



Identifying Karstic Areas Exposed to Hazards Caused by Pollution (Case Study: Ravansar Basin)

David Mokhtari^{a*}, Zahra Zanganehtabar^b, Sara Motaei^b

^a Professor in Geomorphology, Tabriz University, Tabriz, Iran

^b PhD Candidate in Geomorphology, Tehran University, Tabriz, Iran

Received: 9 October 2022

Revised: 10 December 2022

Accepted: 12 January 2023

Abstract

In addition to their importance and role in providing water resources, karstic water resources also have a high potential for vulnerability, which is why these resources are always exposed to pollution. Given the importance of the issue, this study identifies vulnerable areas in Ravansar basin. The research data includes 1:50,000 topographic maps, 1:100,000 geological maps, a 10-meter-high digital model, and digital layers from various organizations like soil layer. After collecting the required data, using COP and EPIK methods, the areas vulnerable to contamination were identified and then the results were compared and evaluated. The results estimated by COP and EPIK methods showed that Ravansar basin has a high potential for vulnerability, so that based on the results of both methods, many parts of the region are vulnerable. Based on COP method, 27.8% of the area has a very high vulnerability potential, and based on EPIK method, 29.5% of the region has a high vulnerability potential. Moreover, in terms of spatial distribution of vulnerabilities, based on the results obtained from both methods, the northern regions have the highest vulnerability potential and the southern regions have the lowest vulnerability potential.

Keywords: Karst, Pollution, Ravansar, COP, EPIK

*.Corresponding author: Davod Mokhtari

Email: d_mokhtari@tabrizu.ac.ir

Tel:+9809144156714

How to cite this Article: Zanganehtabar, Z., Mokhtari, D., & Mataee, S. (2023). Identifying karstic areas exposed to hazards caused by pollution(Case study: Ravansar basin). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(3),81-99

DOI: 10.22067/geoeh.2023.74166.1210



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant
With open access mandates, by publishing its articles under Creative
Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023

<https://geoeh.um.ac.ir>


 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.74166.1210> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهارم و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۹۹-۸۱

مقاله پژوهشی

شناسایی مناطق کارستیک در معرض مخاطرات ناشی از آلودگی

(مطالعه موردی: حوضه آبریز روانسر)

 داود مختاری^۱ - استاد گروه آموزشی ژئومورفولوژی دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
زهرا زنگنه تبار - دانشجوی دکتری گروه آموزشی ژئومورفولوژی دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
سارا مطاعی - دانشجوی دکتری گروه آموزشی ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۹/۱۹ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۰/۲۲

چکیده

منابع آب کارستیک، در کنار اهمیت و نقش بسزایی که در تأمین منابع آبی دارند، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی نیز دارند که همین امر سبب شده است تا این منابع همیشه در معرض آلودگی باشند. با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در حوضه آبریز روانسر پرداخته شده است. داده‌های تحقیق شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاعی ۱۰ متر و لایه‌های رقومی مربوط به سازمان‌های مختلف مانند لایه خاک است. روش کار به این صورت است که پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات موردنیاز، با استفاده از ۲ روش COP و EPIK، مناطق آسیب‌پذیر در برابر آلودگی شناسایی شده و سپس نتایج حاصله مقایسه و ارزیابی شده است. بررسی نتایج به دست آمده از طریق دو روش COP و EPIK بیانگر این است که حوضه روانسر پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد، به طوری که بر اساس نتایج هر دو روش، بخش‌های زیادی از منطقه در معرض آسیب‌پذیری قرار دارد. در روش COP ۲۷/۸ درصد از منطقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری خیلی زیادی است و در

Email: d_mokhtari@tabrizu.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۴۱۵۶۷۱۴

نحوه ارجاع به این مقاله:

زنگنه تبار، زهرا، مختاری، داود، مطاعی، سارا. (۱۴۰۲). شناسایی مناطق کارستیک در معرض مخاطرات ناشی از آلودگی (مطالعه

موردی: حوضه آبریز روانسر). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۲(۳)، صص ۹۹-۸۱

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.74166.1210>

روش EPIK نیز ۲۹/۵ درصد از منطقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی است. همچنین از نظر توزیع مکانی آسیب‌پذیری نیز بر اساس نتایج به دست آمده از هر دو روش، مناطق شمالی دارای بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری و مناطق جنوبی دارای کم‌ترین پتانسیل آسیب‌پذیری است.

کلمات کلیدی: کارست، آلودگی، روانسر، EPIK, COP

۱-مقدمه

مدیریت آب‌های زیرزمینی، مسئله‌ای حیاتی برای نسل‌های کنونی و آینده بوده و منابع آب زیرزمینی به مدیریت کمی و کیفی این منابع نیازمند است (گوندوی^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). یکی از مناطقی که پتانسیل بالایی از نظر آب‌های زمینی دارد، مناطق کارستیک است. تقریباً ۲۵ درصد از جمعیت جهان به‌ویژه در آسیا، مدیترانه و ایالات‌متحده آب موردنیاز خود را از آبخوان‌های کارستی تأمین می‌کنند. با توجه به اینکه بسیاری از مناطق و شهرها به منابع آب کارست وابسته هستند (فورد و ویلیامز^۲، ۲۰۰۷)، وجود منابع کارستیک بسیار حائز اهمیت خواهد بود، در ایران نیز حدود ۱۱ درصد از وسعت کشور را مناطق کارستیک تشکیل داده است (افراسیابیان، ۱۳۷۷) که نقش مهمی در تأمین منابع آبی کشور دارند. منابع آب کارستیک، در کنار اهمیت و نقش بسزایی که در تأمین منابع آبی دارند، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی نیز دارند که همین امر سبب شده است تا این منابع همیشه در معرض آلودگی باشند (مودرا و لندرو^۳، ۲۰۱۱)؛ بنابراین، نیازمند است تا به‌طوری ویژه‌ای موردتوجه قرار گیرند. در واقع، حفاظت از منابع آب کارست به دلیل آسیب‌پذیری و حساسیت زیاد به آلودگی، یکی از مهم‌ترین اقدامات در مدیریت منابع آب کارست است (افراسیابیان^۴، ۲۰۰۷: ۶۷۳؛ خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در حوضه آبریز روانسر پرداخته شده است و با استفاده از دو روش COP و EPIK، مناطق آسیب‌پذیر آن شناسایی شده است.

در مورد موضوع مورد مطالعه تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به کاتتا^۵ و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد که به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی در غرب سوریه با استفاده از روش ریسک پرداختند. مارین^۶ و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از دو روش COP و Paprika به شناسایی مناطق کارستیک آسیب‌پذیر در اسپانیا و فرانسه پرداخته‌اند. بالوشا^۷ (۲۰۱۶) به شناسایی آبخوان‌های آسیب‌پذیر قطر با

1 Gondwe

2 Ford & Williams

3 Mudarra & Andreo

4 Afrasiabian

5 Kattaa

6 Marín

7 Baalousha

استفاده از دو روش EPIK و DRASTIC پرداخته‌اند. پیرا^۱ و همکاران (۲۰۱۹) به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در حوضه سائومیگوتل^۲ با استفاده از روش EPIK پرداختند. در ایران نیز، عباسی و محمدی (۱۳۹۲) به ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان کارستی مانشت با استفاده از مدل ریسک پرداختند. دسترنج و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان کارستی دالاهو پرداختند. رنگزن و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی آسیب‌پذیری و آلودگی آبخوان کارستی نعل اسبی، جنوب شرق ایذه، با استفاده از روش COP پرداختند. احمدی‌فر و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از دو مدل SINTACS و DRASTIC به پهنه‌بندی ریسک آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت سراب پرداختند. یوسفی و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی کارایی روش COP جهت بررسی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی دشت الشتر لرستان پرداختند.

