مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷
ص ۴۵۵-۴۳۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۵
تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۳/۰۹

پهنه‌بندی حفاظتی آبخوان کارستی تنگهٔ کنارهٔ یاسوج با روش COP

❖ **محسن فرزین*؛** استادیار دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج

❖ **سعیده منبری؛** دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشگاه یزد

چکیده

منابع آب کارستی از مهمترین منابع تأمین کننده آب مورد نیاز مردم جهان است که ۲۵-۲۰ درصد از جمعیت جهان به آنها وابسته‌اند؛ این منابع تحت فشار فزاینده‌ای قرار دارند و به دلیل ماهیت تغذیه نقطه‌ای به مدیریت ویژه‌ای نیاز دارند. در این پژوهش، با تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی تنگهٔ کنارهٔ یاسوج با استفاده از روش COP، ضمن تبیین زون‌های حفاظتی، محدودیت‌های پیشنهادی نیز ارائه گردید. در ابتدا اطلاعات و نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی مربوط به منطقه مورد نظر جمع‌آوری و برای انتقال به محیط GIS رقومی شدند. برای تهیه داده‌ها، نقشه‌ها و اطلاعات مورد نیاز در رابطه با وضعیت کارست‌شدگی، خاک و پوشش گیاهی چند نوبت بازدید و پیمایش میدانی به عمل آمد. سپس، تمامی عملیات و محاسبات ریاضی برای تهیه نقشه عوامل و زیرعامل‌های مدنظر در روش COP شامل عامل لایه‌های پوششی (O)، عامل تمرکز جریان (C) و عامل بارش (P) در محیط GIS انجام گردید. نتایج نشان داد که مقدار آسیب‌پذیری آبخوان کارستی منطقه بین ۰/۶ تا ۴/۲ می‌باشد که نشان‌دهنده دامنه آسیب‌پذیری خیلی کم تا زیاد است به طوری که سطح طبقه با آسیب‌پذیری زیاد، ۱/۶ درصد از سطح محدوده مورد مطالعه است که بر روی سازند دورهٔ کواترنر و مساحت محدوده با طبقه آسیب‌پذیری متوسط ۷۷/۱ درصد است که عمدتا بر روی سازند آسماری، قرار گرفته است؛ همچنین بیشترین مساحت طبقه با آسیب‌پذیری کم با سطح ۲۱/۲ درصدی، بر روی سازندهای پابده، گورپی و رازک واقع شده است. در نهایت، سه محدوده حفاظتی I، II و III به ترتیب برای نواحی با درجه آسیب‌پذیری زیاد، متوسط و کم و خیلی کم در نظر گرفته شد که در قالب نقشه حفاظتی همراه با محدودیت‌های ویژه هر زون، ارائه گردید. به طور کلی می‌توان مهمترین عوامل موثر بر حساسیت را به ترتیب اهمیت، مقدار بارش، تمرکز جریان و لایه‌های پوششی دانست.

کلید واژگان: آبخوان کارستی، آسیب‌پذیری کارست، پهنه‌بندی حفاظتی، تنگهٔ کنارهٔ یاسوج

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۹۸۹۱۷۳۴۱۶۷۹۱+
Email: m.farzin@yu.ac.ir

۱. مقدمه

بیش از ۲ میلیارد نفر در سراسر جهان برای مصرف روزانه آب خود به آب زیرزمینی وابسته هستند [۱۲]. در بسیاری از نواحی، آب زیرزمینی مهمترین و مطمئن‌ترین منابع آب شرب به حساب می‌آید [۳ و ۲۵]. صنعت و کشاورزی نیز به طوری گسترده‌ای به آب زیرزمینی وابسته هستند [۱۷]. منابع آب کارستی نیز یکی از مهمترین منابع تأمین کننده آب مورد نیاز مردم جهان است، به طوری که ۲۵-۲۰ درصد از جمعیت جهان عمدتاً یا کاملاً به منابع آب زیرزمینی کارستی وابسته‌اند. این منابع تحت فشار فزاینده‌ای قرار دارند و به احیاء و مدیریت پایدار، نیاز مبرم دارند [۹]. نمونه‌های بسیاری از آلودگی آب چشمه‌ها و آبخوان‌های کارستی به علت دفن پسماندها، زباله‌های شهری و مواد شیمیایی در نواحی مختلف دنیا گزارش شده‌اند [۵ و ۹]. تخریب و آلودگی منابع کارست در ایران نیز رو به افزایش است. برای مثال در دامنه کوه باباکوهی شیراز، به طور وسیعی منازل مسکونی بر روی سازند کارستی احداث شده است و در پایین دست، چاه‌های شرب شیراز قرار دارند. رها نمودن لاشه گوسفندان و سایر احشام تلف شده بر روی سازندهای کارستی مرتفع یا در داخل فروچاله‌ها نیز گزارش شده است [۲۲]. احتمال آلودگی آبخوان تنگهٔ کنارهٔ یاسوج نیز به عنوان یکی از مهمترین آبخوان‌های کارستی استان کهگیلویه و بویراحمد که چندین چاه آب شرب به منظور تأمین بخشی از آب مورد نیاز مصارف شهری یاسوج، همچنین وجود دو چشمه پریکدان و سرابتاوه به منظور تأمین آب شرب اهالی روستای پریکدان، باغات اطراف و طرح‌های پرورش ماهی، در اثر شیرابه ناشی از تخلیه زباله گزارش شده است [۸]. از این رو، تعیین نواحی پر خطر و آسیب‌پذیر حوضهٔ تغذیه کننده آبخوان‌های کارستی امری ضروری و حیاتی است؛ چراکه از این طریق می‌توان از ایجاد آلودگی در نواحی حساس یا رسیدن آلاینده‌ها به هر نقطه از سطح آبخوان جلوگیری کرد. یکی از اقدامات اساسی جهت حفاظت کیفی از منابع آبی زیرزمینی، تعیین حریم و زون‌های حفاظتی سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد. تعیین زون-های حفاظتی برای منبع آب و اجرای عملیات مناسب کاربری اراضی در نواحی اطراف آن، جنبه‌های حیاتی استفاده پایدار از منابع ارزشمند آب شرب هستند [۱ و ۱۰]. حفاظت از منابع آب زیرزمینی، مستلزم اعمالی است که هم در بالای چاه و هم در سطح کل سفره باید اجرا شود [۴]. در حال حاضر، نقشه‌های آسیب‌پذیری همراه با روش‌های تعیین زمان پیمایش برای مرزبندی زون‌های حفاظتی و ایمن در بسیاری از کشورهای اروپایی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷]. بنابراین ارائه نقشه حساسیت و آسیب‌پذیری سفره آب زیرزمینی، تصویر شفافی از وضعیت پتانسیل منابع آب زیرزمینی ارائه می‌دهد. به طوری که طبق آن، هر تصمیم مدیریتی که اثرات زیست محیطی آن به صورت مستقیم یا غیر مستقیم متوجه این منابع مهم آبی کشور باشد، باید با آگاهی اتخاذ گردد. در واقع، با ارائه این نقشه، ضرورت اعمال شیوه‌های مدیریت منابع آب در هر نقطه مشخص می‌گردد. به عبارت دیگر، ریسک آلودگی آب زیرزمینی اساساً به نقشه آسیب‌پذیری وابسته است [۱۳]. نقشه آسیب‌پذیری به عنوان ابزاری جهت ارزیابی آسیب‌پذیری سفره کارستی تهیه می‌شود و به عنوان پایه‌ای برای زون‌بندی حفاظتی و طرح‌ریزی کاربری اراضی پیشنهاد شده است. یکی از روش‌های تعیین آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی، روش COP است؛ این روش بر مبنای سه عامل لایه‌های پوششی (O)، تمرکز جریان (C) و وضعیت بارش (P) به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی سفره‌های آب زیرزمینی کربناته در قالب COST Action 620 اروپایی معرفی شده است [۲۳]. تاکنون بسیاری از محققان این روش را مورد استفاده قرار داده‌اند از جمله: در تحقیقی نقشه آسیب-پذیری سفره کارستی گیلانغرب در غرب ایران با استفاده از GIS و مدل COP تهیه شده و ضمن مناسب دانستن روش مذکور در برآورد آسیب‌پذیری سفره‌های کارستی، نشان دادند که بیشتر مناطقی که آسیب‌پذیری کم تا

متوسطی دارند در ارتفاعات سازند آسماری واقع شده‌اند [۱۶]. نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی گُلین در جنوب غرب استان کرمانشاه نیز با استفاده از روش COP تهیه شده است به طوری که این مدل، کارایی مناسبی را جهت تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی نشان داده است [۲۱]. نقشه آسیب‌پذیری منبع حوضه چشمه کارستی ویلانووا در جنوب اسپانیا با استفاده از سه روش COP+K، اسلوونی و PaPRIKa تهیه در پژوهشی تهیه شد و با آزمایش ردیاب و مقایسه این سه روش، مدل COP+K را مطلوب‌تر تشخیص داده شد؛ محققان این پژوهش، کاربرد روش COP+K را به عنوان ابزار زون-بندی حفاظتی در مناطق کارستی مناسب می‌دانند و بر اساس نقشه آسیب‌پذیری حاصل از این روش، سه زون مختلف جهت حفاظت از منابع آب شرب پیشنهاد می-دهند [۱۵]. روش COP همچنین توسط محققانی از کشور ایتالیا [۶]، اسلوونی [۲۰]، آفریقای جنوبی [۱۴] و استرالیا [۱۹] به کار گرفته شده است.

