صص ۹۸-۸۳

پهنه‌بندی خطرپذیری آبخوان کارستی دشت الشتر با مدل کپ

تیمور کولیوند
دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی، گرایش مدیریت مخاطرات ژئو مورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
محمدعلی زنگنه اسدی*
دانشیار گروه جغرافیا طبیعی، ژئو مورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری سبزوار، ایران
عیسی جوکار سرهنگی
دانشیار گروه جغرافیا طبیعی، ژئو مورفولوژی، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۸ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۰/۶/۱

چکیده

آبخوان کارستی در مناطق نیمه‌خشک نقش بسیار حیاتی در زندگی مردم دارد. از این‌رو شناخت پتانسیل آلودگی آبخوان‌ها و قابلیت آسیب‌پذیری آن‌ها در بخش‌های مختلف از اهمیت بسزایی برخوردار است. **منطقه غرب ایران به دلیل گسترش رشته کوه اغلب کربناته زاگرس دارای آبخوان‌های کارستی متعددی است که ازنظر شرایط زیست‌محیطی و فعالیت‌های گسترده انسانی در معرض آلودگی قرار دارند. هدف پژوهش برآورد میزان و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی دشت الشتر واقع در استان لرستان در برابر انتشار آلودگی با مدل کپ (COP) است. این مد ل با استفاده از سه عامل، لایه پوشاننده (O)، غلظت جریان(C) و رژیم بارش (P) به ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب کارست در برابر آلودگی می‌پردازد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که به ترتیب ۱۹/۱۴، ۲۸/۷۶، ۳۵/۰۱ و ۱۷/۰۹ درصد از مساحت منطقه در پهنه آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط و بالا واقع شده که حاکی از آسیب‌پذیری تقریباً پایین این آبخوان کارستی نسبت به آلودگی است. یافته‌های پژوهش نشان‌دهنده این امر است که به ترتیب اهمیت عامل لایه پوشاننده، عامل رژیم بارش و عامل غلظت جریان در آلودگی آبخوان الشتر نقش دارند. به دلیل وسعت کم کارست‌های کاملاً توسعه‌یافته و شیب زیاد مناطق دارای کارست توسعه‌یافته، نقش عامل غلظت جریان در آلایندگی آبخوان الشتر کمتر است و به علت روند خشک‌سالی‌های دهه‌های اخیر و نیز تغییر نوع بارش از برف به باران رگباری که آب ماندگاری و درنتیجه نفوذ کمتری را در حوضه کارستی الشتر دارد، از اهمیت رژیم بارشی در آسیب‌پذیری آبخوان الشتر کاسته است. در نهایت عامل لایه پوشاننده به دلیل نفوذپذیری بالای دشت آبرفتی الشتر زمینه آلودگی آبخوان را فراهم کرده است. به‌طورکلی در منطقه موردمطالعه به ترتیب C، P و O بیشترین نقش را در میزان آسیب‌پذیری منطقه دارا می‌باشند.**

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی خطرپذیری، آبخوان کارست، مدل کپ، دشت الشتر.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۵۷۱۲۴۸۵ Email: ma.zanganehasadi@hsu.ac.ir

مقدمه

تهیه نقشه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی یک رویکرد علمی برای حفظ منابع آب زیرزمینی است که برای اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ مطرح شد (Adams and Foster,1992: 353). سفره‌های آب کارست به علت ویژگی‌های هیدرولوژیکی خاص خود متمایز از دیگر سفره‌های آبی می‌باشند (White, 1988; European Commission,1995; Bakalowicz, 1995, 2005; Ford and Williams, 2007; Mudarra and Andreo,2011:52). بر همین اساس کمیسیون اروپا، رویکرد COST 620 را به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری و تهیه نقشه خطر منابع آب کارست ارائه کرده است. این روش به‌طور عمده دو جنبه یعنی زمان جابجایی آلودگی از منشأ به مقصد و کاهش غلظت آن در اول مسیر را موردبررسی قرار می‌دهد (Andreo et al. 2006: 55). روش کپ توسط کیروس و زو (Kiros and Zhou, 2006) در اتیوپی، دسی (Ducci, 2007) در ایتالیا، مونچ در آفریقای جنوبی (Münch et al,2007) روبر (Ravbar, 2007) در اسلونی، دیمیترو (Dimitriou et al. 2008) در یونان، لیلند(Leyland, 2008) در آفریقای جنوبی و پلن و همکاران (Plan et al. 2008) در استرالیا به کار گرفته شده است. حفاظت از منابع آب کارست به دلیل آسیب‌پذیری و حساسیت زیاد به آلودگی، یکی از مهم‌ترین اقدامات در مدیریت منابع آب کارست است (Afrasiabian, 2007: 673) منبع آلودگی آب‌های کارست به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند: ۱- منابع آلودگی منتشر و گسترده ۲- منابع آلودگی نقطه‌ای (de Jong et al. 2008: 228) تهیه نقشه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی یک روش علمی است که این‌رویکرد به‌طور قابل توجهی در طول دهه گذشته به علت پیشرفت در مدل هیدرولوژیکی و GIS مورداستفاده قرارگرفته است (Kattaa et al. 2010: 1103). نقشه آسیب‌پذیری سفره‌های آبی یک روش کارآمد به‌منظور مدیریت و حفاظت از منابع آب زیرزمینی است(Vías et al. 2010: 1503) . روش کپ توسط COST 620 توسعه یافت و در دو آبخوان کارستی در جنوب اسپانیا با ویژگی‌های مختلف آب و هوایی و هیدرولوژیکی آزمایش شد.

در نتیجه دخالت فرایندهای طبیعی مانند جذب و تخریب و فیلتراسیون تأثیر کمتری دارند (Mudarra and Andreo, 2011: 263). ضرورت تأمین آب، به‌منظور رفع نیاز جوامع انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی به‌طور فزاینده‌ای در سطح جهان به رسمیت شناخته شده است (Krause et al. Gondwe et al. 2011: 24) سفره‌های آب کارست نسبت به آلودگی حساسیت زیادی دارند، زیرا زمان جابجایی سریع و ظرفیت ذخیره‌سازی در سیستم مجرایی کم است. (Iqbal et al. 2014:131) در پژوهشی با عنوان توسعه مدل فازی سلسله مراتبی برای ارزیابی آلودگی ناشی از آسیب‌پذیری آب زیرزمینی از نوعی مدل فازی سلسله پیشرفته بانام HFS استفاده شده است. شاخص‌های این مدل همانند مدل Drastic است اما در مقایسه با مدل حساسیت بیشتری نسبت به داده‌های ورودی دارد و دقیق‌تر عمل می‌کند. چک هو و همکاران (Chak ho et al. 2017) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی ناشی از ورود آب به داخل کانال‌های کارستی با استفاده از مدل فازی انجام که نتایج ارزیابی این روش با مقایسه نتایج واقعی مشاهده‌ای کاملاً منطبق بود. زنگنه اسدی و همکاران (۱۳۹۴) مبادرت به تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان حوضه بقیع نیشابور در برابر

