

## ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی دشت کرمانشاه و توده بیستون - پرآو با استفاده از مدل COP

دریافت مقاله: ۹۶/۹/۲۴ پذیرش نهایی: ۹۷/۴/۶

صفحات: ۱۲۹-۱۴۵

امجد ملکی: دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران<sup>۱</sup>.

Email: Amjad\_maleki@yahoo.com

سجاد باقری سید شکری: دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

Email: Sbagheri.geo@gmail.com

سارا مطاعی: کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

Email: Saramataee69@gmail.com

### چکیده

ارزیابی آسیب‌پذیری و تهیه نقشه خطر آلودگی به عنوان یک راهکار مهم مدیریتی جهت حفظ منابع آب کارستی مطرح می‌باشد. آبخوان‌های کارستی در مناطق نیمه خشک غرب ایران با توجه به شرایط طبیعی منطقه، مستعد آلودگی هستند. هدف از این پژوهش برآورد میزان و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی توده بیستون پرآو و دشت کرمانشاه در برابر انتشار آلودگی با استفاده از مدل COP است. این مدل با استفاده از سه پارامتر لایه پوشاننده (O)، غلظت جریان (C) رژیم بارش (P) به ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب کارست در برابر آلودگی می‌پردازد. نتایج نشان داد که ۳۱/۴٪ مساحت منطقه در پهنه آسیب‌پذیری متوسط و ۳۰/۷٪ مساحت منطقه در پهنه آسیب‌پذیری کم واقع شده و ۳۷/۹٪ در پهنه با آسیب‌پذیری خیلی کم واقع شده است که بیشتر محدوده دشت را دربرمی‌گیرد. عمده مناطق با آسیب‌پذیری کم و متوسط، در قلمرو کارست‌های تکامل یافته سازند آهکی، در قسمت‌های مرتفع منطقه قرار دارند. پوشش گیاهی این مناطق جنگل‌های استپی در محدوده با آسیب‌پذیری کم و فاقد پوشش گیاهی در محدوده با آسیب‌پذیری متوسط است که بارش آنها بیش از ۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد. بطورکلی در منطقه مورد مطالعه به ترتیب پارامترهای C، P و O بیشترین نقش را در میزان آسیب‌پذیری دارا می‌باشند. کلید واژگان: آسیب‌پذیری، روش COP، آبخوان کارستی، آلودگی، جنگل‌های استپی.

۱. نویسنده مسئول: کرمانشاه، باغ ابریشم، دانشگاه رازی، دانشکده ادبیات، دانشیار گروه ژئومورفولوژی، ۰۹۱۸۱۳۲۴۱۱۳

## مقدمه

بدون شک آب گرانبهارترین منبع طبیعی در سیاره‌ی زمین می‌باشد. بیش از ۷۰٪ از سطح سیاره پوشیده از آب است از کل آب‌های موجود در کره‌ی زمین تنها ۲٪ شیرین می‌باشد. در کشورهای نیمه خشک مانند ایران، مصرف بیش از حد از آب‌های زیرزمینی به علت رشد جمعیت و صنعتی شدن کیفیت بسیاری از آبخوان‌ها را تهدید می‌کند (خداپناه و همکاران، ۲۰۰۹). به طور کلی منابع آب زیرزمینی قابل شرب تحت فشار شدید انسان قرار دارند (andreo et al., 2006)، به همین سبب مدیریت آب‌های زیرزمینی مسئله‌ای حیاتی برای نسل‌های کنونی و آینده بوده و منابع آب زیرزمینی، به مدیریت کمی و کیفی نیازمند است. نظر به آن که آب شرب ۲۵٪ جمعیت جهان از منابع آب کارستی تامین می‌گردد (ford and willians, 2007) و حدود ۹۰٪ زاگرس از سنگ‌های کربناته تشکیل می‌شود (افراسیابیان، ۱۹۹۸) ضروری است که یک مدیریت همه جانبه در حفاظت و کنترل منابع آب کارست صورت بگیرد (عشقی و همکاران، ۱۳۸۲). حفاظت از منابع آب کارست به دلیل آسیب‌پذیری و حساسیت زیاد به آلودگی، یکی از مهمترین اقدامات در مدیریت منابع آب کارست می‌باشد (افراسیابیان، ۲۰۰۷). این آسیب‌پذیری و حساسیت به این دلیل است که در مناطق کارستی، آب جمع شده در حفره‌های بسته‌ی کارستی یا فروچاله‌ها از راه چاه‌های فروکش به طور مستقیم به مجراهای زیرزمینی نفوذ می‌کند این آب با گذشتن از خاک و پوشش‌های حفاظتی آلوده‌ی دیگر، بدون هیچ تصفیه‌ای در زمان کوتاه وارد آبخوان‌های کارستی می‌شود (plant et al, 2003). در نتیجه دخالت فرایندهای طبیعی مانند جذب و تخریب و فیلتراسیون تاثیر کمتری دارند (mudarea and andrea, 2011).

در واقع آسیب‌پذیری را می‌توان به عنوان امکان نفوذ و پخش آلاینده از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی تعریف کرد. آسیب‌پذیری به عنوان یک استعداد ذاتی سیستم آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود که وابسته به میزان حساسیت این سیستم به تاثیرات فعالیت‌های انسانی و یا طبیعی می‌باشد. آسیب‌پذیری از نظر مفهومی به دو دسته ذاتی و ویژه تقسیم می‌شود. آسیب‌پذیری ذاتی را می‌توان همراه با احتمال قرار گرفتن آب‌های زیرزمینی در معرض نفوذ آلاینده‌ها مورد بررسی قرار داد (ناصری و همکاران، ۱۳۹۰). تغییرات مکانی و محدودیت داده‌ها موانعی را در پایش آب‌های زیرزمینی ایجاد می‌کند و مطالعات را در این زمینه اغلب پرهزینه و غیرممکن می‌سازد. در این راستا، ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی روشی قدرتمند و کم‌هزینه در شناسایی نواحی مستعد آلودگی می‌باشد (چیت سازان و اختری، ۳۹، ۱۳۸۵-۵۱). آلودگی آب‌های زیرزمینی در نتیجه پخش مواد آلاینده نه تنها یک مساله زیست محیطی جدی محسوب می‌شود بلکه باعث ایجاد مشکلات اقتصادی و بهداشتی نیز می‌گردد (Yang and Wang, ۲۰۱۰). برای این منظور مدل‌های زیادی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌ها به کار گرفته شده است، که یکی از این مدل‌ها که مختص مناطق کارستی می‌باشد مدل COP است. در طول چندین دهه گذشته در مناطق نیمه خشک غرب ایران منابع آب کارست به عنوان منبع اصلی تامین آب جوامع محلی، از لحاظ کمی و کیفی تحت فشار عواملی همچون بهره برداری بی رویه، آلودگی تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی و خشکسالی‌های متعدد بوده است. با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژی کارست منطقه، این منابع مهم و اصلی تامین آب منطقه در معرض آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی انسان قرار گرفته‌اند. در صورت احتمال وقوع آلاینده‌ها در منطقه با توجه به ویژگی‌های

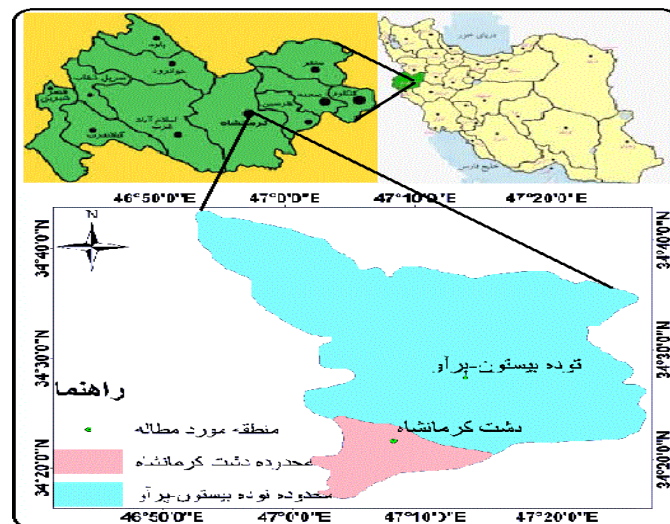
ژئومورفولوژی، هیدروژئولوژی، ویژگی‌های کارست میزان آسیب‌پذیری بررسی می‌شود. به عبارتی مدل COP به نوعی پهنه بندی آسیب‌پذیری رادر مناطق کارستی انجام می‌دهد بنابراین بررسی آسیب‌پذیری و همچنین ارائه راهکارهای مدیریتی به منظور حفظ این آبخوان کارستی از آلودگی امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. مفهوم آسیب‌پذیری برای اولین بار در اواخر سال ۱۹۶۰ میلادی در فرانسه در مورد آلودگی آب زیرزمینی ارائه شده است (vraba and zoporozec, 1994). باتوجه به اهمیت مناطق کارستی در تغذیه منابع آب زیرزمینی تحقیقات نسبتاً جامعی در رابطه با کارست در جهان، ایران و به خصوص زاگرس انجام گرفته است. تهیه نقشه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی یک رویکرد نسبتاً جدید علمی است که برای اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ مطرح شد که به طور قابل توجهی در طول دهه گذشته به علت بهبود مدل هیدرو لوژیکی GIS وسایل کارتوگرافی پیشرفت داشته است (Adams, B. and Foster, ۱۹۹۲). از جمله افرادی که در این زمینه تحقیقاتی ارائه داده اند عبارت اند از:

معصوم پور وهمکاران در سال (۲۰۱۳)، پژوهشی را در جهت برآورد میزان و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی گیلان غرب، در غرب ایران در برابر انتشار آلودگی با استفاده از مدل COP انجام داده‌اند. که نتایج آن حاکی از ۶/۷۴٪ مساحت منطقه در پهنه آسیب‌پذیری خیلی کم و ۵/۲۵٪ مساحت منطقه در پهنه آسیب‌پذیری کم واقع شده که حاکی از آسیب‌پذیری کم این آبخوان کارستی نسبت به آلودگی می‌باشد. COP به عنوان یک روش جدید و کارآمد برای اولین بار توسط کمیسیون اروپایی (COST ACTION 620) توسعه داده شده (Zwahlen F, 2004) و در دو آبخوان کارستی در جنوب اسپانیا با ویژگی‌های مختلف آب‌وهوایی و هیدرولوژیکی آزمایش گردید و توسعه داده شد. کمیسیون اروپایی (COST ACTION 620) به آسیب‌پذیری، مخاطرات و تهیه نقشه ریسک براساس مدل مبدا، مسیر و هدف که وسیله ای برای حفاظت از منابع آب است می‌پردازد. این پروژه با شرکت ۱۵ کشور اروپایی در سال ۱۹۹۷ شروع به کار کرده و در ۱۲ سایت در اروپا مورد استفاده قرار گرفت. روش COP توسط (Ducci (2007 در ایتالیا، (Ravbar (2007 در اسلونی، Leyland (2008) در آفریقای جنوبی به کار گرفته شده است. و اما در این تحقیق نیز به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های دشت کرمانشاه و توده بیستون-پراو با استفاده از روش COP پرداخته شده است. در مدل COP از سه عامل به منظور تعیین میزان آسیب‌پذیری استفاده می‌شود. که شامل C غلظت جریان<sup>۲</sup>، O لایه پوشاننده<sup>۳</sup> و P بارش<sup>۴</sup> می‌باشد. این روش برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در مناطق کارستی توسعه یافته مورد استفاده قرار می‌گیرد و براساس آن می‌توان نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی جهت مدیریت و حفاظت از آبخوان‌های کارستی تهیه کرد. نقشه آسیب‌پذیری سفره‌های آبی یک روش کارآمد به منظور مدیریت و حفاظت از منابع آب زیرزمینی است (Zwahlen, 2004; Vías et al, 2010). تهیه نقشه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی یک رویکرد علمی برای حفظ منابع آب زیرزمینی است.

- 
- 2 concentration of flow
  - 3 covering layer
  - 4 precipitation

## منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحتی حدود ۲/۱۲۹۲ کیلومتر مربع بین ۳۴°۴۵' و ۴۶°۴۵' عرض شمالی و ۳۴°۱۵' و ۴۷°۳۵' طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. در واقع توده بیستون یک توده سنگ آهکی و بخشی از زاگرس روئانده در مغرب ایران می باشد. که در استان کرمانشاه و شمال شهر کرمانشاه قرار دارد و به ناهمواری های بیستون - پراو (پراو) مشهور است. شهر کرمانشاه با جمعیتی معادل ۸۵۱۴۰۵ نفر (بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۰) به عنوان مرکز استان کرمانشاه، مهمترین مرکز جمعیتی مغرب کشور به شمار می رود این شهر با شکلی کشیده در سطح یک دشت بین کوهی میان رشته کوه های پراو در شمال شرق و رشته کوه های سفید در جنوب غرب بنا شده است. زمین شناسی منطقه بخشی از کمربند کوهزائی زاگرس را شامل می شود که این بخش خود به دو جزء تقسیم گردیده (۱) سنگ های آهکی بیستون و (۲) رادیولاریت ها. از نظر چینه شناسی در منطقه مورد مطالعه در سنگ های آهکی رخنمون هایی از سنگ های تریاس بالایی تا کرتاسه بالایی و در رادیولاریت ها تریاس ژوراستیک و واحد فلیشی و در سطح دشت نهشته های کواترنری شامل پادگانه جدید و قدیم و مخروط افکنه های قدیمی دیده می شود. با توجه به اختلاف ارتفاع در سطح حوضه بارش سالانه در سطح حوضه متفاوت بوده به همین سبب میانگین بارش در ارتفاعات کم ۳۸۰ میلی متر و در ارتفاعات بالا به ۹۰۰ میلی متری رسد. و میانگین دما در سطح حوضه ۳/۱۴ درجه سانتی گراد می باشد. رشته کوه پراو ساختمان آهکی و آهکی - دولومیتی دارد و ارتفاع آن به ۳۴۰۰ متر می رسد شکل (۱).



