تأثیر ساختارهای تکتونیکی در اکتشاف منابع آب کارستی به کمک روش Fuzzy-AHP، مطالعه موردی گستره بسطام استان سمنان

راضیه اکبری جونوش[۱*]، منوچهر قرشی[۲]، حسنعلی بابایی[۳]، محمد نخعی[۴] و محسن پورکرمانی[۵]

[۱]دانشجوی دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال تهران، ایران
[۲]دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال؛ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
[۳]دانشیار، دانشگاه جرجیا استیت، آتلانتا، آمریکا
[۴]دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران
[۵]استاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/ ۰۶/ ۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/ ۱۰/ ۱۸

چکیده

با توجه به خشکسالی‌های اخیر در دنیا، اکتشاف منابع آب زیرزمینی امری بسیار ضروری است. این طرح تحقیقاتی با توجه به قرارگیری کشور ایران در محدوده خطر خشکسالی به مطالعه آب‌های کارستی می‌پردازد. محدوده مطالعاتی در این پژوهش در مرکز کشور ایران، استان سمنان، شهرستان شاهرود، بخش بسطام قرار دارد. عوامل متعددی در پدیده کارستی شدن و تشکیل منابع آب در سازندهای کربناته حائز اهمیت هستند، که از مهم‌ترین آنها می‌توان به سنگ‌شناسی، توپوگرافی، اقلیم، ژئومورفولوژی و هیدروژئولوژی اشاره کرد. در این پژوهش نقش عوامل ساختاری در توسعه منابع آب کارستی در استان سمنان مورد بررسی قرار گرفته است .بدین منظور ابتدا لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر عامل تهیه شد. برای مثال عناصر تکتونیکی، شامل نقشه‌های تراکم خطواره‌ها، تراکم طول گسل‌ها، تراکم محل تقاطع گسل‌ها، فاصله از گسل‌ها با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای است. لایه‌های اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نرم‌افزار Expert Choice و روش‌های زمین‌آماری (geostatistics)، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در این پژوهش از روش‌های نوین تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره (AHP; analytic hierarchy process) و (Fuzzy AHP; Fuzzy analytic hierarchy process) در مطالعات منابع آب کارستی استفاده شد.

کلیدواژه‌ها: کارست، منطق فازی، شبکه استنتاجی، تحلیل فرایند سلسله مراتبی، سازندهای کربناته، استان سمنان.

***نویسنده مسئول:** راضیه اکبری جونوش
E-mail: Darya_37@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

با توجه به توزیع نامتعادل زمانی و مکانی منابع آب‌های سطحی و پتانسیل بالای آلودگی این منابع، امروزه تقاضا برای آب‌های زیرزمینی جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت افزایش یافته است. اما استفاده روز افزون و بی‌رویه از آبخوان‌های آبرفتی و افت سطح آب در این آبخوان‌ها، باعث شده است که جستجو برای یافتن سایر منابع آب زیرزمینی در کارست و سازندهای سخت بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

عوامل متعددی در پتانسیل منابع آب زیرزمینی مؤثر و مهم‌ترین آنها تکتونیک است. با توجه به مطالعات انجام شده در دنیا در زمینه منابع آب مناطق گسلی، شکستگی‌ها، چین‌خوردگی‌ها و گسل‌ها در انحراف و تجمع آب‌های زیر زمینی نقش بسزایی دارند.

گسل‌ها، در مقیاس بزرگ و منطقه‌ای می‌توانند موجب انتقال آب از یک زون کارستی به زون کارستی دیگر شوند که در این صورت ممکن است یک زون کارستی با وجود داشتن شرایط لازم، به دلیل فرار آب از طریق گسل، از پتانسیل مناسبی برخوردار نباشد و برعکس.

تعیین نوع گسل نیز از موارد قابل توجه است. گسل‌های با سازوکار کششی، قابلیت بیشتری جهت هدایت آب دارند و برعکس گسل‌های با سازوکار فشارشی، مسیرهای مناسبی برای جریان و انتقال آب زیرزمینی نیستند. گسل‌های نرمال در اثر کشش ایجاد شده‌اند. در نتیجه امکان دارد که به میزان چند سانتی‌متر بازشدگی نشان دهند. اگر چه این بازشدگی ممکن است در اثر کلسیت ثانویه و یا برش گسلی پر شود. گسل‌های معکوس و گسل‌های امتدادلغز (lateral) در اثر نیروهای فشارشی ایجاد می‌شوند و می‌توانند به‌صورت نفوذناپذیر عمل کنند، لیکن ایجاد برش گسلی و شیارهای آینه گسل می‌تواند آن‌ها را باز کند.

در مطالعات آب‌چینه‌شناسی نباید نقش گسل‌های تراستی را نیز به جهت تغییر وضعیت چینه‌شناسی منطقه نادیده گرفت. بسیاری از مجاری کارستی، در طول صفحه این گسل‌ها ایجاد می‌شوند.

سطوح جداکننده تکتونیکی نظیر سطوح لایه‌بندی و درزه و شکاف‌ها، در جریان آب زیرزمینی و توسعه کارست نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌کنند. درزه‌ها، شکاف‌هایی هستند که دارای جابه‌جایی قابل ملاحظه‌ای نیستند. این ساختارها ناشی از فشارهای تکتونیکی بر روی سنگ هستند.

۲- موقعیت جغرافیایی

بسطام در استان سمنان و در ۶ کیلومتری شمال شرقی شاهرود جای دارد (شکل ۱).

