هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۵، تابستان ۱۳۹۷، صص ۱۱۴-۹۵

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۷ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۲۲

تعیین مناطق کارست توسعه‌یافته با استفاده از مدل‌های منطق فازی و OWA در حوضه‌ی قره‌سو

امیر صفاری[۱]

حمید گنجائیان[۲*]

زهرا حیدری[۳]

مژده فریدونی کردستانی[۴]

چکیده

در ایران آب بسیاری از شهرها خصوصاً مناطق غربی از طریق منابع کارست تأمین می‌شود. بر این اساس در تحقیق حاضر به ارزیابی توسعه فرایندها و آبخوان‌های کارستیک در حوضه‌ی قره‌سو پرداخته شده است. این تحقیق مبتنی بر روش‌های میدانی، ابزاری و کتابخانه‌ای است که به منظور تعیین مناطق کارستیک توسعه‌یافته در حوضه‌ی قره‌سو از ۸ عامل: سنگ‌شناسی، گسل، شیب توپوگرافی، جهت‌شیب، ارتفاع، رودخانه، بارش و اقلیم (دما و رطوبت) استفاده شده است. برای این منظور ابتدا با استفاده از روش نرم‌افزاری (ARC GIS و IDRISI) اقدام به تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی شده است. پس از تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی، این لایه‌ها بر اساس نظر کارشناسان وزن‌دهی و سپس با استفاده از مدل ANP استانداردسازی شده‌اند، سپس با استفاده از دو مدل منطق فازی و میانگین گیری وزن‌دار ترتیبی نقشه‌هایی نهایی حاصل شده است. بر پایه نتایج حاصل از عوامل موثر در توسعه یافتگی کارست، حوضه‌ی مورد مطالعه از نظر میزان توسعه‌یافتگی به ۵ طبقه‌ی زیاد، نسبتاً زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم شده

۱- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول). E-mail:h.ganjaeian@ut.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه، تهران، ایران.

۴- کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

است. با توجه به اینکه در روش منطق فازی و میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) اختلاف‌هایی در تلفیق و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی وجود دارد، نتایج نهایی دارای اختلافاتی از نظر وسعت طبقات هستند به طوری که در روش OWA به دلیل این‌که تعدیل بیش‌تری صورت می‌گیرد اختلاف طبقات کم‌تر از روش منطق فازی است اما روند کلی میزان توسعه یافتگی در هر دو روش تقریباً منطبق بر هم است و میزان توسعه‌یافتگی از شمال و شمال شرق به سمت جنوب و جنوب غرب کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: حوضه‌ی قره‌سو، مدل فازی، مدل OWA، مدل ANP.

مقدمه

پهنه‌های کارستی از جنبه‌های مختلف اهمیت دارند، این مناطق نقش مهمی در تأمین و تغذیه‌ی آبخوان‌ها دارند. آبخوان‌های کارستی از نظر توسعه‌ی کارست دارای ناهمگنی زیاد و گسترش فضایی گوناگون هستند و ژئومورفولوژی کارست با تعیین نوع و میزان تغذیه، واکنش آبخوان‌ها را در برابر بارش کنترل می‌کند، این مخازن آب هم از نظر کمی و هم از نظر کیفی عموماً مطلوب‌اند و به مصرف شرب می‌رسند (برایاخ و فدوسی[1]، ۲۰۱۱).

این موضوع برای کشور ایران که از یک‌سو به دلیل شرایط اقلیمی از منابع آب کافی برخوردار نیست و از سوی دیگر به دلیل اینکه فقط ۱۱ درصد از مساحت آن را سازندهای کارستیک می‌پوشاند اهمیت زیادی دارد (فلوریا[2]، ۲۰۰۵). بسیاری از مناطق و شهرها به منابع آب کارست وابسته هستند (فورد و ویلیامز، ۲۰۰۷) همین امر موجب شده تا به شناسایی و پهنه‌بندی مناطق کارستیک پرداخته شود. حوضه‌ی قره‌سو در بخش رورانده و چین‌خورده‌ی زاگرس قرار دارد. بخش قابل توجهی از این حوضه از سازندهای سخت کربناته تشکیل شده است که تحت فازهای زمین‌ساختی مختلفی

1- Baryakh & fedoseev
2- Florea

شکل گرفته‌اند به همین دلیل شرایط مناسبی از نظر زمین‌ساختی و سنگ‌شناسی برای توسعه و تکامل فرایند کارست فراهم شده است که همین امر سبب شده تا پژوهش در این زمینه ضروری باشد. بر این اساس در پژوهش حاضر با استفاده از مدل‌های روش میانگین‌گیری وزن‌دار و منطق فازی و همچنین مدل تحلیلی شبکه‌ای (ANP) به بررسی و ارزیابی توسعه فرایندهای و آبخوان‌های کارستیک در حوضه‌ی قره‌سو پرداخته شده است.

