بخش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال هشتم / شماره دوم) تابستان ۱۳۹۶
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز
آدرس وب سایت : http://girs.iaubushehr.ac.ir

ارزیابی و تهیه نقشهٔ آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان کارستی دالاهو

علی دسترنج[1*]، احمد نوحه‌گر[2]، آرش ملکیان[3]، حمید غلامی[4]، مریم جعفری اقدم[5]

۱. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
۲. استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
۳. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
٤. استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
۵. دانش‌آموخته دکتری ژئومرفولوژی، دانشگاه اصفهان

چکیده

ارزیابی آسیب‌پذیری و تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری، راهکاری مهم در مدیریت منابع آب کارست به شمار می‌رود. با توجه به وجود ژئومورفولوژی کارست توسعه‌یافته در آبخوان کارستی دالاهو و دیگر شرایط طبیعی منطقه، انتشار آلودگی در این منابع کارستی سریع و گسترده است. بنابراین هدف این پژوهش، تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی دالاهو در استان کرمانشاه در برابر آلودگی‌های سطحی با استفاده از مدل COP است. معیارهای این مدل، خصوصیات لایه‌های پوشاننده سطح آب زیرزمینی (عامل O)، تجمع جریان آب زیرزمینی (عامل C) و بارش بر روی آبخوان (عامل P) را به عنوان پارامترهای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی است. بعد از محاسبه سه عامل C، O، P و تهیه نقشه آسیب‌پذیری هر لایه، این لایه‌ها در هم ضرب شده و نقشه نهایی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی دالاهو محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که به ترتیب ۳۲/۸۳٪، ۱٤/۳۲٪، ۲۲/۰۲٪، ۱٤/۳٤٪ و ۱٦/٤۷٪ از مساحت منطقه در پهنه آسیب‌پذیری خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم واقع شده است که این طبقات به ترتیب ۲۲۲/۸۸، ۹۷/۲، ۱٤۹/٤۷، ۹۷/۳۸ و ۱۱۱/۸۲ کیلومترمربع از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین نتایج طبقات آسیب‌پذیری و مساحت آن‌ها نشان می‌دهد که ٦۹/۲٪ مساحت منطقه در طبقه آسیب‌پذیری خیلی زیاد، زیاد و متوسط، واقع شده است که حاکی از آسیب‌پذیری زیاد آبخوان دالاهو نسبت به آلودگی است. پهنه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد با وسعت ۲۲۲/۸۸ کیلومترمربع (۳۲/۸۳٪) بیشترین مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است.

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:
دریافت: ٦ تیر ۱۳۹٦
پذیرش: ۲۱ مرداد ۱۳۹٦
دسترسی اینترنتی: ۱ شهریور ۱۳۹٦

واژه‌های کلیدی:
آب زیرزمینی
ژئومورفولوژی کارست
منابع آب
دالاهو

* پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: dastranj66@gmail.com

مقدمه

ارزیابی آسیب‌پذیری تهیه نقشهٔ پهنه‌بندی خطر، راهکاری مهم در مدیریت منابع آب کارست به شمار می‌رود. نیاز به تأمین آب، به منظور رفع نیاز جوامع انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی به طور فزاینده‌ای در سطح جهان به رسمیت شناخته شده است (۱۳، ۱۵ و ۱۹). منابع آبی آبخوان‌های کارستی اهمیت روزافزونی 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 آسیب‌پذیری و حساسیت زیاد به آلودگی، یکی از مهم‌ترین اقدامات در مدیریت منابع آب کارست است (۲ و ٦). سفره‌های آب کارست به علت ویژگی‌های هیدرولوژیکی خاص خود متمایز از دیگر سفره‌های آبی می‌باشند (۱۲و ۱۸). سفره‌های آب کارست نسبت به آلودگی حساسیت زیادی دارند، زیرا زمان جابه‌جایی سریع و ظرفیت ذخیره‌سازی در سیستم مجرایی کم است، در نتیجه دخالت فرایندهای طبیعی مانند جذب و تخریب و فیلتراسیون تأثیر کمتری دارند (۱۸). منبع آلودگی آب‌های کارست به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند؛ منابع آلودگی منتشر و گسترده، منابع آلودگی نقطه‌ای (۹). مخاطرات مربوط به منابع بالقوه آلودگی آب‌های زیرزمینی، بطور عمده ناشی از فعالیت‌های انسان در سطح زمین است. 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 آسیب‌پذیری و تهیه نقشه خطر منابع آب کارست ارائه کرده است. این روش به طور عمده دو جنبه یعنی زمان جابه‌جایی آلودگی از منشأ به مقصد و کاهش غلظت آن در طول مسیر را مورد بررسی قرار می‌دهد (۷). روش COP توسط کیروس و ژو (١٤) در اتیوپی، دوسی (۱۱) در ایتالیا، دیمیتریو و همکاران (۱۰) در یونان و پلان و همکاران (۲۰) در استرالیا به منظور بررسی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به کار گرفته شده است. در مدل COP از سه عامل به منظور تعیین میزان آسیب‌پذیری استفاده می‌شود، که شامل C (Concentration of flow) تجمع جریان آب زیرزمینی، O (Overlying layers) لایه‌های پوشاننده سطح آب زیرزمینی، و P (Precipitation) بارش بر روی آبخوان می‌باشد. این روش برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در مناطق کارستی مورد استفاده قرار می‌گیرد و براساس آن می‌توان نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی، جهت مدیریت و حفاظت از آبخوان‌های کارستی، را تهیه نمود (۲۱). سیف و همکاران (٤) در مطالعه‌ای به ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی با استفاده از مدل COP در آبخوان کارستی گلین در استان کرمانشاه پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که چشمه گُلین دارای سیستم افشان بوده و ٤٨/٣٢ درصد، ۱۲/۲۲ درصد و ۳۹/٤٦ درصد از مساحت منطقه به ترتیب در پهنه آسیب‌پذیری خیلی کم، کم و متوسط واقع شده که حاکی از آسیب‌پذیری کم تا متوسط این آبخوان نسبت به آلودگی است. زنگنه اسدی و همکاران (۳) در پژوهشی به منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان حوزه بقیع نیشابور در برابر انتشار آلودگی با استفاده از دو روش COP و PaPRIKa و ارائه راهکارهای مدیریتی برای حفظ این منابع پرداختند. بر طبق نتایج بدست‌آمده از روش PaPRIKa منطقه مورد مطالعه از نظر میزان آسیب‌پذیری به سه رده خیلی زیاد، زیاد و متوسط پهنه‌بندی گردید. نتایج نشان داد که شاخص COP برای منطقه مورد مطالعه بین ۰/۵ تا ۱۲ متغیر است. بنابراین محدوده مورد مطالعه از نظر آسیب‌پذیری به چهار رده مختلف پهنه‌بندی گردید که عبارتند از؛ آسیب‌پذیری زیاد، متوسط، کم و خیلی کم. مرادی و همکاران (۵) به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان رامهرمز با تلفیق مدل دراستیک و تحلیل سلسله مراتبی مارین پرداختند. نتایج نشان داد که قسمت وسیعی از دشت دارای آسیب‌پذیری کم تا متوسط بوده و تنها قسمت‌های جنوب شرق دارای آسیب‌پذیری زیاد است. مارین و همکاران (۱۷) دو روش COP و Paprika را در مناطق اسپانیا و فرانسه مورد مقایسه قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان دهنده مؤثر بودن این دو روش نسبت به روش‌های دیگر در ارزیابی آبخوان‌های کارستی بود. مارین و همکاران (١٦) به منظور پهنه‌بندی