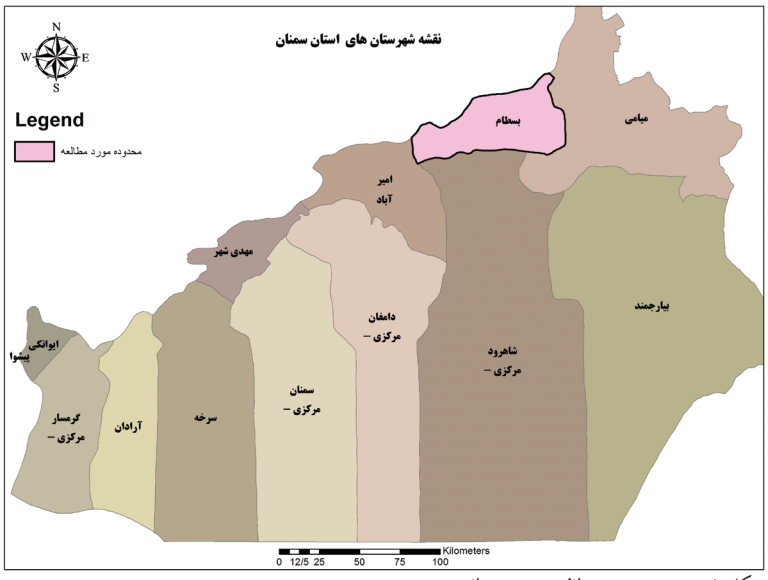
۳- مراحل انجام کار

۳-۱. بررسی و شناسایی عوامل مؤثر بر توسعه کارست و تهیه لایه‌های اطلاعاتی

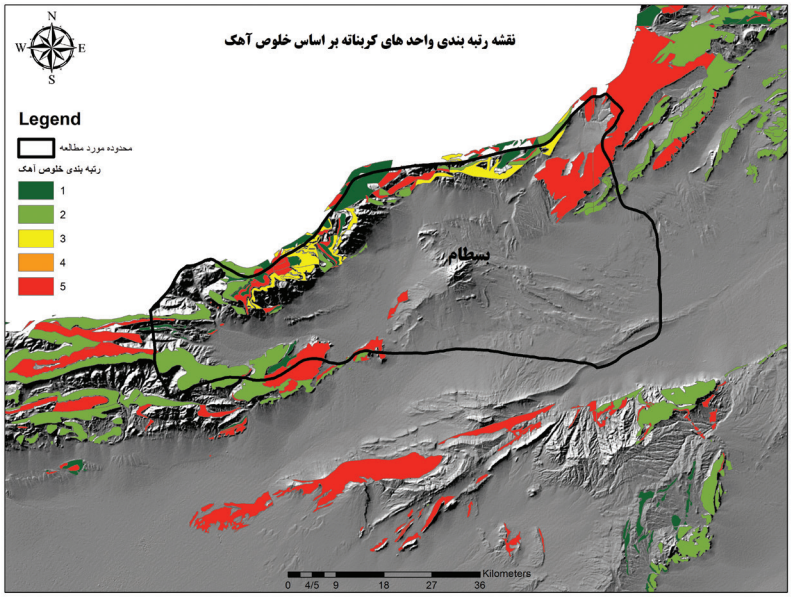
- سنگ‌شناسی (نقش خالص یا ناخالص بودن سنگ‌های آهکی در آبخوان‌های کارستی): سنگ‌های آهکی در آب حاوی گاز کربنیک حل می‌شوند و شبکه آب‌های زیرزمینی آهکی(کارستی) را به وجود می‌آورند. هر چه مقدار مواد غیرمحلول در سنگ‌های آهکی بیشتر باشد به همان نسبت امکان توسعه شبکه کارستی کمتر است. بنابراین می‌توان گفت که اکثر شبکه‌های کارستی بزرگ در سازندهای آهکی تقریباً خالص (مقدار کربنات کلسیم ۹۹ درصداست) توسعه می‌یابد و هر چه درصد آهک‌های سنگ بیشتر باشد، امکان پیشرفت پدیده کارست بیشتر است.

در این پژوهش، تمام نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ به کمک نرم‌افزار Arc GIS به هم چسبانده و واحدهای سنگ‌شناسی استان با هم یکسان‌سازی شدند و به‌صورت تک تک مورد مطالعه قرار گرفتند. واحدهای کربناته به چهار رتبه تقسیم‌بندی شد. واحدهایی که فقط از آهک تشکیل شده بودند، حالت توده‌ای داشتند و فاقد هرگونه میان لایه بودند، رتبه یک گرفتند؛ واحدهایی که از آهک دولومیتی تشکیل شده بودند، به خاطر انحلال نسبتاً بالا رتبه دو را به خود اختصاص

دادند و واحدهایی که از دولومیت آهکی و دولومیت تشکیل شده بودند، به خاطر انحلال کمتر، به ترتیب رتبه سوم و چهارم را به خود اختصاص دادند. واحدهایی که فاقد هر گونه آهک بودند، از رتبه حذف شدند. این رتبه‌بندی در جدول ۱ آورده شده است (شکل ۲).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه بخش بسطام.



شکل ۲- نقشه رتبه‌بندی واحدهای سنگی بر اساس خلوص آهک در استان سمنان.

جدول ۱- رتبه‌بندی واحدهای سنگی بر اساس خلوص آهک.

جنس واحد	رتبه
آهک	۱
آهک دولومیتی	۲
دولومیت آهکی	۳
دولومیت	۴

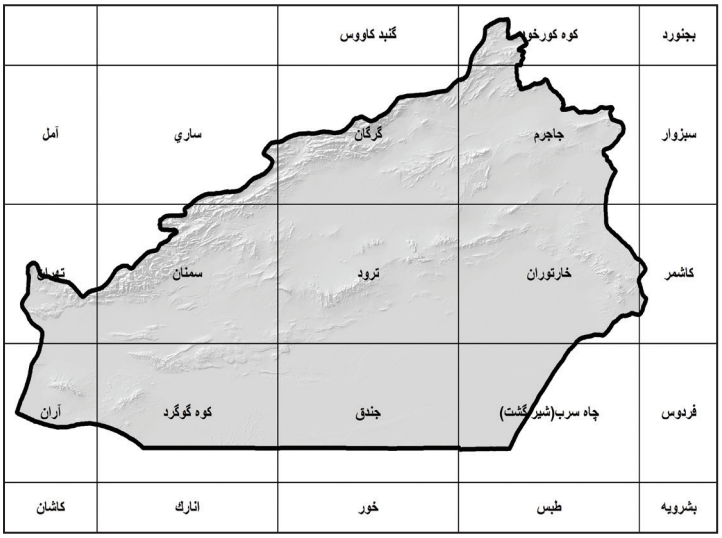
– **ساختاری:** عوامل ساختمانی و تکتونیکی نظیر درزه‌ها و گسل‌ها به عنوان نقاط ضعف سازندها و واحدهای زمین‌شناسی به شمار می‌روند و راهی برای عبور آسان آب و محلی برای تجمع آب به‌صورت مخازن زیرزمینی هستند. همچنین به‌طور ویژه، این گروه از عوامل، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی هیدروژئولوژی سنگ‌های کربناته و آهکی دارند. زیرا شروع شبکه‌های کارستی با انحلال آهک آغاز می‌شود. این تأثیر به‌طور مستقیم به وسیله شرایط جریان آب اعمال می‌شود که به توزیع منافذ بستگی دارد و خود به وسیله تکتونیک، درون سنگ‌آهک به وجود آمده است.

گسل‌ها، درزه‌ها، و شکاف‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر روی هیدروژئولوژی سنگ‌های کربناته و آهکی تأثیر می‌گذارند؛ به‌طوری که از یک طرف باعث انتقال آب به درون آبخوان آهکی و از طرف دیگر خود باعث افزایش نرخ انحلال و زیاد شدن تخلخل شکستگی و در نتیجه توسعه کارست می‌شوند. بنابراین در مناطق کارستی، تکتونیک در توسعه شبکه کارستی دو اثر دارد:

۱) باعث تشدید فعالیت مکانیسم تشکیل کارست می‌شود.

۲) بر اندازه سیستم شبکه‌های کارستی اثر می‌گذارد.

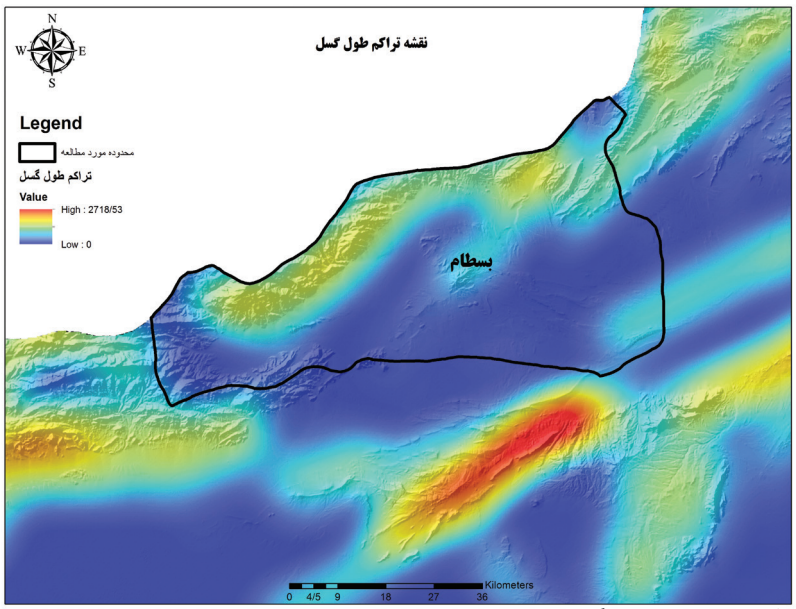
برای مطالعه گسل‌ها در استان سمنان از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ استفاده شد (شکل ۳) و تمام گسل‌ها در نرم‌افزار ArcGIS10/1 با یکدیگر ترکیب شدند. به علت جابه‌جایی گسل‌ها و یک سری از ایراداتی که در رقومی کردن نقشه‌های زمین‌شناسی وجود داشت، نقشه‌ها با تصاویر ماهواره‌ای لندست اصلاح و گسل‌ها جانمایی شدند.