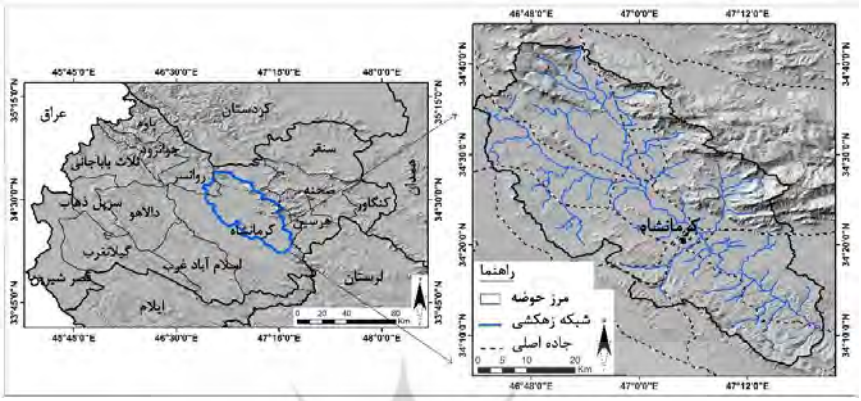
با توجه به اهمیت موضوع، در این زمینه تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است کمار و همکاران[1] (۲۰۱۳) مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی در حوضه‌ی رودخانه‌ی Khoh را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. در این تحقیق از منطق فازی و لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، رودخانه، خطواره‌ها، شیب و کاربری اراضی و ژئومورفولوژی استفاده شده است. بیانگر این است که ۴۰ درصد از منطقه دارای ظرفیت بالای منابع آب زیرزمینی است. همچنین تیرلا و ویجولی[2] (۲۰۱۳) به مطالعه توسعه و تحول کارست آهک‌های ریفی ژوراسیک بالایی، متعلق به سازند مونت پیاترا پرداخته‌اند. در این تحقیق درز و شکافت‌ها و سیستم‌های گسلی منطقه به عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار در توسعه‌ی کارست منطقه معرفی شده است. در ایران نیز اولین مطالعات کارستی در سال ۱۳۵۰ در زاگرس آغاز شد که هم اکنون در بسیاری از نقاط کشور تحقیقات جامعی صورت گفته است. ملکی و همکاران (۱۳۸۷) به مطالعه و پهنه‌بندی کارست در استان کرمانشاه با استفاده از GIS و AHP پرداختند. آن‌ها به منظور انجام این کار ۷ عامل مهم شامل ارتفاع، لیتولوژی، ژئومورفولوژی، دما، بارش، تبخیر و شیب را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد کارست را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که توده آهکی بیستون نسبت به سایر سازندها تحول بیش‌تری داشته و به احتمال زیاد از نظر منابع آب زیرزمینی غنی‌تر است. یمانی و همکاران (۱۳۹۰) عوامل توسعه‌یافتگی

1- Kumar et al.,
2- Tirla & Vijulie

کارست را در حوضه‌ی 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 سهیم‌اند. تحقیقات صورت گرفته بیانگر تأثیرگذاری پارامترهای ژئومورفولوژیکی، اقلیمی و زمین‌شناسی بر توسعه مناطق کارستیک 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 با این تفاوت که بر خلاف اکثر مطالعات پیشین به منظور ارزیابی نتایج حاصله و اطمینان بیش‌تر از دو روش برای تعیین مناطق کارستیک توسعه‌یافته استفاده شده است.

معرفی ویژگی‌های جغرافیایی و زمین‌شناسی

حوضه‌ی مورد مطالعه در غرب کشور و از نظر تقسیمات سیاسی در شهرستان کرمانشاه قرار دارد. بخش زیادی از این حوضه در دشت کرمانشاه واقع شده است، همچنین از سمت شرق نیز به ارتفاعات بیستون منتهی می‌شود (شکل ۱). این حوضه از نظر پهنه‌های رسوبی-ساختاری در محدوده‌ی زاگرس چین‌خورده قرار دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳) و به دلیل وجود گسل‌های اصلی و فرعی فراوان یک منطقه‌ی تکتونیزه محسوب می‌شود. حوضه‌ی قره‌سو از نظر آب و هوایی نیز با توجه به قرارگیری در مسیر بادهای غربی دارای بارش قابل توجهی است.

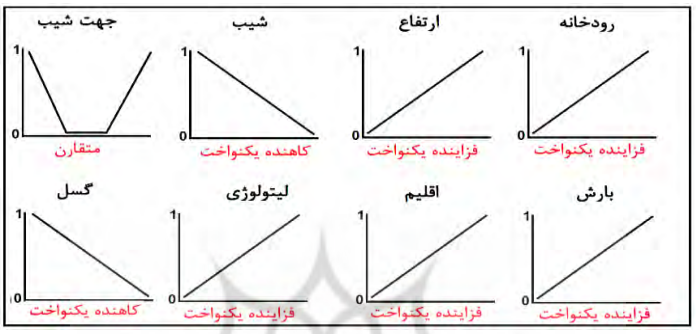


شکل (۱) نقشه موقعیت و وضعیت زهکشی حوضه‌ی مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

این تحقیق مبتنی بر روش‌های میدانی، ابزاری و کتابخانه‌ای است. ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، محدوده‌ی حوضه‌ی مورد مطالعه مشخص شده است. داده‌های اصلی پژوهش نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای هستند. در این تحقیق به منظور تعیین مناطق مستعد توسعه کارست در حوضه‌ی قره‌سو از ۸ عامل، سنگ‌شناسی، گسل (گسل‌های اصلی و فرعی حوضه)، شیب (توپوگرافی)، جهت‌شیب، ارتفاع، رودخانه (فصلی و دائمی)، بارش و اقلیم (دما و رطوبت) استفاده شده است. برای این منظور ابتدا با استفاده از روش نرم‌افزاری (ARC GIS و IDRISI) اقدام به تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی شده است. در مرحله‌ی آخر، با توجه به پارامترهای مورد نظر، پتانسیل منطقه برای توسعه فرایندها و آبخوان‌های کارستیک مورد ارزیابی قرار گرفت. این منظور از دو مدل منطق فازی و میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) برای پهنه‌بندی و همچنین از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) برای وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده است. روش کار به‌گونه‌ای است که ابتدا لایه‌های اطلاعاتی تهیه و به‌صورت فازی‌شده و قابل مقایسه در آمده‌اند. برای هر یک از لایه‌های اطاعاتی که از ابتدا در قالب رستر تعریف شده‌اند، بر اساس مطالعات میدانی و

نظر کارشناسان (۵ متخصص ژئومورفولوژی، ۲ متخصص اقلیم‌شناسی و ۳ متخصص هیدرولوژی) و شناخت روابط و معیارها، تابع فازی تعریف شده است (شکل ۲).



