



ارزیابی آسیب‌پذیری و خطرپذیری منابع آب کارستی با تلفیق دو شاخص VESPA و EPIK

مهدی کیایی^۱ و سامان جوادی^{۲*}

۱- کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه فنی مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده‌گان ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: Javadis@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۳

چکیده

با توجه به تنش‌های عرضه و تقاضا و مشکلات کم‌آبی، بهره‌برداری از منابع آب کارستی بسیار حائز اهمیت شده است. بهره‌برداری از این منابع بدون مدیریت و برنامه‌ریزی با توجه به محیط درز و شکافی آن باعث ایجاد بستر آلودگی می‌شود. یکی از ابزارهای مهم جهت این موضوع استفاده از شاخص‌های آسیب‌پذیری و تعیین میزان خطرپذیری بهره‌برداری از آن است. در این مطالعه به بررسی وابستگی مظهر چشمه به عنوان خروجی حوضه آبریز کارستی و حوضه آگیر آن با تلفیق شاخص‌های آسیب‌پذیری می‌پردازد. یکی از روش‌های ارائه‌شده جهت تعیین آسیب‌پذیری چشمه روش VESPA بوده که با استفاده از پارامترهای مهم شوری، دبی و دمای آب چشمه آسیب‌پذیری تعیین می‌شود. همچنین روش‌های متعددی برای آسیب‌پذیری حوضه‌های کارستی ارائه شده است که در این تحقیق از روش EPIK استفاده می‌شود. در ادامه با استفاده از رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر و تلفیق با شاخص آسیب‌پذیری، میزان خطرپذیری حوضه را تعیین می‌کند. براین اساس دو چشمه پریکدان و سرباتاوه از نظر آسیب‌پذیری با شاخص VESPA در کلاس خیلی زیاد و زیاد قرار داشته و با ارزیابی آسیب‌پذیری حوضه آگیر دو چشمه با شاخص EPIK همبستگی بالایی دارند. پس از تعیین آسیب‌پذیری، با رتبه‌بندی پارامترهای شیب، سازندهای زمین‌شناسی، عوارض طبیعی و کاربری اراضی، میزان ریسک بهره‌برداری تعیین شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان ریسک به میزان ۷۴٪ در بخش‌های جنوبی منطقه قرار دارد. این منطقه دارای تعداد زیادی آب‌فروچاله و سازندهای کارستی نفوذپذیر است. با تلفیق نقشه ریسک و شاخص آسیب‌پذیری، خطرپذیری حوضه مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج نشان داد که حدود ۹۰ درصد حوضه در خطرپذیری متوسط و کم قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: آب‌فروچاله، آسیب‌پذیری، خطرپذیری، ریسک، VESPA، EPIK.

مقدمه

شناسی و هیدرولوژیکی در سازندهای انحلال‌پذیر نظیر سنگ‌های کربناته و تبخیری است که منجر به تشکیل آبخوان شود. بهره‌برداری از این نوع آبخوان‌ها مستلزم برنامه‌ریزی‌های بلندمدت جهت بهره‌برداری مطمئن و پایدار بوده و در این راستا مدیریت کمی و کیفی از نظر رفتارشناسی هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی به‌عنوان نقطه بهره‌برداری یا خروجی این منابع مهم است. یکی از روش‌های

منابع آب تجدیدپذیر یکی از منابع آب استراتژیک جهت تأمین بوده و این موضوع نقش منابع آب کارستی را حائز اهمیت کرده است. حدود ۱۲ درصد از سطح زمین، دارای سنگ‌های کربناته (سازند سخت) بوده که منشأ تأمین آب حدود ۲۵ درصد از جمعیت جهان است (زارعی و همکاران، ۱۳۹۸). کارست و سیستم کارست بیانگر وضعیت سنگ-

ارزیابی وضعیت بهره‌برداری از منابع، تحلیل و بررسی آسیب-پذیری منابع آب کارستی است. آسیب‌پذیری این منابع از نقطه‌نظر حساسیت به تأثیرات انسانی و طبیعی می‌تواند ارزیابی قابل قبولی از سیستم آب زیرزمینی و تأمین آب را ارائه دهد (کاردان مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). آبخوان‌های کارستی به‌علت لایه نازک خاک، تمرکز جریان در اپی‌کارست و تغذیه متمرکز از حفره‌های بلعنده در معرض آلودگی قرار داشته که این در معرض قرار بودن سبب تسریع در انتقال آلودگی می‌شود. چشمه‌ها به‌عنوان نقطه خروجی یک آبخوان کارستی و حوضه‌ی چشمه به‌عنوان محدوده دربرگیرنده آن نقش مهمی در تعیین ظرفیت آسیب‌پذیری و آلودگی دارد. یکی از مهم‌ترین ابزارها جهت سنجش وضعیت آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی بخصوص منابع کارستی استفاده از شاخص مبتنی بر پارامترهای مؤثر است. شاخص آسیب‌پذیری VESPA یکی از شاخص‌های آسیب‌پذیری در چشمه‌های کارستی است که بر اساس سری زمانی داده‌های اندازه‌گیری شده میزان حساسیت را نشان می‌دهد (Lernzo Galini., 2011). این شاخص را برای اعتبارسنجی آسیب‌پذیری نواحی حفاظتی چشمه کارستی مورد ارزیابی قرار داد. این شاخص براساس داده‌های برداشت شده از چشمه مثل دبی، دما و هدایت هیدرولیکی در بازه زمانی یک‌ساله و با ترکیب نتایج حاصل از تحلیل هیدروگراف با شاخص به‌دست‌آمده از حاصل ضرب سه فاکتور وضعیت آسیب‌پذیری چشمه از دیدگاه بهره‌برداری را نشان می‌دهد. از طرفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری عرصه‌های کارستی شاخص‌های مختلفی ارائه شده است که این شاخص‌های مبتنی بر خصوصیات زمین‌شناسی و کارست استوار است. شاخص آسیب‌پذیری EPIK توسط (1996) Dorfliger and Zwahlen با هدف ارزیابی و تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیر منابع آب کارست و به‌کارگیری چهار شاخص اپی-کارست (E)، پوشش حفاظتی (P)، شرایط نفوذ (I) و درجه توسعه شبکه کارست (K) ارائه شده است. Gomez merno et al. (2018) به ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق کارستی با استفاده از چهار شاخص EPIK، COP، PI و PaPRiKa پرداختند. نتایج بررسی شاخص‌های آسیب‌پذیری به‌صورت همبستگی مکانی مورد آنالیز و تحلیل قرار گرفت و نتایج نشان داد که شاخص EPIK دارای دقت مناسب‌تری نسبت به سایر شاخص‌ها دارد.

Pereira et al. (2019) ارزیابی آسیب‌پذیری حوضه سائومیگوئل در برزیل را مورد بررسی قرار دادند. این منطقه تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی و دامداری قرار داشته و حجم بالایی آلودگی در این منطقه تولید می‌شود. نتایج این شاخص نشان داد که ۵۲ درصد منطقه دارای آسیب‌پذیری متوسط و ۷ درصد دارای آسیب‌پذیری زیاد است. جوادی و همکاران (۱۳۹۸) با تلفیق روش آسیب‌پذیری چشمه VESPA و شاخص حفاظتی MDHT، اقدام به تعیین حریم کیفی چشمه کارستی در منطقه یاسوج پرداختند. در روش جدید براساس ترکیب شاخص آسیب‌پذیری در مظهر چشمه و حریم حفاظتی در حوضه چشمه تشکیل شده است. با تلفیق نتایج سناریوهای آلودگی روش حفاظتی MDHT و میزان آسیب‌پذیری VESPA حریم کیفی یا مناطق حفاظتی دو چشمه تعیین گردید. آسیب‌پذیری چشمه پریکدان با استفاده از شاخص VESPA میزان خیلی زیاد تعیین شد که در سناریوی آلودگی روش MDHT در کلاس A قرار گرفت و براین اساس دو محدوده حفاظتی فوری در محدوده مظهر چشمه و در سایر حوضه آبرگیر منطقه حفاظتی داخلی تقسیم‌بندی شد. چشمه سربتاوه با توسعه‌یافتگی کارستی کمتر نسبت به چشمه پریکدان از نظر آسیب‌پذیری در کلاس زیاد قرار گرفت که در تقسیم‌بندی روش MDHT از نظر سناریوی آلودگی در کلاس B قرار گرفت. ندیری و صدقی (۱۳۹۸) از مدل‌های دراستیک و سینتکس، برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان چندگانه (آزاد و تحت فشار) دشت ورزقان استفاده کردند. نتایج مقایسه نشان داد که مدل دراستیک با داشتن ضریب همبستگی (R^2) و شاخص همبستگی (CI) بالاتر نسبت به مدل سینتکس روش بهتری برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان آزاد دشت ورزقان می‌باشد. با این وجود، مدل سینتکس تصحیح‌شده نتیجه بهتری را نسبت به دراستیک برای آبخوان تحت فشار ارائه داده است. رضوی (۱۳۹۹) نیز از روش دراستیک معمولی، آسیب‌پذیری دشت گلپایگان برای بررسی مناطق آسیب‌پذیر استفاده کرد. همچنین از روش فازی ساگنو از بین روش‌های منطق فازی جهت بهبود وزن‌های روش دراستیک استفاده گردید. داده‌های غلظت نیترات و شاخص همبستگی آن با آسیب‌پذیری برای بررسی صحت‌سنجی روش‌های ارائه‌شده به‌کاربرده شد. شاخص همبستگی نشان داد که دراستیک بهینه‌شده با

۷۹۵ میلی‌متر ثبت شده است. بررسی سازندهای زمین‌شناسی منطقه حاکی از این موضوع است که بخش عمده منطقه از سازند آسماری اولیگو-میوسن^۱ تشکیل شده است. این سازند یکی از جوان‌ترین سازندهای موجود در رشته‌کوه زاگرس در جنوب غرب ایران است که شامل کربنات^۲، کربنات تبخیر مخلوط شده^۳ و ترکیبات کربنات-سیلیکاتیک مخلوط^۴ است (Van Buchem et al., 2009). در این سازند سنگ‌آهک‌های مقاوم کرم تا قهوه‌ای‌رنگ با ریخت‌شناسی کوه‌ساز قرار دارد که سنگ‌آهک آسماری مهم‌ترین سنگ مخزن حوضه رسوبی زاگرس ایران است و چون برای نخستین بار در خاورمیانه در این سازند نفت کشف شده است، معروفیت جهانی دارد. درون این سازند فسیل‌های متعلق به اولیگوسن تا میوسن وجود دارد.

روش پژوهش

روش‌شناسی این پژوهش با توجه به هدف آن در ۵ گام تقسیم‌بندی و در شکل ۱ ارائه شده است. مرحله اول: پس از جمع‌آوری اطلاعات پایه در محدوده مورد مطالعه، شاخص آسیب‌پذیری VESPA برای چشمه‌های منطقه محاسبه و طبقه‌بندی این شاخص انجام می‌شود. مرحله دوم: در این مرحله با توجه به خصوصیات حوضه آبرگیر چشمه‌ها در منطقه و خصوصیات زمین‌شناسی منطقه شاخص آسیب‌پذیری EPIK در محیط GIS محاسبه می‌شود. مرحله سوم: تلفیق دو شاخص آسیب‌پذیری چشمه و حوضه آبرگیر چشمه با توجه به نتایج پارامترهای کیفی ارزیابی و در نهایت شاخص تلفیقی برآورد می‌گردد. مرحله چهارم: با استفاده از چهار فاکتور شب، سازندهای زمین‌شناسی، عوارض طبیعی کارستی و کاربری اراضی منطقه رتبه‌بندی خطر در منطقه ارزیابی می‌گردد. مرحله پنجم: در نهایت با استفاده از نقشه رتبه‌بندی خطر، میزان خطرپذیری منطقه تهیه می‌شود.

استفاده از الگوریتم ژنتیک، شاخص همبستگی بالاتری با نیرتات داشته و نتیجه بهتری نسبت به دراستیک معمولی برای منطقه ارائه داده است.

یکی از مهم‌ترین چالش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری در مناطق کارستی عدم وابستگی مظهر چشمه به‌عنوان بخش خروجی آبخوان کارستی و حوضه آبریز چشمه است. شاخص‌های در نظر گرفته شده برای آسیب‌پذیری عملاً مبتنی بر خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه بوده و تلفیق آسیب‌پذیری چشمه به‌عنوان بخش خروجی یک سیستم کارستی هم‌زمان با آسیب‌پذیری حوضه آبریز چشمه می‌تواند عملکرد چشمه را براساس حوضه آبریز به‌صورت مناسب از نظر آسیب‌پذیری مورد ارزیابی قرار دهد. هدف این مطالعه ضمن ارزیابی تلفیق آسیب‌پذیری چشمه و حوضه آبریز آن، برآورد میزان ریسک و خطرپذیری بهره‌برداری در آبخوان کارستی مبتنی بر عوارض و فعالیت‌های انسانی و طبیعی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

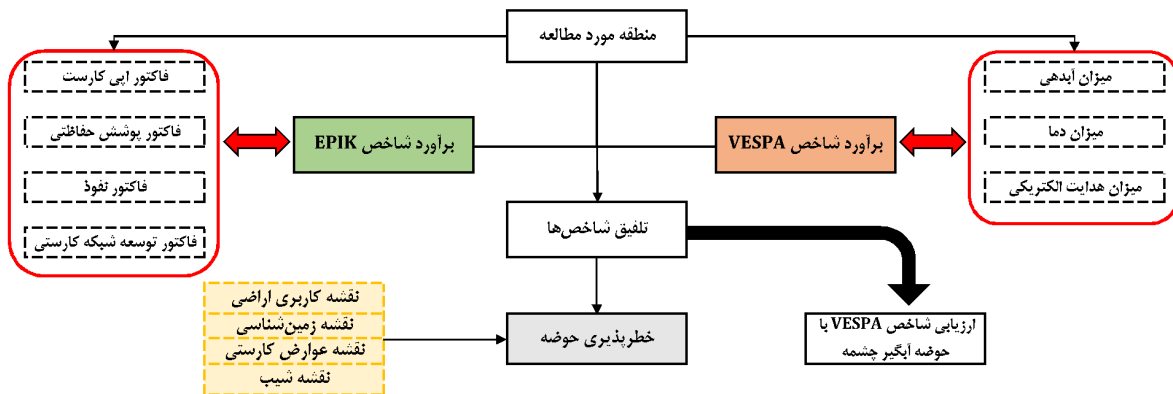
منطقه کارستی تنگ-کناره یکی از بخش‌های کارستی در جنوب شهر یاسوج است که با مساحت ۱۹۱ کیلومترمربع حجم قابل توجهی از تغذیه آبخوان یاسوج و منابع آب این منطقه را انجام می‌دهد. وجود منابع آب این منطقه تحت تأثیر سازندهای کارستی منطقه بوده و این سازندها نقش مهمی در تغذیه چشمه‌ها و جریانات زیرزمینی دارد. براین اساس دو چشمه سربتاوه و پریکدان برای تحلیل آسیب‌پذیری چشمه و تحلیل آسیب‌پذیری کارست منطقه انتخاب شد. بررسی شرایط هواشناسی منطقه نیز نشان می‌دهد که متوسط دمای سالانه در دشت ۱۳/۵ و در ارتفاعات ۱۳/۴ درجه سانتی‌گراد است. همچنین با توجه به منحنی‌های هم‌باران ترسیم شده در این محدوده متوسط بارش در دشت ۷۸۸ میلی‌متر و در ارتفاعات

^۲ Mixed carbonate-evaporite

^۴ Mixed carbonate-siliciclastic facies

^۱ Oligo-Miocene-Asmari

^۲ Carbonate



شکل ۱- روش‌شناسی تحقیق.

