



## شناسایی مناطق مستعد فروچاله در حوضه کارستی بیستون - پرآو

محمد ملکی<sup>۱\*</sup>، کارشناسی ارشد گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

علیرضا جوزک<sup>۲</sup>، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

جواد سدید<sup>۳</sup>، استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۹/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۳۰

### چکیده

فروچاله‌های نوعی از اشکال کارستی است که به شکل گودال‌هایی در سطح زمین آشکار می‌شوند. شناسایی این فروچاله‌ها در مدیریت منابع آب بسیار حیاتی هستند، چرا که آلودگی این مکان‌ها باعث آلودگی منابع آب منطقه می‌شود. حوضه کارستی بیستون - پرآو از آن جهت مهم است که باعث ایجاد سراب‌هایی در شهرهای بیستون و کرمانشاه بوده و بخشی از آب این شهرها را تامین می‌کند. این پژوهش با هدف شناسایی فروچاله‌های این حوزه و همچنین شناسایی مناطق مستعد فروچاله انجام شده است. در این پژوهش با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل شبکه، معیارهای مختلف ایجاد فروچاله نظیر بارش، دما، تبخیر، سنگ‌شناسی، جنس خاک، شیب، ارتفاع، گسل، آبراهه و پوشش گیاهی رتبه بندی شده اند. نتایج فرآیند تحلیل شبکه نشان داد که سنگ‌شناسی با ۲۴/۸۷ درصد مهم‌ترین عامل ایجاد فروچاله است. پس از ترکیب لایه‌ها، نقشه مناطق محتمل فروچاله مشخص گردید و با استفاده از تفسیر تصاویر Google Earth و World Imagery فروچاله‌های موجود در منطقه تشخیص داده شد. سپس برای بررسی نتایج کار از شاخص‌های صحت، دقت و کیفیت استفاده شد که نتایج آن‌ها به ترتیب ۹۸/۴۲، ۶۹/۴۱ و ۶۵/۵۵ بود. بالا بودن شاخص صحت نشان می‌دهد کارایی بالا در شناسایی فروچاله‌های موجود است، اما پایین بودن دو شاخص دیگر بیانگر ضعف روش نیست، بلکه دو شاخص دقت و کیفیت نشان دهنده مناطقی است که احتمال فروچاله شدن را دارند، اما در حال حاضر یا فروچاله نبوده و یا در داده‌های مرجع نیستند. در پایان می‌توان گفت که این روش کارایی مناسبی برای شناسایی فروچاله‌ها و مناطق مستعد فروچاله‌ها را دارد.

واژگان کلیدی: کارست، فروچاله، بیستون - پرآو، تحلیل شبکه‌ای، تصاویر جهانی.

\* نویسنده مسئول malekimohamad14@gmail.com

نحوه استنادی به مقاله:

ملکی، محمد، جوزک، علیرضا، سدید، جواد (۱۳۹۹). شناسایی مناطق مستعد فروچاله در حوضه کارستی بیستون - پرآو. فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی. سال اول، شماره ۳ (۳). صص ۸۰-۶۷. Doi:10.29252/gasma.1.3.67

## ۱. مقدمه

فروچاله‌ها<sup>۱</sup> گودال‌های ایجاد شده در سطح زمین هستند که به دلیل انحلال سنگ‌های آهکی به وجود می‌آیند (رشدی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷). فروچاله‌ها انواع مختلفی دارند که شامل فروچاله‌های انحلالی<sup>۳</sup>، فروچاله‌های ریزشی<sup>۴</sup>، فروچاله‌های دارای پوشش سنگی<sup>۵</sup>، فروچاله‌های فرونشستی<sup>۶</sup>، فروچاله‌های پر شونده<sup>۷</sup> و فروچاله‌های دفنی<sup>۸</sup> می‌شوند. این اصطلاح فروافتادگی سطحی در زیر سطح دیگر یا از ساختاری را که با تجزیه حفره‌های کارستی زیر زمینی کوچک شکل می‌گیرد شامل می‌شود (ویلیامز<sup>۹</sup>، ۲۰۰۴؛ نئوندورف<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۵؛ کارمانا و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۸: ۱۵۳). ایجاد فروچاله یک خطر عمده است که باعث ایجاد ضررهای اساسی اقتصادی و اجتماعی می‌شود (لاروسا و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۸: ۳۱). فروچاله‌ها حفره‌های بسته با زهکشی داخلی هستند که به طور معمول با محیط کارست، که در معرض آن قرار دارند، همراه هستند. سنگ‌های محلول با گردش آب‌های سطحی و زیرزمینی حل می‌شوند (فروچاله‌های انحلالی) اما انواع دیگر فروچاله‌ها نیز وجود دارند (همان منبع: ۳۳).

هنگامی که بسترهای کربناتی در زیرسازندهای غیرکربنات قرار دارند، تغییرات لرزه‌ای ناشی از گسل‌زایی ممکن است باعث فشرده‌سازی سفره‌های آب‌های محدوده و حرکت آنها به سمت بالا شود، از این رو باعث فرسایش و

فروپاشی می‌شود (هریسون<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۲: ۴۶؛ واداس<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۳۳۸). دو نوع فروچاله وجود دارد که شامل طبیعی و انسانی است. چاله‌های طبیعی به طور عمده در مناطقی با رسوبات زیاد نمک، سنگ‌آهک و کربنات مشاهده می‌شود. پیش‌بینی دقیق محل و زمان وقوع این دهانه‌ها بسیار مهم اما دشوار است (علی و چوی<sup>۱۵</sup>، ۲۰۱۸: ۴۰۰۲). کشف و تجزیه و تحلیل کارآمد حوضه‌های طبیعی برای پایداری انسان در منطقه کارست ضروری است (چن و همکاران<sup>۱۶</sup>، ۲۰۱۸: ۴۰۸). در کنار مخاطراتی که فروچاله‌ها ایجاد می‌کنند، چشم اندازه‌های کارست دارای انواع ارزش‌های اقتصادی، علمی، آموزشی، تفریحی و زیبایی شناسی هستند. در عین حال این نواحی از حساسیت بالایی برخوردارند و مدیریت حفاظتی آن‌ها بسیار ضروری است. مناطق کارست دارای ارزش‌های متعددی هستند که آن‌ها را می‌توان در سه گروه ارزش علمی، انسانی و اقتصادی خلاصه کرد (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۰: ۴۱). همچنین مناطق کارستی، آب آشامیدنی ۲۵ درصد از جمعیت جهان را تامین می‌کند (میلانویک<sup>۱۷</sup>، ۱۹۸۱: ۳۷ و ویلیامز و فورد<sup>۱۸</sup>، ۲۰۱۳: ۱۳۷). فروچاله‌ها یکی از شاخص‌های مهم ژئومورفولوژی می‌باشد که نقش بسیار مهمی در جذب آب، نفوذ آب به داخل زمین، تغذیه و تخلیه آبخوان‌های کارستی، مسائل انسانی نظیر کشاورزی و جذب جمعیت و غیره دارد.

بسیاری از مطالعات میدانی مبتنی بر پارامترهایی، مانند مکانیسم‌های شکل‌گیری (صلواتی و ساوسکی<sup>۱۹</sup>، ۲۰۰۲؛

- 1 Sinkhole
- 2 Rosdi et al
- 3 Dissolution sinkholes
- 4 Collapse sinkholes
- 5 Caprock sinkholes
- 6 Dropout sinkholes
- 7 Suffosion sinkholes
- 8 Buried sinkholes
- 9 Williams
- 10 Neuendorf
- 11 Caramanna et al
- 12 La Rosa et al

- 13 Harrison
- 14 Wada
- 15 Ali & Choi
- 16 Chen et al
- 17 Milanovic
- 18 Williams and Ford
- 19 Salvati and Sasowsky



اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل شبکه، شناسایی فروچاله‌ها و پارامترهای تاثیرگذار در تشکیل آن را مورد بررسی و ارزیابی قرار دهد. شناسایی این فروچاله‌ها در مدیریت منابع آب بسیار حیاتی هستند، چرا که آلودگی این مکان‌ها باعث آلودگی منابع آب منطقه می‌شود. حوضه کارستی بیستون - پرآو، بخشی از زاگرس رورانده است که در استان کرمانشاه و در شمال شرقی شهر کرمانشاه قرار دارد (محمودی و ملکی، ۱۳۸۰: ۹۴). دیواره بیستون بزرگترین دیواره گسلی در زاگرس رورانده و در دامنه جنوبی این ناهمواری‌ها واقع شده است (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۳). حوضه کارستی بیستون - پرآو از آن جهت مهم است که باعث ایجاد سراب‌هایی در شهرهای بیستون و کرمانشاه بوده و بخشی از آب این شهرها را تامین می‌کند.

## ۲. روش تحقیق

در تحقیق حاضر برای مشخص نمودن عرصه‌های مستعد تشکیل فروچاله، ده معیار بارش، دما، تبخیر، سنگ-شناسی، جنس خاک، شیب، ارتفاع، گسل، آبراهه و پوشش گیاهی در نظر گرفته شد (چرا که در اغلب مطالعات در ارتباط با فروچاله‌ها از تعدادی از این عوامل استفاده شده است). برای شناسایی روابط میان معیارها از نظر کارشناسان استفاده گردیده و برای تهیه ساختار از تکنیک DEMATEL بهره گرفته شده است. تهیه ساختار از طریق پرسشنامه تکمیل شده توسط کارشناسان بدست آمده است. همچنین از آنجا که میزان اهمیت معیارها برابر نمی‌باشد از روش ANP برای بدست آوردن وزن معیارها استفاده گردیده است. سپس لایه‌های وزن دار شده به وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی همپوشانی و تحلیل شده و در نهایت با فروچاله‌های استخراج شده از تصاویر World Imagery و Google Earth مطابقت داده شده و شاخص‌های صحت، دقت و کیفیت مورد محاسبه قرار گرفته است.

تارپ<sup>۱</sup>، (۱۹۹۹)، اصطلاحات و طبقه‌بندی (وایت<sup>۲</sup>، ۱۹۸۸؛ گان<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴؛ والتام و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷؛ گواپترز و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۸)، ارتباط متقابل با محیط انسان شناسی (دل رز و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۰۴؛ گواپترز و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۴) و ارزیابی خطر (ون اسکور<sup>۸</sup>، ۲۰۰۲، گالو و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۹؛ طاهری و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۵) برای بررسی فروچاله‌ها انجام شده است. با این حال، هنوز هم یک چالش برای تشخیص دقیق فروچاله‌ها در مقیاس‌های کوچک وجود دارد. در گذشته مرسوم بود که تشخیص فرچاله‌ها براساس تفسیر بصری تصاویر سنجش از دور و کار میدانی انجام می‌گرفت که هم وقت گیر بود و هم دقت مناسبی نداشت (دکتر و یانگ<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۳: ۴۵۳).

کرم و همکاران (۱۳۹۲) با در نظر گرفتن ۹ عامل، ارتفاع، شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، عمق آب‌های زیرزمینی، فاصله از چاه‌های بهره‌برداری و فاصله از بندهای آب و بهره‌گیری از روش فازی در GIS، نشان دادند که ۳۲ درصد از منطقه ابرکوه دارای پتانسیل زیاد و بسیار زیاد فروچاله است. عابدینی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی نشان عوامل موثر در شکل‌گیری فروچاله را بررسی کردند، تفسیر ضرایب و نتایج حاصل از آنان نشان داد که لیتولوژی مهم‌ترین نقش را در توسعه کارست بر عهده دارد و بعد از آن به ترتیب لایه‌های گسل، بارش، ارتفاع، دما، شیب و جهات شیب در درجات بعدی اهمیت قرار می‌گیرند. بنابراین، این مقاله درصدد آن است که با کمک سیستم

