

ارزیابی و تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان‌های کارستی با استفاده از مدل COP

(مطالعه موردی: آبخوان کارستی گلین، استان کرمانشاه)

عبدالله سیف* - استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه اصفهان
مریم جعفری اقدم - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان
علی جهانفر - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۴/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۱۱/۱۷

چکیده

آبخوان‌های کارستی در مناطق نیمه خشک غرب ایران با توجه به شرایط طبیعی منطقه و فعالیت‌های انسانی مستعد آلودگی می‌باشند. آبخوان کارستی گلین نقش حیاتی در تأمین آب شرب و کشاورزی جوامع محلی اطراف خود دارد. هدف از این پژوهش، تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان کارستی گلین در جنوب غرب استان کرمانشاه در برابر آلودگی‌های سطحی با استفاده از مدل COP می‌باشد. این مدل با استفاده از سه پارامتر، لایه پوشاننده (O)، غلظت جریان (C) و رژیم بارش (P) به ارزیابی آسیب پذیری منابع آب کارست در برابر آلودگی می‌پردازد. از پارامترهای ژئوهیدرولوژیکی چون ضریب α ، زمان مرگ چشمه، حجم ذخیره دینامیکی برای مشخص کردن نوع جریان کارستی استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که چشمه گلین دارای سیستم افشان بوده و ۱۲/۲۲٪، ۴۸/۳۲٪ و ۳۹/۴۶٪ از مساحت منطقه به ترتیب در پهنه آسیب پذیری خیلی کم، کم و متوسط واقع شده که حاکی از آسیب پذیری کم تا متوسط این آبخوان نسبت به آلودگی می‌باشد. پارامترهای P، C و O به ترتیب بیشترین نقش را در کم بودن میزان آسیب پذیری دارا می‌باشند. عامل C به علت وسعت کم پهنه کارست تکامل یافته، وسعت زیاد مناطق غیر کارستی، شیب زیاد منطقه، نقش اصلی را در پایین بودن میزان آسیب پذیری منطقه دارا می‌باشد. از طرف دیگر بارش منطقه به نسبت کم بوده و این عامل میزان نفوذ آلودگی و در نتیجه میزان آسیب پذیری را کاهش می‌دهد. آسیب پذیری زیاد تا خیلی زیاد عامل O نشان‌دهنده گسترش سازندهای نفوذ پذیر در منطقه می‌باشد و میزان آسیب پذیری بالای آن توسط دو عامل دیگر تعدیل گردیده است. در نهایت می‌توان گفت که مدل COP کارایی مناسبی جهت تهیه نقشه‌های آسیب پذیری آبخوان‌های کارستی را دارا می‌باشد.

واژگان کلیدی: آسیب پذیری، GIS، COP، آبخوان کارستی گلین.

مقدمه

نیاز به تأمین آب، به منظور رفع نیاز جوامع انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی به طور فزاینده‌ای در سطح جهان به رسمیت شناخته شده است (Münch and Conrad, 2007; Krause et al., 2007, Gondwe et al., 2011, 24). منابع آبی آبخوان‌های کارستی اهمیت روز افزونی در سراسر جهان یافته‌اند و تقریباً ۲۵٪ از جمعیت جهان مخصوصاً در آسیا، مدیترانه و ایالات متحده آب مورد نیاز خود را از آبخوان‌های کارستی تأمین می‌کنند. حفاظت از منابع آب کارست به دلیل آسیب پذیری و حساسیت زیاد به آلودگی، یکی از مهم‌ترین اقدامات در مدیریت منابع آب کارست می‌باشد (Afrasiabian, 2007, 673). سفره‌های آب کارست به علت ویژگی‌های هیدرولوژیکی خاص خود متمایز از دیگر سفره‌های آبی می‌باشند (White, 1988; European Commission, 1995; Bakalowicz, 1995, 2005; Ford and Williams, 2007; Mudarra and Andreo, 2011, 263). منابع آلودگی زیادی دارند، زیرا زمان جابه جایی سریع و ظرفیت ذخیره‌سازی در سیستم مجرای کم می‌باشد، در نتیجه دخالت فرایندهای طبیعی مانند جذب و تخریب و فیلتراسیون تأثیر کمتری دارند (Mudarra and Andreo, 2011, 263). منبع آلودگی آب‌های کارست به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند: ۱- منابع آلودگی منتشر و گسترده ۲- منابع آلودگی نقطه‌ای (de Jong et al., 2008, 228). تحقیقات جغرافیایی در آلودگی آب‌های زیرزمینی بر دو مقوله فاصله آلودگی و منابع آلاینده توجه دارد. بر همین اساس کمیسیون اروپا، رویکرد COST 620 را به منظور ارزیابی آسیب پذیری و تهیه نقشه خطر منابع آب کارست ارائه کرده است. این روش به طور عمده دو جنبه یعنی زمان جابه جایی آلودگی از منشاء به مقصد و کاهش غلظت آن در طول مسیر را مورد بررسی قرار می‌دهد (Andreo et al., 2006, 55). روش COP توسط COST 620 توسعه داده شده و در دو آبخوان کارستی در جنوب اسپانیا با ویژگی‌های مختلف آب و هوایی و هیدرولوژیکی آزمایش و توسعه داده شد. روش COP توسط Kiros and Zhou (2006) در اتیوپی، (Ducci (2007) در ایتالیا، (Ravbar (2007) در اسلونی، (Dimitriou et al. (2008) در یونان، (Leyland (2008) در آفریقای جنوبی و (Plan et al. (2008) در استرالیا به کار گرفته شده است. در مدل COP از سه عامل به منظور تعیین میزان آسیب پذیری استفاده می‌شود، که شامل 1C غلظت جریان، 2O لایه پوشاننده و 3P بارش می‌باشد. این روش برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در مناطق کارستی مورد استفاده قرار می‌گیرد و براساس آن می‌توان نقشه آسیب پذیری آبخوان‌های کارستی جهت مدیریت و حفاظت از آبخوان‌های کارستی تهیه نمود. نقشه آسیب پذیری سفره‌های آبی یک روش کارآمد به منظور مدیریت و حفاظت از منابع آب زیرزمینی است (Vías et al., 2010, 1503). تهیه نقشه آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی یک رویکرد علمی برای حفظ منابع آب زیرزمینی است که برای اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ مطرح شد (Adams and Foster, 1992, 353). این رویکرد بطور قابل توجهی در طول دهه گذشته به علت پیشرفت در مدل هیدرولوژیکی و GIS مورد توجه قرار گرفته است (Kattaa et al., 2010, 1103). در طول چندین دهه گذشته در مناطق نیمه خشک غرب ایران منابع آب کارست به عنوان منبع اصلی تأمین آب جوامع محلی، از لحاظ کمی و کیفی تحت فشار فعالیت‌های انسانی (کشاورزی و صنعتی) و خشکسالی‌های متعدد بوده است. آبخوان کارستی گلین با توجه به وجود سازندهای آهکی، شرایط اقلیمی گذشته و حال و ویژگی‌های تکتونیکی و ژئومورفولوژیکی کارست دارای منابع با ارزش آب زیرزمینی می‌باشد. سراب گلین دارای دبی میانگین ۵۴۵ لیتر در ثانیه است و حجم خروجی سالانه آن ۱۷/۱۸۷ میلیون متر مکعب است. این سراب منبع اصلی تأمین آب شرب و کشاورزی روستاهای دهستان دیره شهرستان