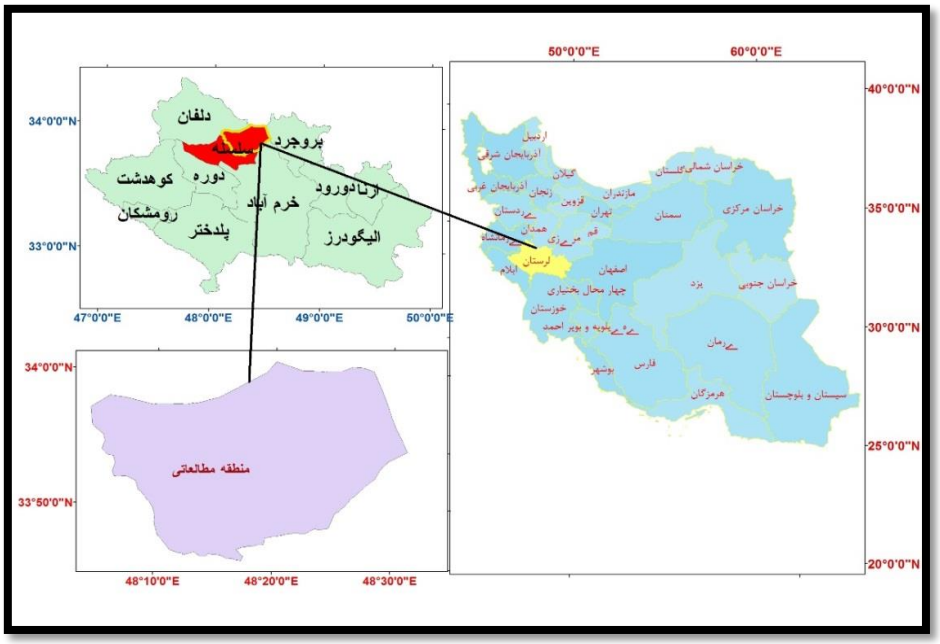
انتشار آلودگی با استفاده از دو مدل شبیه‌ساز COP و PaPRIKa نمودند و نتایج آن نشان داد که شاخص COP برای منطقه موردمطالعه بین ۱۲-۰/۵ متغیر و ازنظر آسیب‌پذیری به چهار رده آسیب‌پذیری زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم و به ترتیب ۹/۸ درصد، ۵۰ درصد، ۲۵/۶ درصد و ۱۴/۶ درصد از مساحت حوضه را در برگرفته‌اند. یمانی و همکاران (۱۳۹۴) به‌منظور تعیین میزان توسعه‌یافتگی کارست و میزان تأثیر عوامل مختلف در نفوذپذیری سازندهای کارستی به بررسی عوامل مؤثر در توسعه‌یافتگی و پهنه‌بندی کارست در حوضه چله با استفاده از منطق فازی و مدل AHP در استان کرمانشاه پرداخته‌اند. صفاری و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی عوامل مؤثر در توسعه‌یافتگی و پهنه‌بندی کارست کوهستان خورین با استفاده از منطق فازی پرداختند و درنهایت نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی منطقه در چهار طبقه فاقد کارست، کارست با توسعه کم، کارست با توسعه متوسط و نهایتاً کارست با توسعه زیاد را تهیه نمودند. کاشفی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به ارزیابی آسیب‌پذیری کارست سطحی آبخوان‌های کارستی شش پیر و برغان با استفاده از منطق فازی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ۷۵ درصد فرو چاله‌ها در طبقه کارستی با آسیب‌پذیری زیاد، ۲۲ درصد فرو چاله‌ها در طبقه کارستی با آسیب‌پذیری متوسط قرار دارد و استقرار ۹۹ درصد فرو چاله‌ها در این دو طبقه کار آیی مطلوب فازی در پهنه‌بندی سطحی کارست در این دو آبخوان را نشان می‌دهد. در تحقیقات مشابه دیمیتریو و همکاران (Dimitriou et al. 2008) در یونان، لیلند (Leyland, 2008) در آفریقای جنوبی و پلن و همکاران Plan et al. 2008) در استرالیا روش کپ به کار گرفته شده و از کار آیی لازم برخوردار بوده است.

آبخوان کارستی دشت الشتر از دو دهه گذشته تاکنون به‌طور روزافزونی به دلیل حفر ۴۵۵ چاه عمیق و ۱۲۳ حلقه چاه نیمه عمیق (سازمان آب منطقه‌ای لرستان: ۱۳۹۸). از یک‌طرف و تغییر کاربری اراضی کشاورزی به مسکونی و صنعتی از طرف دیگر و همچنین خشک‌سالی‌های متوالی و تغییر نوع بارش‌ها تحت‌فشار مضاعفی قرارگرفته است. آبخوان کارستی الشتر با توجه به وجود سازندهای آهکی، شرایط اقلیمی گذشته و حال و ویژگی‌های تکتونیکی و ژئومورفولوژیکی کارست دارای منابع با ارزش آب زیرزمینی است (مهندسین مشاور ژرفاب پایش ۱۳۸۲:۴۱). این آبخوان یکی از سرشاخه‌های اصلی رود کشکان است که نقش مهمی در تأمین آب رودخانه کرخه دارد. آبخوان کارستی دشت الشتر باعث شده که در سطح دشت حدود ۳۲۷ چشمه کارستی دائمی و فصلی جریان داشته باشد که باعث رونق کشاورزی و سرسبزی این منطقه شده است؛ بنابراین بررسی آسیب‌پذیری و همچنین ارائه راهکارهای مدیریتی به‌منظور حفظ این آبخوان کارستی از آلودگی امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد که هدف از این پژوهش نیز تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان کارستی دشت الشتر (سلسله) است.

منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه (شکل ۱) در شمال استان لرستان واقع شده است که از سمت شرق به شهرستان بروجرد، از جنوب به شهرستان خرم‌آباد، از غرب به شهرستان دلفان و از طرف شمال به شهرستان نهاوند از توابع استان همدان محدود

می‌شود. این منطقه در محدوده ′۴۵ °۳۳ تا ′۱ °۳۴ عرض شمالی و ′۴ °۴۸ تا ′۳۳ °۴۸ طول شرقی واقع شده است. جمعیت شهرستان بر طبق سرشماری عمومی سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران برابر است با ۷۵۵۵۹ نفر (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). این منطقه دارای منابع آب سطحی فراوانی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به رودخانه‌های کهمان و کاکا رضا اشاره نمود که به‌عنوان اصلی‌ترین سرشاخه‌های رودخانه کشکان شناخته می‌شوند. محدوده مطالعاتی دارای وسعتی برابر با ۶۴۲ کیلومترمربع است که حدود ۳۸ درصد از کل محدوده مطالعاتی را دشت آبرفتی و ۶۲ درصد بقیه را سازندهای سخت کربنات کارستی شونده تشکیل می‌دهد و توپوگرافی غالب آن کوهستانی است. بلندترین نقطه محدوده ۳۶۳۹ متر از سطح دریا ارتفاع دارد که مربوط به قله کوه‌های گرین واقع در شمال شرقی دشت الشتر و حداقل ارتفاع ۱۶۰۰ متر و ارتفاع متوسط محدوده مطالعاتی ۲۰۹۹ متر از سطح دریا محاسبه‌شده است. ازنظر اقلیمی، منطقه موردمطالعه که در دامنه غربی رشته کوه زاگرس قرار دارد دارای اقلیم مدیترانه‌ای و نیمه مرطوب با زیر اقلیم سرد و فراسرد کوهستانی است. میزان بارندگی از حدود ۵۰۰ میلی‌متر در نواحی مرکزی محدوده مطالعاتی تا بیش از ۷۰۰ میلی‌متر در سال در ارتفاعات شمال غربی معروف به گرین متغیر و متوسط آن در محدوده مطالعاتی ۵۵۴ میلی‌متر تعیین شده است (نقشه هم‌باران ۳۵ ساله هواشناسی الشتر از سال ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۹۹ سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۸).



مآخذ: نگارندگان

شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه موردمطالعه

داده‌ها و روش‌ها

این پژوهش که در زمره پژوهش‌های کاربردی و توسعه‌ای به شمار می‌رود، مبتنی بر روش گردآوری داده از نوع میدانی، تحلیل محتوای اسنادی و گرافیکی در محیط نرم‌افزار رایانه‌ای است و روش تجزیه و تحلیل داده‌ها با مدل کپ (COP)

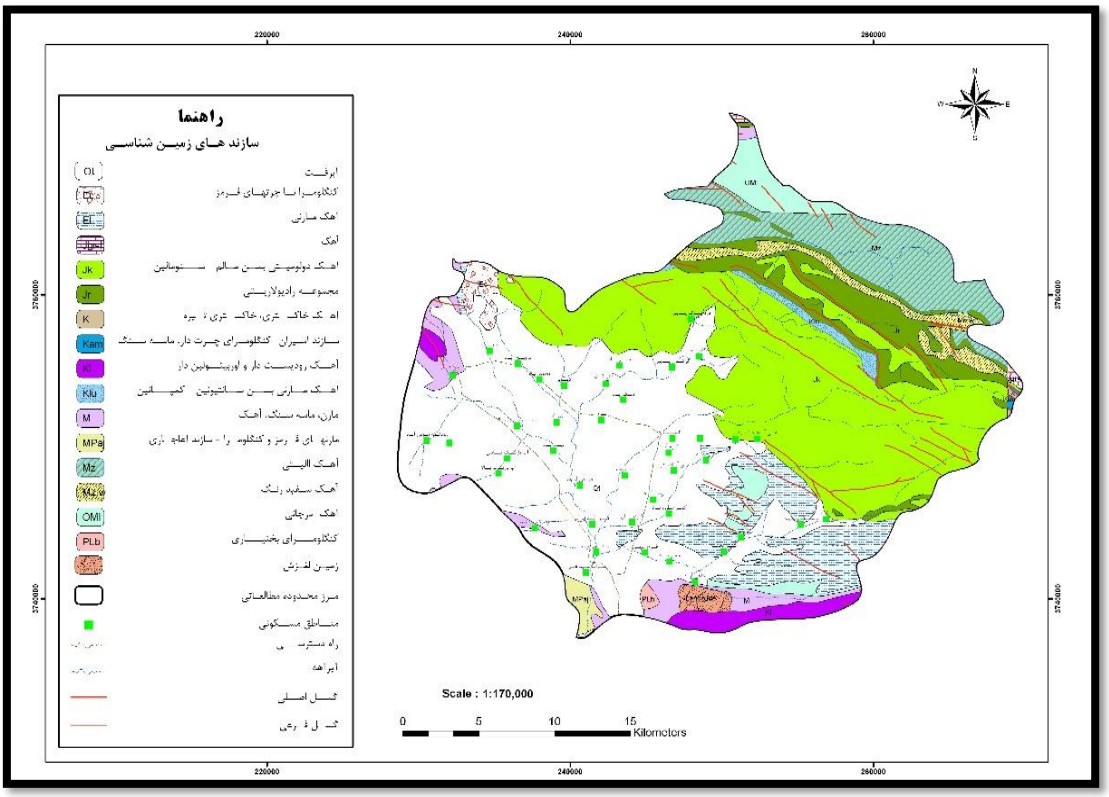
است. در فرایند پژوهش نخست با استفاده از ابزارهای پژوهش شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه خاک‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای IRS سال ۲۰۰۲ و آمار بارش و دمای ایستگاه‌های هواشناسی منطقه به‌عنوان داده‌های اصلی پژوهش مورداستفاده قرار گرفتند. از نرم‌افزار GIS به‌عنوان ابزار اصلی پژوهش در پردازش نهایی و ترسیم نقشه آسیب‌پذیری استفاده شد. محدوده حوضه موردمطالعه به کمک نقشه‌های توپوگرافی مشخص گردید و داده‌ها برای تهیه لایه‌های مربوط به نرم‌افزار ArcGIS انتقال داده شده و رقومی گردیدند. سپس مدل رقومی ارتفاع به‌منظور تهیه لایه‌های ارتفاع و شیب تهیه شد. در ادامه به‌منظور شناسایی واحدهای ژئومورفیک در معرض آلودگی در طی عملیات میدانی لند فرم‌های کارستی حوضه شناسایی و ژئو مورفولوژی کارست منطقه مورد تحلیل واقع گردید. برای تهیه لایه و نقشه بارش بر مبنای آمارهای ۵ ایستگاه سینوپتیک وابسته به سازمان هواشناسی کشور و محاسبه شاخص Pq از روش درون‌یابی به روش IDW استفاده شد. در مدل تجزیه و تحلیل کپ از سه عامل غلظت جریان (C)، لایه پوشاننده (O) و بارش (P) به‌منظور تعیین میزان آسیب‌پذیری آبخوان استفاده می‌شود. این روش برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در مناطق کارستی توسعه‌یافته مورداستفاده قرارمی گیرد و بر اساس آن می‌توان نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی برای مدیریت و حفاظت از آبخوان‌های کارستی تهیه نمود. در مدل کپ آسیب‌پذیری به‌عنوان برآیندی از سه عامل C، O و P مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. عامل O بررسی حفاظت از مناطق غیراشباع آبخوان در برابر رخداد یک عامل آلاینده است و عوامل P و C برای تصحیح درجه حفاظت عامل O مورد استفاده قرار می‌گیرند (Andreo et al. 2006: 58). عامل O شرح حفاظت آب‌های زیرزمینی توسط لایه‌های بالاتر از منطقه اشباع شده است که در آن ضخامت، تخلخل و نفوذپذیری خاک و هر لایه لیتولوژی از منطقه غیراشباع در نظر گرفته شده است (Daly et al. 2002: 346). عامل C بر اساس ژئو مورفولوژی کارست، پوشش گیاهی و شیب توپوگرافی محاسبه می‌شود. عامل P شامل مقدار بارش و توزیع زمانی شدت آن است و قدرت آب را برای حمل و نقل آلاینده‌ها از سطح زمین به داخل آبخوان‌ها تعیین می‌کند. به‌منظور محاسبه شاخص‌های موردنظر نقشه عوامل موردنیاز هر شاخص از روی نقشه‌های موجود رقومی گردید. سپس مقدار شاخص‌های C، O و P در منطقه محاسبه شد. در نهایت با استفاده از تابع spatial analyst لایه‌های موردنظر همپوشانی شده و امتیاز نهایی خطرپذیری به دست آمد.

بحث و یافته‌ها

محاسبه شاخص C

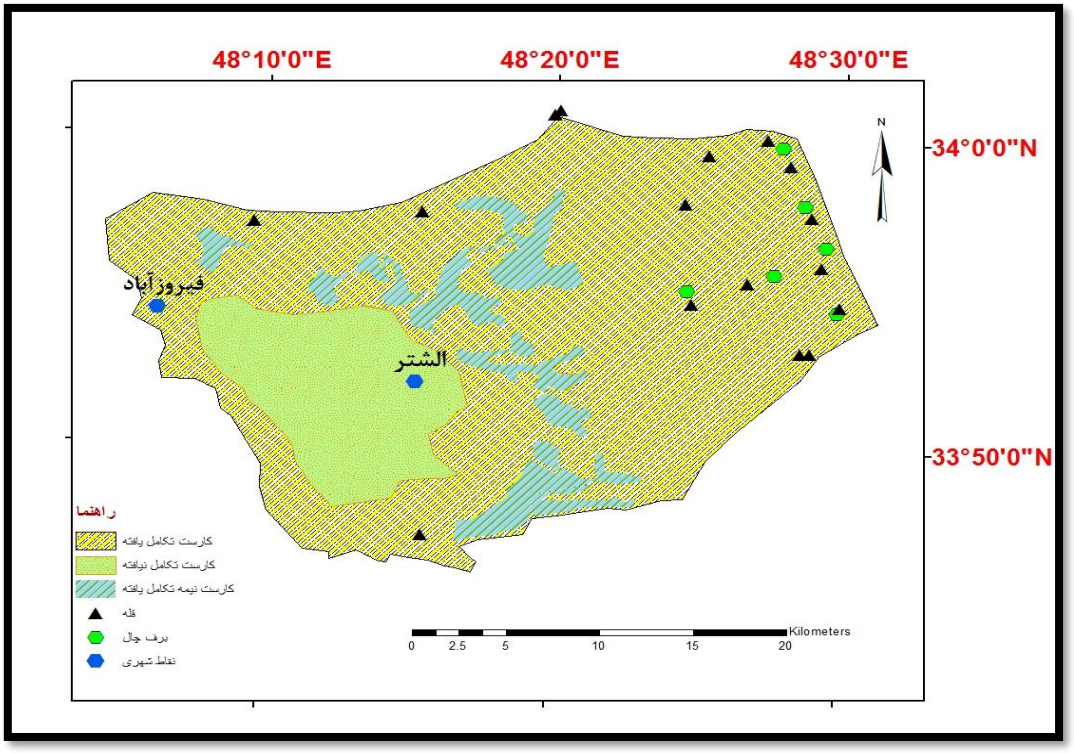
به‌منظور محاسبه شاخص C منطقه ابتدا (sf) بر اساس ویژگی‌های ژئو مورفولوژی کارست منطقه و شاخص (sv) بر مبنای شیب و پوشش گیاهی منطقه محاسبه شد. هرچه کارست تکامل یافته‌تر باشد، نفوذ بیشتر و سریع‌تر انجام می‌گیرد و درنتیجه آلودگی با شدت و سرعت به آبخوان کارستی منتقل می‌شود. برای اختصاص امتیاز به عامل (sf) از تحلیل ژئو

