پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال دهم، شماره ۳، زمستان ۱۴۰۰
صص. ۲۰۰-۱۸۹

ارزیابی و تحلیل مناطق کارستیک توسعه یافته و آسیب‌پذیر (مطالعه موردی: توده کارستیک خورین در استان کرمانشاه)

امیر صفاری* – دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.
علی احمدآبادی – استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.
تینا پی سوزی – دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۴ تائید نهایی: ۱۴۰۰/۰۸/۲۹

چکیده

مناطق کارستیک به عنوان یکی از منابع مهم آبی پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارند. یکی از مناطقی که در معرض آسیب‌پذیری قرار دارد، توده کارستیک خورین در شمال استان کرمانشاه است، به همین در این تحقیق به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آن پرداخته شده است. این تحقیق در ۳ مرحله انجام شده است، در مرحله اول با استفاده از ۸ فاکتور (لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، اقلیم، ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی) و مدل تلفیقی WLC و ANP به شناسایی مناطق مستعد توسعه کارست در محدوده مطالعاتی پرداخته شده است. در مرحله دوم، با استفاده از مدل Paprika به شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در محدوده مطالعاتی پرداخته شده است. در مرحله سوم بر مبنای نتایج حاصله از دو مرحله اول، مناطقی که بیش‌تر در معرض آسیب قرار دارند، شناسایی شده است. ارزیابی نتایج حاصله از طریق مدل تلفیقی WLC و ANP بیانگر این است که مناطق مرکزی محدوده مطالعاتی با ۶۸/۶ کیلومترمربع، به دلیل نوع لیتولوژی، ارتفاع زیاد، نوع پوشش و میزان شیب، پتانسیل زیادی جهت توسعه منابع کارستیک دارد. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی میزان آسیب‌پذیری با استفاده از مدل Paprika نیز بیانگر این است که مناطق میانی محدوده با ۳۵/۳ کیلومترمربع، بیش‌ترین پتانسیل آسیب‌پذیری را دارد. در این تحقیق به منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر آلودگی، طبقات مستعد توسعه کارست که معرض آسیب‌پذیری خیلی زیادی قرار دارند، به عنوان مناطق آسیب‌پذیر شناسایی شده است که این مناطق دارای ۲۲/۷ کیلومترمربع وسعت هستند.

واژگان کلیدی: *کارست، آسیب پذیری، **Paprika**، خورین.*

---

* نویسنده مسئول: E-mail: safari2009@gmail.com

مقدمه

حساسیت بعضی از سنگ‌های رسوبی در برابر انحلال و اهمیت آن در ویژگی ناهمواری‌ها، موجب پیدایش اشکال خاصی است که کارست نامیده می‌شود (بوساک[1]، ۲۰۰۳: ۱). به منظور توسعه منابع کارستیک عوامل زیادی موثر هستند، روی هم‌رفته ۸ عنصر لازم برای ایجاد و توسعه کارست، شرایط اقلیمی، توپوگرافی، سنگ‌شناسی، ستبرای لایه‌های کربناته، کربن، دمای پایین، فشار و موقعیت زمین‌ساخت هستند (وایت[2]، 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[3]، ۱۹۸۹). تقریباً ۲۵ درصد از جمعیت جهان به‌ویژه در آسیا، مدیترانه و ایالات‌متحده آب مورد نیاز 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[4]، ۲۰۰۷: ۳۹۷)، وجود منابع کارستیک بسیار حائز اهمیت خواهد بود، در ایران نیز حدود ۱۱ درصد از وسعت کشور را مناطق کارستیک تشکیل داده است (افراسیابان، ۱۳۷۷) که نقش مهمی در تامین منابع آبی کشور دارند. منابع آب کارستیک، در کنار اهمیت و نقش بسزایی که در تامین منابع آبی دارند، پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی نیز دارند، که همین امر سبب شده است تا این منابع همیشه در معرض آلودگی باشند (مودرا و آندرو[5]، ۲۰۱۱: ۲۶۴). به دلیل اینکه منابع کارستیک، به عنوان اصلی‌ترین منابع تامین آب محسوب می‌شوند، ارزیابی میزان آسیب‌پذیری و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر بسیار حائز اهمیت می‌باشد (دسترنج و همکاران، ۱۳۹۶: ۲). با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش توده کارستی خورین در زاگرس مرتفع مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. در این تحقیق ابتدا با استفاده از مدل WLC و تحلیل شبکه‌ای (ANP)، مناطق مستعد توسعه کارست در منطقه ارزیابی خواهد شد و سپس وضعیت آسیب‌پذیری آن با استفاده از مدل Paprika بررسی خواهد شد.

