



## Modeling of Groundwater Vulnerabilities Uncertainty Using GIS & Rough Set

F.Z. Javanmard<sup>1\*</sup>, M. Mahdavi<sup>2</sup>, M.R. Malek<sup>3</sup> and  
M.M. Keirkhah Zarkesh<sup>4</sup>

### Abstract

Groundwater is an important source of fresh water supply in Iran. In the event of contamination, the restoration process for these resources is not always possible. One proper way to prevent contamination of aquifers is identifying vulnerable areas. The uncertain boundaries is affecting factor in aquifer modeling as a spatial phenomenon. Many theories have been proposed for uncertainty. In this study, Rough Set Theory and Geographic Information System (GIS) have been used in modeling of groundwater vulnerabilities uncertainty in DRASTIC model. Urmia plain which is the central plain near the Urmia Lake has been selected as the study area. Modeling with the use of Rough Set is performing in two high and low approximations. Accordingly the upper percent in the DRASTIC indicator for the high approximation was associated to the low to medium contamination potential and for the low approximation was associated to the very low contamination potential.

**Keywords:** DRASTIC model, Groundwater, Geospatial information system, Urmia.

Received: February 18, 2013

Accepted: August 14, 2013

## مدل سازی عدم قطعیت آسیب پذیری آبخوان با استفاده از GIS و مجموعه راف

فاطمه زیرک جوانمرد<sup>۱\*</sup>، محمد مهدوی<sup>۲</sup>، محمدرضا ملک<sup>۳</sup> و  
میرمسعود خیرخواه زرکش<sup>۴</sup>

### چکیده

آبهای زیرزمینی در ایران منبع مهمی برای تأمین آب شیرین هستند و در صورت بروز آلودگی، فرایند احیاء آن امکان پذیر نمی باشد. یکی از راههای مناسب برای جلوگیری از آلودگی آبخوان، شناسایی مناطق آسیب پذیر است. وجود مرزهای نامشخص عاملی اثرگذار در مدل سازی آبخوان به عنوان یک پدیده مکانی می باشد. نظریه های زیادی برای عدم قطعیت ارائه شده اند. در تحقیق حاضر از تئوری راف و سیستم اطلاعات مکانی، در مدل سازی و برای عدم قطعیت آسیب پذیری آبهای زیرزمینی از مدل دراستیک بهره گیری شد. همچنین دشت ارومیه که دشت مرکزی در مجاورت دریاچه ارومیه می باشد، به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید. مدل سازی با استفاده از مجموعه راف در دو تقریب بالا و پایین انجام می شود و بر این اساس، بیشترین درصد در شاخص دراستیک برای تقریب بالا مربوط به پتانسیل آلودگی کم تا متوسط و برای تقریب پایین، مربوط به پتانسیل آلودگی خیلی کم برآورد شده است.

**کلمات کلیدی:** مدل دراستیک، آبهای زیرزمینی، سیستم اطلاعات مکانی، ارومیه.

تاریخ دریافت مقاله: ۳۰ بهمن ۱۳۹۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۳ مرداد ۱۳۹۲

1- M.Sc. Candidate, Department of Remote Sensing and GIS-Islamic Azad University-Science and Research Branch of Tehran -Tehran-Iran  
E-mail: fatemeh.javanmard@yahoo.com

2-Professor, Department of Natural Resources, Tehran University-Karaj-Iran.  
E-mail: mahdavi@ut.ac.ir

3-Assistant Professor, Geodesy & Geomatics Engineering Faculty, KN Toosi University-Tehran-Iran. E-mail: mrmalek@kntu.ac.ir

4-Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute-Tehran-Iran. E-mail: kheirkhah@itc.nl

\*- Corresponding Author

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS- دانشگاه آزاداسلامی- واحد علوم و تحقیقات تهران- تهران- ایران

۲- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران- کرج- ایران

۳- استادیار دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی- تهران- ایران

۴- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری- تهران- ایران

\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

مختلف با یکدیگر است. هدف از چنین ترکیبی، شناسایی و توصیف همبستگی‌های فضایی موجود در داده‌ها و استفاده از مدل‌هایی برای تجزیه و تحلیل پیش‌بینی پدیده‌های مکانی فضایی است. تهیه نقشه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل DRASTIC مثال خوبی از این مورد می‌باشد. با وجود آنکه مدل DRASTIC در ابتدا برای استفاده در GIS طراحی نشده بود، اما استفاده از محیط GIS در اجرای این مدل مزایای بسیار زیاد و درخور توجهی دارد که چشم‌پوشی از آنها امکان‌پذیر نمی‌باشد.

### ۱-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه یعنی دشت ارومیه، در شمال غرب ایران و در استان آذربایجان غربی قرار دارد. رودخانه‌های نازلچای، روضه‌چای، شهرچای و باراندوز چای دشت ارومیه را تغذیه می‌کنند. حوزه آبریز دشت ارومیه در محدوده‌های بین عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه و ۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و طول‌های جغرافیایی ۴۴ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه واقع شده است که در واقع حوزه آبریز رودخانه‌های فوق‌الذکر و دشت ارومیه را در بر می‌گیرد. منطقه مورد بحث از شمال به حوزه آبریز زولاچای و خرخره چای، از شرق به دریاچه ارومیه، از جنوب به حوزه آبریز گادارچای و از مغرب به کوه‌های مرز ایران و ترکیه محدود می‌شود. مساحت کل منطقه ۴۲۶۸ کیلومتر مربع است که ۹۳۵ کیلومتر مربع آن را دشت ارومیه تشکیل می‌دهد. بلندترین ارتفاع منطقه، کوه برده‌رش با ارتفاع ۳۶۰۸ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه آن، سواحل دریاچه ارومیه به ارتفاع ۱۲۸۵ متر است.

هدف از این تحقیق مشخص نمودن مناطق مستعد از نظر آلودگی در سفره‌های آزاد دشت ارومیه است. به کارگیری ترکیبی مدل دراستیک و سیستم اطلاعات مکانی در کنار تئوری راف ایده نوینی است که در طول این پژوهش به آن پرداخته شده که می‌تواند در تبیین سیاست‌های کاربردی و عملی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد.

### ۲- مواد و روش

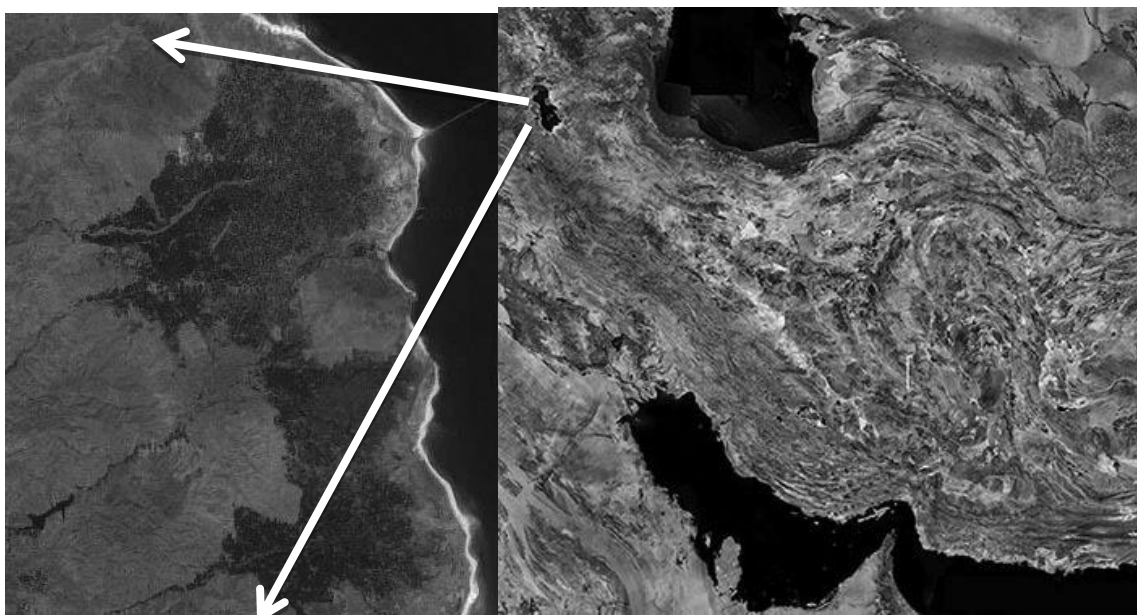
به طور کلی روش‌های مختلف ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی براساس سه نظریه استوار می‌باشد: روش‌هایی که فقط فرایندهای منطقه غیراشباع را در نظر می‌گیرند. روش‌های آسیب‌پذیری کلاسیک OD (Foster, 1987) و AVI (Van Stemproot et al., 1993) از این گروه می‌باشد. در روش AVI مقدار شاخص براساس رابطه (۱) به دست می‌آید.

