



بهبود مدل **DRASTIC** با برنامه‌ریزی بیان ژن در تعیین آسیب‌پذیری آبخوان به نیترات
 مطالعه‌ی موردی: آبخوان دشت کرمانشاه
 عرفان بهرامی^۱، علی شهیدی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری، رشته‌ی مهندسی منابع آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، رشته‌ی آبیاری و زهکشی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۰۸ وصول مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۰

چکیده

آلودگی منابع آب زیرزمینی به علت نفوذ آلاینده‌ها از سطح زمین به سامانه آب زیرزمینی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود کمی و کیفی منابع آب روبه‌رو هستند، یکی از معضلات جدی به شمار می‌آید. بنابراین ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل بالای آلودگی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی امری ضروری است. در این پژوهش آسیب‌پذیری آبخوان دشت کرمانشاه در برابر آلودگی با استفاده از روش دراستیک مورد بررسی قرار گرفت. در مدل دراستیک هفت متغیر مؤثر در آسیب‌پذیری که شامل عمق سطح ایستایی، تغذیه‌ی خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی است، به صورت هفت لایه‌ی رستری تهیه و پس از رتبه‌دهی و وزن‌دهی شاخص دراستیک تعیین، که مقدار آن ما بین ۴۵ تا ۱۱۵ حصول گردید. بنابراین هدف اصلی این پژوهش بهبود مدل دراستیک با استفاده از مدل بیان ژن که یکی از مدل‌های هوشمند که عملکرد خوبی را از خود نشان داده است و به صورت ترکیبی می‌تواند با مدل‌های دیگر هماهنگ شده و نتایج مورد پذیرشی را ارائه دهد استفاده گردید. بدین منظور متغیرهای دراستیک با طول دوره‌ی آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۸-۱۳۹۸) به عنوان ورودی مدل و غلظت نیترات به عنوان خروجی مدل تعریف شد. در مدل GEP داده‌ها به دو دسته آموزش و آزمایش تقسیم و با استفاده از شاخص‌های آماری R^2 ، NRMSE و MAE نتایج شبیه‌سازی مدل بیان ژن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از توانایی بالای مدل در برآورد غلظت نیترات و بهبود مدل DRASTIC را داشت. برای صحت‌سنجی و بهبود مدل DRASTIC از روش امتیازبندی شاخص آماری R^2 استفاده گردید. با حذف دو شاخص S و T فرمول اصلاح شده شاخص دراستیک بر پایه‌ی وزن‌دهی به صورت (5D, 4R, 5A, 5I, 4C) حاصل گردید.

کلمات کلیدی: دراستیک، برنامه‌ریزی بیان ژن، نیترات، آسیب‌پذیری، دشت کرمانشاه، غرب ایران

۱- مقدمه

سفره‌های آب زیرزمینی، به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آبی آسیب‌پذیر، به شکل‌های مختلف در معرض آلودگی قرار دارند که تشخیص و کنترل آلودگی در آن‌ها نسبت به آب‌های سطحی پیچیده‌تر و پرهزینه‌تر است (گائو و همکاران^۱، ۲۰۰۷). به دلیل استمرار آلودگی در این منابع، بهترین روش جلوگیری از آلودگی آن‌ها، شناسایی منابع آلوده‌کننده و مناطق آسیب‌پذیر، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب است (سنر و همکاران^۲، ۲۰۱۳). با توجه به توانایی بالای مدل برنامه‌ریزی بیان ژن می‌توان از این ابزار برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی استفاده نمود (جها و همکاران^۳، ۲۰۱۵). در تحقیقی که با استفاده از تلفیق کردن مدل DRASTIC با مدل بیان ژن جهت بررسی و تعیین آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در چین به آلودگی قرار گرفت. نتایج نشان داد ۵۶٪ آبخوان در ناحیه پرخطر به آلودگی عناصر سمی قرار دارد (ژانگ و همکاران^۴، ۲۰۲۱). در مطالعه‌ای که به ارزیابی میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی در حوضه آبریز بتوا با استفاده از DRASTIC پرداختند. نتایج ثابت کرد مدل DRASTIC می‌تواند برای پیش‌بینی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در این حوضه و در مناطق مشابه نیز استفاده گردد (ایروار و همکاران^۵، ۲۰۱۸). به منظور تعیین آسیب‌پذیری حوضه آبریز اردبیل که با استفاده از مدل DRASTIC کلاسیک و اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ویژگی‌های هر منطقه، وزن‌ها می‌توانند متغیر و با عدم اطمینان همراه باشند. همچنین نتایج حاکی از برتری مدل DRASTIC اصلاح شده بود (دیزاجی و همکاران^۶، ۲۰۲۰). در پیش‌بینی و تعیین آنالیز حساسیت آب زیرزمینی که در منطقه‌ی آنتالیا ترکیه با استفاده از مدل GEP مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که این آبخوان از نظر طبقه‌بندی آلودگی در محدوده‌ی مناطق آسیب‌پذیر قرار دارد (مهر و همکاران^۷، ۲۰۲۱). در پژوهشی با استفاده از مدل ترکیبی برنامه‌ریزی بیان ژن- موجک به پیش‌بینی کوتاه و بلندمدت جریان رودخانه‌ی فلیوس در ترکیه پرداخته شد. مدل ترکیبی عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های Arma، ANN و ANFIS داشته است (کریمی و همکاران^۸، ۲۰۱۶). برای یافتن بهترین مدل مناسب در برآورد آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در برابر آلودگی برای منطقه‌ی راجستان هند، از مدل DRASTIC و DRASTIC اصلاح‌شده استفاده گردید. نتایج نشان داد که تلفیق DRASTIC با کاربری زمین، ضریب همبستگی بین غلظت کروم و شاخص آسیب‌پذیری برای مدل‌های اصلی و همچنین درجه‌بندی و وزن اصلاح‌شده می‌تواند DRASTIC را بهبود بخشد. همچنین این مطالعه تایید می‌کند که اصلاح و بهینه‌سازی مدل DRASTIC به وسیله‌ی اصلاح

1- Guo et al.
 2- Sener et al.
 3- Jha et al.
 4- Zhang et al.

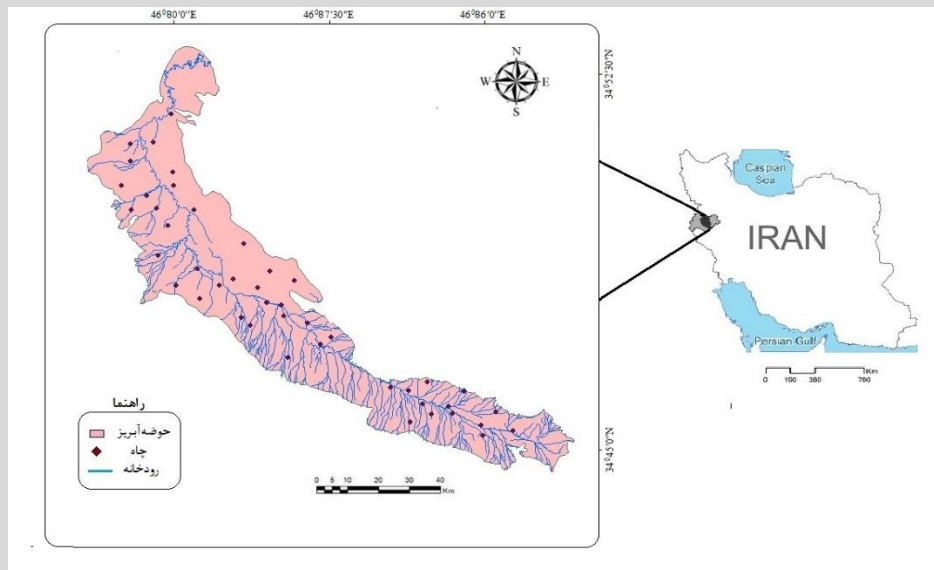
5- Ahirwar et al.
 6- Dizaji et al.
 7- Mehr et al.
 8- Karimi et al.

وزن، ضریب همبستگی را افزایش داده و ارزیابی دقیق‌تری از آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در برابر آلودگی کروم در منطقه را ارائه می‌دهد (راج پوت و همکاران^۱، ۲۰۲۰).

دشت کرمانشاه یکی از دشت‌های پرآب غرب کشور می‌باشد و با توجه به اینکه آب زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه عمدتاً جهت مصارف کشاورزی و شرب شهری و روستایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، حفظ پایداری این آبخوان از لحاظ کیفی بسیار حائز اهمیت است. توسعه‌ی فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از انواع کودهای شیمیایی و وجود مناطق صنعتی در منطقه موجب ورود آلاینده‌ها به منابع زیر زمینی شده است. که با توجه به اهمیت موضوع و برای جلوگیری از آلودگی این منابع، مطالعه آسیب‌پذیری آبخوان و حفاظت این مناطق برای توسعه و مدیریت بهینه‌ی منابع آب امری ضروری به نظر می‌رسد. روش دراستیک یکی از متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی است از مزایای مدل دراستیک می‌توان به هزینه و تعداد داده‌های کم اشاره کرد. اما ضعف اصلی این مدل، اعمال نظرهای کارشناسی برای وزن و رتبه‌دهی متغیرهای به کار رفته در آن است. در این پژوهش ابتدا میزان آسیب‌پذیری منطقه با استفاده از مدل DRASTIC بر پایه هفت متغیر آب زمین‌شناختی مؤثر در آلودگی از جمله سطح عمق ایستایی، تغذیه خالص، محیط خاک، توپوگرافی، تأثیر ناحیه‌ی غیراشباع و هدایت هیدرولیکی بررسی و سپس جهت بهبود مدل دراستیک و پیش‌بینی غلظت نیترات در منطقه از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن استفاده گردید است. که جهت بررسی همبستگی شاخص‌ها دراستیک از روش نوین امتیازدهی و رتبه‌بندی کردن استفاده که با پژوهش‌های پیشین متفاوت بوده که به نظر می‌رسد تاکنون در سطح کشور در این زمینه مورد توجه قرار نگرفته است.

۲- مواد و روش

منطقه‌ی مورد مطالعه، آبخوان دشت کرمانشاه به مساحت ۵۲۷۸ کیلومتر مربع و با مختصات جغرافیایی به عرض ۳۴°-۴۵' تا ۳۴°-۵۲' و طول ۴۶°-۸۰' تا ۴۶°-۸۶' در استان کرمانشاه و در غرب ایران واقع شده است. حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب ۳۳۶۰ و ۱۲۷۰ متر و متوسط دمای سالانه ۱۴/۶ درجه سانتی‌گراد است. دشت کرمانشاه دارای سه رودخانه‌ی اصلی مرگ، قره‌سو و راز آور می‌باشد که مهم‌ترین و بلندترین آن، قره‌سو به طول حدود ۲۰/۷ کیلومتر که به صورت دائمی بوده. متوسط بارندگی سالیانه در حوضه ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر بوده که بسیار متغیر می‌باشد. حدود ۳۰٪، (۵۰ میلیون مترمکعب) از آب شرب شهر کرمانشاه از همین آبخوان تأمین می‌گردد. شکل ۱ موقعیت آبخوان دشت کرمانشاه در غرب کشور را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت آبخوان دشت کرمانشاه
Fig (1): Location of Kermanshah plain aquifer

مدل دراستیک یک مدل کمی است که برای برآورد پتانسیل آلودگی سامانه آب زیرزمینی در یک مقیاس ناحیه‌ای طراحی شده است. (اصغری و همکاران^۱، ۲۰۱۶). این مدل بر پایه‌ی ۷ متغیر آب زمین‌شناختی است که شامل عمق سطح آب زیرزمینی (D)، تغذیه (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، تأثیر ناحیه غیراشباع (I) و ضریب هدایت هیدرولیکی (C) است. مهم‌ترین شاخص دارای وزن ۵ و کم اهمیت‌ترین دارای وزن ۱ است. هر کدام از شاخص‌های دراستیک به بازه‌هایی تقسیم می‌شوند که نسبت تأثیر آن‌ها بر روی آسیب‌پذیری متفاوت است به بازه‌های هر کدام از شاخص‌های دراستیک نیز یک رتبه بین ۱-۱۰ اختصاص می‌یابد. به گونه‌ای که ۱ به معنای کم‌ترین و ۱۰ بیش‌ترین خطر برای آلودگی آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود (پاناگوپولوس^۲ و همکاران، ۲۰۰۶). از این رو شاخص دراستیک بر پایه‌ی وزن‌دهی به مجموع ۷ متغیر با فرمول ۱ بدست می‌آید (آلر و همکاران^۳، ۱۹۸۷).

$$DI=DrDw+RrRw+ArAw+SrSw+TrTw+IrIw+CrCw \quad (1)$$

در رابطه‌ی بالا، DI شاخص آسیب‌پذیری دراستیک و حروف بزرگ نشان‌دهنده‌ی متغیرهای هفت‌گانه و r نرخ ارزش (رتبه) و w وزنی است که به هر متغیر تخصیص داده می‌شود. جدول ۱ وزن‌های نسبت داده شده به

1- Asghar et al.
2- Panagopouloset et al.

3- Aller et al.

شاخص‌های دراستیک را نشان می‌دهد.

جدول (۱): وزن‌های نسبت داده شده به شاخص‌های دراستیک

Table (1): The weight is given relative to the drastic parameters

شاخص	عمق تا سطح ایستابی (D)	تغذیه (R)	محدوده‌ی اشباع (A)	محیط خاک (S)	توپوگرافی (T)	محدوده‌ی غیراشباع (I)	هدایت هیدرولیکی (C)
وزن نسبی	۵	۴	۳	۲	۱	۵	۳

۲-۱- شاخص‌های مدل DRASTIC

۲-۱-۱- عمق تا سطح ایستابی

این شاخص نشان‌دهنده‌ی فاصله‌ی بین سطح زمین و سطح ایستابی است. عمق تا سطح ایستابی همراه با خصوصیات منطقه‌ی غیراشباع، زمان حرکت آلاینده‌های جامد یا مایع که با آب انتقال داده می‌شوند (آصفی و همکاران، ۲۰۱۴).

۲-۱-۲- تغذیه

مقدار آبی که با نفوذ سطحی به خاک موجب انتقال آلودگی به آبخوان می‌شود، تغذیه بیشتر باشد، پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی زیادتر می‌گردد (پیسکوپو و همکاران، ۲۰۰۱).

۲-۱-۳- محدوده‌ی اشباع آبخوان

این مولفه به جنس رسوبات یا سازند در قسمت اشباع آبخوان اشاره می‌کند. محدوده‌ی آبخوان و مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن، طول و چگونگی روند سیر در سیستم جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می‌کند.

۲-۱-۴- محیط خاک

محیط خاک تأثیر مهمی در چگونگی نفوذ آب، تغذیه و حرکت آلاینده دارد. مواد ریزبافت مانند سیلت و رس، نفوذپذیری خاک را کاهش می‌دهد و شن نفوذپذیری خاک را افزایش می‌دهد.

۲-۱-۵- توپوگرافی

شیب زیاد باعث کاهش فرصت نفوذ آب به داخل خاک می‌شود. برعکس شیب کم یا مسطح بودن باعث نفوذ هر چه بیشتر آب به داخل خاک می‌شود (سامی و همکاران، ۲۰۰۸).

۲-۱-۶- محدوده‌ی غیراشباع

ناحیه‌ی غیراشباع، حد فاصل سطح ایستابی تا زیر سطح خاک است. جنس رسوبات این ناحیه تعیین‌کننده‌ی سرعت عبور آب و جذب آلاینده است (ساینگ و همکاران^۱، ۲۰۱۵).

۲-۱-۷- هدایت هیدرولیکی

سرعت حرکت و انتشار آلاینده در آبخوان توسط هدایت هیدرولیکی کنترل می‌شود. هرچه هدایت هیدرولیکی آبخوان بیش تر باشد، سرعت انتشار آلاینده بیش تر خواهد بود (آل‌آدامت و همکاران^۲، ۲۰۰۳).

۲-۲- مدل برنامه ریزی بیان ژن (GEP)

برنامه‌ریزی بیان ژن که در ادامه سیر تکاملی مدل‌های هوشمند به وجود آمده است جزء روش‌های الگوریتم‌گرددشی محسوب می‌شود که مبنای تمامی آنها براساس نظریه تکامل داروین استوار است. خصوصیت این عملگر آن است که برای جلوگیری از ایجاد افراد معیوب از نظر قواعد، برخی عملیات بدون نقص را اجرا می‌نماید (فریرا و همکاران^۳، ۲۰۰۱). در این مطالعه برای اجرای مدل GEP از برنامه GeneXproTools (v5) استفاده شده است. به منظور ارزیابی قابلیت آسیب‌پذیری آلودگی آب‌های زیرزمینی به نترات از ۷ شاخص هیدروژئولوژیکی به کار گرفته شد در حقیقت شاخص‌های آن همان شاخص‌های به کار برده شده در روش دراستیک بوده است. شاخص‌های ورودی $(D_t), (R_t), (A_t), (S_t), (T_t), (I_t)$ و (C_t) به ترتیب داده‌های پیرومتری سطح آب، تغذیه، محیط آبخوان، بافت خاک، توپوگرافی، ناحیه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی ماهانه و $(D_{t-1}), (R_{t-1}), (A_{t-1}), (S_{t-1}), (T_{t-1}), (I_{t-1})$ و (C_{t-1}) در یک دوره‌ی زمانی گذشته، $(D_{t-2}), (R_{t-2}), (A_{t-2}), (S_{t-2}), (T_{t-2}), (I_{t-2})$ و (C_{t-2}) در دو دوره‌ی زمانی گذشته و (NO_{3t+1}) نترات در دوره‌ی آتی می‌باشد.

جدول (۲): ترکیب‌های مختلف مدل برنامه‌ریزی بیان ژن

Table (2): A combination of a variety of gene expression program models

خروجی	ورودی	ترکیب
(NO_{3t+1})	$(A_t), (R_t), (D_t)$	۱
(NO_{3t+1})	$(S_{t-1}), (S_t), (A_{t-1}), (A_t), (R_{t-1}), (R_t)$	۲
(NO_{3t+1})	$(C_{t-2}), (C_{t-1}), (C_t), (S_{t-1}), (S_{t-2}), (S_t), (R_{t-2}), (R_{t-1}), (R_t)$	۳

۲-۳- معیار ارزیابی مدل‌ها

در این پژوهش به منظور ارزیابی کارایی مدل و توانایی آن برای پیش‌بینی دقیق از ۳ معیار ریشه‌ی میانگین

مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب تبیین (R^2) استفاده شده است. این ۳ معیار به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$NRMSE = RMSE / \overline{vul}_i \quad (۲)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |vul_i - \overline{vul}_i|}{n} \quad (۳)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (vul_i - \overline{vul}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (vul_i - \overline{vul}_i)^2} \quad (۴)$$

روابط بالا، vul_i نتایج آسیب‌پذیری مشاهداتی، \overline{vul}_i نتایج آسیب‌پذیری محاسباتی به وسیله‌ی مدل بیان ژن، میانگین مشاهداتی، n تعداد کل مشاهداتی، N_i غلظت نیترات و \bar{N} میانگین غلظت نیترات را نشان می‌دهد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- عمق تا سطح ایستابی

نقشه‌ی شکل ۲ عمق برخورد به سطح ایستابی از ۲۳ تا بیشتر از ۳۰ از سطح زمین متغیر است. این محدوده بیش‌تر در قسمت شمالی به وضوح دیده می‌شود. در قسمت جنوبی دشت ملاحظه می‌گردد که عمق سطح ایستابی در حال کاهش بوده و بیش‌تر در معرض آلوده شدن قرار دارد.

جدول (۳): رتبه‌بندی عمق تا سطح ایستابی

Table (3): Depth ranking to piezometric level

رتبه‌بندی	۱۰	۹	۷	۵	۹-۱۵	۱۵-۲۳	۲۳-۳۰	>۳۰
عمق تا سطح ایستابی (متر)	۰-۲	۲-۵	۵-۹	۹-۱۵	۱۵-۲۳	۲۳-۳۰	>۳۰	



شکل (۲): لایه‌ی عمق تا سطح ایستابی

Fig (2): Depth layer to piezometric level

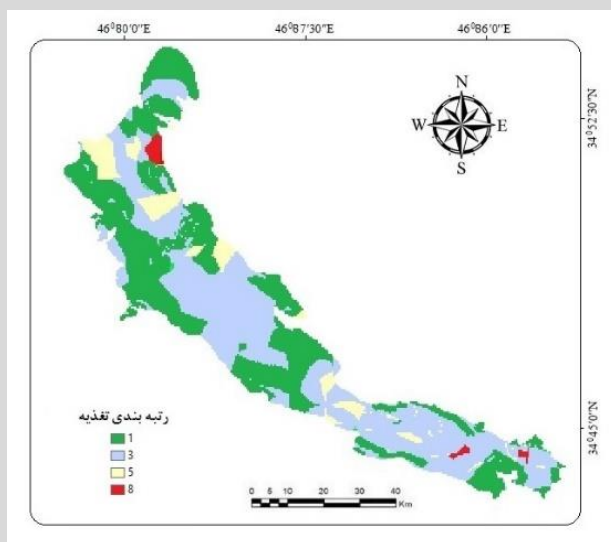
۳-۲- تغذیه

برای تهیه لایه تغذیه از براساس میزان بارندگی سالانه، شیب و نفوذپذیری خاک محاسبه می‌شود. جدول ۶ روش به دست آوردن تغذیه خالص را با روش (پیسکوپو و همکاران^۱، ۲۰۰۱) و رتبه‌بندی آن با توجه به تئوری (آلر و همکاران^۲، ۱۹۸۷) نشان می‌دهد. شکل ۳ تغذیه آبخوان کرمانشاه را نشان می‌دهد. براساس روش پیسکوپو مساحت زیادی از محدوده مطالعاتی نمره ۱ و ۳ را دریافت به معنی اینکه سرعت کم تا حدی متوسط برای انتقال آلاینده را به سطح زمین دارد و احتمال انتقال کم آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی وجود دارد.

جدول (۴): رتبه‌بندی تغذیه خالص

Table (4): Nutrition ranking

رتبه‌بندی	تغذیه (R) (میلی متر)	۱۱-۱۳	۹-۱۱	۷-۹	۵-۷	۳-۵
۱	۱۰	۸	۵	۳	۱	



شکل (۳): رتبه‌بندی تغذیه

Fig (3): Nutrition ranking

۳-۳- محدوده‌ی اشباع و غیراشباع آبخوان

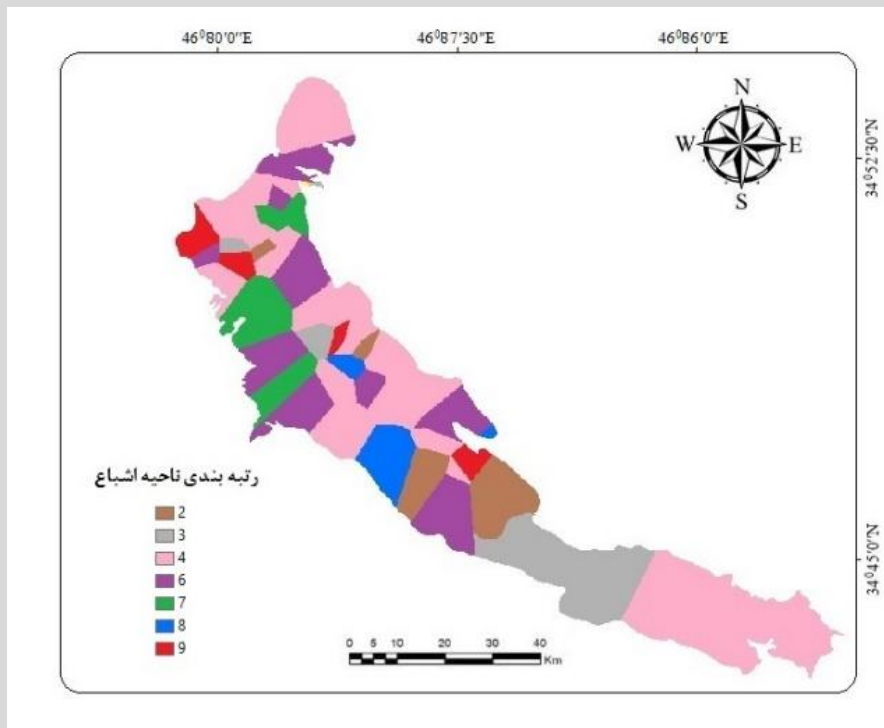
با استفاده از لوگ حفاری ۴۴ چاه موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه، براساس نسبت جنس مواد تشکیل‌دهنده‌ی محدوده‌ی اشباع و غیراشباع آبخوان در هر کدام از چاه‌ها، به هر یک رتبه‌ی اشباع براساس معیارهای تئوری روش

دراستیک اختصاص داده شد. با توجه به شکل ۴ نشان می‌دهد که گراول و ماسه-گراول در منطقه کم می‌باشد که این جنس از لایه‌ی رسوبات با رتبه‌های بالا نشان‌دهنده‌ی خطر آلودگی بیش‌تر دارند. در شکل ۵ مشاهده می‌شود، قسمت عمده‌ای از محیط غیراشباع رس و سیلت با گراول و ماسه با رتبه ۳ و ۴ که قسمت شمالی، جنوبی و شرقی را در بر می‌گیرد که دلیل افزایش ضخامت ناحیه‌ی غیراشباع می‌تواند کمتر شدن میزان نزولات جوی، افزایش تبخیر از سطح و بهره‌برداری بیش از حد، غیرمجاز از آب‌های زیرزمینی و در نهایت خالی شدن هر آنچه که به عنوان منبع آبی شناخته می‌شود، باشد.

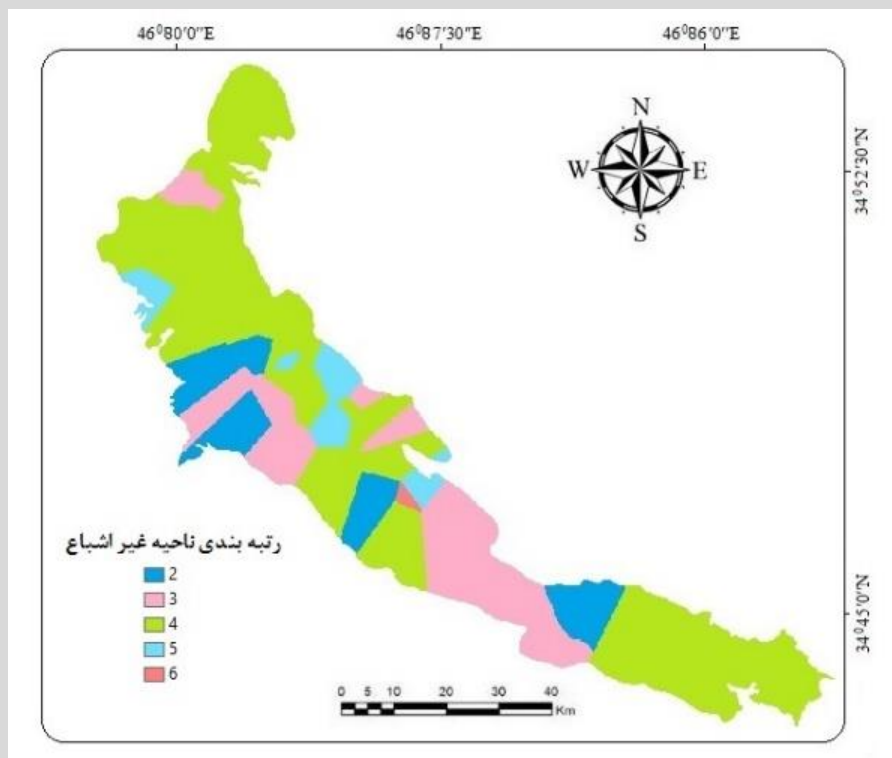
جدول (۵): رتبه‌بندی محدوده اشباع و غیر اشباع

Table (5): Saturation and unsaturation range ranking

رتبه‌بندی	۹	۸	۷	۶	۴	۳	۲
جنس	گراول	ماسه و گراول	گراول و رس	ماسه با مقداری رس یا سیلت	رس و سیلت با گراول و ماسه	رس و سیلت	رس



شکل (۴): رتبه‌بندی ناحیه اشباع
Fig (4): Saturation zone ranking



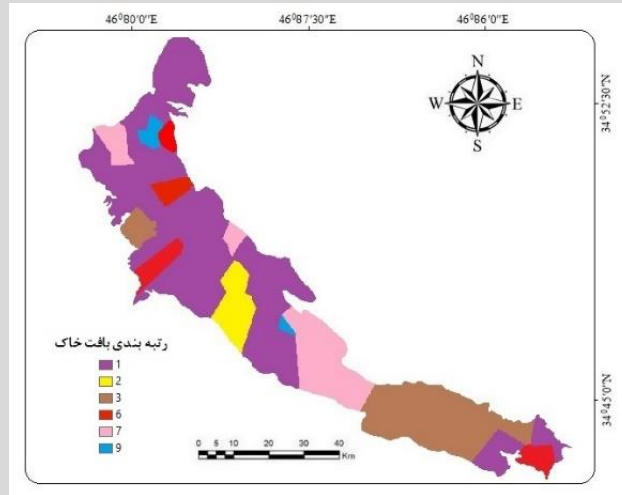
شکل (۵): رتبه بندی ناحیه ی غیر اشباع
Fig (5): Unsaturation zone ranking

۳-۴- محیط خاک

جدول ۸ و شکل ۶ نحوه ی رتبه بندی محدوده ی خاک را نشان می دهد. با توجه به شکل ۶ قسمت اعظم منطقه دارای بافت رس و سیلت و بعد از آن لوم سیلتی رسی قرار دارد. وجود مواد با بافت ریز مثل سیلت توانایی انتقال آلاینده ها را از سطح خاک به سیستم آب زیرزمینی کاهش می دهد.

جدول (۶): رتبه بندی بافت خاک
Table (6): Soil texture ranking

جنس	گراول	ماسه	رس	لوم ماسه ای	لوم	لوم سیلتی	لوم سیلتی رسی	لوم رسی	رس سیلت
رتبه بندی	۱۰	۹	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱

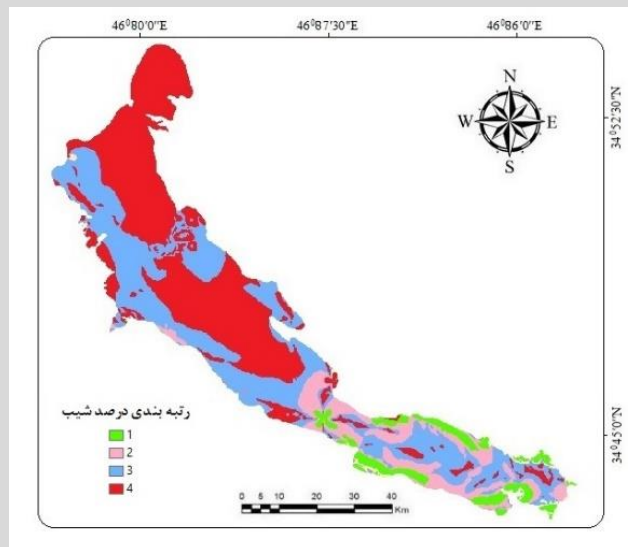


شکل (۶): رتبه‌بندی بافت خاک

Fig (6): Soil texture ranking

۳-۵- توپوگرافی

با توجه به شکل ۷ قسمت عمده‌ای از منطقه‌ی شیبی بین ۶٪ تا ۱۸٪ درصد دارد. بدین معنی که شیب منطقه متوسط، زمان تماس آب‌های سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین کاهش و شانس کمی برای نفوذ وجود دارد.



شکل (۷): رتبه‌بندی درصد شیب

Fig (7): Slope percentage ranking

جدول (۷): رتبه‌بندی شیب

Table (7): Slope ranking

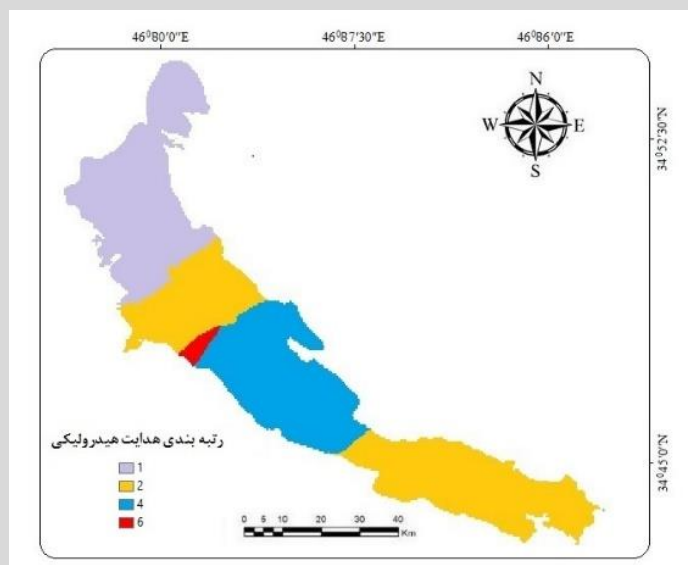
شیب(درصد)	<۲	۲-۶	۶-۱۲	۱۲-۱۸	>۱۸
رتبه‌بندی	۱۰	۹	۴	۳	۱

۳-۶- هدایت هیدرولیکی

با توجه به آن که در آزمایش‌های پمپاژ، مقدار مشخصه ضریب توانایی انتقال آب محاسبه می‌شود. با استفاده از ضخامت اشباع آبخوان، مقدار هدایت هیدرولیکی از تقسیم ضریب توانایی انتقال آب بر ضخامت اشباع آبخوان بدست آمد (رابطه‌ی ۲). شکل ۸ نشان می‌دهد که قسمت عمده‌ی آبخوان دارای هدایت هیدرولیکی نمره ۲ است و بعد از آن رتبه‌ی ۴ قرار دارد. یعنی توانایی مواد تشکیل‌دهنده‌ی آبخوان کرمانشاه در قسمت‌های زیادی از منطقه برای انتقال آب تقریباً کم است و این مسئله امکان جریان آلاینده‌ها و پخش آنها را در سفره‌ی آبدار کاهش داده و آسیب‌پذیری را کم خواهد کرد. این حالت در قسمت‌های مرکزی و جنوبی آبخوان وجود دارد.

$$K = \frac{T}{b} \quad (5)$$

K = هدایت هیدرولیکی آبخوان بر حسب m/day ، T = ضریب قابلیت انتقال آب بر حسب m^2/day ، b = ضخامت لایه‌ی اشباع بر حسب m می‌باشد.



شکل (۸): رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی
Fig (8): Hydraulic conductivity ranking

جدول (۸): رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی

Table (8): Hydrollic conductivity ranking

۲۸-۴۱	۱۲-۲۸	۴-۱۲	۱-۴	محدوده هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)
۶	۴	۲	۱	رتبه‌بندی

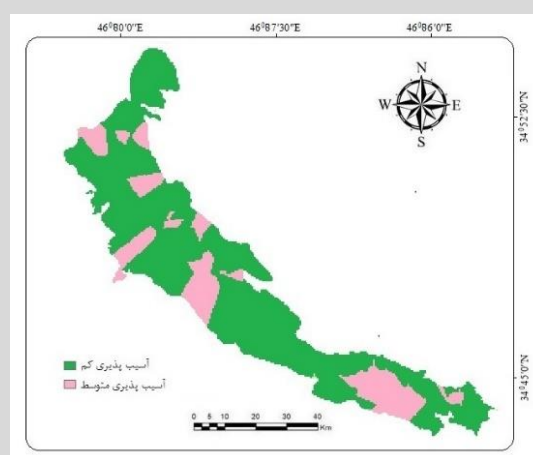
۳-۷- پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت کرمانشاه

پس از تهیه‌ی هفت لایه مربوط به مشخصه‌های مدل دراستیک در محیط GIS، برای تلفیق نقشه‌های آماده شده از دستور Raster Calculator در جعبه ابزار Spatial Analyst، استفاده شد. با استفاده از این ابزار تمام لایه‌ها با یکدیگر جمع شد. شکل ۹ نقشه‌ی آسیب‌پذیری آبخوان دشت کرمانشاه را با توجه به شاخص‌های مورد استفاده موجود نشان می‌دهد شاخص دراستیک بین ۴۵ تا ۱۱۵ برآورد گردید. طبقه‌بندی کیفی شاخص آسیب‌پذیری (کم و متوسط) قرار می‌گیرد. همانطور که مشاهده می‌شود بخش زیادی از منطقه‌ی مورد مطالعه در محدوده‌ی آسیب‌پذیری کم قرار دارد. با توجه به ماهیت روش دراستیک استنباط می‌گردد که منابع زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه در ناحیه‌ی آلابندگی شدید قرار نمی‌گیرد (رمزانی، ۲۰۱۷).

جدول (۹): رتبه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری دراستیک

Table (9): Drastic vulnerability index ranking

محدوده	۱-۱۰۰	۱۰۰-۱۴۰	۱۴۱-۲۰۰	>۲۰۰
رتبه‌بندی	آسیب‌پذیری کم	آسیب‌پذیری متوسط	آسیب‌پذیری زیاد	آسیب‌پذیری خیلی زیاد

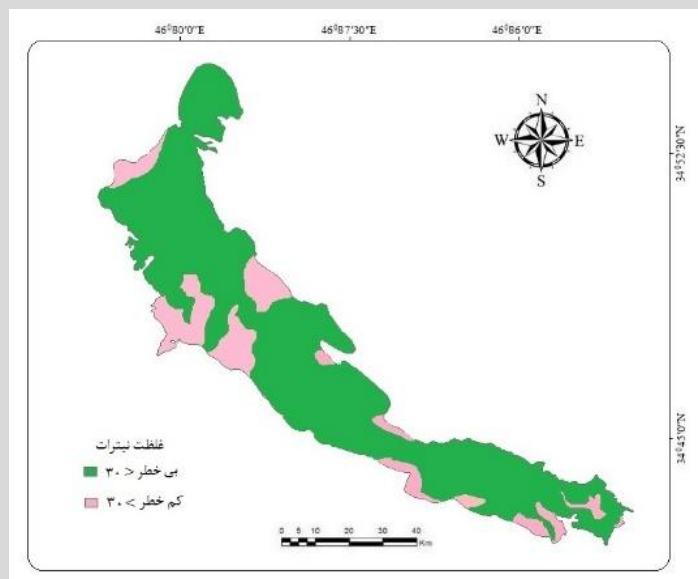


شکل (۹): نقشه‌ی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری به روش دراستیک

Fig (9): Drastic vulnerability zoning map

۳-۸- تهیه نقشه غلظت نیترات

طبق رهنمودهای سازمان جهانی بهداشت و آخرین استاندارد ملی کشور، حداکثر مجاز یون نیترات در آب آشامیدنی 50 mg/l برحسب نیترات است. یکی از دلایل عمده که باعث بالا رفتن غلظت نیترات در آبخوان می‌گردد انجام فعالیت‌های کشاورزی و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در منطقه است. با استفاده از نقشه آسیب‌پذیری شکل ۹ انطباق مقادیر یون نیترات بر روی نقشه آسیب‌پذیری دیده می‌شود که نقاط با غلظت نیترات بالا در محدوده با خطر آلودگی بیش‌تر قرار گرفته‌اند. با توجه به غلظت نیترات، نقشه نهایی حریم کیفی آبخوان کرمانشاه به دو دسته بی‌خطر برای چاه‌هایی که غلظت نیترات در آن‌ها کمتر از 25 Mg/L است و کم‌خطر برای چاه‌هایی که غلظت نیترات از آن‌ها بیش‌تر از 25 Mg/L است و در آستانه افزایش قرار گرفته‌اند مشخص گردیده است (اصغری مقدم، ۲۰۱۶).



شکل (۱۰): نقشه پهنه‌ی غلظت نیترات در آبخوان

Fig (10): Nitrate density zone map in the aquifer

۳-۹- نتایج حاصل از مدل‌سازی برنامه‌ریزی بیان ژن

در این مدل ۸۰ درصد از داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد برای مرحله آزمایش به کار برده شد. دیزاجی و همکاران^۲ (۲۰۲۰). در مدل بیان ژن ۷ متغیر مدل دراستیک به عنوان ورودی‌های مدل و نیترات به عنوان

خروجی مدل به کار گرفته شد. با توجه به تحقیقات پیشین تابع‌های ریشه‌ی میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تبیین (R^2) در ارزیابی کارایی مدل GEP، انتخاب گردید امامقلی زاده و همکاران^۱ (۲۰۱۵). نتایج در دو بخش آموزش و آزمایش برای ورودی‌های مدل تعریف و نتایج اکتسابی از معیارهای ارزیابی استخراج و در جدول ۱۳ به صورت نمونه‌ای از کل ترکیب‌ها انجام شده ارائه می‌گردد.

جدول (۱۰): نتایج بدست آمده از شاخص‌های مختلف دراستیک با مدل بیان ژن در مراحل آموزش و آزمایش در شبیه‌سازی نیترات

Table (10): Results of different validation parameters with gene expression model in training and experimental stages in nitrate simulation

مرحله برازش	NRMSE	MAE	R^2	ترکیب
مرحله آموزش	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۹۶	۱
مرحله آزمایش	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۹۶	
مرحله آموزش	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۹۶	۲
مرحله آزمایش	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۹۶	
مرحله آموزش	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۹۷	۳
مرحله آزمایش	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۹۷	
مرحله آموزش	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۹۳	۴
مرحله آزمایش	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۹۳	
مرحله آموزش	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۹۴	۵
مرحله آزمایش	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۹۴	

داده‌های شاخص‌های شامل عمق سطح آب زیرزمینی (D)، تغذیه (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، تأثیر ناحیه‌ی غیراشباع (I) و ضریب هدایت هیدرولیکی (C) به عنوان داده‌های ورودی مورد استفاده قرار گرفت. که نیترات به عنوان تابعی از شاخص‌های دراستیک مدل‌سازی گردید.

$$NO_3 = f(D, R, A, S, T, I, C) \quad (۶)$$

با توجه به مطالعات زکریا پاسخ بهینه با انتخاب ۲ یا ۳ ژن حاصل می‌گردد. همچنین وی در مطالعاتش نشان داد که بهترین جمعیت، از ۳۰ تا ۵۰ کروموزوم تشکیل می‌شود زکریا و همکاران^۲ (۲۰۱۰). لذا در پژوهش حاضر، از ۳ ژن و ۳۰ کروموزوم استفاده گردید. به این ترتیب برنامه برای هر ورودی تا زمان رسیدن به تعداد

1- Emamgholizadeh et al.

2- Zakaria et al.

جمعیت مد نظر برابر ۱۰۰۰ انتخاب تا به نتیجه مناسب برسد همچنین تابع پیوند (+) به دلیل برتری بر دیگر توابع، برگزیده شد (امامقلی زاده و همکاران^۱، ۲۰۱۵). برای اجرای مدل GEP ساختارهای مختلف برای هر یک از ترکیب‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت در جدول ۱۰ ساختارها به همراه نتایج حاصل از آن‌ها ارائه گردید. در همین راستا برای بررسی دقیق‌تر مدل و همچنین مقایسه‌ی شاخص‌های آسیب‌پذیر با هم، از ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تبیین (R^2) میان مدل‌های مختلف آسیب‌پذیری و داده‌های نیترا استفاده شد. براساس جدول و نتایج مشاهده می‌شود که مدل در ترکیب‌هایی که در آن از شاخص‌های D, R, A, I و C استفاده می‌گردد بالاترین شبیه‌سازی نیترا را برای حوضه‌ی آبریز داشته است. این درحالی است که زمانی از شاخص‌های S و T به عنوان ورودی یا ترکیب با شاخص‌های دیگر در مدل GEP استفاده می‌گردید میزان R^2 و سایر معیارهای ارزیابی دیگر کاهش و عملکرد مدل ضعیف می‌گردد.

اساس محاسبه‌ی وزن‌دهی جدید برای هر شاخص از مدل اصلی دراستیک بدین نحو است که با توجه به دامنه‌ی خطاهای مدل رنجی را مشخص کرده برای $0.95 < R^2$ رتبه‌ی ۵، $0.920.95 \geq R^2$ ، رتبه‌ی ۴، $0.900.92 > R^2$ رتبه‌ی ۳ (حذف)، $0.90 \geq R^2 > 0.88$ رتبه‌ی ۲ (حذف) و $0.88 \geq R^2 > 0.85$ رتبه‌ی ۱ (حذف) امتیازبندی کرده که در مجموع به ازای هر مرتبه شرکت شاخص در مدل‌سازی، امتیازی را کسب نموده که در مجموع میانگین امتیازات اکتسابی در طی ترکیب‌های مکرر مقدار وزن جدید را نمایش می‌دهد (بهرامی و همکاران^۲، ۲۰۱۹) با بازبینی وزن‌ها و بررسی همبستگی هر شاخص با غلظت نیترا در نقاط نمونه برداری شده، شاخص‌های D, R, A, I و C به عنوان مهم‌ترین شاخص‌ها شناخته و ارزش عوامل (نرخ مربوط به هر شاخص) مورد استفاده تغییر و براساس درجه اهمیت و ضریب تأثیر هر یک وزن جدیدی به آن‌ها داده شده است.

جدول (۱۱): وزن‌های اصلی و تصحیح شده مدل DRASTIC بر اساس همبستگی غلظت نیترا و شاخص‌های مدل

Table(11): Main and corrected weights of DRASTIC model based on the correlation between nitrate density and model parameters

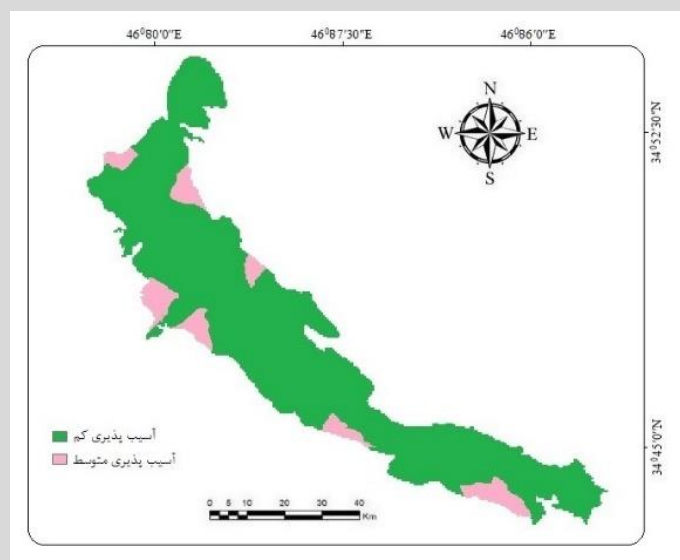
شاخص	D	R	A	S	T	I	C
وزن اصلی	۵	۴	۳	۲	۱	۵	۳
وزن تصحیح شده	۵	۴	۵	۴

بر اساس جدول فوق، برای آبخوان دشت کرمانشاه دو شاخص محیط خاک و توپوگرافی به دلیل افزایش خطا، کاهش ضریب دقت و کسب امتیاز پایین از مدل حذف می‌شوند که بعد از اعمال وزن‌های تصحیح شده و حذف

دو شاخص غی وابسته، شاخص دراستیک جدید برای آبخوان به صورت فرمول زیر تغییر می‌یابد.

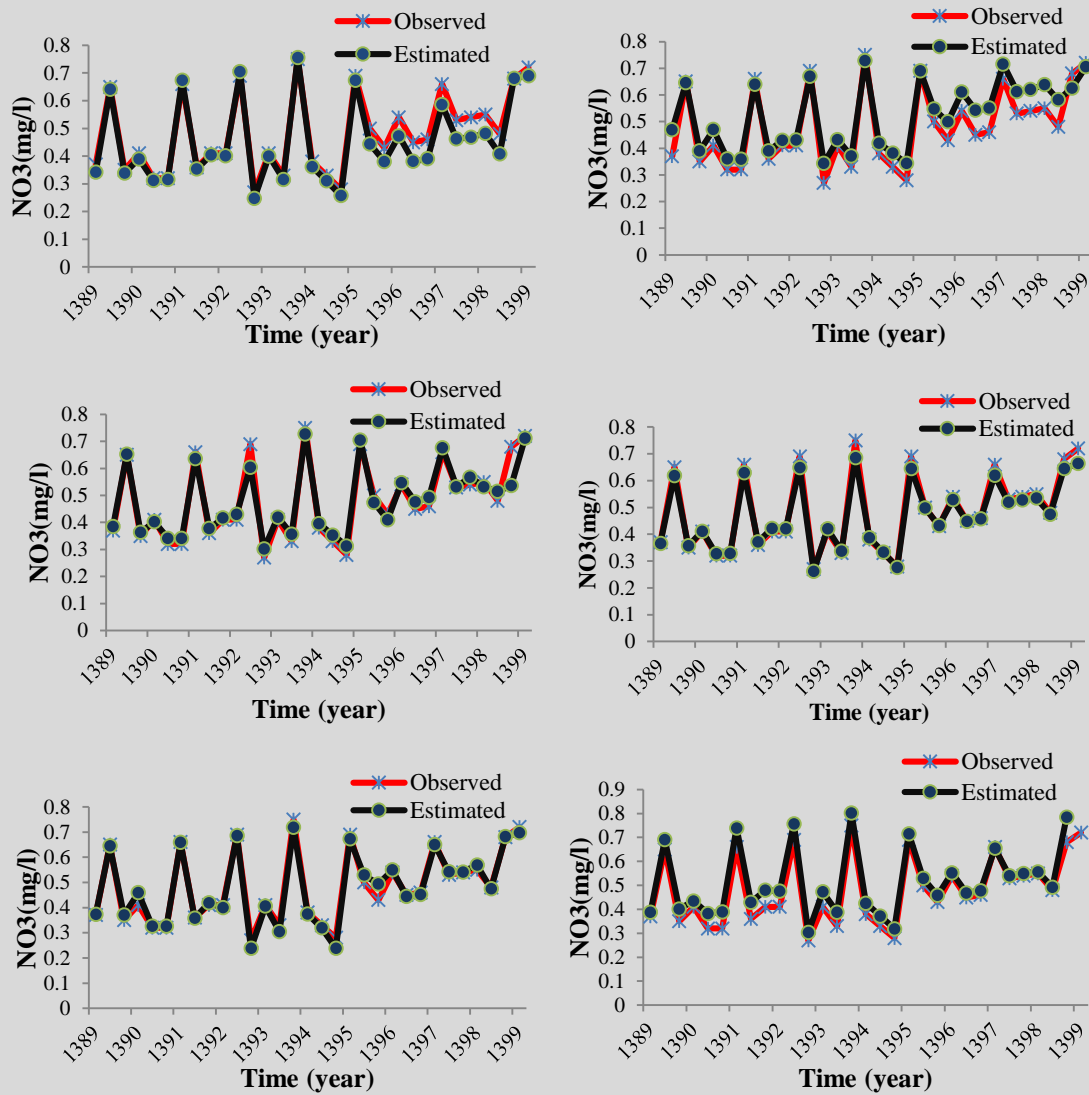
$$\text{Drastic Index} = 5D + 4R + 5A + 5I + 4C \quad (7)$$

پس از بدست آوردن معادله‌ی جدید مدل دراستیک و محاسبه شاخص آن، با استفاده از Raster Calculation در محیط ArcGIS، بار دیگر به منظور مقایسه عملکرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن نقشه‌ی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان کرمانشاه با استفاده از معادله‌ی جدید دراستیک بدست آمده، در شکل ۱۱ آورده شده است. در این حالت محدوده‌ی آسیب‌پذیری کاهش یافته و شاخص دراستیک بین ۱۰۰-۳۰ قرار گرفته که نشان از بالا رفتن دقت مدل در برآورد آسیب‌پذیری منطقه و مطابقت نزدیک آن با مقادیر نیترا ت است. آبخوان کرمانشاه در دو دسته آسیب‌پذیری کم و متوسط تقسیم‌بندی می‌گردد.



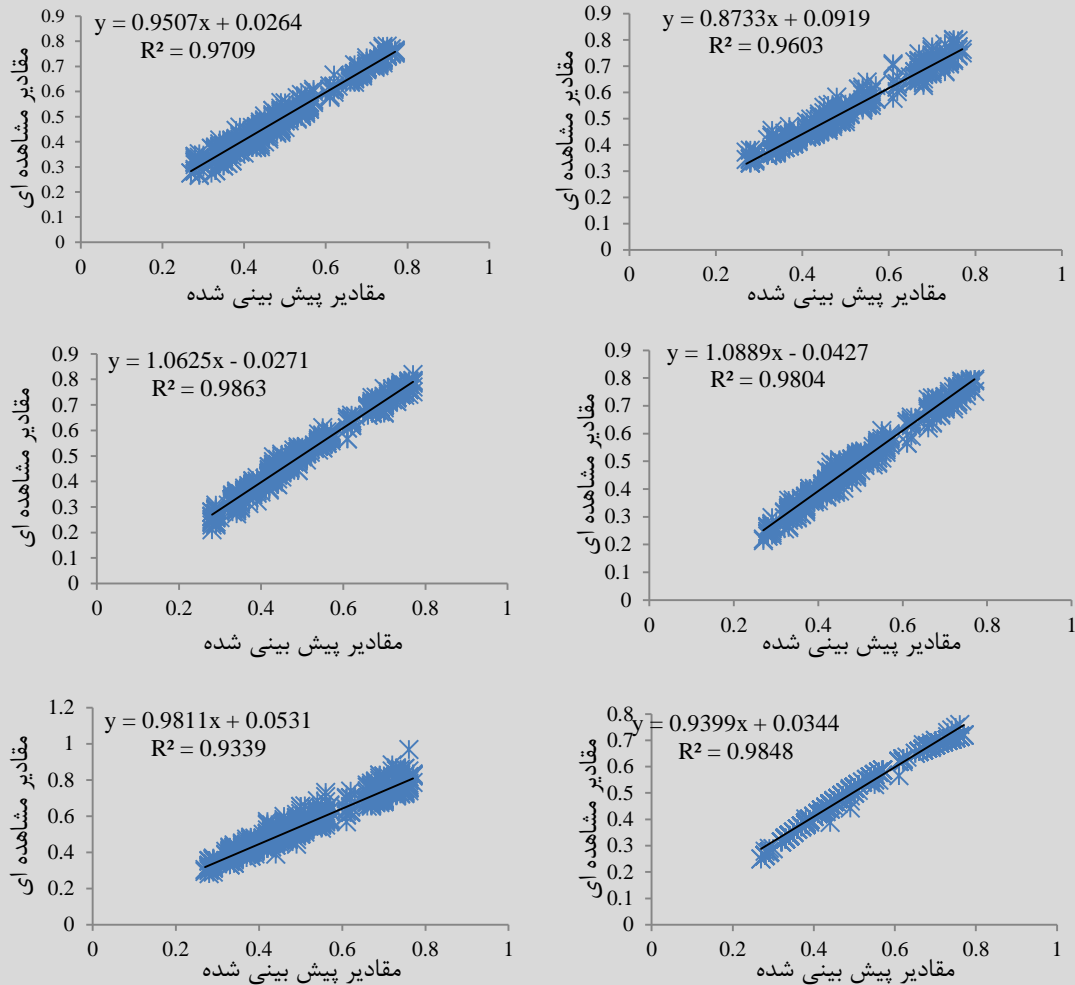
شکل (۱۱): نقشه‌ی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان با استفاده از شاخص دراستیک جدید

Fig (11): Aquifer vulnerability zoning map using the new Drastic Index



شکل (۱۲): مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی نیترات در مدل GEP

Fig (12): Simulated and observed nitrate values in GEP model



شکل (۱۳): مقادیر R^2 محاسباتی نترات در مدل GEP

Fig (13): Computational values of nitrate R^2 in the GEP model

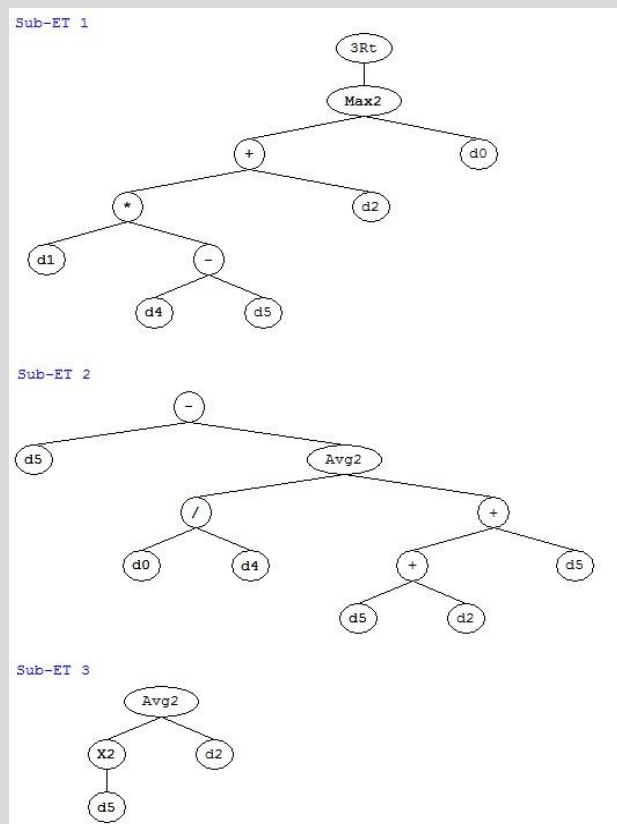
در شکل ۱۲ و ۱۳ نمونه‌ای از خروجی‌های کل بدست آمده از شبیه‌سازی غلظت نترات با مقادیر مشاهداتی است. که نتایج نشان داد که با توجه به تابع‌های ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تبیین (R^2) تحلیل و بررسی هر یک از معیارها، نشان از نتایج عالی و قوی ارائه شده مدل برنامه‌ریزی بیان ژن است. که موید توانایی این مدل به عنوان یک ابزار مناسب و کارآمد جهت شبیه‌سازی و تخمین مناطق آسیب‌پذیر به نترات می‌باشد. همچنین یکی دیگر از توانمندی‌های GEP مقایسه و ادغام با دیگر روش‌های هوشمند و توانایی برقراری رابطه ضمنی بین شاخص‌های ورودی و خروجی مدل است.

به بیان دیگر برنامه‌ریزی بیان ژن قادر به ارائه‌ی معادلات تقریبی موجود و ساختار درختی بهینه می‌باشد که این ویژگی، آن را از سایر مدل‌های دیگر نظیر شبکه عصبی و مصنوعی متمایز می‌سازد. ساختار درختی کمک می‌کند که در هر مرحله جمعیت اولیه به صورت ساختار خطی ساده بیان شود و تمام تغییرات تنها بر روی ساختارهای ساده انجام گیرد، در نتیجه نیازی به ساختارهای نسبتاً پیچیده برای گسترش در هر مرحله نخواهد بود. همچنین شکل ساختار درختی ترکیب ۱۵ که به عنوان برترین و بهترین مدل به کار برده شده در این مطالعه برگزیده شده است، به عنوان نمونه ارائه می‌گردد.

$$y = \text{gep3Rt} (\max(((R)*([C]-[I]))+[A],[D])) \quad (۸)$$

$$y = y + ([I]-(((D)/[C])+((I)+[A])+[I])/2)) \quad (۹)$$

$$y = y + ((\text{pow}([I],2)+[A])/2) \quad (۱۰)$$



شکل (۱۴): نمودار درختی بیان ژن
Fig (14): Tree diagram of gene expression programming

۴- نتیجه‌گیری

دشت کرمانشاه از دشت‌های بزرگ غرب کشور است که به دلیل اهمیت زیاد آب زیرزمینی در تأمین آب مورد نیاز کشاورزی در این منطقه، نیاز ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان و تعیین مقادیر غلظت نیترات دارد تا بتوان گامی موثر در حفاظت و نگهداری از آب‌های زیرزمینی این منطقه برداشت. به علت اهمیت آبخوان کرمانشاه در تأمین آب شرب، نقشه‌ی آسیب‌پذیری با مدل دراستیک تهیه گردید. که نتایج حاکی از آن بود که بخش زیادی از منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ی آسیب‌پذیری کم قرار دارد که با توجه به ماهیت روش دراستیک استنباط می‌گردد که منابع زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه در ناحیه‌ی آلاینده‌ی شدید قرار نمی‌گیرد اما چون دشت کرمانشاه از مناطق فعال کشاورزی است و در آن از کودهای کشاورزی زیادی استفاده می‌گردد لذا عواملی از قبیل عمق سطح ایستابی، تغذیه، هدایت هیدرولیکی و محیط غیراشباع به عنوان شاخص‌های تأثیرگذار در آسیب‌پذیری می‌باشند. در همین راستا ۷ متغیر مؤثر در آسیب‌پذیری آب زیرزمینی به صورت ۷ لایه‌ی رستری تهیه شد و شاخص آسیب‌پذیری برای منطقه میان ۴۵ تا ۱۱۵ به دست آمد. نقشه‌ی پهنه‌بندی غلظت نیترات، نتایج حاصل از مدل دراستیک را تایید می‌کند. در مناطقی با آسیب‌پذیری متوسط غلظت نیترات بالاتر از ppm ۲۵ تعیین گردید. در حالیکه در مناطقی با آسیب‌پذیری کم غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی کمتر از ppm ۲۵ تشخیص داده شد. بنابراین به طور کلی می‌توان اذعان داشت که نتایج مشاهدات میدانی، دقت مدل دراستیک در تعیین نواحی آسیب‌پذیر را تایید می‌کند. همچنین نتایج نشان می‌دهد مدل GEP به کاربرده شده در این تحقیق با داشتن نتایج بالا و خوب، برآورد نسبتاً دقیقی از میزان آسیب‌پذیری در منطقه‌ی مطالعه شده در پی داشت. که با اصلاح و بهینه‌سازی روش DRASTIC توسط مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) می‌توان به نتایج دقیق‌تری نسبت به روش کلاسیک برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دست یافت. که با اصلاح و بهینه‌سازی شاخص وزن‌دهی به صورت (5D, 4R, 5A, 5I, 4C) حاصل گردید.

به طور کلی مقایسه نتایج این تحقیق با سایر مطالعات در خارج کشور منجمله (لی و همکاران^۱، ۲۰۱۸)، (نعمت زاده و همکاران^۲، ۲۰۲۰) و (نادری و همکاران^۳، ۲۰۱۷) مبنی بر توانایی قابل قبول روش مذکور در تخمین و اصلاح دراستیک دلالت دارد. لذا استفاده از مدل بیان ژن برای تخمین نیترات در حوضه‌ی کرمانشاه ضمن بررسی و تایید نهایی کارایی آن، در دیگر حوضه‌های آبریز نیز توصیه می‌شود.

با توجه به اهمیت آب زیرزمینی در منطقه‌ی مطالعه شده جلوگیری از آلوده شدن مناطق دارای پتانسیل آلودگی کم خطر و یا در آستانه افزایش هستند به منظور مدیریت بهینه منابع آبی منطقه ضروری به نظر می‌رسد. پیشنهاد

1- Li et al.

2- Nematzadeh et al.

3- Naderi et al.

می‌شود با توجه به مشخص شدن مناطق با آسیب‌پذیری کم و بی‌خطر در دشت کرمانشاه از دفع مواد آلاینده در مناطق آسیب‌پذیر خودداری و رفتارنگاری دقیق و مداوم نیترات در سطح دشت انجام شود. همچنین در بخش کشاورزی کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار با مواد با آلاینده‌گی کمتر جایگزین شود.

۵-منابع

- Asghari Moghaddam, A., Nadiri, A., & Pakniya, V. (2016). Vulnerability Assessment of Bostan Abad Plain Qquifer by DRASTIC and SINTACS Models. *Hydrogeomorphology*, 2(8), 21-52.
- Asefi, M., Radmanesh, F., & Zarei, H. (2014). Optimization of DRASTIC model for vulnerability assessment of groundwater resources using analytical hierarchy process (case study: Andimeshk plain). *Irrigation Sciences and Engineering*, 37(1), 55-67
- Ahirwar, S., & Shukla, J. P. (2018). Assessment of groundwater vulnerability in upper Betwa river watershed using GIS based DRASTIC model. *Journal of the Geological Society of India*, 91(3), 334-340.
- Al-Adamat, R. A., Foster, I. D., & Baban, S. M. (2003). Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, remote sensing and DRASTIC. *Applied Geography*, 23(4), 303-324.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., & Hackett, G. (1987). DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic, 2(3), 148-162.
- Bahrami, E., Mohammadrezapour, O., Salarijazi, M., & Jou, P. H. (2019). Effect of base flow and rainfall excess separation on runoff hydrograph estimation using gamma model (case study: Jong catchment). *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23(3), 1420-1426.
- Dizaji, A. R., Hosseini, S. A., Rezaverdinejad, V., & Sharafati, A. (2020). Groundwater contamination vulnerability assessment using DRASTIC method, GSA, and uncertainty analysis. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(14), 1-15.
- Emangolizadeh, S., Bateni, S. M., Shahsavani, D., Ashrafi, T., & Ghorbani, H. (2015). Estimation of soil cation exchange capacity using genetic expression programming (GEP) and multivariate adaptive regression splines (MARS). *Journal of Hydrology*, 529, 1590-1600.
- Ferreira, C. (2001). Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems.
- Guo, Q., Wang, Y., Gao, X., & Ma, T. (2007). A new model (DRARCH) for assessing groundwater vulnerability to arsenic contamination at basin scale: a case study in Taiyuan basin, northern China. *Environmental Geology*, 52(5), 923-932.
- Jha, M. K., & Sahoo, S. (2015). Efficacy of neural network and genetic algorithm techniques in simulating spatio- temporal fluctuations of groundwater. *Hydrological processes*, 29(5), 671-691.
- Karimi, S., Shiri, J., Kisi, O., & Shiri, A. A. (2016). Short-term and long-term streamflow prediction by using 'wavelet-gene expression' programming approach. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 22(2), 148-162.

- Li, L., Wang, W., Gong, P., Zhu, X., Deng, B., Shi, X., ... & Zhai, T. (2018). 2D GeP: An unexploited low- symmetry semiconductor with strong in- plane anisotropy. *Advanced materials*, 30(14), 1706771.
- Mehr, A. D. (2021). Seasonal rainfall hindcasting using ensemble multi-stage genetic programming. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(1), 461-472.
- Nadiri, A. A., Gharekhani, M., Khatibi, R., Sadeghfam, S., & Moghaddam, A. A. (2017). Groundwater vulnerability indices conditioned by supervised intelligence committee machine (SICM). *Science of the Total Environment*, 574, 691-706.
- Nematzadeh, M., Shahmansouri, A. A., & Fakoor, M. (2020). Post-fire compressive strength of recycled PET aggregate concrete reinforced with steel fibers: Optimization and prediction via RSM and GEP. *Construction and Building Materials*, 252, 119057.
- Panagopoulos, G. P., Antonakos, A. K., & Lambrakis, N. J. (2006). Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical methods and GIS. *Hydrogeology Journal*, 14(6), 894-911.
- Piscopo, G. (2001). Groundwater vulnerability map explanatory notes—Castlreagh Catchment. *NSW Department of Land and Water Conservation, Australia*.
- Ramezani Sarbandi, M., Ghazavi, R., Dokhani, S., & Mortazavi, S. M. (2017). The Investigation of the Groundwater Vulnerability to Pollution Using DRASTIC and GODS Models (A Case Study: Rafsanjan Plain). *Hydrogeomorphology*, 3(10), 65-80.
- Rajput, H., Goyal, R., & Brighu, U. (2020). Modification and optimization of DRASTIC model for groundwater vulnerability and contamination risk assessment for Bhiwadi region of Rajasthan, India. *Environmental Earth Sciences*, 79(6), 1-15.
- Samey, A. A., & Gang, C. (2008). A GIS based DRASTIC Model for the assessment of groundwater vulnerability to pollution in West Mitidja: Blida City, Algeria. *J Appl Sci*, 3(7), 500-507.
- Sener, E., & Davraz, A. (2013). Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: the case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey). *Hydrogeology Journal*, 21(3), 701-714.
- Singh, A., Srivastav, S. K., Kumar, S., & Chakrapani, G. J. (2015). A modified-DRASTIC model (DRASTICA) for assessment of groundwater vulnerability to pollution in an urbanized environment in Lucknow, India. *Environmental Earth Sciences*, 74(7), 5475-5490.
- Zakaria, N. A., Azamathulla, H. M., Chang, C. K., & Ghani, A. A. (2010). Gene expression programming for total bed material load estimation—a case study. *Science of the total environment*, 408(21), 5078-5085.
- Zhang, H., Chen, W., & Liu, T. Y. (2021). Do Not Let Privacy Overbill Utility: Gradient Embedding Perturbation for Private Learning. *arXiv preprint arXiv:2102.12677*.