



## Determining the Vulnerability of Barandouzchi Aquifer Plain, Urmia, Using the Combination of DRASTIC, SI, and SINTACS Index

E. Abbas Novinpour<sup>1\*</sup>, S. Yaghoubi<sup>2</sup> and  
A. Asghari Moghaddam<sup>3</sup>

### Abstract

Due to the increasing need of human societies to groundwater, especially in arid and semi-arid regions such as Iran, Protection and prevention of pollution of these water resources are considered necessary. For this purpose, evaluating the vulnerability of groundwater can play a vital role in protecting and exploiting these resources. In the Barandozhay plain, due to the high agricultural activities, chemical fertilizers, pesticides application, and low depth of water table, there is the probability of aquifer contamination. For this purpose, at first, the potential of contamination of groundwater resources in the plain was studied using DRASTIC, SINTACS and SI models and then, the final map of vulnerable areas was prepared using the combination method. Comparison of the results obtained from the models with nitrate data based on the Correlation Index (CI) indicated that the combined method of the three models had more correlation than individual models of DRASTIC, SINTACS, and SI. Based on the combined method of the three models, 25, 40 and 35 percent of the Barandozchai plain aquifer area are located in the low, medium and high vulnerability range, respectively. Plain water is suitable for drinking according to the international standards of nitrates.

**Keywords:** Nitrate Concentration, Combined Method, Correlation Index (CI).

Received: October 22, 2017

Accepted: June 16, 2018

## تعیین آسیب پذیری آبخوان باراندوزچای دشت ارومیه با استفاده از ترکیب شاخص‌های SI، DRASTIC و SINTACS

اسفندیار عباس‌نوبین پور<sup>۱\*</sup>، سحر یعقوبی گردویشه<sup>۲</sup>  
و اصغر اصغری مقدم<sup>۳</sup>

### چکیده

با توجه به نیاز روز افزون جوامع بشری به منابع آب زیرزمینی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، حفاظت و جلوگیری از آلودگی این منابع امری ضروری تلقی می‌گردد. بدین منظور، ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی می‌تواند نقشی حیاتی در حفاظت و بهره‌برداری از این منابع ایفا نماید. در دشت باراندوزچای، به دلیل رونق زیاد کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی، مواد آفت‌کش و عمق کم سطح ایستایی، احتمال آلودگی آبخوان وجود دارد، به همین منظور، ابتدا به پتانسیل‌یابی آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت از مدل‌های DRASTIC، SINTACS و SI پرداخته شد و سپس با روش ترکیبی، نقشه نهایی از مناطق آسیب‌پذیر تهیه شد. مقایسه نتایج به‌دست آمده از مدل‌ها با داده‌های نیترات بر اساس شاخص همبستگی (CI) نشان داد که روش ترکیبی دارای همبستگی بیشتری نسبت به مدل‌های منفرد DRASTIC، SINTACS و SI دارد. براساس روش ترکیبی حاصل از سه مدل ۲۵، ۴۰ و ۳۵ درصد مساحت از آبخوان دشت باراندوزچای به ترتیب در محدوده آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد قرار دارد. با توجه به میزان استاندارد جهانی نیترات، آب دشت برای مصارف شرب مناسب بوده است.

**کلمات کلیدی:** غلظت نیترات، روش ترکیبی، شاخص همبستگی (CI).

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۷/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۳/۲۶

1- Assistant Professor of Geology, Faculty of Science, Urmia University, Iran.  
Email: [E.abbasnovinpour@urmia.ac.ir](mailto:E.abbasnovinpour@urmia.ac.ir)

2- M.Sc. Graduate of Hydrogeology, Faculty of Science, Urmia University, Iran.

3- Associate Professor of Geology, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه.

۳- استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

برای پارامترها، ضرایب نسبی ارائه می‌دهد. رایج‌ترین روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری عبارتند از: GOD, DRASTIC، روش رتبه‌دهی AVI، روش‌های SINTACS، ISIS، German و EPIK.

Babiker et al. (2015) با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل DRASTIC آسیب‌پذیری آبخوان واقع در Kakamigahara ژاپن را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که مشخصه تغذیه خالص بیشترین تأثیر را در آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان داشته است.

Mirzaei (2009) به ارزیابی آسیب‌پذیری دشت شهر کرد با استفاده از مدل SINTACS پرداخت. نتایج تحقیق انجام گرفته نشان داد که ۶/۸ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل آلودگی خیلی کم، ۶۹/۱٪ کم و ۲۴/۱٪ از منطقه دارای پتانسیل آلودگی متوسط است.

در مطالعه Niknam et al. (2007) به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان تهران-کرج از روش‌های DRASTIC و منطق فازی استفاده گردید. نتایج نشان داد که حدود ۵۰ درصد سفره دارای پتانسیل آلوده شدن متوسط و ۲۰ درصد آن دارای پتانسیل خیلی کم بود. در این مطالعه در مورد مقادیر نزدیک مرز دسته‌بندی‌ها از منطق بولین استفاده شد و همچنین از منطق فازی نیز به منظور افزایش دقت نتایج استفاده گردید. نتایج این دو روش مورد مقایسه قرار گرفت و مشخص گردید که منطق فازی توانایی بهتری در تشخیص مناطق با پتانسیل کم و خیلی کم را دارا است.

به منظور بررسی عدم قطعیت آسیب‌پذیری دشت ارومیه Javanmard et al. (2014) از GIS و مجموعه راف استفاده نمودند. در این مطالعه مدل‌سازی مجموعه راف در دو مجموعه بالا و پایین انجام گرفت 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 گردید. Soltani et al. (2018) به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت کردکندی-دوزدوزان با مدل دراستیک واسنجی شده پرداختند. آنها نشان دادند که با تصحیح وزن لایه‌ها، ضریب تبیین بین غلظت نیترات و آسیب‌پذیری مربوطه از ۰/۶۷ به ۰/۷۹ افزایش یافته است و بر اساس نقشه آسیب‌پذیری دراستیک واسنجی شده، میزان شاخص آسیب‌پذیری را بین ۵۶/۶۶ تا ۸۹/۱۴ برآورد کردند و همچنین نشان دادند واسنجی مدل دراستیک باعث افزایش همبستگی نقشه آسیب‌پذیر با غلظت نیترات شد.

آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌تواند باعث کاهش کیفیت آب آشامیدنی، کاهش منابع تأمین آب، افزایش هزینه‌های پاکسازی، افزایش هزینه‌ها جهت جایگزین نمودن منابع تأمین آب و یا ایجاد مشکلات بهداشتی گردد. از طرفی، زمانی که آب‌های زیرزمینی آلوده می‌شوند، پایش آبخوان‌ها بسیار مشکل و اغلب غیرممکن است (Khodai, 2006). در نتیجه حفاظت از منابع آب زیرزمینی در برابر آلودگی جهت مدیریت برنامه‌ریزی برای این منابع و کاربری اراضی از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان و مدیریت کاربری اراضی می‌باشد (Vrba and Zaporozec, 1994). تاکنون تعاریف متعددی از آسیب‌پذیری عنوان شده است. مفهوم قابلیت آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی اولین بار توسط مارگات در اواخر دهه ۱۹۶۰ در فرانسه جهت هشدار درباره آلودگی آب ارائه گردید (Al-Adamat et al., 2003). به طور کلی انواع بررسی‌های آسیب‌پذیری آبخوان‌ها به دو نوع ذاتی و ویژه قابل بیان است. آسیب‌پذیری ذاتی با توجه به خصوصیات هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی منطقه مانند خصوصیات آبخوان و تنش‌های وارده بر آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و آسیب‌پذیری ویژه به منظور ارزیابی حساسیت آبخوان به نوع خاصی از آلاینده قابل بررسی می‌باشد. در سال‌های اخیر تخمین آسیب‌پذیری آب زیرزمینی توسط محققان مختلف و با روش‌های متعددی صورت گرفته است (Al-Adamat et al., 2003; Aller et al., 1987; Evans and Myers, 1990; Secunda et al., 1998; Al-Zabet, 2002). از جمله این روش‌ها، می‌توان به روش‌های آماری، فرآیند محور و شاخص اشاره کرد. روش‌های آماری شامل آمارهای توصیفی ساده و تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره است و اطلاعات و داده‌های بیشتر مانند منابع آلودگی و عوامل مؤثر بر حساسیت ذاتی، غالباً در بررسی‌های آماری دقیق‌تر مانند رگرسیون لجستیک که سعی دارد تا متغیرهای توصیفی را مورد توجه قرار دهند انجام می‌شود (Dixon, 2005). هدف روش فرآیند محور، ارزیابی کمی آسیب‌پذیری است که در آن به مدل‌های انتقال و جریان در ناحیه اشباع و غیراشباع توجه می‌شود و اثر ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک، تغذیه و عمق نفوذ را در انتقال آلودگی ارزیابی می‌کند. این روش فرآیندهای فیزیکی حرکت آب و مسیر مربوط به انتقال آلودگی را شبیه‌سازی کرده و توزیع مناطق حساس یا آسیب‌پذیر را مشخص می‌کند (Almasri, 2008). دسته سوم، روش شاخص است که از ساده‌ترین روش‌ها است در این روش هر عاملی که به طور بالقوه بر احتمال آلودگی تأثیر بگذارد در یک مقیاس طبقه‌بندی شده و همچنین

