

Zonation of Surface Karst Development using Entropy Model (Case Study: Parâw - Bisetoon Mountain Masses)

Mozhgan Entezari ¹, Yousef Aghaeipour ^{2*}

¹ Associate Professor of Geomorphology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

² Ph.D. Student of Geomorphology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract

Karst masses have great importance in water supply of settlements and agricultural lands in arid and semi-dry areas. The most the mountains in Kermanshah province consist of carbonate formations, that Parâw - Bisetoon mountain masses in Zagros structural zone (thrust) are one of the most important karst masses. Karst landforms such as dolines, uvulas, and karst caves in this mountain mass are created due to affecting factors in the karst development such as the carbonate formations, tectonic, climatic and geomorphological conditions. The purpose of the present study is to zonate the development of surface karst in Parâw - Bisetoon mountain mass using Entropy model. This study used seven factors of geology, elevation, slope, aspect, rainfall, temperature and distance from the fault as independent variables and sinkholes factor as the dependent variable. The results of this study indicate that 39% of this area is categorized as the high and very high karst development. The accuracy of the model using the sinkholes layer indicates that 98% the sinkholes of region are in these two areas. Also there are a large number of karst springs (Saraw) around the mountain that shows the development of karst in the area.

Key words: Karst, Sinkhole, Zonation, Entropy Model, Parâw - Bisetoon.

پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی با استفاده از مدل آنتروپی

مطالعه موردی: توده کوهستانی پرآو - بیستون

مژگان انتظاری^{*}، دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

یوسف آقایی‌پور، دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

وصول: ۱۳۹۴/۱۲/۰۳ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۱۸، صص ۱۴۰-۱۲۹

چکیده

توده‌های کارستی از اهمیت زیادی در تأمین آب سکونتگاه‌ها و زمین‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک برخوردارند. بخش عمده ارتفاعات استان کرمانشاه از سازندهای کربناتی تشکیل شده است که توده کوهستانی پرآو - بیستون در زون ساختمانی زاگرس مرتفع (رورانده)، یکی از مهم‌ترین توده‌های کارستی است. اشکال کارستی دولین و اووالا و غارهای کارستی در این توده کوهستانی به دلیل وجود عوامل مؤثر در توسعه کارست همانند سازندهای کربناته، شرایط تکتونیکی، اقلیمی و ژئومورفولوژیکی مناسب تشکیل شده‌اند. هدف این پژوهش، پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی در توده کوهستانی پرآو - بیستون با استفاده از مدل آنتروپی است. برای این کار از هفت عامل زمین‌شناسی، طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، بارش، دما و فاصله از گسل به‌منزله متغیرهای مستقل و عامل فروچاله‌های منطقه مطالعاتی به‌منزله متغیر وابسته استفاده شده است. نتیجه پژوهش نشان‌دهنده آن است که ۳۹٪ منطقه در طبقات با توسعه کارست بسیار زیاد و زیاد قرار دارد و دقت‌سنجی مدل با استفاده از لایه فروچاله‌ها نشان‌دهنده وجود ۹۸٪ از فروچاله‌های منطقه در این دو محدوده است؛ همچنین وجود تعداد زیادی چشمه کارستی (سرآو) در اطراف این توده کوهستانی نیز نشان‌دهنده تحول کارست در این منطقه است.

واژه‌های کلیدی: کارست، فروچاله، پهنه‌بندی، مدل آنتروپی، توده پرآو - بیستون.

مقدمه

زندگی ۲۰٪ تا ۲۵٪ از جمعیت جهان تا حد زیادی یا به‌طور کامل به منابع آب زیرزمینی حاصل از کارست وابسته است (Ford, Williams, 1989: 1). توسعه اقتصادی و اجتماعی مناطق نیز به قابلیت دسترسی به آب باکیفیت بستگی دارد و به همین دلیل در دهه‌های اخیر تقاضا برای آب‌های کارستی در سراسر جهان بیشتر شده است (Polemio, 2009: 1462). در ایران حدود ۱۱ درصد از سطح زمین را سازندهای کارستی می‌پوشانند (افراسیابیان، ۱۳۷۷: ۳۴). پراکندگی توده‌های کارستی در سطح کشور باعث شکل‌گیری لندفرم‌های ژئومورفولوژی متنوعی همانند دولین، پولیه، غار، اووالا، لاپیه، دره خشک و چشمه‌ها در آنها شده است که به علت کم‌آبی در بیشتر مناطق، وجود چشمه‌های کارستی با دبی زیاد در تأمین منابع آب روستاها و شهرهای حاشیه توده‌های کارستی اهمیت زیادی دارد (بهنیافر، ۱۳۸۸: ۱۲۲).

