جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱۳۹۹، دوره۳، شماره۲

پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی در حوضه آبریز فخر داوود(دامنه جنوبی بینالود)

محمد علی زنگنه اسدی [۱]، مهناز ناعمی تبار [۲]

۱-دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، سبزوار، ایران

۲-دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۰۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۵

چکیده

فرایند تحول کارست، فرایندی پیچیده و متاثر از متغیرهای مختلف است. با توجه به حساسیت ذاتی سیستم کارست، امروزه در برنامه‌ریزی‌های مربوط به مناطق کارستی تلاش بر این است که میزان تحول و حساسیت کارست در چهارچوب مدل‌های مناسب مورد بررسی قرار گیرد. دامنه جنوبی بینالود بدلیل گستردگی سازندهای آهکی، وجود خطواره های تکتونیکی و شرایط اقلیمی، دارای کارست تحول‌یافته‌ای است. ابزارهای اصلی این پژوهش را نقشه‌های توپوگرافی، زمین شناسی، تیپ خاک و کاربری اراضی به همراه داده‌های هواشناسی تشکیل داده‌اند. در پژوهش موجود ۹ عامل محیطی به عنوان متغیرهای مستقل و اشکال کارستی به عنوان متغیر وابسته مورد بررسی قرار گرفت. چاله‌های بسته به عنوان تکامل‌یافته ترین لندفرم‌های کارستی منطقه شناسایی شد و براساس ویژگی‌های این لندفرم‌ها به هرکدام از عوامل مؤثر در توسعه کارست وزن کارشناسی اختصاص داده شد. سپس با استفاده از مدل آنتروپی و سیستم اطلاعات جغرافیایی پهنه بندی توسعه کارست سطحی انجام شده است. در نهایت درمحیط *Arc GIS10/4* نقشه‌های همپوشانی تهیه و یکسان‌سازی عوامل و تصحیح نهایی با کمک مدل آنتروپی انجام شد و نقشه پهنه‌بندی نهایی تهیه و عوامل تأثیرگذار در تحول کارست منطقه مشخص شد. هدف از پژوهش حاضر شناسایی مناطق مستعد توسعه کارست می‌باشد که نتیجه آن شناسایی منابع آب‌های زیر زمینی و چشمه‌های کارستی می‌باشد. در میان عوامل نه گانه به ترتیب لیتولوژی، طبقات ارتفاعی، بارش، فاصله از گسل و دما دارای بیشترین تأثیر و عوامل تیپ خاک، کاربری اراضی، جهت شیب و شیب، فاقد تأثیر می‌باشند. نتایج پژوهش نشان دهنده آن است که بیش از ۷۵ درصد منطقه درطبقات با توسعه کارست بسیار زیاد و زیاد قرار دارد. دقت‌سنجی مدل با چاله‌های بسته نشان‌دهنده وجود حدود ۸۷ درصد چاله‌های بسته در دو طبقه تحول کارست بسیار زیاد و زیاد می‌باشد.

کلمات کلیدی: پهنه بندی، کارست، مدل آنتروپی، هیدروژئومورفیک[۱]، بینالود

Doi: 10.22034/gahr.2020.248980.1447

مقدمه

لندفرم‌های کارستی عمدتا در مناطقی با سنگ بستر کربناته قابل حل به وسیله انحلال شیمیایی آب با اسیدیته کم شکل می‌گیرند(پالمر، ۲۰۰۷)[۱]. از آنجایی که اشکال کارستی نقش مهمی در منابع آب، گردشگری و فعالیت های های عمرانی دارند مطالعه ی آنها یک ضرورت محسوب می شود(مقامی مقیم، ۱۳۹٦: ۲٤٥). با توجه به اینکه خصوصیات هیدروژئولوژیکی سازند سخت به میزان گسترش تخلخل ثانویه (به صورت درز و شکاف و انحلال) بستگی دارد، در این سنگ ها، سیستم شکستگی و شکاف ها مسیرهای هیدرولیکی را در توده سنگ ایجاد می کنند(جعفریان و همکاران، ۱۳۹۷: ۷٦). امروزه در دنیا کارست را یک منبع ارزشمند به شمار می آورند و اعتقاد عمومی بر این است که هر نوع دخل و تصرف به منظور بهره برداری از منابع آن باید با مطالعه و برنامه ریزی دقیق همراه باشد. پهنه های کارستی نقش مهمی در تغذیه آبخوان های کارستی دارند، 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: ۲٤). ارزیابی گسترش واحدهای کارست کربناتی در ایران به سال ۱۹۷۷ مربوط می‌شود(ابراهیمی و همکاران،۱۳۹٤: ۳۳۳). کارست در ارتباط با یک چشم انداز خاص است که لندفرم ها را در زیر و سطح زمین دربرمی گیرد. ایجاد یک طرح برای طبقه بندی جامع لندفرم های کارستی بسیار دشوار است، چرا که آنها به طور قابل توجهی در ویژگی های مورفومتریک و منشأ خود متفاوت هستند(ویسی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۰۲). آگاهی از فرایندهای هیدروژئولوژیکی در زمینه پیدایش، حرکت و ویژگی های شیمیایی آب مناطق کارست درحال افزایش است. با توجه به توسعه شهرها و مجتمع های صنعتی به طرف پهنه های کارست سطحی و مدفون شده یا پالئوکارست ها مسائل ویژه ای از جمله مخاطرات محیطی در این قلمروها به وجود آمده است که ضرورت شناخت فرآیندهای کارستی و اشکال ناهمواری آنها را برای برنامه ریزان و مدیران سرزمین بیش از گذشته ضروری می سازد(رسولی و همکاران، ۱۳۹۹، ۲٤۱). پهنه‌های کارستی نقش مهمی در تغذیه آبخوان‌های کارستی دارند، بنابراین شناخت عوامل مؤثر در تحول کارست و پهنه‌بندی تحول آن در زمینه مطالعات مربوط به منابع آب کارست دارای جایگاه ویژه‌ای هستند. عوامل و فرایندهای مختلفی تکامل کارست را تحت تأثیر قرار می‌دهند برای نمونه توپوگرافی، لیتولوژی به عنوان عوامل منفعل عمل می‌کنند و فرایندهای دیگری مانند زمین‌ساخت فعال، فرایندهای هیدرولوژیکی، زیستی و ژئومورفولوژی، به طور فعال در توسعه اشکال کارست نقش دارند (کالیک، ۲۰۱۱)[۳].