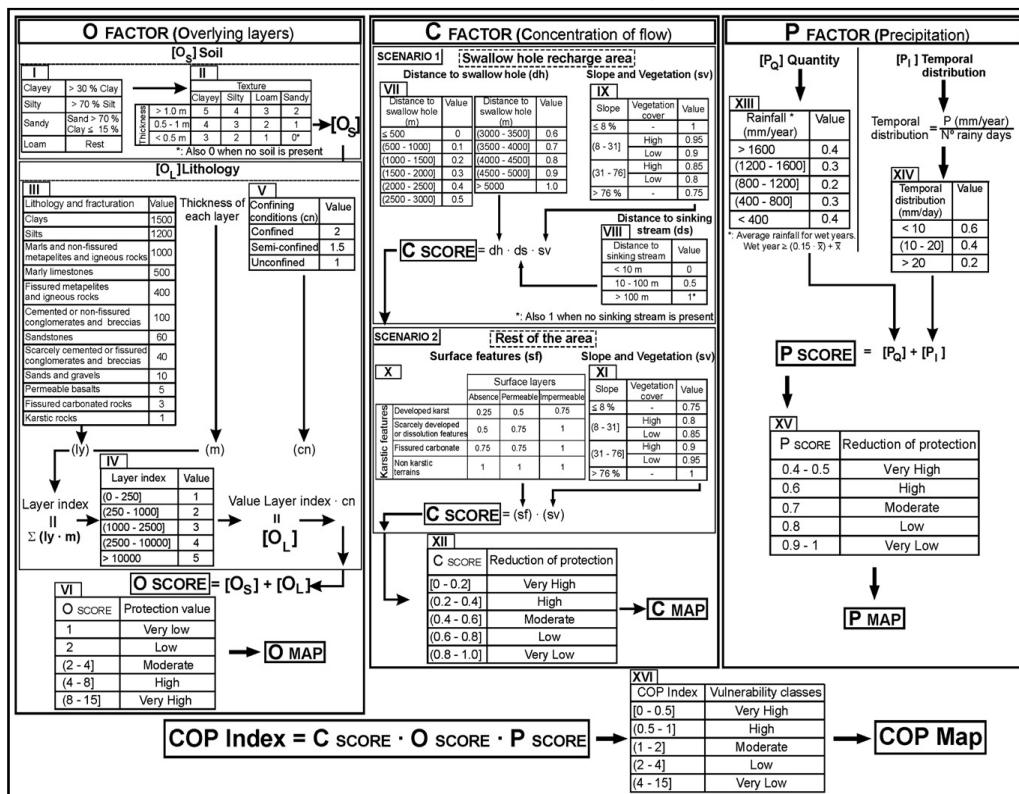
شکل (۱). موقعیت منطقه مورد مطالعه

## روش تحقیق

ابتدا با استفاده از نقشه توپوگرافی از سازمان نقشه برداری و سازمان جغرافیای نیروهای مسلح کشور محدودده آبخوان های مورد مطالعه مشخص گردید. پس از جمع آوری داده ها، تهیه نقشه ها و ابزار لازم اقدام به تهیه نقشه آسیب پذیری شده است. پس از تهیه تمامی داده ها بر اساس نیاز، هدف پروژه و عوامل موثر بر آسیب پذیری

آبخوان با استفاده از نرم افزار ARC GIS تمامی اطلاعات به صورت رقومی تهیه و با مدیریت دقیق داده‌ها در محیط GIS بانک اطلاعاتی از آن‌ها تهیه شد. همچنین از نقشه توپوگرافی برای تهیه نقشه پایه محدوده مورد مطالعه از جمله شیب، کارست استفاده گردید. از نقشه زمین شناسی برای بررسی ویژگی‌های زمین شناسی منطقه مورد مطالعه، تعیین نوع و پراکندگی، سن سنگ‌ها و نهشته‌ها، تهیه برش‌های زمین شناسی و ضخامت لایه‌ها استفاده شد. همچنین نقشه خاک شناسی و کاربری اراضی سازمان جنگل و مراتع کشور به منظور شناخت نوع خاک و پوشش گیاهی بکار گرفته شد. از نرم افزار ARC GIS برای ایجاد پایگاه داده، تولید لایه‌ها، جداول اطلاعاتی و تهیه نقشه‌های مورد نیاز استفاده شد و سرانجام مدل مفهومی COP به منظور تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان‌ها و عوامل موثر در آسیب‌پذیری آبخوان در نظر گرفته شد. جدول (۱) چگونگی و محاسبه روش COP را نشان می‌دهد.

جدول (۱). نحوه محاسبه شاخص COP (Vías et al., 2006, Vías et al., 2010)



### روش COP

واژه COP از سه پارامتر به کار رفته در این مدل تشکیل شده است که عبارتند از: تمرکز جریان (C)، لایه‌های پوششی (O) و بارش (P). این مدل یک اندیس عددی فراهم می‌کند که از نمرات اختصاص داده شده سه پارامتر مدل مشتق می‌شود هر کدام از این فاکتورها خود به زیرفاکتورهایی تقسیم می‌شوند که دارای چند کلاس

بارتبه‌های اختصاصی می‌باشند جدول (۱). هر کدام از این فاکتورها و زیرفاکتورها در محیط GIS تهیه می‌شوند که به صورت یک نقشه پهنه‌بندی شده می‌باشند. در نهایت نقشه‌های هر فاکتور بر اساس رابطه (۱) همپوشانی می‌شوند تا نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی به روش COP، حاصل گردد:

$$COP=C.O.P \quad COP=C.O.P$$

رابطه (۱)

که C-تمرکز جریان، O-لایه پوششی، P-بارش

شاخص آسیب‌پذیری برای روش COP، بین صفر تا ۱۵ متغیر می‌باشد و به پنج کلاس آسیب‌پذیری تقسیم می‌گردد جدول (۲)، (باقرزاده و همکاران، ۱۳۸۹).

جدول (۲). طبقات آسیب‌پذیری

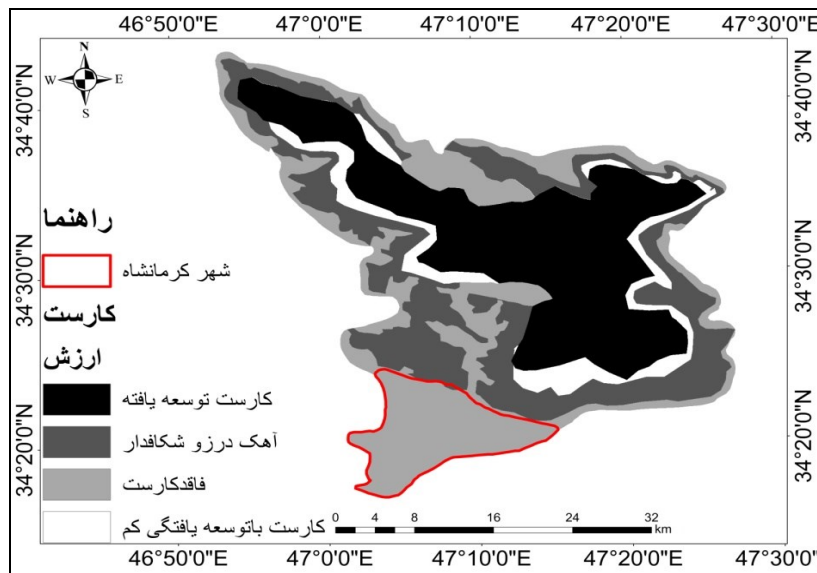
۰-۰/۵	خیلی زیاد
۰/۱-۵	زیاد
۱-۲	متوسط
۲-۴	کم
۴-۱۵	خیلی کم

#### تهیه لایه‌های روش COP

##### فاکتور تمرکز جریان (C)

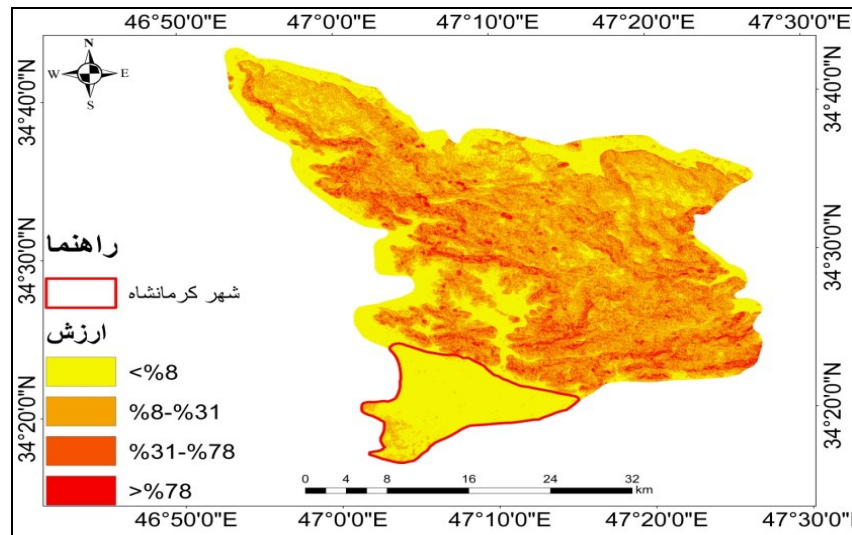
فاکتور C نمایانگر مقداری از بارندگی است که در حفرات فرورونده، متمرکز شده و از زون غیراشباع میان‌بر می‌شود. همان طور که در جدول (۱) آمده است تمرکز جریان برای مناطق کارستی در قالب دوسناریو تعریف شده است، که با توجه به خصوصیات هیدروژئومورفولوژیکی و ژئومورفولوژی و همچنین زمین شناس ساختمانی یکی یا هر دو سناریو انتخاب و اجرا می‌شود. بنابراین به منظور محاسبه فاکتور C منطقه از سناریو ۲ جدول (۱) استفاده گردید. زیرا به علت وسعت بسیار زیاد منطقه امکان شناسایی دقیق تمامی لندفرم های کارستی وجود ندارد. همچنین عموماً سناریو ۱ برای مناطقی با وسعت کم و سناریو ۲ برای مناطق با وسعت زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، این سناریو نیازمند تهیه دو نقشه عوارض سطحی (sf) و شیب-پوشش گیاهی (sv) می‌باشد تا نقشه نهایی فاکتور C تهیه گردد. ابتدا زیر فاکتور عوارض سطحی (sf)، عوارض سطحی آن دسته از اشکال ژئومورفولوژیکی مختص به سنگ‌های کربناته و حضور یا فقدان هر گونه لایه پوشاننده (نفوذپذیر یا نفوذناپذیر) که تعیین کننده اهمیت فرآیند رواناب یا نفوذ می‌باشد را در نظر می‌گیرد. زیر فاکتور (sf) بر اساس ویژگی های ژئومورفولوژی کارست منطقه محاسبه گردید. نقشه‌ی کارست منطقه بر اساس بازدیدهای میدانی و مد نظر قرار دادن عوامل موثر در کارست زایی با توجه به اصول و مبانی نظری و همچنین بررسی نقشه های توپوگرافی، عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای و همچنین نقشه‌ی Hill shade منطقه و در نهایت بهره گیری از روش Fill sink تهیه شده است.

نقشه‌ی تحول کارست شکل (۲) منطقه‌ی مورد مطالعه به ۴ طبقه‌ی فاقد کارست، سنگ‌های آهکی درزه و شکاف دار، کارست نسبتاً توسعه یافته با درزه و شکاف‌های انحلالی (بزرگ) و کارست توسعه یافته تقسیم می‌شود.



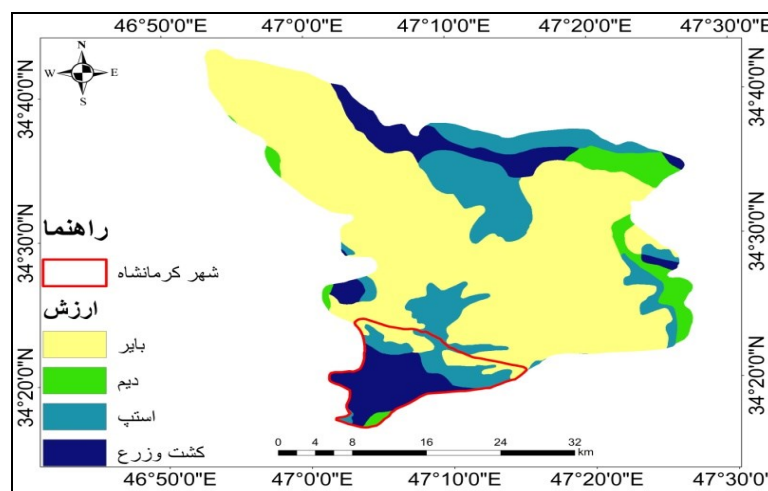
شکل (۲). طبقه‌بندی کارست منطقه

شاخص (SV) براساس نقشه شیب و پوشش گیاهی منطقه محاسبه شد. جهت تهیه نقشه شیب منطقه ابتدا با استفاده از DEM سی متر منطقه و با کمک تابع SURFACE ANALYST در نرم افزار GIS نقشه شیب تهیه شده که جهت استفاده در مدل COP با استفاده از تابع Reclass کلاس بندی می‌شود سپس نقشه شیب طبقه بندی شده بر اساس جدول (۱) ارزش گذاری شده و در نهایت برای تهیه نقشه شیب- پوشش گیاهی در محیط GIS با استفاده از تابع raster calculatolar همپوشانی می‌شود شکل (۳). جدول (۱) نحوه امتیاز دهی به این شاخص‌ها را نشان می‌دهد.



شکل (۳). شیب منطقه

پس از تهیه نقشه رقومی پوشش گیاهی از اداره منابع طبیعی استان نقشه مورد نظر بر اساس جدول (۱) ارزش گذاری شده و سپس به رستر تبدیل می‌شود و در نهایت کلاس بندی می‌شود. شکل (۴) ارتفاعات منطقه به علت سنگلاخی بودن دارای پوشش گیاهی ضعیفی به صورت بایر می‌باشد. قسمت های کوهپایه و قسمتی از ارتفاعات دارای پوشش استپی بوده و سطح دشت نیز به صورت زمین های کشاورزی زراعت و دیم قرار دارد.



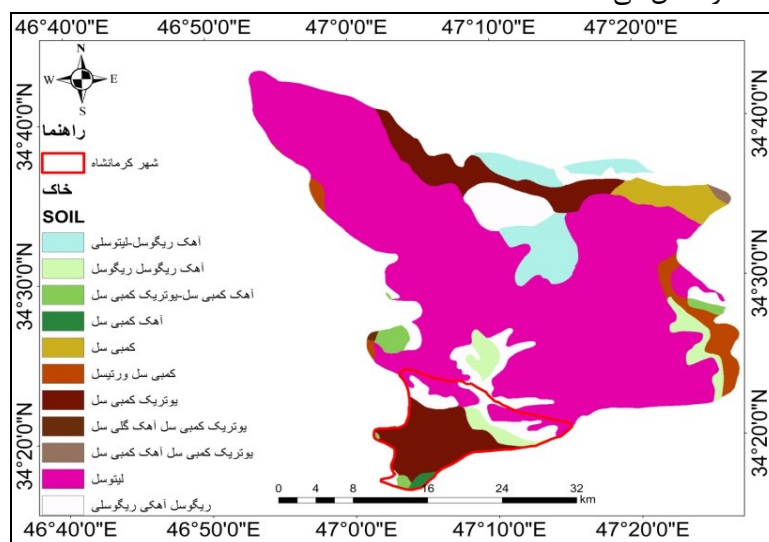
شکل (۴). پوشش گیاهی منطقه

پس از تهیه لایه های مورد نیاز زیرفاکتورهای (sv) و (sf) و ارزش گذاری لایه ها، لایه ها درهم ضرب شده و نقشه نهایی فاکتور C تهیه می‌شود.



## لایه‌های پوششی (O)

فاکتور O بر اساس ضخامت، تخلخل، خواص نفوذپذیری خاک و ضخامت و جنس لایه های لیتولوژی محاسبه می‌گردد. به نقشه لایه‌های پوشاننده دوزیرفاکتور اختصاص داده شده است که شامل خاک (OS) و لیتولوژی (OL) می‌باشد. مجموع این دو زیر فاکتورها نشان دهنده‌ی درجه حفاظت آبخوان با لایه‌های پوشاننده است. جدول (۱) نحوه امتیاز دهی به زیر فاکتورهای این شاخص را نشان می‌دهد. زیرفاکتور خاک (OS) توسط نوع پوشش خاک و ضخامت خاک تعیین می‌شود. بدین صورت که یک لایه ضخیم‌تر خاک احتمال افزایش آلودگی فیزیکی و شیمیایی ناشی از عبور آب در میان خاک را تضعیف می‌کند ارزش زیرفاکتور (OS) با افزایش ضخامت خاک افزایش می‌یابد همچنین افزایش ارزش مشابهی برای خاک‌هایی که دانه ریزتر هستند وجود دارد این موضوع باتوجه به این واقعیت است که خاک‌هایی که دانه ریزتر هستند هدایت هیدرولیکی و در نتیجه زمان حرکت آب در میان خاک را افزایش می‌دهد. به عبارتی خاک دانه ریزتر به طور کلی شامل رس بیشتری هستند که قابلیت جذب آلودگی‌های یونی آن بیشتر است و در نتیجه آسیب‌پذیری آبخوان کم‌تر است. شکل (۵) خاک شناسی منطقه را نشان می‌دهد.



شکل (۵). خاک منطقه

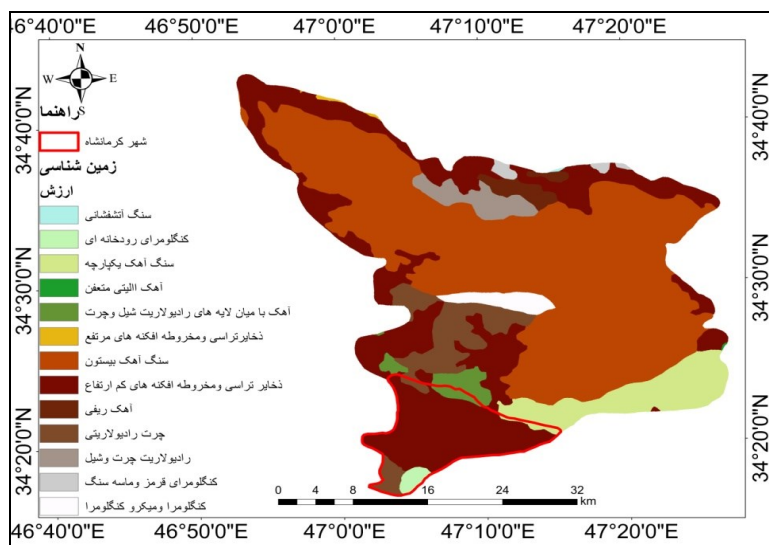
جهت تهیه زیرفاکتور (OL) پس از تهیه نقشه رقومی زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰ از محدوده مورد نظرا ابتدا با استفاده از نیمرخ زمین شناسی ضخامت سازندهای موجود در منطقه محاسبه شده سپس به هریک از سازندها براساس میزان تاثیری که در آسیب‌پذیری دارند ارزشی تعلق گرفته می‌شود به طور مثال سازند بیستون که دارای بیشترین (حدود ۳۰۰ متر) میزان ضخامت است ارزشی برابر با ۱ و نهشته‌های کواترنری (حدود ۲۰ متر) که کمترین ضخامت را داراست دارای ارزشی معادل ۱۰ می‌باشد. بدین صورت که هرچه قدر میزان ضخامت بیشتر باشد به آن لایه ارزش کمتر تعلق می‌گیرد چرا که میزان تاثیر کمتری در آلودگی آبخوان دارد بدین معنی که امکان نفوذ آلودگی به آبخوان زیرین کمتر می‌باشد. و هرچه قدر ضخامت کمتر امکان نفوذ آلاینده‌ها بیشتر است. سپس براساس رابطه (۲) ضخامت هر سازند در ارزشی که به آن تعلق گرفته است ضرب می‌شود.

$$\text{Layer-index} = \sum(\text{ly.m})$$

رابطه (۲)

ly-ارزش داده شده به هر لایه، m-ضخامت لایه

در مرحله بعد رتبه زیرفاکتور cn برای منطقه مورد مطالعه مشخص می‌شود که به دلیل اینکه منطقه مورد نظر آهکی می‌باشد هیچ سازند نفوذ ناپذیری وجود ندارد که آبخوان رامحدود کند آبخوان آزاد بوده و ارزش آن برابر با یک می‌باشد.



شکل (۶). زمین شناسی

شکل (۶) زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد در نهایت نقشه خاک و لیتولوژی همپوشانی و کلاس بندی شده و نقشه لایه‌های پوششی حاصل می‌گردد.

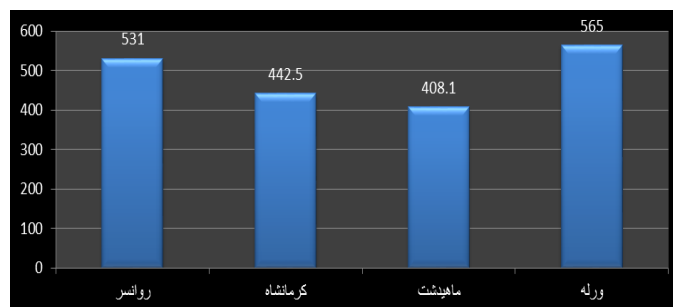
#### لایه بارش (P)

شامل مقدار بارش و عامل‌هایی که نرخ نفوذ را افزایش می‌دهند مانند توزیع زمانی، مدت و شدت بارش‌های سیل آسا می‌باشد. این عامل‌ها به میزان توانایی بارش برای حمل آلاینده‌ها از سطح به آب زیر زمینی کمک می‌کند. فاکتور P به وسیله دو زیر فاکتور مقدار بارش (PQ) و توزیع زمانی بارش (PI) ارزیابی می‌گردد. برای محاسبه مقدار بارش (PQ) متداول‌ترین و در عین حال مناسب‌ترین روش‌های محاسبه از طریق ترسیم نقشه همباران میسر می‌گردد. به همین سبب اقدام به ترسیم نقشه همباران جهت محاسبه مقدار بارش منطقه مورد مطالعه گردید. که بدین منظور برای ترسیم نقشه همبارش چند ایستگاه بارندگی در سطح حوضه قره‌سو انتخاب شد. (ورله، ماهیدشت، کرمانشاه، روانسر) که شکل (۷) میزان بارش سالانه (میلی متر) را در چند ایستگاه منتخب سطح حوضه نشان می‌دهد، که این امر حاکی از تفاوت بارش سالانه در مناطق مختلف حوضه می‌باشد. بنابراین، با توجه به اختلاف ارتفاع در سطح حوضه، میزان بارش ایستگاه‌ها قابل تعمیم به سایر مناطق حوضه نبوده و باید میزان بارش برای تمامی سطح حوضه با استفاده از روش‌های موجود برآورد گردد. در این راستا میانگین بارش سالانه بدست آمده از ایستگاه‌های سینوپتیک، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی مختلف حوضه قره‌سو

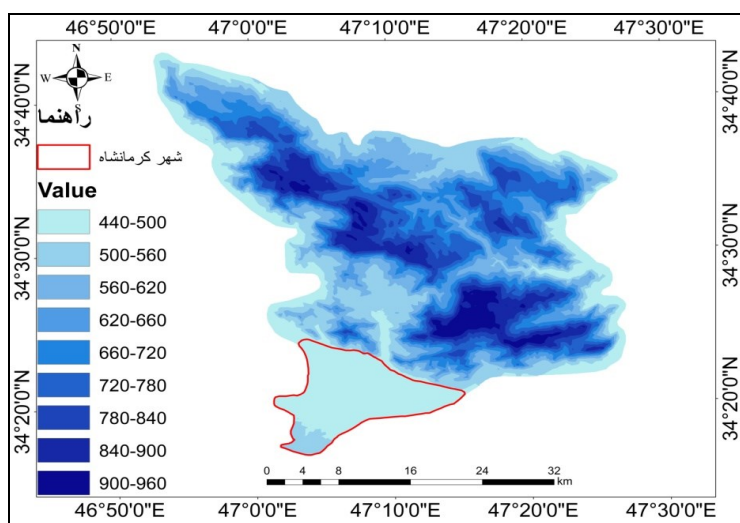
بیانگر کمینه برابر ۳۸۰ میلی‌متر و بیشینه ۶۲۰ میلی‌متر است، که در رابطه با ارتفاع، نشان دهنده افزایش نسبی بارش با افزایش ارتفاع است. رابطه (۳) رابطه گرادیان بارش را نشان می‌دهد، که در سطح اطمینان بالای ۹۰٪ معنادار می‌باشد. بر اساس آن، نقشه هم بارش حوضه تهیه گردید.

$$y = 0.224x + 271.2 \quad R^2 = 0.80 \quad \text{رابطه (۳)}$$

در حوضه قره‌سو سطح دشت‌ها و ارتفاعات با ارتفاع کمتر از ۱۶۰۰ متر دارای بارش بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر می‌باشند. سطوح ارتفاعی ۱۶۰۰ متر تا ۲۸۰۰ متر دارای بارش بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر در سال بوده و ارتفاعات ۲۸۰۰ متر به بالا دارای بارش بین ۹۰۰ میلی‌متر می‌باشند. بارش‌های غیر جامد، بخش عمده‌ای از بارش‌های جوی حوضه را به خود اختصاص می‌دهد؛ ولی در ارتفاعات بالای ۲۵۰۰ متر در بخش اعظم سال بارش‌های جوی به صورت برف می‌باشد. که مقدار بارش (PQ) برای منطقه مورد مطالعه در دو رده ۴۰۰-۸۰۰ و ۸۰۰-۱۲۰۰ می‌باشد که براساس میزان تاثیر آن بر روی آسیب‌پذیری ارزش گذاری شده سپس کلاس بندی شده و در نهایت نقشه مقدار بارش برای منطقه تهیه می‌شود اشکال (۷ و ۸).



شکل (۷). میزان بارش سالانه (میلی‌متر) در ایستگاه‌های منتخب حوضه قره‌سو



شکل (۸). بارش منطقه

زیر فاکتور توزیع زمانی بارش (PI) که بارش را در یک دوره زمانی معین در نظر می‌گیرد و از این رو نمایانگر شدت بارش می‌باشد به منظور تهیه نقشه توزیع زمانی بارش ابتدا تعداد روزهای بارندگی در سال رابه دست آورده که برای ایستگاه کرمانشاه برابر با ۷۲ روز در سال می‌باشد که باتوجه به اینکه منطقه دارای نقاط ارتفاعی متفاوت می‌باشد این مقدار قابل تعمیم به تمامی نقاط نمی‌باشد در نتیجه باتوجه به رابطه (۴) این مقدار با هر ۵۰۰ متر افزایش ارتفاع ۷ روز به تعداد روزهای بارش افزوده می‌شود در نتیجه زیر فاکتور (PI) با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$PI = \frac{P}{N}$$

رابطه (۴)

که P میانگین بارش سالیانه (میلی متر بر سال) و N تعداد روزهای بارندگی توزیع زمانی بارش برای کل منطقه در رده کمتر از ۱۰ میلی متر و دارای ارزشی برابر با ۶/۰ می‌باشد. در نهایت نقشه مقدار بارش و توزیع زمانی بارش با هم همپوشانی شده و نقشه فاکتور P ترسیم می‌شود. جدول (۳) نحوه امتیاز دهی به هریک از زیر فاکتورهای مدل را نشان می‌دهد.

جدول (۳). رتبه دهی به هریک از زیر فاکتورهای مدل COP برای منطقه

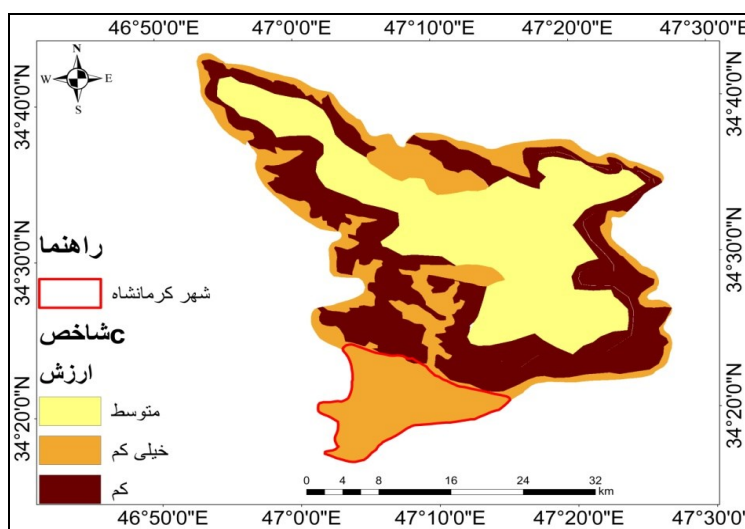
رتبه	محدوده		
۵/۰	کارست توسعه یافته	عوارض سطحی	
۱	کارست کم توسعه یافته		
۷۵/۰	آهک درز شکاف دار		
۱	فاقد کارست	C	
۷۵/۰	۸٪-۰	شیب-پوشش گیاهی	
۸/۰	۳۱٪-۸٪ با پوشش گیاهی		
۹/۰	۷۶٪-۳۱٪ با پوشش گیاهی		
۱	۷۶٪<		
۴	آهک ریگوسل-لیتوسل	خاک	
۲	ریگوسل آهکی-ریگوسل		
۵	آهک کمی سل-یوتریک کمی سل		
۵	آهک کمی سل	O	
۵	کمی سل		
۴	کمی سل ورتی سل		
۵	یوتریک سل کمی سل		
۵	یوتریک کمی سل آهک گلی سل		
۵	یوتریک کمی سل آهک کمی سل		
۱	لیتوسل		
۳	ریگوسل آهکی ریگوسلی		
۹	سنگ آتشفشانی بازالتی	لیتولوژی	
۸	کنگلومرای رودخانه های پدیمنت کنگلومرا و ماسه سنگ است		
۲	خاکستری ضخیم- سنگ آهک یکپارچه عظیم		
۳	آهک متعفن الینی توده ای ضخیم لایه خاکستری		
۵	آهک با میان لایه های رادیولاریت شیل و چرت نسبتا چرتی توده ای تقریبا ضخیم لایه خاکستری		

۱	سنگ آهک کوه بیستون		
۱۰	ذخایر تراسی و مخروط افکنه های کوهپایه ای قدیمی مرتفع		
۳	سنگ آهکی ریفی توده ای تا ضخیم لایه		
۴	چرت رادیولاری توده ای نازک بامیان لایه های از سنگ آهک دریای و نتریک بنفش قرمز		
۶	رادیولاریت چرتی و شیل		
۷	لایه های قرمز ترکیب شده با کنگلومرای قرمز، ماسه سنگ، مارن، مارن زبیس دار و زبیس		
۸	کنگلومراومیکروکنگلومرای میان لایه ای ماسه سنگ و شیل سازند باقورق		
۱	آزاد	نوع آبخوان	
۳/۰	۴۰۰-۸۰۰	مقدار بارش	
۲/۰	۸۰۰-۱۲۰۰		P
۶/۰	کمتر از ۱۰ میلی متر	تعداد روزهای بارش	

### نتایج

#### تمرکز جریان (C)

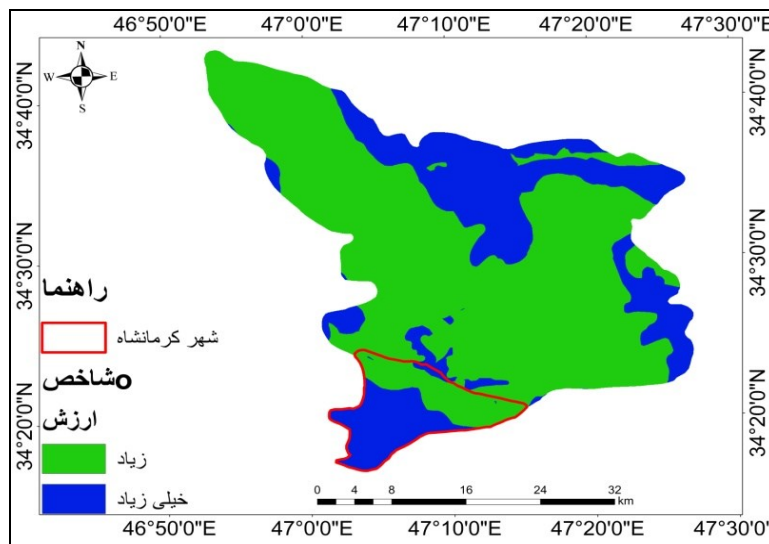
شکل (۹) نقشه پهنه‌بندی عامل C، نشان می‌دهد. امتیاز نهایی این فاکتور بین ۴/۰ تا ۱۴ می‌باشد. که به سه طبقه متوسط، کم، خیلی کم تقسیم می‌شود.



شکل (۹). نقشه پهنه‌بندی فاکتور C

#### لایه‌های پوشاننده O

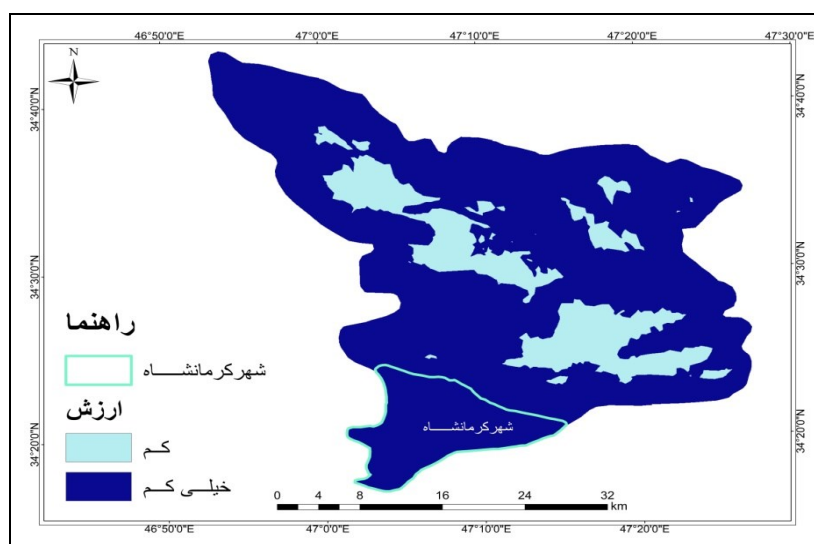
پارامتر O براساس ویژگی‌های خاک از جمله ضخامت، تخلخل، نفوذپذیری خاک و ضخامت و جنس لایه‌های لیتولوژی محاسبه می‌گردد. امتیاز نهایی این فاکتور بین ۴ تا ۸ می‌باشد و به دو دسته زیاد (۴-۸) و خیلی زیاد (۸-۱۵) تقسیم می‌گردد. شکل (۱۰) نقشه پهنه‌بندی عامل O را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰). نقشه پهنه‌بندی عامل O

### بارش P

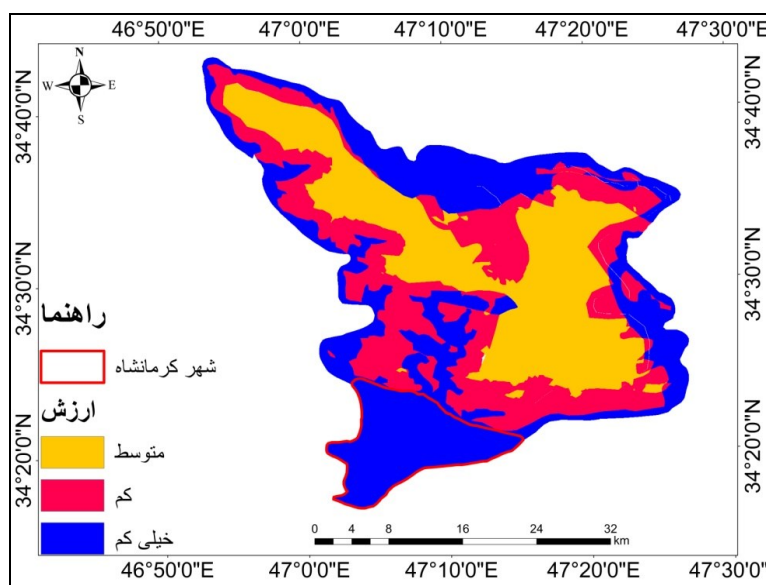
میانگین بارش منطقه بین ۴۴۰ تا ۹۶۰ میلی‌متر می‌باشد. در قسمت‌های کم‌ارتفاع منطقه بارش کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر و در نواحی مرتفع‌تر و نواحی کوهستانی بارش افزایش یافته و به حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد. میانگین تعداد روزهای بارندگی در ایستگاه کرمانشاه برابر با ۷۲ روز در سال است. شکل (۱۱) نقشه پهنه‌بندی بارش را نشان می‌دهد. که امتیاز نهایی این عامل ۸/۰ و ۹/۰ می‌باشد که به دو دسته آسیب‌پذیری کم و خیلی کم تقسیم می‌شود.



شکل (۱۱). نقشه پهنه‌بندی عامل P

## مدل COP

بعد از محاسبه سه فاکتور C، O، P و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آنها، با استفاده از تابع spatial analyst این لایه‌ها در یکدیگر ضرب شده و نقشه نهایی خطرپذیری (vulnerability) منطقه محاسبه شده است (شکل ۱۲). جدول (۴) مساحت و درصد مساحت هر یک از طبقات آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. میزان آسیب‌پذیری منطقه بین ۲ تا ۱۲ بدست آمد که در نهایت به سه طبقه خیلی کم، کم و متوسط طبقه بندی گردیدند.



شکل (۱۲). نقشه آسیب‌پذیری منطقه براساس مدل COP

جدول (۴). مساحت طبقات آسیب‌پذیری مدل COP

شاخص COP	آسیب‌پذیری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
۱-۲	متوسط	۴۱۶	۴/۳۷٪
۴-۲	کم	۳۹۷	۷/۳۰٪
۱۲-۴	خیلی کم	۴۸۷	۹/۳۷٪

## نتیجه‌گیری

برای ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی توده بیستون-پراو و دشت کرمانشاه از مدل COP متشکل از سه پارامتر C، O، P استفاده گردید. بعد از امتیاز دهی به عوامل سه گانه و تبدیل آنها به لایه‌های رستری، با استفاده از تابع spatial analyst این لایه‌ها در یکدیگر ضرب شده و میزان شاخص COP بین ۲ تا ۱۲ محاسبه گردید. آسیب‌پذیری به سه طبقه کم، خیلی کم و متوسط، طبقه بندی گردید. توزیع فضایی کلاس‌های آسیب‌پذیری نقشه نهایی آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد که ۹/۳۷٪ مساحت منطقه در پهنه خیلی کم و ۷/۳۰٪ مساحت منطقه در پهنه کم واقع شده و ۴/۳۱٪ از مساحت منطقه در پهنه با آسیب‌پذیری متوسط می‌باشد. پهنه آسیب‌پذیری خیلی کم با مساحت ۴۸۷ کیلومتر مربع بیشترین مساحت منطقه را به خود

اختصاص داده است. این پهنه در سطح دشت های منطقه گسترده شده است و از لحاظ لیتولوژی بیشتر نهشته- های کواترنری و سازندهای آهکی- ماری و کنگلومرای منطقه را در بر گرفته است. این مناطق بیشتر دارای خاک های شیلی، لومی و رسی می باشند. پوشش گیاهی آنها به صورت زمین های کشاورزی می باشد. ژئومورفولوژی کارست این مناطق به صورت نبود کارست است. و با بارش کمتر از ۵۰۰ میلی متر. مساحت پهنه با آسیب پذیری کم ۳۹۷ کیلومتر مربع می باشد دارای شیب متوسط است این پهنه منطبق بر کارست کم توسعه یافته در سازند آهکی است. پوشش گیاهی این پهنه استپی و به صورت پراکنده می باشند. این پهنه دارای بارش کمتر از ۶۵۰ میلی متر است. طبقه متوسط با مساحت ۴۱۶ کیلومتر مربع منطقه منطبق بر کارست توسعه یافته در سازند آهکی بیستون و فاقد پوشش جنگلی، پوشش خاک کم و با لیتولوژی لیتوسول، شیب بیش از ۷۶٪ و بارش بیش از ۸۰۰ میلی متری می باشد.

### منابع

- باقرزاده، سمیه، کلانتری، نصراله، مرادزاده، محسن، رحیمی، محمدحسین، فاضلی، مریم، کشاورزی، محمدرضا، (۱۳۸۹). جدیدترین روش پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان های کارستی با استفاده از تکنیک های GIS و سنجش از دور روش COP (مطالعه موردی آبخوان کارستی شیمیا)، همایش ملی ژئوماتیک.
- چیت سازان، منوچهر و یوسف اختری، (۱۳۸۵)، پتانسیل یابی آلودگی آب های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه آب و فاضلاب، ۱۷(۳): ۳۹-۵۱.
- عشقی، ابوالفضل، ثروتی، محمدرضا. (۱۳۸۲). عوامل بالقوهی آلایندهی منابع آب کارست در حوضه کارده (شمال شهرستان مشهد)، ضرورت مدیریت و حفاظت منابع آب کارست، فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۷(۲): ۱۴۹-۱۷۰.
- ناصری، حمیدرضا و فردوس صارمی نژاد، (۱۳۹۰)، مقایسه ارزیابی آسیب پذیری آبخوان به روش های DRASTIC و منطق فازی، (مطالعه موردی: دشت گل گیر مسجد سلیمان)، فصل نامه جغرافیای طبیعی، ۱۷(۱۱): ۳۴-۱۷.
- 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.
- Andreo, B., Goldscheider, N., Vadillo, I., Mar Vias, J., Neukum, C., Sinreich, M., Jimenez, P., Brechenmacher, J., Carrasco, F., Hostal, H., Jesu Perles, M. and Zwahlen, F. (2006). Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de Li'bar (Southern Spain). *Science of the Total Environment*, 357: 54-73.
- Afrasiabian, A. (2007). The importance of protection and management of Karst water as drinking water resources in Iran. *Environ Geol*, 52: 673-67.
- Afrasiabian A., (1998), Importance of Studies and Researches on Karst Water Resources of Iran, Proceeding 2nd International Symposium on Karst Water Resources, Iran, Tehran-kermanshah, PP.126-137.
- 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. 137e151.**
- Ford, D.C., Williams, P.W., (2007). **Karst Hydrogeology and Geomorphology. Wiley Chichester, United Kingdom. 562 p.**
- Khodapanah, L., W. N. A. Sulaiman and N. Khodapanah. (2009). **Groundwater quality assessment different purpose in Eshtehard District, Tehran, Iran. J. European Journal of Scientific Research.36 (4): 543-55.**
- Leyland, R., (2008). **Vulnerability mapping in karst terrains, exemplified in the wider Cradle of Humankind World Heritage Site, Master thesis**
- Masoompour, J, Bagheri, S, Davoodi, M, Yarahmadi, D, Soltani, M, (2013) **Assessing and mapping the vulnerability of karstic aquifer using GIS and COP model. Global NEST Journal, 15(3), 384-393**
- 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.**
- Plan, L., Decker, K., Faber, R., Wagreich, M., Grasmann, B., (2003). **Karst morphology and groundwater vulnerability of high alpine karst plateaus. Environmental Geology r resources in Iran. Environ Geol, 52:673–67.**
- Ravbar, N., (2007). **The Protection of Karst Waters: a Comprehensive Slovene Approach to Vulnerability and Contamination Risk Mapping. ZRC Publishing, Ljubljana, 254 p.**
- 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.**
- Vrba J, Zaporozec A, (1994), editors. **Guidebook on mapping groundwater vulnerability, vol. 16. International contributions to hydrogeology (IAH). Hannover7 Verlag Heinz Heise; 131 pp.**
- Yang, Y. S. and L. Wang (2010); **"Catchment-scale vulnerability assessment of groundwater pollution from diffuse sources using the DRASTIC method: a case study", Hydrological Sciences Journal. 55(5): 1-12.**
- Zwahlen F, (2004), **Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, EUR 20912. Brussels7 European omission, Directorate-General XII Science, Research and Development. 297.**