شکل (۲) تابع عضویت فازی لایه‌های اطلاعاتی

مطابق شکل، به جزء پارامتر جهت شیب سایر پارامترها یا فزاینده‌ی یکنواخت و یا کاهنده‌ی یکنواخت هستند. در کاهنده‌ی یکنواخت مناطقی که ارزش عددی کوچک‌تری دارند؛ مثلا، شیب و فاصله کم‌تری دارند، تأثیرگذاری بیش‌تری بر توسعه کارست دارند و در فزاینده یکنواخت مناطقی که ارزش عددی بزرگ‌تری دارند.

پس از تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از مدل ANP و بر اساس نظر کارشناسان (۵ متخصص ژئومورفولوژی، ۲ متخصص اقلیم‌شناسی و ۳ متخصص هیدرولوژی) ارزش هر کدام از لایه‌ها محاسبه شده است. در نهایت وزن به دست آمده از طریق مدل ANP در لایه‌های اطلاعاتی اعمال و سپس با استفاده از دو روش منطق فازی و OWA لایه‌های اطلاعاتی با هم تلفیق شده‌اند و نقشه‌ی نهایی حاصل شده است. برای مدل تلفیقی منطق فازی و ANP از نرم‌افزار ARC GIS استفاده شده است. جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر فازی ضرب و همچنین حساسیت خیلی کم فازی جمع، عملگر فازی گاما به کار برده شده است. همچنین برای مدل تلفیقی OWA و ANP از نرم افزار IDRISI استفاده شده است. لازم به ذکر است که استفاده از دو مدل منطق فازی و OWA به منظور صحت‌سنجی و مقایسه‌ی نتایج به دست آمده می‌باشد.

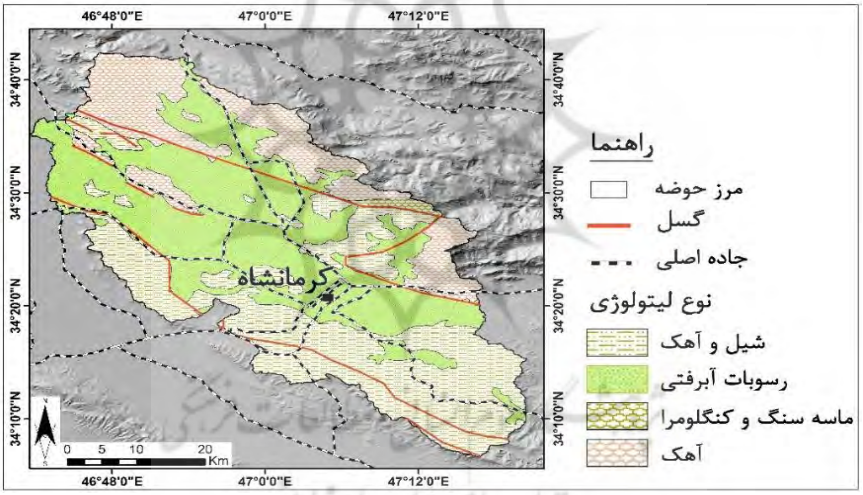
بحث و نتایج

عوامل توسعه کارست در منطقه‌ی مورد مطالعه: به‌منظور بررسی نقش عوامل مؤثر در میزان توسعه‌یافتگی کارست در حوضه‌ی مورد مطالعه از ۸ پارامتر استفاده شده است. در ادامه به تشریح هر کدام از این پارامترها پرداخته خواهد شد:

پارامترهای زمین‌شناسی: در تحقیق حاضر از دو پارامترهای زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی و گسل) به‌عنوان عوامل تأثیرگذار 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 انحلالی که دارند در توسعه فرایندهای کارستیک نقش مهمی ایفا می‌کنند. پارامتر زمین‌شناسی دیگر خطوط گسلی است. در تحقیق حاضر خطوط گسلی اصلی و فرعی در نظر گرفته شده است. درز و شکاف‌ها مهم‌ترین عامل نفوذ آب به داخل سنگ‌های کربناته هستند. حوضه‌ی مورد مطالعه داری تراکم بالایی از سیستم‌های گسلی اصلی و فرعی است. امتداد عمودی گسل‌ها همان امتداد زاگرس رورانده یعنی شمال غرب - جنوب شرق است. گسل‌های فرعی دیگری نیز وجود دارد که با زاویه‌ای با گسل اصلی در تماس هستند و یا به موازات آن کشیده شده‌اند. شکل (۳) نقشه طبقاتی پارامترهای زمین‌شناسی را نشان می‌دهد.

پارامترهای ژئومورفولوژیکی: عامل ارتفاعی به عنوان یکی از پارامترهای ژئومورفولوژیکی تأثیرگذار در نوع اقلیم و میزان بارش می‌باشد به‌طوری‌که 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. افزون بر این، ارتفاع از سطح آبخوان، شرایط را برای جریان بیشتر سیال فراهم آورده و انحلال را تشدید می‌کند. مطابق نقشه طبقات ارتفاعی، بخش زیادی از محدوده‌ی مطالعاتی در ارتفاع کم‌تر از ۱۴۰۰ متر قرار دارند. مناطق مرتفع اغلب منطبق بر مرز حوضه‌ی آبریز، از جمله کوه بیستون که در شمال شرقی حوضه قرار دارد، واقع شده‌اند. 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 توسعه‌ی فرایندهای کارستیک با سرعت کندتری نسبت به مناطق کم شیب صورت می‌گیرد. 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. این عوامل سبب شده است تا جهات رو به شمال پتانسیل بالاتری جهت توسعه فرایندهای کارستیک داشته باشد. در شکل (۴) نقشه‌ی طبقاتی پارامترهای ژئومورفولوژیکی نشان داده شده است.



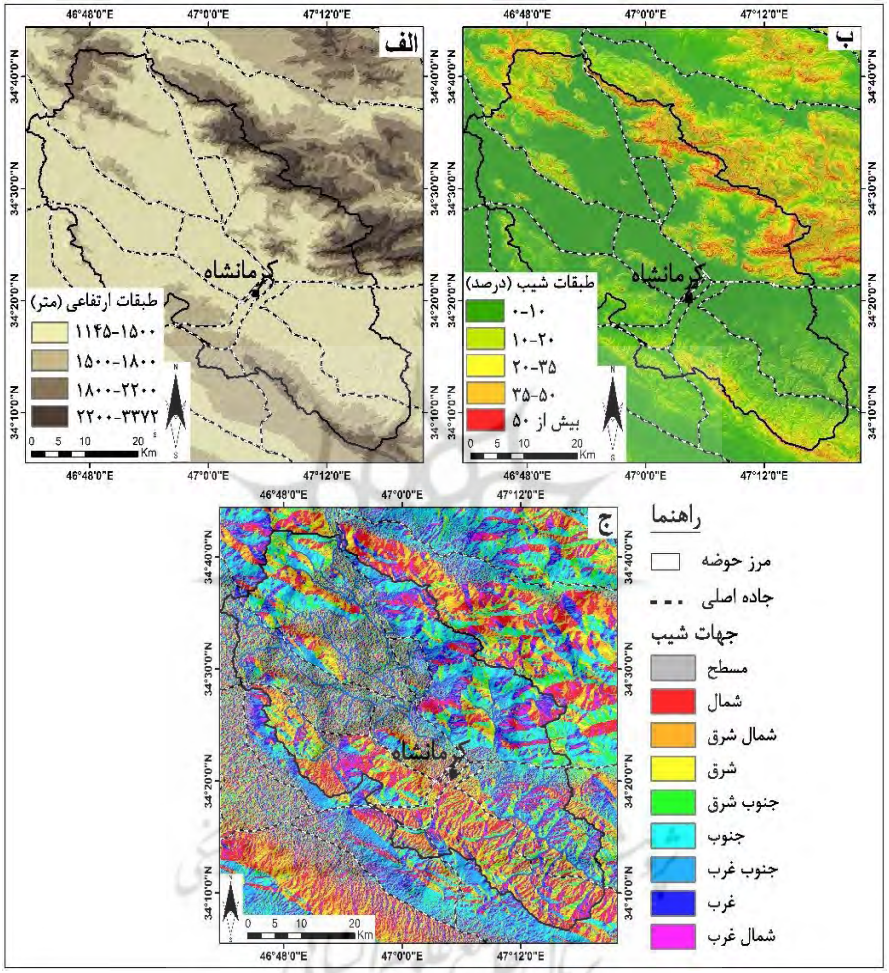
شکل (۳) نقشه طبقاتی پارامترهای زمین‌شناسی

پارامترهای هیدرواقلیمی: حوضه‌ی مورد مطالعه در منطقه‌ی کوهستانی زاگرس و در مسیر بادهای بارانزای غربی واقع شده است (علیجانی، ۱۳۸۵). بنابراین پتانسیل بالایی از نظر منابع آبی دارد. در این تحقیق با توجه به موضوع و هدف تحقیق از پارامترهای بارش، پهنه‌بندی اقلیمی و رودخانه به عنوان پارامترهای هیدرواقلیمی استفاده شده است. با توجه به اینکه در پهنه‌بندی اقلیمی منطقه از روش دومارتن استفاده شده است

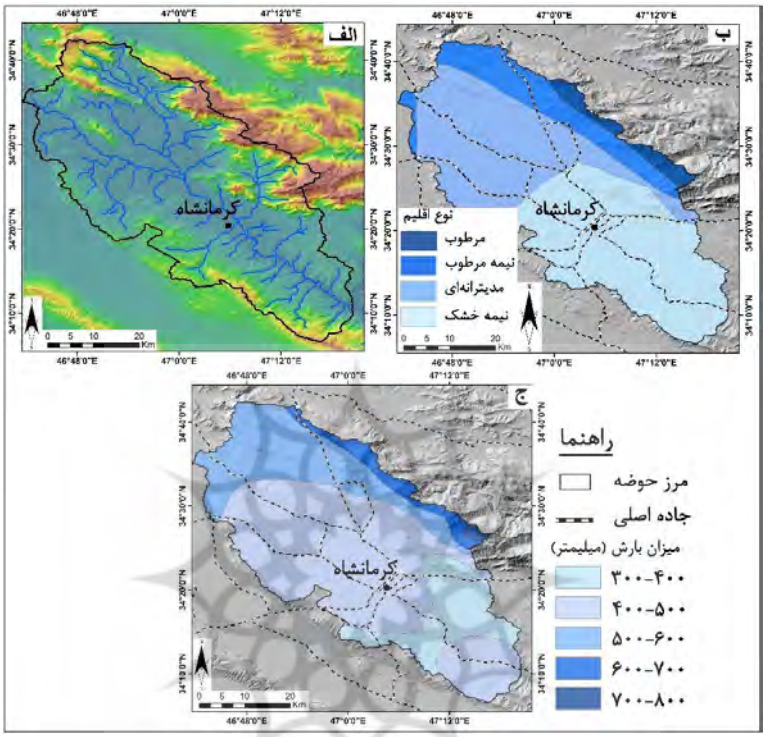
و این روش بیش‌تر وضعیت منطقه را از نظر میزان رطوبت بررسی می‌کند و تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله درجه حرارت قرار دارد، از پارامتر بارش نیز (به دلیل نقش و اهمیتی که در توسعه‌ی مناطق کارست دارد) به عنوان یکی دیگر از پارامترهای هیدرواقلیمی استفاده شده است. حوضه‌ی مورد مطالعه از نظر اقلیمی بر اساس روش دومارتن (۱۹۵۲) به ۴ منطقه‌ی خیلی‌مرطوب، مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب و نیمه‌خشک تقسیم می‌شود (رجبی و شعبانلو، ۱۳۹۲) و از نظر وضعیت بارشی نیز منطقه مورد مطالعه بین منحنی‌های همباران ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر قرار دارد که مناطق خیلی مرطوب و مناطقی که داری بارش بیش‌تری هستند پتانسیل بالاتری جهت توسعه‌ی فرایندهای کارستیک دارد. پارامتر هیدرواقلیمی دیگر شبکه‌ی زهکشی است. با توجه به اینکه حوضه‌ی مورد مطالعه در یک منطقه کارستیک واقع شده است (معصوم‌پور سماکوش و همکاران، ۱۳۹۵) و همچنین به دلیل اینکه شبکه‌ی رودخانه‌های حوضه از گستردگی زیادی برخوردار نیستند، در مناطقی که شبکه زهکشی تراکم کم‌تری دارد پتانسیل انحلال بیش از سایر نواحی است، بر این اساس در حوضه‌ی مورد مطالعه از جمله مناطق شمال شرقی حوضه منطبق بر کوه بیستون که شبکه‌ی زهکشی تراکم کم‌تری دارد می‌تواند پتانسیل بالاتری جهت توسعه منابع کارستیک داشته باشد. در شکل (۵) نقشه طبقاتی پارامترهای هیدرواقلیمی نشان داده شده است.

استاندارسازی لایه‌های اطلاعاتی

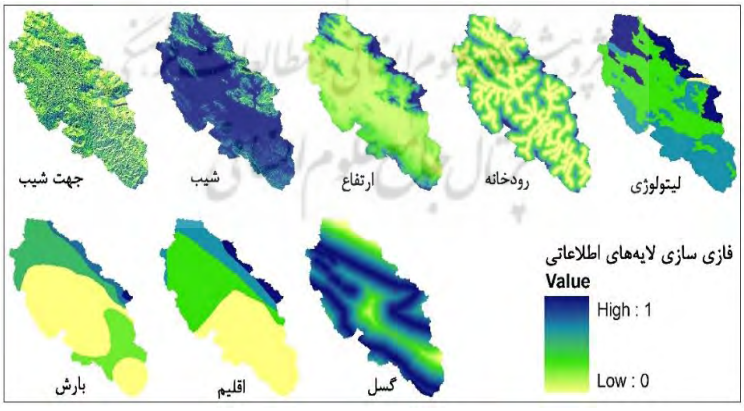
پس از تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی، هر کدام از لایه‌ها به صورت فازی‌شده و قابل مقایسه در آمده‌اند (شکل ۶) مطابق نقشه‌ی فازی شده لایه‌ها، ارزش مناطق توسعه‌ی فرایندهای کارستیک بین ۱ و صفر است به‌طوری‌که مناطق مستعد ارزش نزدیک به ۱ و مناطقی که پتانسیل کم‌تری دارند ارزش نزدیک به صفر دارند. لازم به ذکر است که وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی و همچنین نحوه‌ی استاندارسازی آن‌ها بر اساس نظرات کارشناسان صورت گرفته است.



شکل (۴) نقشه پارامترهای ژئومورفولوژیکی الف) ارتفاع، ب) شیب، ج) جهت شیب



شکل (۵) نقشه طبقاتی پارامترهای هیدرواقلیمی، الف) رودخانه، ب) اقلیم، ج) بارش



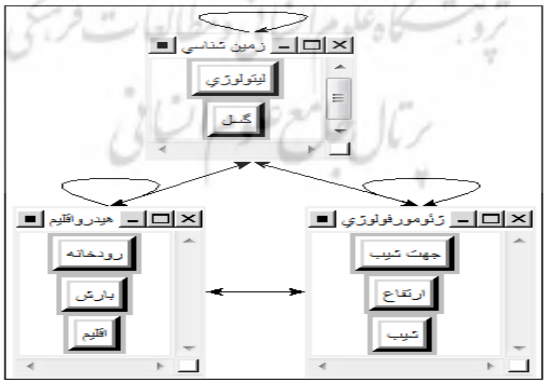
شکل (۶) فازی سازی لایه های اطلاعاتی

تعیین درجه اهمیت هر کدام از متغیرها

پس از به دست آوردن لایه‌های اطلاعاتی برای وزن‌دهی به آن‌ها از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است. برای این منظور پس از تشکیل ساختار شبکه‌ای، از طریق پرسش‌نامه و دیدگاه‌های کارشناسان امر (۵ متخصص ژئومورفولوژی، ۲ متخصص اقلیم شناسی و ۳ متخصص هیدرولوژی). برای تعیین رابطه و میزان اهمیت هر یک از این معیارها و زیرمعیارها استفاده شده است. برای انجام محاسبات از نرم‌افزار Super Decisions استفاده شد و پس از تشکیل سوپر ماتریس‌ها، وزن‌ها یا ارزش‌های هر معیار و ارتباطات درونی آن‌ها نسبت به اهداف پژوهش به دست آمده است (جدول ۱). وزن‌های نهایی برای هر یک از زیرمعیارها (با توجه به ارتباطات درونی) در محیط نرم افزار Super Decisions محاسبه و وارد جداول توصیفی هر یک از لایه‌های مربوطه در نرم‌افزار Arc GIS شد. در شکل ۷ ساختار شبکه‌ای معیارها نشان داده شده است.

جدول (۱) ضرایب وزنی نرمال حاصل از بررسی جفتی متغیرهای محیطی در ANP

خوشه	ژئومورفولوژی			زمین شناسی		هیدرواقلیم		
معیار	ارتفاع	شیب	جهت شیب	لیتولوژی	گسل	رودخانه	بارش	اقلیم
وزن	۰/۰۵۹	۰/۱۴۹	۰/۰۴۶	۰/۲۷۸	۰/۰۷۸	۰/۰۳۵	۰/۲۱۳	۰/۱۴۰



شکل (۷) ساختار شبکه‌ای ANP

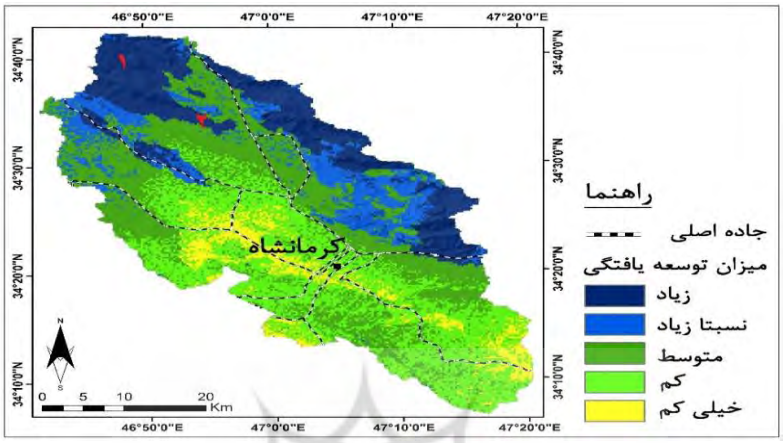
تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی بر اساس مدل تلفیقی منطق فازی و ANP

پس از استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی، این لایه‌ها در نرم‌افزار ARC GIS با استفاده از دستور Raster calculator در وزن به دست آمده از طریق مدل ANP ضرب شده و با استفاده از منطق فازی این نقشه‌های شبکه شده در محدوده‌ی حوضه‌ی مورد مطالعه با هم تلفیق شده‌اند. جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر فازی ضرب و همچنین حساسیت خیلی کم‌فازی جمع، از عملگر فازی گاما استفاده شده است (رابطه‌ی ۱).

$$\mu = (\mu \text{ fuzzy sum})^{y} \times (\mu \text{ fuzzy product})^{1-y} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

در این رابطه مقدار y بین صفر تا ۱ تعیین می‌شود. انتخاب اگاهانه مقدار y سبب پدید آمدن مقادیری در خروجی می‌شود که بیانگر سازگاری قابل انعطاف بین گرایشات کاهشی ضرب و افزایش جمع است (الشیخ[1]، ۲۰۰۸). در نهایت پس از همپوشانی، نقشه مناطق مساعد کارستیک توسعه یافته براساس مدل تلفیقی فازی و ANP به دست آمد (شکل ۸). در این تحقیق به منظور صحت‌سنجی نتیجه حاصله و تطبیق آن با واقعیت موجود در منطقه، از تصاویر گوگل ارث و بازدید میدانی استفاده شده است. برای این منظور نقاط مشخص شده بر روی نقشه نهایی با واقعیت زمینی تطبیق داده شده است (شکل ۹) که مشاهده‌ی تصاویر بیانگر انطباق نتایج به دست آمده با وقعیت زمینی است. تصویر شماره ۱، تصویر گوگل ارثی از مناطق شمالی حوضه است که در طبقه توسعه‌یافته قرار دارد و در این منطقه دولین‌های زیادی وجود دارد که دو نمونه از آن‌ها در تصویر مربوطه مشخص شده است و این عوارض بیانگر توسعه کارست در این منطقه هستند. همچنین در تصویر شماره ۲ نیز تالاب شیلان نشان داده شده است که در پای ارتفاعاتی که در مناطق کارستیک توسعه‌یافته قرار دارند شکل گرفته است.

1- Ale sheikh



شکل (۸) نقشه مناطق مستعد توسعه فرایندهای کارست با استفاده از روش منطق فازی

شکل (۹) ۱) تصویر گوگل ارثی از منطقه، ۲) تصویر میدانی منطقه

تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی بر اساس مدل تلفیقی OWA و ANP

عمگلر OWA با استفاده از رابطه‌ی شماره ۲ قابل استنتاج است (طالعی و همکاران، ۱۳۹۳):

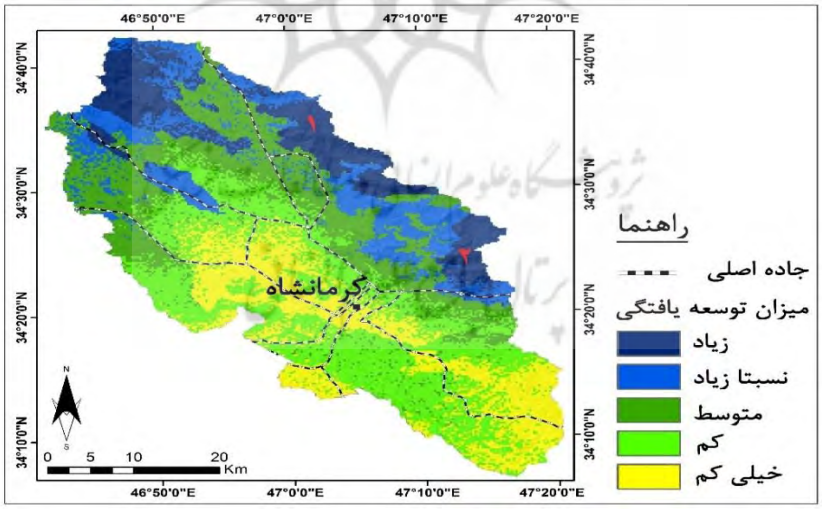
$$\text{OWAt:} \sum_{j}^{n} = 1 \left(\frac{wjuj}{\Sigma_{j=1}^{n} wjij} \right) zij \qquad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

در این رابطه‌ی $Zij \geq \ldots \geq zi1$ به‌روش 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. در این تحقیق از کمیت‌سنج نسبی منظم افزایش استفاده شده است (جدول۲).

پس از محاسبه وزن‌های ترتیبی و وزن‌های به دست آمده از طریق مدل ANP نقشه‌ی تلفیق پارامترها بر اساس مدل OWA به دست آمده است (شکل ۱۰). همانند روش قبلی، در این روش نیز به منظور تطبیق نتیجه بدست آمده با واقعیت، نتیجه نهایی با تصاویر گوگل ارث و تصاویر حاصل از بازدید میدانی مطابقت داده شده است (شکل ۱۱). نتایج نهایی این روش نیز با واقعیت موجود در منطقه مطابقت دارد. تصویر شماره‌ی ۱، تصویر گوگل ارثی از منطقه شمال شرق محدوده‌ی شهری کرمانشاه را نشان می‌دهد که این منطقه دارای عوارض خطی و دولین‌های زیادی است که بیانگر توسعه کارست در این منطقه است. در تصویر شماره‌ی ۲ نیز نمونه‌ای از کارن‌های موجود در منطقه نشان داده شده است.

جدول (۲) کمیت‌سنج‌ها متناظر و پارامتر

کمیت‌سنج زبانی Q	حداقل یکی	کمی	بعضی	نیمی	بسیاری	اکثراً	بسیار زیاد	همه
α	۰/۰۰۱	۰/۱	۰/۵	۱	۲	۵	۱۰	۱۰۰۰



شکل (۱۰) نقشه‌ی مناطق مستعد توسعه‌ی فرایندهای کارست با استفاده از روش OWA

شکل (۱۱) ۱) تصویر گوگل ارثی از منطقه، ۲) تصویر میدانی منطقه

ارزیابی نتایج نهایی دو مدل منطق فازی و میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA)

در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی نتایج و همچنین صحت‌سنجی نتایج از دو روش منطق فازی و OWA استفاده شده است. ارزیابی نتایج نهایی بیانگر انطباق تقریبی نتایج به دست آمده است و تفاوت موجود در نتایج به دست آمده می‌تواند ناشی از تفاوت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و همچنین تعدیل روش OWA نسبت به روش منطق فازی باشد. در منطق فازی حدود ۳۷۱ کیلومترمربع از حوضه در طبقه توسعه‌یافتگی زیاد قرار دارد و این مقدار در روش OWA حدود ۲۷۰ کیلومترمربع است. طبقه‌ی نسبتاً زیاد در منطق فازی دارای ۲۲۲ و در روش OWA دارای ۵۶۲ کیلومترمربع وسعت است. طبقه متوسط نیز در منطق فازی ۵۸۳ و در روش OWA دارای ۲۶۳ کیلومترمربع وسعت است. همچنین طبقه‌ی کم و خیلی کم در منطق فازی به ترتیب ۶۱۲ و ۱۴۴ کیلومترمربع و در روش OWA به ترتیب ۴۶۲ و ۳۷۶ کیلومترمربع وسعت دارد (جدول ۳). مقایسه‌ی نتایج به دست آمده بیانگر این است که در هر دو روش مناطق کارستیک توسعه‌یافته از شمال و شمال شرق به سمت مناطق جنوب و جنوب غرب کاهش می‌یابد. مشاهده‌ی نقشه‌ی نهایی نیز بیانگر این است که روند تغییرات میزان توسعه در هر دو روش تقریباً برابر است و تنها تفاوت موجود تفاوت در وسعت طبقات است و با توجه به اینکه در روش OWA در اوزان به دست آمده تعدیل صورت گرفته است، اختلاف طبقات نسبت به روش منطق فازی کاهش یافته است.

جدول (۳) مقایسه میزان توسعه یافتگی فرایندهای کارستیک حوضه‌ی قره‌سو بر حسب کیلومترمربع

روش	زیاد	نسبتا زیاد	متوسط	کم	خیلی کم
FUZZY	۳۷۱	۲۲۲	۵۸۳	۶۱۲	۱۴۴
OWA	۲۷۰	۵۶۲	۲۶۳	۴۶۲	۳۷۶

نتیجه‌گیری

در مورد تعیین مناطق کارستیک توسعه‌یافته قبلاً مطالعاتی صورت گرفته است که بیش‌تر تحقیقات صورت گرفته یا به صورت توصیفی و یا اینکه بدون اعتبار سنجی و یا مقایسه مدلی انجام شده است، اما در تحقیق حاضر از دو روش پهنه‌بندی و همچنین یک روش برای وزن‌دهی استفاده شده است. استفاده از دو روش منطق فازی و OWA سبب شده است که امکان مقایسه و صحت‌سنجی نتایج فراهم باشد. باتوجه با پارامترهایی که به منظور ارزیابی توسعه فرایندها و آبخوان‌های کارستیک مورد نظر بود و همچنین با توجه به امتیازدهی به معیارها و زیرمعیارها نقشه‌های نهایی حاصل شده است. بر پایه نتایج حاصل از عوامل موثر در توسعه‌یافتگی کارست، حوضه‌ی مورد مطالعه از نظر میزان توسعه‌یافتگی به ۵ طبقه زیاد، نسبتاً زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم شده است. ارزیابی نقشه‌های نهایی بیانگر این است که به صورت کلی در هر دو نقشه‌ی مناطق شمال و شمال شرق حوضه دارای توسعه‌یافتگی بیش‌تری هستند و با توجه به شرایط مناسب اقلیمی، ژئومورفولوژیکی و زمین‌ساختی بخش زیادی از منطقه دارای توسعه‌یافتگی بالایی است که همین امر سبب شده تا حوضه‌ی مورد مطالعه از نظر منابع آب کارستیک پتانسیل بالایی داشته باشد. با توجه به اینکه در روش منطق فازی و میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) اختلاف‌هایی در تلفیق و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی وجود دارد، نتایج نهایی دارای اختلافاتی از نظر وسعت طبقات هستند به طوری که در روش OWA به دلیل این‌که تعدیل بیش‌تری صورت می‌گیرد اختلاف طبقات کم‌تر از روش منطق فازی است اما روند کلی میزان توسعه‌یافتگی در هر دو روش تقریباً منطبق بر هم است و میزان توسعه‌یافتگی از شمال و شمال شرق به سمت

جنوب و جنوب غرب کاهش می‌یابد. در واقع می‌توان گفت که مناطق شمالی و شرقی حوضه‌ی مورد مطالعه به دلیل اینکه از نظر بیشتر پارامترها از جمله لیتولوژی، وضعیت اقلیمی و میزان بارش نسبت به مناطق جنوبی وضعیت مناسب‌تری دارد، پتانسیل بالایی برای توسعه‌ی منابع کارستیک دارد. با توجه به موارد مذکور و نقش و اهمیت منابع آبی کارستیک در تأمین آب منطقه، لازم است برنامه‌ریزی‌های محیطی متناسب با وضعیت توسعه‌یافتگی این منابع صورت گیرد. در واقع به دلیل حساسیت بالایی (پتانسیل بالایی انتقال آلودگی) که این مناطق نسبت به آلودگی دارند، ضروری است در این مناطق از فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و عمرانی آلوده‌کننده جلوگیری شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- آقانباتی، علی (۱۳۸۳)، **زمین‌شناسی ایران**، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.

- طالع جنکانلو، علی؛ طالعی، محمد و محمد کریمی (۱۳۹۴)، **ارزیابی تناسب اراضی مسکونی به روش FUZZY، OWA و TOPSIS**، نشریه‌ی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۴، صص ۴۵-۲۹.

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

- معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ میری، مرتضی و سجاد باقری سیدشکری (۱۳۹۵)، **اثر تغییر اقلیم بر آبدهی و ویژگی‌های چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه**، مجله‌ی جغرافیا و پایداری محیط، شماره‌ی ۲۱، صص ۶۵-۵۱.

-All Sheikh, A., Soltani, M., Nouri, N., Khalilzadeh, M. (2008), **Land Assessment for Flood Spreading Site Selection Using Geospatial Information System**, International Journal of Environmental Science and Technology, Vol .5, No.4, PP. 455-462

-Baryakh. A., Fedoseev, A., (2011), **Sinkhole formation mechanism, Journal of Mining Science**, Vol. 47, No. 4.

-Bosak, P. (2003), **Karst Processes from the Beginning to the End: How Can They be Dated?** Speleogenesis and Evolution of Karst Aqufers, 1(3) PP. 1-4.

-Florea, L. (2005), **Using stste-wide gis data to identify the coincidence etween sinkhole and geologic structure**, Journal of Cave and karst studies, Vol. 67, No.2, PP. 120-124.

-Ford, D.C. & Williams, S. (1989), **Karst geomorphology and hydrology**, Unwin Hyman, London, 601 P.

-Ford, D.C., Williams, P.W. (2007), **Karst Hydrogeology and Geomorphology**, Wiley, Chichester, PP. 562.

-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), Vol. 1, PP. 37-45.

-Pike, R.J. (2002), **Geomorphology–Diversity in quantitive surface analysis**, progress in Physical Geography, 24, PP. 1-20

-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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی