نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و سوم، شماره ۶۸، بهار ۱۴۰۲

ارزیابی و پهنه بندی آسیب پذیری مناطق توسعه یافته و مستعد آلودگی کارستیک (مطالعه موردی: حوضه آبریز روانسر)

دریافت مقاله: ۹۸/۹/۲۸ **پذیرش نهایی**: ۹۹/۲/۹

صفحات: ۳۲۶-۳۱۳

میراسدالله حجازی: دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
Email: s.hejazi@tabrizu.ac.ir
زهرا حیدری: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران[1]
Email: ez.heidary@gmail.com

چکیده

در سال‌های اخیر، رشد جمعیت و کمبود منابع آب شرب، اهمیت مطالعه مناطق کارستیک را دو چندان نموده است. در تحقیق حاضر به ارزیابی و پایش مناطق کارستیک توسعه یافته و پتانسیل آلودگی منابع کارستیک در حوضه روانسر پرداخته شده است که به منظور بررسی عوامل توسعه کارست و پتانسیل آلودگی منابع کارستیک در حوضه روانسر از ۷ معیار و دو روش OWA و ANP استفاده شده است. روش کار به این صورت است که پس از پردازش‌های لازم، با استفاده از روش OWA و با اعمال اوزان بدست آمده و تصاویر ماهواره‌ای ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵ روند توسعه نواحی انسان ساخت در مناطق کارستیک توسعه یافته مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که بخش عمده‌ای از حوضه مورد مطالعه بخصوص در مناطق شمالی و غربی در کلاس توسعه یافتگی زیاد و نسبتا زیاد قرار دارد. محاسبه مساحت نواحی انسان ساخت بیانگر این است که در سال ۲۰۰۷ حدود ۲/۶ کیلومترمربع از مناطق کارستیک توسعه یافته را نواحی انسان ساخت (مستعد آلودگی) اشغال کرده است با توجه به روند رو به رشد جمعیت این مقدار در سال ۲۰۱۵ به ۳/۸ کیلومترمربع افزایش یافته است.

کلید واژگان: حوضه آبریز روانسر، کارست، آلودگی، OWA، ANP

۱ . **نویسنده مسئول**: تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، گروه ژئومورفولوژی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]

مقدمه

کارست حاصل فرایندهای متنوعی است که در سنگ‌های انحلال‌پذیر و تحت تأثیر شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی متفاوتی پدید می‌آید. ساختارهای کارستی بیشتر در مناطق سرد و مرطوب با بارش بیش از ۳۰۰ میلی‌متر که دارای سنگ بستر تبخیری یا کربناته باشند شکل می‌گیرند (میلانویچ، ۱:۱۹۸۱). روی هم‌رفته ۸ عنصر لازم برای ایجاد و توسعه کارست، شرایط اقلیمی، توپوگرافی، سنگ‌شناسی، ستبرای لایه‌های کربناته، کربن، دمای پایین، فشار و موقعیت زمین ساخت هستند (وایت، ۲:۱۹۸۸). فرایند کارستی شدن در سنگ‌ها ممکن است در فرایند سنگ‌زایی آغاز شده باشد. بر این اساس، نقش ترکیبات سنگی و ویژگی‌های آن و همچنین عوامل ساختاری مانند گسل‌ها و درزه‌ها اهمیت زیادی دارند (فورد و ویلیام، ۲:۱۹۸۹). به طور کلی میزان آب موجود، عامل کلیدی توسعه کارست در هر منطقه محسوب می‌شود (کرانجک، ۳:۲۰۱۰)، چرا که نفوذ آب در داخل درز و شکاف سنگ-های قابل انحلال، موجب توسعه درز و شکاف‌ها شده و سازند کارستی را پدید می‌آورد (مول، ۲:۱۹۸۸). مناطق گسترده‌ای از سرزمین‌های خشک و غیریخچالی سیاره‌ی زمین با سازندهای کربناته مستعد کارست پوشیده شده و کمابیش ۲۰ تا ۳۰ درصد جمعیت کره زمین، بیش‌تر یا به طور کلّی زندگی آنها به منابع آب کارست وابسته است (فورد و ویلیامز، ۲۰۰۷). تشکیلات کربناته کارستی حدود ۱۱ درصد از مساحت ایران را می‌پوشاند (افراسیابان، ۱۳۷۷). در زاگرس حدود ۹۰ درصد از سنگ‌ها را سنگ‌های کربناته تشکیل می‌دهد (صفاری، ۱۳۹۵). با توجه به وسعت زیاد سازندهای کربناته در ایران و اهمیت آن از جنبه‌های مختلف (فرهنگی، اقتصادی، علمی و ...) به ویژه از نظر تأمین منابع آب، انجام هر پژوهشی در این زمینه ضروری است (قربانی و اونق، ۱۳۹۱). در سال‌های اخیر، رشد جمعیت و به تبع آن کمبود منابع آب شرب، اهمیت مطالعه آبخوان‌های کارستی را دو چندان نموده است. بسیاری از منابع آب کارستی در ارتفاعات و کوهستان‌ها قرار دارند و از این لحاظ کم‌تر در معرض آلودگی‌ها می‌باشند (کریمی وردنجانی، ۱۳۶۹). یکی از مناطقی که دارای سازندهای کارستیک است، حوضه آبریز روانسر در استان کرمانشاه است. با توجه به شرایط آب و هوایی و وضعیت مورفولوژکی حاکم بر منطقه، منطقه مذکور دارای منابع کارستیک توسعه یافته است، بر این اساس با توجه به موارد مذکور و اهمیت بررسی منطقه، در تحقیق حاضر به ارزیابی و پایش مناطق کارستیک توسعه یافته و پتانسیل آلودگی منابع کارستیک در حوضه آبریز روانسر پرداخته شده است.

در مورد مناطق کارستیک و ارزیابی و پتانسیل‌سنجی میزان توسعه یافتگی و همچنین آلودگی مناطق کارستیک تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. در ایران، اولین مطالعات کارستی در سال ۱۳۵۰ در زاگرس آغاز شد، که هم اکنون در بسیاری از نقاط کشور تحقیقات جامعی صورت گفته است.

