



## بررسی ریسک آلودگی آبخوان دشت سلماس با استفاده از روش DRASTIC-L بهینه شده با الگوریتم ژنتیکی

مریم قره‌خانی<sup>۱</sup>، عطااله ندیری<sup>۲</sup>، اصغر اصغری مقدم<sup>۳</sup>، سینا صادق‌فام<sup>۴</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳

مقاله پژوهشی

### چکیده

نیترا تری یکی از شایع‌ترین آلاینده‌های منابع آبی است که از کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و یا فاضلاب‌های خانگی و صنعتی منشأ می‌گیرد و موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. آبخوان دشت سلماس به علت رونق کشاورزی در منطقه در معرض خطر آلودگی نیترا تری قرار دارد. لذا ارزیابی ریسک آلودگی این آبخوان نسبت به آلاینده نیترا تری و تعیین مناطق در معرض خطر امری ضروری می‌باشد. در این پژوهش ریسک آلودگی آبخوان دشت سلماس با استفاده از روش DRASTIC-L و سرعت جریان آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش بعد از تهیه هشت لایه رستری روش DRASTIC-L و سپس بهینه‌سازی وزن‌های پارامترها با استفاده از الگوریتم ژنتیکی، نقشه آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلاینده نیترا تری بدست آمد. در نهایت نقشه ریسک آلودگی نیترا تری از حاصل ضرب آسیب‌پذیری آبخوان در سرعت جریان آب زیرزمینی حاصل شد. نتایج نشان داد که ریسک آلودگی آبخوان نسبت به آلاینده نیترا تری در قسمت‌های غربی آبخوان بالا می‌باشد و در قسمت‌های شرقی و مرکزی آبخوان، ریسک آلودگی خیلی کم است.

واژه‌های کلیدی: آبخوان سلماس، آسیب‌پذیری، الگوریتم ژنتیکی، ریسک آلودگی، نیترا تری.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز،  
m.gharekhani90@gmail.com ، ۰۹۱۴۸۳۹۴۰۰۲

<sup>۲</sup> دکتری هیدروژئولوژی، دانشیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ۰۹۱۴۳۰۰۳۷۲۵ ، nadiri.ata@gmail.com  
(نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup> دکتری هیدروژئولوژی، استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ۰۹۱۴۱۱۲۰۸۶۱ ، moghaddam@tabrizu.ac.ir

<sup>۴</sup> دکتری مهندسی آب، استادیار گروه آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه مراغه، ۰۹۱۴۴۱۹۰۹۹۶ ، s.sadeghfam@gmail.com

## مقدمه

آب‌های زیرزمینی به عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی تأمین آب شیرین در بسیاری از مناطق جهان توسط منابع آلودگی مختلف مانند استفاده بیش از حد از سموم دفع آفات و کودهای شیمیایی، تخلیه فاضلاب‌های خانگی تصفیه نشده و فاضلاب‌های صنعتی و یا فعالیت‌های دیگر آلوده شده است. بخصوص، استفاده طولانی مدت از کود و سموم دفع آفات منجر به افزایش آلودگی توسط نیترات در مناطق کشاورزی شده است (Neshat et al., 2015).

ارزیابی ریسک یک روش مهم در مورد تصمیم‌گیری‌های مرتبط با مدیریت مؤثر مناطق در معرض خطر آلودگی است. منابع آلودگی و آسیب‌پذیری ذاتی دو عامل اصلی در روش ارزیابی ریسک هستند. با این حال، روش‌های بکار برده شده برای ارزیابی این دو عامل اصلی ممکن است به علت منابع آلودگی و شرایط هیدروژئولوژیکی مختلف از جایی به جای دیگر متفاوت باشد. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط مختلف دنیا انجام شده است که می‌توان آنها را به سه دسته کلی تقسیم کرد: الف) استفاده منفرد از هر یک از روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری از جمله روش‌های GODS، SI، SINTACS، DRASTIC، AVI (گنجی خرم دل و شمس، ۱۳۹۷؛ یزدانی و منصوریان، ۱۳۹۸)، ب) بهینه‌سازی وزن‌ها و رتبه‌ها با استفاده از روش‌ها و مدل‌های مختلف (Bai et al., 2016; Jafari and Nikoo, 2012)، ج) ترکیب روش‌ها و مدل‌های مختلف ارزیابی آسیب‌پذیری به صورت نظارت شده و غیر نظارت شده (Nadiri et al., 2017). در زمینه ارزیابی ریسک آلودگی نیز مطالعات متعددی بر اساس روش "منبع-مسیر-هدف" انجام گرفته است (Nobre et al., 2007; Baalousha, 2011). علاوه بر این، روش‌های دیگری نیز برای ارزیابی ریسک بکار گرفته شده است مثلاً Wang و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی ریسک آلودگی آب زیرزمینی را با ترکیب نقشه‌های خطر، آسیب‌پذیری ذاتی و ارزش آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. Neshat و همکاران (۲۰۱۵) به منظور مشخص کردن ریسک آلودگی آب زیرزمینی در یک منطقه

کشاورزی در دشت کرمان، روش جدیدی را با تلفیق نقشه آسیب‌پذیری و احتمال وقوع آلودگی با توجه به عدم قطعیت به کار بردند. محققین برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری از روش DRASTIC اصلاح شده با آزمون آماری ویلکاکسن و نیز آنالیز حساسیت تک پارامتری استفاده کردند. Sajedi-Hosseini و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی ریسک آلودگی آب زیرزمینی نسبت به نیترات را با ارائه یک چارچوبی که ترکیبی از تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی و آماری بود؛ برای یک منطقه خشک (دشت لنجان) بررسی کردند. Huan و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی برای ارزیابی ریسک آلودگی آب زیرزمینی مدل جامعی که ترکیبی از خطر منابع آلاینده، آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی و مقدار عملکرد آب زیرزمینی است؛ ارائه دادند. Nadiri و همکاران (۲۰۱۸b) یک روش جدید با عنوان مدل‌سازی نرم<sup>۱</sup> براساس ریسک را به منظور شناسایی آنومالی‌های آرسنیک ارائه دادند. محققین برای این منظور یک سیستم ریسک را در نظر گرفتند که دارای اجزای منشاء - منبع - مسیر - دریافت کننده - نتایج (OSPRC) است. در پژوهش دیگری Nadiri و همکاران (۲۰۱۸c) مسئله ریسک کل را برای آبخوان‌هایی که در معرض آلودگی با منشاء زمین‌زاد و انسان‌زاد است؛ معرفی کردند.

در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن آسیب‌پذیری آبخوان، مقادیر آلاینده نیترات و سرعت جریان آب زیرزمینی ریسک آلودگی آبخوان دشت سلماس نسبت به آلاینده نیترات مورد بررسی قرار گرفته است.

## منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه آبخوان دشت سلماس است که در محدوده استان آذربایجان غربی قرار گرفته است. این منطقه از غرب به کشور ترکیه، از شرق به دریاچه ارومیه، از شمال به شهرستان خوی و از جنوب به شهرستان ارومیه محدود می‌گردد. دشت سلماس در حوضه آبریز رودخانه زولا قرار دارد و مساحت دشت سلماس در حدود ۵۵۰ کیلومتر مربع است. رودخانه زولا اصلی‌ترین رودخانه

<sup>۱</sup> Soft modelling



روش "منبع-مسیر-هدف" است که در این روش ریسک آلودگی آب زیرزمینی به این عوامل وابسته است:

- ۱- خطر ایجاد شده توسط فعالیت یک آلاینده بالقوه (معادل منبع)، ۲- آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلودگی (معادل مسیر)، ۳- پیامدهای احتمالی یک آلودگی برای آب زیرزمینی (معادل هدف) (Nobre et al., 2007).

در این پژوهش نیز ریسک آلودگی آبخوان براساس روش "منبع-مسیر-هدف" انجام گرفته است با این تفاوت که در بخش هدف، به حرکت آلودگی در آبخوان پرداخته شده است و به نوعی نوآوری پژوهش حاضر است. برای این منظور بعد از تعیین منبع و آسیب‌پذیری آبخوان (مسیر)، نقشه ریسک آلودگی از حاصل ضرب آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلاینده نیترات در سرعت جریان آب زیرزمینی حاصل شده است.

برای تعیین آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان از روش DRATIC که نوعی روش هم‌پوشانی و شاخص است استفاده شده است و برای تأثیر منبع آلودگی نیترات در آبخوان، پارامتر کاربری اراضی به عنوان یک پارامتر دیگر به پارامترهای روش دراستیک اضافه شده است و در نتیجه آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلاینده نیترات با استفاده از روش DRATIC-L تعیین شده است.

### آسیب‌پذیری آبخوان

یکی از رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان در سراسر جهان، روش DRATIC است که توسط Aller و همکاران ارائه شده است (Aller et al., 1987). در این پژوهش برای تعیین آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلاینده نیترات علاوه بر هفت پارامتر روش دراستیک که شامل عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی یا شیب سطح زمین (T)، محیط غیر اشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) است؛ از پارامتر کاربری اراضی که به نوعی در منبع آلودگی نیترات

در محدوده مطالعاتی سلماس است که از ارتفاعات ترکیه سرچشمه می‌گیرد و به سمت شرق محدوده و دریاچه ارومیه جریان دارد. اقلیم منطقه از نوع نیمه خشک سرد است و متوسط بارش سالانه در منطقه ۲۶۴ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (مهندسی مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۹۳).

از نظر هیدروژئولوژیکی، سازندهای آهکی و آبرفت‌های منطقه که دارای خاصیت نفوذپذیری هستند از اهمیت فراوان برخوردارند و باعث نفوذ نزولات جوی به زمین می‌شود.

در منطقه مورد مطالعه کشاورزی و باغداری به دلیل حاصلخیزی خاک منطقه و نیز وجود منابع آبی غنی در این دشت نسبت به سایر دشت‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه توسعه زیادی پیدا کرده است. همین امر نیز سبب نفوذ آلاینده نیترات به آبخوان سلماس شده است. نیترات در آب زیرزمینی عمدتاً ناشی از ورود فاضلاب‌های شهری، روستایی و صنعتی، استفاده از فضولات حیوانی و کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی است.

### مواد و روش‌ها

#### ریسک آلودگی

ریسک آلودگی منابع آب، با دو ویژگی جداگانه آسیب‌پذیری محیط فیزیکی و بار آلودگی یا خطر ناشی از فعالیت انسانی، تعریف می‌شود و در بیشتر روش‌های ارزیابی، ریسک آلودگی منابع آب با این دو پارامتر در معادلات مطرح می‌شوند. روش‌های موجود برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی را می‌توان در سه دسته طبقه‌بندی کرد: (۱) روش‌های هم‌پوشانی و شاخص، (۲) روش‌های مبتنی بر فرایندهای فیزیکی، و (۳) مدل‌های آماری (Nobre et al., 2007). در مقایسه با ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی، روش‌های معمول کمی وجود دارد که برای ارزیابی منبع آلودگی استفاده شده است که می‌تواند به تنوع انواع منبع آلودگی، مقیاس‌ها و انواع آلودگی‌های مرتبط و تصادفی بودن حوادث آلودگی مربوط باشد.

مفهوم ارزیابی ریسک آلودگی آب زیرزمینی بر اساس

$$X_i^n = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

$$X_i^n = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

### الگوریتم ژنتیکی

الگوریتم ژنتیکی، الهام گرفته از علم ژنتیک و نظریه تکامل داروین است و بر اساس بقای برترین‌ها یا انتخاب طبیعی استوار است. کاربرد متداول الگوریتم ژنتیکی، استفاده از آن به عنوان بهینه‌ساز است. الگوریتم‌های ژنتیکی معمولاً برای ایجاد راه‌حل‌های با کیفیت بالا به منظور بهینه‌سازی و حل مسائل پیچیده با استفاده از عملگرهای الهام گرفته از سیستم زیستی مثل جهش، تقاطع یا ترکیب مجدد و انتخاب مورد استفاده قرار می‌گیرند (Brookes, 2001). گام‌های حل مسئله توسط الگوریتم ژنتیکی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد: ۱- مرحله ابتدایی یا اولیه: در این مرحله جمعیت کروموزوم‌ها به عنوان نقطه شروع فرآیند انتخاب می‌شود. ۲- شایستگی و درستی: هر کروموزوم با تابع برازش که توسط کاربر تعریف شده ارزیابی می‌شود. ۳- ایجاد یک جمعیت جدید: تولید یک جمعیت جدید با در نظر گرفتن عملگرهای انتخاب، ترکیب مجدد، جهش و پذیرش. ۴- جایگزینی: جمعیت جدید جایگزین جمعیت قبلی می‌شود. این فرایندها تا جایی ادامه می‌یابد که بهترین جواب در دو نسل متوالی تغییر نکند و یا به عبارتی بهبودی در جمعیت جدید مشاهده نشود و یا دارای تغییر بسیار کمی باشد.

در این پژوهش، از الگوریتم ژنتیکی به منظور بهینه‌سازی وزن پارامترهای روش DRASTIC-L استفاده شده است. متغیرهای تصمیم مسأله، وزن‌های مربوط به هشت پارامتر روش DRASTIC-L است. تابع هدف مدل بهینه‌سازی، بر اساس رابطه ۴ است که با بیشینه کردن این تابع که در واقع با افزایش میزان ضریب همبستگی بین شاخص آسیب‌پذیری و غلظت نیترات همراه است؛ وزن‌های مناسب و بهینه پارامترهای روش DRASTIC-

تأثیر دارد؛ استفاده شده است. در روش DRASTIC-L بکار برده شده بعد از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از هشت پارامتر ذکر شده، شاخص آسیب‌پذیری براساس رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

$$DI(x, y) = \sum_{i=1}^8 W_i R_i(x, y) \quad (1)$$

$W_i$  و  $R_i$  در رابطه فوق به ترتیب وزن و رتبه‌های مربوط به هر یک از هفت پارامتر است.

سادگی روش DRASTIC نقطه قوت این روش است اما این روش ضعف‌هایی نیز دارد، مثلاً اعمال قضاوت مهندسی در وزن‌دهی و رتبه‌دهی و نیز عدم قطعیتی که در نتیجه رده‌بندی و رتبه‌دهی ایجاد می‌شود. در همین راستا در این پژوهش به جای وزن‌دهی بر اساس نظر کارشناسی از الگوریتم ژنتیکی و به جای رتبه‌بندی هر پارامتر و اعمال رتبه از روش نرمال‌سازی مستقیم و معکوس استفاده شده است (Nadiri et al., 2018c). بدین صورت پارامترهایی که رابطه مستقیم با مقدار غلظت نیترات داشتند؛ یعنی با افزایش یا کاهش یک پارامتر احتمال رسیدن نیترات به آبخوان نیز افزایش یا کاهش یابد از جمله پارامترهای تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، محیط غیر اشباع، هدایت هیدرولیکی و کاربری اراضی که برای نرمال‌سازی این پارامترها از رابطه ۲ استفاده گردید و پارامترهایی که رابطه معکوس با مقدار نیترات دارند به این صورت که با افزایش یک پارامتر احتمال رسیدن نیترات به آبخوان کاهش یابد و بالعکس، که برای نرمال‌سازی چنین پارامترهایی از جمله عمق آب زیرزمینی و توپوگرافی از رابطه ۳ استفاده گردید. بدین ترتیب بعد از نرمال‌سازی و بهینه‌سازی وزن‌ها با استفاده از روش الگوریتم ژنتیکی، شاخص آسیب‌پذیری عددی بین صفر و یک بدست می‌آید که کمترین و بیشترین شاخص آسیب‌پذیری را نشان می‌دهند. رتبه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری به صورت آسیب‌پذیری خیلی کم (۰/۰-۰/۲)، کم (۰/۲-۰/۴)، متوسط (۰/۴-۰/۶)، زیاد (۰/۶-۰/۸) و خیلی زیاد (۰/۸-۱) خواهد بود.



$$R = \left( S_y \times \frac{\Delta h}{\Delta t} \right) \pm \text{Pumping} \quad (5)$$

در رابطه فوق  $R$  نرخ تغذیه،  $S_y$  آبدهی ویژه (ضریب ذخیره)،  $\Delta h$  تغییرات سطح آب،  $\Delta t$  تغییرات زمان و Pumping میزان برداشت از آبخوان می‌باشد.

محیط آبخوان: منظور از محیط آبخوان، جنس رسوبات بخش اشباع آبخوان می‌باشد. هر چقدر رسوبات درشت دانه باشند؛ امکان انتقال آلاینده‌ها بیشتر است.

برای تهیه لایه محیط آبخوان از اطلاعات جنس رسوبات ۲۴ مقطع حفاری چاه‌های مشاهده‌ای موجود در منطقه استفاده شده است. جنس مواد تشکیل دهنده مواد آبخوان دشت سلماس بیشتر از شن، ماسه، رس، سیلت و یا ترکیبی از این‌ها تشکیل شده است. لایه محیط آبخوان بر حسب نسبت جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان در هر کدام از چاه‌ها (از سطح ایستابی تا سنگ کف)، یک ارزش عددی بین ۱ (رسوبات ریزدانه) تا ۱۰ (رسوبات درشت دانه) اختصاص داده شد. سپس برای این لایه اطلاعات نقطه‌ای در محیط نرم افزار ArcGIS به روش کریجینگ معمولی درون‌یابی انجام گرفت و به این ترتیب لایه محیط آبخوان تهیه گردید (شکل ۱-ج).

محیط خاک: این بخش، قسمت بالایی منطقه غیراشباع است که تا حد نفوذ ریشه گیاهان یا فعالیت موجودات ارگانیکی ادامه دارد. در خاک‌های با بافت درشت دانه به علت نفوذپذیری بالا احتمال انتقال آلاینده به آبخوان بیشتر است و بر عکس در خاک‌های با بافت ریزدانه کمتر است.

برای تهیه لایه خاک منطقه به دلیل کمبود اطلاعات از وضعیت خاک منطقه، از اطلاعات جنس رسوبات قسمت بالایی (۲ متر بالایی) مقاطع حفاری چاه‌های مشاهده‌ای موجود در منطقه استفاده گردید. سپس همانند روش تهیه لایه محیط آبخوان، لایه محیط خاک نیز براساس بافت ریزدانه یا درشت دانه خاک ارزش‌گذاری انجام گرفت و بعد از درون‌یابی به روش کریجینگ عمومی<sup>۲</sup> (UK) و تبدیل به فرمت رستری، لایه محیط خاک ایجاد شد (شکل ۱-د).

$L$  را محاسبه می‌کند. همچنین قيود استفاده شده بین ۰/۱ تا ۰/۵ می‌باشد.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})(N_i - \bar{N})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}} \quad (4)$$

در رابطه فوق  $F$  تابع هدف مسئله بهینه‌سازی،  $V_i$  شاخص آسیب‌پذیری مربوط به نقطه  $i$  میانگین شاخص‌های آسیب‌پذیری،  $N_i$  غلظت نیترات در نقطه  $i$  میانگین غلظت نیترات و  $n$  تعداد داده است.

### تهیه لایه‌های روش DRASTIC-L

توصیفات مربوط به هر یک از هشت پارامتر روش DRASTIC-L و نحوه تهیه نقشه‌ها یا لایه‌های اطلاعاتی مربوطه در ادامه شرح داده شده است.

عمق آب زیرزمینی: این پارامتر نشان‌دهنده فاصله بین سطح زمین و سطح ایستابی است. هر چه عمق آب زیرزمینی کمتر باشد احتمال رسیدن آلودگی به سطح ایستابی و خطر آلودگی آبخوان بیشتر است.

برای ایجاد لایه رستری عمق آب زیرزمینی از اطلاعات عمق آب ۴۱ پیزومتر موجود در منطقه مطالعاتی برای سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ استفاده گردید. داده‌های عمق آب در محیط نرم‌افزار ArcGIS به روش کریجینگ معمولی<sup>۱</sup> (OK) درون‌یابی شد و سپس به قالب فایل رستری تبدیل گردید و لایه عمق آب بدست آمد (شکل ۱-الف).

تغذیه خالص: تغذیه، مقدار آبی است که از سطح زمین نفوذ می‌کند و به سطح ایستابی می‌رسد. هر چه مقدار تغذیه بیشتر باشد آلاینده‌های بیشتری را از سطح زمین شسته و به آب زیرزمینی انتقال می‌دهد بنابراین با افزایش میزان تغذیه، احتمال آلودگی آبخوان افزایش می‌یابد.

برای محاسبه مقدار تغذیه آبخوان، از تغییرات حجم آب زیرزمینی آبخوان و همچنین نرخ پمپاژ از آبخوان استفاده شده است (رابطه ۵) (Nadiri et al., 2017). نقشه تغذیه تهیه شده در شکل ۱-ب نشان داده شده است.

<sup>2</sup> Universal Kriging

<sup>1</sup> Ordinary Kriging

کشاورزی می‌باشد؛ بنابراین این پارامتر به نوعی در ایجاد آلاینده تأثیر دارد.

برای تهیه نقشه کاربری اراضی از نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی استفاده شد و براساس تأثیر نوع کاربری منطقه در ایجاد آلاینده نیترات ارزش‌گذاری انجام گرفت به طوری که برای مناطق کشاورزی، بیشترین ارزش (۹) و برای زمین‌های بایر، کمترین ارزش (۴) اختصاص یافت. نقشه کاربری اراضی تهیه شده برای منطقه مطالعاتی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

**نیترات:** مقادیر غلظت یون نیترات اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه بین ۰ تا ۵۱ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. میانگین غلظت یون نیترات در نمونه‌ها برابر ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. نیترات در آب زیرزمینی عمدتاً ناشی از فاضلاب‌های شهری، روستایی و صنعتی، استفاده از فضولات حیوانی و کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی است. در شکل ۲ توزیع مقادیر نیترات در آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی نشان داده شده است.

**توپوگرافی:** پارامتر توپوگرافی یا شیب سطح زمین، زمان ماندگاری آلاینده را روی زمین نشان می‌دهد. هر چه شیب سطح زمین کمتر باشد امکان نفوذ آلاینده به زمین بیشتر می‌شود.

لایه توپوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه تهیه شده است. برای این منظور با ابزار Slope در محیط نرم‌افزار ArcGIS نقشه شیب (توپوگرافی) از نقشه DEM استخراج شده است (شکل ۱-۱).

**محیط غیراشباع:** منظور از محیط غیراشباع، جنس رسوبات بخش غیراشباع آبخوان است که حفاصل سطح ایستابی تا زیر سطح خاک را شامل می‌شود. هر چه رسوبات این قسمت درشت دانه باشند خطر آلودگی و انتقال آلاینده‌ها به آبخوان نیز بیشتر خواهد بود.

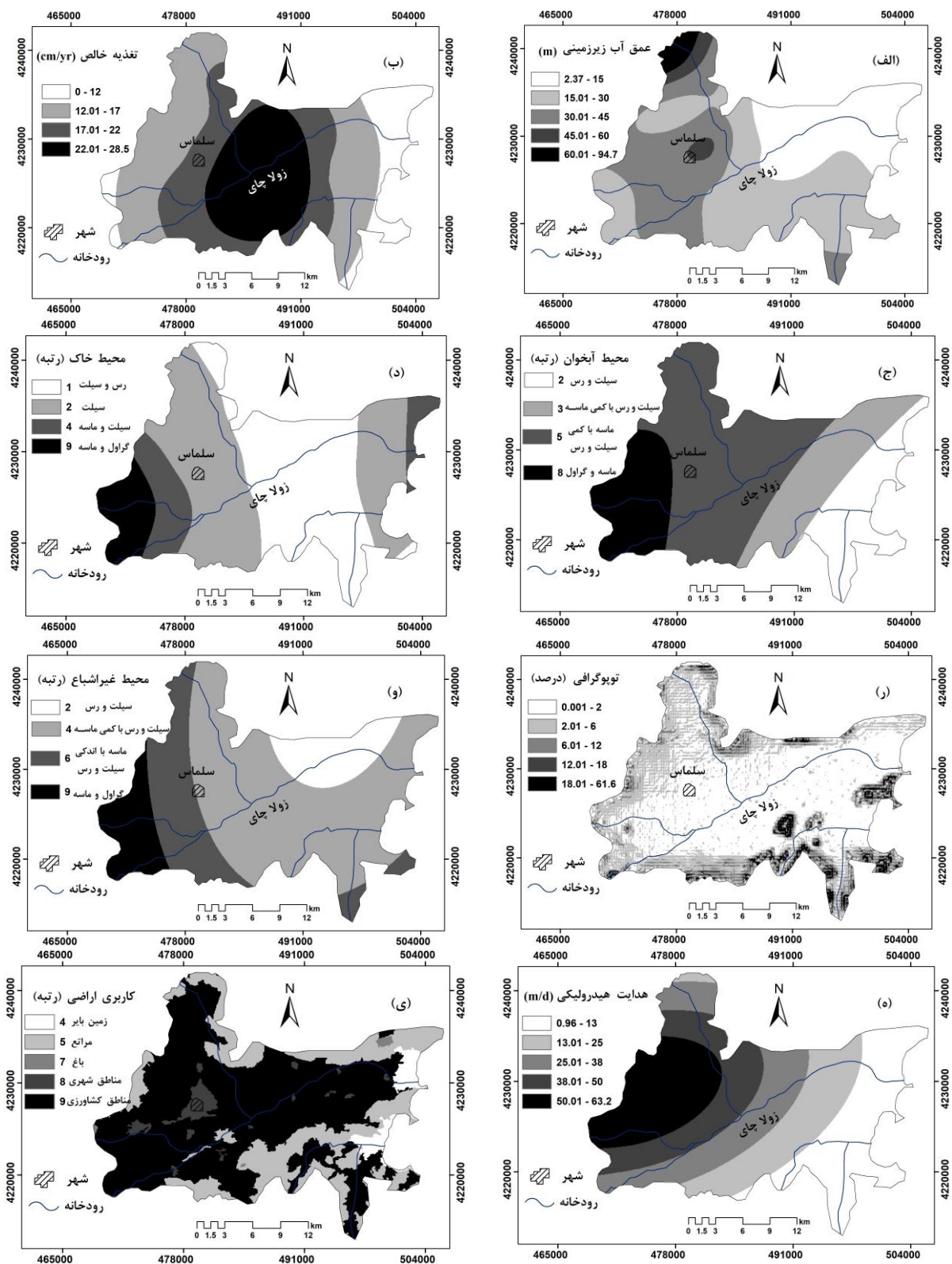
برای تهیه این لایه از مقاطع حفاری چاه‌های مشاهده‌ای موجود در منطقه منطقه استفاده شد و روشی مشابه با لایه محیط آبخوان به کار برده شده است. با این تفاوت که برای تهیه لایه محیط غیر اشباع ضخامت و جنس لایه‌های بالایی سطح ایستابی در مقاطع حفاری چاه‌ها مد نظر قرار داده شده است و همچنین روش درون‌یابی بکار برده شده از نوع کریجینگ ساده<sup>۱</sup> (SK) می‌باشد (شکل ۱-۱).

**هدایت هیدرولیکی:** سرعت حرکت و انتقال آلاینده در آبخوان توسط هدایت هیدرولیکی کنترل می‌شود. هر چه هدایت هیدرولیکی آبخوان بیشتر باشد؛ سرعت انتشار آلاینده بیشتر خواهد بود و در نتیجه آسیب‌پذیری و خطر آلودگی آبخوان نیز بیشتر می‌شود.

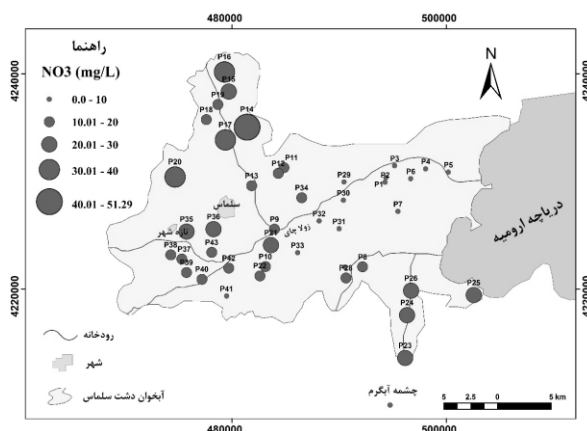
برای تخمین هدایت هیدرولیکی در منطقه مطالعاتی از مقادیر قابلیت انتقال (T) حاصل از نتایج آزمایش پمپاژ، ضخامت بخش اشباع آبخوان و نیز دانه‌بندی ذرات تشکیل‌دهنده آبخوان و درصد هریک از مواد تشکیل‌دهنده آبخوان استفاده گردید. در مرحله بعد داده‌های حاصل به روش کریجینگ معمولی درون‌یابی گردید. در نهایت نقشه رستری هدایت هیدرولیکی بدست آمد (شکل ۱-۵).

**کاربری اراضی:** با توجه به اینکه مهم‌ترین منبع نیترات ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و زمین‌های

<sup>۱</sup> Simple Kriging



شکل (۱): پارامترهای روش DRASTIC-L



شکل (۲): توزیع غلظت نیترات در آبخوان دشت سلماس

آسیب‌پذیری آبخوان سلماس در چهار گروه آسیب‌پذیری کم ( $0/2 - 0/4$ )، متوسط ( $0/4 - 0/6$ )، زیاد ( $0/6 - 0/8$ ) و خیلی زیاد ( $0/8 - 0/94$ ) قرار می‌گیرد. در ادامه به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیکی، ضریب همبستگی ( $r$ ) بین نقشه آسیب‌پذیری حاصل و مقادیر نیترات محاسبه گردید که این مقدار  $0/6$  بدست آمد. با توجه به نقشه آسیب‌پذیری تهیه شده (شکل ۳)، قسمت‌های غربی آبخوان دشت سلماس دارای حساسیت یا آسیب‌پذیری بالایی نسبت به آلاینده نیترات می‌باشد.

ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت سلماس تاکنون توسط سرچشمه و شاه‌محمدی (۱۳۹۵) و قره‌خانی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از روش DRASTIC انجام گرفته است. مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج تحقیقات انجام گرفته در این زمینه نشان می‌دهد که نتایج این پژوهش‌ها بسیار به هم نزدیک است یعنی در هر سه پژوهش انجام گرفته قسمت غربی آبخوان آسیب‌پذیری یا حساسیت بالایی نسبت به آلاینده نیترات دارد. اما در پژوهش حاضر به علت بهینه‌سازی وزن‌ها، تطابق بیشتری بین نقشه آسیب‌پذیری و نقشه توزیع نیترات نسبت به دو پژوهش قبلی وجود دارد.

## نتایج و بحث

پس از تهیه ۸ لایه مورد نیاز برای ارزیابی آسیب‌پذیری به روش DRASTIC-L که در شکل ۱ نشان داده شده، به هر کدام از این لایه‌ها بر اساس نظر کارشناسی وزنی اختصاص یافت. سپس به منظور تدقیق این وزن‌ها از الگوریتم ژنتیکی برای بهینه‌سازی وزن‌ها استفاده گردید و در نهایت از وزن‌های بهینه‌سازی شده برای محاسبه شاخص آسیب‌پذیری استفاده گردید.

در روش الگوریتم ژنتیکی بکار برده شده بعد از تعیین تابع هدف (رابطه ۴) و قید ( $0/5 < \text{وزن} < 0/1$ )، مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیکی با استفاده از آزمون و خطا تعیین گردید که مقادیر آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. سپس وزن‌های بهینه شده پارامترهای روش DRASTIC-L به روش الگوریتم ژنتیکی با بیشینه کردن تابع هدف بدست آمد که مقادیر این وزن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار وزنی که از این روش بدست آمد وزنی بین  $0/1$  تا  $0/4$  است. با قرار دادن این وزن‌های بهینه شده در رابطه ۱ شاخص آسیب‌پذیری روش DRASTIC-L حاصل شد. شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC-L نسبت به آلاینده نیترات برای دشت سلماس بین  $0/2$  تا  $0/94$  بدست آمد که بر این اساس

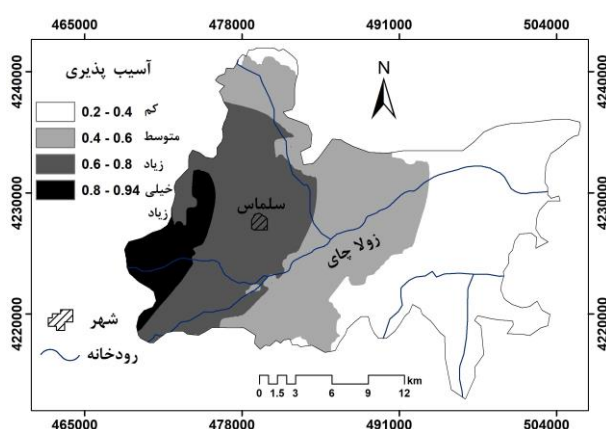


جدول (۱): پارامترهای بهینه الگوریتم ژنتیکی

جمعیت اولیه	نرخ جهش	تعداد تکرار	درصد تلفیق
۱۵۰	۰/۰۷	۳۰	۰/۰۱

جدول (۲): مقادیر وزن‌های بهینه‌سازی شده روش DRASTIC-L با استفاده از الگوریتم ژنتیکی

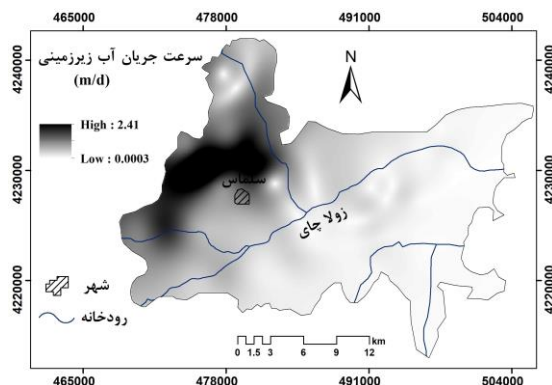
پارامتر	L	C	I	T	S	A	R	D
وزن	۰/۱	۰/۴	۰/۳۳۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵۱	۰/۰۵۲	۰/۱۰۱



شکل (۳): نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت سلماس نسبت به آلاینده نیترات

این رو سرعت جریان آب زیرزمینی از حاصل ضرب هدایت هیدرولیکی ( $K$ ) و شیب هیدرولیکی ( $I$ ) بدست آمد (شکل ۴). سرعت جریان آب زیرزمینی در قسمت‌های غرب و شمال‌غرب آبخوان بالا می‌باشد که این امر به علت بالا بودن گرادیان هیدرولیکی در این قسمت و همچنین بالا بودن هدایت هیدرولیکی در نتیجه درشت دانه بودن رسوبات این بخش می‌باشد. بنابراین در صورت وجود آلاینده در این قسمت از آبخوان، احتمال انتقال آن در آبخوان بالاست.

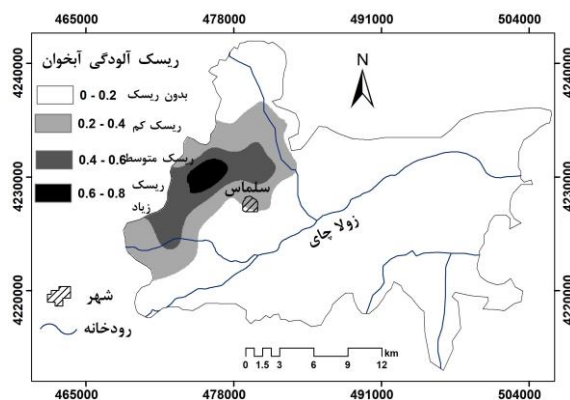
به منظور تهیه نقشه ریسک آلودگی نیترات بعد از تعیین آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به این آلاینده، لازم است که سرعت جریان آب زیرزمینی نیز محاسبه گردد. برای محاسبه سرعت جریان آب زیرزمینی از معادله دارسی ( $V=KI$ ) استفاده گردید. در معادله سرعت جریان،  $K$  هدایت هیدرولیکی می‌باشد که در شکل ۱- ه نشان داده شده است و  $I$  گرادیان یا شیب هیدرولیکی ( $\frac{dh}{dl}$ ) می‌باشد که با استفاده از نقشه تراز سطح ایستابی محاسبه گردید و مقدار آن بین  $۰/۰۰۰۰۱$  تا  $۰/۰۳۹$  بدست آمد. از



شکل (۴): نقشه سرعت جریان آب زیرزمینی

در صورت رتبه‌بندی ریسک به رتبه‌های ریسک خیلی کم (۰ - ۰/۲)، ریسک کم (۰/۲ - ۰/۴)، ریسک متوسط (۰/۴ - ۰/۶)، ریسک زیاد (۰/۶ - ۰/۸) و ریسک خیلی زیاد (۰/۸ - ۱)، مقدار ریسک آلودگی آبخوان دشت سلماس نسبت به آلاینده نیترات در بازه ۰ تا ۰/۸ می‌باشد که در بازه‌های ریسک خیلی کم تا ریسک زیاد قرار می‌گیرد. بخش اعظم آبخوان که قسمت‌های شرقی و مرکزی دشت را شامل می‌شود در معرض ریسک آلودگی خیلی کم نسبت به آلاینده نیترات قرار دارد و بخش‌هایی در قسمت غربی آبخوان در معرض ریسک آلودگی کم، متوسط و زیاد قرار دارد (شکل ۵).

بعد از محاسبه سرعت جریان آب زیرزمینی و نرمال-سازی آن طبق رابطه ۲، ریسک آلودگی آبخوان از حاصل-ضرب آسیب‌پذیری آبخوان در سرعت جریان آب زیرزمینی محاسبه گردید و نقشه ریسک آلودگی آبخوان دشت سلماس نسبت به آلاینده نیترات تهیه گردید که در شکل ۵ ارائه شده است. براساس نقشه ریسک آلودگی، در قسمت‌های غربی آبخوان ریسک آلودگی نسبت به آلاینده نیترات بالا می‌باشد که این به علت بالا بودن شاخص آسیب‌پذیری و نیز بالا بودن سرعت جریان آب زیرزمینی در این قسمت از آبخوان است.



شکل (۵): نقشه ریسک آلودگی آب زیرزمینی نسبت به آلاینده نیترات

پارامترهای روش DRATIC-L شامل عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، محیط غیراشباع (I)، هدایت هیدرولیکی (C) و کاربری اراضی (L) است. این هشت پارامتر به صورت لایه‌های رستری در محیط نرم‌افزار

### نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش تعیین ریسک آلودگی آبخوان دشت سلماس نسبت به آلاینده نیترات می‌باشد. در همین راستا ابتدا بررسی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلاینده نیترات با استفاده از روش DRATIC-L انجام گرفت.



آسیب‌پذیری نسبت به نیترات در قسمت غربی دشت بالا می‌باشد؛ در نتیجه این قسمت از آبخوان در معرض ریسک آلودگی بالایی قرار دارد ولی در قسمت‌های شرقی و مرکزی آبخوان ریسک آلودگی پایین است. با توجه به عدم قطعیت موجود در پارامترهای عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی که ناشی از خطاهای اندازه‌گیری مقادیر این پارامترها و نیز روش‌های درون‌یابی بکار برده شده است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که برای تدقیق بیشتر داده‌های در دسترس مقادیر پارامترهای مذکور به طور دقیق اندازه‌گیری شود و نیز عدم قطعیت این پارامترها در پژوهش‌های آتی مورد بررسی قرار گیرد

ArcGIS تهیه شد و سپس با روش نرمال‌سازی مستقیم و معکوس براساس تأثیری که در انتقال آلاینده نیترات از سطح زمین به آبخوان دارد؛ نرمال‌سازی انجام گرفت. سپس وزن‌های کارشناسی در نظر گرفته شده برای هشت پارامتر با استفاده از الگوریتم ژنتیکی بهینه‌سازی شد و از این وزن‌های بهینه‌شده برای محاسبه شاخص آسیب-پذیری استفاده شد. نقشه آسیب‌پذیری حاصل از روش DRATIC-L بهینه‌شده با الگوریتم ژنتیکی نشان داد که در قسمت‌های غربی و جنوب غربی آبخوان دشت سلماس آسیب‌پذیری نسبت به آلاینده نیترات بالا می‌باشد. در ادامه، نقشه ریسک آلودگی نیترات از حاصل‌ضرب سرعت جریان آب زیرزمینی و نقشه آسیب‌پذیری بدست آمد. از آنجایی که سرعت جریان آب زیرزمینی و نیز

## منابع

- سرچشمه، ب. و ش. شاه‌محمدی کلایق. ۱۳۹۵. ارزیابی آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان دشت سلماس با مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی. نشریه دانش آب و خاک، دوره ۲۶، شماره ۴/۲، ص ۶۷-۵۵.
- قره‌خانی، م.، ع. ا. ندیری و ا. اصغری مقدم. ۱۳۹۸. تعیین پتانسیل آلودگی آبخوان دشت سلماس. اولین کنفرانس بین‌المللی و چهارمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه محقق اردبیلی.
- گنجی خرم دل، ن. و م. شمس. ۱۳۹۷. ارزیابی آسیب‌پذیری به آلودگی نیترات به آبخوان دشت الشتر با استفاده از مدل‌های دراستیک و سینتکس. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره نهم، شماره ۲، ص ۶۴-۵۰.
- مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار. ۱۳۹۳. گزارش بیان منابع آب محدوده مطالعاتی سلماس (۳۰۰۱)، ۹۴ ص.
- یزدانی، و. و ح. منصوریان. ۱۳۹۸. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت قزوین و تحلیل حساسیت حذف پارامترها با بکارگیری GIS. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۱۰، شماره ۲، ص ۱۴۶-۱۲۸.

Aller, L., T. Bennett, J. H. Lehr, R. J. Pretty and G. Hackett. 1987. DRATIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. US Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma (EPA-600/2-87-035).

Baalousha, H. M. 2011. Mapping groundwater contamination risk using GIS and groundwater modelling, A case study from the Gaza Strip, Palestine. Arab J Geosci., 4: 483-494.

Bai, L., Y. Wang and F. Meng. 2012. Application of DRATIC and extension theory in the groundwater vulnerability evaluation. Water and Environment journal, 26(3): 381-391.

Brookes, C. J. 2001. A genetic algorithm for designing optimal patch configurations in GIS. International Journal of Geographical Information Science, 15(6): 539-559.

Huan, H., B. T. Zhang, H. Kong, M. Li, W. Wang, B. Xi and G. Wang. 2018. Comprehensive assessment of groundwater pollution risk based on HVF model: A case study in Jilin City of northeast China. Science of the Total Environment, 628-629: 1518-1530.

Jafari S. M. and M. R. Nikoo. 2016. Groundwater risk assessment based on optimization framework using DRATIC method. Arab J Geosci., 9: 742.



Nadiri A. A., S. Sadeghfam, M. Gharekhani, R. Khatibi and E. Akbari. 2018c. introducing the risk aggregation problem to aquifers exposed to impacts of anthropogenic and geogenic origins on a modular basis using 'risk cells'. *Journal of Environmental Management*, 217: 654–667.

Nadiri, A. A., F. Sadeghi Aghdam, R. Khatibi and A. Asghari Moghaddam. 2018b. the problem of identifying arsenic anomalies in the basin of Sahand dam through risk-based 'soft modelling'. *Science of the Total Environment*, 613: 693–706.

Nadiri, A. A., M. Gharekhani, R. Khatibi, S. Sadeghfam and A. Asghari Moghaddam. 2017. Groundwater vulnerability indices conditioned by Supervised Intelligence Committee Machine (SICM). *Science of the Total Environment*, 574: 691–706.

Neshat, A., B. Pradhan and S. Javadi. 2015. Risk assessment of groundwater pollution using Monte Carlo approach in an agricultural region: An example from Kerman Plain, Iran. *Journal of Computers, Environment and Urban Systems*, 50: 66-73.

Nobre, R. C. M., O. C. Rotunno, W. J. Mansur, M. M. M. Nobre and C. A. N. Cosenza. 2007. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and a fuzzy logic tool. *J Contam Hydrol.*, 94: 277–92.

Sajedi-Hosseini, F., A. Malekian, B. Choubin, O. Rahmati, S. Cipullo, F. Coulon and B. Pradhan. 2018. A novel machine learning-based approach for the risk assessment of nitrate groundwater contamination. *Science of the Total Environment*, 644: 954–962.

Wang, J., J. He and H. Chen. 2012. Assessment of groundwater contamination risk using hazard quantification, a modified DRASTIC model and groundwater value, Beijing Plain, China. *Science of the Total Environment*, 432: 216-226.



## Investigation of Contamination Risk using Optimized DRASTIC-L Method with Genetic Algorithm in Salmas Plain Aquifer

Maryam Gharekhani <sup>1</sup>, Ata Allah Nadiri <sup>2</sup>, Asghar Asghari Moghaddam <sup>3</sup>, Sina Sadeghfam <sup>4</sup>

### Abstract

Nitrate is one of the most common contaminants that originates from fertilizers, pesticides or domestic and industrial wastewater. This non-point source contaminant exposes the Salmas plain aquifer to groundwater pollution due to extensive agricultural activity. Therefore, it is necessary to assess the contamination risk of aquifer to high nitrate concentration and identify the high-risk areas in this aquifer. In this research, the contamination risk of Salmas plain aquifer was investigated using DRASTIC-L framework and groundwater velocity. For this purpose, after constructing of DRASTIC-L framework, the weights of eight layers of the framework optimized by genetic algorithm to obtain the aquifer vulnerability map to nitrate contaminant. Finally, the contamination risk map to nitrate was achieved from multiplying the aquifer vulnerability and groundwater velocity. The results showed that against to the eastern and central parts of the aquifer, the contamination risk of the aquifer is high in the western part of the aquifer.

**Keywords: Salmas aquifer, Vulnerability, Genetic Algorithm, Contamination risk, Nitrate.**

---

<sup>1</sup> Ph.D. Candidate, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Email: m.gharekhani90@gmail.com

<sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Email: nadiri.ata@gmail.com, (Corresponding author)

<sup>3</sup> Professor, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Email: moghaddam@tabrizu.ac.ir

<sup>4</sup> Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Email: s.sadeghfam@gmail.com



## Investigation of Contamination Risk using Optimized DRASTIC-L Method with Genetic Algorithm in Salmas Plain Aquifer

Maryam Gharekhani <sup>1</sup>, Ata Allah Nadiri <sup>2</sup>, Asghar Asghari Moghaddam <sup>3</sup>, Sina Sadeghfam <sup>4</sup>

### Introduction

Groundwater contamination by agricultural and industrial activities has become one of the most serious environmental problems in recent years. Generally, groundwater contamination is detected after the drinking water wells contamination. On the other hand, groundwater remediation is costly, time-consuming, and distress groundwater reservoirs. Risk assessment is an important method for decisions related to the effective management of areas exposed to contamination risk. Sources of contamination and inherent vulnerability are the two main factors in the risk assessment method.

### Methodology

The concept of groundwater contamination risk assessment is based on the "source - pathway - receptor" method, in which the groundwater contamination risk depends on the following factors: (i) danger created by the activity of a contaminant (source), (ii) vulnerability of groundwater to contamination (pathway) and (iii) possible consequences of a contaminant for groundwater (receptor) (Nobre et al., 2007). In this study, the contamination risk of aquifer has been done based on the "source - pathway - receptor" method. For this purpose, first the source of contamination and vulnerability of the aquifer (pathway) was determined, then the contamination risk map was obtained by multiplying the vulnerability of the aquifer with groundwater velocity (Nadiri et al., 2018c). Groundwater vulnerability of Salmas plain aquifer was investigated using DRASTIC-L framework. This framework consists of eight data layers include, Depth to water table (D), net Recharge (R), Aquifer media (A), Soil media (S), Topography or slope (T), Impact of the vadose zone (I), hydraulic Conductivity (C) and Land use (L). After constructing of DRASTIC-L framework, the weights of eight data layers of the framework optimized by Genetic Algorithm (GA) to obtain the aquifer vulnerability map to nitrate contaminant. GA generates solutions to optimization and search problems by emulating biological operators, e.g. mutation crossover and selection (Mitchell 1996). The objective function is formulated to maximize correlation coefficient between vulnerability indices and a measure of nitrate-N values by identifying weights in DRASTIC-L framework. Finally, the contamination risk map to nitrate was achieved by multiplying the aquifer vulnerability and groundwater velocity.

### Discussion and Conclusion

The objective of this study is to determine the contamination risk of Salmas plain aquifer to nitrate contaminant. For this purpose, the vulnerability of the aquifer was investigated using the DRASTIC-L framework. Then the weights of this framework optimized by Genetic Algorithm (GA). In the genetic algorithm method, first the objective function and the constraint ( $0.5 > \text{weight} > 0.01$ ) were determined, then the optimal values of the genetic algorithm parameters were determined using trial and error. The optimized weights of the DRASTIC-L framework data layers were obtained by maximizing the objective function. The values of these weights for D, R, A, S, T, I, C and L data layers are 0.101, 0.052, 0.051, 0.01, 0.01, 0.335, 0.4 and 0.1, respectively. According to these weights, DRASTIC-L

<sup>1</sup> Ph.D. Candidate, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Email: m.gharekhani90@gmail.com

<sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Email: nadiri.ata@gmail.com, (Corresponding author)

<sup>3</sup> Professor, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Email: moghaddam@tabrizu.ac.ir

<sup>4</sup> Assistant Professor, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Email: s.sadeghfam@gmail.com



vulnerability indices to nitrate contaminant for Salmas plain was obtained between 0.2 to 0.94, based on the vulnerability of Salmas aquifer is categorized to: low (0.2-0.4), moderate (0.4 - 0.6), high (0.6 - 0.8) and very high (0.8 - 0.94) vulnerability. In order to evaluate the performance of the genetic algorithm, the correlation coefficient ( $r$ ) was calculated between the vulnerability map and nitrate concentration, which was obtained 0.6. According to the prepared vulnerability map, the western parts of the Salmas plain aquifer is vulnerable to nitrate contaminant. Finally, the nitrate contamination risk map was obtained by multiplying the groundwater velocity and the vulnerability map. According to the contamination risk map, the western part of the aquifer has high contamination risk to nitrate contaminant, which is due to the high vulnerability indices and high groundwater velocity in this part of the aquifer.

### **The most important references**

- Mitchell, M., 1996. An Introduction to Genetic Algorithms. Massachusetts Institute of Technology.
- Nadiri A. A., S. Sadeghfam, M. Gharekhani, R. Khatibi and E.Akbari. 2018c. introducing the risk aggregation problem to aquifers exposed to impacts of anthropogenic and geogenic origins on a modular basis using 'risk cells'. *Journal of Environmental Management*, 217: 654–667.
- Nobre, R. C. M., O. C. Rotunno, W. J. Mansur, M. M. M. Nobre and C. A. N. Cosenza. 2007. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and a fuzzy logic tool. *J Contam. Hydrol.*, 94: 277–92.