

مقاله پژوهشی

DOR: [20.1001.1.24767131.1400.7.1.2.3](https://doi.org/10.24767/131.1400.7.1.2.3)

درصد همانندی: ۱۸٪

ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان ماهیدشت نسبت به آلودگی با استفاده از مدل‌های دراستیک، ای‌وی‌آی و گادز

رسول باقرآبادی^۱، مظاهر معین‌الدینی^{۲*}

rasul.bagherabad@ut.ac.ir

moeinaddini@ut.ac.ir

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران

^{۲*} نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷

چکیده

امروزه، یکی از روش‌های مدیریت کیفی آبخوان‌ها ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌ها است که با توجه به آن می‌توان محدوده کیفی آبخوان را تعیین و مدیریت مناسبی جهت کاربری‌های مرتبط با آبخوان اعمال کرد. بنابراین، ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، بخش مهمی از مدیریت منابع آبی است. هدف از این پژوهش ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان ماهیدشت با استفاده از مدل‌های دراستیک، ای‌وی‌آی، گادز در سیستم اطلاعات جغرافیایی است. مدل دراستیک براساس خصوصیات هیدروژئولوژیکی مؤثر بر آلودگی آبخوان و با امتیازدهی و جمع این معیارها می‌توان مناطق آسیب‌پذیر آبخوان را مشخص کرد. در مدل ای‌وی‌آی بر اساس دو معیار آسیب‌پذیری تعیین می‌شود. و در مدل گادز از ضرب چهار معیار آسیب‌پذیری آبخوان مشخص می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که در مدل دراستیک پتانسیل آلودگی آبخوان به ترتیب مناطق بدون خطر آسیب‌پذیری با مساحت ۷۲/۳۰ کیلومتر مربع، مناطق با خطر پذیری خیلی کم ۲۶۶/۹۳ کیلومتر مربع، مناطق با آسیب‌پذیری کم ۵۹/۶۹ کیلومتر مربع و مناطق با آسیب کم تا متوسط ۱۴/۶۵ کیلومتر مربع را به خود اختصاص می‌دهند در مدل ای‌وی‌آی مناطق با خطر آسیب‌پذیری پایین با مساحت ۲۲۱/۲۳ کیلومتر مربع و آسیب‌پذیری متوسط با مساحت ۲۰۸/۲ کیلومتر مربع طبقه‌بندی می‌شود. در مدل گادز نیز بیشتر منطقه با آسیب‌پذیری کم با مساحت ۴۰۱/۵ کیلومتر مربع پوشش داده شده است و مناطق کمتری با آسیب‌پذیری متوسط با مساحت ۲۴/۲ کیلومتر مربع است. از این رو آبخوان ماهیدشت براساس سه مدل ارزیابی در این پژوهش در آسیب‌پذیری جدی قرار ندارد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، آسیب‌پذیری، ماهیدشت، دراستیک، ای‌وی‌آی، گادز.

۱. مقدمه

توجهی از آب مصرفی کل جهان از آن تأمین می‌گردد. با افزایش روزافزون برداشت آب، سطح آبخوان‌ها در بسیاری

آبخوان‌ها منابع عظیمی از آب‌های شیرین بوده و مقدار قابل

داده مکانی را در مدت زمان کوتاهی ممکن می‌سازد. استفاده از توابع تحلیلی پیچیده، دقت محاسباتی بالا، هزینه کم، قابلیت تفکیک طیفی مکانی و زمانی قابل توجه، قابلیت‌های ویرایشی به هنگام‌سازی سریع داده‌ها، مدل‌سازی و تهیه گزارش به شکل‌های متعدد از ویژگی‌های دیگر سیستم اطلاعات جغرافیایی است [۷].

در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی در مورد استفاده از مدل‌های مختلف آسیب‌پذیری آبخوان صورت گرفته است که در این مطالعه تعدادی از آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. پاچکو و سانچ فرناندس در سال ۲۰۱۳ در پژوهشی در حوضه رودخانه سوردو واقع در جنوب شرق کشور پرتغال به ارزیابی پتانسیل آلودگی با استفاده از مدل دراستیک^۲ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پتانسیل خطر آلودگی در حوضه رودخانه وجود دارد [۸]. احمد و نازال در سال ۲۰۱۵ در پژوهشی به منظور بررسی آسیب‌پذیری آبخوان منطقه‌ای غربی ریاض واقع در کشور عربستان با استفاده از مدل دراستیک پرداختند. نقشه آسیب‌پذیری به دست آمده از منطقه را به دو قسمت آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی کردند [۹]. شکور و همکاران در سال ۲۰۲۰ در پژوهشی در منطقه فیصل‌آباد پاکستان از مدل دراستیک برای تعیین آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه استفاده کردند. و به این نتیجه رسیدند که فیصل‌آباد دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی است و مناطق آسیب‌پذیر در قسمت مرکزی و شمالی منطقه فیصل‌آباد قرار دارند [۱۰]. آریا و همکاران در سال ۲۰۲۰ در پژوهشی که در حوضه رودخانه واتامالایکارایی در جنوب هند با استفاده از مدل دراستیک داشتند به این نتیجه رسیدند که نقشه آسیب‌پذیری آبخوان منطقه مورد مطالعه در طبقه آسیب‌پذیری زیاد، متوسط و کم قرار دارد. بیشتر حوضه تحت آسیب‌پذیری متوسط است [۱۱]. اصغری مقدم و همکاران در سال ۱۳۹۴، در پژوهشی با هدف پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان مرند با استفاده از مدل‌های دراستیک، ای‌وی‌آی^۳ نشان دادند که در هر دو مدل، میزان آسیب‌پذیری در قسمت‌های شرق، جنوب شرقی و شمال شرقی دشت بیش‌تر از بخش‌های مرکزی و غربی دشت است اما حدود

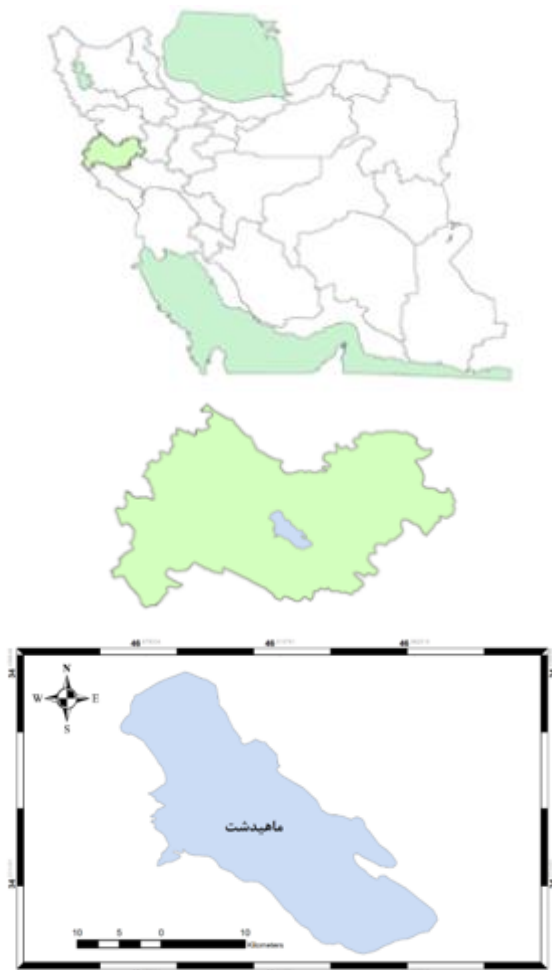
از دشت‌ها در کشور به حد بحرانی رسیده است. از این رو حفاظت کیفی و مدیریت آبخوان‌ها از اهمیت بسیاری برخوردار هستند [۱]. آبخوان‌ها به روش‌های مختلف در معرض خطر آلودگی قرار می‌گیرند از این رو تشخیص و کنترل آلودگی آنها نسبت به آب‌های سطحی مشکل‌تر و پرهزینه‌تر است [۲].

مدل‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌ها در جهان وجود دارد که می‌توان این مدل‌ها را در سه طبقه عمده طبقه‌بندی کرد: (۱) مدل‌های شبیه‌سازی مبتنی بر فرآیند (۲) مدل‌های آماری (۳) مدل‌های همپوشانی شاخص. در هیدروژئولوژی، ارزیابی آسیب‌پذیری به طور معمول حساسیت یک آبخوان به آلودگی را توصیف می‌کند که می‌تواند کیفیت آبخوان را کاهش دهد [۳]. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان در مناطقی که منابع آبی تحت تأثیر تنش از فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، قرار دارند می‌تواند سودمند باشد. علاوه بر این، مطالعات مربوط به آسیب‌پذیری آبخوان می‌تواند اطلاعات و معیارهای اولیه را برای تصمیم‌گیری در تعیین کاربری زمین، مشخص کردن شبکه‌های نظارتی و مدیریت منابع آب در مقیاس منطقه‌ای در اختیار قرار دهد [۴].

چگونگی و نحوه استفاده از مدل مناسب و کارآمد برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری در منطقه مورد مطالعه بستگی به وجود داده‌ها و توزیع آنها، موقعیت هیدروژئولوژی، مقیاس و هدف نقشه دارد [۵]. از این رو باید در نظر داشت که نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان، میزان آلودگی آبخوان را منعکس نمی‌کند بلکه پتانسیل آبخوان نسبت به آلودگی را نشان می‌دهد. از این رو، ممکن است منطقه مورد مطالعه پتانسیل آسیب‌پذیری کم یا متوسط داشته باشد ولی به دلیل حضور گسترده منابع آلاینده، آبخوان آلوده شده یا بالعکس شود [۶].

سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ به دلیل ویژگی‌های که دارد ابزار مناسب و کارآمد در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان است. سیستم اطلاعات جغرافیایی توانایی جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و تجزیه و تحلیل هم‌زمان معیارهای مختلف را دارد و نمایش

ایستگاه اقلیم‌شناسی ماهیدشت در دوره‌ی آماری ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸ میانگین بارندگی سالانه حدود ۴۰۲ میلیمتر و میانگین دمای سالانه ۱۳/۸ درجه سانتیگراد بوده است [۱۵، ۱۶]. ماهیدشت به دلیل زمین‌های حاصلخیز و همجواری با رودخانه مرگ از دیرباز قطب کشاورزی بوده است و محصولات متنوعی از قبیل گندم، جو، چغندر، سیب زمینی، ذرت، پیاز و غیره به خوبی در این منطقه پرورش می‌یابد این دشت حاصلخیزترین نقطه شهرستان کرمانشاه محسوب می‌شود [۱۷] شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۳. مواد و روش‌ها

با توجه به اهمیت آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان در بخش صنعت، شرب، کشاورزی و توسعه روز افزون شهرک‌های صنعتی و کارخانه‌ها در این منطقه و ورود فاضلاب‌ها صنعتی و کشاورزی به داخل آبخوان ماهیدشت، شناسایی مناطق و

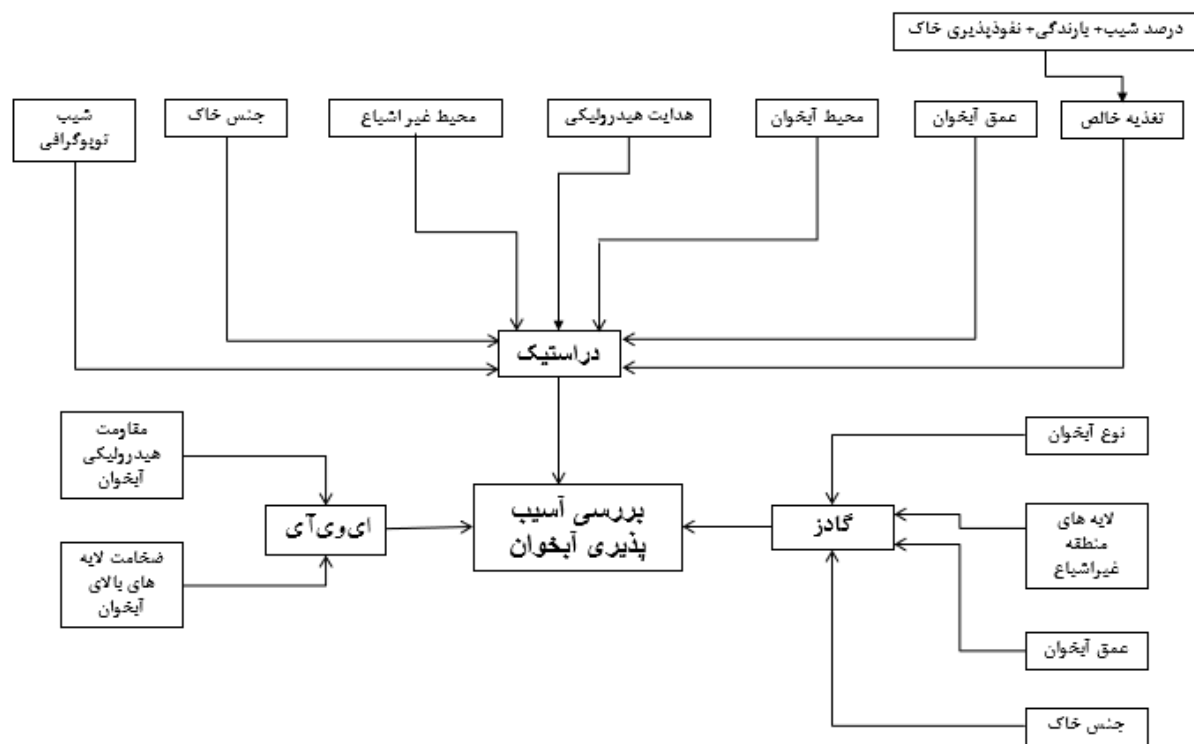
گسترش محدودهای آسیب‌پذیری متفاوت است [۱۲]. میرزاوند و قاسمیه در سال ۱۳۹۵ در پژوهشی به ارزیابی آسیب‌پذیری دشت کاشان با استفاده از مدل دراستیک پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل دراستیک یک سیستم کارآمد در ارزیابی آلودگی آبخوان‌ها است همچنین بخش‌های مرکزی و جنوب غربی دشت کاشان پتانسیل بیشتری برای آلودگی دارند [۱۳]. قنبریان و احمدی ندوشن در سال ۱۳۹۸ در پژوهشی به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت لردگان با استفاده از مدل‌های دراستیک، گادز، ای‌وی‌ای در محیط آرک جی‌آی‌اس پرداختند نتایج این مطالعه نشان داد که بر اساس مدل دراستیک منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل آلودگی متوسط، زیاد و بسیار زیاد است. نتایج مدل ای‌وی‌ای نشان داد که بیش از ۹۵ درصد مساحت آبخوان دارای حساسیت بالایی نسبت به آلودگی هستند. همچنین نتایج مدل گادز نشان داد که ۴۵ درصد مساحت منطقه دارای حساسیت پایینی نسبت به آلودگی دارند [۱۴]. با توجه به اینکه تهیه نقشه آسیب‌پذیری ابزار مفیدی برای برنامه‌ریزی و مدیریت آبخوان محسوب می‌شود و با توجه به اینکه آبخوان ماهیدشت در بخش کشاورزی، صنعتی و شرب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است شناسایی مناطق آسیب‌پذیر امری ضروری است. لذا در این پژوهش به بررسی آسیب‌پذیری آبخوان ماهیدشت با استفاده از مدل‌های دراستیک، ای‌وی‌ای و گادز و صحت‌سنجی این سه مدل با هم پرداخته‌ایم.

۲. منطقه مورد مطالعه

ماهیدشت در ۲۵ کیلومتری شهر کرمانشاه قرار دارد و جزء محدوده سیاسی شهرستان کرمانشاه است دارای مختصات جغرافیایی بین ۴۶ ۴۵ ۰۰ تا ۴۷ ۰۰ ۵۰ و ۳۴ ۱۲ ۱۰ تا ۳۴ ۰۰ ۰۰ واقع شده است دارای جمعیتی برابر ۲۱۳۹۹ نفر (معادل ۴۸۸۵ خانوار)، مساحت ۴۲۹/۴۳ کیلومتر مربع و ارتفاع از سطح دریا ۱۴۰۰ متر است اقلیم منطقه‌ی مورد مطالعه به علت داشتن فصل‌های مشخص گرم خشک و سرد مرطوب از نوع مدیترانه‌ای بوده و بیش از ۸۹ درصد بارش منطقه در طی ماه‌های آبان تا فروردین رخ می‌دهد. براساس آمار

مقایسه آنها با یکدیگر انجام شد. این سه مدل رایج‌ترین و مرسوم‌ترین مدل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان هستند که بیشتر محققان از این مدل‌ها استفاده می‌کنند در این پژوهش مدل دراستیک به دلیل استفاده از معیارهای بیشتر نسبت به سایر مدل‌ها مد نظر است و از طرفی استفاده از دو مدل دیگر (ای‌وی‌آی و گادز) امکان مقایسه و صحت‌سنجی را فراهم می‌کند.

میزان آسیب‌پذیری آبخوان این دشت یک امر مهم و ضروری است از این رو تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان ماهیدشت می‌تواند اطلاعات جامع و کاملی برای برنامه‌ریزی و به کار بردن تصمیمات مناسب و به موقع در مدیریت آبخوان در اختیار قرار دهد تا با شناخت کافی از میزان آسیب‌پذیری منطقه، از آلوده شدن بیشتر این منابع جلوگیری کرد. در این پژوهش، به منظور بررسی آسیب‌پذیری آبخوان با استفاده از سه مدل دراستیک، ای‌وی‌آی و گادز شکل ۲ و



شکل ۲. نگاره مراحل انجام کار

می‌شود [۱۹]. در مدل دراستیک از معیارهای عمق آبخوان (D)، شیب توپوگرافی (T)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، جنس خاک (S)، محیط غیر اشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) استفاده می‌شود.

عمق آبخوان (D): عمق آبخوان نقش مهمی در آلودگی آبخوان دارد زیرا آلودگی باید مسافتی را تا رسیدن به سطح ایستابی طی کند و اگر سطح آب پایین‌تر باشد زمان حرکت و امکان پالایش آلوده کننده بیشتر می‌شود. برای تهیه لایه عمق تا سطح ایستابی از آمار سطح آب در ۳۰ پیژومتر موجود در دشت که توسط سازمان آب منطقه‌ای استان کرمانشاه جمع‌آوری شده استفاده شد. بعد از ویرایش و میانگین‌گیری

۳-۱. مدل دراستیک

سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا^۵ مدل دراستیک را برای ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان‌ها ناشی از آلاینده‌های که قابلیت انتشار دارند را طراحی کرده است. این مدل بر اساس وضعیت هیدروژئولوژیکی است. وضعیت هیدروژئولوژیکی ترکیبی از تمامی معیارهای زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی است که حرکت آبخوان‌ها را در ورود، نفوذ و خروج از سیستم در منطقه را تحت تأثیر قرار داده و کنترل می‌کند [۱۸]. مدل دراستیک شاخص هم پوشانی است که به طور گسترده‌ای برای ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به یک محدوده گسترده پتانسیل آلودگی استفاده

نقشه درصد شیب، نقشه نفوذپذیری خاک و بارندگی با توجه به معیارهای جدول ۳ تهیه و رتبه‌بندی شد. پس از تهیه نقشه‌ها برای بدست آوردن لایه تغذیه رابطه ۱ نقشه‌های شیب و نفوذپذیری خاک به همراه بارندگی منطقه همپوشانی شدند و نقشه تغذیه خالص بدست آمد که برای بدست آوردن رتبه واقعی تغذیه با استفاده از معیارهای جدول ۴ طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری آن صورت گرفت.

$$\text{درصد شیب} + \text{میزان بارندگی} + \text{نفوذپذیری خاک} = \text{تغذیه خالص} \quad (1)$$

جدول ۳. تهیه لایه تغذیه با استفاده از شیب، بارندگی و نفوذ خاک [۲۰].

نفوذپذیری خاک		بارندگی		شیب	
رتبه	محدوده	رتبه	بارش (mm)	رتبه	درصد شیب
۵	زیاد	۴	<۵۰۰	۴	<۲
۴	زیاد تا متوسط	۳	۷۰۰-۵۰۰	۳	۱۰-۲
۳	متوسط	۲	۸۵۰-۷۰۰	۲	۳۳-۱۰
۲	کم	۱	>۸۵۰	۱	>۳۳
۱	خیلی کم				

جدول ۴. طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری تغذیه خالص [۲۰].

رتبه‌بندی	محدوده (mm/year)
۱	۵۰-۰
۳	۱۰۰-۵۰
۶	۱۷۵-۱۰۰
۸	۲۵۰-۱۷۵
۹	۲۵۰<

محیط آبخوان (A): محیط آبخوان جنس ذرات، اندازه ذرات و تخلخل را شامل می‌شود که میزان پویایی و تحرک آلودگی و به عبارتی فرآیندهای رقیق‌سازی آلودگی مانند تجزیه شیمیایی، جذب، پخش و تأخیر آلودگی را کنترل می‌کند و براساس جدول ۵ طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری شد.

از داده‌ها نقشه مورد نظر با استفاده از مدل درون یابی در محیط جی‌آی‌اس تهیه گردید. لایه عمق تا سطح ایستابی با توجه به جدول ۱ به محدوده‌های تعریف شده توسط مدل دراستیک طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری شد.

جدول ۱. طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری عمق آبخوان [۲۰].

رتبه‌بندی	محدوده (m)
۱۰	۲-۰
۹	۳-۲
۷	۹-۳
۵	۱۵-۹
۳	۲۳-۱۵
۲	۳۰-۲۳
۱	>۳۰

شیب توپوگرافی (T): شیب و تغییرات شیب سطح زمین نقش ویژه‌ای در آلودگی آبخوان دارد. به دلیل اینکه شیب حرکت آلوده کننده و نگهداری آن را بر سطح زمین کنترل می‌کند. از این رو هر چقدر شیب سطح زمین کمتر باشد زمان تماس آب‌های سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین بیشتر است و در نتیجه امکان نفوذ آلاینده‌ها به داخل آبخوان بیشتر می‌شود. درصد شیب با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع محاسبه می‌شود که نقشه نهایی براساس جدول ۲ طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری شد.

جدول ۲. طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری شیب توپوگرافی [۲۰].

رتبه‌بندی	محدوده (%)
۱۰	۲-۰
۹	۶-۲
۵	۱۲-۶
۳	۱۸-۱۲
۱	۱۸>

تغذیه خالص (R): برای تهیه لایه تغذیه خالص از سه مدل شیب، بارندگی و میزان نفوذپذیری خاک استفاده می‌شود.

جدول ۵. طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری محیط آبخوان [۲۰].

رتبه‌بندی پیک	رتبه‌بندی	محدوده
۲	۱-۳	شیل توده‌ای
۳	۲-۵	آذرین / دگرگونی
۴	۳-۵	آذرین / دگرگونی هوا زده
۵	۴-۶	رسوبات یخچالی
۶	۵-۹	مخلوط شیل، ماسه و آهک
۶	۴-۹	ماسه سنگ توده‌ای
۶	۴-۹	سنگ آهک توده‌ای
۸	۴-۹	شن و ماسه
۹	۲-۱۰	بازالت
۱۰	۹-۱۰	سنگ آهک کارستی

ایستایی است که از آب غیراشباع و یا به صورت غیریوسته از آب اشباع شده باشد. از عوامل مهم و تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری آبخوان ضخامت و خصوصیات هیدرولیکی تشکیلات زمین‌شناسی منطقه غیراشباع است و به‌عنوان کنترل‌کننده‌های اصلی و طبیعی میزان تغذیه و مدت زمان تغذیه به آبخوان نقش خود را ایفا می‌کنند. همچنین محیط غیراشباع با نگهداری، جذب و حذف عوامل بیماری‌زا، جذب و کاهش مواد شیمیایی، آلی و مصنوعی، کاهش غلظت فلزات سنگین و مواد شیمیایی غیرآلی از طریق جذب و واکنش با سطح کانی‌ها، در جلوگیری از آلودگی آبخوان نقش مهمی دارند. تأثیر محیط غیراشباع در آلودگی آبخوان، همانند محیط خاک بوده و به نفوذپذیری مواد تشکیل‌دهنده و خصوصیات محیط غیراشباع بستگی دارد و براساس جدول ۷ طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری گردید.

جدول ۷. طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری منطقه غیر اشباع [۲۰].

رتبه‌بندی پیک	رتبه‌بندی	محدوده
۱	۱	لایه محبوس‌کننده
۳	۲-۶	سیلت / رس
۳	۲-۵	شیل
۶	۲-۷	سنگ آهک
۶	۴-۸	ماسه سنگ
۶	۴-۸	ماسه سنگ، سنگ آهک و شیل لایه‌لایه
۶	۴-۸	شن و ماسه با مقدار زیادی رس و سیلت
۴	۲-۸	آذرین / دگرگونی
۸	۶-۹	شن و ماسه
۹	۲-۱۰	بازالت
۱۰	۸-۱۰	سنگ آهک کارستی

هدایت هیدرولیکی (C): هدایت هیدرولیکی توانایی مواد تشکیل‌دهنده آبخوان در انتقال آب است. هدایت آب بر شدت جریان آبخوان که تحت یک شیب هیدرولیکی مشخص در جریان است کنترل دارد. هدایت هیدرولیکی با مقدار فضاهای خالی و اتصال بین آنها در آبخوان کنترل می‌شود و در نتیجه، ایجاد درز، شکاف و صفحات لایه‌بندی شده و تخلخل بین دانه‌ای هستند. هدایت هیدرولیکی حرکت و پخش آلاینده را از منطقه‌ای که نفوذ کرده و تا به محیط

جنس خاک (S): نقشه خاک منطقه مورد مطالعه براساس آمار و اطلاعات موجود در سازمان آب منطقه‌ای و سازمان آبخیزداری تهیه، رقومی و طبقه‌بندی شد. خاک‌های شنی، ماسه‌ای، لوم و لومی ماسه‌ای براساس جدول ۶ ارزش‌گذاری گردید. جنس میزان آب‌نفوذی و نیز نفوذ آلاینده‌ها را به داخل آبخوان کنترل می‌کند. به‌طور کلی هر چقدر اندازه ذرات تشکیل‌دهنده خاک ریزتر، نفوذپذیری خاک کمتر و درصد مواد آلی و ضخامت خاک بیشتر باشد پتانسیل آلودگی آبخوان کاهش می‌یابد.

جدول ۶. طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری جنس خاک [۲۰].

رتبه‌بندی	محدوده
۱۰	نازک بودن لایه خاک
۱۰	شن
۹	ماسه
۸	کود گیاهی
۷	رس فشرده/متراکم
۶	لوم ماسه‌ای
۵	لوم
۴	لوم سیلتی
۳	لوم رس‌دار
۲	کود
۱	رس غیر متراکم

محیط غیر اشباع (I): محیط غیر اشباع منطقه بالایی سطح

جدول ۱۰. طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری شاخص دراستیک [۲۰].

محدوده آسیب‌پذیری	شاخص دراستیک
< ۷۹	بدون خطر آسیب‌پذیری
۸۰-۹۹	آسیب‌پذیری خیلی کم
۱۰۰-۱۱۹	آسیب‌پذیری کم
۱۲۰-۱۳۹	آسیب‌پذیری کم تا متوسط
۱۴۰-۱۵۹	آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد
۱۶۰-۱۷۹	آسیب‌پذیری زیاد
۱۸۰-۱۹۹	آسیب‌پذیری خیلی زیاد
> ۱۹۹	کاملاً آلوده

۳-۲. مدل ای‌وی‌آی

در مدل ای‌وی‌آی از دو معیار ضخامت هر واحد رسوبی بالای آبخوان و هدایت هیدرولیکی در هر لایه شاخص آسیب‌پذیری آبخوان به دست می‌آید:

$$C_i = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i} \quad (۳)$$

در این رابطه، C_i مقاومت هیدرولیکی آبخوان d ضخامت لایه‌های بالای آبخوان n تعداد لایه‌ها K_i هدایت هیدرولیکی تخمینی هر لایه (day/m) است. معیار C زمان حرکت آبخوان از لابه‌لای خلل و فرج سطح فوقانی بخش اشباع به سمت پایین است. در مدل ای‌وی‌آی به طور غیرمستقیم از معیارهای مدل دراستیک به جز توپوگرافی و نوع آبخوان استفاده می‌شود. پس از محاسبه میزان شاخص آسیب‌پذیری، از طریق مقایسه آن با جدول ۱۱، میزان پتانسیل آلودگی آبخوان مشخص می‌شود [۲۱، ۲۲].

جدول ۱۱. میزان آسیب‌پذیری براساس مقاومت هیدرولیکی در مدل ای‌وی‌آی [۲۱].

مقاومت هیدرولیکی	لگاریتم مقاومت هیدرولیکی	پتانسیل آلودگی
۰-۱۰	< ۱	آسیب‌پذیری خیلی زیاد
۱۰-۱۰۰	۱-۲	آسیب‌پذیری زیاد
۱۰۰-۱۰۰۰	۲-۳	آسیب‌پذیری متوسط
۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	۳-۴	آسیب‌پذیری پایین
> ۱۰۰۰۰	> ۴	آسیب‌پذیری خیلی پایین

اشباع رسیده را کنترل می‌کند. از این رو، هر چقدر هدایت هیدرولیکی بیشتر امکان جریان آلاینده‌ها در آبخوان بیشتر خواهد بود. طبقه‌بندی هدایت هیدرولیکی در این مطالعه براساس جدول ۸ انجام گرفت.

جدول ۸. طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری هدایت هیدرولیکی [۲۰].

رتبه‌بندی	محدوده
۱	> ۴
۲	۴-۱۲
۴	۱۲-۲۸
۶	۲۸-۴۰
۸	۴۰-۸۰
۱۰	۸۰ <

هدف اصلی ارزیابی با مدل دراستیک، تهیه نقشه آسیب‌پذیری است که به وسیله ترکیب نقشه‌های معیارهای تأثیرگذار در آسیب‌پذیری آبخوان که شامل سطح ایستابی، جنس آبخوان، نوع خاک، منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی تهیه می‌شود. جدول ۹ ضرایب مربوط به هفت معیار مدل دراستیک را نشان می‌دهد. در مدل دراستیک، معیارهای آسیب‌پذیری ضرایب وزنی دارند که اهمیت نسبی آنها نسبت به آسیب‌پذیری آبخوان را نشان می‌دهد. نقشه شاخص آسیب‌پذیری مدل دراستیک از رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود:

$$\text{دراستیک} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (۲)$$

جدول ۹. ضرایب وزنی هفت معیار شاخص دراستیک [۲۰].

وزن	معیار
۵	عمق آبخوان (D)
۴	تغذیه خالص (R)
۳	محیط آبخوان (A)
۲	جنس خاک (S)
۱	شیب توپوگرافی (T)
۵	محیط غیر اشباع (I)
۳	هدایت هیدرولیکی (C)

آسیب‌پذیری جدول ۱۰ نشان دهنده میزان آماده بودن انتقال آلودگی به آبخوان است.

۳-۳. مدل گادز

مدل گادز یکی دیگر از مدل‌های شاخص همپوشانی است که اولین بار ۱۹۸۷ توسط فاستر [۲۳] توسعه یافت. این مدل در سال ۱۹۸۸ کامل تر شد مدل گادز به دلیل سادگی در مفهوم و کاربرد آسان تر آن در بسیاری از کشورها استفاده شده است [۱۴، ۲۴]. گادز را می‌توان یکی از مدل‌های محاسبه آسیب‌پذیری آبخوان از نظر کیفی دانست. این مدل بسیار ساده، عملی و مدلی تجربی برای ارزیابی سریع پتانسیل آلودگی است فاستر ۱۹۸۸ ارائه کرده است [۲۳]. در این مدل چهار معیار نوع آبخوان، لایه‌های منطقه غیراشباع، عمق آبخوان و جنس خاک در نظر گرفته می‌شود. آسیب‌پذیری مدل گادز از رابطه ۴ به دست می‌آید:

$$Iv = G.O.D. \cdot S \quad (4)$$

در این فرمول Iv شاخص آسیب‌پذیری، G امتیاز نوع آبخوان، O امتیاز لایه‌های غیراشباع، D امتیاز عمق آبخوان و S امتیاز جنس خاک است.

نوع آبخوان (G): با استفاده از اطلاعات نقشه منابع آب نوع آبخوان حاصل می‌شود. تعیین نوع آبخوان و حدود گسترش بر اساس لوگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای، بهره‌برداری و اکتشافی و گزارش‌ها و اطلاعات موجود صورت گرفت. براساس ارزش‌گذاری نوع آبخوان در این مدل از ۰ تا ۱ است.

لایه‌های محیط غیراشباع (O): این معیار، ظرفیت میزان آلاینده‌ها را تعیین می‌کند. مشخصات لایه غیراشباع با استفاده از اطلاعات چاه‌های اکتشافی و یا سایر چاه‌های حفر شده در محدوده مورد مطالعه به دست آمد. مشخصات لایه غیراشباع همانند مدل دراستیک است، با این تفاوت که ارزش رتبه‌های آن در مدل گادز از ۰ تا ۱ متغیر است از این رو بر حسب نسبت جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان در هر چاه، رتبه‌هایی به هر نقطه اختصاص داده و سپس نقشه رتبه‌بندی شده محیط غیراشباع به فرمت رستری تهیه گردید.

عمق آب زیرزمینی (D): نحوه تهیه نقشه مربوط به این معیار، همانند مدل دراستیک است ولی محدوده و

ارزش‌گذاری رتبه‌ها در مدل گادز متفاوت است و با توجه به ارزش‌گذاری مدل گادز رتبه‌بندی شد.

نوع خاک (S): نحوه تهیه معیار نوع خاک همانند مدل دراستیک است ولی محدوده و ارزش‌گذاری رتبه‌ها در مدل گادز متفاوت است.

این مدل، بسیار ساده و عملی است برای ارزیابی سریع آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلودگی به کار برده می‌شود و همانگونه که قبلاً ذکر گردید از ضرب چهار پارامتر به دست می‌آید. در این مدل ارزش کلاس‌های مختلف از ۰ تا ۱ جدول ۱۲ تغییر می‌کند [۲۳].

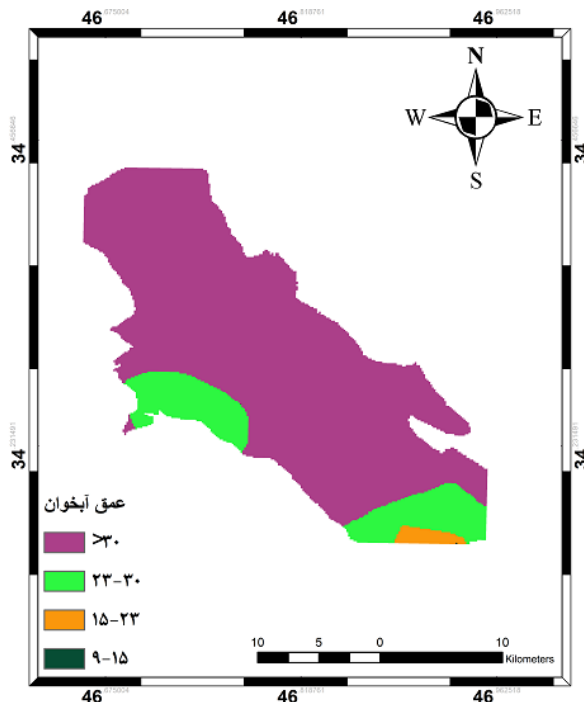
جدول ۱۲. میزان آسیب‌پذیری براساس مدل گادز [۲۵].

شاخص آسیب‌پذیری	آسیب‌پذیری
۰	فاقد آسیب‌پذیری
۰-۰/۱	آسیب‌پذیری قابل چشم‌پوشی
۰/۰-۱/۳	آسیب‌پذیری کم
۰/۰-۳/۵	آسیب‌پذیری متوسط
۰/۰-۵/۷	آسیب‌پذیری زیاد
۰/۱-۷	آسیب‌پذیری خیلی زیاد

۴. بحث و نتایج

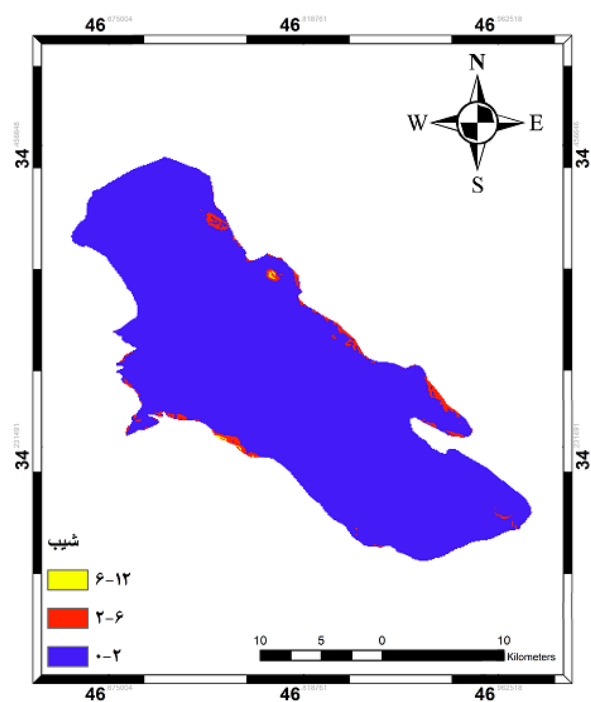
مدل دراستیک با استفاده از هفت معیار در نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس برای نشان دادن آسیب‌پذیری آبخوان مورد استفاده قرار گرفته است. میزان وزن‌دهی هر معیار در این مدل متفاوت است اما معیارهای محیط غیراشباع و عمق آبخوان بیشترین میزان تاثیر را در بین سایر معیارها دارند این مدل یکی از کاربردی‌ترین مدل‌های ارزیابی آبخوان است که قنبریان و احمدی ندوشن به کامل و کاربردی بودن مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان اشاره کردند [۱۴]. نتایج مطالعه عبیدی و همکاران و مردان و یارقلی نیز بیانگر آن بود که دقت و انعطاف پذیری مدل دراستیک نسبت به مدل‌های دیگر بالاتر است [۲۶، ۲۷]. همچنین یافته‌های پژوهش آنها حاکی از آن بود که مدل دراستیک دارای قابلیت بالایی در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان است. نتایج عمق آبخوان نشان داد به دلیل تاثیرگذاری عمق آبخوان

می‌دهد که آسیب‌پذیری آبخوان ماهیدشت در محدوده بدون خطر تا خطرپذیری کم تا متوسط بین ۶۳ تا ۱۲۹ متغیر است. طبق نتایج این شاخص مناطق دارای خطرپذیری کم بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند و مناطق دارای خطرپذیری متوسط در قسمت جنوبی دشت دارای پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط هستند. بنابراین نقشه آسیب‌پذیری آبخوان نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه در آسیب‌پذیری جدی و خطر آلودگی بالا قرار ندارد. مناطق با بدون خطر آسیب‌پذیری با مساحت $72/30$ کیلومتر مربع $17/7$ درصد، مناطق با خطرپذیری خیلی کم $266/93$ کیلومتر مربع $65/65$ درصد، مناطق با آسیب‌پذیری کم $59/69$ کیلومتر مربع $12/96$ درصد و مناطق با آسیب کم تا متوسط $14/65$ کیلومتر مربع $3/6$ درصد را به خود اختصاص می‌دهند. قسمت‌های جنوبی و قسمتی از شمال شرقی از پتانسیل بالایی (آسیب‌پذیری کم تا متوسط) در برابر آلودگی برخوردار هستند به همین سبب کنترل این ناحیه در مقابل آلودگی باید مورد توجه قرار گیرد. بنابراین جهت پیشگیری از ورود این محدوده به رتبه آسیب‌پذیری زیاد، باید مراقبت و کنترل بیشتری صورت پذیرد.

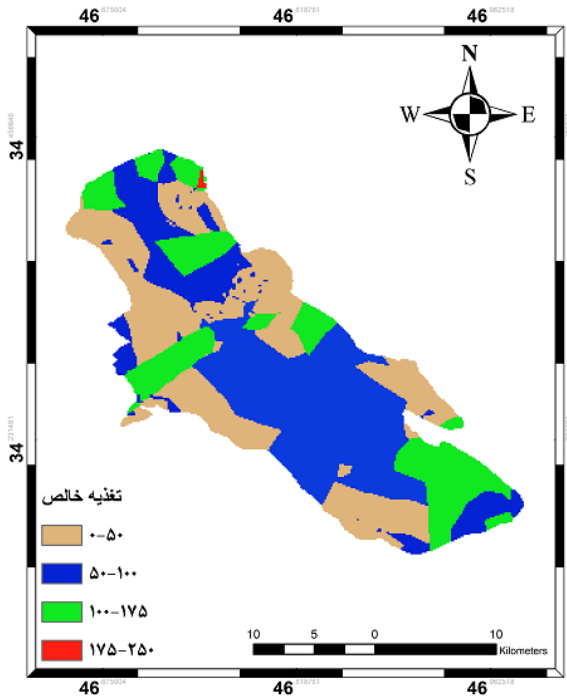


شکل ۴. نقشه رتبه‌بندی عمق آبخوان

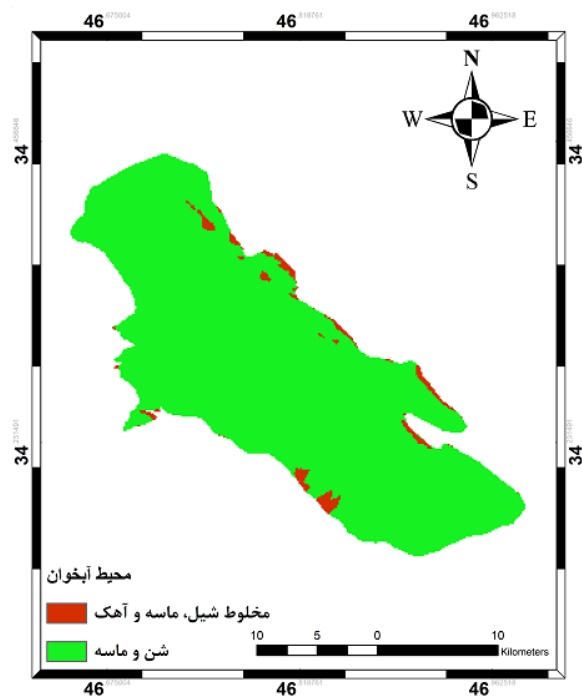
بیشتر منطقه در عمق ۳۰ متری قرار دارد و دارای رتبه ۱ است و سایر رتبه‌ها در قسمت غربی و جنوبی قرار دارند. نقشه حاصله از شیب نشان می‌دهد که بیشترین قسمت منطقه در شیب ۰ تا ۲ قرار دارد و سایر درجات شیب از اهمیت پایین‌تری نسبت به شیب ۰ تا ۲ قرار دارند. در نقشه رتبه‌بندی تغذیه خالص نتایج نشان می‌دهد که رتبه‌های ۱، ۳ و ۶ به صورت پراکنده در منطقه پخش شده‌اند و رتبه ۴ به نسبت سایر رتبه‌ها مناطق کمتری را پوشش می‌دهد. در نقشه رتبه‌بندی محیط آبخوان بیشتر منطقه در پوشش شن و ماسه قرار دارند و ماسه، شیل و آهک حاشیه‌ای از منطقه را پوشش می‌دهد. نتایج رتبه‌بندی جنس خاک نیز تقریباً به صورتی پخش شده است که تمام منطقه را پوشش داده و امتیازهای ۱، ۳، ۷، ۹ و ۱۰ را به خود اختصاص داده است. در نقشه رتبه‌بندی غیراشباع بیشتر منطقه از نوع ماسه سنگ بوده و پس از آن سیلت/رس و شن و ماسه قرار دارند. در نقشه رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی دو رتبه ۴ و ۲ از پوشش منطقه‌ای بیشتری نسبت به سایر رتبه‌ها قرار دارند و رتبه ۱ که در قسمت شمالی قرار در درجه بعدی قرار می‌گیرد و در آخر رتبه ۶ که در قسمت مرکزی قرار دارد در درجه آخر قرار دارد. نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مدل دراستیک در شکل ۱۰ نشان



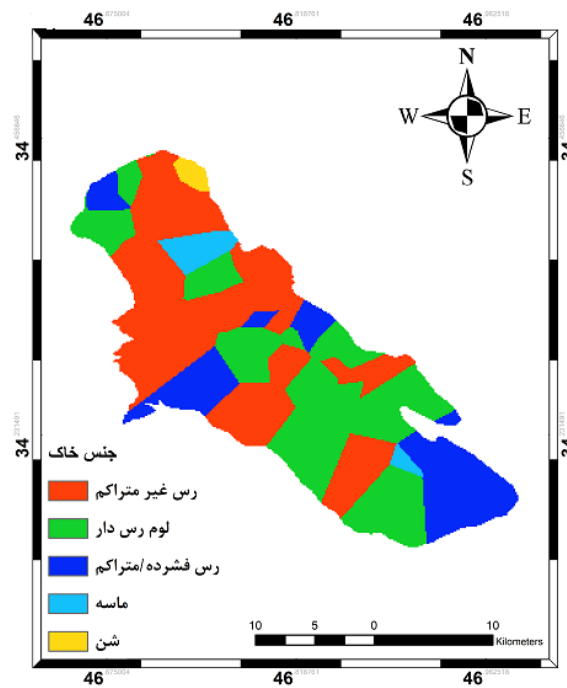
شکل ۳. نقشه رتبه‌بندی شیب



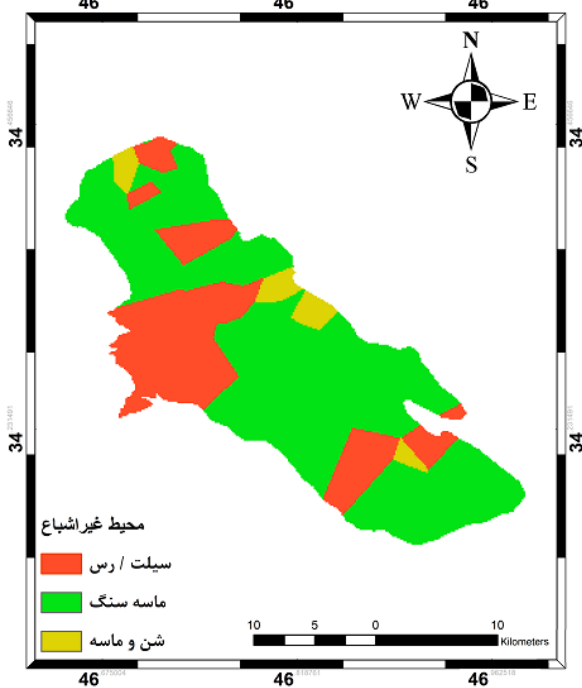
شکل ۶. نقشه رتبه‌بندی تغذیه خالص



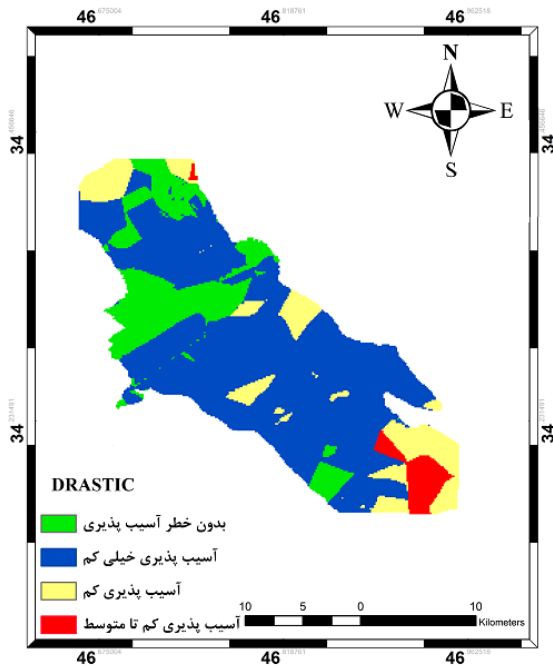
شکل ۵. نقشه رتبه‌بندی محیط آبخوان



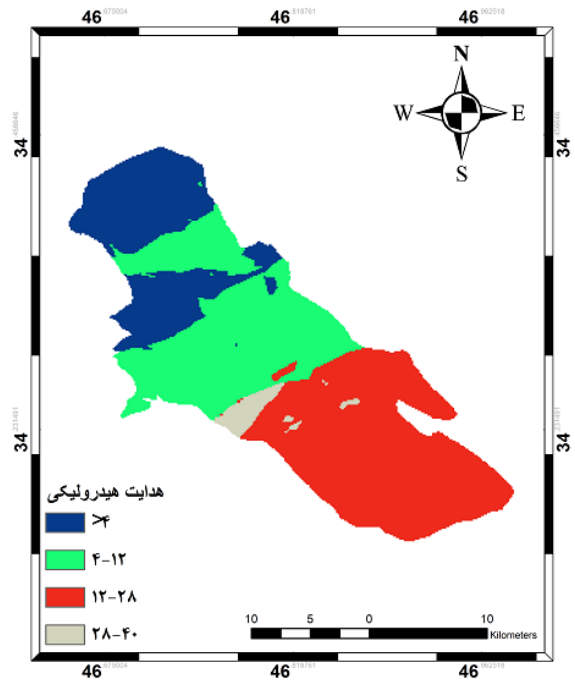
شکل ۸. نقشه رتبه‌بندی جنس خاک



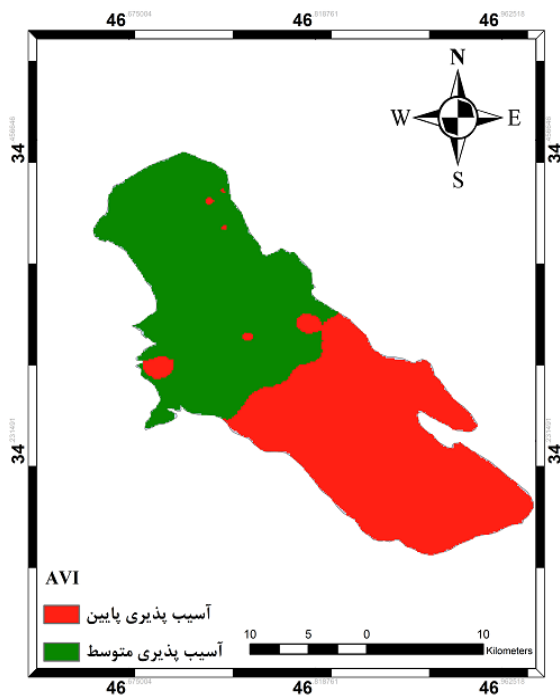
شکل ۷. نقشه رتبه‌بندی محیط غیراشباع



شکل ۱۰. نقشه آسیب‌پذیری مدل دراستیک



شکل ۹. نقشه رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی



شکل ۱۱. نقشه آسیب‌پذیری مدل ای‌وی‌آی

مدل ای‌وی‌آی فقط براساس ضخامت هر یک از واحدهای رسوبی و ضریب هدایتی هیدرولیکی، شاخص آسیب‌پذیری آبخوان تعیین می‌شود. به دلیل استفاده از این دو معیار دقت کمتری نسبت به دو مدل دیگر برخوردار است و می‌تواند یک ارزیابی کلی از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد و این دو معیار مهمترین و تاثیرگذارترین معیارهای میزان آسیب‌پذیر هستند [۱۲]. براساس شکل ۱۱، منطقه به دو قسمت تقسیم می‌شود قسمت پایینی با مساحت ۲۲۱/۲۳ کیلومترمربع ۵۱/۵۶ درصد در طبقه آسیب‌پذیری پایین قرار دارند که نتیجه تاثیرگذاری هدایت هیدرولیکی پایین منطقه شکل ۹ است. قسمت بالایی با مساحت ۲۰۸/۲ کیلومترمربع ۴۸/۵۳ درصد که دارای خطرپذیری متوسط است که نشان می‌دهد آبخوان منطقه در آسیب‌پذیری جدی قرار ندارد. بنابراین باید اقدامات لازم جهت ورود منطقه از آسیب‌پذیری متوسط به آسیب‌پذیری زیاد باید اقدامات پیشگیرانه صورت گیرد. براساس نتایج منطقه به دو قسمت آسیب‌پذیری پایین و متوسط تقسیم شده است که بیشتر منطقه در قسمت آسیب‌پذیری پایین قرار گرفته است که نسبت به مدل دراستیک مساحت بیشتری را به خود اختصاص داده است.

نقشه آسیب‌پذیری شاخص نهایی مدل گادز تهیه شده با چهار نوع معیار آبخوان، لایه‌های محیط غیراشباع، عمق آبخوان و جنس خاک نشان می‌دهد که شاخص آسیب‌پذیری در محدوده مورد مطالعه در دو طبقه آسیب‌پذیری کم و آسیب‌پذیری متوسط طبقه بندی می‌شود که در شکل ۱۲ ارائه شده است؛ که بیشتر مساحت منطقه با آسیب‌پذیری کم

در ارزیابی آسیب پذیری آبخوان، یک ارزیابی کلی از وضعیت آسیب پذیری آبخوان به دست آمده است. در مدل ای وی آی محدود با آسیب پذیری پایین، مساحت بیشتری را در منطقه دارد و آسیب پذیری متوسط به نسبت پوشش کمتری دارد. در مدل گادز نیز مانند دو مدل دیگر آسیب پذیری کم پوشش بیشتری دارد و آسیب پذیری متوسط دارای پوشش کمتری است در نتیجه می توان گفت مدل دراستیک از تجزیه و تحلیل حساسیت بیشتری برخوردار است و دقت بیشتری دارد به خصوص اینکه از معیارهای بیشتری نسبت به مدل های ای وی آی و گادز استفاده شده است. و همچنین رتبه بندی و وزن دهی در مدل دراستیک دقیق تر از مدل ای وی آی و گادز است. از دیگر نتایج این مطالعه می توان اشاره کرد که تولید نتایج با استفاده از مدل های مختلف تجزیه و تحلیل اگر چه دارای نتایج مشابه هستند اما ممکن است در مکان های خاص متفاوت باشد. از این رو مدل های ارزیابی آسیب پذیری آبخوان، ابزارهای بسیار ارزشمندی برای مسئولان فراهم کرده اند تا بتوانند تصمیمات لازم را در جهت مدیریت آبخوان ماهیدشت اتخاذ کنند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از سازمان آب منطقه ای کرمانشاه و سایر بزرگوارانی که در به سرانجام رسیدن این پروژه ما را یاری و حمایت نمودند؛ کمال تشکر و قدردانی را می نمایم.

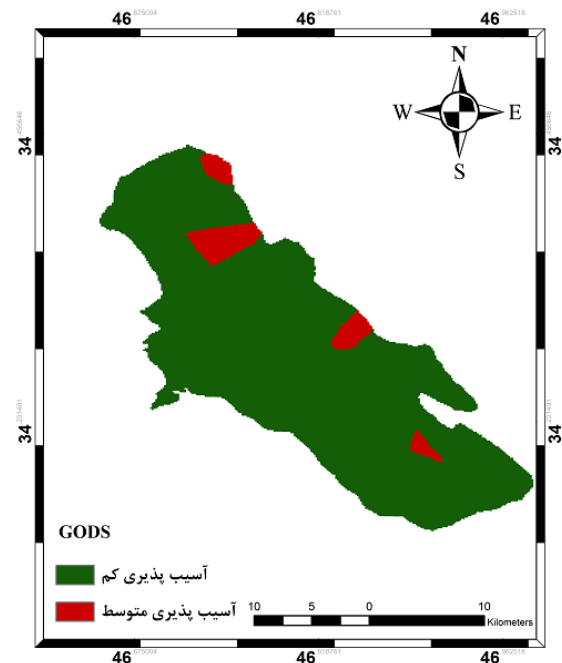
مراجع

[1] مسعودلک مهسا، عزیزی مبصر جوانشیر، رسول زاده علی. ارزیابی آسیب پذیری ذاتی آلودگی آبخوان دشت ارومیه با استفاده از مدل های دراستیک و دراستیک اصلاح شده. تحقیقات منابع آب ایران. ۱۳۹۲؛ ۱۴(۵): ۲۰۴-۱۹۳.

[2] Babiker IS, Mohamed MA, Hiyama T, Kato K. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. Science of the Total Environment. 2005 Jun 1;345(1-3):127-40.

[3] Hosseini M, Saremi A. Assessment and estimating groundwater vulnerability to pollution using a modified DRASTIC and GODS models

با مساحت $401/5$ کیلومتر مربع $94/47$ درصد پوشش داده شده است و منطقه کمتری با آسیب پذیری متوسط پوشش کمتری با مساحت $24/2$ کیلومتر مربع $5/69$ درصد است که نشان از خطر آسیب پذیری کم است و به دلیل استفاده از معیارهای به نسبت کمتری و مشابه دراستیک اما باز هم نتایج مشابهت و نزدیکی بیشتری با مدل دراستیک دارد. که در نتایج پژوهش های بمانی احمد آباد و ادری مقدم و قنبریان و ندوشن نشان دادند که مدل دراستیک نسبت به مدل گادز از صحت قابل قبول تری برخوردار بوده است [۱۴، ۲۴].



شکل ۱۲. نقشه آسیب پذیری مدل گادز

۵. نتیجه گیری

شناسایی مناطق حساس به آلودگی در آبخوان نقش بسزایی بر توسعه و پیشرفت منطقه داشته و استفاده از ابزارهای جدید سبب سهولت این شناسایی شده است. در این پژوهش، با استفاده از سه مدل به بررسی آسیب پذیری مناطق حساس به آلودگی در آبخوان ماهیدشت پرداخته شد. نتایج نشان داد در مدل دراستیک آسیب پذیری آبخوان ماهیدشت به چهار طبقه بدون خطر آسیب پذیری، آسیب پذیری خیلی کم، آسیب پذیری کم و آسیب پذیری کم تا متوسط تقسیم شده است که با نتایج گادز و ای وی آی تقریباً نزدیک است. در مدل ای وی آی به دلیل تعداد کم معیارهای به کار برده شده

- بین‌المللی پژوهش تحلیلی منابع آب و توسعه. ۱۳۹۵؛ ۴(۱):۹۲-۱۰۲.
- [14] Ghanbarian M, Ahmadi Nadoushan M. Determination of aquifer vulnerability in Lordegan aquifer using DRASTIC, AVI and GODS Models. *Journal of Research in Environmental Health*. 2019, 4(4): 257-71.
- [15] پروین منصور. پهنه‌بندی مناطق مستعد تغذیه آب زیرزمینی حوضه آبریز ماهیدشت کرمانشاه. *هیدروژئومورفولوژی*. ۱۳۹۹؛ ۲۲(۶):۹۲۱-۹۵۹.
- [16] عمادالدین سمیه، شیدایی مجد نسرین، آرخی صالح. بررسی تاثیر روند تغییرات کاربری اراضی روی افت تراز آب زیرزمینی (محدوده مطالعاتی: ماهیدشت کرمانشاه). *مخاطرات محیط طبیعی*. ۱۳۹۹؛ ۲۵(۲۵):۱۲۳-۱۴۰.
- [17] زرافشانی کیومرث، سعدوندی محمد. بررسی شاخص فقرآبی کشاورزی در استان کرمانشاه (مورد مطالعه: دشت ماهیدشت، ایران). *مجله بین‌المللی علوم و فناوری کشاورزی*. ۱۳۹۶؛ ۱۹(۳):۵۴۱-۵۵۲.
- [18] کلاتری نصراله، فراریابی محمد، رحیمی محمد حسین. بررسی پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی دشت باغملک با استفاده از مدل AVI و مدل‌های GOD و DRASTIC در محیط GIS. *نشریه زمین‌شناسی مهندسی*. ۱۳۸۶؛ ۲۲(۲):۴۳۱-۴۵۰.
- [19] Alsharifa Hind J, Marwan A. Assessing groundwater vulnerability in Azraq Basin area by a modified drastic Index. *Journal of Water Resource and Protection*. 2010 Nov 29;2010.
- [20] Aller L. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency; 1985.
- [21] Van Stempvoort D, Ewert L, Wassenaar L. AVI: a method for groundwater protection mapping in the prairie provinces of Canada. *Prairie Provinces Water Board*; 1992.
- [22] Gogu RC, Dassargues A. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. *Environmental geology*. 2000 Apr;39(6):549-59.
- (case study: Malayer Plain of Iran). *Civil Engineering Journal*. 2018 Feb;4(2):433-42.
- [4] Sener E, Sener S, Davraz A. Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and DRASTIC methods: a case study of the Senirkent-Uluborlu Basin (Isparta, Turkey). *Hydrogeology Journal*. 2009 Dec 1;17(8):2023.
- [5] Voudouris K, Kazakis N, Polemio M, Kareklas K. Assessment of intrinsic vulnerability using DRASTIC model and GIS in Kiti aquifer, Cyprus. *European water*. 2010.
- [6] Barzegar R, Asghari Moghaddam A, Nadiri A, Fijani E. Using different fuzzy logic methods to optimize DRASTIC model, case study: Tabriz plain aquifer. *Journal of Geoscience*. 2015 Jun 1;24(95):211-22.
- [7] Ahmadi A, Aberoumand M. Vulnerability of Khash-Plain aquifer, eastern Iran, to pollution using geographic information system (GIS). *Geotechnical Geology*. 2009 Mar 1;5(1):1-11.
- [8] Pacheco FA, Fernandes LF. The multivariate statistical structure of DRASTIC model. *Journal of Hydrology*. 2013 Jan 7;476:442-59.
- [9] Ahmed I, Nazzal Y, Zaidi FK, Al-Arifi NS, Ghrefat H, Naeem M. Hydrogeological vulnerability and pollution risk mapping of the Saq and overlying aquifers using the DRASTIC model and GIS techniques, NW Saudi Arabia. *Environmental Earth Sciences*. 2015 Jul;74(2):1303-18.
- [10] Shakoore A, Khan ZM, Farid HU, Sultan M, Ahmad I, Ahmad N, Mahmood MH, Ali MU. Delineation of regional groundwater vulnerability using DRASTIC model for agricultural application in Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*. 2020 Feb;13(4):1-12.
- [11] Arya S, Subramani T, Vennila G, Roy PD. Groundwater vulnerability to pollution in the semi-arid Vattamalaikarai River Basin of south India thorough DRASTIC index evaluation. *Geochemistry*. 2020 Dec 1;80(4):125635.
- [۱۲] اصغری مقدم اصغر، میرسجاد فخری مرتضی نجیب. پهنه‌بندی پتانسیل آلودگی آبخوان ماهیدشت کرمانشاه با استفاده از مدل‌های DRASTIC و AVI در محیط GIS. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*. ۱۳۹۴؛ ۱۹(۵۴):۱۹-۴۱.
- [۱۳] میرزاوند محمد، قاسمیه هدی. ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از مدل DRASTIC و تحلیل حساسیت تک پارامتریک مطالعه موردی: دشت کاشان. *فصلنامه*

[23] Foster SS. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. 1987.

[۲۴] بمانی احمدآبادی محسن، اداری مقدم مهدی. مقایسه شاخص‌های آسیب‌پذیری محاسبه شده با استفاده از مدل‌های GODS و DRASTIC در برابر حضور آلودگی و انتخاب مدل بهینه. چهارمین همایش زمین‌شناسی و محیط زیست؛ ۱۳۸۷.

[25] Vrba J, Zaporozec A. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. Heinz Heise, Hannover; 1994.

[۲۶] عیبدی زهره، مجد زاده طباطبایی محمدرضا. رضوی احمد. کاربرد مدل DRASTIC در بررسی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی دشت فسا). پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران؛ ۱۳۹۲.

[۲۷] مردان حجت، یارقلی بهمن. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت آبرفتی اردبیل با استفاده از تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل دراستیک. علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۱۳۹۵؛ ۲۲(۶): ۳۹۱-۴۰۷.

پی‌نوشت‌ها

1. GIS
2. DRASTIC
3. AVI
4. GODS
5. EPA