مورفولوژی کارست منطقه با استفاده از بازدیدهای میدانی استفاده شده است. ارتفاعات منطقه دارای کارست تحول یافته و اشکال متنوع کارستی از قبیل کارن‌ها، فرو چاله‌ها، غارها و حفره‌های زیرزمینی است. بخش‌های پایین کوهستان و بالای دشت که از سازندهای آهکی تشکیل شده دارای کارست با تحول کم می‌باشند. قسمت‌های کم ارتفاع‌تر با شیب توپوگرافی بیشتر و دارای سازندهای آهکی جزء مناطق همراه با کربنات بوده و در محل رخنمون سازندهای مارنی و نهشته‌های کواترنری و مورفولوژی کارست شکل نگرفته است (مهندسین مشاور رستاب ۱۳۶۸:۷۲)(شکل ۲ و ۳). بخش کوهستانی دارای شیب زیاد است که نواحی پرشیب منطبق بر دامنه تاقدیس و نواحی کم شیب تر در سطح دشت‌ها، زمین‌های هموار کارستی و منطبق بر ناودیس است (شکل ۴). ازنظر پوشش گیاهی ارتفاعات منطقه دارای پوشش گیاهی تنک و قسمت‌های کوهپایه دارای پوشش مرتعی می‌باشند و سطح دشت دارای کاربری کشاورزی است.



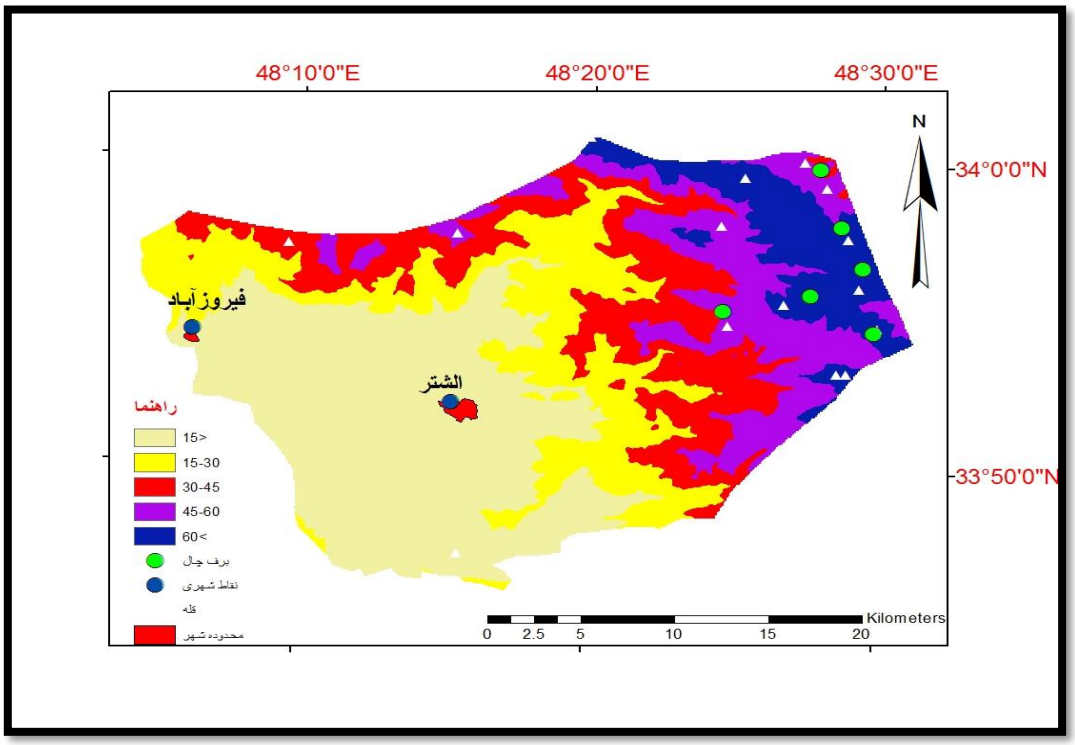
مأخذ: مهندسین مشاور سنگاب زاگرس (۴۹:۱۳۹۰)

شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه



مآخذ: نگارندگان

شکل ۳: نقشه کارست منطقه موردمطالعه



مآخذ: نگارندگان

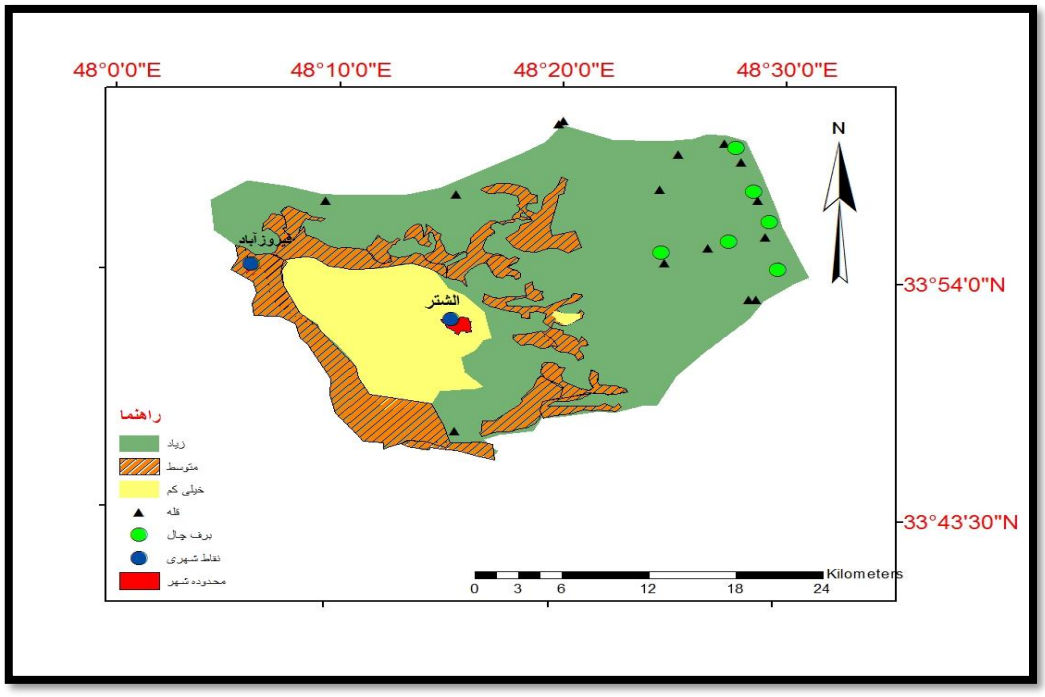
شکل ۴: نقشه شیب منطقه موردمطالعه

(شکل ۵) نقشه پهنه‌بندی عامل C را نشان می‌دهد. امتیاز نهایی این عامل بین ۰/۲ تا ۰/۸ است. (جدول ۱) مساحت و درصد مساحت هرکدام از طبقه‌های آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. در این نقشه پهنه با خطر زیاد در قسمت‌های مرتفع منطقه که دارای کارست تحول‌یافته، شیب زیاد و پوشش گیاهی ضعیف و تنکی می‌باشند، واقع شده است. پهنهٔ با خطر متوسط بر مناطق دارای کارست کم توسعه‌یافته و کارست کربنات با پوشش گیاهی متراکم و شیب زیاد تا متوسط منطبق است. پهنه‌های با خطر کم نیز، منطبق بر نهشته‌های کواترنری (پادگانه و مخروط افکنه) و سازندهای مارنی گچساران و آغاجاری بوده که تحت کاربری زمین‌های کشاورزی و دارای شیب نسبتاً پایین هستند. مناطق با خطر خیلی کم منطبق در نقشه عامل C به ترتیب ژئو مورفولوژی کارست، شیب و پوشش گیاهی بیشترین تأثیر را در میزان عامل c دارا می‌باشند. ۸۲ درصد منطقه دارای آسیب‌پذیری زیاد و متوسط می‌باشند و تنها ۱۸ درصد منطقه آسیب‌پذیری کم دارند.

جدول ۱: مساحت طبقات خطرپذیر عامل C

شاخص C	آسیب‌پذیری	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
۰/۲ –۰/۴	زیاد	۳۸۹,۶۶۵	۶۰/۶۵
۰/۴ –۰/۶	متوسط	۱۴۱	۲۱/۹۴
۰/۶ –۰/۸	خیلی کم	۱۱۱,۷۲۰	۱۷/۳۹

مآخذ: نگارندگان

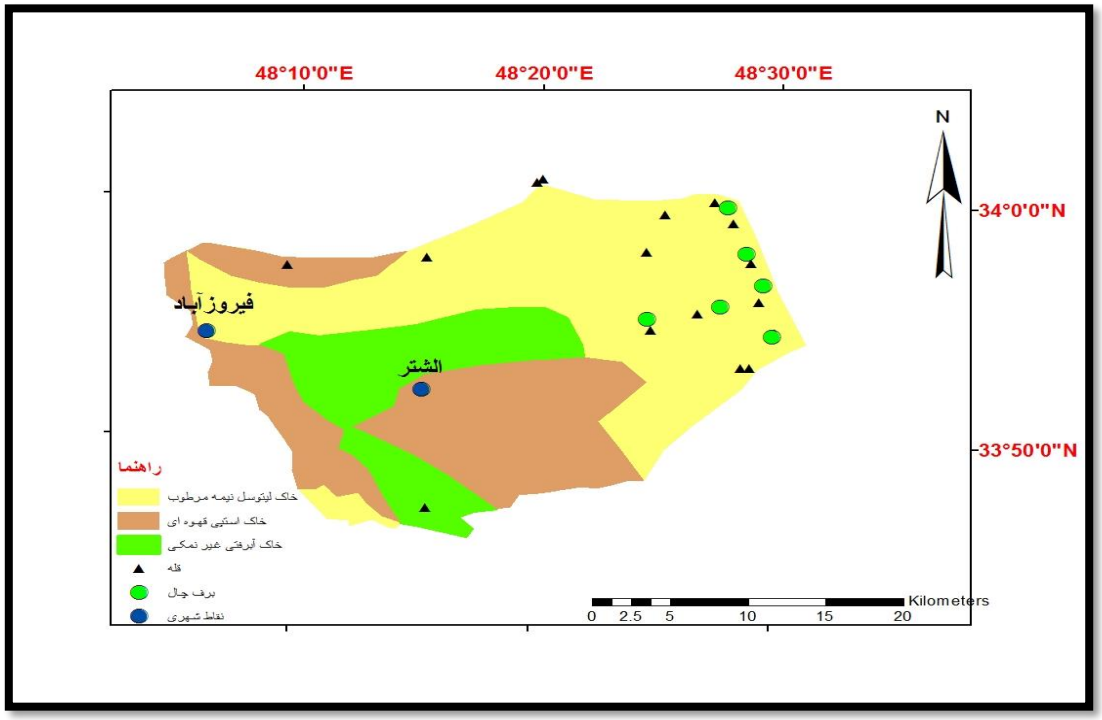


مآخذ: نگارندگان

شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی عامل C منطقه موردمطالعه

محاسبه شاخص O

عامل O بر اساس ویژگی‌های خاک ازجمله ضخامت، تخلخل، نفوذپذیری خاک و ضخامت و جنس لایه‌های لیتولوژی محاسبه می‌گردد. مارن‌ها، ماسه‌سنگ و آهک متعلق به دوره میوسن فوقانی یا نئوژن، کنگلومرای پلیوسن کنگلومرای بختیاری با خمیره و ملات سخت آبرفت‌های جوان دشت که تشکیل آبخوان‌های آبرفتی را می‌دهند سازندهای گورپی، پابده و گچساران از مارن و بین لایه‌های نازک آهک تشکیل شده‌اند. سازند آسماری و آسماری–شهبازان از آهک تشکیل شده است و سازند بختیاری شامل یک کنگلومرای توده‌ای همراه با قلوه‌های کربناتی با گرد شدگی خوب و جور شدگی ضعیف است. پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید از آبرفت‌های دانه‌درشت تا متوسط با درصد زیادی از ماسه، شن، خاک‌های استپی قهوه‌ای و آبرفتی غیر نمکی و خاک‌های لیتوسل نیمه مرطوب تشکیل شده‌اند. برای اختصاص امتیاز به عامل O از نقشه‌های زمین‌شناسی و خاک‌شناسی منطقه استفاده گردید (شکل ۲ و ۶).



مآخذ: نگارندگان

شکل ۶: نقشه خاک‌شناسی منطقه موردمطالعه

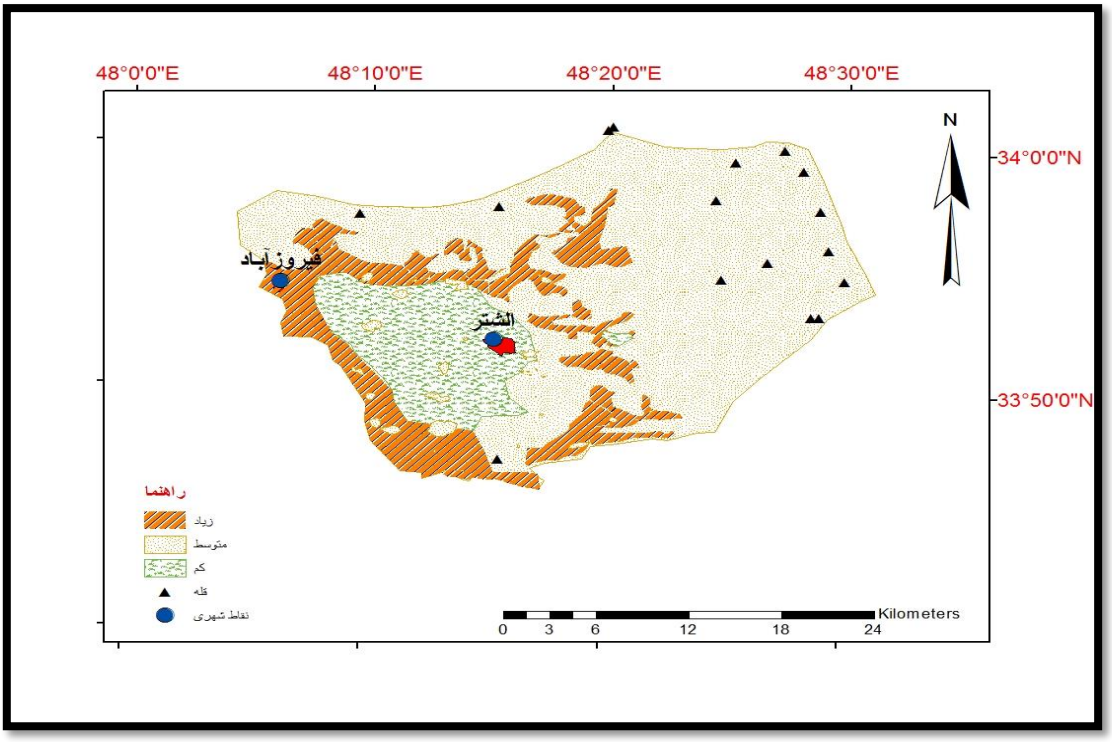
(شکل ۷) نقشه پهنه‌بندی عامل O و (جدول ۲) مساحت و درصد مساحت هرکدام از طبقه‌های آسیب‌پذیر را نشان می‌دهد. امتیاز نهایی این عامل بین ۲ تا ۱۰ است. مناطقی که در پهنه آسیب‌پذیری زیاد واقع شده‌اند در قلمرو آهک‌های ژوراسیک–کرتاسه و آهک مارنی کرتاسه بالائی که متعلق به زون زاگرس است قرار دارد و ۳۴٪ مساحت منطقه را شامل می‌شود. پهنه با خطر متوسط منطبق بر مناطق مرتفع بوده و بیشترین مساحت منطقه (۴۸٪) را به خود اختصاص داده و این مناطق از مجموعه رادیولاریتی ژوراسیک و مارن‌ها، ماسه‌سنگ و آهک متعلق به دوره میوسن فوقانی یا نئوژن

پوشیده شده‌اند. منطقه با آسیب‌پذیری کم منطبق بر سطح دشت و پوشیده از نهشته‌های کواترنری است که تشکیل آبخوان‌های آبرفتی را می‌دهند. در نقشه عامل O به ترتیب ضخامت سازندها، جنس سازندها و خاک نقش بیشتری را دارا می‌باشند. امکان آسیب‌پذیری در برابر آلودگی با شدت و ضعف متفاوت در سراسر منطقه مطالعاتی وجود دارد که به دلیل گسترش سازندهای آهکی و نهشته‌های کواترنری است.

جدول ۲: مساحت طبقات خطرپذیر عامل O

شاخص O	آسیب‌پذیری	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
۸-۱۰	زیاد	۲۲۲,۷۶۵	۳۴,۶۷
۴-۸	متوسط	۳۰۷,۹۰۰	۴۷,۹۳
۲-۴	کم	۱۱۱,۷۲۰	۱۷,۳۹

مآخذ: نگارندگان



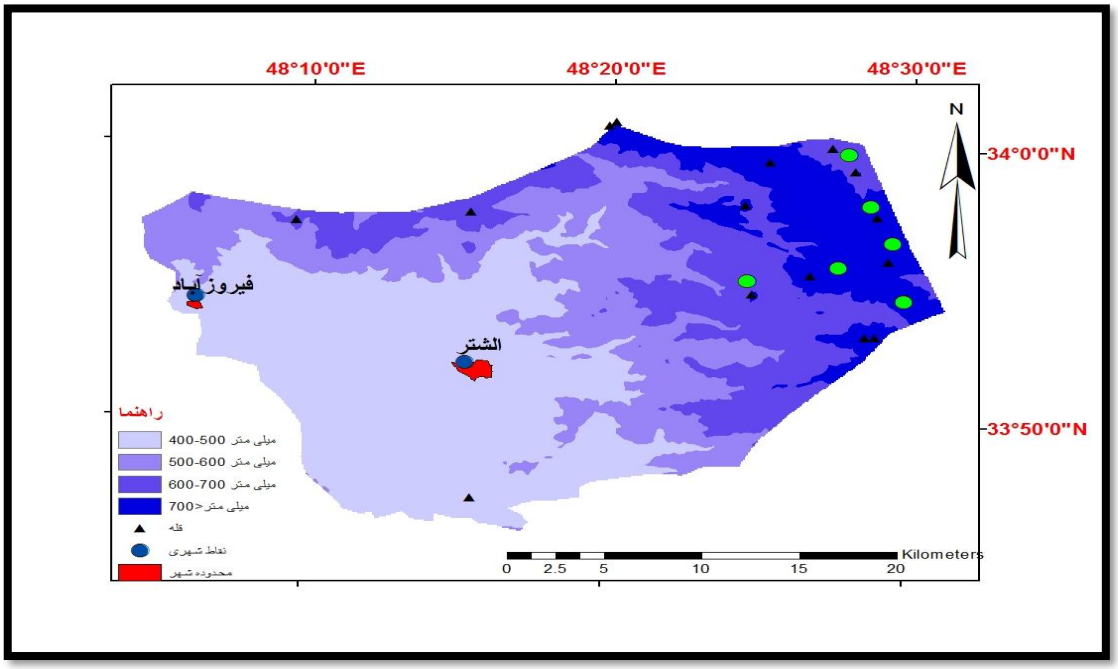
مآخذ: نگارندگان

شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی عامل O منطقه موردمطالعه

محاسبه شاخص P

میانگین بارش منطقه بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر است. در قسمت‌های کم ارتفاع منطقه بارش کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر و در نواحی مرتفع و بخصوص نواحی کوهستانی بارش افزایش یافته و به بیشتر از ۷۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد (شکل ۸)، نقشه پهنه‌بندی عامل P (شکل ۹) و (جدول ۳) مساحت و درصد مساحت هرکدام از طبقه‌های آسیب‌پذیری را نشان

می‌دهد. امتیاز نهایی این عامل بین ۰/۶ تا ۰/۹ است و پهنه با آسیب‌پذیری کم بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است و تنها در قسمت مرتفع منطقه، پهنهٔ با خطر متوسط وجود دارد.



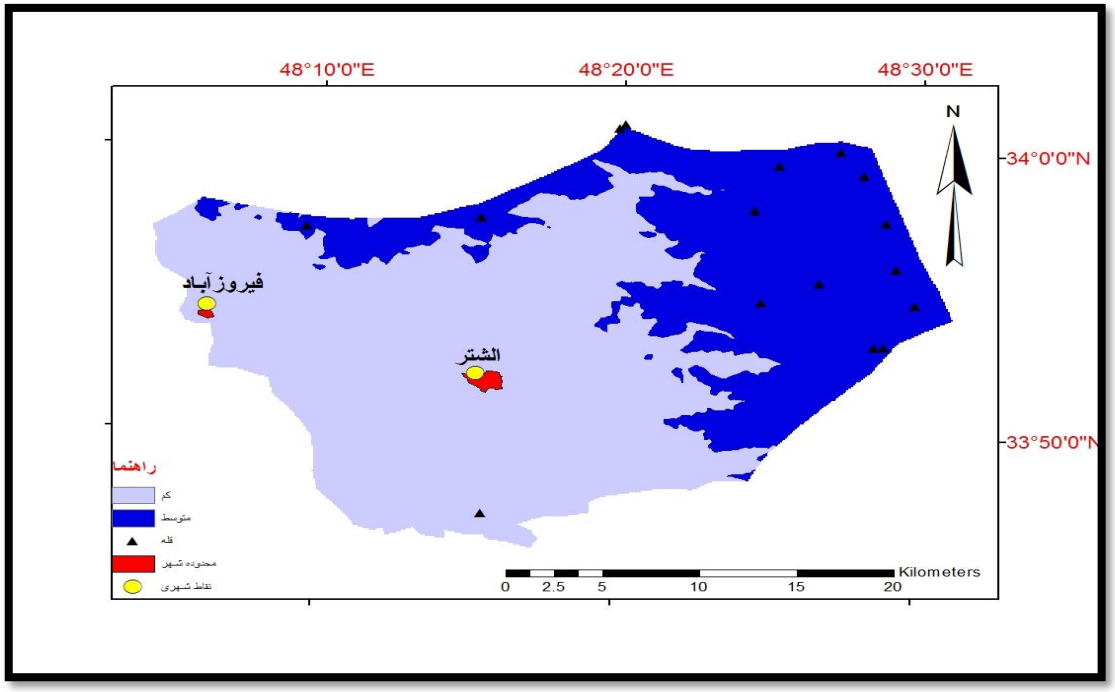
مآخذ: نگارندگان

شکل ۸: نقشه بارش سالانه منطقه موردمطالعه

جدول ۳: مساحت طبقات خطرپذیر عامل P

درصد مساحت	مساحت (کیلومترمربع)	آسیب‌پذیری	شاخص P
۳۴/۹۱	۱۸۴/۱۱	کم	۰/۶–۰/۹
۶۵/۰۹	۴۵۸/۲۵	متوسط	۰<۰/۶

مآخذ: نگارندگان



مآخذ: نگارندگان

شکل ۹: نقشه پهنه‌بندی عامل P منطقه موردمطالعه

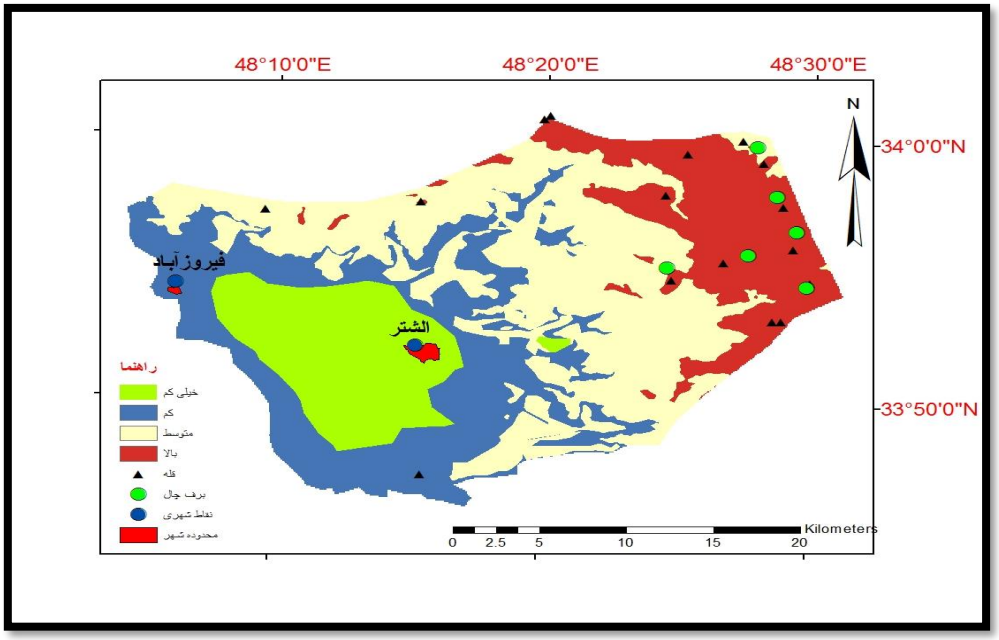
محاسبه مدل COP

بعد از محاسبه فاکتورهای مزبور و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آن‌ها، با استفاده از مدل کپ و با کمک از تابع Raster Calculate این لایه‌ها در یکدیگر ضرب شده و نقشه نهایی خطرپذیری منطقه محاسبه‌شده است (شکل ۱۰). میزان آسیب‌پذیری منطقه بین ۱ تا ۸ به دست آمد که درنهایت به چهار طبقه خیلی کم، کم، متوسط و بالا طبقه‌بندی گردیدند. جدول (۴) مساحت و درصد مساحت هریک از طبقات سه‌گانه را در منطقه نشان می‌دهد.

جدول ۴: مساحت طبقات خطرپذیر

شاخص COP	آسیب‌پذیری	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
۶-۸	خیلی کم	۱۰۹	۱۹/۱۴
۴-۶	کم	۱۸۴/۷۲۰	۲۸/۷۶
۲-۴	متوسط	۲۲۴/۸۳۰	۳۵/۰۱
۱-۲	بالا	۱۲۳/۸۳۰	۱۷/۰۹

مآخذ: نگارندگان



مآخذ: نگارندگان

شکل ۱۰: نقشه خطرپذیری منطقه بر اساس مدل COP منطقه موردمطالعه

این پهنه هم در قسمت‌های تقریباً مرتفع منطقه گسترده شده است و از لحاظ لیتولوژی بیشتر سازندهای آهک آسماری و آسماری- شهبازن منطقه را دربر گرفته و غلبه با خاک‌های لیتوسل می‌باشند. در ارتفاعات منطقه با آسیب‌پذیری کم منطبق بر کارست تکامل نیافته در سازند آسماری و آسماری - شهبازان دارای پوشش مرتعی متراکم، خاک لیتوسل نیمه مرطوب، شیب متوسط ۲۰ درجه و بارش بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متری است. منطقه با آسیب‌پذیری خیلی کم در سطح دشت منطبق بر نهشته‌های کواترنری، خاک‌های استپی قهوه‌ای، شیب کمتر از ۱۰ درجه و کاربری اراضی کشاورزی و بارش حدود ۵۰۰ میلی‌متر است و فاقد اشکال کارست است. از طرف دیگر، بارش منطقه به نسبت بالا است ولی چون به‌صورت بارش‌های از نوع باران است و به رواناب تبدیل شده و ماندگاری بالایی ندارد، این عامل آسیب‌پذیری را کاهش می‌دهد. نقش عامل O حاکی از آسیب‌پذیری بالا منطقه است که نشان‌دهندهٔ گسترش سازندهای نفوذپذیر در منطقه است و آن‌هم به دلیل گستردگی سازندهای آهکی، شنی-ماسه ای با تخلخل و نفوذپذیری زیاد است. این پهنه دارای کارست توسعه‌یافته است و انواع کارن‌ها و فرو چاله‌های کارستی، برف‌چال‌ها و غارها را داراست و پوشش گیاهی این پهنه ضعیف است و فقط در برخی مناطق دارای پوشش جنگلی تنک می‌باشند.

نتیجه‌گیری

برای ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی الشتر از مدل کپ متشکل از سه پارامتر C، O و P استفاده شد. توزیع فضایی کلاس‌های آسیب‌پذیری نقشه نهایی نشان می‌دهد که ۱۹/۱۴ درصد مساحت منطقه در پهنه خیلی کم و

۲۸/۷۶ درصد مساحت منطقه در پهنه کم و ۳۵/۰۱ درصد مساحت منطقه در طبقه متوسط و ۱۷/۰۹ درصد مساحت منطقه در پهنه زیاد واقع شده است. پهنه آسیب‌پذیری متوسط با مساحت ۲۴۴/۸۳۰ کیلومترمربع بیشترین مساحت را در ارتفاعات کارستی منطقه به خود اختصاص داده است. طبقه با خطرپذیری کم در مساحت ۱۸۴/۷۲۰ کیلومترمربع با ارتفاعات تکامل نیافته کارستی منطقه و قسمت‌هایی از سطح دشت منطبق است. مساحت پهنه با آسیب‌پذیری بالا ۱۲۹ کیلومترمربع است که منطبق بر نواحی بسیار مرتفع کارست تکامل یافته است. در پهنه با آسیب‌پذیری خیلی کم به ترتیب نقش عوامل C، O و P در طبقه با آسیب‌پذیری کم به ترتیب نقش عوامل C، P و O در طبقه با آسیب‌پذیری متوسط به ترتیب نقش عوامل O، Pو C بیشتر بوده است و در طبقه با آسیب‌پذیری بالا به ترتیب نقش عوامل C، P و O بیشتر بوده است. به‌طورکلی در کل منطقه به ترتیب C، Pو O بیشترین نقش را در میزان آسیب‌پذیری منطقه دارا می‌باشند. بررسی نقشه آسیب‌پذیری به دست آمده نشان می‌دهد که عامل C به علت وسعت تقریباً کم پهنه کارست تکامل‌یافته و کارست بالغ، نقش اصلی را در تعادل و کاهش میزان آسیب‌پذیری منطقه دارا می‌باشد. درنهایت می‌توان ادعا نمود که تمام منطقه به‌طور میانگین دارای آسیب‌پذیری پایین می‌باشد. در مناطق شمال شرقی به دلیل بارش زیاد و کارست توسعه‌یافته احتمال آسیب‌پذیری و درنتیجه آلودگی بالا است ولی چون شیب آن زیاد است نفوذپذیری هم کاهش می‌یابد و در مناطق مرکزی دشت آبرفتی میزان آلودگی تعدیل شده است. درنهایت با توجه به تحلیل‌های انجام شده و انطباق آن با شرایط مشاهداتی موجود و نیز نتایج تحقیقات داسی (۲۰۰۷) در ایتالیا و کیروس و زو (۲۰۰۶) در اتیوپی، می‌توان گفت که مدل کپ دارای کار آیی مطلوبی در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی است.

منابع

۱- درگاه اینترنتی مرکز آمار ایران (۱۴۰۰): www.amar.org.ir، سرشماری نفوس و مسکن، (۱۳۹۵)

۲- زنگنه اسدی محمدعلی: بقایی نژاد، نادیا: غلام پور، شیرین: بهشتی قله زو، علی (۱۳۹۴): تهیهٔ نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان بقیع خراسان رضوی با کاربرد دو روش COP و PRIK، استفاده از سنجش از دور و GIS، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی منابع آب، دوره هفتم، شماره ۲۷ زمستان ۱۳۹۴، صص ۵۰-۴۳.

۳- سازمان آب منطقه‌ای استان لرستان (۱۳۹۸): گزارش هیدرولوژی دشت الشتر.

۴- سازمان هواشناسی کشور (۱۳۹۹): داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک استان لرستان و شهرستان الشتر، سال‌های ۲۰۲۱-۱۹۹۴ میلادی.

۵- صفاری، امیر: کیانی، طیبه: زنگنه تبار، ساسان (۱۳۹۸): بررسی عوامل مؤثر در توسعه‌یافتگی و پهنه‌بندی کارست کوهستان خورین با استفاده از منطق فازی، نشریه علمی پژوهشی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۹، شماره ۵۵، صص ۳۶-۲۳.

۶- کاشفی، مهدی: انتظاری، مژگان: جعفری اقدام، مریم، (۱۳۹۹): ارزیابی آسیب‌پذیری کارست سطحی آبخوان‌های کارستی شش پیر و برغان با استفاده از منطق فازی، فصل‌نامه علمی پژوهشی پژوهش‌های ژئو مورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۴، بهار (۱۳۹۹)، صص ۶۲-۴۷.
۷- مهندسین مشاور ژرفاب پایش (۱۳۸۲): مطالعات نیمه تفصیلی آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی الشتر، جلد اول، گزارش مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی.
۸- مهندسین مشاور سنگاب زاگرس (۱۳۹۰): گزارش توجیهی تخصیص منابع آب محدوده مطالعاتی الشتر کد ۲۲۱۰، شرکت سهامی آب منطقه‌ای لرستان، وزارت نیرو.
۹- مهندسین مشاور رستاب (۱۳۶۸): مطالعات طرح تأمین آب و شبکه آبیاری و زهکشی دشت الشتر، استان لرستان، جلد دوم منابع خاک و زمین‌شناسی.
۱۰- یمانی، مجتبی، شمسی‌پور، علی‌اکبر، جعفری اقدم، مریم، باقری سیدشکری، سجاد (۱۳۹۲): بررسی عوامل مؤثر در توسعه‌یافتگی و پهنه‌بندی کارست حوضه چله با استفاده از منطق فازی و AHP، استان کرمانشاه، فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین، شماره ۸۸، سال بیست و دوم، صص ۶۶-۵۷.

11- Adams, B.And Foster, S.S.D. (1992): Land-Surface Zoning For Groundwater Protection. Journal Of The Institution Of Water And Environmental Management,6, 312–320.
12- Afrasiabian, A. (2007): The Importance Of Protection And Management Of Karst Water As Drinking Water Resources In Iran. Environ Geol, 52:673–677.
13- Andreo, B. Goldscheider, N. Vadillo, I. Mar Vias, J. Neukum, C. Sinreich, M. Jime´Nez, P. Brechenmacher, J. Carrasco, F. Ho¨ Tzl, H. Jesuperles, M. And Zwahlen, F. (2006): Karst Groundwater Protection: First Application Of A Pan-European Approach To Vulnerability, Hazard And Risk Mapping In Thesierra De Lı´Bar (Southern Spain). Science Of The Total Environment, 357: 54– 73.
14- Bakalowicz, M. (1995): La Zone D'infiltration Des Aquifères Karstiques. Méthodesd'étude. Structure Etfonctionnement. Hydrogeology 4, 3–21.
15- Chak Ho, H. Mylroiem J. Infante, L. (2017): Environmental Earth Sciences, Vol. 71, Issue 3, Pp 1369–1377, Risk Assessment Of Water Inrush In Karst Tunnels Based On Two-Class Fuzzy Comprehensive Evaluation Method.
16- Daly D, Dassargues A, Drew D, Dunne S, Goldscheider N, Neale S, Et Al. Main Concepts Of The European Approach For (Karst) Groundwater Vulnerability Assessment And Mapping. Hydrogeolj (2002); 10:340–355.
17- De Jong, C. Cappy, S. And Funk, D. (2008): A Transdisciplinary Analysis Of Water Problems In The Mountainous Karst Areas Of Morocco. Engineering Geology 99, 228–238.
18- Dimitriou, E. Karaouzas, I. Sarantakos, K. Zacarias, I. Bogdanos, K. Diapo Ulis, A. (2008): Groundwater Risk Assessment At A Heavily Industrialized Catchment And The Impacts On A Peri-Urban Wetland. Journal Of Environmental Management 88 (3), 526e538.
19- Ducci, D. (2007): Intrinsic Vulnerability Of The Alburni Karst System (Southern Italy). In: Parise, M. Gunn, J. (Eds.), Natural And Anthropogenic Hazards In Karst Area: Recognition, Analysis And Mitigation, Vol. 279. Geological Society, London, Special Publications, Pp. 137-151.
20- European Commission, (1995): Hydrogeological Aspects Of Groundwater Protection In Karstic Areas. Report Eur 16547 En, Brussels, 446 P.
Ford, D.C. Williams, P.W. (2007): Karst Hydrogeology And Geomorphology. Wiley Chi Chester, United Kingdom. 562 P.
21- Gondwe, B. Alonso, G. Gottwein,G. (2011): The Influence Of Conceptual Model Uncertainty On Management Decisions For A Groundwater-Dependent Ecosystem In Karst. Journal Of Hydrology 400, 24–40.
22- Iqbal, J. Pathak, G. Gorai, A. (2014): Development Of Hierarchical Fuzzy Model For Groundwater Vulnerability To Pollution Assessment, Arabian Journal Of Geosciences.

23- Kattaa, B. Al-Fares, W. Al Charideh, A. (2010): Groundwater Vulnerability Assessment For The Banyas Catchment Of The Syrian Coastal Area Using Gis And The Riske Method. Journal Of Environmental Management 91, 1103–1110.
24- Kiros, M. Zhou, Y. (2006): Gis-Based Vulnerability Assessment And Mapping For Theprotection Of The Dire Dawa Groundwater Basin, Ethiopia. In: 34th Congress Ofinternational Association Of Hydrogeologists, Beijing, P.R. China.
25- Krause, S. Heathwaite, A.L. Miller, F. Hulme, P. Crowe, A. (2011): Groundwaterdependent Wetlands In The Uk And Ireland: Controls, Functioning And Assessing The Likelihood Of Damage From Human Activities. Water Resour. Manage. 21, 2015–2025.
26- Leyland, R. (2008): Vulnerability Mapping In Karst Terrains, Exemplified In The Wider Cradle Of Humankind World Heritage Site, Master Thesis.
27- Mudarra, M. Andreo, B. (2011): Relative Importance Of The Saturated And The Unsaturated Zones In The Hydrogeological Functioning Of Karst Aquifers: The Case Of Alta Cadena (Southern Spain). Journal Of Hydrology 397, 263–280.
28- Münch, Z. Conrad, J. (2007): Remote Sensing And Gis Based Determination Of Groundwater Dependent Ecosystems In The Western Cape, South Africa, Hydrogeol. J. 15, 19–28.
29- Plan, L. Decker, K. Faber, R. Wagreich, M. Grasemann, B. (2008): Karst Morphology And Groundwater Vulnerability Of High Alpine Karst Plateaus. Environmental Geology.
30- Ravbar, N. (2007): The Protection Of Karst Waters: A Comprehensive Slovene Approach To Vulnerability And Contamination Risk Mapping. Zrc Publishing, Ljubljana, 254 P.
31- 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, 1500e1510.
32- White, W.B. (1988): Geomorphology And Hydrology Of Karst Terrains. Oxford Univ. Press, New York. 464 P.