در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران که متوسط بارش سالانه آن کمتر از یک سوم متوسط بارش سالانه جهان است، آب‌های زیرزمینی منبع مهمی برای تأمین آب شیرین می‌باشد. کمی و نامنظمی بارندگی، محدودیت آب‌های سطحی و نبود آن در بسیاری از نقاط کشور، باعث شده که از آب‌های زیرزمینی استفاده‌های وسیع گردد. امروزه افزایش فعالیت‌های کشاورزی و تولید انبوه پسماندها و ضایعات، منابع آب زیرزمینی را مورد تهدید جدی قرار داده و سبب پیدایش آلودگی‌های زیادی گردیده است (استادهاشمی، ۱۳۸۷). فرایند احیاء آبخوان در مقیاس منطقه‌ای در یک قالب زمانی معقول امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین برای مدیریت مؤثر آب‌های زیرزمینی، ارزیابی آسیب‌پذیری و جلوگیری از آلوده شدن آبخوان‌ها ضروری می‌باشد و می‌تواند به تبیین سیاست‌های کاربردی و عملی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی در مسیر بهره‌برداری پایدار از آنها کمک نماید (Babiker et al., 2004).

محققین و متخصصین منابع آب برای شناسایی مناطقی که در نتیجه فعالیت‌های انسانی در سطح زمین نسبت به سایر مناطق دارای احتمال آلودگی بیشتری هستند، فنونی را ابداع نموده‌اند. بعد از شناسایی، می‌توان این نواحی را با اعمال یک سری محدودیت‌ها و کاربردهای ویژه مورد استفاده قرار داد و از آلودگی منابع زیرسطحی جلوگیری نمود. به این روش‌ها، روش‌های ارزیابی قابلیت آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نسبت به آلودگی می‌گویند. مفهوم قابلیت آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ در فرانسه جهت هشدار درباره آلودگی آب ارائه گردید (Verba and Zaporozec, 1994).

روش DRASTIC که در تحقیق حاضر جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان استفاده شده است، توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا جهت تعیین پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی توسعه یافته است. مدل DRASTIC توسط Aller et al. (1987) از شورای ملی آب زیرزمینی برای آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده طراحی شد. نظریه‌های زیادی برای کار با عدم قطعیت و ابهام ارائه شده است. یکی از نظریه‌های مهم که در این پژوهش مبنای کار مدل‌سازی قرار گرفته، نظریه مجموعه‌های راف (Pawlak, 1991) است.

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های منحصر به فرد سیستم‌های اطلاعات مکانی، توانایی آنها در ترکیب داده‌های مکانی فضایی حاصل از منابع



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

## ۲-۱- مدل دراستیک

Aller و همکاران، در توسعه سیستم DRASTIC مؤلفه‌های عمده‌ای را که دارای خصوصیات قابل نقشه‌برداری باشند را تعیین کردند که پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی را کنترل می‌نمایند. این عوامل شامل هفت پارامتر عمق آب ( $D$ )<sup>۴</sup>، تغذیه خالص ( $R$ )<sup>۵</sup>، محیط آبخوان ( $A$ )<sup>۶</sup>، بافت خاک ( $S$ )<sup>۷</sup>، توپوگرافی ( $T$ )<sup>۸</sup>، تأثیر منطقه غیراشباع ( $I$ )<sup>۹</sup> و هدایت هیدرولیکی ( $C$ )<sup>۱۰</sup> می‌باشند. عوامل مذکور طوری مرتب شده‌اند که اولین حرف هر کدام از آنها، کلمه DRASTIC را می‌سازد و هر کدام برای ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی در ناحیه مورد مطالعه ضروری می‌باشد. شاخص آسیب‌پذیری در این روش از حاصل ضرب وزن هر پارامتر در نرخ آن به دست می‌آید که با رابطه (۴) بیان می‌گردد.

$$DIorg = D_W D_R + R_W R_R + A_W A_R + S_W S_R + T_W T_R + I_W I_R + C_W C_R \quad (4)$$

در رابطه بالا DIorg نمایه DRASTIC،  $D$  عمق آب زیرزمینی،  $R$  تغذیه آب زیرزمینی،  $A$  محیط آبخوان،  $S$  محیط خاک،  $T$  توپوگرافی،  $I$  اثر محیط نیمه اشباع،  $C$  هدایت هیدرولیکی آبخوان،  $r$  نرخ و  $w$  وزن می‌باشند.

نرخ مربوط به هر پارامتر بین ۱ تا ۱۰ متغیر بوده و وزن هر پارامتر در نرخ آن با توجه به اهمیت آن بین ۱ تا ۵ متغیر می‌باشند. وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل دراستیک در جدول ۱ درج گردیده است.

$$C = \sum_{i=1}^n d_i / k_i \quad (1)$$

در رابطه فوق  $C$  مقاومت هیدرولیکی آبخوان (day)،  $d_i$  ضخامت لایه‌های رسوبی بالای آبخوان ( $m$ )،  $n$  تعداد لایه (بدون بعد)،  $k_i$  هدایت هیدرولیکی تخمینی هر لایه ( $m/day$ ) می‌باشد.

روش‌هایی که بر اساس نظریه مناطق تحت تأثیر جریان آب زیرزمینی ارائه شده‌اند. به طور موردی از این روش در منطقه والون بلژیک استفاده شده است (Derouance and Dassagues, 1998). روش‌هایی که فرایندهای منطقه غیراشباع، اشباع و محیط آبخوان را در نظر می‌گیرند، شامل روش‌های DRASTIC (Aller et al., 1987)، SINTACS (Civita, 1994) و EPIK (Doerfiger and Zwahlen, 1997) می‌باشد. شاخص آسیب‌پذیری در روش SINTACS براساس رابطه (۲) به دست می‌آید (Gogu and Dassargues, 2000).

$$I_v = \sum p_{(I,7)} \cdot W_{(I,n)} \quad (2)$$

در رابطه فوق  $I_v$  شاخص آسیب‌پذیری روش SINTACS،  $P(I,7)$  رتبه پارامترهای هفت‌گانه روش،  $W(I,n)$  وزن پارامترها،  $n$  تعداد آرایه‌های طبقه‌بندی وزنی است. در روش EPIK شاخص آسیب‌پذیری نهایی براساس رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$F_p = (\alpha \cdot E_i) + (\beta \cdot P_i) + (\gamma \cdot I_k) + (\delta \cdot K_i) \quad (3)$$

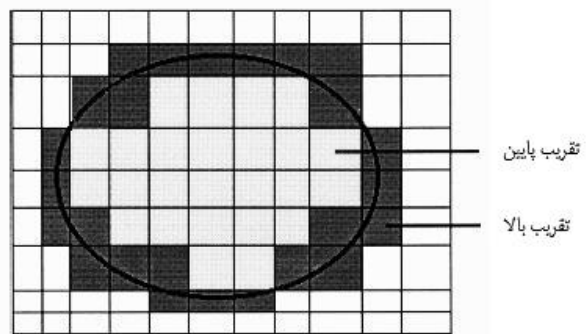
در رابطه فوق  $F_p$  شاخص آسیب‌پذیری نهایی،  $E_i$  رتبه اپی کارست،  $p_i$  رتبه پوشش محافظ،  $I_k$  رتبه شرایط نفوذی،  $K_i$  رتبه توسعه شبکه کارست،  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  عوامل وزنی می‌باشند.

## جدول ۱- وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل

وزن	پارامتر
۵	عمق تا سطح ایستایی ( $D$ )
۴	تغذیه خالص ( $R$ )
۳	محیط آبخوان ( $A$ )
۲	محیط خاک ( $S$ )
۱	توپوگرافی ( $T$ )
۵	محیط غیر اشباع ( $I$ )
۳	هدایت هیدرولیکی آبخوان ( $C$ )

### ۲-۲- داده کاوی با استفاده از مجموعه راف

در نظریه مجموعه‌های راف، با استفاده از دو مجموعه تقریب بالا<sup>۳</sup> و تقریب پایین<sup>۴</sup>، مجموعه اصلی و تابع هدف تقریب زده می‌شود. تقریب پایین شامل آن دسته از اعضای مجموعه است که بطور قطع عضو مجموعه‌اند و تقریب بالا شامل آن دسته از اعضا می‌شود که احتمالاً عضو مجموعه‌اند (شکل ۲). اعضای خارج از تقریب بالا قطعاً عضو مجموعه نیستند. میتوان گفت نظریه مجموعه‌های راف ابزاری است که در عین سادگی، پدیده ابهام را در نظر می‌گیرد. مجموعه‌های راف با تعیین دو مجموعه بالایی و پایینی، مجموعه اصلی را تقریب می‌زنند.



شکل ۲- تقریب بالا و پایین در مجموعه راف

### ۲-۳- تهیه نقشه‌های معیار

داده‌های مورد نیاز برای تهیه پارامترهای DRASTIC از منابع مختلف و با فرمت‌های گوناگون جمع‌آوری شده است (جدول ۲). برای تعیین پارامترهای جدول ۲ به ترتیب گام‌های زیر انجام می‌پذیرد.

#### عمق سطح ایستایی:

به منظور ترسیم این لایه از موقعیت جغرافیایی، تراز سطح ایستایی و ارتفاع ۶۴ حلقه چاه موجود در دشت ارومیه استفاده شد.

توصیفات را به هرشیء نسبت می‌دهد. از نظر ریاضی یک جدول اطلاعاتی می‌تواند به شکل زیر توصیف شود:

$$S = \langle U, A, V, f \rangle \quad (۵)$$

توصیفات ( $A$ ) به دو زیر مجموعه معین تقسیم می‌شوند: یک مجموعه از توصیفات موقعیتی  $C$  و یک مجموعه از توصیفات تصمیم‌گیری  $D$ . علاوه بر این توصیفات موقعیتی و تصمیم‌گیری متقابلاً انحصاری هستند. از نظر ریاضی این ارتباطات می‌توانند به صورت زیر اظهار شود:

$$A = C \cup D \quad \& \quad C \cap D = \emptyset \quad (۶)$$

نوفاً سه توصیف اول از جدول تصمیم به نامهای  $U$ ،  $A$  و  $V$  شناخته شده هستند و تابع  $f$  که مقادیر مخصوص برای اشیا منحصر به فرد را تعیین می‌کند، از داده‌های موجود و الگوریتم نظریه مجموعه راف به دست می‌آید. در این دیدگاه جنبه دیگری از مجموعه راف به نام "روابط نامعلوم" وجود دارد که بسیار مفید می‌باشد. زمانی که دو شیء از یک سیستم اطلاعاتی، مجموعه مشابهی از توصیفات داشته باشند، تمیز دادن میان آنها ممکن نخواهد بود. برای یک مجموعه توصیفی، این اشیا شامل اطلاعات مشابهی خواهند بود، بنابراین زائد محسوب می‌شوند. با از بین بردن چنین اطلاعات زائد، دانش واقعی که سیستم اطلاعاتی را در بر می‌گیرد، قابل استخراج خواهد بود. روش نظریه راف به منظور از بین بردن موارد زائد در توصیفات انتخاب شده، هدف‌گذاری شده است. و نیز رفع کردن ناسازگاری‌های به وجود آمده زمانی که دو شیء، مجموعه ای از توصیفات موقعیتی مشابه و توصیفات تصمیم‌گیری متفاوت دارند. (Pawlak (2007) مجموعه راف را می‌توان به تحلیل ناسازگاری‌ها تعمیم داد و مجموعه‌ای از ساختار ریاضی را ایجاد نمود که قادر باشد مفاهیم مرتبط با دسته‌بندی بخش‌های مختلف را بر اساس الگوهای انتخاب بیابد. این چهارچوب ریاضیاتی می‌تواند در طبقه‌بندی مناطق مختلف جغرافیایی مورد استفاده قرار گیرد که شامل آسیب‌پذیری آبخوان آنها می‌شود.

نظریه مجموعه راف که توسط Pawlak (1991) توسعه یافت، نوعی مکمل برای نظریه مجموعه‌های فازی می‌باشد. این نظریه با استخراج قوانین کلی از پایگاه داده، خود را نمایان می‌کند. بنیان نظریه راف برگرفته از یک جدول اطلاعات می‌باشد که اساساً جدولی از داده‌های محدود است که شامل سطرها و ستون‌های متفاوت می‌شود. در چنین جداول اطلاعاتی،  $S$  شامل ۴ بخش می‌شود: (۱) مجموعه محدودی از اشیا و یا سطرهای یک جدول اطلاعاتی ( $U$ ). (۲) مجموعه محدودی از توصیفات  $A$ . (۳) مجموعه‌ای از مقادیر توصیفات و (۴) یک تابع ( $f$ ) که مقدار مخصوصی از دامنه

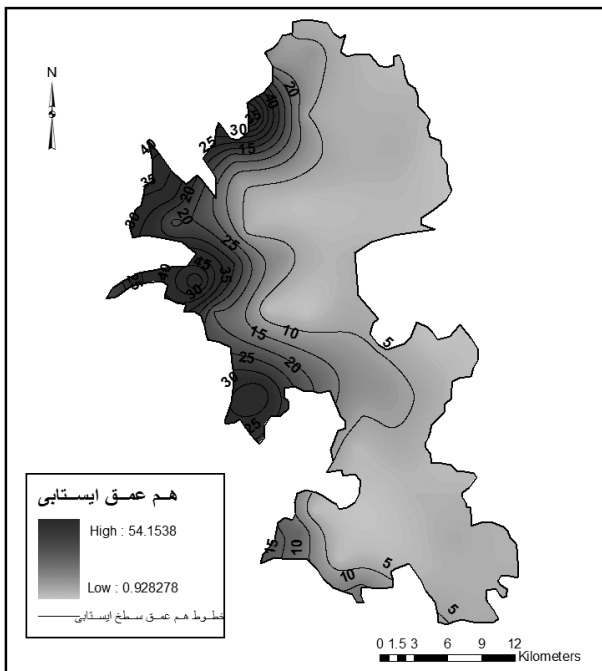
جدول ۲- فرمت و منابع اخذ داده‌های مورد نیاز

پارامتر	نوع داده	فرمت	منابع اخذ داده
عمق سطح ایستابی	موقعیت پیزومترها/تراز سطح ایستابی/ارتفاع پیزومترها	نقطه	سازمان آب منطقه‌ای آ.غ.
تغذیه خالص	موقعیت پیزومترها/تراز سطح ایستابی/تخلخل مفید	نقطه	سازمان آب منطقه‌ای آ.غ.
محیط آبخوان	موقعیت پیزومترها/لوگ پیزومترها	نقطه/نمودار	سازمان آب منطقه‌ای آ.غ.
محیط خاک	نقشه ۱:۲۵۰,۰۰۰ مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی	وکتور	موسسه تحقیقات خاک و آب
توپوگرافی	خطوط منحنی میزان با Interval ۳۰ متر/موقعیت پیزومترها	وکتور	سازمان آب و موسسه خاک و آب
زون غیراشباع	موقعیت پیزومترها/لوگ پیزومترها	نقطه/نمودار	سازمان آب منطقه‌ای آ.غ.
هدایت هیدرولیکی	نقشه هم قابلیت آبخوان/نقشه هم ضخامت آبرفت	وکتور	سازمان آب منطقه‌ای آ.غ.

جدول ۳- بازه‌ها و نرخ‌های عمق تا سطح ایستابی

عمق تا سطح ایستابی (m)	
بازه	نرخ
۰-۵/۱	۱۰
۵/۱-۵/۴	۹
۵/۴-۹	۷
۹-۱۵	۵
۱۵-۲۳	۳
۲۳-۳۰	۲
۳۰<	۱

وزن: ۵



شکل ۳- نقشه عمق تا سطح ایستابی منطقه مورد مطالعه

### تغذیه خالص:

لایه تغذیه خالص آبخوان با استفاده از نقشه‌های ایزوپاش<sup>۱۵</sup> به دست آمد. در این روش ابتدا بالاترین و پایین‌ترین سطح آب زیرزمینی در طول یک سال به دست آمده و تبدیل به Grid شد. سپس نقشه‌های پایین‌ترین و بالاترین سطح آب از یکدیگر کسر شده و به این ترتیب نقشه‌های ایزوپاش به دست آمد. نقشه‌های ایزوپاش تغییرات ارتفاعی آبخوان را در طول یک سال نشان می‌دهد. حاصل ضرب تغییرات ارتفاعی و مساحت واحدهای مختلف آبخوان و درصد تخلخل مفید هر واحد، میزان تغذیه خالص آبخوان را به دست داد. برای تهیه نقشه‌های راف از بازه موجود در درصد تخلخل مفید استفاده گردید. در تقریب پایین از کمترین درصد موجود در هر بازه و در تقریب بالا از بیشترین درصد موجود بهره‌برداری شد.

سطح ایستابی از ارتفاع هر چاه کسر گردید تا عمق آب زیرزمینی حاصل شود. از روش درون‌یابی کریجینگ برای تهیه لایه رستری استفاده شد.

برای تهیه نقشه‌های راف با تقریب بالا و پایین از کمترین و بیشترین تراز قرائت شده استفاده گردید. کریجینگ روش درون‌یابی پیشرفته‌ای است که برای داده‌هایی که دارای روندهای موضعی تعریف شده‌ای باشد، مناسب است. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق "میانگین متحرک وزن‌دار" استوار می‌باشد و معادله آن در حالت کلی به شرح زیر است.

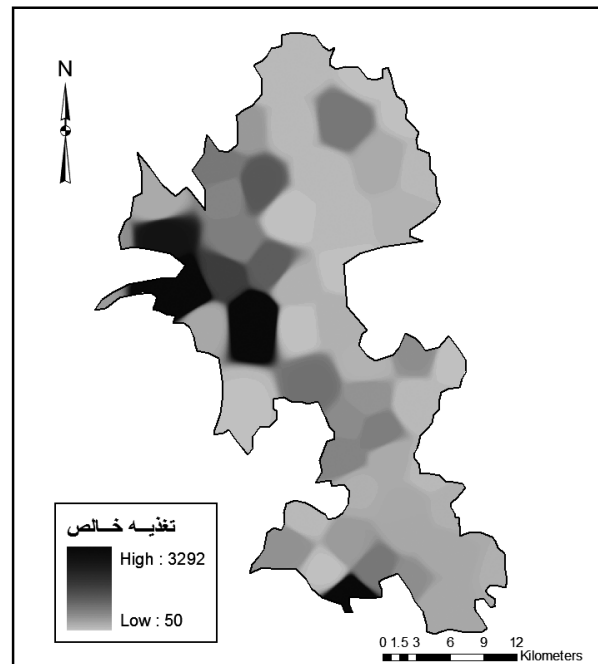
$$\widehat{Z}_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (7)$$

در رابطه فوق  $x_0$  متغیر  $Z$  در نقطه  $x_0$ ،  $\lambda_i$  وزن وابسته به نمونه  $z_j$ ،  $Z_0$  پارامتر تخمینی و  $n$  تعداد نقاط نمونه‌برداری شده می‌باشد. با حداقل‌سازی واریانس یا حداقل‌سازی متوسط مربعات خطا با رابطه زیر پارامترهای روش کریجینگ محاسبه می‌گردد.

$$\text{Var}[\widehat{Z}_0 - Z(x_0)] = \sum \lambda_i Z(x_i) - Z(x_0) \quad (8)$$

جدول ۴- بازه‌ها و نرخ‌های تغذیه خالص

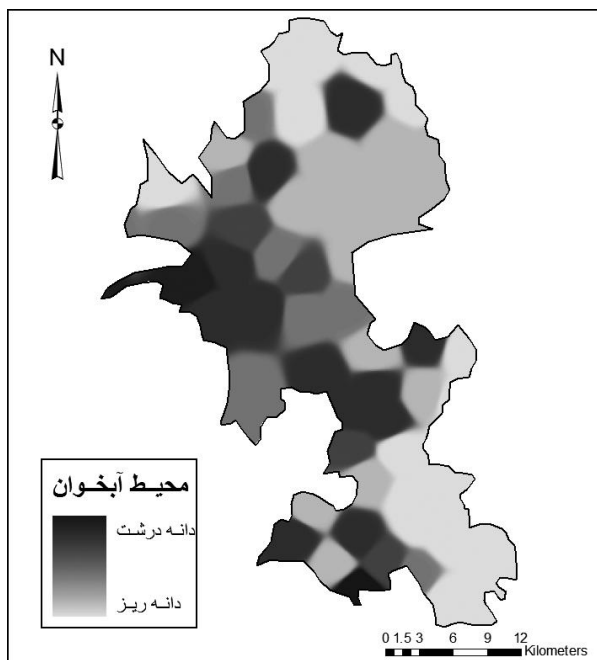
تغذیه خالص (mm/year)	
بازه	نرخ
۰-۵۰	۱
۵۰-۱۰۰	۳
۱۰۰-۱۷۵	۶
۱۷۵-۲۵۰	۸
>۲۵۰	۹
وزن: ۵	



شکل ۴- نقشه تغذیه خالص منطقه مورد مطالعه

جدول ۵- بازه‌ها و نرخ‌های محیط آبخوان

محیط آبخوان (A)		
بازه	نرخ	نرخ نمونه
شیل توده ای	۱-۳	۲
سنگ آذرین یا دگرگونی	۲-۵	۳
سنگ آذرین یا دگرگونی هوازده	۳-۵	۴
تیل یخچالی	۴-۶	۵
ماسه‌سنگ، سنگ آهک شیل لایه‌بندی شده	۵-۹	۶
ماسه‌سنگ توده‌ای	۴-۹	۶
سنگ آهک توده‌ای	۴-۹	۶
ماسه و گراول	۴-۹	۸
بازالت	۲-۱۰	۹
وزن: ۳		



شکل ۵- نقشه محیط آبخوان مورد مطالعه

### محیط آبخوان:

از اطلاعات مربوط به آبخوان از لوگ چاه‌های پیزومتری منطقه استفاده شد. در تهیه این لایه بایستی بخشی از لوگ حفاری مدنظر قرار می‌گرفت که وجود آب زیرزمینی در آن منطقه حتمی بود. برای درون‌یابی این لایه از روش IDW<sup>۱۶</sup> استفاده شد. در تهیه نقشه‌های راف از کمترین و بیشترین عمق سطح آب زیرزمینی در طول سال استفاده گردید. در روش IDW ارزش یک متغیر براساس میانگین همسایه‌ها در محدوده‌های معین محاسبه می‌شود و نقاطی که ارزش آنها نامعلوم است با استفاده از نقاط اطراف که ارزش معلومی دارند در یک شعاع مشخص براساس رابطه زیر برآورد می‌شود.

$$Z(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Z(x_i) \quad (9)$$

در رابطه بالا  $x_i$  ارزش نقاط معلوم و  $x$  ارزش برآورد شده نقطه مجهول می‌باشد.

### محیط خاک:

محیط خاک تأثیر بسیار مهمی در تغذیه دارد و از این رو بر چگونگی حرکت آلاینده‌ها مؤثر است. به منظور تهیه لایه خاک از نقشه‌های مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان آذربایجان غربی با مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ که توسط موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شده بود، استفاده گردید. در میان لایه‌های مدل دراستیک، لایه بافت خاک تنها لایه‌ای بود که تقریب بالا و پایین برای نقشه‌های راف، دقیقاً منطبق بر هم بودند. دلیل این امر استفاده از نقشه قابلیت ارزیابی اراضی به صورت آماده بود. اگر این لایه نیز همانند لایه‌های دیگر با داده‌های اولیه تهیه می‌گردید، قابلیت تقریب زدن در مجموعه راف را داشت.

### جدول ۶- بازه‌ها و نرخ‌های محیط خاک

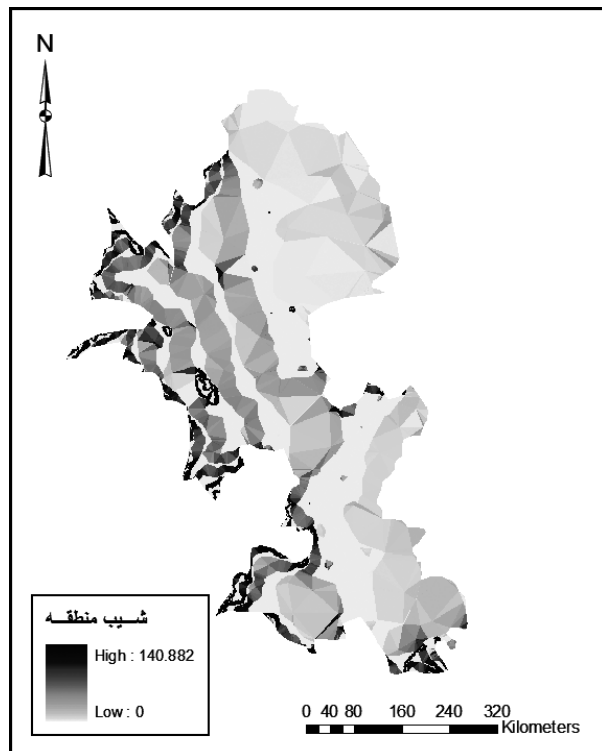
محیط خاک (S)	
بازه	نرخ
لایه خاک، نازک یا اصلاً وجود ندارد	۱۰
گراول	۱۰
ماسه	۹
تورب	۸
رس متراکم و منقبض شده	۷
لوم ماسه‌ای	۶
لوم	۵
لوم سیلتی	۴
لوم رسی	۳
کود	۲
رس متراکم و منقبض شده	۱

بهره‌برداری شد. با توجه به اینکه در تعیین تقریب‌ها، به این صورت عمل شود که از تقریب پایین به بالا احتمال وقوع کاهش و میزان آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد، لذا در این لایه از اعداد بزرگ هر بازه به عنوان تقریب پایین و از اعداد کوچک همان بازه به عنوان تقریب بالا استفاده شد.

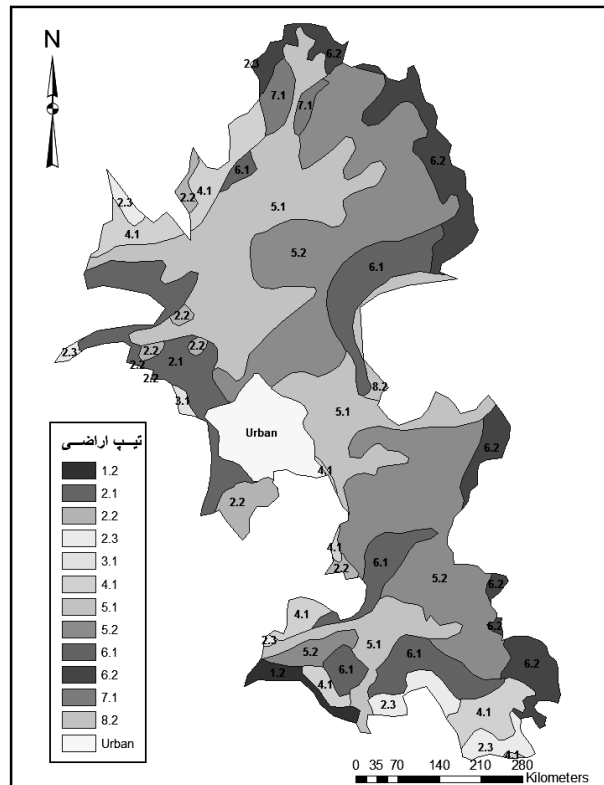
### جدول ۷- بازه‌ها و نرخ‌های شیب توپوگرافی

شیب توپوگرافی (درصد)	
بازه	نرخ
۰-۲	۱۰
۲-۶	۹
۶-۱۲	۵
۱۲-۱۸	۳
>۱۸	۱

وزن: ۱



شکل ۷- نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



شکل ۶- نقشه خاک منطقه مورد مطالعه

### توپوگرافی:

برای تهیه نقشه شیب از فایل‌های ارتفاعی رقومی با فاصله ۳۰ متر که از موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شده بود، استفاده گردید. با استفاده از خطوط میزان و نقاط ارتفاعی، ابتدا شبکه مثلث‌بندی TIN با استفاده از تابع تحلیل‌گر سه بعدی نرم افزار ArcGIS تهیه و سپس نقشه شیب به دست آمد. در تعیین تقریب بالا و پایین برای نقشه شیب از کلاس‌های موجود در جدول مدل دراستیک

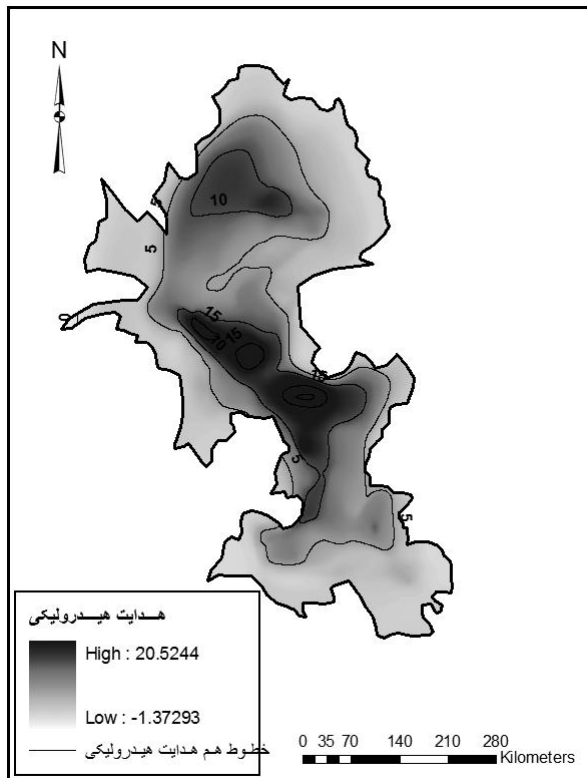
### اثر منطقه غیراشباع:

روند تهیه این لایه همانند لایه جنس آبخوان است. با این تفاوت که بافتی برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بالاتر از سطح سفره آب زیرزمینی باشد. پس از بررسی، در این لایه، روش IDW برای درون‌یابی انتخاب گردید. برای تعیین تقریب بالا و پایین در لایه غیراشباع، از تراز ایستابی استفاده گردید. به این ترتیب که

داده‌های مورد نیاز برای مدل دراستیک و همچنین نمایش نتایج، در مراحل مختلف کار در محیط GIS انجام گرفته است. به همین جهت از بسته نرم‌افزاری ArcGIS 9.3 استفاده شده است. در تحقیق حاضر پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، ابتدا نقشه‌های معیار تعیین گردید. سپس براساس روش‌های هم‌مقیاس‌سازی قطعی و تقریبی راف اقدام به نرخ بندی شد. در ادامه نقشه‌های نرخ‌بندی شده، وزن‌دهی گردید. پس از وزن‌دهی، تلفیق لایه‌ها انجام شد. برای تلفیق لایه‌ها از روش همپوشانی استفاده شد. از تلفیق لایه‌ها سه نقشه شاخص آسیب‌پذیری به دست آمد که یکی مربوط به معیار دراستیک و دو نقشه دیگر مربوط به مجموعه‌های راف بود.

جدول ۹- بازه‌ها و نرخ‌های هدایت هیدرولیکی

هدایت هیدرولیکی (m/day)	
نرخ	بازه
۱	۴>
۲	۴-۱۲
۴	۱۲-۲۸
۶	۲۸-۴۰
۸	۴۰-۸۰
۱۰	>۸۰
وزن: ۳	

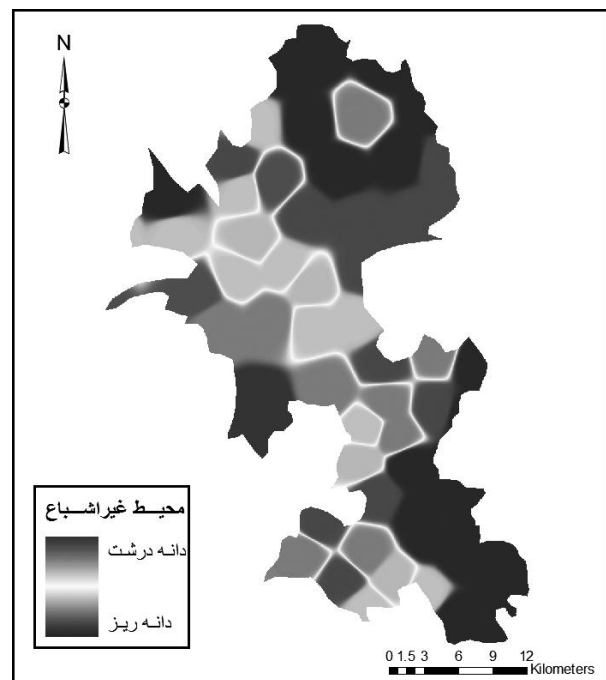


شکل ۹- نقشه هدایت هیدرولیکی منطقه مورد مطالعه

بالاترین و پایین‌ترین تراز ایستایی در طول یک سال محاسبه و پایین تراز به عنوان تقریب بالا و بالاترین تراز به عنوان تقریب پایین محاسبه شد.

جدول ۸- بازه‌ها و نرخ‌های محیط غیراشباع

محیط غیراشباع (۱)		
نرخ نمونه	نرخ	بازه
۱	۱	لایه محصور کننده
۳	۲-۶	سیلت یا رس
۳	۲-۵	شیل
۶	۲-۷	سنگ آهک
۶	۴-۸	ماسه‌سنگ
۶	۴-۸	سنگ آهک، ماسه‌سنگ و شیل لایه‌بندی شده
۶	۴-۸	ماسه و گراول با بخش مهمی از سیلت و رس
۴	۲-۸	سنگ دگرگونی یا آذرین
۸	۶-۹	ماسه و گراول
۹	۲-۱۰	بازالت
۱۰	۸-۱۰	سنگ آهک کارستی
وزن: ۵		



شکل ۸- نقشه محیط غیراشباع منطقه مورد مطالعه

### هدایت هیدرولیکی:

نقشه هدایت هیدرولیکی با بهره‌گیری از دو نقشه هم قابلیت انتقال و هم ضخامت آبخوان ترسیم و تهیه شد. به این صورت که توسط تابع آنالیز مکانی محاسبه‌گر رستری، نقشه هم‌قابلیت به نقشه هم ضخامت تقسیم گردید. به طور خلاصه گام‌های انجام شده را می‌توان به شرح زیر بیان نمود. پردازش، تلفیق، تجزیه و تحلیل

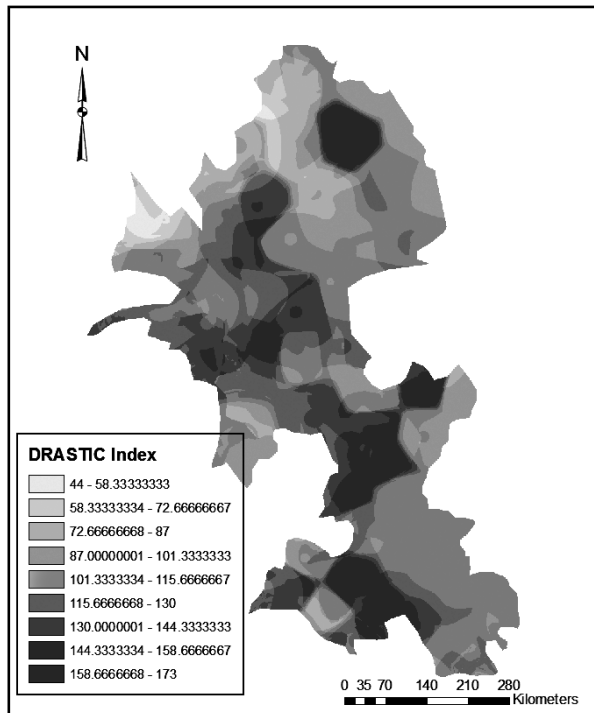


### ۳- نتایج و بحث

نتایج این پژوهش را می‌توان در سه گروه طبقه بندی کرد.

#### ۳-۱- نتایج حاصل از وزن دهی و تلفیق لایه‌ها جهت تهیه نقشه آسیب‌پذیری

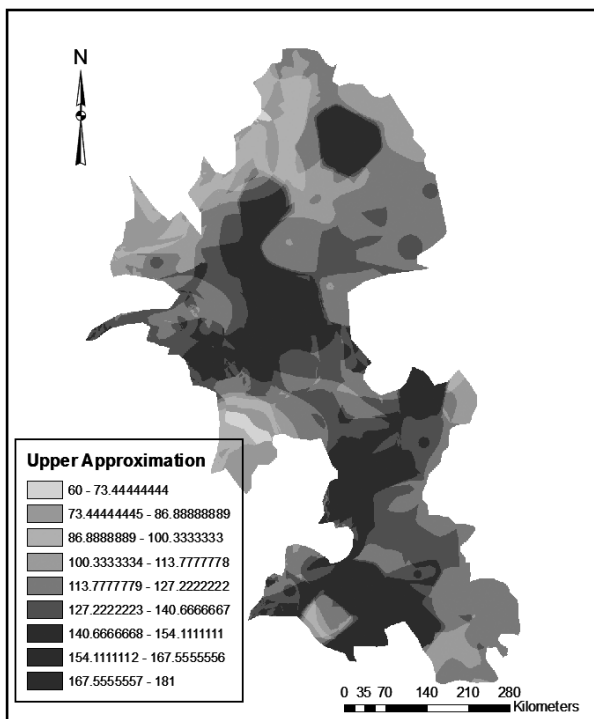
لایه‌های تهیه شده به روش دراستیک و راف براساس (جدول ۱) وزن دهی شد و با استفاده از روش شاخص همپوشانی تلفیق گردید. شکل‌های ۲ تا ۴، نقشه‌های شاخص آسیب‌پذیری را متناظر با روش‌های بیان شده نشان می‌دهند. همانطور که ملاحظه می‌شود، بازه آسیب‌پذیری در شاخص دراستیک مابین ۱۷۳-۴۴ قرار دارد. این بازه با تقریب بالا به ۱۸۱-۶۰ و با تقریب پایین به ۱۶۶-۲۷ می‌رسد. اعداد به دست آمده نشان از آن دارد که طبق (جدول ۲) در حالت اصلی، آبخوان دشت ارومیه در محدوده آسیب‌پذیری بدون خطر تا زیاد قرار دارد. در تقریب بالا، آبخوان دشت در محدوده بدون خطر تا آسیب‌پذیری زیاد و در تقریب پایین این محدوده در حد فاصل بدون خطر تا خطر زیاد می‌رسد. در مرحله نهایی نقشه‌های تولید شده تحت طبقه‌بندی مجدد قرار گرفتند تا تعیین گردد که چه درصدی از محدوده مورد مطالعه در هر یک از سطوح پتانسیل آلودگی قرار دارد.



شکل ۱۰- نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت ارومیه به روش DRASTIC

#### جدول ۱۰- محدوده شاخص آسیب‌پذیری به روش DRASTIC (باقرزاده و همکاران، ۱۳۸۹)

شاخص DRASTIC	پتانسیل آلودگی
<۷۹	بدون خطر آلودگی
۸۰-۹۹	خیلی کم
۱۰۰-۱۱۹	کم
۱۲۰-۱۳۹	کم تا متوسط
۱۴۰-۱۵۹	متوسط تا زیاد
۱۶۰-۱۷۹	زیاد
۱۸۰-۱۹۹	خیلی زیاد
>۱۹۹	کاملاً مستعد آلودگی



شکل ۱۱- نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت ارومیه با تقریب بالا

#### ۳-۲- نتایج حاصل از طبقه‌بندی مجدد نقشه‌های آسیب‌پذیری

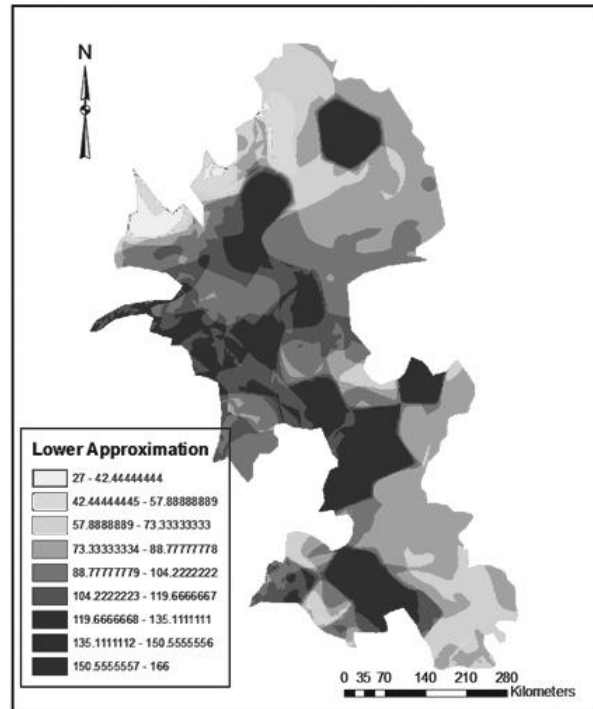
براساس جدول محدوده شاخص آسیب‌پذیری، طبقه‌بندی مجدد صورت گرفت و درصد هر ناحیه در نقشه آسیب‌پذیری مشخص شد. نتایج در شکل‌های ۵ تا ۷ و جدول ۳ قابل ملاحظه می‌باشند. اشکال و گراف‌های حاصل از آنها بیانگر آن است که به ترتیب در نقشه‌های تقریب بالا دراستیک و تقریب پایین از میزان آسیب‌پذیری کاسته شده و درصد مناطق با پتانسیل بالا، کاهش می‌یابد.

جدول ۱۱- پراکنش آماری پتانسیل آلودگی به درصد در سه نقشه آسیب پذیری

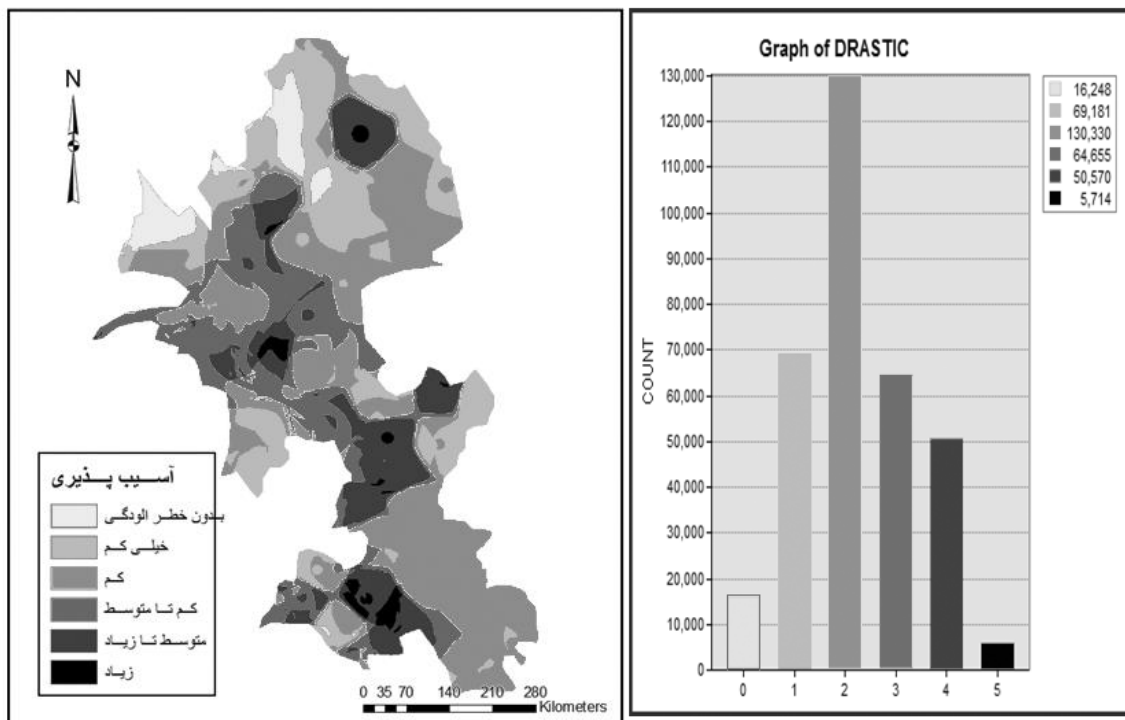
پتانسیل آلودگی	تقریب پایین	DRASTIC	تقریب بالا
بدون خطر آلودگی	۲۵/۷۹	۴/۸۲	۲/۰۳
خیلی کم	۳۲/۶	۲۰/۵۴	۹/۴۷
کم	۱۷/۴۹	۳۸/۷	۲۰/۸۷
کم تا متوسط	۱۴/۷۵	۱۹/۲	۳۹/۰۷
متوسط تا زیاد	۹/۰۸	۱۵/۰۱	۱۸/۱۹
زیاد	۰/۲۷	۱/۶۹	۱۰/۱۴

۴- جمع بندی و پیشنهادها

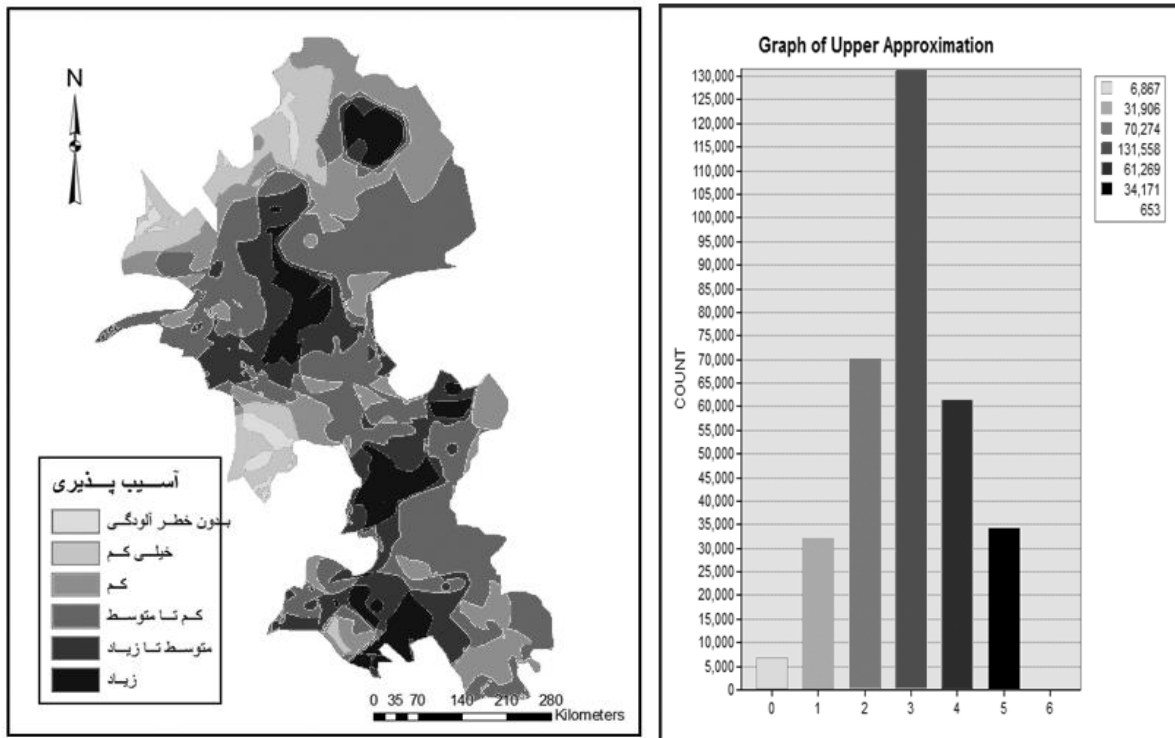
آسیب پذیری سفره های آزاد دشت ارومیه طبق محاسبات در محدوده بدون خطر آلودگی تا آلودگی زیاد قرار می گیرد و این نشان از تغییرات نسبتاً شدید آسیب پذیری در سطح آبخوان دارد. لحاظ نمودن مؤلفه های عدم قطعیت موجب می شود تا دید وسیع تری نسبت به آسیب پذیری و خطر آلودگی به دست آید. براساس کاربردهای موجود آمایش سرزمین و طرح های کالبدی می توان از یکی از نقشه های آسیب پذیری استفاده کرد.



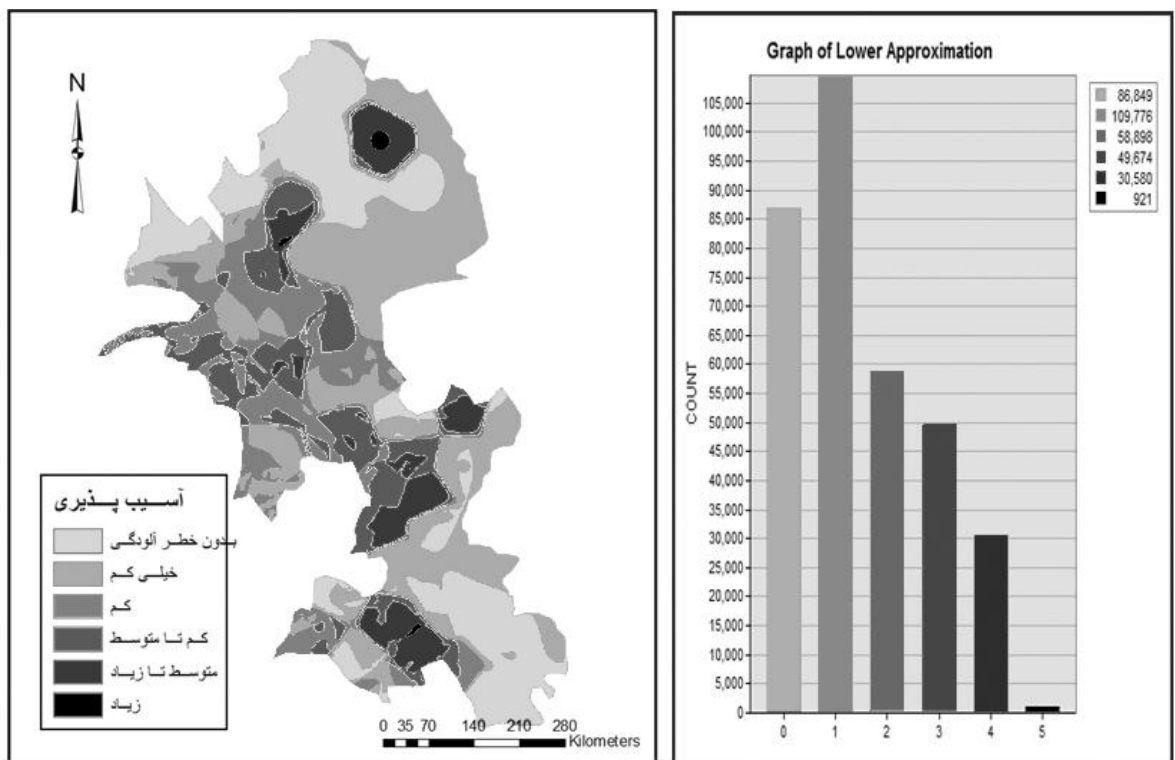
شکل ۱۲- نقشه آسیب پذیری آبخوان دشت ارومیه با تقریب پایین



شکل ۱۳- نقشه Reclassify شده آسیب پذیری آبخوان دشت ارومیه به روش DRASTIC



شکل ۱۴- نقشه Reclassify شده آسیب پذیری آبخوان دشت ارومیه با تقریب بالا



شکل ۱۵- نقشه Reclassify شده آسیب پذیری آبخوان دشت ارومیه با تقریب پایین

- 11-R (Rate)
- 12-W (Weight)
- 13-Upper approximation
- 14-Lower approximation
- 15-Iso pach
- 16-IDW (Invers Distance Wighted)

## ۵- مراجع

استادهاشمی ز (۱۳۸۷). تعیین آسیب‌پذیری آبخوان آبرفتی به روش DRASTIC در محیط GIS- مطالعه موردی دشت همدان- بهار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

باقرزاده س، کلاتری ن، مرادزاده م، رحیمی م ح، دانشیان ح، ظاهری عبدهوند ز (۱۳۸۹) استفاده از GIS برای تحلیل حساسیت تک پارامتری روش‌های DRASTIC و SINTACS جهت ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی دشت بهبهان. همایش ملی ژئوماتیک.

گزارش مطالعات نیمه تفصیلی و بیلان محدوده مطالعاتی دشت ارومیه (۱۳۸۸).

Aller L, Bennett T, Lehr J, Petty RJ, Hackett G (1987) DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. US Environmental Protection Agency Report. EPA600/2- EP87/036.

Babiker IS, Mohamed MAA, Hiyama T, Kato K (2004) A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, Central Japan. Science of the Total Environment 345 (1-3): 127-140.

Civita M, Della LC (1994) Vulnerabilitadegli acquifer all inquinamento. Teoria and practica (aquifer vulnerability maps to pollution). Pitagora, Bologna.

Doerfiger N, Zwahlen F (1997) EPIK: a new method for outlining of protection areas in karstic environment. International Symposium and Field Seminar on Karst

Waters and Environmental Impacts, Antalya, Turkey. Balkema, Rotterdam 117-123.

Derouance J, Dassargues A (1998) Delineation of groundwater protection zones based on tracer tests and transport modeling in alluvial sediments. Environmental Geology 36, 27-36.

Foster S (1987) Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: van Duijvenbooden W., van Waegeningh, H.G. (eds.), TNO Committee on Hydrologic Research, The Hague. Vulnerability of Soil and Groundwater

برای انتخاب مکان مناسب صنایع با آلاینده‌گی پساب مختلف، می‌توان از نقشه آسیب‌پذیری با تقریب بالا استفاده کرد و همچنین برای انجام عملیات کشاورزی بیولوژیک که نیاز به کود و سایر مواد آلاینده ندارد و سلامت آبخوان را تهدید نمی‌کند، می‌توان از نقشه آسیب‌پذیری با تقریب پایین استفاده نمود. محاسبات انجام یافته و نقشه‌های تولید شده حاکی از آن است که اعمال پارامتر عدم قطعیت، تأثیر مثبتی در روند تحلیل آسیب‌پذیری آبخوان داشته و با استناد به نقشه‌های ترسیم شده، می‌توان عنوان کرد که آبخوان آزاد دشت ارومیه از هشت سطح آلودگی، شش سطح بدون خطر، خیلی کم، کم، کم تا متوسط، متوسط تا زیاد و زیاد را در خود گنجانده است. بنابراین آبخوان دشت ارومیه از لحاظ آسیب‌پذیری دارای تغییرات شدیدی است.

طی این تحقیق نظریه مجموعه‌های راف مورد بررسی قرار گرفت. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی روش‌های دیگری مانند منطق فازی و یا نظریه امکان مورد بررسی قرار گیرد و نتایج نهایی مقایسه شود، تا روش بهینه برای اعمال عدم قطعیت مشخص گردد. بهره‌گیری از استنتاج راف می‌تواند مکملی برای نظریه مجموعه راف باشد. این استنتاج با توجه به گستردگی مطالب موجود در تحقیق فعلی انجام نگرفته است. لذا پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی به مهم توجه و از روش‌ها و سیستم هوشمند تشخیص الگو مانند شبکه‌های عصبی- فازی و بکارگیری روش‌های بهینه‌سازی ریاضی تکاملی در جهت برآورد دقیق‌تر پارامترها استفاده شود.

## پی‌نوشت‌ها

- 1-US EPA: US Environmental Protection Agency
- 2-SINTACS:
  - S=Depth to groundwater
  - I=Effective infiltration
  - N=Unsaturated zone attenuation capacity
  - T=Soil/overburden attenuation capacity
  - A=Hydrogeologic characteristics of the aquifer
  - C=Hydraulic conductivity range of the aquifer
  - S=Hydrological role of the topographic slop
- 3- EPIK
  - E=Epikarst
  - P= Protective Zone
  - C= Condition of Infiltration
  - Development of the Karst Network
- 4-D (Depth to water table)
- 5-R (Net Recharge)
- 6-A (Aquifer media)
- 7-S (Soil Texture)
- 8-T (Topography)
- 9-I (Impact of vadose zone)
- 10-C (Hydraulic conductivity)

- Pawlak Z (1991) Theory of rough sets: a new methodology for knowledge discovery. ICCI: 11.
- Verba J, Zoporozec A (1994) Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH International Contribution for Hydrogeology 16, 131.
- Van Stemproort D, Evert L, Wassenaar L (1993) Aquifer vulnerability index: a GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping. Canadian Water Resource Journal 18, 25-3.
- to Pollutants, Proceeding and Information 38, 69-86.
- Gogu RC, Dassargues A (2000) Current trends and future challenge ingroundwater vulnerability assessment using overlay and index method. Environmental Geology 39, 549-558.
- Pawlak Z, Skowron A (2007) Rough sets and Boolean reasoning. Inf. Sci. 177(1): 41-73.