

## کاربست مدل دراستیک در بررسی روند توسعه صنعتی دشت ساری با تاثیر بر آلودگی زیست محیطی

محمد رحمانی<sup>۱\*</sup>، طاهره آذری<sup>۲</sup>

[m.rahmani@umz.ac.ir](mailto:m.rahmani@umz.ac.ir)

### Application of Drastic Model in the Studying Process of Industrial Development of Sari Plain

Mohammad Rahmani<sup>1\*</sup>, Tahereh Azari<sup>2</sup>

1- Assistant Professor of Environmental Sciences, Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

2- Ph.D of Earth Sciences, Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

#### Abstract

New industrial estates developments must follow the effective factors in protection, management and sustainable development of aquifers and water resources in a plain in order to meet the needs of people. Therefore, assessment of the aquifer vulnerability potential for locating new industrial estates settlements is necessary. So, investigation of the vulnerability of Sari plain groundwater resources for locating the industrial zones is necessary. In this research, the risk map of the plain was prepared using a drastic model to assessment of the effective hydrogeological factors in locating the industrial estates of Sari plain. The results of the Drastic model showed that Sari aquifer vulnerability is classified in three groups of highly vulnerable (10.49%), very highly vulnerable (56.66%) and too highly vulnerable (32.85%). Sensitivity analysis based on two-way single parameter and parameter deletion methods showed that the depth of the water-table factor is the most sensitive factor on the DRASTIC vulnerability index. Sari aquifer is strongly affected by agricultural and industrial activities' pollutants due to shallow water-table; so, the study area is not suitable for establishment of industrial estates based on the final vulnerability map, the aquifer extreme vulnerability potential and the amount of existing pollutant. Also, if environmental considerations are not respected by farmers and the existing industrial units in the plain, the aquifer will be suffering serious damages.

**Keywords:** Vulnerability, DRASTIC, Sari, Aquifer, Industrial development

#### چکیده

در ایجاد شهرک‌های جدید صنعتی به منظور پاسخگویی به نیازهای مردم بایستی به عوامل و فاکتورهای موثر در حفاظت، مدیریت و توسعه پایدار آبخوان‌ها و منابع آبی موجود در یک دشت توجه گردد. لذا بررسی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان جهت مکان‌یابی شهرک‌های جدید صنعتی لازم و ضروری می‌باشد. در این تحقیق، جهت ارزیابی عوامل هیدروژئولوژیکی اثرگذار در مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی در دشت ساری به عنوان مطالعه موردی، نقشه خطرپذیری دشت با استفاده از مدل دراستیک تهیه گردید. نتایج حاصل از مدل دراستیک نشان داد که آسیب‌پذیری آبخوان دشت ساری در سه گروه آسیب‌پذیری بالا (۱۰/۴۹ درصد)، بسیار بالا (۵۶/۶۶ درصد) و بسیار بسیار بالا (۳۲/۸۵ درصد) قرار می‌گیرد. تحلیل حساسیت به دو روش تک پارامتری و حذف پارامتر مشخص می‌نماید که عامل عمق آب زیرزمینی بیشترین حساسیت را در شاخص آسیب‌پذیری دراستیک ایجاد می‌کند. آبخوان دشت ساری به دلیل عمق کم آب زیرزمینی به شدت تحت تاثیر آلاینده‌های حاصل از کشاورزی و فعالیت شهرک‌های صنعتی قرار می‌گیرد لذا منطقه مورد مطالعه براساس نقشه نهایی خطرپذیری، پتانسیل آسیب‌پذیری شدید آبخوان و میزان آلودگی موجود در آن، جهت ایجاد شهرک‌های جدید صنعتی از موقعیت مناسبی برخوردار نمی‌باشد. همچنین در صورت عدم رعایت ملاحظات زیست محیطی توسط کشاورزان و واحدهای صنعتی موجود در دشت، خسارات جبران ناپذیری به آبخوان وارد می‌شود.

**کلید واژه‌ها:** آسیب‌پذیری، دراستیک، ساری، آبخوان، توسعه صنعتی

۱- استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر

۲- دانش آموخته دکترای زمین شناسی گرایش هیدروژئولوژی، بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز

## مقدمه

امروزه مسئله محیط زیست در حال تبدیل شدن به یک بحران حقیقی می‌باشد. از سوی دیگر توسعه هر کشور در گرو داشتن صنعتی پاک و عاری از آلودگی زیست محیطی است. با توجه به اینکه صنعت یکی از بخش‌های بسیار مهم و کلیدی اقتصاد به حساب می‌آید، شناخت مواد آلاینده و تعیین راه‌های کاهش اثرات زیست محیطی آنها می‌تواند گامی موثر بر توسعه صنعت کشور و ایجاد محیط زیستی سالم محسوب گردد. ایجاد نواحی صنعتی با توجه به وسعت آن‌ها منجر به برهم زدن تعادل محیط زیست می‌شوند. احداث این‌گونه نواحی منجر به تغییرات اساسی در سیمای محیط زیست منطقه می‌گردد. در این مقاله سعی بر آن است تا با ارزیابی زیست محیطی و با در نظر گرفتن کلیه ویژگی‌های منطقه، به مکانیابی و احداث مراکز تجمع واحدهای صنعتی و شهرک‌ها در دشت ساری پرداخته شود. شهرک صنعتی مکانی است دارای محدوده و مساحت معین که موقعیت مکانی آن طبق ضوابط و اصول مکان‌یابی پروژه‌های صنعتی و براساس استراتژی توسعه شهرک‌های صنعتی کشور معین شده و تأسیسات زیربنایی و خدمات فنی مورد نیاز در رابطه با نوع فعالیت صنعتی در آن استقرار می‌یابند (بنتون و ویلنو<sup>۱</sup>، ۱۹۸۹). برای مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی، بایستی فاکتورها و عوامل موثر بر آن تعیین شوند و با یک مدل ریاضی مناسب تلفیق گردند تا مکان مطلوب مشخص گردد (اسمیت<sup>۲</sup>، ۱۹۷۱:۳۴). فاکتورهای موثر در تعیین مکان شهرک‌های صنعتی به منظور دستیابی به توسعه پایدار صنعتی عبارتند از:

(الف) عوامل موثر جهت دسترسی به تسهیلاتی مانند جاده، فرودگاه، راه‌آهن، امکانات شهری، امکانات درمانی، مراکز آموزشی، ایستگاه‌های پلیس و ...

(ب) فاکتورهای موثر در تأمین امکانات زیربنایی مانند آب، برق، گاز، تلفن و ...

