نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و دوم، شماره ۶۷، زمستان ۱۴۰۱

# ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی در آبخوان‌های کارستی(مطالعه موردی: آبخوان-های کارستی ششپیر و برغان، استان فارس)

**دریافت مقاله**: ۹۸/۵/۲۷ **پذیرش نهایی**: ۹۸/۹/۱۲

**صفحات**: ۲۱۹-۲۰۵

**مهدی کاشفی**: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم جغرافیایی، اصفهان، ایران
**Email:** Mkashefi58b@gmail.com
**مژگان انتظاری**: دانشیار دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم جغرافیایی، اصفهان، ایران[1]
**Email:** m.entezari@geo.ui.ac.ir
**مریم جعفری اقدام**: دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم جغرافیایی، اصفهان، ایران
**Email:** m.jafari.geo@gmail.com

**چکیده**

**آسیب‌پذیری به عنوان یک استعداد ذاتی سیستم آب زیرزمینی در نظرگرفته می‌شود که وابسته به میزان حساسیت این سیستم به تأثیرات انسانی و یا طبیعی است. آسیب‌پذیری ذاتی، براساس ویژگی‌های ژئومورفولوژی کارست سطحی، نوع و میزان تغذیه آبخوان و رفتار هیدرودینامیکی آبخوان کنترل می‌گردد. آبخوان‌های کارستی در استان فارس، مهمترین منبع تامین آب مورد نیاز جوامع انسانی در این استان بوده که با توجه به شرایط طبیعی منطقه و حضور انسان، مستعد آلودگی می‌باشند. آبخوان کارستی ششپیر و برغان، نقش حیاتی در تامین آب شرب و کشاورزی جوامع محلی اطراف خود دارد. هدف از این پژوهش برآورد میزان آسیب پذیری طبیعی، آبخوان‌های کارستی ششپیر و برغان با استفاده از روش‌های پیشنهادی کاست اکشن ۶۲۰ [2] و اولویت‌بندی سطح آبخوان‌ها در زمینه اقدامات حفاظتی و ارائه راهکارهای مدیریتی به منظور حفاظت بهتر از آن‌ها می‌باشد. در این مدل برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری طبیعی از نقشه‌های زمین‌شناسی، خاک، پوشش گیاهی، مدل ارتفاع رقومی ده متری و آمار بارش ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شده است و آسیب-پذیری به عنوان برایندی از سه عامل C,O,P مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. و در نهایت منطقه از نظر آسیب‌پذیری در ۵ طبقه آسیب‌پذیری خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی شد. نتایج حاصل از مدل COP، نشانگر آسیب‌پذیری طبیعی بالای منطقه می‌باشد. مجموع میزان آسیب‌پذیری در دو طبقه خیلی بالا و بالای این منطقه در حدود ۴۷ درصد می‌باشد که بیشترین پهنه پوششی آن آبخوان ششپیر می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان دهنده کارآمدی روش‌های ارائه شده توسط کاست اکشن ۶۲۰، به منظور تشخیص و محافظت از منابع آب زیرزمینی از آسیب‌پذیری و آلودگی طبیعی می‌باشد.**

**کلید واژگان**: آسیب‌پذیری ذاتی. روش COP ، تاقدیس برم فیروز، تاقدیس گر، آبخوان کارستی ششپیر، آبخوان کارستی برغان

---

۱ . **نویسنده مسئول**: اصفهان، خیابان هزار جریب، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم جغرافیایی

2 . Cost action 620

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]

**مقدمه**

منابع آب کارستی به عنوان یک منبع مهم تامین آب جوامع انسانی در مناطق کارستی دارای اهمیت حیاتی بوده و بنا بر برآورد فورد و ویلیامز(۲۰۰۷) حدود ۲۵٪ جمعیت جهان نیاز آبی خود را از منابع آب کارست تامین می‌کنند. آبخوان‌های کارستی به علت ویژگی‌های هیدرولوژیکی خاص خود متمایز از دیگر آبخوان‌ها بوده (فورد[1] و ویلیامس[2]، ۲۰۰۷ و مودارا[3] و اندریو[4]، ۲۰۱۱) و نسبت به انتشار آلودگی حساسیت زیادی دارند. در آبخوان‌های کارستی به علت ظرفیت ذخیره‌سازی کم و جابه‌جایی سریع آب، دخالت فرایندهای طبیعی مانند جذب، تخریب و فیلتراسیون تأثیر کمی داشته (مودارا و اندریو، ۲۰۱۱)، در نتیجه امکان انتشار آلودگی در این آبخوان‌ها زیاد می‌باشد. میلانویچ(۲۰۰۵) معتقد است که، یکی از مشکلات بسیار مهم در امر برنامه‌ریزی منطقه‌ای و توسعه در مناطق کارستی، حفاظت از آبخوان‌های کارستی می‌باشد. حفاظت از منابع آب کارست، از مهم‌ترین اقدامات در مدیریت منابع آب کارست به‌شمار می‌رود(افراسیابیان ,۲۰۰۷). در طی دو دهه گذشته ارزیابی حفاظت از منابع آب کارست در لیست اولویت‌های اصلی بسیاری از کشورها قرار گرفته است (پاول نول[5] و همکاران، ۲۰۰۷). گروه مطالعاتی کاست اکشن ۶۲۰[6] (۱۹۹۷) با بهره‌گیری از GIS به مطالعه آسیب‌پذیری کارست پرداخته و دو گونه حسّاسیت ذاتی و حساسیت ویژه، برای سیستم کارست تعیین نموده است. بر این اساس کاست اکشن ۶۲۰ اروپا یک رویکرد جامع برای حفاظت از منابع آب کارست پیشنهاد می‌کند، که شامل تهیه نقشه آسیب‌پذیری طبیعی(ذاتی) می‌باشد. آسیب‌پذیری ذاتی براساس ویژگی‌های ژئومورفولوژی کارست سطحی، نوع و میزان تغذیه آبخوان و رفتار هیدرودینامیکی آبخوان کنترل می‌شود. هر چه سیستم کارستی توسعه یافته‌تر باشد، میزان آسیب‌پذیری ذاتی آن بالاتر است. آدامز و فوستر معتقدند که تهیه نقشه آسیب‌پذیری به عنوان یک رویکرد علمی برای حفاظت منابع آب زیرزمینی در اواخر دهه ۱۹۶۰ مطرح گردیده است (آدامس[7] و فوستر[8]، ۱۹۹۲). این رویکرد به علت پیشرفت در مدل هیدرولوژیکی و GIS در طول دهه گذشته، پیشرفت زیادی داشته اند (کاتا[9] و همکاران، ۲۰۱۰). در واقع تهیه نقشه آسیب‌پذیری ذاتی، امکان شناسایی منابع آب زیرزمینی در معرض خطر آلوده شدن را فراهم ساخته و نقش بسیار موثری در مدیریت علمی منابع آب کارست دارند.

تشکیلات کربناته کارستی، در حدود ۱۱ درصد از مساحت ایران (رئیسی، ۲۰۰۲) و ۲۳٪ از منطقه زاگرس را تشکیل می‌دهد(اشجاری[10] و رئیسی[11]، ۲۰۰۶). شهرستان سپیدان در استان فارس در جنوب غرب ایران(منطقه زاگرس) واقع شده و دارای اقلیم نیمه خشک می‌باشد. منابع آب کارست به عنوان مهمترین منبع تامین آب جوامع انسانی، نقش حیاتی در استمرار مدنیت در این استان را دارند. تجدیدپذیری زیاد، کیفیت بسیار مناسب، بهره برداری آسان و هزینه کم در امر استخراج و تصفیه باعث شده تا منابع آب کارست به عنوان یکی از منابع

1 Ford
2 Williams
3 Mudarra
4 Andreo
5 Paul Novel
6 Cost Action 620
7 Adams
8 Foster
9 Kattaa
10 Ashjari
11 Raeisi

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]

تامین آب در این شهرستان مطرح باشند. مطالعات دی جونگ(۲۰۰۸) در منطقه بلو نشان داده است که منبع آلودگی آب‌های کارست به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند که شامل منابع آلودگی منتشر و گسترده و منابع آلودگی نقطه‌ای می‌باشد. کاتا و همکاران (۲۰۱۰)[1] در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیده‌اند که تهیه نقشه آسیب-پذیری، امکان شناسایی منابع آب زیرزمینی در معرض خطر آلوده شدن را فراهم می‌سازد. ساماکوش[2] و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی به پهنه‌بندی و ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی گلین غرب با استفاده از مدل COP و نرم افزار GIS پرداختند. هدف از این پژوهش تخمین مقدار آسیب‌پذیری و تهیه نقشه آبخوان گلین‌غرب(در استان کرمانشاه و اقع در غرب ایران) جهت مقابله با انتشار آلودگی بوده است. نتایج نشان می‌دهند بیشتر پهنه مورد مطالعه در طبقه آسیب‌پذیری متوسط و کم و در ارتفاعات سازند آسماری می‌باشد و فاکتور C بیشترین تاثیر را در کاهش آسیب‌پذیری دارد چون مساحت کمی از منطقه کارست توسعه یافته وجود دارد و بیشتر منطقه کارست توسعه نیافته وجود دارد. همچنین نقشه فاکتور O نشان می‌دهد آسیب‌پذیری بالا و خیلی بالا مربوط به نواحی است که ساختارهای نفوذ پذیر در منطقه توسعه یافته‌اند. حقی‌زاده و همکاران(۲۰۱۸) در پژوهشی به ارزیابی آنالیزهای حساسیت مدل COP به کمک تکنیک‌های سنجش از دور و GIS برای تعیین میزان آسیب-پذیری آبخوان کارستی الشتر واقع در استان لرستان در غرب ایران پرداختند. این آبخوان به علت شرایط طبیعی منطقه و فعالیت‌های انسانی و وجود فروچاله‌ها و نقاط تغذیه در معرض آلودگی قرار دارد. و نقشه منطقه بر اساس پارامترها به سه رده بالا، متوسط و کم از نظر آلودگی تقسیم شدند و از بین پارامترها P بیشترین تاثیر و C کمترین تاثیر را دارد. باقرزاده و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله‌ای به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی شیمبار در ۶۵ کیلومتری شمال غرب مسجدسلیمان با روش COP پرداختند و نقشه پهنه‌بندی تهیه شده منطقه را به چهار بخش با آسیب‌پذیری کم، متوسط، بالا و خیلی بالا تقسیم کرد. نتایج به دست آمده با EC و سری‌های زمانی تخلیه چشمه‌های منطقه مطابقت دارد. زاگانا[3] و نانو[4] (۲۰۱۸) برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیستم کارستی زیریا[5] به عنوان منبع اصلی آب آشامیدن منطقه در جنوب یونان از مدل COP استفاده کردند. مالکی و همکاران (۲۰۱۹) به برسی و ارزیابی آلودگی توده آهکی بیستون- پرآو در دشت کرمانشاه با استفاده از مدل COP پرداختند و منطقه مورد مطالعه را به قسمت آسیب پذیری متوسط، کم و خیلی کم تقسیم کردند. پارامترهای تاثیر گذار در این منطقه به ترتیب اهمیت C و P و در نهایت O است. سیف و همکاران (۱۳۹۳) نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی گلین در استان کرمانشاه را به کمک مدل COP تهیه کردند نتایج تحقیق حاکی از آن است که چشمه گلین دارای سیستم افشان می‌باشد و نقشه پهنه‌بندی تهیه شده حاکی از سه پهنه با خظر آسیب‌پذیری خیلی کم، کم و متوسط است. پارامترهای C، P و O به ترتیب بیشترین نقش را در کم بودن آسیب‌پذیری آبخوان دارا می‌باشند. زنگنه اسدی(۱۳۹۴) و همکاران به کمک سنجش از دور و GIS نقشه آسیب پذیری آلودگی آبخوان بقیع واقع در خراسان رضوی را با کمک مدل‌های COP و پاپریکا[6] به دست آوردند نتایج حاصل از اعمال مدل COP شامل ۴ رده آسیب‌پذیری زیاد، متوسط، کم و خیلی کم و در مدل پاپریکا در سه رده

1 De Jong et al, 2008
2 Masoompour Samakos
3 Zagana
4 Nanou
5 Ziria
6 PaPRIKa

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]

خیلی زیاد، زیاد و متوسط پهنه بندی شده است. رنگزن و همکاران(۱۳۹۶) در پژوهشی با عنوان آسیب‌پذیری و آلودگی آبخوان کارستی نعل اسبی، جنوب شرق ایذه با استفاده از مدل COP به برسی و ارزیابی این آبخوان پرداختند و نتایج با غلظت نیترات در آبخوان کارستی مورد مقایسه قرار گرفت و مزیت روش COP را در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی نشان داد. دسترنج و همکاران (۱۳۹۶) نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی دالاهو واقع در شهرستان سرپل ذهاب از توابع استان کرمانشاه را با مدل COP تهیه کردند نقشه نهایی این مدل نشان دهنده شامل ۵ رده آسیب‌پذیری بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و خیلی کم است و ۳۲,۸۳ درصد پهنه مربوط به آسیب‌پذیری بسیار بالا است که نشان از حساسیت بالای این ابخوان مهم نسبت به آسیب‌پذیری است.