با توجه به اهمیت مناطق کارستی در تغذیه منابع آب زیرزمینی، تحقیقات نسبتاً جامعی در رابطه با کارست، توسعه کارست و نقش کارست در تغذیه آبخوان‌ها صورت گرفته است. عباسی و همکاران(۱۳۹۳) پژوهشی

[۱] *Palmer*

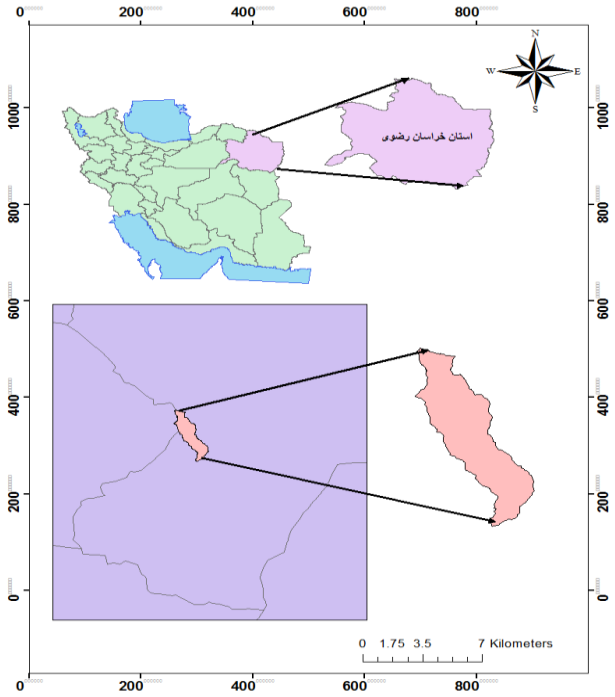
[۲] *Calic*

تحت عنوان پهنه‌بندی تحول کارست با استفاده از مدل آنتروپی در تاقدیس نوا زاگرس شمال باختری انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که عوامل فاصله از گسل، جهت شیب، شیب، دما و بارش بیشترین نقش را در تحول کارست منطقه دارند و این مدل کارایی مطلوبی در پهنه‌بندی تحول کارست دارد. انتظاری و همکاران(۱۳۹۷) در پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی با استفاده از مدل آنتروپی به این نتیجه رسیدند که عامل دما، جهت شیب و ارتفاع تأثیر زیادی در توسعه کارست دارد و مدل فوق نتایج مطلوبی را بدست داده است. در ایران نیز به دلیل اهمیت سازندهای کارستی در جنبه‌های مختلف زندگی انسانی مطالعات قابل توجهی در این زمینه انجام شده است.مطالعات کارست در ایران در سال ۱۳۵۰ در ارتفاعات زاگرس آغاز و در سال ۱۳٦۹مرکز مطالعات و پژوهش‌های کارستی در شهر شیراز تأسیس شد(ولایتی،۱۳۹۰، ۱۷۳). از مهم‌ترین آن-ها می‌توان به مطالعات انجام شده توسط ولایتی و فریده خان(۱۳۹۰)، قبادی (۱۳۸٦)، بهنیافر و همکاران (۱۳۸۸) و رئیسی (۲۰۰۲) اشاره نمود. خانلری (۱۳۹۱) کارست‌های منطقه گرین در ارتفاعات زاگرس را از دیدگاه ژئومورفولوژی و هیدرولوژی با استفاده ازروش‌های تجربی و پیمایش‌های میدانی بررسی نمود و این منطقه را از نظر کارست زایی یکی از مناطق فعال ایران معرفی کرد. (لامیلاس و همکاران، ۲۰۰۸: ۳)[4] از مدل رگرسیون لجستیک به منظور بررسی احتمال وقوع و تشکیل فروچاله‌های کارستی استفاده کرده‌اند. (هارتمن و همکاران، ۲۰۱٤)[5] در مقاله‌ای اهمیت منابع آب کارستی و مدل‌های استفاده شده برای مطالعه این منابع را بررسی کرده‌اند و معتقدند در مناطق کارستی به علت پیچیدگی سیستم‌های کارستی باید از تکنیک‌ها و روش‌های خاصی استفاده شود که براساس اطلاعات و داده‌های مناطق کارستی به دست داده‌اند. (میشرا و همکاران ، ۲۰۱۰)[6] با استفاده از روش‌های چندمعیاره آبخوان‌ها را بررسی و نقشه مناطق مناسب تغذیه آبخوان‌ها را مشخص کرده‌اند. جعفر بیگلو و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از *DEM* مورفوتکتونیک فروچاله‌های کارستی توده پرآو-بیستون را تحلیل کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که فروچاله‌ها در امتداد درزه‌ها و گسل‌های کششی ناحیه قرارگرفته‌اند. بررسی و شناخت نقش عوامل مؤثر و میزان تأثیر هریک از این عوامل در تحول کارست با توجه به نقشی که پهنه های کارستی در بیلان آب منطقه دارند، موضوع اصلی این تحقیق می باشد. علاوه بر این پهنه های کارستی با دارا بودن ویژگی های خاص و انحلال پذیری، ساختاری و توسعه آن ها در برخی مناطق منجر به فرونشست زمین و مخاطراتی برای تاسیسات عمرانی، خطوط ارتباطی و مناطق مسکونی را به دنبال دارد. پدیده فروچاله یکی از تیپیک ترین اشکال کارستی منطقه مطالعاتی می باشد که منجر به تغذیه آب سفره های زیر زمینی می شود. هدف از این پژوهش بررسی نقش و میزان تأثیر هریک از عوامل مؤثر در توسعه یافتگی کارست و درنهایت پهنه بندی منطقه از نظر توسعه یافتگی کارست با استفاده از مدل آنتروپی و همچنین دست یابی به میزان کارآیی مدل فوق در مطالعات مربوط به ژئومورفولوژی کارست است.

[4] *Lamelas etal*
[5] *Hartmann etal*
[6] *Mishra etal*

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز فخر داوود در دامنه جنوبی کوهستان بینالود و در جنوب غربی شهرستان مشهد قرار دارد(شکل ۱). مختصات جغرافیایی نقطه خروجی حوضه در ۵۹ درجه و ۱۸ دقیقه طول جغرافیایی شرقی و ۳۶ درجه و ۸ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی است. حداکثر ارتفاع آن ۲٦۸٤ متر و وسعت آن ۱۷۵,۰٦ کیلومترمربع است. از نظر لیتولوژی دارای توالی نسبتاً ستبری از سنگهای رسوبی و دگرگونی است که کهن‌ترین آنها به پالئوزوئیک تعلق داشته و جوانترین آن‌ها نهشته‌ها و پادگانه‌های آبرفتی جوان هولوسن می‌باشند. از لحاظ حساسیت به فرسایش واحد آهکی – دولومیتی سازند بهرام دارای مقاومت بیشتری در برابر عوامل فرسایشی می باشد. از نظر تکتونیکی یک سری چین‌خوردگی به صورت ساختمان ناودیس شکل گرفته که دارای محور تقریبی شرقی – غربی می‌باشند. علاوه بر چین‌ها گسل‌های متعددی در قسمتهای مختلف وجود دارد که ازجمله آنها می‌توان به گسل‌های راندگی در مرز شمالی و جنوبی اشاره کرد که دارای امتدادی در جهت شمال غربی – جنوب شرقی می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

آنتروپی رفتار توزیع انرژی است(لنا، ۱۹٦۳، ۱)[۸]. به هرگونه توزیع احتمالی آنتروپی گفته می‌شود (کاور و همکاران[۹]، ۱۹۹۱:۱). آنتروپی در تمام سیستم‌های زنده و غیرزنده وجود دارد. به تعبیری دیگر آنتروپی دارای

