

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره شش، شهریور ماه ۹۹

## پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت آبرفتی اردبیل با استفاده از تلفیق سامانه

### اطلاعات جغرافیایی و مدل دراستیک

حجت اله مردان<sup>۱\*</sup>

[Ho\\_mardan@yahoo.com](mailto:Ho_mardan@yahoo.com)

بهمن یارقلی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۲۳

#### چکیده

**زمینه و هدف:** منابع آب زیرزمینی دومین منبع آب شیرین موجود در جهان است و حدود یک سوم جمعیت جهان وابسته به آن می‌باشند. این آب‌ها که توسط چاه‌ها، قنات و چشمه‌ها قابل استحصال می‌باشند در مصارف مختلف مورد استفاده گرفته و در عوض حجم زیادی از پساب خانگی، صنعتی و کشاورزی وارد آبخوان‌ها می‌شود. هدف این تحقیق ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان آبرفتی دشت اردبیل برای مدیریت کاربری اراضی، نحوه پایش کیفی منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از آلودگی‌های آتی آن می‌باشد.

**روش بررسی:** در این تحقیق با هدف پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت اردبیل از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده و پردازش و تجزیه و تحلیل کیفی آبخوان به کمک آنها انجام شده است. همچنین با استفاده از نتایج موجود سنجش نیترا در منابع آب زیر زمینی منطقه، مدل دراستیک برای دشت اردبیل واسنجی شده است.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از مدل دراستیک نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری آبخوان دشت اردبیل بیش تر در گروه آسیب‌پذیری متوسط می‌باشد. طبق یافته‌های این تحقیق آسیب‌پذیری متوسط ۳۹/۳ درصد، آسیب‌پذیری کم ۳۲/۴ درصد و آسیب‌پذیری زیاد ۲۱/۱ درصد، آسیب‌پذیری خیلی کم ۶ درصد و آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۱/۱ درصد به ترتیب بیش‌ترین سهم از مساحت دشت را به خود اختصاص داده است.

**بحث و نتیجه‌گیری:** بر پایه نتایج حاصل از مدل‌سازی، آسیب‌پذیری آبخوان دشت اردبیل تقریباً در نیمه شرقی در گروه آسیب‌پذیری کم و نیمه غربی در گروه آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پتانسیل و میزان آلودگی آبخوان دشت اردبیل بالا می‌باشد. لذا با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی منطقه که برای اهداف مختلف بکار می‌رود، حفاظت این مناطق به منظور جلوگیری از آلودگی و مدیریت بهینه منابع آب ضروری است.

**واژگان کلیدی:** آب‌های زیرزمینی، دشت اردبیل، هم‌پوشانی وزنی، مدل دراستیک، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

۱- کارشناس ارشد، آلودگی‌های محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران\* (مسئول مکاتبات)

۲- استادیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کرج- ایران

## **Ardabil Alluvial Plain Aquifer Vulnerability Zoning Using a Combination of GIS and DRASTIC Method**

**Hojatollah Mardan<sup>1\*</sup>**

[Ho\\_mardan@yahoo.com](mailto:Ho_mardan@yahoo.com)

**Bahman Yargholi<sup>2</sup>**

Accepted: 2017.01.04

Received: 2016.08.13

**Background and Objective:** Groundwater resources are the second largest fresh water resources in the world and almost one third of the world population depend on these resources. These resources that are accessible through wells, canals and springs are utilized for different uses and in return they receive ample amount of domestic, industrial and agricultural waste waters. Assessment of aquifer vulnerability is very useful in land uses management and development, groundwater quality monitoring and prevention of water resources pollution.

**Method:** In current study, DRASTIC model in conjunction with GIS is used for zoning Ardabil plain vulnerability and aquifer quality data processing and analysis is performed accordingly by these tools. It also uses the measurement results of nitrate in groundwater, DRASTIC model is calibrated to the Ardabil plain.

**Findings:** The results of the drastic model show that the vulnerability of the Ardabil plain aquifer is more in the moderate vulnerability group. According to the findings of this study, moderate vulnerability is 39.3%, low vulnerability is 32.4% and high vulnerability is 21.1%, very low vulnerability is 6% and very high vulnerability is 1.1%, respectively.

**Discussion and Conclusion:** The level of contaminations of Ardabil aquifer was observed to be high and the result of this research revealed that its potential to be polluted is high. Therefore, given the importance of the groundwater resources in the region, it is necessary to establish a management plan to optimize the usage of this valuable resource.

**Key Words:** Groundwater, Ardabil Plain, Weighted Overlap, DRASTIC Model, Geographical Information System (GIS)

---

1 - M.Sc., Environmental Pollutions, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran  
\*(Corresponding Author)

2- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Karaj, Iran

## مقدمه

به آبخوان)، تهیه نقشه آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه است. این امر به‌منظور برنامه‌ریزی جامع حفاظت کیفی از این منابع در راستای توسعه پایدار ضروری می‌باشد. در این راستا بررسی وضعیت آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی استان اردبیل به کمک مدل دراستیک و نرم افزار GIS ضروری بوده و یافته‌های حاصل به‌عنوان رهنمودی مناسب برای مدیریت و حفاظت کیفی آبخوان دشت اردبیل محسوب شده و می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب مانع از توسعه کاربری‌های آلاینده در نقاط با آسیب‌پذیری بالا باشد.

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل دارای ۴ آبخوان اصلی در محدوده‌های اردبیل، مشگین‌شهر، مغان و خلخال می‌باشد. در این تحقیق آبخوان اردبیل مورد بررسی قرار می‌گیرد. این آبخوان به مساحت ۹۲۷ کیلومتر مربع در بر گیرنده دو شهر اردبیل و آبی بیگلو و حدود ۸۰ نقطه روستایی می‌باشد. این آبخوان در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱ دقیقه و ۳۹ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه و ۲۴ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۴ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۷ دقیقه و ۲۵ ثانیه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱).

## لایه‌های مورد استفاده

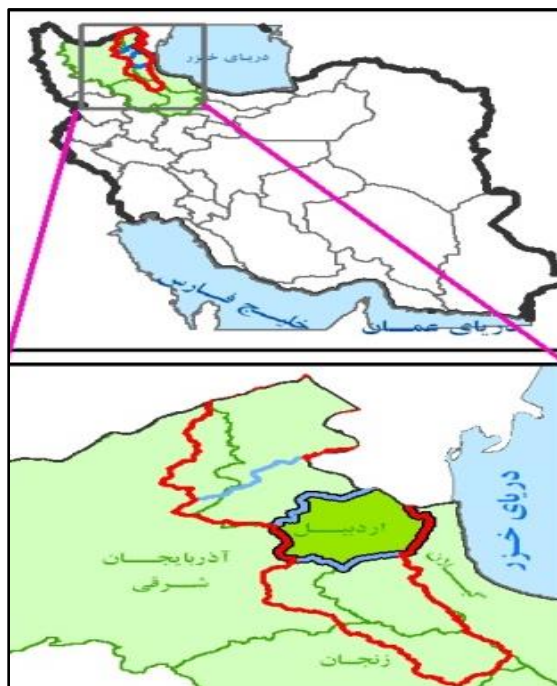
در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۹)، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی (۱۳۷۶)، نقشه خاک (گزارش سنتز مطالعات جامع توسعه کشاورزی، ۱۳۷۴) و اطلاعات مربوط به ساختمان آبخوان، حدود آبخوان، حفاری‌های اکتشافی، ویژگی‌های هیدرولیکی و هیدرودینامیکی آبخوان و ... استفاده شد. این داده‌ها بر اساس آخرین مطالعات شرکت آب منطقه‌ای اردبیل در مطالعات آب‌های زیرزمینی آبخوان‌های استان جمع‌آوری شده است. در ادامه با بررسی خصوصیات آبخوان اقدام به تعیین آسیب‌پذیری آن شده است. تعیین آسیب‌پذیری آبخوان با تلفیقی

آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع تامین آب در جهان است، در شرایط کنونی، بخش قابل ملاحظه‌ای از مصارف آب در کشور ما به خصوص در بخش شرب توسط منابع آب زیرزمینی تامین می‌گردد. در دشت اردبیل حدود ۵۰ درصد از مصارف شرب، کشاورزی و صنعت از منابع آب زیرزمینی تامین می‌گردد. عدم شناخت صحیح و یا عدم درک میزان آسیب‌پذیری سریع آب‌های زیرزمینی ممکن است سبب ایجاد آلودگی‌های شدید در این منابع شود و چه بسا منجر به عدم امکان استفاده مجدد از این منابع گردد و یا برای رفع آلودگی و مصرف مجدد، باید وقت و هزینه زیادی صرف گردد. مفهوم آسیب‌پذیری برای اولین بار در اواخر سال ۱۹۶۰ میلادی در فرانسه برای آگاهی بخشی در مورد آلودگی آب زیرزمینی ارائه شده است (۱). آسیب‌پذیری را می‌توان به عنوان امکان نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی تعریف کرد.

آسیب‌پذیری نوعی خصوصیت نسبی، بدون بعد و غیرقابل اندازه‌گیری است و به ویژگی‌های آبخوان، محیط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی بستگی دارد (۲). روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه شده است که می‌توان به گروه روش‌های پردازشی، روش‌های شاخص هم‌پوشانی و آماری تقسیم بندی کرد (۳).

در تمامی روش‌ها، آسیب‌پذیری آبخوان بر اساس انتقال آلودگی از سطح زمین به لایه آب‌دار برآورد شده است. براساس نظریات آلر و همکاران (۱۹۸۷) یکی از روش‌های متداول برای بررسی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، روش دراستیک است که کاربرد زیادی در بسیاری از مناطق دنیا داشته است (۴). روش دراستیک در ایران برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری به طور موردی به کار گرفته شده است (۵۶،۷). آمار و اطلاعات مورد نیاز برای این روش در بیش‌تر دشت‌های ایران فراهم نبوده و محدودیت ایجاد می‌نماید. هدف این تحقیق با توجه به محدودیت منابع آب استان اردبیل، پتانسیل تأثیرگذاری شدید منابع آلاینده مختلف بر کیفیت آبخوان و عدم شناسایی دقیق رفتار این آلاینده‌ها در محیط غیر اشباع (تا رسیدن

از روش دراستیک و بهره‌گیری از نرم افزار Arc GIS 10.2 انجام پذیرفته است.



شکل ۱ - نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان اردبیل

Figure1- location map of the study area in Ardabil province

### روش تحقیق

۲۰۰۳) و اوانس و مایرز (۱۹۹۰) اعلام نمودند که در این روش هفت عامل یا مشخصه قابل اندازه‌گیری برای سیستم هیدروژئولوژیکی برآورده می‌شود (۱۰، ۹، ۱۱).

این عوامل شامل عمق آب زیرزمینی، شبکه تغذیه، محیط آبخوان، نوع خاک، توپوگرافی، اثر منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی هستند. ضرایب در این روش با توجه به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه می‌تواند تغییر یابد (۱۲). این عوامل به صورت عددی برآورد شده و ۱ به معنای کم‌ترین و ۱۰ بیش‌ترین خطر برای آلودگی آب زیرزمینی می‌باشد. به هر یک از پارامترهای هفت‌گانه DRASTIC و نسبت به اهمیت هر یک از آنها در آسیب‌پذیری، وزنی برابر با ۱ تا ۵ داده می‌شود. به مهم‌ترین آن‌ها وزن ۵ و به کم

روش‌های مختلفی برای بررسی و ارزیابی پتانسیل آلودگی در یک محیط آبخوان وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی، روش‌های آماری و روش‌های شاخص و روش‌های هم‌پوشان اشاره کرد. ساده‌ترین و رایج‌ترین روش برای آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلودگی، استفاده از مدل‌های وزن‌دهی است. در این روش‌ها، مشخصه‌ها براساس تاثیری که بر آلودگی آب زیرزمینی دارند امتیازدهی می‌شوند (۸).

متداول‌ترین روش برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، روش دراستیک است که توسط انجمن ملی آب زیرزمینی با همکاری آژانس حفاظت محیط زیست ایالت متحده (US-EPA) ایجاد شده است (۴). بابیکر و همکاران (۲۰۰۵)، ال-ادامت و همکاران (

که شاخص DRASTIC تنها یک ابزار ارزیابی نسبی را تهیه می‌کند و قابلیت ارزیابی مطلق را ندارد. لازم به ذکر است در مطالعات حاضر وزن لایه‌ها مطابق متد دراستیک منظور شده و رتبه بندی و محدوده پارامترهای هر لایه حسب نیاز و شرایط منطقه اصلاح شده است.

در این بررسی پهنه بندی آسیب پذیری در محیط ArcGis 10.2 انجام شده است. برای این منظور آمار و اطلاعات وارد پایگاه اطلاعاتی ArcGis گردید. منابع اطلاعاتی گوناگونی از جمله نقشه‌ها و آمار مربوط به سطح آب زیرزمینی، نتایج آزمایش پمپاژ، لوگ حفاری، چاه‌های مشاهده‌ای، اکتشافی و بهره برداری، نقشه-های مطالعات ژئوفیزیکی و آمار منابع و مصارف آب که از شرکت سهامی آب منطقه‌ای اردبیل تهیه گردیده و استفاده شده است.

هدف مطالعات آسیب پذیری آب زیرزمینی، تهیه نقشه و تعیین مناطقی با پتانسیل بالای آسیب پذیری است. استفاده از روش مناسب برای تهیه نقشه پهنه بندی آسیب پذیری در یک منطقه بستگی به وجود داده‌ها و توزیع آن‌ها، موقعیت هیدروژئولوژی، مقیاس و هدف نقشه دارد.