شکل ۳- نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰استفاده شده در استان سمنان.

• **تراکم طول گسل:** طول گسل‌ها در نرم‌افزار ArcGIS 10/1 تهیه و تراکم طول گسل‌ها با دستور Kernel Density به دست آمدند (شکل ۴).

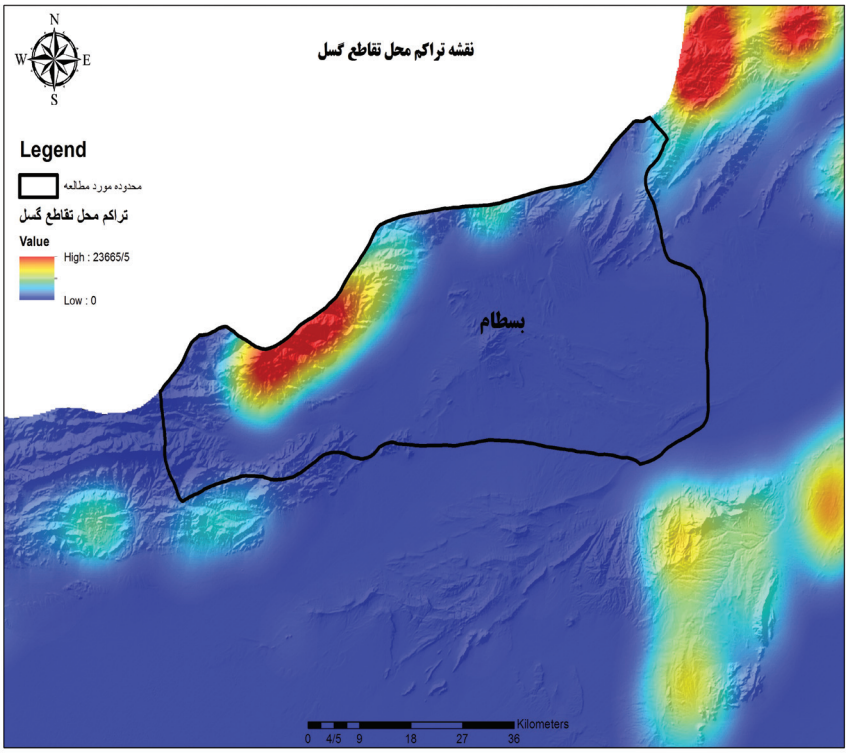
علت به دست آوردن طول گسل این است که تراکم بالای طول گسل، نشان‌دهنده گسل‌های قدیمی‌تر است و نفوذ آب بیشتر در زمان طولانی‌تر را نشان می‌دهد که این خود شاهدی بر توسعه کارست بیشتر است (کاظمی و همکاران، ۱۳۸۵) (شکل ۴).



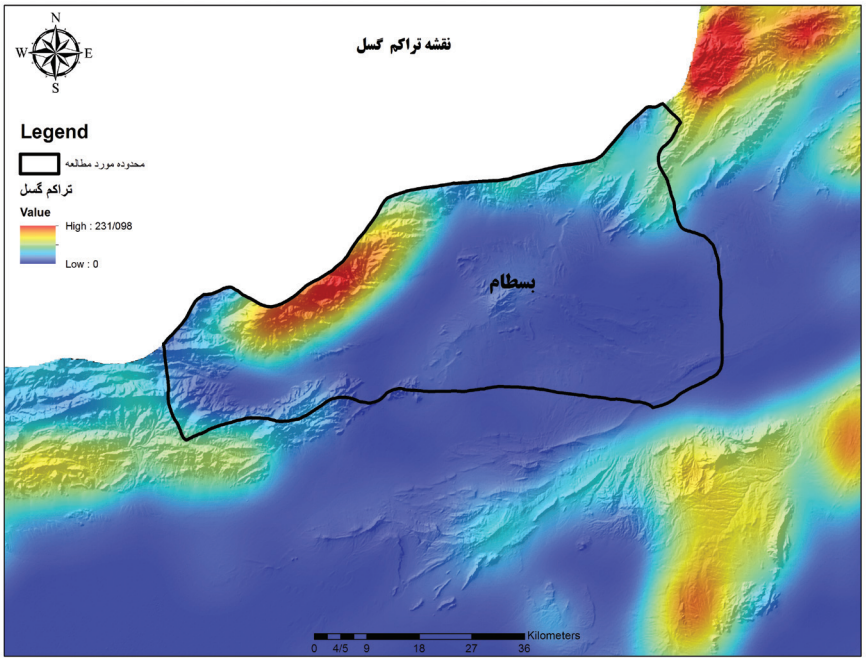
شکل ۴- نقشه تراکم طول گسل‌ها.

• **تراکم محل تقاطع گسل:** تراکم محل تقاطع گسل از دستور Intersection points Creat در افزونه X tools pro تهیه شد. در حقیقت تراکم محل تقاطع گسل بیشتر می‌تواند معرف تکتونیزه شدن بیشتر و در نتیجه کارستی شدن بیشتر باشد (شکل ۵).

• **تراکم گسل:** تراکم گسل در جعبه‌ابزار Spatial Analyst Tools و دستور Density به دست می‌آید. هر چه فاصله از گسل کمتر باشد، احتمال توسعه کارست بیشتر است (شکل ۶).



شکل ۵- نقشه تراکم محل تقاطع گسل‌ها.



شکل ۶- نقشه تراکم گسل‌ها.

– اقلیم

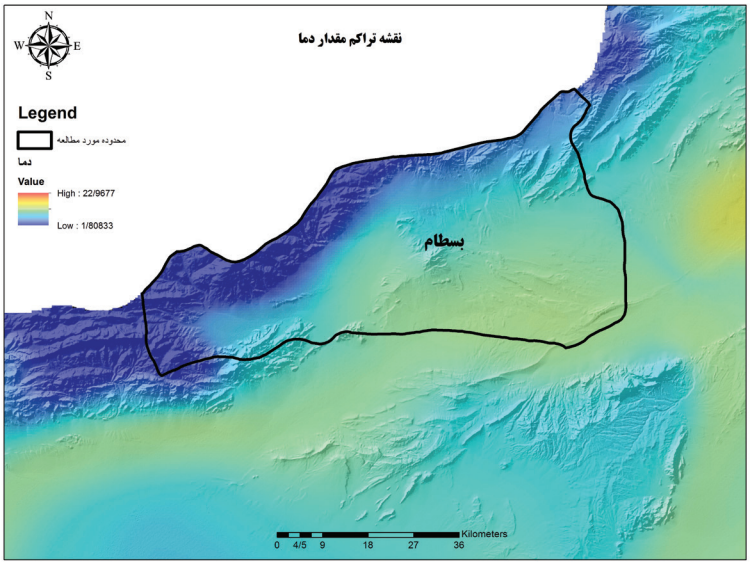
• **دما:** کارستیفیکاسیون پدیده‌ای فرسایشی است که مکانیسم آن انحلال و خورندگی توده سنگ‌های کربناته توسط اسید کربنیک محلول در آب‌های جاری و زیرزمینی است. به یقین توسعه کارست در آب و هوای سرد، بیشتر از آب‌وهوای محلول CO گرم است؛ به دلیل اینکه افزایش درجه حرارت باعث تشدید واکنش‌های شیمیایی و باعث کاهش مقدار CO_2 در آب می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۱) (رابطه ۲).

$$H_2O + CO_2 \rightleftharpoons H_2CO_3 \quad (1)$$

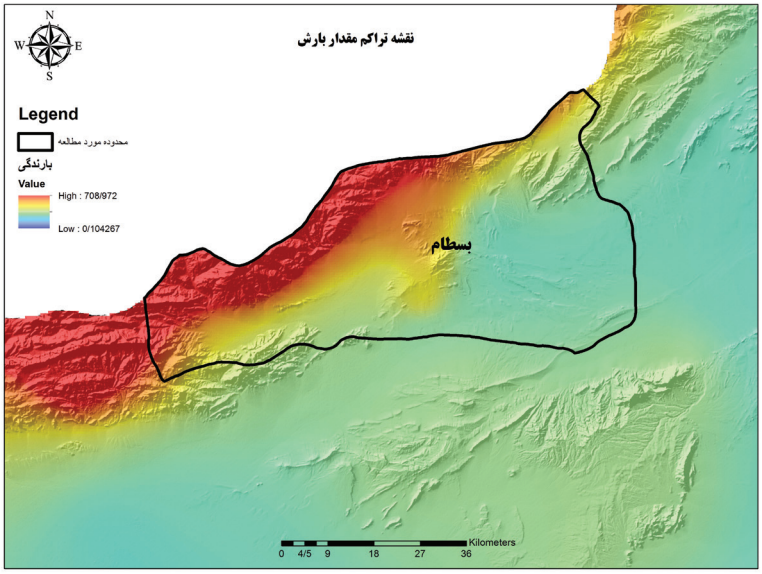
$$H_2CO_3 \cdot CaCO_3 \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2 \quad (2)$$

با تغییر فشار گازکربنیک هوا و درجه حرارت محیط، جهت آن هم نیز تغییر می‌کند. بدین صورت که گاهی اوقات آب گازکربنیک‌دار، آهک را حل و در پاره‌ای مناطق آهک به‌صورت‌های مختلف رسوب می‌کند. بنابراین بیکربنات کلسیم $Ca(HCO_3)$ ناپایدار است و به‌صورت محلول در آب در می‌آید. اسید کربنیک آزاد در آب (H_2CO_3) قادر به حل سنگ‌های کربناته است. بنابراین انحلال‌پذیری سنگ‌های آهکی با درجه حرارت نسبت معکوس دارد؛ زیرا در آب‌های گرم و یا درجه حرارت محیط گرم نیز گاز کربنیک (CO_2) متصاعد (خارج) و خورندگی آب بر آهک کمتر می‌شود (رابطه ۲ و شکل ۷).

• **بارندگی:** هر چه مقدار بارندگی بیشتر باشد احتمال توسعه کارست بیشتر است. با توجه به اینکه حجم بارش در توسعه کارست و پتانسیل آب‌های کارستی اهمیت بسیاری دارد اقدام به تهیه این لایه اطلاعاتی شد. برای به دست آوردن نقشه هم‌بارش در منطقه مورد مطالعه ابتدا به ایجاد رابطه بین بارش و ارتفاع پرداخته شد و سپس با به دست آوردن ضریب همبستگی قوی بین ارتفاع و بارش در منطقه به کمک نقشه DEM و رابطه ایجاد شده، نقشه بارش رسم شد (شکل ۸).



شکل ۷– نقشه میزان دما.



شکل ۸– نقشه میزان بارندگی.

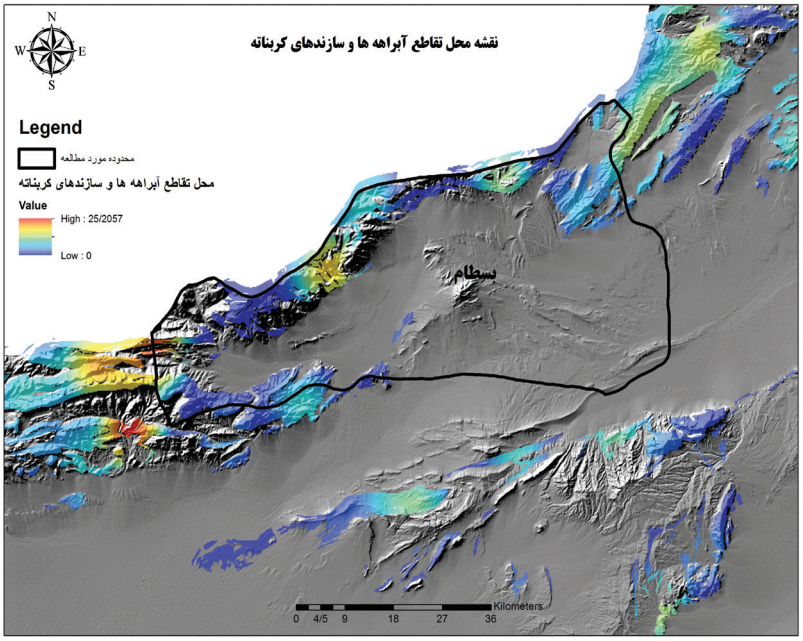
– آب‌زمین‌شناسی

• **محل تقاطع آبراهه با سازندهای کربناته:** هر چه تعداد آبراهه‌ها روی سازندهای کربناته کمتر باشد، احتمال نفوذپذیری لایه‌های کربناته بیشتر و بنابراین احتمال کارستی شدن بیشتر خواهد بود. برای رسیدن به لایه محل تقاطع آبراهه‌ها و سازندهای کربناته از افزونه X Tools Pro استفاده می‌شود (شکل ۹).

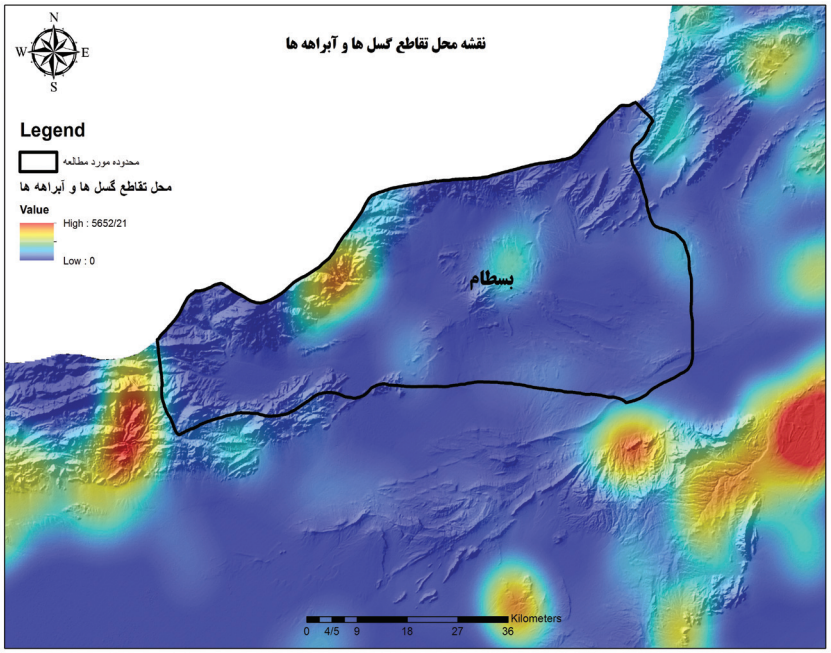
• **محل تقاطع آبراهه و گسل‌ها:** هر چه محل تقاطع آبراهه‌ها و گسل‌ها بیشتر باشد، احتمال توسعه کارست بیشتر خواهد بود. شکل ۱۰ نقشه محل تقاطع آبراهه و گسل‌ها را نشان می‌دهد.