¹ - Concentration Of Flow

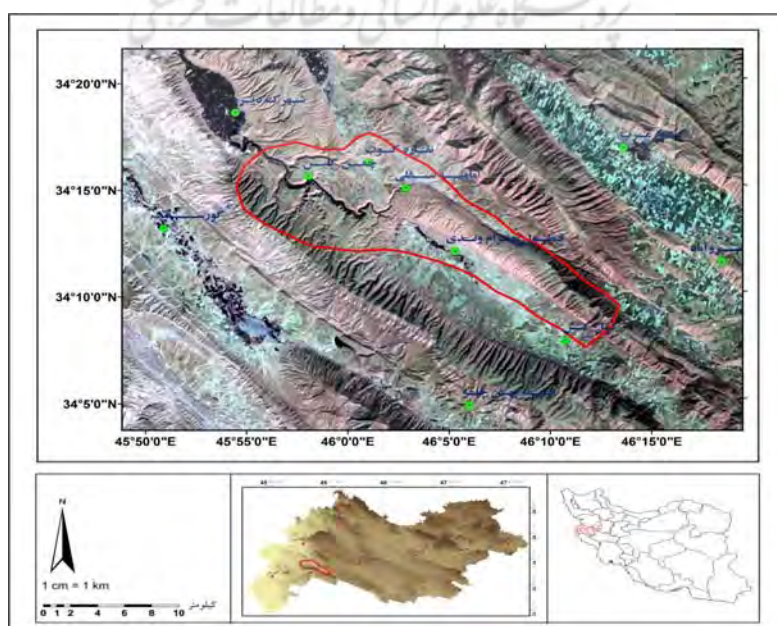
² - Overlying Layers

³ - Precipitation

گیلانغرب می‌باشد و آب مازاد آن در سد مخزنی زاگرس جهت مصارف شرب و کشاورزی ذخیره می‌گردد. بنابراین بررسی آسیب پذیری و همچنین ارائه راهکارهای مدیریتی به منظور حفظ این آبخوان کارستی از آلودگی امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش به کارگیری مدل COP با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان یک روش مؤثر در ارزیابی خطر آلودگی منابع آب کارست و در نهایت تهیه نقشه‌های آسیب پذیری آبخوان کارستی گلین و شناسایی نوع سیستم کارستی آبخوان مورد مطالعه می‌باشد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

آبخوان مورد مطالعه در زون زاگرس چین خورده در غرب ایران و جنوب غرب استان کرمانشاه واقع شده است (شکل ۱). حداکثر ارتفاع منطقه ۲۱۱۸ متر و وسعت آن برابر با ۲۰۰ کیلومتر مربع است که با روند شمال غربی - جنوب شرقی بین عرض‌های جغرافیایی $34^{\circ}08'$ تا $34^{\circ}18'$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $45^{\circ}54'$ تا $46^{\circ}13'$ شرقی واقع شده است. از نظر چینه شناسی در منطقه مورد مطالعه رخنمون‌هایی از سنگ‌های ائوسن تا پلیو - کواترنری دیده می‌شود که از قدیم به جدید عبارت‌اند از: آسماری - شهبازان، آسماری، گچساران، کنگلومرای بختیاری و نهشته‌های کواترنری شامل پادگانه جدید و قدیم و مخروط افکنه‌های قدیم و جدید و رسوبات رودخانه‌ای می‌باشد (شکل ۷). سازند آسماری سطح تاقدیس‌ها را می‌پوشاند. سازندهای گچساران و کنگلومرای بختیاری به صورت تپه ماهور در سطح دشت‌ها و کوهپایه‌ها گسترش یافته‌اند و سازندهای کواترنری به صورت پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های قدیمی در دشت و کوهپایه‌های منطقه گسترش یافته‌اند. این منطقه از لحاظ زمین شناسی در زون زاگرس چین خورده واقع شده و به علت گسل خوردگی زیاد به شدت تکتونیزه می‌باشد. وضعیت ساختاری منطقه با الگوی زون‌های برشی راستگرد قابل توجیه می‌باشد (میرشکرایی ۱۳۷۶، ۹۱). گسل‌های منطقه دارای مؤلفه راندگی، امتدادلغز کششی و برشی و عادی می‌باشند. اشکال کارستی منطقه از نوع هولوکارست و براساس زمان شکل‌گیری آن‌ها از نوع پالئوکارست می‌باشند. اشکال کارستی منطقه عبارت‌اند از: سینکول‌ها، چاله‌های بسته و هموار کارستی، دولین‌ها، غارها، لاپیه‌ها، دره عمیق کارستی، پهنه‌های هموار کارستی و کارن‌ها می‌باشند (باقری: ۱۳۸۷، ۵۶). میانگین بارش سالانه منطقه ۶۰۰ میلیمتر و میانگین دمای سالیانه ۱۳ درجه سانتیگراد بوده، همچنین منطقه مورد مطالعه به علت وجود یک دوره ۴ تا ۵ ماهه خشک، دارای آب هوای نیمه خشک می‌باشد.