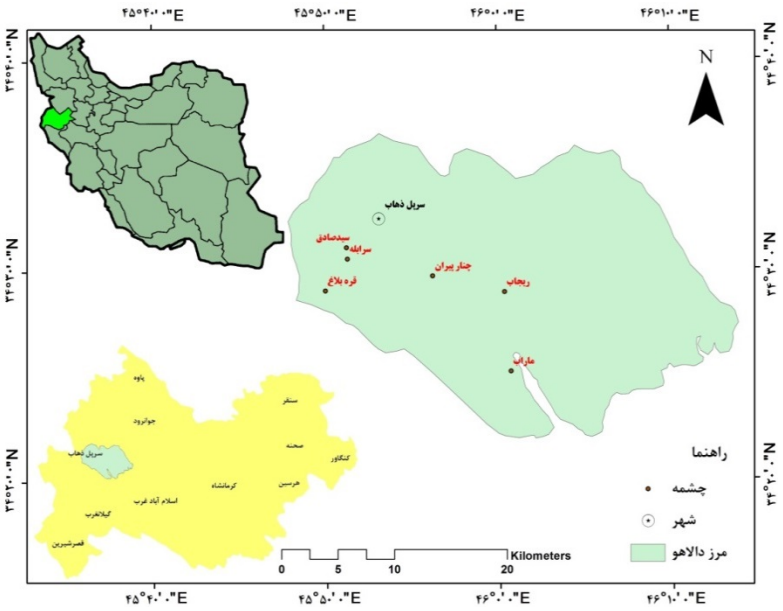
آسیب‌پذیری در جنوب اسپانیا از سه روش COP+K، Slovene و Paprika استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش Slovene و COP+K نتایج قابل قبولی به منظور آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی ارائه می‌دهند. بالوشا (۸) در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان‌های قطر با استفاده از دو روش EPIK و DRASTIK پرداخت. نتایج نشان داد که با توجه به شرایط هیدرولوژیک قطر روش DRASTIK نسبت به روش EPIK مناسب‌تر است.

بنابراین ارزیابی آسیب‌پذیری تهیه نقشهٔ پهنه‌بندی خطر، راهکاری مهم در مدیریت منابع آب کارست به شمار می‌رود. با توجه به توسعه کارست و استفاده از منابع آب توده‌های دالاهو به عنوان آب شرب، ارزیابی آسیب‌پذیری این آبخوان کارستی لازم و ضروری است. 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 آسیب‌پذیری آبخوان کارستی دالاهو است.

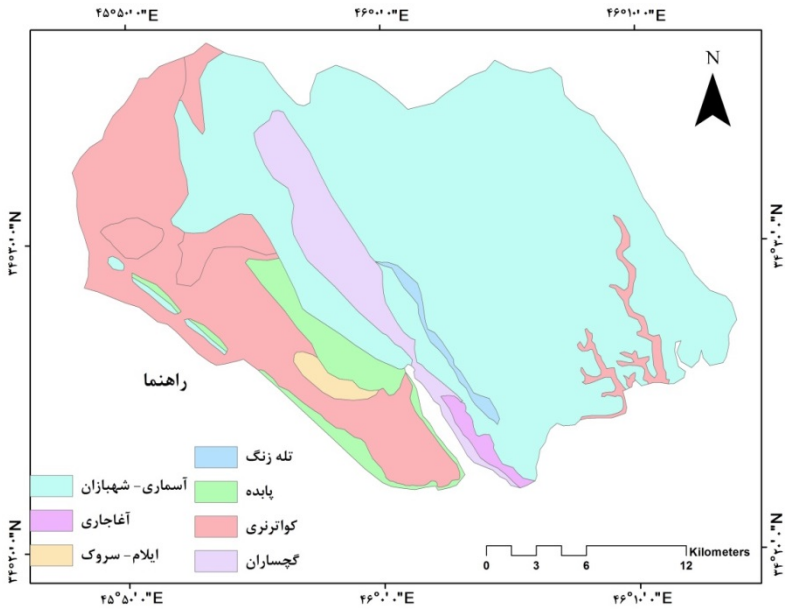
مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

کوهستان دالاهو با مساحت ٦٨٠ کیلومترمربع، به فاصله بسیار کم در شرق و جنوب شرق شهرستان سرپل ذهاب گسترده شده است. این کوهستان با روند شمال غرب- جنوب شرق، بین عرض‌های جغرافیایی ′٢٣ °٣٤ تا′٣٧ °٣٤ شمالی و طول‌های جغرافیایی ′٤٨ °٤٥ تا ′١٥ °٤٦ شرقی، واقع شده است. ارتفاع حداکثر و حداقل آن، به ترتیب ٢٥٧٧ و ٤٩٩ متر از سطح دریا است. از چشمه‌های مهم منطقه از جمله ریجاب، ماراب، چنارپیران، سیدصادق، قره‌بلاغ و ورده ناوه از این آبخوان، تغذیه می‌شوند (شکل١-الف). توده آهکی دالاهو در واحد ساختمانی زاگرس چین‌خورده واقع گردیده و رخنمون‌های از سنگ‌های کرتاسه فوقانی تا کواترنری در این توده شکل گرفته است (شکل١-ب). اشکال ژئومورفولوژی کارستی بسیاری در منطقه شکل گرفته است که فروچاله‌ها (سینکهول‌ها)، چاه‌های مکنده (پونور)، کارن، کارن فیلد، غار و دشت‌های آهکی (پولیه) از آن جمله می‌باشند.



شکل١. نقشه موقعیت (الف) زمین‌شناسی



ادامه شکل۱. نقشه موقعیت (ب) توده‌های آهکی دالاهو

روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا نقشه توزیع فضایی فروچاله‌ها و پولیه‌ها در توده مورد بررسی، با استفاده از بازدید میدانی، تفسیر بصری و تحلیل مدل ارتفاع رقومی با استفاده از مدل‌های منحنی بسته، ترسیم گردید. سپس به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی، از مدل منطق فازی و عملگر گاما استفاده شد. در نهایت از روش COP برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان‌های کربناته در چهارچوب استاندارد اروپایی European COST Action 620 استفاده شد.

مدل‌سازی فروچاله‌های کارستی

استفاده از مدل‌سازی مدل ارتفاع رقومی در شناسایی فروچاله‌های کارستی، علاوه بر کاهش زمان و هزینه، دارای دقت زیادی بوده و نقشه لندفرم‌های کارستی بدست آمده دارای کاربردهای زیادی همچون شناسایی مناطق تغذیه، بررسی‌های هیدرودینامیکی، بررسی وضعیت بیلان آبی و ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌ها، می‌باشند. نقشه توزیع فضایی فروچاله‌ها و پولیه‌ها در توده مورد بررسی، با استفاده از بازدید میدانی، تفسیر بصری و تحلیل مدل ارتفاع رقومی با استفاده از مدل‌های منحنی بسته، ترسیم گردید. به منظور ایجاد مدل منحنی بسته، از مدل ارتفاع رقومی مناطق مورد بررسی که با قدرت تفکیک ۱۰ متر از سازمان نقشه‌برداری کشور دریافت شده در نرم‌افزار ArcGIS®10.3 استفاده شد. مراحل اجرای مدل شامل؛ ۱) مطالعات میدانی، با انجام بازدیدهای میدانی، فروچاله‌ها شناسایی و موقعیت مکانی آن‌ها با استفاده از دستگاه GPS برداشت شد. همچنین در طی بازدیدها، ویژگی‌های مورفومتری (قطر، عمق و محیط) برخی از فروچاله‌ها در توده‌های مورد بررسی نیز، برداشت گردید. ۲) تهیه نقشه سایه روشن، مدل ارتفاع رقومی‌منطقه تصحیح شد و نقشه سایه روشن با آزیموت و ارتفاع، با زاویه ٤٠ درجه ایجاد گردید. ۳) آستانه شیب، ابتدا نقشه شیب منطقه تهیه گردید. از شیب منطقه به عنوان فیلتر جداسازی فروچاله از قله استفاده شد. آستانه شیب بیش از ۱۰ درجه برای قله‌ها و کمتر از ۱۰ درجه برای فروچاله‌ها در نظر گرفته شد. ٤) استخراج منحنی‌های میزان بسته، طبق بررسی‌های انجام شده میدانی و همچنین تفسیر بصری مناطق و اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفومتریک فروچاله‌ها، آستانه مناسب ۱ متر (فاصله بین منحنی‌های میزان) برای استخراج منحنی‌ها تعیین گردید. سپس در نرم افزار