– زمین‌ریخت‌شناسی

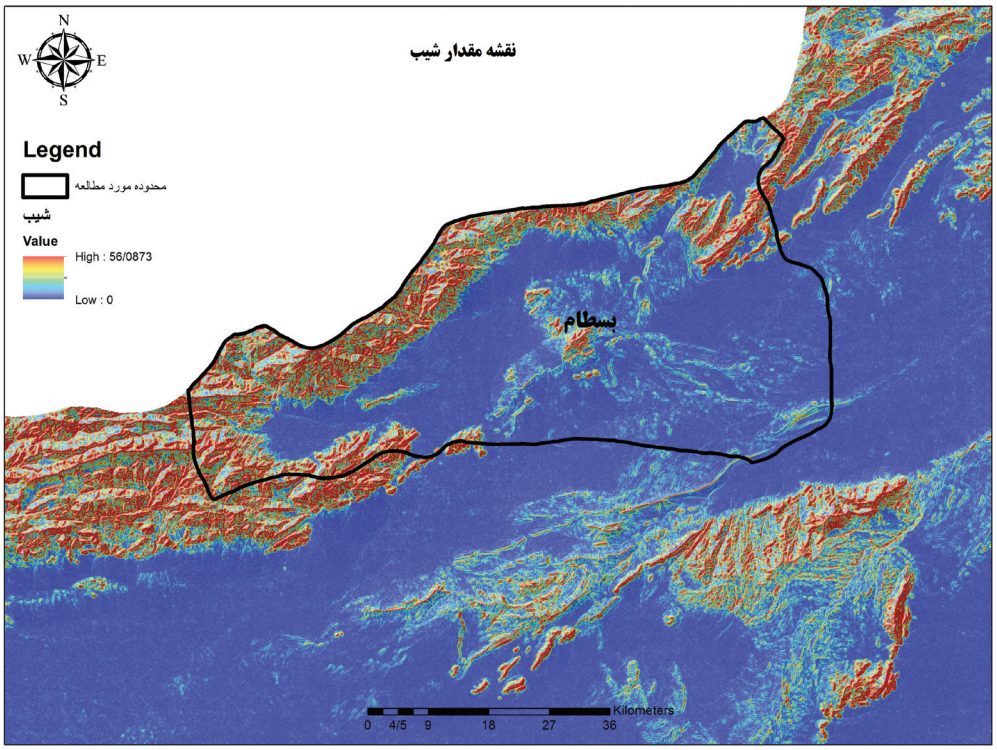
• **شیب:** شیب رابطه عکس با پتانسیل آب زیرزمینی دارد. در زمین‌های با شیب زیاد مدت تماس آب با زمین به علت نیروی جاذبه کم است و آب زمان کمی برای نفوذ به زمین و یا واکنش دارد (Vijith and Madhu, 2007) (شکل ۱۱ و جدول ۲).



شکل ۹- نقشه محل تقاطع آبراهه‌ها و سازندهای کربناته.



شکل ۱۰- نقشه محل تقاطع گسل‌ها و آبراهه‌ها .



شکل ۱۱- نقشه میزان شیب.

جدول ۲- لایه‌های تهیه شده و تأثیر هر کدام بر توسعه کارست.

لایه‌های تهیه شده	تأثیر بر توسعه کارست
1. تراکم طول گسل بیشتر	احتمال توسعه کارست بیشتر
2. محل تقاطع گسل بیشتر	احتمال توسعه کارست بیشتر
3. تراکم گسل بیشتر	احتمال توسعه کارست بیشتر
4. بارندگی بیشتر	احتمال توسعه کارست بیشتر
5. دما بیشتر	احتمال توسعه کارست کمتر
6. محل تقاطع آبراهه با سازندهای کربنات بیشتر	احتمال توسعه کارست کمتر
7. محل تقاطع آبراهه و گسل‌ها بیشتر	احتمال توسعه کارست بیشتر
8. جنس (هرچه درصد آهک سنگ بیشتر)	احتمال توسعه کارست بیشتر
9. شیب بیشتر	احتمال توسعه کارست کمتر

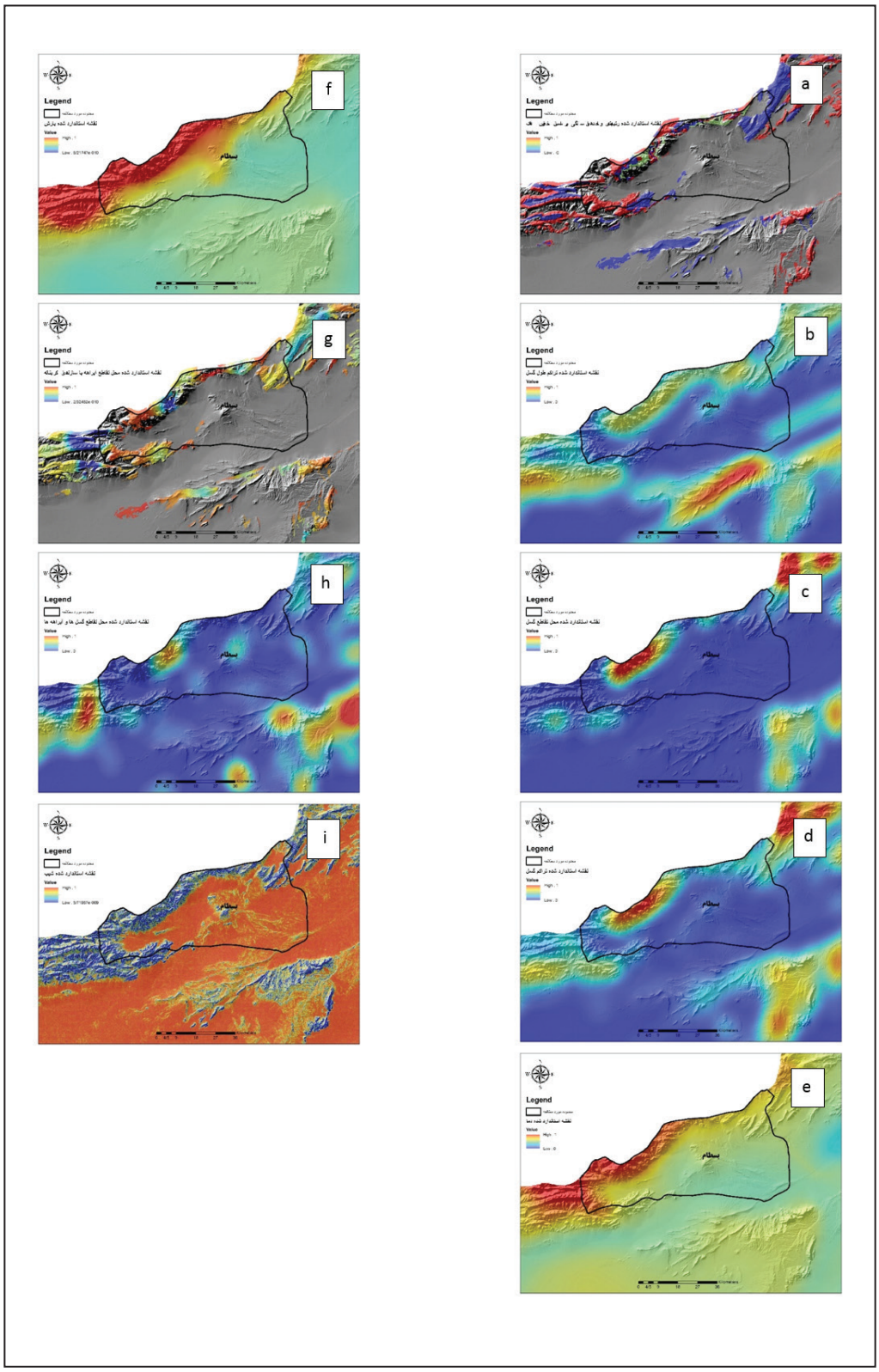
۳- ۲. استانداردسازی نقشه‌های معیار

استانداردسازی در روش فازی از طریق ارزش‌گذاری مقادیر، به شکل یک مجموعه عضویت صورت می‌پذیرد. در این حالت مقدار یک به حداکثر عضویت و عدد صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد (زهیدی، ۱۳۸۰؛ فرهودی و همکاران، ۱۳۸۴؛ Chang et al., 2011). باید توجه داشت که در مدل، وزن‌دهی مبتنی بر تجربیات و دانش افراد است (فرهودی و همکاران، ۱۳۸۴). در پژوهش حاضر نقشه‌های معیار با استفاده از تابع خطی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 10/1 در ابزار Overlay, Spatial Analyst tools , Fuzzy Membership استاندارد و ارزش‌های آنها به واحدهای قابل مقایسه‌ای از صفر تا یک تبدیل شد. ولی استانداردسازی لایه جنس سازندها و واحدهای زمین‌شناسی منطقه به روش رستری‌سازی و یا Reclass انجام شد (بهشتی‌فر، ۱۳۸۹) (شکل ۱۲).