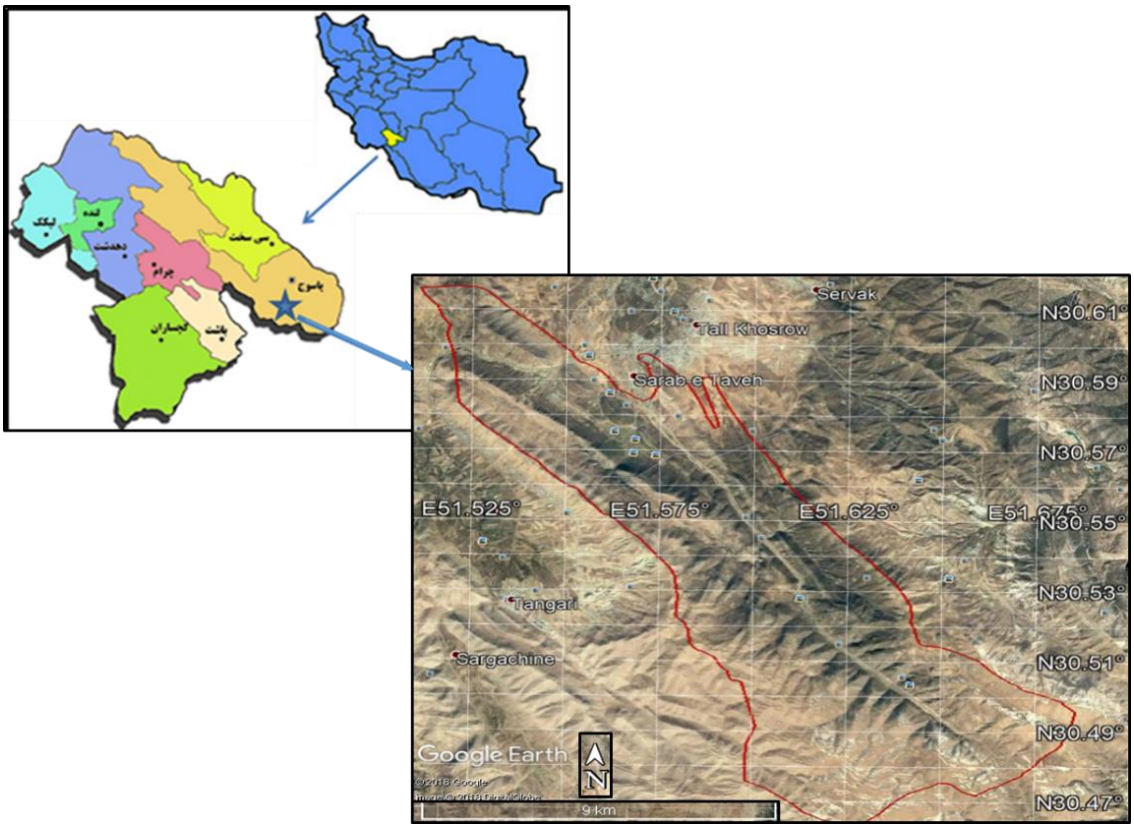
مرور بسیاری از منابع مرتبط، بیانگر کارایی مطلوب روش COP در تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی می‌باشد از این رو، در این پژوهش سعی شده است علاوه بر تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی تنگهٔ کنارهٔ یاسوج با استفاده از روش COP، زون‌بندی حفاظتی و محدودیت‌های پیشنهادی که در هر زون باید اعمال گردد نیز ارائه شود.

۲. روش‌شناسی

۲.۱. معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه موسوم به تنگهٔ کناره در جنوب شرقی شهر یاسوج با مختصات جغرافیایی ″۴۱ ′۳۰ °۵۱ تا ″۱۷ ′۴۰ °۵۱ طول شرقی و ″۵۵ ′۳۰ °۳۰ تا ″۱۴ ′۳۳ °۳۰ عرض شمالی، واقع شده است (شکل ۱). این محدوده یکی از زیرحوضه‌های رودخانه بشار یاسوج است که در نهایت به کارون بزرگ می‌پیوندد. تنگهٔ کناره یاسوج عموماً از سازندهای کربناته و کارستی تشکیل شده و یکی از مهمترین نقاط تأمین آب شرب شهر یاسوج است. به‌طوری که توسط چندین حلقه چاه عمیق بخشی از آب شهری مورد نیاز پمپاژ می‌شود. تیپ غالب پوشش گیاهی در این حوضه مشتمل است بر: گونه‌های درختی بلوط و کیکم، زالزالک، شن و انواع گون. روستای پریکدان مهمترین منطقه مسکونی است که در محدوده مورد مطالعه قرار گرفته است, به طوری که تقریباً تمام آب چشمه پریکدان به مصرف شرب اهالی روستا و آبیاری باغات آنها که در اطراف آبراهه اصلی منطقه احداث شده‌اند، می‌رسد. همچنین، چشمه سرابتاوه در منتهی علیه محدوده مورد مطالعه ظهور یافته است. مساحت محدوده مورد مطالعه ۸۸۸۰ هکتار و طول آبراهه اصلی موجود در منطقه ۱۸ کیلومتر می‌باشد. متوسط بارندگی در منطقه ۸۶۰ میلیمتر است که آذرماه با متوسط ۱۸۲ میلیمتر بیشترین بارش ماهانه را به خود اختصاص داده است. نوسان زیادی نیز در مقدار بارندگی سالانه مشاهده می‌شود. به طوری که حداکثر آن ۱۶۹۵ میلیمتر و حداقل آن ۳۷۴ میلیمتر به ترتیب مربوط به سال‌های ۸۰ و ۸۶ می‌باشد.

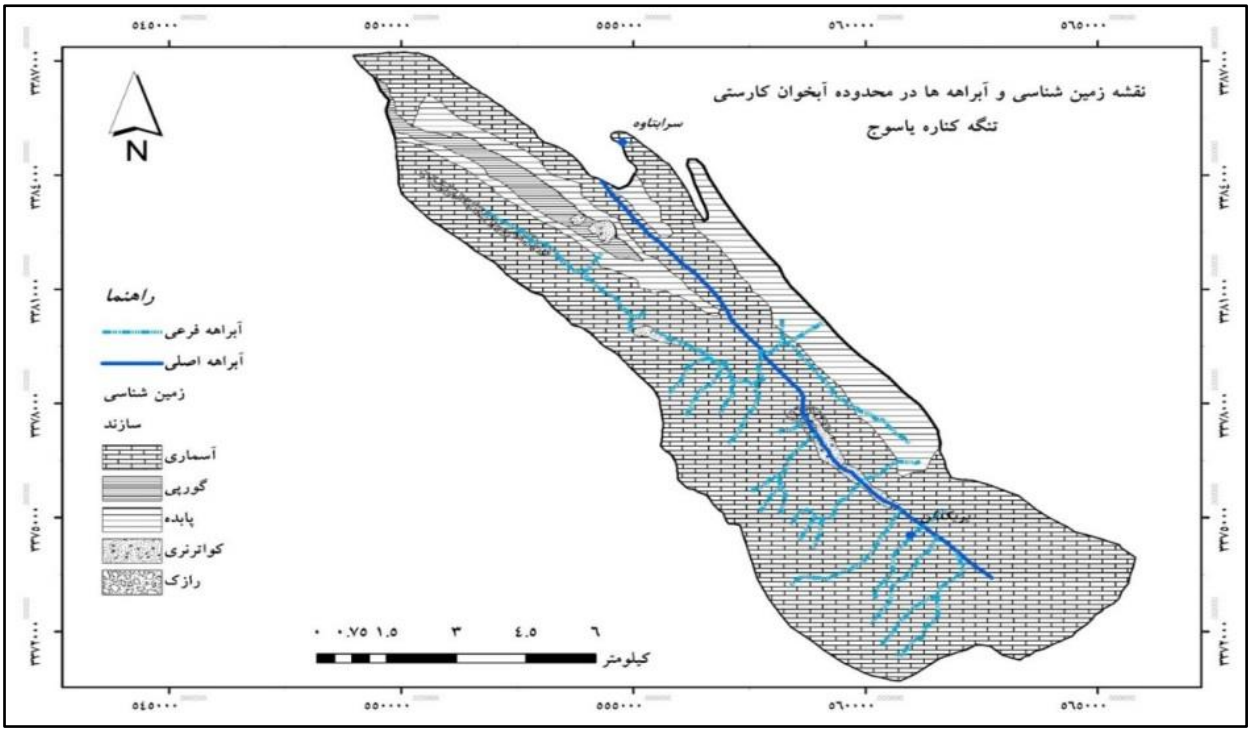
از نظر زمین‌شناسی، محدوده مورد مطالعه در زون زاگرس چین‌خورده قرار گرفته است. چین خوردگی‌های ملایم و تکتونیک ساده از ویژگی‌های بارز محسوب می‌شود. گسل خوردگی و تاثیرات ناشی از گسلش موجب حذف بعضی از رخسارها رسوبی یا فشردگی آنها شده است. وجود رخساره‌های مقاوم و سخت در کنار یکدیگر و فرسایش شدید آنها باعث برجسته شدن سازندهای آهکی بخصوص آسماری و فروافتادگی سازندهای دیگر از قبیل پابده-گورپی شده است. آبراهه‌های منطقه غالباً جوان است و در مسیر جریان، تخریب و فرسایش ایجاد می‌کنند. در یک نگاه کلی می‌توان گفت که منطقه عموماً از سنگ‌های رسوبی کربناته و آهک آسماری با سطوح و توپوگرافی خشن و ارتفاع‌ساز با پوشش گیاهی متراکم تا تنک شکل گرفته است. سازندهای منطقه عبارتند از: گورپی، پابده، آسماری، رازک و آبرفت‌های دوره کواترنر (جدول ۱ و شکل ۲).