توسعه کارست در نتیجه شرایط آب‌وهوایی، ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی، نیروهای تکتونیک و فرسایش است که در مدت‌زمانی طولانی پدیده‌ها و مناظر کارستی را با ویژگی‌های خاص و منحصر به فرد شکل داده است (Karimi, 2012: 1)؛ در نتیجه محیط‌های کارستی پیچیده و به‌شدت آسیب‌پذیرند و بهره‌برداری از آب‌های کارستی و حفاظت از آنها مهم است؛ زیرا نقش مهمی در تأمین آب سکونتگاه‌ها و زمین‌های کشاورزی و بنابراین نیاز به مدیریت براساس مطالعات جامع چندرشته‌ای دارد (Kovacs, 2003: 8).

پیشینه پژوهش

یکی از مهم‌ترین اقدامات برای مدیریت و حفاظت از منابع آب کارست، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی توسعه و تحول کارست است که با استفاده از روش‌ها و مدل‌های مختلفی انجام می‌شود؛ از جمله این پژوهش‌هاست:

لاملاس و همکاران^۱ (۲۰۰۸) از مدل رگرسیون لجستیک به منظور بررسی احتمال وقوع و تشکیل فروچاله‌های کارستی استفاده کرده‌اند.

یه و همکاران^۲ (۲۰۰۹) از نرم‌افزارهای سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی نواحی تغذیه آب زیرزمینی استفاده کرده‌اند و عامل سنگ‌شناسی را مؤثرترین عامل در تغذیه آب زیرزمینی می‌دانند.

هارتمن و همکاران^۳ (۲۰۱۴) در مقاله‌ای اهمیت منابع آب کارستی و مدل‌های استفاده‌شده 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 آمده‌اند.

میشرا و همکاران^۴ (۲۰۱۰) با استفاده از روش‌های چندمعیاره آبخوان‌ها را بررسی و نقشه مناطق مناسب تغذیه آبخوان‌ها را مشخص کرده‌اند.

ملکی و همکاران (۱۳۸۸) از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (تحلیل کارشناسی)، تراکم سطح، ارزش اطلاعاتی، وزن متغیرها و روش تجربی به منظور پهنه‌بندی تحول کارست در استان کرمانشاه بهره

¹ Lamelas et al

² Yeh et al

³ Hartman et al

⁴ Mishra et al

اقلیمی و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی شرایط مناسبی درزمینه منابع آب کارستی دارد. هدف این پژوهش، بررسی و شناخت عوامل تأثیرگذار بر توسعه ژئومورفولوژی کارست و پهنه‌بندی توسعه کارست در توده کارستی پرآو - بیستون است که برای این کار از مدل آنتروپی^۱ استفاده شده است.

روش پژوهش

در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، خاک و کاربری اراضی ۱:۲۵۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست، آمار دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی منطقه به‌منزله داده‌های پژوهش استفاده شده است.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها و تهیه نقشه‌های مورد نیاز نیز از نرم‌افزارهای Excel و سیستم اطلاعات جغرافیایی^۲ استفاده شده است. فروچاله‌های منطقه با استفاده از روش Fillsink، نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای شناسایی شدند و با بهره‌گیری از مطالعات میدانی نتایج آنها دقت‌سنجی شد. عوامل مؤثر بر شکل‌گیری و توسعه کارست سطحی که براساس منابع مرتبط و ویژگی‌های منطقه مطالعاتی شناسایی شده‌اند، شامل لیتولوژی، طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، بارش، دما و فاصله از گسل است. با بررسی فروچاله‌های منطقه و ویژگی آنها به هرکدام از لایه‌ها وزن کارشناسی اختصاص داده (جدول ۱) و سپس ماتریس آنتروپی برای آنها تشکیل شد (جدول ۲). پس از آن نقشه هفت عامل

برده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند روش ارزش اطلاعاتی بیشترین انطباق را با شاخص انتخاب‌شده (چاله‌های بسته) در منطقه دارد.

جعفریگلو و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از DEM مورفوتکتونیک فروچاله‌های کارستی توده پرآو - بیستون را تحلیل کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند فروچاله‌ها در امتداد درزه‌ها و گسل‌های کششی ناحیه قرار گرفته‌اند.

قربانی و اونق (۱۳۹۱) مدل رگرسیون خطی چندمتغیره را به‌منظور پهنه‌بندی تحول و حساسیت به آلودگی کارست در توده کارستی شاهو به کار برده‌اند و از لایه اطلاعاتی فروچاله‌های منطقه به‌منزله متغیر وابسته استفاده کرده‌اند. هم‌خوانی زیاد نقشه‌ها و نتایج به‌دست آمده با واقعیت منطقه مطالعاتی گویای کارایی و قابلیت اعتماد به این مدل است.

عباسی و همکاران (۱۳۹۳) پهنه‌بندی تحول کارست را در طاق‌دیس نوا با بهره‌گیری از مدل آنتروپی انجام داده‌اند که دقت‌سنجی مدل با استفاده از چاله‌های بسته نشان‌دهنده کارایی مطلوب مدل است. مقصودی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از گامای فازی، شدت انحلال سنگ‌های کربناته را در حوزه سیف‌آباد لاغر پهنه‌بندی کرده‌اند و گامای ۰.۴ را برای پهنه‌بندی شدت انحلال مناسب می‌دانند.