ArcGIS منحنی‌های با طول‌های کمتر از ۱۰۰۰ متر استخراج شد. این منحنی‌های بسته هم نشان‌دهنده‌ای فروچاله‌ها و هم قله‌ها می‌باشند. ۵) جداسازی قله‌ها از فروچاله‌ها، ابتدا مرکز ثقل منحنی‌های بسته تعیین گردید تا امکان تفریق ارتفاع منحنی‌ها از هم ایجاد گردد. پس از محاسبه اختلاف ارتفاع بین منحنی‌ها، آستانه کوچکتر از صفر (۰>) برای قله‌ها و بزگتر از صفر (۰<) برای فروچاله‌ها تعیین گردید و قله‌های باقی‌مانده حذف و نقشه فروچاله‌ها تهیه گردید. ٦) دقت‌سنجی، نقشه فروچاله‌های بدست آمده مورد ارزیابی و صحت سنجی قرار گرفت. برای دقت‌سنجی از نمونه‌های برداشت زمینی که تعداد آن در هر یک از مکان‌های مورد بررسی با توجه به تعداد و تراکم فروچاله‌ها متفاوت بود، همچنین از تفسیر بصری و تطبیق فروچاله‌ها با نقشه سایه روشن، استفاده گردید.

پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی در توده آهکی

از آنجایی که ژئومورفولوژی کارست بر ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان‌های کارستی و بررسی میزان آسیب‌پذیری آن‌ها، تأثیر بسزایی دارد، تهیه نقشه توسعه‌یافتگی سطحی کارست لازم و ضروری است. به منظور توسعه کارست سطحی، متغیرهای لیتولوژی، فاصله از گسل، ارتفاع، شیب، جهت شیب، بارش، دما، کاربری اراضی و خاک به عنوان پارامترهای مؤثر انتخاب گردیدند. به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی، از مدل منطق فازی و عملگر گاما استفاده شد. مدل‌های فازی عموماً در مدل‌سازی مسائلی که با عدم قطعیت ذاتی همراه هستند، مناسب است. تأثیر عوامل مؤثر در توسعه کارست، قطعی و صددرصدی نیست. برای مطالعه چنین شرایط پیچیده و مبهمی، مدل فازی مناسب است، زیرا با استفاده از نظریه فازی، می‌توان متغیرهای نادقیق و مبهم را، به شکل ریاضی درآورد. در مدل فازی، هر فرد هم‌زمان در مجموعه‌های مختلف اما به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و یا خود این دو حد را می‌پذیرد. در تئوری مجموعه‌های دقیق، اگر یک مجموعه را در نظر بگیریم، هر عضو مجموعه مرجع یا در مجموعه هست و یا نیست و می‌توان برای هر مجموعه A تابع زیر را تعریف کرد (رابطهٔ ۱).

$$\mu_A(x)=\begin{cases}1 & ,If \quad x\in A\\ 0 & ,If \quad x\notin A\end{cases} \qquad [۱]$$

این تابع به هر عضو مجموعه A عدد یک و به هر عضو خارج از مجموعه A عدد صفر نسبت می‌دهد. روش فازی با پنج عملگر که هر یک دارای نحوه عمل خاصی هستند، در محیط نرم‌افزار ArcGIS قابل اجرا است. اجتماع فازی، اشتراک فازی، ضرب فازی، جمع فازی و گاما. به دلیل نقش تعدیلی عملگر گاما و نزدیک به واقعیت بودن آن، از این عملگر استفاده شد. عملگر گاما نقش تعدیلی نسبت به نتیجه جمع و ضرب فازی دارد و حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عملگر جمع فازی را تعدیل کرده و به واقعیت نزدیک‌تر می‌کند. مقدار گاما از طریق قضاوت کارشناسی مبتنی بر نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مشاهده شده یا تجربیات موجود درباره موضوع مورد بررسی تعیین یا از طریق آزمون سعی و خطا، در تطبیق با شواهد، واقعی می‌گردد. از این رو، عملگر گاما موجب دستیابی به خروجی‌هایی می‌شود که مناسب‌ترین مقادیر γ را در تطبیق با واقعیت‌ها و در مقایسه با خروجی‌های حاصل از به کارگیری سایر عملگرها، مشخص می‌نماید. این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی بر اساس رابطهٔ ۲ تعریف می‌شود.

[۲]

$$\mu\text{combination}=((\text{Fuzzy Algebraic Sum})(\text{Fuzzy Algebraic Product}))^{1-\gamma}$$

در این رابطه؛ $\mu_{\text{combination}}$ لایه حاصل از گامای فازی و γ پارامتر تعیین‌شده در محدوده صفر و یک است. زمانی که γ را برابر یک قرار دهیم، ترکیبی که اعمال می‌شود همان جمع جبری فازی و زمانی که γ برابر صفر باشد ترکیب برابر با ضرب جبری فازی است. مقدار در نظر گرفته شده برای γ مقادیری در خروجی ایجاد می‌کند که با اثر افزایشی جمع جبری و اثر کاهشی ضرب جبری فازی، سازگاری دارد.

تهیه لایه‌های روش COP

لایه تجمع جریان آب زیرزمینی (عامل C) برای تهیه این لایه نیاز بـه تهیـه سه نقشـه فاصله از فروچاله‌ها (dh)، شیب- پوشش گیاهی (sv) است تا نقشه نهایی عامل C تهیه گردد (شکل ۲). برای اختصاص امتیاز به عامل (dh) ابتدا نقشه توزیع فضایی فروچاله‌ها ترسیم و با استفاده از جدول مدل COP، نقشه نهایی (dh) به کمک GIS تهیه گردید. سپس با استفاده از نقشـه شـیب و نقشه پوشش گیاهی منطقـه و مطابق با معیارهای شکل ۲ نقشه شیب- پوشش گیاهی، تهیه گردید. در نهایت نقشه‌های فاصله از فروچاله‌ها (dh) و شیب- پوشش‌گیاهی (sv) همپوشانی و کلاس‌بندی شدند و نقشه تجمع جریان آب زیرزمینی (C) بدست آمد.

لایه‌های پوشاننده سطح آب زیرزمینی (عامل O) حفاظت آبخوان را مدنظر قـرار مـی‌دهد که بوسیله خصوصیات فیزیکی و ضخامت لایه‌های بالای منطقه غیراشباع مشخص مـی‌گـردد. در روش COP فقط دو لایه مهم به منظور ارزیابی عامل O در نظر گرفته شده است که شامل؛ خاک (O_S) و لیتولوژی (O_L) می‌باشند (شکل ۲). نقشه بافت خاک (O_S) منطقه با استفاده از نقشه واحد اراضی تهیه شده به وسیله مؤسسه آب و خاک استخراج شد. به منظور تهیه نقشه لیتولوژی (O_L) به هر لایه (سازند) موجود یک ارزش داده می‌شود و با توجه به ضخامت هر لایه (با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ استان کرمانشاه) و از طریق رابطهٔ ۳ یک اندیس برای هر لایه (سازند) بدست می‌آید. در مرحله بعد رتبه پارامتر شرایط محدودیت (cn) برای منطقه مورد مطالعه مشخص می‌شود (که برای مناطق مورد مطالعه به علت آزاد بودن آبخـوان برابـر یـک است) و در نقشه مرحله قبل ضرب می‌شود، در نتیجه نقشـه عامل (O_L) حاصـل مـی‌گـردد. در نهایت نقشه‌های خاک و لیتولوژی همپوشانی و کلاس‌بندی شدند و نقشه لایه‌های پوششی آب زیرزمینی (O) بدست آمد. در رابطهٔ ۳ Ly ارزش داده‌شده به هر لایه و m ضخامت لایه است.