Shekhar et al. (2015) به ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در آبخوان سنگ گرانیت سخت با مدل DRASTIC پرداختند و نشان دادند که شاخص DRASTIC در محدوده ۷۹ تا ۱۶۰ قرار دارد، حدود ۳۱ و ۲۴ درصد از منطقه مورد مطالعه بین آلودگی آب زیرزمینی و آسیب‌پذیری زیاد بین ۱۶ تا ۲۸ درصد از منطقه مورد مطالعه در معرض خطر متوسط تا خطر کم آلودگی قرار دارند. همچنین بیان کردند استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تهیه لایه‌ها را در محیط GIS برای تجمیع مناطق خطر به صورت فضایی تسهیل می‌کند. Lathamani et al. (2015) با استفاده از مدل DRASTIC و GIS به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان شهر Mysore در Karnataka هند پرداختند. تحقیقات آنها نشان داد که غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی پیش از فصل باران‌های موسمی در ۹۵ درصد از نمونه‌ها در حد مجاز بود. اما در فصل بعد از موسمی، غلظت نیترات در ۷۰٪ از نمونه‌ها بیش از حد مجاز بود. بنابراین یک همبستگی قطعی بین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی و غلظت نیترات مشاهده شد. همچنین شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC بین ۷۰ تا بیش از ۱۰۰ برآورد شده است.

در تحقیقات Sadatipour et al. (2016) با استفاده از طبقه‌بندی Baalousha et al. (2005) نشان دادند آبخوان دشت قائن حدود ۰/۴۴ درصد بی‌خطر، ۱۰/۸۸ درصد آسیب‌پذیری خیلی کم، ۸۰/۵۲ درصد منطقه در محدوده آسیب‌پذیری کم، ۶/۴۲ درصد دارای آسیب‌پذیری کم تا متوسط و ۱/۷۱ درصد منطقه در محدوده پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد قرار دارد.

Ghosh et al. (2015) در تعیین آسیب‌پذیری حوزه آبخیز کاتری در هند با مدل DRASTIC نشان دادند که در حدود ۱۶/۹۱٪ از حوزه آبریز در معرض خطر بالا قرار دارد، ۳۰/۶۹٪ در معرض خطر متوسط و ۵۲/۴٪ در معرض خطر کم قرار دارند. بخش‌های جنوب شرقی و جنوب غربی حوزه آبریز تحت تأثیر طبقه‌های آسیب‌پذیر قرار داشتند در حالی که بخش‌های جنوبی، شمال غربی و پایین‌تر با طبقه‌های آسیب‌پذیری متوسط شناخته می‌شوند. Anane et al. (2015) مدل آسیب‌پذیری SI را برای پهنه‌بندی آلودگی کاربری اراضی بهترین مدل در حال حاضر بیان کردند.

به منظور بهبود عملکرد برخی روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری کلاسیک از روش‌های هوش مصنوعی در مطالعات متعدد استفاده گردیده است (Rezaei et al., 2013; Gharekhani et al., 2015; Rezaei et al., 2017; Nadiri et al., 2017).

با توجه به مطالعات انجام گرفته، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت باراندوزچای با سه مدل DRASTIC، SI و SINTACS و تهیه نقشه نهایی آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش ترکیبی وزن‌دار انجام گرفت. از داده‌های نیترات جهت صحت‌سنجی تطابق نقشه‌های آسیب‌پذیر استفاده و همچنین شاخص همبستگی برای هر مدل محاسبه و در نهایت بهترین مدل برای دشت باراندوزچای پیشنهاد گردید.

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت باراندوزچای با مساحت تقریبی ۳۵۰ کیلومتر مربع در شمال غرب کشور بین دریاچه ارومیه و مرز ایران و کشورهای عراق و ترکیه قرار دارد (شکل ۱). این منطقه موقعیت جغرافیایی ۳۶/۳۴ تا ۳۷/۲ عرض شمالی و ۴۵/۲۴ تا ۴۵/۵ طول شرقی دارد. منابع آب سطحی آن عمدتاً دو رودخانه باراندوزچای و بالانج‌چای هستند.

با توجه به مطالعات ژئوفیزیکی صورت گرفته در سطح منطقه و لوگ‌های زمین‌شناسی چاه‌های بهره‌برداری، اکتشافی و پیژومتر، نوع لایه‌های آبدار در محدوده عمدتاً ترکیبی از گراول دانه‌درشت تا ریز به همراه ماسه، رس، سیلت و مقداری قلوله‌سنگ می‌باشد که حاصل فرسایش و تخریب سازندهای ارتفاعات مشرف به دشت می‌باشند. در دشت باراندوزچای عمیق‌ترین ناحیه آبرفتی با ضخامت حدود ۲۰۰ متر در حوالی روستای دیزج تکیه، واقع است (Nabavi, 1976; Regional Water Authority of West Azarbaijan, 2012; Urmia Novin water drilling company, 2006). همچنین مطالعات ژئوالکتریک حاکی از نفوذ آب شور ناشی از مجاورت دشت مورد مطالعاتی با دریاچه ارومیه می‌باشد که موجب تغییر کیفیت رسوبات نسبت به سال‌های قبل شده است.

در نواحی حاشیه‌ای دشت و به سمت دریاچه ارومیه به دلیل کاهش ضخامت لایه آبدار و دانه‌ریز بودن رسوبات آبرفتی میزان ضریب قابلیت انتقال به حداقل خود ۴۰۰ مترمربع بر روز می‌رسد. بیشترین مقدار ضریب ذخیره ۱۵/۸۳ و مربوط به نواحی مرکزی و غربی و کمترین مقدار ضریب ذخیره  $10^{-6}$  و مربوط به غرب دریاچه ارومیه و در نواحی حاشیه دشت می‌باشد. مقدار ضریب ذخیره متوسط محدوده مورد مطالعه  $10^{-2}$  تا  $3/83 \times 10^{-2}$  بدست آمده است. مقدار ضریب قابلیت آبخوان در مخروط افکنه‌ها و مناطق مرکزی و جنوبی دشت به دلیل دانه‌درشت بودن آبخوان و بالا بودن ضخامت رسوبات آبرفتی، بیشتر و در بخش‌های خروجی و به سمت دریاچه ارومیه عمدتاً به دلیل دانه‌ریز

## ۲-۲- پارامترهای کاربردی برای تهیه مدل‌های آسیب‌پذیری

### - عمق سطح ایستابی

عمق آب زیرزمینی یکی از عوامل مهم در کنترل توانایی آلاینده برای رسیدن به آبخوان است. این مشخصه تعیین کننده عمقی است که آلوده کننده باید طی کند تا به سطح ایستابی برسد و اهمیت زیادی دارد (Asqari moqadam et al., 2009; Khodaei et al., 2006). هرچه عمق سطح ایستابی بیشتر باشد زمان بیشتری طول می‌کشد تا مواد آلاینده به آب زیرزمینی برسند. بنابراین سطوح ایستابی عمیق‌تر شانس آلودگی کمتری دارند. جهت تهیه نقشه سطح ایستابی، از داده‌های ماهانه سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای برای سال ۹۴ استفاده شده است. جهت بدست آوردن یک لایه رستری از داده‌های عمق سطح ایستابی و چاه‌های موجود در منطقه استفاده شده است. در ادامه نقشه عمق سطح ایستابی با درون‌یابی نقاط حاصل از میانگین عمق سطح ایستابی پیرومترها بدست آمد.

### - تغذیه خالص

عامل بسیار مهمی برای نفوذ و انتقال آلاینده‌ها از منطقه غیراشباع به منطقه اشباع است و آلاینده‌های جامد و مایع را به سطح آب برده و همچنین می‌تواند سطح آب را افزایش دهد (Rahman, 2008). تغذیه بیشتر سرعت بالاتری را برای انتقال آلاینده‌ها به سطح آب زیرزمینی فراهم می‌آورد.

بودن رسوبات آبرفتی پایین می‌باشد. حداکثر ضریب قابلیت انتقال با رقم ۵۷۵۶ مترمربع در روز مربوط به رسوباتی تومتر می‌باشد. در بخش ورودی به دلیل ضخامت کم رسوبات آبرفتی قابلیت انتقال کمتر از مناطق جنوبی آن است. به طور کلی عمق آب زیرزمینی از شرق به غرب و به سمت دریاچه کاهش می‌یابد و در خروجی دشت و سواحل دریاچه (روستاهای جبل کندی، تازه‌کند و طالب‌آباد) به کمتر از ۳ متر نیز می‌رسد. بنابراین بخش قابل توجهی از آب زیرزمینی آبخوان در این نواحی از طریق تبخیر هدر می‌رود. همچنین جهت کلی جریان آب زیرزمینی به تبعیت از توپوگرافی منطقه، از غرب به شرق است.

سطح آب زیرزمینی این دشت روند نزولی داشته به طوری که در طی ۱۰ سال اخیر سطح آب زیرزمینی ۲/۳۶ متر افت کرده است. افت سطح آب بیانگر آن است که بهره‌برداری از آب زیرزمینی به صورت اصولی و بهینه صورت نمی‌گیرد و ذخیره سفره در حال کاهش است.

از نظر اقلیم‌شناسی به روش آمبرژه<sup>۱</sup> دشت باراندوزچای منطقه‌ای نیمه خشک و سرد است. طبق آمار متوسط ۲۲ ساله (۱۳۷۳-۱۳۹۵) دشت باراندوزچای، ماه مرداد با دمای ۲۳/۹ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین و ماه دی با دمای ۰/۵- درجه سانتی‌گراد سردترین ماه سال هستند و حداقل بارندگی ماهانه در مرداد ماه به میزان ۳/۸ میلی‌متر و بیشترین میزان بارندگی در آبان ماه به میزان ۵۲/۸ میلی‌متر به دست آمد. رطوبت نسبی و کل تبخیر سالیانه منطقه به ترتیب ۶۷/۱ درصد و ۱۰۸ میلی‌متر برآورد شده است.

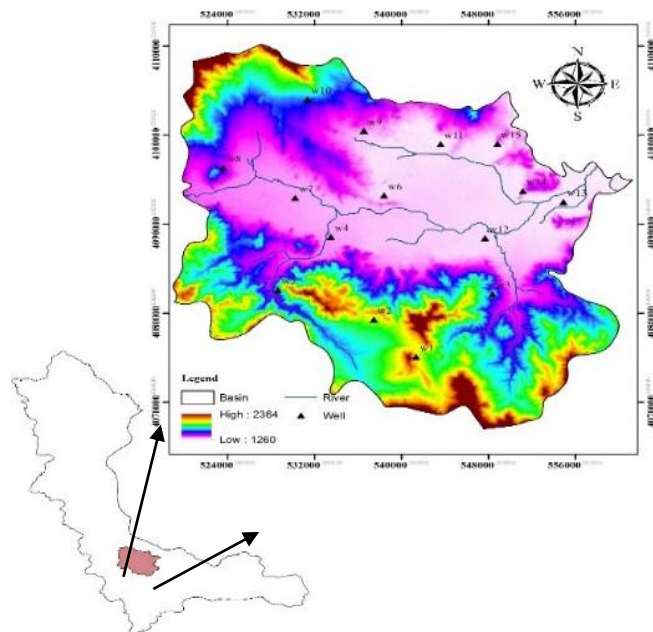


Fig. 1- Geographical position of the study area

### شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

تحقیقات منابع آب ایران، سال چهاردهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷  
Volume 14, No. 4, Winter 2019 (IR-WRR)

هر چه تغذیه زیاده‌تر باشد، آسیب‌پذیری آب زیرزمینی به علت احتمال بیشتر انتقال آلاینده‌ها بیشتر می‌شود. مهمترین عامل در حرکت عمودی آب، میزان تغذیه توسط نزولات جوی می‌باشد. شرایط منطقه و حجم آب حاصل از آبیاری کشاورزی و فاضلاب‌ها نیز، در محاسبه تغذیه خالص در نظر گرفته می‌شوند. جهت بدست آوردن نرخ تغذیه در آبخوان، از روش پهنه‌بندی تغییرات حجم آب زیرزمینی آبخوان استفاده شده است. ابتدا داده‌های سطح آب برای چاه‌های مشاهده‌ای جمع‌آوری شده و برای هر یک از آنها پلیگون تیسن رسم گردید. در ادامه طبق رابطه (۱) ضریب ذخیره سفره بر تغییرات سالانه سطح آب پیژومتر هر تیسن ضرب شده و بر مدت زمان بررسی تغییرات سطح آب تقسیم گردید:

$$R = Sy \times \Delta h / \Delta t \quad (1)$$

در رابطه بالا R نرخ تغذیه، Sy آبدهی ویژه (ضریب ذخیره)، h ارتفاع تراز آب و t زمان می‌باشد. ایراد اساسی رابطه بالا عدم لحاظ آب برگشتی حاصل از کشاورزی می‌باشد که به منظور دخالت این گزینه در رابطه، میزان برداشت از چاه‌های بهره‌برداری موجود در هر پلیگون تیسن محاسبه و با عددهای بدست آمده حاصل از رابطه بالا جمع گردید و در نهایت عدد بدست آمده بر مساحت هر پلیگون تقسیم گردید و نرخ تغذیه هر پلی‌گون محاسبه شد. نرخ تغذیه در هر پلیگون را به چاه مشاهده‌ای که بر اساس آن پلی‌گون ترسیم شده تعمیم داده و از روش درون‌یابی IDW به منظور پهنه‌بندی در کل محدوده استفاده گردید. نقشه‌های پلیگون تیسن و رتبه‌دهی تغذیه خالص در ادامه نشان داده شده است.

### محیط آبخوان

این عامل به خصوصیات مواد تشکیل دهنده منطقه اشباع نظیر میزان تخلخل، جنس، اندازه و جورشدگی ذرات بستگی دارد که میزان پویایی تحرک آلودگی و به عبارتی فرآیندهای رقیق‌سازی آلودگی نظیر تجزیه شیمیایی، جذب، پخش و تأخیر را کنترل می‌کند. هر چه مواد سفره دانه‌درشت‌تر باشد، به دلیل نفوذپذیری بالاتر این مواد پتانسیل آلودگی آبخوان نیز بیشتر خواهد شد. اطلاعات مربوط به محیط آبخوان از کاوش‌های زیرسطحی (لوگ زمین‌شناسی چاه‌های اکتشافی و پیژومتری) تهیه شد. به این صورت که بر حسب نسبت جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان در هر چاه، رتبه‌هایی به هر نقطه اختصاص داده شد. به منظور تعیین ویژگی خاصی از تعدادی لایه می‌بایست ضخامت لایه‌های متعدد را نیز در نظر گرفت. از این رو برای محاسبه پارامتر مورد نظر از میانگین حسابی وزن دار استفاده گردیده است.

### محیط خاک

به بخش هوادهی بالایی منطقه غیراشباع گفته می‌شود که تا حد نفوذ ریشه گیاهان ادامه دارد. این بخش از نظر فعالیت‌های بیولوژیکی و وجود مواد آلی بسیار حائز اهمیت است و میزان آب نفوذی و نیز نفوذ آلاینده‌ها را به داخل آبخوان کنترل می‌کند. به طور کلی هر چقدر اندازه ذرات تشکیل دهنده خاک ریزتر و نفوذپذیری خاک کمتر و درصد مواد آلی و ضخامت خاک بیشتر باشد، پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. این لایه با استفاده از لوگ حفاری چاه‌ها، نقشه نوع و جنس خاک تا عمق ۲ متری تهیه شد.

### منطقه غیراشباع

یکی از مهمترین لایه‌های موجود در مدل دراستیک منطقه غیراشباع است؛ زیرا که آلودگی برای رسیدن به سطح آب زیرزمینی می‌بایست از این محیط عبور کند. محیط غیراشباع از نظر جنس بسیار تحت تأثیر منطقه اشباع است. عواملی که در تعیین اثر منطقه غیراشباع در حوضه مورد توجه قرار می‌گیرند عبارت از تراوایی خاک و عمق آب زیرزمینی هستند (Asqari moqadam et al., 2009). در تعیین آسیب‌پذیری فرض بر این است که انتقال از طریق نفوذ به آب زیرزمینی و عامل حرکت آب می‌باشد که آلاینده از سطح زمین حرکت کرده و به سطح ایستایی می‌رسد، بنابراین برای محاسبه پارامتر معادل در لایه‌های با ضخامت‌های متفاوت از میانگین هارمونیک استفاده می‌گردد. برای تهیه این لایه نیز مشابه لایه محیط آبخوان از لوگ چاه‌های اکتشافی موجود در منطقه استفاده شده است. با این تفاوت که جنس لایه‌های بالایی سطح ایستایی در لوگ‌ها مد نظر است. با مطالعه لوگ چاه‌های اکتشافی، متناسب با ترکیب و اندازه دانه‌های تشکیل دهنده در هر لایه، رتبه‌بندی و یک لایه نقطه‌ای آماده گردد.

### هدایت هیدرولیکی

توانایی مواد تشکیل دهنده آبخوان در انتقال آب، هدایت هیدرولیکی نامیده می‌شود که به درصد فضاهای خالی مرتبط به هم در لایه آبدار (تخلخل مؤثر) بستگی دارد. پتانسیل تحرک‌پذیری مواد آلاینده توسط آب زیرزمینی نیز تا مقداری برابر هدایت هیدرولیکی سفره می‌باشد (Civita, 1994). هر چه هدایت هیدرولیکی بیشتر باشد، امکان جریان یافتن آلاینده‌ها در آبخوان بیشتر خواهد بود. برای تهیه لایه هدایت هیدرولیکی از داده‌های آزمایش پمپاژ استفاده شد. برای تعیین مقادیر هدایت هیدرولیکی در نقاط مختلف دشت، مقادیر قابلیت انتقال بر ضخامت اشباع سفره تقسیم گردید.

## – توپوگرافی

به تغییرات شیب سطح زمین اشاره دارد. شیب سطح زمین علاوه بر این که بر حرکت و نفوذ آب‌های سطحی و آلاینده‌ها در سطح زمین تأثیر می‌گذارد، بر گسترش خاک و در نتیجه بر میرایی آلاینده‌ها نیز مؤثر است. بنابراین هر چه شیب سطح زمین کمتر باشد زمان تماس آب‌های سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین بیشتر است و در نتیجه امکان نفوذ آلاینده‌ها به داخل آبخوان بیشتر می‌شود. به منظور تهیه این لایه ابتدا یک مدل رقومی ارتفاعی (DEM) از منطقه تهیه و سپس با استفاده از ابزار Slope نقشه درصد شیب از این مدل رقومی در محیط ArcGIS استخراج شد.

## ۳-۲- مدل‌های به کار رفته

### – مدل آسیب‌پذیری DRASTIC

مدل DRASTIC توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در کل ایالات متحده طراحی شده است. این مدل بر پایه مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار می‌باشد. وضعیت هیدروژئولوژیکی در حقیقت توصیف‌کننده ترکیبی از تمام عوامل زمین‌شناسی و هیدرولوژی است که حرکت آب‌های زیرزمینی را در ورود، درون و خروج از سیستم در یک ناحیه تحت تأثیر قرار داده و کنترل می‌کند (Aller et al., 1987). این روش پتانسیل آلودگی یک ناحیه را با جمع نمودن عوامل کلیدی مؤثر بر انتقال مواد محلول ارزیابی می‌نماید. عمق آب زیرزمینی<sup>۳</sup> (D)، تغذیه خالص<sup>۴</sup> (R)، مواد تشکیل دهنده آبخوان<sup>۵</sup> (A)، بافت خاک<sup>۶</sup> (S)، توپوگرافی<sup>۷</sup> (T)، اثر منطقه غیراشباع<sup>۸</sup> (I) و هدایت هیدرولیکی آبخوان<sup>۹</sup> (C) پارامترهایی هستند که در این روش مورد بررسی قرار می‌گیرند. هر یک از این پارامترها در محاسبه شاخص آسیب‌پذیری با اعمال یک ضریب وزنی (جدول ۱) و نرخ‌های توصیه شده، توسط رابطه ۲ مشارکت می‌کنند:

$$DI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (2)$$

در رابطه ۱، DI بیانگر شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC است. همچنین w بیانگر ضریب وزنی (به هر پارامتر با توجه به اهمیت تأثیر آن در محاسبه آسیب‌پذیری بین ۱ تا ۵ وزن داده می‌شود)، r بیانگر نرخ (برای هر قسمت از دشت نرخ در نظر گرفته می‌شود که عددی بین ۱ تا ۱۰ است) است (Panagopoulos et al., 2006). مقادیر بزرگتر و کوچکتر شاخص DI، به ترتیب نشان‌دهنده پتانسیل زیاد و کم آسیب‌پذیری آبخوان می‌باشد.

## – مدل آسیب‌پذیری SI

روش SI نیز برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلاینده‌های کشاورزی ارائه شده است. در این روش پنج پارامتر عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، سنگ‌شناسی آبخوان (A)، توپوگرافی (T) و کاربری اراضی (LU) مطابق رابطه ۳ مورد استفاده قرار گرفته است (Stigter et al., 2006):

$$I_{SI} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + LU_r LU_w + T_r T_w \quad (3)$$

### – مدل آسیب‌پذیری SINTACS

روش SINTACS از هفت پارامتر عمق سطح ایستابی (D)، تغذیه خالص (R)، اثر منطقه غیراشباع (N)، نوع خاک (T)، محیط آبخوان (A)، هدایت هیدرولیکی (C) و شیب (S) مطابق رابطه ۴ برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان استفاده می‌کند. تمامی این پارامترها از مدل DRASITIC اشتقاق یافته‌اند. تنها رتبه‌بندی و وزن‌دهی آنها در این روش متفاوت است (Sadatipour et al., 2016). وزن‌های مربوط به هر سه مدل در جدول ۱ ارائه شده است.

(۴)

$$I_{SINTACS} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در این پژوهش، شامل داده‌های ارتفاعی رقومی، لوگ پیزومترها و چاه‌های بهره‌برداری، نقشه نیمه‌تفصیلی بافت خاک، بارش منطقه، نقشه گروه نفوذپذیری خاک، نقشه کاربری اراضی، آمار سطح آب پیزومترها و داده‌های نیترا ت چاه‌های دشت باراندوزچای مورد مطالعه آماده گردید. لازم به ذکر است که تمامی نقشه‌های رستری از روش کریجینگ در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد.

**Table 1- The Comparison of relative weight of parameters of groundwater vulnerability assessment methods**

جدول ۱- مقایسه وزن نسبی پارامترهای روش‌های ارزیابی

Parameters	Relative Weight		
	DRASTIC	SINTACS	SI
Water depth	5	5	0.186
Recharge	4	4	0.212
Aquifer media	3	3	0.259
Soil type	2	4	-
Topography	1	2	0.121
Non-saturated media	5	5	-
Hydraulic conductivity	3	3	-
Land use	-	-	0.222

## – مدل ترکیبی

نهایت، از جمع این مقادیر ضریب همبستگی (CI) به دست می‌آید (Nadiri et al., 2017). از آنجا که در چنین ترکیبی باید توزیع مکانی شاخص آسیب‌پذیری هر سه روش در بازه یکسانی تغییر کند. بدین منظور نتایج آسیب‌پذیری بین بازه صفر و یک نرمال‌سازی شود. رابطه ۵ چگونگی ترکیب نتایج روش‌های DRASTIC، SINTACS و SI را نشان می‌دهد.

$$VI_{total} = \frac{CI_{DRASTIC}DRASTIC + CI_{SINTACS}SINTACS + CI_{SI}SI}{\sum CI_i} \quad (5)$$

در رابطه یاد شده عبارت‌های DRASTIC، SINTACS و SI توزیع مکانی شاخص آسیب‌پذیری هر یک از روش‌ها را به صورت نرمال شده نشان می‌دهد. نرمال‌سازی نتایج مکانی شاخص آسیب‌پذیری هر یک از روش‌ها توسط رابطه ۶ انجام شده است. مقدار  $CI_i$  و  $VI_{total}$  به ترتیب بیانگر شاخص همبستگی (بین داده‌های نیترا و هر یک از روش‌ها) و شاخص آسیب‌پذیری به دست آمده از ترکیب روش‌هاست:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (6)$$

در رابطه یاد شده  $X$  بیانگر شاخص آسیب‌پذیری و  $X_{norm}$  شاخص نرمال‌شده آسیب‌پذیری روش بررسی شده را نشان می‌دهد. همچنین،  $X_{min}$  و  $X_{max}$  به ترتیب بیانگر حد بالا و پایین شاخص آسیب‌پذیری روش بررسی شده است.

## ۳- نتایج و تحلیل نتایج

### ۳-۱- نتایج به دست آمده از مدل‌های آسیب‌پذیری

با توجه به مراحل تهیه مدل‌ها و به کارگیری و تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده از منطقه مورد مطالعه ضمن تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز و تلفیق آنها در محیط GIS، نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل آسیب‌پذیری دشت باراندوزچای تهیه گردید نتایج به صورت زیر حاصل شده است.

برای روش آسیب‌پذیری DRASTIC با استفاده از رابطه ۲ و وزن‌های هر پارامتر در جدول ۱، نقشه شاخص آسیب‌پذیری مطابق شکل ۵ حاصل شد. با توجه به شکل این شاخص بین ۸۲ تا ۱۵۳ متغیر است به طوری که مناطق دارای شاخص آسیب‌پذیری کوچکتر آسیب‌پذیری ذاتی کمتری دارند و عدد بزرگتر نشان‌دهنده آسیب‌پذیری ذاتی بیشتر یعنی آبخوان دارای پتانسیل آلودگی است. قسمت مرکزی و جنوبی دشت دارای آسیب‌پذیری زیاد هستند که بیشتر با مقدار تغذیه، محیط غیراشباع و اندازه رسوبات آبرفتی در ارتباط است.

بعد از رتبه‌دهی و وزن‌دهی لایه‌های مختص به پارامترهای روش SINTACS مطابق با نرخ‌های توصیه شده در جدول ۱ نقشه نهایی آسیب‌پذیری برای این روش تهیه شد (شکل ۵ ب). نقشه پهنه‌بندی

در این بررسی از روش ترکیبی سه مدل DRASTIC، SINTACS و SI که توسط (Javanshir et al. 2016) ارائه کردند استفاده شد. با توجه به این که مدل‌های آسیب‌پذیری در هر منطقه بر اساس شرایط و ویژگی‌های موجود در آن منطقه تهیه و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، مدل‌های تهیه شده نیز مختص آن منطقه مطالعاتی می‌باشد و نمی‌توان به طور صریح نتایج یک مدل حاصله را به آبخوان یا منطقه دیگر تعمیم داد. هر یک از مدل‌های ارائه شده نیز (DRASTIC، SINTACS و SI) مزایا و ویژگی‌های خاص خود را دارا هستند که بسته به پارامترهای به کار برده شده در مدل، منطقه تأثیر خاصی را مورد پوشش قرار می‌دهند. داده‌های نیترا نیز صرفاً به منظور صحت‌سنجی مدل‌ها و از طریق تطابق بین نقشه‌های آسیب‌پذیری مدل‌های منفرد و نقشه پراکنده‌گی مقادیر نیترا در منطقه به کار برده شده است. با توجه به این که مقادیر نیترا در غلظت‌های معرف آلودگی با مقادیر بیش از حد مجاز استاندارد مشاهده نگردیده است بنابراین نمی‌توان آسیب‌پذیری را به عنوان نوع ویژه آن معرفی نمود.

به منظور استفاده همزمان از مزایای مدل‌های مختلف منفرد آسیب‌پذیری از مدل ترکیبی آنها استفاده می‌شود. برای تهیه مدل ترکیبی حاصل از چندین مدل منفرد و برای این که تأثیر مدل‌های منفرد یکسان اعمال نگردد از ارزش‌گذاری برای هر مدل استفاده شده است که نوعی رتبه‌دهی بر اساس درجه صحت‌سنجی مدل آسیب‌پذیری منفرد می‌باشد. در تهیه مدل ترکیبی سعی شده تا تطابق بین مقادیر نیترا مشاهداتی را با مقادیر آسیب‌پذیری هر مدل منفرد (صحت‌سنجی) به صورت مقدار (همبستگی بین مقادیر نیترا و شاخص آسیب‌پذیری) مورد استفاده قرار گیرد تا به این ترتیب با ارزش‌دهی بیشتر به مدل دارای همبستگی بیشتر (صحت بیشتر) مدل ترکیبی مناسبی ارائه نمود. در این ترکیب نتایج آسیب‌پذیری روش‌های یاد شده، وزن هر یک از روش‌ها توسط شاخص همبستگی (CI) بین نتایج نیترا و شاخص آسیب‌پذیری تعیین می‌شود. به عبارتی روشی که شاخص همبستگی بیشتری داشته باشد، وزن بیشتری را نیز به خود اختصاص خواهد داد. برای بررسی همبستگی این مدل‌ها از داده‌های نیترا اندازه‌گیری شده و ضریب همبستگی (CI) در سه سطح آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد استفاده شده است. طی این محاسبات داده‌های غلظت نیترا و میزان آسیب‌پذیری در هر سه مدل، به سه دسته کم، متوسط و زیاد تقسیم می‌شود. سپس آن دسته از داده‌های نیترا که در رده یکسانی با نقشه‌های آسیب‌پذیری قرار می‌گیرند در سه ضرب می‌شوند. دسته‌ای که اختلاف ارزشی ۱ دارند، در عدد ۲ و دسته‌ای که اختلاف ارزشی ۲ دارند، در عدد ۱ ضرب می‌شوند. در

به شکل ۳ لایه‌ها پارامترهای عمق سطح ایستابی و تغذیه خالص در این ناحیه پایین است. نقشه توزیع مکانی آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش SI پس از بکارگیری رابطه ۳ و جدول ۱ به دست آمد (شکل ۴).

برای این شاخص برای دشت باراندوزچای بین ۹۱ تا ۱۴۶ برآورد گردید که به ترتیب ۵، ۶۵، ۲۲ و ۸ درصد از مساحت دشت در محدوده آسیب‌پذیری کم، متوسط، متوسط تا زیاد و زیاد قرار دارد. بخش مرکزی و غرب دارای آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد را داشته و با توجه

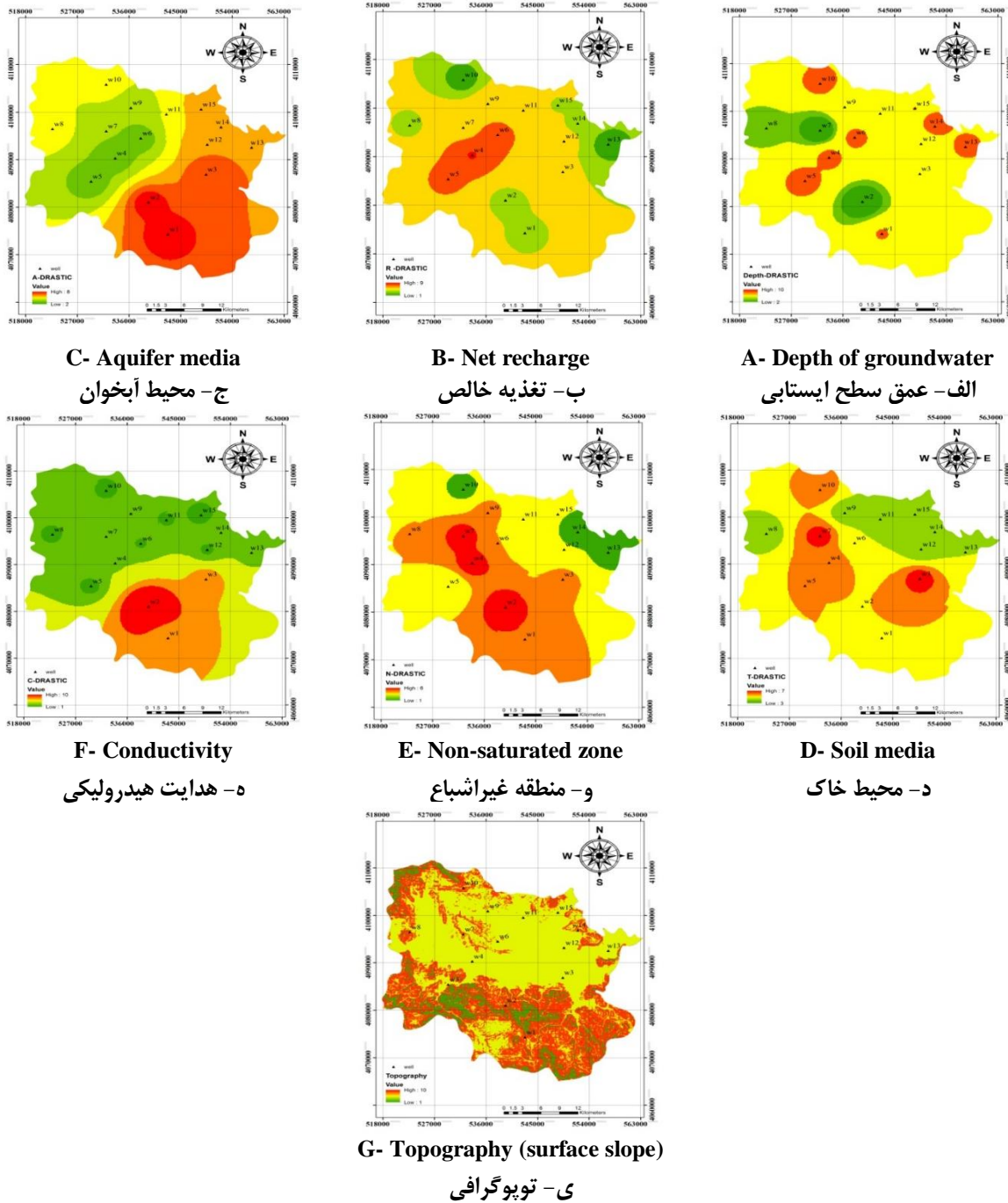
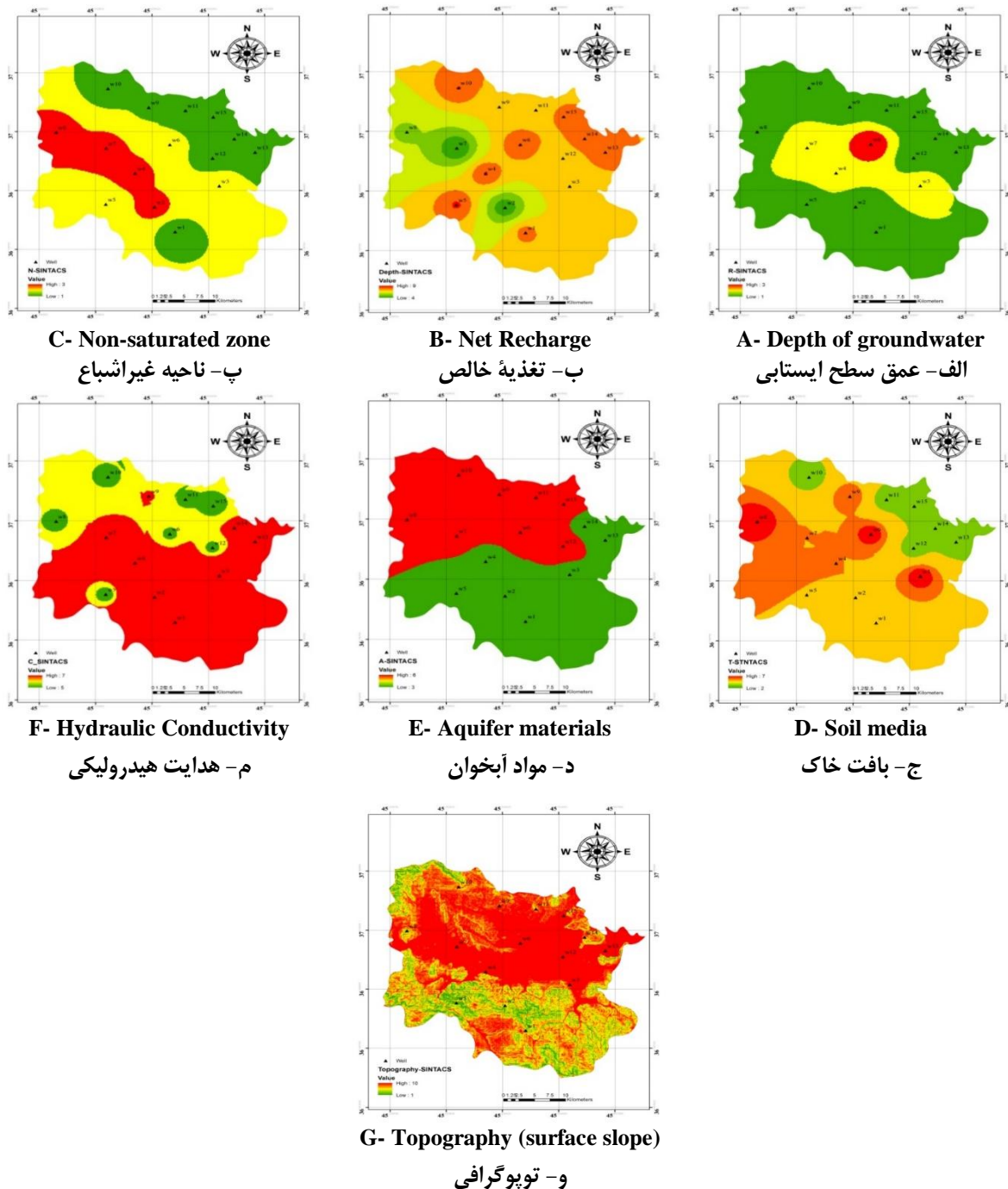


Fig. 2- The layers of DRASTIC parameters  
شکل ۲- لایه‌های پارامترهای روش DRASTIC





**Fig. 3- The layers of SINTACS parameters**  
شکل ۳- لایه‌های مختص به پارامترهای روش SINTACS

۳-۲- صحت‌سنجی  
مقدار نیترات موجود در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در حد استاندارد جهانی لازم برای شرب بوده و بیشترین غلظت نیترات در نواحی جنوبی و جنوب غربی دشت (روستاهای رحیم‌آباد، تپه مهکی، توپوزآباد و جبل‌کندی) تعیین شده است. منشأ نیترات ناشی از

شاخص SI برای دشت باراندوزچای بین ۴۳ تا ۶۷ برآورد شد و ۴۰ درصد از مساحت آبخوان شامل بخش‌های غربی و شمال‌غربی در محدوده متوسط قرار دارد و این قسمت‌ها بیشتر دارای کاربری شهری و مراتع است و مابقی مساحت دشت در محدوده متوسط تا بیشتر قرار گرفته است.

همبستگی زیادی نسبت به سه روش دیگر دارد (CI=25). این قسمت با نتایج تحقیق Javanshir et al. (2016) که به ارائه روش ترکیبی به منظور ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت مغان پرداختند هم خوانی دارد.

فعالیت‌های انسانی و استفاده از کودهای نیترات دار در مصارف کشاورزی است. برای بررسی صحت سنجی هر سه روش نقشه آسیب پذیری از داده نیترات مطابق شکل ۵ استفاده گردید. با انطباق میزان نیترات بر روی نقشه نهایی SI, DRASTIC و SINTACS مشخص شد که کلیه نقاطی که دارای نیترات بالا هستند در محدوده با نیروی آلودگی متوسط تا زیاد قرار گرفته‌اند که این می‌تواند دقت و صحت مدل‌ها را تأیید کند.

**Table 2- The comparison of CI value of different methods of groundwater vulnerability evaluation.**

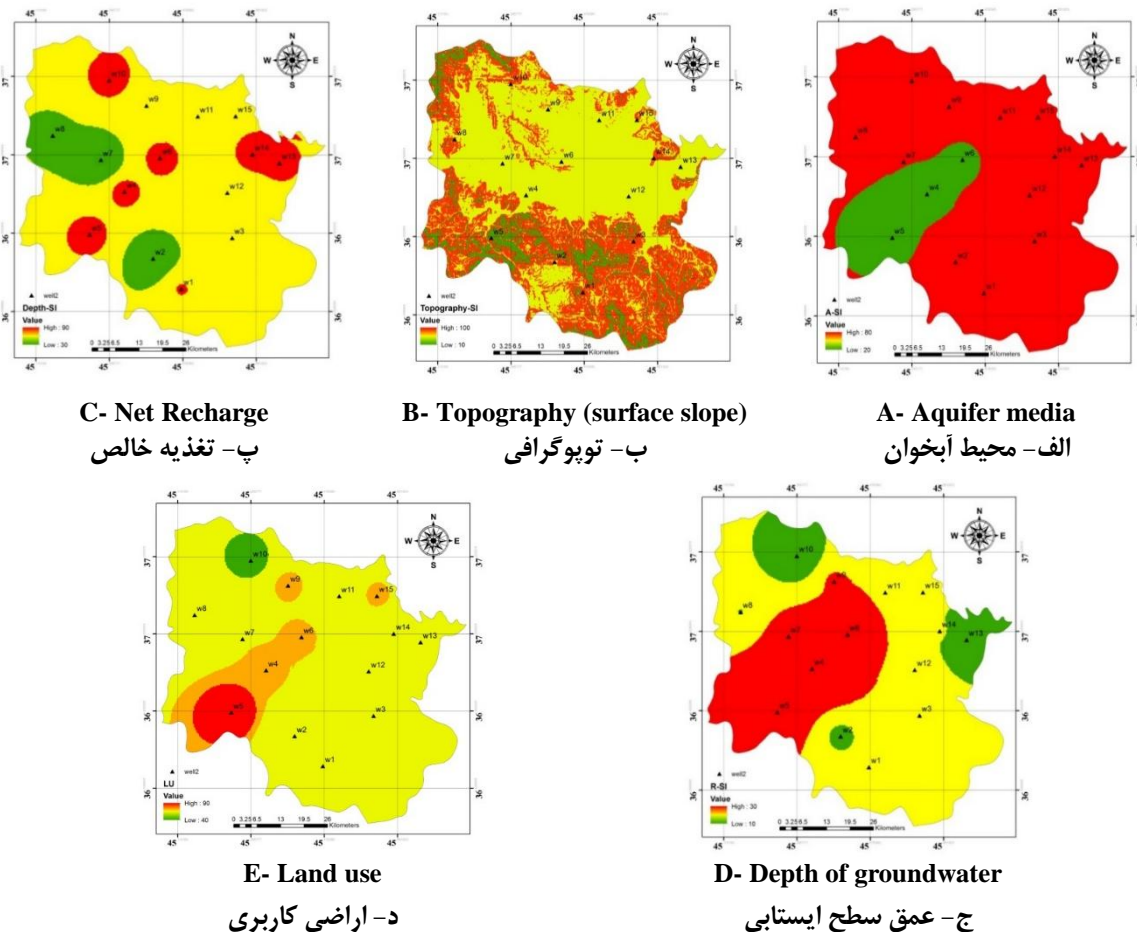
جدول ۲- مقایسه مقادیر CI روش‌های مختلف ارزیابی

Methods	Computational Correlation Coefficient (CI)
DRASTIC	18
SINTACS	17
SI	15
Combined Method	25

آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی

به منظور حل این مدل پس از این لایه‌های مختص به توزیع مکانی شاخص آسیب پذیری هر سه روش نرمال سازی انجام شد و شاخص همبستگی بین داده‌های نیترات و نتایج آسیب پذیری محاسبه شد، نقشه ترکیبی شاخص آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی توسط رابطه ۵ محاسبه شد (شکل ۶).

با بررسی نتیجه به دست آمده و محاسبه شاخص همبستگی مشاهده گردید که نقشه‌های به دست آمده از ترکیب وزن دار، شاخص



**Fig. 4- Layers of SI parameters**

شکل ۴- لایه‌های مختص به پارامترهای روش SI

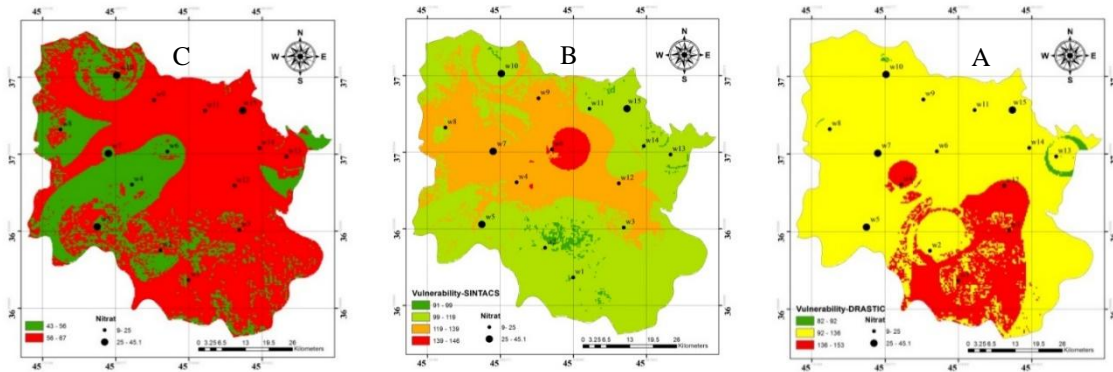


Fig. 5- Conformity of the Nitrate value with vulnerability maps  
A- DRASTIC method, B- SINTACS method, C- SI method

شکل ۵- انطباق مقادیر نیترات با نقشه آسیب پذیری  
الف) روش DRASTIC، ب) روش SINTACS، ج) روش SI

مدل DRASTIC بین ۸۲ تا ۱۵۳ متغیر بوده و بیشترین مساحت در محدوده متوسط قرار گرفت. بر این اساس نیز مناطق مرکزی و جنوبی دشت از پتانسیل آلودگی بیشتری برخوردارند. از مقایسه سه مدل در دشت باراندوزچای مشخص گردید که مدل DRASTIC به دلیل استفاده از تعداد پارامترهای بیشتر برای ارزیابی آسیب پذیری نسبت به دو مدل SINTACS و SI دقت نسبی بیشتری برخوردار است. در نهایت از انطباق سه مدل، نقشه نهایی آسیب پذیری دشت تهیه شد و میزان صحت سنجی نیترات نشان داد که روش ترکیبی سه مدل نسبت به هر سه مدل همبستگی بیشتری را دارد. با توجه به نتایج حاصل شده از مدل های آسیب پذیری و همچنین با توجه به اقلیم منطقه، افزایش جمعیت، توسعه فعالیت های کشاورزی و افزایش احتمال ورود آلاینده ها به آبخوان، توجه به مسائل زیست محیطی و مدیریت صحیح زیست محیطی منطقه ضروری می باشد.

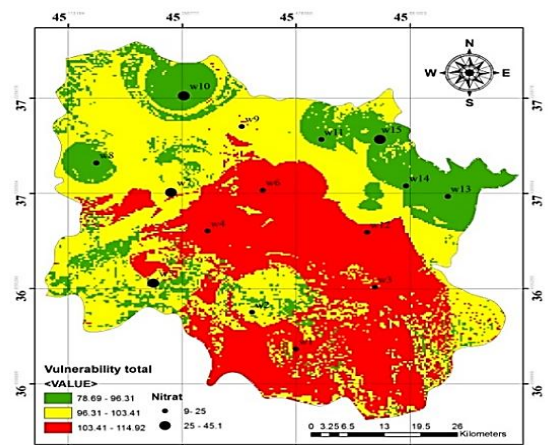


Fig. 6- Vulnerability maps based on combined method

شکل ۶- نقشه آسیب پذیری با استفاده از روش ترکیبی

#### پی نوشت ها

- 1- Emberger
- 2- Attenuation
- 3- Depth of Groundwater
- 4- Recharge
- 5- Aquifer Media
- 6- Soil Media
- 7- Topography (Surface Slope)
- 8- Impact of the Vadose Zone Media
- 9- Conductivity

#### ۵- مراجع

Aller L, Bennet T, Leher JH, Petty RJ, Hackett G (1987)  
DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using geo

#### ۴- خلاصه و جمع بندی

جهت تهیه نقشه آسیب پذیری ذاتی نهایی آبخوان دشت باراندوزچای از سه مدل DRASTIC، SINTACS و SI در محیط نرم افزار ArcGIS استفاده گردید. به منظور صحت سنجی نتایج روش های استفاده شده، از داده های غلظت نیترات اندازه گیری شده از چاه های بهره برداری منطقه استفاده گردید.

شاخص آسیب پذیری مدل SI بین ۴۳ تا ۶۷ متغیر می باشد و منطقه مطالعاتی در دو محدوده آسیب پذیری کم و متوسط قرار گرفت. برای مدل SINTACS آسیب پذیری در چهار طبقه کم، متوسط، متوسط تا زیاد و زیاد قرار گرفت. بر این اساس بیشترین مساحت حدود ۵۹ درصد منطقه مورد مطالعه در طبقه متوسط قرار گرفت. مقادیر آسیب پذیری

- Javanmard FZ, Mahdavi M, Malek MR, Keirkhah Zarkesh MM (2014) Modeling of groundwater vulnerabilities uncertainty using GIS and rough set. *Journal of Iran-Water Resources Research* 10(1):26-38 (In Persian)
- Javanshir G, Nadiri AA, Sadeghfam S, Abbas Novinpour E (2016) Introducing a new method to aquifer vulnerability assessment of Moghan plain based on combination of DRASTIC, SINTACS and SI methods. *Journal of Ecology Hydrology* 3(4):491-503 (In Persian)
- Khodaei K, Shahsavari HA, Etebari B (2005) Valuation vulnerability aquifer Join basin by DRASTIC and GODS method. *Journal of Iranian Geology* 2(4):73-87 (In Persian)
- Lathamani R, Janardhana MR, Mahalingam B, Sureshad S (2015) Evaluation of aquifer vulnerability using Drastic model and GIS: A case study of Mysore city, Karnataka, India. *Aquatic Procedia* 4:1031-1038
- Mirzaei S (2008) Valuation vulnerability and preparation of contamination risk maps Shahrkord aquifer by using GIS and DRASTIC and SINTACS models. Thesis Master (In Persian)
- Nabavi MH (1976) Geological history of Iran (In Persian)
- Nadiri AA, Gharekhani M, Khatibi R, Asghari Moghaddam A (2017) Assessment of groundwater vulnerability using supervised committee to combine fuzzy logic models. *Environ Science Pollute Research* 24(9):8562-8577
- Niknam R, Mohammadi K, Majd VJ (2007) Groundwater vulnerability evaluation of Tehran-Karaj aquifer using DRASTIC method and fuzzy logic. *Iran-Water Resources Research* 3(2):39-47 (In Persian)
- Panagopoulos G, Antonakos A, Lambrakis N (2006) Optimization of DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment, by the use of simple statistical methods and GIS. *Journal of Hydrogeology* 14(6):894-911
- Rahman A (2008) A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh India. *Applied Geography* 28:32-53
- Regional Water Authority of West Azarbaijan (2012) Semi-detailed studies of groundwater plain covered by West Azarbaijan water organization. *Groundwater Studies in Urmia Plain* (In Persian)
- Rezaei F, Safavi HR, Ahmadi A (2013) Groundwater vulnerability assessment using fuzzy logic: A case study in the Zayandehrood aquifers, Iran. *Environmental Management* 51(1):267-277
- hydrogeology settings. *Journal of the Geological Society of India* 29(1)
- Al-Adamat RAN, Foster IDL, Baban SMJ (2003) Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, remote sensing and DRASTIC. *Applied Geography* 23:303-324
- Almasri MN (2008) Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza Coastal aquifer. *Palestine Journal of Environ. Management* 88:577-593
- Al-Zabet T (2002) Evaluation of aquifer vulnerability to contamination potential using the DRASTIC method. *Journal of Environmental Geology* 43(1-2):203-208
- Anane M, Abidi B, Lachaal F, Limam A, Jellali S (2015) GIS-based DRASTIC, Pesticide DRASTIC and the Susceptibility Index (SI): Comparative study for evaluation of pollution potential in the Nabeul-Hammamet shallow aquifer, Tunisia. *Journal of Hydrogeology* 21(3):715-731
- Babiker IS, Mohamed AA, Tetsuya H (2015) A GIS-based DRASTIC model assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Height Gifu Prefecture. *Science of the Total Environment Journal* 345(1):127-140
- Baalousha H (2006) Vulnerability assessment for the Gaza Strip, Palestine using DRASTIC. *Springer Verlag* 50(3):405-414
- Civita M (1994) Le carte della vulnerabilita` degli aquifer all'inquinamento Teoria and practica (Aquifer vulnerability maps to pollution) (In Italian). Pitagora Ed, Bologna
- Dixon B (2005) Groundwater vulnerability mapping: A GIS and fuzzy rule based integrated tool. *Applied Geography* 25:327-347
- Evans BM, Myers WL (1990) A GIS-based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC. *Journal of Soil and Water Conservation* 45(2):242-245
- Gharekhani M, Nadiri AA, Asghari Moghaddam A, Sadeghi Aghdam F (2015) Optimization of DRASTIC model by support vector machine and artificial neural network for evaluating of intrinsic vulnerability of Ardabil Plain aquifer. *Journal of Ecology Hydrology* 2(3):311-324 (In Persian)
- Ghosh A, Kumar Tiwari A, Das S (2015) A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability of Katri Watershed, Dhanbad, India. *Modeling Earth Systems and Environment* 1-15

- Soltani S, Asghari Moghaddam A, Barzegar R, Kazemian N (2018) Vulnerability assessment of Kordkandi- Duzduzan Plain groundwater using calibrated DRASTIC model. *Iran-Water Resources Research* 13(4):89-99 (In Persian)
- Stigter TY, Ribeiro L, Carvalho Dill AMM (2006) Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinization and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal. *Journal of Hydrogeology* 14:79-99
- Urmia Novin water drilling company (2006) Exploration and exploitation geological log. Urmia water affairs department (In Persian)
- Vrba J, Zaporozec A (1994) Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International Association of Hydrogeologists, Hannover, Heise, 131p
- Rezaei F, Ahmadzadeh MR, Safavi HR (2017) SOM-DRASTIC: using self-organizing map for evaluating groundwater potential to pollution. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 31(8):1941-1956
- Sadatipour A, Nouri R, Baqhvand A, Javadipirbazari S, Kardan Moqadam H (2016) Evaluation vulnerability Qaen aquifer by using DRASTIC model. *Environmental Science Studies* 1(2):63-71 (In Persian)
- Secunda S, Collin ML, Melloul AJ (1998) Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region. *Journal of Environmental Management* 54(1):39-57
- Shekhar Sh, Pandey AC, Tirkey ASH (2015) A GIS-based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in hard rock granitic aquifer. *Journal of Geosciences* 8(3):1385-1401