هدف پژوهش

بخش عمده ارتفاعات استان کرمانشاه از سازندهای کربناتی تشکیل شده است که شرایط مناسبی برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب کارستی دارند (ملکی، ۱۳۸۸: ۲۷۱). توده کارستی پرآو - بیستون با توجه به موقعیت زمین‌شناسی، شرایط

^۱ Entropy

^۲ Geographic Information System

$$E_j = 1 - V_j \quad \text{رابطه ۴}$$

V_j درجه انحراف عدم اطمینان است. در پایان برای محاسبه وزن نهایی تمام عوامل W_j از رابطه ۵ استفاده می‌شود.

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{i=1}^m V_j} \quad \text{رابطه ۵}$$

رابطه ۶ برای تهیه نقشه نهایی است.

$$H_i = \sum_{j=1}^n w_j \times r_{ij} \quad \text{رابطه ۶}$$

H_i ضریب توسعه کارست، w_j وزن نهایی تمام عوامل و r_{ij} وزن هر کدام از عوامل است (Zongji et al, 2010: 1336).

منطقه پژوهش

منطقه پژوهش، توده آهکی پرآو - بیستون، در شمال شهر کرمانشاه واقع شده و از لحاظ هیدرولوژیکی بخشی از حوضه آبریز رودخانه قره‌سو و گاماسیاب است. این توده کوهستانی بخشی از زون زاگرس رورانده (زاگرس شکسته) است و روند آن همانند زاگرس، شمال غربی - جنوب شرقی است. بلندترین قله منطقه، کوه پرآو با ۳۳۸۵ متر ارتفاع و کمترین ارتفاع منطقه، دشت‌های اطراف با ۱۲۸۷ متر ارتفاع است.

مساحت منطقه حدود ۸۶۰ کیلومتر مربع است که بین عرض‌های جغرافیایی ۳۴° ۲۱' تا ۳۴° ۴۳' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۶° ۵۳' تا ۴۷° ۲۷' شرقی واقع شده است.

آب‌وهوای منطقه معتدل مدیترانه‌ای است و از نظر بارشی براساس تقسیم‌بندی علیجانی (۱۳۷۶) جزو منطقه بارشی کردستان محسوب می‌شود و بیش از

مؤثر به صورت رستر در وزن کل هفت عامل به‌دست‌آمده با مدل آنتروپی ضرب و درنهایت پس از جمع هفت نقشه یادشده با ابزار Raster Calculator نقشه نهایی ترسیم شد.

مدل آنتروپی

آنتروپی، رفتار توزیع انرژی است (Luna et al, 1963: 1). به هرگونه توزیع احتمالی آنتروپی گفته می‌شود (Cover et al, 1991: 1). آنتروپی در تمام سیستم‌های زنده و غیرزنده وجود دارد؛ به بیان دیگر آنتروپی انرژی آزاد برای انجام کار دارد که با کاهش انرژی افزایش می‌یابد (Baily et al, 1990: 1). شاخص آنتروپی میزان بی‌نظمی را در محیط نشان می‌دهد (Bednarik et al, 2010: 167). فرایند کار با مدل آنتروپی به شرح زیر است:

رابطه ۱ درواقع کلیدی‌ترین رابطه در این مدل است.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه بالا E_j ارزش آنتروپی و p_{ij} ماتریس تصمیم‌گیری است.

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad \text{رابطه ۲}$$

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

$$K = (\ln m)^{-1} \quad \text{رابطه ۳}$$

در اینجا K ، ضریبی ثابت و m ، تعداد دولین‌های موجود در منطقه است.

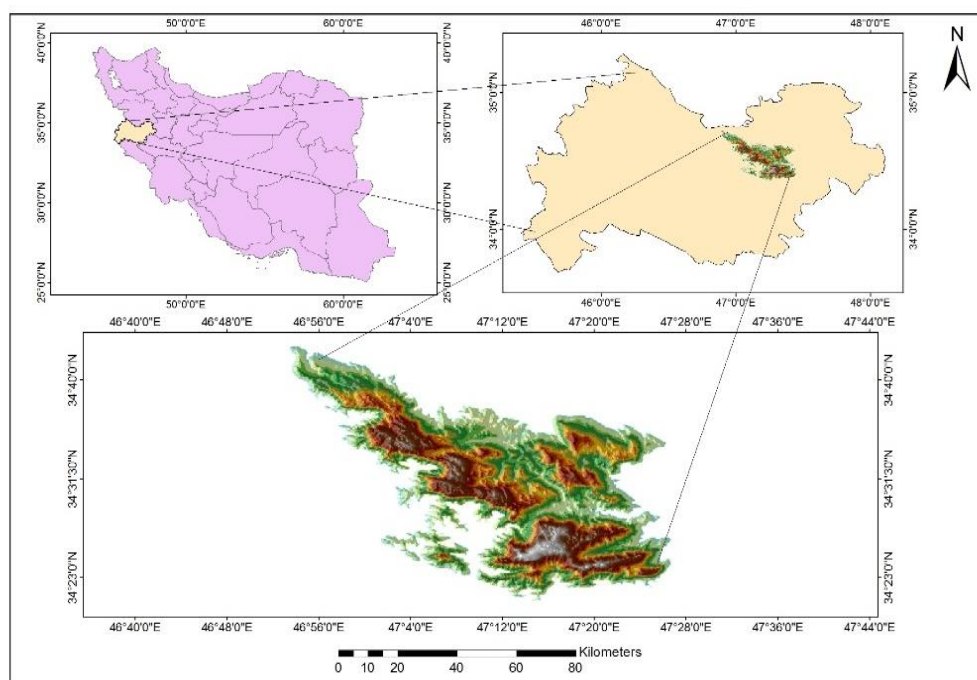
پس از به‌دست‌آمدن مقدار E_j ، می‌باید مقدار V_j نیز با رابطه زیر (رابطه ۴) محاسبه شود.