آبدهی آبخوان ششپیر در سال های پر آبی بیش از ۳۲۰۰ لیتر در ثانیه است که از یال شمالی کوه گر خارج می‌شود(رئیسی و کرمی۱، ۱۹۹۶ ). همچنین دبی چشمه برغان در سال‌های پر آبی بیش از ۶۳۰ لیتر در ثانیه است که تامین کننده نیاز آبی جوامع انسانی(شرب، کشاورزی، دامداری، صنعتی و ...) اطراف خود می‌باشد که با توجه به توسعه یافتگی ژئومورفولوژی کارست سطحی منطقه، باعث آلودگی آبخوان می‌گردد. هدف از این پژوهش ارزیابی آسیب‌پذیری طبیعی، آبخوان ششپیر و برغان و اولویت بندی سطح آبخوان در زمینه اقدامات حفاظتی و ارائه راهکارهای مدیریتی به منظور حفاظت بهتر از آن می باشد.

## روش تحقیق

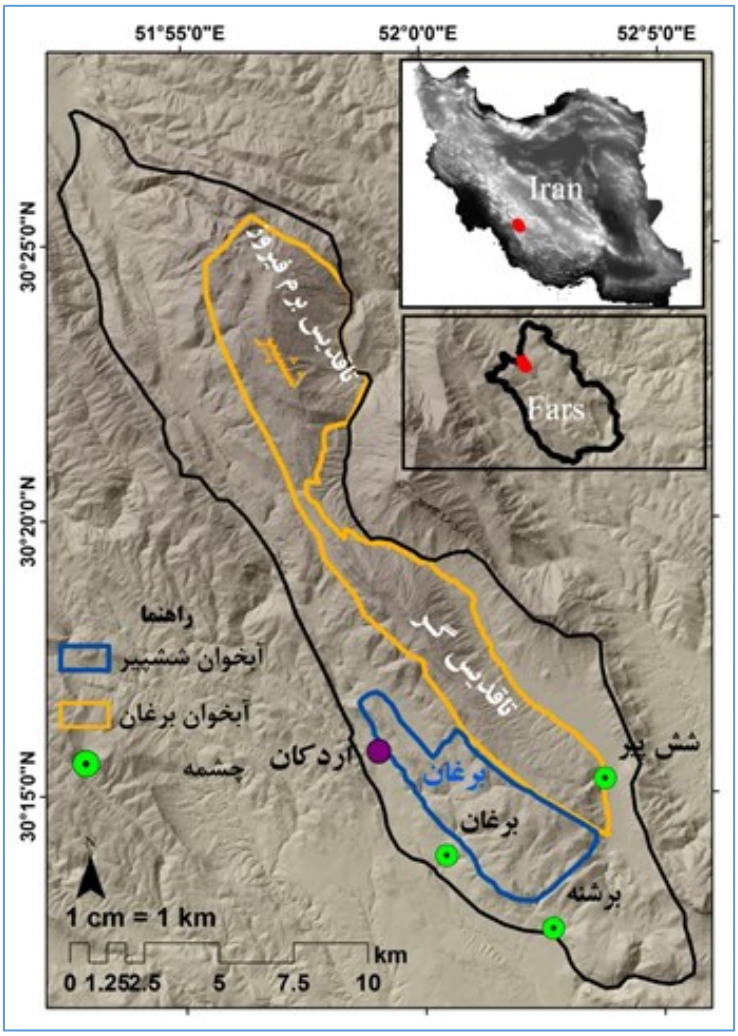
### موقعیت و ویژگی‌های آبخوان‌های مورد مطالعه

با توجه به شکل(۱) آبخوان‌های ششپیر و برغان در نزدیکی شهر اردکان شهرستان سپیدان و در ۷۰ کیلومتری شمال غرب شیراز و در تقسیم‌بندی‌های ساختمانی- رسوبی کشورمان به عقیده نبوی (۱۳۵۵) جزو ناحیه زاگرس مرتفع می‌باشد. این دو آبخوان شامل کوه‌های گر و برم-فیروز می‌باشد شکل(۲) که به شکل یک طاقدیس پلانژدار است. محور چین خوردگی این طاقدیس با امتداد شمال غرب – جنوب شرق یا همان امتداد چین خوردگی زاگرس منطبق است. تشکیلات آهکی سروک در این منطقه دارای رخنمون وسیعی است و توده اصلی این دو آبخوان مهم کارستی را ایجاد کرده است. نظر به ضخامت بسیار زیاد سازند آهکی سروک (حدود ۸۰۰ متر) و شکستگی‌ها و لندفرم‌های متعددی که درحوضه آبریز هر آبخوان وجود دارد، این دو آبخوان را به عنوان دو سفره مهم آب زیرزمینی در منطقه مطرح نموده است. حوضه آبخوان ششپیر شامل کوه برم-فیروز و یال شمالی کوه گر است. از مهمترین اشکال کارستی این حوضه، حضور 287 فروچاله[۲] و اشکال کارستی دیگری از جمله غار و کارن است شکل(۳) که عمل تغذیه آبخوان عمدتا از طریق این لندفرم‌ها صورت می‌پذیرد. عمل تخلیه این آبخوان از چشمه ششپیر انجام می‌شود. کوه گر یک طاقدیس برگشته است. ارتباط یال شمالی و جنوبی این طاقدیس به علت عملکرد تراست زاگرس و سازند غیرقابل نفوذ کژدمی قطع شده است و باعث ایجاد آبخوان برغان در یال جنوبی این کوه شده است. (رئیسی و زارع۳ ، ۱۹۹۹). مساحت حوضه آبریز آبخوان برغان حدود ۱۹ کیلومتر مربع است(پزشکپور[۴]، ۱۹۹۱ ). در آبخوان برغان فروچاله‌های محدود و کوچکی وجود دارد و به علت وجود تراست

1 Raesi and Karami
2 Sinkhole
3 Zare and Raesi
4 Pezeshkpoor

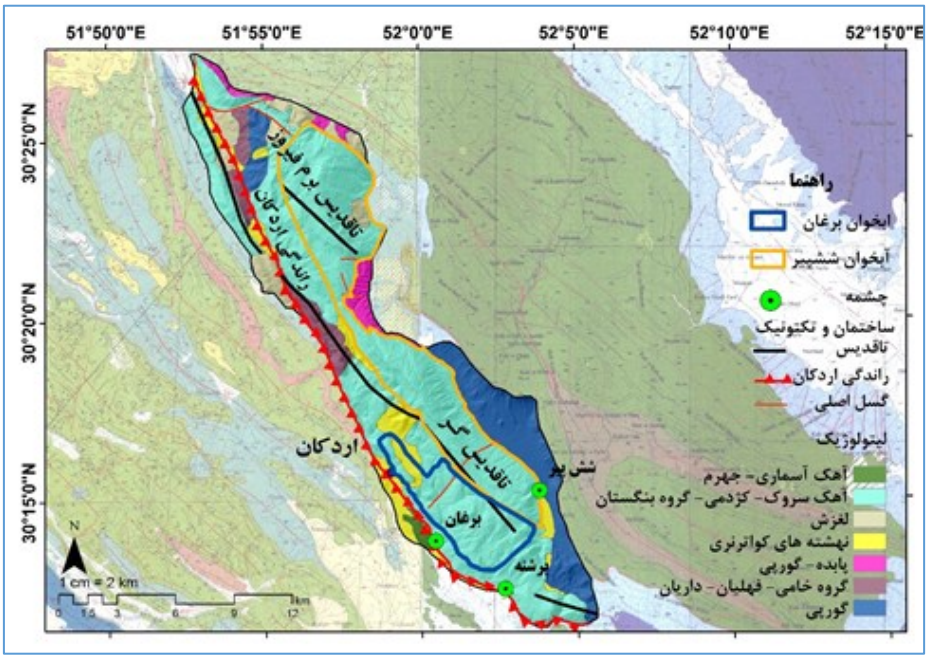
[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]

زاگرس و عمل چند گسل نرمال آبخوان به شدت خرد شده و عمل کارستی شدن بیشتر در زیر زمین و در محل درزه‌ها و شکستگی‌ها ایجاد شده است. عمل تخلیه آبخوان برغان از طریق ۱۱ چشمه انجام می‌شود که مهمترین آن‌ها چشمه‌های ششپیر و برغان است.

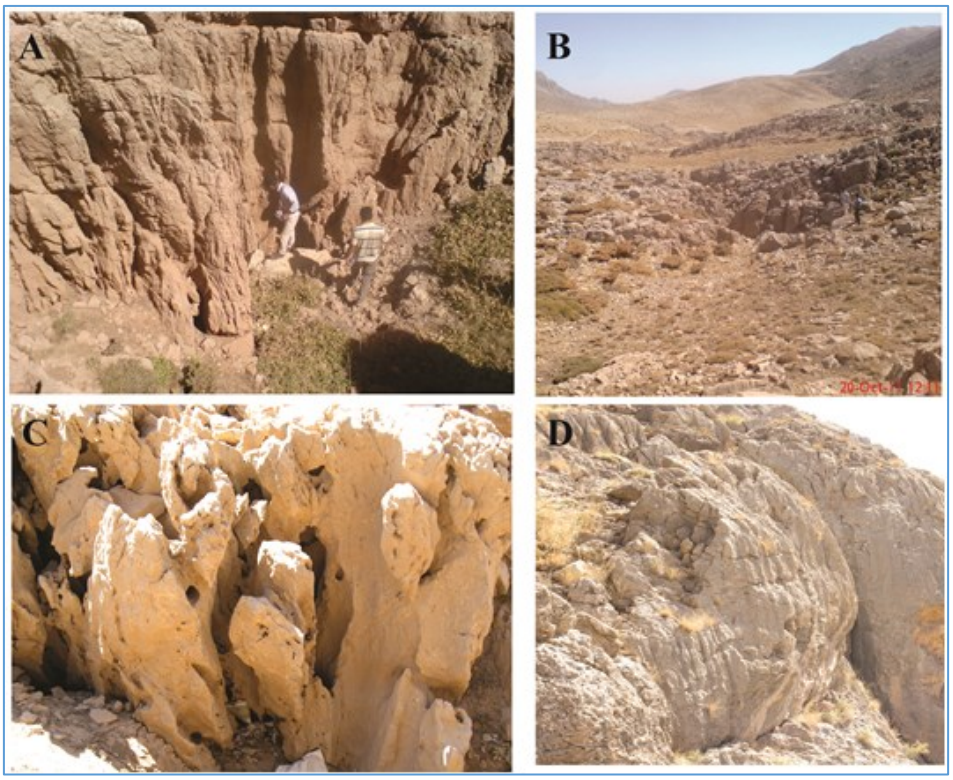



**شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه**

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]




شکل(۲). نقشه زمین شناسی آبخوان‌های مورد بررسی




شکل(۳). لندفرم‌های کارستی برم فیروز: A: فروچاله، B: فروچاله، C: شافت کارنی،D: ریلن کارن

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]

**داده و روش کار**

این پژوهش یک تحقیق کاربردی- توسعه‌ای مبتنی بر روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی می‌باشد که در آن از بازدیدهای میدانی به منظور شناسایی عوامل ریسک و خطرزای طبیعی استفاده گردید. همچنین به منظور تعیین میزان آسیب‌پذیری از بین مدل‌های مختلف مدل COP انتخاب شده است در این مدل برای تهیه نقشه آسیب-پذیری طبیعی از نقشه‌های زمین‌شناسی، خاک، پوشش گیاهی، مدل ارتفاع رقومی ده متری و آمار بارش ایستگاه های هواشناسی استفاده شده است.

**مدل COP**

روش COP توسط کاست اکشن ۶۲۰ ارائه داده شده و توسط کیرس[1] و زهو[2] (۲۰۰۶)، دوسی[3] (۲۰۰۷)، راوبار[4] (۲۰۰۷)، دیمیتریو[5] و همکاران (۲۰۰۸)، لیولند[6] (۲۰۰۸)، پلان و همکاران (۲۰۰۸) و ویاس[7] و همکاران (۲۰۱۰) به تنهایی یا بصورت ترکیبی با مدل‌ها و روش‌های دیگر در مناطق کارستی مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته است.

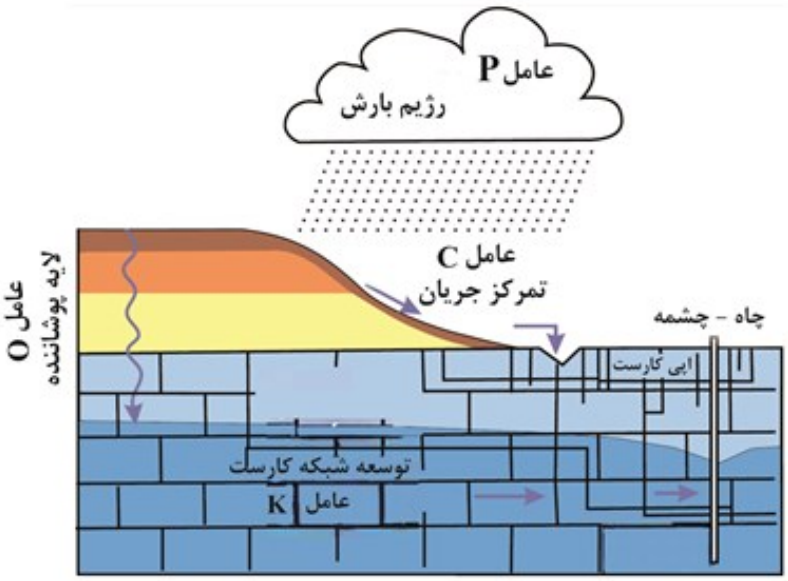
آسیب‌پذیری ذاتی براساس ویژگی‌های ژئومورفولوژی کارست سطحی، نوع و میزان تغذیه آبخوان و رفتار هیدرودینامیکی آبخوان کنترل می‌شود. هر چه سیستم کارستی توسعه یافته‌تر باشد، میزان آسیب‌پذیری ذاتی آن، بالاتر است. COP روشی جدید به منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری طبیعی می‌باشد که در چارچوب COST 620 ارائه گردیده است. در این روش، آسیب‌پذیری به عنوان برایندی از سه عامل C,O,P مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. عامل O بررسی حفاظت از مناطق غیر اشباع آبخوان در برابر رخداد یک عامل آلاینده است و عوامل P و C برای تصحیح درجه حفاظت (عامل O) مورد استفاده قرار می‌گیرند (آندرو،۲۰۰۶، ۵۸). در این روش (O) لایه پوشاننده[8]، (C) غلظت یا تمرکز جریان[9] و (P) رژیم بارش[10] می‌باشد. عامل O شرح حفاظت آبهای زیرزمینی توسط لایه‌های بالاتراز منطقه اشباع شده است. ضخامت، تخلخل و خواص نفوذپذیری خاک و هر لایه لیتولوژی از منطقه غیر اشباع در نظر گرفته شده است (دالی، ۲۰۰۲، ۳۴۶[11]). عامل C براساس ژئومورفولوژی کارست،پوشش گیاهی و شیب توپوگرافی محاسبه می‌شود. عامل P شامل مقدار بارش و توزیع زمانی آن (شدت) است و قدرت آب را برای حمل و نقل آلاینده ها از سطح زمین به داخل آبخوان‌ها را تعیین می‌کند. شکل(۴) مدل مفهومی این نوع از آسیب پذیری و تاثیر هر یک از عوامل سه گانه را در این مدل، نشان می‌دهد. این مدل یک اندیس عددی فراهم می‌کند که از نمرات اختصاص داده شده به سه پارامتر مدل، مشتق می‌شود. هر کدام از این عامل ها، خود به زیر عامل‌هایی تقسیم می‌شوند که دارای چند کلاس با رتبه‌های اختصاصی

1 Kiros
2 Zhou
3 Ducci
4 Ravbar
5 Dimitriou
6 Leyland
7 Vías
8 Overlying layers
9 flow Concentration
10 Precipitation
11 Daly et al. 2002

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]

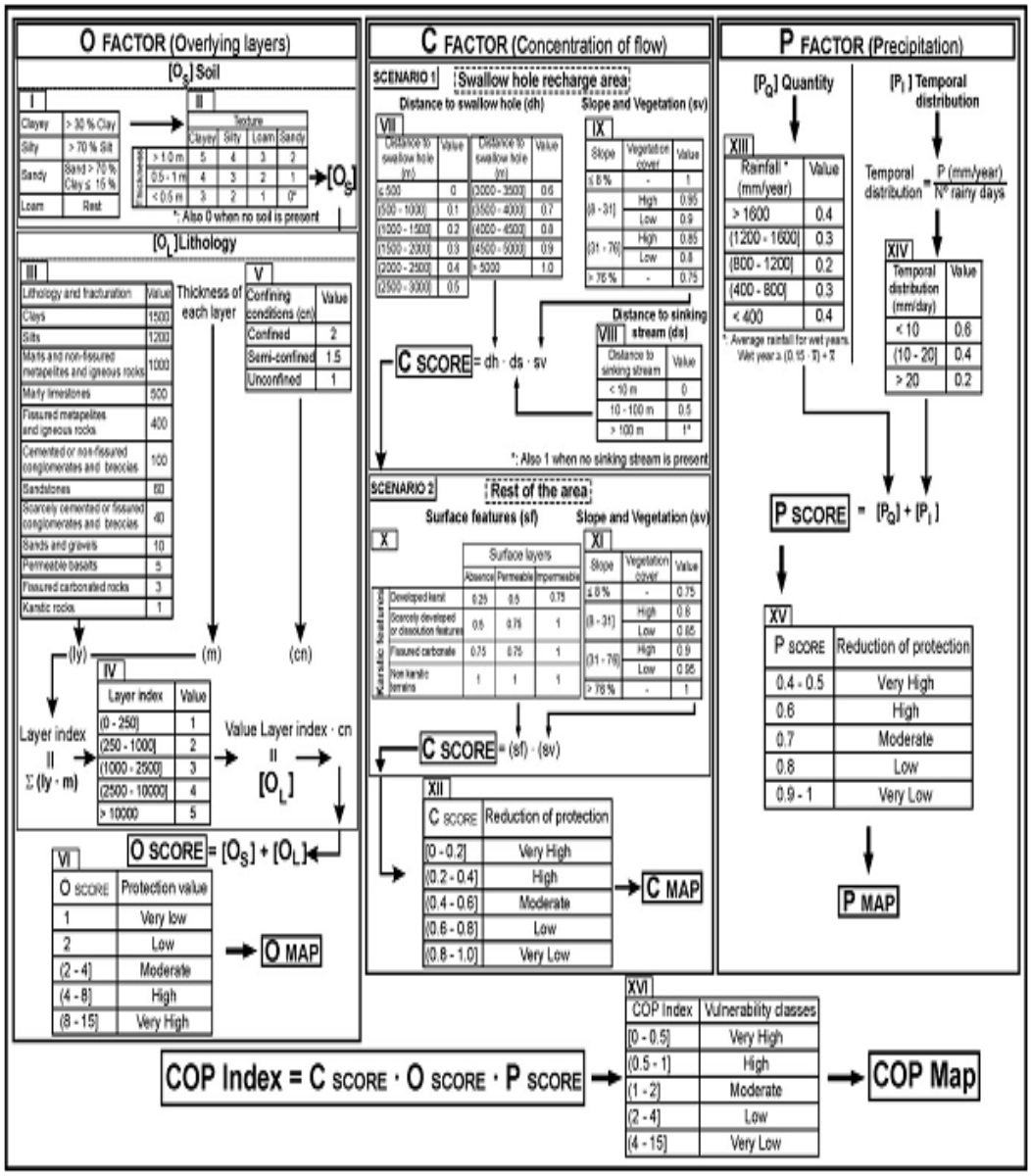
می‌باشند شکل(۵). هر کدام از عامل‌ها و زیرعامل‌هایشان در محیط برنامه ArcGis 10.6 تهیه می‌شوند که به صورت یک نقشه پهنه‌بندی شده می‌باشند. در نهایت نقشه‌های هر عامل COP حاصل می‌گردد. بعد از تهیه نقشه‌های هر عامل، نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی، براساس رابطه(۱) همپوشانی می‌گردد.

رابطه(۱) $$COP = C \times O \times P$$




**شکل(۴). مدل مفهومی آسیب‌پذیری ذاتی (زوهلن،۲۰۰۴)**

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]




شکل (۵). دیاگرام کلی از روش COP ( ویاز و همکاران، ۲۰۰۶)

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]

## نتایج

### محاسبه شاخص C

به منظور محاسبه شاخص C منطقه، از سناریو ۲ شکل(۴) استفاده گردید. ابتدا (sf) براساس ویژگی‌های ژئومورفولوژی کارست و شاخص اس وی[1] براساس نقشه شیب و پوشش گیاهی منطقه محاسبه شد شکل(۶). هر چه کارست تحول یافته‌تر باشد، نفوذ بیشتر و سریعتر انجام گرفته و در نتیجه آلودگی بیشتر و سریعتر به آبخوان کارستی منتقل می‌شود. نقشه پارامتر C شکل(۷) نشان می‌دهد که راس توده آهکی برم فیروز در معرض آسیب-پذیری زیاد و بسیار زیاد بوده که منطبق با قرارگیری فروچاله‌ها نیز می‌باشد. این امر نشانگر این است که توده آهکی در معرض آلودگی بسیار بالایی قرار دارد.

### محاسبه شاخصO

برای اختصاص امتیاز به عامل O از نقشه‌های زمین‌شناسی ($O_L$) و خاک ($O_S$) منطقه استفاده گردید شکل(۶). بررسی این شاخص نشان می‌دهد که تمامی توده آهکی گروه بنگستان، دارای آسیب‌پذیری متوسط می‌باشد شکل(۷) و آهک آسماری- جهرم دارای آسیب‌پذیری بالا می‌باشد. عمق خاک شکل گرفته بر روی این توده آهکی(سروک) کم بوده و مراتع کم تراکم بر سطح آن شکل گرفته است.

### محاسبه شاخص P

میانگین بارش سالیانه منطقه ۱۲۰۰ میلی‌متر و میانگین تعداد روزهای بارشی آن ۸۵ روز در سال می‌باشد. میزان آسیب‌پذیری بارش شکل(۶) نیز متوسط تا زیاد بوده که درصد بیشتری از سازند آهکی سروک در تاقدیس برم فیروز در رده آسیب‌پذیری متوسط و در تاقدیس گر در رده آسیب‌پذیری زیاد است. بالا بودن آسیب پذیری منطقه به دلیل میزان بارش نسبتاً زیاد می‌باشد.

### فرایند انجام مدل COP

میزان آسیب‌پذیری نهایی به دست آمده از مدل COP بین ۰,۳ تا ۴,۶ می‌باشد که در نهایت به پنج دسته، طبقه بندی گردید. همان‌طور که در جدول(۱) نیز دیده می‌شود تنها ۱۳,۳۸ درصد از مساحت توده گر و برم فیروز در محدوده خطر خیلی کم و کم جای گرفته، حدود ۴۰ درصد از مساحت، در طبقه آسیب‌پذیری متوسط و ۴۶,۶۶ درصد از مساحت توده، در محدوده آسیب زیاد و بسیار زیاد می‌باشد. شکل(۸) نشان می‌دهد که آبخوان‌های مورد بررسی دارای طبقات متفاوتی از آسیب‌پذیری می‌باشد. مناطق با آسیب‌پذیری بالا (زیاد و خیلی زیاد)، منطبق بر راس توده برم فیروز که دارای ژئومورفولوژی کارست سطحی توسعه یافته بوده و دولین‌ها عمل تغذیه متمرکز را انجام می‌دهند. این محدوده دارای مراتع کم تراکم، خاک کم ضخامت، شیب کم و بارش زیاد می‌باشد. بیش از ۹۰ درصد آبخوان ششپیر در این محدوده آسیب‌پذیری واقع گردیده است. همچنین بخش‌هایی از تاقدیس گر و آبخوان برغان نیز در این محدوده واقع شده‌اند. نواحی با خطر متوسط منطبق بر دامنه‌های تکتونیزه کوهستان بوده که در آن درز و شکاف کارستی و کارن فیلدها توسعه یافته می‌باشد و همچنین دارای خاک کم عمق و

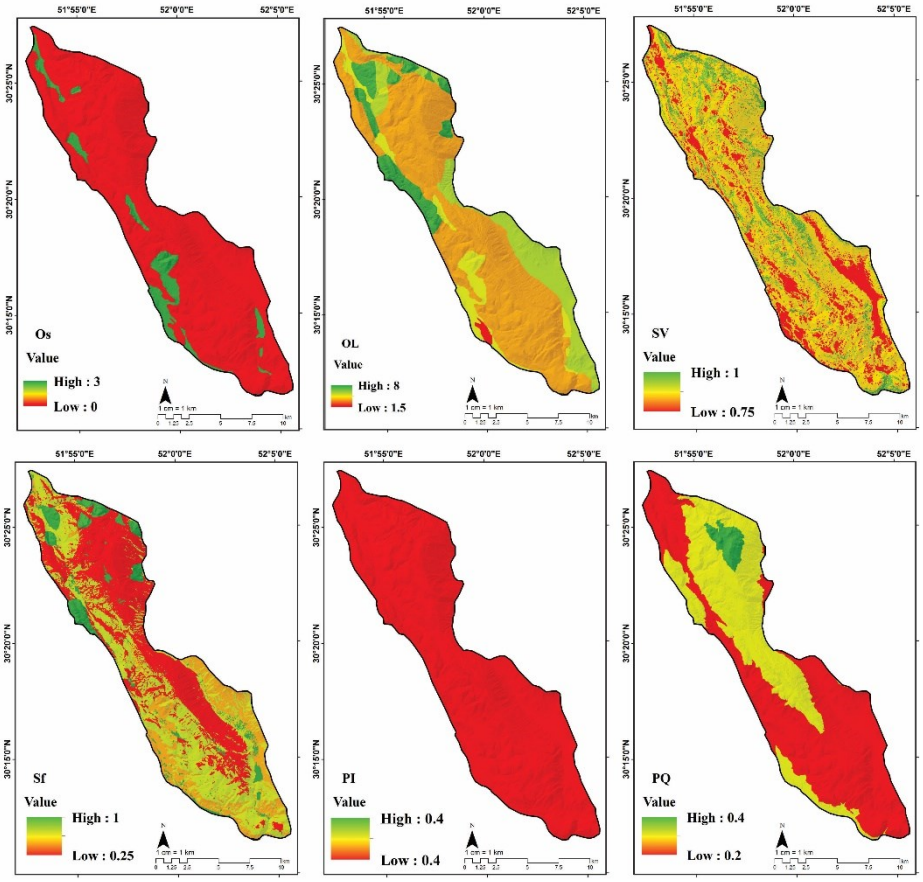
[1] sv

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]

پوشش با تراکم کم می‌باشد. بخش‌های زیادی از آبخوان برغان و بخش‌های جنوب و جنوب شرق منطقه نیز در این محدوده آسیب‌پذیری واقع شده‌اند. مناطق با آسیب‌پذیری پائین نیز منطبق بر مناطق غیر کارستی دارای خاک ضخیم لایه، پوشش گیاهی متراکم و بارش کمتر می‌باشد. موارد مطرح شده و شکل(۸) نشان می‌دهد که آبخوان ششپیر بیش از آبخوان برغان در معرض آسیب‌پذیری بیشتری قرار گرفته است که این امر حفاظت و مدیریت در این آبخوان را بیش از پیش حائز اهمیت می‌سازد.

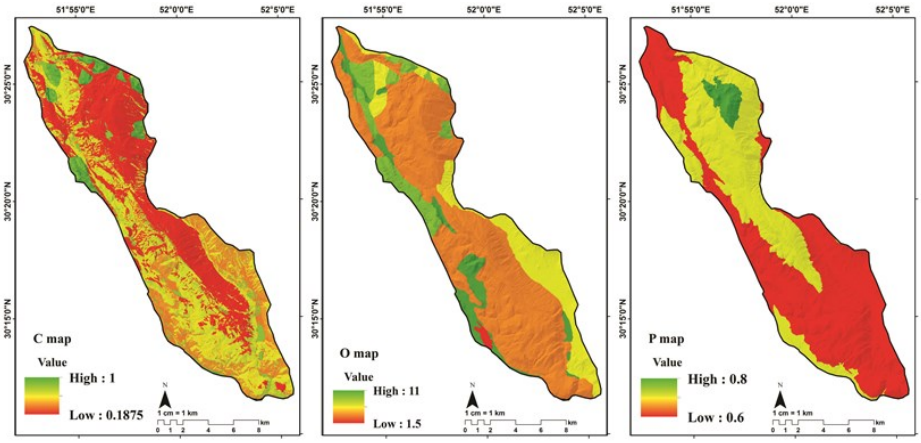
**جدول(۱). مساحت طبقات آسیب پذیری طبیعی با استفاده از مدل COP**

| شاخص COP | آسیب پذیری | مساحت(کیلومترمربع) | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| ۰,۳-۰,۵ | خیلی زیاد | ۶۷/۹۲ | ۳۳/۹۲ |
| ۰,۵-۱ | زیاد | ۲۵/۵۲ | ۱۲/۷۴ |
| ۱-۲ | متوسط | ۷۹/۹۹ | ۳۹/۹۴ |
| ۲-۴ | کم | ۲۶/۴۹ | ۱۳/۲۳ |
| ۴-۵,۰۴ | خیلی کم | ۰/۳ | ۰/۱۵ |

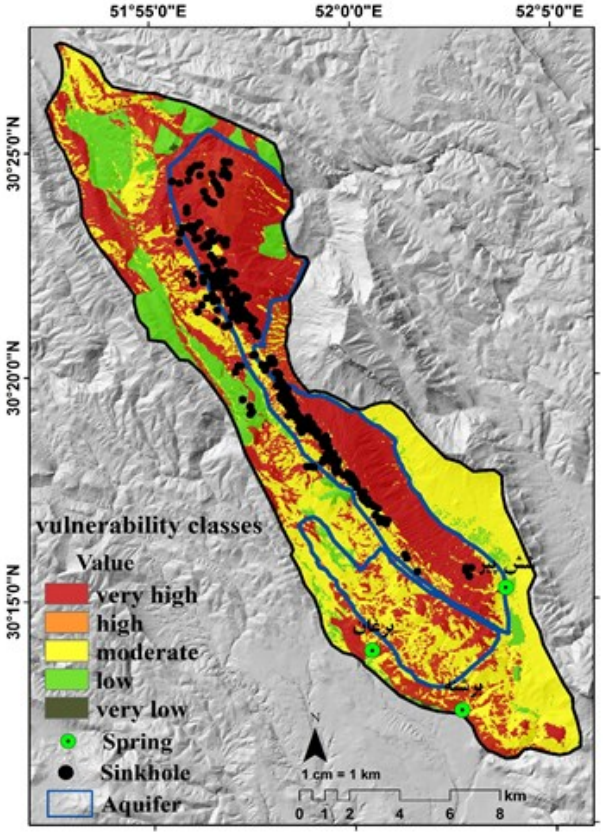



**شکل(۶). نقشه زیر فاکتورها در مدل COP**

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]




شکل(۷). نقشه شاخص COP و فاکتورهای آن در آبخوان‌های ششپیر و برغان




شکل(۸). طبقات آسیب‌پذیری با مدل COP در آبخوان های مورد بررسی

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]

## نتیجه گیری

به منظور ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری طبیعی آبخوان‌های کارستی ششپیر و برغان ، از مدل COP متشکل از سه فاکتور C، O، P استفاده گردید. بعد از امتیاز دهی به فاکتورهای سه گانه، میزان آسیب پذیری نهایی بین ۰,۳ تا ۴,۶۵ محاسبه و آسیب پذیری به پنج دسته، طبقه‌بندی گردید.

مناطق با آسیب پذیری بالا (زیاد و خیلی زیاد)، منطبق بر راس توده برم فیروز که دارای ژئومورفولوژی کارست سطحی توسعه یافته بوده و دولین‌ها عمل تغذیه متمرکز را انجام می‌دهند. این محدوده دارای مراتع کم تراکم، خاک کم ضخامت، شیب کم و بارش زیاد می‌باشد. بیش از ۹۰ درصد آبخوان ششپیر در این محدوده آسیب‌پذیری واقع گردیده است. همچنین بخش‌هایی از تاقدیس گر و آبخوان برغان نیز در محدوده با آسیب پذیری بالا واقع شده اند. نواحی با خطر متوسط منطبق بر دامنه‌های تکتونیزه کوهستان بوده که در آن درز و شکاف کارستی و کارن فیلدها توسعه یافته می‌باشد و همچنین دارای خاک کم عمق و پوشش با تراکم کم می‌باشد. بخش‌های زیادی از آبخوان برغان و بخش‌های جنوب و جنوب‌شرق منطقه نیز در این محدوده آسیب‌پذیری واقع شده‌اند. مناطق با آسیب‌پذیری پائین نیز منطبق بر مناطق غیر کارستی دارای خاک ضخیم لایه، پوشش گیاهی متراکم و بارش کمتر می‌باشد. موارد مطرح شده و شکل(۷) نشان می‌دهد که آبخوان ششپیر بیش از آبخوان برغان در محدوده آسیب‌پذیری بالا قرار گرفته است که این امر حفاظت و مدیریت در این آبخوان را بیش از پیش حائز اهمیت می‌سازد.

بدین منظور، لازم است در این آبخوان، ویژگی‌های شیمیایی آب به طور مستمر مورد پایش قرار گیرد. نقشه شارژ آبخوان تهیه و مناطق با شارژ متمرکز مشخص گردد. حریم لندفرم‌های کارستی تعیین گردیده و از هر گونه عملیات عمرانی و چرای دام در محدوده لندفرم‌ها و اطراف آبخوان ممانعت به عمل آید. در نهایت، بالا بردن سطح آگاهی های عمومی مردم و مسئولین مهمترین اقدامات لازم در زمینه مدیریت آبخوان ششپیر می‌باشد. نتایج بدست آمده در این پژوهش، نشان می‌دهد که روش‌های ارائه شده کاست اکشن ۶۲۰ به منظور تشخیص و محافظت از منابع آب زیرزمینی از آسیب‌پذیری و آلودگی طبیعی کارآمد می‌باشد.

در نهایت می‌توان گفت که، مدل COP به علت مدنظر قرار دادن جزئیات بیشتر و احتساب شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و توپوگرافی، کارایی مطلوبی را به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری طبیعی آبخوان‌های کارستی دارا می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان توسعه کارست سطحی و نوع لندفرم‌ها، با کنترل نوع و میزان تغذیه، نقش اصلی را ایجاد طبقات آسیب‌پذیری دارد. بر اساس نتایج مدل مذکور، آبخوان‌های کارستی منطقه مورد بررسی، در معرض انتشار آلودگی قرار داشته و نیازمند برنامه حفاظتی می‌باشند.

## منابع

اسدی، زنگنه و همکاران، ( ۱۳۹۴). **پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی بقیع با استفاده از تکنیک‌های GIS و روش COP** ، اولین کنگره بین المللی زمین، فضا و انرژی پاک، دانشگاه محقق اردبیلی.

دسترنج، علی و همکاران، ( ۱۳۹۶). **ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان کارستی دالاهو، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی**، ۸(۲): ۱-۱۶.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]

رنگزن، کاظم و همکاران. ،( ۱۳۹۶). **آسیب‌پذیری و آلودگی آبخوان کارستی نعل اسبی، جنوب شرق ایذه، با استفاده از روش COP**، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، (۲۳): ۲۰-۲۸.

سازمان زمین شناسی کشور ، **نقشه زمین شناسی** مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ برگ

سازمان هواشناسی کشور، **داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک استان فارس**، سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۰۵ میلادی.

سیف، عبداله و همکاران، ( ۱۳۹۳). **ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی با استفاده از مدل COP (مطالعه موردی: آبخوان کارستی گلین، استان کرمانشاه)**، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۲(۳): ۶۵-۷۹.

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

Afrasiabian, A., (2007), **The importance of protection and management of Karst water as drinking water resources in Iran. Environ Geol**, 52:673–677.

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., 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.

Anna Nanou, E., Zagana, E., (2018), **Groundwater Vulnerability to Pollution Map for Karst Aquifer Protection (Ziria Karst System,Southern Greece)**. Geosciences, 8, 125.

Ashjari, J., Raeisi, E., (2006), **Influences of anticlinal structure on regional flow, Zagros, Iran. Journal of Cave and Karst studies**, 68(3), 118-129.

Daly, D., Dassargues, A., Drew, D., Dunne, S., Goldscheider, N., Neale, S., et al., (2002), **Main concepts of the European Approach for (karst)groundwater vulnerability assessment and mapping**. Hydrogeogy; 10:340–355.

De Ketelaere, D., Hotzl, H., Neukum, C., Civita, M., Sappa, G., (2004), **Hazard Analysis and Mapping.** In: Zwahlen F, Editor, Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers, EUR 20912. Brussels 7 European Commission, Directorate-General XII Science, Research and Development, P. 86–105.

Dimitriou, E., Karaouzas, I., Sarantakos, K., Zacharias, I., Bogdanos, K., Diapoulis, A., (2008), **Groundwater risk assessment at a heavily industrialised catchment and the impacts on a peri-urban wetland**. Journal of Environmental Management 88 (3), 526e538.

Dimitriou, E., Zacharias, I., (2006), **Groundwater vulnerability and risk mapping in a geologically complex area by using stable isotopes, remote sensing and GIS techniques**. Environmental geology, 51(2), 309-323.

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.

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.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]

Haghizadeh, A., Yousefi, H., Nourmohammadi , P., Yarahmadi, **Y., (2018), Evaluation and Sensitivity Analysis of COP Method Based on the RS and GIS Techniques to Determine Aquifer Vulnerability of Aleshtar Karst Plain in Lorestan Province.** JWSS 2018, 22(3): 261-272.

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.

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.

Leyland, R., (2008), **Vulnerability mapping in karst terrains, exemplified in the widerCradle of Humankind World Heritage Site, Master thesis**.

Maleki, A., Bageri, S., Mataee, S., (2019), **Assessing vulnerability of karstic Aquifers in Kermanshah Plain and Bistoon-Parao Mass Using COP**.Researches in geographical in sciences,19(52), 129-145.

Masoompour samakosh, J., Bagheri, S., Davoodi, M., Yarahmadi, D., Jafari-Aghdam,M., (2013), **Assessing and mapping the vulnerability of karstic aquifer using GIS and COP model** . Global NEST Journal, Vol 15, No 3, pp 384-393.

Milanović, P., (2005), **Water Resources Engineering in Karst**, Taylor & Francis

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

Morris, B.L., Foster, S.S.D., (2000), **Cryptosporidium contamination hazard assessment and risk management for British groundwater sources**. Water Science and Technology 41, 67–77.

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.

Paul Novel, J., Dimadi, A., Zervopoulou, A., Bakalowicz, M., (2007), **The Aggitis karst system, Eastern Macedonia, Greece: Hydrologic functioning and development of the karst structure**, Journal of Hydrology, Vol. 334, pp. 477– 492.

Plan, L., Decker, K., Faber, R., Wagreich, M., Grasemann, B., (2008), **Karst morphologyand groundwater vulnerability of high alpine karst plateaus**. Environmental Geology.

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.M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., Vadillo, I., Jiménez, P., (2006), **Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the cop method**. Application in two pilot sites in Southern Spain. Hydrogeology Journal 14 (6), 912e925.

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.

Zwahlen, F., (2003), **Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, final report (Cost Action 620).** European Commission, Directorate-General XII Science, Research and Development, Brussels, 297pp.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1401.22.67.15.2 ]
[ DOI: 10.52547/jgs.22.67.205 ]