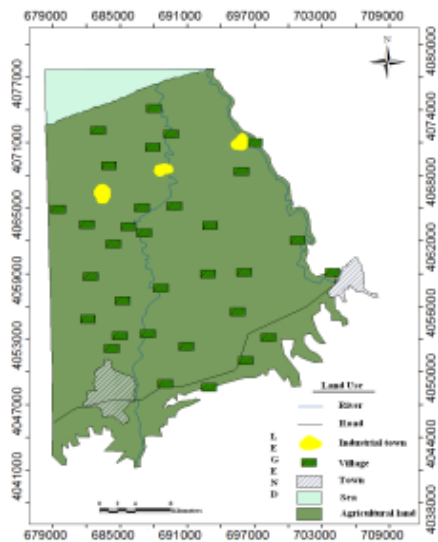
(ج) عوامل موثر در حفاظت از محیط زیست مانند آلودگی هوا، جنگل‌ها، مراتع، جلوگیری از انقراض گیاهان و نسل حیوانات.

(د) عوامل طبیعی هیدروژئولوژیکی موثر در حفاظت منابع آبی و آبخوان‌ها مانند عمق آب زیرزمینی، مقدار تغذیه و بارش در یک دشت، جنس آبخوان، جنس خاک، شیب زمین، جنس محیط

غیراشباع و هدایت هیدرولیکی آبخوان.

به منظور تعیین مکان مناسب برای ساخت شهرک‌های صنعتی در یک دشت بایستی تمامی فاکتورهای فوق مورد ارزیابی قرار گیرند و در صورتی که منطقه مورد مطالعه از لحاظ کلیه عوامل در طبقه مناسبی قرار بگیرد احداث شهرک‌های صنعتی در آن بدون مانع می‌باشد. اما از آنجایی که حفظ محیط زیست، بخش مهمی از مدیریت هر صنعت می‌باشد، "سازمان صنایع کوچک و شهرک‌های صنعتی ایران" به‌عنوان متولی ایجاد و توسعه شهرک‌های صنعتی و بانی "صنعت سبز" در کشور، با بهره‌گیری از حداکثر توان خود درصدد توسعه پایدار و همه جانبه صنعت از طریق ساخت شهرک‌های صنعتی جدید و توسعه شهرک‌های صنعتی موجود است به این معنی که بدون حفظ محیط زیست، توسعه هر صنعتی توسعه تک‌بعدی و ناپایدار خواهد بود. بنابراین، این سازمان بایستی جهت دستیابی به توسعه صنعتی پایدار در زمینه محیط زیست، "مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی با توجه به ملاحظات زیست محیطی، انجام ارزیابی زیست محیطی قبل از احداث شهرک‌های صنعتی و نیز استقرار و بهره‌برداری از سیستم‌های مدیریت زیست محیطی و تولید پاک‌تر" را مدنظر قرار دهد و با اجرای این سیاست‌ها در ایجاد و توسعه شهرک‌ها و واحدهای جدید صنعتی از طریق بررسی فاکتورهای موثر بر مکان‌یابی به اهداف نهایی خود برسد. با توجه به محدودیت منابع آبی و تهدید این منابع از سوی آلاینده‌های مختلف صنعتی، کشاورزی و شهری، ضرورت تدوین و اجرای برنامه‌های جامع مدیریت کمیت و کیفیت منابع آب بیش از پیش، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجایی که آب‌های زیرزمینی از مهمترین منابع آبی طبیعی می‌باشد، بنابراین حفاظت کیفی آب‌های زیرزمینی مسئله‌ای مهم و حیاتی است. با توجه به اهمیت این موضوع مهمترین فاکتور موثر در تعیین مکان شهرک‌های صنعتی به منظور دستیابی به توسعه پایدار صنعتی، عوامل طبیعی هیدروژئولوژیکی می‌باشد. مسئله اساسی این تحقیق، کاربرد معیارهای هیدروژئولوژیکی موثر در مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی جدید و تهیه نقشه‌ی خطرپذیری آبخوان دشت ساری برای دستیابی به توسعه پایدار است. هدف تحقیق، تعیین بهترین مکان مناسب برای توسعه صنعتی در دشت ساری است که کمترین اثرات سوء را در حال حاضر و در بلندمدت به دنبال داشته باشد و با توجه به شرایط موجود در منطقه، خسارات جبران ناپذیری به آبخوان وارد نکند.

1. Banton and Villeneuve  
2. Smith



شکل ۱- نقشه کاربری زمین دشت ساری

و اطلاعات موجود وارد پایگاه اطلاعاتی GIS گردید. در این تحقیق از منابع اطلاعاتی گوناگونی از جمله نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه خاک با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، آمار هواشناسی، هیدرولوژی، سطح آب زیرزمینی، نتایج آزمایش‌های پمپاژ، لوگ حفاری چاه‌های اکتشافی و بهره‌برداری، نقشه‌های مطالعات ژئوفیزیکی و آمار منابع و مصارف آب از شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران استفاده شده است. نقشه‌های خطرپذیری تهیه شده به وسیله مدل دراستیک برای نشان دادن نواحی با بیشترین پتانسیل برای آلودگی آب‌های زیرزمینی براساس فاکتورهای هیدرولوژیکی به کار می‌روند (آلر<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۸۷) که از ۷ لایه اصلی تشکیل شده‌اند که عبارتند از: عمق تا سطح ایستابی (D)، تغذیه خالص (R)، جنس ضخامت اشباع (A)، نوع خاک (S)، شیب و توپوگرافی (T)، اثر منطقه غیراشباع (I)، هدایت هیدرولیکی (C) که در بخش یافته‌ها به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند. پس از تهیه پارامترهای موردنیاز برای ارزیابی آسیب‌پذیری به روش دراستیک نقشه آسیب‌پذیری آبخوان تهیه می‌شود و جهت بررسی میزان دقت و صحت نقشه آسیب‌پذیری تهیه شده، بایستی آنالیز حساسیت به دو روش حذف لایه و تک پارامتری انجام شود. در نهایت براساس نتایج حاصل از نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان ساری، مکان‌های مناسب جهت ایجاد شهرک‌های صنعتی جدید در محدوده دشت ساری تعیین می‌شود.