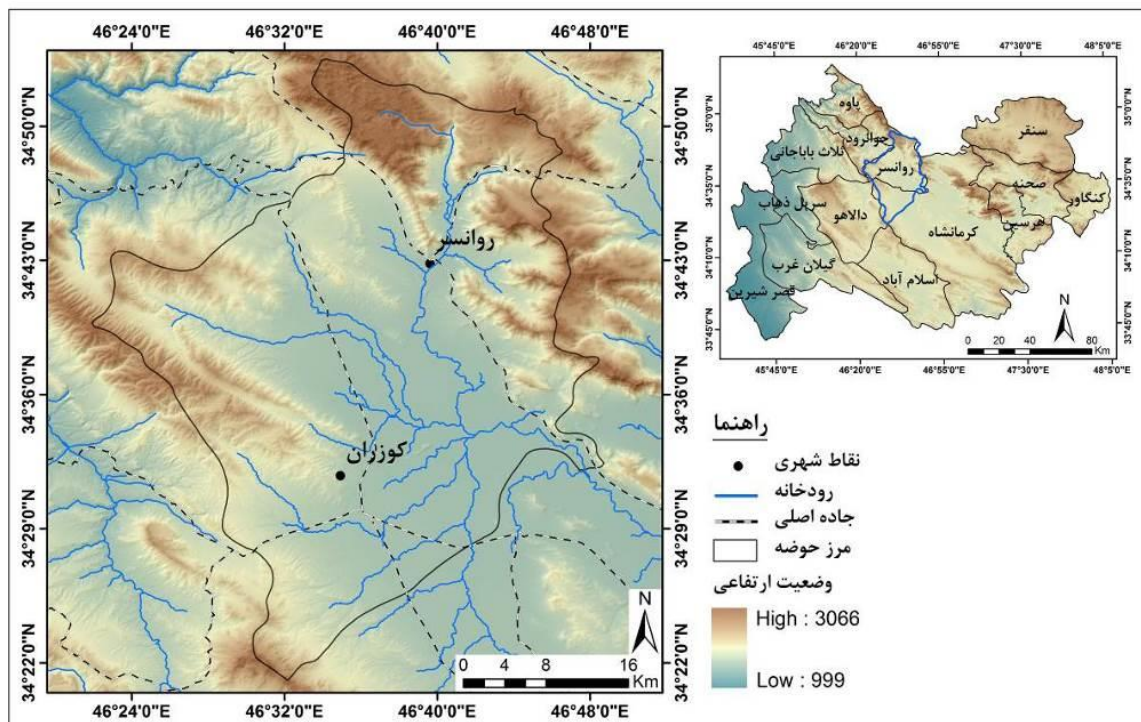
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر شامل حوضه آبریز روانسر است که از نظر تقسیمات حوضه‌ای، از زیرحوضه‌های قره‌سو محسوب می‌شود. این حوضه از نظر تقسیمات سیاسی در شمال استان کرمانشاه و در محدوده شهرستان‌های روانسر و کرمانشاه قرار دارد. از نظر ژئومورفولوژی مناطق شمالی و غربی حوضه را واحد کوهستان و مناطق مرکزی، جنوبی و شرقی حوضه را واحد دشت در بر گرفته است. از نظر اقلیمی نیز با توجه به اینکه در مسیر بادهای غربی قرار دارد، این منطقه دارای آب‌وهوای نیمه مرطوب است. همچنین این منطقه به دلیل قرار گرفتن در واحد زاگرس شمال غرب و کارستیک بودن منطقه، دارای پتانسیل زیادی از نظر آب‌های سطحی و زیرزمینی است.

1 Pereira

2 São Miguel



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش تحقیق

این تحقیق بر مبنای روش‌های توصیفی-تحلیلی و نرم‌افزاری است. داده‌های تحقیق شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل رقمی ارتفاعی ۱۰ متر و لایه‌های رقمی مربوط به سازمان‌های مختلف مانند لایه خاک است. پس از جمع‌آوری داده‌ها از نرم‌افزار ARCGIS به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شده است. در این تحقیق روش کلی کار به این صورت است که پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز، با استفاده از روش COP و EPIK، مناطق آسیب‌پذیر در برابر آلودگی شناسایی شده است. در ادامه به تشریح روش‌های مورد استفاده پرداخته شده است:

روش COP: یکی از روش‌های مورد استفاده جهت ارزیابی مناطق آسیب‌پذیر، روش COP است. این روش به طور عمده دو جنبه یعنی زمان جابجایی آلودگی از منشأ به مقصد و کاهش غلظت آن در طول مسیر را مورد بررسی قرار می‌دهد (فیضی و خانمحمدی، ۱۳۹۷: ۶). روش COP در چندین آبخوان با ویژگی‌های مختلف آب‌وهوایی و هیدرولوژیکی آزمایش و توسعه داده شده است. این روش برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در مناطق کارستی مورد استفاده قرار می‌گیرد و بر اساس آن می‌توان نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی جهت مدیریت و حفاظت از آبخوان‌های کارستی تهیه نمود (سیف و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۸). روش COP به خصوصیات حوضه کارستی توجه

دارد. لایه‌های موردنیاز با توجه به الگوی روش COP ایجاد می‌شوند. در این روش تمرکز جریان آب زیرزمینی (C)، خصوصیات لایه‌های پوشاننده سطح آب زیرزمینی (عامل O) و بارش بر روی آبخوان (عامل P) را به‌عنوان فراسنج‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌دهد (آندرو و همکاران، ۲۰۰۶: ۵۸). در عامل C، ریخت‌شناسی کارست، شیب و پوشش گیاهی موردتوجه است. عامل O نشان‌دهنده ظرفیت خاک پوشاننده آبخوان (بافت و ضخامت) و سنگ‌شناسی ناحیه غیراشباع (شکستگی، ضخامت هر لایه و شرایط محدوده) است. همچنین عامل P، متغیرهای مکانی و زمانی بارش را موردتوجه قرار می‌دهد که در انتقال آلودگی بخصوص در آبخوان‌های بزرگ نقش ایفا می‌کند (دالی و همکاران، ۲۰۰۲: ۳۴۶). روش COP در نهایت با ضرب عامل‌های مورد استفاده به دست می‌آید (رابطه ۱):

$$\text{COP index} = C \times O \times P$$

رابطه ۱:

روش **EPIK**: یکی دیگر از روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق کارستیک، روش **EPIK** است. روش ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی **EPIK** توسط دوئر فلیگر در سال ۱۹۹۷ با هدف ارزیابی و تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری منابع آب کارست با به‌کارگیری چهار فاکتور اپی کارست (E)، پوشش حفاظتی (P)، شرایط نفوذ (I) و درجه توسعه شبکه کارست (K) ارائه شده است. روش آسیب‌پذیری **EPIK** بر اساس خصوصیات هیدروژئولوژیکی در آبخوان‌های کارستی ایجاد شده و به‌طور عمده ۴ ویژگی را مورد بررسی قرار می‌دهد. اپی کارست (E) بر اساس مرفولوژی کارستی مشاهده شده در لایه‌های سطحی کارست، لایه پوشش محافظ (P) بر اساس وجود یا عدم وجود پوشش خاک و ضخامت آن و نیز تراوایی واحدهای زیر پوشش خاک، لایه نفوذ (I) بر اساس وضعیت تغذیه متمرکز یا افشان (پراکنده) و لایه شبکه کارستی (K) نیز بر اساس خصوصیات مجاری تعیین می‌شود. در **رابطه ۲**، نحوه محاسبه شاخص **EPIK** نشان داده شده است. مقدار نهایی این شاخص بین ۹ تا ۳۴ است و به ۴ کلاس آسیب‌پذیری زیاد (کم‌تر از ۱۹)، آسیب‌پذیری متوسط (۲۰ تا ۲۵)، آسیب‌پذیری کم (بیش از ۲۵) و آسیب‌پذیری خیلی کم (در صورتی که فاکتور P از نوع ۴ باشد) تقسیم می‌شود (کاردان مقدم و همکاران، ۱۳۹۵: ۳).

$$\text{EPIK-Index} : E (3) + P (1) + I (3) + K (2)$$

رابطه ۲

۳- نتایج و بحث

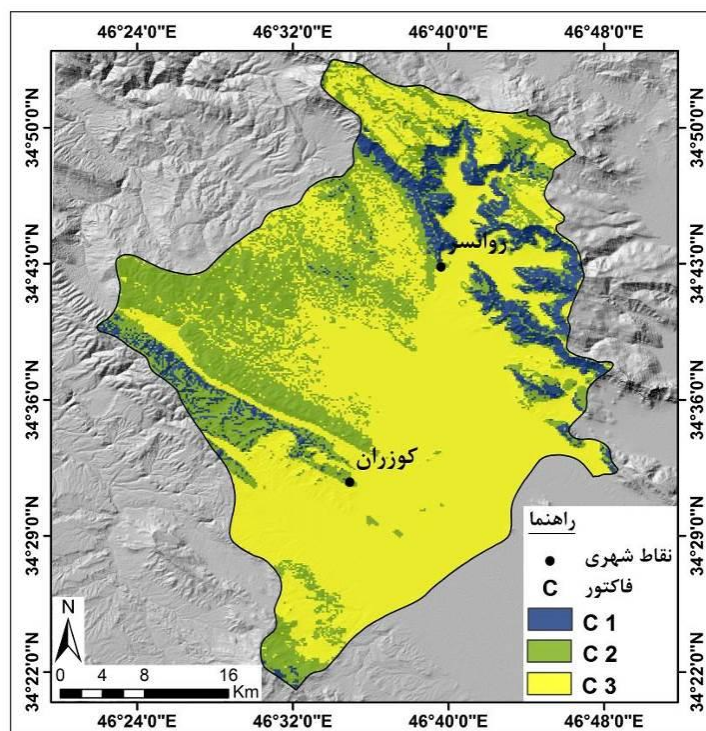
۳-۱- روش COP

روش COP از ۳ فاکتور C، O و P جهت بررسی آسیب‌پذیری منطقه استفاده می‌کند؛ که در ادامه به تشریح هرکدام از آن‌ها پرداخته شده است:

فاکتور تمرکز جریان (C): فاکتور C نمایانگر مقداری از بارندگی است که در حفرات فرورونده، متمرکز شده و از زون غیراشباع میانبر می‌شود (ملکی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۳۴). تهیه نقشه این فاکتور بر مبنای دو نقشه عوارض سطحی (sf) و شیب-پوشش گیاهی (sv) است. به‌منظور تهیه نقشه sf، منطقه مورد مطالعه بر مبنای عوامل مؤثر در توسعه کارست (عوامل ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی) به ۴ طبقه کارست توسعه‌یافته، کم‌تر توسعه‌یافته، متوسط و بدون توسعه تقسیم شده است. همچنین به‌منظور تهیه نقش sv، نقشه شیب و پوشش گیاهی منطقه تهیه و کلاسه‌بندی شده است و با ترکیب آن‌ها نقشه sv تهیه شده است. پس از تهیه نقشه‌های sf و sv، بر مبنای امتیازات موردنظر در این روش (جدول ۱)، این نقشه‌ها در هم ضرب شده و در نهایت نقشه فاکتور C تهیه شده است (شکل ۲).

جدول ۱- محاسبات مربوط به فاکتور C

sf		sv		
وزن	توسعه کارست	وزن	پوشش گیاهی	شیب
۰/۲۵	توسعه‌یافته	۰/۷۵	-	کم‌تر از ۸ درصد
۰/۵	کم‌تر توسعه‌یافته	۰/۸	زیاد	۸ تا ۳۱ درصد
		۰/۸۵	کم	
۰/۷۵	متوسط	۰/۹	زیاد	۳۱ تا ۷۶ درصد
		۰/۹۵	کم	
۱	بدون توسعه	۱	-	بیش از ۷۶ درصد

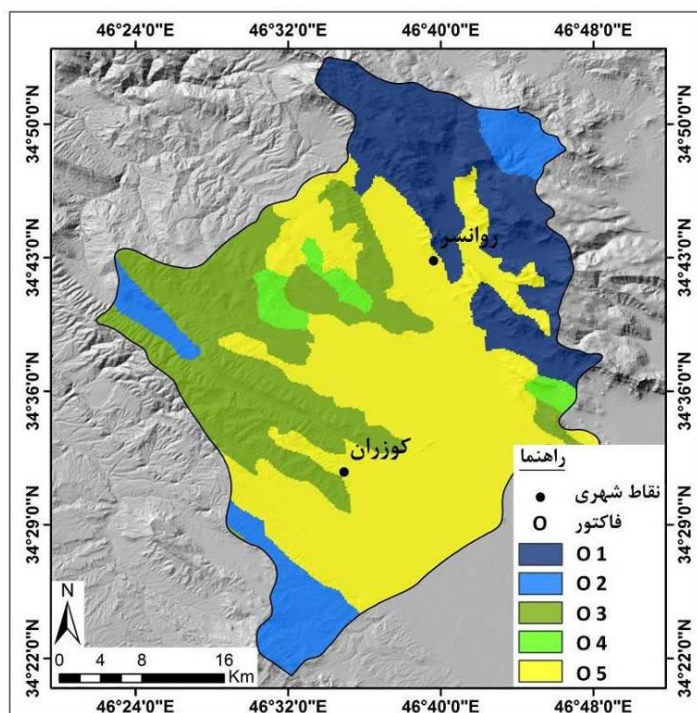


شکل ۲- نقشه فاکتور C

فاکتور پوشش (O): فاکتور O بر اساس ضخامت، تخلخل، خواص نفوذپذیری خاک و ضخامت و جنس لایه‌های لیتولوژی محاسبه می‌شود (ملکی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۳۷). به منظور تهیه نقشه فاکتور O، دو نقشه شامل خاک و لیتولوژی منطقه تهیه شده است. در امتیازدهی لایه خاک و لیتولوژی، به خاک‌ها و سنگ‌هایی که ریزدانه هستند به دلیل پتانسیل کم نفوذپذیری که دارند، ارزش بیشتری داده شده است. پس از تهیه و وزن‌دهی به این لایه‌ها (جدول ۲)، این دو لایه با هم جمع شده و نقشه فاکتور O تهیه شده است (شکل ۳).

جدول ۲- محاسبات مربوط به فاکتور O

میزان آسیب‌پذیری	مجموع امتیاز
خیلی کم	۱
کم	۲
متوسط	۲ تا ۴
زیاد	۴ تا ۸
خیلی زیاد	۸ تا ۱۵

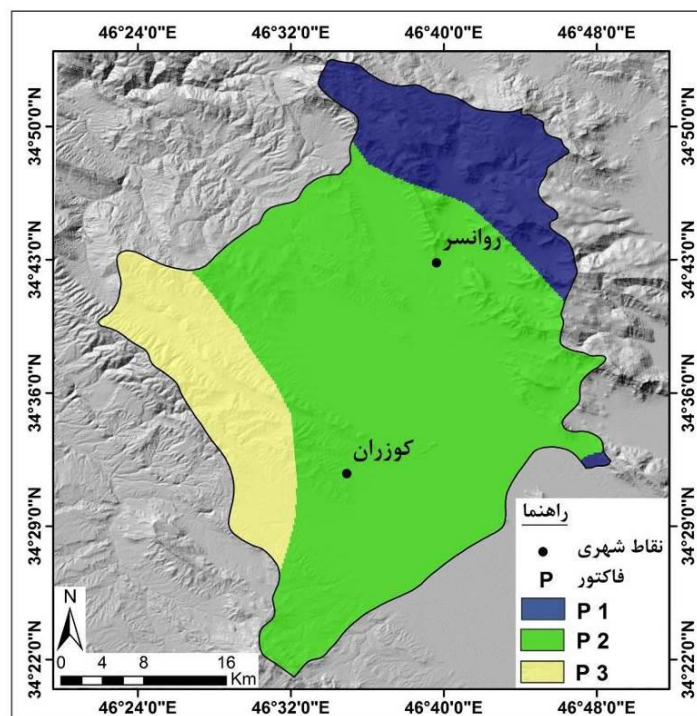


شکل ۳- نقشه فاکتور P

-فاکتور بارش P: شامل مقدار بارش و عامل‌هایی که نرخ نفوذ را افزایش می‌دهند مانند توزیع زمانی، مدت و شدت بارش‌های سیل‌آسا است. این عامل‌ها به میزان توانایی بارش برای حمل آلاینده‌ها از سطح به آب زیرزمینی کمک می‌کند. این فاکتور به‌وسیله دو زیرفاکتور مقدار بارش (PQ) و توزیع زمانی بارش (PI) به دست می‌آید (جدول ۳) (ملکی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۳۸). پس از تهیه این نقشه‌ها، نقشه‌ها با جمع شده و در نهایت نقشه فاکتور P تهیه شده است (شکل ۴).

جدول ۳- محاسبات مربوط به فاکتور P

امتیاز	بارش سالانه (میلی‌متر)/تعداد روزهای بارانی	امتیاز	بارش سالانه (میلی‌متر)
۰/۶	کم‌تر از ۱۰	۰/۴	بیش از ۱۶۰۰
۰/۴	۱۰ تا ۲۰	۰/۳	۱۶۰۰ تا ۱۲۰۰
۰/۲	بیش از ۲۰	۰/۲	۱۲۰۰ تا ۸۰۰
-	-	۰/۳	۸۰۰ تا ۴۰۰
-	-	۰/۴	کم‌تر از ۴۰۰

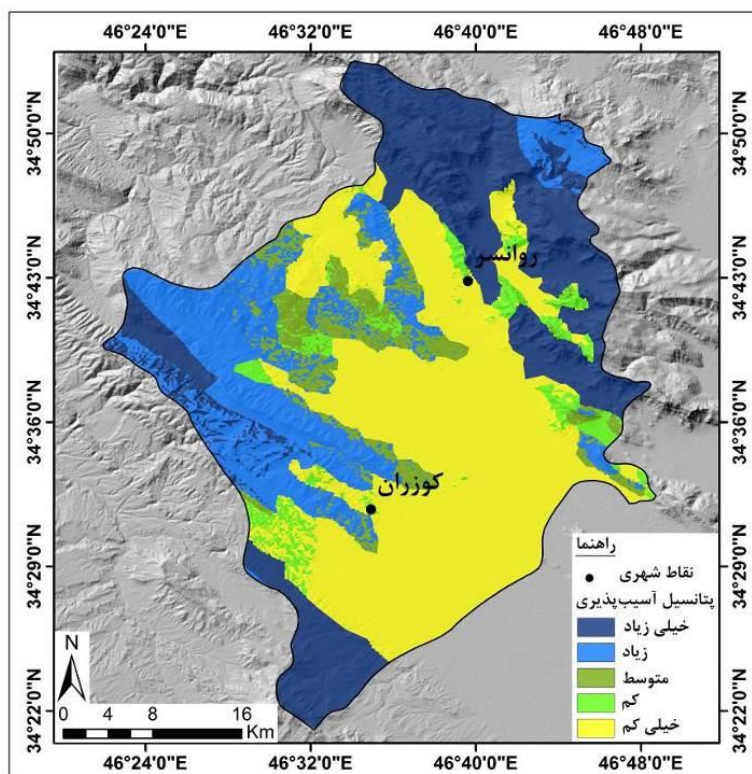


شکل ۴- نقشه فاکتور P

پس از تهیه نقشه فاکتورهای مد نظر، نقشه‌های مذکور با هم جمع شده و در نهایت نقشه مناطق آسیب‌پذیر با استفاده از روش COP تهیه شده است. بر اساس نقشه تهیه شده، مجموع امتیازات به دست آمده برای منطقه، بین ۰/۳۹ تا ۷/۷ است که بر اساس روش COP (جدول ۴)، منطقه از نظر میزان آسیب‌پذیری به ۵ طبقه تقسیم شده است (شکل ۵) که بر اساس نتایج به دست آمده، مناطق شمال محدوده دارای بالاترین میزان آسیب‌پذیری هستند.

جدول ۴- طبقه‌بندی منطقه بر اساس امتیازات نهایی

میزان آسیب‌پذیری	امتیاز	ردیف
خیلی زیاد	۰ - ۰/۵	۱
زیاد	۰/۵ - ۱	۲
متوسط	۱ - ۲	۳
کم	۲ - ۴	۴
خیلی کم	۴ - ۱۵	۵



شکل ۵- نقشه میزان آسیب پذیری منطقه بر اساس روش COP

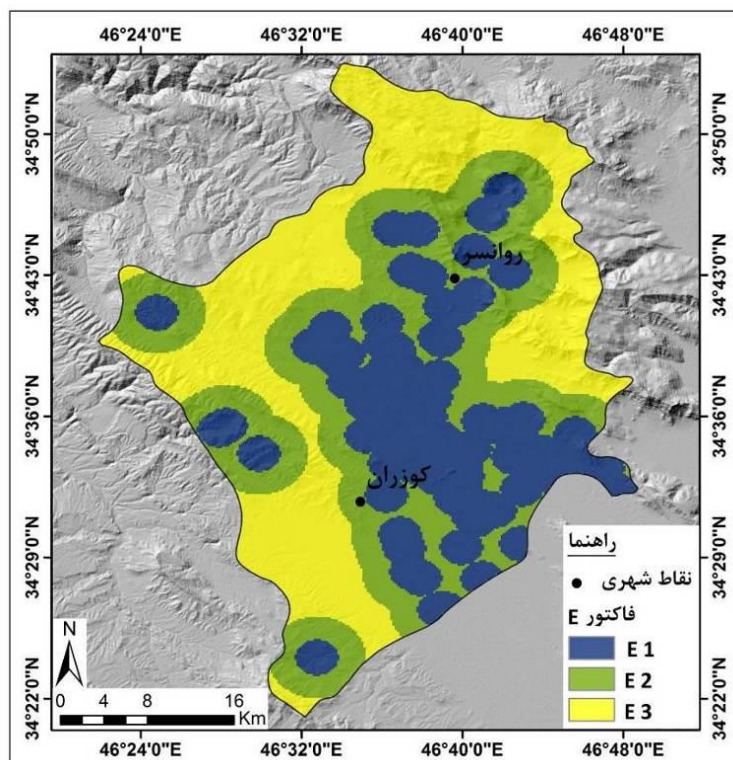
۳-۲- روش EPIK

روش EPIK از ۴ فاکتور E, P, I, K و جهت بررسی آسیب پذیری منطقه استفاده می کند؛ که در ادامه به تشریح هرکدام از آن ها پرداخته شده است:

فاکتور E: بر اساس این فاکتور، مناطق نزدیک به فروچاله ها و رشته های کارنی دارای پتانسیل آسیب پذیری بالایی هستند (جدول ۵). در این تحقیق به منظور تهیه نقشه فروچاله های منطقه، از دم ۱۰ متر و بازدیدهای میدانی استفاده شده است و در نهایت فاکتور E تهیه شده است (شکل ۶).

جدول ۵- محاسبات مربوط به فاکتور E

امتیاز	مورفولوژی کارست
۱	فروچاله ها و رشته های کارنی
۳	محدوده بین فروچاله ها و دره های خشک
۴	سایر محدوده ها

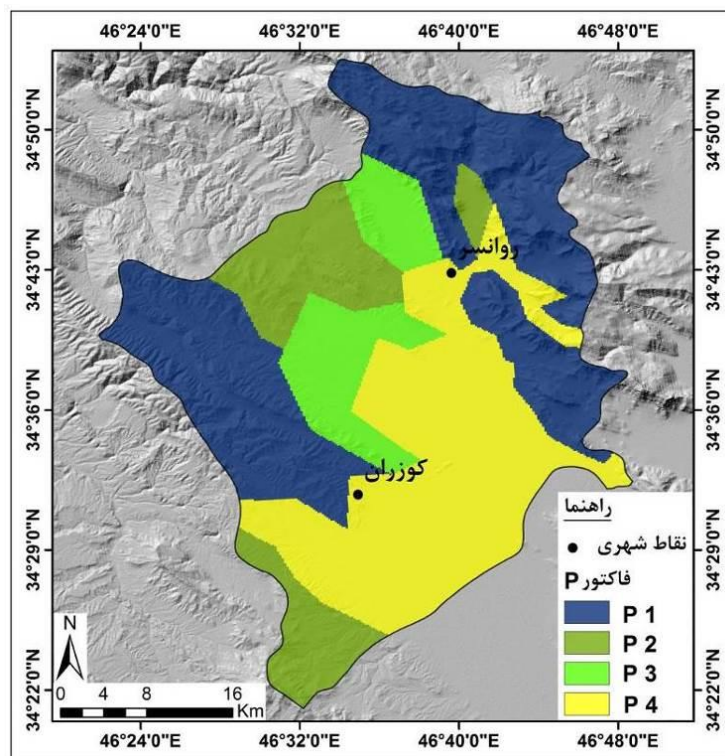


شکل ۶- نقشه فاکتور E

فاکتور P: در فاکتور P وجود یا عدم وجود پوشش خاک و ضخامت آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بر اساس این فاکتور، مناطقی که دارای ضخامت خاک کمتری هستند، پتانسیل آسیب‌پذیری بالاتری دارند. در واقع، وجود لایه خاک ضخیم مانع از نفوذ آلاینده به داخل آبخوان می‌شود، بر این اساس مناطقی که دارای ضخامت بیش‌تری هستند کم‌تر در معرض آلودگی هستند (جدول ۶). با توجه به موارد مذکور، نقشه فاکتور P تهیه شده است (شکل ۷).

جدول ۶- محاسبات مربوط به فاکتور P

امتیاز	ضخامت خاک
۱	صفر تا ۲۰ سانتی‌متر خاک بر روی سازند با ضخامت کم‌تر از یک متر
۲	۲۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر خاک و سازندهایی با هدایت هیدرولیکی کم
۳	خاک بیش‌تر از ۱ متر و سازندهایی با هدایت هیدرولیکی کم
۴	خاک بیش‌تر از ۲ متر با هدایت هیدرولیکی بسیار کم

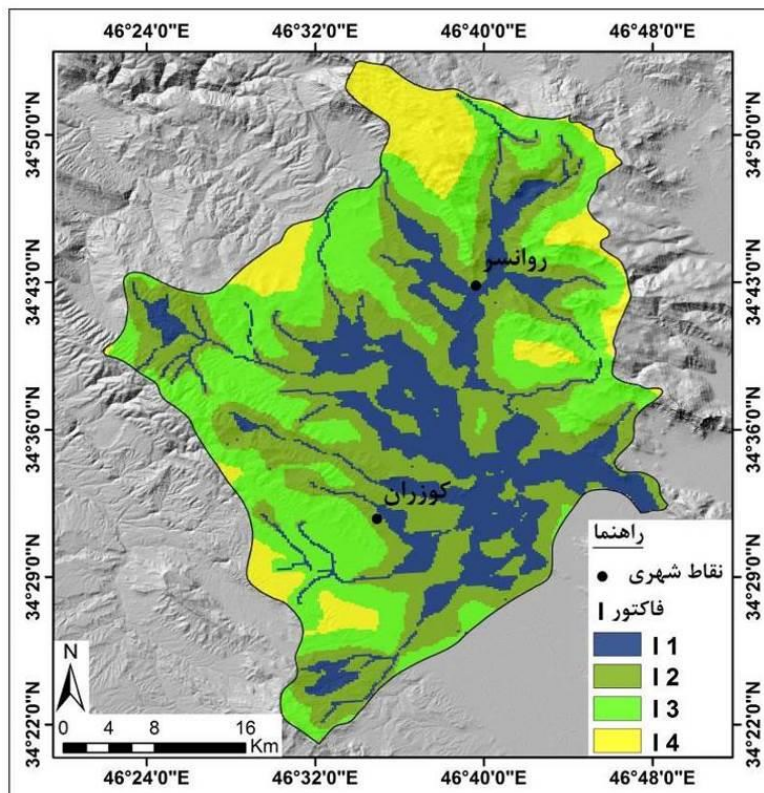


شکل ۷- نقشه فاکتور P

فاکتور I: وضعیت نفوذپذیری منطقه را ارزیابی می‌کند. بر اساس این فاکتور مناطق نزدیک به فروچاله‌ها، درز و شکاف‌ها و همچنین شبکه زهکشی، دارای بالاترین پتانسیل آسیب‌پذیری هستند (جدول ۷). با توجه به مواردی که در این فاکتور مد نظر است، نقشه فاکتور I تهیه شده که در شکل ۸ نشان داده شده است.

جدول ۷- محاسبات مربوط به فاکتور I

امتیاز	وضعیت نفوذ
۱	فروچاله‌های موقت و دائمی و مناطق نزدیک به شبکه زهکشی
۲	مسیر حرکت آب که به‌طور مصنوعی زهکشی نشده و جایی که شیب برای کشتزارها بیش‌تر از ۱۰ درصد و برای چمن‌زارها و مراتع بیش‌تر از ۲۵ درصد است.
۳	مسیر حرکت آب که به‌طور مصنوعی زهکشی نشده و جایی که شیب برای کشتزارها کم‌تر از ۱۰ درصد و برای چمن‌زارها و مراتع کم‌تر از ۲۵ درصد است.
۴	بقیه حوضه

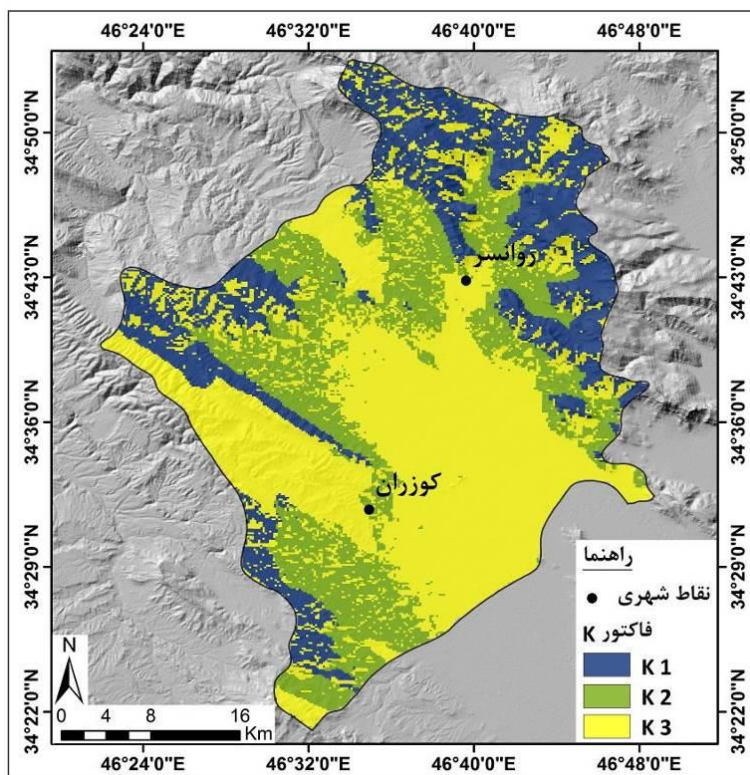


شکل ۸- نقشه فاکتور I

-فاکتور K: فاکتور K بر مبنای میزان توسعه‌یافتگی منطقه است (جدول ۸). در این تحقیق به منظور تهیه نقشه مناطق توسعه‌یافته از عوامل مؤثر در توسعه کارست (عوامل ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی) استفاده شده و نقشه فاکتور K در ۳ کلاس تهیه شده است (شکل ۹).

جدول ۸- محاسبات مربوط به فاکتور K

امتیاز	میزان توسعه کارست
۱	کارست توسعه‌یافته
۲	کارست کم‌تر توسعه‌یافته
۳	کارست توسعه‌نیافته

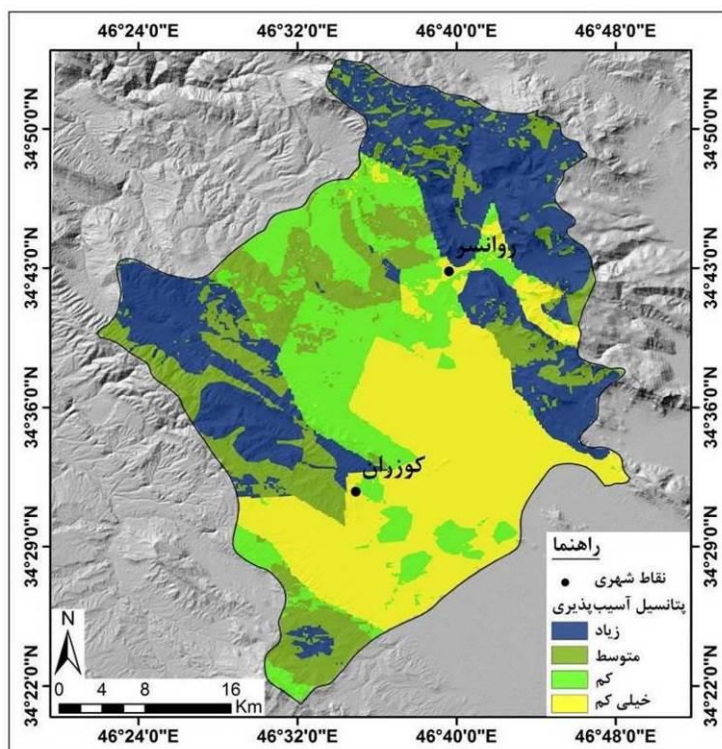


شکل ۹- نقشه فاکتور K

پس از تهیه نقشه فاکتورهای موردنظر، ضرایب هر فاکتور (E ضریب ۳، P ضریب ۱، I ضریب ۳ و K ضریب ۲) بر روی آن اعمال و سپس نقشه‌ها با هم جمع شده و در نهایت نقشه مناطق آسیب‌پذیر با استفاده از روش EPIK تهیه شده است. بر اساس نقشه تهیه شده، امتیاز منطقه از نظر پتانسیل آسیب‌پذیری بین ۹ تا ۳۲ بوده که بر اساس مدل EPIK (جدول ۹) منطقه به ۴ کلاس تقسیم شده است (شکل ۱۰). بر اساس نقشه تهیه شده، مناطق شمالی محدوده پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارد.

جدول ۹- طبقه‌بندی منطقه بر اساس امتیازات نهایی

ردیف	امتیاز	میزان آسیب‌پذیری
۱	کم‌تر از ۱۹	خیلی زیاد
۲	۲۰ تا ۲۵	زیاد
۳	بیش از ۲۵	متوسط
۴	در صورتی که از نظر فاکتور P دارای امتیاز ۴ باشد	کم



شکل ۱۰- نقشه مناطق آسیب پذیری با استفاده روش EPIK

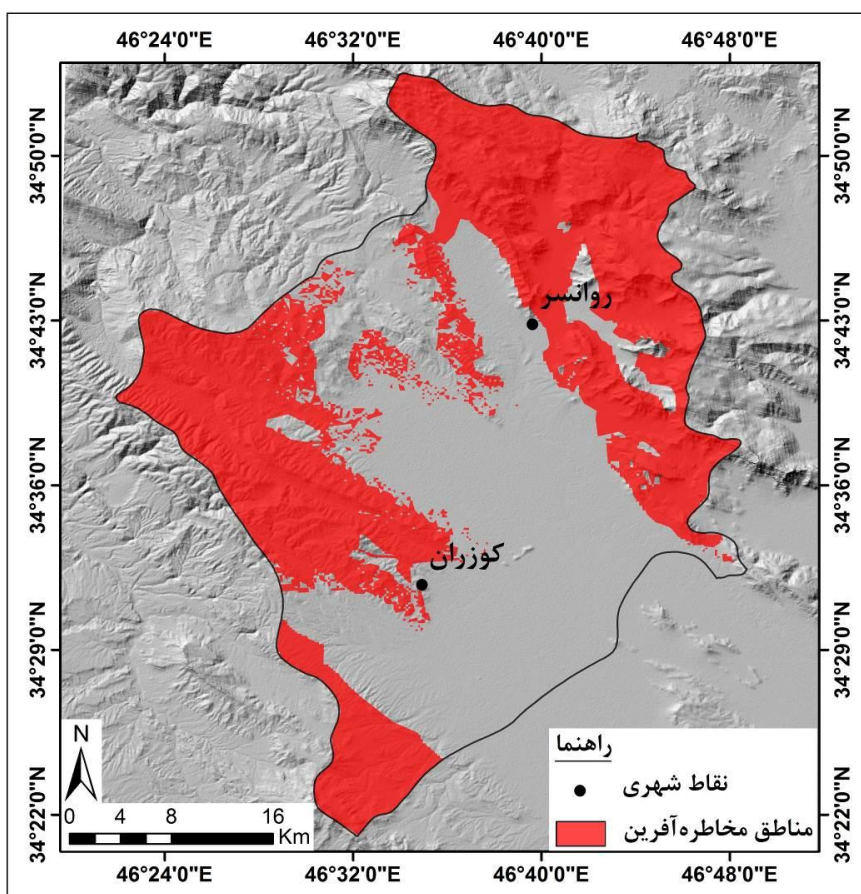
۳-۳- تحلیل نتایج

بررسی نتایج به دست آمده از طریق دو روش COP و EPIK بیانگر این است که حوضه روانسر از نظر مخاطرات ناشی از آلودگی، پتانسیل بالایی دارد، به طوری که بر اساس نتایج هر دو روش، بخش‌های زیادی از منطقه در معرض این مخاطره قرار دارد. در روش COP ۲۷/۸ درصد از منطقه از نظر مخاطرات ناشی از آلودگی، دارای پتانسیل خیلی زیادی است و در روش EPIK نیز ۲۹/۵ درصد از منطقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی است (جدول ۱۰). همچنین از نظر توزیع مکانی احتمال وقوع مخاطره نیز بر اساس نتایج به دست آمده از هر دو روش، مناطق شمالی دارای بالاترین پتانسیل و مناطق جنوبی دارای کم‌ترین پتانسیل وقوع مخاطره هستند (شکل ۱۱).

جدول ۱۰- مساحت و درصد طبقات آسیب‌پذیر بر اساس روش‌های COP و EPIK

روش EPIK			روش COP		
درصد مساحت	مساحت (km ²)	میزان آسیب‌پذیری	درصد مساحت	مساحت (km ²)	میزان آسیب‌پذیری
۲۹/۵	۳۶۷	زیاد	۲۷/۸	۳۴۶	خیلی زیاد
			۱۹/۴	۲۴۱	زیاد

روش EPIK			روش COP		
درصد مساحت	مساحت (km ²)	میزان آسیب پذیری	درصد مساحت	مساحت (km ²)	میزان آسیب پذیری
۲۱/۷	۲۷۰	متوسط	۷/۲	۹۰	متوسط
۱۹/۴	۲۴۱	کم	۴/۷	۵۹	کم
۲۹/۵	۳۳۷	خیلی کم	۴۰/۹	۵۰۹	خیلی کم



شکل ۱۱- نقشه نهایی مناطق مستعد وقوع مخاطرات ناشی از آلودگی در محدوده مطالعاتی

۴- نتیجه گیری

آلودگی منابع آبی یکی از مهم ترین مخاطرات مناطق کارستیک است. بر این اساس، بررسی و مطالعه در این منطقه، خصوصاً ارزیابی وضعیت آسیب پذیری آن ها و شناسایی مناطق در معرض مخاطره، بسیار حائز اهمیت است. اهمیت موضوع سبب شده است تا در این مورد تحقیقات مختلفی صورت گیرد. بررسی تحقیقات پیشین بیانگر این

است که در بیش تر تحقیقات انجام شده، تنها با استفاده از یک روش، مناطق کارستیک آسیب پذیر شناسایی شده است؛ اما در این تحقیق به منظور افزایش دقت کار و مقایسه نتایج، از دو روش COP و EPIK جهت شناسایی مناطق آسیب پذیر استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که حوضه آبریز روانسر، دارای پتانسیل آسیب پذیری بالایی است. به طوری که بر اساس نتایج هر دو روش، بخش های زیادی از این حوضه، در محدوده با آسیب پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. بر اساس نتایج روش COP، طبقه دارای پتانسیل آسیب پذیری خیلی زیاد و زیاد به ترتیب با ۳۴۶ و ۲۴۱ کیلومتر مربع وسعت (معادل ۲۷/۸ و ۱۹/۴ درصد از مساحت حوضه) بخش های زیادی از مناطق شمال و شمال شرقی حوضه را در بر گرفته است. طبقه دارای پتانسیل آسیب پذیری متوسط با ۹۰ کیلومتر مربع وسعت (معادل ۷/۲ درصد از محدوده حوضه) بخش هایی از مرکز و شمال حوضه را در بر گرفته است. طبقه دارای پتانسیل آسیب پذیری کم و خیلی کم به ترتیب با ۵۹ و ۵۰۹ کیلومتر مربع وسعت (معادل ۴/۷ و ۴۰/۹ درصد از مساحت حوضه) بخش های زیادی از مناطق مرکزی و جنوبی حوضه را در بر گرفته است. همچنین بر اساس نتایج روش EPIK، طبقه با پتانسیل آسیب پذیری زیاد با ۳۳۷ کیلومتر مربع وسعت (معادل ۲۹/۵ درصد از مساحت حوضه) مناطق شمالی حوضه را در بر گرفته است. طبقه با پتانسیل آسیب پذیری متوسط با ۲۷۰ کیلومتر مربع وسعت (معادل ۲۱/۷ درصد از مساحت حوضه) بخش هایی از غرب و شمال حوضه را در بر گرفته است. طبقه دارای پتانسیل آسیب پذیری کم و خیلی کم به ترتیب با ۲۴۱ و ۳۳۷ کیلومتر مربع وسعت (معادل ۱۹/۴ و ۲۹/۵ درصد از مساحت حوضه) بخش های زیادی از مناطق مرکزی و جنوبی حوضه را در بر گرفته است. مجموعه نتایج حاصله از دو روش بیانگر این است که مناطق شمالی حوضه آبریز روانسر دارای پتانسیل آسیب پذیری بالایی است، بنابراین این منطقه باید بیش تر مورد توجه قرار گیرد و از توسعه صنایع آلوده کننده به سمت این مناطق جلوگیری شود.

کتابنامه

احمدی فر، رقیه؛ موسوی، سید مرتضی؛ رحیم زادگان، مجید؛ ۱۳۹۶. پهنه بندی ریسک آلودگی آب های زیرزمینی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: دشت سراب). نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. سال ۲۴. شماره ۳. صص ۲۰-۱.

<https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.11929.2645>

افراسیابیان، احمد؛ ۱۳۷۷. اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران. مجموعه مقالات دومین همایش جهانی منابع آب در سازندهای کارستی. (تهران- کرمانشاه). صص ۱۲۶-۱۳۷.

<http://fipak.areeo.ac.ir/site/catalogue/18837088>

خوش اخلاق، فرامز؛ باقری سیدشکری، سجاد؛ صفرراد، طاهر؛ ۱۳۹۳. واکاوی تأثیرگذاری خشک سالی های شدید بر آب دهی چشمه های کارستی استان کرمانشاه (مطالعه موردی: خشک سالی شدید سال ۸۷-۱۳۸۶). مجله فضای جغرافیایی. دوره ۱۴. شماره ۴۸. صص ۱۹-۱.

<http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-1525-fa.html>

دسترنج، علی؛ نوحه‌گر، احمد؛ ملیکان، آرش؛ غلامی، حمید؛ جعفری‌اقدام، مریم؛ ۱۳۹۶. ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان کارستی دالاهو. *مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. سال ۸، شماره ۲. صص ۱۵-۱.

https://girs.bushehr.iau.ir/m/article_532778.html?lang=fa

رنگزن، کاظم؛ محرابی‌نژاد؛ علی؛ علیجانی، فرشاد؛ استادهاشمی، زهره؛ ۱۳۹۶. آسیب‌پذیری و آلودگی آبخوان کارستی نعل اسب جنوب شرق ایزه با استفاده از روش COP. *مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته*. دوره ۷. شماره ۱. صص ۲۸-۲۰.

<https://doi.org/10.22055/aag.2017.13067>

سیف، عبدالله؛ جعفری‌اقدام، مریم؛ جهانفر، علی؛ ۱۳۹۳. ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی با استفاده از مدل COP (مطالعه موردی: آبخوان کارستی گلین، استان کرمانشاه). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. سال ۳. شماره ۳. صص ۷۹-۶۵.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1393.3.3.5.5>

عباسی، محمد؛ محمدی، ابوطالب؛ ۱۳۹۲. ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان کارستی مانشت با استفاده از مدل ریسک. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. سال ۲. شماره ۱. صص ۱۶۸-۱۵۵.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1393.3.3.5.5>

فیضی، اتابک؛ خانمحمدی، وحید؛ ۱۳۹۷. بررسی خصوصیات مختلف مناطق کارستی و میزان آسیب‌پذیری آن‌ها. *مقدمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران*. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه شهرکرد.

<https://civilica.com/doc/811488/>

کاردان مقدم، حمید؛ جوادی، سامان؛ کاوسی حیدری، علیرضا؛ میرعربی، علی؛ روزبهنی، رضا؛ ۱۳۹۵. ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان کارستی درفک در شمال ایران به روش EPIK. *اولین کنفرانس بین‌المللی آب، محیط‌زیست و توسعه پایدار*. اردبیل. دانشگاه محقق اردبیلی.

<https://civilica.com/1/6452/>

ملکی، امجد؛ باقری سیدشکری، سجاد؛ مطاعی، سارا؛ ۱۳۹۸. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی دشت کرمانشاه و توده بیستون - پراو با استفاده از مدل COP. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. سال ۱۹. شماره ۵۲. صص ۱۴۵-۱۲۹.

<http://dx.doi.org/10.29252/jgs.19.52.129>

یوسفی، حسین؛ حقی‌زاده، علی؛ یاراحمدی، یزدان؛ نورمحمدی، پروین؛ ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی و آنالیز حساسیت روش COP مبتنی بر تکنیک RS و GIS در تعیین آسیب‌پذیری آبخوان کارستی دشت الشتر لرستان. *نشریه علوم آب‌و‌خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*. سال ۲۲. شماره ۳. صص ۲۷۲-۲۶۱.

<http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-3451-fa.html>

- Afrasiabian, A., 2007. The importance of protection and management of Karst water as drinking water resources in Iran. *Environmental Geology*, 52 (4): 673-677.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00254-006-0502-z>
- Andreo, B., Goldscheider, N., Vadillo, I., Mar Vias, J., Neukum, C., Sinreich, M., Jimé'nez, P., Brechenmacher, J., Carrasco, F., Hotzl, H., JesuPerles, 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.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.05.019>
- Baalousha, H.M., 2016. Groundwater vulnerability mapping of Qatar aquifers. *Journal of African Earth Sciences*. 124: 75-93.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.09.017>
- Daly, D., Dassargues, A., Drew, D., Dunne, S., Goldscheider, N., Neale, S., 2002. Main concepts of the European Approach for (karst) groundwater vulnerability assessment and mapping. *HydrogeolJ*. 10: 340-355.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10040-001-0185-1>
- Ford, D.C., Williams, P.W., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. Wiley. Chichester, 562 pp.
<https://www.wiley.com/en-us/Karst+Hydrogeology+and+Geomorphology-p-9780470849972>
- 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.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.01.023>
- 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 (5): 1103-1110.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.12.008>
- Marín, A., Dorfliger, N., Andreo, B., 2012. Comparative application of two methods (COP and PaPRIKa) for groundwater vulnerability mapping in Mediterranean karst aquifers (France and Spain). *Environmental Earth Sciences*. 65 (8): 2407-2421.
<http://dx.doi.org/10.1007/s12665-011-1056-2>
- Mudarra, M., Andreo, B., 2011. Relative Importance of the saturated and the unsaturated zone in the hydrogeological functioning of karst aquifers: the case of Alta Cadena (Southern Spain). *Journal of Hydrology*. 397 (3): 263-280.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.12.005>
- Pereira, D. L., Galvao, P., Lucon, T., Fujaco, M.A., 2019. Adapting the EPIK method to Brazilian Hydro (geo) logical context of the Sao Miguel watershed to assess karstic aquifer vulnerability to contamination,. *Journal of South American Earth Sciences*. 90: 191-203.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2018.12.011>