

ارزیابی کارایی و آنالیز حساسیت روش COP مبتنی بر تکنیک RS و GIS در تعیین آسیب پذیری آبخوان کارستی دشت الشتر لرستان

حسین یوسفی^{۱*}، علی حقی زاده^۲، یزدان یاراحمدی^۱ و پروین نورمحمدی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۲۳)

چکیده

آلودگی آبخوان‌های کشور یکی از چالش‌های اصلی سازمان‌ها و ادارات دولتی درگیر در امور تولید و توزیع آب در بین شهروندان است. به منظور شناخت پتانسیل آلودگی آبخوان، ابتدا باید قابلیت آسیب‌پذیری آن در نواحی مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد و نواحی مستعد آلودگی شناسایی شوند. آبخوان‌های کربناته به واسطه حفره‌های بلعنده و تغذیه نقطه‌ای نسبت به آلودگی آسیب‌پذیرترند. آبخوان‌های کارستی (کربناته) یا آبخوان‌هایی که بخشی از آنها کارستی است، در مناطق غربی ایران با توجه به شرایط طبیعی منطقه و فعالیت‌های انسانی مستعد این آلودگی هستند. هدف از این پژوهش تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی دشت الشتر با کاربرد روش COP است. این مدل با استفاده از سه پارامتر لایه پوشاننده (O)، غلظت جریان (C) و رژیم بارش (P) به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان در برابر آلودگی در محیط نرم‌افزار GIS می‌پردازد. با توجه به نتایج آنالیز حساسیت مشخص شد که در این روش فاکتور P با توجه به بارش مناسب منطقه بیشترین تأثیر را در تعیین آسیب‌پذیری منطقه دارد و فاکتور C کمترین تأثیر را در آسیب‌پذیری منطقه با توجه به وسعت کم پهنه کارست تکامل یافته و وسعت زیاد منطقه غیر کارستی دارا است. برای صحت‌سنجی نتایج از داده‌های هدایت الکتریکی در برابر دبی چند چاه در منطقه با آسیب‌پذیری زیاد و متوسط و مقایسه آنها با هم استفاده شد. نتایج به دست آمده بیانگر این است که قسمت غالب دشت با مساحت ۸۷/۷ کیلومتر مربع از نظر آسیب‌پذیری در طبقه متوسط قرار دارد و سایر طبقات به ترتیب شامل کم با مساحت ۶۹/۱۸ کیلومتر مربع، زیاد با مساحت ۰/۶۵ کیلومتر مربع در قسمتی از شمال شرقی دشت و خیلی کم با مساحت ۰/۶ کیلومتر مربع است.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، روش COP، GIS، آبخوان کارستی دشت الشتر

۱. گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Hosseinyousefi@ut.ac.ir

مقدمه

آسیب‌پذیری آبخوان شیمبا به روش COP با استفاده از GIS و سنجش از دور پرداختند. اسدی و همکاران (۱)، با به‌کارگیری دو روش COP و Paprika نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان بقیع خراسان رضوی را تهیه کردند. دومار (۹) نقشه آسیب‌پذیری را با روش‌های COP و EPIK به‌دست آوردند، همچنین روش COP توسط دیمتریو و همکاران (۸) در یونان، لی‌لند (۱۳) در آفریقای جنوبی، پلن و همکاران (۱۶) در استرالیا، دیوسی (۱۰) در ایتالیا، روبر (۱۷) در اسلونی به‌کار گرفته شده است. هدف از این پژوهش، به‌کارگیری مدل COP با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان یک روش مؤثر در تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی دشت الشتر است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

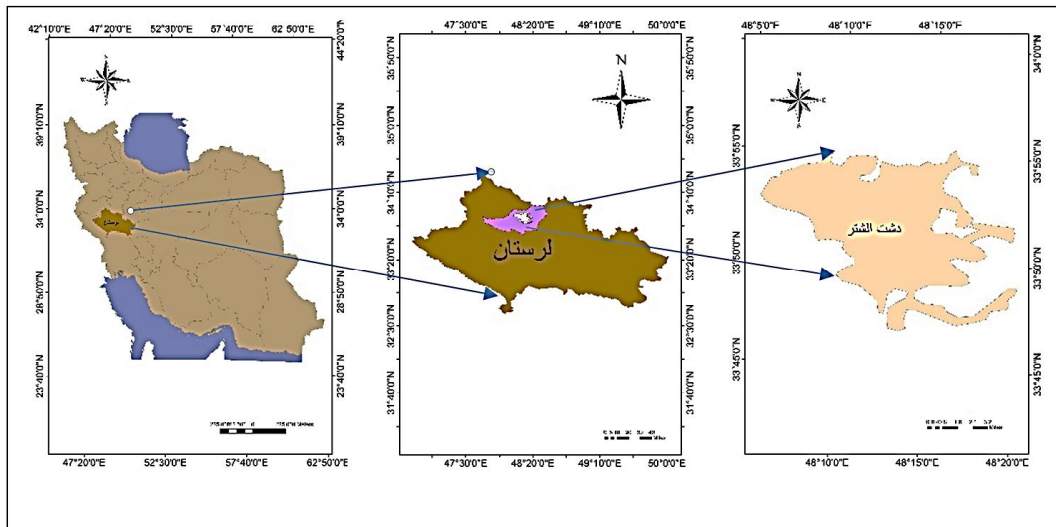
محدوده مطالعاتی الشتر یکی از محدوده‌های شمالی استان لرستان است که از اقلیم نسبتاً سرد و بارش مناسبی برخوردار است. این محدوده به‌لحاظ وجود ارتفاعات آهکی، بارش برف و باران و آبرفت مناسب دارای منابع آب زیرزمینی قابل توجه، چشمه‌ها و رودخانه‌های دائمی است که از سرشاخه‌های رودخانه کرخه محسوب می‌شوند. موقعیت جغرافیایی آن بین ۳۳ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۴ درجه و صفر دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه طول جغرافیایی شرقی است. با توجه به آمار ایستگاه‌های بارندگی منطقه و اطراف و رابطه ارتفاع-بارندگی و خطوط هم‌باران منطقه، مقدار متوسط بارش در ارتفاعات و دشت الشتر به ترتیب ۶۴۵/۷ و ۵۱۵/۷ میلی‌متر است (۳). در شکل (۱) نیز می‌توان موقعیت دشت الشتر را در شهرستان، استان و ایران مشاهده کرد.

ویژگی‌های ژئومورفولوژی محدوده مطالعاتی الشتر

محدوده مطالعاتی الشتر به فرم یک گرابن است که با ارتفاعات نسبتاً بلند گرین، ورخاش، مه‌اب، سرخه، داریکنان و نشاته

امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها به درون سیستم آب زیرزمینی را آسیب‌پذیری می‌نامند. آسیب‌پذیری به‌عنوان یک استعداد ذاتی سیستم آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود که وابسته به‌میزان حساسیت این سیستم به تأثیرات انسانی و یا طبیعی است. وربا و همکاران (۱۹) بیان کردند یکی از روش‌هایی که کمک مؤثری به مدیریت آب‌های زیرزمینی می‌کند، تهیه نقشه‌هایی است که در آنها مناطق آسیب‌پذیر یا حساس نسبت به آلودگی مشخص است، بدین ترتیب می‌توان مناطق مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد و معیاری واحد جهت ارزیابی در اختیار داشت.

ناصری و همکاران (۱۵) بیان کردند سفره‌های آب کارست نسبت به آلودگی حساسیت زیادی دارند، زیرا زمان جابه‌جایی سریع و ظرفیت ذخیره‌سازی در سیستم مجرای کم است، در نتیجه دخالت فرایندهای طبیعی مانند جذب و تخریب و فیلتراسیون تأثیر کمتری دارند. مودارا و همکاران (۱۴) نشان دادند تحقیقات جغرافیایی در آلودگی آب‌های زیرزمینی بر دو موضوع فاصله آلودگی و منابع آلاینده توجه دارد. بر همین اساس کمیسیون اروپا، رویکرد COST ۶۲۰ را به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری و تهیه نقشه خطر منابع آب کارست ارائه کرده است. روش COP توسط COST ۶۲۰ توسعه داده شد و در دو آبخوان کارستی در جنوب اسپانیا با ویژگی‌های مختلف آب‌وهوایی و هیدرولوژیکی آزمایش و توسعه داده شد. در مدل COP از سه عامل به‌منظور تعیین میزان آسیب‌پذیری استفاده می‌شود که شامل (C) غلظت جریان، (O) لایه پوشاننده و بارش (P) است. تهیه نقشه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی یک رویکرد علمی برای حفظ منابع آب زیرزمینی است که برای اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ مطرح شد، نتایج آدامز و همکاران (۵) نشان داد این رویکرد به‌طور قابل‌توجهی در طول دهه گذشته به‌علت پیشرفت در مدل هیدرولوژیکی و GIS مورد توجه قرار گرفته است، سیف و همکاران (۳) به‌منظور ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی گلین کرمانشاه از مدل COP استفاده کردند. باقرزاده و همکاران (۲)، به پهنه‌بندی



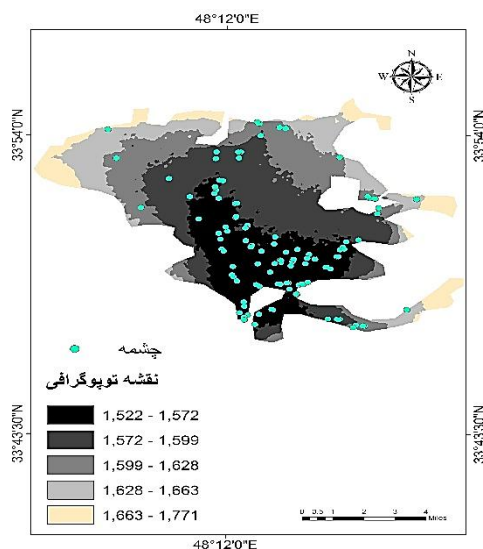
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

در نهایت در صورت مناسب بودن شرایط، به ایجاد غارهای وسیع منتهی می‌شود. به‌طور کلی از نظر تکامل مرفولوژیکی منطقه نسبتاً جوان است و رشته کوه‌های بلند اکثراً از طبقات آهکی کرتاسه تشکیل شده است. در محدوده مورد مطالعه، به علت قرارگیری در ناحیه رورانده زاگرس، تحمل فشارهای تکتونیکی و گسل‌های زیاد کاملاً خرد شده هستند و از طرفی دیگر به دلیل عملکرد فرایندهای کارست زائی از نفوذپذیری بسیار خوبی برخوردار هستند و در نتیجه آبخوان کارستی بسیار مطلوبی را خصوصاً در واحد نابرجای شرق، جنوب شرق و شمال محدوده ایجاد کرده است. وجود سرآب‌ها در سرچشمه رودخانه کهمان (آب الشتر) و دیگر چشمه‌های کارستی منطقه نظیر سرآب چنار، سرآب زز، سرآب هنام، سرآب کهمان و غیره، خود دلیل کارستی بودن طبقات آهکی منطقه است (۴). در شکل (۲) پراکندگی چشمه‌های دشت در نقشه توپوگرافی نشان داده شده است.

روش COP

در روش COP آسیب‌پذیری به‌عنوان برابری از سه عامل O، C و P مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. عامل (O) بررسی حفاظت از مناطق غیر اشباع آبخوان در برابر رخداد یک عامل آلاینده است

احاطه شده است. تشکیلات زمین‌شناسی این منطقه متعلق به دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک است. سنگ‌های آهکی ژوراسیک-کرتاسه بخش عمده منطقه را پوشانده است و به‌عنوان مهم‌ترین واحدهای تغذیه شونده (منابع آب کارستیک) محسوب می‌شوند. با توجه به اینکه کوه‌های منطقه عمدتاً از سنگ‌های رسوبی و بیشتر از نوع آهکی هستند، اشکال خاص نواحی کارستیک را می‌توان به وفور در حوضه مشاهده کرد. وجود بریدگی ناشی از عمل تخریب شبکه آب‌های جاری در یال‌ها که شباهت بسیار همسانی با دره‌های عرضی دارند و وجود لایه حک شده بر سنگ‌های آهکی، چاه‌های انحلالی، تنگ و شکاف انحلالی و دیگر اشکال مرفولوژیک کارستی، همگی نشان‌دهنده این اشکال در سطح منطقه هستند. با بررسی‌های به‌عمل آمده در سازندهای سخت منطقه به‌خصوص سازندهای کربناته، علاوه بر ترکیب شیمیایی، جنس، تراکم، لایه‌بندی، شرایط رسوب‌گذاری و نظایر آن از نظر تکتونیکی، عواملی مثل فعالیت‌های کوه‌زایی گسل‌ها و زلزله، بیشترین و مهم‌ترین نقش را در ایجاد کارست و توسعه آن دارند، این عوامل باعث ایجاد شکستگی و درز و شکاف شده است که نفوذ آب‌های دارای گاز کربنیک در آنها، باعث انحلال و ایجاد حفره‌ها می‌شود که به تدریج گسترش یافته و



شکل ۲. موقعیت چشمه‌های دشت الشتر در طبقات ارتفاعی

زیاد (۵/۰ - ۱)، متوسط (۱ - ۲)، کم (۲ - ۴) و خیلی کم (۴ - ۱۵) تقسیم می‌شود.

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری در محیط GIS انجام شده است. در این تحقیق از منابع اطلاعاتی گوناگونی از جمله نقشه DEM منطقه به منظور تهیه نقشه شیب، نقشه خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، (به ترتیب در شکل ۴)، آمار بارندگی و همچنین آمار دبی و هدایت الکتریکی چشمه‌های دشت الشتر جهت صحت‌سنجی نقشه نهایی استفاده شد.

تهیه لایه‌های روش COP

لایه تمرکز جریان عامل (C)

عامل (C) نمایانگر مقداری از بارندگی است که در حفرات فرورونده، متمرکز شده و از ناحیه غیراشباع میان‌بر می‌شود. همان‌طور که در شکل (۳) آمده است، تمرکز جریان برای مناطق کارستی در قالب دو سناریو تعریف شده است که با توجه به خصوصیات هیدروژئومورفولوژیکی و ژئومورفولوژی و همچنین زمین‌شناسی ساختمانی منطقه، یکی یا هر دو سناریو انتخاب و اجرا می‌شود. برای منطقه مورد مطالعه، سناریو دو جهت ارزیابی عامل (c) انتخاب شد. براساس این سناریو، نیاز به تهیه دو نقشه زیر عامل‌های عوارض سطحی (sf) و

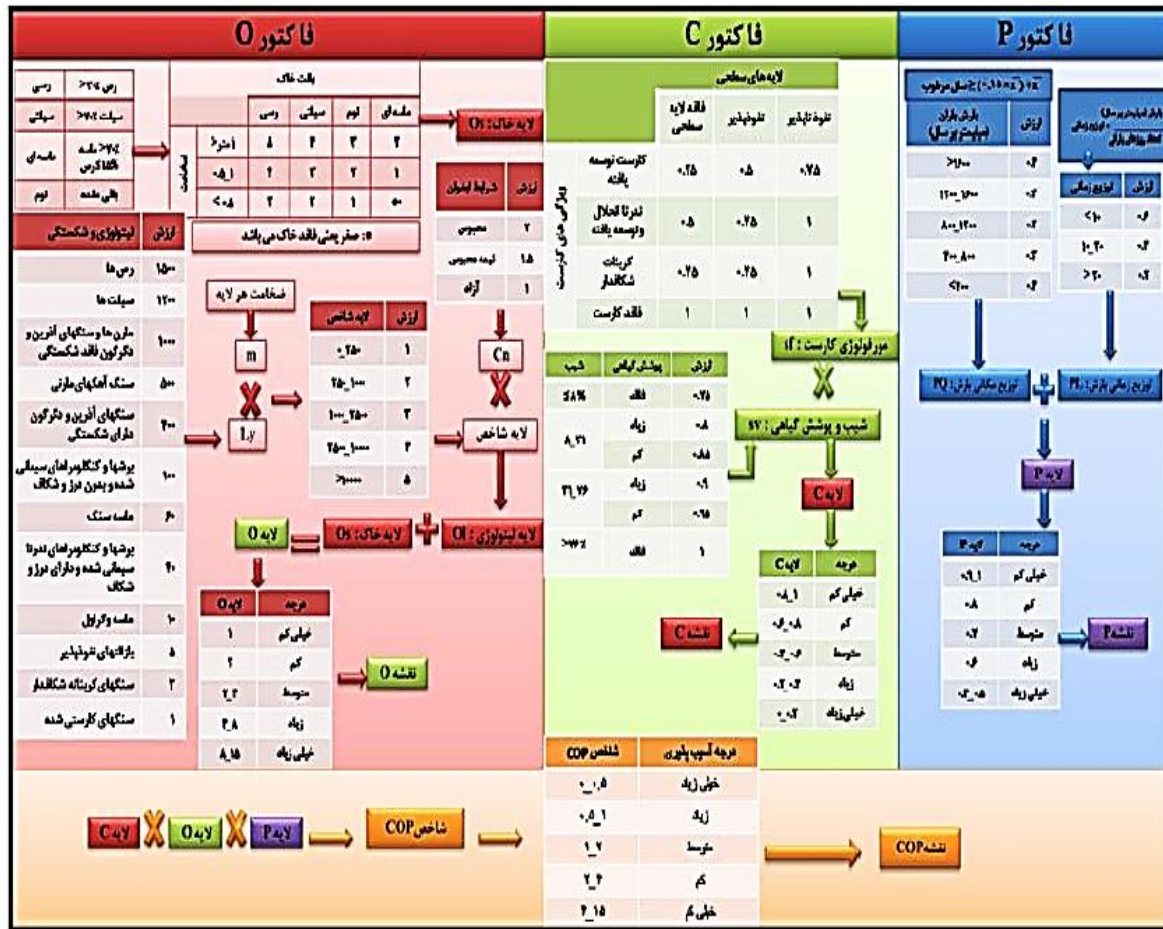
و عوامل P و C برای تصحیح درجه حفاظت (عامل O) استفاده می‌شوند (۶). در این روش (O) لایه پوشاننده، (C) غلظت جریان و (P) رژیم بارش است. عامل O شرح حفاظت آب‌های زیرزمینی توسط لایه‌های بالاتر از منطقه اشباع شده است. عامل C براساس ژئومورفولوژی کارست، پوشش گیاهی و شیب توپوگرافی محاسبه می‌شود. شکل (۳) چگونگی 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. هرکدام از این عامل‌ها خود به زیرعامل‌هایی تقسیم می‌شوند که دارای چند کلاس با رتبه‌های اختصاصی هستند. هرکدام از عامل‌ها و زیرعامل‌هایشان در محیط GIS تهیه می‌شوند.

در نهایت نقشه‌های هر عامل براساس معادله (۱) همپوشانی شوند تا نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی به روش COP حاصل شود:

$$COP\ Index = C \cdot O \cdot P \quad [1]$$

در این رابطه C: تمرکز جریان، O: لایه پوششی و P: بارش است.

شاخص آسیب‌پذیری برای روش COP، بین صفر تا ۱۵ متغیر است و به پنج کلاس آسیب‌پذیری خیلی زیاد (۰ - ۵/۰)،



شکل ۳. نحوه محاسبه فاکتورهای به کار رفته در روش COP (Vias et al., ۲۰۰۶)

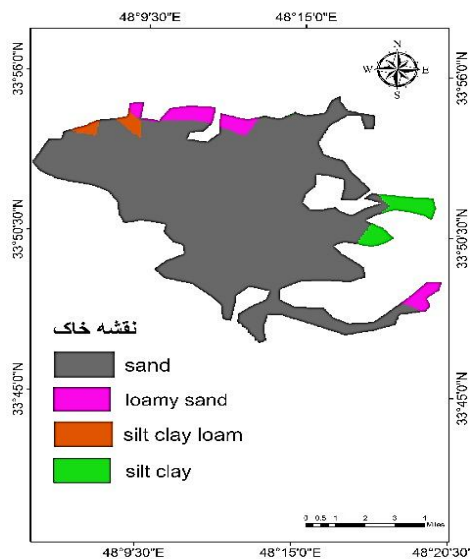
با توجه به شکل (۵)، نواحی که با رنگ توسی و قرمز مشخص شده‌اند، نشان‌دهنده تأثیر بیشتر عامل (C) هستند و به این معنی است که حفاظت آبخوان کارستی کمتر می‌شود که با توجه به نقشه زمین‌شناسی این نواحی منطبق با مناطق با سازند آهکی و کارستی است و برعکس نواحی که با رنگ زرد و آبی مشخص شده‌اند، نشان‌دهنده تأثیر کمتر عامل (C) هستند و در نتیجه حفاظت آبخوان کارستی بیشتر می‌شود.

لایه‌های پوششی (عامل O)

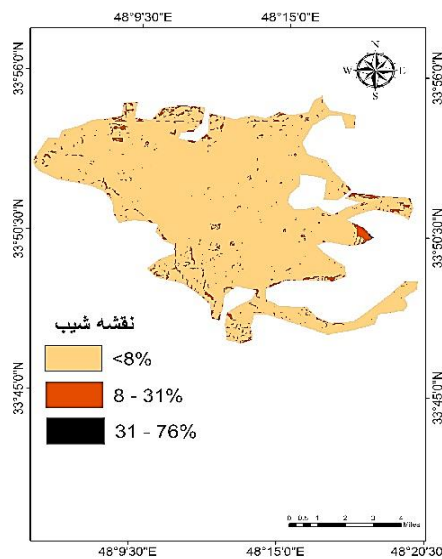
لایه‌های پوششی حفاظت آبخوان را مدنظر قرار می‌دهد که به وسیله خصوصیات فیزیکی و ضخامت لایه‌های بالای منطقه غیراشباع مشخص می‌شود. در روش COP فقط دو لایه با نقش هیدروژئولوژیکی مهم به منظور ارزیابی عامل (O) در نظر گرفته

شیب - پوشش گیاهی (sv) است تا نقشه نهایی عامل C تهیه شود. عوارض سطحی (sf): پارامتر عوارض سطحی آن دسته از اشکال ژئومورفولوژیکی مختص به سنگ‌های کربناته و حضور یا فقدان هرگونه لایه پوشاننده‌ای (نفوذپذیر یا نفوذناپذیر) که تعیین‌کننده اهمیت فرایندهای رواناب و یا نفوذ است را در نظر می‌گیرد.

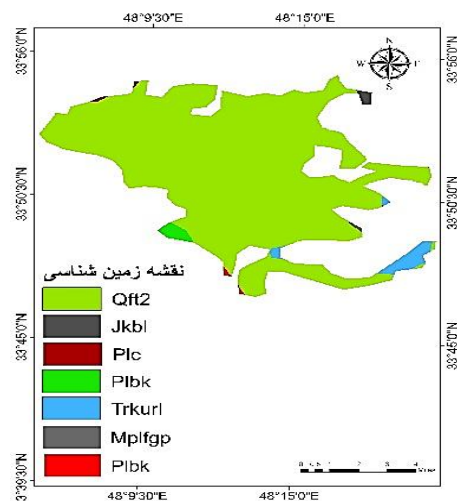
الف- شیب - پوشش گیاهی: برای تهیه نقشه شیب - پوشش گیاهی ابتدا نقشه شیب منطقه تهیه شد. نقشه پوشش گیاهی نیز مطابق با معیارهای شکل (۳)، تهیه شد. سپس برای تهیه نقشه شیب - پوشش گیاهی، دو نقشه شیب و نقشه پوشش گیاهی باهم ترکیب و ارزش‌گذاری شدند. در نهایت نقشه‌های عوارض سطحی و شیب - پوشش گیاهی همپوشانی و کلاس‌بندی شدند و نقشه تمرکز جریان حاصل شد (شکل ۵).



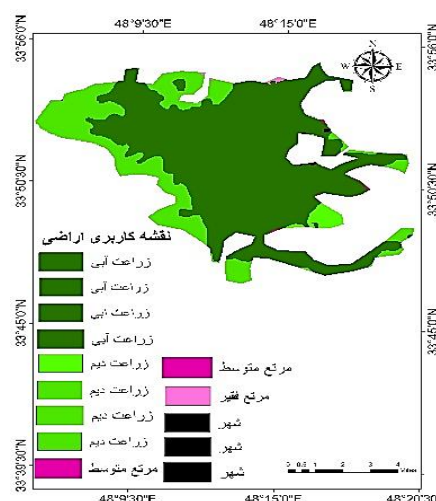
(ب)



(الف)



(د)

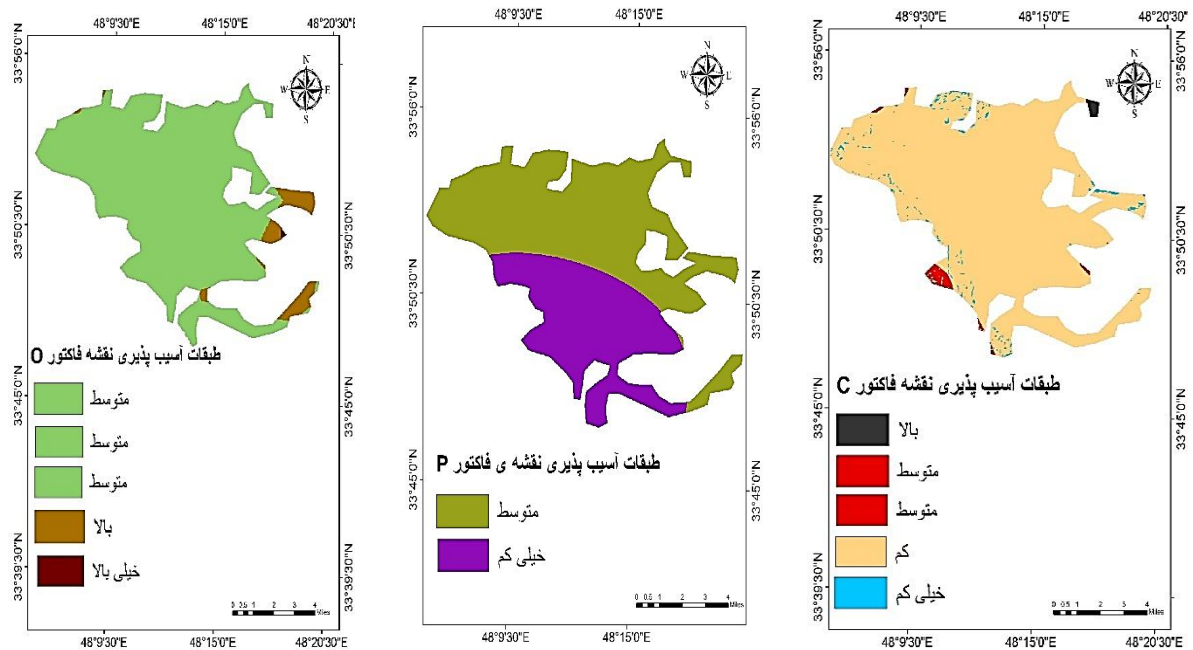


(ج)

شکل ۴. الف) نقشه خاک، ب) نقشه شیب، ج) نقشه کاربری اراضی و د) نقشه زمین شناسی دشت الشتر

شد. روش کلی تعیین لایه‌های هر پارامتر و وزن‌های اختصاصی در شکل (۳) بیان شده است. توضیح و تهیه جدول برای تهیه هر لایه و پارامتر سبب طولانی شدن مقاله می‌شود. در نهایت نقشه‌های خاک و لیتولوژی همپوشانی و کلاس بندی شدند و نقشه لایه‌های پوششی حاصل شد (شکل ۵). همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، قسمت‌های با رنگ قهوه‌ای روشن و تیره حفاظت زیادی در برابر آسیب‌پذیری آبخوان ایجاد می‌کند.

می‌شود که شامل خاک (OS) و لیتولوژی لایه‌های ناحیه غیراشباع (OL) است. با توجه به شکل (۳) لایه‌های مورد نظر تهیه شد. همچنین رتبه پارامتر cn برای منطقه مورد مطالعه با توجه به آزاد بودن آبخوان آن برابر با یک است. طبق شکل (۳)، لایه OS با توجه به نقشه خاک و لایه ol با توجه به سازندهای زمین‌شناسی منطقه و با در نظر گرفتن نوع آبخوان منطقه که آزاد است، وزن‌دهی و تهیه شدند. از ترکیب این دو لایه، پارامتر (O) تهیه



شکل ۵. الف) نقشه تمرکز جریان (عامل C)، ب) نقشه لایه بارش (عامل P) و ج) نقشه آسیب پذیری نقشه فاکتور (O)

شد و بعد از تهیه بانک اطلاعاتی در محیط اکسل، به فرمت قابل قبول در محیط GIS تبدیل شد و سپس با درون‌یابی و طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری، نقشه توزیع زمانی بارش تهیه شد. توزیع زمانی بارش برای کل منطقه مورد مطالعه در رده کمتر از ۱۰ و ۲۰ - ۱۰ میلی‌متر بر روز (که به ترتیب دارای ارزش ۰/۶ و ۰/۴) قرار می‌گیرد.

$$PI = \frac{P}{N} \quad [2]$$

در این رابطه P: میانگین بارش سالانه (میلی‌متر بر سال) و N: تعداد روزهای بارانی است. در نهایت نقشه‌های مقدار بارش و توزیع زمانی بارش هم‌پوشانی شدند و نقشه بارش حاصل شد (شکل ۵).

نتایج و بحث

نقشه آسیب‌پذیری COP دشت الشتر

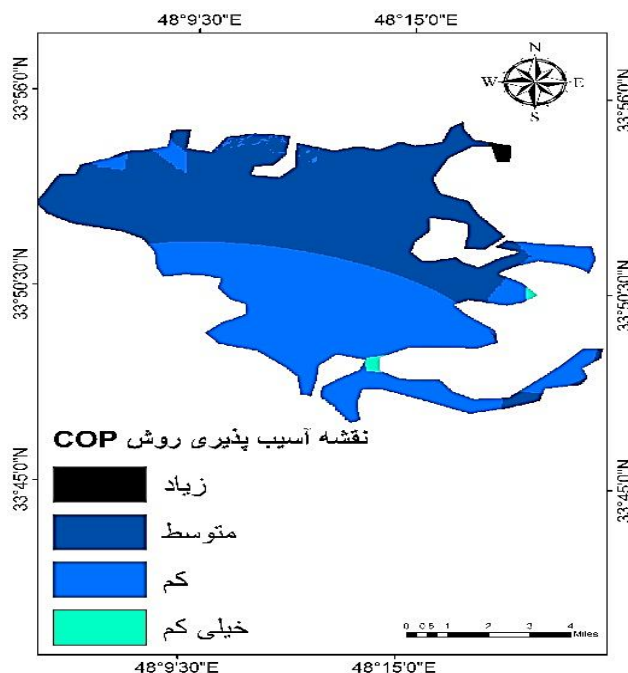
جهت محاسبه اندیس نهایی COP از معادله (۱) استفاده شد که این اندیس برای منطقه بین ۰/۷ تا ۵ است و به چهار کلاس آسیب‌پذیری زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم می‌شود.

لایه بارش (P)

بر طبق نظر دیلی و همکاران (۷) عامل P، شامل مقدار بارش و عامل‌هایی که نرخ نفوذ را افزایش می‌دهند مانند تناوب، توزیع زمانی، مدت و شدت بارش‌های سیل‌آسا است. این عامل‌ها به تعیین توانایی بارش برای حمل آلاینده‌ها از سطح به آب زیرزمینی کمک می‌کنند. عامل P به وسیله دو زیر عامل مقدار بارش (PQ) و توزیع زمانی بارش (PI) ارزیابی می‌شود.

مقدار بارش: بدین منظور اقدام به تهیه نقشه سطوح هم‌بارش جهت محاسبه مقدار بارش منطقه مورد مطالعه شد. به این صورت که میانگین بارش سالانه برای سال‌های ۹۰-۱۳۸۹ تا ۹۳-۱۳۹۲ محاسبه و به روش IDW، نقشه هم‌بارش تهیه و سپس طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری شد و نقشه PQ تهیه شد. مقدار بارش برای منطقه مورد مطالعه در رده ۸۰۰ - ۴۰۰ میلی‌متر بر سال قرار دارد که دارای ارزش ۰/۳ است.

توزیع زمانی بارش: عامل PI، توزیع زمانی بارش را در یک دوره زمانی معین در نظر می‌گیرد و از این‌رو نمایانگر شدت بارش است. به منظور تهیه نقشه توزیع زمانی بارش، توزیع زمانی بارش، برای هر ایستگاه باران‌سنجی براساس معادله (۲) محاسبه



شکل ۶. نقشه آسیب پذیری آبخوان کارستی دشت الشتر به روش COP

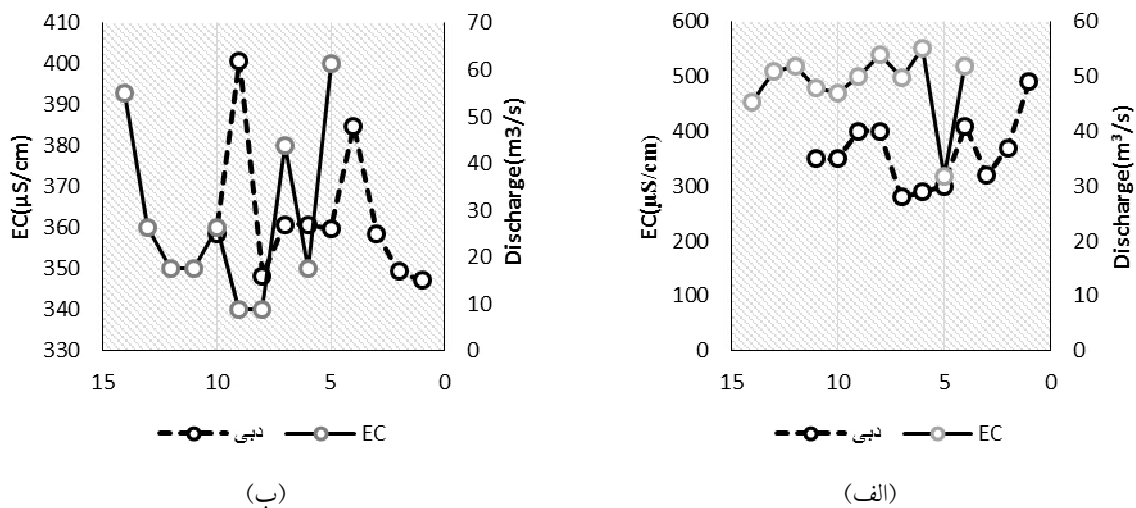
همکاران (۱۱) بیان کردند که زمان عبور آب از سطح به زیرزمین در آبخوان‌های کارستی، در نتیجه توسعه زهکشی کارستی کوتاه می‌شود، بنابراین حوضه آبریز چشمه چشمه‌برقی دارای زهکشی توسعه یافته است و در نتیجه آلودگی‌ها بدون فرایند رقیق‌سازی طبیعی وارد آبخوان می‌شوند و در نتیجه احتمال آلوده شدن حوضه آبریز این چشمه زیاد است، اما تغییرات دبی در برابر هدایت الکتریکی در چشمه سیاهپوش به صورت تدریجی است و هیچ افت و خیز خاصی ندارد (شکل ۷). در نتیجه، روشن می‌شود که حوضه آبریز این چشمه از زهکشی توسعه یافته‌ای برخوردار نیست، بنابراین موارد بالا نتایج حاصله را تأیید می‌کند. تعیین توسعه کارست زیرسطحی پیچیده است و تنها با میزان آبدهی چشمه که ممکن است برگرفته از عوامل مختلفی باشد، قابل تعیین نیست.

نتایج آنالیز حساسیت (به روش حذف نقشه)

تحلیل حساسیت حذف نقشه، حساسیت نقشه آسیب‌پذیری را با حذف یک یا تعداد بیشتری از نقشه‌ها نشان می‌دهد. حساسیت حذف نقشه با استفاده از معادله (۳) محاسبه می‌شود.

شکل (۶) نقشه آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه به روش COP را نشان می‌دهد.

برای صحت‌سنجی نتایج روش COP از داده‌های هدایت الکتریکی در برابر دبی، چشمه‌های سیاهپوش و چشمه برقی در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۰ استفاده شد، روش غالب صحت‌سنجی در مقالاتی که در این حیطه کار کرده‌اند، این روش صحت‌سنجی است. از آنجایی که هدایت الکتریکی در هر سال یک یا دو بار اندازه‌گیری و ثبت شده بود، در مقابل EC ثبت شده در هر ماه از هر سالی دبی ثبت شده در همان زمان را نیز از داده‌ها استخراج کرده و مورد مقایسه قرار دادیم. چشمه چشمه‌برقی در محدوده‌ای از آبخوان دشت الشتر قرار دارد که طبق نتایج دارای آسیب‌پذیری متوسط است و چشمه سیاهپوش در منطقه با آلودگی خیلی کم قرار دارد. همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، افزایش دبی در چشمه چشمه‌برقی با کاهش EC همراه است که این نشان‌دهنده پاسخ سریع هیدرودینامیکی چشمه مذکور به تغذیه است، زیرا اختلاط آب سطحی با آب زیرزمینی، در فاصله زمانی کوتاه، باعث می‌شود میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی کاهش یابد. خمینز و



شکل ۷. به ترتیب نمودار هدایت الکتریکی در برابر دبی چشمه الف) چشمه برقی و ب) سیاهپوش

جدول ۱. نتایج آماری تحلیل حساسیت حذف تک نقشه در دشت الشتر

پارامتر حذف شده	میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف معیار
C	۳۹۷/۶	۹۷۰	۳۷۰	۷۰/۷۷
O	۷۵۵۱/۴	۸۵۹۰	۳۸۲۰	۳۳۹/۰۴
P	۷۷۹۴/۶	۹۱۵۰	۴۰۵۰	۳۳۹/۵۰

نتیجه گیری

روش COP از جدیدترین روش‌هایی است که جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی با هر سیستم جریان، ابداع شده است. تلفیق این روش با فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی باعث شده است تا با صرف وقت و هزینه کمتر به نتایج مطلوبی دست بیابیم. به منظور ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت الشتر از مدل COP متشکل از سه پارامتر C، O، P استفاده شد. بعد از امتیازدهی به عوامل سه گانه، با استفاده از تابع Raster Calculate، این لایه‌ها در یکدیگر ضرب شده و میزان شاخص COP بین ۰/۷ تا ۵ محاسبه و آسیب‌پذیری به چهار طبقه زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی شد، که طبقات از نظر مساحت به ترتیب شامل: متوسط با مساحت ۸۷/۷ کیلومتر مربع، کم با مساحت ۶۹/۱۸ کیلومتر مربع، زیاد با مساحت ۰/۶۵ کیلومتر مربع و خیلی کم با مساحت ۰/۶ کیلومتر مربع است. بیشترین پهنه

$$S = \frac{D - D'}{D} \frac{N - n}{n} \quad [3]$$

در این رابطه، S میزان حساسیت را نشان می‌دهد، D و D' به ترتیب شاخص‌های آسیب‌پذیری بدون حذف نقشه یا با حذف نقشه هستند. N و n تعداد لایه‌های مورد استفاده در محاسبه D و D' هستند. با حذف تک‌تک پارامترهای مدل، میزان حساسیت نقشه نسبت به هر پارامتر به دست آمد. نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که در روش COP، بیشترین تغییر در شاخص آسیب‌پذیری با حذف فاکتور P (عامل بارش)، با میانگین تغییرات ۷۷۹۴/۶ اتفاق می‌افتد و فاکتور C کمترین تأثیر را در شاخص آسیب‌پذیری منطقه با توجه به وسعت کم پهنه کارست تکامل یافته و وسعت زیاد منطقه غیر کارستی دارا است. نتایج آماری، حساسیت حذف نقشه در جدول (۱) نشان داده شده است.

در میزان آسیب‌پذیری داراست که در مناطق با پهنه کم کارست تکامل یافته این امر طبیعی به نظر می‌رسد. نقشه عامل (O) حاکی از آسیب‌پذیری متوسط، زیاد تا خیلی زیاد منطقه است که نشان‌دهنده گسترش سازندهای نفوذپذیر آهکی، ماسه‌ای - گراولی در منطقه است. در این راستا اقدامات مدیریتی نظیر تعیین حریم نواحی کارستی تکامل یافته دارای سیستم زهکشی برای جلوگیری از ورود عوامل آلاینده و همچنین ایجاد سازه‌های تغذیه مصنوعی با آب باران، در نواحی مذکور پیشنهاد می‌شود.

مربوط به طبقه متوسط و سپس کم است که طبق نقشه زمین‌شناسی منطبق با سازند آبرفتی (Qft2) هستند و طبقه زیاد که مساحت کمی در قسمت شمال شرقی دشت را به خود اختصاص داده است منطبق بر سازند آهکی ژوراسیک - کرتاسه که یک منبع کارستی است، است. بررسی نقشه آسیب‌پذیری به دست آمده نشان می‌دهد که عامل (C) به علت وسعت کم پهنه کارست تکامل یافته، وسعت زیاد مناطق غیر کارست، نقش اصلی را در کم بودن میزان آسیب‌پذیری منطقه دارا است. فاکتور (P) بیشترین نقش را

منابع مورد استفاده

- اسدی، م. ن. بقایای نژاد، ش. غلامپور و ع. بهشتی قله زو. ۱۳۹۴. تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان بقیع خراسان رضوی به دو روش cop و Paprika با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS. *مجله مهندسی منابع آب* ۸(۲۵): ۳۰-۲۳.
- باقرزاده، س.، ن. کلانتری، م. مرادزاده، م. رحیمی، م. فاضلی و م. کشاورزی. ۱۳۸۹. جدیدترین روش پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی با استفاده از تکنیک‌های GIS و سنجش‌ازدور: روش COP (مطالعه موردی آبخوان کارستی شیمبا)، همایش ملی ژئوماتیک، تهران.
- سیف، ع.، م. جعفری اقدم و ع. جهانفر. ۱۳۹۳. ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی گلین، استان کرمانشاه با استفاده از مدل COP. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی* ۳(۳): ۶۵-۷۹.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای لرستان. ۱۳۹۱، گزارش توجیهی تخصیص منابع آب محدوده مطالعاتی الشتر. لرستان.
- Adams, B. and S. S. D. Foster. 1992. Land-surface zoning for groundwater protection. *Journal of the Institution of Water and Environmental Management* 6: 312-3.
- Andreo, B., N. Goldscheider, I. Vadillo, J. Mar Vias, C. Neukum, M. Sinreich, P. Jimenez, J. Brechenmacher, F. Carrasco, H. Hotzl, M. JesuPerles and F. Zwhalen. 2006. Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de L'ibar (Southern Spain), *Science of the Total Environment* 357: 54-73.
- Daly, D., A. Dassargues, D. Drew, S. Dunne, N. Goldscheider, S. Neale, C. Popescu and F. Zwhalen. 2002. Main concepts of the "European Approach" for (karst) groundwater vulnerability assessment and mapping. *Hydrogeology Journal* 10(2): 340-345
- Dimitriou, E., I. Karaouzas, K. Sarantakos, I. Zacharias, K. Bogdanos and A. Diapoulis. 2008. Groundwater risk assessment at a heavily industrialised catchment and the impacts on a peri-urban wetland, *Journal of Environmental Management* 88(3): 526-538.
- Doummar, J., A. Margane, T. Geyer and M. Sauter. 2012. Vulnerability Mapping Using the COP and EPIK Methods, Republic of Lebanon Council for Development and Reconstruction CDR Beirut, FEDERAL Republic of Germany Federal Institute for Geosciences and Natural Resources BGR Hannover.
- Ducci, D. 2007. Intrinsic vulnerability of the Alburni karst system (southern Italy). *Geological Society of London* 279(1): 137-151.
- Jimenez, P., B. Andreo and F. Carrasco. 2004. Análisis de la descarga del sector nororiental de la Unidad Hidrogeológica de L'ibar (Provincias de Málaga y Cádiz, Sur de España) [Analysis of the discharge in the NE sector of Sierra de Libar hydrogeological unit (Provinces of Malaga and Cadiz, S Spain). In: Proceeding of the Portuguese-Spanish Congress on Groundwater in the South of Iberian Peninsula], Faro, Portugal. PP: 106-117.
- Kattaa, B., W. Al-Fares and A. Al Charideh. 2010. Groundwater vulnerability assessment for the Banyas Catchment of the Syrian coastal area using GIS and the RISKE method, *Journal of Environmental Management* 91: 1103-1110.
- Leyland, R. 2008. Vulnerability mapping in karst terrains, exemplified in the wider cradle of humankind world

- heritage site, MSc. Thesis. Scientia (Environmental and Engineering Geology) in the Department of Geology, Faculty of Natural and Agricultural Sciences, University of Pretoria, South Africa.
14. Mudarra, M. and B. Andreo. 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* 397: 263–280.
 15. Nasseery, H. R. and F. Saremi Nejad. 2012. Comparing vulnerability delineation of aquifer using DRASTIC and fuzzy logic methods (case study: Gulgir plain of Masjed Solieman, Iran), *In: Proceeding of the GIS Ostrava 2012 Conference*. Czech Republic.
 16. Plan, L., K. Decker, R. Faber, M. Wagreich and B. Grasmann. 2009. Karst morphology and groundwater vulnerability of high alpine karst plateaus, *Environmental Geology* 58(2): 285–297.
 17. Ravbar, N. 2007. The Protection of Karst Waters, a Comprehensive Slovene Approach to Vulnerability and Contamination Risk Mapping, ZRC Publishing Ljubljana.
 18. Vias, J. M., B. Andreo, M. J. Perles, F. Carrasco, I. Vadillo and P. Jimenez. 2006. Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the cop method: application in two pilot sites in southern Spain, *Hydrology Journal* 14(6): 1-14
 19. Vrba, J. and A. Zaporozec. 1994. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. International Association of Hydrogeologists, Verlag, Heinz Heise.

Evaluation and Sensitivity Analysis of COP Method Based on the RS and GIS Techniques to Determine Aquifer Vulnerability of Aleshtar Karst Plain in Lorestan Province

H. Yousefi^{1*}, A. Haghizadeh², Y. Yarahmadi¹ and P. Normohammadi²

(Received: February 7-2017 ; Accepted: November 14-2017)

Abstract

To determine the potential for groundwater contamination, vulnerability should be evaluated in different areas susceptible to contamination should be investigated. Aquifer (carbonate) karst or part of it is karst aquifer in the western region of Iran; due to the natural conditions of the region and human activities, they are susceptible to contamination by carbonate aquifer through holes devourer and feeding point leading to pollution. The aim of this study was to analyze aquifer vulnerability zoning map karst plain elster by using COP. This model uses three parameters including lining (O) the concentra flow(C) and precipitation regime (P) to assess the vulnerability of groundwater against pollution GIS software. The results showed that the plain with an area 7.8 km² was dominated in terms of vulnerability, being in the middle class. Other classes, respectively, were low with the area 18.69 km², high with the area 0.65 km² as part of the northeast plain, and much less with the area of 0.6 km². The results of the sensitivity analysis also showed that at the factorization (P) due to appropriate rainfall area, the maximum impact was in determining the vulnerability of the area. And the factor (C) minimum has impact on determining the vulnerability of the area. Due to the small size of the mature karst area, the wide extent of non-karst region was shown for the verification of results related to electrical conductivity data (EC) against discharge wells in the region with the high vulnerability and moderate. A comparison was made too.

Keywords: Vulnerability, COP method, GIS, Aleshtar karst Aquifer

-
1. Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran.
 2. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Lorestan, Khoram Abad, Iran.

*: Corresponding Author, Email: Hosseinyousefi@ut.ac.ir