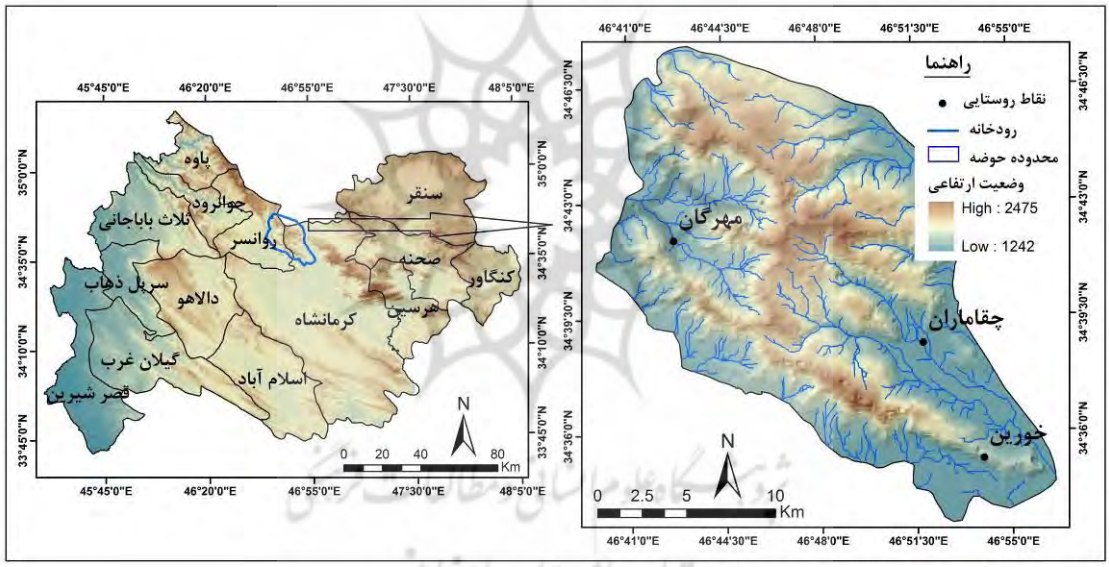
در مورد پتانسیل سنجی توسعه منابع کارستیک تحقیقات مختلفی صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به تیرلا و ویجولی[6] (۲۰۱۳) اشاره کرد که به مطالعه توسعه و تحول کارست آهک‌های ریفی ژوراسیک بالای متعلق به سازند مونت پیاترا پرداخته‌اند. یمانی و همکاران (۱۳۹۰) عوامل توسعه یافتگی کارست را در حوضه چله در جنوب استان کرمانشاه مورد بررسی قرار دادند. مددی و همتی (۱۳۹۴) به پهنه‌بندی قابلیت کارستی‌زایی در منطقه نمک آبرود شهرستان چالوس پرداختند. مزیدی و همکاران (۱۳۹۵) به پتانسیل سنجی مناطق مستعد توسعه کارست در حوضه دشت سوسن و دشت ایذه پرداختند. صفاری و همکاران (۱۳۹۷) به شناسایی مناطق مستعد توسعه کارست در حوضه قره سو پرداختند. کیانی و فتح الله‌زاده (۱۳۹۸) به پهنه بندی و شناسایی آبخوان‌های کارستی در منطقه اشتران کوه پرداختند. در مورد آسیب‌پذیری منابع آب کارستیک نیز کیروس و ژائو[7] (۲۰۰۶) در اتیوپی، داسی[8] در ایتالیا (۲۰۰۷) و راوبار[9] (۲۰۰۸) در اسلوونی تحقیقاتی را در مورد مناطق آسیب پذیری انجام داده‌اند. همچنین در ایران نیز اسکانی‌کزازی و رنجبر (۱۳۹۰) به بررسی منابع آب کارست شهرستان ایذه و مدیریت آن پرداختند. رضایی و همکاران (۱۳۹۵) نیز آلودگی منابع آب کارستی، چالش‌ها و راهکارهای

1. Bosak
2 . White
3 . Ford & Wiliams
4 . Ford & Williams
5 . Mudarra & Andreo
6 . Tirla & Vijulie,
7 . Kiros and Zhou
8 . Ducci
9 . Ravbar

پیش‌روی آن را مورد مطالعه قرار داده‌اند. با توجه به موارد مذکور، هدف از تحقیق حاضر پتانسیل سنجی مناطق مستعد توسعه کارست در توده کارستیک خورین و همچنین شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر آلودگی می‌باشد.

محدوده مطالعاتی

توده کوهستانی خورین در ۳۶ کیلومتری شمال غرب شهر کرمانشاه واقع شده و دسترسی به آن از طریق جاده کرمانشاه–کامیاران امکان‌پذیر می‌باشد و از نظر تقسیمات سیاسی بین شهرستان‌های کرمانشاه، روانسر و کامیاران قرار دارد، به طوری که در شرق و جنوب شرقی آن، شهرستان کرمانشاه، در نیمه غربی آن شهرستان روانسر و در قسمت شمال شرقی آن، شهرستان کامیاران قرار دارد. از نظر ژئومورفولوژی، چشم‌انداز عمده منطقه را واحد کوهستان در برگرفته است که از طرف به واحد دشت منتهی می‌شود. این توده از نظر پهنه‌های رسوبی–ساختاری در محدوده زاگرس چین خورده قرار دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳) و به دلیل وجود گسل‌های اصلی و فرعی فراوان یک منطقه تکتونیزه محسوب می‌شود. محدوده مطالعاتی از نظر آب و هوایی نیز با توجه به قرارگیری در مسیر بادهای غربی داری بارش قابل توجهی است (صفاری و همکاران، ۱۳۹۷: ۹۸).



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر از اطلاعات و ابزارهایی استفاده شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM (به منظور تهیه لایه های ارتفاع، شیب، جهت شیب و رودخانه)، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ (به منظور بررسی وضعیت توپوگرافی منطقه) و نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (بررسی وضعیت زمین شناسی منطقه) اشاره کرد. ابزارها مورد استفاده در تحقیق نیز شامل ARCGIS (به منظور تهیه نقشه های نهایی و خروجی گرفتن) و IDRISI (به منظور اجرای مدل WLC) می‌باشد. تجزیه و تحلیل اطلاعات در این تحقیق در ۳ مرحله انجام شده است. در مرحله اول با استفاده از مدل تلفیقی WLC و ANP مناطق مستعد توسعه کارست شناسایی شده است، در مرحله دوم با استفاده از مدل Paprika مناطق آسیب‌پذیر در برابر آلودگی شناسایی شده است. در مرحله سوم بر مبنای نتایج حاصله از مرحله اول و مرحله دوم، مناطق آسیب‌پذیر شناسایی شده است. در ادامه به تشریح مراحل کار پرداخته شده است:

-مرحله اول (شناسایی مناطق مستعد توسعه کارست): در این مرحله به منظور شناسایی مناطق مستعد توسعه کارست از ۸ پارامتر (لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع و اقلیم) استفاده شده است. پس تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر، با استفاده از تحلیل شبکه‌ای (ANP) و نظر کارشناسان به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شده است. پس وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، لایه‌های اطلاعاتی در محیط ARCGIS استانداردسازی شده و سپس به منظور اجرای مدل WLC وارد نرم‌افزار IDRISI شده است. پس از وارد کردن لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار IDRISI، وزن بدست آمده از طریق مدل ANP بر روی لایه‌ها اعمال شده است و در نهایت لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از مدل WLC با هم تلفیق و ترکیب شده و نقشه نهایی مناطق مستعد توسعه کارست در ۵ کلاس تهیه شده است.

-مرحله دوم (شناسایی مناطق آسیب‌پذیر با استفاده از مدل Paprika): در این تحقیق به منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر از روش Paprika استفاده شده است. روش Paprika معرفی شده توسط کاووری[۱] و همکاران (۲۰۱۱)، روشی برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و مشتق شده از روش‌های قبلی است که هریک از این روش‌ها دارای نواقصی بوده‌اند. این روش مختص آبخوان‌های کارستی است. این روش به ساختار و عملکرد آبخوان توجه دارد. در این روش ایجاد لایه‌های مورد نظر با توجه وزن‌هایی که دارند در مدل دخیل می‌باشند. روش Paprika ویژگی‌های کارست را در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان در نظر می‌گیرد که این خصوصیات شامل: P عامل لایه‌های بالایی محافظ آب‌های زیر زمینی، R نوع سنگ در زون اشباع، I نفوذ سطحی و Ka ویژگی‌های کارست می‌باشد. فاکتور P از چهار عامل شامل تراوایی سازند (Ca)، پوشش خاک (S)، زون اپی‌کارست (E)، و ترکیبی از جنس سازند، ضخامت و شکستگی در زون غیراشباع تشکیل شده است. در فاکتور R نوع سنگ، لیتولوژی و میزان شکستگی در زون اشباع مورد توجه است. در فاکتور I نفوذ سطحی می‌باشد و بیانگر تمرکز انتشار نفوذ سطحی و میزان شیب است. در فاکتور Ka توسعه کارست شدگی، تعیین کننده ظرفیت زهکشی و شبکه مجاری کارست است که بر پایه آنالیز هیدروگراف و یا آزمون ردیاب‌های مصنوعی قرار دارد (کاووری و همکاران، ۲۰۱۱). در رابطه ۲، روش Paprika و ضریب‌های اعمالی آن نشان داده شده است:

$$\text{Paprika Index} = 0.2\,P + 0.2\,R + 0.4\,I + 0.2\,ka$$

رابطه ۲: روش Paprika

-مرحله سوم (شناسایی مناطق آسیب‌پذیر): در این تحقیق ابتدا مناطق مستعد توسعه کارست و سپس مناطق آسیب‌پذیر شناسایی شده است. پس از انجام دو مرحله اول، مناطقی که هم دارای پتانسیل زیادی جهت توسعه کارست و هم پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی دارند، به عنوان مناطق حساس و آسیب‌پذیر معرفی شده‌اند.

بحث و نتایج

-شناسایی مناطق مستعد توسعه کارست: در این تحقیق به منظور پهنه بندی مناطق مستعد توسعه کارست، از ۸ پارامتر استفاده شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

پارامترهای هیدرواقلیمی: یکی از مهم‌ترین پارامترها در توسعه منابع کارستیک، پارامترهای هیدرواقلیمی هستند. در این تحقیق از ۲ پارامتر طبقات اقلیمی و فاصله از رودخانه به عنوان پارامترهای هیدرواقلیمی استفاده شده است. نوع اقلیم تعیین کننده میزان رطوب و بارش خواهد بود که از عوامل اصلی توسعه کارست محسوب می‌شود و مناطق مرطوب پتانسیل زیادی جهت توسعه منابع کارستیک دارند. همچنین فاصله از رودخانه نیز به عنوان یکی دیگر از عوامل موثر در توسعه

۱. Kavouri

کارست محسوب می‌شود و در مناطق نزدیک به رودخانه به دلیل رطوب بیش‌تری که دارد، امکان توسعه منابع کارستیک بیش‌تر است.

پارامترهای زمین شناسی: در این تحقیق از ۲ پارامتر لیتولوژی و فاصله از خطوط گسلی استفاده شده است. توسعه منابع کارستیک قبل از هر چیزی به نوع لیتولوژی مناطق وابسته است و مناطقی که دارای سازندهای کربناته هستند، پتانسیل توسعه بیش‌تری دارند. با توجه به اینکه بخش زیادی از توده خورین را سازندهای آهکی دربرگرفته است، این سازندها پتانسیل زیادی جهت توسعه منابع کارستیک دارند. همچنین درز و شکاف‌ها نیز به عنوان عوامل مهم در توسعه مناطق کارستیک محسوب می‌شوند. میزان نفوذ آب در مناطقی که دارای درز و شکاف بیش‌تری است بسیار بیش‌تر از سایر مناطق است و به دلیل افزایش نفوذ و سطح تماس آب، میزان انحلال در این مناطق بیش‌تر از سایر نواحی است، به همین نزدیکی به خطوط گسل دارای اهمیت زیادی است.

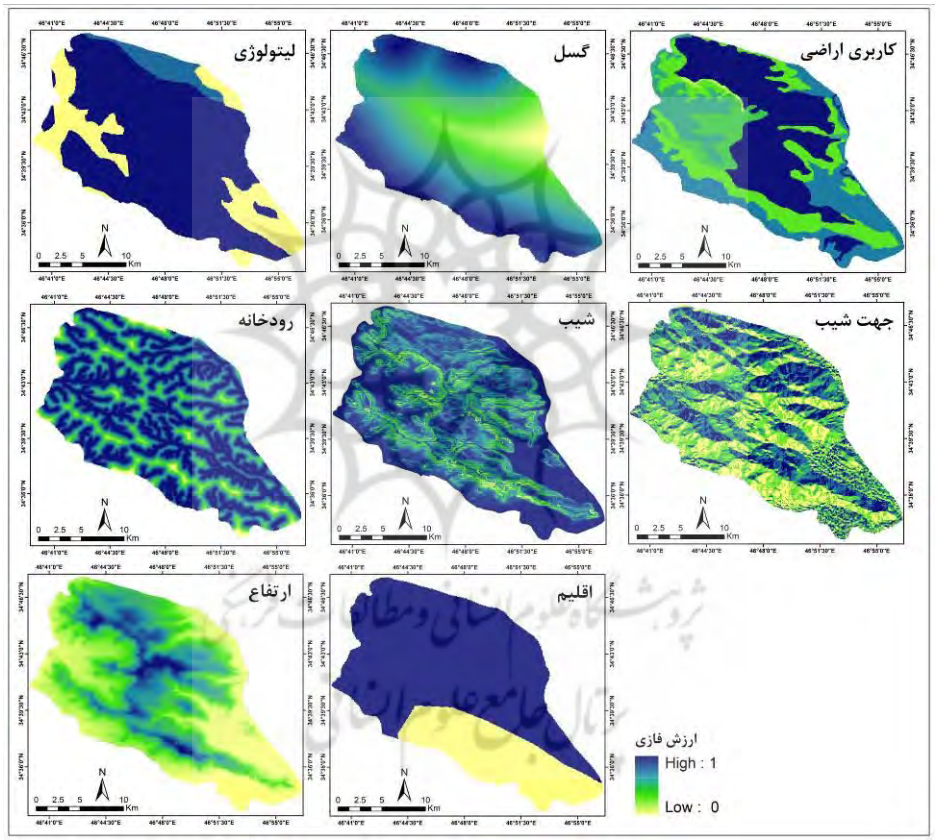
پارامترهای ژئومورفولوژی: پارامترهای ژئومورفولوژی شیب، جهت شیب و ارتفاع نقش مهمی در توسعه منابع کارستیک دارند. محدوده مطالعاتی بین ارتفاع ۱۲۴۲ تا ۲۴۷۵ متر از سطح دریا قرار دارد. با توجه به اختلاف ارتفاع زیادی که وجود دارد، بین مناطق مرتفع با مناطق پست اختلاف زیادی از نظر میزان و نوع بارش و همچنین میزان رطوبت وجود دارد و مناطق مرتفع دارای رطوبت بیش‌تری هستند، بنابراین این مناطق پتانسیل توسعه کارست بیش‌تری دارند. میزان شیب نیز تاثیر مستقیم در میزان نفوذ آب دارد، در واقع، در مناطقی که شیب کم‌تری وجود دارد، آب فرصت بیش‌تری برای نفوذ و انحلال دارد، بنابراین مناطق کم شیب نسبت به مناطق پرشیب پتانسیل توسعه کارست بیش‌تری دارند. همچنین با توجه به اینکه در جهات شمالی میزان تبخیر کم‌تر است، این جهات رطوبت بیش‌تری نسبت به جهات جنوبی دارند، بنابراین پتانسیل توسعه منابع کارستیک در جهات بیش‌تر است.

کاربری اراضی: 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. با توجه به موارد مذکور، پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی بر اساس جدول ۱، لایه‌های اطلاعاتی استانداردسازی شده که در شکل ۲ نقشه استانداردسازی شده آن‌ها نشان داده شده است.

جدول ۱: نحوه استاندارد سازی لایه‌های اطلاعاتی

پارامتر	طبقات	نحوه استانداردسازی (فازی سازی) و امتیاز
اقلیم	نیمه مرطوب	/۷
	مدیترانه‌ای	/۳
رودخانه	–	به مناطق نزدیک به رودخانه امتیاز نزدیک به ۱ و به مناطق دورتر امتیاز نزدیک به صفر داده شده است.
لیتولوژی	مواد آبرفتی	/۳
	آهک و مارن	/۵
	آهک	/۹
گسل	–	به مناطق نزدیک به خطوط گسل امتیاز نزدیک به ۱ و به مناطق دورتر امتیاز نزدیک به صفر داده شده است.
ارتفاع	–	به مناطق دارای ارتفاع بیش‌تر امتیاز نزدیک به ۱ و به مناطق کم ارتفاع‌تر امتیاز نزدیک به صفر داده شده است.
شیب	–	به مناطق دارای شیب کم‌تر امتیاز نزدیک به ۱ و به مناطق با شیب بیش‌تر امتیاز نزدیک به صفر داده شده است.

جهت شیب	–	به مناطق دارای جهات شمالی امتیاز نزدیک به ۱ و به مناطق دارای شیب جنوبی امتیاز نزدیک به صفر داده –شده است.
کاربری اراضی	نواحی سکونتگاهی	/۲
	صخره	/۳
	مراتع فقیر	/۴
	مراتع متوسط	/۶
	ترکیب کشاورزی و مراتع	/۸
	مراتع مرغوب	/۹

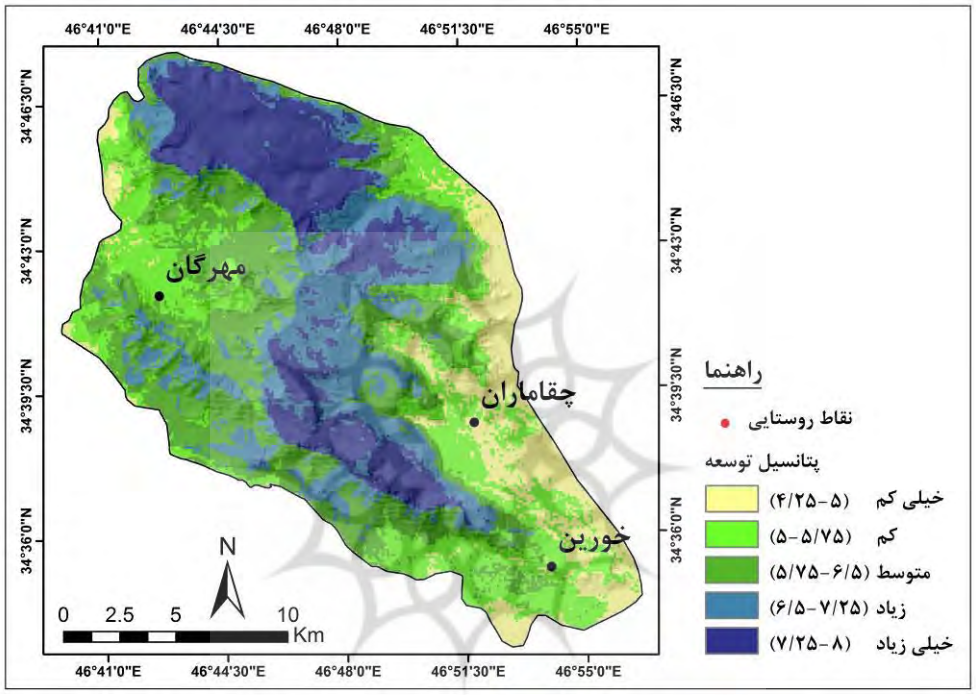


شکل ۲: نقشه استانداردسازی شده (فازی شده) لایه‌های اطلاعاتی

–وزن‌دهی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی: با توجه به اینکه ارزش و اهمیت لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده یکسان نیست، در این تحقیق به منظور ارزش‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است (جدول ۲). پس از ارزش‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی، وزن بدست آمده بر روی لایه‌های اطلاعاتی اعمال شده است و در نهایت در محیط IDRISI، لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از مدل WLC با هم ترکیب شده و نقشه نهایی حاصل شده است (شکل ۳) که بر اساس آن مناطق میانی محدوده مطالعاتی دارای بیش‌ترین پتانسیل توسعه هستند و به سمت اطراف از میزان آن کاسته می‌شود.

جدول ۲: وزن لایه‌های اطلاعاتی بر اساس مدل ANP

لایه	اقلیم	فاصله از رودخانه	لیتولوژی	فاصله از گسل	ارتفاع	شیب	جهت شیب	کاربری اراضی
وزن	/۱۷۹	۰/۰۸۴	۰/۲۵۵	۰/۰۹۶	۰/۱۷۰	۰/۱۰۲	۰/۰۶۳	۰/۰۵۱



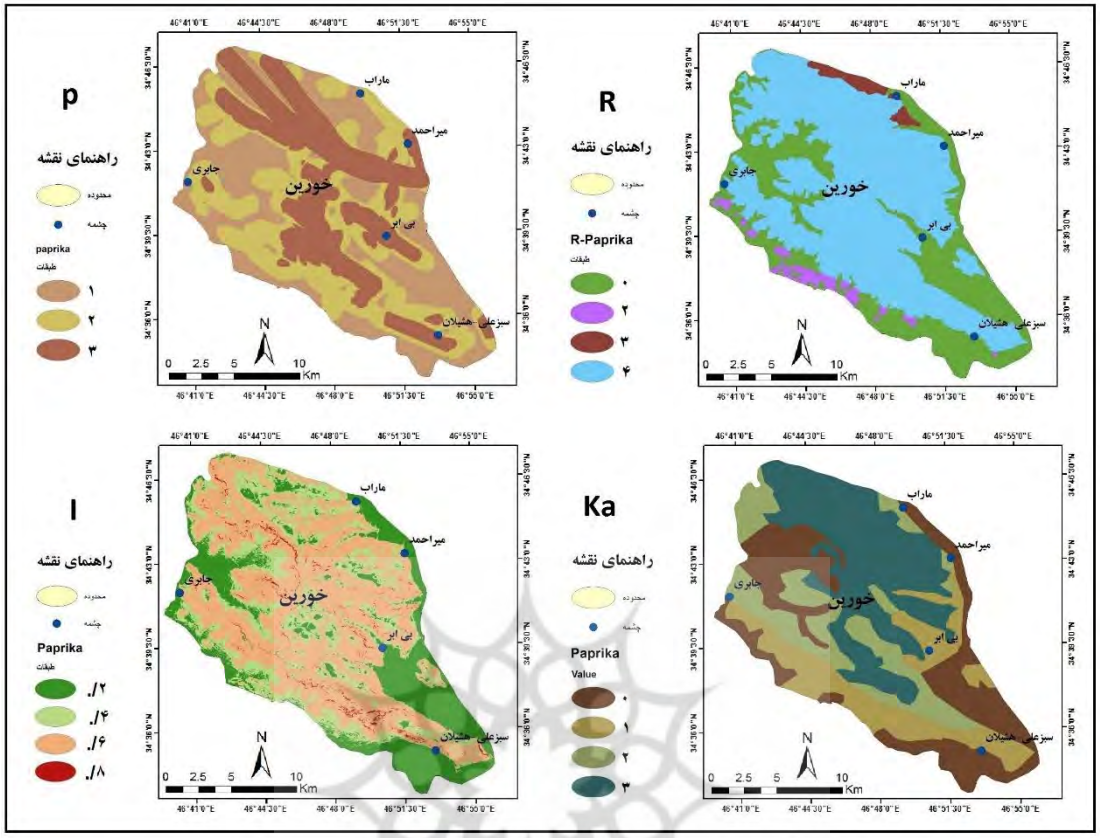
شکل ۳: نقشه مناطق مستعد توسعه کارست در محدوده مطالعاتی

-شناسایی مناطق آسیب‌پذیر با استفاده از روش Paprika: روش Paprika به ساختار و عملکرد آبخوان توجه دارد. در این رابطه P لایه‌های بالایی محافظ آب‌های زیرزمینی، R نوع سنگ در زون اشباع، I نفوذ سطحی و Ka ویژگی‌های کارست می‌باشد. فاکتور P در برگیرنده نفوذپذیری سازندها، لیتولوژی و شاخص اپی کارست می‌باشد. این چند زیرفاکتور در نهایت توده کارستی خورین را به ۳ بخش تفکیک می‌نمایند. تاثیر کم بر روی آسیب‌پذیری مقدار عددی ۱، تاثیر متوسط بر روی آسیب‌پذیری عدد ۲ و تاثیر بالای آسیب‌پذیری و دارای شکستگی همراه با بخش‌هایی از کارست توسعه یافته مقدار عددی ۳ را به خود می‌گیرد (جدول ۳). فاکتور R تاثیر میزان آسیب‌پذیری را بر روی سازندهای مارنی، آهکی، دولومیتی و میزان کارستی شدن را در محدوده مورد نظر طبقه بندی می‌نماید. کم‌ترین تاثیر بر روی آسیب‌پذیری مواد آبرفتی عددی صفر، تاثیر متوسط بر روی آسیب‌پذیری سنگ آهک مارنی عدد ۲، تاثیر بالای آسیب‌پذیری دولومیتی یا سنگ آهک‌های توده‌ای عدد ۳ و مناطقی که دارای شکستگی همراه با بخش‌هایی از کارست توسعه یافته هستند، مقدار عددی ۴ را به خود می‌گیرد. فاکتور I با توجه به شرایط نفوذ در توده کارستی خورین محدوده را به ۴ کلاس طبقه‌بندی می‌نماید. کلاس اول که به صورت رگه‌های قرمز رنگ در نقشه مشاهده می‌شوند، دارای مقدار عددی ۰/۸ می‌باشد که قسمت‌های بسیار کمی از محدوده را در برگرفته و بیانگر وجود حفره‌هایی است که پتانسیل بالای نفوذپذیری و آلودگی دارد. کلاس بعدی دارای میزان درزه و شکاف و همچنین حفره‌های سطحی است و ارزش عددی ۰/۶ را دارد. کلاس بعدی

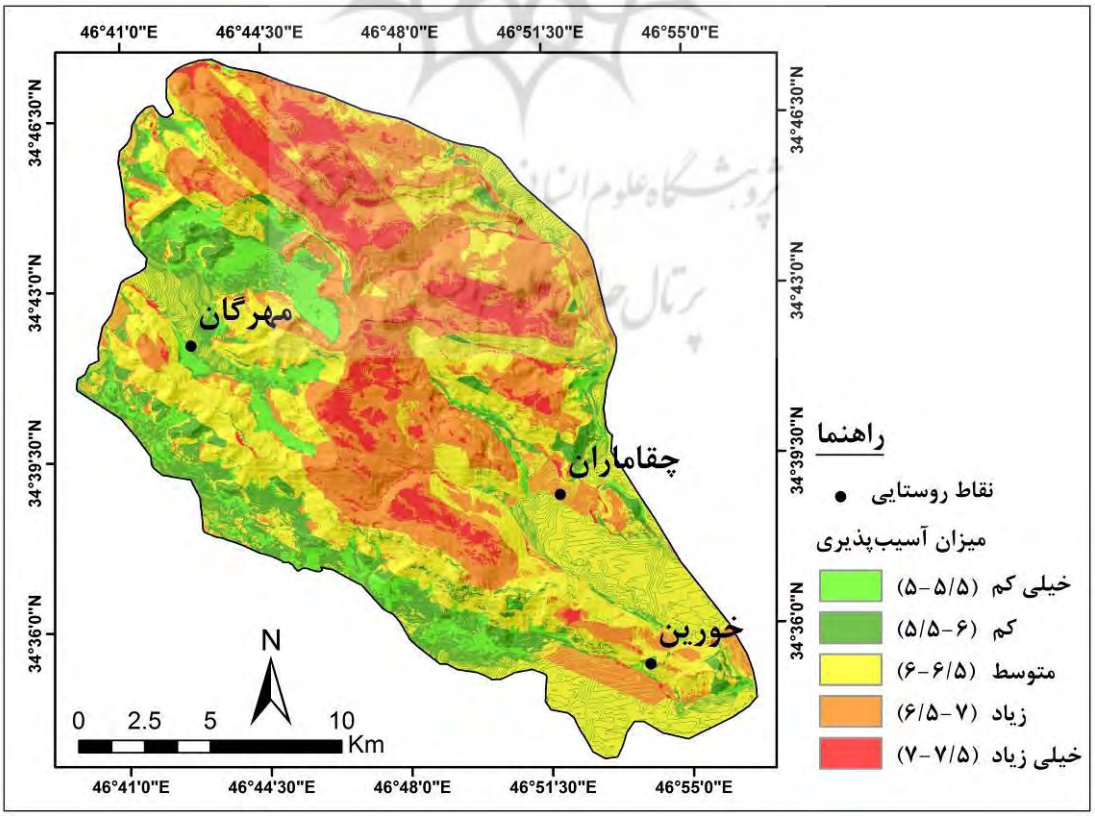
دارای درزه شکاف‌های متوسطی است و دارای ارزش عددی ۰/۴ و همچنین کلاس اخری نیز به دلیل نداشتن سیستم درزه و شکاف و همچنین فروچاله‌ها، دارای ارزش عددی ۰/۲ است. فاکتور Ka حوضه آبریز با مساحت کم‌تر از ۱۰ کیلومترمربع و متوسط تخلیه سالانه کم که در آن سیستم کارست با یک رفتار هیدرولیکی و قابلیت کم وجود دارد و جریان سریع آب‌های زیرزمینی در این زیرگروه مشاهده نمی‌شود و مقدار عددی صفر را به خود اختصاص می‌دهد. حوضه آبریز با مساحت بیش‌تر از ۱۰ کیلومترمربع عدد ۲ و حوضه آبریز با مساحت بیش‌تر از ۱۰ کیلومترمربع به همراه کارست توسعه یافته و حوضه آبریز با مساحت کم‌تر یا بیش‌تر از ۱۰ کیلومتر مربع که دارای سیستم کارست با تلفات آب و شبکه زهکشی زیرزمینی که مجراهای بزرگی دارد و در سطح کاملا قابل رویت می‌باشد مقدار عددی ۳ را دارد (شکل ۴). بعد از تلفیق لایه‌های مذکور، در نهایت نقشه آسیب‌پذیری با استفاده از روش Paprika در توده کارستی خوردین در ۵ کلاس تهیه شده است (شکل ۵). نتایج حاصله بیانگر این است که پتانسیل آلودگی در قسمت‌های مرکزی زیادتر از اطراف توده کارستی می‌باشد و هرچه از مرکز به حاشیه می‌رویم مقدار آلودگی و آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد.

جدول ۳: شاخص‌های مورد استفاده در مدل Paprika

فاکتور P		**فاکتور R**	
شاخص	امتیاز	شاخص	امتیاز
لیتولوژی با نفوذپذیری کم و بدون درزه و شکاف	۱	مواد آبرفتی	۰
لیتولوژی با نفوذپذیری کم ولی دارای درزه و شکاف	۲	آهک و مارن	۲
لیتولوژی نفوذپذیر و دارای درزه و شکاف	۳	آهک	۳
–	–	آهک به همراه درزه و شکاف زیاد	۴
فاکتور I		**فاکتور Ka**	
شاخص	امتیاز	شاخص	امتیاز
نبود فروچاله و درزه و شکاف توسعه یافته	/۲	حوضه آبریز با مساحت کم‌تر از ۱۰ کیلومتر	۰
دارای درزه و شکاف	/۴	حوضه آبریز با مساحت بیش از ۱۰ کیلومتر	۱
دارای فروچاله‌های پراکنده و درز و شکاف	۰/۶	حوضه آبریز با مساحت بیش از ۱۰ کیلومتر و دارای مجرای آب سطحی و زیرزمینی	۲
وجود فروچاله، حفره و درزه و شکاف توسعه یافته	/۸	حوضه آبریز توسعه یافته و با مساحت بیش از ۱۰ کیلومتر	۳



شکل ۴: نقشه فاکتورهای مورد استفاده در روش Paprika

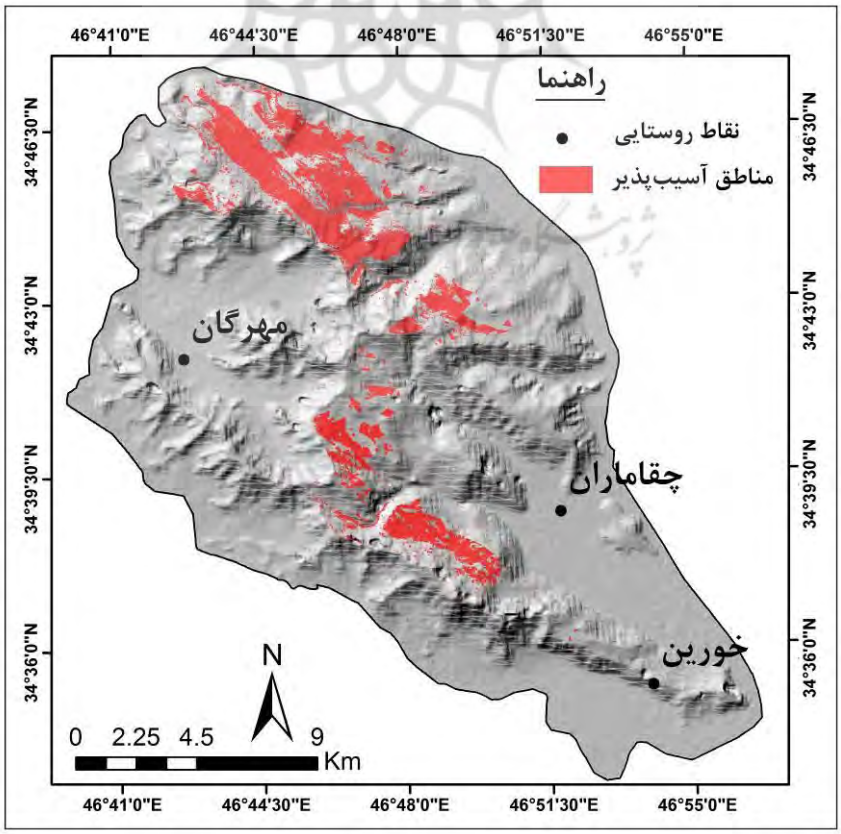


شکل ۵: نتایج حاصله از مدل Paprika

-**تحلیل نتایج:** ارزیابی نتایج حاصله از طریق مدل تلفیقی WLC و ANP بیانگر این است که مناطق مرکزی محدوده مطالعاتی به دلیل نوع لیتولوژی، ارتفاع زیاد، نوع پوشش و میزان شیب، پتانسیل زیادی جهت توسعه منابع کارستیک دارد. نتیجه مقایسه مکانی مناطق مستعد توسعه کارست و همچنین مناطق در معرض آلودگی بیانگر این است که مناطق مرکزی در کنار پتانسیل بالایی که جهت توسعه منابع کارستیک دارد، بر اساس نتایج بدست آمده از طریق مدل Paprika، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی نیز هستند. در واقع با توجه به اینکه این مناطق از نظر معیارهای مورد استفاده در مدل Paprika، دارای امتیاز بالایی هستند، بنابراین به عنوان مناطق مستعد آلودگی نیز محسوب می‌شوند. بر این اساس، در این تحقیق به منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر آلودگی، طبقات مستعد توسعه کارست که معرض آسیب‌پذیری خیلی زیادی قرار دارند، به عنوان مناطق آسیب‌پذیر شناسایی شده است (شکل ۶). ارزیابی مساحت طبقات بیانگر این است که طبقه آسیب‌پذیر بر اساس مدل Pabrika دارای ۳۵/۳ کیلومترمربع وسعت، طبقه دارای پتانسیل خیلی زیاد جهت توسعه کارست ۶۸/۶ کیلومترمربع وسعت و همچنین مناطقی که دارای پتانسیل خیلی زیاد جهت توسعه کارست و آسیب پذیر بر اساس مدل Pabrika هستند، دارای ۲۲/۷ کیلومترمربع وسعت هستند (جدول ۲).

جدول ۲: مساحت طبقات مستعد توسعه و آسیب‌پذیر (کیلومترمربع)

طبقات	آسیب پذیر بر اساس مدل Pabrika	دارای پتانسیل خیلی زیاد جهت توسعه کارست	دارای پتانسیل خیلی زیاد جهت توسعه کارست و آسیب پذیر بر اساس مدل Pabrika
مساحت	۳۵/۳	۶۸/۶	۲۲/۷



شکل ۶: نقشه مناطق دارای پتانسیل خیلی زیاد جهت توسعه کارست و آسیب پذیر بر اساس مدل Pabrika

نتیجه‌گیری

مناطق کارستیک به دلیل تامین منابع آبی، دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. یکی از مسائلی که در مورد منابع کارستیک مطرح است، آسیب‌پذیر بودن این منابع در برابر آلودگی است. در مورد توسعه منابع کارستیک و همچنین آسیب‌پذیر بودن آن‌ها، تحقیقات مختلفی انجام شده است که بیش‌تر این تحقیقات یا توسعه مناطق کارستیک و یا آسیب‌پذیر بودن آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داده اند، اما در این تحقیق ابتدا با استفاده از مدل تلفیقی WLC و ANP، مناطق مستعد توسعه کارست شناسایی شده است و سپس مناطق آسیب‌پذیر نیز با استفاده از مدل Paprika شناسایی شده و در نهایت نتایج حاصله تحلیل شده است. نتایج از حاصل از مدل تلفیقی WLC و ANP در ۵ کلاس طبقه بندی شده است. ارزیابی نتایج بیانگر این است که بخش زیادی از محدوده مطالعاتی، پتانسیل زیادی جهت توسعه منابع کارستیک دارد، به طوری که ۶۸/۳ کیلومترمربع از محدوده مطالعاتی در طبقه پتانسیل خیلی زیاد جهت توسعه منابع کارستیک قرار دارد. بررسی نقشه پهنه‌بندی شده بیانگر این است که مناطق مرکزی محدوده مطالعاتی، واقع در ارتفاعات توده کوهستانی خورین، دارای پتانسیل زیادی جهت توسعه منابع کارستیک هستند. در واقع، این مناطق به دلیل دارا بودن لیتولوژی مناسب، ارتفاع زیاد و شیب کم و همچنین نوع پوشش مناسب، پتانسیل زیادی جهت توسعه منابع کارستیک دارد. همچنین از مرکز به سمت پیرامون توده کوهستانی خورین، پتانسیل توسعه منابع کارستیک به دلیل کاهش ارتفاع، تغییر در نوع لیتولوژی و پوشش کم تراکم، کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از ارزیابی مناطق آسیب‌پذیر با استفاده از مدل Paprika بیانگر این است که پتانسیل آلودگی در قسمت‌های مرکزی زیادتر از اطراف توده کارستی می‌باشد و هرچه از مرکز به حاشیه می‌رویم مقدار آلودگی و آسیب-پذیری کاهش می‌یابد. در این تحقیق به منظور شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر آلودگی، طبقات مستعد توسعه کارست که معرض آسیب‌پذیری خیلی زیادی قرار دارند، به عنوان مناطق آسیب‌پذیر شناسایی شده است. ارزیابی مساحت طبقات بیانگر این است که طبقه آسیب‌پذیر بر اساس مدل Pabrika دارای ۳۵/۳ کیلومترمربع وسعت، طبقه دارای پتانسیل خیلی زیاد جهت توسعه کارست ۶۸/۶ کیلومترمربع وسعت و همچنین مناطقی که دارای پتانسیل خیلی زیاد جهت توسعه کارست و آسیب پذیر بر اساس مدل Pabrika هستند، دارای ۲۲/۷ کیلومترمربع وسعت هستند

منابع

- اسکانی‌کزازی، غلامحسین؛ رنجبر، محسن، ۱۳۹۰، بررسی منابع آب کارست شهرستان ایذه و مدیریت آن، فصلنامه مطالعات مدیریت شهری، دوره ۳، شماره ۸، صص ۸۳-۶۹
- افراسیابیان، احمد، ۱۳۷۷، اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران، مجموعه مقالات دومین همایش جهانی منابع آب در سازندهای کارستی، (تهران-کرمانشاه)، صص۱۲۶-۱۳۷
- آقانباتی، علی، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه
- دسترنج، علی؛ نوحه‌گر، احمد؛ ملکیان، آرش؛ غلامی، حمید؛ جعفری‌اقدام، مریم، ۱۳۹۶، ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان کارستی دالاهو، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ۸، شماره ۲، صص ۱۶-۱
- رضایی، حسین؛ فتح‌الله‌زاده عطار، نسرین؛ خانی‌تملیه، ذبیح‌الله، ۱۳۹۵، آلودگی منابع آب کارستی چالش‌ها و راهکارها، سومین همایش و نمایشگاه محیط زیست و بحران‌های پیش‌رو، تهران
- صفاری، امیر؛ گنجائیان، حمید؛ حیدری، زهرا؛ فریدونی کردستانی، مژده، ۱۳۹۷، تعیین مناطق کارست توسعه یافته با استفاده از مدل‌های منطق فازی و OWA در حوضه قره‌سو، دوره ۴، شماره ۱۵، صص ۱۱۴-۹۵

- کیانی، طیبه؛ فتح الله‌زاده، محمد، ۱۳۹۸، پهنه‌بندی و شناسایی آبخوان‌های کارستی در منطقه اشتران کوه، سال ۱۹، شماره ۵۲، صص ۳۴-۲۱
- مددی، عقیل؛ همتی، طاهر، ۱۳۹۴، پهنه‌بندی قابلیت کارست زایی با استفاده از مدل منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه نمک آبرود شهرستان چالوس)، دو فصلنامه ژئومورفولوژی کاربردی ایران، سال ۳، شماره ۵، صص ۱۰۲-۸۹
- مزیدی، احمد؛ کرم، امیر؛ کوراوندبردپاره، مژگان، ۱۳۹۵، پتانسیل یابی توسعه کارست با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه دشت سوسن و دشت ایذه)، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۵، شماره ۲، صص ۱۴۱-۱۳۰
- 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، سال ۲۲، شماره ۸۸، صص ۶۶-۵۷
- *Bosak, P., 2003. Karst Processes from the Beginning to the End: How Can They be Dated? Speleogenesis and Evolution of Karst Aqufers, 1 (3): 1-4*
- *Ducci, D., 2007. Intrinsic vulnerability of the Alburni karst system (southern Italy). Geological Society, London, Special Publications, 279(1), 137-151.*
- *Ford, D. C., Williams, S., 1989. Karst geomorphology and hydrology. 6.1pp.*
- *Ford, D.C., Williams, P.W., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology, Wiley, Chichester, 562 pp.*
- *Kavouri, K., Planes, V.g., Tremoulet, J., Dorfliger, N., Rejiba, F., Marchet., 2011. PaPRIKa: amethod for estimating karst resource and source vulnerability_application to the method (CoP and PAPRIKA) for groundwater vulnerability mapping in Mediterranean karst aquifers, 65: 2407-242*
- *Kiros, M., Zhou, Y., 2006. GIS-based vulnerability assessment and mapping for the protection of the Dire Dawa groundwater basin, Ethiopia, 34th Congress of international association of hydrogeologists, Beijing, P.R. China*
- *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*
- *Ravbar, N., 2007. The Protection of Karst Waters, a Comprehensive Slovene Approach to Vulnerability and Contamination Risk Mapping, ZRC Publishing Ljubljana, pp. 254*
- *Tirla, L., Vijulie, I., 2013. Structural–tectonic controls and geomorphology of the karst corridors in alpine limestone ridges: Southern Carpathians, Romania. Geomorphology Journal, Vol.197, pp. 123–136.*
- *White, W. B., 1988. Geomorphology and Hydrology of karst ،Oxford University press. Quinlan, j, Groundwater monitoring in karst terrains, EPA. 600/ x.*