### ارزیابی آسیب پذیری به روش DRASTIC

#### عمق آب زیرزمینی (D)<sup>۱</sup>

عمق آب زیرزمینی با فاصله ای که مواد آلاینده طی می‌کند تا به سفره برسد مرتبط است. بدیهی است که هرچه عمق سطح آب زیرزمینی بیش تر باشد، زمان بیش تری طول می‌کشد تا مواد آلاینده به سفره برسند و امکان پخش و رقیق شدن یا جذب مواد آلاینده در خاک وجود دارد. عمق آب زیرزمینی رابطه مستقیم و تاثیر زیادی با آلودگی سفره دارد، به همین دلیل وزن ۵ برای عمق آب در نظر گرفته شده است (۴). اطلاعات آماری عمق آب زیرزمینی از چاه‌های مشاهده‌ای حفاری شده در آبخوان حاصل می‌گردد. با استفاده از عمق یابی ماهانه سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای دشت اردبیل و بررسی صحت و سقم داده‌ها و در صورت

اهمیت‌ترین آن‌ها وزن ۱ داده شده است. روش دراستیک از بیش‌ترین مشخصه‌های موثر در آسیب پذیری استفاده می‌کند و به همین علت اثر عدم قطعیت‌های احتمالی در مشخصه‌ها را کاهش می‌دهد. عبارت DRASTIC مخفف پارامترهایی است که در سیستم هیدروژئولوژیکی کنترل‌کننده آلودگی آب زیرزمینی می‌باشند که شامل عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه (R)، مواد تشکیل دهنده آبخوان (A)، هدایت هیدرولیکی آبخوان (C)، نوع خاک (S)، توپوگرافی (T) و اثر منطقه غیر اشباع (I) می‌باشد.

چهار فرضیه‌ای که در مدل DRASTIC در نظر گرفته می‌شوند عبارتند از:

۱. آلودگی در سطح زمین تولید می‌گردد؛
۲. آلودگی از طریق نفوذ به آب زیرزمینی منتقل می‌گردد؛
۳. عامل حرکت آلوده‌کننده آب است؛
۴. منطقه مورد مطالعه در روش DRASTIC بایستی بزرگ‌تر از ۵ کیلومتر مربع باشد.

فرضیات فوق موجب می‌گردد تا در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلودگی محدودیت‌هایی وارد گردد. در این روش برای ارزیابی پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی از شاخص آسیب‌پذیری استفاده می‌گردد که برای بدست آوردن آن به سه عامل: وزن‌دهی، درجه‌بندی و تعیین محدوده پارامترهای هفت‌گانه DRASTIC نیاز دارد. شاخص آسیب‌پذیری در این روش از مجموع حاصل ضرب وزن و رتبه هفت پارامتر مطابق رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$D_i = \sum_{j=1}^7 (W_j \times R_j) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $D_i$  مقدار نهایی شاخص،  $W_j$  وزن فاکتور  $j$  و  $R_j$  نیز رتبه فاکتور  $j$  است. پس از محاسبه شاخص می‌توان گفت که کدام منطقه در خطر آلودگی قرار دارد. بدین صورت که هر چه شاخص بزرگ‌تر باشد، خطر ایجاد آلودگی بیش تر می‌گردد. باید توجه داشت

مشاهده‌ای عمیق تهیه شده و بر اساس بررسی‌های اکتشافی و با توجه به روش استاندارد DRASTIC خصوصیات محیط آبخوان ارزش گذاری و وزن مربوط به این لایه ۳ پیشنهاد شده است. جدول ۳ رتبه بندی این لایه و شکل ۴ وضعیت محیط آبخوان را نشان می‌دهد.

### نوع خاک (S)<sup>۳</sup>

محیط خاک تأثیر بسیار مهمی در تغذیه‌ای دارد که به سطح ایستابی نفوذ می‌کند و بر چگونگی حرکت آلوده‌کننده مؤثر است. وجود مواد با بافت ریزدانه نظیر سلیت و رس، تراوایی نسبی خاک را کاهش می‌دهند و حرکت آلوده‌کننده‌ها را محدود می‌سازند. لایه خاک معمولاً با ضخامتی حدود ۰/۵ تا ۲ متر به لحاظ میکروبیولوژی منطقه‌ای فعال به شمار می‌رود. به دلیل فعالیت نسبتاً بالای میکروبی، وجود مواد آلی بالا و وجود ریشه گیاهان، برای حذف و کاهش غلظت آلاینده‌ها از پتانسیل بالایی برخوردار است. محیط خاک برحسب رده بندی بافتی آن مشخص می‌گردد و براساس پتانسیل آلودگی امتیازبندی می‌شود. در این تحقیق وزن لایه خاک طبق پیشنهاد آلر و همکاران، ۲ منظور شده است. جدول ۴ رتبه‌بندی محیط خاک براساس آلر و همکاران را نشان می‌دهد. در این لایه اصلاحی برای رتبه بندی نیاز نبود (شکل ۵).

### توپوگرافی (T)<sup>۴</sup>

توپوگرافی به صورت شیب و تغییرات شیب سطح زمین مورد توجه قرار می‌گیرد. توپوگرافی حرکت آلوده‌کننده و نگهداری آن را بر سطح زمین در کنترل دارد. فرض بر این است که هرچه شیب کم‌تر باشد (به ویژه در زمین‌های کشاورزی) باعث کاهش رواناب و افزایش نفوذ به آبخوان و در نتیجه انتقال بیش‌تر آلودگی به آب زیرزمینی می‌شود. شیب بیش‌تر باعث می‌شود که مواد محلول به‌صورت رواناب جاری شود و کم‌تر نفوذ کند. در مدل دراستیک خطوط توپوگرافی به صورت مناطق هم شیب به شکل درصد پهنه بندی می‌شود. شیب صفر تا ۲ درصد بیش‌ترین فرض نفوذ را داشته و

لزوم تصحیح آن‌ها، با استفاده از روش درون‌یابی Spline نقشه هم ارزش عمق آب زیرزمینی تهیه شده است. رتبه بندی عمق آب زیرزمینی در مدل براساس جدول ۱ می‌باشد. محدوده عمق آب زیرزمینی (شکل ۲) بر اساس شرایط آبخوان اردبیل اصلاح شده است.

### تغذیه (R)<sup>۱</sup>

تغذیه عبارت است از حجم آبی که در واحد سطح سفره برای یک دوره یک ساله به درون زمین وارد می‌شود. تغذیه آب موجب می‌گردد تا آلوده‌کننده به صورت عمودی انتقال یافته و به سطح ایستابی برسد و به صورت افقی در آبخوان حرکت کند. مواد آلاینده به صورت محلول یا کلوئیدی و یا تعلیق به درون زمین حمل می‌شوند. شدت و گذر مواد محلول به شدت و حرکت عمودی آب به درون زمین بستگی دارد. معمولاً هر چقدر تغذیه بیش‌تر باشد پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی بیش‌تر است (۱۳). وزن دهی برای تغذیه طبق مدل آلر و همکاران (۱۹۸۷)، ۴ می‌باشد. رتبه بندی این لایه براساس مدل آلر و همکاران و مقادیر تغذیه اصلاح شده برای دشت اردبیل در جدول ۲ و شکل ۳ ارایه شده است.