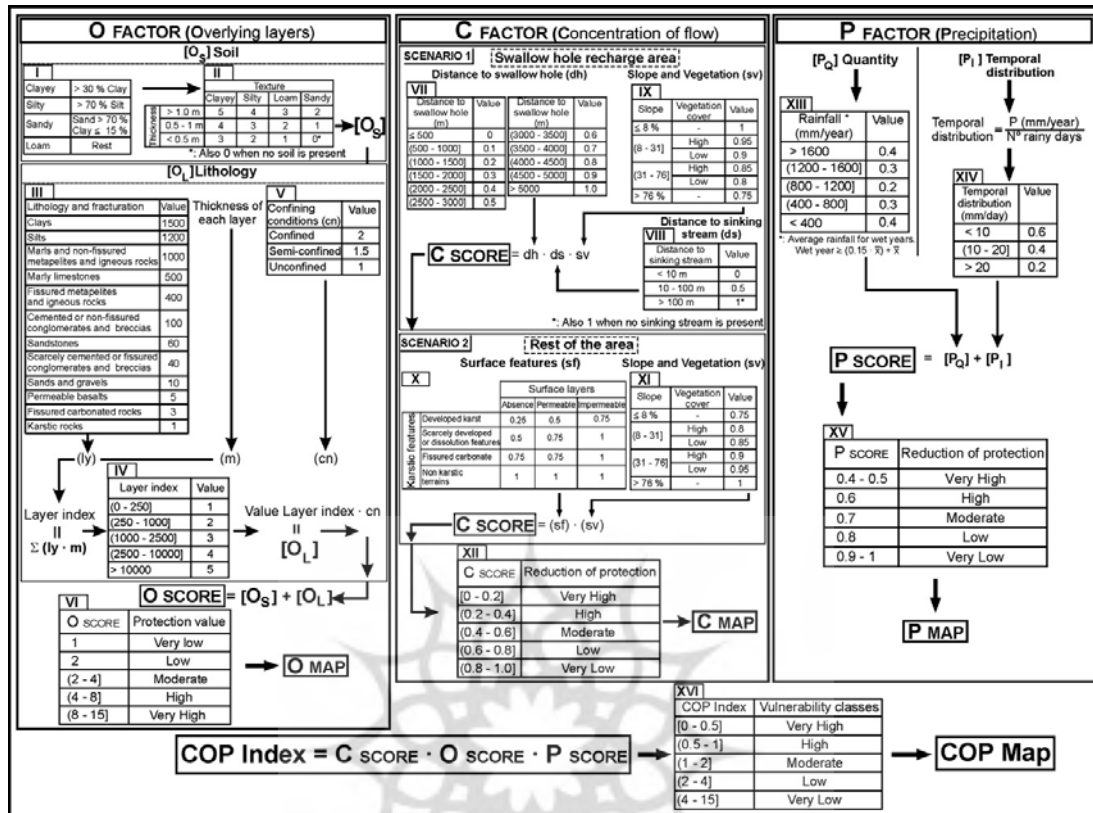


شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های بارانسنجی

مواد و روش‌ها

این پژوهش یک تحقیق کاربردی- توسعه ای مبتنی بر روش‌های میدانی، کتابخانه‌ای و مدل COP می‌باشد. در ابتدا با توجه به مطالعات میدانی، محدوده آبخوان تعیین گردید، سپس با استفاده از پارامترهای ژئوهیدرولوژیکی ضریب α ، زمان مرگ چشمه، حجم ذخیره دینامیکی، نوع سیستم کارست آبخوان مشخص گردید. به منظور مشخص نمودن نوع سیستم کارست آبخوان، از مدل‌های کمی و داده‌های دبی ماهانه در طول دوره ۱۲ ساله استفاده گردید. داده‌های نقشه‌های توپوگرافی و زمین شناسی به عنوان داده‌های پایه به نرم افزار ArcGIS انتقال داده شده و رقومی گردیدند. در مرحله بعد مدل ارتفاع رقومی به منظور تهیه لایه‌های ارتفاع و شیب تهیه گردید. در طی عملیات میدانی، لندفرم‌های کارستی حوضه شناسایی و ژئومورفولوژی کارست منطقه مورد تحلیل واقع گردید. برای تهیه نقشه بارش و محاسبه شاخص Pq از روش درون‌یابی به روش IDW استفاده شد. بدین منظور از ۱۰ ایستگاه بارانسنجی (شکل ۱) که دارای توزیع مناسب در منطقه بودند استفاده گردید. ضریب همبستگی (R^2) و معادله خط رگرسیون محاسبه و ترسیم شده است. ضریب تعیین (R^2) میانگین سالانه ۰/۸۶ بوده و به معنی ارتباط ۸۶ درصدی افت دما با متغیر ارتفاع است که همبستگی بالا و معناداری به شمار می‌آید. در روش COP آسیب پذیری به عنوان برابری از سه عامل C, O, P مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. عامل O بررسی حفاظت از مناطق غیر اشباع آبخوان در برابر رخداد یک عامل آلاینده است و عوامل P و C برای تصحیح درجه حفاظت (عامل O) مورد استفاده قرار می‌گیرند (Andreo et al., 2006, 58). در این روش (O) لایه پوشاننده، (C) غلظت جریان و (P) رژیم بارش می‌باشد. عامل O شرح حفاظت آب‌های زیرزمینی توسط لایه‌های بالاتر از منطقه اشباع شده است. ضخامت، تخلخل و خواص نفوذپذیری خاک و یا هر لایه لیتولوژی از منطقه غیر اشباع در نظر گرفته شده است (Daly et al. 2002, 346). عامل C براساس ژئومورفولوژی کارست، پوشش گیاهی و شیب توپوگرافی محاسبه می‌شود. جدول (۱) چگونگی و محاسبه روش COP را نشان می‌دهد. عامل P شامل مقدار بارش و توزیع زمانی آن (شدت) است و قدرت آب را برای حمل و نقل آلاینده‌ها از سطح زمین به داخل آبخوان‌ها تعیین می‌کند. به منظور محاسبه شاخص‌های مورد نظر از نرم افزار GIS استفاده گردید. نقشه عوامل مورد نیاز هر شاخص از روی نقشه‌های موجود رقومی گردید. سپس، با استفاده از توابع (geoprocessing) همچون (intersect)، (dissolve) مقدار شاخص‌های C, O, P در منطقه محاسبه شد. در نهایت با استفاده از تابع spatial analyst لایه‌های مورد نظر همپوشانی (overlay) شده و امتیاز نهایی خطر پذیری (vulnerability) به دست آمد. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه خاک ۱:۲۵۰۰۰۰ عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای IRS سال ۲۰۰۲ و آمار بارش و دمای ایستگاه‌های هواشناسی منطقه و آمار دبی چشمه گلین به عنوان داده‌های اصلی تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. از نرم افزار GIS به عنوان ابزار اصلی تحقیق در پردازش نهایی و ترسیم نقشه آسیب پذیری استفاده گردید. همچنین از نرم افزارهای ENVI 4.3 و Corel x5 برای تفصیر بصری و همچنین آماده سازی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نیم‌رخ‌ها استفاده شد.

جدول ۱: نحوه محاسبه شاخص COP (Vías et al., 2010)



بحث و یافته‌های تحقیق

تعیین نوع سیستم کارستی آبخوان گلین

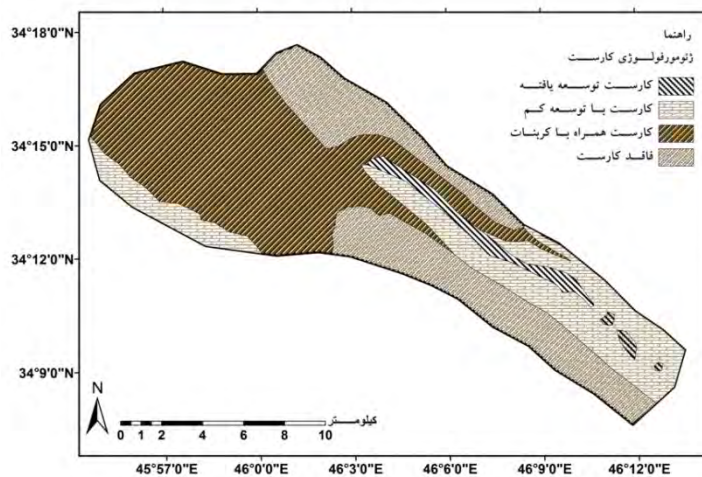
جدول (۲) نحوه محاسبه و همچنین میزان بدست آمده پارامترهای ژئوهیدرولوژی چشمه گلین را نشان می‌دهد. براساس مقادیر بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که چشمه گلین دارای سیستم افشان می‌باشد. در چشمه‌های با سامانه کارست افشان مجراهای کارستی به خوبی به هم متصل نیستند و بنابراین آب‌های زیرزمینی نیاز به زمان بیشتری برای جابجایی در آبخوان دارند. ضریب α چشمه گلین ملایم و ۰/۰۰۲ می‌باشد که حاکی از افشان بودن سیستم آبخوان می‌باشد. حجم ذخیره دینامیکی چشمه بالا و حاکی از توسعه یافتگی کمتر کارست منطقه می‌باشد و جابه جایی آب در آبخوان به علت کم توسعه بودن مجاری کارستی به کندی صورت می‌گیرد. زمان مرگ چشمه گلین نشان دهنده تأثیرپذیری کم این چشمه نسبت به نوسانات بارشی می‌باشد و در صورت قطع باران ۳۶۱ روز طول می‌کشد تا چشمه خشک گردد و این امر نیز ناشی از توسعه کم مجاری کارستی می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کارست آبخوان کم توسعه یافته می‌باشد و این یک عامل کاهنده در میزان نفوذ و سرعت نفوذ آلاینده‌ها می‌باشد و میزان آسیب پذیری آبخوان کارستی گلین را پایین می‌آورد.

