نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال نوزدهم، شماره ۵۲، بهار ۹۸

# 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:** ۱۴۵-۱۲۹

**امجد ملکی:** دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران[1].
**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 می باشد. 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 آسیب پذیری 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 آسیب پذیری منابع آب کارست در برابر آلودگی می پردازد. نتایج نشان داد که ۳۱/۴٪ مساحت منطقه در پهنه آسیب پذیری متوسط و ۳۰/۷٪ مساحت منطقه در پهنه آسیب‌پذیری کم واقع شده و۳۷/۹٪ درپهنه با آسیب‌پذیری خیلی کم واقع شده است که بیشتر محدوده دشت را دربرمی‌گیرد. عمده مناطق با آسیب پذیری کم و متوسط، در قلمرو کارست‌های تکامل یافته سازند آهکی، در قسمت های مرتفع منطقه قرار دارند. پوشش گیاهی این مناطق جنگل‌های استپی درمحدوده 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 آسیب پذیری دارا می باشند.**

**کلید واژگان:** آسیب پذیری، روش COP، آبخوان کارستی، آلودگی، جنگل‌های استپی.

۱ . **نویسنده مسئول**: کرمانشاه، باغ ابریشم، دانشگاه رازی، دانشکده ادبیات، دانشیارگروه ژئومورفولوژی، ۰۹۱۸۱۳۲۴۱۱۳

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

**مقدمه**

بدون شک آب گرانبهاترین 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. درکشورهای نیمه خشک مانند ایران، مصرف بیش از حد از آب‌های زیرزمینی به علت رشد جمعیت وصنعتی شدن کیفیت بسیاری از آبخوان‌ها را تهدید می‌کند(خداپناه وهمکاران،۲۰۰۹). به طورکلی 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 وآینده بوده و منابع آب زیرزمینی، به مدیریت کمی وکیفی 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 وهمکاران ،۱۳۸۲). حفاظت از منابع آب کارست به دلیل آسیب‌پذیری وحساسیت زیاد به آلودگی، یکی از مهمترین اقدامات در مدیریت منابع آب کارست می باشد (افراسیابیان،۲۰۰۷). این آسیب‌پذیری وحساسیت 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 می-کند این آب با گذشتن از خاک وپوشش‌های حفاظتی آلوده‌ی دیگر، بدون هیچ تصفیه‌ای در زمان کوتاه وارد آبخوان‌های کارستی می شود (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 می شود 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 وهمکارن،۱۳۹۰). تغییرات مکانی و محدودیت داده‌ها موانعی را در پایش آب‌های زیرزمینی ایجاد می‌کند و مطالعات را در این زمینه اغلب پرهزینه وغیرممکن می‌سازد. در این راستا، ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی روشی قدرتمند وکم‌هزینه در شناسایی نواحی مستعد آلودگی می‌باشد(چیت سازان واختری،۱۳۸۵،۳۹-۵۱). آلودگی آب‌های زیرزمینی در نتیجه پخش موادآلاینده 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 می باشد مدلCOP است. در طول چندین دهه گذشته در مناطق نیمه خشک غرب ایران منابع آب کارست به عنوان منبع اصلی تأمین 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

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

ژئومورفولوژی، هیدروژئولوژی، ویژگی‌های کارست میزان آسیب‌پذیری بررسی می‌شود. به عبارتی مدل COPبه 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 می رسد.

مفهوم آسیب‌پذیری برای اولین بار در اواخر سال۱۹۶۰میلادی 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 نسبتا جامعی در رابطه با کارست در جهان، ایران و به خصوص زاگرس انجام گرفته است. تهیه نقشه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی یک رویکرد نسبتا جدید علمی است که برای اولین باردر اواخر دهه۱۹۶۰مطرح شد که به طور قابل توجهی در طول دهه گذشته به علت بهبود مدل هیدرو لوژیکیGISوسایر وسایل کارتوگرافی پیشرفت داشته است( Adams, B.and Foster,۱۹۹۲). ازجمله افرادی که دراین زمینه تحقیقاتی ارائه داده اند عبارت اند از:

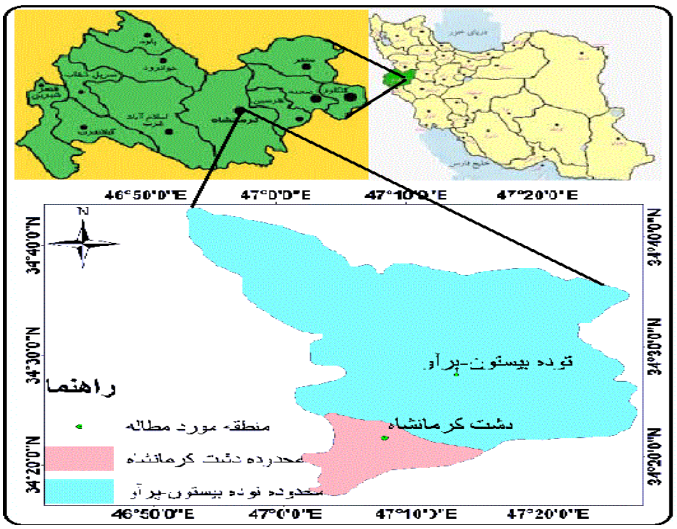
معصوم پور وهمکاران درسال(۲۰۱۳)، پژوهشی را در جهت برآورد میزان و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی گیلان غرب، در غرب ایران در برابر انتشار آلودگی با استفاده از مدل COPانجام داده‌اند.که نتایج آن حاکی از ۶/۷۴ ٪مساحت منطقه در پهنه آسیب‌پذیری خیلی کم و ۵/۲۵ ٪مساحت منطقه در پهنه آسیب پذیری کم واقع شده که حاکی از آسیب‌پذیری کم این آبخوان کارستی نسبت به آلودگی می‌باشد. COP به عنوان یک روش جدید و کار آمد برای اولین بار توسط کمیسیون اروپایی (COST ACTION620) توسعه داده شده (Zwahlen F, 2004) و در دو آبخوان کارستی در جنوب اسپانیا با ویژگی‌های مختلف آب‌وهوایی وهیدرولوژیکی 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 سال۱۹۹۷ شروع به کار کرده و در۱۲ 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 دراین تحقیق نیز به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های دشت کرمانشاه و توده بیستون-پرآو با استفاده از روش COP پرداخته شده است. در مدل COP از سه عامل به منظور تعین میزان آسیب‌پذیری استفاده می‌شود. که شامل C غلظت جریان[۲] ، O لایه پوشاننده[۳] و P بارش[۴] می‌باشد. این روش برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در مناطق کارستی توسعه یافته مورد استفاده قرار می-گیرد و براساس آن می توان 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