### مواد تشکیل‌دهنده آبخوان (A)<sup>۲</sup>

محیط آبخوان و مواد تشکیل‌دهنده آن، طول و چگونگی روند مسیر جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می‌کند. چگونگی روند مسیر که شدیداً متأثر از میزان درز و شکاف و تخلخل می‌باشد، مسیرهای مناسبی را برای آب زیرزمینی فراهم می‌سازند. طول مسیر، زمان لازم برای انجام فرآیندهای میرایی (نظیر جذب، واکنش‌های شیمیایی و پراکنش) را تعیین می‌کند. محیط آبخوان همچنین بر میزان سطح مؤثر موادی که با آلوده‌کننده در تماس هستند، مؤثر می‌باشد.

اطلاعات مربوط به محیط آبخوان در دشت اردبیل از کاوش‌های زیرسطحی، کاوش‌های ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی منطقه به دست می‌آید. در دشت اردبیل نقشه موقعیت لوگ حفاری‌های اکتشافی،

منظور شده است. در شکل ۷ وضعیت محدوده غیر اشباع در دشت اردبیل نشان داده شده است.

### هدایت هیدرولیکی (C) ۲

هدایت هیدرولیکی در واقع شدتی است که آب زیرزمینی تحت شیب هیدرولیکی محیط، جریان پیدا می‌کند. هدایت هیدرولیکی عامل کنترل‌کننده حرکت و زمان ماندگاری مواد آلاینده از نقطه‌ای که وارد سطح خاک می‌شود تا درون سفره می‌باشد (۱۴). اطلاعات مربوط به هدایت هیدرولیکی از محاسبات آزمایش پمپاژ حاصل می‌گردد. در مناطقی که آزمایش پمپاژ انجام نگردیده، براساس مقادیر نمونه و ساختارهای مشابه، نوع و بافت رسوبات تشکیل دهنده آبخوان هدایت هیدرولیکی تخمین زده می‌شود. نقشه هدایت هیدرولیکی (شکل ۸) از نتایج مدل ریاضی آب زیرزمینی دشت اردبیل استخراج شده است (۱۵). رتبه بندی آلر و همکاران و مقادیر اصلاح شده این لایه براساس جدول ۷ بوده و وزن آن ۳ می‌باشد.

### محاسبه شاخص آسیب‌پذیری دشت اردبیل در روش دراستیک

پس از رتبه بندی هر یک از پارامترهای مورد نیاز جهت ارزیابی آسیب‌پذیری و جمع هر یک از نقشه‌ها با توجه به فرمول دراستیک در محیط GIS، نقشه آسیب‌پذیری سفره آب زیرزمینی اردبیل به دست آمد.

همان‌طور که قبلاً گفته شد عدد محاسبه شده نشان دهنده میزان حساسیت سفره به آلوده شدن بوده به این ترتیب که اعداد بزرگ‌تر تعیین‌کننده استعداد بیش‌تر سفره آب زیرزمینی برای آلوده شدن می‌باشد. به‌منظور درک بهتر نتایج به دست آمده، شاخص مورد نظر به صورت توصیفی به ۵ کلاس مختلف تقسیم بندی گردید که در شکل ۹ دیده می‌شود. با توجه به نقشه پهنه بندی به دست آمده آسیب-پذیری متوسط ۳۹/۳ درصد، آسیب‌پذیری کم ۳۲/۴ درصد، آسیب‌پذیری زیاد ۲۱/۱ درصد، آسیب‌پذیری خیلی کم ۶ درصد و

رتبه ۱۰ را دارا است. نواحی با شیب بالای ۱۰ درصد پایین‌ترین رتبه قرار می‌گیرند، چون کم‌ترین نفوذ را دارا می‌باشند. تاثیر دیگر شیب در توسعه خاک است بطوری که در شیب‌های بالا ضخامت لایه خاک سطحی کم می‌شود. در این تحقیق نقشه‌های توپوگرافی (با مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰) در نرم افزار Arc-Gis به مدل رقومی ارتفاعی تبدیل شده و نقشه شیب استخراج شده در شکل ۶ نمایش داده است. رتبه بندی این لایه در جدول ۵ ارایه گردیده و وزن آن نیز ۲ منظور شده است.

### اثر منطقه غیر اشباع (I) ۱

این لایه مربوط به جنس خاک می‌باشد، که از زون خاک سطحی شروع و تا سطح ایستابی ادامه می‌یابد. در واقع منطقه غیر اشباع منطقه بالایی سطح ایستابی است که از آب غیر اشباع باشد و یا به صورت ناپیوسته از آب اشباع شده باشد. ضخامت و خصوصیات هیدرولیکی تشکیلات زمین‌شناسی منطقه غیر اشباع از عوامل کلیدی تعیین آسیب‌پذیری آبخوان بوده و کنترل‌کننده‌های اصلی و طبیعی نرخ تغذیه و مدت زمان تغذیه به آبخوان می‌باشند. منطقه غیر اشباع با نگهداشت، جذب و حذف ویروس‌ها و باکتری‌ها، جذب و کاهش بسیاری از مواد شیمیائی و آلی و مصنوعی، رقیق کردن غلظت فلزات سنگین و مواد شیمیائی غیر آلی در جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی نقش مهمی ایفا می‌کند. تراوایی خاک و عمق آب زیرزمینی عوامل مورد توجه در تعیین اثر منطقه غیر اشباع در حوضه می‌باشند. در مدل دراستیک نیز فرض بر این است که محیط و شرایط منطقه غیر اشباع اثر زیادی بر مواد آلاینده دارد، زیرا در این منطقه (تا قبل از رسیدن به سطح ایستابی) فرصت جذب و یا رقیق‌شدگی پیدا می‌کنند. نحوه تهیه اطلاعات مربوط به منطقه غیر اشباع 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. رتبه بندی این لایه براساس متد آلر و همکاران در جدول ۶ ارایه شده و وزن ۵

براساس این آزمون اعداد با توجه به بالاترین مقدار مرتب شده و به بیشترین مقدار بالاترین رتبه تعلق می‌گیرد و مابقی رتبه‌ها با توجه به بالاترین رتبه به دست می‌آید. بدین صورت که ابتدا پارامترهایی که دارای دامنه‌های متفاوت می‌باشد، انتخاب گردید. (پارامترهایی که در نقشه مربوطه‌شان دارای یک رتبه می‌باشند، در اصلاح پارامترها به کار نمی‌روند) در مرحله بعدی دامنه اصلی و ابتدایی هر پارامتر مقابل آن نوشته شد. سپس از مقادیر نیترا ت بر روی نقشه آسیب‌پذیری در هر دامنه، میانگین‌گیری انجام شد. به طور نمونه در مورد پارامتر عمق آب در آبخوان اردبیل، همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، در دامنه بین ۱/۵ تا ۴/۵ متر (رتبه ۹) از داده‌های نیترا ت موجود در نقشه میانگین‌گیری شده است (مقدار ۲۳/۶ میلی‌گرم بر لیتر). در گام بعدی بر اساس آزمون ویلکاکسون به پارامتری که دارای بیشترین میزان غلظت نیترا ت است، بالاترین رتبه داده شد و مابقی رتبه‌ها بر اساس رتبه این پارامتر اصلاح گردید (۱۵).

