پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال یازهم، شماره ۴، بهار ۱۴۰۲
صص. ۲۵۵-۲۳۰

پهنه بندی توسعه کارست در حوضه آبریز بقمچ کشف رود با مدل منطق فازی -ANP

اعظم نخعی* – دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری.
محمدعلی زنگنه اسدی – دانشیار گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری.
ابوالفضل بهنیافر – دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.
لیلی گلی مختاری – استادیار گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۱۴ تائید نهایی: ۱۴۰۱/۱۲/۲۷

چکیده

هدف از این پژوهش شناسایی و پهنه بندی توسعه کارست در حوضه آبخیز بقمچ در استان خراسان رضوی با استفاده از مدل فازی و (ANP) می باشد. در این تحقیق لایه های اطلاعاتی لیتولوژی، فاصله از گسل، همباران، همدما، فاصله از آبراهه، شیب، ارتفاع، پوشش گیاهی و کاربری اراضی به عنوان نقشه های عامل در نظرگرفته شدند. این لایه ها در محیط (GIS) تهیه و براساس نظر کارشناسان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با مدل (ANP) وزن دهی و استانداردسازی و در پایان با تلفیق مدل منطق فازی، نقشه ی نهایی پهنه بندی توسعه کارست با گامای ۰,۹ تهیه گردید. نتایج نشان داد که ۱۶,۳ درصد از مساحت منطقه در پهنه با پتانسیل توسعه بسیار زیاد، ۳۳,۷ درصد با توسعه زیاد، ۶,۶ درصد با توسعه متوسط ، ۳,۶ درصد با توسعه کم و ۳۹,۸ درصد فاقد کارست می باشد. عامل لیتولوژی منطقه با ارزش ۰,۲۳۳ بیشترین وزن و مهمترین عامل کنترل کننده پتانسیل توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه بوده است و عامل فاصله از آبراهه و کاربری اراضی کمترین وزن را به خود اختصاص داده و کمترین تأثیر را در کارست زایی کنونی حوضه به خود اختصاص داده است. نتایج نشانگر آن است که به ترتیب عوامل لیتولوژی، بارش، دما و ارتفاع مهمترین نقش را در توسعه کنونی کارست در این منطقه داشته اند.

واژگان کلیدی: حوضه بقمچ، پهنه‌بندی، توسعه کارست، مدل فازی_ (ANP).

---

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

مقدمه

کار ست به سیمایی که در اثر خورندگی آب در سطح و زیرزمین ایجاد می شوند و شامل همه ا شکال، فضاهای خالی، ناهمواریها و پدیده هایی که در سازندهای زمین شنا سی انحلال پذیر می با شد، گفته می شود (ولایتی ، ۷:۱۳۹۴). این اصطلاح برای نوع خاصی از چشم اندازها به کار می رود که دارای اشکال سطحی و سیستمهای آب زیرزمینی می باشند. این اشکال در سنگهای قابل حل مانند سنگ آهک، دولومیت، ژیپس و نمک بوجود می آیند (فورد و ویلیامز[1]، ۲۰۰۷: ۲).

از نظر تعریف، چشم اندازهای ژئومورفولوژیکی حاصل انحلال و فروریزش سنگ های کربناته، تبخیری ها و سیلیکات ها بر اثر آب های جوّی است به طوری که اشکال متنوعی از سنگ چاله ها، غارها، چشمه ها و سایر مناظر توپوگرافیک بر اثر گردش آب در درون تودهٔ سنگ، در این گروه از سنگ ها به وجود می آید. این ناهمواری های سه بعدی، نتیجه عملکردهای متقابل اقلیمی، لیتولوژیک، تکتونیک، توپوگرافی، هیدرولوژیک و بیولوژیکی می با شد. بنابراین در اثر انحلال تکامل یافته سنگ و تو سعهٔ زیاد تخلخل ثانویه سرزمین هایی با ویژگی های ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی خاص به وجود آمده که به آن کارست گفته می شود (بهنیافر و قنبرزاده ، ۱۳۹۵: ۲). اصطلاح کارست همچنین به رفتار هیدرولوژیکی خاص مناطق کارستی اشاره دارد. مناظر کارستی و سفره های زیرزمینی ناشی از تعامل شدید آب و سنگ در دوره های زمانی طولانی است (هارتمن و همکاران[2]، ۲۰۱۴: ۲) تشکیل فرم های کارستیک و فرایند کارستیفیکاسیون در نتیجه تاثیر مجموعه ای از عوامل می باشد که هرچه اندازه شدت این عوامل کارست زا یا فرایندها بیشتر با شد، درجه تکامل یافتگی توده کارست نیز بیشتر می با شد. از میان فرایندهای کارستی شونده، فرایندهای انحلالی در سنگها، فرایندهای زمین شناسی و لیتولوژیکی، فرایندهای ژئومورفولوژیکی در توده های کار ستی، شرایط اقلیمی، فرایندهای هیدرولوژیکی و فرایندهای بیولوژیکی و زیستی نقش اساسی دارند (بهنیافر و قنبرزاده، ۱۳۹۵: ۹۶). آبخوانهای کارستی، مخازن زیرزمینی بوده که آب را در شبکه ای از درزه و شکافهای به هم پیوسته، غارها و کانالها ذخیره می کنند (میلانوویچ[3]، ۲۰۰۴: ۲۱۷).

گسل ها و شکستگی ها کانال های ا صلی برای جریان آب زیرزمینی در سازندهای کار ستی را فراهم می کنند (چن[4] و همکاران، ۲۰۲۰: ۲) کارست یک سیستم بسیار پویا است و به دلیل پیچیدگی آن ساخت و ساز پروژه های آبی بزرگ، از جمله سدها و مخازن، در این مناطق م شکل ساز می با شد (رومانو[5] و همکاران ، ۲۰۰۳: ۱۸). سفره های کار ستی حدود ۲۰ تا ۲۵ در صد از آب آ شامیدنی جهان را تامین می کنند. در بسیاری از مناطق، سفره های کربناته به عنوان یک منبع آبی منحصر به فرد در نظر گرفته می شود (اسکندری وهمکاران، ۲۰۲۲: ۲) پهنه های کارستی از جنبه های مختلف اهمیت دارند، این مناطق نقش مهمی در تأمین و تغذیه ی آبخوانها دارند. با توجه به اینکه منابع آب کار ستی از مهمترین منابع آب به شمار میروند، شناخت صحیح این پهنه ها، میتواند در توسعه پایدار فعالیتهای اجتماعی و اقتصادی یک منطقه، به ویژه درمناطق خشک و نیمه خشک، نقش بسزایی داشته باشد (معتمدی و همکاران، ۷۴:۱۴۰۰). بنابراین شناخت عوامل مؤثر در تحول کارست و پهنه بندی تحول آن در زمینه مطالعات مربوط به منابع آب کارست دارای جایگاه ویژه ای هستند (صفاری و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۴). شناخت مناطق تغذیه در آبخوان‌های کار ستی نقش کلیدی در شناخت ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدروشیمیایی آبخوان‌ها و همچنین مدیریت و بهره‌برداری علمی و بهینه از آن‌ها دارد (قدیمی و زنگنه تبار،۱۳۹۸: ۱).

---

1. Ford & Williams
2. Hartmann et al.
3. Milanovic
4. Chen
5. Romanov

اهمیت پهنه های کارستی طی دو دهه اخیر آشکارتر شده است و ازجمله کاربرد غارشناسی و مطالعات مربوط به آن در آب شناسی و جنبه های ژئوهیدرولوژی و کیفیت شیمیایی آب موجود در غارهای دارای آب، ویژگی های زیست شناختی و گونه های جانوری و گیاهی غار، وضعیت ژئوتوریستی، غارسنگ ها و اشکال انحلالی موجود، جنبه های باستان شناختی، فسیلهای موجود و جنبه های ایمنی و حفاظت غارها (جعفری و ارجمندزاده، ۱۴۰۰: ۵۳۵)، همچنین در ساخت سدها؛ بناها، ساختمانها، مترو، تونلها، خطوط راه آهن و تعیین چینه شناسی، دیرینه شناسی، کشف بقایای جانوری و آثار انسانهای اولیه دارای اهمیت بوده و ازنظر زیست شناسی و مطالعه گونه های گیاهی و جانوران غارزی درگذشته و حال، وجود غار نهشته های زیبا و فراوان در جذب توریست نقش بسیار مهمی دارد (خضری و همکاران، ۱۳۹۶ :۲۲).

محیط های کارستی از جمله محیط های بسیار آسیب پذیر در برابر تغییرات هستند. مدیریت ضعیف در زمینه آلودگی و عدم توجه به ویژگی های کارست، چه در سطح و چه در زیرزمین، منجر به آسیب های مکرر و شدید به محیط زیست و اکوسیستم های کارست می شود (پاریس[1]، ۲۰۱۶: ۱۲). آلاینده های طبیعی (مواد آلی محلول) و انسانی (مثلاً نیتروژن حاصل از سپتیک تانک ها و کودهای کشاورزی) می توانند به راحتی از طریق لایه های نازک خاک، فروچاله ها و شکستگی های باز وارد سفره های زیرزمینی کارست شوند و به سرعت از طریق مجاری کارست در مسافت های طولانی انتقال می یابند (الشال[2] و همکاران، ۲۰۲۲: ۱۵۸ بسیاری از مناطق و شهرها به منابع آب کارست وابسته هستند (صفاری وهمکاران، ۱۳۹۷: ۹۶) نیاز مبرم به مدیریت یکپارچه، موثر و کارآمد منابع آب در سراسر جهان به رسمیت شناخته است (میزان الرحمان و همکاران ، ۲۰۰۴: ۵۶۵)) ضروری است که یک مدیریت همه جانبه در زمینه ی حفاظت و کنترل منابع آب کارست صورت بگیرد. چنین مدیریتی بدون شناسایی دقیق حوضه های کارستی و بررسی ژئومورفولوژی آنها امکانپذیر نخواهد بود. در صورت شناسایی این پهنه ها میتوان از منابع آبی این پهنه ها برای اهداف مختلف بهره برداری کرد (مددی و همتی، ۱۳۹۴: ۹۰).

شناخت، بررسی و ویژگی های محیط های کارستی که از سنگ های انحلال پذیر و عمدتا از سنگ های بیکربناته نظیر سنگ های آهکی، تشکیل یافته و از دیدگاه کاربردی به بسیاری از فعالیتهای انسانی به ویژه تامین منابع آب جهت استفاده شرب، کشاورزی، صنعت و ... ارتباط پیدا می کند بسیار حایز اهمیت است. لزوم برنامه ریزی در پهنه های کارستی ایجاب می کند تا مطالعاتی در زمینه شناخت محیط های کارستی، ویژگیها و نقش آنها در تغذیه منابع آب زیرزمینی و سایر منابع صورت گیرد. بر اساس آخرین بررسی هایی که برای شناسایی پهنه های کارستی حوضه های رسوبی کپه داغ انجام شده، کل مساحت سازندهای کربناته این منطقه حدود ۱۲۰۰۰ کیلومترمربع برآورد شده است (بهنیافر و قنبرزاده، ۱۳۹۵: ۳۳). شناسایی زمین شکل های کارستی به منظور مدیریت بهره برداری در قلمروهای کارستی ضرورت داشته و لازم است حفاظت و مدیریت زمین در قلمروهای کارستی مورد توجه خاص برنامه ریزان قرار گیرد.

با توجه به اهمیت موضوع، در این زمینه تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که به ترتیب به آنها اشاره می شود:

هارتمن[3] و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه ای به بررسی روش های مدل سازی هیدرولوژیکی[4] کارست، تکامل آن و فرآیندهای هیدرولوژیکی خاص می پردازند. آنها مدلهای مفهومی مختلف سیستمهای کارست و محدودیت های این مدل ها را مورد بررسی قرار دادند. ایکونومیدس و همکاران[5] (۲۰۱۵) با استفاده از روشهای

---

1. Parise
2. Elshall
3. Hartmann
4. Karst water resources in a changing world: Review of hydrological modeling approaches
5. Oikonomidis et al.

سنجش از دور و (GIS) به بررسی پتانسیل آب زیرزمینی در مناطق آهکی و آبرفتی پرداخته و مناطق دارای غلظت بالای نیترات را شناسایی کردند. کوویروز و همکاران[1] (۲۰۱۶) با استفاده از داده های سنجش از دور و مدل منطقی فازی مناطق با پتانسیل نفوذ بالا را در منطقه پامپا آرژانتین شناسایی کردند. الوارز و همکاران[2] (۲۰۱۷) جهت ارزیابی ریسک زمین شناسی برای حفاظت از غارهای کارست اسپانیا (غارهای الکردی، ناوار) به ارائه روشی برای محاسبه پتانسیل خسارت وارد شده به منافع فرهنگی واقع در یک محیط کارستی پرداختند. دراین مطالعه نقشه برداری زمین شناسی، ژئومورفولوژی اندوکارست و اگزوکارست و بررسی شکستگی توده سنگ آهک صورت گرفته است. در پژوهشی ابوسادا[3] (۲۰۱۷) با استفاده از نوسانات سطح آب در یک سفره زیرزمینی در یک بازه زمانی خاص یک روش جایگزین برای تخمین تغذیه سالانه آب زیرزمینی براساس تعادل آب ورودی و خروجی ارائه داد. کاهالان و میلوسکی[4] (۲۰۱۸) در پژوهشی به مکانیسم های تشکیل سینک هول و تجزیه و تحلیل پیش بینی مبتنی بر زمین آمار در زمین کارستی پرداخته اند. نتایج آنها حاکی از عوامل کنترل کننده موثر بر شکل گیری سینک هول و نشان دادن پتانسیل برای برنامه های مشابه در دیگر مناطق کارست با یک سری زمانی از DEM و مجموعه داده های فرعی مشابه می باشد. رویکرد مبتنی بر (GIS) جایگزین روش هایی که به بررسی های میدانی جامع برای تشخیص سینک هول و فاکتورهای کنترل کننده می باشد نیست، ولی برای درک توسعه فروچاله ها در مناطق بزرگ جهت انتخاب استراتژی های مناسب برای کاهش خطرات لازم می باشد. روجیری و همکاران[5] (۲۰۲۲) در پروژه ای به بررسی‌های مورفولوژی، داده‌های ساختاری، نهشته‌ها و برخی عناصر فیزیکوشیمیایی کارست های برخی از مناطق جمهوری ارمنستان پرداختند.

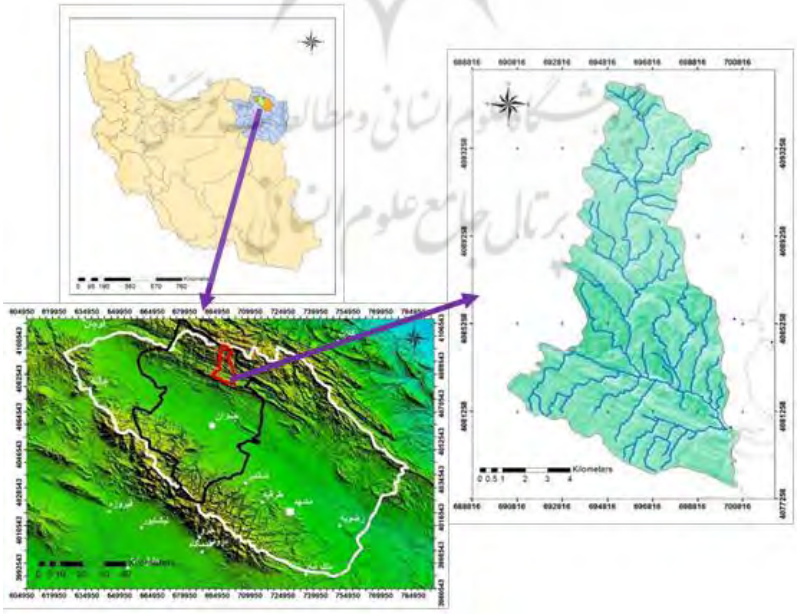
در زمینه مطالعات مربوط به منابع آب کارست با توجه به نقش مهم پهنه های کارستی در تغذیه آبخوان های کارستی، شناخت عوامل مؤثر در تحول و پهنه بندی کارست دارای جایگاه ویژه ای هستند این مطالعات می تواند جهت مدیریت کیفی، کمی و حفاظت از این منابع در مقابل آلودگی های ناشی از فعالیت های انسانی مورد استفاده قرار گیرند (صفاری و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۴). مددی و همتی (۱۳۹۴) با استفاده از مدل منطق فازی به پهنه بندی قابلیت کارست زایی در منطقه نمک آبرود پرداختند. نتایج تحقیق آنها قابلیت بالای منطقه را در کارست زایی نشان می دهد همچنین مزیدی و همکاران (۱۳۹۵) با پتانسیل یابی توسعه کارست در دشت سوسن و ایذه با استفاده از منطق فازی نشان دادند که میزان کارستی شدن با کاهش میزان شیب و فاصله از گسل، افزایش رسوبات آهکی، میزان دما، پوشش گیاهی، میزان بارندگی و پوشش سطح خاک ارتباط دارد. مکرم و نگهبان (۱۳۹۷) مناطق دارای پتانسیل کارستی شدن را در بخش‌هایی از غرب استان فارس با استفاده از روش‌های فازی و AHP مشخص نمودند. دسترنج و همکاران (۱۳۹۸) به پهنه بندی توسعهٔ کارست سطحی در توده آهکی بیستون با استفاده از مدل منطق فازی پرداختند. صفاری و همکاران (۱۳۹۸) عوامل توسعه یافتگی کارست را در کوهستان خورین با اعمال مدل فازی و تلفیق عوامل مختلف سنگ شناسی، فاصله از گسل، بارش، دما، شیب، ارتفاع، جهت شیب و پوشش گیاهی مورد بررسی قرار دادند و جهت صحت‌سنجی نقشه پهنه بندی توسعه کارست از لایه فروچاله های استخراج شده استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که ۹۸درصد فروچاله ها به ترتیب در طبقه کارست با توسعه زیاد، طبقه کارست با توسعه متوسط و طبقه کارست با توسعه کم قرار می گیرند که به طور دقیق با ارتفاعات منطقه و وضعیت سنگ شناسی مطابقت دارد. رضایی و همکاران (۱۳۹۹) با پهنه بندی تحول کارست در حوضه کوهستانی کلات نشان داد که عامل لیتولوژی مهمترین عامل کنترل کننده پتانسیل توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه بوده است. همچنین پارامترهای لیتولوژی، فاصله از گسل، ارتفاع، توپوگرافی (عامل شیب) و فاصله از آبراهه

[1]. Quiroz et al.
[2]. Lvarez et al.
[3]. Abusaada
[4]. Cahalan & Milewski
[5]. Ruggieri et al.

مهمترین نقش را در توسعه کنونی کارست دارند. صفاری و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از ۸ فاکتور لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، اقلیم، ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی در توده کارستیک خورین مناطق مستعد توسعه کارست را شناسایی و با استفاده از مدل Paprika مناطق آسیب‌پذیر را مشخص کردند. نتایج تحقیق حجازی و حیدری (۱۴۰۱) در حوضه روانسر نشان داد که مناطق شمالی و غربی حوضه در کلاس توسعه یافتگی زیاد و نسبتاً زیاد قرار دارد و حدود ۸/۳ کیلومترمربع از مناطق کارستیک توسعه یافته را نواحی انسان ساخت و مستعد آلودگی اشغال کرده است.
شناخت عوامل موثر در پهنه بندی و توسعه کارست در زمینه مطالعات مربوط به منابع آب کارست از جنبه هیدرولوژیکی، هیدروشیمیایی و آسیب پذیری دارای جایگاه ویژه ای می باشد. شناخت هرچه بیشتر سیستمهای کارستی بویژه پدیده های ژئومورفولوژیک آن نقش حیاتی و اساسی در بهره برداری بهینه و مدیریت پایدار منابع آب کارست دارد. عوامل مؤثر بر پتانسیل آب کارست، نشان از فاکتورهایی است که احتمال وجود آب را در یک منطقه کارستی نسبت به سایر مناطق بیشتر می داند. پهنه بندی توسعه کارست سطحی در زمینه مطالعات مدیریت کارست،کاربرد زیادی دارد. پژوهش های انجام شده بیانگر تأثیر پارامترهای زمین شناسی، اقلیم و ژئومورفولوژیکی در توسعه مناطق کارستیک می باشد. در ارتباط با تحقیقات پیشین لازم به ذکر است که تاکنون در زمینه پهنه‌بندی توسعه کارست، مطالعاتی در منطقه صورت نگرفته است.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز بقمچ در دامنه جنوبی رشته کوههای هزار مسجد، در بخش شمال غربی دشت مشهد قرار دارد. این حوضه در محدوده طول های جغرافیایی ″۲۶ ′۰۱۲ °۵۹ الی ″۰۲ ′۱۵ °۵۹ شرقی و عرض های جغرافیایی″۳۸ ′۴۹ °۳۶ الی″۳۷ ′۵۹ °۳۶ شمالی، در فاصله حدود ۳۰ کیلومتری شمال شهر چناران در حوضه آبخیز رودخانه کشف رود قرار دارد.
زیرحوضه آبخیز بقمچ با ۹۶/۵ کیلومتر مربع مساحت، دارای اقلیم سرد و خشک و رژیم بارش زمستانه – بهاره می باشد.



شکل ۱: نقشه موقعیت و وضعیت زهکشی حوضه ی آبخیز بقمچ در شهرستان چناران و دشت مشهد.

به علت وجود تشکیلات آهکی در بخش غالب حوضه، رودخانه دارای آب دائم می باشد به طوری که حتی در سالهای خشک هم این رودخانه علاوه بر تأمین آب مورد نیاز شرب و باغات روستاهای داخل حوضه، از آب خروجی برخوردار

ا ست. این منطقه به دلیل وجود گ سلهای ا صلی و فرعی یک منطقه ی تکتونیزه مح سوب می شود. شکل شماره ۱ موقعیت حوضه آبخیز بقمچ را نشان می دهد.

مواد و روش ها

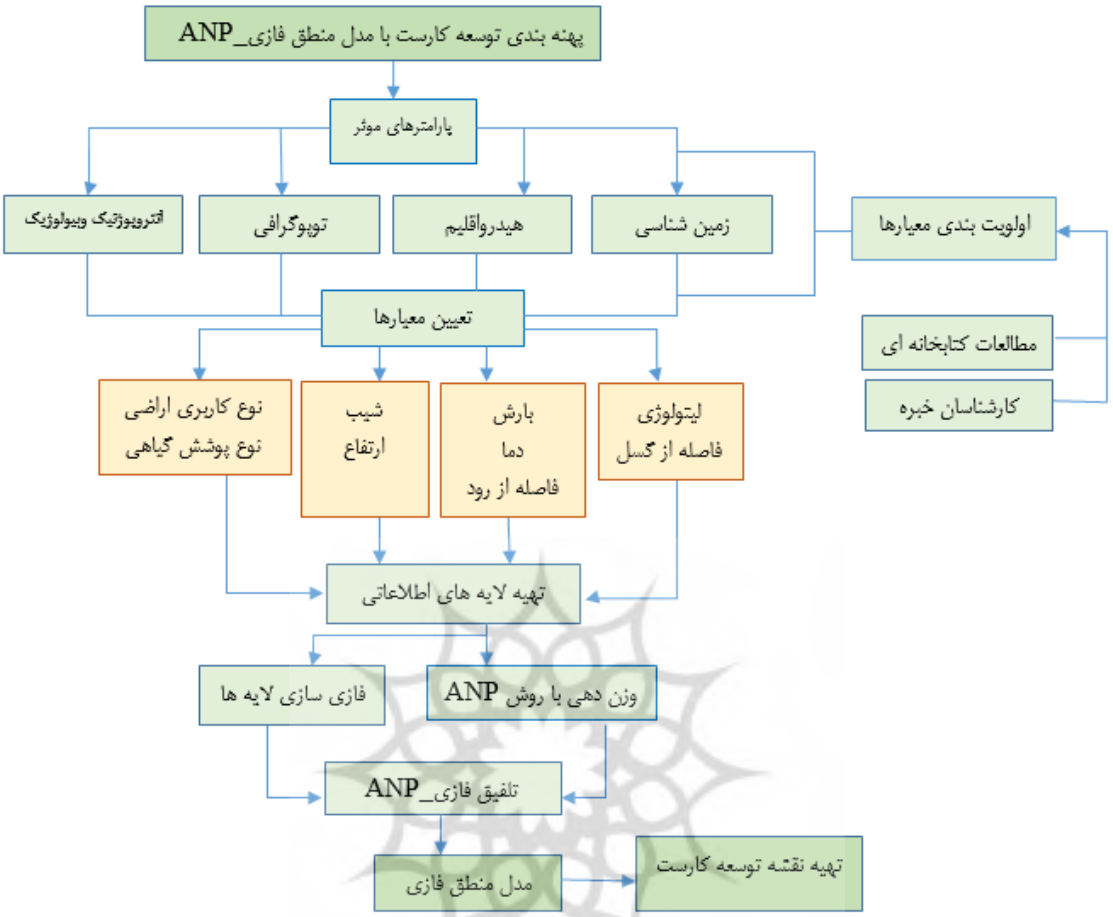
تحقیق حاضر با توجه به هدف از نوع کاربردی و در زمره تحقیقات توصیفی_تحلیلی می باشد.

در این پژوهش برای پهنه بندی توسعه کارست سطحی منطقه مورد مطالعه از تلفیق روش (ANP) و مدل فازی استفاده شده است. از مدل تحلیل شبکه برای وزن دهی به شاخص های مورد مطالعه در پژوهش و از مدل منطق فازی برای هم پوشانی و تجزیه و تحلیل داده ها استفاده شده است.

مواد پژوهش شامل منابع کتابخانه ای (مقالات، کتابها، اسناد تصویری نظیر نقشه ها و گزارش ها) و مطالعات میدانی (مشاهده، مصاحبه و پرسشنامه) می باشد و برای تجزیه و تحلیل داده ها از تکنیک فازی_(ANP) استفاده شده است. در ابتدا پارامترهای موثر در توسعه کارست شناسایی و اولویت بندی شد. سپس داده ها و اطلاعات آماری –توصیفی موثر در تحقیق انتخاب و جمع آوری گردید. در ادامه معیارها و پارامترهای موثر در طبقات مختلف براساس نوع اولویت قرار داده شد. داده ها در دو بخش (ANP) و فازی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نهایتا لایه های فازی شده با ارزشهای متناظر (ANP) آنها تلفیق می گردد. در مرحله آخر با اعمال همپوشانی فازی مناطق توسعه کارست مشخص گردید. شکل شماره (۲) مراحل اجرای تحقیق را نشان می دهد.