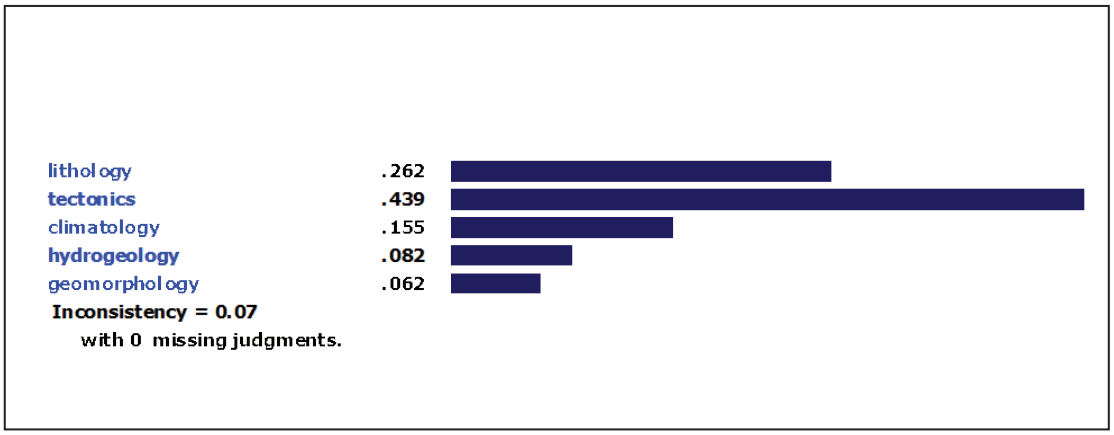
۳- ۳. وزندهی نقشه‌های معیار

میزان تأثیر هر معیار در پتانسیل آب زیرزمینی متفاوت است. بنابراین یکی از مراحل مهم پیش از تلفیق نقشه‌های معیار، تعیین اهمیت نسبی هر یک از معیارهای مؤثر و اختصاص وزن به هر کدام از آن‌هاست. در این تحقیق وزن‌دهی به معیارها به روش منطق فازی در نرم‌افزار Expert Choice11 صورت گرفت. برای وزن‌دهی (چزگی و همکاران، ۱۳۸۸) ابتدا نوع معیارها و زیرمعیارها و هدف در نرم‌افزار وارد شد و به هر کدام وزن مخصوص اختصاص یافت. این کار چند بار تکرار شد تا مقدار ضریب ناسازگاری به کمتر از ۰/۰۱ برسد (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).

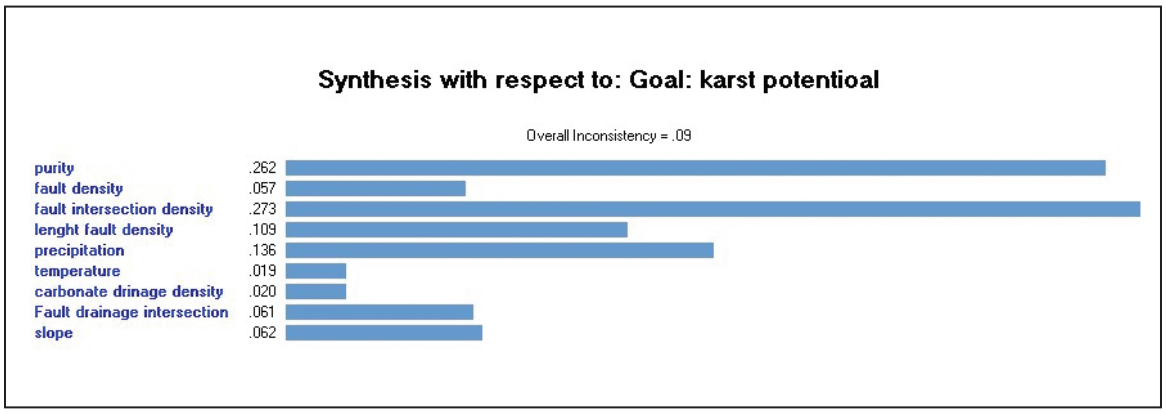
- معیارهای اصلی: تکتونیک، سنگ‌شناسی، آب‌زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی.
- زیرمعیارهای تکتونیک: تراکم طول گسل، محل تقاطع گسل، تراکم گسل.
- زیرمعیار سنگ‌شناسی: واحدهای سنگی بر اساس خلوص آهک.
- زیرمعیار آب‌زمین‌شناسی: محل تقاطع آبراهه با سازندهای کربنات، محل تقاطع آبراهه و گسل‌ها.



شکل ۱۲– a) نقشه استاندارد شده رتبه بندی واحدهای سنگی بر اساس خلوص کربناته؛ b) نقشه استاندارد شده تراکم طول گسل؛ c) نقشه استاندارد شده محل تقاطع گسل؛ d) نقشه استاندارد شده تراکم گسل؛ e) نقشه استاندارد شده دما؛ f) نقشه استاندارد شده بارش؛ g) نقشه استاندارد شده محل تقاطع آبراهه با سازندهای کربناته؛ h) نقشه استاندارد شده محل تقاطع گسل و آبراهه؛ i) نقشه استاندارد شده شیب.



شکل ۱۳- ماتریس مقایسه زوجی برای فاکتورهای مختلف.



شکل ۱۴- وزن‌های به دست آمده برای فاکتورها و میزان سازگاری این فاکتورها که در بازه مقادیر مجاز است.

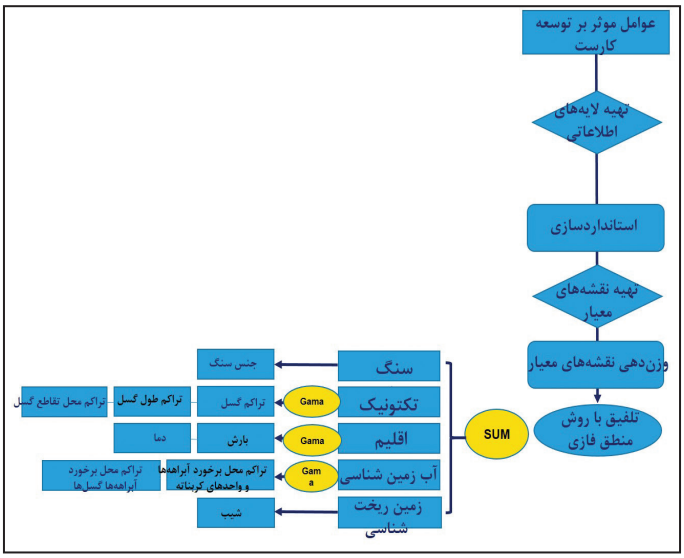
۳- ۴. تلفیق نقشه‌ها با روش منطق فازی (FUZZY Logic)

پس از تهیه و سامان دهی لایه‌ها، انتخاب روش مناسب مدل‌سازی جهت تلفیق و تهیه نقشه نهایی مورد نیاز است. در این تحقیق از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی با توجه به قابلیت‌های بالای آن، جهت اجرای مدل‌های منطق فازی استفاده شده است (Malczewski, 1999). جهت تلفیق به روش همپوشانی فازی، عملگرهای مختلفی وجود دارد که با توجه به عوامل مؤثر در هدف انتخاب می‌شوند (Yanar and Akyu¨rek, 2006). جهت انتخاب مقدار گاما، ابتدا گاما در محدوده ۱ تا ۰ انتخاب (Kahraman et al., 2004) و به ازای هر گاما یک نقشه خروجی تهیه و سپس هر یک از این نقشه‌ها با موقعیت چشمه‌ها واسنجی شده است. در نتیجه بهترین جواب با گامای ۰/۸ حاصل شده است. بر اساس این مدل نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی به ۴ گروه پتانسیل درجه ۱، درجه ۲، درجه ۳ و درجه ۴ طبقه‌بندی شده است (شکل‌های ۱۵ و ۱۶).