شاخص آسیب‌پذیری VESPA

شاخص آسیب‌پذیری VESPA بر مبنای تجزیه و تحلیل هیدروگراف خروجی چشمه‌ها با در نظر گرفتن حوضه بالادست چشمه که مناطق تغذیه‌کننده چشمه هستند برای تعیین وضعیت آسیب‌پذیری و مناطق حفاظتی بکار برده می‌شود. سه پارامتر دما، دبی و هدایت الکتریکی چشمه به‌عنوان سه پارامتر اصلی در این آسیب‌پذیری به‌دست می‌آید که حاصل ضرب این سه مقدار آسیب‌پذیری را به‌دست می‌آورد (Gallebni et al., 2011). مقدار شاخص آسیب‌پذیری VESPA به‌صورت رابطه ۱ ارائه می‌شود:

$$V=c(p) \times \beta \times \gamma \quad (1)$$

مقدار $c(p)$ همبستگی بین مقدار هدایت الکتریکی و دبی تخلیه از چشمه را نشان می‌دهد که این همبستگی می‌تواند با توجه به نوع و ماهیت سری زمانی داده‌ها از نوع پارامتریک یا ناپارامتریک باشد. در صورت پارامتریک بودن داده‌ها از روش همبستگی پیرسون و در صورت ناپارامتریک بودن داده‌ها از روش اسپیرمن استفاده می‌شود. شاخص β به‌عنوان شاخص

تغییرات درجه حرارت در بازه اندازه‌گیری دبی چشمه در نظر گرفته می‌شود که به‌صورت رابطه ۲ ارائه می‌شود. γ به‌عنوان فاکتور تخلیه چشمه‌ها معرفی می‌شود که به‌صورت تابعی از حداقل، حداکثر و میانگین دبی در طول دوره نمونه‌برداری می‌باشد که به‌صورت رابطه ۳ و ۴ بیان شده‌اند.

$$\beta = \left(\frac{T_{\max} - T_{\min}}{1C^{\circ}} \right)^2 \quad (2)$$

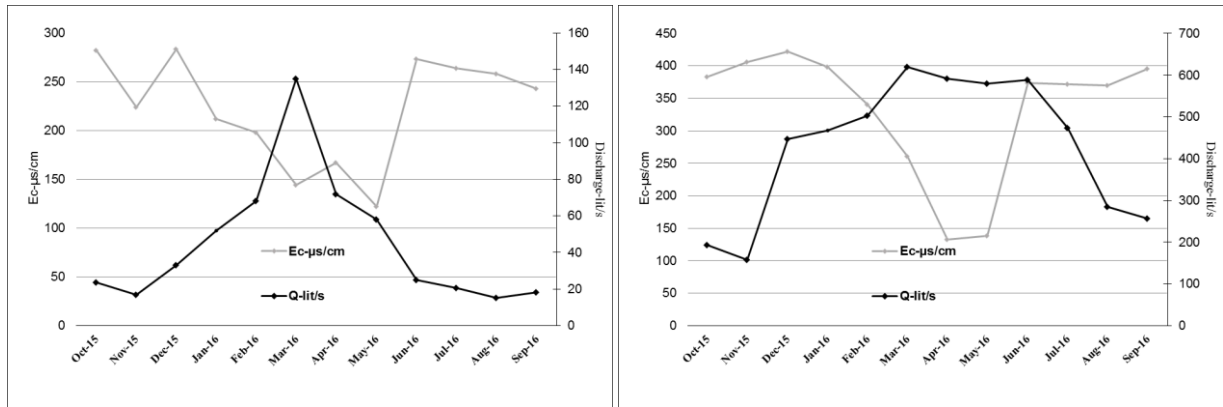
$$\gamma = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_m} \quad (3)$$

$$Q_m = \sum_{i=1}^n Q(t) \quad (4)$$

t_0 : حداقل یک سال، Q_{\max} و Q_{\min} : دبی ماکزیمم و مینیمم تا زمان t_0 ، T_{\max} و T_{\min} : دمای ماکزیمم و مینیمم تا زمان t_0 و Q_m : دبی متوسط تا زمان t_0 . براساس سه مقدار $c(p)$ ، β و γ شاخص نهایی VESPA محاسبه و براساس جدول ۱ تقسیم‌بندی و سطح آسیب‌پذیری مشخص می‌شود. به‌منظور بررسی وضعیت آسیب‌پذیری دو چشمه پریکدان و سرابتاوه نمونه‌برداری در مدت یک‌سال از مظهر دو چشمه انجام گرفت. روند تغییرات ماهانه پارامترهای اندازه‌گیری شده در شکل ۱ برای دو چشمه ترسیم شده است.

جدول ۱- مقادیر شاخص VESPA و سطح آسیب‌پذیری.

آسیب‌پذیری	شاخص VESPA
بسیار زیاد	$V \geq 10$
زیاد	$1 \leq V \leq 10$
متوسط	$0.1 \leq V \leq 0.2$
کم	$0 \leq V \leq 0.1$



چشمه سرابتاوه

چشمه پریکدان

شکل ۱- سری زمانی اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و دبی.

پارامتر اپی کارست (E): تخلخل‌های مؤثر معمولاً در بالاترین قسمت از زون مرطوب شده سنگ‌آهک در نزدیکی سطح قرار می‌گیرد و به‌طور شدید با عمق کاهش پیدا می‌کند، این کاهش متناظر با کاهش کارستی شدن با افزایش عمق است. این کارست‌های سطحی در بعضی مناطق به‌طور مستقیم قابل‌مشاهده نیستند و توسط خاک و گیاه پوشیده شده‌اند به‌طوری‌که حتی با روش‌های غیرمستقیم از جمله ژئوفیزیک نیز قابل‌شناسایی نمی‌باشند. پارامتر اپی کارست در سه طبقه تقسیم‌بندی می‌شود که کاهش آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. طبقه‌بندی اپی کارست در سه بخش E1، E2 و E3 اساساً به‌وسیله شکستگی‌های ژئومورفولوژیکی تعیین می‌گردد (Dorfliger and Zwahlen, 1998). شکل ۲-الف لایه استخراج شده اپی کارست منطقه و جدول ۲ سطح پوشش هر رتبه را ارائه داده است.

پوشش محافظ (P): از نظر خاکشناسی، پوشش محافظ شامل تشکیلات ساختمانی است که امکان دارد بر روی یک آبخوان کارستی قرار داشته باشد. با توجه به عدم وجود هیچ‌گونه اطلاعاتی در زمینه خاک منطقه، در محدوده مورد مطالعه این پارامتر از تلفیق برداشت‌های صحرایی ضخامت خاک، زمین‌شناسی، نقشه شیب و توپوگرافی منطقه محاسبه گردید (Dorfliger and Zwahlen, 1998). شکل ۲-ب پهنه‌بندی پوشش محافظ و جدول ۳ سطح پوشش هر رتبه را نشان می‌دهد.

شرایط نفوذ (I): ارزیابی نفوذ در سه حالت زون‌هایی با نفوذ متمرکز یا نقطه‌ای (II) (حفره‌های بلعنده با لایه‌ها یا حفره‌های

شاخص آسیب‌پذیری EPIK

بر اساس تعریف، کارست حوضه‌ای با هیدرولوژی و مورفولوژی خاص می‌باشد که در اثر انحلال زیاد سنگ و توسعه بالای تخلخل ثانویه به وجود آمده است. در سنگ‌های کربناته عموماً منابع آب کارستی قابل‌توجهی وجود دارد و از طرفی در صورت عدم وجود سنگ‌های تیخیری در مجاورت آنها، کیفیت هیدروشیمی آب نیز بسیار مطلوب است، بنابراین منابع آبی کارستی از دیدگاه کمی و کیفی بسیار حائز اهمیت می‌باشند. باین‌حال، با توجه به امکان وجود مجاری کارستی با سرعت جریان بالا و نیز تغذیه متمرکز، زمان ماندگاری آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی می‌تواند بسیار کوتاه باشد؛ بنابراین این آبخوان‌ها در معرض خطر انتقال سریع آلاینده‌ها بدون خودپالایی در محیط زیرزمینی هستند.

روش آسیب‌پذیری EPIK بر اساس خصوصیات هیدروژئولوژیکی در آبخوان‌های کارستی ایجاد شده و به‌طور عمده ۴ ویژگی را مورد بررسی قرار می‌دهد (Dorfliger and Zwahlen, 1998). اپی کارست (E) بر اساس مورفولوژی کارستی مشاهده شده در لایه‌های سطحی کارست، لایه پوشش محافظ (P) بر اساس وجود یا عدم وجود پوشش خاک و ضخامت آن و نیز تراوایی واحدهای زیر پوشش خاک، لایه نفوذ (I) بر اساس وضعیت تغذیه متمرکز یا افشان (پراکنده) و لایه شبکه کارستی (K) نیز بر اساس خصوصیات مجاری تعیین می‌شود. رتبه‌بندی هر یک از شاخص‌های EPIK بر اساس جداول ۲ تا ۵ ارائه شده‌اند.

موقت یا دائمی در زون‌های زهکشی شده، مناطق با نفوذ حدواسط (I2 و I3) (با توجه به ضریب رواناب تعیین می‌شود) و مناطق با نفوذ پراکنده (I4) تعیین می‌شود (Dorfliger and Zwahlen, 1998). رتبه‌بندی شرایط نفوذ در حوضه در شکل ۲-ج و سطح پوشش هر کلاس در جدول ۴ ارائه شده است. توسعه شبکه کارستی (K): آسیب‌پذیری در این پارامتر با وجود یا فقدان یک شبکه کارستی و درجه‌ای که کارست توسعه یافته است، ارزیابی می‌شود. به‌منظور تعیین اهمیت شبکه نسبت به حجم سنگ‌های کم نفوذپذیر احاطه‌کننده (خردشده یا

توده‌ای) اندیس‌های گوناگونی مطرح شده است. در منطقه مورد مطالعه برای بررسی توسعه شبکه کارستی در منطقه، سعی شده است از شواهد مستقیم از قبیل غارها، حفره‌های بلعنده، کارن‌ها، دولین، پولیه و سایر عوارض کارستی فعال در حوضه آبگیر کمک گرفته شده است (Dorfliger and Zwahlen, 1998). میزان رتبه‌بندی پارامتر توسعه شبکه کارستی در شکل ۲-د ارائه شده است. در جدول ۵ مساحت هر کلاس از پارامتر توسعه شبکه کارستی ارائه شده است.

جدول ۲- رتبه‌بندی فاکتور اپی کارست.

مساحت (کیلومتر مربع)	مرفولوژی کارست	رتبه	فاکتور اپی کارست
۲۱/۹	شافت‌ها، آب‌فروچاله‌ها، رشته‌های کارنی، دشت شیب‌دار	۱	E1- گسترش یافته
۳۴/۹	محدوده‌های بین زوایای آب‌فروچاله‌ها، دره‌های خشک، پلزه‌ها	۳	E2- گسترش متوسط
۳۱/۹	سایر محدوده	۴	E3- گسترش نیافته

جدول ۳- رتبه‌بندی فاکتور پوشش حفاظتی.

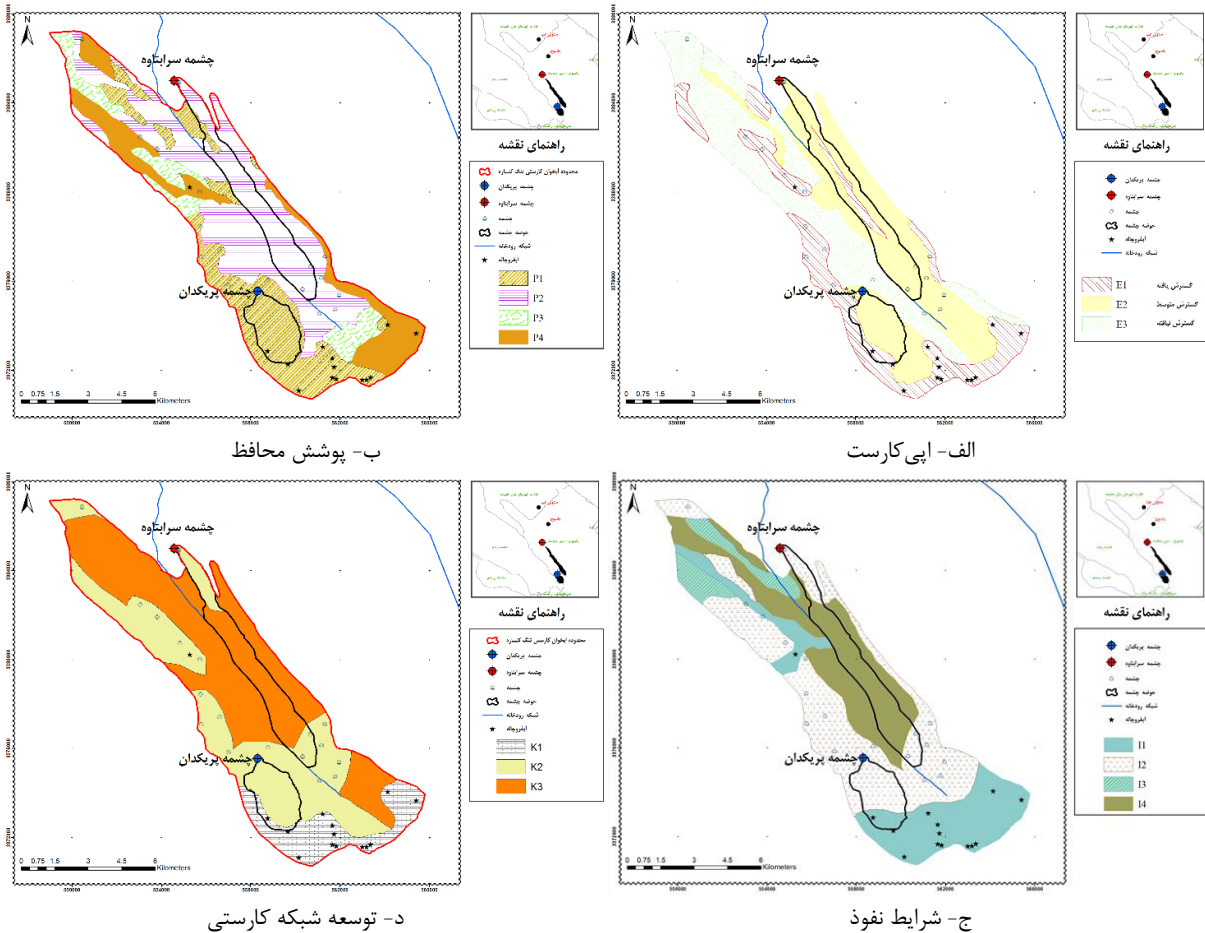
توضیحات		مساحت (کیلومتر مربع)	
وضعیت واحدهای زیر پوشش خاک	A: خاک بر روی سازندهای آهکی یا رسوبات آواری با تراوایی زیاد	B: خاک بر روی سازندهای زمین‌شناسی با تراوایی کم	
بدون پوشش محافظ	P1 ۲۰-۰ سانتیمتر خاک	۲۰-۰ سانتیمتر خاک بر روی سازند با ضخامت کمتر از یک متر	۲۴
	P2 ۱۰۰-۲۰ سانتیمتر خاک	۱۰۰-۲۰ سانتیمتر خاک و سازندهایی با هدایت هیدرولیکی کم	۳۹/۵
با پوشش محافظ	P3 ۲۰۰-۱۰۰ سانتیمتر خاک	خاک بیشتر از ۱ متر و سازندهایی با هدایت هیدرولیکی کم	۹/۳
	P4 بیشتر از ۲۰۰ سانتیمتر خاک	خاک بیشتر از ۱ متر با هدایت هیدرولیکی بسیار کم (نیازمند اندازه‌گیری نقطه‌ای) و یا بیشتر از ۶ یا ۸ متر سیلت و رس و یا سازندهایی با هدایت هیدرولیکی بسیار کم	۱۵/۹

جدول ۴- رتبه‌بندی فاکتور نفوذ.

توضیحات		مساحت (کیلومتر مربع)	
نفوذ متمرکز	I1	آب‌فروچاله‌های موقت و دائمی- جریان‌های فرورونده موقت و دائم- حوضه آبگیر دو مورد قیل به‌علاوه مسیر حرکت آب در زهکش مصنوعی	۲۱/۷
	I2	مناطق حوضه آبگیر مسیر حرکت آب که به‌طور مصنوعی زهکشی نشده و جایی که شیب برای کشتزارها بیشتر از ۱۰٪ و برای چمنزارها و مراتع بیشتر از ۲۵٪ است	۳۶/۹
نفوذ پراکنده	I3	مناطق حوضه آبگیر مسیر حرکت آب که به‌طور مصنوعی زهکشی نشده و جایی که شیب برای کشتزارها کمتر از ۱۰٪ و برای چمنزارها و مراتع کمتر از ۲۵٪ است. خارج از حوضه مسیر حرکت آب سطحی بر اساس شیب‌ها و شیب‌های تند (برای کشتزارها بیشتر از ۱۰٪ و برای چمنزارها و مراتع بیشتر از ۲۵٪) جایی که رواناب نفوذ می‌کند.	۵/۸
	I4	بقیه حوضه	۲۴/۱

جدول ۵- رتبه‌بندی توسعه شبکه کارستی.

مساحت	رتبه	توضیحات
۱۱/۴	۱	شبکه کارستی خوب توسعه یافته با مجاری که اندازه آن‌ها بین دسی متر تا متر و با انسداد کم و ارتباط خوب
۳۴/۷	۲	شبکه کارستی کم توسعه یافته با ارتباط ضعیف و مجاری مسدود شده و کمتر از دسی متر
۴۲/۷	۳	زون‌های تخلیه با محیط متخلخل با امکان تأثیر حفاظتی- آبخوان‌های غیر کارستی خرد شده
		آبخوان‌های خرد شده و یا ترکیب شده



شکل ۲- پارامترهای شاخص آسیب پذیری EPIK.

(>25) و خیلی کم (در صورتی که فاکتور P از نوع P4 باشد) تقسیم می‌گردد.

تعیین خطرپذیری حوضه آبریز

به منظور تعیین میزان خطرپذیری حوضه آبریز با استفاده از تهیه نقشه احتمال و آسیب‌پذیری منطقه انجام می‌شود. به این اساس با توجه به مطالعات انجام شده و شناسایی ۴ پارامتر مؤثر شیب، کاربری اراضی، سازندهای زمین‌شناسی و عوارض

بر اساس رتبه‌دهی هر یک از این ۴ فاکتور تاثیرگذار و وزن‌دهی هر فاکتور، شاخص EPIK بر اساس رابطه ۵ به دست می‌آید (Doerfliger, 1998).

$$EPIK-Index = \alpha E + \beta P + \gamma I + \delta K \quad (2)$$

وزن‌های توصیه شده این شاخص برای α وزن ۳، β وزن ۱، γ وزن ۳ و δ با وزن ۲ می‌باشد.

مقدار شاخص آسیب‌پذیری این روش بین ۹ تا ۳۴ متغیر می‌باشد و به چهار کلاس زیاد (≤ 19)، متوسط (۲۵-۲۰)، کم

می‌دهد لذا خطرپذیری این مناطق بالا است. با تلفیق نقشه احتمال و آسیب‌پذیری حوضه که با روش EPIK محاسبه می‌شود نقشه خطرپذیری محاسبه می‌شود.

نتایج

ارزیابی آسیب‌پذیری چشمه با شاخص VESPA

تحلیل منحنی‌ها نشان می‌دهد که در چشمه سرابتاوه سرعت واکنش دبی در مقابل هدایت الکتریکی زیاد بوده و در ماه‌هایی که میزان تغذیه ناشی از نزولات آسمانی و رواناب سطحی بالا بوده در همان ماه میزان هدایت الکتریکی کاهش یافته ولی در چشمه پریکدان این عکس‌العمل با فاصله زمانی همراه بوده است. تحلیل خصوصیات فیزیکی حوضه آبیگیر دو چشمه حاکی از این موضوع است که میزان پیشرفت شبکه کارستی در چشمه سرابتاوه با توجه به وسعت آن نسبت به چشمه پریکدان بیشتر و یا توسعه‌یافتگی کارستی بالاتری دارد. تحلیل سه پارامتر دمای آب، هدایت الکتریکی و دبی تخلیه دو چشمه جهت ارزیابی شاخص VESPA مطابق با جدول ۶ به‌دست آمد.

طبیعی با نظر کارشناسی رتبه‌بندی و میزان احتمال به‌دست می‌آید. پارامتر شیب با توجه به ماهیت سطح زمین و میزان زمان نگهداشت آب و آلاینده در نظر گرفته شد. این پارامتر در شاخص‌های آسیب‌پذیری آبخوان‌های آبرفتی کاربرد داشته و در بحث خطرپذیری منطقه کارستی مورد استفاده قرار گرفته است. افزایش شیب سبب سرعت بیشتر انتقال آب و املاح و در نتیجه کاهش میزان خطر خواهد شد. سازندهای زمین‌شناسی و نقش آنها در هدایت جریان آب یکی از پارامترهای در نظر گرفته شده است. نوع سازندهای زمین‌شناسی منطقه بر میزان نفوذ و انتقال جریانات زیرسطحی تاثیرگذارند. کاربری اراضی با توجه به نوع بهره‌برداری از اراضی بسیار حائز اهمیت است. مناطقی که کاربری آن با فعالیت‌های انسانی درگیر باشد با خطر بیشتری نسبت به مناطق دیگر خواهد بود. عوارض مانند گسل، آب‌فروچاله و سایر عوارض کارستی نیز در خطرپذیری نقش داشته و جزو عوارض طبیعی منطقه محسوب می‌شود. وجود آب‌فروچاله‌ها معمولاً در مناطقی است که قابلیت تغذیه بالایی به منطقه کارستی

جدول ۶- تحلیل آسیب‌پذیری چشمه‌های منطقه طرح بر اساس شاخص VESPA.

وضعیت آسیب‌پذیری	VESPA Index	γ	β	C(ρ)	ρ	چشمه
زیاد	۸	۱/۰۷	۱۷/۶	۰/۴۲	۰/۸۴	سرابتاوه
خیلی زیاد	۹۰/۰۷	۲/۶۷	۱۰۰	۰/۳۴	۰/۶۷	پریکدان

ارتباط با هرگونه فعالیت انسانی و غیرانسانی که با آن سروکار داشته باشد را به‌دنبال دارد. بالابودن قابلیت هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال و ناهمگنی و انیزوتروپی شدید آبخوان‌های کارستی، آسیب‌پذیری آنها را در مقابل آلایندها (فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) افزایش داده به‌طوری‌که ممکن است در زمانی اندک، حجم قابل توجهی از منابع آب این‌گونه آبخوان‌ها در خطر آلودگی قرار گیرد (Milanovic, 2000). بر اساس مقدار شاخص آسیب‌پذیری (فاکتور حفاظت) به‌دست‌آمده مطابق جدول ۷ درصد مساحت کلاس‌بندی آسیب‌پذیری به روش EPIK تعیین و در شکل ۳ پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین کلاس آسیب‌پذیری، کلاس متوسط است.

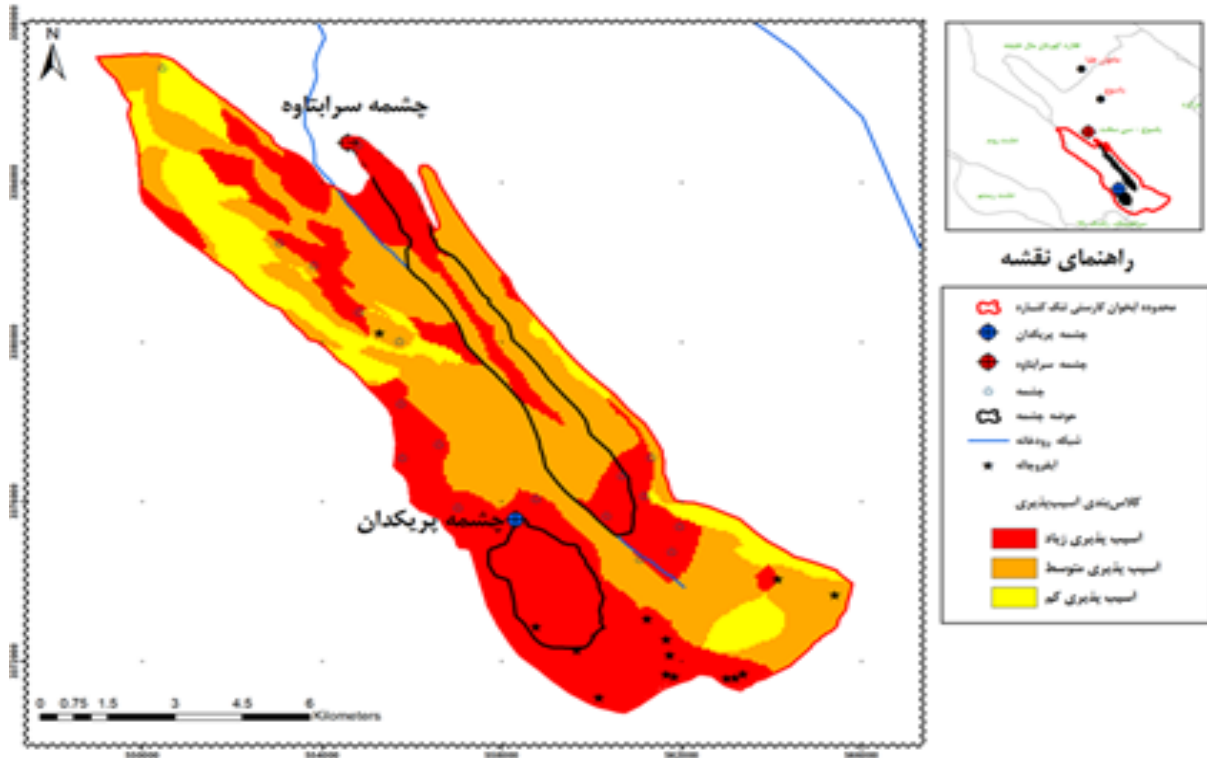
نتایج نشان داد که چشمه پریکدان آسیب‌پذیری خیلی زیاد و چشمه سرابتاوه دارای آسیب‌پذیری زیاد می‌باشد. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص آسیب‌پذیری و تحلیل وضعیت شبکه توسعه‌یافتگی کارست در حوضه آبیگیر چشمه پریکدان و نسبت به سطح حوضه آبیگیر، نتایج حاکی از بحرانی بودن وضعیت آسیب‌پذیری و خطر آلودگی بالایی در این چشمه وجود دارد. در چشمه سرابتاوه نیز مقدار شاخص آسیب‌پذیری زیاد بوده اما نسبت به چشمه سرابتاوه کمتر بوده است.

ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه با استفاده از شاخص EPIK

ماهیت کارست از جمله محیط‌های درز و شکاف‌دار و عدم خودپالایی به‌گونه‌ای است که همواره خطرپذیری زیادی را در

جدول ۷- مساحت کلاس بندی آسیب پذیری به روش EPIK

درصد مساحت	مساحت-کیلومتر مربع	رتبه	آسیب پذیری
۱۵	۲۸/۲	۳۴-۲۶	آسیب پذیری کم
۴۵	۸۵/۸	۲۵-۲۰	آسیب پذیری متوسط
۴۰	۷۷/۴	۱۹-۹	آسیب پذیری زیاد



شکل ۳- مقدار آسیب پذیری EPIK در منطقه مورد مطالعه.

تلفیق آسیب پذیری چشمه و حوضه آبریز

ارزیابی نتایج به دست آمده از شاخص آسیب پذیری منطقه تنگ-کناره با استفاده از شاخص EPIK نشان می دهد که فرآیند کارستی شدن نقش مهمی در میزان آسیب پذیری دارد. نکته حائز اهمیت در این بخش نقش چشمه به عنوان خروجی یک حوضه آبریز منطقه کارستی است. بر این اساس می بایست میزان آسیب پذیری حوضه آبریز چشمه با میزان آسیب پذیری خروجی (چشمه) یکسان باشد. با توجه به تأمین آب یک چشمه کارستی از حوضه آبریز بالادست خود، لذا آسیب پذیری چشمه و آسیب پذیری حوضه آبریز می بایست در یک کلاس باشد. بر این اساس به منظور ارزیابی و صحت سنجی نتایج شاخص آسیب پذیری EPIK از مظهر چشمه به عنوان خروجی استفاده می شود. حوضه آبریز چشمه پریکدان در بخش

جنوب غربی منطقه تنگ-کناره حاکی از آسیب پذیری زیاد با استفاده از شاخص EPIK است. این کلاس بندی آسیب پذیری با کلاس آسیب پذیری خیلی زیاد در شاخص آسیب پذیری VESPA همبستگی دارد. نتایج ارائه شده نشان می دهد که دو پارامتر اپی کارست (E) و نفوذ (I) بیشترین تأثیر را در آسیب پذیری این حوضه چشمه دارند و همچنین ارزیابی مکانی پارامترهای شاخص آسیب پذیری نشان می دهد که بیشترین تأثیر آسیب پذیری زیاد از بخش جنوب و جنوب غرب حوضه آبریز منشأ می گیرد. این موضوع در میزان آبدهی، دما و هدایت الکتریکی چشمه خروجی تأثیرگذار است. همچنین آبریز آبروچاله موجود در بخش جنوبی نیز حاکی از توسعه فعالیت کارستیک است که نشان دهنده تغذیه چشمه پریکدان است. در مجموع

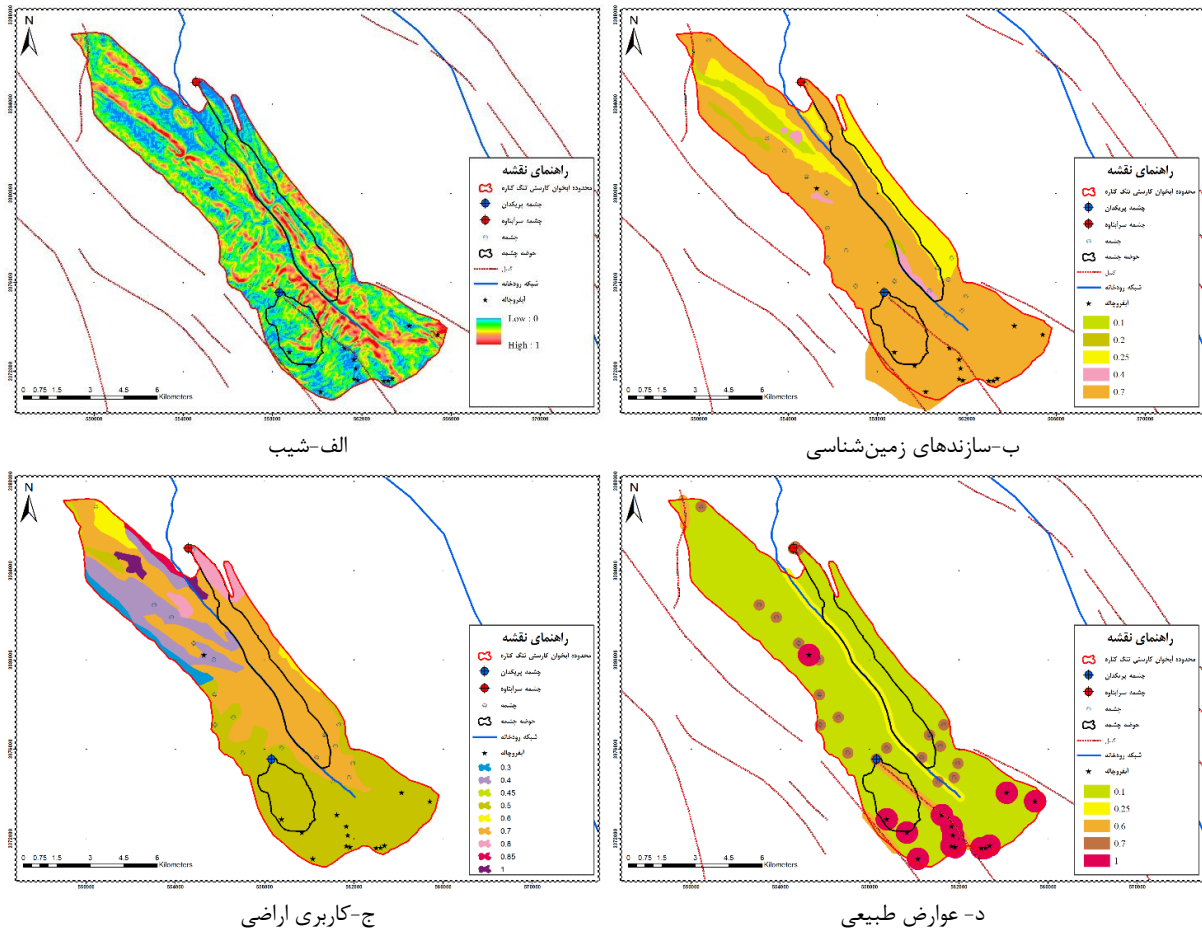
منطقه امتیاز بین صفر تا یک تعلق گرفت. این امتیازبندی بر اساس حداقل شیب تا حداکثر شیب با توزیع نرمال مقادیر در نظر گرفته شده است. حداکثر شیب دارای امتیاز صفر و حداقل شیب امتیاز یک دارد. نتایج نشان می‌دهد بخش‌های عمده‌ای از منطقه دارای خطر بالایی از نظر شیب نبوده و با توجه به توزیع فراوانی شیب منطقه که شیب بیش از ۹۰ درصد منطقه در شیب بین ۱۷ تا ۲۴ درصد است لذا رتبه‌بندی خطر از نظر شیب در این منطقه کم است. با توجه به سطح کم منطقه و نقش سازندهای زمین‌شناسی در انتقال جریانات زیرسطحی، رتبه‌بندی سازندها مطابق شکل ۴-ب انجام گرفت. برای رتبه‌بندی این سازندها بر اساس نظرات کارشناسی جمع‌آوری شده بر مبنای قابلیت انتقال و نقش این سازندها در انتقال آلودگی از سطح به جریانات زیرزمینی انجام گرفت. بخش اعظم منطقه تنگ-کناره با داشتن سازندهای کارستی آسماری نقش مهمی در تغذیه و انتقال جریانات زیرزمینی دارد. در جدول ۸ رتبه‌بندی سازندهای زمین‌شناسی ارائه شده است. یکی از مهم‌ترین پارامترها در رتبه‌بندی ریسک آب زیرزمینی، کاربری اراضی است. این پارامتر در آبخوان‌های آبرفتی کاربرد زیادی دارد. بر این اساس مطابق شکل ۴-ج رتبه‌بندی کاربری اراضی ارائه شده است. بخش اعظم منطقه به‌خصوص بخش جنوبی و مرکزی منطقه از نظر کاربری کمتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی بوده لذا از امتیاز کمتری نسبت به بخش‌های مرکزی منطقه تعلق یافته است. در جدول ۸ رتبه‌بندی عوارض طبیعی منطقه و رتبه‌بندی کاربری اراضی منطقه از نظر ریسک ارائه شده است. عوارض طبیعی منطقه کارستی نیز به‌صورت شکل ۴-د ارائه شده است. رتبه‌بندی این پارامتر بر اساس سطح تأثیر آب‌فروچاله‌ها، مظهر چشمه‌ها، گسل‌ها و رودخانه تعریف شده است. در این تقسیم‌بندی با توجه به تأثیر زیاد آب‌فروچاله در نقش تغذیه، بیشترین رتبه اختصاص داده شده است.

میزان آسیب‌پذیری چشمه و آسیب‌پذیری حوضه آبرگیر همخوانی بالایی را نشان می‌دهد.

بررسی حوضه آبرگیر چشمه سرابتاوه که در بخش شمال شرقی منطقه تنگ-کناره است نشان می‌دهد که در این بخش سراب حوضه آبرگیر و بخش خروجی حوضه در کلاس آسیب‌پذیری زیاد قرار دارد؛ و بخش مرکزی این حوضه در کلاس آسیب‌پذیری متوسط قرار دارد. بررسی پارامترهای شاخص EPIK در این حوضه نشان می‌دهد که فرآیند توسعه کارستی در این حوضه کمتر اتفاق افتاده است و عوارض کارستی نظیر آب‌فروچاله در این حوضه وجود ندارد لذا همبستگی مناسبی بین آسیب‌پذیری حوضه با آسیب‌پذیری چشمه سرابتاوه که با استفاده از شاخص VESPA محاسبه شده است وجود دارد. بررسی مکانی آسیب‌پذیری حوضه آبرگیر چشمه سرابتاوه نشان می‌دهد که حدود ۴۰ درصد حوضه در کلاس آسیب‌پذیری زیاد و ۶۰ درصد مابقی در کلاس‌پذیری متوسط قرار دارد. بخش مرکزی این حوضه تحت تأثیر آبراهه این منطقه و کاربری اراضی این منطقه دارای فرآیند کارستی با سرعت کمتر بوده است.

ارزیابی و رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر در خطرپذیری

به‌منظور ارزیابی عوامل مؤثر در خطرپذیری منطقه تنگ-کناره از رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری استفاده گردید. بر این اساس با توجه به مطالعات انجام‌گرفته و نظرات کارشناسی عوامل شیب، کاربری اراضی، عوارض طبیعی و سازندهای زمین‌شناسی با نظرات کارشناسی رتبه‌بندی شدند. بر اساس تلفیق رتبه‌های درونی یک نقشه برای کل منطقه به‌عنوان نقشه ریسک تهیه می‌گردد. رتبه‌بندی و تعیین وزن هر یک از عوامل مؤثر بر اساس تکمیل پرسشنامه و نقش هر یک از عوامل تعیین شد. در شکل ۴-الف کلاس‌بندی شیب منطقه تنگ-کناره نشان داده شده است. تقسیم‌بندی شیب



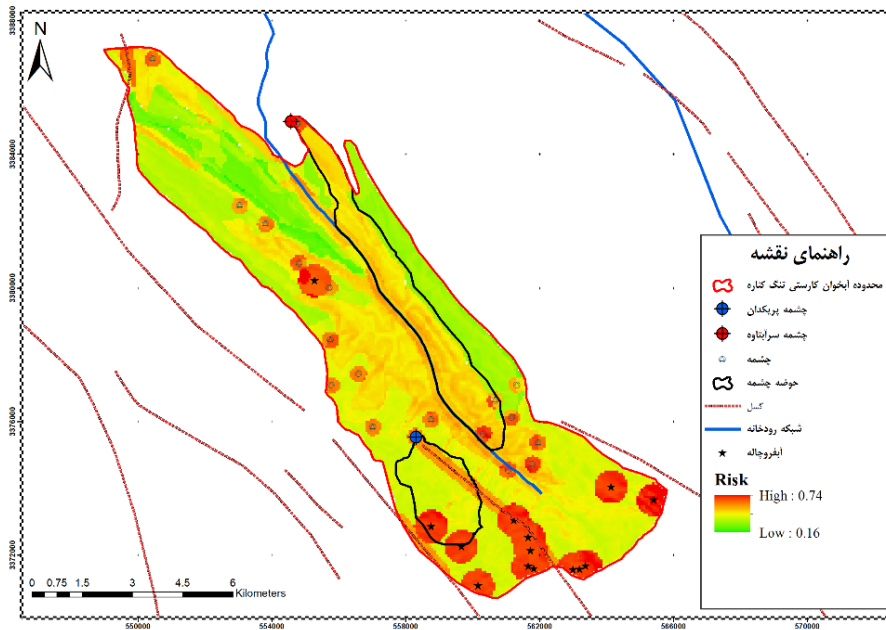
شکل ۴- پارامترهای مؤثر در خطرپذیری آبخوان کارستی.

جدول ۸- رتبه‌بندی پارامترهای عوامل سازندهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی و عوارض منطقه

رتبه	نوع عارضه	رتبه	نوع کاربری	رتبه	نوع سازند
۰/۱	سایر مناطق	۰/۳	مرتع متوسط	۰/۲۵	شیل خاکستری، مارن با میان لس
۰/۲۵	حریم رودخانه (۲۰۰ متر)	۰/۴	جنگل متراکم	۰/۱	شیل سفید مایل به آبی
۰/۶	حریم چشمه‌ها (۲۵۰ متر)	۰/۴۵	جنگل بسیار تنک	۰/۷	سنگ آهک ضخیم لایه تا توده‌ای
۰/۷	حریم گسل (۱۵۰ متر)	۰/۵	مرتع متوسط تا فقیر	۰/۲	مارن، کنگلومرا و ماسه‌سنگ
۱	حریم آب‌فروچاله (۵۰۰ متر)	۰/۶	جنگل تنک	۰/۴	پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌ها
		۰/۷	جنگل نیمه متراکم		
		۰/۸	کشاورزی		
		۰/۸۵	مرتع فقیر		
		۱	مسکونی (شهر)		

خاص خود، کمتر تحت تأثیر عواملی انسانی بوده و فعالیت روستائیان منطقه و دامپروری بیشترین تأثیر را خطرپذیری منطقه دارد. لذا با تلفیق چهار پارامتر در نظر گرفته شده، رتبه‌بندی خطر مطابق شکل ۵ به دست می‌آید. این رتبه بیانگر درصد احتمال بیشتر جهت آلودگی و خطر در منطقه است.

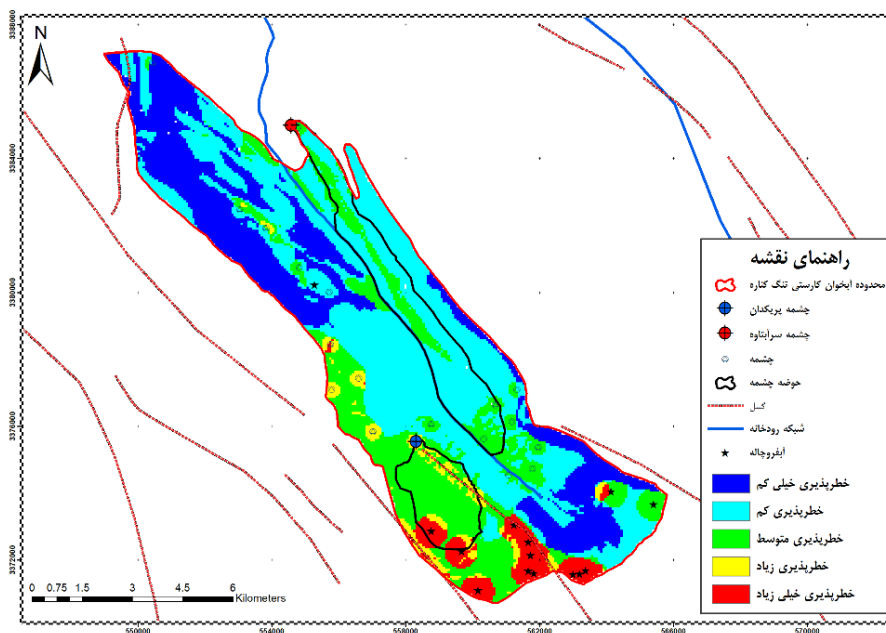
به‌طور کلی منابع آب کارستی توسط عواملی همچون فاضلاب مناطق مسکونی، محل‌های بدون اصول دفن زباله، سموم دفع آفات گیاهی، کودهای شیمیایی، فاضلاب صنعتی و غیره در معرض خطر قرار دارند (Gillman and Noble, 2005). منطقه تنگ-کناره با توجه به شرایط مورفولوژیکی و هیدروژئولوژیکی



شکل ۵- رتبه‌بندی خطر در منطقه تنگ-کناره.

نتایج نشان می‌دهد که بخش جنوب‌غربی منطقه تنگ-کناره دارای بیشترین خطر بوده و هرچه به طرف خروجی منطقه حرکت کنیم میزان خطر کاهش پیدا می‌کند. در جدول ۹ تقسیم‌بندی سطح خطرپذیری منطقه ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین سطح منطقه در محدوده خطرپذیری کم بوده و این موضوع می‌تواند جهت توسعه منطقه به کار برده شود.

نتایج رتبه‌بندی ریسک در منطقه تنگ-کناره نشان می‌دهد که تغییرات رتبه بین ۱۶ درصد تا ۷۴ درصد است. حداکثر میزان رتبه مربوط به آبروچاله‌ها بوده و بخش‌های شمال شرق و مرکزی منطقه در حداقل رتبه قرار دارد. در نهایت با تلفیق لایه آسیب‌پذیری EPİK با رتبه‌بندی خطر، نقشه خطرپذیری منطقه تنگ-کناره به صورت شکل ۶ محاسبه گردید.



شکل ۶- خطرپذیری منطقه تنگ-کناره.

جدول ۹- سطح پوشش خطرپذیری منطقه تنگ-کناره.

ردیف	خطرپذیری	مساحت-کیلومتر مربع	درصد
۱	خیلی کم	22.1	24.9
۲	کم	39.3	44.2
۳	متوسط	20.1	22.6
۴	زیاد	3.0	3.4
۵	خیلی زیاد	4.3	4.9

نتیجه گیری

روش EPIK، خطرپذیری منطقه ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که بیشتر منطقه در وضعیت خطرپذیری کم و خیلی کم قرار داشته و بخش جنوبی منطقه که حجم اصلی چشمه ها و آبفروچاله ها قرار دارد در وضعیت خطرپذیری بالا قرار دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که جهت توسعه در منطقه کارستی در بخش هایی که عوارض کارستی مانند آبفروچاله قرار دارد خطر زیادی وجود دارد.

منابع

وزارت نیرو، ۱۳۹۲. دستورالعمل تعیین حریم کیفی آب های زیرزمینی، نشریه شماره ۶۲۱.
سعیدی رضوی، ب.، ۱۳۹۹. بررسی آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت گلپایگان با استفاده از بهینه سازی روش دراستیک. هیدروژئولوژی، ۵(۲): ۷۴-۶۱.
کریمی وردجانی، ح.، ۱۳۸۹. هیدروژئولوژی کارست مفاهیم و روش ها. انتشارات ارم شیراز، ۴۱۴ صفحه.
ندیری، ع، صدقی، ز. ۱۳۹۸. ارزیابی آسیب پذیری آبخوان های چندگانه با استفاده از روش های DRATIC، SINTACS. هیدروژئولوژی، ۴(۲): ۱۷۱-۱۸۶.

Dorfliger, N., and F. Zwahlen. 1998. "Practical Guide - Groundwater Vulnerability Mapping in Karstic Regions (EPIK): Application to Groundwater Protection Zones: Practical Guide. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL). Bern, 56.
Gallebni, L., Vigna, B., Banzato, C., Russo, S.L. 2011. Validation of a Vulnerability Estimator for Spring Protection Area: the VESPA index. Journal of Hydrology, (396): 233-245.
Gillman, G., and Noble, A. 2005. Environmentally manageable fertilizers: a new

امروزه بهره برداری از منابع آب کارست با توجه به تنش های اقلیمی و توسعه های متعدد رشد زیادی داشته است. این بهره برداری اگرچه باعث کاهش تنش ها عرضه و تقاضای آب شده است اما از طرفی افزایش خطر آلودگی را در نیز دربر دارد. منابع آب کارستی با توجه به قرار داشتن در یک حوضه ای با تخلخل بالا، آسیب پذیری زیادی را دارند که این موضوع سبب ایجاد انواع آلودگی خواهد شد. این مطالعه ارزیابی وضعیت آسیب پذیری منطقه تنگ-کناره در جنوب شهر یاسوج پرداخته گردید. بر این اساس آسیب پذیری منطقه با استفاده شاخص آسیب پذیری EPIK مورد بررسی قرار گرفت و این شاخص در دو چشمه اصلی منطقه که چشمه سرابتاوه و پریکدان است مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس آسیب پذیری دو چشمه با استفاده از شاخص VESPA مورد سنجش قرار گرفت که نتایج نشان داد که چشمه سرابتاوه در وضعیت آسیب پذیری زیاد و چشمه پریکدان در وضعیت آسیب پذیری خیلی زیاد قرار دارد. با توجه به اینکه آسیب پذیری چشمه تابع مستقیمی از خصوصیات حوضه آبرگیر بالادست و نوع کاربری است که پتانسیل ورود آلودگی را تحت تأثیر قرار می دهد. لذا بررسی حوضه آبرگیر چشمه با توجه به خصوصیات آن می تواند در بررسی آسیب پذیری و محافظت از آن بسیار حائز اهمیت باشد. لذا ارزیابی حوضه آبرگیر دو چشمه و شاخص آسیب پذیری VESPA حاکی از دقت مناسب وزن دهی اعمال شده در شاخص آسیب پذیری EPIK است. پس از ارزیابی وضعیت آسیب پذیری منطقه، خطرپذیری منطقه با رتبه بندی چهار فاکتور شیب زمین، کاربری اراضی، عوارض طبیعی کارستی و سازندهای زمین شناسی انجام گرفت که بر اساس این چهار فاکتور و تلفیق آنها با آسیب پذیری منطقه با

- approach. *Environmental Quality Management*, 15(2): 59-70.
- Javadi, S., Moghaddam, H.K. and Roozbahani, R., 2019. Determining springs protection areas by combining an analytical model and vulnerability index. *Catena*, (182): 104-167.
- Milanovic, B., 2000. The median-voter hypothesis, income inequality, and income redistribution: an empirical test with the required data. *European Journal of Political Economy*, 16(3):367-410.
- Moghaddam, H.K., Rahimzadeh Kvi, Z.R., Bahreinimotlagh, M. and Moghddam, H.K., 2020. Evaluation of the groundwater resources vulnerability index using nitrate concentration prediction approach. *Geocarto International*, (just-accepted), pp.1-15.
- Moreno-Gómez, M., Pacheco, J., Liedl, R. and Stefan, C., 2018. Evaluating the applicability of European karst vulnerability assessment methods to the Yucatan karst, Mexico. *Environmental Earth Sciences*, 77(19): 682.
- Pereira, D.L., Galvão, P., Lucon, T. and Fujaco, M.A., 2019. Adapting the EPIK method to Brazilian Hydro (geo) logical context of the São Miguel watershed to assess karstic aquifer vulnerability to contamination. *Journal of South American Earth Sciences*, 90, 191-203.
- Van Buchem, F.S.P., Allan, T.L., Laursen, G.V., Lotfpour, M., Moallemi, A., Monibi, S., Motiei, H., Pickard, N.A.H., Tahmasbi, A.R., Vedrenne, V. and Vincent, B., 2010. Regional stratigraphic architecture and reservoir types of the Oligo-Miocene deposits in the Dezful Embayment (Asmari and Pabdeh Formations) SW Iran. *Geological Society, London, Special Publications*, 329(1):219-263.
- Zaree, M., Javadi, S. and Neshat, A. R. Potential detection of water resources in karst formations using APLIS model and modification with AHP and TOPSIS, *Journal of Earth System Science* 128 (4): 76.