شکل ۱. موقیعت محدوده مورد مطالعه

جدول ۱. راهنمای سازندهای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

سن			علامت	سنگ‌شناسی	نام سازند	مساحت		ضخامت (متر)
دوران	دوره	دور				هکتار	درصد	
سنوزوئیک	کواترنر	-	Qt1	پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های آبرفتی قدیمی	کواترنری	۱۳۸	۱/۵	۱۰
	ترسیر	میوسن میانی	Mm,cra	مارن، کنگلومرا و ماسه سنگ قرمز و گچ	رازک	۱۱۲	۱/۳	۳۰۰
		الیگومیوسن	OMfas	سنگ آهک ضخیک لایه تا توده‌ای کرم رنگ و مارن	آسماری	۶۹۵۸	۷۸/۴	۳۵۰
		پالئومیوسن	PeEsh,mpd	شیل خاکستری، مارن با میان‌لایه‌های سنگ آهک مارنی	پابده	۱۳۴۱	۱۵/۱	۷۰-۲۰۰
مزوزوئیک	کرتاسه	کامپانین	Kshgu	شیل سفید مایل به آبی با میان لایه‌های مارن و ماسه سنگ	گورپی	۳۳۱	۳/۷	۱۷۰



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی و آبراهه‌های محدودهٔ مورد مطالعه

از آنجایی که هدف از مطالعه منطقه مورد نظر، زون-بندی حفاظتی بر مبنای تعیین آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان کارستی به عنوان یک مخزن می‌باشد، از روش COP [۲۳] به منظور تهیهٔ نقشه آسیب‌پذیری آبخوان استفاده شد و بر اساس نقشه تهیه شده، زون‌های حفاظتی مورد نظر تبیین گردید. بنابراین این تحقیق مبتنی است بر مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی و نرم افزاری. در ابتدا اطلاعات و نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی مربوط به منطقه مورد نظر جمع‌آوری و جهت انتقال به محیط نرم افزار GIS رقومی شدند. جهت تهیه داده‌ها، نقشه‌ها و اطلاعات مورد نیاز در رابطه با وضعیت کارست‌شدگی، خاک و پوشش گیاهی منطقه، چند نوبت بازدید میدانی و پیمایش میدانی به عمل آید. در نهایت، تمامی عملیات و محاسبات ریاضی جهت تهیه نقشه عوامل و زیرعامل‌های مد نظر در روش COP (شکل ۳) در محیط GIS و با استفاده از توابع Geoprocessing، Overlaying، Raster Calculator انجام گردید.

سه دسته از اطلاعات و ویژگی‌های منطقه مطالعاتی مورد نیازمی‌باشد که به صورت زیر تعیین شدند:

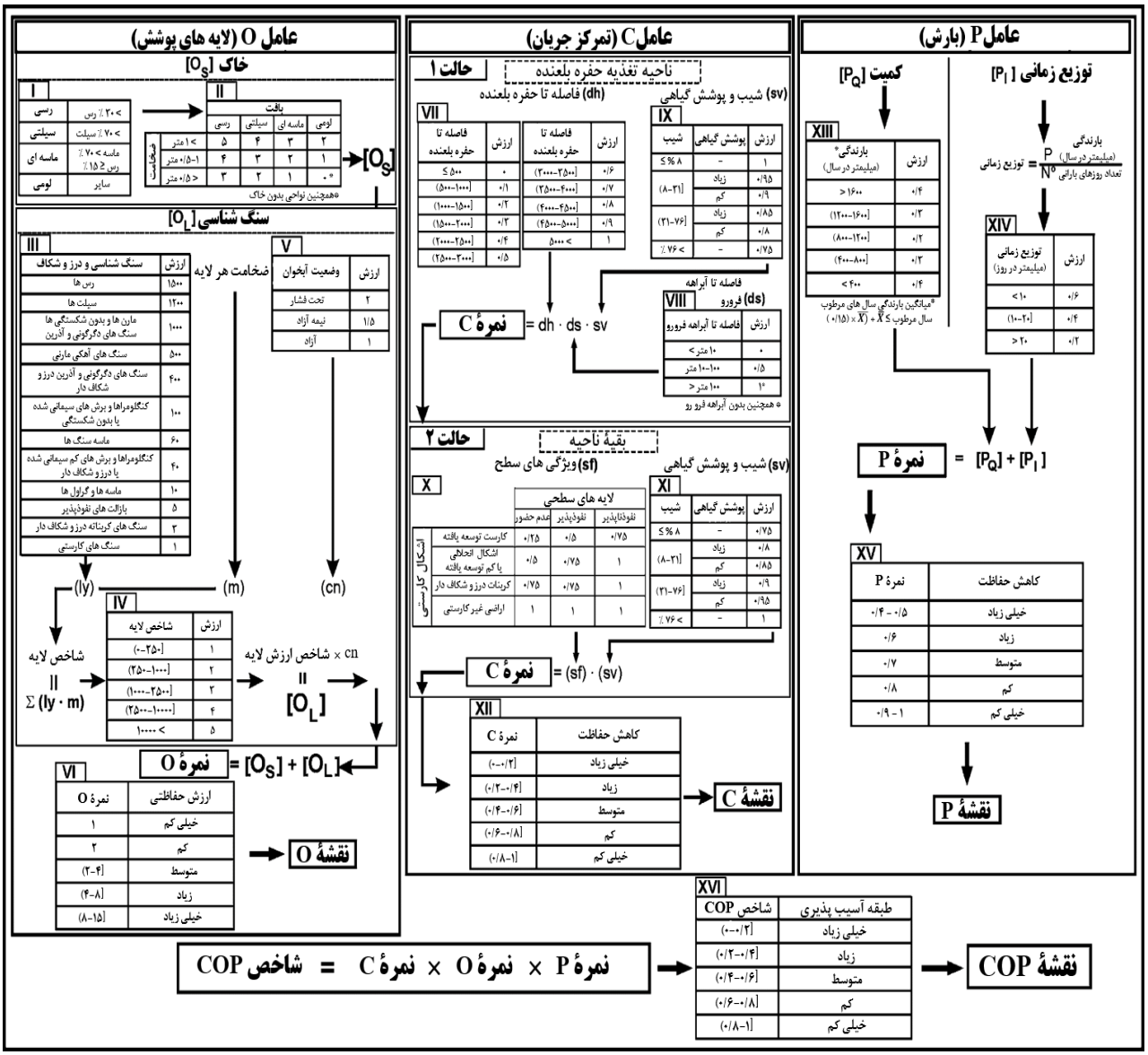
عامل O: این عامل به دو زیرعامل تقسیم می‌شود یعنی O_S (ضخامت و بافت خاک) و O_L (لیتولوژی سازندهای رخنمونی). با پیمایش چندین روزه میدانی، ضخامت خاک در نقاط مختلف تعیین شد. به طوری که ضخامت خاک در بیشتر مناطق به ویژه نواحی رخنمون سازند آسماری، کمتر از نیم متر، در نواحی با پوشش جنگلی متراکم بین نیم تا حداکثر یک متر و در نقاط محدودی مانند بستر برخی از فروچاله تا یک متر نیز مشاهده گردید. موقعیت محدوده‌های مشخص شده با استفاده از GPS ثبت و سپس به منظور تهیه نقشه ضخامت خاک به محیط GIS منتقل گردید. لازم به ذکر است در برخی نواحی مانند دامنه تپه‌های سازند آسماری، رخنمون کاملاً سنگی و سنگلاخی مشاهده شد که بسیاری از نقاط آن، فاقد خاک بودند. در رابطه با بافت خاک نیز با توجه به تقسیم‌بندی و نمره‌دهی روش COP

و نیز وضعیت خاک منطقه، بافت خاک کل محدوده مورد مطالعه، لومی تعیین گردید. سپس با انتقال داده‌های مذکور به محیط GIS، نقشه O_S منطقه تهیه گردید. وضعیت، ضخامت و محدوده سازندهای زمین‌شناسی و جنس و مواد متشکله هر کدام از واحدهای سنگ‌شناسی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و بررسی‌های میدانی تعیین گردید. در مرحله بعد رتبه زیرعامل cn برای منطقه مورد مطالعه مشخص شد و از آنجایی که آبخوان محدوده، آزاد می‌باشد، ضریب آن یک خواهد بود. سپس طبق دستورالعمل ارائه شده در روش مذکور، نمره‌دهی مناسب انجام شد و با ضرب هر کدام از زیرعامل‌ها (جنس و ضخامت سازند) اطلاعات حاصل جهت تهیه نقشه O_L به محیط GIS منتقل گردید؛ پس از همپوشانی و کلاس‌بندی نقشه‌های O_S و O_L مجموع آنها نقشه عامل O را ارائه داد.

عامل C: این عامل دو حالت (سناریو) متفاوت را مد نظر دارد. حالت اول آن بر وجود حفره‌های بلعنده در سطح منطقه تأکید دارد. در حالی که حالت دوم بر وضعیت کارست‌شدگی یا عدم وجود کارست در منطقه متکی است. بدیهی است که هر چه وضعیت کارست‌شدگی منطقه متکامل‌تر باشد و یا درز و شکاف بیشتری در سازندها موجود باشد؛ باران یا رواناب حاصل از آن به مقدار افزون‌تر و با سرعت بیشتری به درون آبخوان نفوذ می‌کند؛ که در نتیجه انواع آلاینده‌ها نیز می‌توانند به راحتی خود را به آبخوان برسانند و موجب آلودگی منبع آب شود. در محدودهٔ مورد مطالعه، هرچند که با پیمایش میدانی، تعدادی فروچاله در سازند آسماری تشخیص داده شد؛ با این وجود از آنجایی که این فروچاله‌ها، سطحی نسبتاً محدود داشته و نیز نمی‌توان به طور قطع آنها را یک حفرهٔ بلعنده به حساب آورد، سناریو یا حالت دوم روش COP برای تعیین عامل C مد نظر قرار گرفت. بنابراین، در ابتدا برای تعیین زیرعامل عوارض سطحی (sf) با پیمایش میدانی و بر اساس ویژگی‌های ژئومرفولوژی سازندهای رخنمون یافته در منطقه، نمره مربوط به این زیرعامل تعیین گردید. به طوری که با توجه به درز و شکاف فراوان (شکل ۴) و وجود رخساره‌های انحلالی شدید در سازند آسماری (شکل ۵)، این سازند به عنوان کربنات‌های شکسته شده و درز و شکاف‌دار نمره‌دهی شد. لازم به ذکر است که کارست توسعه یافته و پیشرفته در این سازند مشاهده نگردید؛ به طوری که سازندهای آهکی منطقه را می‌توان اراضی کارستی با تحول کم دانست. همچنین برای سایر سازندهای منطقه، یعنی سازندهای مارنی و کواترنری، از آنجایی که هیچگونه کارست‌شدگی یا شکستگی مشاهده نگردید، نمره مربوط به اراضی غیرکارستی لحاظ شد. برای تعیین زیرعامل (sv) نیز از ترکیب و ارزش‌گذاری نقشه شیب و پوشش گیاهی منطقه استفاده شد. نقشه شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) و نقشه تراکم کیفی پوشش گیاهی نیز از تصاویر ماهواره‌ای و تدقیق آن با بررسی‌های میدانی در محیط GIS تهیه شدند (شکل ۶). شیب عمومی منطقه به علت کوهستانی بودن زیاد بوده و تراکم پوشش گیاهی آن نیز قابل توجه است؛ به طوری که پوشش آن به صورت جنگل با سطح پوشش زیاد و مرتع با سطح پوشش پراکنده‌تر نسبت به پوشش جنگلی دیده می‌شود. اراضی کشاورزی در منطقه ناچیز بوده و اساساً به رسوبات کواترنری محدود می‌شود. با ضرب و همپوشانی نقشه دو زیرعامل sf و sv در یکدیگر با استفاده از تابع Raster calculate در محیط GIS، نمره عامل C محاسبه شد. با توجه به طبقه‌بندی نمره این عامل در روش COP، نقشه نهایی عامل تمرکز جریان (C) تهیه گردید.

عامل P: این عامل توانایی بارش برای حمل آلاینده از سطح زمین به طرف آبخوان را تشخیص می‌دهد. برای تعیین این عامل به مقدار بارش سالانه و تعداد روزهای بارانی نیاز است. بدین منظور، آمار نزدیکترین ایستگاه‌های بارانسنجی به محدودهٔ مورد مطالعه از سازمان هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد اخذ گردیدند. که شامل ۴ ایستگاه پریکدان،

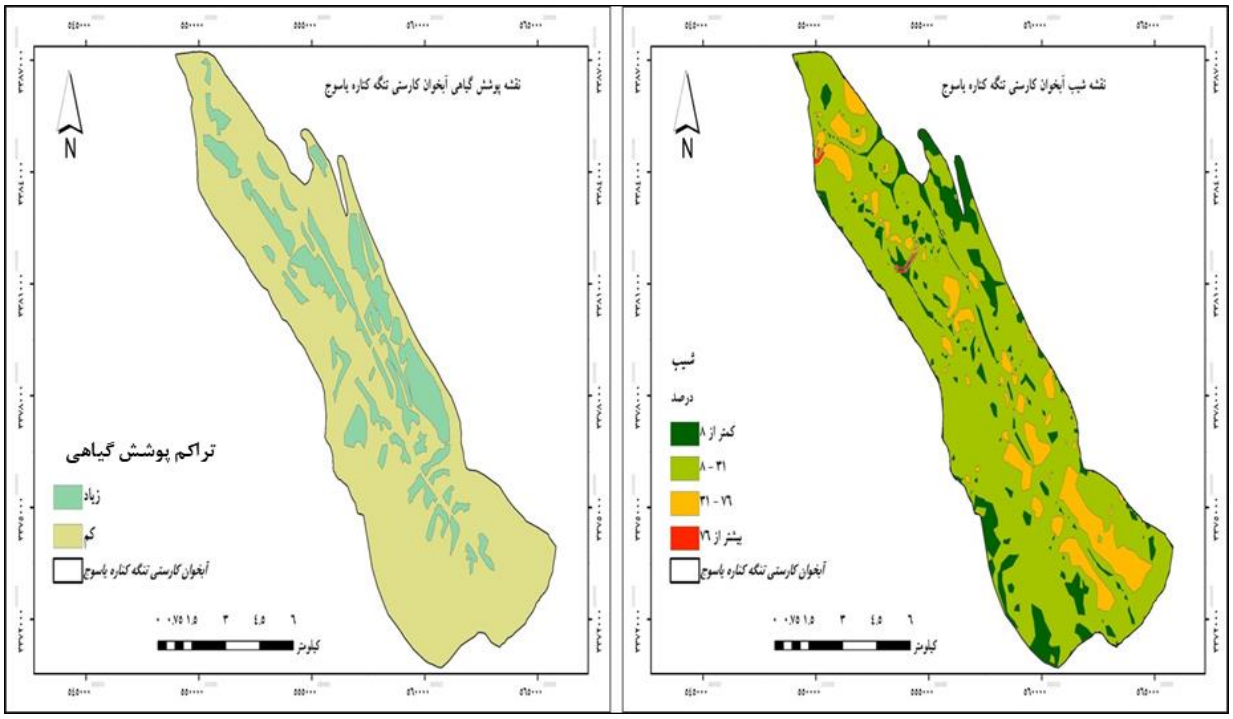
ستنگان، دشت‌روم و یاسوج می‌باشد. پس از تعیین میانگین بارش هر ایستگاه و محاسبه شاخص توزیع زمانی بارش از طریق تقسیم میانگین بارش بر تعداد روزهای بارانی در طول سال، نمرهٔ این دو زیرعامل از طریق جدول مربوطه برای هر ایستگاه محاسبه گردید و با انجام عمل جمع بر آنها، نمره عامل P از جدول تعیین شد؛ سپس با درون‌یابی آمار ایستگاه‌های موجود از طریق روش IDW، نقشه عامل P برای محدوده مورد مطالعه تهیه شد. پس از محاسبه و تهیه نقشه سه عامل C، O و P و تعیین آسیب‌پذیری منطقه بر حسب آنها، طبق دستورالعمل مدل COP و با استفاده از تابع Raster Calculate لایه‌های مذکور در محیط GIS در یکدیگر ضرب شد و نقشه نهایی آسیب‌پذیری تهیه گردید. در نهایت، بر مبنای درجه آسیب‌پذیری، زون‌های حفاظتی تبیین گردید. به این صورت که درجه کم و خیلی کم در زون سه، درجه متوسط در زون دو و زیاد و خیلی زیاد در زون یک حفاظتی قرار می‌گیرند [۱۵].



شکل ۳. چارت محاسباتی روش COP و نحوه نمره‌دهی آن به عوامل مختلف [۲۳]

شکل ۴. درز و شکاف فراوان سازند آسماری در منطقه مورد مطالعه

شکل ۵. رخساره‌های انحلالی شدید (کارن و گرایک) در سازند آسماری



شکل ۶. نقشه شیب و تراکم پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه

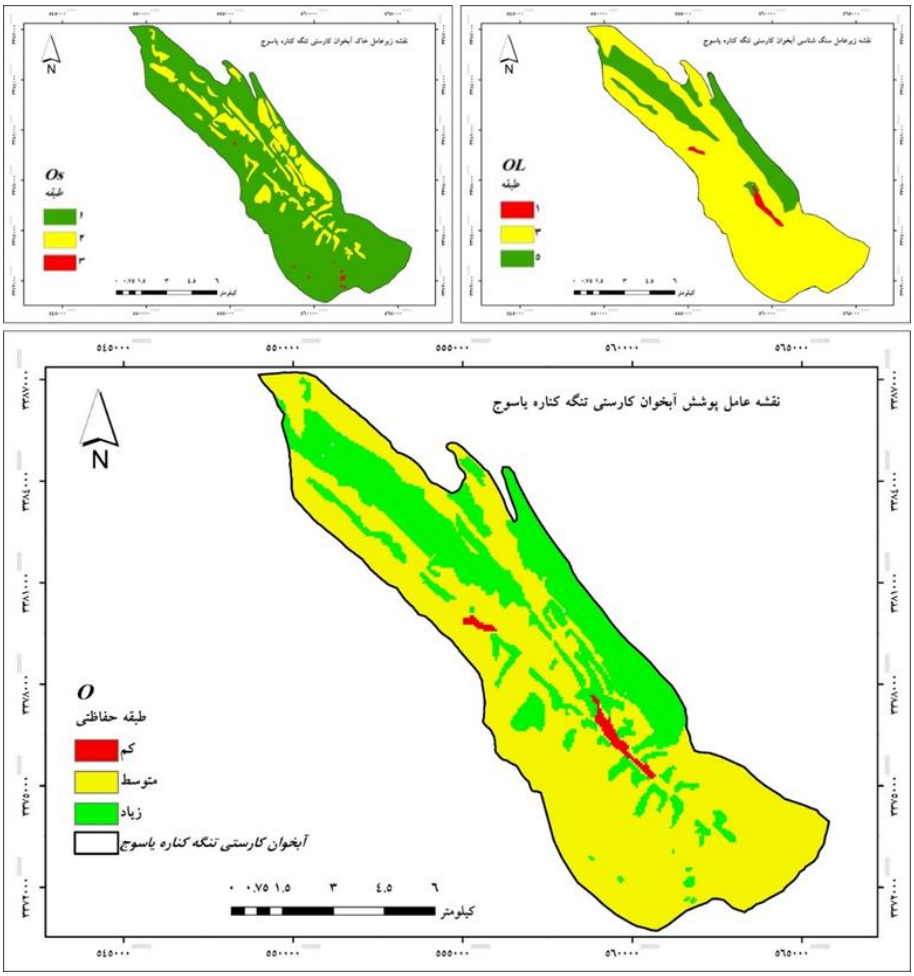
۳. نتایج

۱.۳. نقشه عامل O

شکل ۷ نقشهٔ زیرعامل O_S و O_L همراه با عامل O را نشان می‌دهد. جدول ۲ وضعیت عامل O و نمره‌دهی آن را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. نمرهٔ این عامل در منطقه بین ۲ تا ۷ می‌باشد. مطابق این جدول، ۶۸ درصد از لایه‌های پوششی منطقه از آسیب‌پذیری متوسط، ۳۱ درصد از آسیب‌پذیری کم و تنها یک درصد از سطح منطقه دارای درجه آسیب‌پذیری زیادی است. پهنه با خطر زیاد با سازندهای دوره کواترنر انطباق دارد که دلیل آن را می‌توان ضخامت کم این رسوبات دانست. نواحی با آسیب‌پذیری متوسط عمدتاً بر نواحی رخنمونی سازند آهکی آسماری قرار دارد. به طور کلی برای تهیهٔ نقشه عامل O در منطقه، به ترتیب ضخامت و جنس سازند بیشترین نقش را در تعیین درجه آسیب‌پذیری ایفا می‌کند.

جدول ۲. طبقه‌بندی عامل O و مساحت طبقات آن در منطقه مورد مطالعه

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	آسیب‌پذیری	درجه حفاظت	نمره عامل O
۱	۹۵	زیاد	کم	۲
۶۸	۶۰۴۰	متوسط	متوسط	۳-۴
۳۱	۲۷۴۵	کم	زیاد	۵-۷



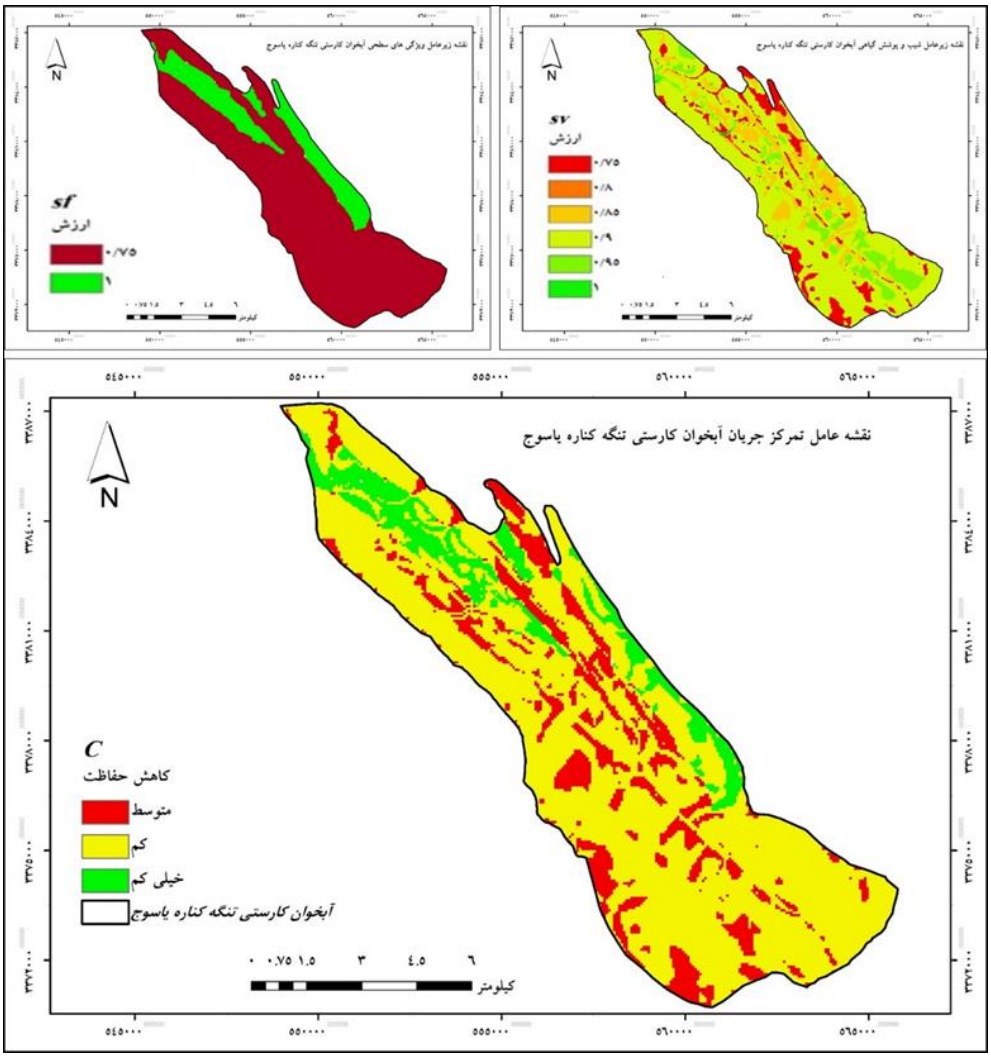
شکل ۷. نقشه زیرعامل O_S و O_L و عامل O در محدوده مورد مطالعه

۳.۲. نقشهٔ عامل C

شکل ۸ نقشه زیرعامل sf و sv همراه با عامل C را نشان می‌دهد. همانگونه که در جدول ۳ مشخص است امتیاز نهایی عامل C بین ۰/۵ تا ۱ متغیر می‌باشد به طوری که با توجه به این عامل، آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد در منطقهٔ مورد مطالعه مشاهده نگردید و آسیب-پذیری آن عمدتا به طبقه متوسط و کم تعیین گردید. آسیب‌پذیری متوسط اساساً بر سازند آهکی آسماری منطبق است و طبقه کم و خیلی کم آسیب‌پذیر بر سازندهای پابده، گورپی و رازک قرار گرفته است. بنابراین سازندهایی که فاقد رخساره‌های کارستی بوده یا ژئومرفولوژی درز و شکاف‌دار در آنها مشاهده نگردید، آسیب‌پذیری کمتری را دارند.

جدول ۳. طبقه‌بندی عامل C و مساحت طبقات آن در منطقه مورد مطالعه

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	آسیب‌پذیری	کاهش درجه حفاظت	نمره عامل C
۴۲	۳۷۳۳	متوسط	متوسط	۰/۵-۰/۶
۴۸	۴۲۲۸	کم	کم	۰/۶-۰/۸
۱۰	۹۱۹	خیلی کم	خیلی کم	۰/۸-۱



شکل ۸. نقشه زیرعامل sf و sv و عامل C در محدوده مورد مطالعه

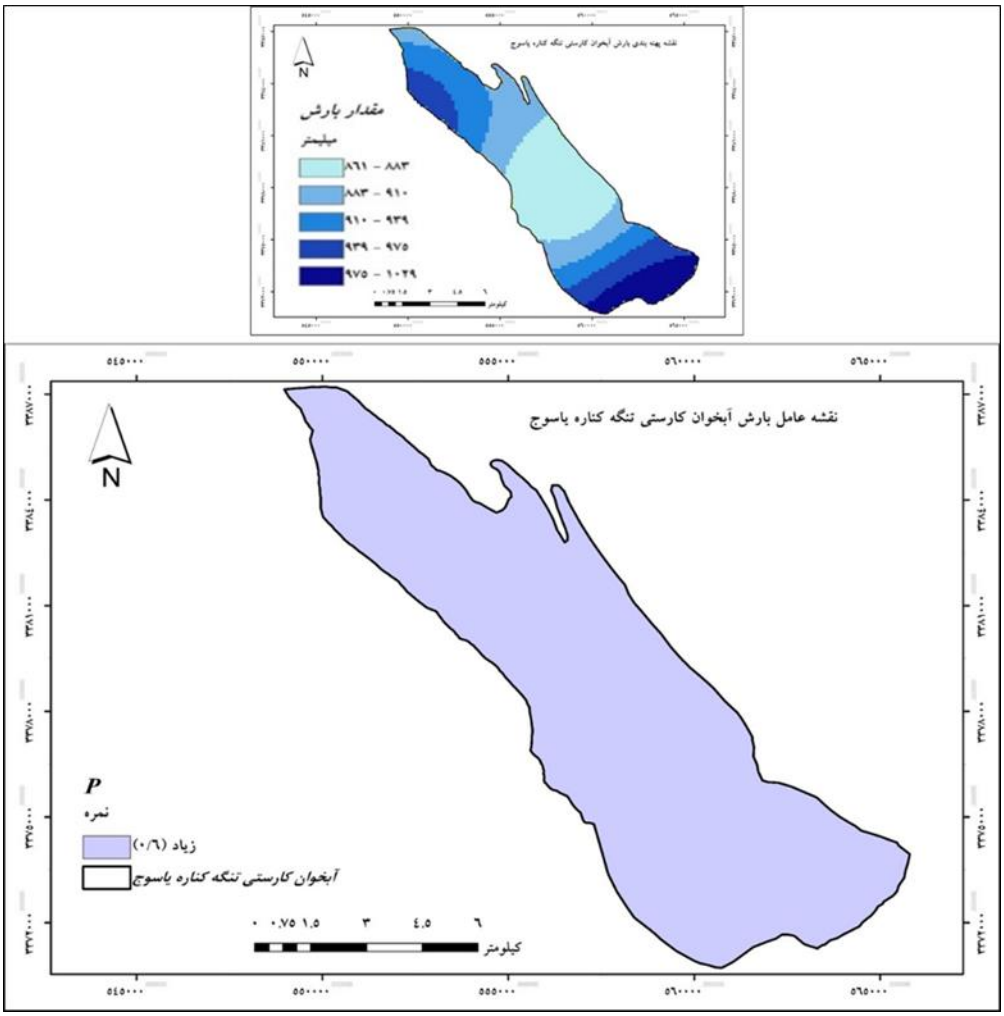
۳.۳. نقشه عامل P

آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در مجاور محدودهٔ مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. شکل ۹ نقشهٔ پهنه‌بندی بارش و عامل P را نشان می‌دهد. نمرهٔ این عامل برای کل محدوده ۰/۶ است؛ که درجه آسیب-پذیری زیاد را نشان می‌دهد.

۳.۴. نقشهٔ COP

نقشهٔ نهایی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی تنگهٔ کنارهٔ یاسوج (شکل ۱۰) و جدول ۵ نشان می‌دهد که میزان آسیب‌پذیری آبخوان کارستی منطقه بین ۰/۶ تا ۴/۲ است. که خود گویای دامنه آسیب‌پذیری خیلی کم تا زیاد است. به طوری که مساحت طبقه با آسیب‌پذیری زیاد با سطحی معادل ۱۳۸ هکتار بر روی سازند دوره کواترنر و مساحت محدوده با طبقه آسیب‌پذیری متوسط ۶۸۴۵ هکتار که عمدتاً بر روی سازند آسماری، قرار گرفته است. همچنین بیشترین مساحت طبقه با آسیب‌پذیری کم با سطح ۱۸۸۴ هکتاری بر روی سازندهای پابده، گورپی و رازک واقع شده است. درصد مساحت طبقات آسیب‌پذیر از زیاد به کم به ترتیب ۱/۶، ۷۷/۱ و ۲۱/۲ است. همانطور

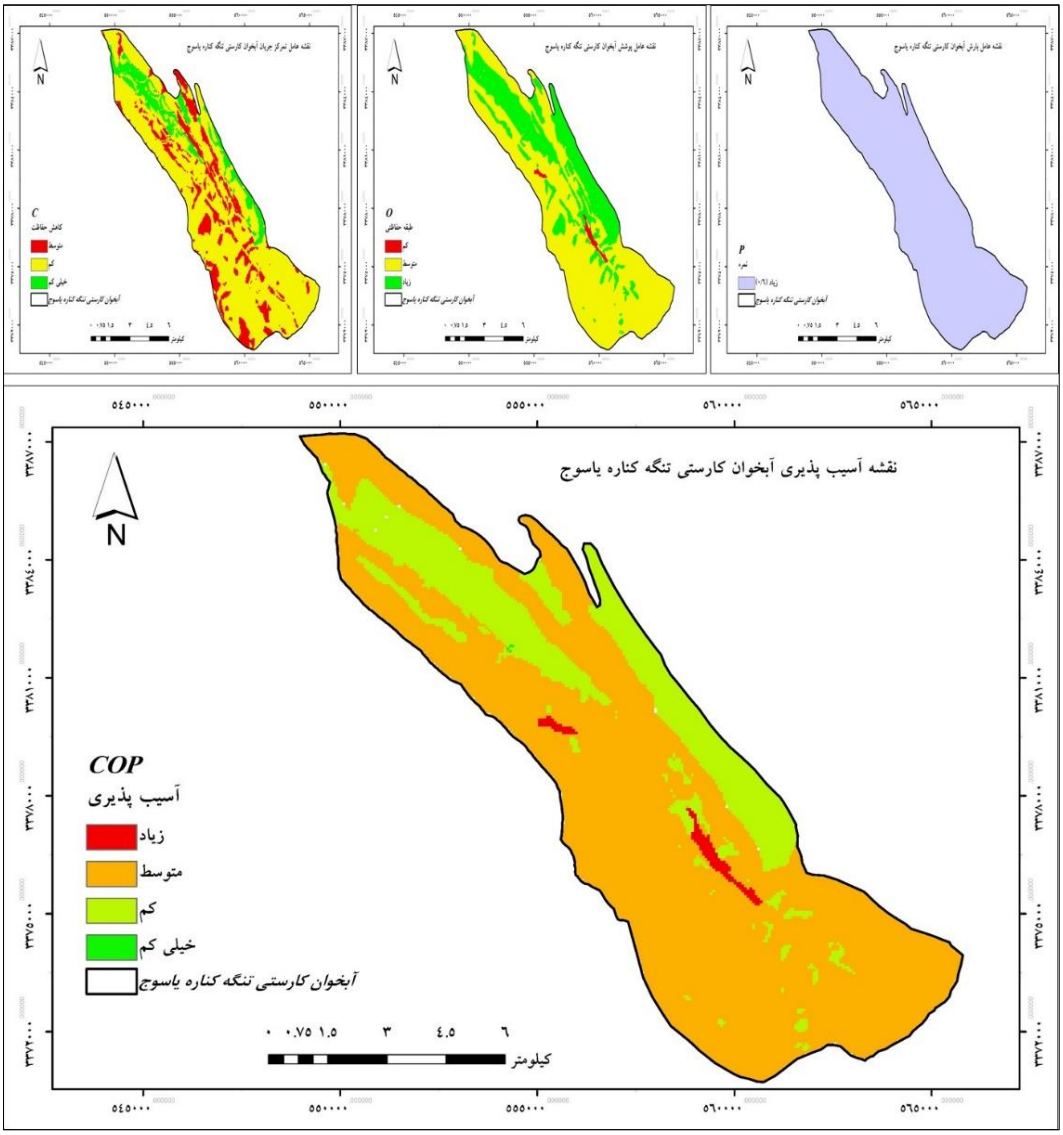
که مشاهده می‌شود؛ اراضی کواترنری درجه آسیب‌پذیری زیادی را نشان می‌دهند که با توجه به نمرهٔ آن در عوامل گفته شده، این طبقه از آسیب‌پذیری، قابل پیش‌بینی بود. این حالت برای سازندهای آهکی و مارنی منطقه نیز صادق است؛ به طوری که سازند آسماری در طبقهٔ متوسط قرار گرفته است.



شکل ۹. نقشهٔ پهنه‌بندی بارش با استفاده از درون‌یابی و نقشه عامل P در محدوده مورد مطالعه

جدول ۴. آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در مجاور محدودهٔ مورد مطالعه برای تعیین عامل P

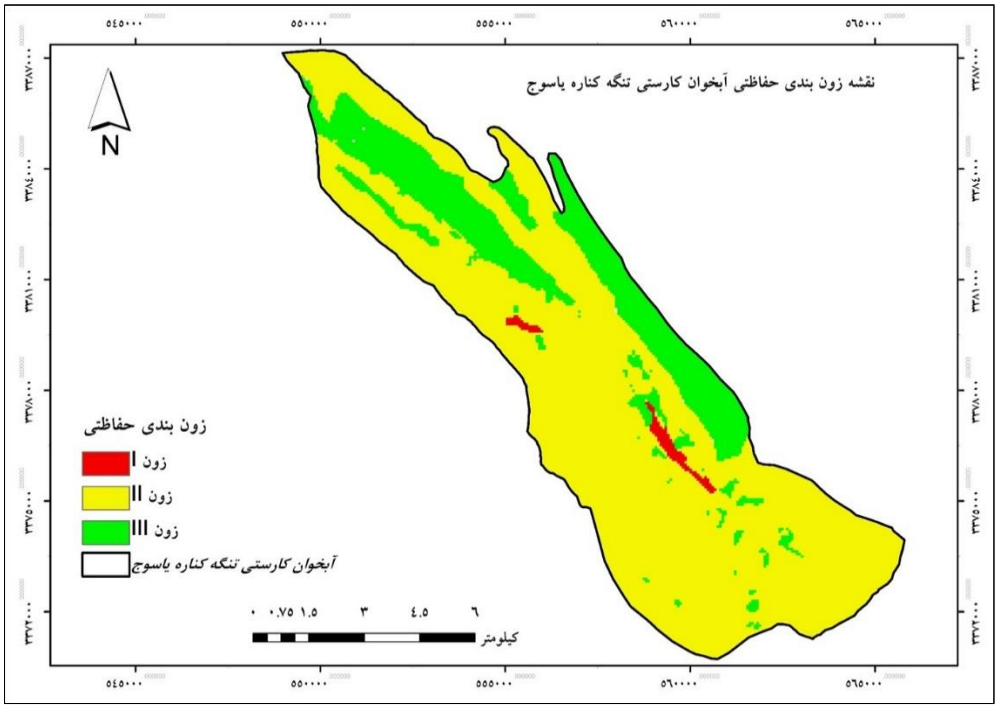
نام ایستگاه	میانگین بارش	Value	تعداد روزهای بارانی	توزیع زمانی	Value	P Score
پریکدان	۸۶۱	۰/۲	۵۶	۱۵	۰/۴	۰/۶
ستنگان	۱۰۵۲	۰/۲	۵۷	۱۸	۰/۴	۰/۶
دشت‌روم	۹۷۰	۰/۲	۵۱	۱۹	۰/۴	۰/۶
یاسوج	۸۶۵	۰/۲	۵۳	۱۶	۰/۴	۰/۶



شکل ۱۰. نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی تنگه کناره یاسوج

جدول ۵. مساحت طبقات آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش COP

شاخص COP	آسیب‌پذیری	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۰/۶ -۱	زیاد	۱۳۸	۱/۶
۱ - ۲	متوسط	۶۸۴۵	۷۷/۱
۲ - ۴	کم	۱۸۸۴	۲۱/۲
۴ - ۴/۲	خیلی کم	ناچیز	-



شکل ۱۱. نقشه نهایی زون‌بندی حفاظتی آبخوان کارستی تنگه کارستی یاسوج

شاید بتوان مهمترین عامل موثر را امتیاز مربوط به بارش (P) دانست؛ چراکه میانگین بارش منطقه همراه با ضریب پراکنش آن، امتیاز ۰/۶ را به این عامل اختصاص می‌دهد که نشان دهنده آسیب‌پذیری زیاد آبخوان منطقه به آلودگی است. پس از عامل بارش، ویژگی‌های عوارض سطحی، شیب و پوشش گیاهی (C) عامل مهم بعدی در آسیب‌پذیری منطقه است. چراکه رخنمون وسیع سازند آسماری با درز و شکاف فراوان و شیب زیاد موجب آسیب‌پذیری متوسط منطقه شده است. عامل لایه‌های پوششی که از مجموع دو زیرعامل بافت- ضخامت خاک و لیتولوژی- ضخامت سازندهای زمین‌شناسی بدست می‌آید در رده بعدی قرار می‌گیرد؛ در رابطه با تعیین این زیرعامل باید گفت هر چند در بخش وسیعی از منطقه، سازند آهکی آسماری رخنمون دارد و تقریباً کمترین نمره در حفاظت از آبخوان را کسب می‌کند با این وجود، به دلیل ضخامت زیاد این سازند (۳۰۰ متر) کاهش حفاظت آبخوان را به طور قابل توجهی جبران می‌نماید. ذکر این نکته ضروری است که ممکن است ضخامت یک سازند با درز و شکاف فراوان و یا کارست شدگی قابل توجه، نتواند هیچگونه تأثیری در پالایش جریان ورودی به آبخوان داشته باشد. به عبارت دیگر، ضخامت یک سازند الزاماً بیانگر حفاظت بهتر آبخوان در برابر آلودگی نیست. از این رو، به نظر می‌رسد یکی از نقاط ضعف نمره‌دهی به عوامل تعیین آسیب‌پذیری در این روش، خنثی سازی نمرهٔ درز و شکاف سازند در برابر ضخامت سازند است که ممکن است دقت مدل را کاهش دهد.

به طور کلی، اهمیت هر کدام از عوامل در روش COP در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به صورت P > C > O دانست.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

به منظور تعیین آسیب‌پذیری و تهیهٔ نقشهٔ حساسیت به آلودگی آبخوان‌های کارستی، همواره تلاش شده است

که روش و مدلی ویژه و منطبق با ویژگی‌های سیستم کارست تهیه گردد. که بدین منظور چندین روش ارائه شده است. خاستگاه این روش‌ها عموماً اروپا می‌باشد و اختلاف آنها بیشتر در نمره‌دهی و گاهاً معیارهای انتخابی است. ریسک آلودگی آب زیرزمینی به نقشه آسیب‌پذیری بستگی دارد و درنتیجه استفاده از روش‌های ویژه برای تعیین آسیب‌پذیری، نتایج گویاتر و دقیق‌تری را ارائه می‌دهد [۱۳]. روش COP که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت یکی از متداول‌ترین روش‌هایی است که آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی را به صورت ذاتی مشخص می‌نماید و نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان با دقت قابل قبولی مورد استفاده قرار داد که با نتایج [۲]،[۶]،[۱۱]،[۱۶]،[۱۸]،[۲۱] و [۲۴] همخوانی دارد. این روش سه عامل اساسی لایه‌های پوششی، عوارض سطحی و وضعیت بارندگی در هر منطقه را مد نظر قرار می‌دهد. و درنهایت با توجه به نمراتی که هر کدام از عوامل دریافت می‌دارند و ضرب آنها نقشه نهایی آسیب‌پذیری تهیه می‌شود. اهمیت هر کدام از عوامل این روش نیز در منطقه مورد مطالعه کاملاً محرز می‌باشد.

مهمترین کاربرد تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان را می‌توان زون‌بندی حفاظتی محدوده آبخوان مورد نظر دانست، به طوری که با تعریف و تبیین هر کدام از زون‌های حفاظتی مطابق با درجه و طبقه آسیب‌پذیری آبخوان، سطوح مختلف محدودهٔ مورد نظر به کاربری‌های ویژه‌ای اختصاص داده می‌شود. به عبارت دیگر، بسته به وضعیت زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی وغیرهٔ هر منطقه می‌توان تعداد زون و نواحی مشخصی را تبیین کرد و برای هر کدام از زون‌ها محدودیت ویژه‌ای را جهت جلوگیری از هر گونه آلودگی آبخوان و حرکت آلاینده به طرف منابع آبی اعمال کرد. از این رو، برای منطقهٔ مورد مطالعه می‌توان سه زون حفاظتی مشخص کرد (شکل ۱۱):

زون I که برای نواحی با درجه آسیب‌پذیری زیاد در نظر گرفته می‌شود. در این زون انواع آلاینده می‌تواند سریعاً به نقطهٔ عرضه آب برسد در نتیجه به حفاظت بالایی نیاز دارد. از این رو، محدودیت‌های کاربری اراضی باید سختگیرانه باشد. باید نسبت به فعالیت‌هایی که ممکن است حفاظت طبیعی آبخوان را کاهش دهند (مانند برداشت لایه‌های خاک، تغییر دادن ضخامت زون غیراشباع) یا خود، منبع آلودگی یا خطر آلایندگی داشته باشند، مراقبت و توجه ویژه‌ای داشت. خوشبختانه سطح این زون در محدوده آبخوان کارستی تنگ کناره کم می‌باشد و تنها اراضی دوره کواترنر با سطح حدود ۱/۶ درصدی را در برمی‌گیرد. با این وجود از آنجایی که بیشتر این اراضی زیر کشت باغات و زمین‌های کشاورزی اهالی منطقه می‌باشد لازم است که محدودیت‌های ویژه‌ای از جمله جلوگیری از استفاده از علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌های خیلی خطرناک، جلوگیری از تغییر کاربری اراضی کشاورزی به سایر کاربری‌ها (به عنوان مثال احداث پمپ بنزین در مسیر جاده یاسوج شیراز) در منطقه اعمال شود. همچنین به دلیل استقرار روستای پریکدان در این محدوده، باید تا حد امکان از ورود پسماندها و فاضلاب روستایی به درون زمین و در نتیجه حرکت به سوی آبخوان ممانعت شود؛ با استفاده از چاه‌های سپتیک و احداث مخازن مانند تانکرها، می‌توان به این مهم دست یافت.

زون II که برای نواحی با درجه آسیب‌پذیری متوسط به آلودگی در نظر گرفته می‌شود. در این ناحیه که ظرفیت خودپالایی مشخصی برای آبخوان وجود دارد، فعالیت‌های انسانی بدون اثر مستقیم بر چشمه امکان‌پذیر است. در منطقه مورد مطالعه، این زون اساسا دربرگیرنده سازند آسماری است و بیش از ۷۷ درصد از سططح حوضه را دربر می‌گیرد؛ هر چند این سازند ضخامت قابل توجهی داشته و نسبت به آلودگی حساسیت میانه‌ای دارد. با این وجود باید توجه داشت که درز و شکاف فراوانی در این ناحیه وجود دارد که می‌تواند آلاینده‌ها را به سرعت و بدون پالایش و نیز گاهاً از نقاط بسیار دور منطقه انتقال دهد. به عنوان نمونه، چشمه پریکدان که کل آب شرب اهالی روستا

را تأمین می‌نماید در این محدوده قرار گرفته است و در نتیجه می‌تواند به راحتی تحت تاثیر آلاینده‌های ایجاد شده در مراتع بالادست خود قرار گیرد. برای مثال، اراضی بالادست چشمه محل اسکان موقت و سردسیری عشایر منطقه است که حتی آلاینده‌های دامی (ادرار و مدفوع) نیز می‌تواند آب چشمه را آلوده نماید. بنابراین پیشنهاد می‌شود تمام پونورها، شافت‌ها، گودال‌ها و غارهای فعال در این ناحیه تحت کنترل شدید قرار داشته باشند.

زون III که برای نواحی با درجه آسیب‌پذیری کم و خیلی کم نسبت به آلودگی در نظر گرفته می‌شود. این زون حفاظت کمی نیاز دارد و محدودیت‌های کاربری اراضی کمتر از دو زون دیگر است. این زون کل نواحی رخنمونی سازندهای پابده، گورپی، رازک و بخش‌های کوچکی (به صورت لکه) از سازند آسماری را در برمی‌گیرد و حدود ۲۱ درصد از سطح حوضه را به خود اختصاص داده است.

به طور کلی، هنگامی که زون‌های حفاظتی بر اساس طبقات آسیب‌پذیر تعیین گردید، سازمان مدیریت مربوطه باید ضوابط ویژه‌ای برای فعالیت‌های کاربری اراضی در سطح حوضه چشمه یا چاه طبق مرزبندی حفاظتی، تنظیم کند و آن را اعمال نماید. فهرست و مکان فعالیت‌های انسانی که برای کیفیت آب زیرزمینی و سیاست‌های مدیریتی کاربری اراضی تهدید قلمداد می‌شوند، مرحله بعدی است که لازمه آن تعیین فعالیت مناسب با توجه به درجهٔ حفاظت فعلی و احتمال تأثیرگذاری فعالیت مورد نظر بر سایر زون‌ها می‌باشد. بنابراین، چنانچه لازم باشد باید محدودیت‌های محیط حفاظتی و زون‌های تعیین شده، به صورت دوره‌ای به منظور بروزرسانی آنها با عوامل دیگر یا طبق اطلاعات جدید هیدروژئولوژیک، بازنگری شود.

References

[1] Adams, B. and S.S.D, Foster. 1992. Land-surface zoning for groundwater protection. Water and Environment Journal, 6 (4): 312–320.

[2] Bagherzadeh, S., Kalantari, N., Moradzadeh, M., Rahimi, M.H., Fazeli, M. and Keshavarz, M.R. 2010. The newest method for mapping karst aquifer vulnerability using GIS and remote sensing techniques: COP method. Proceedings of the 1th National Conference on Geomatic, 9-10 May 2010, Tehran, Iran.

[3] Baoxiang, Z. and Fanhai, M. 2011. Delineation methods and application of groundwater source protection zone. Proceeding of International Symposium on Water Resource and Environmental Protection, 1: 66-69.

[4] Chave, P., Howard, G., Schijven, J., Appleyard, S., Fladerer, F. and Schimon, W. 2006. Groundwater protection zones. In: Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources. IWA Publishing, London, UK. 687

[5] Davis, A.D., Long, A.J. and Wireman, M. 2002. Karstic: a sensitivity method for carbonate aquifers in karst terrains. Environmental Geology, 42: 65–72.

[6] Ducci, D. 2007. Intrinsic vulnerability of the Alburni karst system (southern Italy). Geological Society, London, Special Publications, 279: 137-151.

[7] European Commission. 2007. Common implementation strategy for the Water Framework Directive. Guidance Document No.16 on Groundwater in Drinking Water Protected Areas. European Commission, Brussels, 34.

[8] Farzin, M. and Golzar, I. 2016. Karst aquifer contamination risk Caused by Municipal solid wastes leachate for Tange Kenara Yasuj. Proceedings of the 11th National Conference on Watershed management engineering and science of Iran, 20-22 April 2016, Yasuj, Iran.

[9] Ford, D. and Williams, P. 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley and Sons press, Chichester, West Sussex, England, 562.

[10] Foster, S., Hirata, R. and Andreo, B. 2013. The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection. Hydrogeology Journal, 2: 1389–1392.

[11] Garmabi, M., Naseri, H.R., Alijani, F. and Rezaei, M. 2014. Assessment of Ghaleh Tol Karst and conglomerates aquifer vulnerability using COP and PaPRIKa methods. Proceeding of the 32th meeting and the first International Congress of Earth Sciences, 15-18 Feb 2014, Mashhad, Iran.

[12] Hiscock, K.M. 2011. Groundwater in the 21st Century – Meeting the Challenges. In: Sustaining Groundwater Resources: A Critical Element in the Global Water Crisis, Anthony, J. and A. Jones (eds) in International Year of Planet Earth, 207-225.

[13] Kazakis, N., Oikonomidis, D. Voudouris, K.S. 2015. Groundwater vulnerability and pollution risk assessment with disparate models in karstic, porous, and fissured rock aquifers using remote sensing techniques and GIS in Anthemountas basin, Greece. Environmental Earth Sciences, 74 (7): 6199-6209.

[14] Leyland, R. (2009). Vulnerability mapping in karst terrains, exemplified in the wider Cradle of Humankind World Heritage Site. Dissertation (MSc)--University of Pretoria, 104.

[15] Marin, A.I., Andreo, B. and Mudarra, M. 2015. Vulnerability mapping and protection zoning of karst springs: Validation by multitracer tests. Science of the Total Environment, 532: 435–446.

[16] Masoompour Samakosh, J., Bagheri, S., Davoodi, M., Yarahmadi, D., Jafari-Aghdam, M. and Soltani, M. 2013. Assessing and mapping the vulnerability of karstic aquifer using GIS and COP model. Global NEST Journal, 15(3): 384-393.

[17] Menichini, M., Da Prato, S., Doveri, M., Ellero, A., Lelli, M., Masetti, G., Nisi, N. and Raco, B. 2015. An integrated methodology to define Protection Zones for groundwater based drinking water sources: an example from the Tuscany Region, Italy. Italian Journal of Groundwater, AS12058: 21 – 27.

[18] Mimi, Z.A. and Assi, A. 2009. Intrinsic vulnerability, hazard and risk mapping for karst aquifers: A case study. Journal of Hydrology, 364: 298–310.

[19] Plan, L., Decker, K., Faber, R., Wagreich, M. and Grasemann, B. 2008. Karst morphology and groundwater vulnerability of high alpine karst plateaus. Environmental Geology, 58: 285-297.

[20] Ravbar, N. 2007. The Protection of Karst Waters: A Comprehensive Slovene Approach to Vulnerability and Contamination Risk Mapping. ZRC Publishing, Ljubljana, 254.

[21] Saif, A., Jafariaghdam, M. and Jahanfar, A. 2015. Karstic aquifer vulnerability assessment and mapping using the COP (Case Study: Golin Karstic Aquifer, Kermanshah Province, Iran). Quantitative Geomorphological Researches, 3 (3): 65-79.

[22] Taheri, K. and Raeisi, E. 2010. Karst Resources of Iran: A prelude to a concept. Proceedings of the 1th National Conference on Applied Researches in Water Resources of Iran, 21-23 May 2010, Kermanshah, Iran.

[23] Vias, J.M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., Vadillo, I. and Jimenez, P. 2006. Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method. Hydrogeology Journal, 14: 912–925.

[24] Vias, J., Andreo, B. Ravbar, N. and Hotzl, H. 2010. Mapping the vulnerability of groundwater to the contamination of four carbonate aquifers in Europe. Journal of Environmental Management, 91: 1500-1510.

[25] Zhu, Y. and Balke, K.D. 2008. Groundwater protection: What can we learn from Germany. Journal of Zhejiang University Science, 9(3): 227-231.