جدول ۲: پارامترهای ژئوهیدرولوژیکی چشمه گلین

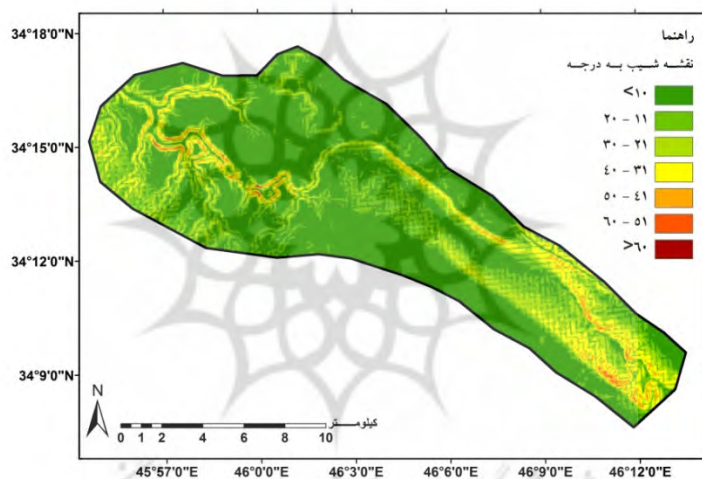
پارامتر	فرمول	پارامتر	چشمه گلین
ضریب α		Q_0 ، دبی اولیه بر روی منحنی تاريسمان Q_t دبی ثانویه که در نقطه‌ای به فاصله زمانی t t ، مدت زمان بین دبی اولیه و ثانویه برحسب روز	۰/۰۰۲
حجم ذخیره دینامیکی	$[V=(Q_0 * 86400)/\alpha]$	V حجم ذخیره دینامیکی مخزن در فرود آب‌نگار Q_0 دبی اولیه بر روی منحنی تاريسمان	۳۷۳۲۴۸۰۰ متر مکعب
زمان مرگ چشمه	$t = \frac{t \cdot \log e}{\log Q_0 / Q_t}$	t مدت زمان بین دبی اولیه و دبی ثانویه Q_0 دبی اولیه بر روی منحنی تاريسمان Q_t دبی ثانویه که در نقطه‌ای به فاصله زمانی t	۳۶۱ روز

محاسبه شاخص C

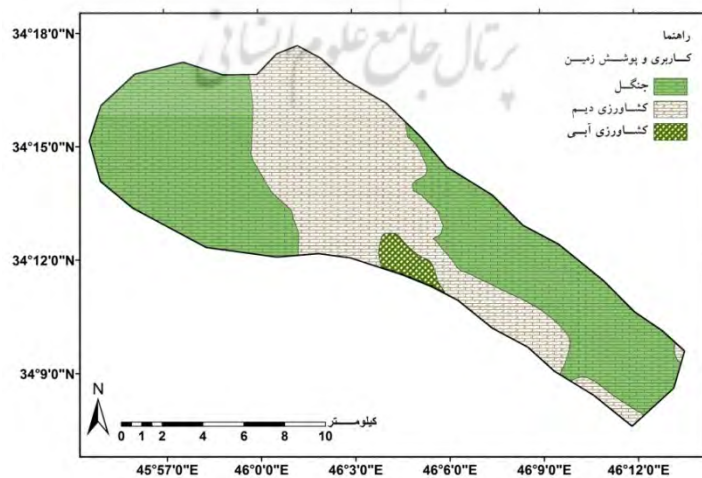
به منظور محاسبه شاخص C منطقه از سناریو ۲ جدول (۱) استفاده گردید. ابتدا (sf) بر اساس ویژگی‌های ژئومورفولوژی کارست منطقه و شاخص (sv) بر اساس نقشه شیب و پوشش گیاهی منطقه محاسبه شد. هر چه کارست تکامل یافته تر باشد، نفوذ بیشتر و سریع‌تر انجام می‌گیرد و در نتیجه آلودگی بیشتر و سریع‌تر به آبخوان کارستی منتقل می‌شود. برای اختصاص امتیاز به عامل (sf) از تحلیل ژئومورفولوژی کارست منطقه با استفاده از بازدهی‌های میدانی استفاده گردیده است. ارتفاعات منطقه دارای کارست تحول یافته و لندفرم‌هایی همچون فروچاله‌ها و پهنه‌های هموار کارستی و سوراخ‌های بلع می‌باشند. قسمت‌های میانی تاقدیس که از سازندهای آهکی تشکیل شده دارای کارست با تحول کم می‌باشند. قسمت‌های کم ارتفاع تر با شیب توپوگرافی بیشتر و دارای سازندهای آهکی جزء مناطق همراه با کربنات بوده و در محل رخنمون سازندهای مارنی و نهشته‌های کواترنری و مورفولوژی کارست شکل نگرفته است (شکل ۳). منطقه به علت کوهستانی بودن دارای شیب زیاد است که نواحی پرشیب منطبق بر دامنه تاقدیس و نواحی کم شیب تر در سطح دشت‌ها، زمین‌های هموار کارستی رأس تاقدیس پی کلاً قرار دارند (شکل ۴). از نظر پوشش گیاهی ارتفاعات منطقه دارای پوشش جنگلی، قسمت‌های کوهپایه دارای پوشش مرتعی می‌باشند و سطح دشت دارای کاربری کشاورزی می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۳: نقشه کارست منطقه