لوپز چیکانو[1] و همکاران (۲۰۰۱)، نقش ساختارهای زمین‌شناسی، درجه کارست شدگی، ضخامت آبخوان و مساحت حوضه بالادست تغذیه کننده را در ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی ۶ چشمه در توده کاراستیکی کابرا[2] در جنوب اسپانیا بررسی کردند. بررسی منحنی تاریسمان چشمه‌های ماسیف کانین و حوضه بوویک بیان می‌کند که فرود زیاد آبدهی چشمه‌ها نشانه تخلیه آب از مجاری بزرگ انحلالی در بستر تغذیه است. روئیز سینوگا[3] و همکاران

1. Lopez- Chicano
2. Cabra
3. Ruiz Sinoga

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]

(۲۰۱۰) فرایندهای آب شناختی را در جنوب اسپانیا را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که در مناطق تپه ماهوری اقلیم خشک مدیترانه‌ای، به دلیل تغییرات پوشش سطحی و شرایط اقلیمی، فرایندهای آب شناختی به طور مکانی و زمانی متغیر می‌باشد و به دلیل نفوذ رواناب سطحی در امتداد سراشیبی‌ها و به ویژه در بخش‌هایی که از مواد مادری نفوذپذیر آهکی تشکیل شده‌اند، ناپیوستگی آب شناختی غالب می‌باشد (کوماک[1]، ۲۰۰۶). کاتتا و همکاران[2] (۲۰۱۰)، مدل ریسک را که مدل مؤثری در ارزیابی پتانسیل آلودگی منابع آب کارست به شمار می‌رود، برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی در غرب سوریه به‌کار گرفتند. نتایج آنها نشان داد که مدل ریسک کارایی مطلوبی در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوانهای کارستی دارد. کمار و همکاران[3] (۲۰۱۳)، مناطق مستعد آبهای زیرزمینی در حوضه‌ی رودخانه‌ی Khoh را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. در این تحقیق از منطق فازی و لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، رودخانه، خطواره‌ها، شیب و کاربری اراضی و ژئومورفولوژی استفاده شده است. بیانگر این است که ۱۶ درصد از منطقه دارای ظرفیت بالای منابع آب زیرزمینی است. بالوشا[4] (۲۰۱۶)، در مطالعه-ای به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان‌های قطر با استفاده از دو روش EPIK و DRASTIK پرداخت. نتایج نشان داد که با توجه به شرایط هیدرولوژیک قطر روش DRASTIK نسبت به روش EPIK مناسب‌تر است.مارین و همکاران[5] (۲۰۱۵)، به منظور پهنه‌بندی آسیب پذیری در جنوب اسپانیا از سه روش Slovene،K+COP و Paprika استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش Slovene و K+ COP نتایج قابل قبولی به منظور آسیب پذیری آبخوانهای کارستی ارائه می‌دهند.

در ایران نیز حیدرزاده و محمد زاده (۱۳۹۰)، دره ال و اندرخ واقع در شمال مشهد را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با بررسی اشکال کارستی به این نتیجه رسیدند که وجود درز و شکاف‌های فراوان در نزدیکی گسل‌ها سبب توسعه کارست در آن نواحی شده است. در همین راستا، یمانی و همکاران (۱۳۹۰)، عوامل توسعه یافتگی کارست را در حوضه چله در جنوب استان کرمانشاه مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها تأثیر عوامل مختلف از جمله ترکیبات سنگی، آب‌شناسی، کاربری زمین، زمین‌ساخت، ارتفاع، بارش و شیب را در شکل‌گیری پدیده‌های کارستی با هم مقایسه کرده و به این نتیجه رسیدند که در بین این عوامل ترکیبات سنگی و عامل زمین‌ساخت به عنوان مهم‌ترین عوامل در توسعه کارست سهیم هستند. خدری و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از تلفیق اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور همراه با تحلیل سلسله مراتب زوجی ، پتانسیل توسعه کارست را در تاقدیس پیون مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ۵۹ درصد از تاقدیس پیون در محدوده‌ی با پتانسیل بالای کارست شدگی قرار دارد. همچنین، موردی و همکاران (۱۳۹۲)، به بررسی ژئومورفولوژی اشکل کارستی سنگ‌های کربناته منطقه آهنگران در شمال شرق بیرجند پرداخته و به این نتیجه رسیدند که در مناطق با درز و شکاف‌های فراوان، فرایندهای کارستی توسعه بیشتری دارند. در کشور ما علیرغم وجود توده‌های کارستی در ارتفاعات زاگرس، البرز و کپه داغ و ایران

1 komac
2 Kattaa et al
۳ Kumar et al
4 baalousha
5 Marín et al

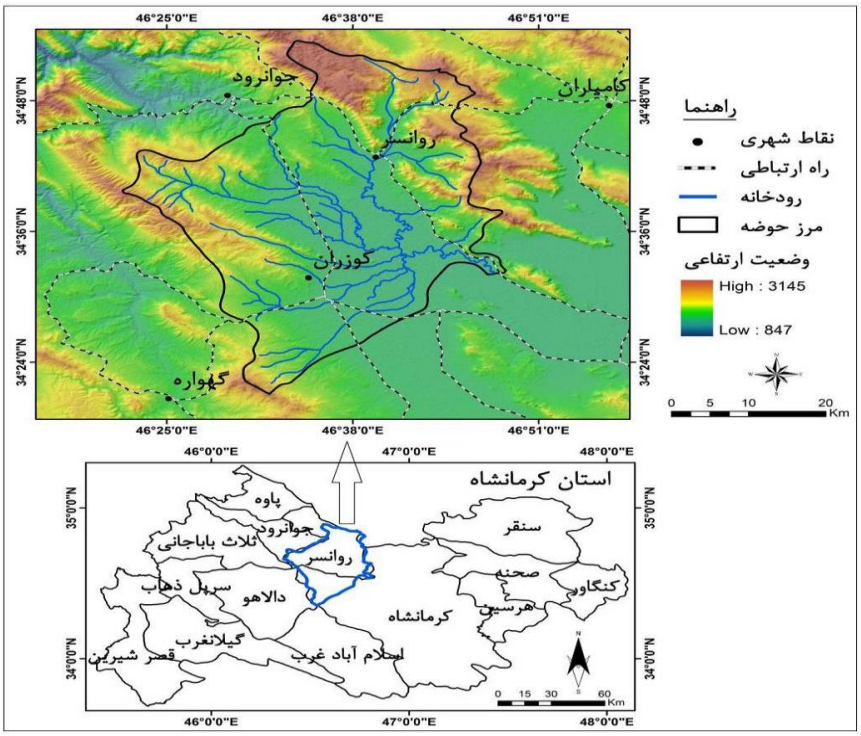
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]

مرکزی متاسفانه تحقیقات بسیار اندکی در مورد شناسایی ناهمواری‌های کارستی، مدیریت بهره‌برداری منابع آب کارست و جاذبه‌های توریستی آن‌ها انجام شده است. در ارتباط با تحقیقات پیشین هدف از تحقیق حاضر تعیین مناطق کارست توسعه‌یافته در حوضه‌ی مورد مطالعه است که همانند اکثر تحقیقات پیشین از روش نرم‌افزاری استفاده شده است. سیف (۱۳۹۳)، به منظور ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی گلین کرمانشاه از مدل COP استفاده کردند. اسدی و همکاران (۱۳۹۴)، با بکارگیری دو روش COP و Paprika نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان بقیع خراسان رضوی را تهیه کردند.

روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز روانسر در شمالغرب استان کرمانشاه و در بخش زاگرس چین خورده بین عرض های جغرافیایی ۲۹،۳۴تا ۳۴،۵۳ و طول های جغرافیایی ۲۱, ۴۶تا ۴۶،۵۶ با مساحتی بالغ بر۱۱۰۳/۰۵ کیلومترمربع قرار گرفته است(شکل ۱). از نظر ژئومورفولوژیکی حوضه مورد مطالعه در یک منطقه کوهستانی واقع شده است و چشم انداز عمده آن را نواحی پرشیب در برگفته است و همچنین از لیتولوژیکی بخش عمده‌ای منطقه را سنگ‌های آهکی در برگرفته است که مستعد توسعه فرایندهای کارستیک هستند.(علایی طالقانی، ۱۳۸۲) از نظر آب و هوایی نیز به دلیل قرارگیری در مسیر بادهای غربی دارای آب و هوای نیمه مرطوب سرد است و میانگین بارش آن بین ۵۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر است که در ارتفاعات به ۶۵۰ میلی‌متر می‌رسد (سازمان هواشناسی استان کرمانشاه، ۱۳۹۴).



شکل (۱): محدوده مورد مطالعه حوزه ابریز روانسر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]

داده و روش کار

این تحقیق مبتنی بر روش‌های میدانی، ابزاری و کتابخانه‌ای است. ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، محدوده حوضه مورد مطالعه مشخص شده است. داده‌های اصلی پژوهش نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین-شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۱ هستند. در این تحقیق به منظور بررسی عوامل توسعه کارست در حوضه روانسر از عوامل لیتولوژِی، گسل، شیب، جهت شیب، ارتفاع، رودخانه و بارش استفاده شده که در ادامه به تشریح هر کدام از این پارامترها پرداخته خواهد شدو همچنین دو روش OWA و ANP نیز استفاده شده است.

عوامل ژئومورفولوژیکی: در تحقیق حاضر از پارامترهای ژئومورفولوژیکی به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در توسعه فرایندهای کارستیک و توسعه آبخوان‌های کارستیک استفاده شده است. وضعیت ژئومورفولوژیکی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در وضعیت زهکشی، میزان نفوذپذیری، بارش، دما، تبخیر و ... می‌باشد. عامل ارتفاعی به‌عنوان یکی از پارامترهای ژئومورفولوژیکی تأثیرگذار در نوع اقلیم، میزان بارش و ... می‌باشد به طوری‌که مناطق ارتفاعی بالاتر دارای میزان بارش بیش‌تر و اقلیم مرطوب‌تری هستند بنابراین میزان توسعه‌یافتگی فرایندهای کارستیک در این مناطق نسبت به مناطق پست‌تر بیشتر خواهد بود. پارامتر ژئومورفولوژیکی دیگر شیب است که نقش اصلی را در سرعت رواناب و نفوذپذیری دارد به‌طوری‌که در مناطق پرشیب سرعت رواناب بیش‌تر و میزان نفوذ کم‌تر خواهد بود. بنابراین در مناطق پرشیب توسعه فرایندهای کارستیک به‌سرعت کندتری نسبت به مناطق کم شیب صورت می-گیرد. جهت شیب نیز پارامتر ژئومورفولوژیکی دیگر محسوب می‌شود که در میزان رطوبت و تبخیر تأثیر مستقیم دارد. درواقع در نیمکره شمالی جهات رو به شمال میزان تابش کم‌تر از جهات رو به جنوب است بنابراین میزان تبخیر کم‌تر و همچنین رطوبت بیش‌تری دارند(ملکی و همکاران ،۹۸). این عوامل سبب شده است تا جهات رو به شمال پتانسیل بالاتری جهت توسعه فرایندهای کارستیک داشته باشد.

در تحقیق حاضر از دو پارامترهای زمین‌شناسی (لیتولوژی و گسل) به عنوان عوامل تاثیرگذار در توسعه فرایندهای کارستیک استفاده شده است. میزان نفوذپذیر و همچنین تغییر اشکال لندفرم‌ها متأثر از نوع لیتولوژی است. سازندهای آهکی با توجه به قابلیت انحلال و نفوذپذیری که دارند در توسعه فرایندهای کارستیک نقش مهمی ایفا می‌کنند. بخش زیادی از منطقه مورد مطالعه از آهک تشکیل شده است (از جمله آهک کوه بیستون) که بیانگر پتانسیل بالای منطقه جهت توسعه فرایندهای کارستیک است. پارامتر زمین‌شناسی دیگر خطوط گسلی است. درواقع درز و شکاف‌ها مهم‌ترین عامل نفوذ آب به داخل سنگ‌های کربناته هستند. مناطق شرقی حوضه مورد مطالعه تحت تأثیر نیروهای زمین‌ساخت به‌شدت درهم شکسته و گسل خورده است.

در صورت فراهم بودن شرایط مناسب زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی، عوامل اقلیمی نقش تعیین کننده‌ای در میزان توسعه‌یافتگی فرایندهای کارستیک و توسعه آبخوان‌های کارستیک خواهد بود. با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و قرار داشتن در منطقه کوهستانی رشته‌کوه زاگرس، توده هواهای مختلفی اقلیم آن را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. در این تحقیق معیار بارش به عنوان یک عامل اقلیمی در نظر گرفته شده است. از نظر بارش منطقه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]

مورد مطالعه بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر بارش دارد که بیش‌ترین میزان آن در ارتفاعات حوضه است. که مناطق خیلی مرطوب و مناطقی که داری بارش بیشتری هستند پتانسیل بالاتری جهت توسعه‌ی فرایندهای کارستیک دارد. نوع کاربری اراضی نیز به عنوان یکی از پارامترهای تاثیرگذار در نظر گرفته شده است. در واقع کاربری اراضی به عنوان یک عامل پوششی در نظر گرفته شده است. وجود مناطق متراکم از پوشش گیاهی سبب می‌شود تا آب فرصت بیش‌تری برای نفوذ به زمین داشته باشد بنابراین مناطقی که دارای پوشش‌گیاهی متراکمی هستند از نظر تغذیه میزان آب‌های زیرزمینی نسبت به سایر نقاط پتانسیل بالاتری دارند، در نتیجه امکان بیش‌تری برای توسعه فرآیندهای کارستیک دارند.

روش میانگین‌گیری وزن‌دار ترکیبی (OWA): روشی برای رتبه‌بندی معیارها و پرداختن به عدم اطمینان اثر متقابل آنها است که نخستین بار در سال ۱۹۸۸ توسط یاگر معرفی شد. این روش شامل وزن ترتیبی با وزن‌های معیار متفاوت است. وزن‌های ترتیبی به ارزش معیارها اختصاص داده می‌شوند، اما وزن معیارها به معیارهای مورد استفاده اختصاص می‌یابند. در روش OWA می‌توان دامنه وسیعی از نتایج را به‌دست آورد، به‌طوری‌که این روش منجر به درجه‌بندی پیوسته سناریوهای بین عملگر اشتراک (خطر ناسازگاری ریسک ناپذیری) و عملگر اجتماع (ریسک پذیری) می‌شود که عملگر اشتراک (AND) ریسک پایین را نشان می‌دهد و عملگر اجتماع (OR) ریسک بالا را در تصمیم‌گیری نشان می‌دهد (رهنما و همکاران، ۱۳۹۱)

روش ANP (تحلیل شبکه‌ای) و مراحل انجام کار: برای حل یک مسئله با روشANP، ابتدا باید شبکه‌ای از اهداف، معیارها، زیرمعیارها، گزینه‌ها و روابط بین آن‌ها شناسایی و رسم شود. در گام بعدی مقایسه‌های زوجی انجام می‌گیرد. وزن معیارها و گزینه‌ها، در سوپرماتریسی که سطرها به مقدار ثابتی میل کنند، به دست خواهد آمد. به طور کلی ANP از ترکیب چهار گام اصلی به وجود می‌آید: ۱- پایه‌ریزی مدل و ساختار مسئله ۲- ماتریس مقایسه‌های زوجی و بردارهای تقدم ۳- تشکیل سوپرماتریس ۴- انتخاب بهترین گزینه (مؤمنی و شریفی، ۱۳۹۰، ۹۳-۹۰). ANP شرایطی را مهیا می‌کند که روابط متقابل بین سطوح تصمیم‌گیری و معیارهای تصمیم به شکل کلی‌تری مورد بررسی و ملاحظه قرار گیرد (شکل۲). در ANP اندازه‌گیری مقادیر اهمیت نسبی به مانند AHP با مقایسه‌های زوجی و به کمک طیف ۱ تا ۹ انجام می‌شود. عدد ۱ نشان دهنده اهمیت یکسان بین دو عامل و عدد ۹ نشان دهنده اهمیت شدید یک عامل نسبت به عامل دیگر است. برای این منظور پس از تشکیل ساختار شبکه‌ای، از طریق پرسشنامه و دیدگاههای کارشناسان امر (آمایش‌سرزمین و ژئومورفولوژی) برای تعیین رابطه و میزان اهمیت هر یک از این معیارها و زیرمعیارها استفاده شده است. پس از تحلیل پرسش‌نامه‌ها، برای محاسبه وزن‌های نهایی هر معیار و زیرمعیار (با توجه به ارتباطات درونی) از نرم افزار Super Decisions برای مدل ANP استفاده شده است.

در مرحله بعد، شاخص‌ها و متغیرهای مؤثر در توسعه کارست، با استفاده از تابع فازی، فازی سازی شده و در این مرحله همه لایه‌های مطالعاتی به صورت استاندارد قابل مقایسه در آمدند. یک مجموعه فازی یک تابع عضویت دارد که درجه عضویتی میان صفر و یک به سری می‌دهد. عضویت یک درجه معین از تعلق شی به مجموعه فازی را نمایش می‌دهد (آل محسین۱، ۲۰۰۹). نقشه‌های توابع فازی مورد بحث ما در این پژوهش از نوع خطی هستند.

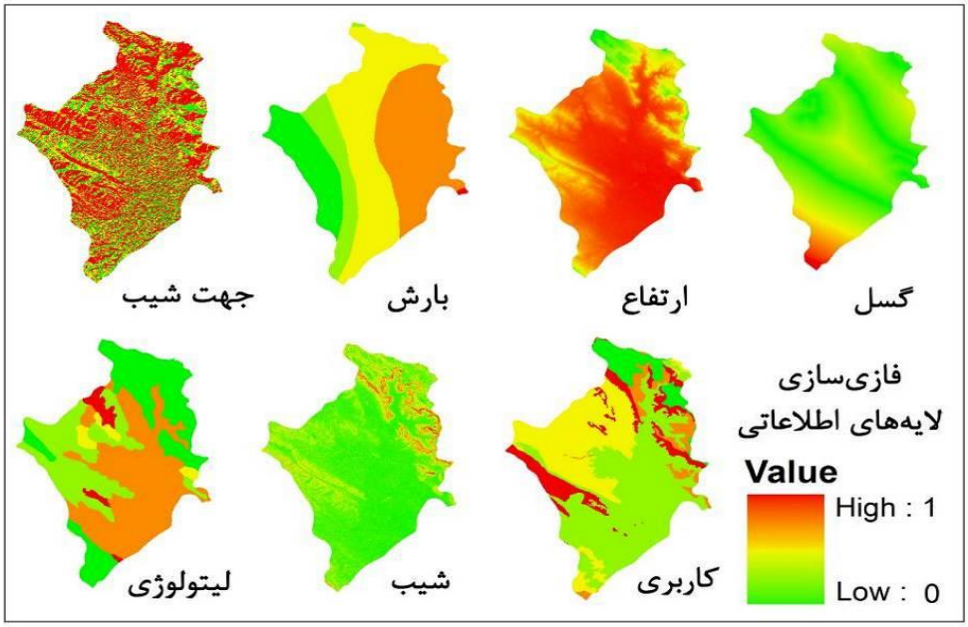
1 Al-Mohseen

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]

پس از فازی لایه‌ها، لایه‌های مذکور وارد نرم‌افزار IDRISI شده است و پس از پردازش‌های لازم، با استفاده روش OWA و با اعمال اوزان بدست آمده از طریق مدل ANP کار پهنه بندی صورت گرفته است. پس از تهیه نقشه پهنه بندی، مناطق کارستیک توسعه یافته به عنوان یک لایه مجزا از نقشه پهنه‌بندی استخراج شده است. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵ روند توسعه نواحی انسان ساخت در مناطق کارستیک توسعه یافته مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. در واقع، در این تحقیق مناطق انسان ساخت شامل نواحی سکونتگاهی و صنعتی در مناطق کارستیک توسعه یافته به عنوان مناطق مستعد آلودگی در نظر گرفته شده است.

نتایج

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی با توجه به تاثیری که بر میزان توسعه فرایندهای کارستیک دارند به صورت فازی شده و قابل مقایسه در آمده‌اند. به این صورت که ارزش پیکسل‌ها جهت اهداف موردنظر بین صفر و ۱ قرار دارد شکل (۲). برای لایه جهت شیب، مناطق شمالی ارزش نزدیک به ۱ و مناطق جنوبی ارزش نزدیک به صفر دارند. برای لایه شیب نیز مناطق کم‌شیب‌تر و برای لایه ارتفاع و بارش مناطق مرتفع‌تر و پر بارش‌تر ارزش نزدیک به ۱ دارند. همچنین برای لایه گسل، مناطق نزدیک به گسل ارزش نزدیک به ۱ دارند. برای پارامتر کاربری اراضی مناطقی که پوشش گیاهی بیش‌تری دارند و برای پارامتر لیتولوژی، مناطق آهکی دارای ارزش نزدیک به ۱ هستند.

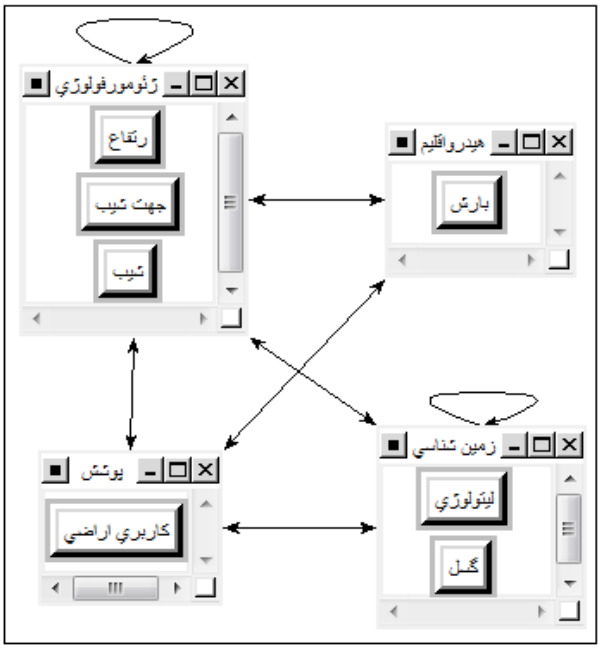


شکل (۲): نقشه فازی شده لایه‌های اطلاعاتی

وزن دهی به معیارها: پس از بدست آوردن لایه‌های اطلاعاتی برای وزن‌دهی به آن‌ها از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است. برای این منظور پس از تشکیل ساختار شبکه‌ای شکل (۳) با توجه به رابطه دورنی و بیرونی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]

معیارها، از ماتریس مقایسه‌ای شامل ۷ سطر و ۷ ستون برای تعیین رابطه و میزان اهمیت هر یک از این معیارها و زیرمعیارها استفاده شده است. به‌منظور امتیازدهی به معیارها از طریق پرسش‌نامه و دیدگاه‌های کارشناسان امر استفاده شده است. برای انجام محاسبات از نرم‌افزار Super Decisions استفاده شد و پس از بدست آوردن وزن‌های نهایی هر کدام از معیارهای جدول (۱) بر روی داده‌ها اعمال شده است(چیت سازان و همکاران، ۱۳۸۵)



شکل (۳). ساختار شبکه‌ای ANP(شعبانی ،۱۳۹۰)

جدول (۱). زون لایه‌های اطلاعاتی در مدل ANP(شعبانی ،۱۳۹۰)

معیار	زمین‌شناسی		ژئومورفولوژی			هیدرواقلیم	پوشش
	لیتولوژی	گسل	شیب	جهت شیب	ارتفاع	بارش	کاربری اراضی
وزن در مدل ANP	./۲۱۹	۰/۱۶۷	۰/۱۹۵	۰/۰۷۵	۰/۱۲۲	۰/۱۳۹	./۰۸۳

تلفیق و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی

پس از استاندارسازی لایه‌های اطلاعاتی به منظور شناسایی مناطق توسعه یافته و مستعد الودگی کارستیک لایه‌های طلاعاتی بر اساس وزن بدست آمده با استفاده از مدل OWA با هم تلفیق و ترکیب شده‌اند. عمگلر OWA با استفاده از رابطه (۱) قابل استنتاج است (طالعی و همکاران، ۱۳۹۳):

رابطه (۱).

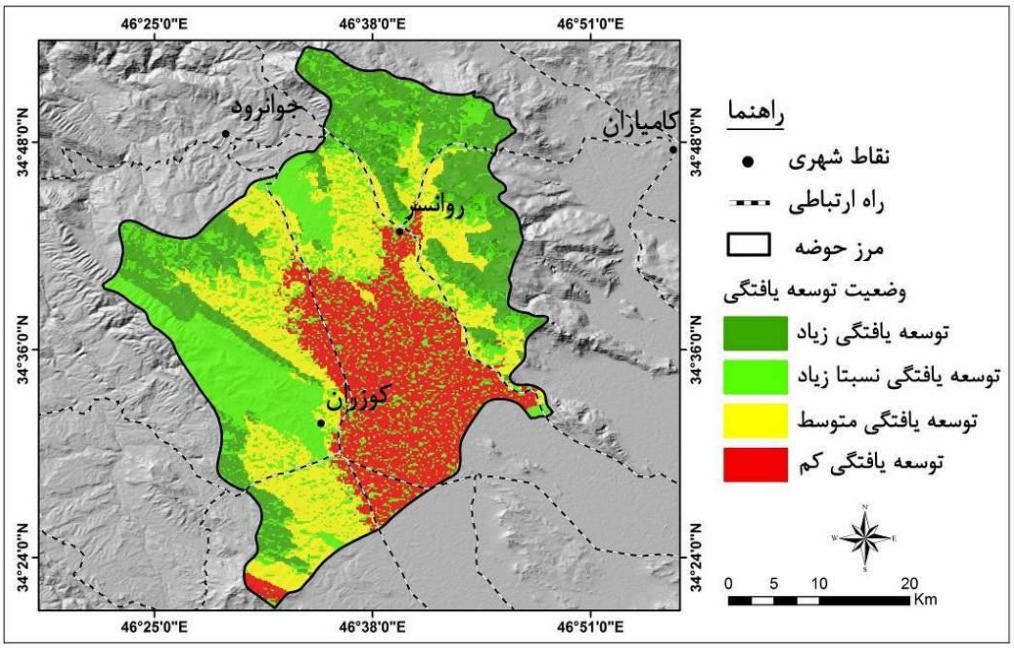
$$\text{OWAt:} \sum_{j}^{n} = 1 \left(\frac{wjuj}{\sum_{j}^{n}=1 wjij} \right) zij$$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]

در رابطه (۱) zi1 ≥ ... ≥ Zij به‌طریق ارزش‌های یک معیار (xij) به دست می‌آید. vj وزن ترتیبی و wj وزن معیار است. وزن‌های ترتیبی جهت ترکیب معیارهای وزن‌دار استفاده می‌شوند که در آن‌ها وزن‌ها به موقعیت مکانی پیکسل‌های لایه‌ها اختصاص می‌یابد. به عبارت دیگر، تمام پیکسل‌هایی که در یک موقعیت در چند نقشه قرار گرفته‌اند، وزن‌های ترتیبی یکسانی را می‌پذیرند. با استفاده از کمیت‌سنج‌های مفهومی فازی می‌توان وزن‌های ترتیبی ساخت. کمیت‌سنج‌های مفهومی به دو دسته مطلق و نسبی تقسیم می‌شوند. عباراتی مانند (حداقل ۴) و (حدود ۵) جزء کمیت سنج‌های نسبی با عبارتی نظیر اکثراً، اغلب، تعداد زیادی، نیمی، اندکی و حداقل یکی مشخص می‌شوند. کمیت‌سنج‌ها، استراتژی‌های تصمیم‌گیری مختلفی را در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهند، به‌طوری‌که با تغییر پارامتر a می‌توان مجموعه‌ای از نتایج ارزیابی را برای هدف تصمیم‌گیری به‌دست آورد. به‌عبارت‌دیگر، کاهش مقدار a باعث افزایش خوش‌بینی تصمیم‌گیرنده و افزایش مقدار a باعث کاهش خوش‌بینی شده و بدبینی تصمیم‌گیرنده را افزایش می‌دهد (طالع‌جنکانلو و همکاران، ۱۳۹۴). در این تحقیق از کمیت‌سنج نسبی منظم افزایش استفاده شده است (جدول۲). پس از محاسبه وزن‌های ترتیبی و وزن‌های به‌دست‌آمده از طریق مدل ANP نقشه تلفیق پارامترها بر اساس مدل OWA به‌دست‌آمده است. شکل (۴).

جدول (۲). کمیت‌سنج‌ها متناظر و پارامتر α

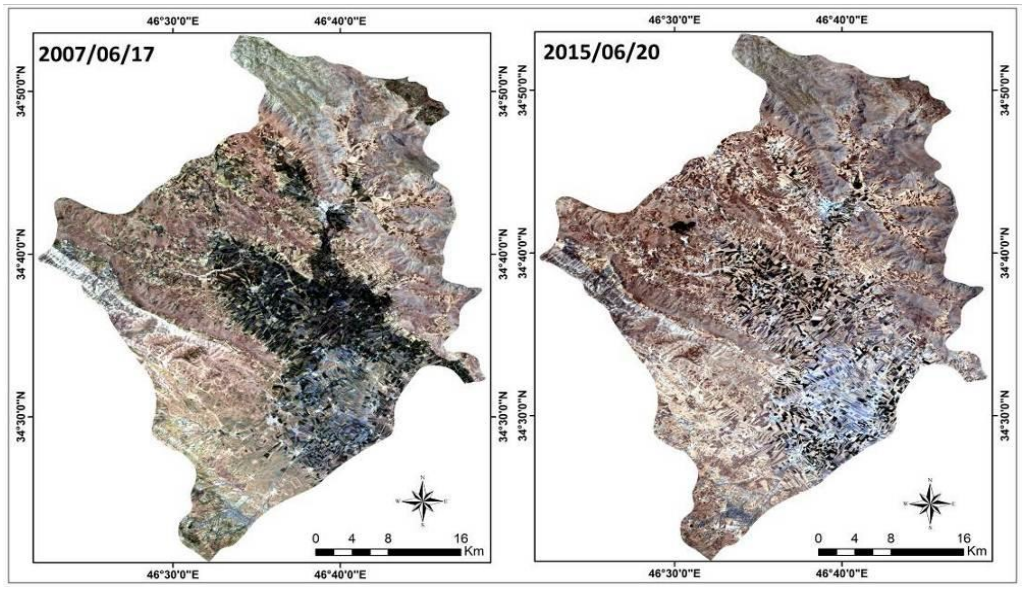
کمیت‌سنج زبانی Q	حداقل یکی	کمی	بعضی	نیمی	بسیاری	اکثراً	بسیار زیاد	همه
A	./۰۰۱	./۱	./۵	۱	۲	۵	۱۰	۱۰۰۰



شکل (۴). نقشه وضعیت توسعه یافتگی کارست بر اساس مدل تلفیقی OWA و ANP

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]

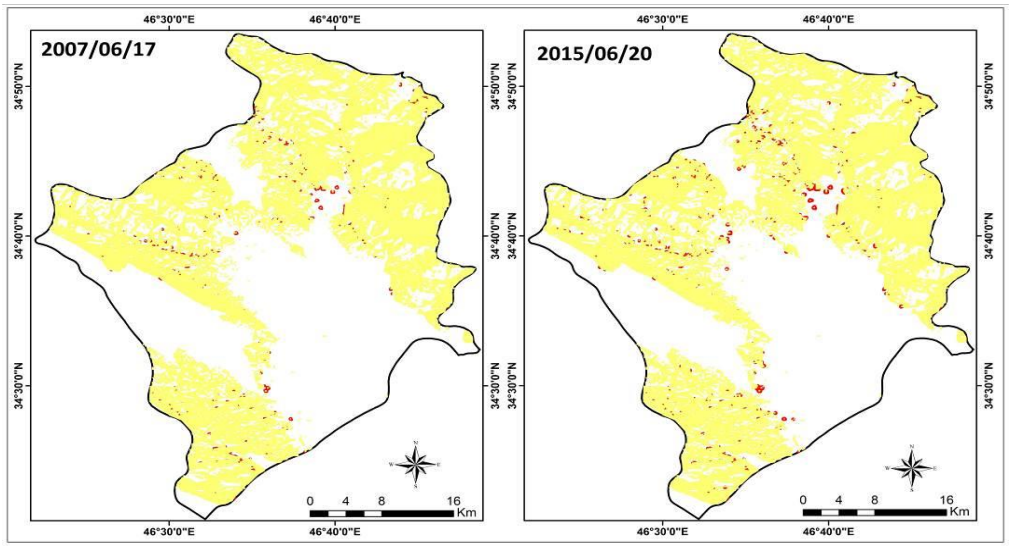
برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیری در منطقه مطالعاتی از تصاویر ماهواره‌ای (لندست ۷ و ۸) محدوده مطالعاتی در دو بازه زمانی (۲۰۰۷/۰۶/۱۷ و ۲۰۱۵/۰۶/۲۰) استفاده شده است. شکل (۵). برای ارزیابی میزان آسیب پذیری حوضه مورد مطالعه، ابتدا نواحی سکونتگاهی شامل تمامی مناطق انسان ساخت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در دو بازه ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵ شناسایی شده است. برای شناسایی این نواحی از روش طبقه‌بندی نظارت شده (حداکثر احتمال) و نمونه‌های تعلیمی استفاده شده است.



شکل (۵). تصاویر ماهواره‌ای حوضه روانسر

پس از استخراج نواحی انسان ساخت از تصاویر ماهواره‌ای، کلاس‌های توسعه یافته زیاد و نسبتا زیاد از نقشه نهایی جدا شده است و سپس لایه نواحی سکونتگاهی در هر دو بازه زمانی بر روی این لایه اعمال شده است. در شکل (۶) نقشه نواحی کارستیک توسعه یافته و مناطق انسان ساخت موجود در این نواحی نشان داده شده است. نتیجه پهنه-بندی نهایی بیانگر این است که از کل مساحت حوضه روانسر ۲۸۵ کیلومترمربع در منطقه توسعه یافتگی زیاد، ۳۰۷ کیلومترمربع در منطقه توسعه یافتگی نسبتا زیاد، ۳۸۳ کیلومترمربع در منطقه توسعه یافتگی متوسط و ۲۷۷ کیلومترمربع در متطقه توسعه یافتگی کم قرار دارد. ارزیابی صورت گرفته بیانگر این است که در سال ۲۰۰۷ حدود ۲/۶ کیلومترمربع از مناطق کارستیک توسعه یافته را نواحی انسان ساخت اشغال کرده است که با توجه به روند رو به رشد جمعیت این مقدار در سال ۲۰۱۵ به ۳/۸ کیلومترمربع افزایش یافته است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]



شکل (۶). نقشه نواحی کارستیک توسعه یافته و مناطق انسان ساخت موجود در این نواحی

نتیجه‌گیری

مناطق کارستیک اهمیت زیادی در تامین منابع آبی غرب کشور دارند، بنابراین توجه به این مناطق باید در اولویت کار برنامه‌ریزان قرار گیرد. با توجه به آسب پذیری بالایی که مناطق کارستیک در برابر آلودگی دارند، نتیجه نهایی از شناسایی مناطق کارستیک به چهار کلاس مناطق کارستیک توسعه یافته زیاد، توسعه یافته نسبتا زیاد، توسعه یافته متوسط و توسعه یافته کم تقسیم شده است.. با توجه به مساحتی که هر کدام از کلاس‌ها به خود اختصاص داده‌اند، می‌توان گفت که منطقه مورد مطالعه از نظر مناطق کارستیک توسعه یافته دارای پتانسیل بالایی است، بنابراین میزان آسیب پذیری بالایی در برابر آلودگی احتمالی دارد. با توجه به اینکه نواحی سکونتگاهی از طریق ایجاد مواد آلوده کننده نظیر فاضلاب‌های خانگی، فاضلاب‌های صنعتی و دفع غیر اصولی زباله‌ها سبب آلودگی مناطق کارستیک می‌شوند، در این تحقیق این مناطق به عنوان عامل موثر در آلودگی مناطق کارستیک در نظر گرفته شده است. به همین دلیل با استفاده از تصاویر سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵ نواحی انسان ساخت در مناطق کارستیک توسعه یافته استخراج شده است. محاسبه مساحت نواحی انسان ساخت بیانگر این است که در سال ۲۰۰۷ حدود ۲/۶ کیلومترمربع از مناطق کارستیک توسعه یافته را نواحی انسان ساخت اشغال کرده است که با توجه به روند رو به رشد جمعیت این مقدار در سال ۲۰۱۵ به ۳/۸ کیلومترمربع افزایش یافته است. با توجه به موارد مذکور و نقش و اهمیت منابع آبی کارستیک در تأمین آب منطقه، الزم است برنامه‌ریزیهای محیطی متناسب با وضعیت توسعه‌یافتگی این منابع صورت گیرد. در واقع به دلیل حساسیت باالایی که این مناطق نسبت به آلودگی دارند، ضروری است در این مناطق از فعالیتهای صنعتی، کشاورزی و عمرانی آلوده‌کننده جلوگیری شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]

جدول (۳). مساحت و درصد کلاس های طبقه بندی شده در منطقه مطالعاتی

پهنه	مساحت	درصد
نسبتا زیاد	۳۰۷	۲۲
زیاد	۲۸۵	۲۵
متوسط	۳۸۳	۳۲
کم	۲۷۷	۲۱

منابع

اسدی، مهدی و همکاران. (۱۳۹۴). **تهیه نقشه آسیب پذیری آلودگی آبخوان بقیع خراسان رضوی به دو روش cop و Paprika با استفاده از سنجش از دور وGIS**. فصلنامه علمی - پژوهشی مهندسی منابع آب، ۸(۲۵): ۲۳-۳۰.

افراسیابان. (۱۳۷۷)، **اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران**، مجموع مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی، کرمانشاه.

چیت سازان، منوچهر، اختری, یوسف. (۱۳۸۵). **پتانسیل یابی آلودگی آب های زیرزمینی با استفاده از مدل مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی** , فصلنامه آب و فاضلاب , ۱۷: ۴۹-۵۱

حیدرزاده، مجتبی؛ محمدزاده، حسین (۱۳۹۰)، **بررسی ژئوشیمی و ژئومورفولوژی کارست در سازند مزدوران (مطالعه موردی دره آل و اندرخ واقع در مشهد)**، مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین.

خدری، اکبر؛ رضایی، محسن؛ اشجاری، جواد (۱۳۹۰). **بررسی پتانسیل توسعه کارست در تاقدیس پیون با استفاده از تلفیق اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور همراه با تحلیل سلسله مراتب زوجی**، مجله تحقیقات منابع آب، ۲۸: ۳۳-۵۰.

رهنما، محمدرحیم؛ آقاجانی، حسین؛ فتاحی، مهدی (۱۳۹۱). **مکان‌یابی محل دفن زباله با ترکیب روش میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) و GIS در مشهد**، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳: ۱۰۵-۸۷

سازمان هواشناسی استان کرمانشاه، گزارش سالیانه، ۱۳۹۴.

سیف، عبداله؛ جعفری اقدم، مریم؛ جهانفر، علی. (۱۳۹۷). **ارزیابی و تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان‌های کارستی با استفاده از مدل) COP مطالعه موردی: آبخوان کارستی گُلین، استان کرمانشاه**. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی.۳(۳): ۶۵-۷۹.

شعبانی, محمد(۱۳۹۰). **ارزیابی روش های زمین آماری در تهیه نقشه های کیفی آب های زیرزمینی و پهنه بندی آنها(مطالعه مودیدشت نی ریز, استان فارس)**، جغرافیای طبیعی لارستان، ۴(۱۳): ۸۳-۹۶.

صفاری، امیر، قنواتی، عزت اله، علیجانی، فهیمه، محمدی، زکیه (۱۳۹۵). **مروری بر خصوصیات لندفرم های کارستی در لایه های گچی ، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی**، ۴(۴): ۵۶-۷۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]

[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]

طالعی، محمد؛ سلیمانی، حسین؛ فرجزاده اصل، منوچهر (۱۳۹۳). **ارزیابی تناسب اراضی برای کشت دیم بر مبنای مدل فائو و با استفاده از تکنیک تلفیقی OWA-AHP و FUZZY در محیط ARCGIS (مطالعه موردی: شهرستان میانه)**. نشریه آب و خاک، ۲۸(۱): ۱۵۶-۱۳۹.

علایی طالقانی، م (۱۳۸۲). **ژئومورفولوژی ایران**، چاپ دوم، تهران نشر قومس.

قربانی، محمد صدیق؛ اونق، محمد (۱۳۹۱)، **پهنه بندی تحول و حساسیت کارست با استفاده از مدل رگرسیون خطّی چندمتغیره در منطقه کارستی شاهو**، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱: ۳۲-۱۹.

کریمی وردنجانی، حسین. (۱۳۹۴)، **هیدروژئولوژی کارست**، چاپ اول، انتشارات ارم شیراز.

مؤمنی، منصور؛ شریفی‌سلیم، علیرضا (۱۳۹۰). **مدل‌ها و نرم افزارهای تصمیم‌گیری چندشاخصه**، چاپ اول، نشر مؤلفین.

میرعلایی‌موردی، مهدی؛ میراب‌شبستری، غلامرضا؛ اعتباری، بهروز؛ هیهات، محمدرضا. (۱۳۹۲). **معرفی ژئومورفولوژی کارستی سنگ-های کربناته در منطقه آهنگران (شمال شرق بیرجند)**، مجله جغرافیا و آمایش شهری – منطقه‌ای، ۳(۳۸): ۲۶-۳۹.

ملکی، امجد، باقری سیدشکری، سجاد، مطایی، سارا. (۱۳۹۸). **ارزیابی آسیب پذیری آبخوان های کارستی دشت کرمانشاه و توده بیستون –پرآو با استفاده از مدل COP**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۵۵)، ۱۲۹-۱۴۵.

میلانویچ، پطر (۱۹۸۱)، ترجمه افراسیابیان، **انتشارات طرح تهیه استاندارهای مهندسی آب کشور**.

وزارت نیرو, تماب (۱۳۷۳) **فرهنگ چند زبانه واژه های کارست**، سازمان تحقیقات منابع آب.

یمانی، مجتبی؛ شمسی پور، علی‌اکبر؛ جعفری اقدم، مریم؛ باقری سید شکری، سجاد (۱۳۹۰)، **بررسی عوامل موثر در توسعه یافتگی و پهنه‌بندی کارست حوضه چله با استفاده از منطق فازی و AHP** ، مجله علوم زمین، ۸۸: ۳۲-۲۰.

Al-Mohsen, K. A. A (2009), **Drought index assessment for Fatah region using fuzzy logic approach**", Proceedings of the Georgia Water Resources Conference, held 23-27 2009, at the University of Georgia. Athens, Georgia

Baalousha HM. 2016. **Groundwater vulnerability mapping of Qatar aquifers**. Journal of African Earth Sciences, 124: 75-93.

Ford, D. C. & Williams, S (1989), Kar**st geomorphology and hydrology**. 6.1pp.

Ford, Derek, Williams, Paul (2007) **Karst hydrogeology and geomorphology**. Academic Division of Unwin Hyman Ltd, 601.

Komac, B (2006), The Karst Springs of The Kanin Massif Kara [Ki Izvir Pod Kanin Skim Pograje.

Kranjc, A (2010), **Arid Karst or Karst in Arid Countries**, 2nd Symposium on Living with Landscapes.

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.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]

[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]

Kumar, U., Kumar, B., Neha, M. (2013), **Groundwater Prospects Zonation Based on RS and GIS Using Fuzzy Algebra in Khoh River Watershed, Pauri-Garhwal District, Uttarakhand, India**. Global Perspectives on Geography (GPG), 1, 37-45.

Lopez- Chicano, M., Bouamama, M., Vallejo's, A and Pulido- Bosch, A (2001), **Factors which determine the hydro geochemical behavior of karstic springs**: A case study from Betis Cordilleras, Spain. Applied Geochemistry, 16, 1179-1192.

Marín A, Andreo B, Mudarra M. 2015. **Vulnerability mapping and protection zoning of karst springs. Validation by multitracer tests**. Science of the Total Environment, 532: 435- 446.

Mull, D. S., Nielsen, D. M. & Quinlan, J. F (1988), **Application of dye – tracing techniques for determine solute transport characteristics of Groundwater in karst terrains**.

Ruiz Sinoga J.D., Diaz A.R., Bueno E.F and Murillo J.F.M (2010), **The role of soil surface conditions in regulating runoff and erosion processes on metamorphic hillslope (Southern Spain), Soil surface conditions, runoff and erosion in Southern Spain**, Catena80:131-139

White, W. B (1988), **Geomorphology and Hydrology of karst**, Oxford University press. Quinlan, j, 1989.**Groundwater monitoring in karst terrains,** EPA. 600/ x.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.129.2]

[DOI: 10.52547/jgs.23.68.313]