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

**منطقه مورد مطالعه**

منطقه مورد مطالعه بامساحتی حدود۲/۱۲۹۲کیلومترمربع بین'۴۵°۳۴ و' ۴۵°۴۶عرض شمالی و'۱۵°۳۴ و'۳۵°۴۷طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. درواقع توده بیستون یک توده سنگ آهکی وبخشی از زاگرس رورانده در مغرب ایران می باشد. که در استان کرمانشاه و شمال شهر کرمانشاه قراردارد و به ناهمواری‌های بیستون –پرآو(پرآب )مشهوراست. شهر کرمانشاه با جمعیتی معادل۸۵۱۴۰۵نفر (براساس سرشماری سال۱۳۹۰) به عنوان مرکز استان کرمانشاه، مهمترین مرکز جمعیتی مغرب کشور به شمار می رود این شهر با شکلی کشیده درسطح یک دشت بین کوهی میان رشته کوه‌های پرآودر شمال‌شرق و رشته کوه‌های سفید در جنوب‌غرب بنا شده است. زمین‌شناسی منطقه بخشی از کمربند کوهزائی زاگرس را شامل می‌شود که این بخش خود به دو جزء تقسیم گردیده (۱)سنگ‌های آهکی بیستون و(۲)رادیولاریت‌ها. از نظر چینه شناسی در منطقه مورد مطالعه درسنگ‌های آهکی رخنمون هایی از سنگ های تریاس بالایی تا کرتاسه بالایی ودر رادیولاریت‌ها تریاس ژوراستیک و واحد فلیشی و در سطح دشت نهشته‌های کواترنری شامل پادگانه جدید و قدیم و مخروط افکنه های قدیمی دیده می‌شود. باتوجه به اختلاف ارتفاع در سطح حوضه بارش سالانه در سطح حوضه متفاوت بوده به همین سبب میانگین بارش در ارتفاعات کم۳۸۰میلی‌متر ودر ارتفاعات بالابه ۹۰۰میلی مترمی‌رسد. ومیانگین دما در سطح حوضه۳/۱۴درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رشته کوه پرآو ساختمان آهکی و آهکی -دولومیتی دارد و ارتفاع آن به ۳۴۰۰ متر می‌رسد شکل(۱).




**شکل(۱). موقعیت منطقه مورد مطالعه**

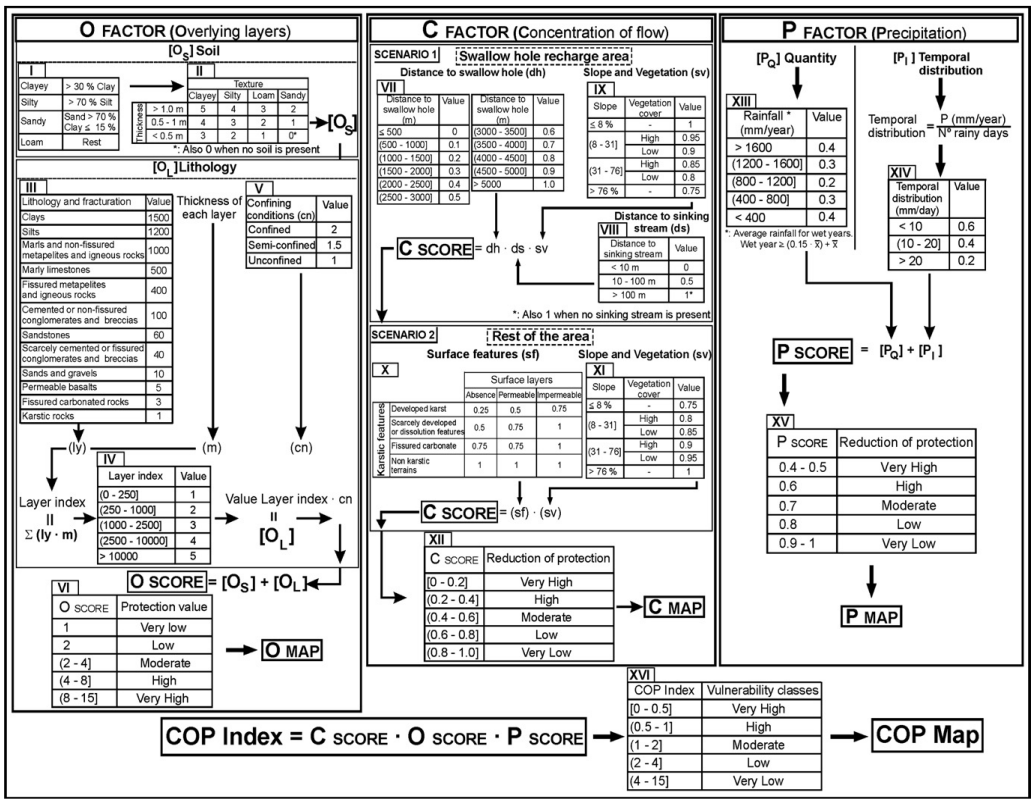
## روش تحقیق

ابتدا با استفاده از نقشه توپوگرافی ازسازمان نقشه‌برداری وسازمان جغرافیای نیروهای مسلح کشور محدوده آبخوان‌های مورد مطالعه مشخص گردید. پس از جمع‌آوری داده‌ها، تهیه نقشه‌ها وابزار لازم اقدام به تهیه نقشه آسیب‌پذیری شده است. پس از تهیه تمامی داده‌ها بر اساس نیاز، هدف پروژه و عوامل موثر بر آسیب‌پذیری

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

آبخوان با استفاده از نرم افزار ARC GIS تمامی اطلاعات به صورت رقومی تهیه و با مدیریت دقیق داده‌ها درمحیط GIS بانک اطلاعاتی از آن‌ها تهیه شد. همچنین از نقشه توپوگرافی برای تهیه نقشه پایه محدوده مورد مطالعه ازجمله 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 وکاربری 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 COPبه 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 می دهد.

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




## روش COP

واژه COP ازسه 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 می کند که از نمرات اختصاص داده شده سه پارامتر مدل مشتق می‌شود هرکدام از این فاکتورها خود به زیرفاکتورهایی تقسیم می‌شوند که دارای چند کلاس

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

بارتبه‌های اختصاصی می‌باشندجدول(۱). هرکدام از این فاکتورها و زیرفاکتورها در محیط GIS تهیه می‌شوند که به صورت یک نقشه پهنه‌بندی شده می‌باشند. درنهایت نقشه‌های هرفاکتور براساس رابطه(۱)همپوشانی می‌شوند تا نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی به روشCOP، حاصل گردد:

COP=C.O.P COP=C.O.P رابطه(۱)

کهC-تمرکز جریان،O-لایه پوششی،P-بارش

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

**جدول(۲). طبقات آسیب‌پذیری**

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

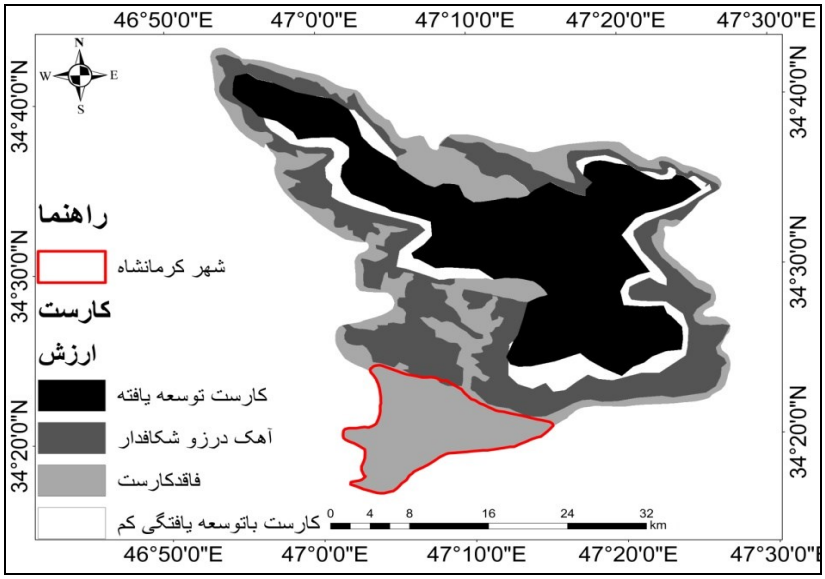
**تهیه لایه‌های روشCOP**

**فاکتورتمرکز جریان(C)**

فاکتور C نمایانگرمقداری از بارندگی است که در حفرات فرورونده، متمرکز شده و از زون غیراشباع میان‌بر می‌شود. همان طور که درجدول (۱)آمده است تمرکز جریان برای مناطق کارستی درقالب دوسناریوتعریف شده است، که باتوجه به خصوصیات هیدروژئومورفولوژیکی وژئومورفولوژی وهمچنین زمین شناس ساختمانی یکی یا هردو سناریو انتخاب و اجرا می‌شود. بنابراین به منظور محاسبه فاکتور C منطقه از سناریو۲ جدول (۱) استفاده گردید. زیرا به علت وسعت بسیار زیاد منطقه امکان شناسایی دقیق تمامی لندفرم های کارستی وجود ندارد. همچنین عموما سناریو ۱ برای مناطقی با وسعت کم و سناریو ۲ برای مناطق با وسعت زیاد مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین، این سناریو نیازمند تهیه دو نقشه عوارض سطحی(sf) و شیب-پوشش گیاهی(sv) می‌باشد تا نقشه نهایی فاکتور Cتهیه گردد. ابتدا زیر فاکتورعوارض سطحی(sf)، عوارض سطحی آن دسته از اشکال ژئومورفولوژیکی مختص به سنگ‌های کربناته و حضور یا فقدان هرگونه لایه پوشاننده (نفوذپذیریانفوذناپذیر) 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.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

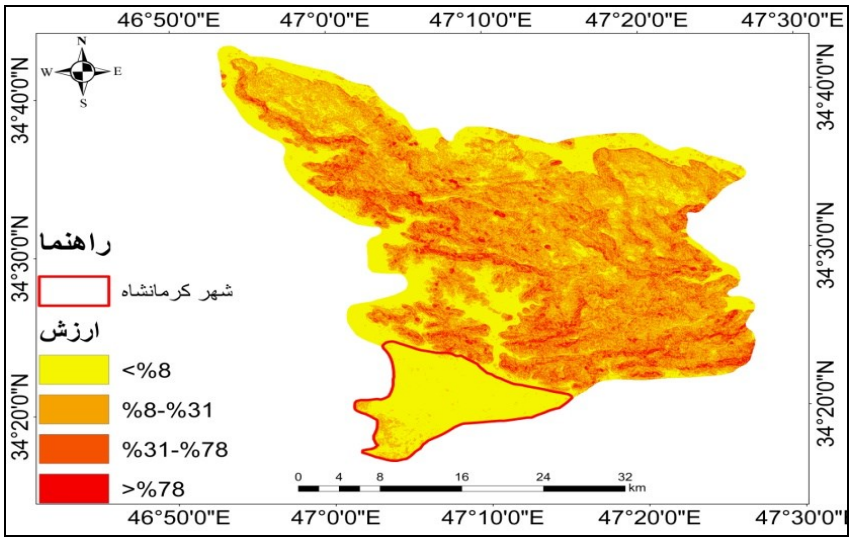
نقشه‌ی تحول کارست شکل(۲) منطقه‌ی مورد مطالعه به ۴ طبقه‌ی فاقد کارست، سنگ های آهکی درزه و شکاف دار، کارست نسبتا توسعه یافته با درزه و شکاف های انحلالی(بزرگ) و کارست توسعه یافته تقسیم می شود.




**شکل(۲). طبقه بندی کارست منطقه**

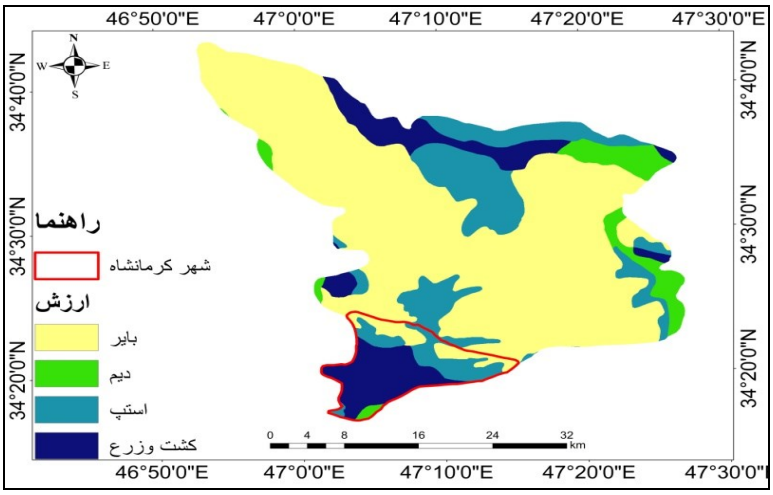
شاخص(SV) براساس نقشه شیب و پوشش گیاهی منطقه محاسبه شد. جهت تهیه نقشه شیب منطقه ابتدا با استفاده ازDEM سی متر منطقه و با کمک تابع SURFACE ANALYST در نرم افزار GIS نقشه شیب تهیه شده که جهت استفاده در مدل COP با استفاده ازتابع Reclassکلاس بندی می‌شود سپس نقشه شیب طبقه-بندی شده بر اساس جدول(۱) ارزش گذاری شده ودرنهایت برای تهیه نقشه شیب- پوشش گیاهی در محیط GIS بااستفاده از تابع raster calcultolar همپوشانی می شود شکل(۳). جدول(۱) نحوه امتیاز دهی به این شاخص ها را نشان می دهد.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]




**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 می باشد. قسمت های کوهپایه و قسمتی از ارتفاعات دارای پوشش استپی بوده و سطح دشت نیز به صورت زمین های کشاورزی زراعت ودیم قرار دارد.



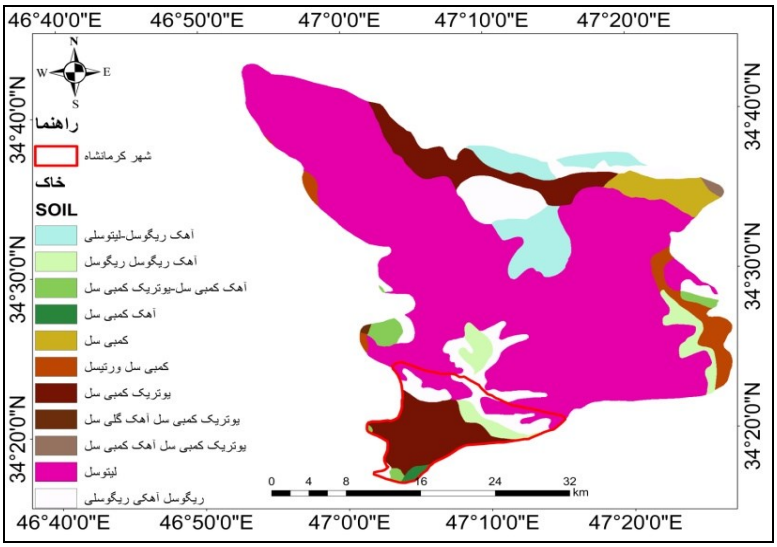

**شکل(۴). پوشش گیاهی منطقه**

پس از تهیه لایه های موردنیاز زیرفاکتورهای(sv) و (sf)وارزش گذاری لایه‌ها، لایه‌ها درهم ضرب شده و نقشه نهایی فاکتور C تهیه می‌شود.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

**لایه‌های پوششی(O)**

فاکتور O بر اساس ضخامت، تخلخل، خواص نفوذپذیری خاک و ضخامت و جنس لایه های لیتولوژی محاسبه می گردد. به نقشه لایه‌های پوشاننده دوزیرفاکتور اختصاص داده شده است که شامل خاک(OS) ولیتولوژی (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 می دهد. زیرفاکتورخاک(OS) توسط نوع پوشش خاک وضخامت 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 می یابد همچنین افزایش ارزش مشابهی برای خاک‌هایی که دانه ریزتر هستند وجوددارد 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 بیشتراست ودر نتیجه آسیب‌پذیری آبخوان کمتراست. شکل(۵) خاک شناسی منطقه را نشان می‌دهد.




**شکل (۵). خاک منطقه**

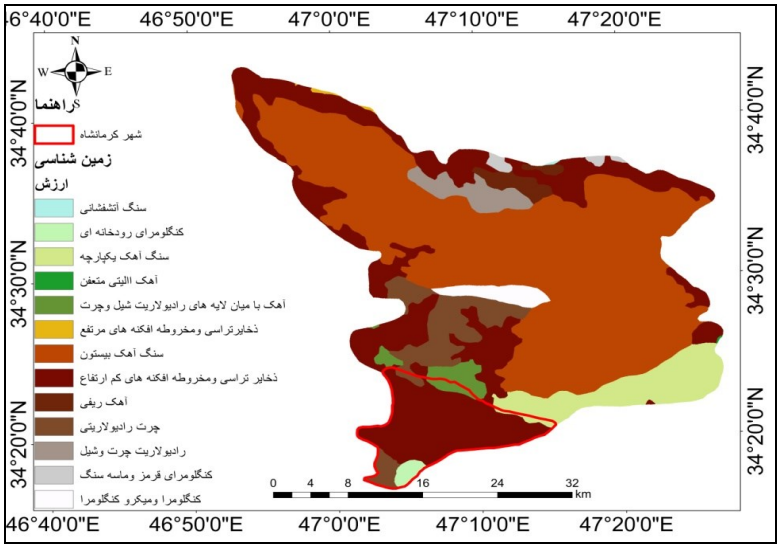
جهت تهیه زیرفاکتور (OL) پس از تهیه نقشه رقومی زمین شناسی ۲۵۰۰۰۰/۱ازمحدوده مورد نظرابتدا با استفاده از نیمرخ زمین شناسی ضخامت سازندهای موجود درمنطقه محاسبه شده سپس به هریک از سازندها براساس میزان تاثیری که درآسیب‌پذیری دارند ارزشی تعلق گرفته می شود به طور مثال سازند بیستون که دارای بیشترین (حدود۳۰۰۰متر)میزان ضخامت است ارزشی برابربا۱ و نهشته‌های کواترنری (حدود۲۰۰متر)که کمترین ضخامت را داراست دارای ارزشی معادل۱۰ 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 بیشتراست. سپس براساس رابطه(۲) ضخامت هرسازند در ارزشی که به آن تعلق گرفته است ضرب می‌شود.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

رابطه (۲) Layer-index=∑(ly.m)

که ly-ارزش داده شده به هرلایه، m -ضخامت لایه

درمرحله بعد رتبه زیرفاکتورcn 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 وارزش آن برابر با یک می‌باشد.




**شکل(۶). زمین شناسی**

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

**لایه بارش (P)**

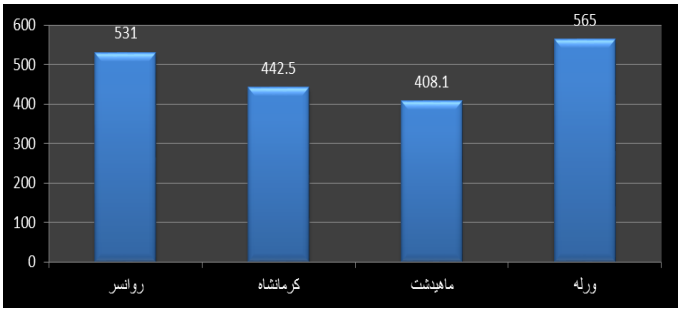
شامل مقدار بارش وعامل‌هایی که نرخ نفوذ را افزایش می‌دهند مانند توزیع زمانی، مدت وشدت بارش‌های سیل آسا می‌باشد. این عامل‌ها به میزان توانایی بارش برای حمل آلاینده‌ها از سطح به آب زیر زمینی کمک می‌کند. فاکتورP به وسیله دو زیر فاکتور مقداربارش(PQ) وتوزیع زمانی بارش(PI) ارزیابی می‌گردد. برای محاسبه مقدار 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

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

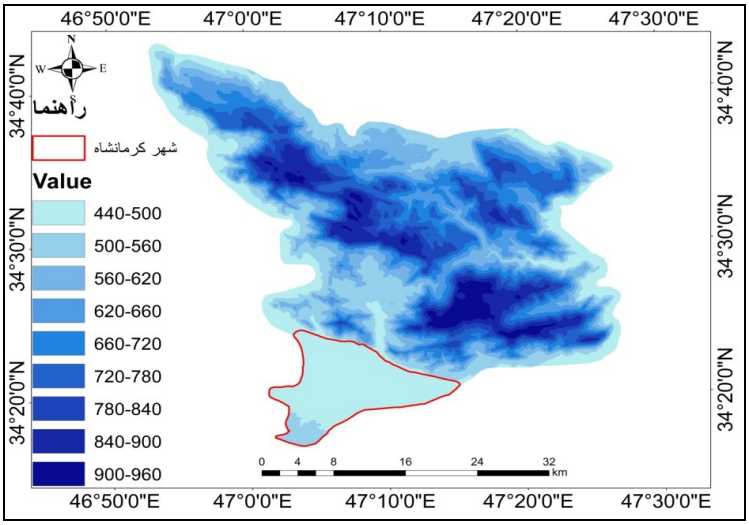
بیانگر کمینه برابر ۳۸۰میلی‌متر و بیشینه ۶۲۰ میلی‌متر است، که در رابطه با ارتفاع، نشان دهنده افزایش نسبی بارش با افزایش ارتفاع است. رابطه (۳) رابطه گرادیان بارش را نشان می‌دهد، که در سطح اطمینان بالای ۹۰٪ معنادار می‌باشد. بر اساس آن، نقشه هم بارش حوضه تهیه گردید.

$$y = 0.224x + 271.2 \qquad R^2 = 0.80$$ رابطه(۳)

در حوضه قره‌سو سطح دشت‌ها و ارتفاعات با ارتفاع کمتر از ۱۶۰۰ متر دارای بارش بین ۴۰۰ تا۶۰۰ 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 ۴۰۰-۸۰۰و ۱۲۰۰-۸۰۰می‌باشد که براساس میزان تاثیرآن برروی آسیب‌پذیری ارزش گذاری شده سپس کلاس بندی شده ودرنهایت نقشه مقدار بارش برای منطقه تهیه می‌شود اشکال(۷و۸).




**شکل(۷). میزان بارش سالانه(میلی متر) در ایستگاه‌های منتخب حوضه قره‌سو**




**شکل( ۸ ). بارش منطقه**

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

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 ۷۲روز در سال می‌باشد که باتوجه به اینکه منطقه دارای نقاط ارتفاعی متفاوت می‌باشد این مقدار قابل تعمیم به تمامی نقاط نمی‌باشددرنتیجه باتوجه به رابطه(۴) این مقدار با هر ۵۰۰متر افزایش ارتفاع ۷روز به تعداد روزهای بارش افزوده می‌شودودرنتیجه زیر فاکتور(PI)با استفاده از رابطه(۴) محاسبه می شود:

$$PI=\frac{P}{N}$$ رابطه (۴)

کهP میانگین بارش سالیانه(میلی‌متر برسال)وN تعداد روزهای بارندگی

توزیع زمانی بارش برای کل منطقه در رده کمتر از ۱۰میلی‌مترو دارای ارزشی برابر با ۶/۰می‌باشد. درنهایت نقشه مقدار بارش و توزیع زمانی بارش با هم همپوشانی شده و نقشه فاکتورPترسیم می‌شود. جدول (۳) نحوه‌ی امتیاز دهی به هریک از زیر فاکتورهای مدل را نشان می‌دهد.

**جدول (۳). رتبه دهی به هریک از زیر فاکتورهای مدلCOPبرای منطقه**

| | | | رتبه |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | عوارض سطحی | کارست توسعه یافته | ۵/۰ |
| | | کارست کم توسعه یافته | ۱ |
| | | آهک درزوشکاف دار | ۷۵/۰ |
| | | | |
| C | | فاقدکارست | ۱ |
| | شیب-پوشش گیاهی | ۰-۸٪ | ۷۵/۰ |
| | | ۸٪-۳۱٪ باپوشش گیاهی | ۸/۰ |
| | | ۳۱٪-۷۶٪ باپوشش گیاهی | ۹/۰ |
| | | ۷۶٪< | ۱ |
| | | | |
| | خاک | آهک ریگوسل_-لیتوسل | ۴ |
| | | ریگوسل آهکی-ریگوسل | ۲ |
| | | آهک کمبی سل-یوتریک کمبی سل | ۵ |
| O | | آهک کمبی سل | ۵ |
| | | کمبی سل _ | ۵ |
| | | کمبی سل ورتی سل | ۴ |
| | | یوتریک سل کمبی سل | ۵ |
| | | یوتریک کمبی سل آهک گلی سل | ۵ |
| | | یوتریک کمبی سل آهک کمبی سل | ۵ |
| | | لیتوسل | ۱ |
| | | ریگوسل آهکی ریگوسلی | ۳ |
| | | | |
| | لیتولوژی | سنگ آتشفشانی بازالتی | ۹ |
| | | کنگلومرای رودخانه های پدیمنت کنگلومرا و ماسه سنگ است | ۸ |
| | | خاکستری ضخیم- سنگ اهک یکپارچه عظیم | ۲ |
| | | آهک متعفن االیتی توده ای ضخیم لایه خاکستری | ۳ |
| | | آهک با میان لایه های رادیولاریت شیل وچرت نسبتا چرتی توده ای تقریبا ضخیم لایه خاکستری | ۵ |

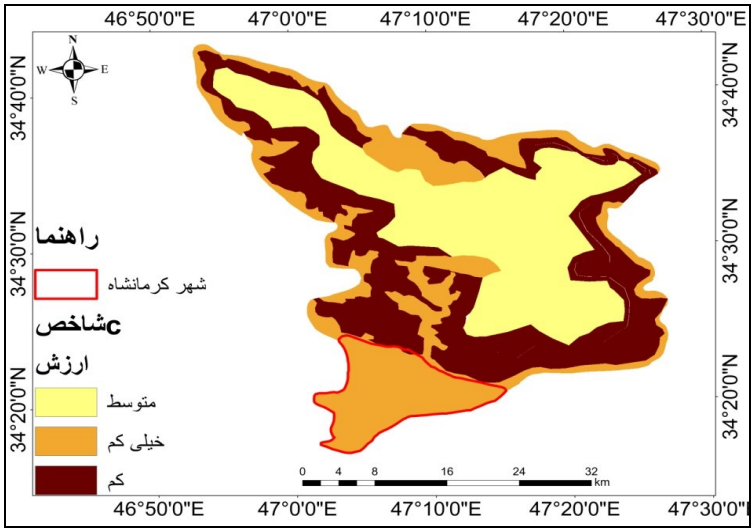
[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

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

## نتایج

### تمرکز جریان(C)

شکل(۹) نقشه پهنه‌بندی عامل Cرانشان می‌دهد. امتیاز نهایی این فاکتوربین ۴/۰تا۱می‌باشد.که به سه طبقه متوسط،کم،خیلی‌کم تقسیم می‌شود.

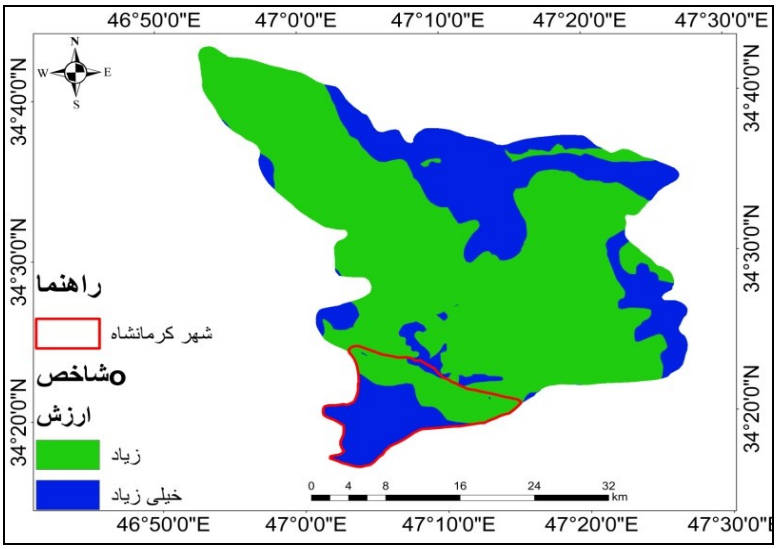



**شکل (۹) .نقشه پهنه‌بندی فاکتور C**

### لایه‌های پوشاننده O

پارامتر Oبراساس ویژگی‌های خاک از جمله ضخامت، تخلخل، نفوذپذیری خاک و ضخامت وجنس لایه‌های لیتولوژی محاسبه می‌گردد. امتیاز نهایی این فاکتوربین ۴تا۸ می باشد و به دو دسته زیاد(۸-۴) و خیلی زیاد (۱۵-۸) تقسیم می‌گردد. شکل(۱۰) نقشه پهنه‌بندی عاملOرا نشان می‌دهد.

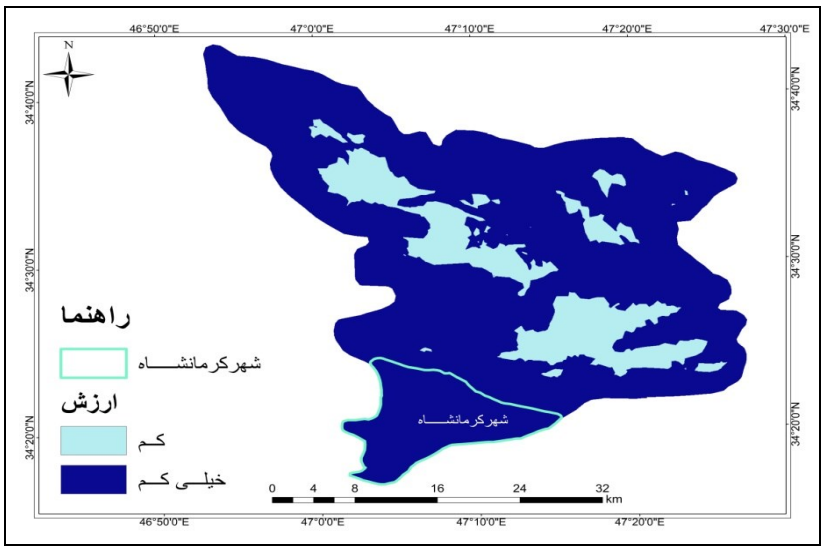
[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]




شکل(۱۰). نقشه پهنه‌بندی‌عامل O

**بارش P**

میانگین بارش منطقه بین ۴۴۰تا۹۶۰میلی‌مترمی‌باشد. درقسمت‌های کم‌ارتفاع منطقه بارش کمتر از ۵۰۰ میلی-متر و در نواحی مرتفع‌تر و نواحی کوهستانی بارش افزایش یافته و به حدود ۱۰۰۰میلی‌متر درسال می‌رسد. میانگین تعداد روزهای بارندگی درایستگاه کرمانشاه برابر با ۷۲روز درسال است. شکل(۱۱)نقشه پهنه‌بندی بارش رانشان می‌دهد.که امتیاز نهایی این عامل ۸/۰و۹/۰می‌باشد که به دو دسته آسیب‌پذیری کم وخیلی کم تقسیم می‌شود.

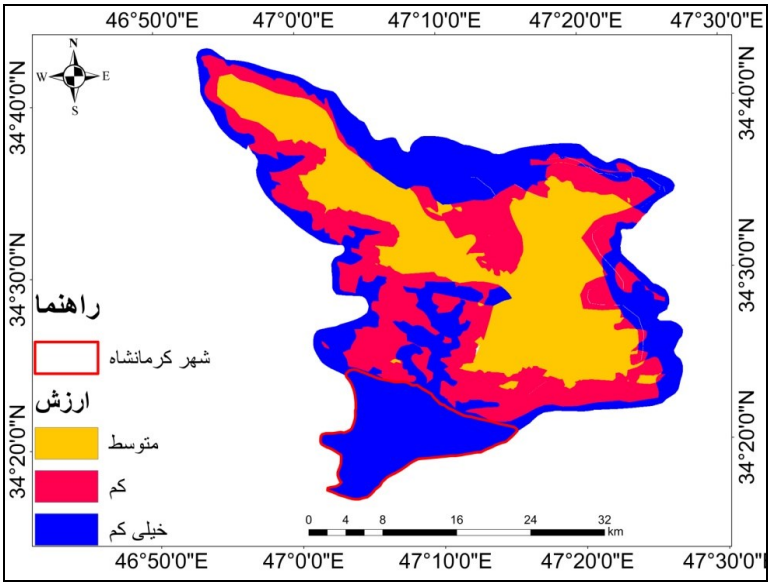



شکل(۱۱). نقشه پهنه‌بندی عامل P

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

### مدل COP

بعد از محاسبه سه فاکتور C، O، P و تهیه نقشه آسیب پذیری آنها، با استفاده از تابع spatial analyst این لایه ها در یکدیگر ضرب شده و نقشه نهایی خطر پذیری (vulnerability) منطقه محاسبه شده است شکل(۱۲). جدول(۴)مساحت ودرصد مساحت هریک از طبقات آسیب‌پذیری رانشان می‌دهد. میزان آسیب پذیری منطقه بین ۲ تا۱۲ 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 | آسیب پذیری | مساحت(کیلومترمربع) | درصدمساحت |
|---|---|---|---|
| ۱-۲ | متوسط | ۴۱۶ | ۴/۳۷٪ |
| ۴-۲ | کم | ۳۹۷ | ۷/۳۰٪ |
| ۱۲-۴ | خیلی کم | ۴۸۷ | ۹/۳۷٪ |

### نتیجه گیری

برای ارزیابی و تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان کارستی توده بیستون-پرآو 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 لایه های رستری، با استفاده از تابع spatial analyst این لایه ها در یکدیگر ضرب شده و میزان شاخص COP بین ۲ تا ۱۲ محاسبه گردید. آسیب پذیری به سه طبقه کم، خیلی کم و متوسط، طبقه بندی گردید. توزیع فضایی کلاس های آسیب پذیری نقشه نهایی آسیب‌پذیری را نشان می دهد که ۹/۳۷ ٪مساحت منطقه در پهنه خیلی کم و۷/۳۰٪مساحت منطقه در پهنه کم واقع شده و۴/۳۱ ٪ از مساحت منطقه در پهنه با آسیب‌پذیری متوسط می‌باشد. پهنه آسیب پذیری خیلی کم با مساحت ۴۸۷ کیلومتر مربع بیشترین مساحت منطقه را به خود

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

اختصاص داده است. این پهنه در سطح دشت های منطقه گسترده شده است و از لحاظ لیتولوژی بیشترنهشته-های کواترنری و سازندهای آهکی– مارنی و کنگلومرای منطقه را در برگرفته است. این مناطق بیشتر دارای خاک‌های شیلی، لومی و رسی می‌باشند. پوشش گیاهی آنهابه صورت زمین های کشاورزی می باشد. ژئومورفولوژی کارست این مناطق به صورت نبود کارست است. و با بارش کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر. مساحت پهنه با آسیب‌پذیری 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 وبه صورت پراکنده می باشند. این پهنه دارای بارش کمتر از ۶۵۰ میلی‌متراست. طبقه متوسط با مساحت ۴۱۶ کیلومتر مربع منطقه منطبق بر کارست توسعه یافته در سازندآهکی بیستون و فاقد پوشش جنگلی ، پوشش خاک کم و با لیتولوژی لیتوسول ، شیب بیش از٪۷۶ و بارش بیش از۸۰۰ میلی‌متری می باشد.

## منابع


باقرزاده، سمیه، کلانتری، نصراله، مرادزاده، محسن، رحیمی، محمدحسین، فاضلی، مریم، کشاورزی، محمدرضا، (۱۳۸۹)، **جدیدترین روش پهنه بندی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی با استفاده از تکنیک‌هایGIS و سنجش ازدور روشCOP(مطالعه موردی آبخوان کارستی شیمبا)**، همایش ملی ژئوماتیک.

چیت سازان، منوچهر و یوسف اختری، (۱۳۸۵)، **پتانسیل‌یابی آلودگی آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک وسیستم اطلاعات جغرافیایی**، فصلنامه آب و فاضلاب، **۱۷(۳)**: ۳۹-۵۱.

عشقی, ابوالفضل, ثروتی, محمدرضا. (۱۳۸۲). **عوامل بالقوه‌ی آلایندگی منابع آب کارست در حوضه کارده (شمال شهرستان مشهد)، ضرورت مدیریت و حفاظت منابع آب کارست**، فصلنامه جغرافیا و توسعه، **۱(۲)**: ۱۷۰-۱۴۹.

ناصری، حمیدرضا و فردوس صارمی‌نژاد، (۱۳۹۰)، **مقایسه ارزیابی آسیب پذیری آبخوان به روش هایDRASTICومنطق فازی، (مطالعه موردی:دشت گل گیر مسجدسلیمان)**، فصل نامه جغرافیای طبیعی **۴،(۱۱)**: ۳۴-۱۷.

Adams, B. and Foster, S.S.D. (1992). **Land-surface zoning for groundwater protection. Journal of the Institutionof Water and Environmental Management**, **6**, 312–320.

Andreo, B., Goldscheider, N., Vadillo, I., Mar Vias, J., Neukum, C., Sinreich, M., Jime´nez, P., Brechenmacher, J., Carrasco, F., Ho¨ tzl, H., Jesu Perles, M. and 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.

Afrasiabian,A(2007).**The importance of protection and managemant of Karst water as drinking war resources in Iran.Environ Geol**,**52**:673-67.

Afrasiabian A., (1998), **Importance of Studies and Researches on Karst Water Resources of Iran, Proceeding ۲nd International Symposium on Karst Water Resources, Iran, Tehran-kermanshah**, PP.126-137.

Ducci, D., (2007). I**ntrinsic vulnerability of the Alburni Karst system (southern Italy).**


[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]

[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]

**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., Grasemann, 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.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.8.4 ]
[ DOI: 10.29252/jgs.19.52.129 ]