$$\text{Layer-index}=\sum(Ly.m) \qquad [۳]$$

لایه بارش بر روی آبخوان (عامل P) عامل P به وسیله دو زیرعامل مقدار بارش (P_Q) و توزیع زمانی بارش (P_I) ارزیابی می‌گردد. نقشه بارش و محاسبه شاخص P_q با استفاده از آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در مناطق مورد مطالعه و روش درونیابی به روش IDW تهیه گردید. به منظور تهیه نقشه توزیع زمانی بارش، توزیع زمانی بـارش، بـرای هر ایستگاه باران‌سنجی بر اساس رابطهٔ ٤ محاسبه گردید. سپس با درون‌یابی و طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری، نقشه توزیع بارش تهیه گردید (شکل ۲).

$$P1 = \frac{P}{N^{o}} \qquad [٤]$$

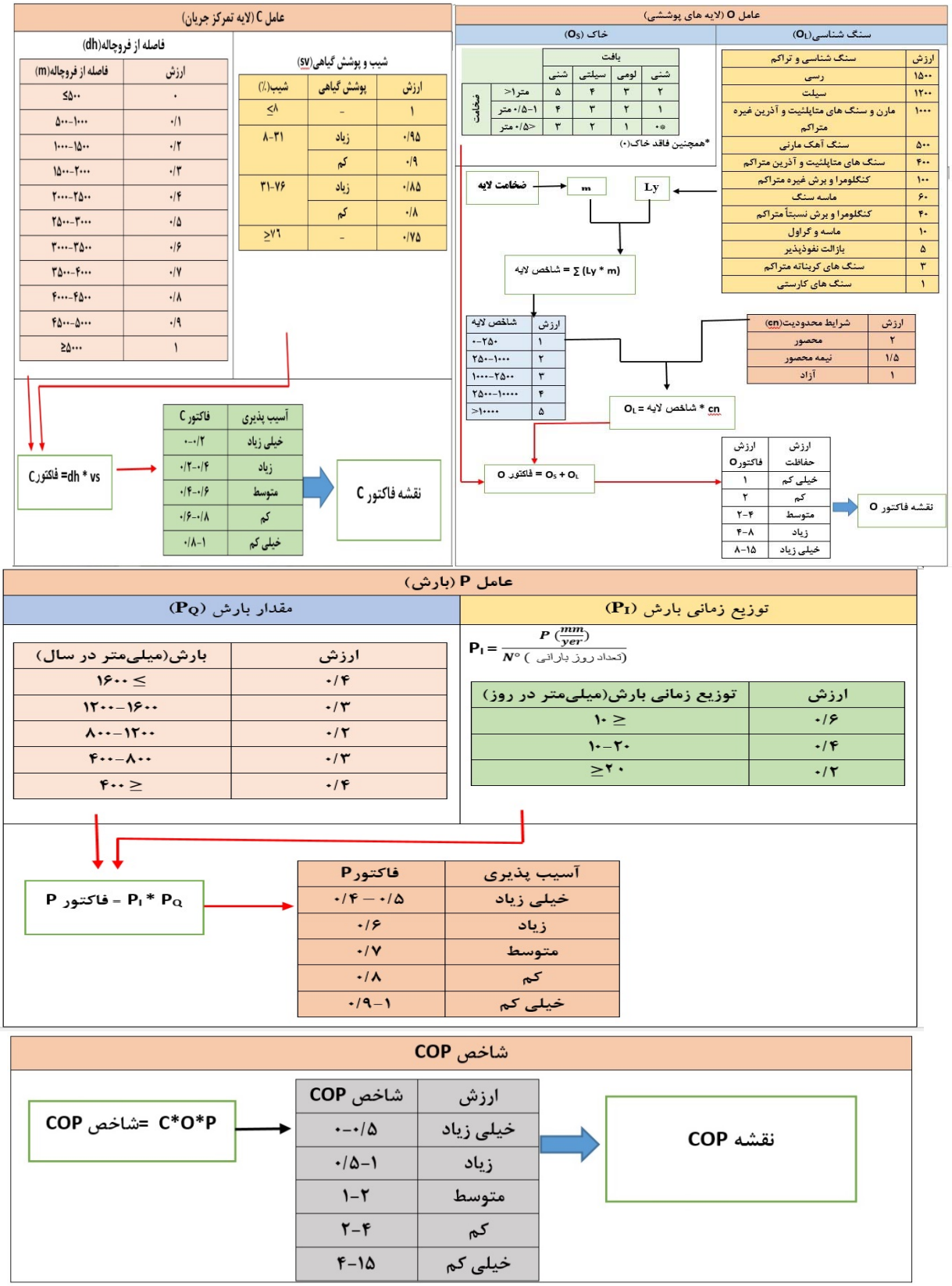
در این رابطه؛ P میانگین بارش سالانه (میلیمتر برسال)، و N^{o} تعداد روزهای بارانی است. در نهایت نقشه‌های مقدار بارش و توزیع زمانی بارش همپوشانی شدند و نقشه بارش حاصل گردید.

تهیه نقشه آسیب‌پذیری با استفاده از مدل COP

بعد از محاسبه سه فاکتور C، O، P و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آن‌ها، با استفاده از مدل COP و با کمک تابع Raster calculator این لایه‌ها در هم ضرب شده و نقشه نهایی آسیب‌پذیری (Vulnerability) آبخوان‌های دالاهو تهیه گردید (رابطهٔ ۵؛ شکل ۲).

$$COP=C.O.P \qquad [۵]$$

در این رابطه؛ C (Concentration of flow) تجمع جریان آب زیرزمینی، O (Overlying layers) لایه‌های پوشاننده سطح آب زیرزمینی، و P (Precipitation) بارش بر روی آبخوان می‌باشد.

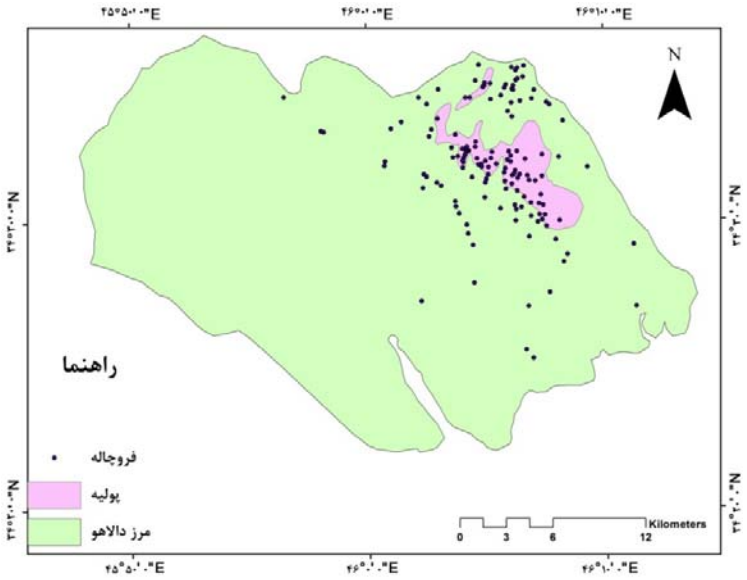


شکل ۲. نحوه محاسبه شاخص COP (۲۱)

نتایج

پراکنش فضایی فروچاله‌ها و پولیه‌های توده دالاهو

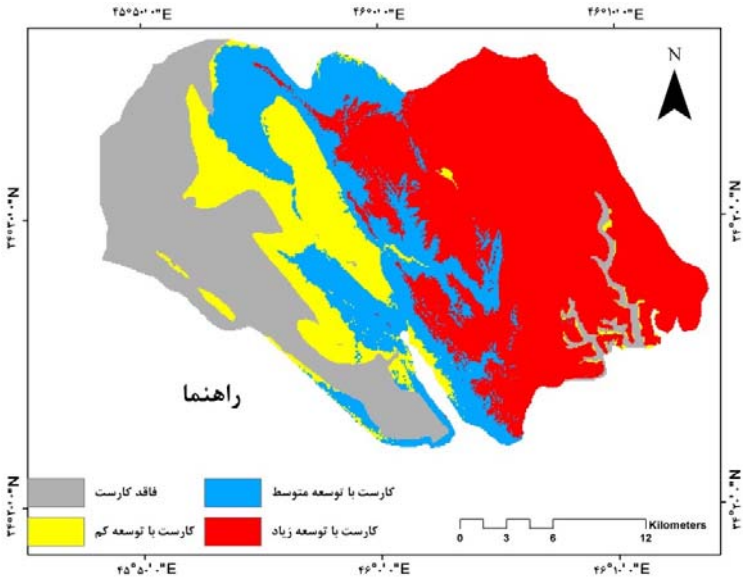
نقشه پراکنش فضایی فروچاله‌ها و پولیه‌های کوهستان دالاهو با استفاده از مدل منحنی بسته نشان دهنده توسعه یافتگی کارست سطحی در این منطقه است (شکل ۳).