جهت تهیه ی لایه های اطلاعاتی از نرم افزار ARC GIS استفاده شده است. از نقشه های توپوگرافی ۵۰۰۰۰ : ۱ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح برای مشخص کردن خط الرأس ها و ا ستخراج حو ضه و نق شه‌های زمین شنا سی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ شهر ستان چناران سازمان زمین شنا سی ک شور برای لیتولوژی و شنا سایی گ سلهای مورد مطالعه ا ستفاده شده ا ست. از لایه DEM با دقت مکانی ۳۰ متر در باند SWIR سنجنده ASTER ، جهت ا ستخراج لایه های ارتفاع و شیب استفاده شده است. موقعیت آبراهه ها نیز از لایه DEM منطقه استخراج شدند.

برای پهنه بندی مناطق توسعه کارست بر اساس مدل تلفیقی (ANP) و فازی باید ابتدا هر کدام از لایه ها را فازی کرد. برای فازی سازی، بایستی لایه ها به صورت فرمت رستری با شند. لایه های خطی با استفاده از تحلیل Distance و برای لایه های پلیگونی در جدول اطلاعات توصیفی شان فیلد ارزش ساخته و بر اساس مناسب بودنشان برای توسعه کارست طبق نظر کارشناسی کدگذاری شده و با دستور feature to raster به لایه های رستری تبدیل شدند. پس از آن هر کدام از لایه ها با استفاده از توابع در محیط ARC GIS با دستور Fuzzy membership فازی شدند و در طیف عددی صفر تا یک قرار گرفتند.



شکل۲: روند جریانی پژوهش

استانداردسازی لایه های اطلاعاتی

بر ا ساس تئوری فازی و ا صل ترکیبی رابطه فازی، مرزهای فازی را می توان به سادگی کمی سازی کرد. ارزیابی جامع فازی برای تعیین کمیت شـاخص های ارزیابی کیفی و تقریب مقادیر دقیق شـاخص های کمی اسـتفاده می شـود (جان ییـنگ[1] و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۲۴۲). در منطق فازی هر منطقه با توجه به مقداری که معیار مورد نظر (X) را رعایت می کند مقدار عضویتی میگیرد (μX) که بیان کننده ی میزان مطلوبیت آن ناحیه می باشد. به این معنی که هر ناحیه با مقدار عضـویت بالاتر، از مطلوبیت بالاتری برخوردار اسـت (حاجی زاده وادقانی، ۱۳۹۷: ۲۲۴). در حقیقت گذار از یک طبقه به طبقه دیگر تدریجی و آهسته است. عناصر هر طبقه نیز با یک درجه عضویت معین به هر طبقه تعلق دارند. لطفی زاده درجه عضویت عناصر یک مجموعه را در عالم واقعی، نامعین و مقدار آن را از صفر تا یک تعیین کرد. تئوری فازی قدرت انعطاف پذیری بالایی را داراسـت، برای اینکه در مقایسـه با روشـهای باینری (دارای دو ارزش صـفر و یک) منطق فازی اجازه می دهد که یک پیکسل بر اساس درجه عضویت غیر صفر به چندین کلاس تعلق داشته باشد (هاشم زاده و ولیزاده کامران، ۱۴۰۱: ۴).

[1]. Jun-ying

استاندارسازی لایه های اطلاعاتی بر حسب نظر کارشناسان و منابع کتابخانه ای صورت گرفته است. برای استاندارسازی لایه ها، از روش منطق فازی استفاده شده است به این صورت که لایه های اطلاعاتی بر حسب ارزشی که جهت اهداف مورد نظر دارند بین صفر و یک ارزشگذاری شده اند.

عملگر گاما

منطق فازی دارای اپراتورهای؛ اشتراک فازی[۱]، اجتماع فازی[۲]، ضرب فازی[۳]، جمع فازی[۴] و گاما[۵] که هر یک دارای نحوه عمل خاصی هستند، در محیط نرم افزار ARC GIS قابل اجراست. عملگر اجتماع فازی، حداکثر درجه عضویت اعضا را استخراج می کند و از دقت بالایی در پهنه بندی برخوردار نمی باشد. در عملگر جمع جبری فازی ارزش پیکسل ها به سمت یک میل می کند و در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خوب قرار می گیرند. به همین دلیل این اپراتور حساسیت کمی در پهنه بندی دارد. برای تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر فازی ضرب و حساسیت خیلی کم فازی جمع اپراتور گاما معرفی شده است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۳۱-۱۳۰). که حد فاصل این دو عملگر می باشد. اگر γ برابر ۱ باشد خروجی نقشه همان fuzzy sum خواهد بود و اگرγ برابر صفر باشد نقشه ی خروجی همان نقشه fuzzy product خواهد بود؛

معادله ۱

$$\mu = ((\text{Fuzzy Algebraic Sum})^{\gamma} + (\text{Fuzzy Algebraic Product}))^{1-\gamma}$$

که در آن μ لایه حاصل از گامای فازی و γ پارامتر تعیین شده در محدوده صفر و یک است (حاجی زاده وادقانی، ۱۳۹۷: ۲۲۶).

نقشه های فاصله از گسل، همباران، همدما، فاصله از رود، شیب و ارتفاع به دلیل کمی بودن، با استفاده از منطق فازی بین محدوده صفر و یک وزندهی شدند. برای فازی سازی نقشه های لیتولوژی، تراکم پوشش گیاهی و کاربری اراضی به دلیل اینکه دارای پارامترهای کیفی هستند، به مناطقی که از لحاظ توسعه کارست مناسب نیستند، ارزش عددی صفر و به سایر کاربریها که از لحاظ توسعه کارست مناسب هستند، ارزش عددی یک داده شده است (شکل شماره ۳). جهت پهنه بندی مناطق مساعد توسعه کارست از گامای ۰,۹ استفاده شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

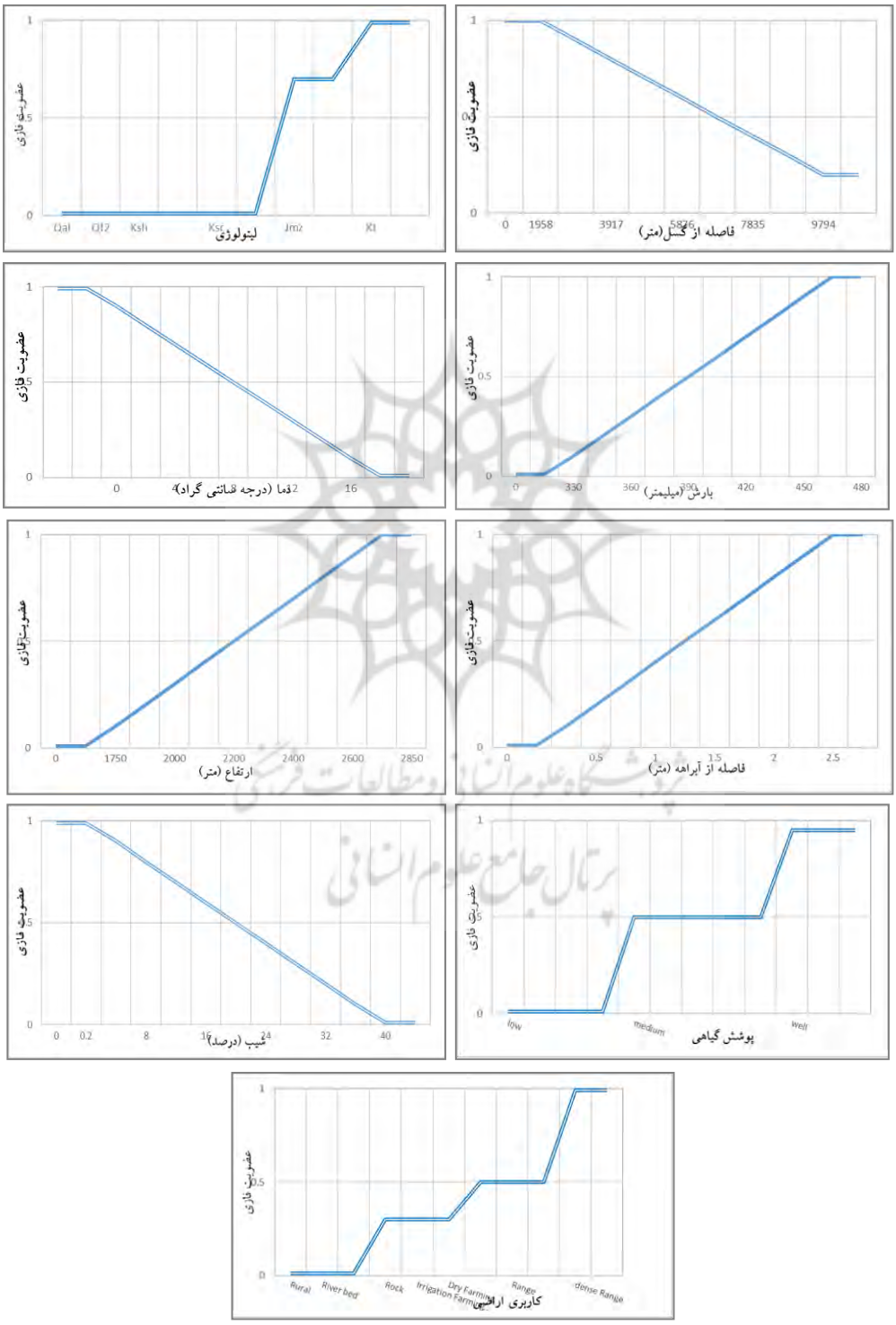
[۱] Fuzzy AND

[۲] Fuzzy OR

[۳] Fuzzy Product

[۴] Fuzzy SUM

[۵] Fuzzy Gamma



شکل ۳: تابع عضویت فازی لایه های اطلاعاتی

فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP)[1]

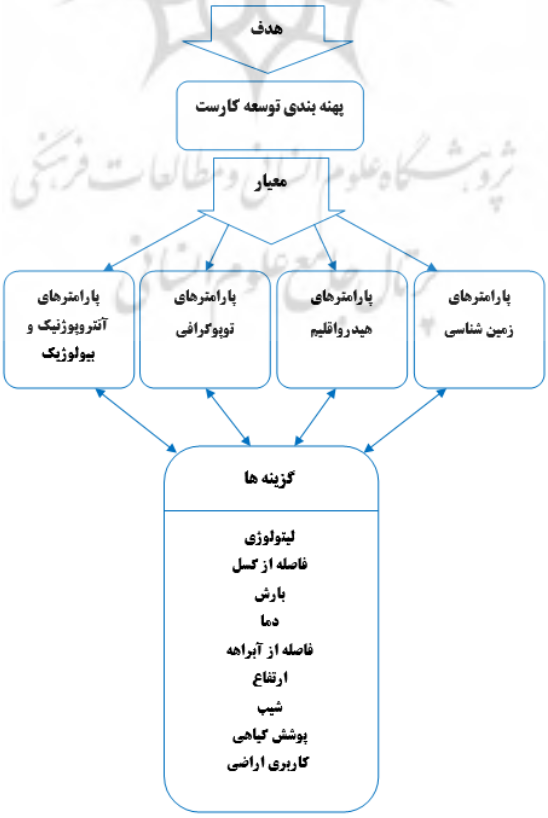
فرآیند تحلیل شبکه ای یکی از روش های تصمیم گیری چند معیاره با ساختار غیر خطی و روابط دو سویه است (قربان نیا خیبری، ۱۳۹۸: ۲۹). روش تحلیل شبکه‌ای به وسیله ساعتی[2] و تاکی زاوا در سال ۱۹۸۶ پیشنهاد شد و تعمیم روش AHP است. فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP) هر موضوع و مسئله ای را به مثابه شبکه ای از معیارها، زیرمعیارها و گزینه ها که با یکدیگر در خوشه هایی جمع شده اند، درنظر میگیرد. تمامی عناصر در یک شبکه میتوانند به هر شکل، دارای ارتباط با یکدیگر باشند. به عبارت دیگر، در یک شبکه، بازخورد و ارتباط متقابل بین و میان خوشه ها امکانپذیر است (زاهدی، ۱۳۹۵: ۱۹۰) در روش (ANP) علاوه بر اهمیت معیار، اهمیت گزینه ها نیز در نظر گرفته میشود و سیستم تصمیم گیری خطی با یک سیستم پیچیده تر جایگزین می گردد (قربانی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۶۲) لازمه ی استفاده از این روش، شناخت کافی از هدف تصمیم گیری، محیط تصمیم و تمامی عناصر تصمیم گیری به وسیلهٔ ی تصمیم گیرنده است (فرزین کیا و همکاران، ۱۴۰۰ :۵۵) این شناخت به این علت لازم است که تصمیم گیرند ه بتواند همه ی ملاک های مؤثر در تصمیم را تعیین و تأثیر آن ها بر یکدیگر را مشخص و بتواند واقعی ترین حالتی از شبکه را رسم کند. مقایسه های زوجی بایستی اولویت واقعی عناصر نسبت به یکدیگر را نشان دهند. راه حل طبیعی برای انجام مقایسه ها در حالت های نبود قطعیت استفاده از مقایسه های فازی است که حالت های ابهام در مقایسه را مدل سازی کند (خدمت زاده و حسنی، ۱۳۹۹: ۷۳). فرآیند روش تصمیم گیری تحلیل شبکه ای (ANP) را به عنوان یک ابزار تصمیم گیری چند معیاره به وسیله جایگزینی شبکه به جای سلسله مراتب بهبود می بخشد. یک مسئله پیچیده را می توان به چند مسئله فرعی متشکل از سطوح سلسله مراتبی به گونه ای تجزیه کرد که هر سطح در بر گیرنده مجموعه ای از معیار ها و گزینه های مربوط به هر مسئله فرعی باشد. مراحل رویکرد گام به گام شامل؛ مرحله اول: مقایسه زوجی معیارها با توجه به هدف مساله، مرحله دوم: مقایسه زوجی بین معیارها با توجه به هر معیار، مرحله سوم: مقایسه زوجی بین گزینه ها با توجه به معیارها، مرحله چهارم: مقایسه زوجی بین گزینه ها نسبت به گزینه ها و مرحله پنجم: تعیین ارجحیت گزینه ها می باشد (داس و چاکرابورتی[3]؛ ۲۰۱۱: ۵۳-۵۰).

ابتدا معیارها و شاخص های تأثیرگذار بر هدف مشخص می گردد. یکی از روشهای تعیین معیارها مصاحبه با کارشناسان، اساتید و مسئولین مرتبط با موضوع می باشد. پس از تعیین معیارها، معیارها بر حسب مشابهت موضوعی دسته بندی شده و تشکیل خوشه هایی را می دهند. در این پژوهش به منظور انجام آنالیزهای مربوط به روش (ANP) از نرم افزار Super decision استفاده شده است. براساس نظر کارشناسان چهار خوشه زمین شناسی، هیدرواقلیم، توپوگرافی و آنتروپوژنیک و بیولوژیک در نظر گرفته شده است که هر یک از خوشه ها دارای چند معیار هستند. اولویت بندیها مطابق نظر کارشناسان در دو سطح درون لایه ای[4] و معیارها (بین خوشه ای یا لایه ای) انجام گرفته است. وزن نهایی هریک از پارامترها از حاصلضرب در وزن خوشه آن بدست می آید. ارزشهای هر پارامتر اراضی مطابق مدل (ANP) به شرح جدول ۲ استخراج شد. گام‌های انجام فرایند تحلیل شبکه در این پژوهش به شرح جدول زیر است:

1. Analytical Network Process
2. Thomas L. Saaty
3. Das & Chakraborty
4. Alternative

جدول ۱ : گام‌های انجام فرایند تحلیل شبکه در پژوهش

گام اول: ایجاد مدل و تعیین هدف	براساس هدف تصمیم گیری، شاخص های تصمیم گیری و گزینه های ممکن مشخص (شکل۴) شد.
گام دوم: مقایسه زوجی	مقایسه زوجی برای به دست آوردن اهمیت نسبی معیارهای زمین شناسی، هیدرواقلیم، توپوگرافی، انتروپوژنیک و بیولوژیک انجام شد. بدین منظور یک معیار نسبی از یک تا نه برای مقایسه دوعامل به کار می رود
گام سوم: انجام مقایسه های زوجی برای وابستگی درونی و بازخوردی	وزن های داخلی شاخص ها و زیرشاخص ها که در مرحله اول مشخص شده بودند، محاسبه می گردد. همچنین مانند مرحله قبل، ماتریس های مقایسه زوجی انجام گردید با این تفاوت که در این مرحله وابستگی های درونی و بازخوردی مدنظر می باشد.
گام چهارم: تشکیل سوپرماتریس	سوپرماتریس یک ماتریس مرکب است که هر ماتریس فرعی آن شامل مجموعه ای از روابط بین و درون سطوحی است. سوپرماتریس ها برای تجزیه، تحلیل وابستگی های داخلی میان اجزای سیستم، بکار می رود.
گام پنجم: سوپرماتریس حد	از سوپرماتریس برای همگرایی و رسیدن به یک مجموعه از وزن های ثابت استفاده می شود. به توان رساندن سوپرماتریس باعث همگرایی می شود.
گام آخر: انتخاب بهترین تصمیم	وزن کلی هرکدام از گزینه ها با ضرب وزن های به دست آمده از هرکدام از مراحل پیشین مشخص و با توجه به آن تصمیم نهایی اتخاذ می شود. دراین مرحله وزن نهایی معیارها و نه پارامتر لیتولوژی، فاصله از گسل، بارش، دما، فاصله از آبراهه، ارتفاع، شیب، پوشش گیاهی و کاربری اراضی مشخص می گردد.



شکل۴: مدل تصمیم گیری در فرآیند تحلیل شبکه ای

یافته های تحقیق

وزن نه معیار؛ لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب به درصد، ارتفاع، فاصله از رودخانه، بارش به میلی متر (همباران) ، دما (همدما)، تراکم پوشش گیاهی، نوع کاربری اراضی و زیر معیارهای آن ها با استفاده از مدل Fuzzy _ANP در نرم افزار Super Decisions به دست آمد که به ترتیب زیر در جدول شماره ۲ و ۳ ارائه گردیده است. مقایسه پارامترها نشان می دهد که عامل لیتولوژی و بارش به ترتیب با وزن ۰,۲۳۳ و ۰,۲۰۱۱ بیشترین وزن و عامل فاصله از آبراهه و نوع کاربری اراضی به ترتیب با وزن ۰,۰۱۸۷ و ۰,۰۲۰۴ کم ترین وزن را به خود اختصاص داده اند.

جدول ۲: وزن نهایی زیرمعیارها

معیار	زیرمعیار	وزن	کلاس بندی در نقشه	معیار	زیرمعیار	وزن	کلاس بندی در نقشه
فاصله از گسل (متر)	فاصله ۱۸۰۰متری از گسل	۰,۱	۱	مجموع بارش سالانه (میلیمتر)	۴۸۰-۴۵۰ میلیمتر	۰,۰۱	۱
	فاصله ۳۶۰۰ متری از گسل	۰,۰۴	۲		۴۵۰-۴۲۰ میلیمتر	۰,۰۷	۲
	فاصله ۴۴۰۰متری از گسل	۰,۰۰۹	۳		۴۲۰-۳۹۰ میلیمتر	۰,۰۳	۳
	فاصله ۵۲۰۰متری از گسل	۰,۰۰۰۷	۴		۳۹۰-۳۶۰ میلیمتر	۰,۰۰۰۹	۴
	فاصله ۷۰۰ متری از گسل	۰,۰۰۰۱	۵		۳۶۰-۳۳۰ میلیمتر	۰,۰۰۰۲	۵
	جمع	۰/۱۴۹۸			جمع	۰/۲۰۱۱	
لیتولوژی	سازند مزدوران	۰,۱۲۱	۱	متوسط دمای سالانه (درجه سانتی گراد)	کمتر از ۰ درجه سانتی گراد	۰,۱	۱
	سازند تیرگان	۰,۱۱۱	۲		۴-۰ درجه سانتی گراد	۰,۰۲	۲
	سازندها غیرکارستی	۰,۰۰۱	۳		۸-۴ درجه سانتی گراد	۰,۰۰۲	۳
	جمع	۰/۲۳۳			۱۲—۸ درجه سانتی گراد	۰,۰۰۰۴	۴
طبقات ارتفاعی (متر)	۲۶۰۰-۲۸۵۰ متر	۰,۱	۱		۱۶-۱۲ درجه سانتی گراد	۰,۰۰۰۱	۵
	۲۴۰۰-۲۶۰۰ متر	۰,۰۰۶	۲		جمع	۰/۱۲۲۵	
	۲۴۰۰—۲۲۰۰ متر	۰,۰۰۴	۳	فاصله از آبراهه (متر)	فاصله ۲,۵ متری از آبراهه	۰,۰۱	۱
	۲۰۰۰-۲۲۰۰ متر	۰,۰۰۰۲	۴		فاصله ۲ متری از آبراهه	۰,۰۰۵	۲
	۱۷۵۰-۲۰۰۰ متر	۰,۰۰۰۱	۵		فاصله ۱,۵ متری از آبراهه	۰,۰۰۳	۳
	جمع	۰/۱۱۰۳			فاصله ۱ متری از آبراهه	۰,۰۰۰۶	۴
شیب (درصد)	۱۲-۰	۰,۱	۱		فاصله ۰,۵ متری از آبراهه	۰,۰۰۰۱	۵
	۲۰-۱۲	۰,۰۰۲	۲		جمع	۰/۰۱۸۷	
	۲۸-۲۰	۰,۰۰۱	۳	کاربری اراضی	مرتع مشجر	۰,۰۱۵	۱
	۳۲-۲۸	۰,۰۰۰۶	۴		مرتع	۰,۰۰۵	۲
	۴۰-۳۲	۰,۰۰۰۴	۵		اراضی سنگی، اراضی زراعی و باغی	۰,۰۰۰۳	۳
	جمع	۰/۱۰۴					
تراکم پوشش گیاهی	متراکم	۰,۰۳	۱				
	متوسط	۰,۰۱	۲				
	فقیر	۰,۰۰۰۲	۳				
	جمع	۰/۰۴۰۲			بستر رودخانه، آبادی	۰,۰۰۰۱	۴
					جمع	۰/۰۲۰۴	

جدول ۳: وزن نهایی خوشه ها و معیارها

خوشه	زمین شناسی		هیدرواقلیم			توپوگرافیک		بیولوژیک و آنتروپوژنیک	
وزن خوشه	۰,۴۵۸۷		۰,۳۳۰۳			۰,۱۱۳۲		۰,۰۹۷۸	
معیار	لیتولوژی	فاصله از گسل	بارش	دما	فاصله از رود	ارتفاع	شیب	نوع پوشش گیاهی	نوع کاربری اراضی
وزن اولیه	۰,۱۱۶۵۱	۰,۰۷۴۹۱	۰,۱۰۰۵۴	۰,۰۶۱۲۴	۰,۰۰۹۳۵	۰,۰۵۵۱۳	۰,۰۵۲۱۱	۰,۰۲۰۱۱	۰,۰۱۰۲۱
وزن نرمال نشده	۰,۵۰۸۹۵۲	۰,۳۲۷۰۷۴	۰,۶۰۸۸۴	۰,۳۷۰۸۷۵	۰,۰۵۶۶۱۵	۰,۹۷۴۳۸۲	۰,۹۲۰۴۹۵	۰,۴۰۸۹۵۲	۰,۲۰۷۵۲۸
وزن نهایی نرمال شده	۰,۲۳۳۱	۰,۱۴۹۸	۰,۲۰۱۱	۰,۱۲۲۵	۰,۰۱۸۷	۰,۱۱۰۳	۰,۱۰۴۲	۰,۰۴۰۲	۰,۰۲۰۴

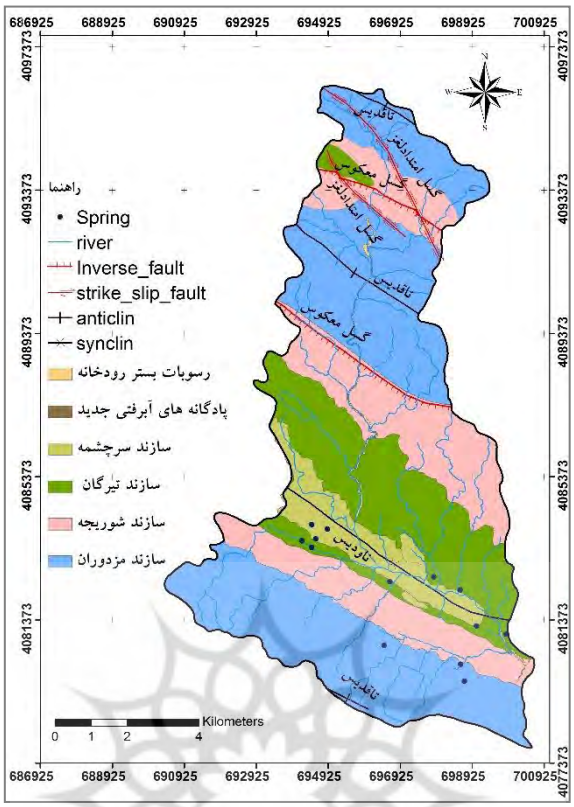
معیارهای موثر در توسعه کارست

پارامترهای زمین شناسی (لیتولوژی و فاصله از گسل)

مطالعات زمین شناسی در مناطق کارستی، باتوجه به نقش زیاد نوع لیتولوژی در توسعه کارست اهمیت زیادی دارد. وجود سنگهای انحلال پذیر که دارای ضخامت مناسبی باشند، یکی از پیش شرط های توسعه سرزمین های کارستی می باشد. وجود یک لایه با نفوذناپذیری کم نیز در زیر لایه نفوذپذیر باعث می شود که انحلال به یک لیتولوژی خاص معطوف شده و تشکیلات کارستی توسعه یابند (رضایی عارفی، ۱۳۹۹: ۸۴). حوضه کوهستانی بقمچ در دامنه های جنوبی زون هزار مسجد_کپه داغ واقع گردیده است. سازندهای آهکی عمده حوضه مورد مطالعه شامل سازندهای مزدوران و تیرگان می باشد. در حوضه مورد مطالعه مجموعاً ۵ واحد سنگ چینه ای مشخص شده است. دراین راستا سازندها به دو دسته کارستی و غیر کارستی دسته بندی شدند (شکل ۵). با استفاده از توابع بردار به رستر، نقشه رستری لیتولوژی منطقه تهیه گردید (شکل ۷).

جدول ۴: توزیع سازندهای کربناته و غیرکربناته در حوضه کوهستانی بقمچ

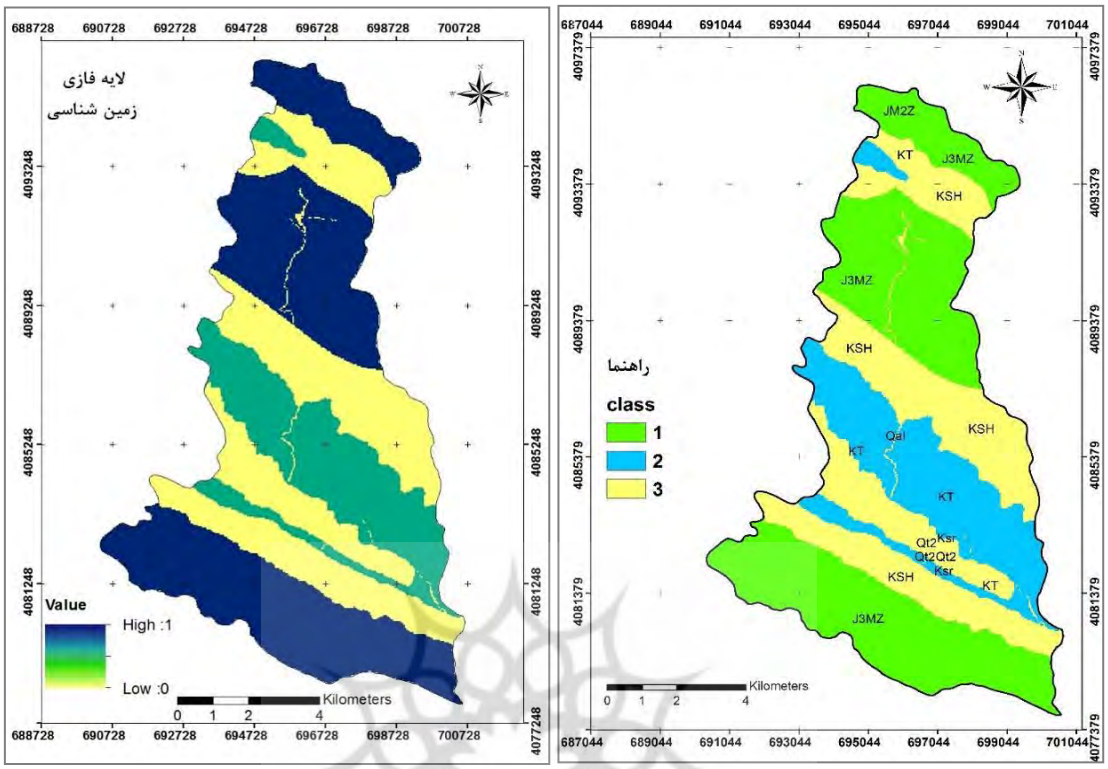
نام سازند	علامت اختصاری	نوع سازند		مساحت (کیلومترمربع)	در صد گسترش
سازندمزدوران	$J^{k}mz$	کارستی	دولومیتی _آهکی	۴۲/۹	۴۴/۴۲
سازند تیرگان	K t			۲۰,۲	۲۰,۹۳
سازند شوریجه	Ksh	غیرکارستی	غیرکربناته_ ماسه سنگ	۲۶,۱	۶,۴۴
سازند سرچشمه	Ksr		غیرکربناته_ شیل	۶,۲	۲۷,۰۳
رسوبات آبرفتی کواترنر	Qt2		غیرکربناته_آواری یا تخریبی	۰,۳۶	۰,۳۷
	Qal			۰,۷۴	۰,۰۱
مجموع				۹۶,۵۰۳	۱۰۰



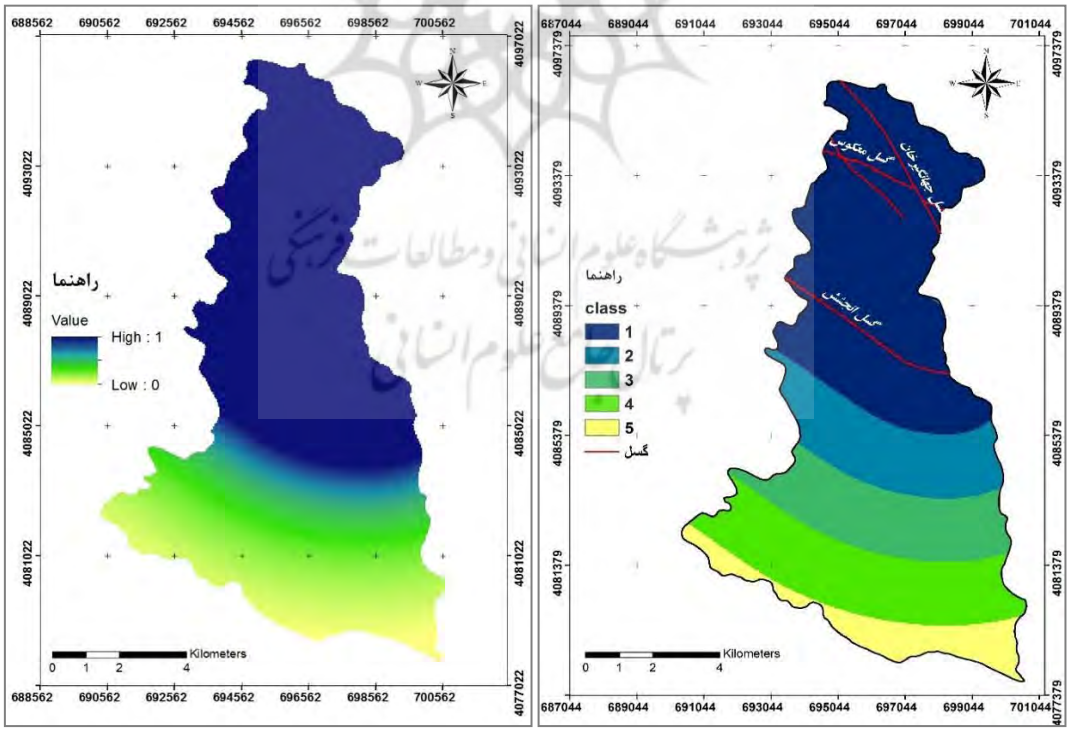
شکل ۵: نقشه زمین شناسی حوضه آبخیز بقمچ

منطقه مورد مطالعه در یکی از نواحی به نسبت فعال تکتونیکی شمال شرق کشور واقع شده که به تبع آن گسلهایی با امتداد تقریبی شمال غربی–جنوب شرقی به وجود آمده اند. گسلها بیشتر از نوع امتداد لغز و یا از نوع معکوس هستند و در نقاطی گسلهای راندگی نیز دیده می شود. گسلهای امتداد لغز بیشتر دارای راستای شمالی–جنوبی هستند که نشان از اعمال نیرویی در همین راستا دارد که به گسل جهانگیر می توان اشاره نمود. گسلهای راندگی و معکوس دارای راستایی حدودا شمال غربی –جنوب شرقی که نشان دهنده وجود نیرویی در جهت عمود بر راستای این گسلها، یعنی شمال شرقی –جنوب غربی می باشد که به گسل انجیشش می توان اشاره کرد (شکل ۵). گسلها در گسترش و تکامل کارست نقش اساسی دارند. به علت وجود شکاف ها در جوار عوامل انحلال دهنده امکان نفوذ آب در این سنگ ها امکان پذیر می گردد (خوشرفتار و همکاران، ۱۳۹۸: ۲). (شکل ۶) میزان نفوذپذیری سنگها در مناطق نزدیک گسل به علت تکتونیزه بودن و وجود درزه و شکاف، بیشتر است (شکل ۸).

شکل ۶: توسعه سیستم درز و شکاف (الف) ساخت های چین خورده با فشارهای تکتونیکی شدید (ب)



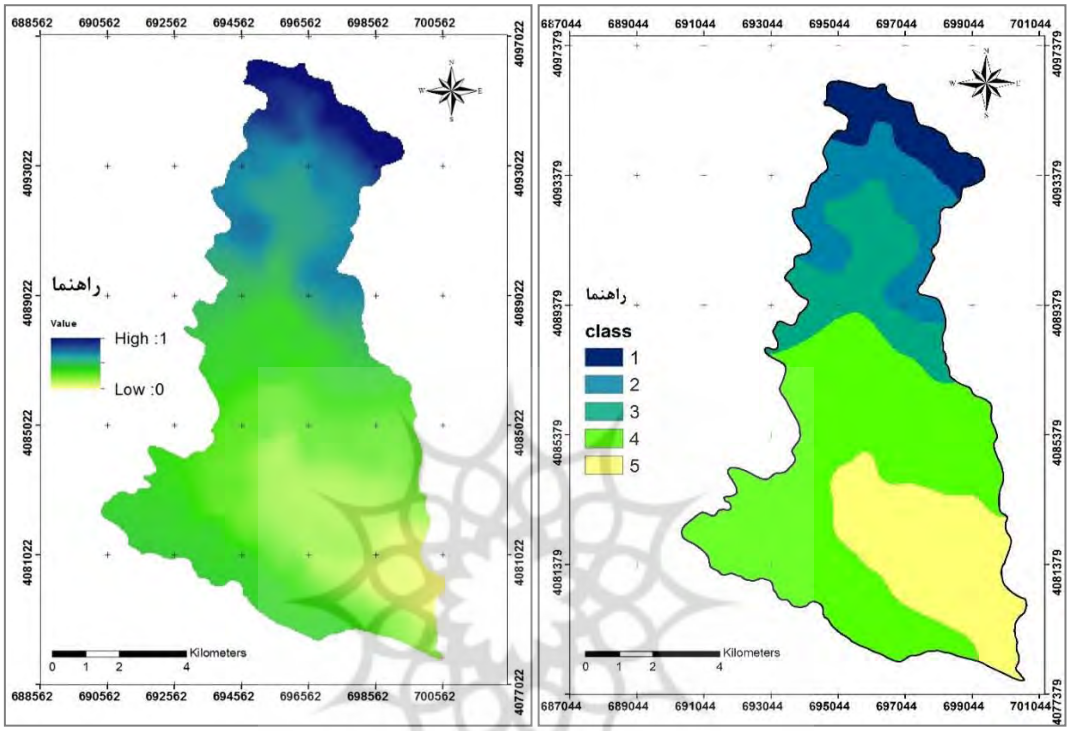
شکل ۷: وزن لیتولوژی حوضه بر اساس روش تحلیل شبکه ای و تابع فازی



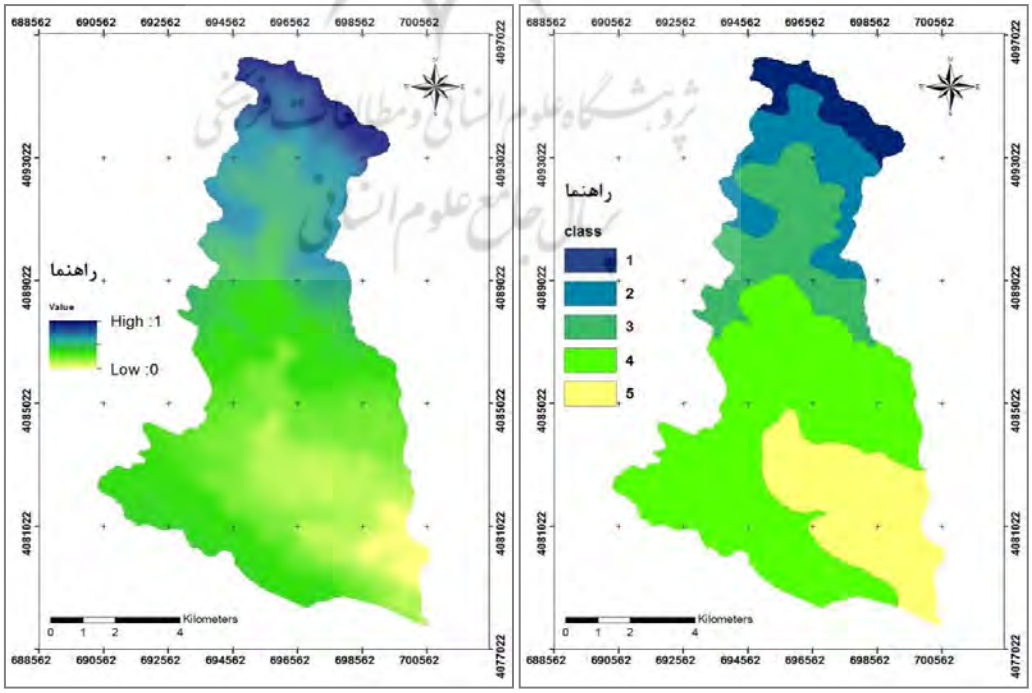
شکل ۸: وزن لایه فاصله از گسلهای حوضه براساس روش تحلیل شبکه ای و تابع فازی

پارامترهای هیدرواقلیمی (بارش، دما و رودخانه)

با توجه به اینکه حجم بارش در توسعه کارست و پتانسیل آبهای کارستی نقش بسـزایی دارد، اقدام به تهیه لایه اطلاعاتی بارش گردید. هرچه بارندگی بیشتر شرایط برای توسعه کارست فراهم تر می باشد. بارندگی بیشتر از ۳۰۰ میلیمتر شرایط مساعدی را برای توسعه کارست در یک منطقه دارد (شکل ۹).

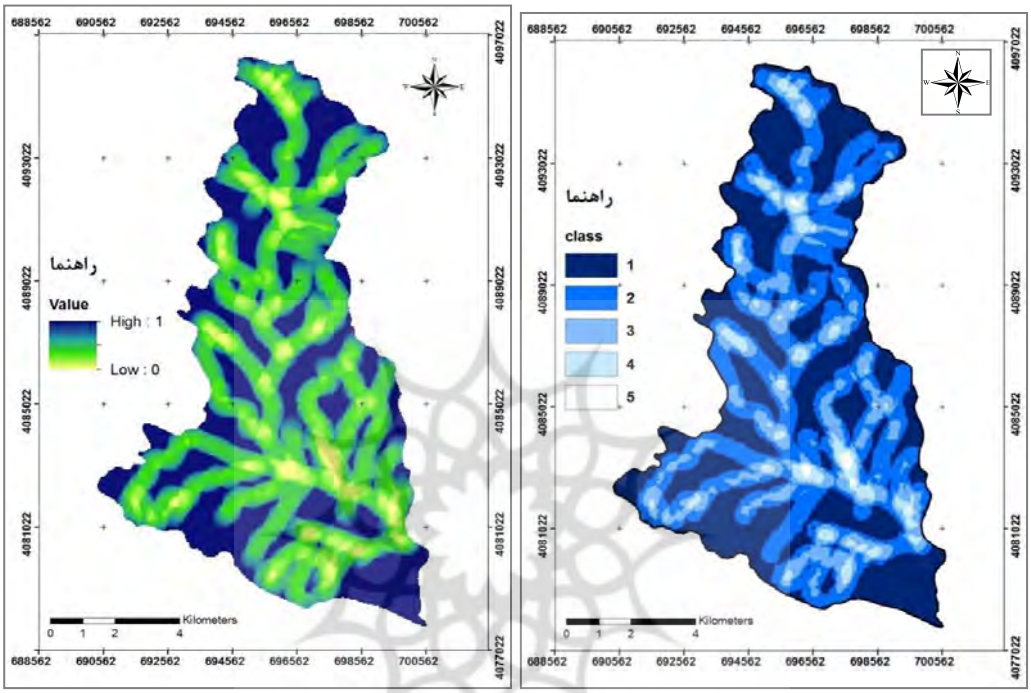


شکل ۹: وزن لایه همبارش حوضه براساس روش تحلیل شبکه ای و تابع فازی



شکل ۱۰: وزن لایه همدمای حوضه براساس روش تحلیل شبکه ای و تابع فازی

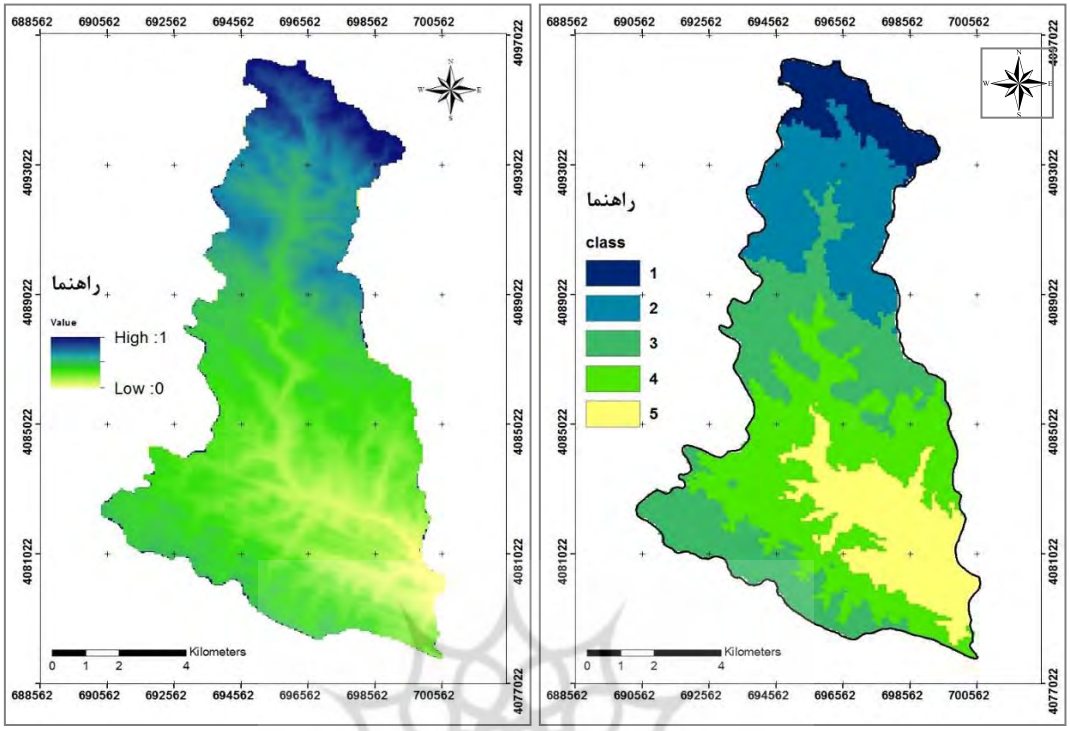
عامل مهم بعدی در توسعه کارست دما می باشد. هر چه دما کمتر توسعه کارست بیشتر صورت می گیرد. با توجه به آب و هوای سرد کوهستانی و رخنمون سنگی عریان در منطقه از یک رابطه خطی فزاینده جهت تعیین عضویت این لایه استفاده شده است. (شکل ۱۰) پارامتر هیدرواقلیمی دیگر شبکه زهکشی است در مناطقی که شبکه زهکشی تراکم کمتری دارد پتانسیل انحلال بیش از سایر نواحی است این تابع در کارست زایی از یک رابطه خطی کاهنده پیروی می کند. (شکل ۱۱)



شکل ۱۱: وزن لایه فاصله از آبراهه های حوضه براساس روش تحلیل شبکه ای و تابع فازی

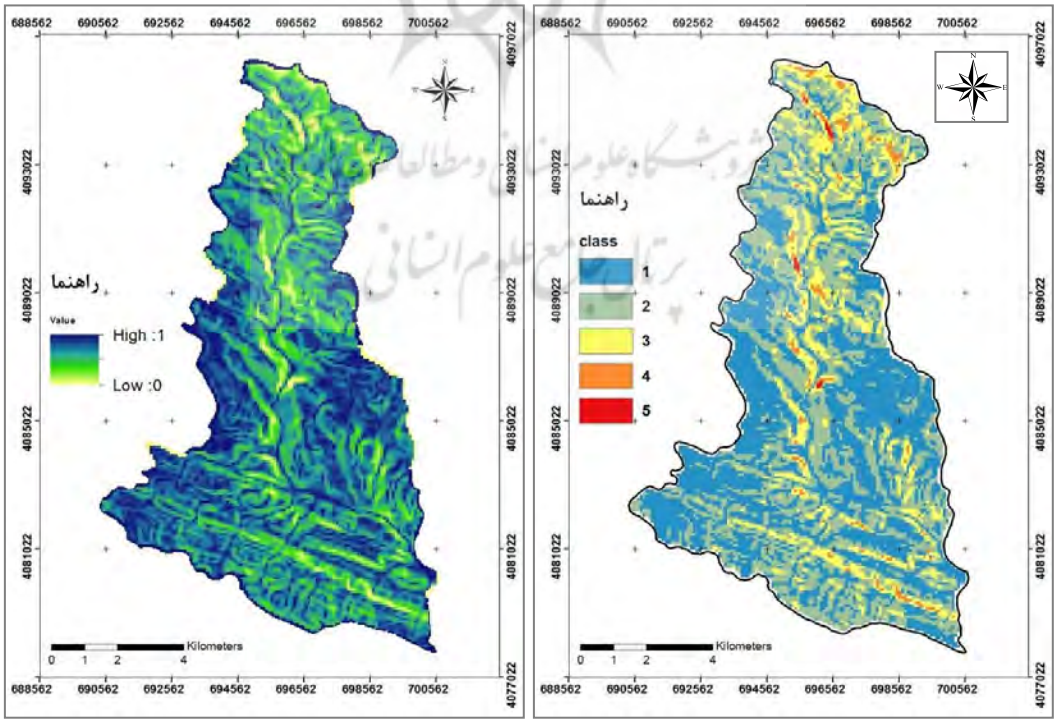
پارامترهای توپوگرافیک (ارتفاع و شیب)

ارتفاع از پارامترهای فیزیکی مؤثر در میزان وقوع بارندگی و نوع آن، تبخیر و تعرق، دما و پوشش گیاهی است. به طورکلی توپوگرافی در تغذیه و تخلیه و برونزد چشمه های کارستی نقش مؤثری دارد. با افزایش ارتفاع میزان دما کاهش و میزان بارش افزایش می یابد و پتانسیل توسعه کارست به دلیل افزایش گرادیان هیدرولیکی، افزایش می یابد، بیشترین تحول یافتگی کارست در سطوح ارتفاعی بالا با شرط خلوص آهک مشاهده می شود (زروش و همکاران، ۱۳۹۳:۱۴۹) همچنین ارتفاع از سطح آبخوان، شرایط را برای جریان بیشتر سیال فراهم و انحلال را تشدید می کند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲: وزن لایه طبقات ارتفاعی حوضه براساس روش تحلیل شبکه ای و تابع فازی

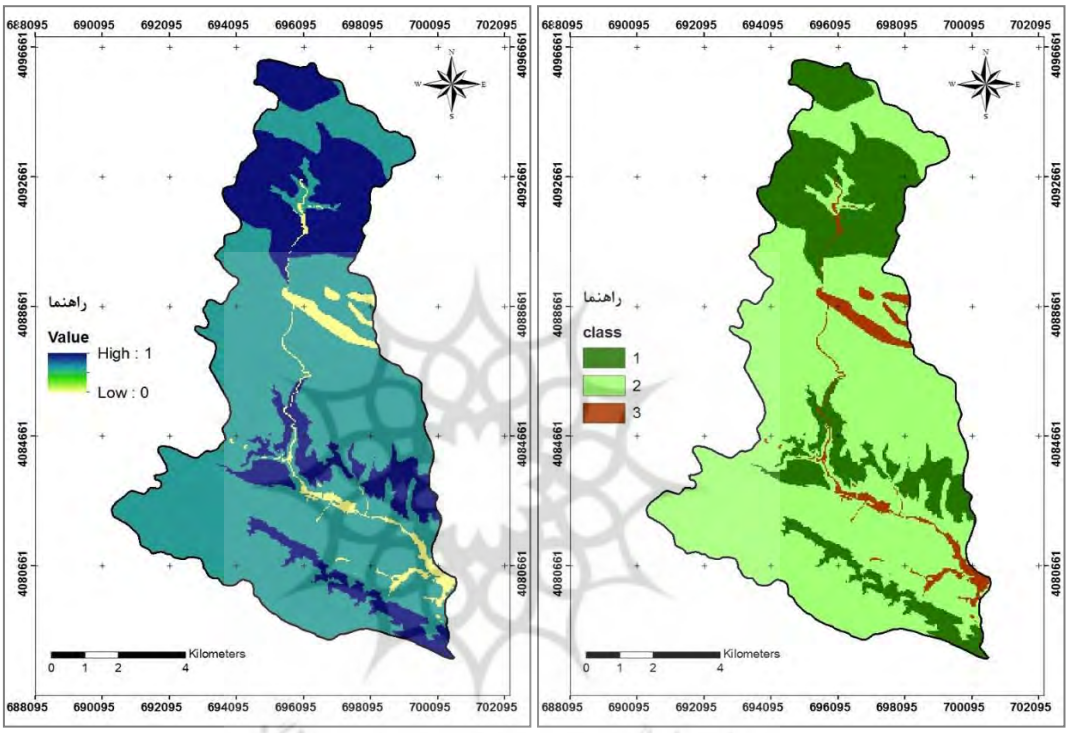
پارامتر توپوگرافیکی شیب نقش مهمی در سرعت رواناب وکاهش نفوذپذیری دارد، در مناطق پرشیب سرعت رواناب بیشتر و میزان نفوذ کمتر خواهد بود، بنابراین در مناطق پرشیب توسعه ی فرایندهای کارستیک با سرعت کندتری نسبت به مناطق کم شیب صورت می گیرد(صفاری و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۰۲) (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: وزن لایه طبقات شیب حوضه براساس روش تحلیل شبکه ای و تابع فازی

پارامترهای بیولوژیک و آنتروپوژنیک (پوشش گیاهی و کاربری اراضی)

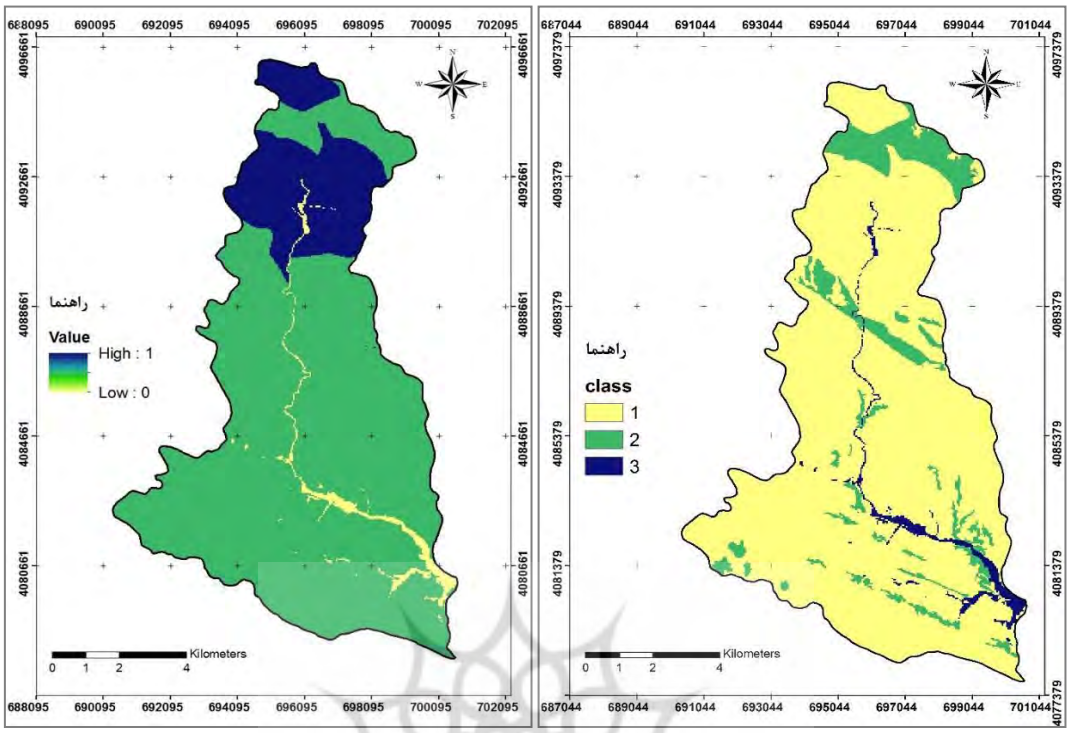
پوشش گیاهی سطح کارست اگر متراکم باشد، موجب جذب بارش و رطوبت شده و از طریق ریشه خود، این رطوبت و گاز کربنیک را همراه مقادیری اسید به سنگ آهک وارد می کند. همچنین بقایای گیاهان پوسیده شده، جانوران خاکزی و قارچ ها در تولید گاز کربنیک و ترکیبات ارگانیکی بسیار مفید هستند و باعث تولید اسید هیومیک[۱] می شوند و در انحلال سنگ کربناته نقش مهمی را ایفا می کنند (بهنیافر و قنبرزاده،۱۳۹۴: ۱۳۴) پوشش گیاهی سبب افزایش درز و شکافها در سازند سخت شده و مقدار نفوذ را به حد چشمگیری افزایش می دهد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴: وزن لایه تراکم پوشش گیاهی حوضه براساس روش تحلیل شبکه ای و تابع فازی

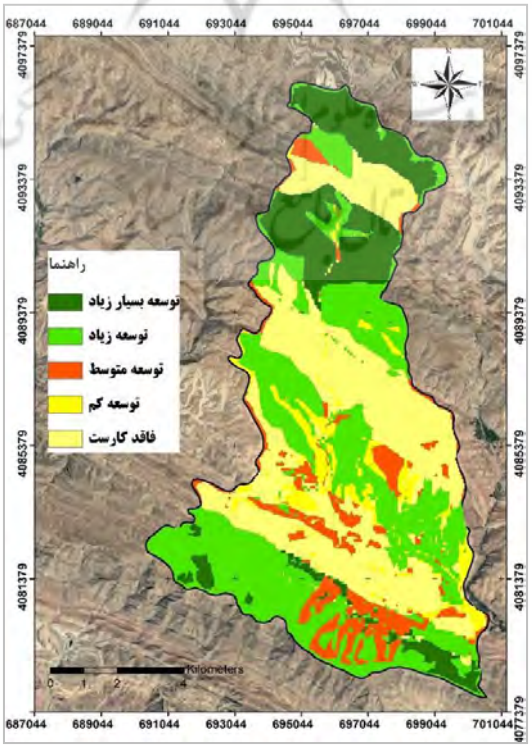
در لایه کاربری اراضی با افزایش پوشش گیاهی میزان کارستی شدن بیشتر می شود (شکل ۱۵).

[۱] Humic Acid



شکل ۱۵: وزن لایه نوع کاربری حوضه براساس روش تحلیل شبکه ای و تابع فازی

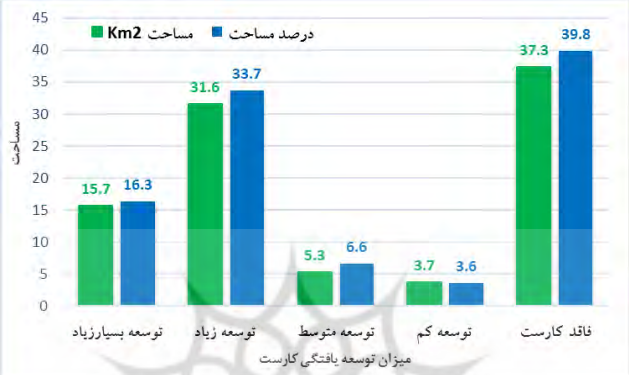
پارامترهای درنظر گرفته شده با استفاده از عملگر گاما ۰,۷، ۰,۸ و ۰,۹ رویهم گذاری شده و گامای ۰,۹ به دلیل مطابقت بیشتر با عوامل موثر در توسعه کارست حوضه مورد مطالعه به عنوان بهترین ضریب انتخاب و با استفاده از آن نقشه پهنه بندی توسعه کارست تهیه گردید. شکل شماره ۱۶ نقشه پهنه بندی مناطق مساعد توسعه کارست با گامای ۰,۹ را نشان می دهد.



شکل ۱۶ : نقشه پهنه بندی مناطق مساعد توسعه کارست منطقه مورد مطالعه (حوضه بقمچ)

جدول ۵: مساحت پهنه های کارستی حاصل از مدل فازی با عملگر گامای ۰/۹

طبقات میزان توسعه یافتگی کارست	مساحت(کیلومترمربع)	درصد
کارست با توسعه بسیار زیاد	۱۵,۷	۱۶,۳
کارست با توسعه زیاد	۳۱,۶	۳۳,۷
کارست با توسعه متوسط	۵,۳	۶,۶
کارست کم توسعه یافته	۳,۷	۳,۶
فاقد کارست	۳۷,۳	۳۹,۸



شکل ۱۷ : درصد و مساحت پهنه های میزان توسعه یافتگی کارست در منطقه مورد مطالعه

شکل ۱۸ : اشکال کارستی در ارتفاعات منطقه مورد مطالعه؛ الف) کارن ها ، ب)میکروکارن ها

در سیستمهای کارستی توسعه یافته کل آب سیستم توسط چند چشمه محدود خارج میشود در نتیجه تعداد چشمه ها کم و آبدهی آنها قابل توجه می باشد. براساس آمار وزارت نیرو ۱۳ چشمه کارستی در منطقه وجود دارد که موقعیت و پراکنش آنها در شکل شماره ۵ نشان داده شده است. پراکنش چشمه ها در جنوب و بخش پایین‌دست حوضه و بر روی سازندهای تیرگان و مزدوران می باشد. متوسط دبی سالانه این چشمه ها ۳ لیتر برثانیه می باشد. میزان دبی و تخلیه چشمه های مذکور در جدول شماره ۶ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود فقط ۳ چشمه آبدهی بیشتر از ۵ لیتر در ثانیه دارند.

جدول ۶: آبدهی چشمه های کارستی منطقه مورد مطالعه (حوضه بقمچ)

متوسط سالانه دبی (lit/sec)	مختصات چشمه های کارستی حوضه	
	UTMY	UTMX
0.4	4083981	694823
0.6	4081040	697145
0.7	4080000	698610
1.5	4083903	694698
1.5	4083920	694733
2	4082113	698160
3	4080335	698830
3	4083909	694738
6	4080850	699775
7	4082135	698195
8	4080686	699878

نتیجه گیری

پس از تعیین عضویت برای هر یک از لایه های وابسته به پارامترهای مؤثر برتوسعه کارست نقشه ی نهایی پهنه بندی توسعه کارست بر اساس گامای ۰,۹ بدست آمد که در پنج سطح طبقه بندی شده است (شکل شماره ۱۶).

با توجه به نقشه نهایی (شکل ۱۵)، شکل شماره ۱۷ و جدول شماره ۵ ؛ ۱۶/۳ درصد از مساحت کل منطقه در پهنه کارست با توسعه بسیار زیاد و ۳۳/۷ درصد از مساحت کل منطقه در پهنه کارست با توسعه زیاد و ۶/۶ درصد را پهنه کارست با توسعه متوسط به خود اختصاص می دهد و ۳/۶ درصد مساحت منطقه در طبقه کارست با توسعه کم و ۳۹/۸ درصد از مساحت حوضه فاقد کارست می باشد که منطبق بر سازند شوریجه و سرچشمه می باشد. قابلیت توسعه کارست و تشکیل اشکال کارستیک به عوامل مختلف بیرونی و درونی بستگی دارد، بسته به غلبه ی هر یک از این عوامل اشکال کارستیک بوجود می آید. از مهمترین عوامل درونی زمین شناسی می باشد که باعث پیدایش اشکال سطحی کارست می گردد و مهمترین عوامل بیرونی تأثیرگذار در منطقه ارتفاع ، بارش و دما می باشد. نوع سازندهای زمین شناسی وجود سنگهای آهکی و کربناته مستعد انحلال موجب تشکیل اشکال کارستی در منطقه شده است. از نظر وجود و گسترش سنگهای کربناته با توجه به لیتولوژی واحدهای سنگ چینه ای رخنمون یافته در ارتفاعات منطقه، سازندهایی که تا حدودی دارای این شرط اولیه باشند شامل سازندهای مزدوران و تیرگان می باشند. در رابطه با شرایط تکتونیکی وجود شکستگی های اولیه و سیستمهای درز و شکاف در سنگهای کربناته، در مجموع به دلیل واقع بودن منطقه در زون کپه داغ _هزار مسجد و تحمل فشارهای تکتونیکی، واحدهای سنگ چینه ای فوق الذکر تا حدودی زیادی خرد شده و همراه با شکستگیهای اولیه می باشند. سیستمهای درز و شکستگی در سازندهای سخت این منطقه (تیرگان، مزدوران) که غالبا بصورت لوزی شکل یا عمود بر هم می باشند. وجود درز و شکاف در سنگهای آهکی باعث نفوذ آب در فضاهای خالی می گردد، این درز و شکافها در نتیجه تخریب مکانیکی و یا در اثر نیروهای تکتونیکی ایجاد می گردند. آهکی که تحت تاثیر نیروهای تکتونیکی قرار گرفته باشند امکان بیشتری برای توسعه ناهمواری کارستی دارند.

از نظر شـرایط اقلیمی با توجه به موقعیت ارتفاعی و توپوگرافی، این منطقه نسـبت به دیگر نواحی دشـت مشـهد از آب و هوای سردتری برخوردار بوده و دارای زم ستانهای سرد و گرادیان متو سط بارش ۳۵۰–۲۵۰ میلی متر می با شد. انحلال سنگ آهک براثر عمل گازکربنیک موجود در آب حا صل از نزولات جوی ا ست. بنابراین پهنه هایی که دارای بی شترین میزان بارندگی نسبت به دیگر قسمتهای منطقه را دارند، شرایط بهتری را ازنظر قابلیت گسترش و تحول کارست را دارد.

از نظر دما با توجه به اینکه حوضه مورد مطالعه یک حوضه کوهستانی با ارتفاع زیاد می باشد و در مناطق مرتفع که دارای دمای زیر صفر یا نزدیک به صفر می با شند و شرایط بار شی منا سب و میزان تبخیر کمتری دارند میزان تو سعه کار ست

بیشتر است. بنابراین در ارتفاعات و قسمتهای پراکنده از بخشهای مرکزی حوضه پهنه های با توسعه بالا کارست گسترش یافته اند. با توجه به موارد فوق الذکرعامل ا صلی در تو سعه کار ست انحلال آهک می با شد. درجه انحلال آهک با درجه حرارت محیط نسبت عکس دارد و بنابراین سیستم کارستی در ارتفاعات توسعه بهتری نسبت به مناطق کم ارتفاع دارند. بازدید های میدانی از منطقه ن شان می دهد حفرات کار ستیک در سازند مزدوران بی شتر به چ شم می خورد و در سازند تیرگان این حفرات کمتر وجود دارد (شکل ۱۸).

با توجه به اینکه بیش از ۷۰ درصد حوضه بقمچ از سازندهای انحلال پذیر تشکیل شده است، این منطقه باید از پتانسیل بالایی در خ صوص آب زیرزمینی برخوردار با شد که وجود چ شمه های کار ستی در منطقه این مو ضوع را تأیید می کند (جدول ۶). باتوجه به نقش کارســت در تامین منابع آبی و مکانگزینی ســکونتگاهها، پهنه بندی و تأثیر عوامل مؤثر در توسعه یافتگی مناطق کارستی از کارهایی است که در مناطق کارستی صورت می گیرد. استفاده همزمان از منطق فازی و روش (ANP) در تعیین ارجحیت و وزن معیارها نسـبت به یکدیگر شـرایط منطقی تر و انعطاف پذیرتری را برای ارزیابی مناطق کارستی فراهم می کند.

منابع

- بهنیافر، ا.، قنبرزاده، ه.، ۱۳۹۵. ژئومورفولوژی کارست: فرآیندها و فرم‌های کارستی فیکاسیون با رویکرد مدیریت کاربری قلمروهای کارستی، انتشارات نگاران سبز، ۶۰۳ صفحه.
- پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شهرستان چناران شیت ۷۸۶۳
- جعفری، ت.، ارجندزاده، ر.، ۱۴۰۰. شناسایی و تحلیل سیستماتیک غارها (مطالعه موردی: ۱۶ غار در استان خراسان شمالی)، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۳، شماره ۴، صص ۵۵۵-۵۳۱.
- حاجی زاده وادقانی، ب.، بالیست، ج.، کریمی، س.، ۱۳۹۷. مکان یابی توسع هی شهری با منطق فازی و ترکیب خطی وزنی و تکنیک تصمیم گیری فرایند تحلیل شبکه ای مطالعه ی موردی: شهرستان کاشان، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۷ ، شماره ۱، صص: ۲۳۲-۱۱۹.
- حجازی، م.، حیدری، ز.، ۱۴۰۱. ارزیابی و پهنه بندی مناطق توسعه یافته و مستعد آلودگی کارستیک (مطالعه موردی حوضه آبریز روانسر)، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۲۳، شماره ۶۸، صص: ۳۲۶-۳۱۳.
- حیدری، ز.، قدیمی، م.، رضایی عارفی، م.، حیدری، ز.، ۱۳۹۹. شناخت عوامل مؤثر بر پراکندگی و وقوع فروچاله ها با استفاده از شاخص های کمی مورفومتریک (مطالعه موردی :دشت کرمانشاه)، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمّی، سال نهم، شماره ۲، صص: ۲۲۶-۲۱۵.
- خدمت زاده، ع.، حسنی، م.، ۱۳۹۹. پهنه بندی سیلاب حوضه آبریز شهر چایی ارومیه با استفاده از مدلFuzzy_ANP ، مهندسی جغرافیایی سرزمین، دوره چهار م، شماره ۷، صص: ۸۳-۷۰.
- خضری، س.، شهابی، ه.، محمدی، س.، ۱۳۹۶، ارزیابی و پهنه بندی تحول کارست حوضه آبریز غار سهولان مهاباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، سال ۶، شماره ۱، صص: ۳۹-۲۱.
- خوشرفتار، ر.، جعفری، غ.، فیض اله پور، م.، آرین تبار، ح.، مرادی، پ.، ۱۳۹۸، ارزیابی ارتباط گسلها با چشمههای کارستی در توده کوهستانی پراو بیستون-کرمانشاه، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۴۵ ، صص: ۲۲-۱.
- دسترنج، ع.، نوحه گر، ا.، رفیع شریق آباد، ج.، ۱۳۹۸، پهنه بندی توسعهٔ کارست سطحی در توده آهکی بیستون با استفاده از مدل منطق فازی، مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال ۹، شماره مسلسل ۳۲، صص: ۱۰۶-۸۹.
- رضایی عارفی، م.، زنگنه اسدی، م.، بهنیافر، ا.، جوانبخت، م.، ۱۳۹۹. شناسایی درجه کارستی شدن حوضه کوهستانی کلات در شمال شرق ایران ، فصلنامه فضای جغرافیایی، پیاپی ۷۱ صص: ۷۴-۴۹.

- رضایی عارفی، م.، زنگنه اسدی، م.، بهنیافر، ا.، جوانبخت، م.، ۱۳۹۹. پهنه بندی تحول کارست با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی :حوضه کوهستانی کلات ، خراسان رضوی)، جغرافیا (فصلنامه علمی پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیایی ایران)، سال ۱۸، شماره ۶۴ ، صص: ۹۴-۷۹.
- زاهدی، ا.، جهانبخشی، ف.، طالبی، ع.، ۱۳۹۵، مکانیابی مناطق مستعد پخش سیلاب با استفاده از منطق فازی و فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP) (مطالعه موردی: دشت مشهد)، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال ۲۰، شماره ۷۶، صص: ۱۹۶-۱۸۵.
- زروش، ن.، واعظی، ع.، کریمی، ح.، ۱۳۹۳، ارزیابی پتانسیل توسعه کارست در تاقدیس کبیرکوه استان ایلام با استفاده از تلفیق فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی (*AHP*) و و سنجش از دور و (*GIS*)، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره۳، صص: ۱۵۷-۱۴۴.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه های توپوگرافی ۵۰۰۰۰ : ۱ گاه 7863 I و رادکان 7863 IV سری K 753
- صفاری، ا.، قنواتی، ع.، علیجانی، ف.، محمدی، ز.، ۱۳۹۵، مروری بر خصوصیات لندفرم های کارستی در لایه های گچی، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال ۴، شماره ۴، صص: ۳۹-۱۷.
- صفاری، ا.، گنجائیان، ح.، حیدری، ز.، فریدونی کردستانی، م.، ۱۳۹۷، تعیین مناطق کارست توسعه یافته با استفاده از مدل های منطق فازی و OWA در حوضه قره سو، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۵، صص: ۱۱۴-۹۵.
- صفاری, ا.، کیانی، ط.، زنگنه تبار، س.، ۱۳۹۸، بررسی عوامل موثر در توسعه یافتگی و پهنه بندی کارست کوهستان خورین با استفاده از منطق فازی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۹، شماره ۵، صص:۳۶-۲۳.
- صفاری، ا.، پی سوزی، ت.، احمدآبادی، ع.، ۱۴۰۰، ارزیابی و تحلیل مناطق کارستیک توسعه یافته و آسیب پذیر (مطالعه موردی: توده کارستیک خورین در استان کرمانشاه) پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳۹ ، صص: ۲۰۰-۱۸۹.
- فرزین کیا، ر.، امیراحمدی، ا.، زنگنه اسدی، م.، زندی، ر.، ۱۴۰۰ پهنه بندی خطر فرونشست زمین در دشت جوین با استفاده از مدل تحلیل شبکه ای_ فازی، فصلنامه علمی فضای جغرافیایی، سال بیست و یکم، شماره ۷۴، صص: ۷۱-۵۱.
- قدیمی، م.، زنگنه تبار، س.، ۱۳۹۸، ارزیابی مناطق مناسب تغذیه آبخوان کارستی پرآو-بیستون با استفاده از مدل KARSTLOP ، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمّی، سال۸ ، شماره ۱ ، صص: ۱۵-۱.
- قربانی، ز.، شهیدی، ع.، احمدی، م.، صیادی، ع.، ۱۴۰۰. پهنه بندی کیفی آب شرب با استفاده از روشهای ANP و FANP (مطالعه موردی :دشت بیرجند) ، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره ۱ ، صص: ۱۷۰-۱۶۲.
- قربان نیا خیبری، و.، لیاقتی، ه.، میرسنجری، م.، آرمین، م.، ۱۳۹۸، کاربرد فرآ ند تحلیل شبکهای و منطق فازی (ANP-FUZZY) در شناسایی منطقه های توسعه گردشگری طبیعت در شهرستان دنا، فصلنامه علوم محیطی، دوره هفدهم، شماره ۳، صص: ۴۴-۲۹.
- مددی، ع.، همتی، ط.، ۱۳۹۴، پهنه بندی قابلیت کارست زایی با استفاده از مدل منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه نمک آبرود شهرستان چالوس)، دو فصلنامه ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران سال ۳، شماره ۵، صص: ۱۰۲-۸۹.
- مزیدی، ا.، کرم، ا.، کوراوند بردپاره، م.، ۱۳۹۵، پتانسیل یابی توسعه کارست با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: دشت سوسن و دشت ایذه)، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، سال ۵، شماره ۲ صص: ۱۴۱-۱۳۰.
- معتمدی راد، م.، گلی مختاری، ل.، بهرامی، ش.، زنگنه اسدی، م.، ۱۴۰۰، ارزیابی کیفیت منابع آبی از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در آبخوان کارستی روئین اسفراین استان خراسان شمالی، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۲۱، شماره ۶۲، صص: ۹۳-۷۳.
- مکرم، م.، نگهبان، س.، ۱۳۹۷، بررسی و شناسایی مناطق دارای پتانسیل کارستی‌شدن با استفاده از روش فازی و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دوره ۳۰، شماره ۲ ،صص: ۱۳۴-۱۲۱.
- ولایتی، س.، ۱۳۹۴، کارست ژئومورفولوژی، صحرا شرق کیمیا، ۲۰۲ صفحه.

- هاشم زاده، ن.، ولیزاده کامران، خ.، ۱۴۰۱، پهنه بندی خطر ناپایداری دامنهای در شهرستان گرمی به روش (ANP)، کاربرد سنجش از دور و (GIS) در علوم محیطی، شماره ۶، سال ۱، صص: ۲۲-۱.
- یمانی، م.، داورزنی، ز.، دادرسی، ا.، ۱۳۹۱. ارزیابی مدل منطق فازی در مقایسه با سایر مدلهای مفهومی در پهنه بندی سیل خیزی با تاکید بر ویژگی های ژئومورفولوژیک، موردشناسی: حوضه داورزن، جغرافیا و آمایش شهری_منطقه ای سال۲ ، شماره ۵، صص ۱۳۴-۱۲۱.

- *Abusaada M., Sauter M., 2017. Recharge Estimation in Karst Aquifers by Applying Water Level Fluctuation Approach. International Journal of Earth Science and Geophysics, Vol 3:013.*
- *Cahalan M., Milewski D., Adam M., 2018. Sinkhole formation mechanisms and geostatistical based prediction analysis in a mantled karst terrain, Catena 165 333–344, https://doi.org/10.1016/j.catena. 2018.02.010.*
- *Chen Y.F., Liao Z., Zhou J.Q., Hu R., Yang Z., Zhao X.J., Wu X.L., Yang X.L.,2020. Non-Darcian flow effect on discharge into a tunnel in karst aquifers, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,Vol 130, https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104319*
- *Das S., Chakraborty S., 2011. Selection of non-traditional machining processes using analytic network process. Journal of Manufacturing Systems, Vol.30 No.1, pp: 41-53.*
- *Elshall A.S., Castilla-Rho J., El-Kadi A-I-,Holley C., Mutongwizo T., Sinclair D., Ye M., 2022. Sustainability of Groundwater, Imperiled: The Encyclopedia of Conservation, pp: 157-166. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00056-8*
- *Eskandari E., https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00056-8Mohammadzadeh H., Nassery H.,Vadiati M., Mohammadzadeh A., Kisi O.,2022. Delineation of isotopic and hydrochemical evolution of karstic aquifers with different cluster-based (HCA, KM, FCM and GKM) methods, Journal of Hydrology, vol 609, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127706*
- *Ford D, C., Williams, P., 2007. Karst Geomorphology and Hydrology, Unwin Hyman, London, UK.*
- *Jun-ying R., Tao X., Yuan-ming L., 2016. Fuzzy Evaluation Model for In-service Karst Highway Tunnel Structural Safety, KSCE Journal of Civil Engineering 20(4):1242-1249.*
- *Hartmann A. Goldscheider, N .Wagener, T .Lange, J. Weiler, M. 2014, Karst water resources in a changing world: Review of hydrological modeling approaches, American Geophysical Union (AGU) Reviews of Geophysics, 10.1002/2013RG000443.*
- *Lvarez I., del V., Miren G., Maidagan D., Legarrea J.,2017. Geological risk assessment for rock art protection in karstic caves (Alkerdi Caves, Navarre, Spain), Journal of Cultural Heritage, https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.01.017.*
- *Milanovic,P.T. 2004, Environmental Geology. Volume 47, Issue 8, pp: 1177-1178.*
- *Mizanur Rahaman M., Varis O., Kajander T., 2004. EU Water Framework Directive vs. Integrated Water Resources Management: The Seven Mismatches, Water Resources Development, Vol. 20, No. 4: 565±575.*
- *Parise, M., 2016, Management of water resources in Karst environments, and negative effects of landuse Changes in the Murge area (Apulia, Italy), Karst Development: Orginal Papers, Volume 2., Issue 1:16-20-*
- *Oikonomidis D., Dimogianni S., Kazakis N., Voudouris K., 2015. A (GIS)/Remote Sensing-based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece. Journal of Hydrology, 525, 197-208. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.056.*
- *Quiroz L.O.M., Romanelli A., Lima M. L., Massone H.E., Martínez D.E., 2016, Fuzzy logic-based assessment for mapping potential infiltration areas in low-gradient*

watersheds. Journal of Environmental Management, vol 176, 101-111. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j. jenvman.2016.03.038.

- *Ruggieri R., Davtyan S., Shaihinyan S., 2022, Armenian karst project. Carbonates Evaporites 37, 14. https://doi.org/10.1007/s13146-021-00755-0*
- *Romanov D., Gabrovs˘ek F., Dreybrodt W., 2003. Dam sites in soluble rocks: a model of increasing leakage by dissolutional widening of fractures beneath a dam. Engineering Geology 70 :17–35.*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی