

## ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت نکارود با استفاده از مدل DRASTIC

سیده عالمه صباغ<sup>۱</sup>، مریم مروتی<sup>۲\*</sup>، مریم پناهنده<sup>۳</sup> و مهدی تازه<sup>۴</sup>

### چکیده

نبود مدیریت صحیح در زمینه برداشت منابع آب زیرزمینی، در قسمت شرق استان مازندران، طی چند سال اخیر، وضعیت بحرانی را برای ذخیره زیرزمینی ایجاد کرده است. بر این اساس، این پژوهش با هدف پهنه بندی آسیب پذیری آب زیرزمینی حوضه نکارود با بهره گیری از مدل دراستیک انجام شد که هفت پارامتر عمق، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی ورودی اصلی مدل هستند. پهنه بندی تغییرات کیفی با مدل کریجینگ و ارتباط بین عناصر نیترات، PH و EC با آزمون پیرسون مشخص شد. نتایج نشان داد که آسیب پذیری خیلی زیاد ۱۷/۳۳ درصد از مساحت منطقه و ظرفیت آسیب پذیری کم ۵۲/۹۷ درصد را شامل می شود. نتایج آزمون همبستگی نشان داد که ارتباط مدل دراستیک با مقادیر نیترات، PH و EC به ترتیب ۰/۶۱۰، ۰/۲۵۴ و ۰/۲۷۷ است. با ارزیابی انجام شده دامنه جنوب شرقی حوضه به دلیل متفاوت بودن بافت و وضعیت فیزیکی خاک دارای آسیب پذیری خیلی زیاد و مناطق شمال شرقی تا قسمتی از مرکز دشت، دارای آسیب پذیری کم است. با صحت سنجی مدل دراستیک و تعیین ضریب همبستگی بین مقادیر مدل، مشخص شد مدل دراستیک و صحت سنجی با عناصر کیفی یک راهبرد علمی برای مطالعه و تعیین حساسیت آبخوان منطقه است.

**واژه های کلیدی:** آب زیرزمینی، آسیب پذیری، مدل دراستیک، پهنه بندی آلودگی، دشت نکارود.

**ارجاع:** صباغ س.ع. مروتی م. پناهنده م. و تازه م. ۱۳۹۹. ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت نکارود با استفاده از مدل DRASTIC. مجله پژوهش آب ایران. ۱۴۱-۱۵۲: ۳۶.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشکده کشاورزی، منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.  
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران و عضو پژوهشکده گیاهان دارویی و صنعتی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.  
۳- دکتری محیط زیست، عضو هیأت مدیره شرکت ثمین صنعت کاسپین، پارک علم و فناوری گیلان، گیلان، ایران.  
۴- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

\* نویسنده مسئول: [mymorovati@ardakan.ac.ir](mailto:mymorovati@ardakan.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۸

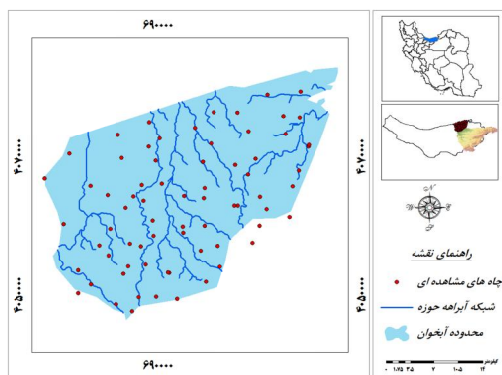
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۱

## مقدمه

آب‌های زیرزمینی، به دلیل فراوانی، کیفیت پایدار و هزینه نسبتاً پایین بهره‌برداری، منبع مهمی برای تأمین آب به خصوص در بخش کشاورزی در کشورهای در حال توسعه است (کندهار و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین این روند افزایشی بهره‌برداری از این منابع در هر دو مقیاس منطقه‌ای و جهانی عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی است (مک‌دونالد و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر این، تغییرات آب و هوایی در طی چند دهه گذشته، به تدریج فشار بر سیستم هیدرولوژیکی را تشدید و خطرهای بالقوه ناشی از آب آشامیدنی را ایجاد کرده است؛ به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با تغذیه فصلی و تخلیه قابل توجهی از آب‌های زیرزمینی همراه است (ری و همکاران، ۲۰۱۴؛ زنگ و همکاران، ۲۰۱۶). باید توجه داشت شدت‌های مختلف بارش فصلی، به‌طور قابل توجهی کمیت و کیفیت آب را در شرایط خاص، تحت تاثیر قرار می‌دهند. همچنین انواع کاربری اراضی و مدیریت مکانی، نقش بسیار مهمی در کیفیت آب زیرزمینی دارند؛ از جمله می‌توان به کاربری کشاورزی اشاره کرد. در مناطق کشاورزی ورود نیترژن حاصل از کودها و انتقال نیترژن به سفره آب زیرزمینی، می‌تواند به عنوان یک تهدید جدی، برای کیفیت این منابع باشد (ژنو و همکاران، ۲۰۱۸؛ منسیو و همکاران، ۲۰۱۶). آلودگی آب‌های زیرزمینی، از مباحث مهم زیست محیطی، به خصوص در مناطقی است که آب سطحی وجود ندارد یا به مقدار ناچیز وجود دارد (حسن‌زاده‌نقوتی و همکاران، ۱۳۹۶)؛ بنابراین نیاز مبرمی به تعیین منابع آلودگی بالقوه و ارزیابی فرایندهای هیدروژئوشیمیایی مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی وجود دارد (گولر و همکاران، ۲۰۱۲). ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی و خطرپذیری سلامت انسان، می‌تواند ابزار مفیدی برای بهره‌برداری و مدیریت آب‌های زیرزمینی باشد (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۸). پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه استفاده از روش‌های کاربردی برای شناسایی مناطقی که دارای احتمال آلودگی بیشتری نسبت به سایر مناطق هستند، انجام شده است؛ از جمله این روش‌ها، روش دراستیک است که از پرکاربرترین روش‌ها، برای ارزیابی آلودگی بالقوه آب‌های زیرزمینی است (نشات و همکاران، ۲۰۱۴). این روش علاوه بر ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های آزاد، برای آبخوان

چندگانه (آزاد و تحت فشار) نیز استفاده شده است (ندیری و همکاران، ۲۰۱۷؛ نجفی و همکاران، ۱۳۹۲). در پژوهشی به ارزیابی پتانسیل آلودگی و آنالیز حساسیت آب زیرزمینی در آبخوان خاتون‌آباد با استفاده از مدل دراستیک پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد ۳۰ درصد منطقه دارای آسیب‌پذیری کم و ۷۰ درصد در رده آسیب‌پذیری متوسط قرار دارد. در پژوهشی دیگر، امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت نیشابور با استفاده از روش دراستیک در محیط GIS، نتیجه گرفتند که حدود ۲۳/۵۵ درصد از منطقه در محدوده آسیب‌پذیری خیلی کم، ۱۷/۱۶ درصد آسیب‌پذیری کم، ۱۹/۲۱ درصد آسیب‌پذیری متوسط، ۲۸/۷۲ درصد آسیب‌پذیری زیاد و ۱۱/۳۶ درصد در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارد؛ در نتیجه بیشترین درصد ظرفیت آسیب‌پذیری مربوط به کلاس زیاد است و مناطق جنوبی و غربی دشت پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد و نواحی شمالی کمترین پتانسیل را دارند. فتحی هفشجانی (۱۳۹۱) در تحقیقی به پهنه‌بندی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان شهرکرد به کمک مدل دراستیک و صحت‌سنجی آن با استفاده از تغییرات فصلی غلظت آلاینده‌های نیترات و فسفات پرداختند. نتایج پژوهش‌های آنان نشان داد که مدل دراستیک تا اندازه‌ای می‌تواند وابسته به زمان نمونه‌برداری آلاینده (نیترات یا فسفات) باشد؛ به گونه‌ای که همبستگی نیترات یا فسفات با نقشه دراستیک تفاوت معنی‌داری در طول سال نشان می‌دهد. آصفی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به بهینه‌سازی مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در منطقه دشت اندیمشک، پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد حدود ۶۵ درصد از آبخوان دشت اندیمشک خطرپذیری با آلودگی خیلی کم و ۳۵ درصد، خطرپذیری با آلودگی زیاد داشت. آنان همچنین وزن‌دهی پارامترهای مدل دراستیک را با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اصلاح و برای تعیین مدل بهینه، ضریب همبستگی بین شاخص آسیب‌پذیری و غلظت نیترات آب زیرزمینی، از روش تحلیل رگرسیون خطی ساده استفاده کردند. نتایج این تحلیل نشان داد که مدل دراستیک بهینه، نسبت به مدل دراستیک نرمال، از همبستگی بهتری با غلظت نیترات برخوردار است.

شده‌است. چاه‌های آزاد شامل طاهره، آبکسر، عالیواک، همت آباد و گلما ۱ و ۲ است. چاه‌های عمیق شامل زیدعلیا، خاریک، قندارخیل، بزمین آباد، آچند، حاج علی آباد و سرآبلا است. دیگر چاه‌های موجود در محل به صورت نیمه عمیق و در عمق کم حفر شده است و برای آبیاری کشاورزی و آشامیدنی از آن‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۱- موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در دشت نکارود

### روش تحقیق

برای انجام مراحل این پژوهش نیاز به داده‌های پیزومتری و چاه‌های بهره‌برداری، نقشه‌های رقومی ارتفاع، خاک، بارش حوضه، نقشه نفوذپذیری خاک، آمار کلی مربوط به عناصر کیفی آب و مشخصات چاه‌های موجود در حوضه است. در روش دراستیک، به لایه‌های تولید شده هر یک از پارامترها نیاز است و باید در محیط ArcGIS نقشه وزن‌دهی برای هر پارامتر تهیه شود. در نهایت نقشه‌ها را برای همپوشانی و تولید نقشه نهایی باید به صورت رستری ذخیره و با ضرب میانگین وزنی در هریک از پارامترها و جمع‌کردن تک‌تک لایه‌ها نقشه نهایی تولید کرد. در بررسی حاضر از نیترات، PH و EC برای صحت‌سنجی مدل دراستیک استفاده خواهد شد. پارامترهای کیفی مؤثر آب در آلودگی آبخوان‌ها از اداره آب منطقه‌ای استان مازندران تهیه و همچنین برای طبقه‌بندی و تطابق نقشه‌ها با لایه‌های نیترات ( $\text{NO}_3$ )، PH و EC ضریب همبستگی برای مدل محاسبه شد.

### مدل کاربردی در ارزیابی پتانسیل آلودگی در این

#### تحقیق

از میان روش‌های مختلفی که برای ارزیابی آسیب‌پذیری به کار برده شده است، روش دراستیک جز روش‌های

از آن جایی که کشاورزی، از شغل‌های اصلی در منطقه دشتی حوضه آبخیز نکارود است، تغییر در مقدار منابع آب در دسترس باعث شده است مردم برای تأمین آب مورد نیاز خود برای کاربری کشاورزی از منابع آب زیرزمینی استفاده کنند؛ لذا با توجه به اینکه منابع آب زیرزمینی در معرض آسیب و تغییر کیفیت، به دلیل بالا بودن سطح ایستابی در منطقه است؛ بنابراین این پژوهش تلاش می‌شود که وضعیت منابع آب زیرزمینی در منطقه ارزیابی و نقشه حساسیت و آسیب‌پذیری آبخوان دشت تعیین شود.

### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان نکا، در استان مازندران، در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۹ دقیقه غربی نصف النهار گرینویچ و در ۲۲ کیلومتری جنوب دریای مازندران قرار گرفته است. حوضه نکارود با وسعت نزدیک به ۲۲۷۰/۴۹ کیلومترمربع در شهرستان نکا از لحاظ جغرافیایی بین محدوده ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه و ۵۸ ثانیه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۱۷ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۴۴ دقیقه و ۲۸ ثانیه طول شرقی واقع شده است (صلاحی کجور و همکاران، ۱۳۹۳). ۷۱ عدد چاه مشاهده‌ای با آبخوان آزاد را به دلیل بالا بودن سطح ایستابی منطقه، آب منطقه‌ای استان مازندران در منطقه دشتی حوضه آبخیز نکارود با وسعت ۹۰۷/۹۵ کیلومترمربع آماربرداری کرده است (آمار و اطلاعات آب منطقه‌ای استان مازندران، ۱۳۹۵). موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای حوضه نکارود در سطح استان و کشور در شکل ۱ نشان داده شده است. رودخانه اصلی نکارود نزدیک به ۱۷۵ کیلومتر است که از میان شهر می‌گذرد. پوشش گیاهی بالادست حوضه، اغلب مرتعی و پوشش جنگلی غالباً در میانه حوضه قرار دارد و در قسمت پایین دست، کاربری‌های اراضی آن عمدتاً کشاورزی و مسکونی است. رودخانه آب دائمی دارد و میانگین بارندگی حوضه، ۹۰۰ میلی‌متر در سال است. چاه‌های اکتشافی در منطقه، در سه رده عمیق، نیمه عمیق و آزاد قرار دارند. عمیق‌ترین چاه‌ها در سیدآباد و طاهرک به ترتیب در عمق ۱۴۴ و ۱۵۰ متر قرار گرفته‌اند و کم عمق‌ترین چاه، در منطقه تنجک با عمق ۴ متر واقع

دستور Raster Calculator محاسبه شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و تعیین ارتباط بین نتایج مدل دراستیک با مقادیر عناصر کیفی، از نرم‌افزار spss 22 استفاده شد.

### نتایج و بحث

لایه‌های پارامترهای مورد استفاده در مدل دراستیک با توجه به آمار سطح آب پیژومتری در سال‌های ۹۴-۹۵ در منطقه مورد مطالعه تهیه شد. داده‌های تهیه‌شده از اداره آب منطقه‌ای استان مازندران نشان دادند که در ماه‌های مهر و آبان، وضعیت عمق سطح ایستابی به دلیل برداشت بی‌رویه کم می‌شود و در وضعیت مناسبی از لحاظ کمی قرار ندارد؛ بنابراین بر روی این داده‌ها، با در نظر گرفتن بیشترین احتمال آسیب‌پذیری آبخوان، آنالیز انجام شد. نقشه هم عمق سطح ایستابی با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ و مطابق با معیارهای مدل دراستیک کلاسه‌بندی و ارزش‌گذاری شد. در جدول ۲ نتایج وزن‌دهی پارامتر عمق سطح ایستابی با مدل دراستیک نشان داده شده است. آسیب‌پذیرترین ناحیه در عمق ۳ تا ۹ متر با ۶۲/۷۱ درصد قرار گرفته است.

جدول ۲- نتایج وزن‌دهی پارامتر عمق آب زیرزمینی با مدل دراستیک

رتبه	محدوده عمق (متر)	رتبه‌بندی	محدوده آلودگی	مساحت (km <sup>2</sup> )	درصد مساحت
۱	۳-۹	۹	۴۵	۵۶۸/۱	۶۲/۷
۲	۹/۱-۱۵/۲	۵	۲۵	۱۲۱/۹	۱۳/۶
۳	۱۵/۲-۲۲/۸	۳	۱۵	۶۴/۸	۷/۵
۴	۲۲/۸-۳۰/۴	۲	۱۰	۸۹/۷	۱۰
۵	بیشتر از ۳۰/۴	۱	۵	۵۱/۷	۵/۸

جهت جریان آب زیرزمینی دشت نکارود برای نشان دادن وضعیت هیدرولیکی آبخوان در شکل ۳ نشان داده شده است. طبق نقشه به دست آمده، جهت جریان از دامنه‌های جنوبی به سمت دامنه شمالی یا سواحل خزر در حال جریان است.

تغذیه خالص نیازمند پارامترهای نفوذپذیری خاک، میزان بارندگی و درصد شیب است؛ بنابراین برای تهیه نقشه تغذیه خالص از روش پیسکویو (۲۰۰۱) استفاده شد.

متداول برای ارزیابی آسیب‌پذیری بالقوه آبخوان‌هاست (پاناگولوس و همکاران، ۲۰۰۶). این روش پتانسیل آلودگی را در مناطق مختلف بر اساس جمع‌بندی پارامترهای مختلف در انتقال مواد محلول ارزیابی می‌کند. پارامترهایی مانند عمق (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، محیط غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) در روش دراستیک ارزیابی و در نهایت نقشه پتانسیل آلودگی، با استفاده از نرم‌افزار GIS ایجاد می‌شود.

به هر پارامتر هفت‌گانه در مدل DRASTIC و با توجه به اهمیت هر یک از آن‌ها در آسیب‌پذیری، وزنی برابر با ۱ تا ۵ داده می‌شود؛ به گونه‌ای که مهم‌ترین آن‌ها، وزن ۵ و کم‌اهمیت‌ترین آن‌ها، وزن ۱ دارد. ارزیابی آسیب‌پذیری هر منطقه، باید بر اساس اهمیت هر یک از پارامترها در آن منطقه انجام شود. در جدول ۱ وزن‌دهی پارامترها در مدل نشان داده شده است. شاخص آسیب‌پذیری در مدل از مجموع حاصل ضرب وزن و رتبه‌های مؤثر در ارزیابی آسیب‌پذیری طبق معادله (۱) محاسبه می‌شود.

$$S_i = \sum_{i=1}^7 P_i \times W_i \quad (1)$$

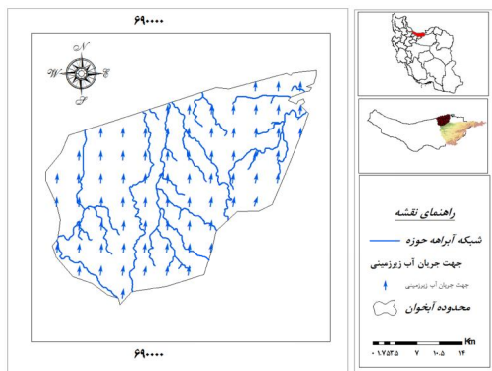
که در آن  $S_i$  شاخص آسیب‌پذیری مدل و  $P_i$ ،  $W_i$  به ترتیب رتبه و وزن هر کدام از پارامترهاست.

جدول ۱- وزن نسبی پارامترهای مدل DRASTIC، (آلی کوسی و همکاران، ۲۰۰۶)

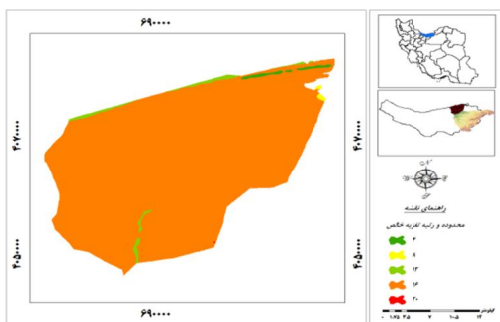
وزن	پارامتر
۵	عمق آب زیرزمینی (D)
۴	تغذیه خالص (R)
۳	مواد تشکیل‌دهنده آبخوان (A)
۲	نوع خاک (S)
۱	توپوگرافی (T)
۵	اثر منطقه غیراشباع (I)
۳	هدایت هیدرولیکی آبخوان (C)

### نرم‌افزارهای پشتیبان در ارزیابی پتانسیل آلودگی حوضه نکارود

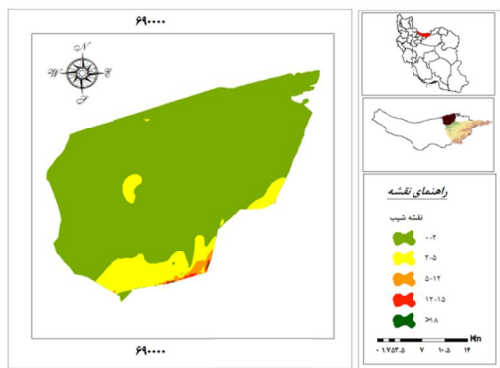
برای اجرای مدل دراستیک پارامترهای مدل رتبه‌بندی و نقشه اولیه تهیه، سپس با تعیین میانگین وزنی ستون مورد نظر برای جمع‌بندی تبدیل به لایه رستر و در وزن نهایی ضرب شد. مجموع هر یک از لایه‌ها با استفاده از



شکل ۳- نقشه جهت جریان آب زیرزمینی در دشت نکارود



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی تغذیه خالص آب زیرزمینی با مدل دراستیک



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی شیب حوضه آبخیز نکارود

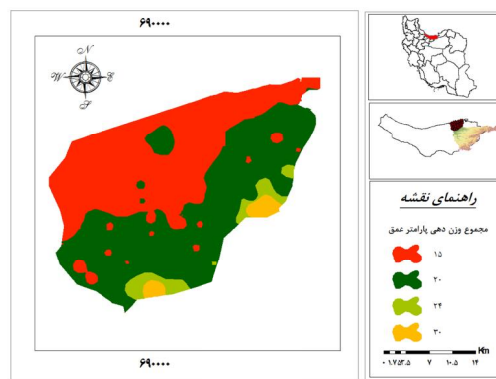


شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی امتیاز محیط اشباع با مدل دراستیک

معادله (۲) معادله پیسکوپو را برای حوضه نمایش می‌دهد. شکل ۴ نقشه شیب دشت را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه به دست آمده از نقشه توپوگرافی، بیشتر مساحت دشت در شیب کمتر از ۲ درصد قرار گرفته است. برای محاسبه تغذیه خالص، ابتدا نقشه بارندگی منطقه با توجه به داده‌های متوسط ماهانه بارش و ارتفاع ایستگاه‌ها تهیه شد. نقشه شیب نیز با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی و نقشه نفوذپذیری نیز با توجه به گروه‌های هیدرولوژیکی خاک تهیه و در نهایت طبق جدول ۳ نقشه تغذیه خالص برای حوضه با روش پیسکوپو در محیط ArcGIS تهیه شد. طبق جدول ۳، بیشترین مساحت دارای ریسک آلودگی بالا در محدوده بارشی کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر و شیب ۰-۲ درصد با مقدار مساحت ۸۷/۲۸ درصد قرار گرفته‌است.

$$\text{مقدار تغذیه} = \text{نفوذپذیری خاک} + \text{میزان بارندگی} + \text{درصد شیب} \quad (۲)$$

در جدول ۴ محدوده بارشی، شیب آبخوان و نتایج آلودگی و در شکل ۳ پهنه‌بندی مربوط به تغذیه خالص حوضه نشان داده شده است. وجود امتیازهای مختلف در رتبه‌دهی پارامتر موجود در جدول ۴، به دلیل تأثیر هر یک از پارامترها در امتیازدهی داخل حوضه آبخیز نکارود است. نتایج وزن‌دهی پارامتر محیط آبخوان دشت نکارود در جدول ۵ نشان داده است. با توجه به نتایج به دست آمده بیشتر محیط خاکی منطقه از شیل توده‌ای با ۹۷/۸۵ درصد است. در شکل ۶ پهنه‌بندی محیط اشباع حوضه نشان داده شده است.



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی با مدل دراستیک

جدول ۳- رتبه‌بندی پارامترهای تغذیه آبخوان با روش پیسکوپو (۲۰۰۱)

میزان تغذیه		نفوذپذیری خاک		بارندگی (میلی‌متر)		شیب (درصد)	
رتبه	دامنه	رتبه	شدت	رتبه	میزان	رتبه	میزان
۱۰	۱۱-۱۳	۵	زیاد	۴	>۸۵۰	۴	۲>
۸	۹-۱۱	۴	متوسط تا زیاد	۳	۷۵۰-۸۰۰	۳	۱۰-۲
۵	۷-۹	۳	متوسط	۲	۵۰۰-۷۰۰	۲	۳۳-۱۰
۳	۵-۷	۲	کم	۱	<۵۰۰	۱	۳۳<
۱	۳-۵	۱	خیلی کم				

جدول ۴- نتایج وزن‌دهی پارامتر تغذیه خالص آب زیرزمینی با مدل دراستیک

ردیف	محدوده بارش	محدوده شیب	رتبه‌بندی	محدوده آلودگی	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد مساحت
۱	کمتر از ۵۰۰	۰-۲	۳	۱۲	۱/۴	۰/۱۵
۲	کمتر از ۵۰۰	۰-۲	۴	۱۶	۷۸۶/۸	۸۷/۲۸
۳	کمتر از ۵۰۰	۰-۲	۳	۱۲	۸/۴	۰/۹۳
۴	کمتر از ۵۰۰	۰-۲	۲	۸	۱/۵	۰/۱۷
۵	کمتر از ۵۰۰	۰-۲	۱	۴	۴/۸	۰/۵
۶	کمتر از ۵۰۰	۲-۵	۴	۱۶	۳۴/۷۸	۳/۹
۸	۵۰۰-۷۰۰	۰-۲	۴	۱۶	۳/۴۸	۰/۴
۹	۵۰۰-۷۰۰	۲-۵	۳	۱۲	۲/۱۸	۰/۲
۱۰	۵۰۰-۷۰۰	۲-۵	۴	۱۶	۴۹/۲۸	۵/۵
۱۱	۵۰۰-۷۰۰	۵-۱۲	۴	۱۶	۶/۹۸	۰/۸
۱۲	۵۰۰-۷۰۰	۱۲-۱۸	۴	۱۶	۱/۹۸	۰/۲
۱۳	۵۰۰-۷۰۰	بیشتر از ۱۸	۵	۲۰	۰/۱	۰

جدول ۵- نتایج وزن‌دهی پارامتر محیط آبخوان با مدل دراستیک

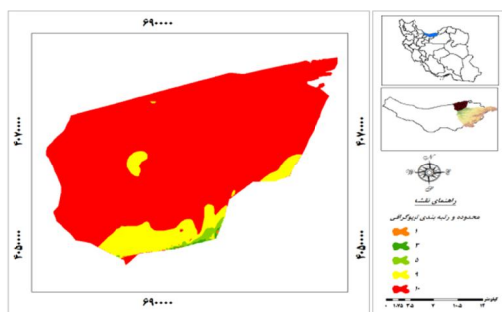
ردیف	محیط اشباع آبخوان	رتبه‌بندی	محدوده آلودگی	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد مساحت
۱	شن و ماسه	۸	۲۴	۳/۹۸	۰/۴۴
۲	ماسه سنگ لایه‌لایه	۶	۱۸	۰/۴۹	۰/۰۵
۳	شیل توده‌ای	۲	۶	۸۸۲/۱۱	۹۷/۸۵
۴	ماسه	۸	۲۴	۸/۴۳	۰/۹۴
۵	آذرین	۴	۱۲	۱/۵۴	۰/۱۷
۶	سنگ آهک و توالی شیل	۶	۱۸	۴/۸۵	۰/۵۴

نشان می‌دهد. طبق این جدول، خاک لسی در منطقه با مقدار ۹۷/۹۷ درصد بیشترین مساحت را دارد. شکل ۷ نیز نقشه پهنه‌بندی وضعیت خاک منطقه را نشان می‌دهد. خاک منطقه در شش ردیف طبقه‌بندی شده‌است.

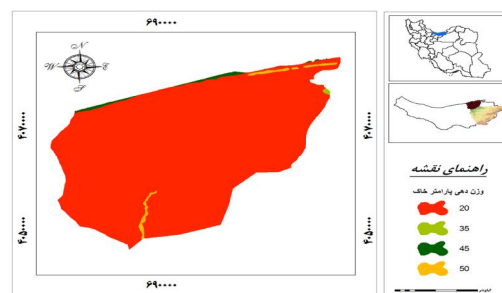
برای تعیین نوع، جنس خاک و منطقه غیراشباع از لوگ‌های حفاری دشت نکارود و نقشه‌های ژئوالکتریک تهیه‌شده توسط اداره آب منطقه‌ای استان مازندران استفاده شد. جدول ۶ نوع خاک موجود در منطقه را معرفی و رتبه و وزن نهایی پارامتر خاک در مدل دراستیک را

جدول ۶- نتایج وزن‌دهی پارامتر نوع خاک در مدل دراستیک

رتبه	نوع خاک	رتبه‌بندی	محدوده آلودگی	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد مساحت
۱	شن-ماسه	۱۰	۵۰	۳/۹۸	۰/۴۴۶
۲	مارنی	۴	۲۰	۰/۴۹	۰/۰۵
۳	لسی	۴	۲۰	۸۷۴/۳۶	۹۷/۹۷
۴	ماسه	۹	۴۵	۷/۹۲	۰/۸۸
۵	سیلتی	۷	۳۵	۰/۸۸	۰/۰۹
۶	رس فشرده	۱۰	۵۰	۴/۸۵	۰/۵۴



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی توپوگرافی با مدل دراستیک



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی نوع خاک با مدل دراستیک

بر اساس جدول ۸، سه کلاس برای منطقه غیراشباع در نظر گرفته شده، به دست آمد که بیشترین مقدار مربوط به کلاس شیل با ۱۱/۹۸ درصد است. شکل ۹ وضعیت پهنه‌بندی منطقه غیراشباع را برای محدوده آبخوان حوضه آبخیز نکارود نشان می‌دهد.

جدول ۸- نتایج وزن‌دهی پارامتر اثر منطقه غیراشباع در مدل دراستیک

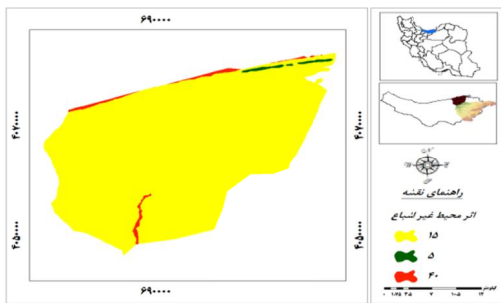
رتبه	منطقه غیراشباع	رتبه‌بندی	محدوده آلودگی	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد مساحت
۱	شن و ماسه	۸	۴۰	۱۱/۹	۱/۳۲۶
۲	شیل	۳	۱۵	۸۷۵/۷۳	۹۸/۱۱
۳	لایه محبوس کننده	۱	۵	۴/۸۵	۰/۵۴

برای تهیه نقشه هدایت هیدرولیکی، باید لایه‌های مختلف خاک، وضعیت و جنس زمین مشخص شود تا بتوان وضعیت انتقال آب را مشخص کرد. پس از ارزیابی و کنترل لایه‌های مختلف در محیط ArcGIS، هدایت

برای تهیه لایه توپوگرافی در محیط ArcGIS از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری، نقشه شیب منطقه تهیه و کلاس‌بندی شد. نتایج کلاس‌بندی شیب منطقه در جدول ۷ نشان داده شده است. از آنجایی که منطقه دشتی و خروجی حوضه به سمت دریای خزر است، شیب منطقه کم و طبقه شیب ۰-۲ درجه دارای بیشترین درصد مساحت نسبت به بقیه کلاس‌هاست. شکل ۶ نقشه پهنه‌بندی پارامتر توپوگرافی را نشان می‌دهد.

جدول ۷- نتایج وزن‌دهی پارامتر توپوگرافی در مدل دراستیک

رتبه	توپوگرافی	رتبه‌بندی	محدوده آلودگی	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد مساحت
۱	۰-۲	۱۰	۱۰	۸۰۶/۳۸	۸۹/۴۶
۲	۲-۵	۹	۹	۸۶/۰۷	۹/۵۵
۳	۵-۱۲	۵	۵	۶/۹۴	۰/۷۷
۴	۱۲-۱۸	۳	۳	۱/۶۹	۰/۱۸۷
۵	بیشتر از ۱۸	۱	۱	۰/۳۲	۰/۰۳۵

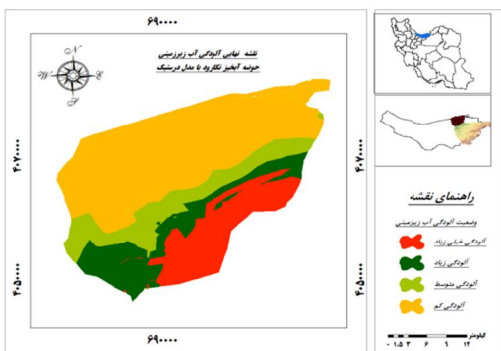


شکل ۹- نقشهٔ پهنه‌بندی امتیاز اثر منطقهٔ غیراشباع در مدل دراستیک

در این معادله  $D_I$  مقدار شاخص نهایی مدل‌ها،  $W$  وزن پارامترها و  $R$  رتبه پارامترهاست. نتایج به دست آمده از مدل دراستیک نشان می‌دهد که در حوضه، مساحت منطقه آسیب‌پذیر کمتر از بقیهٔ مناطق است. طبق نتایج جدول ۱۰، منطقه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد تنها ۱۷/۳۳ درصد و منطقه با پتانسیل آسیب‌پذیری کم ۵۲/۹۷ درصد از کل مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند؛ بنابراین طبق نتایج جدول ۱۰ و شکل ۱۱، مناطق با بیشترین درصد پتانسیل آلودگی در جنوب شرقی منطقه قرار دارند.

جدول ۱۰- مساحت طبقه‌های آسیب‌پذیری حوضهٔ آبخیز نکارود با مدل دراستیک

شاخص دراستیک	مساحت		پتانسیل آلودگی
	درصد	Km <sup>2</sup>	
۲۵۸/۶۴	۵۲/۹۷	۴۷۰/۳۴	کم
۳۶۸/۸۹	۱۴/۷۵	۱۳۰/۹۹	متوسط
۴۴۶/۴۵	۱۴/۹۴	۱۳۲/۶۱	زیاد
۵۵۰/۰۶	۱۷/۳۳	۱۵۳/۹۳	خیلی زیاد

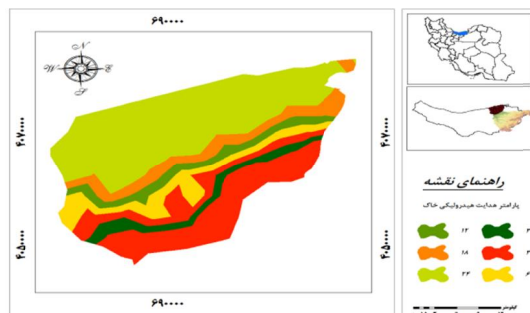


شکل ۱۱- نقشه قابلیت آسیب‌پذیری آبخوان حوضهٔ آبخیز نکارود با مدل دراستیک

هیدرولیکی منطقه مشخص و در شش کلاس طبقه‌بندی شد. این طبقه‌بندی بین صفر تا بیش از ۸۱ سانتی‌متر بر ثانیه متغیر است. در جدول ۹ مشخصات طبقه‌های هیدرولیکی منطقه نشان داده شده است. با توجه به جدول ۹، کلاس هیدرولیکی ۸۱-۴۱ دارای بیشترین درصد هدایت هیدرولیک و بیشترین خطر آلودگی در منطقه است. شکل ۱۰ پهنه‌بندی کلاس‌های هیدرولیکی خاک منطقه را نشان می‌دهد.

جدول ۹- نتایج وزن‌دهی پارامتر هدایت هیدرولیکی خاک در مدل دراستیک

رتبه	رتبه‌بندی	محدوده آلودگی	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد
۱	۵-۰	۲۴	۴۳۳/۴۴	۳۶/۳۵
۲	۱۲-۵	۱۸	۸۶/۸۱	۷/۲۸
۳	۲۸-۱۲/۵	۱۲	۵۸/۴۷	۴/۹
۴	۲۸-۴۰	۶	۸۶/۵۳	۷/۲۶
۵	۴۱-۸۱	۳۰	۴۷۵/۱۳	۳۹/۸۵
۶	بیشتر از ۸۱	۱	۵۱/۹۱	۴/۳۵



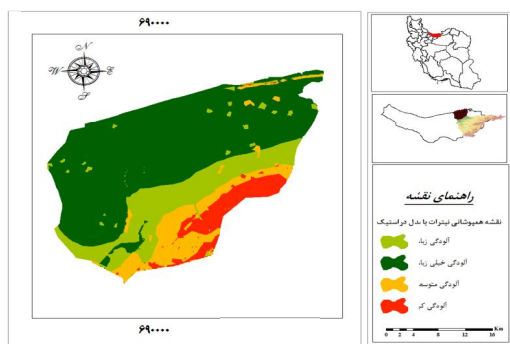
شکل ۱۰- نقشهٔ پهنه‌بندی هدایت هیدرولیک خاک با مدل دراستیک

در انتها، برای ترکیب لایه‌ها از ابزار محاسبات رستری تابع هم‌پوشانی وزنی استفاده شد. بنابراین همهٔ لایه‌ها همراه با ضرایب بر اساس معادلهٔ (۳) به صورت درصد برای مدل تعریف، سپس لایه‌ها تلفیق و اندیس نهایی محاسبه شد. برای به دست آوردن اندیس نهایی دراستیک از معادلهٔ (۳) استفاده شد. نتایج اندیس نهایی و مساحت هر زیرگروه در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

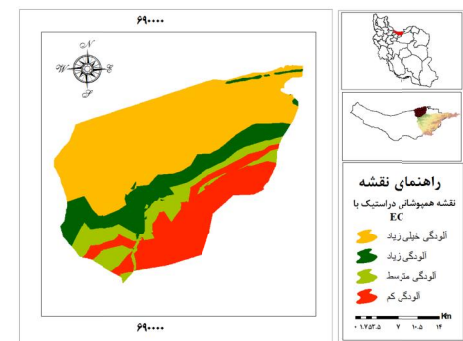
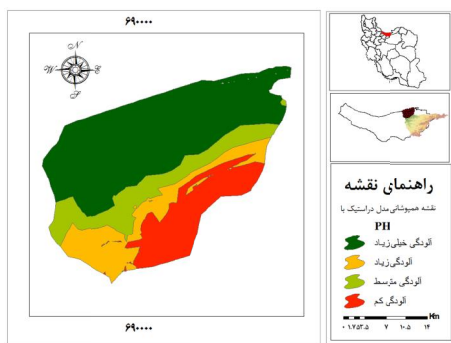
$$D_I = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W \quad (3)$$



PH و EC در سال ۹۴-۹۵ همبستگی دارد و در سطح ۰/۰۵ درصد معنی دار است. با توجه به این نتایج می توان گفت که هر سه عنصر در تغییر کیفیت منابع آب زیرزمینی نکارود مؤثر هستند؛ ولی نیترا ت میزان همبستگی بالاتری نسبت به بقیه دارد که این موضوع می تواند از دلایل آلودگی آب زیرزمینی منطقه باشد. تغییرات پارامترهای PH و EC همبستگی معکوس با مدل دارد به گونه ای که با افزایش مقدار PH، مقدار شاخص آلودگی برای مدل دراستیک کاهش پیدا می کند ولی برای نیترا ت رابطه مستقیم و تأثیر مثبت است.



شکل ۱۲- نقشه همپوشانی نیترا ت با مدل دراستیک با استفاده از مدل کریجینگ



شکل ۱۳- نقشه همپوشانی PH و EC با مدل دراستیک با استفاده از مدل کریجینگ

### صحت سنجی مدل دراستیک

با توجه به منابع آبی و اراضی هموار در منطقه، فعالیت اصلی ساکنین منطقه کشاورزی است؛ لذا چاه های مطالعاتی حوضه آبخیز نکارود از لحاظ مقدار آلودگی نیترا ت حاصل از فعالیت صنعتی، مسکونی و کشاورزی ارزیابی و عناصر نیترا ت، PH و EC در آزمایش منابع آب زیرزمینی مشخص شد. استفاده زیاد از منابع آب زیرزمینی و کودهای شیمیایی از دلایل ارزیابی وضعیت آبخوان منطقه به دلیل آلودگی و آسیب پذیری بوده است. جدول ۱۱، مقادیر هر یک از سه پارامتر کیفی آب زیرزمینی را نشان می دهد.

جدول ۱۱- داده های کیفی منابع آب زیرزمینی در حوضه نکارود

آمار	نیترا ت	PH	EC (متر بر روز)
متوسط	۱۳/۲۶	۷/۱۵	۱۵۰۵/۸
حداکثر	۵۲	۸/۶	۵۲۲۰
حداقل	۰/۹	۶/۶	۲۲۵

به غیر از نیترا ت وضعیت پارامترهای PH و EC آب های موجود در حوضه در سال ۹۴-۹۵ ارزیابی و تغییرات آنها با مدل کریجینگ پهنه بندی شد. مدل کریجینگ به دلیل کمترین مقدار خطا نسبت به سایر روش های پهنه بندی نظیر روش IDW، به عنوان مدلی مناسب برای پهنه بندی انتخاب شد. مقدار RMSE<sup>۱</sup> (جذر میانگین مربع خطا)، برای پارامترهای نیترا ت، PH و EC به ترتیب برابر با ۰/۹۹، ۱/۰۱ و ۰/۹۵ به دست آمد. شکل ۱۲، نقشه همپوشانی مدل دراستیک با نیترا ت را با استفاده از مدل کریجینگ نشان می دهد. با توجه به نتیجه به دست آمده مدل دراستیک با مقدار نیترا ت همپوشانی بالایی داشته و ریسک آلودگی آبخوان در دشت نکارود را به خوبی نشان می دهد. شکل ۱۳، نقشه همپوشانی مدل دراستیک را با پارامتر PH و EC با استفاده از مدل کریجینگ در حوضه نشان می دهد.

برای دسترسی به همبستگی بین مدل و پارامترهای NO<sub>3</sub>، PH و EC در آب های زیرزمینی، از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. جدول ۱۲، وضعیت همبستگی مدل DRASTIC را با پارامترهای ذکر شده نشان می دهد. مدل دراستیک با مقدار تغییرات نیترا ت،

1- Root-mean-square deviation

بیان کرد که مدل دراستیک در منطقه مدلی مناسب برای ارزیابی و آسیب‌پذیری آبخوان است. صباغ و همکاران (۱۳۹۷) در بررسی نتایج ارزیابی دو مدل دراستیک و سینتکس در حوضه آبخیز نکارود نشان دادند که مدل دراستیک برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان منطقه مناسب‌تر از مدل سینتکس است. فعال‌ا قدم و همکاران (۱۳۹۶) با ارزیابی نتایج مدل دراستیک در منطقه اردبیل بیان کردند که ۴۶/۳۶ درصد آبخوان دشت در محدوده شرقی و جنوبی از آسیب‌پذیری کم و ۵۶/۶۴ درصد در دامنه غربی و شمال از آسیب‌پذیری متوسط برخوردار است. حسن‌زاده‌نقوتی و همکاران (۱۳۹۶) با مقایسه کارایی مدل‌های SI، SINTACS، GODS، AVI و DRASTIC در دشت ابرکوه مشاهده کردند که رابطه معنی‌داری بین مقادیر نیترات و پتانسیل آلودگی حاصل از روش دراستیک وجود دارد و مدل دراستیک را به‌عنوان مدل مناسب برای پهنه‌بندی پتانسیل آلودگی در دشت ابرکوه معرفی کردند. گرگانی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک در دشت ماهشتا کرمانشاه پرداختند آنان با در نظر گرفتن ۴۴ حلقه چاه پیزومتری، دامنه مدل دراستیک را در محدوده ۳۴ تا ۱۲۰ طبقه‌بندی و خروجی مدل دراستیک را به عنوان ابزاری در توسعه و مدیریت منابع آب در آینده و مطالعه آسیب‌پذیری آبخوان معرفی کردند. ساداتی‌پور و همکاران (۱۳۹۵) برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت قائن از مدل دراستیک استفاده کردند. نتایج نشان داد که ۶/۲۹ درصد منطقه در محدوده آسیب‌پذیری کم، ۹۱/۳۴ درصد در محدوده متوسط و ۲/۳۶ درصد در محدوده زیاد قرار دارد. آصفی و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی بهینه‌سازی مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در منطقه دشت اندیمشک، مشاهده کردند که حدود ۶۵ درصد آبخوان دشت اندیمشک آسیب‌پذیری خیلی کم و ۳۵ درصد خطرپذیری آلودگی زیاد دارد.

#### منابع

۱. امیراحمدی ا. ق. ابراهیمی م. زنگنه‌اسدی م. ع. و اکبری ا. ۱۳۹۲. بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت نیشابور با استفاده از روش دراستیک در

#### جدول ۱۲- ضریب همبستگی نیترات با مدل پتانسیل

DRASTIC آسیب‌پذیری			
مدل ارزیابی آلودگی	نیترات	PH	EC
مدل DRASTIC	۰/۶۱۰*	۰/۲۵۴	۰/۲۷۷

مقدار همبستگی در سطح ۰/۰۵\*

برای تعیین رابطه بین هفت پارامتر در نظر گرفته‌شده در مدل دراستیک با مقدار نیترات و دو پارامتر کیفی PH و EC از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. نتایج ضریب همبستگی در جدول ۱۳ قابل مشاهده است. طبق این جدول، شاخص تغذیه خالص در عنصر نیترات کمترین مقدار همبستگی و شاخص محیط آبخوان در پارامترهای PH و EC آب، کمترین مقدار همبستگی را دارند. بیشترین مقدار همبستگی در محیط خاک برای نیترات و PH بوده ولی در EC مقدار عمق دارای بیشترین مقدار همبستگی است. بدین معنی که هرچه عمق سطح ایستابی کمتر باشد، مواد آلاینده سریع‌تر به منابع آبی می‌رسد و باعث آلودگی آن می‌شود، اما با افزایش عمق، آلاینده زمان بیشتری را صرف می‌کند.

#### جدول ۱۳- ضریب همبستگی عناصر کیفی آب زیرزمینی با پارامترهای مدل دراستیک

پارامترهای مدل DRASTIC	NO <sub>3</sub>	PH	EC
عمق سطح ایستابی	۰/۲۳۱	۰/۱۷۷	۰/۲۹۷
تغذیه خالص	۰/۱۲۵	۰/۳۵۲	۰/۱۸۷
محیط آبخوان	۰/۵۱۷	۰/۰۷	۰/۰۹۸
محیط خاک	۰/۴۳۱	۰/۵۸۲	۰/۱۰۹
توپوگرافی	۰/۲۱۱	۰/۱۵۳	۰/۱۴۲
محیط غیراشباع	۰/۲۷۴	۰/۲۰۴	۰/۲۷۱
هدایت هیدرولیکی	۰/۷۴۱	۰/۱۴۷	۰/۱۲۳

معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد (P<0.05)

#### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از مدل دراستیک برای ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان استفاده شد. نقشه نهایی با پارامترهای نیترات، PH و EC برای اطمینان از درستی با آزمون همبستگی اسپیرمن ارزیابی شد. با توجه به نقشه نهایی به دست آمده از مدل دراستیک، منطقه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد تنها ۱۷/۳۳ درصد و منطقه با آسیب‌پذیری کم ۵۲/۹۷ درصد از کل مساحت منطقه را دارد. با مقایسه نتیجه این پژوهش با دیگر پژوهش‌های انجام شده می‌توان

۹. گرگانی ش. بافکار ع. و فاطمی س. ا. ۱۳۹۵. ارزیابی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی با شاخص دراستیک (مطالعه موردی: دشت ماهیدشت کرمانشاه). فصلنامه سلامت و محیط‌زیست. ۴(۹): ۵۲۷-۵۳۶.
۱۰. گزارش نمونه‌برداری آب زیرزمینی، اداره کل آب منطقه‌ای استان مازندران، شهرستان ساری. ۱۳۹۵.
۱۱. نخفی م. امیری و. و رحیمی شهربابکی م. ۱۳۹۲. ارزیابی پتانسیل آلودگی و آنالیز حساسیت آب زیرزمینی در آبخوان خاتون آباد با استفاده از مدل دراستیک مبتنی بر GIS. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته. ۸: ۱-۱۰.
12. AIKuisi M. Naqa A. E. and Hammouri N. 2006. Vulnerability mapping of shallow groundwater aquifer using SINTACS model in the Jordan Valley area Jordan. *Environmental Geology*. 50: 651-667.
13. Güler C. AliKurt M. Alpaslan M. and Can A. 2012. Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering multivariate statistics and GIS techniques. *Journal Hydrol*. 435-451.
14. Guo X. Zuo R. Meng L. Wang J. Teng Y. Liu X. and Chen M. 2018. Seasonal and spatial variability of anthropogenic and natural factors influencing groundwater quality based on source apportionment. *Environmental Research and Public Health*. 15: 1-19.
15. Huang Y. Zuo R. Li J. Wu J. Zhai Y. and Teng Y. 2018. The spatial and temporal variability of groundwater vulnerability and human health risk in the Limin District, Harbin, China. *Water*. International Conference on Tropical Hydrology and Caribbean Water resources, San Juan de Puerto Rico. 279-289.
16. Kandahar I. Bux GH. Khaskheli S. and Razaque A. 2016. Effect of Canal Bank Filtration on Quality of Water Long Hyderabad City. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*. 35: 437-452.
17. MacDonald A. M. Bonsor H. C. Ahmed K. M. Burgess W. G. Basharat M. Calow R. C. Dixit A. Foster S. S. D. Gopal K. and Lapworth D. J. 2016. Groundwater quality and depletion in the indo-gangetic basin mapped from in situ observations. *Nat. Geosci*. 9: 762-766.
- محیط GIS. جغرافیا و مخاطرات طبیعی. ۶: ۳۷-۵۶.
۲. آصفی م. رادمنش ف. و زارعی ح. ۱۳۹۳. بهینه‌سازی مدل‌های DRASTIC و SINTACS مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی. مجله محیط‌شناسی. ۵(۱۸): ۷۹-۹۴.
۳. حسن‌زاده‌نقوتی م. ابراهیمی خوسفی ز. و جمالی ع. ا. ۱۳۹۶. مقایسه کارایی برخی مدل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به آلودگی در مناطق خشک (مطالعه موردی: دشت ابرکوه). نشریه مهندسی اکوسیستم بیابان. ۶(۱۴): ۵۹-۶۸.
۴. ساداتی‌پور ا. نوری ر. ا. باغوند ا. و جوادی‌پیربازاری س. ۱۳۹۶. استفاده از مدل DRASTIC جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت قاین. چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست. تهران، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران، خردادماه، ۱-۱۱.
۵. صباغ س. ع. مروتی م. پناهنده م. و تازه م. ۱۳۹۷. ارزیابی میزان آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک (Drastic) (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نکارود مازندران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی محیط‌زیست-ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشگاه اردکان. ۱۳۹۷.
۶. صلاحی‌کجور ا. تمرتاش ر. و طاطیان م. ر. ۱۳۹۳. بررسی فلورستیک و شکل زیستی مراتع بیلاقی حوزه نکارود. مجله علمی-ترویجی حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی. ۲: ۹۳-۱۰۵.
۷. فتحی‌هفشجانی ا. بیگی‌هرچگانی ح. ا. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان شهرکرد به کمک مدل دراستیک (DRASTIC) و صحت‌سنجی آن با استفاده از تغییرات فصلی غلظت آلاینده‌های نترات و فسفات. نشریه مهندسی منابع آب. ۵(۱۴): ۱-۱۶.
۸. فعال‌ا قدم ر. ندیری ع. ا. و نوین‌پور ا. ع. ۱۳۹۶. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت بیلوردی بر مبنای ترکیب روش‌های DRASTIC و SINTACS. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۳(۶): ۱۳۰-۱۵۰.

18. Menció A. Mas J. NeusOterocOriol P. MercèBoy R. RogerPuigc R. Bachd J. Domènechc C. Zamoranoa M. Brusia D. and Folche A. 2016. Nitrate pollution of groundwater; all right ..., but nothing else. *Total Environ.* 539: 241-251.
19. Nadiri A. A. Sedghia Zahra. Khatibib R. and Gharekhani M. 2017. Mapping vulnerability of multiple aquifers using multiple models and fuzzy logic to objectively derive model structures. *Science of the Total Environment.* 593-594: 75-90.
20. Neshat A. Pradhan B. and Dadras M. 2014. Groundwater vulnerability assessment using an improved DRASTIC method in GIS. *Resour. Conserv. Recycl.* 86: 74-86.
21. Panagopoulos G. Antonakos A. and Lambrakis N. 2006. Optimization of DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment, by the use of simple statistical methods and GIS. *Hydrogeology Journal.* 14: 894-911.
22. Piscopo G. 2001. Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW. Department of Land and Water Conservation, Australia." <[http://www.dlwc.nsw.gov.au/care/water/groundwater/reports/pdfs/castlereagh\\_map\\_notes.pdf](http://www.dlwc.nsw.gov.au/care/water/groundwater/reports/pdfs/castlereagh_map_notes.pdf)>.
23. Re V. Sacchi E. Mas-Pla J. Mencia A. and El Amrani N. 2014. Identifying the effects of human pressure on groundwater quality to support water management strategies in coastal regions: A multi-tracer and statistical approach (Bou-Areg region, Morocco). *Science of The Total Environment.* 500-501: 211-223.
24. Zeng X. Wu J. Wang D. and Zhu X. 2016. Assessing the pollution risk of a groundwater source field at western Laizhou Bay under seawater intrusion. *Environmental Research.* 148: 586-594.