علت قرارگیری در زون ساختمانی زاگرس شکسته (رورانده)، شکستگی‌هایی به موازات تراست زاگرس به وجود آمده است که در امتداد این شکستگی‌ها، چشمه‌های فراوان با دبی تقریباً زیاد وجود دارد (ملکی، ۱۳۸۰: ۹۴). گسل‌های اصلی شمال غربی - جنوب شرقی در جهت طولی توده آهکی بیستون کشیده شده است؛ به طوری که حاشیه این توده کوهستانی در محل اتصال به دشت‌های اطراف، به صورت دیواره‌های تند و خشن دیده می‌شود.

۷۰٪ بارش منطقه در فصل سرد سال و قسمت عمده‌ای از آن به صورت برف است.

از نظر زمین‌شناسی کوهستان بیستون، توده‌ای آهکی و متعلق به دوران دوم زمین‌شناسی است و سنگ‌های آن از تریاس تا کرتاسه بالا را شامل می‌شود که در انتهای کرتاسه روی زاگرس چین‌خورده رانده شده‌اند.

از ویژگی‌های بارز این آهک، حالت توده‌ای آن است که به ندرت لایه‌بندی در آن دیده می‌شود. به

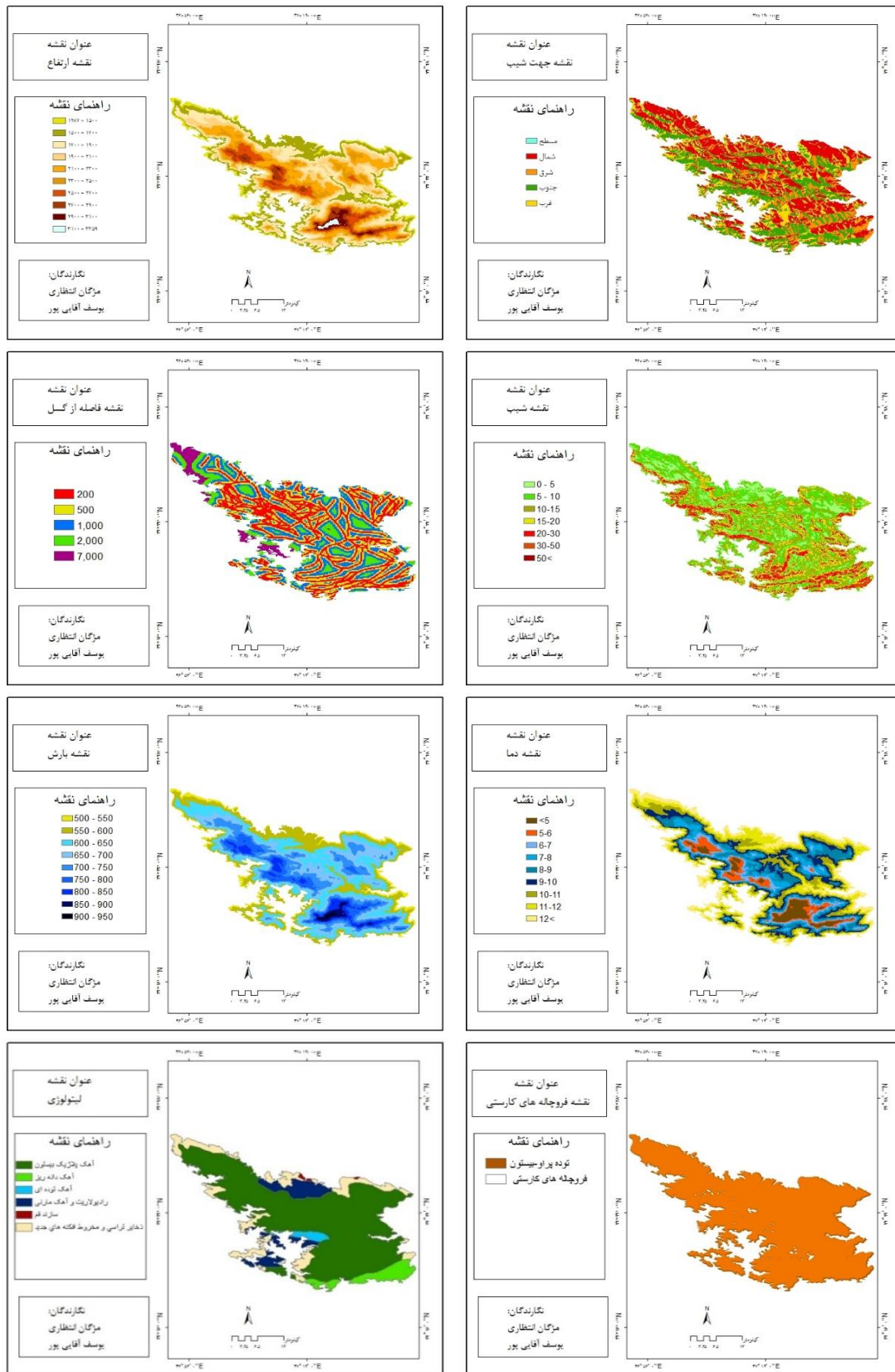


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش

فروچاله‌های منطقه و ترسیم نقشه‌های عوامل مؤثر، اطلاعات تمام فروچاله‌ها به دست آمد و با استفاده از همپوشانی فروچاله‌ها و نقشه‌های عوامل مؤثر، ماتریس آنتروپی تشکیل شد (جدول ۱).

یافته‌های پژوهش

طبقه‌بندی معیارهای مؤثر بر توسعه کارست و وزن‌دهی به آنها براساس مطالعات میدانی و تصاویر رقومی منطقه انجام شد (جدول ۱). پس از استخراج



شکل ۲. نقشه عوامل مؤثر بر توسعه کارست

جدول ۱. طبقه‌بندی و میزان امتیاز اختصاص یافته به هر یک از عوامل هفت‌گانه

امتیاز	فاصله از گسل کیلومتر	امتیاز	دما	امتیاز	بارش	امتیاز	جهت شیب	امتیاز	شیب	امتیاز	طبقات ارتفاعی	امتیاز	سازند زمین‌شناسی
۹	۰-۵۰۰	۹	<۵	۹	۹۵۰-۹۰۰	۹	شمال	۹	۰-۵	۹	۲۴۸۷-۲۷۸۷	۹	آهک پلاژیک بیستون
۷	۵۰۰-۱۰۰۰	۸	۵-۶	۹	۹۰۰-۸۵۰	۶	جنوب	۸	۵-۱۰	۹	۲۱۸۷-۲۴۸۷	۹	آهک توده‌ای
۵	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۷	۶-۷	۸	۸۵۰-۸۰۰	۷	شرق	۶	۱۰-۱۵	۸	۲۷۸۷-۳۰۸۷	۶	آهک دانه‌ریز
۳	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۶	۷-۸	۷	۸۰۰-۷۵۰	۴	غرب	۳	۱۵-۲۰	۷	۳۰۸۷-۳۳۵۹	۲	رادپولاریت و آهک مارنی
۱	>۳۰۰۰	۴	۸-۹	۶	۷۵۰-۷۰۰	۶		۲	۲۰-۳۰	۵	۱۸۸۷-۲۱۸۷	۱	سازند قم
		۲	۹-۱۰	۵	۷۰۰-۶۵۰	۵		۱	۳۰-۵۰	۲	۱۵۸۷-۱۸۸۷	۱	آبرفت
		۱	۱۰-۱۱	۴	۶۵۰-۶۰۰	۴		۱	۵۰ <	۱	۱۲۸۷-۱۵۸۷		
		۱	۱۱-۱۲	۳	۶۰۰-۵۵۰	۳							
		۱	>۱۲	۲	۵۵۰-۵۰۰	۲							

جدول ۲. ماتریس آنتروپی برای پارامترهای هفت‌گانه

شماره فروچاله	بارش	شیب (درجه)	جهت شیب	ارتفاع متوسط (پدیده هوایی)	سازند زمین‌شناسی	فاصله از گسل (متر)	دما
۱	۸۰۰-۷۵۰	۵-۱۰	شمال	۲۴۸۷-۲۷۸۷	آهک بیستون	۰-۵۰۰	<۵
۲	۷۵۰-۷۰۰	۰-۵	جنوب	۱۸۸۷-۲۱۸۷	آهک بیستون	۵۰۰-۱۰۰۰	۷-۸
۳	۸۰۰-۷۵۰	۰-۵	شمال	۲۱۸۷-۲۴۸۷	آهک بیستون	۵۰۰-۱۰۰۰	۵-۶
...
۵۲	۷۵۰-۷۰۰	۵-۰	شرق	۲۴۸۷-۲۷۸۷	آهک بیستون	۵۰۰-۱۰۰۰	۵-۶

$$W_j = [0, 0.216336, 0.083751, 0.223113, 0.126658, 0.258709, 0.091433]$$

رابطه ۳

در نهایت مدل ناحیه‌ای توسعه کارست با استفاده از رابطه زیر به دست آمد:

$$H_i = 0 \times G + 0.216336 \times E + 0.083751 \times S + 0.223113 \times A + 0.126658 \times R + 0.258709 \times T + 0.091433 \times F$$

رابطه ۴

در آن H میزان تحول کارست در منطقه، G سنگ‌شناسی، E ارتفاع، S شیب، A جهت شیب، R بارش، T دما و F فاصله از گسل است.

در نهایت با استفاده از روابط یادشده مقدار E_j برای معیارهای زمین‌شناسی، طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، بارش، دما و فاصله از گسل به قرار زیر است:

$$E_j = [1, 0.9641, 0.9861, 0.9629, 0.9789, 0.9570, 0.9848]$$

رابطه ۱

درجه عدم اطمینان معیارها نیز محاسبه شد.

$$V_{ij} = [0, 0.035889, 0.013894, 0.037013, 0.021012, 0.042919, 0.015168]$$

رابطه ۲

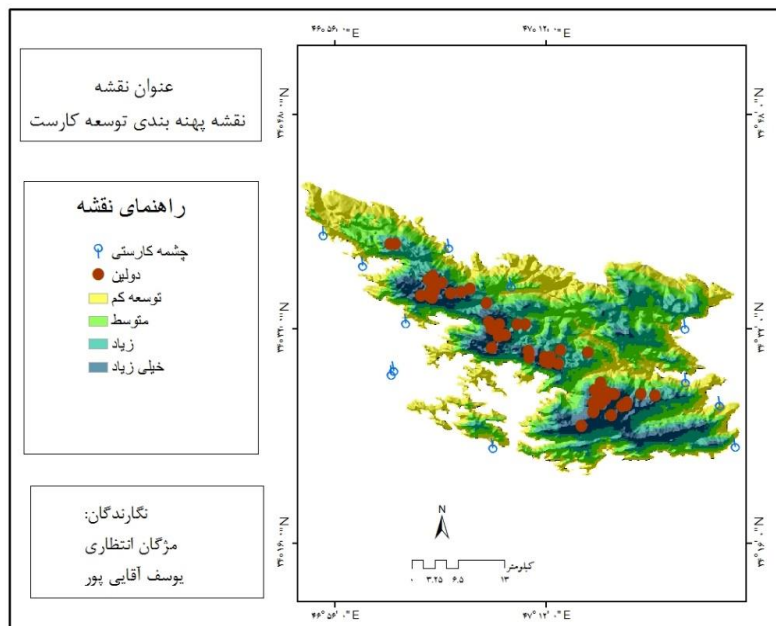
سرانجام برای اوزان (W_j) شاخص‌های موجود را خواهیم داشت:

بارش، دمای کمتر نسبت به سایر پهنه‌ها، شیب کم، جهت شیب شمالی و شرقی و همچنین گسل‌های زیاد دارد.

در جدول (۳) میزان تأثیر هر یک از عوامل در توسعه کارست در منطقه مشخص شده است که نشان‌دهنده تأثیر زیاد عوامل دما، جهت شیب و ارتفاع در تحول کارست در منطقه است. عامل سنگ‌شناسی به علت قرارگرفتن تمام فروچاله‌ها در آهک بیستون و تنوع‌نداشتن این عامل، در این مدل بی‌تأثیر در نظر گرفته شده است.

یکی از نشانه‌های توسعه کارست در منطقه مطالعه‌شده، وجود چشمه‌های کارستی پرآب و متعدد در اطراف توده کوهستانی پرآو - بیستون است که در منطقه به آنها «سرآو» می‌گویند. از جمله این چشمه‌ها سرآوهای طاق بستان، بیستون، برناج، خضر الیاس و ... هستند که آب لازم را برای سکونتگاه‌های اطراف تأمین کرده‌اند و نقش مهمی در شکل‌گیری آنها داشته‌اند (شکل ۳).

نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست براساس رابطه H_i با ضرب وزن هر معیار در نقشه رستری مربوط به خود و جمع آنها، ترسیم و در نهایت نقشه پهنه‌بندی در چهار کلاس کارست با توسعه کم، متوسط و زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی شد (نقشه ۸). با قراردادن موقعیت فروچاله‌های منطقه روی این نقشه مشخص شد از ۵۲ فروچاله منطقه، ۴۱ فروچاله در پهنه با توسعه بسیار زیاد، ۱۰ فروچاله در پهنه با توسعه زیاد و ۱ فروچاله در پهنه با توسعه متوسط کارست قرار گرفته است (شکل ۳). پهنه با توسعه متوسط کارست با ۳۱٪ از وسعت منطقه بیشترین مساحت توده کوهستانی و پهنه با توسعه بسیار زیاد با ۱۴٪ کمترین مساحت توده کارستی را به خود اختصاص داده است (جدول ۴). پهنه با توسعه کم کارست در حاشیه توده کوهستانی قرار و ارتفاع و بارش کم و دمای زیاد و فاصله بیشتر نسبت به گسل‌های منطقه دارد. پهنه‌های با توسعه کارست زیاد و بسیار زیاد در رأس توده کارستی قرار و ویژگی‌هایی همانند بیشترین میزان



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی

جدول ۳. میزان تأثیر هریک از عوامل هفت‌گانه در تحول کارست در منطقه پژوهش

عامل	فاصله از گسل	دما	بارش	جهت شیب	شیب	ارتفاع	سنگ‌شناسی
درصد تأثیر	٪۹	٪۲۶	٪۱۳	٪۲۲	٪۸	٪۲۲	۰

جدول ۴. مساحت و درصد پهنه‌های کارستی توده کوهستانی پراو- بیستون

منطقه	مساحت	درصد مساحت	تعداد فروچاله	درصد فروچاله موجود در هر پهنه
کارست با توسعه بسیار زیاد	۱۲۲.۶	٪۱۴	۴۱	٪۷۹
کارست با توسعه زیاد	۲۱۵.۸۴	٪۲۵	۱۰	٪۱۹
کارست با توسعه متوسط	۲۶۱.۹۹	٪۳۱	۱	٪۲
کارست با توسعه کم	۲۵۸.۹۶	٪۳۰	۰	۰
مجموع	۸۵۹.۳۹	۱۰۰	۵۲	٪۱۰۰

نتیجه‌گیری

نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست توده کوهستانی پراو - بیستون با بهره‌گیری از مدل آنتروپی ترسیم و در چهار کلاس کارست با توسعه کم، متوسط و زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی شده است. براساس نقشه به‌دست‌آمده، مناطق با توسعه بسیار زیاد، کارست ٪۱۴ منطقه، یعنی مساحتی حدود ۱۲۲.۶ کیلومتر مربع از منطقه را شامل می‌شود. گسترش لندفرم‌های کارستی در این منطقه بسیار زیاد است و ٪۷۹ فروچاله‌های منطقه در پهنه با توسعه بسیار زیاد قرار گرفته است. از عوامل مؤثر در توسعه کارستی این پهنه، وجود گسل‌های زیاد، شیب بین ۰ تا ۵ درجه، جهت شمالی و شرقی بیشتر پهنه، دمای کم و بارش زیاد عمدتاً به‌صورت برف است. پهنه با توسعه کارست کم که ٪۳۰ از منطقه پژوهش را شامل می‌شود، در ارتفاعات کم منطقه قرار گرفته است که بارش کمتر، دمای بیشتر، شیب زیاد و فاصله از گسل بیشتری دارد.

دقت‌سنجی نقشه پهنه‌بندی منطقه با قراردادن نقشه فروچاله‌های کارستی روی آن، نشان‌دهنده کارایی مطلوب مدل آنتروپی در منطقه است؛ به طوری که

٪۹۸ فروچاله‌های منطقه در دو طبقه با توسعه بسیار زیاد و زیاد واقع شده‌اند. میزان تأثیرگذاری معیارها، نشان‌دهنده تأثیر بیشتر دما، جهت شیب و ارتفاع در توسعه کارست است و معیار زمین‌شناسی به این علت که تمام فروچاله‌ها در محدوده آهک بیستون تشکیل شده‌اند، در این مدل بدون تأثیر در نظر گرفته شده است.

پهنه‌های توسعه‌یافته کارستی تأثیر زیادی در جذب نزولات جوی و تغذیه آبخوان‌های منطقه داشته‌اند و این آبخوان‌ها نقش مهمی در شکل‌گیری و گسترش سکونتگاه‌ها در منطقه پژوهش دارند. از سوی دیگر در نواحی کارستی بیشتر بارش از طریق فروچاله‌های منطقه و سیستم غارهای کارستی منطقه نفوذ می‌کند و به همین دلیل آسیب‌پذیری زیادی دارند؛ بنابراین لازم است سازمان‌های مربوطه به‌منظور مدیریت منابع آب و همچنین پیشگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، اقداماتی همانند جلوگیری از تخریب مراتع و جلوگیری از ورود مواد آلاینده در این مناطق انجام دهند.

منابع

- افراسیابیان، احمد، (۱۳۷۷). اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران، مجموعه مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی، تهران - کرمانشاه، ۱۳۷-۱۲۶.
- بهنیافر، ابوالفضل، قنبرزاده، هادی و فرزانه، عباسعلی، (۱۳۸۸). ویژگی‌های ژئومورفیک توده کارستی اخملد در دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود، جغرافیا و توسعه، دوره ۷، شماره ۱۴، ۱۴۰-۱۲۱.
- جعفری‌گلو، منصور، مقیمی، ابراهیم و صفری، فرشاد، (۱۳۹۰). استفاده از DEM در تحلیل مورفوتکتونیک فروچاله‌های کارستی توده پراو- بیستون، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۲، شماره ۴۴، ۱۸-۱.
- عباسی، محمد، باقری، سجاد و جعفری اقدم، مریم، (۱۳۹۳). پهنه‌بندی تحول کارست با استفاده از مدل آنتروپی (نمونه موردی: طاق‌دیس نوا زاگرس شمال باختری)، علوم زمین، دوره ۲۴، شماره ۹۴، ۱۶۸-۱۶۱.
- علیجانی، بهلول، (۱۳۷۶). تعیین فصول طبیعی در ایران، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۲۹، شماره ۳۵، ۳۳-۲۱.
- قربانی، محمدصدیق و اونق، مجید، (۱۳۹۱). پهنه‌بندی تحول و حساسیت کارست با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره در منطقه کارستی شاهو، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱، شماره ۱، ۱۹-۳۳.
- مقصودی، مهران، اخوان، هانیه، مهدیان، مجتبی و عشورنژاد، غدیر، (۱۳۹۴). پهنه‌بندی شدت انحلال سنگ‌های کربناته در زاگرس جنوبی (مطالعه موردی: حوضه سیف‌آباد لاغر)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۱، ۱۲۴-۱۰۵.
- مقیمی، ابراهیم، باقری سیدشکری، سجاد و صفرراد، طاهر، (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: طاق‌دیس نوار زاگرس شمال غربی)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، دوره ۴۴، شماره ۷۹، ۷۷-۹۰.
- ملکی، امجد، شوهانی، داوود و علایی طالقانی، محمود، (۱۳۸۸). پهنه‌بندی و تحول کارست استان کرمانشاه، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۳، شماره ۱، ۲۹۵-۲۷۱.
- محمودی، فرج‌الله و ملکی، امجد، (۱۳۸۰). تحول کارست و نقش آن در منابع آب زیرزمینی در ناهمواری‌های بیستون - پراو (کرمانشاه)، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۴۰، شماره ۴۰، ۱۰۵-۹۳.
- یوسفی سنگانی، کیوان، محمدزاده، حسین و اکبری، مرتضی، (۱۳۸۴). ارزیابی پتانسیل توسعه کارست با استفاده از روش تلفیق فازی و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: طاق‌دیس سررود، ژرف و پشته‌داغ در استان خراسان رضوی)، نخستین کنگره تخصصی رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی ایران.

- Kovacs, A., (2003). **Geometry and hydraulic parameters of Karst aquifers: A hydrodynamic modeling approach**, phd these, University of Neuchatel.
- 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, Vol 54, No 5, Pp 963-977.
- Luna, B., et al., (1963). **The Concept of Entropy in Landscape Evolution**, Geological survey professional paper, Washington, D.C: 1-26.
- Mishra, R., Chandrasekhar, B., and Naik, R. (2010), **Remote Sensing and GIS for Groundwater Mapping and Identification of Artificial Recharge Sites**, Geoenvironmental Engineering and Geotechnics, pp 216-223.
- M.Cover, Thomas, A. Thomas, Joy., (1991), **Entropy, Relative Entropy and Mutual Information**, Element if Information theory.
- Polemio, M., Casarano, D., Limoni, P., (2009). **Karstic aquifer vulnerability assessment methods and results at a test site (Apulia, southern Italy)**, Natural hazards and earth system sciences, No 9, Pp 1461-1470.
- Yeh, H-F., Lee, C-H., Hsu, K-H., Chang, P-H., (2009). **GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone**, Environ Geology, N 58, Pp 185-195.
- Zongji, Y., et al., (2010), **Regional Landslide Zonation Based on Entropy Method in Three Gorges Area**, Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, China: 1328-1349.
- سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ برگ‌های کرمانشاه و میان‌راهان.
- سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برگ‌های بیستون، کندوله، کرمانشاه، میان‌راهان و قلعه شاه‌خانی.
- Baily, D., Kenneth., (1990). **Entropy System Theory**, SYSTEMS SCIENCE AND CYBERNETICS, Vol 1, 397 p.
- Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M., Marschalko, M., (2010). **Landslide Susceptibility Assessment of the Kralovany-Liptovsky Mikulas Railway case Study**, Physics and Chemistry of the Earth, Vol 35, Pp 162-171.
- Cover, T, Thomas, J., (1991). **Entropy, Relative Entropy and Mutual Information, Element if Information theory**, Wiley Press, New York, First Edition, 776 p.
- Ford, D., Williams, P., (1989). **karst Hydrology and Geomorphology**, Wiley Press, First Edition, 576 p.
- 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, Vol 52, No 3, Pp 218-242.
- Karimi, H., (2012). **Hydrogeology of karstic area**, Hydrogeology- a global perspective, [www.intechopen.com/books/Hydrogeology- a global perspective/Hydrogeology of karstic area](http://www.intechopen.com/books/Hydrogeology-a-global-perspective/Hydrogeology-of-karstic-area).