شکل۳. نقشه پراکنش فضایی فروچاله‌ها و پولیه‌های دالاهو

پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی در توده دالاهو

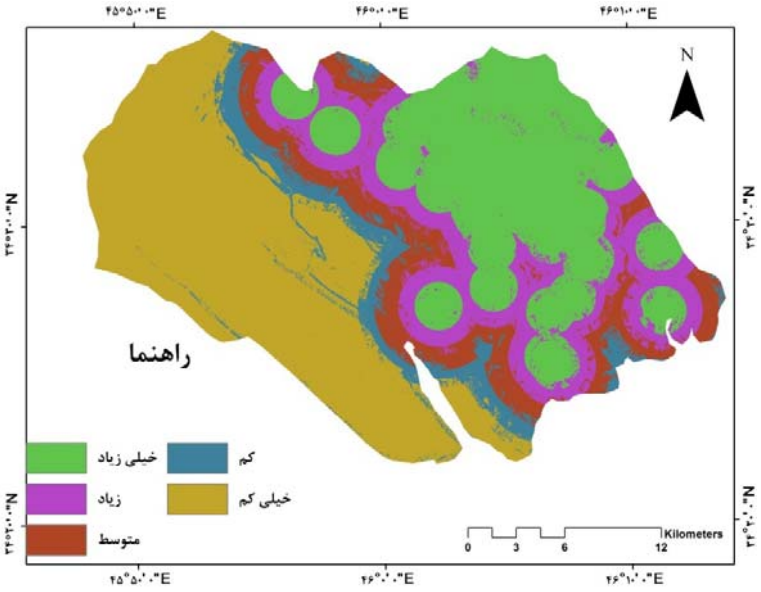
این نقشه با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی به چهار کلاس فاقد کارست (۰/۲۴۲-۰)، کارست با توسعه کم (۰/۵۸۸ -۰/۲۴۲)، کارست با توسعه متوسط (۰/۷۷۷ -۰/۵۸۸) و کارست توسعه‌یافته (۰/۹۸۲ -۰/۷۷۷) طبقه‌بندی شد (شکل ٤).



شکل۴. نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی با مدل فازی

تهیه لایه‌های روش COP

تجمع جریان آب زیرزمینی (عامل C) نقشه پهنه‌بندی عامل C نشان می‌دهد که پهنه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیاد در قسمت‌های مرتفع منطقه (۲۵۷۷ – ۲۰۰۰ متر از سطح دریا) و منطبق بر سازند آهکی آسماری–شهبازان که دارای بیشترین دولین و پولیه، کاربری (مراتع نیمه متراکم و کم تراکم، جنگل تنک و نیمه انبوه)، شیب کم تا زیاد واقع شده است. پهنه با آسیب‌پذیری متوسط در قسمت‌های نیمه مرتفع منطقه و منطبق بر سازند آهکی آسماری–شهبازان و سازند گچساران که دارای کاربری مراتع کم‌تراکم و نیمه متراکم و جنگل نیمه انبوه و شیب کم تا متوسط واقع شده است. پهنه‌های با خطر کم و خیلی کم نیز، منطبق بر نهشته‌های کواترنری (پادگانه‌های جوان رودخانه‌ای Q_2)، سازند آغاجاری، ایلام–سروک و پابده واقع شده‌اند که دارای کاربری کشاورزی (دیم، آبی و باغ)، شیب کم و فاقد ژئومورفولوژی کارست هستند. از آنجایی که برای بدست آوردن عامل C از سناریو یک (شکل ۲) استفاده شد، بنابراین به ترتیب فاصله از دولین، فاصله از پلژه و شیب–پوشش‌گیاهی بیشترین تأثیر را در میزان عامل C دارا می‌باشند (شکل ۵). نتایج مساحت و درصد مساحت هر کدام از طبقه‌های آسیب‌پذیری نقشه پهنه‌بندی عامل تمرکز جریان نشان داد که ۵۵/۱ درصد منطقه دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد، زیاد و متوسط است که این امر حاکی از آسیب‌پذیر بودن منطقه از نظر گسترش آلودگی در منابع آب کارستی است (جدول ۱).

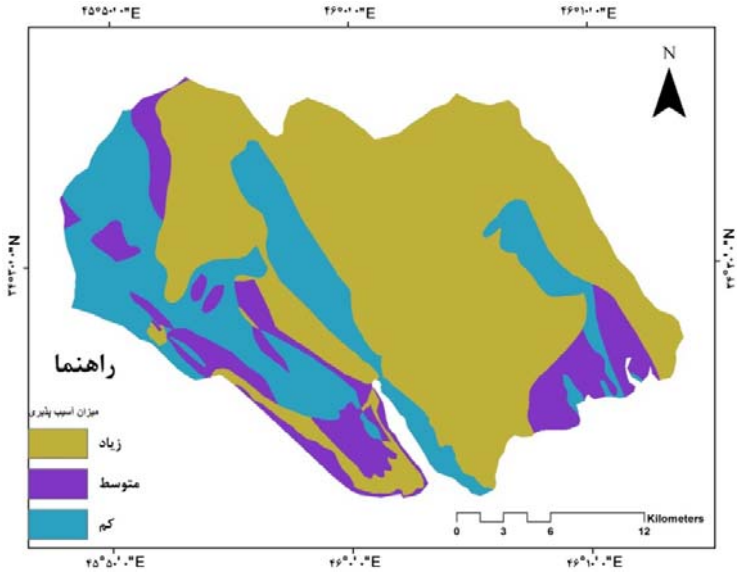


شکل۵. نقشه پهنه‌بندی عامل تجمع جریان آب زیرزمینی (عامل C)

جدول۱. امتیاز و مساحت طبقات آسیب‌پذیری شاخص تجمع جریان (عامل C)

درصد مساحت	مساحت (کیلومترمربع)	آسیب‌پذیری	امتیاز شاخص تجمع جریان (عامل C)
٪۲۹/۳۳	۱۹۹/۳۶	خیلی زیاد	۰ – ۰/۲
٪۱٤/۷٤	۱۰۰/۲٤	زیاد	۰/۲ – ۰/٤
٪۱۱/۰۳	۷۵	متوسط	۰/٤ – ۰/٦
٪۷/۵	۵۱/٦٤	کم	۰/٦ – ۰/۸
٪۳۷/۲۸	۲۵۳/٤۵	خیلی کم	۰/۸ – ۱

لایه‌های پوشاننده سطح آب زیرزمینی (عامل O) نقشه لایه‌های پوششی (عامل O) نشان می‌دهد مناطقی که در پهنه حفاظتی زیاد برعکس در پهنه آسیب‌پذیری کم واقع شده‌اند، در قلمرو سازندهای پادگانه‌های آبرفتی (Q_2)، گچساران و آغاجاری می‌باشند. مناطقی که در پهنه حفاظتی کم و متوسط و برعکس در معرض آسیب‌پذیری زیاد و متوسط واقع شده‌اند، در قلمرو سازندهای آسماری–شهبازان، تله زنگ، پابده و بخش‌های از پادگانه‌های آبرفتی (Q_2) می‌باشند (شکل ٦). نتایج مساحت و درصد مساحت هر کدام از طبقه‌های آسیب‌پذیری نقشه پهنه‌بندی عامل لایه‌های پوششی نشان داد که ٢٥/٧٤ درصد منطقه دارای حفاظت بالا است، یعنی ٧٤/١٢ درصد منطقه دارای آسیب‌پذیری متوسط و زیاد است، که این امر حاکی از آسیب‌پذیر بودن منطقه از نظر گسترش آلودگی در منابع آب کارستی است (٢).