شکل ۴: نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



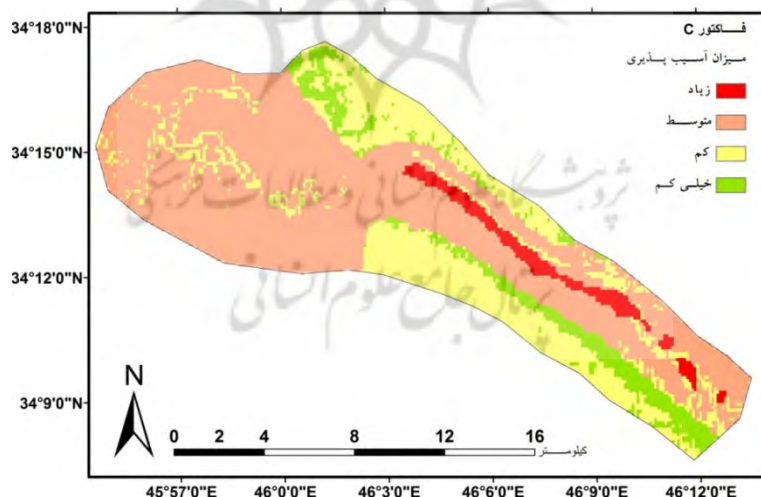
شکل ۵: نقشه پوشش گیاهی منطقه

شکل (۶) نقشه پهنه بندی عامل C را نشان می‌دهد. امتیاز نهایی این عامل بین 0.2 تا 0.9 می‌باشد و جدول (۳) مساحت و درصد مساحت هر کدام از طبقه‌های آسیب پذیری را نشان می‌دهد. در این نقشه پهنه با خطر زیاد در

قسمت‌های مرتفع منطقه منطبق بر سازند آهک آسماری که دارای کارست تحول یافته، شیب متوسط و پوشش گیاهی متراکم تا نیمه متراکم می‌باشند، واقع شده است. پهنه با خطر متوسط بر سازند آسماری و مناطق دارای کارست کم توسعه یافته و کارست کربنات با پوشش گیاهی نیمه متراکم و شیب متوسط تا زیاد منطبق است. پهنه‌های با خطر کم نیز، منطبق بر نهشته‌های کواترنری (پادگانه و مخروط افکنه) می‌باشد، که تحت کاربری زمین‌های کشاورزی و فاقد ژئومورفولوژی کارست بوده و دارای شیب پایین هستند. مناطق با خطر خیلی کم منطبق بر سازند مارنی گچساران که دارای شیب نسبتاً زیاد و پوشش مرتعی می‌باشند و در بعضی مناطق نیز منطبق بر نهشته‌های کواترنری بوده که شیب این مناطق کم و تحت کاربری زمین‌های کشاورزی می‌باشند. در نقشه عامل C به ترتیب ژئومورفولوژی کارست، شیب و پوشش گیاهی بیشترین تأثیر را در میزان عامل C دارا می‌باشند. ۶۵٪ منطقه دارای آسیب پذیری زیاد و متوسط می‌باشند و تنها ۸٪ درصد منطقه دارای خطر آسیب پذیری خیلی کم می‌باشد که این امر حاکی از آسیب پذیر بودن منطقه از نظر گسترش آلودگی در منابع آب کارست می‌باشد.

جدول (۳): مساحت طبقات خطر پذیری فاکتور C

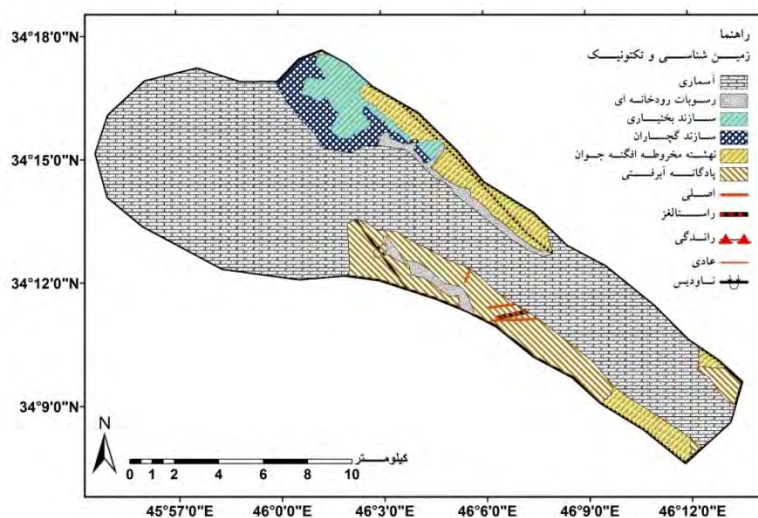
شاخص C	آسیب پذیری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
۰/۲-۰/۴	زیاد	۷/۹۲	۳/۹۲٪
۰/۴-۰/۶	متوسط	۱۲۱/۸۹	۶۱/۳٪
۰/۶-۰/۸	کم	۵۳/۳۷	۲۶/۶۲٪
۰/۸-۰/۹	خیلی کم	۱۶/۸۲	۸/۳۴٪



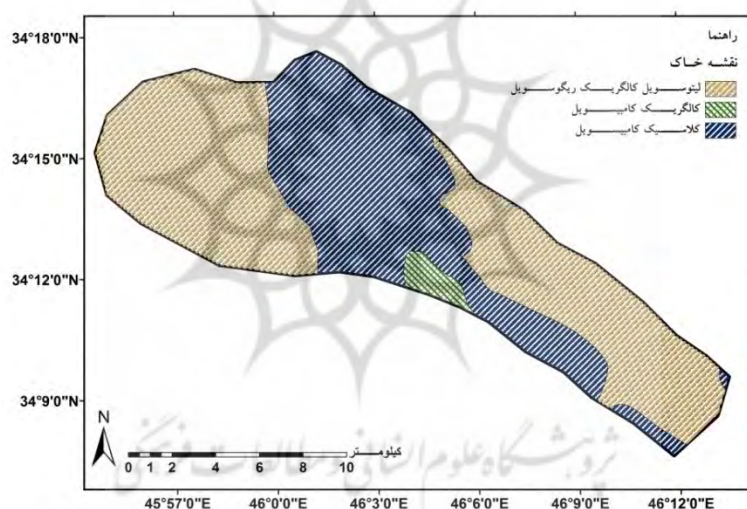
شکل ۶: نقشه پهنه بندی فاکتور C

محاسبه شاخص O

عامل O براساس ویژگی‌های خاک از جمله ضخامت، تخلخل، نفوذپذیری خاک و ضخامت و جنس لایه‌های لیتولوژی محاسبه می‌گردد. سازند گچساران از مارن و بین لایه‌های نازک آهک تشکیل شده است. سازند آسماری و آسماری - شهبازان از آهک تشکیل شده است و سازند بختیاری شامل یک گنگلومرای توده ای همراه با قلوه‌های کربناتی با گرد شدگی خوب و جور شدگی ضعیف است. پادگانه‌ها و مخروط افکنه های قدیمی و جدید از آبرفت‌های دانه درشت تا متوسط با درصد زیادی از ماسه و گراول تشکیل شده‌اند. برای اختصاص امتیاز به عامل O از نقشه‌های زمین شناسی و خاک منطقه استفاده گردید (شکل ۷ و ۸).



شکل ۷: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

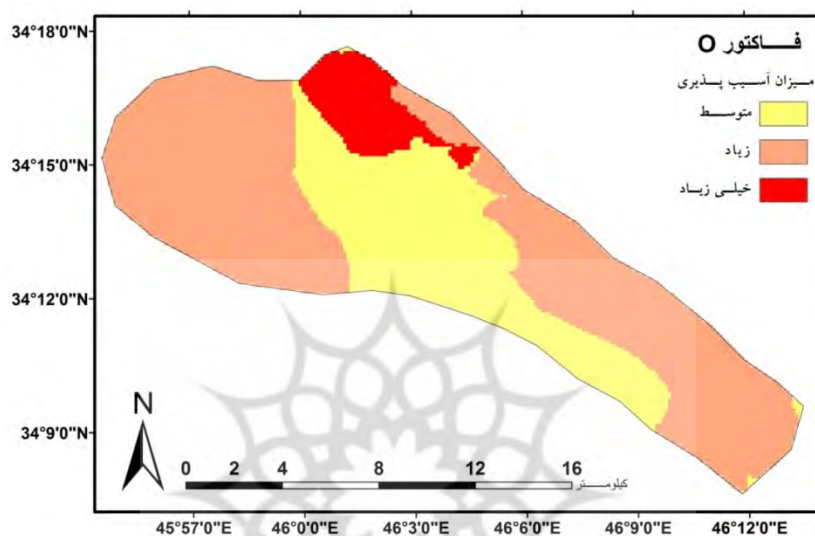


شکل ۸: نقشه خاک منطقه مورد مطالعه

شکل (۹) نقشه پهنه بندی عامل O و جدول (۴) مساحت و درصد مساحت هر کدام از طبقه‌های آسیب پذیری را نشان می‌دهد. امتیاز نهایی این عامل بین ۲ تا ۱۰/۵ می‌باشد. مناطقی که در پهنه آسیب پذیری بسیار زیاد واقع شده‌اند. در قلمرو سازندهای بختیاری و گچساران و بیشتر دارای خاک کلاسیک کامبیسول با ضخامت کمتر از ۰/۵ بوده و ۳۱٪ مساحت منطقه را شامل می‌شود. پهنه با خطر زیاد منطبق بر مناطق مرتفع بوده و بیشترین مساحت منطقه (۶۱٪) را به خود اختصاص داده و این مناطق از سازند آسماری و آسماری-شهبازان پوشیده شده‌اند و بیشتر دارای خاک لیتوسول کالگریک ریگوسول تشکیل شده‌اند. منطقه با خطر آسیب پذیری متوسط منطبق بر سطح دشت و پوشیده از نهشته‌های کواترنری و سازند آهک آسماری می‌باشد. در نقشه عامل O به ترتیب ضخامت سازندها، جنس سازندها و خاک نقش بیشتری را دارا می‌باشند. کل منطقه در پهنه با آسیب پذیری خیلی زیاد و زیاد می‌باشد که به دلیل گسترش سازندهای آهکی و نهشته‌های کواترنری می‌باشد.

جدول (۴): مساحت طبقات خطر پذیری فاکتور O

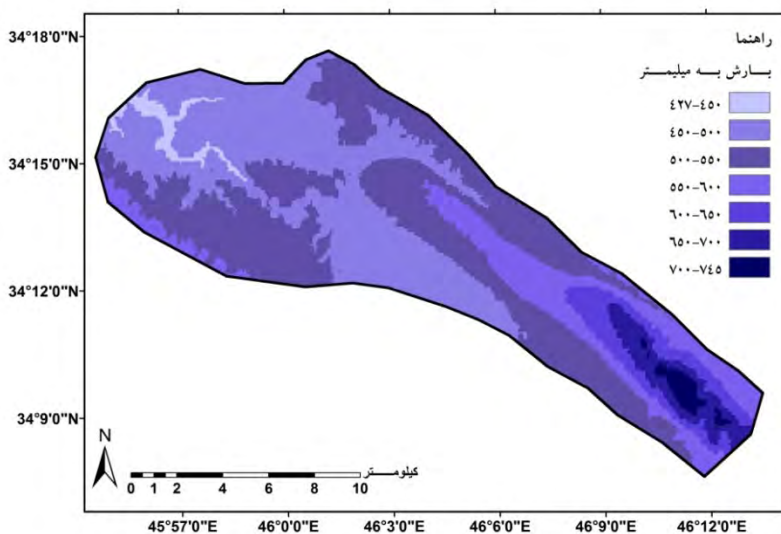
شاخص O	آسیب پذیری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
۸-۱۰/۵	خیلی زیاد	۶۳/۰۳	٪۳۱/۲۶
۴-۸	زیاد	۱۲۱/۹۵	٪۶۱/۱۴
۲-۴	متوسط	۱۴/۲۹	٪۷/۵۸



شکل ۹: نقشه پهنه بندی عامل O

محاسبه شاخص P

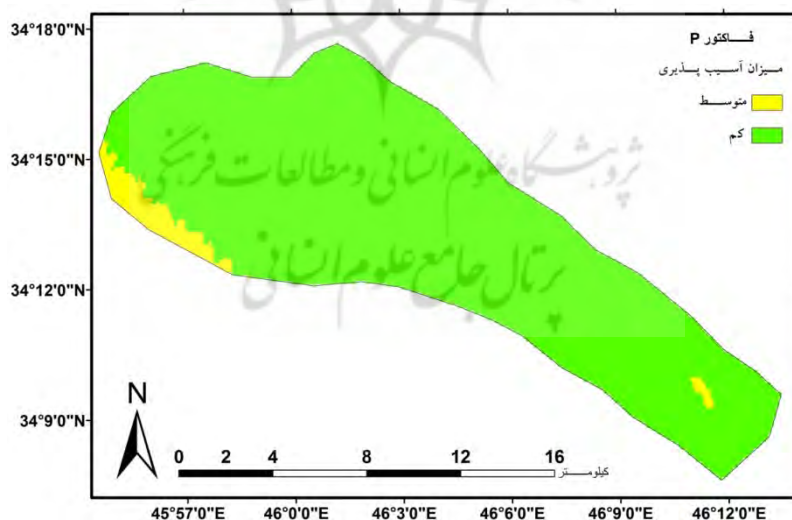
میانگین بارش منطقه بین ۴۲۷ تا ۷۴۵ میلی‌متر است. در قسمت‌های کم ارتفاع منطقه بارش کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر و در نواحی مرتفع و بخصوص نواحی کوهستانی بارش افزایش یافته و به حدود ۷۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد (شکل ۱۰). میانگین تعداد روزهای بارشی منطقه ۶۸ روز در سال می‌باشد. شکل (۱۱) نقشه پهنه بندی عامل P و جدول (۵) مساحت و درصد مساحت هر کدام از طبقه‌های آسیب پذیری را نشان می‌دهد. امتیاز نهایی این عامل بین ۰.۷ تا ۰.۹ می‌باشد و پهنه با آسیب پذیری کم بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است و تنها در قسمت مرتفع منطقه، پهنه با خطر متوسط وجود دارد.



شکل ۱۰: نقشه بارش سالانه منطقه بر حسب میلی متر

جدول (۴): مساحت طبقات خطر پذیری فاکتور P

شاخص P	آسیب پذیری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
۰/۹	کم	۱۸۵/۳۶	٪۹۳/۰۱
۰/۷	متوسط	۱۳/۴۴	٪۶/۹۹



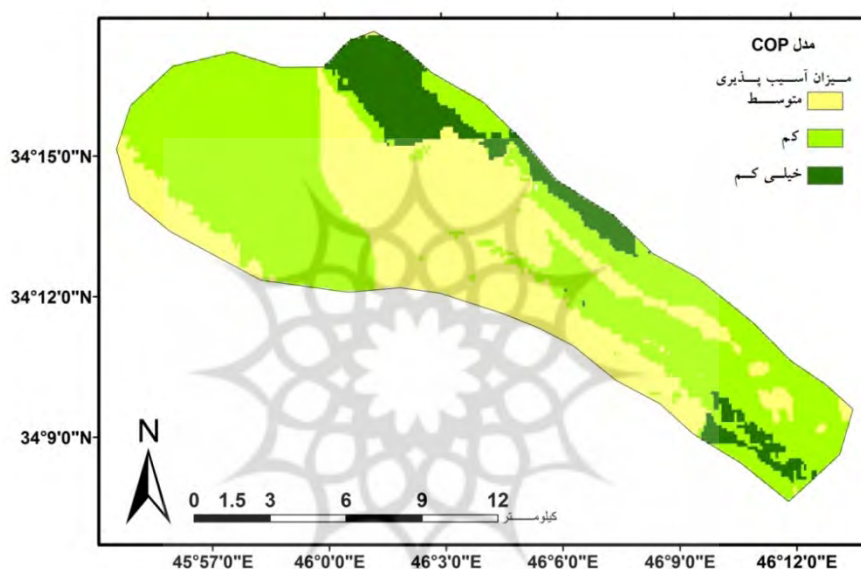
شکل ۱۱: نقشه پهنه بندی عامل P

محاسبه مدل COP

بعد از محاسبه سه فاکتور C، O، P و تهیه نقشه آسیب پذیری آن‌ها، با استفاده از مدل COP و با کمک از تابع Raster Calculate این لایه‌ها در یکدیگر ضرب شده و نقشه نهایی خطر پذیری (vulnerability) منطقه محاسبه شده است (شکل ۱۲). میزان آسیب پذیری منطقه بین ۱ تا ۶/۱۲ بدست آمد که در نهایت به سه طبقه خیلی کم، کم و متوسط طبقه بندی گردیدند. جدول (۶) مساحت و درصد مساحت هر یک از طبقات سه گانه را در منطقه نشان می‌دهد.

جدول (۵): مساحت طبقات خطر پذیری

شاخص COP	آسیب پذیری	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
۴-۶/۱۲	خیلی کم	۲۴/۵۵	٪۱۲/۲۲
۴-۲	کم	۹۶/۶۰	٪۴۸/۳۲
۲-۱	متوسط	۷۸/۸۵	٪۳۹/۴۶



شکل ۱۲: نقشه خطر پذیری منطقه بر اساس مدل COP

نتیجه گیری

با استفاده از شاخص‌های ژئوهیدرولوژیکی مشخص گردید که آبخوان گلین از نوع سیستم افشان می‌باشد. از ویژگی‌های این سیستم توسعه کم مجاری کارست می‌باشد. در سیستم افشان میزان نفوذ پذیری و سرعت نفوذ کم بوده، بنابراین آسیب پذیری کمتری در مقابل انتشار آلودگی نسبت به سیستم توسعه یافته کارست مجرای را دارا می‌باشد. به منظور ارزیابی و تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان کارستی گلین از مدل COP متشکل از سه پارامتر C، O، P استفاده گردید. بعد از امتیاز دهی به عوامل سه گانه و تبدیل آن‌ها به لایه‌های رس‌تری، با استفاده از تابع Raster Calculate این لایه‌ها در یکدیگر ضرب شده و میزان شاخص COP بین ۱ تا ۶/۱۲ محاسبه و آسیب پذیری به سه طبقه خیلی کم، کم و متوسط، طبقه بندی گردید. توزیع فضایی کلاس‌های آسیب پذیری نقشه نهایی نشان می‌دهد که ٪۱۲/۲۲ مساحت منطقه در پهنه خیلی کم و ٪۴۸/۳۲ مساحت منطقه در پهنه کم و ٪۳۹/۴۶ مساحت منطقه در طبقه متوسط واقع شده است. پهنه آسیب پذیری کم با مساحت ۹۶/۶۰ کیلومتر مربع بیشترین مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. این پهنه هم در دامنه‌های تاقدیس پی کلاً گسترده شده است و از لحاظ لیتولوژی بیشتر سازندهای آهکی آسماری و آسماری-شهبازان منطقه را در بر گرفته و بیشتر دارای خاکهای لیتوسویل کالگریک ریگوسویل می‌باشند. پوششی گیاهی منطقه جنگلی بوده و نواحی مرتفع در این قسمت دارای شیب زیاد می‌باشند. ژئومورفولوژی کارست این مناطق کارست با توسعه کم و کارست کربنات می‌باشد. بارش این پهنه ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلیمتر می‌باشد. طبقه متوسط با مساحت ۷۸/۸۵

کیلومتر مربع در ارتفاعات منطقه و سطح دشت منطبق می‌باشد. در ارتفاعات منطقه با آسیب پذیری متوسط منطبق بر کارست تحول یافته و کارست همراه با کربنات و در بعضی قسمت‌ها نیز فاقد ژئومورفولوژی کارست در سازند آسماری و آسماری - شهبازان و منطبق بر کاربری اراضی کشاورزی، خاک کلاسیک کامبیسویل و در بعضی قسمت‌ها نیز لیتوسول کالگریک ریگوسویل، شیب کمتر از ۱۰ درجه و بارش کمتر از ۶۰۰ میلیمتری می‌باشد. مساحت پهنه با آسیب پذیری خیلی کم نیز ۲۴/۵۵ کیلومتر مربع است که در نواحی تپه ماهوری منطقه منطبق بر سازند گچساران و بختیاری و در بعضی قسمت‌ها نیز سازندهای کواترنری دیده می‌شود. این پهنه فاقد ژئومورفولوژی کارست بوده و پوشش گیاهی این پهنه مرتعی و یا کشاورزی دیم می‌باشد. شیب این نواحی کمتر از ۲۰ درجه و دارای بارش کمتر از ۵۵۰ میلیمتر می‌باشد. در پهنه با آسیب پذیری خیلی کم به ترتیب نقش عوامل C، O و P، در طبقه با آسیب پذیری کم و متوسط به ترتیب نقش عوامل P، C و O بیشتر بوده است. بطور کلی در کل منطقه به ترتیب P، C و O بیشترین نقش را در میزان آسیب پذیری منطقه دارا می‌باشند. بررسی نقشه آسیب پذیری بدست آمده نشان می‌دهد که عامل C به علت وسعت کم پهنه کارست تکامل یافته، وسعت زیاد مناطق غیر کارست، شیب زیاد منطقه، نقش اصلی را در کم بودن میزان آسیب پذیری منطقه دارا می‌باشد. از طرفی دیگر، بارش منطقه به نسبت کم بوده و این عامل میزان نفوذ آلودگی را کاهش داده و در نتیجه میزان آسیب پذیری را کاهش می‌دهد. نقشه عامل O حاکی از آسیب پذیری زیاد تا خیلی زیاد منطقه می‌باشد که نشان دهنده گسترش سازندهای نفوذ پذیر آهکی، ماسه ای - گراولی در منطقه می‌باشد. میزان آسیب پذیری بالای عامل O توسط دو عامل دیگر تعدیل گردیده و در مجموع منطقه دارای آسیب پذیری کم تا متوسط می‌باشد. در نهایت می‌توان گفت که مدل COP دارای کارایی مطلوبی در ارزیابی آسیب پذیری آبخوان‌های کارستی می‌باشد.