انرژی آزاد برای انجام کار است که با کاهش انرژی، افزایش می‌یابد(بیلی، ۱۹۹۰،۱)[۱۰]. شاخص آنتروپی میزان بی نظمی را در محیط نشان می‌دهد. این واژه از جمله تئوریهای برگرفته از قوانین احتمالات و مدل-های متکی بر احتمالات می باشد که در ابتدا توسط فیزیکدان‌ها و برای شناسایی نظم و بی نظمی در طبیعت به کار گرفته شده و مبین میزان عدم ثبات و یکنواختی در یک سیستم است(حکمت نیا و موسوی، ۱۳۸۵ ، ۹۰). به طور کلی همزمان با تکامل سیستم، آنتروپی نیز در حال افزایش است(دنسر ، ۲۰۰۱، ۱۷)[۱۱]. به منظور مطالعه عوامل مؤثر در پیدایش و گسترش اشکال کارستی در منطقه مورد مطالعه از نقشه توپوگرافی۱:۵۰۰۰۰، زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تیپ خاک و کاربری اراضی ۱:۲۵۰۰۰۰، عکس‌های هوایی۱:٤۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷، آمار دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی منطقه استفاده شده است. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار *Excel* و برای تهیه نقشه‌های موردنیاز ازنرم افزار *ArcGIS10/4* استفاده شده است. فروچاله‌های منطقه با استفاده از روش *Fillsink*، نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای شناسایی شدند. عوامل مؤثر در توسعه و گسترش کارست سطحی شامل ۹ عامل به ترتیب فاصله از گسل، جهت شیب، شیب، دما، بارش، تیپ خاک، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی و لیتولوژی می باشند. سپس به هرکدام از فاکتورهای مورد مطالعه، وزن کارشناسی اختصاص داده شد(جدول ۱). جدول ۱ نحوه و میزان امتیازدهی به پارامترهای ۹ گانه را نشان می‌دهد. به منظور اجرای مدل، ۹ لایه اطلاعاتی به صورت رستر درآمد و طبقه‌بندی شد. سپس ۹ عامل بدست آمده با مدل آنتروپی ضرب و بعد از جمع ۹ لایه با استفاده از ابزار *Raster Calculator* نقشه نهایی ترسیم و این لایه‌ها به عنوان داده‌های اصلی برای تشکیل ماتریس آنتروپی مورد استفاده قرار گرفتند.

روش کار

فرایند کار با مدل آنتروپی به شرح زیر است:

ماتریس تصمیم‌گیری در فرایند آنتروپی از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

رابطه ۱:

$$Ej = -K = \sum_{i=1}^{m} Pij \ln pij$$

در این رابطه *Ej* ارزش آنتروپی و *pi,j* ماتریس تصمیم گیری است.

8Luna
9Cover etal
۱۰Baily
۱۰ Dincer

رابطه ۲:

$$P_{ij} = \frac{rij}{\sum_{i=1}^{m} rij}$$

در این رابطه r_{ij} ارزش یا همان امتیاز اختصاص داده شده به هر لایه است.

رابطه ۳:

$$K= (lnm)^{-1}$$

K ضریب ثابت و m تعداد لندفرم های کارستی را نشان می‌دهد.

پس ازتشکیل ماتریس تصمیم و به دست آمدن مقدار E_j، می بایست مقدار V_j توسط رابطه شماره (٤) محاسبه گردد.

رابطه ٤:

$$V_j = 1- E_j$$

V_j درجه انحراف عدم اطمینان است.

در پایان برای محاسبه وزن نهایی تمام عوامل(W_j) از رابطه شماره (٥) استفاده شد.

رابطه ٥:

$$W_j = \frac{Vj}{\sum_{j=1}^{m} vj}$$

جهت تهیه نقشه نهایی از رابطه شماره (٦) استفاده شد.

رابطه٦:

$$Hi = \sum_{i=1}^{n} Wj \times rij$$

در رابطه فوق Hi ضریب رخداد خطر کارست، Wj وزن نهایی تمام عوامل، rij وزن هرکدام از عوامل(مقیمی و همکاران، ۱۳۹۱ :۸۲). بعد از تشکیل ماتریس آنتروپی، معیارها به عدد صحیح تبدیل شد، در این پژوهش از مقیاس دوقطبی برای تبدیل مقادیر کیفی به کمی بهره گرفته شده است. داده‌های کیفی مانند کاربری اراضی در نمودار زیر قرار داده می‌شوند و براساس میزان اهمیت آن‌ها در تحول کارست و با استفاده از نظر کارشناسانه یکی از امتیازات را به خود اختصاص می‌دهند(عباسی و همکاران، ۱۳۹۳: ١٦٢).

جدول ۱: طبقه بندی و میزان امتیاز اختصاص یافته بر اساس نظرات کارشناسی به هر یک از عوامل ۹ گانه(ماخذ: نگارندگان)

لیتولوژی	امتیاز	دما	امتیاز	کاربری	امتیاز
آهکی دولومیتی (سازند بهرام)	۹	۷-۸	۹	اراضی آبی	**۹**
آبرفتی	۲	۸-۹	۸	اراضی دیم	**۷**
تراس های جوان	۳	۹-۱۰	۷	مسیل	**۵**
سنگ آهک، شیل	۵	۱۰-۱۱	۵	مراتع	**۵**
سنگ آهک، فیلیت	٤	۱۱-۱۲	۳	اراضی بایر	**۵**
		۱۲-۱۳	۲	اراضی آیش	**۳**
		۱۳-۱٦	۱		

جدول ۱: طبقه بندی و میزان امتیاز اختصاص یافته بر اساس نظرات کارشناسی به هر یک از عوامل ۹ گانه(ماخذ: نگارندگان)

خاک	امتیاز	فاصله ازگسل *Km*	امتیاز
آلفی سول	۹	۰-۱	**۹**
اریدی سول	۸	۱-۲	**٦**
آنتی سول	۷	۲-۳	**٤**
هیستی سول	٦	۳-۵	**۲**
اینسپتی سول	٤	>۵	**۰**

جدول ۲: ماتریس آنتروپی برای پارامترهای ۹ گانه (ماخذ: نگارندگان)

شماره فروچاله	بارش	شیب(درجه)	ارتفاع (متر)	لیتولوژی	فاصله ازگسل (متر)	دما	کاربری اراضی	خاک	جهت شیب
۱	٤۰۰	۱۰-۵	۱۷۰۰-۱۵۰۰	آهکی دولومیتی	۱۱۷۱	۱۳	اراضی آبی	اریدی سول	جنوب
۲	٤۵۰	۵-۰	۱۹۰۰-۱۷۰۰	آهکی دولومیتی	۱۱٤۰	۱۰	اراضی آبی	آنتی سول	جنوب غرب
۳	۵۰۰	۵-۰	۱۹۰۰-۱۷۰۰	آهکی دولومیتی	۱۲۵۳	۸	اراضی آبی	آلفی سول	جنوب غرب
٤	۲۵۰	۱۰-۵	۱۷۰۰-۱۵۰۰	آهکی دولومیتی	۱۱۵۰	٦	اراضی آبی	آلفی سول	جنوب غرب
۵	۳۵۰	۲۰-۱۵	۱۹۰۰-۱۷۰۰	آهکی دولومیتی	۱۵۱۰	۱٦	اراضی آیش	آلفی سول	شرق
٦	۵۰	۵-۱۰	۱۵۰۰-۱۷۰۰	آهکی دولومیتی	۱۱٦۳	۵	مسیل	آنتی سول	شمال
۷	۱۵۰	۲۰-۳۰	۲۱۰۰-۲۳۰۰	آبرفت جوان	۱۱۳۰	۷	مسیل	آنتی سول	شمال
۸	۳۰۰	۲۰-۱۵	۲۱۰۰-۲۳۰۰	سنگ آهک دومولیت دار	۱۲۹۳	۱۰	اراضی دیم	اریدی سول	شمال شرق
۹	۳۵۰	۱۵-۲۰	۲۳۰۰-۲۵۰۰	آهکی دولومیتی	۱۲۹۳	۱۰	اراضی آبی و باغی	هیستی سول	شمال
۱۰	۳۵۰	۲۰-۳۰	۲۱۰۰-۲۳۰۰	فیلیت	۱۱۲۱	۱۰	آراضی آیش	هیستی سول	شمال
۱۱	٤۰۰	۲۰-۳۰	۲۱۰۰-۲۳۰۰	سنگ آهک نومولیت دار	۱۵٦۰	۹	اراضی آبی و باغی	آلفی سول	جنوب غرب
۱۲	۲۵	۲۰-۳۰	۲۱۰۰-۲۳۰۰	شیل	۱٤۷۰	۱۱	اراضی آبی و باغی	آلفی سول	جنوب غرب
۱۳	۱۵۰	۰-۵	۱۵۰۰-۱۷۰۰	فیلیت	۱۳٦۳	۱۳	اراضی آبی و باغی	آلفی سول	جنوب غرب
۱٤	۱۰۰	۰-۵	۱۵۰۰-۱۷۰۰	آهکی دولومیتی	۱۳۷۱	۱۳	اراضی آبی و باغی	آلفی سول	جنوب غرب
۱۵	٤۰۰	۲۰-۳۰	۲۱۰۰-۲۳۰۰	تراس های جوان	۱۱۱۰	۷	اراضی دیم	اریدی سول	جنوب شرق
۱٦	٤۵۰	۲۰-۳۰	۲۱۰۰-۲۳۰۰	آبرفت جوان	۱۱۵۲	۷	اراضی دیم	اریدی سول	جنوب شرق
۱۷	۵۵۰	>۳۰	۲۵۰۰-۲۷۰۰	آهکی دولومیتی	۱۱٦۳	۱٦	اراضی آبی و باغی	آلفی سول	جنوب غرب
۱۸	۵۰۰	>۳۰	۲۵۰۰-۲۷۰۰	آهکی دولومیتی	۱۱٦۳	۱٦	اراضی آبی و باغی	آلفی سول	جنوب غرب
۱۹	۱۵۰	۰-۵	۱۵۰۰-۱۷۰۰	فیلیت	۱۱۵۰	۱۰	مسیل	اینسپتی سول	مسطح
۲۰	۲۰۰	۱۵-۱۰	۱۷۰۰-۱۹۰۰	آهکی دولومیتی	۱۱٦۳	۱۰	مسیل	اینسپتی سول	مسطح
۲۱	۲۵۰	۱۵-۱۰	۱۷۰۰-۱۹۰۰	آهکی دولومیتی	۱۱٦۳	۸	اراضی بایر	اینسپتی سول	مسطح
۲۲	٤۵۰	۲۰-۳۰	۲۱۰۰-۲۳۰۰	آهکی دولومیتی	۱۷٦۸	۱۲	اراضی دیم	اریدی سول	جنوب شرق
۲۳	۵۰۰	>۳۰	۲۷۰۰-۲۹۰۰	آهکی دولومیتی	۱٦٤۵	۱٦	اراضی آبی و باغی	آلفی سول	جنوب شرق

بعد از تشکیل ماتریس آنتروپی (*rij*) و تبدیل مقادیر کیفی به کمی، محتوای اطلاعاتی موجود در ماتریس ابتدا به صورت (*Pij*) حاصل شد و نرمال سازی داده ها صورت پذیرفت. نحوه قرارگیری اعداد، به ترتیب برای عوامل جهت شیب، خاک، لیتولوژی، دما، بارش، ارتفاع، شیب و فاصله از گسل است.

مقدار *Ej* (آنتروپی) به ترتیب به صورت زیر محاسبه شد:

Ej= [۰.۲۱۲۲٤۰, ۱.۱۱۱۳۱۰, ۱.۰٤٦۲۲۳, ۰.۲٤۳۲۱۰, ۱.۵۱۲۲۱۵, ۱.۰۳۵۲٦٦, ۰.٤۲۲۱۲٦, ۰.۹۵۵۲۱٦]

درجه عدم اطمینان از معیارها به ازای هر یک از شاخص‌ها نیز محاسبه شد:

Vij = [۰.۰۰۲۳۲۰, ۰.۰۰۰۸۲۱, ۰.۰۰۳۲۰۱, ۰.۰۰۱٤۲٦, ۰.۰۱۱۲۵۸, ۰.۰۰۷۸٤۰, ۰.۰۰۵۵۷۱, ۰.۰٦۰۲۲٦۹]

سرانجام برای اوزان *(Wj)* شاخص‌های موجود را خواهیم داشت:

Wij = [۰.۰۰۵٤۸۲, ۰.۱۰۹۱۰۲, ۰.۲۰٤۵۰۱, ۰.۱۰۱۲۸۳, ۰.۰۰۱٤۲, ۰.۰۰۵۱٤۹., ۰.۰۰۵۲۱٤, ۰.۲۰۰۰۱۱۵٦]

بنابراین مدل ناحیه‌ای توسعه کارست در منطقه به ترتیب تأثیرگذاری از زیاد به کم به صورت زیر به دست آمد:

Hi میزان تحول کارست در منطقه، *G* لیتولوژی، *E* طبقات ارتفاعی، *R* بارش، *Df* فاصله از گسل، *A* جهت شیب، *Sl* شیب، *T* دما و *So* تیپ خاک است.

Hi=۰. ۹۵۲٦۸۳ G +۰. ۹٤۵٦۳۳۱* E+۰.۰۰۰۱۲۹* R+۰ .۲٤٦۱٦۳۲* Df +۰ .٤۰۰۷۱۵*A +۰* Sl +۰ * T+۰ .۱۲۳٤۱۲* So + ۰*

بحث و نتایج

از نظر زمین شناسی بیشتر سازندهای منطقه از سازند بهرام شکل گرفته است. این واحد برروی رسوبات سیلورین–دونین به صورت هم شیب قرارگرفته است. شیب لایه ها ۲۰ تا ٤۰ درجه در جهت شمال شرقی و امتداد آن در جهت شمال غربی–جنوب شرقی می‌باشد. به لحاظ سنی متعلق به دوره دونین هستند. هوازدگی شیمیایی بیشتر به صورت کارست سطحی دیده می‌شود و علاوه بر این لایه‌هایی از لیتولوژی آهک دولومیت قهوه‌ای و مساحت کمی را رسوبات آبرفتی دوران چهارم تشکیل می‌دهد که شامل پادگانه قدیمی و آبرفت‌های جوان می‌باشد. آبرفت‌های جوان در حاشیه بستر مسیل از شمال منطقه به سمت جنوب گسترش دارند. نزدیک به ۷۰٪ از مساحت این منطقه از سازندهای آهکی تشکیل شده است. تخلخل سنگ‌ها نیز تأثیر زیادی در

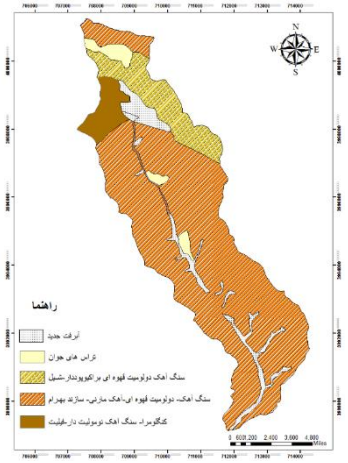
فرایند کارست زایی منطقه داشته است(شکل ۲). در بین عناصر آب و هوایی دما و بارش نقش مهمتری در شکل گیری اشکال کارستی ایفا نموده اند. دما، از طریق انواع هوازدگی در این زمینه مؤثر بوده است. میزان دما در منطقه بین ۱۳ تا ۱٦ درجه می‌باشد. عنصر دما از طریق تأثیر در انواع هوازدگی فرایند انحلال را تسهیل و شرایط را جهت شکل‌گیری اشکال کارستی در این منطقه آماده نموده است(شکل ۳). متوسط بارش سالانه در این منطقه ٤۰۰ میلیمتر می‌باشد که بیش از ٤٥٪ بارش بین ٤۰۰-۳۰۰ میلیمتر است. با توجه به اینکه بارش منطقه بالای ٤۰۰ میلیمتر بوده و از نظر بارش دارای دوره تناوب مرطوب و خشک می‌باشد بنابراین می‌توان بارش را به عنوان یکی از عناصر مهم آب و هوایی مؤثر در شکل‌گیری اشکال کارستی این منطقه در نظر گرفت. نقش بارش در شکل‌گیری اشکال کارستی این منطقه به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم قابل بررسی می‌باشد. به صورت مستقیم، سبب شکل‌گیری برخی از اشکال کارستی مانند کارن‌های بارانی و دولین‌های فرونشستی شده است(شکل ٤). ساختار گسل‌های منطقه سبب شکستگی گسترده در سنگ‌های آن شده و راه را برای نفوذ آب و شکل‌گیری اشکال کارستی فراهم نموده است. تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی در شکل‌گیری و گسترش اشکال کارستی در منطقه نقش بسزایی دارد. این فعالیت‌ها با تأثیر در میزان شیب منطقه نقش تعیین کننده‌ای در زمینه کارست زایی ایفا نموده است. عامل فاصله از گسل دارای بیشترین تأثیر در فرایند ایجاد کارست می‌باشد زیرا تکنونیک در شکل گیری اشکال کارستی نقش مهمی دارد(شکل ٥). شیب توپوگرافی از دیگر عوامل مؤثر بر توسعه کارست سطحی در منطقه است. تعداد زیادی از فروچاله‌های کارستی در شیب بالای ۱٥-۱۰ درجه شکل گرفته‌اند. اما به طور کلی شیب زیاد عاملی محدود کننده در شکل‌گیری فروچاله‌ها محسوب می‌گردد(شکل ٦). دامنه‌ها و جهت آن نیز یکی از عناصر موثر بر میزان کارست‌شدگی و ایجاد اشکال کارستی مختلف می‌باشند. در دامنه‌هایی با جهت شمالی به دلیل بارش بیشتر برف در مناطق کوهستانی بر خلاف دامنه‌های جنوبی و آفتابگیر شاهد تجمع حجم عظیمی از برف در زمان طولانی در دامنه-های کوهستانی هستیم که این امر در بستر سنگی مناسب به همراه وجود سنگ های کربناته و مستعد انحلال با ذوب برف در فصول گرم سال شرایط لازم جهت کارستی‌شدن و انحلال را فراهم می‌آورد. در منطقه مورد مطالعه جهات شیب شمالی، و جنوبی و جوب شرقی چاله های بسته واقع شده است(شکل ۷). حساسیت سنگ آهک در طبقات مختلف ارتفاعی و در ارتفاعات مختلف متفاوت بوده و در هر طبقه ارتفاعی با اشکال مختلف و میزان حلالیت متفاوت سنگ آهک روبرو هستیم. با افزایش ارتفاع از طبقات ارتفاعی پایین به طبقات ارتفاعی بالای منطقه بر میزان تراکم چاله های بسته در منطقه افزوده شده است(شکل ۸). به لحاظ کاربری، بخش زیادی از پهنه در محدوده اراضی آیش واقع شده ولی بخش‌هایی از زمین‌های بایر را نیز در برمی‌گیرد که بیان کننده تاثیر غیر مستقیم کاربری در ایجاد اشکال کارستی به ویژه چاله‌های بسته در منطقه می‌باشد(شکل ۹). بخش زیادی از خاک منطقه در رده آلفی‌سول بوده که به همراه خاک‌های اریدی‌سول و آنتی‌سول قرار گرفته است. پهنه کارست با تحول زیاد در رده خاک‌های آلفی‌سول و اریدی‌سول می‌باشد(شکل ۱۰). با توجه به رابطه Hi، نقشه پهنه‌بندی تحول کارست در منطقه مورد مطالعه تهیه شد(شکل ۱۲). با قرار

دادن موقعیت فروچاله‌های منطقه روی این نقشه(شکل ۱۱) مشخص شد از ۲۳ فروچاله، ۱۱ فروچاله در پهنه کارست با تحول بسیار زیاد، ۹ فروچاله در پهنه کارست با تحول زیاد،۲ فروچاله در پهنه کارست با تحول متوسط و ۱ فروچاله در پهنه کارست با تحول کم واقع شده است. در شکل(۱۳ و ١٤) لندفرم های کارستی منطقه نشان داده شده است.

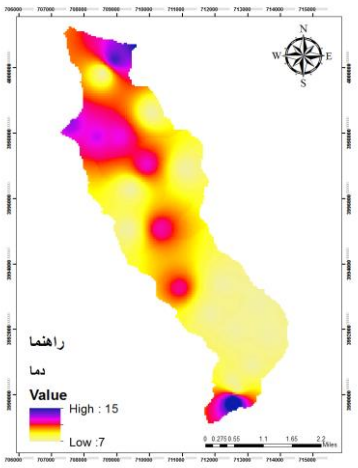
جدول ۳ مساحت پهنه‌های مختلف تحول در منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس جدول۳، مناطق با تحول زیاد و بسیار زیاد بیش از ٪۷۵ مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است.

جدول ۳: مساحت و درصد پهنه‌های کارستی در منطقه مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

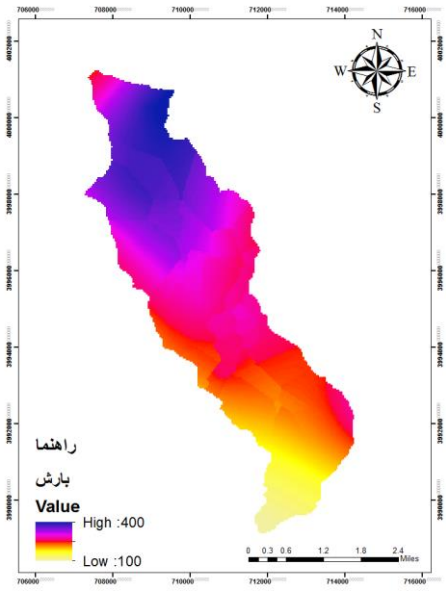
منطقه	مساحت به کیلومتر مربع	درصد مساحت	تعداد فروچاله	درصد فروچاله های موجود در هر پهنه
کارست با تحول بسیار زیاد	۸۰,۲٦	٤٥,۸٤	۱۱	٤۷.۸۲
کارست با تحول زیاد	٥۱,۲۳	۲۹,۲٦	۹	۳۹.۱۳
کارست با تحول متوسط	۲۷,٤۱	۱٥,٦٥	۲	۸.٦۹
کارست تحول کم	۱٥,۱٦	۸,٦٥	۱	٤.۳٤
مجموع	۱۷٥,۰٦	۱۰۰	۲۳	۱۰۰



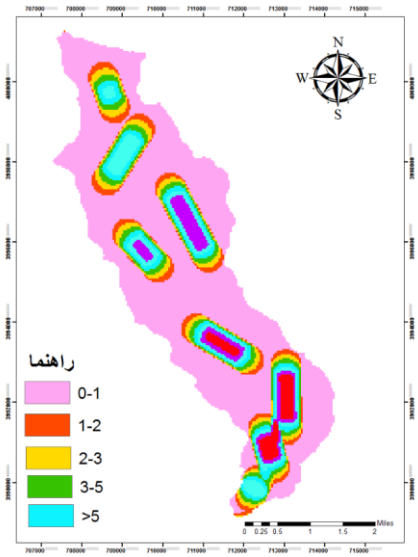
شکل ۲: زمین شناسی منطقه مورد مطالعه



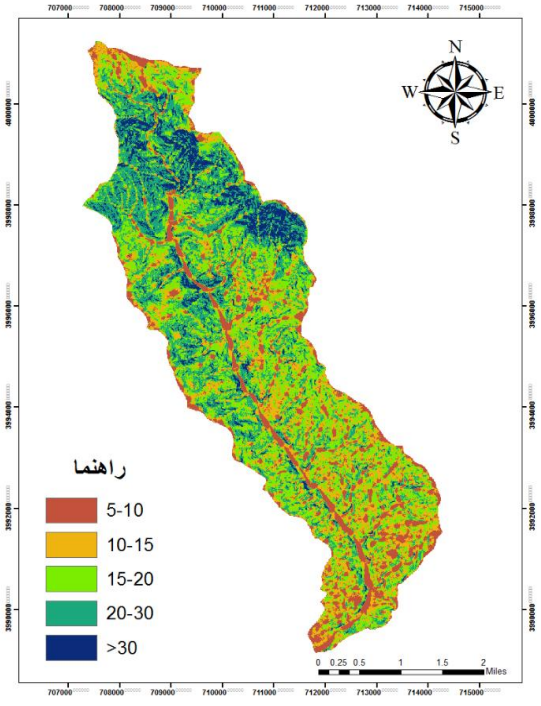
شکل ۳: همدما منطقه مورد مطالعه



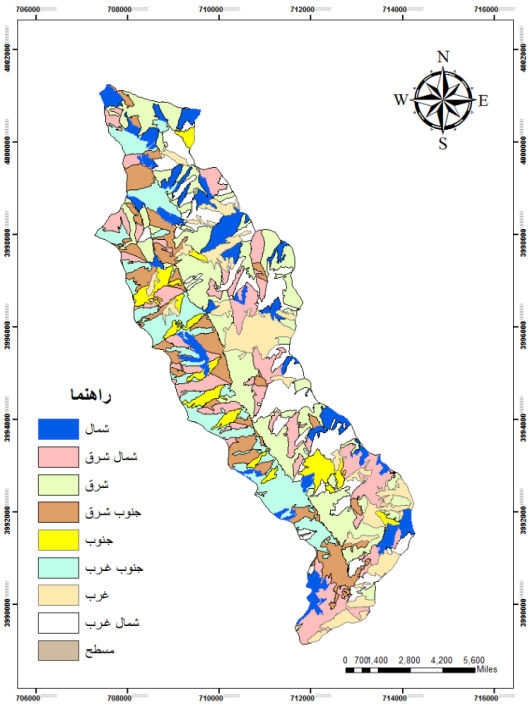
شکل٤: بارش منطقه مورد مطالعه



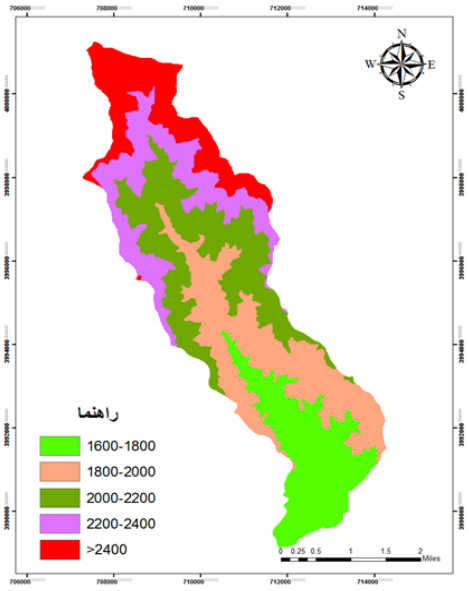
شکل٥: گسل منطقه مورد مطالعه



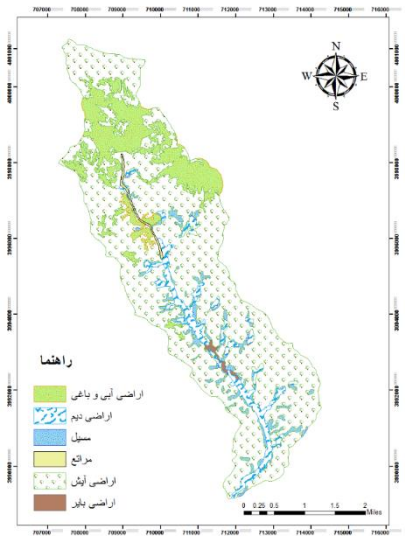
شکل ٦: شیب منطقه مورد مطالعه



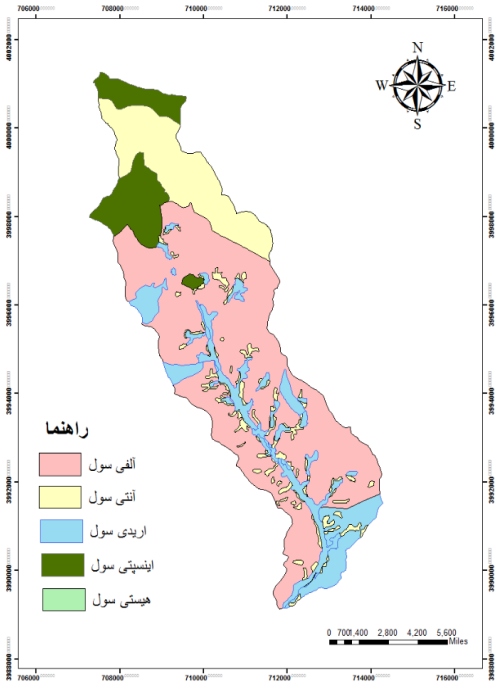
شکل۷: جهت شیب منطقه مورد مطالعه



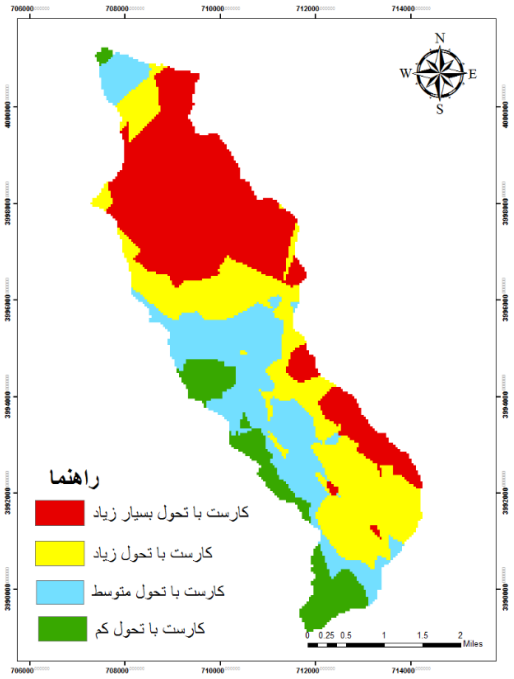
شکل ۸: ارتفاع منطقه مورد مطالعه



شکل ۹: کاربری منطقه مورد مطالعه



شکل۱۰: خاک منطقه مورد مطالعه



شکل۱۱: پهنه‌بندی توسعه کارست منطقه مورد مطالعه

شکل ۱۲: پدیده کارست در سنگ های آهکی منطقه

شکل ۱۳: نمایی از درز وشکستگی عمودی در سنگ های آهکی در شمال منطقه

نتیجه گیری

با توجه به شکل ۱۱، محدوده کارست با تحول کم در ارتفاع ۱۸۰۰ –۱۶۰۰ متری با شیب بالای ۳۰–۲۰ درجه و جهت‌های متفاوت شیب و فاصله نسبتاً زیاد با گسل‌های منطقه و منطبق بر تراس‌های جوان است. پهنه تحول متوسط کارست منطبق بر طبقات ارتفاعی ۲٤۰۰–۲۲۰۰ متری است. از نظر لیتولوژی بیشترین قسمت آن در قلمرو آهک دولومیت قهوه ای و تراس های جوان دارای عناصر آهکی قرار گرفته است. این محدوده دارای شیب های متفاوتی می‌باشد. این پهنه در حریم گسل‌ها واقع شده یا نزدیک به آن قرار گرفته‌اند. پهنه کارست با تحول زیاد در طبقات بیشتر ۲٤۰۰–۲۲۰۰ متری واقع شده و منطبق بر سازند آهکی است که در حریم گسل‌های منطقه واقع شده و شیب متغیر است. میزان دمای آن ۱۰–۱۱ درجه و میزان بارش بیشتر از ٤۰۰ میلیمتر است که دارای اراضی آبی و باغی و آیش بوده و در رده خاک‌های آلفی‌سول قرار گرفته است. پهنه کارست با تحول بسیار زیاد که دارای وسعت بیشتری در میان پهنه‌ها می‌باشد در طبقات ارتفاعی بیش از ۲٤۰۰ متر قرار گرفته است. این منطقه در حریم گسل‌ها واقع شده و از نظر لیتولوژی در قلمرو سازند آهکی(بهرام) واقع است. دمای این قسمت بین۱۰–۹ درجه و بارش بیش از ٤۰۰ میلی‌متر است. در این قسمت پراکندگی شیب و جهت شیب در تمام درجات و جهات وجود دارد و دارای اراضی آبی و باغی بوده و در رده خاک‌های آلفی‌سول می‌باشد. به طورکلی می‌توان گفت که با توجه به مساحت ۸٦% طبقات متوسط، زیاد و بسیار زیاد، حوضه آبریز فخر داوود در طبقه مناطق با تحول زیاد کارست قرار می گیرد. عامل زمین-شناسی، بارش، ارتفاع، فاصله از گسل، دما دارای بیشترین تأثیر و عوامل خاک، کاربری اراضی، شیب و جهت شیب بدون تأثیر می‌باشند. جدول ٤ میزان تأثیر هر یک از عوامل ۹ گانه را در تحول کارست براساس محاسبات مدل آنتروپی نشان می‌دهد.

جدول ٤: میزان تأثیر هر یک از عوامل ۹ گانه در تحول کارست در منطقه پژوهش(ماخذ: نگارندگان)

فاصله از گسل	شیب	جهت شیب	دما	بارش	خاک	لیتولوژی	ارتفاع	کاربری اراضی	مجموع
۱۵	۰	۰	۱۲	۲۰	۰	۳۲	۲۱	۰	۱۰۰

هدف اصلی این پژوهش تهیه نقشه پهنه بندی تکامل کارست در حوضه آبریز فخر داوود در دامنه جنوبی ارتفاعات بینالود است و در این راستا نقش عامل‌های مهم مؤثر بر گسترش کارست مورد توجه قرار گرفت. نقشه نهایی پهنه‌بندی کارست منطقه نشان دهنده وجود چهار طبقه کارست با تحول بسیار زیاد، کارست با تحول زیاد، کارست با تحول متوسط و کارست با تحول کم می‌باشد. مناطقی با تحول کارست بسیار زیاد قریب ٤٦ درصد مساحت کل منطقه را تشکیل می‌دهد و حدود ٤٨ درصد چاله‌های بسته در این منطقه واقع شده است و عوامل مؤثر در توسعه کارستی این پهنه را می‌توان به لیتولوژی، تکتونیک (وجود درزه و شکاف و گسل‌ها)، جهات شیب جنوبی، جنوب شرقی، شیب کم بین ۵-۰ درجه، دما(میانگین سالانه بیشتراز ۱۳ درجه سانتی گراد) و بارش بیشتر از ٤۰۰ میلی‌متر اشاره کرد. طبقه با تحول زیاد در حواشی پهنه با تحول بسیار زیاد واقع شده و بیش از ۲۹ درصد مساحت کل منطقه را شامل می‌شود که حدود ۳۹ درصد چاله‌های بسته در این پهنه قرار گرفتند. از عوامل موثر در توسعه کارستی این پهنه وجود گسل‌های زیاد، شیب کم، جهت شمالی و جنوبی بیشتر پهنه است. طبقه با تحول متوسط با مساحت ۱۵/٦۵ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده که ۸/٦۹ درصد چاله‌های بسته در این پهنه واقع شده‌اند. نقشه پهنه‌بندی به دست آمده با توجه به مبانی نظری توسعه کارست، دقت سنجی آن با چاله‌های بسته به عنوان لندفرم‌های کارستی نشان دهنده کارایی مطلوب مدل آنتروپی در پهنه‌بندی تحول کارست منطقه است. حدود ۷۵ درصد چاله‌های بسته در دو طبقه تحول بسیار زیاد و زیاد و حدود ۲۵ درصد در طبقات توسعه متوسط و کم واقع شده‌اند. از سویی دیگر در نواحی کارستی بیشتر بارش از طریق فروچاله‌های منطقه نفوذ می‌کند و به همین دلیل آسیب پذیری زیادی دارند. در میان عوامل ۹ گانه به ترتیب عامل لیتولوژی، بارش، ارتفاع، فاصله از گسل و دما، بیشترین نقش را در تحول کارست منطقه دارند. عامل های شیب، جهت شیب، تیپ خاک و کاربری اراضی فاقد تأثیر می‌باشند. این امر به این دلیل است که تمام چاله‌های بسته در قلمرو سازند آهکی فاقد خاک و بایر بوده و از نظر ارتفاعی نیز بیش از۵۵ درصد چاله‌ها در ارتفاعی بیش از ۲٤۰۰ متر قرار گرفته‌اند. در طبقات کارست با تحولی بسیار زیاد و زیاد عامل زمین شناسی شامل سنگ های آهکی و از عامل بارندگی شامل ۳۰۰ میلیمتر به بالا می باشد و بیشتر در شمال و جنوب منطقه قرار گرفته است. طبقه متوسط در بین عوامل تأثیرگذار در توحل کارست شامل ویژگی هایی است که تاثیر آنها بر توسعه و عدم توسعه برابر است که بیشتر در شرق منطقه قرار دارد .طبقات متوسط و کم از عامل زمین شناسی شامل گرانیت ها و سنگ های آتشفشانی و از عامل بارندگی شامل۱۵۰ میلیمتر کمتر و به همین دلیل توسعه یافتگی کارست کم می باشد که بیشتر در غرب و جنوب غرب قرار دارد. مدل آنتروپی به علت عدم پراکندگی و تنوع این عوامل نقش خاک و کاربری

اراضی را صفر برآورد نموده است. درنهایت می‌توان گفت که این مدل کارایی مطلوبی در پهنه‌بندی تحول کارست دارد و اگر تنوع بین متغیرهای مورد بررسی زیاد باشد، نتایج آن مطلوبتر است. با توجه به فراوانی و تنوع بالای عوارض کارستی در منطقه مطالعاتی و ارزش های علمی، اقتصادی و فرهنگی آن ها، ضروری است که تعریف مشخصی از چگونگی بهره برداری و حفاظت از این پهنه ها تعیین گردد. همچنین بررسی ها حاکی از آن است که کارست های منطقه در معرض آسیب بالایی قرار دارند. فعالیت های انسانی شامل هر گونه ساخت و ساز، احداث جاده، معدن، چرای بی رویه و تولید زباله در محدوده دارای حساسیت بالا می تواند اثرات مخربی بر سیستم کارست منطقه داشته باشد. به ویژه در مناطقی که محل تغذیه چشمه های کارستی است. لذا در جهت جلوگیری از تخریب و آلودگی آب های زیر زمینی با توجه به نقشه پهنه بندی حساسیت می توان مقررات و دستورالعمل های لازم برای چگونگی بهره برداری در این پهنه ها ارائه گردد.