در همان پارامتر عمق آبخوان، دامنه چهارم آن (۹/۱ تا ۱۵ متر) با رتبه ۵ دارای بیشترین میانگین غلظت نیترا ت می‌باشد (۳۶ میلی‌گرم بر لیتر)، بنابراین در اصلاح رتبه، بالاترین مقدار رتبه یعنی عدد ۱۰ را به خود گرفته است و مابقی دامنه‌ها با توجه به این مقدار اصلاح شده است. در جدول ۹ مقادیر اصلاح شده هر پارامتر بر اساس میانگین غلظت نیترا ت برای آبخوان اردبیل، محاسبه شده است.

آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۱/۱ درصد به ترتیب بیشترین سهم از مساحت دشت را به خود اختصاص داده است (جدول ۸).

با توجه به نقشه‌های تولید شده یکی از عمده‌ترین قسمت‌هایی که دارای پتانسیل آلودگی بالا می‌باشند در قسمت خروجی دشت ملاحظه می‌شود که به دلیل بالا آمدن سنگ کف و کم شدن عمق چاه‌ها، پهنه وسیعی را به خود اختصاص داده است. محدوده‌هایی در قسمت میانی دشت نیز به چشم می‌خورد که این مناطق نیز به دلیل وجود شهر اردبیل در بالادست با تاثیر بر مقدار تغذیه، از پتانسیل آلودگی بیش‌تری نسبت به سایر نقاط برخوردار است و در انتها قسمت کوچکی از حاشیه جنوبی و شمالی دشت که با توجه به عمق کم سطح آب و همچنین کوهستانی بودن منطقه و وجود شکستگی و گسل‌های موجود در آن ناحیه که در تغذیه خالص موثر است، در خطر آلودگی قرار دارد. نواحی اطراف بستر رودخانه‌ها نیز به دلیل قرار گرفتن در زون نفوذ و در نتیجه تغذیه بیش‌تر از آسیب‌پذیری بالا برخوردارند.

برای صحت سنجی نقشه نهایی آسیب‌پذیری از یون نیترا ت (به عنوان آلاینده شاخص ناشی از کاربری عمده منطقه) استفاده شد. میزان همبستگی بین آسیب‌پذیری و آلاینده نیترا ت کم می‌باشد (شکل ۱۰)، بنابراین باید راهکاری ارایه شود تا میزان همبستگی آن افزایش یابد. در بررسی حاضر جهت نیل به این هدف بر اساس آزمون رتبه‌ای ویلکاکسون ۱ عمل شد.



جدول ۲- محدوده‌ها و رتبه‌بندی‌های تغذیه خالص

Table 2- Net Recharge rating

| R- تغذیه خالص (Net Recharge) (میلی‌متر در سال) |        |
|--|--------|
| رتبه‌بندی                                      | تغذیه  |
| ۱  | ۰-۳۰   |
| ۳  | ۳۰-۵۰  |
| ۶  | ۵۰-۷۰  |
| ۸  | ۷۰-۹۰  |
| ۱۰   | ۹۰-۱۱۰ |
| وزن‌دهی: ۴                                     |        |

جدول ۱- رتبه بندی عمق آب زیرزمینی

Table 1- Depth to groundwater rating

| D- عمق آب‌زیرزمینی (Depth to water) (متر) |        |
|---|--------|
| رتبه بندی                                 | عمق آب |
| ۱۰  | ۰-۱۰   |
| ۹   | ۱۰-۲۰  |
| ۷   | ۲۰-۳۰  |
| ۵   | ۳۰-۵۰  |
| ۳   | ۵۰-۷۰  |
| ۲   | ۷۰-۱۰۰ |
| ۱   | > ۱۰۰  |
| وزن‌دهی: ۵                                |        |

جدول ۴- رتبه‌بندی محیط خاک

Table 4- Soil media rating

| S- نوع خاک (Soil media) |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| رتبه‌بندی               | محدوده                |
| ۱۰                      | نازک یا نبود لایه خاک |
| ۱۰                      | شن                    |
| ۹                       | ماسه                  |
| ۸                       | کود گیاهی (peat)      |
| ۷                       | شن و ماسه با کمی رس   |
| ۶                       | لوم ماسه‌ای           |
| ۵                       | لوم                   |
| ۴                       | لوم سیلتی             |
| ۳                       | لوم رس‌دار            |
| ۲                       | کود (muck)            |
| ۱                       | رس غیرمترکم           |
| وزن‌دهی: ۲              |                       |

جدول ۳- رتبه‌بندی‌های محیط آبخوان

Table 3- Aquifer media rating

| A- محیط آبخوان (Aquifer media) |  |
|--------------------------------|--|
| رتبه‌بندی                      | محدوده/ جنس سفره                           |
| ۲                              | شیل توده‌ای                                |
| ۳                              | آذرین/ دگرگونی                             |
| ۴                              | آذرین/ دگرگونی هوازده                      |
| ۵                              | یخرفت‌ها                                   |
| ۶                              | ماسه سنگ لایه لایه، سنگ آهک و توالی شیل‌ها |
| ۶                              | ماسه سنگ توده‌ای                           |
| ۸                              | سنگ آهک توده‌ای                            |
| ۸                              | شن و ماسه                                  |
| ۹                              | بازالت                                     |
| ۱۰                             | سنگ آهک کارستی                             |
| وزن‌دهی: ۳                     |  |

جدول ۶- رتبه بندی اثر محیط غیر اشباع

**Table6- Impact of the vadoze zone media rating**

| I- اثر منطقه غیر اشباع (Impact of the vadoze zone media) |                                       |
|--|---------------------------------------|
| رتبه بندی  | محدوده                                |
| ۱  | لایه محبوس کننده                      |
| ۳  | سیلت / رس                             |
| ۳  | شیل                                   |
| ۶  | سنگ آهک                               |
| ۶  | ماسه سنگ                              |
| ۶  | ماسه سنگ، سنگ آهک و شیل های لایه لایه |
| ۶  | شن و ماسه با مقدار زیادی رس و سیلت    |
| ۴  | آذرین / دگرگونی                       |
| ۸  | شن و ماسه                             |
| ۹  | بازالت                                |
| ۱۰   | سنگ آهک کارستی                        |
| وزن دهی: ۵   |                                       |

**Hydraulic Conductivity rating**

| C- هدایت هیدرولیکی (Hydraulic Conductivity) |                           |           |                 |
|---|---------------------------|-----------|-----------------|
| (متر بر روز)                                |                           |           |                 |
| رتبه بندی اصلاح شده                         | هدایت هیدرولیکی اصلاح شده | رتبه بندی | هدایت هیدرولیکی |
| ۱   | ۰/۰۴ - ۴                  | ۱         | ۰-۱۰            |
| ۲   | ۴/۱ - ۱۲/۲                | ۳         | ۱۰-۲۰           |
| ۴   | ۱۲/۳ - ۲۸/۶               | ۵         | ۲۰-۲۵           |
| ۶   | ۲۸/۷ - ۴۰                 | ۶         | ۲۵-۳۰           |
| ۸   | ۴۱ - ۸۲                   | ۸         | ۳۰-۳۵           |
| ۱۰  | >۸۲                       | ۹         | ۳۵-۴۰           |
| -   | -                         | ۱۰        | > ۴۰            |
| وزن دهی: ۳                                  |                           |           |                 |

جدول ۵- رتبه بندی توپوگرافی

**Table5- Topography rating**

| T- توپوگرافی (Topography) (درصد شیب) |           |
|--------------------------------------|-----------|
| رتبه بندی                            | رتبه بندی |
| ۱۰                                   | ۰-۲       |
| ۹                                    | ۲-۶       |
| ۵                                    | ۶-۱۲      |
| ۳                                    | ۱۲-۱۸     |
| ۱                                    | >۱۸       |
| وزن دهی: ۱                           |           |

جدول ۷- هدایت هیدرولیکی آبخوان

**Table7-**

جدول ۸- آسیب پذیری آبخوان اردبیل براساس مدل دراستیک

**Table 8- Vulnerability Zones Distribution in Ardabil plain**

| درصد | مساحت (کیلومتر مربع) | کیفیت     | کمیت |
|------|----------------------|-----------|------|
|      |                      | خیلی زیاد |      |
|      |                      | زیاد      |      |
|      |                      | متوسط     |      |
|      |                      | کم        |      |
|      |                      | خیلی کم   |      |
|      |                      | مجموع     |      |

جدول ۹- مقادیر اصلاح شده هر پارامتر بر اساس میانگین غلظت نیترات در آبخوان اردبیل

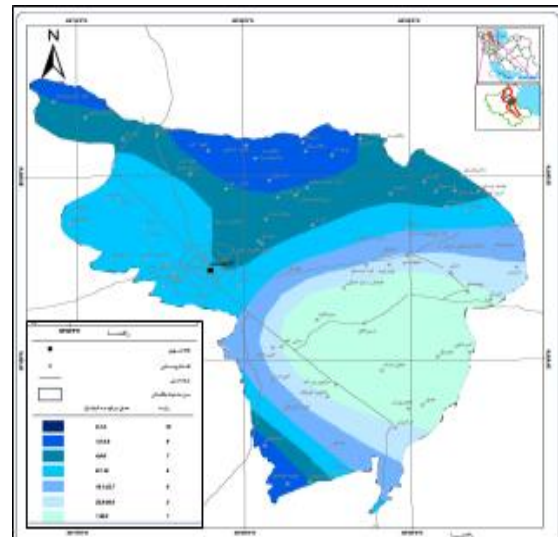
Table9- Modified Parameters based on average concentration of nitrate in Ardabil aquifer

| رتبه اصلاح شده | میانگین غلظت نیترات | رتبه اصلی | دامنه                             | پارامتر                         |
|----------------|---------------------|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|
| ۶/۵            | ۲۳/۶                | ۹         | ۱/۵ - ۴/۵                         | عمق سطح آب (متر)                |
| ۸/۸            | ۳۲                  | ۷         | ۴/۶ - ۹                           |                                 |
| ۱۰             | ۳۶                  | ۵         | ۹/۱ - ۱۵                          |                                 |
| ۵/۵            | ۲۰                  | ۳         | ۱۵ - ۲۲/۷                         |                                 |
| ۶/۸            | ۲۴/۵                | ۲         | ۲۲/۸ - ۳۰                         |                                 |
| ۵              | ۱۸                  | ۱         | > ۳۰                              |                                 |
| ۱۰             | ۳۰                  | ۳         | ۵۰/۸ - ۱۰۱/۵                      | تغذیه خالص<br>(میلیمتر در سال)  |
| ۹/۶            | ۲۹                  | ۶         | ۱۰۱/۶ - ۱۷۷/۷                     |                                 |
| ۶/۶            | ۲۰                  | ۱۰        | > ۲۵۴                             |                                 |
| ۱۰             | ۳۱                  | ۳         | لوم رس‌دار                        | محیط خاک                        |
| ۸/۵            | ۲۶/۵                | ۶         | لوم ماسه‌ای                       |                                 |
| ۱۰             | ۲۸                  | ۳         | سیلت و رس                         | منطقه غیراشباع                  |
| ۹/۸            | ۲۷/۵                | ۶         | شن و ماسه با مقدار زیاد رس و سیلت |                                 |
| ۸/۴            | ۲۶                  | ۱         | ۰/۰۴ - ۴                          | هدایت هیدرولیکی<br>(متر بر روز) |
| ۹/۴            | ۳۰                  | ۲         | ۴/۱ - ۱۲/۲                        |                                 |
| ۱۰             | ۳۲                  | ۴         | ۱۲/۳ - ۲۸/۶                       |                                 |
| ۶/۷            | ۲۱/۵                | ۶         | ۲۸/۷ - ۴۰                         |                                 |

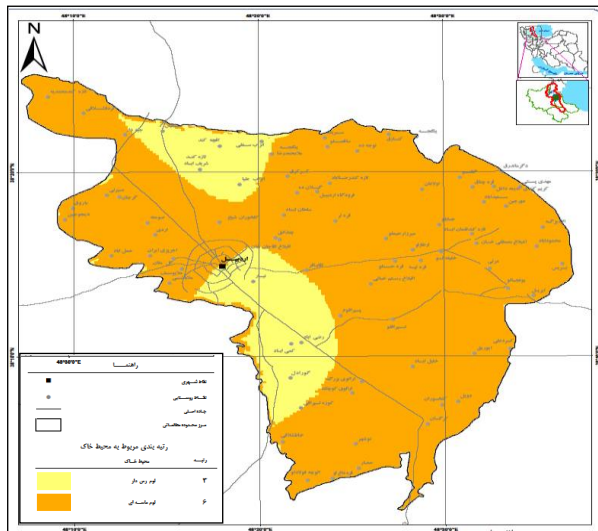
\* پارامترهای محیط آبخوان و توپوگرافی نیاز به اصلاح نداشته و از همان رتبه اصلی استفاده شده است.



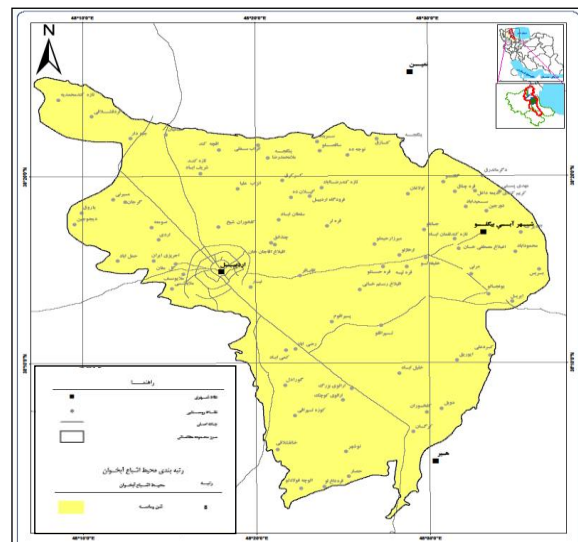
شکل ۳- میزان تغذیه خالص در محدوده مطالعاتی  
Figure 3 -Net recharge of the study area



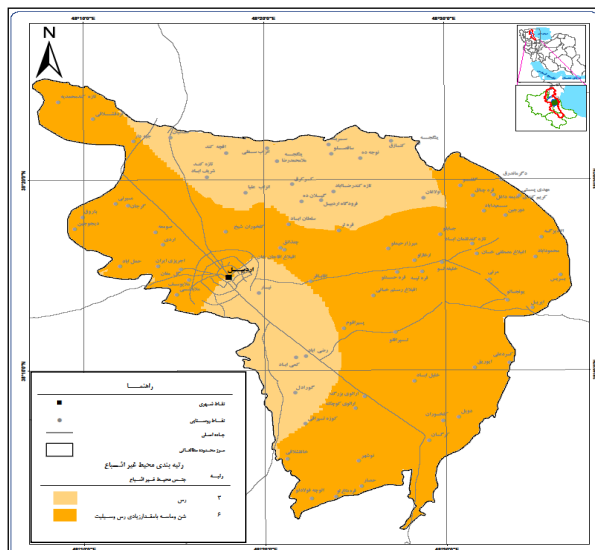
شکل ۲ - عمق آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی  
Figure 2 - Depth to water table of the study area



شکل ۵- رتبه بندی محیط خاک محدوده مطالعاتی  
Figure 5- Soil media of the study area

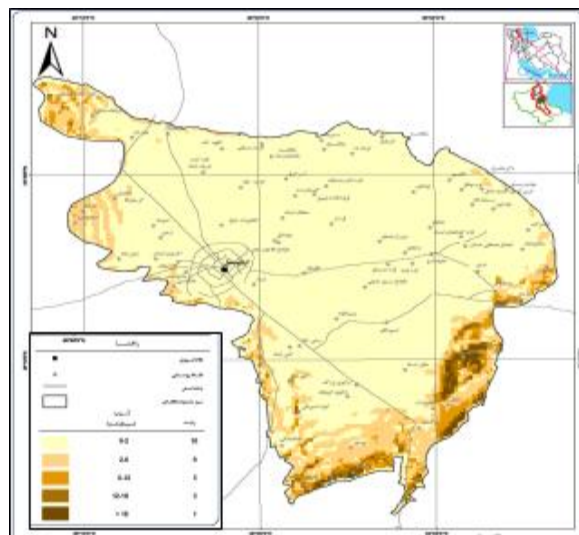


شکل ۴- محیط آبخوان محدوده مطالعاتی  
Figure 4- Aquifer media of the study area



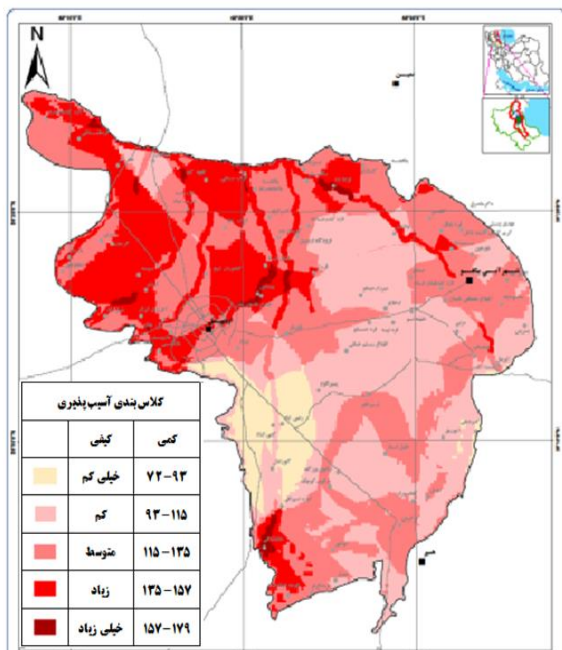
شکل ۷- رتبه بندی محیط غیرآبرفتی محدوده مطالعاتی

Figure 7- Vadose zone impact of the study area



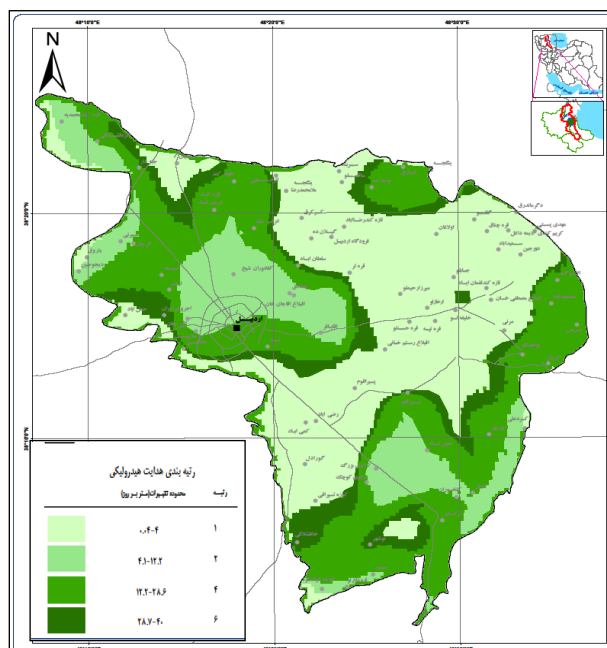
شکل ۶- کلاسه بندی شیب توپوگرافی محدوده مطالعاتی

Figure 6- Topography of the study area



شکل ۹- آسیب پذیری کمی و کیفی شاخص دراستیک

Figure 9- Vulnerability index map of the study area



شکل ۸- هدایت هیدرولیکی محدوده دشت اردبیل

Figure 8- Hydraulic conductivity of the study area

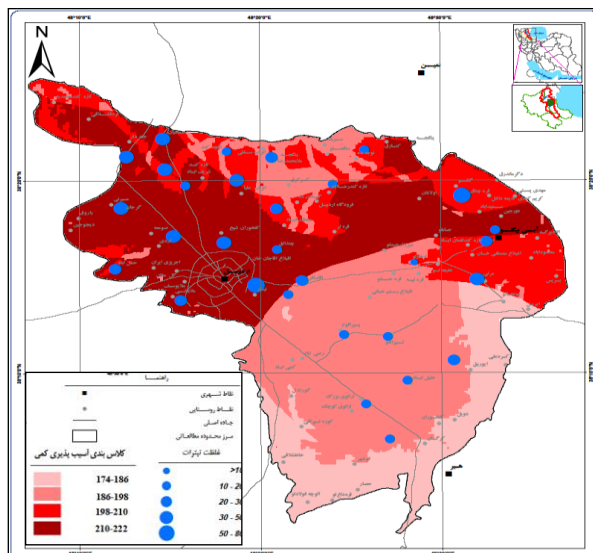
آسیب پذیری کم ۳۲/۴ درصد و آسیب پذیری زیاد ۲۱/۱ درصد، آسیب پذیری خیلی کم ۶ درصد و آسیب پذیری خیلی زیاد ۱/۱ درصد به ترتیب بیشترین سهم از مساحت دشت را به خود اختصاص داده است. بر پایه نتایج حاصل از مدل‌سازی DRASTIC، آسیب پذیری آبخوان دشت اردبیل تقریباً در نیمه شرقی در گروه آسیب پذیری کم و نیمه غربی در گروه آسیب پذیری زیاد قرار می‌گیرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میزان آلودگی و پتانسیل آلودگی آبخوان بالا بوده و با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه که برای مقاصد مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، حفاظت این مناطق به منظور جلوگیری از آلودگی و مدیریت بهینه منابع آب ضروری است.