منابع

۱. باقری، سجاده، ۱۳۸۷، بررسی نقش تکتونیک در شکل گیری و تحول لندفرمهای تاقدیس قلاجه (استان کرمانشاه)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
۲. سازمان آب منطقه ای کرمانشاه و ایلام، داده‌های ایستگاه‌های باران سنجی، سال‌های آماری ۲۰۰۵-۱۹۸۷ میلادی.
۳. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح عکس‌ها هوایی در مقیاس تقریبی ۱:۵۵۰۰۰ سال ۱۳۵۵.
۴. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۲۰۰۲، تصویر ماهواره ای IRS قطعه تحت پوشش منطقه زاگرس
۵. سازمان زمین شناسی کشور، نقشه زمین شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ برگ‌های کوند و قصر شیرین
۶. سازمان هواشناسی کشور، داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک استان کرمانشاه و ایلام، سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۰۵ میلادی.
۷. میرشکرانی، امیرعباس، ۱۳۷۶، مطالعه لیتواستراتیگرافی و زمین شناسی ساختمانی در منطقه امام حسن ویژنان (گیلانغرب)، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
8. Adams, B. and Foster, S.S.D, 1992, Land-surface zoning for groundwater protection. *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*, Vol.6, pp.312-320
9. Afrasiabian, A., 2007, The importance of protection and management of Karst water as drinking water resources in Iran, *Environ Geol*, No.52, pp.673-677.
10. Andreo, B., Goldscheider, N., Vadillo, I., Mar Vias, J., Neukum, C., Sinreich, M., Jimenez, P., Brechenmacher, J., Carrasco, F., Hotzl, H., JesuPerles, M. and Zwahlen, F, 2006, Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de Li'bar (Southern Spain), *Science of the Total Environment*, No.357, pp. 54- 73.
11. Armed Forces Geographical Organization, Photo Shoot with Approximate Scale 1:55000, 1975.
12. Armed Forces Geographical Organization, Satellite Imagery Sensor IRS, 2002, Zagros region.

13. Bakalowicz, M., 1995, *La zone d'infiltration des aquifères karstiques. Méthodes d'étude. Structure et fonctionnement*, Hydrogéologie, No. 4, pp.3–21.
14. Daly, D., Dassargues, A., Drew, D., Dunne, S., Goldscheider, N., Neale, S., et al, 2002, *Main concepts of the European Approach for (karst) groundwater vulnerability assessment and mapping*, HydrogeolJ 2002, No.10, pp.340–355.
15. de Jong, C., Cappy, S. and Funk, D., 2008, *A transdisciplinary analysis of water problems in the mountainous karst areas of Morocco*, Engineering Geology, No. 99, pp.228–238.
16. Dimitriou, E., Karaouzas, I., Sarantakos, K., Zacharias, I., Bogdanos, K., Diapoulis, A., 2008, *Groundwater risk assessment at a heavily industrialised catchment and the impacts on a peri-urban wetland*, Journal of Environmental Management 88, No. 3, pp. 526–538.
17. Ducci, D. 2007. *Intrinsic vulnerability of the Alburni karst system (southern Italy)*. Geological Society, London, Special Publications, 279(1), 137–151.
18. European Commission, 1995, *Hydrogeological Aspects of Groundwater Protection in Karstic Areas*, Report EUR 16547 EN, Brussels, pp.446.
19. Ford, D.C., Williams, P.W., 2007, *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, Wiley Chichester, United Kingdom, pp.562.
20. Geological Survey, *Geological Map Scale 1:100000 Kerend, and GhasreShirin*, 2007
21. Gondwe, B., Alonso, G., Gottwein, G., 2011, *The influence of conceptual model uncertainty on management decisions for a groundwater-dependent ecosystem in karst*, Journal of Hydrology, No.400, pp.24–40.
22. Kattaa, B., Al-Fares, W., Al Charideh, A., 2010, *Groundwater vulnerability assessment for the Banyas Catchment of the Syrian coastal area using GIS and the RISKE method*, Journal of Environmental Management, No.91, pp.1103–1110.
23. Kiros, M., Zhou, Y., 2006, *GIS-based vulnerability assessment and mapping for the protection of the Dire Dawa groundwater basin, Ethiopia*, 34th Congress of international association of hydrogeologists, Beijing, P.R. China.
24. Krause, S., Heathwaite, A. L., Miller, F., Hulme, P., & Crowe, A. (2007). *Groundwater-dependent wetlands in the UK and Ireland: controls, functioning and assessing the likelihood of damage from human activities*. Water resources management, 21(12), 2015–2025.
25. Leyland, R., 2008, *Vulnerability mapping in karst terrains, exemplified in the wider Cradle of Humankind World Heritage Site*, Master thesis.
26. Mir Shokraei, Amir Abbas, 1996, *Litostratigraphy study and structural geology at Emam Hasan Vizhan region (Gilangharb)*, Ms.c thesis, university of Tehran.
27. Mudarra, M., Andreo, B., 2011, *Relative importance of the saturated and the unsaturated zones in the hydrogeological functioning of karst aquifers, The case of Alta Cadena (Southern Spain)*, Journal of Hydrology, No. 397, pp. 263–280.
28. Münch, Z., Conrad, J., 2007, *Remote sensing and GIS based determination of groundwater dependent ecosystems in the Western Cape, South Africa*, Hydrogeol. J. 15, pp19–28.
29. Plan, L., Decker, K., Faber, R., Wagreich, M., Grasmann, B., 2008, *Karst morphology and groundwater vulnerability of high alpine karst plateaus*, Environmental Geology.
30. Ravbar, N., 2007, *The Protection of Karst Waters, a Comprehensive Slovene Approach to Vulnerability and Contamination Risk Mapping*, ZRC Publishing Ljubljana, pp. 254
31. Vias, J., Andreo, B., Ravbar, N., Hötzl, H., 2010, *Mapping the vulnerability of groundwater to the contamination of four carbonate aquifers in Europe*, Journal of Environmental Management, No. 91, pp. 1500–1510.
32. White, W.B., 1988, *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. Oxford Univ, Press, New York, pp. 464.