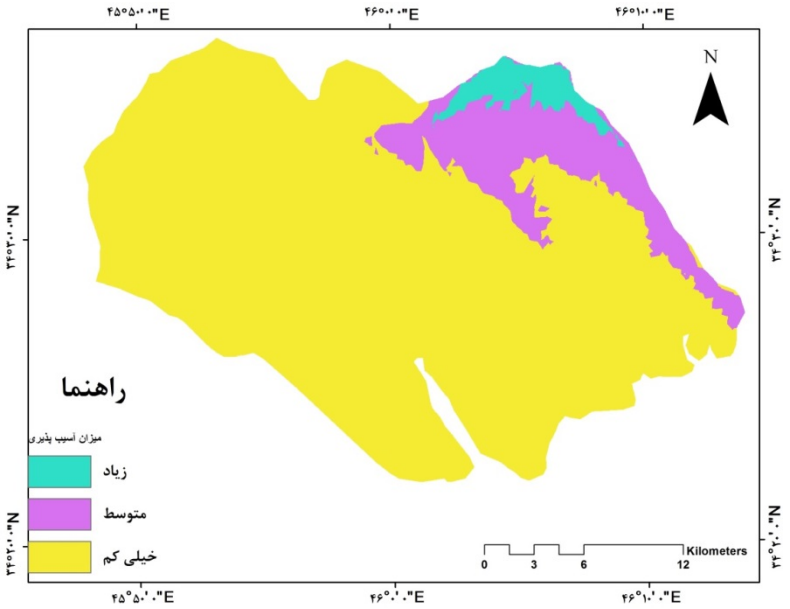


شکل۶. نقشه پهنه‌بندی لایه پوشاننده سطح آب زیرزمینی (عامل O)

جدول۲. مساحت طبقات حفاظتی شاخص لایه پوشاننده سطح آب زیرزمینی (عامل O)

درصد مساحت	مساحت (کیلومترمربع)	حفاظت	امتیاز شاخص لایه پوششی (عامل O)
٪٦٠/٧	٤١٢/٧٧	کم	٢
٪١٣/٤٨	٩١/٦	متوسط	٤ – ٢
٪٢٥/٧٤	١٧٤/٩	زیاد	٦ – ٤

بارش (عامل P) میانگین بارش منطقه بین ٣٧٤ تا ٨٤٥ میلی‌متر است. در قسمت‌های کم ارتفاع منطقه بارش کمتر و در نواحی مرتفع و بخصوص نواحی کوهستانی بارش افزایش می‌یابد. میانگین تعداد روزهای بارشی منطقه ٦٨ روز در سال است. نقشه لایه بارش (عامل P) (شکل ٧) و مساحت و درصد مساحت هر کدام از طبقات آسیب‌پذیری جدول ٣ نشان می‌دهد که امتیاز نهایی این عامل بین ٠/٦ تا یک است. پهنه با آسیب‌پذیری خیلی کم بیشترین مساحت منطقه را تشکیل می‌دهد. در مناطق مرتفع که بارش افزایش می‌یابد، آسیب‌پذیری هم افزایش می‌یابد. ٢/٦ درصد منطقه دارای آسیب‌پذیری زیاد است.



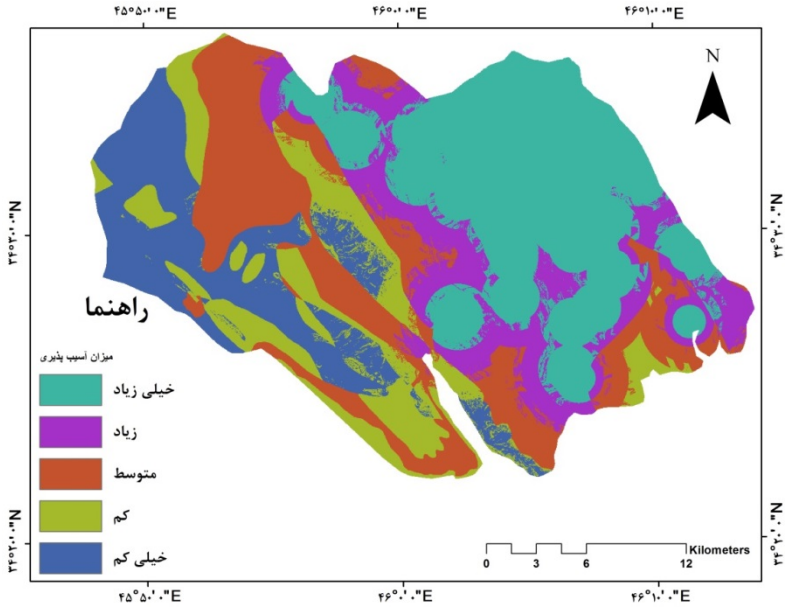
شکل۷. نقشه پهنه‌بندی شاخص بارش (عامل P)

جدول۳. امتیاز و مساحت طبقات آسیب‌پذیری شاخص بارش (عامل P)

درصد مساحت	مساحت (کیلومترمربع)	آسیب‌پذیری	امتیاز شاخص بارش (عامل P)
٪۲/٦	۱۸/۰۸	زیاد	۰/٦
٪۱۱/۳	۷٦/۹۸	متوسط	۰/۷
٪۸٦/۰۱	٥۸٤/۸	خیلی کم	۰/۹ – ۱

تهیهٔ نقشه آسیب‌پذیری منطقه با مدل COP

بعد از تهیه نقشه سه عامل C، O، P و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آن‌ها، با استفاده از مدل COP لایه‌های این سه عامل دریکدیگر ضرب شده و نقشه نهایی آسیب‌پذیری منطقه تهیه گردید (شکل ۸). میزان آسیب‌پذیری منطقه بین ۰ تا ٦ بدست آمد که در پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی گردیدند. مساحت و درصد مساحت طبقات آسیب‌پذیری نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی دالاهو نشان می‌دهد که ٦۹/۲ درصد مساحت منطقه در طبقه آسیب‌پذیری خیلی زیاد، زیاد و متوسط، واقع شده است که حاکی از آسیب‌پذیری زیاد آبخوان دالاهو نسبت به آلودگی است. پهنه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد با وسعت ۲۲۲/۸۸ کیلومترمربع (٪۳۲/۸۳) بیشترین مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است.



شکل۸. نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دالاهو بر اساس روش COP

جدول۴. مساحت طبقات آسیب‌پذیری آبخوان دالاهو

درصد مساحت	مساحت (کیلومترمربع)	آسیب‌پذیری	شاخص COP
٪۳۲/۸۳	۲۲۲/۸۸	خیلی زیاد	۰ – ۰/۵
٪۱٤/۳۲	۹۷/۲	زیاد	۰/۵ – ۱
٪۲۲/۰۲	۱٤۹/٤۷	متوسط	۱ – ۲
٪۱٤/۳٤	۹۷/۳۸	کم	۲ – ٤
٪۱٦/٤۷	۱۱۱/۸۲	خیلی کم	٤ – ٦

بحث و نتیجه‌گیری

روش COP از جدیدترین روش‌های است که جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی با هر سیستم جریان، ابداع شده است (۱). تلفیق این روش با تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور باعث شده است تا با صرف وقت و هزینه کم‌تر نتایج مطلوبی‌تری در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی حاصل شود. در کوهستان دالاهو، پراکنش فضایی پولیه‌ها و فروچاله‌ها با استفاده از مدل منحنی بسته نشان می‌دهد که تمامی ۱٤۰ فروچاله، در آهک آسماری- شهبازان شکل گرفته‌اند. در سطح دشت‌های منطقه و دیگر سازندها نیز، به علت عدم رخنمون سازندهای کربناته یا ناکافی بودن شرایط کارست زایی، فروچاله کارستی شکل نگرفته است. با توجه به پراکنش فروچاله‌ها، شاهد شرایط مساعد کارست‌زایی در آهک آسماری – شهبازان به دیگر سازندهای آهکی منطقه هستیم. در این توده در کنار وجود سازند آهکی ضخیم لایه، وجود دیگر پارامترها، همچون شرایط اقلیمی‌مساعد (بارش زیاد)، ارتفاع و اختلاف ارتفاع زیاد در منطقه و تکتونیزه بودن آن و وجود درزه و شکاف‌های بسیار زیاد این توده، نقش بسیار مهمی در تسریع نفوذ و افزایش سطح تماس آب با سازند کربناته و شکل‌گیری و گسترش فروچاله‌ها و پولیه‌های منطقه داشته است. بر اساس نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی، طبقه فاقد کارست، منطبق بر سطح دشت‌های غربی و جنوب غربی شهرستان سرپل ذهاب، نهشته‌های کواترنری و پادگانه‌های آبرفتی جوان

است. همچنین، جهت شیب‌های جنوب غربی و غرب، تأثیر کم عامل زمین‌ساخت و ارتفاع، حداقل بارش و ماندگاری کم آن نسبت به ارتفاعات و پوشش گیاهی کم تراکم و مبتنی بر زراعت و کشاورزی، اصلی‌ترین عوامل در توسعه‌نیافتگی کارست در این طبقه می‌باشند. این طبقه، حدود ٢٤ درصد از مساحت توده دالاهو را به خود اختصاص داده است. طبقه با توسعه کارست کم، بر حواشی شهرستان سرپل ذهاب و کوهپایه‌های آن منطبق است. بخش‌های از آهک آسماری- شهبازان و همچنین سازند گچساران در این طبقه واقع شده‌اند. این طبقه نیز حد ارتفاعی ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متر و بارشی کم در حدود ۵۰۰ میلی‌متر، شیب زیاد، مراتع کم و نیمه متراکم را در بر می‌گیرد. طبقه با توسعه متوسط کارست با در برگیری ۱۹/۵ درصد از مساحت توده دالاهو، در آهک آسماری- شهبازان و بخشی کمی نیز در سازند پابده و تله زنگ و بر دامنه‌های تاقدیس دالاهو، مناطق با تراکم گسل‌ها و درزه و شکاف‌ها، دامنه‌های رو به آفتاب کوهستان، ارتفاع و بارش زیاد، دمای کم، مراتع نیمه متراکم تا متراکم منطبق است. مرتفع‌ترین قسمت‌های تاقدیس دالاهو واقع در آهک آسماری- شهبازان، با تراکم بالای درزه و شکاف و گسل‌ها، قرارگیری در هسته بیشینه بارش، قرارگیری در جهت شیب‌های شمال، شمال شرقی و شرقی، پوشش گیاهی به صورت مرتع نیمه متراکم و متراکم و جنگل، ارتفاع بالا و بارش به صورت برف و دمای بسیار کم در طبقه کارست با توسعه زیاد واقع شده است که بیشترین مساحت منطقه مورد بررسی را نیز در بر گرفته است.

با توجه به توسعه کارست و استفاده از منابع آب آبخوان دالاهو به عنوان آب شرب، ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی لازم و ضروری است. بنابراین از روش COP برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان‌های کربناته از چهارچوب استاندارد اروپایی European COST Action 620 استفاده شد. این روش خصوصیات لایه‌های پوشاننده سطح آب زیرزمینی (عامل O)، تجمع جریان آب زیرزمینی (عامل C) و بارش بر روی آبخوان (عامل P) را به عنوان پارامترهای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌دهد. بعد از امتیازدهی به عوامل سه‌گانه و تبدیل آن‌ها به لایه‌های رستری، این لایه‌ها در یکدیگر ضرب شد. میزان آسیب‌پذیری منطقه بین صفر تا شش بدست آمد که در نهایت به پنج طبقه خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی گردید. با توجه به نقشه آسیب‌پذیری قسمت‌های شرقی و شمال شرقی به علت وجود اشکال ژئومورفولوژیک کارستی (فروچاله ها، دولین‌ها، کارن‌ها، غارها و غیره)، خطواره‌ها، شکستگی‌ها و گسل‌ها، پوشش نازک خاک و بارش بیشتر دارای آسیب‌پذیری بیشتری هستند. پهنه آسیب‌پذیری خیلی زیاد با ۲۲۲/۸۸ کیلومترمربع بیشترین مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. این پهنه از لحاظ لیتولوژی سازند آهکی آسماری- شهبازان را در برمی‌گیرد و دارای بارش بین ٨٤٥ -٨٠٠ میلی‌متر بوده و خاک کم‌عمق است. پوشش گیاهی و کاربری این پهنه مراتع کم‌تراکم و نیمه متراکم، جنگل‌های تنک و برون‌زدگی سنگی است و دارای شیب کم تا زیاد است. تمامی فروچاله‌ها و پولیه‌های استخراجی در منطقه در این پهنه قرار دارد. این پهنه از لحاظ توسعه کارست سطحی دارای کلاس کارست با توسعه زیاد است، و از لحاظ ارتفاعی در مناطق مرتفع با ارتفاع ٢٥٧٧- ٢٠٠ متر از سطح دریا قرار دارد. پهنه با آسیب‌پذیری متوسط با مساحت ١٤٩/٤٧ کیلومترمربع بعد از پهنه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد بیشترین مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است.

از لحاظ زمین‌شناسی منطبق بر سازند آهکی آسماری- شهبازان و بخش‌های از پادگانه‌های آبرفتی جوان (Q_2) در ارتفاعات پایین با ارتفاع ١٥٠٠-١٠٠٠ متر است. کاربری این پهنه مراتع کم‌تراکم و نیمه متراکم و جنگل انبوه و تنک است، و دارای شیب کم تا متوسط و داری بارش بین ٧٠٠-٥٠٠ میلی‌متر در سال است. این پهنه از لحاظ پوشش خاک دارای خاک کم‌عمق است. این پهنه از لحاظ توسعه کارست سطحی دارای کلاس کارست با توسعه متوسط است. پهنه با آسیب‌پذیری زیاد ١٤/٣٢ درصد از مساحت منطقه را در بر گرفته است. این پهنه از لحاظ لیتولوژی سازند آهکی آسماری- شهبازان را در برمی‌گیرد و دارای بارش بین ٨٠٠ -٧٠٠

میلی‌متر بوده و خاک کم‌عمق است. پوشش گیاهی و کاربری این پهنه مراتع کم‌تراکم و نیمه متراکم، جنگل‌های تنک و انبوه است و دارای شیب کم تا متوسط است. این پهنه از لحاظ توسعه کارست سطحی دارای کلاس کارست با توسعه زیاد است؛ و از لحاظ ارتفاعی در مناطق مرتفع با ارتفاع ۲۰۰۰–۱۵۰۰ متر قرار دارد. پهنه‌های با آسیب‌پذیری کم و خیلی کم در مجموع ۳۰/۸۱ درصد مساحت منطقه را به خود اختصاص می‌دهند، و منطبق بر دشت‌های کم ارتفاع با ارتفاع ۱۰۰۰–۴۹۹ متر و کم شیب می‌باشند. این پهنه‌ها از لحاظ زمین‌شناسی دربرگیرنده سازندهای جوان کواترنری (پادگانه‌های آبرفتی جوان)، ایلام–سروک، آغاجاری و پابده می‌باشند. این پهنه‌ها از لحاظ توسعه کارست سطحی دارای فاقد کارست است؛ و از لحاظ بارش دارای بارش کم، بین ۴۸۰– ۳۷٤ میلی‌متر در سال می‌باشند. این پهنه دارای کاربری کشاورزی (دیم، آبی و باغ)، مراتع کم‌تراکم و بستر رودخانه‌ها است و فاقد ژئومورفولوژی کارست است. بطورکلی در کل منطقه به ترتیب C، P و O بیشترین نقش را در میزان آسیب‌پذیری منطقه دارا می‌باشند. بررسی نقشه آسیب‌پذیری بدست آمده نشان می‌دهد که عامل C به علت وسعت زیاد پهنه کارست تکامل یافته، وسعت کم مناطق غیر کارست، شیب متوسط منطقه، نقش اصلی را در میزان آسیب‌پذیری منطقه دارا است. در نهایت می‌توان گفت که مدل COP دارای کارایی مطلوبی در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی است. باقرزاده و همکاران (۱)، سیف و همکاران (٤) به ترتیب به مطالعه میزان آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی شیمبا (استان خوزستان) و گلین (استان کرمانشاه) با استفاده از روش COP پرداختند که نتایج حاصله از این مطالعات با نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر همخوانی دارد.

منابع مورد استفاده

۱. باقرزاده، س.، ن. کلانتری، م. مرادزاده و م. ح. رحیمی. ۱۳۸۹. جدیدترین روش پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی با استفاده از تکنیک‌های GIS و سنجش از دور: روش COP (مطالعه موردی آبخوان کارستی شیمبا). مجموعه مقالات همایش ملی ژئوماتیک. تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور. ۱۹ الی ۲۰ اردیبهشت ماه.

۲. خوش‌اخلاق، ف.، س. باقری سیدشکری و ط. صفرراد. ۱۳۹۳. واکاوی تاثیرگذاری خشک‌سالی‌های شدید بر آب‌دهی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه (مطالعه موردی: خشک‌سالی شدید سال ۸۷–۱۳۸٦). فضای جغرافیایی، ۱٤(٤۸): ۱–۱۹.

۳. زنگنه اسدی، م. ع.، ن. بقائی‌نژاد، ش. غلامپور و ع. بهشتی قله‌زو. ۱۳۹٤. تهیه‌ی نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان بقیع خراسان رضوی با کاربرد دو روش COP و PRIK، استفاده از سنجش از دور و GIS. مهندسی منابع آب، ۸(۲۷): ٤۳–۵۰.

٤. سیف، ع.، م. جعفری‌اقدم و ع. جهانفر. ۱۳۹۳. ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی با استفاده از مدل COP (مطالعه موردی: آبخوان کارستی گُلین، استان کرمانشاه). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳(۳): ٦۵–۷۹.

۵. مرادی، پ.، ح. روحی، ک. رنگزن، ن. کلانتری و ن. قنبری. ۱۳۹۵. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان رامهرمز با تلفیق مدل دراستیک و تحلیل سلسله مراتبی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(٤): ٦۲–۷۸.

6. Afrasiabian A. 2007. The importance of protection and management of Karst water as drinking water resources in Iran. Environmental Geology, 52(4): 673-677.
7. Andreo B, Vías J, Durán J, Jiménez P, López-Geta J, Carrasco F. 2008. Methodology for groundwater recharge assessment in carbonate aquifers: application to pilot sites in southern Spain. Hydrogeology Journal, 16(5): 911-925.
8. Baalousha HM. 2016. Groundwater vulnerability mapping of Qatar aquifers. Journal of African Earth Sciences, 124: 75-93.
9. De Jong C, Cappy S, Finckh M, Funk D. 2008. A transdisciplinary analysis of water problems in the mountainous karst areas of Morocco. Engineering Geology, 99(3): 228-238.
10. Dimitriou E, Karaouzas I, Sarantakos K, Zacharias I, Bogdanos K, Diapoulis A. 2008. Groundwater risk assessment at a heavily industrialised catchment and the associated impacts on a peri-urban wetland. Journal of Environmental Management, 88(3): 526-538.
11. Ducci D. 2007. Intrinsic vulnerability of the Alburni karst system (southern Italy). Geological Society, London, Special

Publications, 279(1): 137-151.
12. Ford D, Williams PD. 2013. Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons, 576 pp.
13. Gondwe BR, Merediz-Alonso G, Bauer-Gottwein P. 2011. The influence of conceptual model uncertainty on management decisions for a groundwater-dependent ecosystem in karst. Journal of Hydrology, 400(1): 24-40.
14. 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. Oct 9-13.
15. Krause S, Heathwaite AL, 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.
16. Marín A, Andreo B, Mudarra M. 2015. Vulnerability mapping and protection zoning of karst springs. Validation by multitracer tests. Science of the Total Environment, 532: 435-446.
17. Marín A, Dörfliger N, Andreo B. 2012. Comparative application of two methods (COP and PaPRIKa) for groundwater vulnerability mapping in Mediterranean karst aquifers (France and Spain). Environmental Earth Sciences, 65(8): 2407-2421.
18. 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, 397(3): 263-280.
19. Münch Z, Conrad J. 2007. Remote sensing and GIS based determination of groundwater dependent ecosystems in the Western Cape, South Africa. Hydrogeology Journal, 15(1): 19-28.
20. Plan L, Decker K, Faber R, Wagreich M, Grasemann B. 2009. Karst morphology and groundwater vulnerability of high alpine karst plateaus. Environmental Geology, 58(2): 285-297.
21. Vías 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, 91(7): 1500-1510.

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 8/ Issue 2) summer 2017
Indexed by ISC, SID, Magiran and Noormags
http://girs.iaubushehr.ac.ir

Assessment and mapping vulnerability of Dalahoo Karstic aquifer

A. Dastranj [1*], A. Nohegar [2], A. Malekian [3], H. Gholami [4], M. Jafari Aghdam [5]

1. PhD. Student of Watershed Management, College of Agricultural Sciences & Natural Resources, Hormozgan University
2. Prof. College of Environment, University of Tehran
3. Assoc. Prof. College of Natural Resources, University of Tehran
4. Assis. Prof. College of Agricultural Sciences & Natural Resources, Hormozgan University
5. PhD. Graduated of Geomorphology, University of Isfahan

ARTICLE INFO

Article history:
Received 27 June 2017
Accepted 12 August 2017
Available online 23 August 2017

Keywords:
Groundwater
Karst geomorphology
Water resources
Dalahoo

ABSTRACT

Vulnerability assessment and vulnerability mapping, is an important strategy for management of karst water resources. Due to the geomorphology of developed karst in Dalahoo karst aquifers and in other natural conditions of the area, the spread of contamination in these karstic sources is rapid and extensive. Therefore, the purpose of this study was to provide a Dalahoo karstic aquifer vulnerability map in Kermanshah province against surface contamination using the COP model. According to the aforementioned approach, the COP method considers three factors to assess the resource vulnerability: Overlying layers (O), Concentration of flow (C) and Precipitation regime (P). After calculating three factors C, O, P and preparing their vulnerability map, these layers were multiplied and the final map of the vulnerability of the Dalaho karstic aquifer was calculated. The results show that 32.83%, 14.32%, 22.22%, 14.34% and 16.47% of the area are located in the very high, high, moderate, low and very low vulnerable zones and this classes have been 2222.88, 97.2, 147.49, 97.38 and 11.82 km^2 of this area, respectively. Also, the results of vulnerability classes and their area indicate that 69.2% of the total area are located in the very high, high and moderate vulnerabilities, which indicates the high vulnerability of Dalahoo aquifer to contamination. The very high vulnerability zone with 222.88 Km^2, has the largest area of the region.

* Corresponding author e-mail address: dastranj66@gmail.com