6. Aller

یک ابزار مناسب جهت تهیه نقشه خطرپذیری براساس شاخصه‌های آسیب‌پذیری روش دراستیک می‌باشد (تیرومالیواسان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۳) مدل دراستیک با استفاده از نرم‌افزار GIS و جمع‌آوری داده‌های رقومی و نیز براساس قرار دادن لایه‌های مختلف بر روی هم، شاخص خطرپذیری را به عنوان تابع خطی از فاکتورهای مختلف محاسبه می‌کند (بن‌هام کارتر و مریم<sup>۲</sup>، ۱۹۹۵: ۴۱۶). این روش به‌طور وسیعی در ایران و سایر کشورهای جهان برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت‌های مختلف، به کار گرفته شده است (همزه<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۷؛ زامورانو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ شریفی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۹؛ سرچشمه و شاه‌محمدی، ۲۰۱۷؛ اروجی و سلگی، ۲۰۱۶؛ کدخدایی ایلخچی و همکاران، ۲۰۱۹). از آنجایی که تاکنون پژوهشی در زمینه مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی با استفاده از روش دراستیک به انجام نرسیده است بنابراین در این تحقیق از مدل دراستیک جهت مکان‌یابی شهرک‌های جدید صنعتی دشت ساری استفاده شده است.

## مواد و روش کار

### • محدوده مورد مطالعه

دشت ساری در محدوده‌ای بین شرق شهر ساری تا غرب شهر نکاء واقع شده است. مساحت محدوده مورد مطالعه حدود ۶۳۵/۸۵ کیلومتر مربع بوده که میانگین بارندگی سالانه آن ۷۳۲/۸ میلی‌متر است. از نظر منابع آب‌های سطحی، رودخانه‌های دائمی تجن و نکارود در آن جاری می‌باشند. در آبخوان ساری ده چشمه، ۸ رشته قنات و ۷۲۹۷ حلقه چاه پمپاژ وجود دارد و بیشترین بهره‌برداری از آبخوان ساری از طریق چاه‌های بهره‌برداری صورت می‌گیرد. شکل (۱) نقشه کاربری زمین در دشت ساری را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد کل محدوده دشت، باغ و زمین‌های کشاورزی می‌باشد. در این محدوده، در حال حاضر تنها سه شهرک صنعتی فعال وجود دارد.

### • روش بررسی

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت ساری با استفاده از روش دراستیک در محیط GIS انجام شده است. برای این منظور آمار

1. Thirumalaivasan
2. Bonham-Carter and Merriam
3. Hamza
4. Zamorano
5. Sharifi

## یافته‌های پژوهش

## • تهیه نقشه آسیب‌پذیری به روش دراستیک

۱- عمق تا سطح ایستایی (D): عبارت است از فاصله‌ای که آلودگی باید طی کند تا به آب زیرزمینی برسد و اهمیت زیادی در انتقال آلودگی دارد و این لایه در مدل دراستیک دارای وزن ۵ می‌باشد (آلر و همکاران، ۱۹۸۷). در این تحقیق برای تهیه این لایه از داده‌های عمق آب زیرزمینی در اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۴ که در طی ۲۰ سال گذشته به‌عنوان کمترین عمق آب در دشت گزارش شده، استفاده شده است. هرچه عمق سطح ایستایی کمتر باشد میزان خطرپذیری افزایش پیدا می‌کند (چیت‌سازان و اختری<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹). حداقل عمق سطح ایستایی در منطقه ۰/۵۲ متر و حداکثر عمق ۱۴/۴۷ متر می‌باشد. لایه عمق تا سطحی ایستایی پس از ارزش‌دهی به هر یک از نقاط، درون‌یابی شده و نقشه نهایی در شکل ۲ نشان داده شده است.

۲- تغذیه خالص (R): میزان تغذیه عبارت است از میزان آبی که از سطح زمین به طرف آب زیرزمینی حرکت می‌کند. آب تغذیه شده می‌تواند آلودگی را حمل کرده و به سطح آب زیرزمینی برساند، در مناطقی که میزان تغذیه بیشتر است میزان خطرپذیری نیز بیشتر می‌باشد (آیمان<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹؛ علیزاده، ۲۰۰۷: ۱۲۵). برای محاسبه تغذیه خالص دشت ساری از مطالعات انجام شده توسط شرکت آب منطقه‌ای ساری تحت عنوان گزارش بیلان حوضه‌های آبریز رودخانه‌های مازندران (جدول ۱) استفاده شده است (رادمنش و همکاران، ۲۰۱۸).

نقشه لایه تغذیه پس از ارزش‌دهی به هر یک از نقاط براساس روش استاندارد دراستیک (آلر و همکاران، ۱۹۸۷)، درون‌یابی شده و نقشه نهایی در شکل ۲ نشان داده شده است.

۳- جنس ضخامت اشباع (A): بخش اشباع عبارت است از بخشی که دارای حجم قابل‌توجهی از آب به‌صورت اشباع می‌باشد، آلودگی سطحی در نهایت به این محیط می‌رسد و بسته به مواد تشکیل‌دهنده، این بخش نقش مهمی در کاهش آلودگی دارد. هر چه مواد ریز در منطقه اشباع بیشتر باشد میزان کاهش آلودگی در این بخش بیشتر می‌باشد (رادمنش و همکاران، ۲۰۱۸). اطلاعات مربوط به محیط آبخوان در دشت ساری از نتایج کاوش‌های زیرسطحی (لوگ حفاری‌های اکتشافی، پیرومتری و چاه‌های بهره‌برداری)، کاوش‌های ژئوفیزیکی و

جدول ۱- عوامل مؤثر در تغذیه آبخوان دشت ساری

شهر ساری	بخش جنوبی	بخش شمالی	سالانه (cm/year)	عوامل
۰/۴	۱/۶	۱/۶	تغذیه کشاورزی	
۰/۲۴	۲/۹	۲/۹	تغذیه شرب	
۰/۰۱	۰/۱	۰/۱	تغذیه صنعتی	ورودی
۳/۵	۶/۳۶	۶/۳۶	رواناب	
۲/۵	۱۴/۱۶	۱۴/۱۶	تغذیه بارش	
۱۵/۳۶	۱۶/۳۷	۰	ورودی رود	
۲۲/۰۱	۴۱/۴۹	۲۵/۱۲	مجموع	

زمین‌شناسی منطقه به دست آمده است و با توجه به روش استاندارد دراستیک (آلر و همکاران، ۱۹۸۷)، خصوصیات محیط آبخوان ارزش‌گذاری شده است (شکل ۲)

۴- نوع خاک (S): این لایه بیانگر جنس لایه‌ای از خاک می‌باشد که بر روی سطح زمین قرار دارد. ویژگی‌های لایه سطحی خاک میزان آبی را که خاک از سطح می‌تواند به طرف آب زیرزمینی منتقل کند را کنترل می‌کند. هر چه ذرات خاک درشت‌تر باشند مانند شن و ماسه میزان انتقال آب بیشتر است و در نتیجه میزان خطرپذیری در این نواحی نیز بیشتر خواهد بود (رحمان<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸).

برای تهیه لایه خاک سطحی از نقشه خاک تهیه شده توسط شرکت آب منطقه‌ای ساری استفاده شده است که این نقشه با استفاده از نتایج آنالیز نمونه خاک که توسط آزمایشگاه آب و خاک ساری انجام شده است تصحیح شده است. درنهایت با توجه به روش استاندارد دراستیک (آلر و همکاران، ۱۹۸۷)، نقشه لایه خاک سطحی ارزش‌گذاری شده است که در شکل ۲ نشان داده شده است.

۵- شیب و توپوگرافی (T): منظور از توپوگرافی میزان شیب یک ناحیه می‌باشد. مناطق با شیب کم تمایل دارند که آب را در سطح خود نگه دارند و توانایی بیشتری برای انتقال آلودگی دارند و مناطق با شیب زیاد با ایجاد رواناب، آب کمتری را نفوذ می‌دهند و توانایی کمتری در انتقال دارند. برای تهیه لایه توپوگرافی از نقشه‌های توپوگرافی DGN ساری با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شده است. برای این منظور نقشه توپوگرافی در نرم‌افزار Arc GIS به مدل رقمی ارتفاع تبدیل شده و نقشه شیب از مدل رقمی ارتفاع استخراج شده است و سپس با استفاده از روش استاندارد دراستیک (آلر و همکاران، ۱۹۸۷)، ارزش‌گذاری و کلاسه‌بندی شده است (شکل ۲).

1. Chitsazan and Akhtari  
2. Ayman

3. Rahman

$$\text{DRASTIC Index } (D_i) = (I_D \times W_D) + (I_R \times W_R) + (I_A \times W_A) + (I_S \times W_S) + (I_T \times W_T) + (I_I \times W_I) + (I_C \times W_C) \quad (1)$$

کلاسه‌بندی و ارزش‌گذاری کلاس‌های مختلف مربوط به هر کدام از پارامترها براساس روش استاندارد دراستیک (آلر و همکاران، ۱۹۸۷)، در محیط GIS انجام شده است. به هر پارامتر مدل دراستیک و نسبت به اهمیت هر یک از آن‌ها در آسیب‌پذیری، وزنی برابر ۱ تا ۵ اختصاص داده می‌شود (آلر و همکاران، ۱۹۸۷). از تلفیق این پارامترها نقشه‌ای حاصل خواهد شد که آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی را در مقابل آلودگی در تک تک سلول‌ها به صورت طیف رنگی نشان می‌دهد. شاخص آسیب‌پذیری به پنج گروه آسیب‌پذیری پایین کوچکتر از ۸۰، آسیب‌پذیری متوسط از ۸۰ تا ۱۲۰، آسیب‌پذیری بالا از ۱۲۰ تا ۱۶۰، آسیب‌پذیری بسیار بالا از ۱۶۰ تا ۱۸۵ و آسیب‌پذیری بسیار بسیار بالا که بیشتر از ۱۸۵ می‌باشد تقسیم‌بندی شده است (آلر و همکاران، ۱۹۸۷). براساس این طبقه‌بندی، نقشه خطرپذیری دشت ساری در سه گروه آسیب‌پذیری بالا، بسیار بالا و بسیار بسیار بالا قرار گرفت (شکل ۲). آسیب‌پذیری آبخوان پتانسیل آبخوان را برای آلودگی نشان می‌دهد و نباید با خطر آلودگی اشتباه گردد. با توجه به نقشه آسیب‌پذیری تهیه شده، دشت ساری نسبت به ورود آلودگی بسیار حساس می‌باشد. در صورتی که میزان آلودگی در دشت از میزان ظرفیت جذب و تجزیه آلودگی توسط گیاهان و طبیعت بیشتر باشد این آلودگی به راحتی می‌تواند وارد آب زیرزمینی شده و منابع آب زیرزمینی و سطحی موجود در دشت را آلوده سازد به همین دلیل اجرای یک سیستم مدیریتی کارا و دقیق در دشت ساری برای کنترل آلودگی و جلوگیری از آلوده شدن منابع آب بسیار لازم و ضروری می‌باشد. برای اطمینان از جواب‌های به‌دست آمده در نقشه خطرپذیری نهایی و تعیین لایه‌هایی که بیشترین تأثیر را در افزایش میزان خطرپذیری دارند و نیز به منظور اجرای مدیریت صحیح در دشت ساری از آنالیز حساسیت استفاده شده است.

۶- اثر منطقه غیراشباع (I): بیانگر خصوصیات میرایی مواد تشکیل‌دهنده آبخوان در بخش غیراشباع است و از اهمیت زیادی در ارزیابی آسیب‌پذیری برخوردار است. نحوه تهیه اطلاعات مربوط به منطقه غیراشباع همانند محیط آبخوان است با این تفاوت که در این مورد دانه‌بندی و خصوصیات رسوبات ما بین سطح آب زیرزمینی و سطح زمین مورد توجه قرار می‌گیرد (شکل ۲).

۷- هدایت هیدرولیکی (C): این پارامتر بیان‌کننده قابلیت هدایت آب و آلاینده‌های محلول در آن است. اطلاعات مربوط به هدایت هیدرولیکی از محاسبات آزمایش پمپاژ حاصل می‌گردد. در مناطقی که آزمایش پمپاژ انجام نگردیده است، براساس نوع

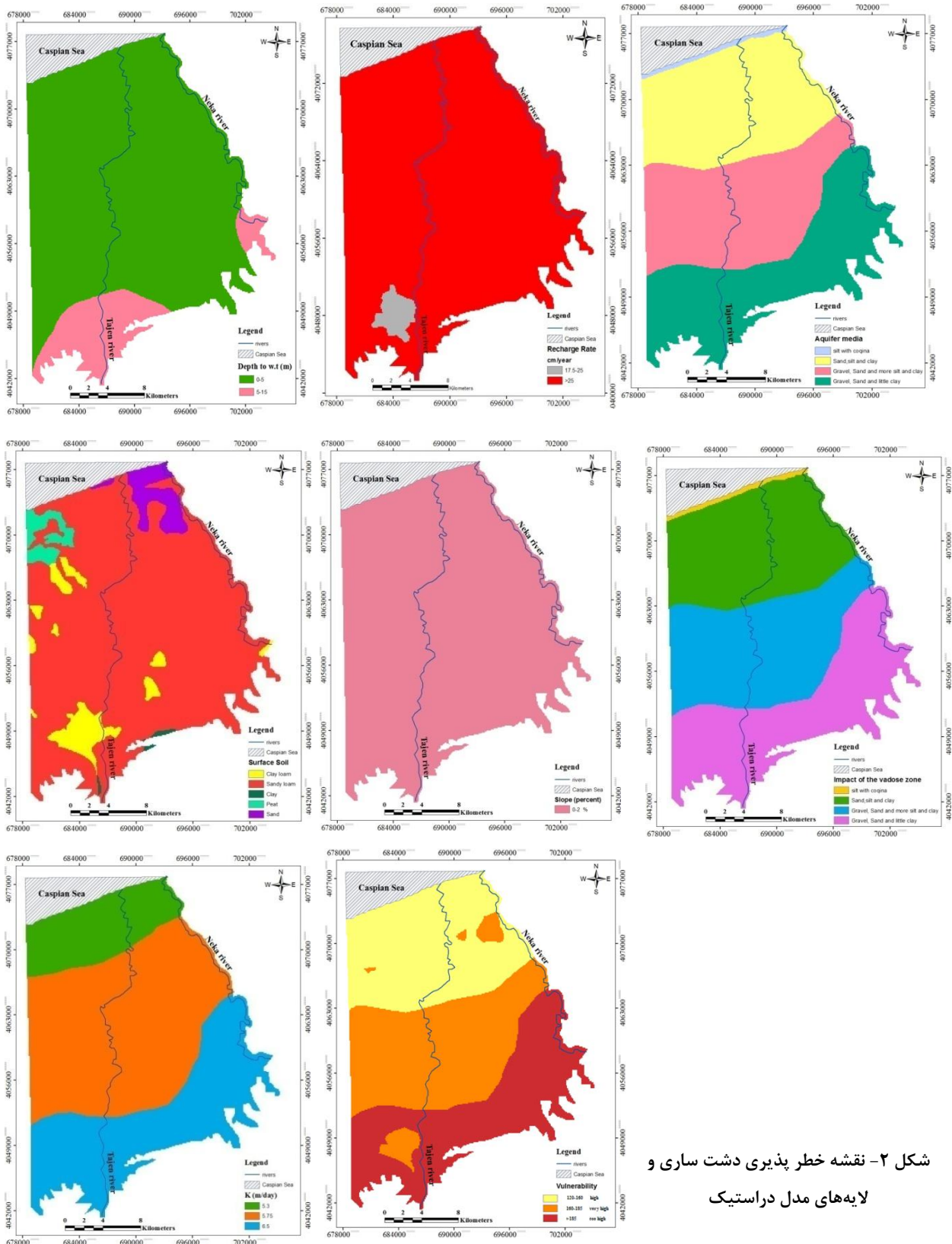
جدول ۲- پارامترهای آماری استفاده شده در تهیه مدل دراستیک

پارامتر	حداقل حداکثر متوسط انحراف			
	٪	٪	٪	معیار ٪
عمق ایستابی (لایه D)	۹	۱۰	۹/۵	۰/۵
تغذیه خالص (لایه R)	۸	۹	۸/۵	۰/۵
جنس اشباع (لایه A)	۲	۸	۵	۲/۲۳
خاک سطحی (لایه S)	۲	۹	۶	۲/۴۵
توپوگرافی (لایه T)	۱۰	۱۰	۱۰	۰
جنس غیراشباع (لایه I)	۲	۸	۵	۲/۲۳
هدایت هیدرولیکی (لایه C)	۴	۹	۶/۶۶	۲/۰۵

و بافت رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان تخمین زده می‌شود. در این تحقیق نقشه هدایت هیدرولیکی از نتایج مدل ریاضی آب زیرزمینی دشت ساری با استفاده از برنامه مادفلو (آذری و سامانی، ۲۰۱۰) استخراج شده است (شکل ۲).

پس از تهیه پارامترهای موردنیاز برای ارزیابی آسیب‌پذیری به روش دراستیک (جدول ۲) اقدام به تهیه نقشه آسیب‌پذیری شده است.

در این روش از تلفیق پارامترهای هفت‌گانه براساس معادله (۱) شاخص آسیب‌پذیری به‌دست می‌آید که در آن I ارزش کلاسه‌بندی شده هر پارامتر و W وزن هر یک از پارامترها است.



شکل ۲- نقشه خطر پذیری دشت ساری و لایه‌های مدل دراستیک

• آنالیز حساسیت

جهت بررسی میزان دقت و صحت نقشه خطرپذیری تهیه شده دشت ساری، بایستی آنالیز حساسیت انجام شود. در این تحقیق این آنالیز به دو روش حذف لایه و تک پارامتری انجام گرفته

است. برای انجام آنالیز اول از معادله (۲) استفاده شده است (لادویک<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۰). در معادله (۲)، S میزان

1. Lodwick

آنالیز حساسیت تک پارامتری نیز برای ارزیابی تأثیر هر یک از هفت لایه مدل دراستیک بر روی میزان خطرپذیری انجام می‌گیرد. در این آنالیز وزن مؤثر هر پارامتر به وسیله معادله ۳ محاسبه شده و با وزن تئوری اش که اولین بار توسط Aller و همکارانش در سال ۱۹۸۷ ارائه گشت مقایسه می‌شود (رزن<sup>۱</sup>، ۱۹۹۴؛ جعفری و همکاران، ۲۰۱۹؛ المصری<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸؛ سامی و گانگ<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸)

$$W = (P_r \times P_w / D_i) \times 100 \quad (3)$$

در معادله (۳)، W وزن مؤثر یک لایه در یک پلیگون، P<sub>w</sub> و P<sub>r</sub> به ترتیب ارزش و وزن هر لایه و D<sub>i</sub> شاخص خطرپذیری کلی پلیگون می‌باشد. میزان وزن مؤثر و تئوری هر کدام از لایه‌ها محاسبه و در جدول ۵ نشان داده شده است. براساس آنالیز حساسیت تک پارامتری عمق تا سطح ایستایی با میزان متوسط ۲۷/۹ درصد وزن مؤثر تأثیر گذارترین لایه در بین هفت لایه می‌باشد که با نتایج آنالیز حذف نقشه مشابه می‌باشد لذا در تهیه این لایه باید بیشتر دقت شود.

$$\text{DRASTIC Index } (D_i) = (6.4 \times r_D) + (4.5 \times r_R) + (2 \times r_A) + (1.6 \times r_S) + (1.3 \times r_T) + (3.4 \times r_I) + (2.7 \times r_C) \quad (4)$$

با توجه به وزن تصحیح شده، نقشه جدید خطرپذیری دشت ساری به وسیله معادله ۴ تهیه گشت که در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین در این شکل، موقعیت شهرک‌های صنعتی فعال موجود در دشت (شهرک صنعتی ساری ۱، شهرک صنعتی ساری ۲ و شهرک صنعتی گهرباران) در زون با خطرپذیری بسیار بالا مشاهده می‌گردد.

جدول ۵- میزان وزن مؤثر و تئوری لایه‌ها در آنالیز حساسیت تک پارامتری

لایه	وزن تئوری	وزن تصحیح شده	وزن مؤثر محاسبه شده %			انحراف معیار	
			متوسط	حداکثر	حداقل		
D	۵	۶/۴	۲۱/۷	۲۶/۳۵	۲۹/۲۸	۲۷/۹	۱/۴۶
S	۲	۱/۶	۸/۷	۲/۳۴	۱۰/۵۴	۷/۱	۲/۸۶
T	۱	۱/۳	۴/۳	۵/۸۵	۵/۸۵	۵/۸۵	۱/۳
R	۴	۴/۵	۱۷/۴	۱۸/۷۴	۲۱/۰۸	۱۹/۹۱	۱/۱۷
A	۳	۲	۱۳	۳/۵۱	۱۴/۰۵	۸/۸	۳/۹۲
C	۳	۲/۷	۱۳	۷/۰۲	۱۵/۸۱	۱۱/۷۱	۳/۶
I	۵	۳/۴	۲۱/۷	۵/۸۵	۲۳/۴۲	۱۴/۶۴	۶/۵۴

2. Rosen  
3. Almasri  
4. Samey and Gang

حساسیت برحسب درصد و D<sub>i</sub> شاخص دراستیک محاسبه شده بوسیله معادله (۱) با استفاده از تمام هفت لایه می‌باشد و D<sub>i</sub>' شاخص دراستیک محاسبه شده به وسیله معادله (۱) که با حذف یک یا تعداد بیشتری از لایه‌ها به دست آمده است، n و N به ترتیب تعداد لایه‌هایی هستند که برای محاسبه D<sub>i</sub>' و D<sub>i</sub> به کار برده شده‌اند. ابتدا در هر بار انجام آنالیز حساسیت تنها یک لایه از هفت لایه حذف شده و میزان حساسیت نقشه خطرپذیری نسبت به هر لایه مشخص شده است که نتایج انجام این آنالیز در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۳، بیشترین متوسط میزان حساسیت با حذف لایه عمق تا سطح ایستایی از نقشه خطرپذیری حاصل می‌شود که برابر با ۲۰/۳۷ درصد می‌باشد.

$$S = \left( \left| \frac{D_i}{N} - \frac{D_i'}{n} \right| / D_i \right) \times 100 \quad (2)$$

جدول ۳- پارامترهای آماری میزان حساسیت به روش حذف یک لایه

پارامتر حذف شده	حداقل	حداکثر	متوسط	انحراف معیار
	%	%	%	%
عمق ایستایی (لایه D)	۱۲/۶۳	۲۶/۸۵	۲۰/۳۷	۱۶/۱۳
خاک سطحی (لایه S)	۷/۹۴	۹/۶۴	۱۰/۵۷	۱۹/۱۴
توپوگرافی (لایه T)	۷/۹۴	۱۰/۸۳	۹/۷۹	۱۶/۶۶
تغذیه خالص (لایه R)	۴/۴۳	۱۴/۶۸	۹/۴۷	۱۷/۵۵
جنس اشباع (لایه A)	۲/۶	۱۱/۴۴	۵/۵۷	۲۰/۷۴
هدایت (لایه C)	۰/۸۴	۶/۲۱	۳/۴۴	۱۳/۴۷
جنس غیر اشباع (لایه I)	۳/۲۳	۱۲/۳۳	۲/۰۹	۴۱/۸۴

در روش دوم انجام آنالیز حساسیت حذف نقشه ابتدا لایه ای که کمترین میزان تأثیر را در روش اول داشته حذف و میزان حساسیت محاسبه شده و سپس به ترتیب برحسب میزان تأثیر هر لایه در روش اول، در ابتدا لایه‌های با تأثیر کمتر و در نهایت لایه‌های با بیشترین تأثیر حذف شده‌اند و میزان حساسیت در هر مرحله محاسبه شده که در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- پارامترهای آماری میزان حساسیت هر لایه به روش حذف بیش از یک لایه

پارامترهای استفاده شده	حداقل	حداکثر	متوسط	انحراف معیار
	%	%	%	%
D,R,A,S,T,C	۳/۲۳	۱۲/۳۳	۲/۰۹	۴۱/۸۴
D,R,A,S,T	۷/۱۰	۱۰/۳۲	۰/۳۷	۱۴۶/۰۷۳
D,S,T,R	۰/۲۸	۱۸/۸۶	۴/۶۳	۴۰/۹۲
D,S,T	۲/۷۱	۸/۵۱	۵/۹	۲۹/۷۸
D,S	۱۹/۶۳	۱۰۰/۴	۲۰/۶۶	۵/۶۷
D	۷۵/۹۳	۱۱۰	۹۴/۷۵	۱۱/۳۴



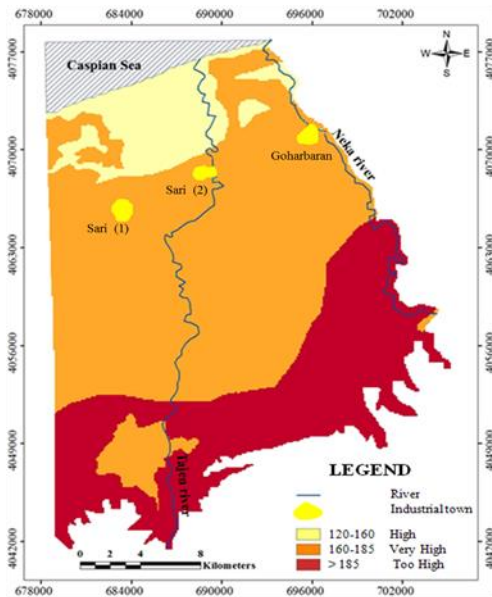
تا به سفره آب زیرزمینی برسد. بنابراین این عامل باعث خواهد شد تا آلاینده‌های حاصل از کشاورزی، شهرک‌ها و واحدهای صنعتی که دارای آلاینده‌هایی از جمله نیترات و انواع فلزات سنگین هستند در طی زمان کمتری به سفره آب زیرزمینی رسیده و آن را آلوده کند.

دومین عامل موثر در آلودگی آبخوان دشت ساری، میزان آبی است که از سطح زمین به آبخوان تغذیه می‌شود. از آنجایی که میزان بارش و تغذیه آب زیرزمینی در دشت ساری بالاست لذا سالانه حجم زیادی از آلاینده‌ها به سرعت به آبخوان منتقل می‌شوند. از آنجایی که مساحت زیادی از دشت ساری از رسوبات دانه درشت گراول و ماسه تشکیل شده است و این رسوبات دارای نفوذپذیری بالایی هستند لذا با سرعت بالایی می‌توانند آلودگی‌ها را به سطح آبخوان منتقل کنند بنابراین جنس محیط غیراشباع نقش مهمی در آلودگی آبخوان ساری به عهده دارد. همچنین جنس آبخوان و دانه‌بندی رسوبات آبخوان ساری به‌گونه‌ای است که مساحت زیادی از آبخوان دارای هدایت هیدرولیکی بالایی می‌باشند و آلاینده‌ها به محض رسیدن به سطح آب زیرزمینی در کل محیط آبخوان پخش می‌شوند. از آنجا که محیط آبخوان و طول مسیری که آلاینده جهت ترقیق، جذب و پخش به آن نیاز دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است به دلیل نفوذ پذیرتر بودن بافت محیط آبخوان به ویژه در قسمت‌های جنوبی و مرکزی دشت ساری، این ناحیه از پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به دیگر قسمت‌های آبخوان برخوردار است.

عوامل جنس و ضخامت خاک سطحی و توپوگرافی دشت ساری نسبت به سایر عوامل در ایجاد آلودگی آبخوان، از اهمیت کمتری برخوردارند.

در نهایت نقشه آسیب‌پذیری آبخوان ساری نشان می‌دهد که این آبخوان دارای آسیب‌پذیری با درجات شدید نسبت به نفوذ آلودگی‌های حاصل از فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی است. بیشترین احتمال نفوذ آلاینده‌ها نیز مربوط به بخش‌های جنوبی و مرکزی دشت ساری است.

حمزه و همکاران در سال ۲۰۰۷ جهت بررسی آسیب‌پذیری آبخوان Metline-Ras Jebel-Raf Raf واقع در شمال تونس به آفتکش و آلاینده‌های معمول از مدل دراستیک ویژه آفتکش و دراستیک استاندارد استفاده نمودند و به این نتیجه دست یافتند که بیشتر بخش‌های آبخوان مذکور دارای



شکل ۳- نقشه خطرپذیری حاصل از آنالیز حساسیت تک پارامتری

با مقایسه دو نقشه خطرپذیری اولیه و تصحیح شده مشخص می‌شود که در نقشه خطرپذیری تصحیح شده میزان خطرپذیری افزایش یافته و مساحت مناطق با خطرپذیری بسیار بالا، رشد چشمگیر ۲۰ درصدی داشته است.

### بحث و نتیجه گیری

یکی از نکات مهم که در طرح زیست‌محیطی مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی باید به آن توجه کرد جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی است. در این تحقیق امکان ایجاد واحدها و شهرک‌های جدید صنعتی در دشت ساری با توجه به میزان آسیب‌پذیری این دشت نسبت به آلاینده‌ها، به وسیله مدل دراستیک بررسی گردید. هفت پارامتر مدل دراستیک شامل عمق سطح ایستایی آب، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، اثرات ناحیه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی آبخوان برای مطالعه آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در محیط GIS تلفیق گردید. از نقشه‌های خروجی برای تعیین پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی استفاده گردید. همان‌طور که در نتایج نیز مشاهده می‌شود دشت ساری از نظر آسیب‌پذیری در سه گروه آسیب‌پذیری بالا، بسیار بالا و بسیار بسیار بالا قرار می‌گیرد و این پتانسیل بسیار بالای آبخوان نسبت به آلودگی، امکان ایجاد واحدها و شهرک‌های جدید صنعتی را غیرممکن می‌سازد. کم بودن عمق سطح ایستایی آبخوان در اکثر نقاط این دشت نشان‌دهنده کم بودن فاصله ای است که آلاینده باید طی کند



به توسعه صنعتی پایدار و همه جانبه پیشنهاد می‌گردد ضمن کنترل دقیق‌تر عملکرد شهرک‌ها و واحدهای صنعتی فعال موجود در دشت (شهرک صنعتی ساری ۱، شهرک صنعتی ساری ۲ و شهرک صنعتی گهرباران) توسط سازمان محیط زیست، از ایجاد و توسعه شهرک‌ها و واحدهای جدید صنعتی در محدوده مورد مطالعه به‌طور جدی خودداری گردد. همچنین جهت جلوگیری از ایجاد آلودگی بیشتر در آبخوان توصیه می‌گردد که ضمن عدم استفاده از کودهای شیمیایی در فعالیت‌های کشاورزی و جایگزین کردن کودهای بیولوژیکی توسط کشاورزان، از آزادسازی آب موجود در زمین‌های کشاورزی به رودخانه‌های تجن و نکارود جلوگیری گردد و در مناطقی که دارای خطرپذیری بسیار بالا می‌باشند تغییر الگوی کشت به گیاهانی که به نیترات کمتری برای رشد نیاز دارند ضروری می‌باشد.

#### منابع

- Banton, O., Villeneuve, J.P., 1989. Evaluation of groundwater vulnerability to pesticides: A comparison between the pesticide drastic index and the PRZM leaching quantities. *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 4, No. 3, pp.285-296.
- Smith, D.M. *Industrial location: an economic geographic analysis*. 1st ed. New York: John Wiley & Sons; 1971.
- Thirumalaivasan, D., Karmegam, M., Venugopal, K., 2003. AHP DRASTIC: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS. *Environmental Modeling and Software*, Vol. 18, No. 7, pp.645-656.
- Bonham-Carter, G.F., Merriam D.F. *Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS*. Volume 13. 1st ed. Pergamon Press; 1995. P.416.
- Hamza, M.H., Added, A., Rodríguez, R., Abdeljaoued, S., Ben Mammou, A., 2007. A GIS-based DRASTIC vulnerability and net recharge reassessment in an aquifer of a semi-arid region (Metline-Ras JebelRaf Raf aquifer, Northern Tunisia). *Journal of Environmental Management*, Vol.84, No.1, pp. 9-12.
- Zamorano, M., Molero, E., Hurtado, A., Grindlay, A., Ramos, A., 2008. Evaluation of a municipal landfill site in Southern Spain with GIS-aided methodology. *Journal of Hazardous Materials*, Vol.160, No. 2-3, pp.473-481.
- Sharifi, M., Hadidi, M., Vessali, E., Mosstafakhani, P., Taheri, K., Shahoie, S., 2009. Integrating

آسیب‌پذیری متوسط نسبت به آلاینده‌ها است. در تحقیق دیگری Zamorano و همکاران در سال ۲۰۰۸ به بررسی و ارزیابی مکان دفن پسماند در جنوب اسپانیا با استفاده از روش EVIAVE که یک روش تشخیص مکان دفن پسماند ارایه شده توسط دانشگاه گرانادا میباشد همراه با کاربرد GIS پرداختند. در سال ۲۰۰۹ شریفی و همکاران به منظور انتخاب مکان دفن پسماند خطرناک در استان کردستان ترکیبی از آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS را به کار بردند.

همان طوری که ملاحظه می‌گردد محققان زیادی با موفقیت از ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان به کمک روش دراستیک در زمینه‌های مختلف از جمله مکان‌یابی محل دفن پسماند استفاده نمودند. اگرچه مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی با روش‌های هوش مصنوعی، فازی و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در دشت‌های مختلف ایران انجام شده است اما تاکنون پژوهشی در زمینه مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی با استفاده از روش دراستیک به انجام نرسیده است بنابراین در این زمینه، موردی جهت مقایسه با نتایج این تحقیق وجود ندارد.

#### نتایج

در این تحقیق نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان ساری در مقابل آلودگی با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS تهیه شده است. مدل دراستیک که به‌عنوان روشی بسیار ارزشمند برای تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری به کار می‌رود، GIS نیز به‌عنوان ابزاری سودمند برای غربالگری این که یک مکان ویژه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی است یا نه کاربرد دارد، بنابراین کاربرد آن‌ها توسط طراحان و برنامه ریزان برای انتخاب مکان ایجاد و احداث واحدها و شهرک‌های جدید صنعتی و ارزیابی آسیب‌پذیر بودن آبخوان زیرزمینی در اثر نفوذ آلاینده‌های حاصل از فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی موجود در دشت بسیار سودمند خواهد بود. بر پایه نتایج حاصل از مدل‌سازی دراستیک، آسیب‌پذیری آبخوان دشت ساری در سه گروه آسیب‌پذیری بالا، بسیار بالا و بسیار بسیار بالا قرار می‌گیرد. براساس نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان ساری که پتانسیل بالای دشت را نسبت به آلودگی نشان می‌دهد و همچنین حضور گسترده منابع آلودگی که سالانه حجم زیادی از آلاینده‌ها را وارد دشت می‌کند، دشت ساری از نظر زیست محیطی، منطقه پرخطری محسوب می‌گردد لذا جهت دستیابی

- Radmanesh, F., Sadri, S., Shahbazi, A., 2018. Evaluation of the vulnerability of the Jarmeh aquifer using DRASTIC and SINTACS methods. *Journal of Water and Sustainable Development*, Vol. 4, No. 2, pp. 111-120 (in Persian).
- Rahman, A., 2008. A GIS based DRASTIC model for assessing ground water vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Applied Geography*, Vol. 28, pp. 32-53.
- Azari, T., Samani, N., Evaluation of hydrodynamic parameters and water balance of Sari-Neka plain using MODFLOW computer code. 14th Iranian Geological Society Conference and 29th Earth Sciences Conference; 2010/09/17; Urmia. Urmia University; 2010. P.20-27 (in Persian).
- Lodwick, W.A., Monson, W., Svoboda, L., 1990. Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems: suitability analysis. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 4, No. 4, pp. 413-428.
- Rosen, L., 1994. A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions. *Groundwater*, Vol. 32, No. 2, pp. 278-285.
- Jafari, K., Hafezi-Moghaddas, N., Mazloumi, A., Ghezi, A., 2019. Determination of vulnerability of Ardebil aquifer using DRASTIC method in GIS. *Iranian Journal of Health and Environment*, Vol. 12, No. 3, pp. 461-476 (in Persian).
- Almasri, M., 2008. Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza coastal aquifer, Palestine. *Journal of Environmental Management*, Vol. 88, pp. 577-593.
- Samey, A.A., Gang, C., 2008. A GIS based DRASTIC model for the assessment of groundwater vulnerability to pollution in west Mitidja: Blida City, Algeria. *Research Journal of Applied Sciences*, Vol. 3, No. 7, pp. 500- 507.
- multicriteria decision analysis for a GIS-based hazardous waste landfill sitting in Kurdistan Province, western Iran. *Waste Management*, Vol.29, No.10, pp.2740-58.
- Sarcheshmeh, B., Shah Mohammadi S.h., 2017. Vulnerability assessment of Salmas plain aquifer contamination using Drastic model and GIS. *Water and Soil Science*, Vol.26, No.4.2, pp.55-67 (in Persian).
- Arouji, B., Selgi, E., 2016. Vulnerability assessment of Asadabad plain Hamadan using geographic information system. *Environmental Sciences*, Vol.14, pp. 91-104 (in Persian).
- Kadkhodaei-Ilkhchi, F., Asghari-moghaddam, A., Barzegar, R., Gharahkhani, M., 2019. Optimization of the Drastic and Syntax model in vulnerability assessment of Shabester plain. *Iranian Journal of Eco Hydrology*, Vol. 6, No. 1, pp. 77-88 (in Persian).
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J., Petty, R., Hackett, G., 1987. DRASTIC: astandardized system forevaluating ground water pollution potentialusing hydrogeologic settings, Ada, Oklahoma: US and Environmental Protection Agency, Vol. 600, pp. 2-87.
- Chitsazan, M., Akhtari, Y., 2009. A GIS-based DRASTIC Model for Assessing Aquifer Vulnerability in Kherran Plain, Khuzestan, Iran. *Water Resource Management*, Vol. 23, pp. 1137-1155.
- Ayman, A.A., 2009. Using generic and pesticide DRASTIC GIS-based models for vulnerability assessment of the quaternary aquifer at Sohag, Egypt. *Hydrogeology Journal*, Vol. 17, pp. 1203-1217.
- Alizadeh, A. Principles of Applied Hydrology. 21st ed. Mashhad: Imam Reza University; 2007 (in Persian).