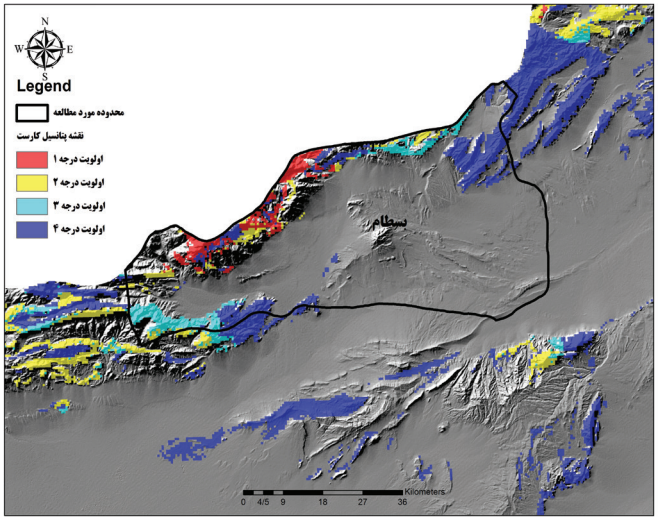
با در نظر گرفتن یک مرز مشخص برای مناطق با رتبه کارست‌شدگی متفاوت مکان‌های با رتبه اول کارست‌شدگی ۲/۵ درصد از کل استان را تشکیل می‌دهند.

۴- صحت‌سنجی

پس از تهیه هر مدل لازم است که نتایج به دست آمده با توجه به واقعیات و اطلاعات موجود پیرامون آنها، مورد بررسی قرار گیرد. به عبارتی باید نقشه پهنه‌بندی به دست آمده، صحت‌سنجی شود. در غیر این صورت، اعتماد به نتایج پهنه‌بندی یا تصمیم‌گیری جهت انجام مراحل بعدی مطالعات، از جمله اکتشافات ژئوفیزیکی و حفاری‌های اکتشافی، از شانس موفقیت کمتری برخودار خواهد شد و ریسک سرمایه‌گذاری برای انجام مطالعات مذکور بالا خواهد بود. در چنین شرایطی، نتایج پهنه‌بندی در هاله‌ای از ابهام و عدم اطمینان قرار می‌گیرد و نه تنها کمکی به صرفه‌جویی در وقت و هزینه نخواهد کرد؛ بلکه ممکن است موجب سردرگمی، طولانی شدن مطالعات، افزایش هزینه‌ها و از همه بدتر، اخذ نتایج نامطلوب و عدم بهره‌مندی از منابع آب موجود شود. برای صحت‌سنجی مدل ارائه شده برای توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه از موقعیت چشمه‌های بزرگ در منطقه استفاده شد. از آنجایی که در مناطق کارستی، چشمه‌های بزرگ با آبدهی زیاد معرف مناطق کارستی توسعه یافته هستند، برای صحت‌سنجی مدل ارائه شده تعداد ۳ چشمه بزرگ منطقه برای اینکار انتخاب شد. اطلاعات بیلان، وضعیت چینه‌شناسی، تکتونیک و زمین‌شناسی چشمه‌ها مورد بررسی گرفت و با همپوشانی لایه حوضه آبگیر این چشمه‌ها و مدل توسعه کارست و گسل‌های منطقه مشاهده شد که اکثراً حوضه آبگیر این چشمه‌ها در مناطق با توسعه کارست خیلی زیاد و شکستگی‌های فراوان قرار گرفته است و انطباق بسیار خوبی بین مدل پیشنهادی و حوضه آبگیر چشمه‌های بزرگ منطقه وجود دارد.



شکل ۱۵- شبکه طراحی شده.



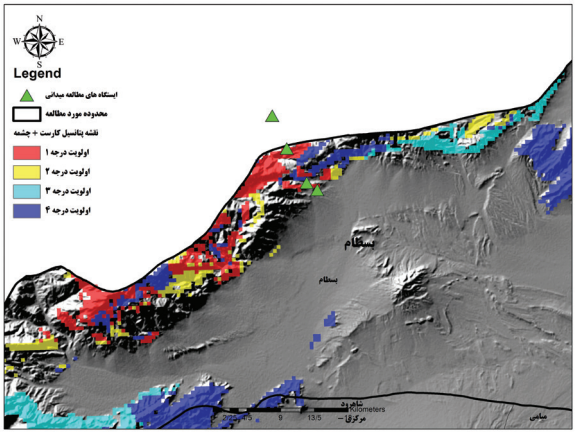
شکل ۱۶- نقشه خروجی حاصل از تلفیق اطلاعات با عملگر گاما.

جهت صحت‌سنجی بیشتر، یک منطقه که دارای پتانسیل کارست‌شدگی درجه‌های بالا بود مورد مطالعه میدانی قرار گرفت. این منطقه در ۵۰ کیلومتری شمال شاهرود و در مسیر جاده شاهرود به آزادشهر استان گلستان قرار دارد (شکل ۱۷). با توجه به ۲۲ درز و گسل بررسی شده در چهار ایستگاه در این مسیر، دو دسته درز غالب به‌صورت مزدوج نسبت به هم قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۱۸ و ۱۹):

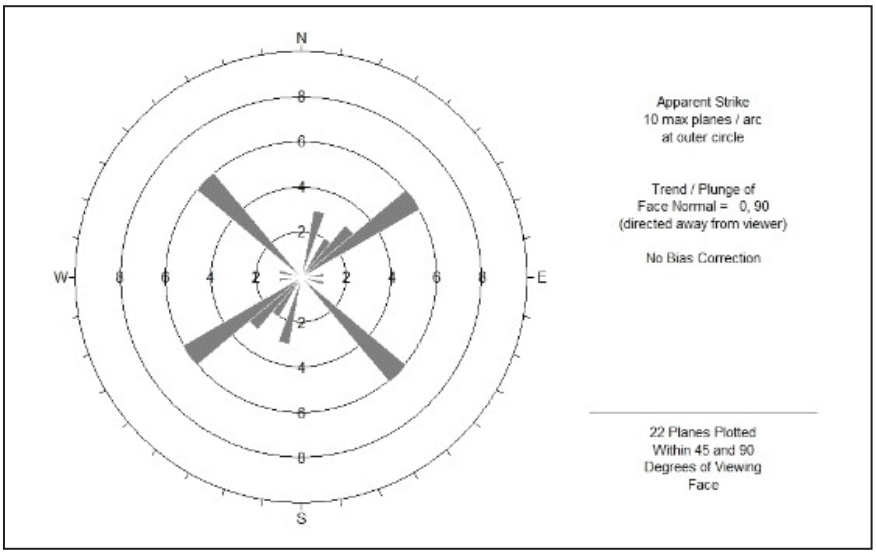
۱) روند شمال خاور- جنوب باختر

۲) روند شمال باختر- جنوب خاور

در ایستگاه‌های مورد مطالعه شواهد زیادی معرف مناطق کارستی توسعه یافته بود (شکل ۲۰).

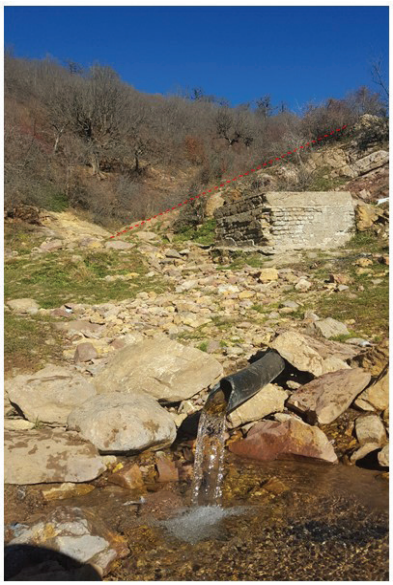


شکل ۱۷- ایستگاه‌های مطالعه میدانی.



شکل ۱۸- دیاگرام گل‌سرخی درز و گسل‌های بررسی شده.

شکل ۱۹- گسل Fc نرمال به همراه منطقه خرد شده (دید به سمت باختر).



شکل ۲۰- چشمه کارستی با دبی بالا در جهت شکستگی بزرگ منطقه (دید به سمت خاور).

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت تعیین مکان‌های مناسب برای پتانسیل کارست‌شدگی، عوامل متعددی نظیر تکتونیک، سنگ‌شناسی، اقلیم، آب‌زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی مد نظر قرار گرفت که در وزن‌دهی بین این عوامل، تکتونیک بیشترین وزن را به خود اختصاص داد. بر اساس نتایج به دست آمده، استفاده از توابع عضویت فازی در استانداردسازی نقشه‌ها نتایج قابل اطمینان‌تری ارائه می‌کند. این روش به علت فراهم آوردن امکان تبدیل ارزش‌های نقشه‌های معیار به طیف پیوسته‌ای بین ۱ تا ۰ سبب می‌شود که مرز بین کلاس‌ها به‌صورت تدریجی تعیین شود؛ همچنین نقش هر معیار نه به‌صورت قطعی، بلکه به‌صورت احتمالی تعیین می‌شود و در نتیجه مطابقت بیشتری با سازوکار عوامل طبیعی در پتانسیل‌یابی دارد. نقشه نهایی حاصل از اجرای مدل FUZZYAHP در محدوده مورد مطالعه (شکل ۱۶)، پتانسیل قسمت‌های مختلف منطقه را از نظر ایجاد و توسعه کارست نشان می‌دهد. بخش‌هایی از منطقه بسطام که در شکل ۱۴، با رنگ قرمز مشخص شده‌اند، از بالاترین پتانسیل کارستی شدن برخوردارند. به عبارت دیگر، این نواحی استعداد لازم جهت تشکیل منابع آب زیرزمینی قابل ملاحظه‌ای را دارند. این در حالی است که ایجاد و توسعه کارست در بخش‌های آبی رنگ دور از انتظار است.

نتایج حاصل از تحلیل نقشه‌های تولیدی نشان می‌دهد که:

بیشترین پتانسیل کارست شدگی در زون ساختاری البرز مرکزی و البرز شرقی قرار دارد.

روند غالب شکستگی‌ها نیز در جهت شمال شرق- جنوب غرب وآزیموت ۶۰ درجه است.

بررسی‌های صحرایی که به‌صورت موردی در مناطق با پتانسیل کارست صورت گرفت، همگی گواه شواهد کارست در منطقه است.

همچنین بررسی ارتباط بین لایه شکستگی‌ها و چشمه‌ها نشان می‌دهد که حدود ۴۰ درصد چشمه‌های کارستی در فاصله کمتر از ۱۰۰ متری این شکستگی‌ها واقع شده‌اند که این دلیل ارتباط تنگاتنگ بین آب زیرزمینی با شکستگی‌های منطقه است.

سپاسگزاری

از جناب آقایان دکتر منوچهر قرشی، دکتر حسنعلی بابایی و دکتر محمد نخعی به واسطه راهنمایی‌های ارزشمندشان سپاسگزاری می‌شود.

کتابنگاری

بهشتی‌فر، س.، ۱۳۸۹- استفاده از منطق فازی در محیط GIS به منظور مکانیابی نیروگاه‌های گازی، نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری، دانشکده فنی، دوره ۴۴، شماره ۴، صص. ۵ تا ۵۸۳.

چزگی، ج.، مرادی، ح.، خیرخواه، م.، قاسمیان، د. و روستایی، ی.، ۱۳۸۸- مکان‌یابی سد زیرزمینی به روش معیارهای حذفی با استفاده از GIS (مطالعه موردی غرب تهران). پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.

زهیدی، ر.، ۱۳۸۰- کاربردهای صنعتی منطق و شبکه‌های عصبی فازی، انتشارات انستیتو ایزایران، ۲۸۸ص.

علیزاده، ا.، ۱۳۸۱- اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ پانزدهم، دانشگاه امام رضا (ع)، ۷۳۵ ص.

فرهودی، ر. حبیبی، ک. و زندی، پ.، ۱۳۸۴- مکان‌یابی محل دفن مواد زاید جامد شهری با استفاده از منطق فازی (Fuzzy Logic) در محیط GIS مطالعه موردی: شهر سنندج، نشریه: هنرهای زیبا .

کاظمی، ر، غیومیان، ج. و جلالی، ن.، ۱۳۸۵- بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقه کارستی لار با استفاده از سنجش از دور و GIS، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۳، صص. ۳۳ تا ۴۳.

References

Chang, B., Chang, C. and Wu, C., 2011- Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria. Expert Systems with Applications, 38, 1850–1858.

Kahraman, C., Cebeci, U. and Ruan, D., 2004- Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: the case of Turkey. International Journal of production economics 87.

Malczewski, J. 1999- GIS and Multi-criteria Decision Analysis, John Wiley and Sons Incorporated, PP.177-189.

Vijith, H. and Madhu, G., 2007- Application of GIS and frequency ratio model in mapping the potential surface failure sites in the Poonjar sub-watershed of Meenachil river in Western ghats of Kerala,Journal of the Indian Society of Remote Sensing 35 (3), 275-285

Yanar, T. A. and Akyu¨rek, Z., 2006- The enhancement of the cell-based GIS analyses with fuzzy processing capabilities. Journal of Information Sciences, Vol. 176, No 8, PP. 1067-1085.

Effect of tectonic structures on karstic water resources exploration Using Fuzzy-AHP Logic, case study of Semnan province renge Bastam

R. Akbari Jonosh[1*], M. Ghorashi[2], Hasan. A. Babaei[3], M. Nakhaei[4] and M. Pourkermani[5]

[1]Ph.D. Student, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

[2]Associate Professor, Islamic Azad University, North Tehran Branch; Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

[3]Associate Professor, Georgia State University, Atlanta, United State

[4]Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Kharazmi University, Karaj, Iran

[5] Professor, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

Received: 2016 September 11 Accepted: 2017 January 07

Abstract

Considering Iran's situation in drought risk area, in this study karstic waters are investigated. The study area is located in central of Iran, Semnan province. Several factors are important in Karstification and formation water resources in carbonate, among them important are petrology, topography, climate, geomorphology and hydrogeology are pointed out. In this research, the role of structural factors in the development of karstic water resources in Semnan province has been studied. firstly, information layers of each factor prepared. For example, tectonic elements, includes maps: lineament density, faults length density, faults intersection density and density distance from faults making use geological maps and processing of satellite images. Information layers analyzed in the geographical information system (GIS), Expert Choice Software making use geostatistical methods. In this study, multi methods like analytic hierarchy process (AHP) and Fuzzy analytic hierarchy process (Fuzzy AHP) used in study of karstic water resources.

Keywords: Karst, Fuzzy Logic, Inference Network, Analytic hierarchy process, Carbonate Formation, Semnan Province.

For Persian Version see pages 109 to 120

*Corresponding author: R. Akbari Jonosh; E-mail: Darya_37@yahoo.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional