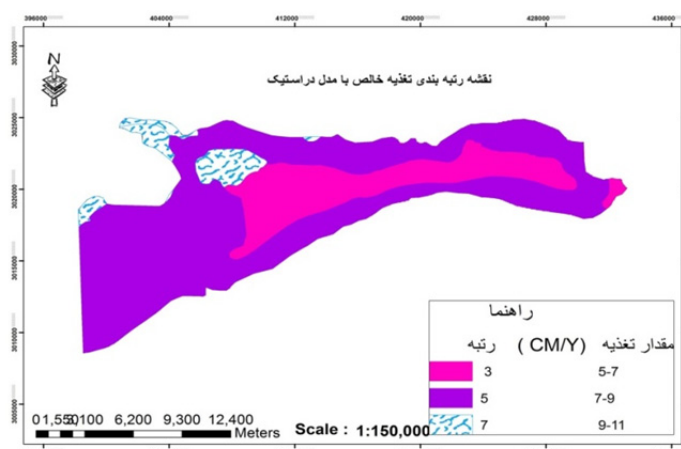


شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی دشت ایسین هرمزگان

Fig. 3. Ground water depth zoning map of Haormozgan's Dasht-Aisin

نقشه تغذیه خالص رتبه‌بندی پارامتر تغذیه خالص آبخوان دشت ایسین بر اساس روش دراستیک نشان می‌دهد که تغذیه خالص بیشتر دشت در محدوده طبقه ۹-۷ با رتبه ۵ و حدود ۶۶/۷ درصد کل دشت را به دلیل نفوذپذیری متوسط تشکیل می‌دهد (جدول ۲) و ۲۳ درصد محدوده دشت که

بیشتر در مرکز آن قرار دارد را تغذیه خالص با رتبه‌بندی ۳ تشکیل داده که دلیل عمده آن جنس خاک نسبتاً سنگین و نفوذپذیری کمتر است. ۱۰/۲۵ درصد دشت ایسین هم به دلیل نفوذپذیری زیاد، رتبه ۸ را به خود اختصاص داده است (شکل ۴).

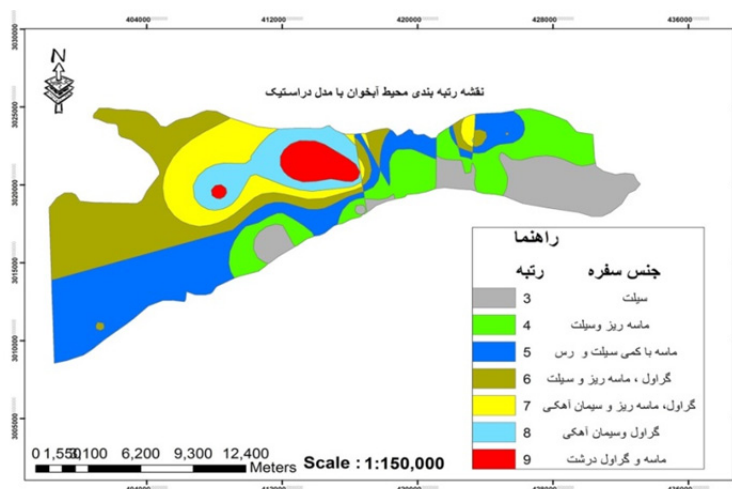


شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی تغذیه خالص دشت ایسین هرمزگان

Fig. 4. Pure nutrition zoning map of Haormozgan's Dasht-Aisin

اختصاص داده‌اند و رتبه ۹ با ۴/۰۵ درصد با جنس ماسه و گراول درشت کمترین سطح از این دشت را تشکیل می‌دهد. در نتیجه بیشتر جنس محیط آبخوان را بافت ریزدانه تشکیل داده که باعث کاهش جریان حرکت آلاینده‌ها می‌شود.

نقشه محیط آبخوان نقشه رتبه‌بندی محیط آبخوان دشت ایسین نشان می‌دهد که (شکل ۵) رتبه‌های ۵ و ۶ با ۲۵/۷۵ و ۲۳/۱۶ درصد بیشترین سطح دشت را با جنس به ترتیب ماسه باکمی سیلت و رس و گراول و ماسه ریز و سیلت به خود

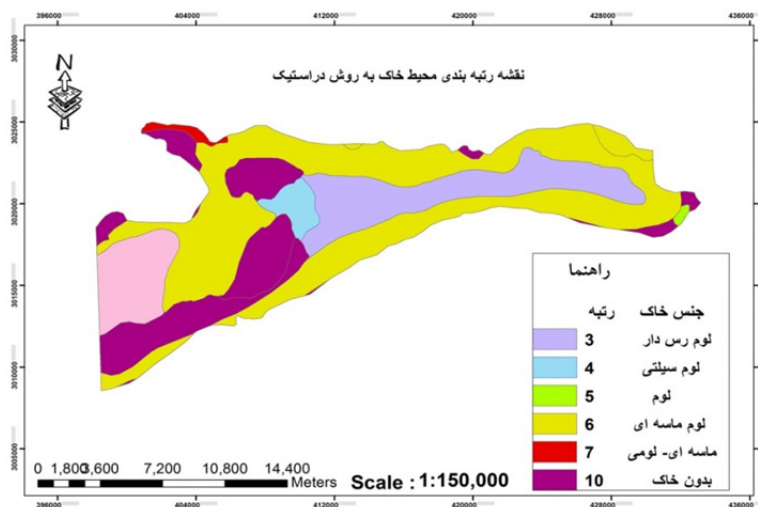


شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی محیط آبخوان دشت ایسین هرمزگان

Fig. 5. Aquifer zoning map of Haormozgan's Dasht-Aisin

است و ۳۲ درصد از سطح دشت هم لایه‌نازک خاک را با رتبه ۱۰ تشکیل داده است. کمترین سطح هم مربوط به خاک لوم با رتبه ۵ بوده که تنها ۰/۲۷ درصد از اراضی دشت ایسین را به خود اختصاص داده است.

محیط خاک نقشه رتبه‌بندی محیط خاک دشت ایسین شکل ۶، نشان می‌دهد که رتبه آن بین اعداد ۳ تا ۱۰ متغیر است و اکثر اراضی این دشت (۴۱/۶۷ درصد) دارای بافت لوم ماسه‌ای است که در رتبه‌بندی روش دراستیک دارای ارزش ۶

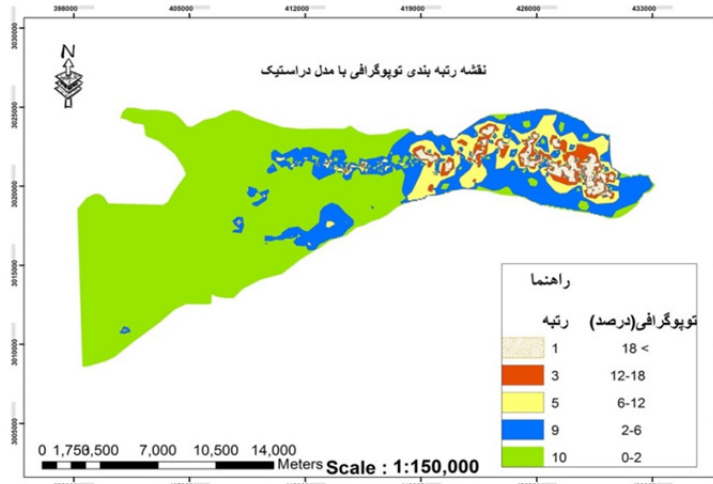


شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی محیط خاک دشت ایسین هرمزگان

Fig. 6. Soil zoning map of Haormozgan's Dasht-Aisin

شیب زیاد یک نقطه باعث کاهش فرصت نفوذ آب به خاک در آن نقطه شده و شیب کم یا مسطح بودن باعث نفوذ هر چه بیشتر آب به خاک می‌شود. در حالت اول پتانسیل آلودگی کم و در حالت دوم پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی افزایش می‌یابد.

**توپوگرافی نقشه کلاسه‌بندی توپوگرافی دشت ایسین**  
 شکل ۷ نشان می‌دهد که بیشتر سطح دشت ایسین (۶۷ درصد) دارای طبقه شیب بین ۰-۲ درصد داشته و رتبه ۱۰ را به خود اختصاص داده است و کمترین سطح (۰/۰۲ درصد) هم مربوط به شیب بیش از ۱۸ درصد با رتبه ۱ بوده؛ که این نشان می‌دهد،

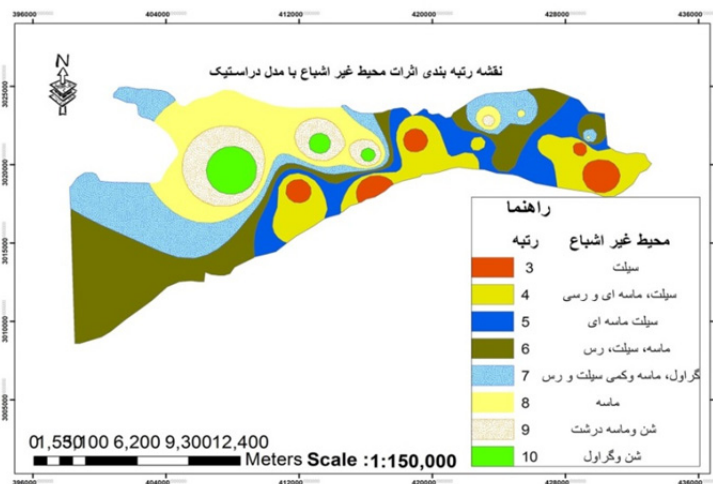


شکل ۷. نقشه کلاسه‌بندی شده توپوگرافی دشت ایسین هرمزگان

Fig. 7. Topographic classification map of Haormozgan's Dasht-Aisin

رتبه ۱۰ با لایه شن و گراول است. لذا رسوبات بخش غیراشباع در ناحیه شمالی دشت درشت‌دانه بوده اما در قسمت‌های جنوبی این رسوبات اغلب غیریکنواخت و با لایه‌های از نوع رس و سیلت می‌باشند.

**محیط غیراشباع نقشه رتبه‌بندی محیط غیراشباع دشت ایسین**  
 طبق شکل ۸ نشان می‌دهد که بیشتر قسمت‌های این دشت را لایه ماسه و سیلت و رس (۲۴/۱۱ درصد) را با رتبه ۶ تشکیل داده و کمترین سطح دشت (۳/۷۱ درصد) مربوط به



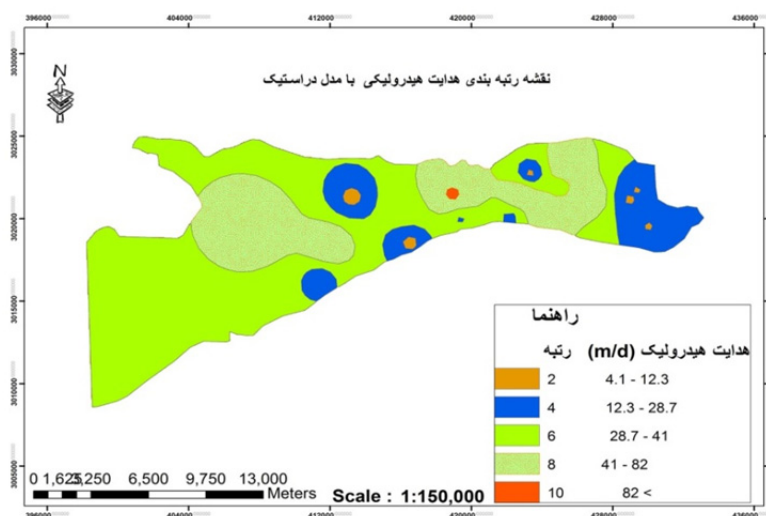
شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی محیط غیراشباع دشت ایسین هرمزگان

Fig. 8. Zoning map of the unsaturated zone of Haormozgan's Dasht-Aisin

کمترین مساحت دشت ایسین را تشکیل داده‌اند. لذا هرچه هدایت هیدرولیکی آبخوان بیشتر باشد، سرعت انتشار آلاینده بیشتر خواهد بود. از این رو رتبه ۱۰ دارای بیشترین سرعت انتقال آلاینده در این دشت رادار است که کمترین مساحت (۳۹/۴۱ هکتار) را نیز به خود اختصاص داده است.

#### هدایت هیدرولیکی نقشه رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی

دشت ایسین شکل ۹، ضریب آگذری این دشت رابین ۵ تا ۱۱۰ متر در روز نشان می‌دهد و همچنین نقشه مذکور نشان داد که بیشترین سطح هدایت هیدرولیکی مربوط به طبقه ۵۰-۳۵ با اختصاص ۵۹/۰۶ درصد از کل دشت و با رتبه ۶، طبقه ۱۰۰ < با اختصاص ۰/۱۶ درصد از سطح اراضی و با رتبه ۱۰



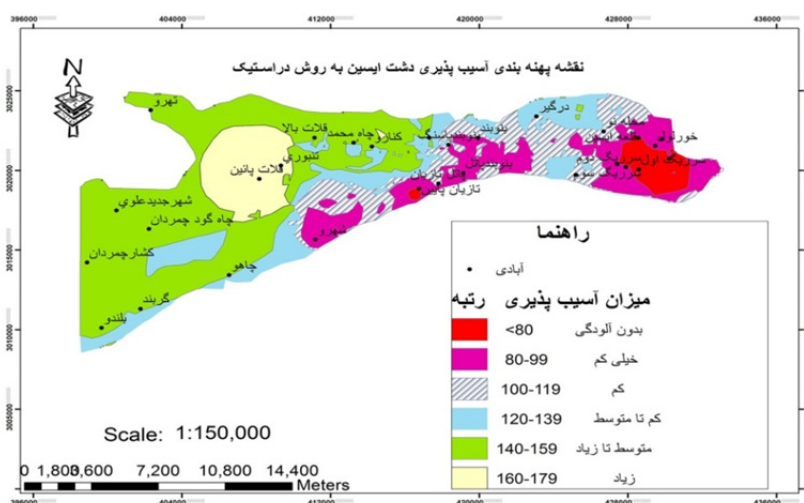
شکل ۹. نقشه پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی دشت ایسین هرمزگان

Fig. 9. Hydraulic conduction zoning map of Haormozgan's Dasht-Aisin

تقسیم‌شده و سطح دشت ایسین شامل ۱۱/۲۹ درصد بدون آسیب‌پذیری، ۱۴/۷۵ درصد آسیب‌پذیری خیلی کم، ۱۰/۱۵ درصد آسیب‌پذیری کم، ۳۳/۶۶ درصد آسیب‌پذیری کم تا متوسط، آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد نیز ۱۹/۲۹ درصد و ۱۰/۸۴ درصد هم آسیب‌پذیری زیاد ارزیابی شد (شکل ۱۰).

#### نقشه نهایی آسیب‌پذیری به روش دراستیک

نقشه نهایی آسیب‌پذیری آبخوان ایسین که بر اساس وزن‌های در نظر گرفته‌شده برای هر پارامتر و با کمک روش آلر (۱) به‌دست‌آمده، نشان می‌دهد که نیروی آسیب‌پذیری آن بین ۵۹ تا ۱۶۳ قرار داشته که از لحاظ پهنه‌بندی به شش پهنه



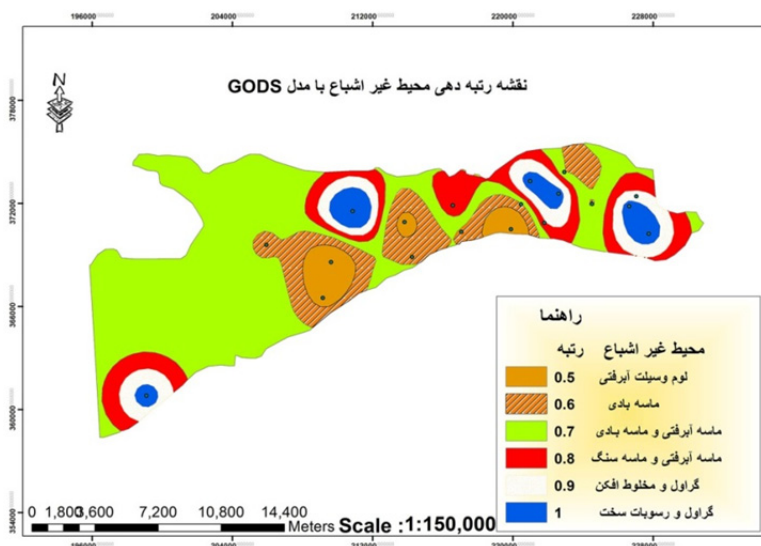
شکل ۱۰. نقشه پهنه آسیب پذیری بر اساس مدل در استیک

Fig. 10. Vulnerability map by DRASTIC method

ناحیه غیراشباع برابر شکل ۱۱، قسمت عمده‌ای از ناحیه غیراشباع را طبقه ماسه آبرفتی با مساحت با ۵۴/۳۵ درصد و با رتبه ۰/۷ را تشکیل داده است. کمترین سطح دشت هم دارای رتبه ۱ با سطحی معادل ۵/۲۲ درصد به دست آمد.

### نتایج با مدل گادز

نوع آبخوان ایسین با توجه به اطلاعات موجود در مورد منابع آب منطقه از نوع آزاد بوده و کل منطقه طبق جدول ۹ دارای ارزشی برابر یک است.



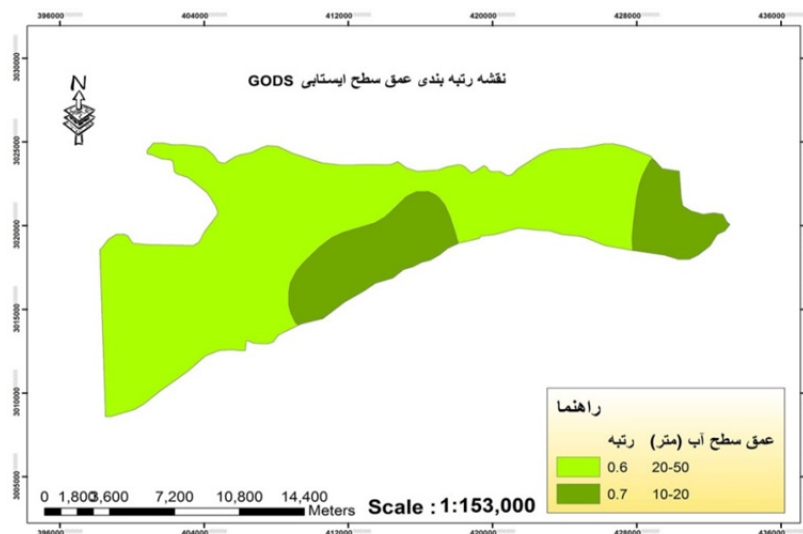
شکل ۱۱. نقشه پهنه‌بندی لایه‌های منطقه غیراشباع بر اساس مدل گادز

Fig. 11. Unsaturated area layers zoning map by GODS method

آبخوان، عمق آب زیرزمینی بین ۲۰ تا ۵۰ متر تشخیص داده شد.

عمق آب زیرزمینی شکل ۱۲ نشان‌دهنده لایه عمق آب زیرزمینی بعد از ارزش‌گذاری است. این لایه در آبخوان ایسین در دو کلاس (۰/۶ و ۰/۷) قرار می‌گیرد. در قسمت عمده‌ای از

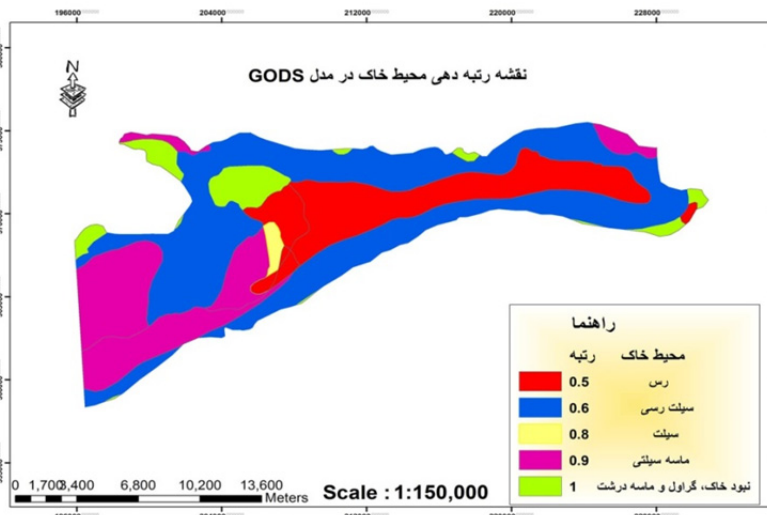




شکل ۱۲. نقشه پهنه‌بندی پارامتر عمق آب زیرزمینی بر اساس مدل گادز  
 Fig. 12. Ground water depth zoning map by GODS method

۰/۹ بیشترین سهم را از ۴ کلاس دیگر به خود اختصاص داده و کمترین سطح (۳/۷۲ درصد) هم مربوط به رتبه ۰/۶ با جنس رس مشخص شد.

محیط خاک نقشه مربوط به لایه محیط خاک به روش گادز مانند لایه مربوط به محیط خاک در روش دراستیک تهیه شد که نتایج آن طبق شکل ۱۳ کل دشت به ۵ کلاس تقسیم که ۶۹/۵۸ درصد از دشت ایسین در کلاس ماسه سیلتی با رتبه

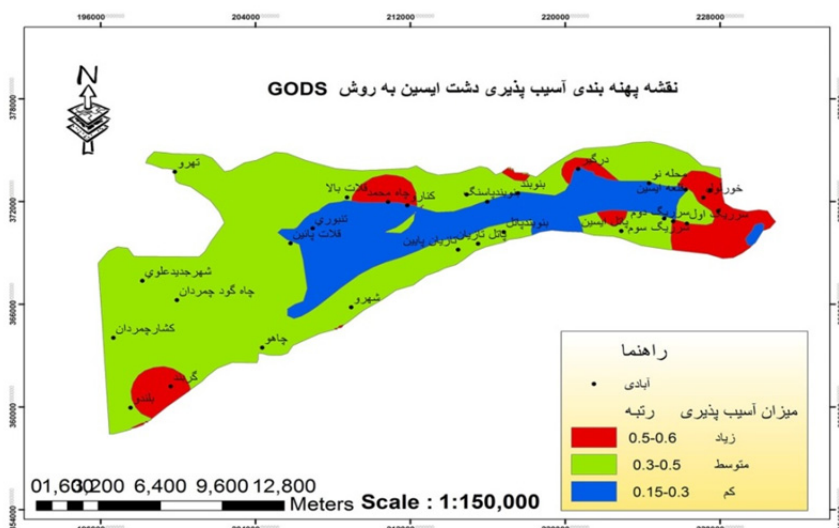


شکل ۱۳. نقشه پهنه‌بندی پارامتر نوع خاک منطقه بر اساس مدل گادز  
 Fig. 13. Zoning map of the soil type region by GODS method

نقشه نهایی آسیب پذیری به روش گادز

شد که با توجه به کلاسه بندی روش گادز، این دشت از نظر آسیب پذیری در محدوده آسیب پذیری کم، متوسط و زیاد قرار می گیرد (شکل ۱۴).

نقشه آسیب پذیری آبخوان ایسین را به روش گادز نشان می دهد که در این روش پتانسیل آسیب پذیری در سه کلاس (رتبه های ۰/۱ تا ۰/۳، ۰/۳ تا ۰/۵، ۰/۵ تا ۰/۷) تشخیص داده



شکل ۱۴. نقشه پهنه بندی آسیب پذیری بر اساس مدل گادز  
Fig. 14. Vulnerability zoning map by GODS method

نتایج و بحث

جنوب و شرق، بدون آسیب پذیری (۱۱/۲۹ درصد) در بخش هایی از مناطق شرق و جنوب، آسیب پذیری کم (۱۰/۱۵ درصد) در مناطق شمال و بخشی از مرکز در نهایت آسیب پذیری زیاد (۱۰/۸۴ درصد) در قسمتی از مرکز و غرب در رده های بعدی از لحاظ مساحت قرار داشتند که علت افزایش آسیب پذیری قسمت های ذکر شده را می توان در بالا بودن سرعت هدایت هیدرولیک، شیب خیلی کم و منطقه غیراشباع این محدوده ها که از گراول و با میزان زیاد ماسه و شن و رس کمتر است جستجو کرد. در واقع طبق مدل دراستیک اکثر بخش های آبخوان دشت ایسین از نظر پتانسیل آسیب پذیری در کلاس های آسیب پذیری کم و کم تا متوسط قرار داشتند. همسو با مدل دراستیک در این پژوهش تحقیقات دیگری نیز صورت گرفته از جمله لورا و همکاران (۱۹) در مطالعه ای اقدام به ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی و ارزیابی کیفیت آب در منطقه بایر شهر تا (مراکش) کرده اند و به این نتیجه

با توجه به اینکه عمده کاربری دشت ایسین هرزگان کشاورزی است؛ بنابراین استفاده از سموم و کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی این دشت بسیار متداول است که باعث تهدید منابع آب زیرزمینی در این منطقه می شود. لذا برای ارزیابی میزان آسیب پذیری این دشت از مدل های در استیک و گادز با کمک فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور استفاده شد. بر اساس نتایج این تحقیق دامنه شاخص در استیک برای منطقه مورد مطالعه بین ۵۹ تا ۱۶۳ به دست آمد و نقشه این شاخص در ۶ طبقه از بدون آسیب پذیری تا آسیب پذیری زیاد استخراج شد که بیشترین مساحت منطقه (۳۳/۶۶ درصد) را آسیب پذیری کم تا متوسط پوشش می دهد، پس از آن به ترتیب آسیب پذیری متوسط تا زیاد (۱۹/۲۹ درصد) در بخش هایی از مرکز و شمال غرب، آسیب پذیری خیلی کم (۱۴/۷۵ درصد) در قسمت های از

جنوب با درجه آسیب‌پذیر کم و در منطقه کم‌خطر از نظر آلودگی آب‌های زیرزمینی قرار داشتند؛ که از نظر وسعت آلودگی کم تا متوسط مشابه تحقیق حاضر است. بر اساس مدل گادز منطقه مورد مطالعه به سه بخش شامل آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد تقسیم شده است. در این مدل برخلاف مدل در استیک، بیشترین پتانسیل دشت در طبقه آسیب‌پذیری متوسط با سطحی معادل  $66/83$  درصد تعیین شده است. همچنین  $21/14$  درصد، با آسیب‌پذیری کم که اغلب در مرکز دشت قرار دارند و کمترین سطح ( $11/31$  درصد) هم مربوط به پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد که به‌طور پراکنده در شرق، بخشی از جنوب غرب و قسمت‌هایی از شمال محدوده مورد مطالعه قرار دارد. همسو با مدل گادز تحقیقات دیگری نیز صورت گرفته از جمله نخستین روحی و همکاران (۲۳) که به ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت عجب‌شیر به‌منظور پیشگیری از خطرات آلودگی و اعمال مدیریت بهینه با روش‌های گادز پرداختند و به این نتیجه رسیدند که سطح عمده این آبخوان دارای آسیب‌پذیری کم و متوسط بوده که از این نظر مشابه مطالعه حاضر است. نتیجه پژوهش امفوکا و همکاران (۲۱) در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در سه حوزه آبخیز در فومبان (غرب کامرون) با روش‌های گادز و دراستیک مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان داد بیشتر مساحت حوزه مورد مطالعه را کلاس آسیب‌پذیری کم تا متوسط تشکیل می‌دهد که از این نظر مشابه پژوهش حاضر است. مقایسه نتیجه این دو روش نشان داد در هر دو روش دراستیک و گادز محل وقوع آسیب‌پذیری متوسط و بیشتر مناطق آسیب‌پذیری کم باهم همخوانی داشته هرچند سطح گسترش آن‌ها در مدل دراستیک بیشتر است.

این مطالعه نشان داد استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان آماده‌سازی لایه‌های مدل در استیک و گادز برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر را به‌راحتی فراهم می‌سازد. همچنین این مطالعه مشخص کرد که مدل در استیک نسبت به مدل گادز می‌تواند در شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و جلوگیری از ورود آلودگی بیشتر به این مناطق در اولویت قرار گیرد زیرا

رسیدند که بخش اعظم محدوده مورد مطالعه از آسیب‌پذیری بالایی برخوردار بوده و با مطالعه حاضر از نظر سطح آلودگی سفره آب زیرزمینی متفاوت است. همچنین نتیجه مطالعه اسفاو و ایالیو (۴) در مدل‌سازی آسیب‌پذیری حوضه آبخیزمگچ (Megech) به روش دراستیک حاکی از آن است که بیشترین سطح حوزه مربوط به آلودگی زیاد تا متوسط بوده که نتیجه این پژوهش با مطالعه حاضر از نظر سطح آلودگی متفاوت است. در همین راستا حسن و همکاران (۱۶) در پژوهشی به ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در ساوار اویازایلا در منطقه داکا بنگلادش با استفاده از مدل دراستیک مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام دادند، نتایج این تحقیق حاکی از آن است که حدود  $34\%$  از منطقه مورد مطالعه، در طبقه آسیب‌پذیری کم،  $45$  درصد نسبتاً آسیب‌پذیر و  $21$  درصد نیز دارای آسیب‌پذیر بسیار زیاد بودند. همچنین نتایج مدل تأیید می‌کند که عمق آبخوان، توپوگرافی و خاک بیش‌ترین ارتباط را با آسیب‌پذیری دارند؛ که از این نظر با نتیجه این پژوهش مشابه است. مرادی و همکاران (۲۲) در پژوهشی به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان رامهرمز به روش دراستیک پرداختند که نتایج آن‌ها نشان داد قسمت وسیعی از دشت از نظر کلاس آسیب‌پذیری دارای پتانسیل کم تا متوسط بوده که از این نظر (سطح و کلاس آسیب‌پذیری) مشابه مطالعه حاضر است. نتیجه پژوهش ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی حوزه طرهبه شاندریز استان خراسان به روش دراستیک و با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان داد از نظر آسیب‌پذیری، این منطقه به  $5$  کلاس تقسیم که بیشترین سطح مربوط به آسیب‌پذیری کم تا متوسط بوده و با نتیجه مطالعه حاضر مشابه است. مالک و شوکلا (۲۰)، در تحقیقی به بررسی ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک مبتنی بر GIS در بخشی از حوضه آبخیز تاوا هوشنگ آباد، مادیا پرادش، هند پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که  $34/84$  درصد از محدوده مورد مطالعه با آسیب‌پذیری بالا و پرخطر قرار هستند، بخش گسترده‌ای از مساحت حوضه ( $54/84$  درصد) به سمت ضلع شرقی و غربی رودخانه تاوا با درجه آسیب‌پذیر متوسط و  $10/32$  درصد در

## References

- Aller L, Lehr J, Petty R. 1987. DRASTIC: a standardized system to evaluate ground water pollution potential using hydrogeologic settings. National water well Association Worthington, Ohio 43085. Truman Bennett. Bennett and Williams. Inc Columbus, Ohio, 43229. <http://rdn.c.ca/cms/wpattachments/wpID3175atID5999.pdf>.
- Amiri F, Tabatabaie T, Entezari M. 2020. GIS-based DRASTIC and modified DRASTIC techniques for assessing groundwater vulnerability to pollution in Torghabeh-Shandiz of Khorasan County, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(12): 1-16. doi:<https://doi.org/10.1007/s12517-020-05445-0>.
- Arya S, Subramani T, Vennila G, Roy PD. 2020. Groundwater vulnerability to pollution in the semi-arid Vattamalaikarai River Basin of south India thorough DRASTIC index evaluation. *Geochemistry*, 80(4): 125635. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125635>.
- Asfaw D, Mengistu D. 2020. Modeling megech watershed aquifer vulnerability to pollution using modified DRASTIC model for sustainable groundwater management, Northwestern Ethiopia. *Groundwater for Sustainable Development*, 11: 100375. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100375>.
- Babiker IS, Mohamed MA, Hiyama T, Kato K. 2005. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. *Science of the Total Environment*, 345(1-3): 127-140. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.11.005> Get.
- Balakrishnan P, Saleem A, Mallikarjun N. 2011. Groundwater quality mapping using geographic information system (GIS): A case study of Gulbarga City, Karnataka, India. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(12): 1069-1084. doi:<https://doi.org/10.5897/AJEST11.134>.
- Barbulescu A. 2020. Assessing groundwater vulnerability: DRASTIC and DRASTIC-like methods: a review. *Water*, 12(5): 1356. doi:<https://doi.org/10.3390/w12051356>.
- Belle J, Saungweme K, Ojo T. 2020. An evaluation of groundwater vulnerability to pollution in Ga-segonyana municipality area,

در مدل دراستیک مشخصه‌های بیشتر و وزن دهی متفاوت آن‌ها بر پایه نقش آن‌ها در تعیین آلودگی تعیین می‌گردد. 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. درحالی‌که در روش گادز، عدم قطعیت در هر مشخصه، نتیجه پهنه‌بندی را تا حدود زیادی تغییر می‌دهد. در روش گادز از چهار مشخصه استفاده می‌کند که سه مورد آن‌ها (عمق آب زیرزمینی، نوع خاک و منطقه غیراشباع) با روش دراستیک مشترک است. فراهم آوردن اطلاعات موردنیاز برای ارزیابی آسیب‌پذیری به روش گادز به مراتب ساده‌تر بوده و به هزینه کمتری نیاز دارد. ولی در روش گادز میزان تغذیه سطحی لحاظ نشده است که از ضعف‌های عمده این مدل محسوب می‌شود. زیرا میزان تغذیه سطحی آبخوان در آسیب‌پذیری بسیار مؤثر است.

## نتیجه‌گیری

به‌طورکلی در مدل دراستیک، شاخص‌های این روش بین ۵۹ تا ۱۶۳ و در ۶ طبقه به دست آمد که ۳۳/۶۶ درصد آن با مساحتی معادل ۸۱۳۶/۱۳۰ هکتار دارای آسیب‌پذیری کم تا متوسط بوده و بیشترین سطح دشت را به خود اختصاص داده است. نتایج حاصل از مدل گادز، آسیب‌پذیری دشت را در سه طبقه آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد مطابق شکل ۱۴ ارزیابی کرد که قسمت اعظم دشت ایسین در این روش به مساحت ۱۶۲۶۱/۱۰ هکتار (۶۶/۸۳ درصد) در محدوده آسیب‌پذیری متوسط با رتبه‌ای بین ۰/۵ تا ۰/۳ قرار گرفتند. لذا پیشنهاد می‌شود جهت پیشگیری از آلودگی آبخوان ایسین به‌ویژه در قسمت‌های غربی که آسیب‌پذیری بیشتری را در هر دو مدل‌های ارزیابی (دراستیک و گادز) نشان می‌دهد روش‌های مدیریتی سخت‌گیرانه‌تری شامل عدم استفاده از مقادیر غیرمجاز سموم و کودهای شیمیایی توسط کشاورزان و پیشگیری از دفن زباله‌های روستایی باید در نظر گرفت.

9. Kuruman, Northern Cape in South Africa. *Groundwater for Sustainable Development*, 11: 100389. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100389>.
10. Benabdelouahab S, Salhi A, Himi M, El Messari JES, Ponsati AC, Mesmoudi H, Benabdelfadel A. 2018. Using resistivity methods to characterize the geometry and assess groundwater vulnerability of a Moroccan coastal aquifer. *Groundwater for Sustainable Development*, 7: 293-304. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.07.004>.
11. Bera A, Mukhopadhyay BP, Chowdhury P, Ghosh A, Biswas S. 2021. Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC model in Nangasai River Basin, India with special emphasis on agricultural contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214: 112085. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112085>.
12. Bhuvaneshwaran C, Ganesh A. 2019. Spatial assessment of groundwater vulnerability using DRASTIC model with GIS in Uppar odai sub-watershed, Nandiyar, Cauvery Basin, Tamil Nadu. *Groundwater for Sustainable Development*, 9: 100270. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100270>.
13. Boufekane A, Omar S. 2013. Assessment of groundwater pollution by nitrates using intrinsic vulnerability methods: A case study of the Nil valley groundwater (Jijel, North-East Algeria). *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(10): 949-960. doi:<https://doi.org/10.1111/gwat.12582>.
14. Duttagupta S, Mukherjee A, Das K, Dutta A, Bhattacharya A, Bhattacharya J. 2020. Groundwater vulnerability to pesticide pollution assessment in the alluvial aquifer of Western Bengal basin, India using overlay and index method. *Geochemistry*, 80(4): 125601. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125601>.
15. Entezari M, Amiri F, Tabatabaie T. 2018. A GIS, DRASTIC techniques for assessing groundwater vulnerability in Torghabeh-Shandiz watershed of Khorasan county. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 9(3): 19-32. [http://girs.iaubushehr.ac.ir/article\\_544813\\_en.html](http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_544813_en.html). (In Persian).
16. Guettaia S, Hacini M, Boudjema A, Zahrouna A. 2017. Vulnerability assessment of an aquifer in an arid environment and comparison of the applied methods: Case of the mio-plio-quatarnary aquifer. *Energy Procedia*, 119: 482-489. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.057>.
17. Hasan M, Islam MA, Hasan MA, Alam MJ, Peas MH. 2019. Groundwater vulnerability assessment in Savar upazila of Dhaka district, Bangladesh—A GIS-based DRASTIC modeling. *Groundwater for Sustainable Development*, 9: 100220. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100220>.
18. Kazakis N, Voudouris K. 2011. Comparison of three applied methods of groundwater vulnerability mapping: A case study from the Florina basin, Northern Greece. *Advances in the research of aquatic environment*. Springer. 359-367. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-24076-8\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24076-8_42).
19. Knouz N, Bachaoui E, Boudhar A. 2017. Cartography of intrinsic aquifer vulnerability to pollution using GOD method: Case study Beni Amir groundwater, Tadla, Morocco. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8(3): 1046-1053. doi:<http://doi.org/10.26872/jmes.2017.8.3.441>.
20. Laura H, Bouchaou L, Tadoumant S, Reichert B. 2020. Index-based groundwater vulnerability and water quality assessment in the arid region of Tata city (Morocco). *Groundwater for Sustainable Development*, 10: 100344. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100344>.
21. Malik MS, Shukla J. 2019. GIS modeling approach for assessment of groundwater vulnerability in parts of Tawa river catchment area, Hoshangabad, Madhya Pradesh, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 9: 100249. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100249>.
22. Mfonka Z, Ngoupayou JN, Ndjigui P-D, Kpoumie A, Zammouri M, Ngouh A, Mouncherou O, Rakotondrabe F, Rasolomanana E. 2018. A GIS-based DRASTIC and GOD models for assessing alterites aquifer of three experimental watersheds in Fouban (Western-Cameroon). *Groundwater for Sustainable Development*, 7: 250-264. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.06.006>.
23. Moradi P, Rouhi H, Rangzan K, Kalantari N, Ghanbari N. 2017. Assessing groundwater vulnerability in Ramhormoz aquifer using a GIS and DRASTIC Techniques. *Journal RS and GIS for Natural Resources*, 7(4): 62-78. [http://girs.iaubushehr.ac.ir/article\\_528882.html?lang=en](http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_528882.html?lang=en). (In Persian).

24. Nakhostinrouhi M, Rezaei Moghaddam MH, Rahimpour T. 2019. Evaluating the Aquifer Vulnerability in Ajabshir Plain to Prevent Contamination Risks and Apply Optimal Management. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(20): 53-66. doi:<http://dx.doi.org/10.22111/JNEH.2018.22204.1322>. (In Persian).
25. Prasad R, Mondal N, Banerjee P, Nandakumar M, Singh V. 2008. Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS. *Environmental Geology*, 55(3): 467-475. doi:<https://doi.org/10.1007/s00254-007-0992-3>.
26. Rahman A. 2008. A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Applied geography*, 28(1): 32-53. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2007.07.008>.
27. Shrestha S, Semkuyu DJ, Pandey VP. 2016. Assessment of groundwater vulnerability and risk to pollution in Kathmandu Valley, Nepal. *Science of the Total Environment*, 556: 23-35. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.021>



## Evaluation of Groundwater Vulnerability of aquifers in Aisin plain by DRASTIC and GODS models and GIS

Majid Pourbalighy, Sahar Rezayan, Maryam Rafaty, Rakhshad Hejazi

Received: 10 February 2021 / Accepted: 1 April 2021

Available online 5 January 2022

### Abstract

**Background and Objective** In arid and semi-arid regions such as Iran, where the average annual rainfall is less than one-third of the world's average annual rainfall, groundwater is an important source of drinking water. Quantitative and irregular rainfall, limited surface water resources, and its absence in many parts of the country have led to the widespread use of groundwater. Today, increasing agricultural, horticultural and livestock activities on the one hand and industrial and workshop activities and population development along with population growth, on the other hand, excessive use of natural resources and expansion of industrial and agricultural activities and mass production of waste and scrap, groundwater resources are threatened. Seriously and has caused a lot of pollution. Qualitatively, most groundwater reservoirs are vulnerable to ministerial sources. Point sources of pollution from domestic and industrial wastewater and non-point sources of pollutants result

from improper and excessive consumption of fertilizers and pesticides and their leaching into groundwater. Widespread groundwater pollution and the growth and awareness of human societies about the importance of these vulnerable resources have led to extensive efforts to protect groundwater. The process of regenerating aquifers on a regional scale in a reasonable time frame is not possible because groundwater flows very slowly. Vulnerability assessment is a way to zoning areas that are most prone to contamination; therefore, to prevent contamination and effective groundwater management, it is necessary to assess the vulnerability of aquifers because vulnerability can help determine practical and practical policies for the management of groundwater resources in the path of sustainable exploitation. In our country, in the last decade, the assessment of groundwater vulnerability to pollution has grown significantly and has had good results. Vulnerability assessment is a low-cost and powerful way to identify areas prone to contamination. Vulnerability assessment is a low-cost and powerful way to identify areas prone to contamination. In the Aisin plain of Hormozgan, due to its small area, low annual rainfall, and lack of water resources in this area, the use of groundwater resources is very important. Due to population growth, industrial activities and agricultural development, and the use of agricultural pesticides and chemical fertilizers in this plain and due to lack of knowledge or understanding of the exact level of groundwater vulnerability in this

M. Pourbalighy<sup>1</sup>, S. Rezayan<sup>2</sup>, M. Rafaty<sup>3</sup>, R. Hejazi<sup>3</sup>

1. PhD. Student of Environmental Planning, Faculty of Marine Science and Technology, Azad University of North Tehran Branch, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Department of Environmental, Faculty of Environment, Azad University of Shahroud Branch, Shahroud, Iran
3. Assistant Professor, Department of Environmental, Faculty of Marine Science and Technology, Azad University of North Tehran Branch, Tehran, Iran

e-mail: [s.rezayan99@yahoo.com](mailto:s.rezayan99@yahoo.com)

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.4.4.1>

area, the need for rapid techniques to identify and assess vulnerabilities. It is underground in this area. The purpose of this research is was to map the vulnerability of groundwater in the Aisin plain of Hormozgan using DRASTIC and GODS methods and with the help of GIS.

**Materials and Methods** This research was carried out by DRASTIC and GODS methods with the help of GIS. The DRASTIC method is the most important rating method for determining vulnerability, which is more common among researchers and experts and has been used. The DRASTIC method consists of a combination of seven measurable and effective hydrogeological features effective in transferring contamination to groundwater, including groundwater depth, net recharge, aquifer, soil environment, Topography, Impact of the vadose zone, and hydraulic conductivity. Aisin plain based on available data extracted from Hormozgan Regional Water Company in GIS environment and after ranking and weighing them between 1 to 10 and superimposing them, the final vulnerability map of Aisin aquifer based on the DRASTIC model obtained Came. The GODS model, which is a very simple, practical, and experimental method for rapid assessment of groundwater pollution potential, also has four characteristics of aquifer type, unsaturated area, groundwater depth, and soil type, which were used in this study. The data used in the above models were extracted from 19 piezometric wells located in Aisin plain, which were available from 1987 to 2018. In the GODS method, like the DRASTIC method for each of the hydrogeological characteristics based on the available data, in the GIS environment, a map was prepared and ranked between 1 and 5, then after superimposing them, vulnerability maps of Aisin plain with GODS model obtained.

**Results and Discussion** Since in the DRASTIC model index, the minimum possible vulnerability is 23 and the maximum is 230; However, the results of the final Aisin aquifer vulnerability map by the DRASTIC

method, which is almost the most complete indicator for assessing groundwater vulnerability, Showed that the range of DRASTIC index values is between 59 and 163. The map of this index has been extracted in 6 categories from non-vulnerability to high vulnerability. Most of the area (33.66%), which covers the northeastern parts, from the center to the south of the plain, has low to moderate vulnerability. After that, moderate vulnerability (19.29%) was located in parts of the center and northwest, respectively, and also very low vulnerability (14.75%) in parts of the south and east, in parts of the east and south without vulnerability (29 11.11%), in the northern and part of the center and south with low vulnerability (10.15%) and finally, high vulnerability (10.84%) in the central and western parts were in the next categories in terms of area. In fact, according to the DRASTIC model, most of the aquifer sections of the Aisin plain were in low and medium to medium vulnerability classes in terms of vulnerability potential. Also, the results of the GODS model showed that the study area is divided into three parts including low, medium, and high vulnerability. Most of the Aisin plain (66.83%) is in the range of moderate vulnerability with ranks between 0.5 to 0.3 And the lowest level (11.31%) is related to the high vulnerability potential with a rank of 0.5 to 0.7.

**Conclusion** In general, in both methods, the inherent vulnerability of the Aisin aquifer has been evaluated in low to high vulnerability ranges, but the extent of expansion of their vulnerability ranges has been different and the DRASTIC model of different vulnerability zones due to more characteristics and different weights based on these characteristics are different. Contamination is more accurately identified.

**Keywords:** Groundwater, DRASTIC method, Geographical information system, GODS model, Aisin plain