منابع و ماخذ

۱. **عباسی، محمد؛ سیدشکری، سجاد؛ جعفری اقدم، مریم(۱۳۹۳)، پهنه بندی تحول کارست با استفاده از مدل آنتروپی نمونه موردی: تاقدیس نوا زاگرس شمال باختری، فصلنامه زمین شناسی مهندسی و محیط زیست، سال بیست و چهارم، شماره ۹٤، ۱٦۱-۱٦.**

۲. **قبادی، محمدحسین(۱۳۸٦)، زمین شناسی مهندسی کارست، انتشارات دانشگاه بوعلی سینای همدان، ۳۰٤.**

۳. **قبادی، محمدحسین(۱۳۸۸)، زمین شناسی مهندسی کارست، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ۳٤۸.**

٤. **مقامی مقیم، غلامرضا(۱۳۹٦)، بررسی عوامل مؤثر در شکل گیری و گسترش کارست های حوضه آبریز در پرچین در شمال شرق ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره٤۸، ۲٤٥-۲٦٤.**

۵. **ولایتی، سعدالله؛ فریده خان، علیزاده(۱۳۹۰)، بررسی رابطه ساختارهای تکتونیکی و اشکال کارستی(حوضه آبریز کارده) ، فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران، دور جدید، سال نهم، شماره ۳۱، ۱۷۳.**

٦. **ویسی، عبدالکریم؛ مقیمی، ابراهیم؛ مقصودی، مهران؛ یمانی، مجتبی؛ حسینی، سیدموسی(۱۳۹۸)، ارزیابی توسعه یافتگی آبخوان های کارستی در ارتباط با ژئومورفولوژی دولین ها و ویژگی های هیدرودینامیکی(مطالعه موردی: توده کارستی شاهو)، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۹، سال پنجم، ۱۰۱-۱۲۳.**

۷. صفاری، امیر؛ کیانی، طیبه؛ زنگنه تبار، ساسان(۱۳۹۸). بررسی عوامل موثر در توسعه یافتگی و پهنه‌بندی کارست کوهستان خورین با استفاده از منطق فازی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۵۵، ۲۳-۳۶ .

۸. امامی، کامیار؛ گلشنی زاد تکان تپه، سعید؛ باباخانی ، زهرا؛ رسولی، عادلی(۱۳۹۹). پهنه بندی توسعه کارست به منظور شناسایی منابع آبهای کارستی با استفاده ازمدل منطق فازی و***AHP*** (حوضه آبریز تکاب جغرافیا) و روابط انسانی، دوره، ۲، شماره ٤، ۲٤۱.

۹. ابراهیمی، بابک؛ سیف، عبدالله(۱۳۹٤). به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی پتانسیل گسترش کارست سنگ های کربناتی زاگرس بر پایه عامل های آب زمین شناختی و اقلیمی، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و پنجم، شماره ۹۸ ، ۳۳۳-۳.

۱۰. جعفر بیگلو، منصور؛ مقیمی، ابراهیم؛ صفری، فرشاد(۱۳۹۰). استفاده از ***DEM*** در تحلیل مورفوتکتونیک فروچاله های کارستی توده پراو-بیستون ، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دوره ۲۲، شماره ٤٤، ۱۸-۱.

۱۱. جعفریان، حامد؛ واعظی هیر، عبدالرضا؛ پیر خراطی، حسین(۱۳۹۷). تعیین عوامل موثر بر هیدروشیمی منابع آب زیر زمینی در سازندهای سخت و کارستی غرب ارومیه، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۵، ۹٤-۷۵.

۱۲. بهنیافر، ابوالفضل؛ قنبرزاده، هادی؛ عباسعلی، فرزانه(۱۳۸۸). ویژگی های ژئومورفولوژیک توده کارستی اخلمد در دامنه های شمالی ارتفاعات بینالود، نشریه جغرافیا و توسعه، شماره ۱٤، ۱۲۱-۱٤۰.

۱۳. انتظاری، مژگان؛ آقایی پور، یوسف(۱۳۹۷). پهنه بندی توسعه کارست سطحی با استفاده از مدل آنتروپی، مطالعه موردی: توده کوهستانی پرآو-بیستون، فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی اصفهان، سال ۹۲، پیاپی ۷۰، شماره ۲، ۱۲۹-۱٤۰.

۱٤. حکمت نیا، حسن؛ موسوی، میر نجف(۱۳۸۷). کاربرد مدل در جغرافیا با تاکید بر برنامه ریزی شهری و ناحیه ای یزد، انتشارات تهران، علم نوین، ۳۲۰.

۱۵. خانلری، غلامرضا؛ علی اکبر، مؤمنی(۱۳۹۱). ژئومورفولوژی، هیدرولوژی و مطالعه فاکتورهای مؤثر بر توسعه کارست در منطق هی گرین، نشریه جغرافیا و آمایش شهری- منطقه ای، شماره ۳، ۶۱-۷۶.

-٤

۱٦. ***Abbasi, M, Bagheri, S, Jafari Aghdam, M, (2014), Karst transformation zoning using entropy model Case Study: Northwest Nova Zagros Anticline, Journal of Engineering Geology and Environment, Twenty-Fourth Year, 94, 161-16.***

۱۷. ***Baily, K, (1990), Entropy System Theory, Systems Science and Cybernetics, University of California, Los Angeles.***

۱۸. ***Ćalić, J, (2011), Karstic uvala revisited, Toward a redefinition of the term, Geomorphology, 134(1): 32-42.***

۱۹. ***Cover, M.T, Joy, A.T, (1991), Entropy, Relative Entropy and Mutual Information, Element Information Heory.***

۲۰. ***Dincer, I, Cengel, Y, (2011), Energy, Entropy and Exergy Concepts and Their Roles in Thermal Enginieering, Department of Mechanical Engineering, University of Nevada.***

۲۱. ***Hartmann, A, Goldscheider, N, Wagener, T, Lange, J, Weiler, M, (2014) , Karst water resources in a changing word: Review of hydrological modeling approaches, Review of geophysics, 52(3), 218-242.***

۲۲. ***Hekmatnia, H, Mousavi, M, (2008), Application of model in geography with emphasis on urban and regional planning of Yazd, Tehran Publications, Alam Novin, 320.***

۲۳. ***Lamelas, M. T, Marinoni, O, Hoppe, A, Riva, J, (2008), Doline Probability Map Using Logistic Regression and GIS Technology in the Central Ebro Basin (Spain), Environmental Geology, 54(5), 963-977.***

۲٤. ***Luna, B, (1963), The Concept of Entropy in Landscape Evolution, Geological survey professional paper, 500-A Assembly, Nice, France.***

۲۵. ***Palmer, A. N, (2007), Cave Geology: Dayton, 92-24 .***

26. ***Raeisi, E, (2002), Carbonate Karst Caves in Iran, Evolution of karst: from***