

## "مقاله پژوهشی"

# ارزیابی آلودگی نیتراتی منابع آب زیرزمینی دشت ساری

فاطمه شکریان<sup>۱</sup>، سیده عالمه صباغ<sup>۲</sup> و عارف صابری<sup>۳</sup>

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، (نویسنده مسوول: f.shokrian@sanru.ac.ir)  
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط‌زیست- ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشگاه اردکان، ایران  
۳- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۴  
صفحه: ۴۵ تا ۵۸

### چکیده

یکی از عوامل تغییر کیفیت و آلودگی منابع آب زیرزمینی در مناطق دشتی وجود یون نیترات است. دشت ساری نیز به دلیل وجود کاربری‌های مختلف کشاورزی، مسکونی، صنعتی و نزدیکی به دریا مستعد آسیب‌پذیری است. ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی هزینه‌بر است؛ اما می‌توان با استفاده از روش‌های بررسی آسیب‌پذیری آبخوان در هزینه صرفه‌جویی کرد. ارزیابی آسیب‌پذیری روشی کم هزینه در شناسایی نواحی مستعد به آلودگی است که در مدیریت منابع آب نقش اساسی دارد. بنابراین در تحقیق حاضر از دو روش DRATIC و SI با توجه به وجود پارامتر کاربری اراضی در مدل SI و مقایسه آن با مدل DRATIC و استفاده از نقشه نهایی برای تعیین آسیب‌پذیری آبخوان دشت ساری استفاده شده است. برای این منظور ابتدا مقادیر نیترات طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۷ پهنه‌بندی و نقشه آن تهیه شد. سپس پارامترهای هر دو مدل از قبیل عمق تا سطح ایستابی، تغذیه خالص، مواد تشکیل‌دهنده آبخوان، نوع خاک، توپوگرافی، مواد تشکیل‌دهنده منطقه غیراشباع، هدایت هیدرولیکی و کاربری اراضی، که به صورت لایه در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند و با وزن‌دهی و رتبه‌بندی و تلفیق این لایه‌ها، نقشه نهایی آسیب‌پذیری نسبت به آلودگی تهیه شد. بر اساس نتایج به دست آمده دو روش به چهار گروه ریسک خیلی کم، کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شدند. طبقه آسیب‌پذیری متوسط در دو روش DRATIC و SI به ترتیب با ۳۹/۷۵ و ۳۹/۵۶ بیشترین درصد مساحت را در نواحی شمالی و دشتی با کاربری کشاورزی دارند. با توجه به نتایج بدست آمده دو مدل نتایج یکسانی از لحاظ آسیب‌پذیری در منطقه نشان دادند اما درصد مساحت منطقه با ریسک خیلی کم در روش SI بیشتر از DRATIC است.

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی، آسیب‌پذیری، پهنه‌بندی، کیفیت آب، نیترات

### مقدمه

(۳۰، ۲۷). با این حال، در بسیاری از مناطق، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب‌های زیرزمینی به دلیل استفاده بیش از حد و طولانی مدت در حال کاهش است (۲۲، ۱۹). بنابراین آگاهی بخشیدن مردم نسبت به این مسئله از محدودیت‌های منابع زیرزمینی می‌کاهد و نیاز به حفاظت و احیای آب‌های زیرزمینی در بین اقشار مختلف جوامع را کم خواهد کرد (۳۸). تغییرات سریع کاربری اراضی در بسیاری از کشورهای درحال توسعه فشار بر منابع آب زیرزمینی را افزایش داده است (۲۱) که با توجه به زمان پاسخ نسبتاً طولانی سفره‌های آب به فشارهای خارجی، ارزیابی کیفی و بررسی آلودگی منابع آب زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار است (۱۵). آلودگی آب‌های زیرزمینی در مناطقی که کشاورزی به طور مکرر انجام می‌شود باعث ورود یون‌های نیترات به داخل خاک و در نهایت منابع آب زیرزمینی می‌شود (۲۶، ۸).

نیترات در حال حاضر یک عامل مهم در تغییر کیفیت آلودگی منابع آب محسوب می‌شود (۳۷). بررسی آلودگی منابع آب زیرزمینی استراتژی کاربردی جهت توسعه و برنامه‌ریزی در هر منطقه‌ای است (۲۴). در حال حاضر، هیچ تعریف واحدی از خطرات آلودگی آب‌های زیرزمینی مشخص نشده است (۳۳) اعتقاد بر این است که خطرات آلودگی آب‌های زیرزمینی به آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی، خطرات ناشی از آلودگی و ارزش آب زیرزمینی بستگی دارد (۳۳، ۲).

تقاضای جهانی برای استفاده از منابع آب زیرزمینی با کیفیت با توجه به روند نزولی منابع آب تجدیدپذیر در حال رشد است. با افزایش آگاهی عمومی از محدودیت منابع آب زیرزمینی، نیازهای حفاظت و اصلاح آب‌های زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (۱۷). آب‌های زیرزمینی منبع اصلی تأمین آب برای فعالیت‌های کشاورزی، آشامیدنی و صنعتی است (۹)؛ که محدودیت زیادی از لحاظ تغذیه مجدد آبخوان برای این منبع وجود دارد (۱۰).

با توجه به مطالعات صورت گرفته در ارتباط با حجم منابع آب زیرزمینی مشخص شد که یک سوم از کل مصرف آب جهان از آب زیرزمینی تأمین می‌شود (۳۴). از طرفی مصرف بی‌رویه آب زیرزمینی برای تولید مواد غذایی و صنعتی در سطح جهان در حال افزایش است و این امر سبب فشار بر این منابع خواهد شد (۳۶)، به‌گونه‌ای که در طول نیم قرن گذشته، توسعه قابل توجهی در انتزاع جهانی آب‌های زیرزمینی به منظور برآوردن تقاضای آب و امنیت غذایی برای جمعیت در حال رشد وجود داشته است (۳۲، ۳۷، ۲۴). انتظار می‌رود آب‌های زیرزمینی به دلیل شهرنشینی سریع در آینده در معرض تخریب کیفیت قرار می‌گیرند (۱۵). از جمله تهدیدات منابع آب زیرزمینی در اکثر مناطق جهان شامل کاهش سطح تراز، کاهش کیفیت و افزایش ریسک آلودگی ناشی از کاربرد کودها و سموم دفع آفات و پیشروی آب دریا به آبخوان است

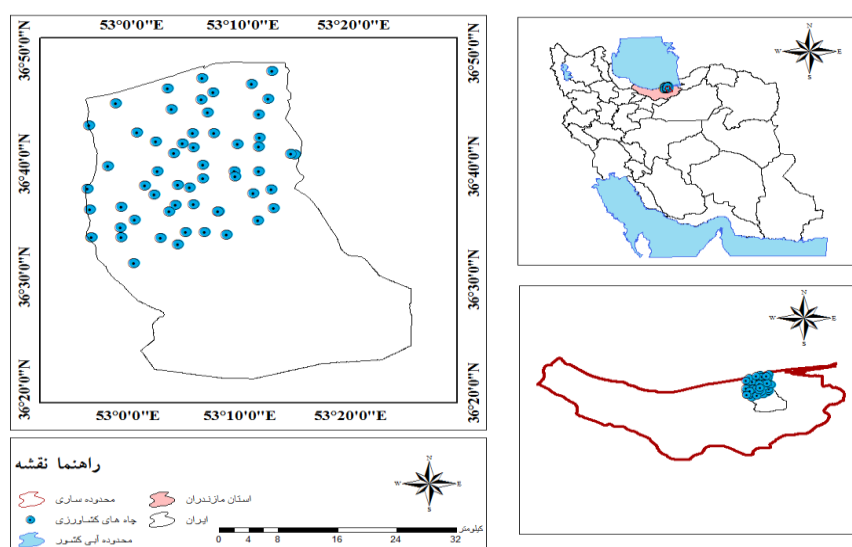
نشان داد که مدل دراستیک دارای بیشترین مقدار همبستگی با مقدار نیترات می‌باشد. نخستین روحی و همکاران (۲۶) جهت پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت عجب‌شیر با استفاده از مدل DRASTIC و SI نشان دادند که ۲/۲۴ درصد منطقه دارای آسیب‌پذیری خیلی کم و ۴۵/۰۸ درصد در گروه آسیب‌پذیری متوسط قرار دارند. نتیجه کلی نشان داد که مدل SI با همبستگی بالا، نتایج بهتری برای آسیب‌پذیری آبخوان منطقه نشان می‌دهد. صباغ و همکاران (۳۱) با استفاده از مدل SI نقشه ریسک آسیب‌پذیری دشت نکارود در استان مازندران را تهیه کردند. نتایج نشان داد که بیشتر منطقه دارای ریسک آسیب‌پذیری زیاد است. جعفری و همکاران (۱۶) برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان اردبیل از روش DRASTIC استفاده کردند. نتایج نشان داد که نقشه مدل DRASTIC با نقشه توزیع غلظت نیترات برای نشان دادن پهنه مستعد آسیب‌پذیری در یک راستا هستند. کاردان و همکاران (۱۸) با ارزیابی روش‌های مختلف آسیب‌پذیری آبخوان آبرفتی و ساحلی در منطقه آستانه-کوچصفهان نشان دادند که روش‌های مختلف نتایج مختلفی را با توجه به ماهیت پارامترها دارند. دشت ساری نیز با توجه به حاصل‌خیزی از لحاظ کشاورزی اهمیت زیادی دارد از طرفی آب زیرزمینی در این دشت یک منبع اساسی جهت مصارف کشاورزی است که تحقیق حاضر با هدف ارزیابی آب‌چاه‌های بهره‌بردار منطقه با استفاده از دو روش DRASTIC و SI و جهت بررسی نتایج هریک از مدل‌ها از نقشه آلودگی نیترات با توجه به نوع کاربری‌های موجود در منطقه پرداخته شد.

#### معرفی منطقه

شهر ساری مرکز استان مازندران است که در محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه تا ۵۳ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. دشت ساری بین دو رودخانه مهم تجن و نکارود در شرق استان مازندران واقع شده و مساحت آن ۱۵۳۲۷۸/۳۹ کیلومتر مربع است. این دشت دارای توپوگرافی نسبتاً ملایم و توسط رسوبات آبرفتی و نهشته‌های ساحلی متعلق به دوران کواترن پوشیده شده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور). همچنین این دشت دارای زمین‌های بسیاری حاصل‌خیز و مساعد کشاورزی است. شکل (۱) موقعیت منطقه مطالعاتی را در سطح کشور و استان نشان می‌دهد.

آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را می‌توان به دو گروه آسیب‌پذیری ویژه و آسیب‌پذیری ذاتی تقسیم‌بندی کرد (۱). روش‌ها و مدل‌های فراوانی برای پیش‌بینی و شناسایی مناطق مستعد آلودگی یا به عبارتی مناطق آسیب‌پذیر در سطح جهان ارائه شده است. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به مدل‌های آسیب‌پذیری DRASTIC، SI، SITACS، COP، GODS، EPIK، IVI که جزء روش‌های ارزیابی می‌باشند اشاره کرد (۱). ارزیابی هریک از لایه‌های بر پایه تلفیق لایه‌های حاصل از پارامترهای مختلف بنا نهاده شده‌اند و اساس کار یکسانی دارند و بر ارزیابی توصیفی و کمی آسیب‌پذیری تکیه دارند. این روش‌ها در به کارگیری نوع و تعداد پارامترها با هم تفاوت دارند ولی در نهایت منجر به ثبت یک شاخص عددی یا امتیاز برای هر ویژگی می‌گردند (۲۱).

مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان انجام شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. مادزیو و همکاران (۲۴) در بررسی آلودگی آبی ناشی از نیترات که منشأ کشاورزی در مناطق ساردینیا (ایتالیا) و یک منبع اصلی آلوده کننده محسوب می‌شود با استفاده از مدل‌های SI، SINTACS، IPNOA پرداختند. نتایج نشان داد که غلظت نیترات در مناطقی با کاربری کشاورزی و دامداری به صورت گسترده متمرکز شده است. کشاورزی یکی از عوامل ورود عناصر تغییر کیفیت به منابع آب زمینی است. حسن و همکاران (۱۰) در مطالعه خود به بررسی آسیب‌پذیری منطقه صنعتی داکا در نیجریه با استفاده از مدل دراستیک پرداختند. نتایج نشان داد که ۲۱ درصد منطقه در معرض آسیب‌پذیری بالایی قرار دارد. پارامترهای عمق آبخوان، توپوگرافی و وضعیت و شرایط خاکی مهم‌ترین عوامل در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان منطقه است. هیب و همکاران (۱۲) در منطقه خشک شهر تاتا در مراکش به ارزیابی آسیب‌پذیری و کیفیت منابع آب زیرزمینی با استفاد از مدل دراستیک پرداختند. نتایج نشان داد که بیشتر منطقه بر اساس شاخص دراستیک تحت تاثیر سازندهای زمین‌شناسی است و خطر آلودگی بیشتر به علت فعالیت‌های انسانی است. اصغری مقدم و همکاران (۴) در تحقیقی به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت اردبیل با استفاده از روش‌های SI، SINTACS و DRASTIC پرداختند. نتایج تحقیقشان پس از محاسبه شاخص همبستگی (CI) و تعیین رابطه مدل‌های SI، SINTACS و DRASTIC با نقشه نیترات منطقه،



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه  
Figure 1. Location of the study area

انتقال مواد محلول ارزیابی می‌کنند. برای این منظور پارامترهای عمق سطح ایستابی بر حسب متر (D)، تغذیهٔ خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، محیط غیراشباع (I)، هدایت هیدرولیکی (C) و کاربری اراضی (با توجه به آخرین تغییرات ثبت شده بر روی نقشه از اداره آب منطقه‌ای برای دوره ۱۳۹۳ تهیه شده است) به صورت نقشه تهیه و رتبه‌بندی شدند؛ در نهایت نقشهٔ پتانسیل آلودگی، در محیط نرم‌افزار GIS ایجاد می‌شود. تغذیه خالص طبق رابطه پیسکوپو (۲۹) با استفاده از سه عامل توپوگرافی، ویژگی هیدرولوژیکی خاک و بارش بدست می‌آید. رابطه (۱) معادله پیسکوپو را برای محاسبه تغذیه خالص بر اساس لایه‌های ذکر شده نشان می‌دهد.

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

برای محاسبه تغذیه خالص ابتدا نقشه بارندگی منطقه با توجه به داده‌های متوسط ماهانه بارش و ارتفاع ایستگاه‌ها تهیه شد. نقشه شیب نیز با استفاده نقشه رقومی ارتفاعی تهیه شد. نقشه نفوذپذیری نیز با توجه به گروه‌های هیدرولوژیکی خاک تهیه و در نهایت طبق جدول (۲) نقشه تغذیه خالص برای حوزه با روش پیسکوپو در محیط ArcGIS تهیه شد.

## روش تحقیق

جهت ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی دشت ساری ابتدا اطلاعات چاه‌های پیژومتری (از بخش از اطلاعات منابع آب اداره آب منطقه‌ای استان مازندران)، نقشه‌های رقومی ارتفاع، نقشه خاک، اطلاعات بارش سینوپتیک حوضه، نقشه نفوذپذیری خاک، داده‌های مربوط به ویژگی‌های کیفیت آب در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از اداره آب منطقه‌ای استان مازندران تهیه شد و آمار مورد استفاده برای دوره ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ است. یکی از روش‌های واسنجی نتایج مدل‌های ارزیابی، استفاده از پراکنش یون نیترات در منابع آب زیرزمینی است. استفاده از نقشه آلودگی منطقه با تغییرات نیترات و بررسی نتایج مدل‌ها در محدوده آلودگی می‌توان نقش مدل را در ارزیابی ریسک هر منطقه بررسی کرد. تحقیقاتی در داخل و خارج از کشور نیترات را به عنوان یکی منبع برای واسنجی مدل‌ها ارزیابی معرفی کردند.

## روش‌های کاربردی در ارزیابی پتانسیل آلودگی در این تحقیق

از میان روش‌های مختلفی که برای ارزیابی آسیب‌پذیری به‌کار برده شده‌اند. روش‌های SI و DRASTIC، برای ارزیابی آسیب‌پذیری بالقوه آبخوان‌ها متداول هستند (پاناگوپولوس و همکاران (۳۳)). این روش‌ها پتانسیل آلودگی را در مناطق مختلف بر اساس جمع‌بندی پارامترهای مختلف در

جدول ۲- تبه پارامترهای تغذیه آبخوان با روش پیسکوپو (۲۹)

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

**روش DRASTIC**

در مدل از مجموع حاصل ضرب وزن و رتبه‌های مؤثر در ارزیابی آسیب‌پذیری طبق معادله (۲) محاسبه می‌شود.

$$S_i = \sum_{i=1}^7 P_i \times W_i \quad (2)$$

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

به هر یک از پارامترهای مؤثر در برآورد روش DRASTIC و با توجه به اهمیت هر یک از آن‌ها در آسیب‌پذیری، وزنی برابر با ۱ تا ۵ داده می‌شود؛ به گونه‌ای که مهم‌ترین آن‌ها، وزن ۵ و کم‌اهمیت‌ترین آن‌ها، وزن ۱ دارد. ارزیابی آسیب‌پذیری هر منطقه، باید بر اساس اهمیت هر یک از پارامترها در آن منطقه انجام شود. در جدول (۳) وزن‌دهی پارامترها در مدل نشان داده شده است. شاخص آسیب‌پذیری

جدول ۳- وزن نسبی پارامترهای روش DRASTIC

Table 3. Relative weight of DRASTIC method parameters

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

**روش SI<sup>۱</sup>**

SI بر اساس رابطه (۳) محاسبه می‌شود (اصغری مقدم و همکاران، (۴)).

رابطه (۳)

$$SI = DrDw + RrRw + ArAw + TrTw + LUrLUw$$

در رابطه بالا SI شاخص آسیب‌پذیری است حروف بزرگ نشان دهنده پارامترهای مؤثر در روش SI هستند، r نرخ ارزش (رتبه) و w وزن است که به هر پارامتر تخصیص داده می‌شود (اصغری مقدم و همکاران، (۴)).

این روش نیز برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به مواد آلاینده ارائه شده است. در این روش پنج پارامتر عمق آب‌زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، توپوگرافی (T) و کاربری اراضی (LU) مثل روش DRASTIC مورد استفاده قرار می‌گیرد (معروفی و همکاران (۲۳)). هر پارامتر بر اساس واحدهای تشکیل‌دهنده بین ۱۰ تا ۱۰۰ ارزیابی شده و پس از وزن‌دهی و تلفیق، شاخص نهایی

جدول ۴- وزن پارامترهای مدل SI (اصغری مقدم و همکاران، (۴)).

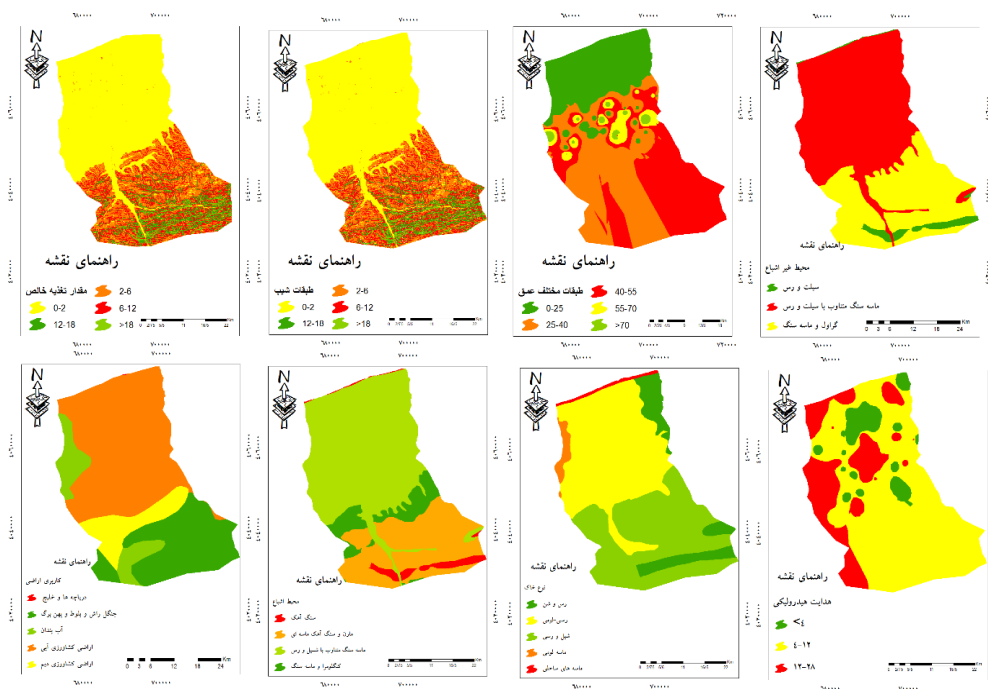
Table 4. Weighting of SI model parameters (Asghari Moghadam et al(4))

پارامتر	عمق آب زیرزمینی	تغذیه خالص	محیط آبخوان	توپوگرافی	کاربری اراضی
وزن	۰/۱۸۶	۰/۲۱۲	۰/۲۵۹	۰/۱۲۱	۰/۲۲۲

**مراحل محاسبه شاخص مدل‌ها در محیط GIS**

برای محاسبه آسیب‌پذیری با روش‌ها DRASTIC و SI ابتدا باید هریک از پارامترها رتبه‌بندی شوند سپس وزن نهایی تعیین گردد. مجموع هر یک از لایه‌ها با استفاده از دستور Raster Calculator محاسبه شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و تعیین ارتباط بین نتایج روش DRASTIC با مقادیر نیترات، از نرم‌افزار SPSS22 استفاده شد. نقشه پارامترهای دو روش DRASTIC و SI در شکل (۲) نشان داده شده است.

برای محاسبه آسیب‌پذیری با روش‌ها DRASTIC و SI ابتدا باید هریک از پارامترها رتبه‌بندی شوند سپس وزن نهایی تعیین گردد. مجموع هر یک از لایه‌ها با استفاده از دستور



شکل ۲- نقشه پارامترها (متغیرهای) مورد استفاده در دو روش DRASTIC و SI  
Figure 2. Map of parameters (variables) used in both Drastic and SI methods

نیترات آب چاه‌ها بررسی و با نقشه نهایی روش‌های DRASTIC و SI تطابق داده شد.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از تعیین وزن عمق آب زیرزمینی روش DRASTIC نشان داد که دو طبقه ۲۵ تا ۵۵ متری بیشترین درصد مساحت را دارند و حدود ۶۹ درصد چاه‌های منطقه دارای این عمق هستند. کمترین درصد عمق مربوط به چاه‌های با عمق بیش از ۷۰ متر برابر با ۱/۱۸ درصد است (جدول ۵).

### اعتبارسنجی مدل‌های ارزیابی آبخوان

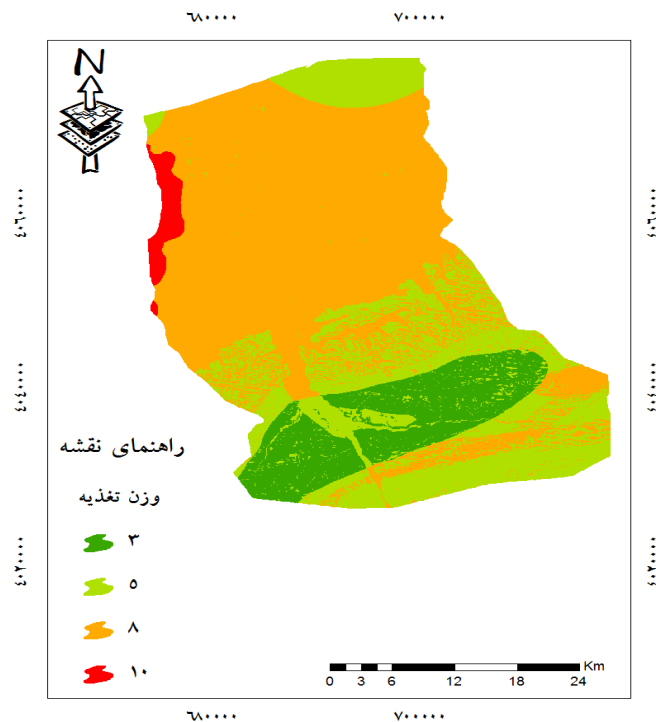
بطور معمول آلودگی در منطقه با فعالیت‌های انسانی پخش می‌شود، اما نوع آلاینده به نوع کاربری منطقه مورد مطالعه بستگی دارد. بدین ترتیب با در نظر گرفتن نوع کاربری، مهم‌ترین آلاینده‌ای که می‌تواند در منطقه پخش شود را انتخاب و بر اساس نقشه آسیب‌پذیری و نقشه تغییرات نیترات واسنجی شد (۲۸). در منطقه مورد مطالعه غالبیت کاربری از نوع کشاورزی است به همین منظور تغییر کیفیت و نقشه هم

جدول ۵- نتایج امتیازدهی طبقات مختلف چاه‌های بهره‌برداری دشت ساری

ردیف	طبقات مختلف عمق	امتیاز	وزن	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱	۰-۲۵	۱۰	۵۰	۳۹۰۳۶/۶	۲۵/۴۱
۲	۲۵-۴۰	۹	۴۵	۵۲۹۳۱/۴	۳۴/۴۵
۳	۴۰-۵۵	۷	۳۵	۵۳۳۰۷/۱	۳۴/۶۹
۴	۵۵-۷۰	۵	۲۵	۶۵۴۷/۸۵	۴/۲۶
۵	۷۰<	۲	۱۰	۱۸۲۳/۵۴	۱/۱۸
				۱۵۳۶۴۶/۴۹	

خاک متوسط و بارش بین ۵۰۰-۹۰۰ میلی‌متر است. شکل (۴).

تغذیه آبخوان بر اساس سه عامل شیب توپوگرافی، مقدار بارش و وضعیت نفوذپذیری بافت خاک نیز نشان داد که این منطقه دارای شیب متوسط ۶-۱۲ درصد و وضعیت نفوذپذیری



شکل ۴- وزن تغذیه خالص چاه‌های بهره‌برداري دشت ساری با استفاده از روش DRASTIC  
Figure 4. Net feed weight of operating wells in Sari plain using drastic method

است. جدول (۶) نیز امتیاز، وزن و مساحت هریک از لایه‌های محیط آبخوان برای مدل DRASTIC را نشان می‌دهد.

وزن پارامتر محیط آبخوان نیز نشان داد که ماسه سنگ متناوب با شیل و رس در این منطقه دارای بیشترین درصد مساحت است و کمترین مساحت مربوط به لایه سنگ آهک

جدول ۶- نتایج طبقه‌بندی محیط آبخوان برای روش DRASTIC در منطقه دشت ساری

Table 6. Results of aquifer environment classification for drastic model in Sari plain area

ردیف	نوع مواد تشکیل‌دهنده	امتیاز پارامتر DRASTIC	وزن پارامتر DRASTIC	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱	سنگ آهک	۱۰	۳۰	۵۰۵۱/۰۸	۳/۳
۲	ماسه سنگ متناوب با شیل و رس	۵	۱۵	۹۰۹۴۷/۳۱	۵۹/۳۳
۳	مارن و سنگ آهک ماسه‌ای	۱۰	۳۰	۴۳۹۵۴	۲۸/۶۷
۴	کنگلومران و ماسه سنگ	۷	۲۱	۱۳۳۲۶	۸/۶۹
				۱۵۳۲۷۸/۳۹	

است و کمترین درصد مساحت مربوط به شیل و رس ۱/۹۵ درصد منطقه را شامل می‌شود (جدول ۷).

نتایج وزن‌دهی نوع خاک نشان داد که بیشتر منطقه دارای بافت خاک رسی-لومی و شیل-رسی است. به عبارتی بیشترین درصد مساحت منطقه (۶۲/۱۶) مربوط به این بافت

جدول ۷- نتایج طبقه‌بندی نوع خاک در حاشیه آبخوان برای روش DRASTIC در منطقه دشت ساری

Table 7. Results of soil type classification at the edge of the aquifer for the drastic model in the Sari plain region

ردیف	نوع مواد تشکیل‌دهنده	امتیاز پارامتر DRASTIC	وزن پارامتر DRASTIC	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱	ماسه‌های ساحلی	۱۰	۲۰	۱۹۳۹/۱۸	۱/۹۵
۲	رس و شن	۹	۱۸	۱۶۰۰۷/۱	۱۶/۰۸
۳	شیل و رس	۵	۱۰	۶۱۸۷۵/۲	۶۲/۱۶
۴	رسی-لومی	۳	۱۵	۵۵۶۷۲/۱	۱/۹۵
۵	ماسه لومی	۷	۱۴	۱۷۷۸۴/۱۴	۱۸/۱۷

وزن دهی پارامتر توپوگرافی نشان داد که شیب ۰-۲ درصد بیشترین درصد مساحت (۵۴/۴) و شیب بیشتر از ۱۸ درصد (۲/۵۷) کمترین مقدار مساحت را در منطقه دشت ساری دارد (جدول ۸).

جدول ۸- نتایج امتیازدهی پارامتر شیب دشت ساری بر اساس روش DRASTIC

Table 8. Results of scoring parameter of Sari plain slope based on drastic model

ردیف	طبقه شیب	امتیاز پارامتر شیب	وزن پارامتر شیب	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱	۰-۲	۱۰	۱۰	۸۷۷۰۷	۵۶/۴
۲	۲-۶	۹	۹	۲۸۳۲۸/۹	۱۸/۲۲
۳	۶-۱۲	۵	۵	۲۳۳۲۲/۳	۱۴/۹۹
۴	۱۲-۱۸	۳	۳	۱۲۱۵۱	۷/۸۱
۵	۱۸ <	۱	۱	۴۰۰۵/۶۴	۲/۵۷

جدول (۹) نتایج وزن دهی پارامتر منطقه غیر اشباع برای مدل DRASTIC را نشان می دهد که لایه ماسه سنگ متناوب با سیلت و رس بیشترین درصد (۵۹/۳۳) از مساحت منطقه و رس و سیلت و رس کمترین درصد (۳/۲۹) مساحت را شامل می شوند.

جدول ۹- نتایج امتیازدهی پارامتر منطقه غیر اشباع دشت ساری بر اساس روش DRASTIC

Table 9. Results of scoring parameter of unsaturated area of Sari plain based on Drastik method

ردیف	طبقه شیب	امتیاز پارامتر شیب	وزن پارامتر شیب	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱	سیلت و رس	۲	۱۰	۵۰۵۱/۰۷	۳/۲۹
۲	ماسه سنگ متناوب با سیلت و رس	۶	۳۰	۹۰۹۴۷/۳۱	۵۹/۳۳
۳	گراول و ماسه سنگ	۸	۴۰	۵۷۲۷۹/۴	۳۷/۲۶

نتایج امتیازدهی پارامتر هدایت هیدرولیکی در جدول (۱۰) نشان می دهد که طبقه ۴-۱۲ متر بر ثانیه با ۶۹/۶۱ درصد بیشترین مساحت و طبقه کمتر از ۴ متر بر ثانیه با ۸/۷۳ درصد نیز کمترین مساحت را دارد.

جدول ۱۰- نتایج امتیازدهی پارامتر هدایت هیدرولیکی دشت ساری برای مدل DRASTIC

Table 10. Results of scoring parameter of hydraulic conductivity of Sari plain for drastic model

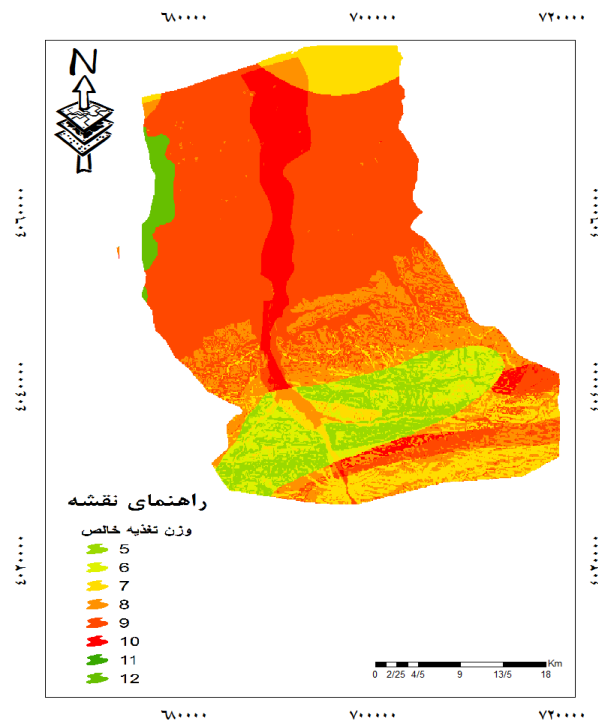
ردیف	طبقه هدایت هیدرولیکی (m/s)	امتیاز پارامتر شیب	وزن پارامتر شیب	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱	۰-۴	۱	۳	۱۳۴۱۱/۳	۸/۷۳
۲	۴-۱۲	۲	۶	۱۰۶۹۵۸	۶۹/۶۱
۳	۱۲ <	۳	۹	۳۳۲۷۸/۲	۲۱/۶۶

جدول ۱۱- نتایج امتیازدهی پارامتر عمق بر اساس روش SI

Table 11. Depth parameter scoring results based on SI method

ردیف	طبقات عمق (متر)	امتیاز	وزن	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱	۱-۲۵	۱۰۰	۱۸/۶	۳۹۰۳۶/۶	۲۵/۴۱
۲	۲۵-۴۰	۹۰	۱۶/۷۴	۵۲۹۳۱/۴	۳۴/۴۵
۳	۴۰-۵۵	۷۰	۱۳/۰۲	۵۳۳۰۷/۱	۳۴/۶۹
۴	۵۵-۷۰	۵۰	۹/۳	۶۵۴۷/۸۵	۴/۲۶
۵	۷۰ <	۲۰	۳/۷۲	۱۸۲۳/۵۴	۱/۱۹

نتایج رتبه بندی تغذیه آبخوان در روش SI نشان داد که منطقه با بارش بین ۷۰۰ تا ۹۰۰ میلی متر با وضعیت نفوذپذیری متوسط و شیب بین ۰-۲ درصد دارای بیشترین درصد مساحت است. این منطقه بیشتر شامل دشت ساری که بیشتر اراضی کشاورزی آبی در آن قرار دارد.



شکل ۵- نقشه تغذیه آبخوان با استفاده از روش وزن‌دهی Piscopo در دشت ساری برای مدل SI

Figure 5. Aquifer feeding map using Piscopo weighting method in Sari plain for SI model

۱۲). نتایج حاصل از امتیازدهی توپوگرافی منطقه با روش SI نشان داد که طبقه شیب ۰-۲ درصد با ۸۷/۸۳ درصد از کل مساحت دشت ساری با امتیاز ۱۰ بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد (جدول ۱۳).

نتایج همپوشانی لایه‌های تشکیل‌دهنده محیط آبخوان برای دشت ساری در مدل SI نشان داد که لایه ماسه سنگ متناوب با شیل و رس با ۵۹/۳۳ درصد بیشترین مساحت و سنگ آهک با ۳/۲۹ درصد کمترین مساحت را دارد (جدول

جدول ۱۳- نتایج امتیازدهی پارامتر شیب دشت ساری بر اساس مدل SI

Table 13. Results of scoring parameter of Sari plain slope based on SI model

ردیف	طبقه شیب (%)	امتیاز پارامتر شیب	وزن پارامتر شیب	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱	۰-۲	۱۰	۱/۲۱	۸۷۷۰۷	۸۷/۸۳
۲	۲-۶	۹۰	۱۰/۸۹	۲۸۳۲۸/۹	۲۸/۳۷
۳	۶-۱۲	۵۰	۶/۰۵	۲۳۳۲۲/۳	۲۳/۳۵
۴	۱۲-۱۸	۳۰	۳/۶۱	۱۲۱۵۱	۱۲/۱۷
۵	۱۸<	۱۰	۱/۲۱	۴۰۰۵/۶۴	۴/۰۱

دشت ساری بیشترین درصد مساحت را شامل می‌شود و کاربری دریاچه و خلیج در این دشت کمترین درصد مساحت را دارند (جدول ۱۴).

یک از وجوه تمایز روش‌های DRASTC و SI در تعداد پارامتر و اختصاص یافتن پارامتر کاربری اراضی برای مدل SI است. نتایج نشان داد که کاربری اراضی کشاورزی آبی در

جدول ۱۴- نتایج امتیازدهی پارامتر کاربری اراضی دشت ساری با استفاده از روش SI

Table 14. Results of scoring land use parameter of Sari plain using SI model

ردیف	نوع کاربری	امتیاز پارامتر شیب	وزن پارامتر شیب	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱	دریاچه و خلیج	۵۰	۱۱/۱	۲۹/۹۴۱	۰/۰۱۹۲
۲	جنگل راش و بلوط خزری	۵۰	۱۱/۱	۴۰۴۲۶	۲۵/۹۹
۳	اراضی کشاورزی آبی	۹۰	۱۹/۹۸	۸۴۱۵۳	۵۴/۱
۴	آب‌بندان	۵۰	۱۱/۱	۱۴۹۶۶	۹/۶۲
۵	اراضی کشاورزی دیم به همراه دیمزارهای خزری	۹۰	۱۹/۹۸	۱۵۹۶۵	۱۰/۲۶



**نقشه پارامترهای SI و DRASTC**

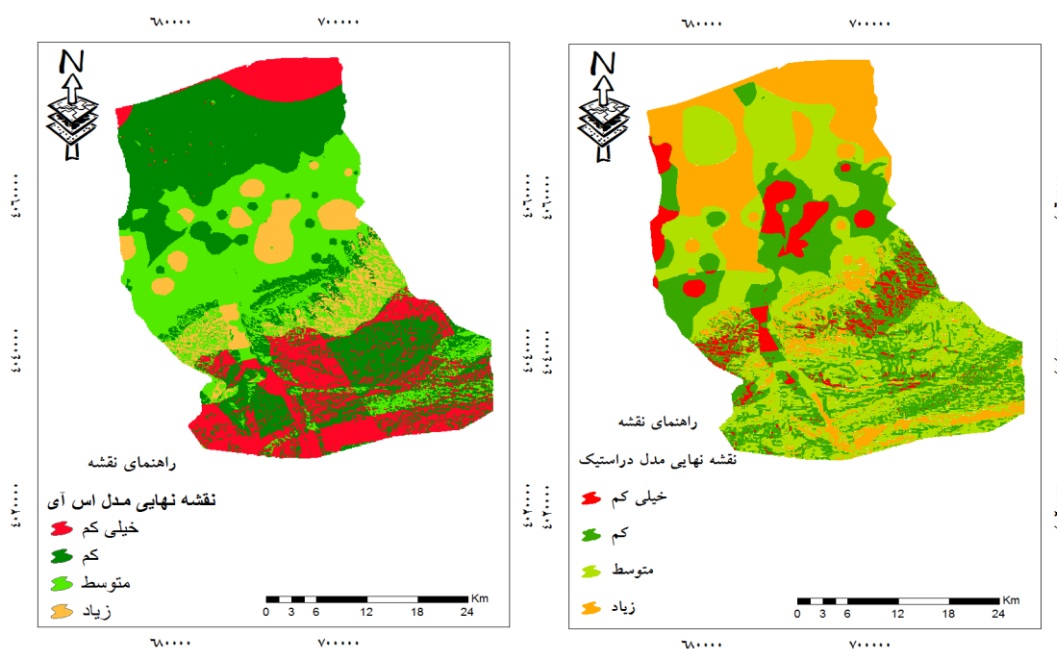
برای تهیه نقشه نهایی روش‌های SI و DRASTC ابتدا ستون امتیازدهی هر یک از پارامترها به صورت لایه رستری تهیه و در نهایت لایه‌ها با حاصل ضرب وزن جمع شده و نقشه روش‌ها تهیه شد. نتایج پهنه‌بندی آسیب‌پذیری روش SI در چهار طبقه خیلی کم، کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شد که بیشتر درصد مساحت منطقه برای طبقه آسیب‌پذیری متوسط

با (۳۹/۵۶) است. نتایج آسیب‌پذیری روش DRASTC نیز نشان داد که این روش در چهار طبقه خیلی کم، کم، متوسط و زیاد قرار دارد. بر اساس روش DRASTC بیشتر منطقه دارای ریسک آسیب‌پذیری متوسط با ۳۹/۷۵ درصد از مساحت کل دشت ساری است (جدول ۱۵). شکل (۶) نتایج پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منابع آب دشت ساری را با دو روش DRASTC و SI نشان می‌دهد.

جدول ۱۵- نتایج نهایی ارزیابی آسیب‌پذیری با روش‌های SI و DRASTC

Table 15. The final results summarize the parameters of the DRASTC and SI methods

روش	طبقه‌بندی مدل DRASTIC	طبقه‌بندی	مساحت (ha)	مساحت (%)
DRASTIC	۴۰-۷۵	خیلی کم	۱۳۴۸۰/۳	۸/۲۵
	۷۵-۱۱۰	کم	۳۵۱۰۰/۵	۲۳/۱۹
	۱۱۰-۱۴۰	متوسط	۶۰۱۵۶/۴	۳۹/۷۵
	۱۴۰>	زیاد	۴۳۶۰۳/۳	۲۸/۸۱
SI	۱۰-۳۵	خیلی کم	۲۷۷۵۴/۴	۱۸/۳۵
	۳۵-۵۵	کم	۳۱۶۱۰/۸	۲۰/۸۹
	۵۵-۶۵	متوسط	۵۹۸۵۳/۴	۳۹/۵۶
	۶۵<	زیاد	۳۲۰۶۷/۱	۲۱/۱۹



شکل ۶- نتایج پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منابع آب دشت ساری را با دو روش SI و DRASTC

Figure 6. The results of zoning the vulnerability of water resources in Sari plain by two methods: Drastic and SI

منطقه از لحاظ تغییرات نیترات ارزیابی شد. نقشه DRASTC بدست آمده در چهار کلاس طبقه‌بندی شد که بین این روش و نیترات در دشت ساری ارتباط متوسط تا زیادی وجود دارد. به طور کلی بیشتر مناطق با کاربری کشاورزی آبی دارای همپوشانی و ارتباط زیاد روش DRASTC و متغیر نیترات است. نتایج همبستگی بین نیترات، روش SI و DRASTIC در جدول (۱۶) نشان داده شده است. این همبستگی در سطح ۰/۰۵ انجام شده است.

**صحت‌سنجی روش‌های SI و DRASTC با تغییرات نیترات**

برای تایید مدل‌های بکار رفته در ارزیابی ریسک آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی از نقشه همپوشانی نیترات و نتیجه نهایی روش‌ها استفاده شد. شکل (۷) نقشه پهنه‌بندی شده نیترات را نشان می‌دهد. نتایج نهایی هر یک روش‌ها ابتدا با طبقات مشخص به فرمت Raster ذخیره سپس با همپوشانی و ادغام نقشه نهایی مدل با نقشه نیترات وضعیت

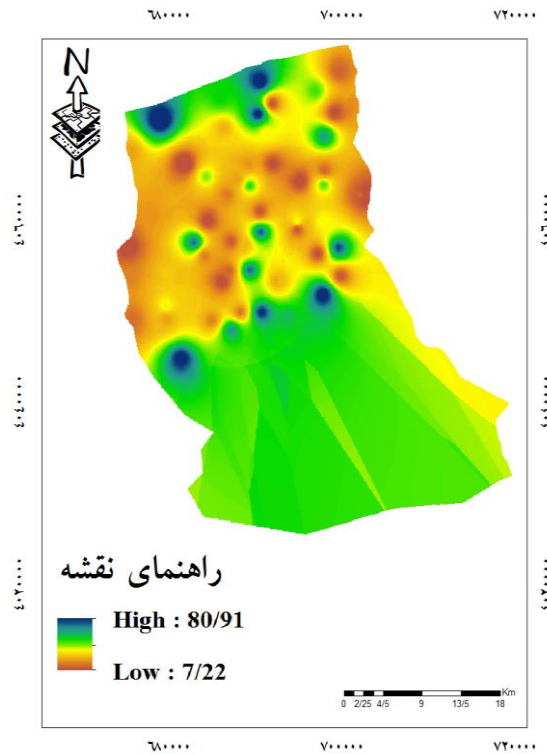
جدول ۱۶- نتایج ارتباط بین پارامتر کیفی نیترات با روش‌های SI و DRASTIC

Table 16. Results of the relationship between the quality parameter of nitrate by DRASTIC and SI methods

SI	DRASTIC	نوع روش ارزیابی	پارامتر کیفی
۰/۵۱*	۰/۶۵۰*		نیترات
مقدار همبستگی در سطح ۰/۰۵*			

شده و مقدار نیترات را نشان می‌دهد. شکل (۸) نتایج پهنه‌بندی و همپوشانی دو روش آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی دشت ساری را با مقادیر نیترات نشان می‌دهد.

نقشه نهایی روش SI و نیترات دارای ارتباط و همپوشانی بالایی هستند طوری که در قسمت شمالی منطقه این همپوشانی به حداکثر مقدار خود رسیده است. جدول (۱۷) نتایج همپوشانی و درصد مساحت همپوشانی روش‌های تعیین

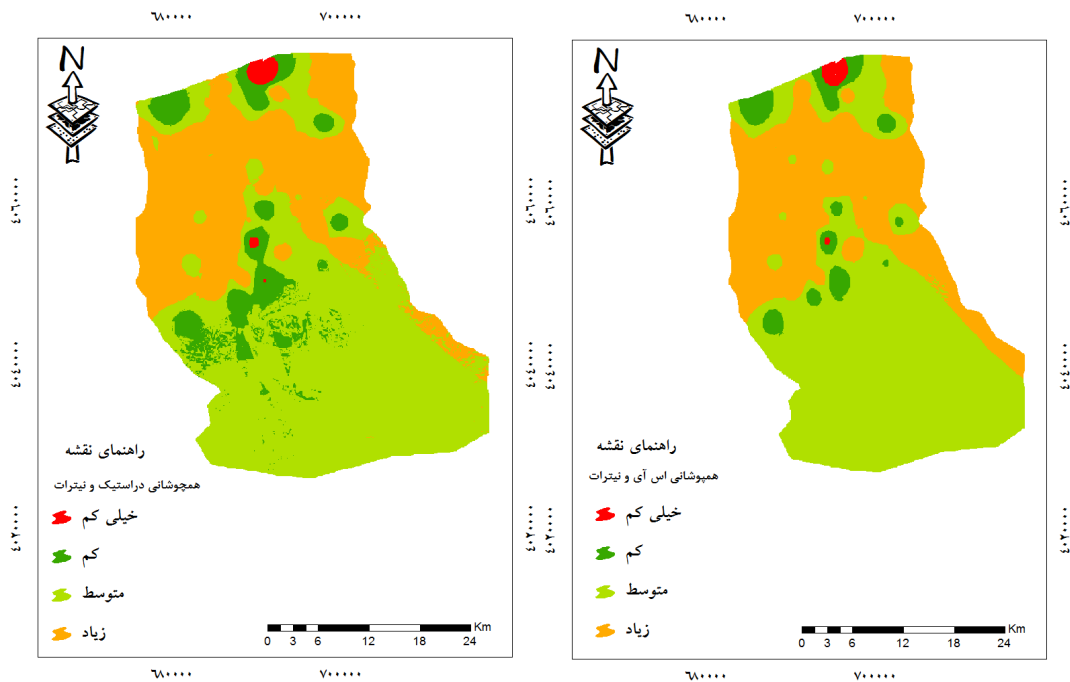


شکل ۷- نتایج پهنه‌بندی مقادیر نیترات دشت ساری  
Figure 7. Results of nitrate zoning in Sari plain

جدول ۱۷- نتایج همپوشانی و مساحت روش‌های SI و DRASTIC با متغیر نیترات در دشت ساری

Table 17. Results of overlap and area of drastic and SI methods with nitrate variable in Sari plain

مساحت (%)	مساحت (ha)	طبقات	طبقه همپوشانی	روش
۰/۷۵	۱۱۳۴/۰۹	خیلی کم	۰-۲۷	DRASTIC
۹/۱۳	۱۳۷۹۳/۴	کم	۲۷-۳۷	
۵۶/۲۳	۸۴۹۷۹/۲	متوسط	۳۷-۵۷	
۳۳/۸۹	۵۱۳۲۵/۵	زیاد	۵۷ <	
۰/۶۷	۱۰۲۱/۰۴	خیلی کم	۱۴-۲۵	SI
۴/۷۷	۷۲۱۹/۴۷	کم	۲۵-۴۷	
۵۷/۱۹	۸۶۵۰۶/۲	متوسط	۴۷-۸۸	
۳۷/۳۶	۵۶۵۰۰/۱	زیاد	۸۸ <	



شکل ۸- نتایج همپوشانی آسیب‌پذیری دو روش DRASTIC و SI با نقشه پهنه‌بندی نیترات

Figure 8. Outcomes of Vulnerability Overlap of Drastic and SI Methods with Nitrate Zoning Map

نیترات و و روش DRASTIC عمق کم، کاربری کشاورزی آبی و تغذیه آبخوان کم عمق منطقه است. تومار و همکاران (۳۳) نشان دادند که روش DRASTIC برای نشان دادن آسیب‌پذیری در منطقه مرز شرقی دهلی ارتباط مناسبی با نیترات دارد و پارامترهای عمق، تغذیه و شیب در تعیین آسیب‌پذیری موثرند. آریا همکاران (۳) نیز نشان داد که روش DRASTIC همبستگی زیادی با تغییرات نیترات در نشان دادن آلودگی آب زیرزمینی دارد. اصغری مقدم و همکاران (۴) آبخوان دشت اردبیل با سه روش DRASTIC، SINTACS و SI ارزیابی کردند و نشان دادند که روش DRASRIC دقت بالایی در نمایش وضعیت آسیب‌پذیری منطقه دارد. روش SI کمی با روش DRASTIC از لحاظ پارامتری متغیر است. در این روش، کاربری اراضی نقش عمده‌ای در تعیین آسیب‌پذیری دارد. وضعیت آسیب‌پذیری دشت ساری با روش SI نشان داد که مساحت طبقه آسیب‌پذیری متوسط دارای مساحت برابر ۳۹/۵۶ درصد از کل مساحت منطقه است. ارتباط این مدل با متغیر نیترات نشان داد که در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۷ با نیترات ارتباط خوبی در سطح ( $P=0.05$ ) دارد. صباغ و همکاران (۳۱) با استفاده از روش SI، به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت نکارود و صحت‌سنجی مدل با نقشه نیترات نشان دادند که مدل همبستگی بالایی با SI دارد. اصغری مقدم و همکاران (۴) از همبستگی مناسب مدل SI با نقشه هم‌نیترات دارد. معروفی و همکاران (۲۳) نیز همبستگی بالای روش SI با نیترات را نشان داد. مادزیو و همکاران (۲۴) در مناطق ساردینیا از همپوشانی مناسب نیترات با روش SI و دیگر مدل‌های ارائه شده در منطقه دارد. حمزه و همکاران (۹)

آسیب‌پذیری آبخوان دشت ساری با استفاده از روش‌های DRASTIC و SI بررسی و نتایج واستجی روش‌ها با استفاده از تغییرات مقدار نیترات در سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ بررسی شد. نتایج روش DRASTIC نشان داد که در سال‌های نمونه‌برداری ارتباط معناداری بین روش‌های ارزیابی و نیترات وجود دارد. پارامترهای عمق و تغذیه نقش مهمی در تعیین آسیب‌پذیری دشت ساری دارند. عمق سطح ایستابی و شرایط نفوذ آب جاری از اراضی کشاورزی به مناطق پست یکی از عوامل تغذیه منابع آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه می‌تواند باشد. با توجه به نقشه همپوشانی و هم عمق در منطقه بیشتر چاه‌هایی با عمق کم تا متوسط در نواحی شمالی که دارای کاربری کشاورزی آبی هستند واقع شده‌اند. بالا بود سطح ایستابی، اشباع بودن خاک در منطقه و نفوذپذیری یکی از عوامل آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی در منطقه است. پارامتر تغذیه نیز خود به سه پارامتر توپوگرافی، نفوذپذیری خاک و بارش در منطقه بستگی دارد. این سه عامل موثر در پارامتر تغذیه نقش اساسی می‌توانند در بررسی آسیب‌پذیری آبخوان با توجه به وضعیت تغذیه داشته باشند. این پارامتر تحت تاثیر توپوگرافی و نوع خاک منطقه باعث ایجاد لایه اشباع شده و انتقال آب به لایه‌های زیرین را بیشتر می‌کند. بر اساس پارامترهای روش DRASTIC، دشت ساری با ۳۳/۱۹ درصد مساحت دارای وضعیت آسیب‌پذیری متوسط است. درصد مساحت آسیب‌پذیری زیاد با توجه به نتایج روش DRASTIC، ۳۹/۷۵ درصد است. با در نظر گرفتن پارامترهای عمق، کاربری اراضی و نوع خاک در منطقه بیشتر مناطق آسیب‌پذیر در نواحی شمالی قرار گرفته‌اند. همپوشانی مناسب

نواحی شمالی دشت ساری دارای آسیب‌پذیری متوسط و بالا است. اما نقشه نهایی روش SI نشان داد که در نواحی شمالی نواحی با ریسک آسیب‌پذیری کم نیز وجود دارد. با توجه به وضعیت منطقه از لحاظ کاربری، نفوذپذیری و نزدیکی به ساحل روش DRASTIC نتایج قابل قبول تری در مقایسه با روش SI در منطقه نشان می‌دهد. بنابراین در دشت ساری روش DRASTIC کاربرد بهتری برای نشان دادن آسیب‌پذیری آبخوان دشت دارد.

نشان دادند که در ناحیه متلین-راس در شمال تونس روش DRASTIC، SINTACS و SI همبستگی بالایی با نیترات دارند.

چاه‌های بهره‌برداری دشت ساری بیشتر در مناطقی با شیب پایین و عمق کم چاه‌ها در نواحی شمالی محدوده واقع شده‌اند. یکی از دلایل اصلی نفوذپذیری منابع آلوده به آبخوان دشت وجود کاربری اراضی و نفوذپذیری خاک منطقه است. بر اساس نتایج روش DRASTIC دو پارامتر عمق سطح ایستابی و تغذیه نقش مهمی در تعیین آسیب‌پذیر داشتند و

## منابع

- Ahmadifar, R., S.M. Mousavi and M. Rahimzadegan. 2017. Pollution risk zoning. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 24(3): 1-20 (In Persian).
- Aller, L., J.H. Lehr, R. Petty and T. Bennett. 1987. DRASTIC: a Standardized System to Evaluate Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. *Natl. Water Well Assoc*, Worthington, Ohio, United States Am: 115.
- Arva, S., T. Subramani, G. Vennila and P.D. Roy. 2020. Groundwater vulnerability to pollution in the semi-arid Vattamalaikarai River Basin of south India thorough DRASTIC index evaluation. *Geochemistry*: 125635.
- AsghariMoghadam, A., M. Gharakhani, A. Nediry, M. Kurd and E. Fijani. 2017. Evaluation of aquifer vulnerability in Ardebil Plain using drastic, sintacs and SI methods. *Geography and Planning Scientific Journal*, 21(61): 57-77 (In Persian).
- El Ayni. F.S., A. Cherif and M. Jrad Trabelsi-Ayadi. 2012. A New Approach for the Assessment of Groundwater Quality and Its Suitability for Irrigation: A Case Study of the Korba Coastal Aquifer (Tunisia, Africa). *Water Environ. Res*, 84 (8):673-681.
- Famiglietti, J.S. 2014. The global groundwater crisis. *Nat. Clim, Change*, 4 (11): 945-948.
- GanjiKhorramDel, N. and M. Shams. 2018. Vulnerability assessment of nitrate contamination to Aleshtar plain aquifer using drastic and sintacs models. *Scientific Journal of Water and Irrigation*, 9(2): 50-64 (In Persian).
- Giordano, M. 2009. Global groundwater? Issues and solutions. *Annu. Rev. Environ. Resour*, 34: 153-178. <https://doi.org/10.1146/annurev.enviro.030308.100251>.
- Hamza, M.H., A. Added, A. Frances and R. Rodriguez. 2007. Validite de l'application des methods de vulnerabilite DRASTIC, SINTACS et SI A 1' etude de la pollution par les nitrates dans la nappe phreatique de Metalline-Ras Jebel-Raf(Nord- East Tunisien) C. R. Gesci, 339: 493-505
- Hassan, I., R.M. Kalin, CH. White and J.A. Aladejana. 2019. Hydrostratigraphy and Hydraulic Characterisation of Shallow Coastal Aquifers, Niger Delta Basin: A Strategy for Groundwater Resource Management. *Geosciences*, 9(11): 470-480.
- Hassanzadeh Nafouti, M., Z. Ebrahimi Khosfi and A. Jamali .2017. Efficiency of Vulnerability Assessment Models. *Journal of Desert Ecosystem Engineering Research*, 6(14): 59-68 (In Persian).
- Heiß, L., L. Bouchaou, S. Tadoumant and B. Reichert. 2019. Index-based groundwater vulnerability and water quality assessment in the arid region of Tata city (Morocco). *Groundwater for Sustainable Development*, 10: 100344.
- Hua, S.H., H. Jing, Y. Yao, Zh. Guo and D.N. Lerner. 2020. Andrews Charles B, Zheng Ch. Can groundwater be protected from the pressure of china's urban growth? *Environment International*, 143: 105911.
- Huang, Z.Y. 2015. Subregional-scale groundwater depletion detected by GRACE for both shallow and deep aquifers in North China Plain. *Geophys. Res. Lett*, 42(6): 1791-1799.
- Jabbari, P., M.R. Ghanapoor and A.R. Ashbeh. 2009. Evaluation and determination of groundwater balance of Sari-Neka plain free aquifer. *Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran, Karaj. Iranian Watershed Management Association:16* (In Persian).
- Jafari, K., N. Hafezi Moghaddas. A.R. Mazloumi and A. Ghazi. 2019. Determination of vulnerability of aquifer Ardebil using DRASTIC method in GIS. *Iran. J. Health & Environ*, 12(3): 117-125 (In Persian).
- Jamshidzadeh, Z. and S.A. Mirbagheri. 2011. Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran. *Desalination*, 270 (1-3): 23-30(In Persian).
- Kardan Moghaddam, H., S. Javadi and Z. Rahimzadeh Kivi. 2020. Evaluation of Aquifer Vulnerability Assessment Methods for Alluvial and Coastal Aquifers, Case Study in Astaneh-Koochesfahan Aquifer, Guilan, Iran. *Journal of Water and Irrigation management (J. of Agriculture)*. 10(2): 203-220 (In Persian).

19. Kazakis, N. and K.S. Voudouris. 2015. Groundwater vulnerability and pollution risk assessment of porous 411 aquifers to nitrate: Modifying the DRASTIC method using quantitative parameters. *J. Hydrol*, 525: 13-25.
20. Kolahdozan, A., Y. Dinpazho, D. Abbaspoor and M. Ghorbaniyan. 2015. Investigation of the trend of groundwater quality changes in Miandoab plain using Mann-Kendall method. *Water and Soil Knowledge (Agricultural Knowledge)*, 2(25): 221-235 (In Persian).
21. Libutti, A. and M. Monteleone. 2017 Soil vs. groundwater: The quality dilemma. Managing nitrogen leaching and salinity control under irrigated agriculture in Mediterranean conditions. *Agric. Water Manage*, 186: 40-50.
22. Llamas, M.R and P. Martínez-Santos .2005. Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflicts. *J. Water Resour. Plan. Manag*, 131(5): 337-341.
23. Marufi, H., S. Soleimani, M.H. Ghobadi Rahimi and P. Famous .2012. Vulnerability Assessment of Malayer Plain Aquifer Using SINTACS and SI Models, DRASTIC. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 19(3): 141 (In Persian).
24. Mencio, A., J. Mas-Pla, N. Otero, O. Regàs, M. Boy-Roura, R. Puig, J. Bach, C. Domènech, M. Zamorano and D. Brusi. 2017. Nitrate pollution of groundwater; all right ..., but nothing else? *Sci. Total Environ*, 539: 241-251.
25. Nazemi, A. and H.S. Wheeler. 2015. On inclusion of water resource management in Earth system models–part 1: problem definition and representation of water demand. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 19 (1): 33-61.
26. Nohkostinrohi, M., M.H. Rezaei Moghadam and T. Rahimpour. 2015. Groundwater Vulnerability Zoning Using DRASTIC and SI Models in GIS Environment (Case Study: Ajabshir Plain). *Echo Hydrology*, 4(2): 587-599 (In Persian).
27. Nouri Imamzadeh, M.R. and Z. Ahmadimoghadam. 2018. Investigation of temperature parameter changes in Shahrekord station. *Newar Scientific-Extension Journal*, 99-98: 73-82 (In Persian).
28. Ouedraogo, I., P. Defourny and M. Vanclooster .2016. Mapping the groundwater vulnerability for pollution at the pan African scale. *Sci. Total Environ*, 544: 939-953.
29. Piscopo, G. 2001. Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW. Department of Land and Water Conservation, Australia: 122.
30. Rasool, A., A. Farooqi, S. Masood and K. Hussain. 2016. Arsenic in groundwater and its health risk assessment in drinking water of Mailsi, Punjab Pakistan. *Hum. Ecol. Risk Assess*, 22(1): 187-202.
31. Sabbagh, S.A., M. Morovati, A. Saberi and M. Panahande. 2019. Zoning map of Dasht-risk vulnerabilities Nekarood model SI. 14<sup>th</sup> National Conference on Watershed Management Science and Engineering: 22.
32. Teng, Y.G., R. Zuo, Y. Xion, J. Wu, Y. Zh and J. Zhai Su.2019. Risk assessment framework for nitrate contamination in groundwater for regional management. *Science of the Total Environment*, 697: 134102.
33. Tomer, T., D. Katyal and V. Varun. 2019. Vulnerability using DRASTIC method: A case study of National Capital Territory, Delhi, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 9: 100271.
34. Vu, H.M., M. Shanafield, T.T. Nhat, D. Partington and O. Batelaan. 2020. Mapping catchment-scale unmonitored groundwater abstractions: Approaches based on soft data. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 20: 100695.
35. Wada, Y., L.P. Van Beek, C.M. Van Kempen, J.W. Reckman, S. Vasak and M.F. Bierkens. 2010. Global depletion of groundwater resources. *Geophys. Res. Lett*, 37(20): L20402.
36. Yazdani, V. and V.H. Mansouriyani. 2019. Assessing the vulnerability of Qazvin plain aquifer and analyzing the sensitivity of parameter removal using GIS. *Scientific Journal of Water and Irrigation*, 10(2): 128-146 (In Persian).
37. Yousefia, H., A. Haghizadehb, Y. Yarahmadia, P. Hasanpourb and P. Noormohamadi. 2018. Groundwater pollution potential evaluation in Khorramabad-Lorestan Plain, western Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 147: 647-656.
38. Zahedi, S, A. Azarnivand and N. Chitsaz. 2017. Groundwater quality classification derivation using Multi-Criteria-Decision-Making techniques. *Ecological Indicators*, 78: 243-252.

## Assessment of Nitrate Pollution of Groundwater Resources in Sari Plain

Fatemeh Shokrian<sup>1</sup>, Seyedeh Allameh Sabbagh<sup>2</sup> and Aref Saberi<sup>3</sup>

1- Assistant Professor of Watershed Management Science and Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, (Corresponding author: f.shokrian@sanru.ac.ir)

2- Graduate of Environmental-Land Assessment and Planning, Ardakan University

3- PhD student in Watershed Management Science and Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: October 24, 2020

Accepted: February 22, 2021

### Abstract

One of the factors changing the quality and pollution of groundwater resources in plain areas is the presence of nitrate ions. Sari plain is also prone to vulnerability due to the existence of various agricultural, residential, industrial and proximity to the sea. Groundwater quality assessment is costly; But it is possible to save money by using methods to assess the vulnerability of the aquifer. Vulnerability assessment is a low-cost method in identifying areas prone to pollution that plays a key role in water resources management. Therefore, in the present study, two methods, DRASTIC and SI, have been used due to the existence of land use parameter in the SI model and its comparison with the DRASTIC model and the use of the final map to determine the vulnerability of the Sari plain aquifer. For this purpose, first the amounts of nitrate during the years 1393-1397 were zoned and mapped. Then the parameters of both models such as depth to water table, net nutrition, aquifer constituents, soil type, topography, unsaturated zone constituents, hydraulic guidance and land use, which were prepared as a layer in ArcGIS software and weighted and rated Classification and integration of these layers, the final map of paternal damage to contamination was prepared. Based on the results, the two methods were classified into four groups: very low, low, medium and high risk. Medium vulnerability class in DRASTIC and SI methods with 39.75 and 39.56, respectively, have the highest percentage of area in the northern and plain areas with agricultural use. According to the obtained results, the two models showed the same results in terms of vulnerability in the region, but the percentage of area with very low risk in the SI method is higher than DRASTIC.

**Keywords:** Groundwater, Nitrate, Vulnerability, Water Quality, Zoning