

## بهینه‌سازی مدل دراستیک و سینتکس در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت شبستر

فاطمه کدخدائی ایلخچی<sup>۱</sup>، اصغر اصغری مقدم<sup>۲\*</sup>، رحیم برزگر<sup>۳</sup>، مریم قره‌خانی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲. استاد، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۶/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۹/۰۳)

## چکیده

دشت شبستر منطقه‌ی فعالی از نظر کشاورزی است و استفاده از منابع آب زیرزمینی در آن به علت کمبود آب سطحی اهمیت بسیار زیادی دارد. رشد روزافزون جمعیت و فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی و به تبع پسماندهای ناشی از آنها، احتمال آلودگی این آبخوان را افزایش می‌دهد. بنابراین، ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان این دشت برای توسعه، مدیریت و تصمیم‌های کاربری اراضی، چگونگی پایش کیفی منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از آلودگی این منابع، بسیار مفید است. در مطالعه حاضر به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت شبستر از روش دراستیک و سینتکس استفاده شده است. با توجه به اینکه رتبه‌ها و وزن‌های مدل‌های آسیب‌پذیری تا حدودی به نظر کارشناسی مربوط است، برای بهبود رتبه‌ها در هر دو مدل دراستیک و سینتکس از روش ویلکوکسن و به منظور بهینه‌سازی وزن‌ها، از روش آماری ساده و الگوریتم ژنتیک استفاده شد. در نهایت، مدل‌های بهینه‌شده ویلکوکسن-آماري-دراستیک، ویلکوکسن-الگوریتم ژنتیک-دراستیک، ویلکوکسن-آماري-سینتکس و ویلکوکسن-الگوریتم ژنتیک-سینتکس ساخته شد. در تمام مدل‌های بهینه‌سازی ضریب تعیین بین غلظت نیترات و شاخص آسیب‌پذیری مربوط به آن نسبت به مدل اولیه افزایش یافت. ضریب تعیین بالاتر مدل سینتکس-ویلکوکسن-الگوریتم ژنتیک  $(R^2 = 0/46)$  نسبت به دیگر مدل‌های بهینه‌شده نشان‌دهنده کارایی بهتر آن در منطقه مطالعه شده است.

کلیدواژگان: آسیب‌پذیری، بهینه‌سازی، دراستیک، سینتکس، شبستر.

## مقدمه

به دنبال رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیازهای آبی، استفاده از منابع آب شیرین، به‌ویژه منابع آب زیرزمینی، اهمیت زیادی پیدا کرده است. شهرنشینی و فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، صنعتی و غیره سبب کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است [۱]. از آنجا که جریان آب زیرزمینی بسیار کند است و در صورت آلودگی، زمان بسیار زیادی برای خارج‌شدن آب آلوده طول خواهد کشید، پیشگیری مناسب‌ترین راهبرد در مبارزه با آلودگی آب‌های زیرزمینی است. یکی از ابزارهای مهم برای مدیریت و حفاظت از آب‌های زیرزمینی، تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری آب زیرزمینی است [۲]. مفهوم آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نخستین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ در فرانسه برای هشدار درباره آلودگی آب ارائه شد [۳]. تا کنون تعاریف مختلفی برای آسیب‌پذیری آبخوان و مفهوم آن در هیدروژئولوژی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به تعریف کمیته ملی آمریکا در سال ۱۹۹۳ اشاره کرد [۴]. بر اساس تعریف این کمیته، آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نسبت به آلودگی تمایل یا احتمال رسیدن آلاینده‌ها به یک مکان مشخص در سیستم آب زیرزمینی پس از به‌وجودآمدن آنها در برخی از محل‌ها در بالای سطح آبخوان را بیان می‌کند [۵]. آسیب‌پذیری آبخوان توانایی آن را برای نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی نشان می‌دهد، به‌طوری که آلودگی ایجادشده در سطح زمین بتواند به آب زیرزمینی برسد و در آن پراکنده شود [۶]. آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به دو دسته آسیب‌پذیری ذاتی و ویژه تقسیم می‌شود. آسیب‌پذیری ذاتی به امکان آلودگی در یک منطقه بدون در نظر گرفتن آلاینده خاص اشاره دارد [۵]. آسیب‌پذیری ذاتی به خصوصیات زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی یک منطقه و فعالیت‌های بشری بستگی دارد و از ماهیت آلاینده جداست [۷]. آسیب‌پذیری ویژه نشان‌دهنده آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نسبت به آلاینده خاص یا گروهی از آلودگی‌های ایجادشده از طریق فعالیت‌های انسانی است و در حقیقت این نوع آسیب‌پذیری به حساسیت ذاتی، موقعیت و نوع منبع آلاینده بستگی دارد [۸]. روش‌های متنوعی برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی وجود دارد. روش‌های استفاده‌شده برای ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری به طور کلی در سه گروه روش‌های نرخ‌گذاری و همپوشانی، شبیه‌سازی کامپیوتری

مبتنی بر فرایند و روش آماری قرار می‌گیرد [۹]. روش‌های دراستیک و سینتکس از روش‌های نرخ‌گذاری و همپوشانی به شمار می‌روند. این روش‌ها براساس تلفیق لایه‌های متفاوت حاصل از پارامترهای مختلف به وجود آمده‌اند. هزینه اندک و نیاز به داده‌های کم از جمله مزایای این روش‌ها به شمار می‌رود. با این حال، اعمال نظر کارشناسانه در تعیین وزن و رتبه‌ها، ضعف عمده این روش‌هاست [۱۰]. به همین منظور، روش‌های زیادی برای بهینه‌سازی وزن‌ها و رتبه‌های مدل‌های آسیب‌پذیری صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان روش‌های متنوع آماری، هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی، منطق فازی و الگوریتم ژنتیک را نام برد. به طور مثال، پاناگوپولوس و همکارانش در سال ۲۰۰۶ برای بهبود روش دراستیک از روش‌های آماری استفاده کردند [۱۱]. سکوندا در سال ۱۹۹۸ و مکی در سال ۲۰۰۱ از پارامترهای اضافی مانند کاربری اراضی و نوع و شدت آبیاری برای بهبود مدل دراستیک استفاده کرده‌اند [۱۲ و ۱۳]. در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های هوش مصنوعی نیز برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌ها، کاربرد فراوانی داشته است. به طور مثال، فیجانی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ با استفاده از هوش مصنوعی مرکب نظارت‌شده، برای بهینه‌سازی روش دراستیک به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت مراغه-بناب استفاده کردند [۱۴]. ندیری و همکارانش در سال ۲۰۱۸ در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان چندگانه و رزقان از روش دراستیک و کاتاستروف فازی استفاده کردند. آنها با روش SVM<sup>۱</sup> آسیب‌پذیری را به‌طور جداگانه برای آبخوان آزاد و تحت فشار ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل SVM ضریب همبستگی با نیترات را به مقدار زیادی افزایش داده است [۱۵]. ندیری و همکارانش در سال ۲۰۱۸ برای بهبود مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت اردبیل، از روش دراستیک استفاده کردند. آنها در پژوهش خود از روش ویلکوکسن برای بهینه‌سازی رتبه‌ها و از روش الگوریتم ژنتیک به منظور بهبود ضرایب وزنی بهره بردند و در ادامه با استفاده از مدل SVM آسیب‌پذیری آبخوان دشت اردبیل را ارزیابی کردند. در مطالعه آنها این مدل توانسته است ضریب همبستگی را تا ۰/۸۴ افزایش دهد [۱۶]. برزگر و همکارانش در سال ۲۰۱۵ در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان

۱. ماشین بردار پشتیبان

قرار گرفته است و از شمال به حوضهٔ زیلبرچای مرنند، از شرق به دشت تبریز، از جنوب به دریاچهٔ ارومیه و از غرب به حوضهٔ تسوج محدود می‌شود (شکل ۱). شیب سطح زمین در قسمت‌های شمالی زیاد و به سمت جنوب و قسمت‌های انتهایی دشت، از مقدار شیب کاسته می‌شود و زمین تقریباً به حالت مسطح درمی‌آید.

### زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی

منطقهٔ مطالعه‌شده در قسمت جنوبی ارتفاعات میشو قرار گرفته است. کوه‌های میشو به صورت یک هورست با پهنای تقریبی ۱۳ کیلومتر و طول ۳۱ کیلومتر میان دو شاخه گسله جای گرفته‌اند که یکی از کنارهٔ دامنهٔ شمالی و دیگری از کنارهٔ دامنهٔ جنوبی این کوه‌ها می‌گذرد. قدیمی‌ترین نهشته‌های منطقه در قسمت جنوبی میشو و شمالی دشت شبستر سازند کهر است که شامل شیل‌های میکادار با ماسه‌سنگ ریز، شیست و کمی دولومیت استروماتولیتی به همراه لایه‌هایی از آهک تیره و چرت است. در دامنه‌های جنوبی میشو سازند باروت شامل ماسه‌سنگ و دولومیت است. در ناحیهٔ میشو سازند درود و روته با لیتولوژی سنگ آهک تیره و قرمز و شیل در قسمت فوقانی تشکیل شده است. رسوبات ژوراسیک شامل شیل و ماسه‌سنگ و آهک در میشو برون‌زد دارند. رسوبات کرتاسه در منطقه شامل سنگ آهک توده‌ای (بخش شرقی منطقه) و رسوبات تیپ فلیش (بخش میانی منطقه) است. سنگ‌های سنوزوئیک به صورت کنگلومرای متراکم، سیلت، مارن و رس (غرب و مرکز منطقه) و مارن قرمز با میان‌لایه‌هایی از کنگلومرا (بخش شمالی خامنه و شمال شرقی شبستر) برون‌زد دارند. گسترش نهشته‌های کواترنری در منطقه زیاد است و به صورت رسوبات کنگلومرای، پادگانه‌های آبرفتی بلند، آبرفت‌های قدیمی و دشت‌های آبرفتی و پادگانه‌های آبرفتی جوان برون‌زد دارند. آبخوان دشت شبستر از نوع تک‌لایه و آزاد است، اگرچه در قسمت‌های جنوبی دشت آبخوان تحت فشار نیز وجود دارد، سطح ایستایی تا پایین‌تر از لایهٔ محبوس‌کننده افت کرده است که نشان می‌دهد آبخوان محبوس از نظر هیدروژئولوژیکی دیگر صرفاً یک آبخوان تحت فشار نیست و مانند یک آبخوان آزاد عمل می‌کند. مقدار قابلیت انتقال در مرکز دشت حدود ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ مترمربع در روز

دشت تبریز از روش دراستیک استفاده کردند. آنها به منظور بهینه‌سازی مدل دراستیک از روش‌های مختلف فازی (ساجنو، ممدانی و لارسن) استفاده کردند. نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های مختلف فازی در مطالعات آنها نشان داد روش فازی ساجنو برای بهینه‌سازی دراستیک، کارآمد و مفید است [۱۷]. هم‌امین و ندیری در سال ۲۰۱۸ از سه مدل فازی ساجنو، ممدانی و لارسن برای پیش‌بینی آسیب‌پذیری آبخوان چندگانهٔ حوضهٔ بصره در عراق استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد ترکیب نتایج سه مدل فازی ساجنو، ممدانی و لارسن برآورد مناسب‌تری برای ارزیابی خطر آلودگی در منطقهٔ مطالعه‌شده داشته است [۱۸]. دشت شبستر یکی از دشت‌های حاصل‌خیز استان آذربایجان شرقی است که به دلیل اهمیت منابع آب آن برای فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و آشامیدن و نیز به‌منظور مدیریت کیفی آب زیرزمینی، شناخت مناطق آسیب‌پذیر در آن اهمیت دارد. تا کنون مطالعه‌ای در خصوص آسیب‌پذیری آبخوان دشت شبستر صورت نگرفته است. به این منظور، در پژوهش حاضر از روش DRASTIC<sup>۱</sup> و SINTACS<sup>۲</sup> برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی این دشت استفاده شده است. از آنجا که در روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری مانند دراستیک و سینتکس، تعیین رتبه‌ها بیشتر بر اساس نظر محقق انجام می‌گیرد، در مطالعهٔ حاضر با استفاده از روش ویلکوکسن (WRST) رتبه‌ها بهبود یافته‌اند. از سوی دیگر، اعمال ضرایب وزنی در دو روش دراستیک و سینتکس بر اساس تأثیر و اهمیت هر پارامتر به صورت ثابت و طبق استاندارد جهانی انجام می‌گیرد، در حالی که اهمیت پارامترهای ورودی این دو روش می‌تواند در مناطق مختلف متفاوت باشد. از این‌رو، در مطالعهٔ حاضر ضرایب وزنی روش دراستیک و سینتکس با روش‌های آماری ساده (SS) و الگوریتم ژنتیک (GA) بهبود یافته‌اند.

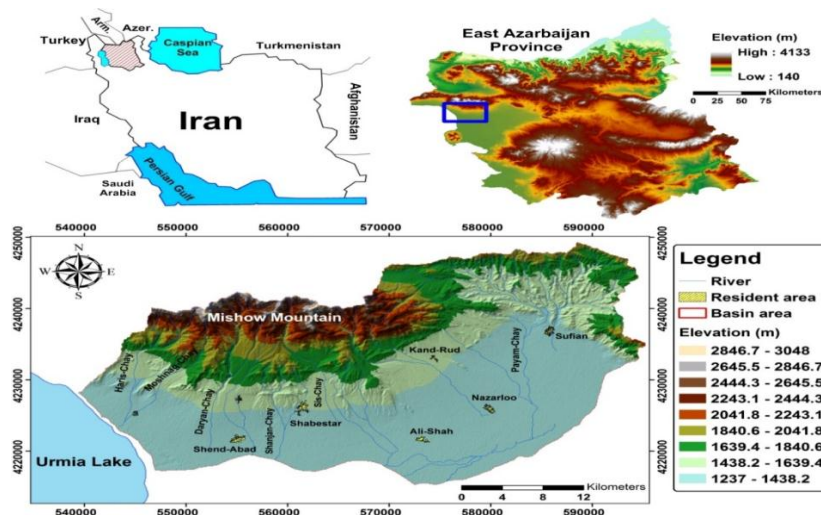
### مواد و روش‌ها

#### منطقهٔ مطالعاتی

محدودهٔ مطالعاتی مد نظر در پژوهش حاضر دشت شبستر و یکی از محدوده‌های ۲۵ گانهٔ حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه است. این محدوده در ۴۰ کیلومتری غرب شهرستان تبریز

۱. دراستیک

۲. سینتکس



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده

بیشترین خطر برای آلودگی آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود [۱۱]. برای محاسبه پتانسیل آلودگی آبخوان، این پارامترها در یک معادله ساده خطی به صورت رابطه ۱ وارد می‌شوند:

$$\text{DRASTIC Index} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (1)$$

که در رابطه یادشده DI شاخص آسیب‌پذیری دراستیک و حروف بزرگ نشان‌دهنده پارامترهای هفت‌گانه و  $r$  میزان ارزش (رتبه) و  $w$  وزنی است که به هر پارامتر تخصیص داده می‌شود. با استفاده از این رابطه، می‌توان بیان کرد که کدام منطقه در معرض آلودگی قرار دارد. به این صورت که هر چه شاخص بزرگ‌تر باشد، پتانسیل آلودگی بیشتر می‌شود.

#### مدل SINTACS

این روش نخستین بار توسط سیویتا و همکارانش در سال ۱۹۹۰ برای بررسی آسیب‌پذیری جنوب ایتالیا به کار برده شد پارامترهای به کاررفته در این روش همان پارامترهای مدل دراستیک است با این تفاوت که وزن‌ها و رتبه‌های به کاررفته در آن انعطاف بیشتری دارد [۲۰]. به هر پارامتر براساس تأثیر آنها در آسیب‌پذیری رتبه‌ای بین ۱ تا ۵ و وزنی برابر ۱ تا ۱۰ اختصاص داده شده و در نهایت شاخص آسیب‌پذیری با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$I_{\text{SINTACS}} = \sum_{i=1}^n P_i \times W_i \quad (2)$$

در رابطه یادشده،  $I$  شاخص آسیب‌پذیری SINTACS،  $P_i$  رتبه هر پارامتر و  $W_i$  وزن نسبی پارامترهاست.

برآورد می‌شود که به سمت شوره‌زارهای جنوبی کاهش می‌یابد و در کناره‌ها به ۱۰۰ مترمربع در روز می‌رسد. آبدهی ویژه لایه آبدار سطحی در نیمه شرقی دشت بیشتر به دلیل دانه‌بندی آبرفت کمتر از سایر بخش‌ها و در نیمه شمالی آن بین ۵ تا ۸ درصد است. مقدار آبدهی ویژه در این منطقه به سمت جنوب کاهش یافته و در جنوب دشت به حدود ۲ درصد می‌رسد.

#### روش DRASTIC

ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک بر اساس هفت پارامتر هیدروژئولوژیکی انجام می‌گیرد. این پارامترها عبارت‌اند از: عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی یا شیب سطح زمین (T)، تأثیر مواد تشکیل‌دهنده بخش زون غیر اشباع (I)، ضریب هدایت هیدرولیکی (C) [۱۹]. عوامل یادشده طوری مرتب شده‌اند که نخستین حرف هر یک از آنها، کلمه DRASTIC را می‌سازد، به طوری که به هر یک از این پارامترها با توجه به اهمیت آن در قابلیت انتقال آلودگی به سیستم آب زیرزمینی نسبت به سایر عوامل، یک وزن نسبی اختصاص داده می‌شود. به مهم‌ترین عامل، وزن ۵ و به کم‌اهمیت‌ترین آنها، ۱ اختصاص می‌یابد. هر یک از عوامل به محدوده‌هایی تقسیم می‌شوند. اهمیت هر محدوده با توجه به تأثیر روی پتانسیل آلودگی تعیین می‌شود که همان میزان است. میزان پارامترهای دراستیک بین ۱ تا ۱۰ تغییر می‌کند، به طوری که ۱ به معنای کمترین و ۱۰

#### آزمون ناپارامتری ویلکوکسن (WRST)

این آزمون نخستین بار توسط Wilcoxon معرفی شده است [۲۱]. این روش از آزمون‌های آماری ناپارامتری است که برای ارزیابی همانندی دو نمونه وابسته با مقیاس رتبه‌ای به کار می‌رود. این آزمون علاوه بر در نظر گرفتن علامت‌های اختلاف، مقدار تفاوت آنها را نیز در نظر می‌گیرد. بنابراین، چون از اطلاعات بیشتری استفاده می‌کنند، جواب دقیق‌تری دارد [۲۲].

#### روش آماری ساده (SS)

این روش مبتنی بر متغیری است که به غلظت آلاینده یا احتمال وجود آلودگی، بستگی دارد. این روش داده‌ها را در منطقه‌ای که توزیع آلاینده در آنجا شناسایی شده است، با یکدیگر ادغام می‌کند و ویژگی‌های احتمال وجود آلودگی برای منطقه جغرافیایی خاصی که داده‌ها از آنجا به دست آمده‌اند را فراهم می‌آورد. در ضمن، این روش برای تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری ویژه آب زیرزمینی مفید است و می‌تواند با انواع و کیفیت‌های مختلف سروکار داشته باشد [۲۳].

#### روش الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی مبتنی بر جمعیت تصادفی است که از مفاهیم بیولوژیکی مشابه تقلید می‌کند. یعنی زمانی که جمعیت اولیه کروموزوم به صورت تصادفی تولید می‌شود، ادامه نسل کروموزوم‌ها با استفاده از عملگرهای متقاطع و جهش تغییر داده می‌شوند، همان طور که در روند تکامل طبیعی به منظور ایجاد جمعیت نخبه‌تر این اتفاق رخ می‌دهد. در این روش هر مسئله بهینه‌سازی سه بخش پایه و اساسی شامل تابع هدف، متغیر تصمیم یا پارامترها و قیدهای شرط یا محدودیت را دارد. برای هر مسئله بهینه‌سازی، جمعیتی از راه حل‌های محتمل انتخاب شده به بهترین راه حل‌های ممکن تبدیل می‌شوند. هر راه حل می‌تواند بر اساس سازگاری‌اش با استفاده از اپراتورهای انتخاب، متقاطع و جهش تغییر یابد [۲۴].

#### اجرای مدل‌ها

##### اجرای مدل دراستیک

در مدل دراستیک هفت لایه مورد نیاز برای محاسبه شاخص آسیب‌پذیری شامل عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)،

تأثیر ناحیه غیر اشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) وجود دارد. اطلاعات مورد نیاز برای تهیه لایه هر یک از هفت پارامتر ورودی مدل دراستیک وارد محیط GIS شده و در نهایت لایه رستری هر پارامتر تهیه شده است. پارامتر عمق آب زیرزمینی بیان‌کننده عمقی است که آلاینده باید برای رسیدن به سطح ایستابی طی کند. برای تهیه لایه عمق آب زیرزمینی، اطلاعات سطح آب ۲۴ پیزومتر موجود در محدوده مطالعه شده برای سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۶، در محیط نرم‌افزار GIS وارد شده و با روش IDW درون‌یابی شد. در نهایت، لایه رستری عمق آب زیرزمینی تهیه و رتبه‌بندی شد (شکل ۲ الف). تغذیه خالص نشان‌دهنده مقدار آبی است که از طریق بارش به زمین نفوذ می‌کند و به سطح آب‌های زیرزمینی می‌رسد. تغذیه، امکان رسیدن آلاینده‌ها به آب زیرزمینی را فراهم می‌کند. برای تهیه لایه رستری تغذیه خالص از روش پیسکوپو [۲۵] استفاده شد. برای این منظور سه لایه نقشه بارش، نقشه شیب و نقشه خاک در محیط نرم‌افزار GIS تهیه شدند. برای تهیه نقشه شیب ابتدا مدل رقمی ارتفاعی منطقه تهیه و سپس نقشه شیب از این مدل استخراج شده و بر اساس جدول ۱ رتبه‌بندی شد. نقشه خاک نیز با در نظر گرفتن جنس لایه خاک در دو متری بالای لاگ‌های چاه‌های مشاهده‌ای رتبه‌دهی شد. به این صورت که به لایه‌های ریزدانه، رتبه کمتر و به لایه‌های درشت‌دانه رتبه بیشتری اختصاص یافت. سپس، این اطلاعات در محیط نرم‌افزار GIS با روش کریجینگ درون‌یابی شده و به رستر تبدیل شد. با توجه به اینکه مقدار بارش برای منطقه کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر در سال است، رتبه ۱ برای لایه بارش در نظر گرفته شد. در نهایت، سه نقشه رستری تهیه شده طبق رابطه ۳ همپوشانی شدند و لایه تغذیه محاسبه شد (شکل ۲ ب). معادله پیسکوپو برای محاسبه پتانسیل تغذیه یک منطقه است و بر اساس رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

محیط آبخوان به جنس بخش اشباع آبخوان اشاره دارد که میرایی آلاینده‌ها را کنترل می‌کند. برای تهیه لایه محیط آبخوان از لاگ‌های چاه‌های مشاهده‌ای موجود در منطقه استفاده شد و بر اساس جنس لایه‌های آبخوان، رتبه‌بندی صورت گرفت. پس از درون‌یابی رتبه‌ها به روش کریجینگ، در نهایت لایه رستری محیط آبخوان تهیه شد (شکل ۲ پ).

(۳) تغذیه = نفوذپذیری خاک + میزان بارندگی + شیب

۱. سیستم اطلاعات جغرافیایی

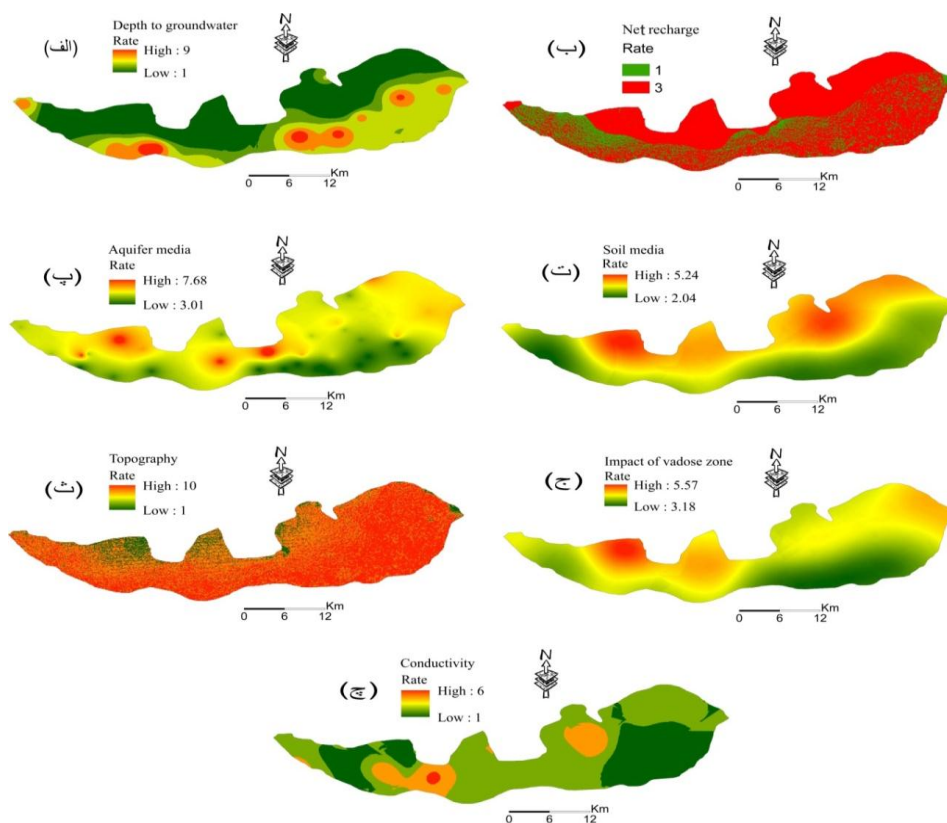
۲. روش معکوس وزنی فاصله

جدول ۱. امتیازهای پارامترهای تغذیه برای بارش (Piscopo, 2001)

Soil infiltration		Rainfall (mm)		Slope (%)	
Intensity	Rate	Range	Rate	Range	Rate
High	۵	۸۵۰ <	۴	۲ >	۴
Moderate to high	۴	۸۵۰ - ۷۰۰	۳	۱۰ - ۲	۳
Moderate	۳	۷۰۰ - ۵۰۰	۲	۳۳ - ۱۰	۲
Low	۲	۵۰۰ >	۱	۳۳ <	۱
Very low	۱				

رتبه‌بندی شد (شکل ۲ ث). برای تهیه لایه محیط غیر اشباع که رسوبات موجود از سطح ایستابی تا زون خاک را شامل می‌شود نیز مشابه روش تهیه پارامتر لایه محیط آبخوان استفاده شد، با این تفاوت که جنس محیط غیر اشباع مورد استفاده قرار گرفت. پس از رتبه‌دهی و درون‌یابی، لایه رستری محیط غیر اشباع تهیه شد (شکل ۲ ج). هدایت هیدرولیکی، توانایی مواد تشکیل‌دهنده آبخوان را در انتقال آب را گویند که به درصد فضاهای خالی مرتبط به هم در لایه آبدار بستگی دارد. بر اساس اطلاعات آزمایش پمپاژ در آبخوان دشت شبستر، مقادیر هدایت هیدرولیکی درون‌یابی و به رستر تبدیل شده و در نهایت رتبه‌بندی شد (شکل ۲ چ).

لایه خاک که قسمت بالایی منطقه غیراشباع است، بر حرکت سطحی و رو به پایین آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارد. برای تهیه این لایه، جنس لایه سطحی (۲ متر بالایی) لاگ‌های چاه‌های مشاهده‌ای موجود در منطقه در نظر گرفته شد. این جنس‌ها بعد از رتبه‌دهی و درون‌یابی به روش کریجینگ به لایه رستر تبدیل شدند (شکل ۲ ت). پارامتر توپوگرافی به تغییرات شیب سطح زمین اشاره دارد. این پارامتر ماندگاری آلاینده را روی سطح زمین و امکان نفوذ آن را در منطقه تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌منظور تهیه لایه توپوگرافی مدل رقومی - ارتفاعی منطقه تهیه شد. سپس، نقشه درصد شیب از آن استخراج شد و در نهایت این نقشه بر اساس معیارهای مدل دراستیک



شکل ۲. نقشه‌های لایه‌های ورودی در مدل دراستیک

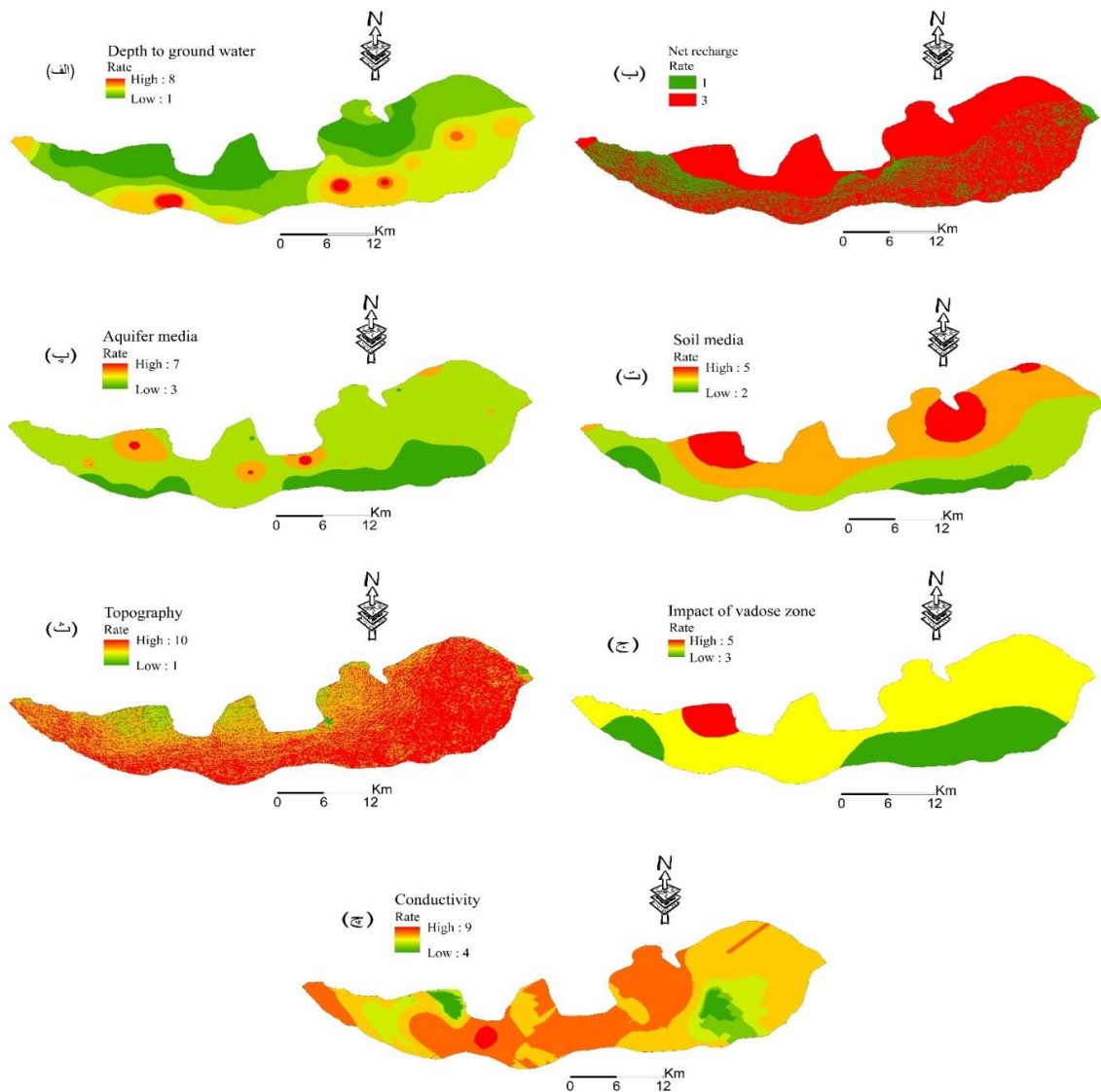
دراستیک و سینتکس از روش ویلکوکسن و برای بهینه‌سازی وزن‌ها، از روش‌های آماری ساده و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در بهینه‌سازی رتبه‌ها به روش ویلکوکسن ابتدا برای رتبه‌های یکسان هر یک از ورودی‌های مدل دراستیک و مدل سینتکس میانگین مقدار نیترا محاسبه شد. در مرحله بعد با در نظر گرفتن اینکه بیشترین مقدار میانگین نیترا به چه رتبه‌ای اختصاص دارد، برای سایر مقادیر میانگین نیترا رتبه‌های جدید و بهینه‌شده‌ای به دست آمد. جدول ۲ رتبه‌های بهینه‌شده با این روش در دو مدل دراستیک و سینتکس را نشان می‌دهد.

### اجرای مدل سینتکس

برای انجام مدل سینتکس، که پارامترهای مؤثر در آن مانند پارامترهای استفاده‌شده در مدل دراستیک هستند تمام لایه‌های عمق آب زیرزمینی، محیط آبخوان، محیط غیر اشباع، محیط خاک، توپوگرافی و هدایت هیدرولیکی و تغذیه خالص مانند مدل دراستیک تهیه شد با این تفاوت که رتبه‌های داده‌شده به این پارامترها در این مدل متفاوت است و انعطاف بیشتری دارد. شکل ۳ لایه‌های ورودی مدل سینتکس را نشان می‌دهد.

### بهینه‌سازی مدل دراستیک و سینتکس

در مطالعه حاضر برای بهینه‌سازی رتبه‌ها در مدل



شکل ۳. لایه‌های ورودی در مدل سینتکس الف) عمق آب زیرزمینی، ب) تغذیه، پ) محیط آبخوان، ت) محیط خاک، ث) توپوگرافی، ج) محیط غیر اشباع، چ) هدایت هیدرولیکی

همبستگی بین غلظت نیترات و شاخص آسیب‌پذیری در نظر گرفته شد. در نهایت، با هدف بیشینه‌کردن این تابع، وزن‌های جدید و بهینه‌شده‌ای به دست خواهد آمد. تابع هدف این روش برای بهینه‌سازی وزن مدل دراستیک و سینتکس به صورت رابطه ۴ ارائه می‌شود [۱۶].

$$\text{Max } F = \text{corr}(X, Y)$$

$$F = \frac{\sum_{j=1}^n ((X_j - \bar{X}) - (Y_j - \bar{Y}))}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}} \quad (4)$$

$$\text{Constrain: } 1 \leq W_j \leq 5, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

در این رابطه  $F$  همان تابع هدف،  $Y_j$  غلظت آلاینده،  $\bar{Y}$  میانگین غلظت آلاینده،  $X_j$  شاخص آسیب‌پذیری،  $\bar{X}$  میانگین شاخص آسیب‌پذیری و  $W_j$  وزن مربوط به پارامترهای مدل دراستیک یا سینتکس است. جدول‌های ۳ و ۴ وزن‌های بهینه‌شده به روش آماری و الگوریتم ژنتیک در مدل دراستیک و سینتکس را نشان می‌دهند.

پس از بهینه‌سازی رتبه‌ها با این روش، وزن‌ها در هر دو مدل دراستیک و سینتکس با روش‌های آماری و الگوریتم ژنتیک بهینه شدند. به منظور استفاده از روش آماری ساده، ضریب همبستگی پیرسون، بین غلظت نیترات و پارامترهای مدل (دراستیک و سینتکس) محاسبه شد. در نتیجه، در هر مدل هفت ضریب همبستگی به دست آمد. با در نظر گرفتن مقیاس ۱ تا ۵ برای ضرایب همبستگی، ضرایب وزنی بهبودیافته برای مدل دراستیک و سینتکس به دست آمد. برای اجرای روش الگوریتم ژنتیک در محیط اکسل، ابتدا برای هر یک از هفت ورودی هر مدل (دراستیک و سینتکس) وزن‌هایی تصادفی داده شده و شاخص آسیب‌پذیری مربوط به آن با وزن‌های تصادفی محاسبه می‌شود. وزن‌های تصادفی داده شده همان متغیر پارامتر نام دارند. قیود شرط نیز برای هر پارامتر به گونه‌ای تعریف می‌شود که بیشترین مقدار متغیر یا همان وزن‌ها برابر ۵ و کمترین مقدار آن برابر ۱ باشد. تابع هدف همان ضریب

جدول ۲. رتبه‌های بهینه‌شده به روش ویلکوکسن در دو مدل دراستیک و سینتکس

Parameter	DRASTIC-WRST			SINTACS-WRST		
	D	Typical rate	Mean NO <sub>3</sub> (mg/l)	Modified rating	Typical rate	Mean NO <sub>3</sub> (mg/l)
R	۷	۶۷/۵	۹	۱	۱۴/۷۹	۱/۷۵
	۵	۲۰/۵۵	۲/۷۴	۲	۹/۷۱	۱/۱۵
	۳	۱۵/۷۹	۱/۲	۳	۲۱/۰۶	۲/۴۹
	۲	۱۶/۳۱	۲/۱۷	۴	۱۸/۹۷	۲/۲۴
	۱	۱۲/۴۹	۱/۶۶	۶	۶۷/۵	۸
A	۳	۱۴/۵۹	۲/۱۳	۳	۱۴/۵۹	۲/۱۳
	۱	۲۰/۴۸	۳	۱	۲۰/۴۸	۳
	۳	۱۹/۴۷	۷	۳	۱۹/۴۷	۷
S	۴	۱۶/۳۹	۵/۸۹	۴	۱۶/۳۹	۵/۸۹
	۵	۱۷/۲۶	۶/۲	۵	۱۷/۲۶	۶/۲
	۵	۱۱/۱۳	۳/۰۲	۵	۱۳/۷۷	۳/۷۱
	۴	۱۶/۷۲	۴/۵۴	۴	۱۸/۵۳	۵
	۳	۱۸/۳۸	۵	۳	۱۶/۹۹	۴/۵۸
T	۲	۱۲/۹	۳/۵	۲	۳/۷۸	۱/۰۱
	۱۰	۱۶/۰۷	۹/۲۳	۱۰	۱۶/۰۷	۸/۹
	۹	۱۷/۴۱	۱۰	۹	۱۸/۰۳	۱۰
	۵	۱۷/۲۶	۹/۹۱	۸	۱۲/۲۷	۶/۸
I	۳	۳/۱۸	۱/۸۲	۷	۱۵/۹۶	۸/۸
	۵	۱۲/۵۶	۳/۳۳	۵	۱۲/۵۶	۳/۳۲
	۴	۱۶/۲۷	۴/۳۲	۴	۱۶/۲۷	۴/۳۲
	۳	۱۸/۸۱	۵	۳	۱۸/۸۱	۵
C	۴	۱۹/۶۸	۶	۵	۲۶/۳۴	۹
	۲	۱۷/۸۸	۵/۴۵	۶	۸/۵۹	۲/۹۳
	۱	۱۱/۲۱	۳/۴۱	۷	۱۵/۹۹	۵/۴۶
				۸	۱۸/۵۵	۶/۳۳
			۹	۱۰/۵۵	۳/۶	



جدول ۳. ضرایب وزنی بهینه‌شده با روش آماری ساده (SS) و الگوریتم ژنتیک (GA) در مدل دراستیک و ویلکوکسن

Parameter	Typical DRASTIC weight	DRASTIC-WRST-SS		DRASTIC-WRST-GA	
		Spearman's correlation coefficient	Modified weighting coefficient	Modified weighting coefficient	Modified weighting coefficient
D	۵	۰/۶۰۳	۵	۵	۵
R	۴	۰/۱۷۹	۱/۹۷	۳/۹۶	۳/۹۶
A	۳	۰/۰۴۳	۱	۵	۵
S	۲	۰/۱۳۷	۱/۶۷	۲/۷۳	۲/۷۳
T	۱	۰/۱۱۴	۱/۵	۱	۱
I	۵	۰/۰۸۷	۱/۳۱	۱	۱
C	۳	۰/۱۹۲	۲/۰۶	۲/۳	۲/۳

جدول ۴. ضرایب وزنی بهینه‌شده با روش آماری ساده (SS) و الگوریتم ژنتیک (GA) در مدل سینتکس و ویلکوکسن

Parameter	Typical SINTACS weight	SINTACS-WRST-SS		SINTACS-WRST-GA	
		Spearman's correlation coefficient	Modified weighting coefficient	Modified weighting coefficient	Modified weighting coefficient
D	۵	۰/۶۳۷	۵	۵	۵
R	۴	۰/۱۷۹	۱/۹۱	۳/۹۶	۳/۹۶
A	۳	۰/۰۴۳	۱	۵	۵
S	۴	۰/۲۲۲	۲/۲	۲/۷۳	۲/۷۳
T	۲	۰/۱۰۶	۱/۴۲	۱	۱
I	۵	۰/۰۸۷	۱/۲۹	۱	۱
C	۳	۰/۲۴۶	۲/۳۶	۲/۳	۲/۳

## نتایج

شد. در این مدل ۲/۸۶، ۴/۸۳، ۴۴/۳۴، ۴۲/۱۵، ۵/۷۹ درصد از منطقه به‌ترتیب آسیب‌پذیری بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد دارد. با توجه به اینکه در دشت شبستر کشاورزی رونق فراوانی دارد و از کودهای حیوانی و نیتراسته استفاده زیادی می‌شود، برای صحت‌سنجی مدل دراستیک و سینتکس از داده‌های غلظت نیترات در ۶۶ نقطه نمونه‌گیری در منطقه مطالعه‌شده استفاده شد. ضریب تعیین بین شاخص دراستیک و شاخص سینتکس با غلظت نیترات به‌ترتیب برابر ۰/۱۵ و ۰/۰۸ محاسبه شد. این نتایج نشان می‌دهد مدل دراستیک نسبت به مدل سینتکس برای منطقه مطالعه‌شده بهتر بوده است. با توجه به اینکه رتبه‌های داده‌شده در هر دو مدل کارشناسانه انتخاب شده‌اند، برای بهبود رتبه‌ها در هر دو مدل آسیب‌پذیری از روش ویلکوکسن استفاده شد. برای بهینه‌سازی وزن‌های داده‌شده به پارامترهای مؤثر در مدل دراستیک و سینتکس نیز از روش آماری ساده و الگوریتم ژنتیک استفاده شد. در نهایت، مدل‌های مختلف بهینه‌شده از مدل‌های دراستیک و سینتکس ساخته شدند. صحت‌سنجی مدل‌های بهینه‌شده نیز با غلظت نیترات صورت گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از این صحت‌سنجی در جدول ۵ آورده شده

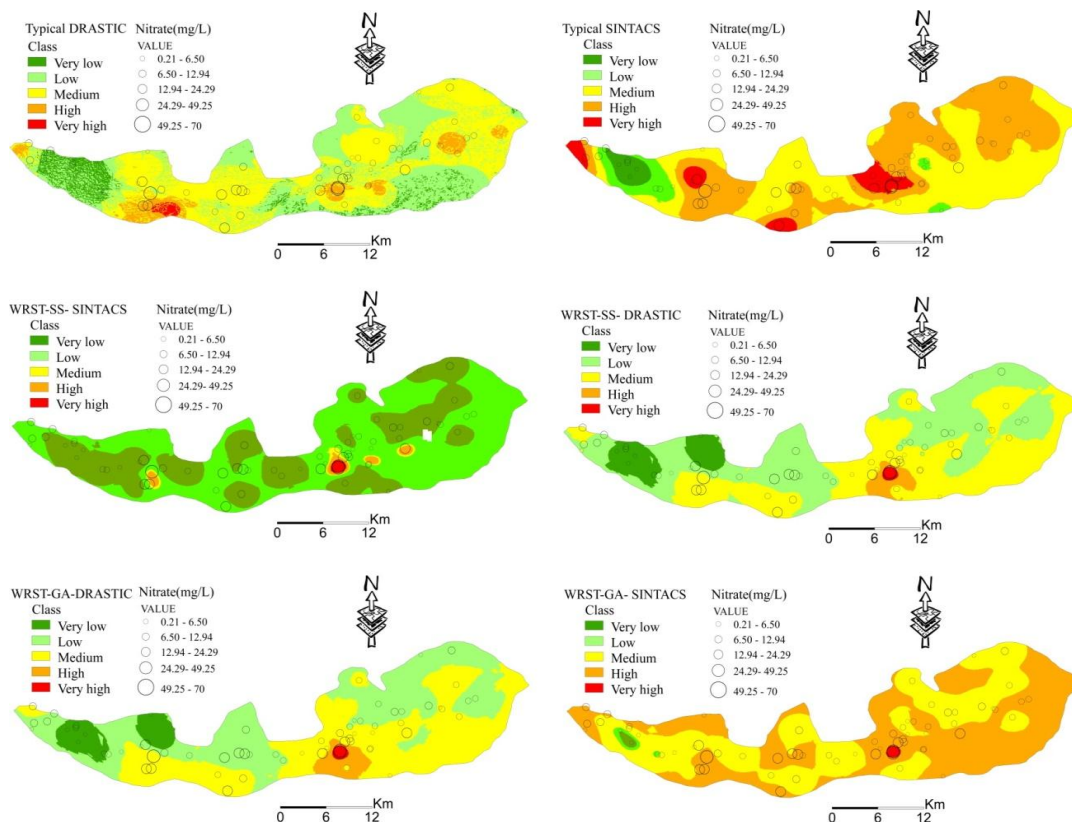
در مطالعه حاضر از دو روش دراستیک و سینتکس برای ارزیابی آسیب‌پذیری دشت شبستر استفاده شده است. با همپوشانی ۷ لایه مؤثر در مدل دراستیک و اعمال ضرایب وزنی ۵، ۴، ۳، ۲، ۱، ۵ و ۳ به‌ترتیب برای عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، محیط غیر اشباع، هدایت هیدرولیکی میزان شاخص آسیب‌پذیری دراستیک ۵۳/۳-۱۱۸/۳ برآورد شد. شاخص دراستیک براساس تقسیم‌بندی پیشنهادی هوآن در سال ۲۰۱۲ به پنج منطقه با آسیب‌پذیری بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تقسیم شد [۲۶] که به‌ترتیب ۶/۷۹، ۳۹/۱۱، ۴۷/۶۵، ۶/۰۲ و ۰/۶ درصد از آبخوان دشت شبستر را شامل می‌شود. مدل سینتکس مشتق‌شده از مدل دراستیک است با این تفاوت که رتبه‌های داده‌شده در آن انعطاف بیشتری دارد و وزن پارامترهای عمق آب زیرزمینی، تغذیه، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، محیط غیر اشباع، هدایت هیدرولیکی به‌ترتیب برابر ۵، ۴، ۳، ۴، ۲، ۵، ۳ است. در این مدل نیز با همپوشانی و تلفیق ۷ لایه مؤثر و استفاده از رابطه ۲، میزان شاخص آسیب‌پذیری سینتکس ۷۸-۱۴۱ محاسبه

مدل بهتر از مدل دراستیک صورت گرفته است. مدل بهینه‌شده سینتکس-ویلکوکسن-الگوریتم ژنتیک با داشتن بیشترین ضریب تعیین نسبت به سایر مدل‌های بهینه‌شده نتیجه بهتری داشته است و براساس این مدل ۰/۴۵، ۰/۶۴، ۴۴/۱۲، ۵۴/۳۸ و ۰/۳۸ درصد از منطقه مطالعه‌شده در محدوده با آسیب‌پذیری بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد قرار می‌گیرد. نقشه آسیب‌پذیری مدل‌های مختلف دراستیک و سینتکس در شکل ۴ نشان داده شده است.

جدول ۵. ضریب همبستگی در مدل‌های مختلف دراستیک و سینتکس

Model	$R^2$
Typical DRASTIC	۰/۱۵
WRST-SS-DRASTIC	۰/۳۹
WRST-GA-DRASTIC	۰/۴
Typical SINTACS	۰/۰۸
WRST-SS-SINTACS	۰/۴۴
WRST-GA-SINTACS	۰/۴۶

است. براساس جدول ۵ می‌توان نتیجه گرفت که تمامی مدل‌های بهینه‌سازی در افزایش ضریب تعیین، کارآمد بوده‌اند. مدل بهینه‌شده دراستیک-ویلکوکسن-الگوریتم ژنتیک (DRASTIC-WRST-GA) با  $R^2 = 0/4$  بهتر از مدل دراستیک-ویلکوکسن-آماري ساده (DRASTIC-WRST-SS) با  $R^2 = 0/39$  و مدل دراستیک اصلی (Typical DRASTIC) با  $R^2 = 0/15$  بوده است. همچنین، مدل‌های بهینه‌شده سینتکس-ویلکوکسن-الگوریتم ژنتیک (SINTACS-WRST-GA) و سینتکس-ویلکوکسن-آماري ساده (SINTACS-WRST-SS) و مدل سینتکس اولیه (Typical SINTACS) با داشتن ضرایب تعیین به‌ترتیب ۰/۴۴، ۰/۴۶ و ۰/۰۸ نشان می‌دهند مدل سینتکس-ویلکوکسن-الگوریتم ژنتیک در منطقه مطالعه‌شده نتیجه بهتری داشته است. با مقایسه ضریب تعیین مدل‌های بهینه‌شده دراستیک و سینتکس نیز می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های بهینه‌شده سینتکس نسبت به مدل‌های بهینه‌شده ضریب تعیین بالاتری داشته‌اند، زیرا انعطاف رتبه‌ها در مدل سینتکس بیشتر بوده و در نتیجه بهینه‌سازی رتبه‌ها در این



شکل ۴. نقشه‌های آسیب‌پذیری اصلی و بهینه‌شده در مدل‌های دراستیک و سینتکس

## بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر، ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت شبستر به روش دراستیک و سینتکس و سپس بهینه‌سازی رتبه‌ها و وزن‌های این دو مدل بوده است. شاخص آسیب‌پذیری دراستیک در دشت شبستر ۵۳/۳-۱۱۸/۳ محاسبه شد و براساس این مدل ۶/۷۹، ۳۹/۱۱، ۴۷/۶۵، ۶/۰۲ و ۰/۶ درصد از منطقه مطالعه‌شده به ترتیب در محدوده آسیب‌پذیری بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد قرار می‌گیرد. براساس مدل سینتکس شاخص آسیب‌پذیری برابر ۷۸-۱۴۱ به دست آمد و براساس این مدل محدوده‌های با آسیب‌پذیری بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد به ترتیب ۲/۸۶، ۴/۸۳، ۴۴/۳۴، ۴۲/۱۵، ۵/۷۹ درصد از منطقه مطالعه‌شده را در بر می‌گیرد. ضریب تعیین بین غلظت نیترات و شاخص دراستیک و سینتکس به ترتیب برابر ۰/۱۵ و ۰/۰۸ به دست آمد که نشان‌دهنده توانایی بیشتر مدل دراستیک نسبت به مدل سینتکس در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت شبستر است. با توجه به اینکه مقادیر و ضرایب وزنی در دو مدل دراستیک و سینتکس تا حدودی سلیقه‌ای و کارشناسانه است، روش ویلکوکسن برای بهینه‌سازی مقادیر و روش آماری ساده و الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی وزن‌ها استفاده شد. مدل‌های بهینه‌شده دراستیک-ویلکوکسن-آماری، دراستیک-ویلکوکسن-الگوریتم ژنتیک، سینتکس-ویلکوکسن-آماری و سینتکس، ویلکوکسن-ژنتیک با داشتن ضرایب تعیین به ترتیب ۰/۳۹، ۰/۴، ۰/۴۴ و ۰/۴۶ نشان می‌دهند تمامی مدل‌های بهینه‌شده با افزایش ضریب تعیین اولیه نتیجه قابل قبولی داشته‌اند. از بین این مدل‌ها، مدل سینتکس-ویلکوکسن-الگوریتم ژنتیک با داشتن بیشترین ضریب تعیین، عملکرد بهتری نسبت به دیگر مدل‌ها داشته است و براساس آن ۰/۴۵، ۰/۶۴، ۴۴/۱۲، ۵۴/۳۸ و ۰/۳۸ درصد از منطقه مطالعه‌شده به ترتیب در محدوده آسیب‌پذیری بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد قرار می‌گیرد.

## منابع

- [1]. Kazakis N, Konstantions SV. Groundwater vulnerability and pollution risk assessment of porous aquifers to nitrate: Modifying the Drastic method using quantitative parameters. *Journal of Hydrology*. 2015;525:13-25.
- [2]. Patrikaki O, Kazakis N, Voudouris K. Vulnerability map: a useful tool for groundwater protection: an example from Mouriki Basin, North Greece. *Fresenius Environ. Bull.* 2012; 21(8c): 2516-2521.
- [3]. Vrba J, Zoporotec A. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. *International Contributions to Hydrogeology*. Verlag Heinz Heise GmbH and Co. KG.1994.
- [4]. Stigter T, Riberio L, Carvalho Dill A. Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinization and nitrate contamination level in two agriculture regions in the south of Portugal. *Hydrogeol J*. 2006; 14:79-99.
- [5]. Almasri M.N. Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza costal aquifer. *Jornal of Environmental Management*. 2008; 88(4): 577-593.
- [6]. Babiker I S, Mohamed M M A, 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; 345:127-140.
- [7]. Hamza M. H, Added A, Rodriguez R, Abdeljaoued S, Ben Mammou A. GIS-based DRASTIC vulnerability and net recharge reassessment inan aquifer of a semi-arid region (Metline-Ras Jebel-RafRaf aquifer, Northern Tunisia). *Journal of Environmental Management*. 2007; 84: 12-19.
- [8]. Gogu R.C, Dassargues A. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. *Environmental geology*. 2000; 39(6): 549-559.
- [9]. HarterT, Walker L. Assessing vulnerability of groundwater. *US Natural Resources Conservation Service*. 2001.
- [10]. Asghari Moghaddam A, Fijani E, Nadiri A. Optimization of DRASTIC model by artificial intelligence for groundwater vulnerability assessment in Maragheh- Bonab plain. *Journal of Geoscience*. 2015; 94:169-176 (In Persian).
- [11]. Panagopoulos G, Antonakos A, Lambrakis N. Optimization of DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment, by the use of simple statistical methods and GIS. *Hydrogeology Journal*. 2006; 14:894-911.
- [12]. Secunda S, Collin ML, Melloul AJ. Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region. *Journal of Environmental Management*. 1998; 54:39-57.

- [13]. McLay CDA, Dragten R, Sparling G, Selvarajah N. Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches. *Environmental Pollutants*. 2001; 115:191-204.
- [14]. Fijani E, Nadiri A, Asghari Moghaddam A, Tsai F & Dixon B. Optimization of DRASTIC Method by Supervised Committee Machine Artificial Intelligence to Assess Groundwater Vulnerability for Maragheh-Bonab Plain Aquifer, Iran. *Journal of hydrology*. 2013, 530, 89-100.
- [15]. Nadiri A.A, Sedghi Z, Khatibi R, Sadeghfam S., Mapping Specific Vulnerability of multiple confined and unconfined aquifers by using artificial intelligence to learn from multiple DRASTIC frameworks. *Journal of Environmental Management*, 2018. 415-428.
- [16]. Nadiri A.A, Gharekhani M, Khatibi R. Mapping Aquifer vulnerability Indices using Artificial Intelligence-running Multiple Frameworks (AIMF) With Supervised and unsupervised Learning, *Water resource Management*, 2018. 3023-3040.
- [17]. 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; 95:211-222 (In Persian).
- [18]. Hamamin D.F & Nadiri A.A. Supervised Committee Fuzzy logic model to assess groundwater intrinsic vulnerability in multiple aquifer systems. *Arabian Journal of Geoscience*, 2018. 1-14.
- [19]. Aller L, Bennett T, Lehr J.H, Petty R.J, Hackett G. DRASTIC: A Standardized System For Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting, EPA 600/2-87-035. U.S. Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma. 1987.
- [20]. Civita M. *Legenda unificata per le Carte della vulnerabilita dei corpi idrici sotterranei/ Unified legend for the aquifer pollution vulnerability Maps, Studi sulla Vulnerabilita degli Acquiferi*. Pitagora Edit, Bologna. 1990.
- [21]. Wilcoxon, Frank (1945) Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin*. 1 (6): 80-83. doi:10.2307/3001968.
- [22]. Ahmadi J, Akhondi L, Abbasi H, Khashei-Siuki A, Alimadadi M. Determination of aquifer vulnerability using DRASTIC model and a single parameter sensitivity analysis and acts and omissions (Case Study: Salafchegan-Neyzar Plain). *J of Water and Soil Conservation*. 2013; 20(3): 1-25.
- [23]. Samey A. A and C.Gang. A GIS Based DRASTIC Model for the Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution in West Mitidja: Blida City, Algeria. *Research Journal of Applied Sciences*. 2008; 3(7): 500-507
- [24]. Jafari SM, Nikoo MR. Groundwater risk assessment based on optimization framework using DRASTIC method. *Arab J Geosci*. 2016; 9:742, 7-14.
- [25]. Piscopo G. Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW, Department of Land and Water Conservation, Australia. 2001.
- [26]. Huan H, Wang J, Teng Y. Assessment and validation of groundwater vulnerability to nitrate based on a modified DRASTIC model: A case study in Jilin City of northeast china, *Sci Total Environ*. 2012. 440:14-23.