بررسی کاربری اراضی فعلی دشت اردبیل و مطابقت آن با نقشه آسیب پذیری تهیه شده در این تحقیق، نشان می‌دهد محدوده غربی منطقه تا بخش‌های مرکزی که شامل شهر اردبیل نیز می‌شود و از آنجا به صورت پهنه‌ای تا شمال شرق دارای آسیب پذیری زیاد می‌باشد. با توجه به انجام کشاورزی آبی و گسترش شهر اردبیل در این منطقه و نیز تمرکز تعداد زیاد مراکز صنعتی در مسیر جاده نمین نشان‌گر عدم مکان‌یابی صحیح و آمایش سرزمین از نظر نوع توسعه و پتانسیل‌های طبیعی منطقه می‌باشد. لذا ضروریست بازبینی اساسی در روند کاربری اراضی و آمایش سرزمین فعلی این منطقه صورت گرفته و راهکارهای مدیریتی و مهندسی به منظور کاهش آلاینده‌های ورودی به آبخوان به‌خصوص در محدوده‌هایی با پتانسیل آسیب پذیری بالا به کار برده شود.

شکل ۱۱ آسیب پذیری به همراه میزان کمی مدل در منطقه مورد مطالعه پس از اصلاح مدل در محدوده اردبیل را نشان می‌دهد. با بالا رفتن همبستگی بین آلودگی نیترات در منطقه و نقاط حساسیت‌پذیر، قسمت‌هایی که میزان غلظت نیترات در آن افزایش یافته، شاخص آسیب‌پذیری نیز مقادیر بیش‌تری را نشان می‌دهد.

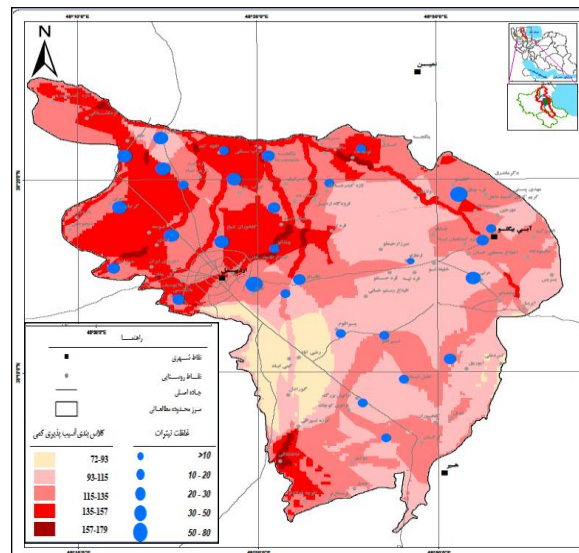
### نتایج و بحث

در این تحقیق نقشه پهنه بندی آسیب پذیری ذاتی آبخوان دشت اردبیل در مقابل آلودگی با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS تهیه شده است. در روش DRASTIC از هفت پارامتر شامل عمق سطح ایستایی (D)، شبکه تغذیه (R)، جنس آبخوان (A)، نوع خاک (S)، شیب توپوگرافی (T)، مواد تشکیل دهنده منطقه غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) مورد استفاده شده است. با وزن دهی و رتبه بندی و تلفیق هفت لایه دراستیک در محیط GIS، نقشه نهایی آسیب پذیری آبخوان نسبت به آلودگی، با تقسیم بندی به پنج محدوده خیلی کم تا خیلی زیاد به دست آمد. برای صحت سنجی نقشه نهایی آسیب پذیری از یون نیترات (به عنوان آلاینده طبیعی در منطقه) استفاده شد. با انطباق یون نیترات بر روی نقشه نهایی دراستیک مشخص شد که اغلب نقاطی که دارای یون نیترات بالا هستند در محدوده‌ای با پتانسیل آلودگی زیاد قرار نگرفته‌اند. لذا اقدام به اصلاح پارامترهای مدل براساس آزمون ویلکاکسون گردید. از نظر وسعت می‌توان گفت که آسیب پذیری متوسط ۳۹/۳ درصد،



شکل ۱۱- آسیب پذیری به همراه میزان کمی مدل در منطقه مورد مطالعه پس از اصلاح مدل

**Figure 11- Vulnerability map with nitrate concentration on sampling points after adjusting the model**



شکل ۱۰- آسیب‌پذیری به همراه غلظت نیترات در محل‌های نمونه‌برداری قبل از اصلاح مدل

**Figure 10- Vulnerability map with nitrate concentration on sampling points before adjusting the model**

منابع

Assessment and Protection 98 Conference, Dallas, TX; 157- 65

4. Aller, L., Bennet, T., Lehr et al.1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydro geologic Settings, EPA 600/2-87-035. Ada, Oklahoma: U.S.Environmental Protection Agency.

5. Khodei, K., Shahsavari, y., 2003. Zoning of aquifer vulnerability in Behbahan plain against pollution by drastic method., 22th Earth science conference. In Persian .

6. Tajrishi, M., Abrishamchi, A., Mousavi, S.R., Tafzeili, M., Alamol-Hoda, A.A., Tofigh, M., Pourkashani, F., 1999. Providing a method for evaluating the

1. Vrba, J., A, Zoporozec., 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International Contributions to Hydrogeology. Verlag Heinz Heise GmbH and Co.KG.

2. Antonakos, A.k., Lambrakis N.J., 2007.Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the drastic model, an example from NE Korinthia, Greece. Journal of Hydrology 333,288-304.

3. Tesoriero, A.J., Inkpen, E .L and Voss, F.D., 1998. Assessing ground-water vulnerability using logistic regression. Proceedings for the Source Water

- Jordan using GIS, remote sensing and DRASTIC. *Applied Geography* 23,303-324.
11. Evans, B.M., Mayers, W.L., 1990. A GIS-based approach to evaluating regional ground
  12. Water Pollution Potential With DRASTIC. *Journal of Soil and Water Conservation* 45, 242-245.
  13. Panagopoulos, G., A., Antonakos, N., Lambrakis., 2006. Optimization of DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment, by the use of simple statistical methods and GIS. *Hydrogeology Journal* (published Online).
  14. Bouwer, H., 1978. *Groundwater*, New York, Mc Grow, Hill Inc.
  15. Todd, P.K., 1980. *Ground Water*, Hydrology, Kluwer Academic Publisher. 400 p.
  16. Yekom Consulting Engineers Co., 2014. Study of Surface and Ground Water Resources Quality in Ardabil Province, Volume II. In Persian
  7. Khoshdooz-Masooleh, N. Babazadeh, H. Tabatabaei, S, H. Naderi, M. Modifying DRASTIC model to determine groundwater vulnerability in a coastal region. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* Vol.3, No.1, Fall2013. In Persian
  8. LeGrand, H.E., 1964. System for evaluating the contamination potential of some waste site. *Journal of American Water Works Association* 56, 959-974.
  9. Babiker, I.S., et al., 2005. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara, Heights, Gifu Prefecture, central Japan. *Science of the Total Environment* 345, 127-140.
  10. AL-Adamat, R.A.N., Foster, I.D.L., Baban, S.M.J., 2003. Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of