<sup>1</sup> Tharp

<sup>2</sup> White

<sup>3</sup> Gunn

<sup>4</sup> Waltham et al

<sup>5</sup> Gutiérrez et al

<sup>6</sup> Delle Rose et al

<sup>7</sup> Gutiérrez et al

<sup>8</sup> Van Schoor

<sup>9</sup> Galve et al

<sup>10</sup> Taheri et al

<sup>11</sup> Doctor and Young

**فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)**

در روش فرآیند تحلیل شبکه مقایسه دو به دو مشابه روش AHP انجام می‌شود، عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها، بر اساس میزان اهمیت آنها در ارتباط با معیارهای کنترلی دو به دو مقایسه می‌شوند. تصمیم‌گیران در مورد مقایسه‌های دودویی عناصر و یا خود خوشه‌ها دو به دو باید مقایسه کنند. اهمیت نسبی عناصر بر اساس مقیاس ۹ کمیته‌ساعتی (همان مقیاس AHP) سنجیده می‌شود. در این قسمت بردار اهمیت داخلی محاسبه می‌شود که نشان دهنده اهمیت نسبی عناصر یا خوشه‌هاست. که از طریق رابطه زیر بدست می‌آید.

$$Aw = \lambda_{max}w \quad (1)$$

که در آن A، ماتریس مقایسه دودویی معیارها، W بردار ویژه (ضریب اهمیت) و  $\lambda_{max}$  بزرگترین مقدار ویژه عددی است (زبردست، ۱۳۸۹: ۷۹-۸۷). بنابراین در این مرحله بردارهای اولویت داخلی مورد محاسبه قرار می‌گیرند پرسشنامه مورد استفاده برای تحلیل‌های سلسله‌مراتبی و تصمیم‌گیری چندمعیاره به پرسشنامه خبره موسوم است. برای بدست آوردن اوزان در این روش چند مرحله زیر انجام می‌گردد.

**گام اول: محاسبه ماتریس میانگین<sup>۱</sup> ماتریس روابط**

در این مرحله با استفاده از پرسشنامه خبرگان تاثیرات مستقیم بین هر یک از دو عامل تحت بررسی را با انتخاب یک عدد صحیح بین صفر تا سه ارزیابی کنند. عدد صفر به معنای بدون تاثیر، یک به معنای با تاثیر اندک، دو به معنای تاثیر متوسط و سه به معنای با تاثیر زیاد است. نماد  $X_{ij}$  نشان‌دهنده درجه تاثیر فاکتور i بر فاکتور j از نگاه فرد پاسخ‌دهنده است. عناصر واقع بر قطر ماتریس یعنی عناصری که برای آن‌ها داریم:  $i=j$  مقدار صفر می‌گیرند. به این

ترتیب برای هر فرد پاسخ دهنده یک ماتریس غیر منفی  $n \times n$  به صورت زیر خواهیم داشت.

$$X^k = [x_{ij}^k] \quad (2)$$

که در آن k نشان‌دهنده شماره فرد پاسخ دهنده و n نشان‌دهنده تعداد عوامل مورد بررسی است. اگر تعداد پاسخ‌دهندگان H نفر باشد آنگاه H ماتریس خواهیم داشت. جهت ادغام نظرات پاسخ‌دهندگان ماتریس میانگین به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$a_{ij} = \frac{1}{H} \sum_{k=1}^H x_{ij}^k \quad (3)$$

**گام دوم: محاسبه ماتریس نرمال شده روابط مستقیم اولیه<sup>۲</sup>**

این ماتریس که آن را D می‌نامیم از ضرب ماتریس‌های A (که در بالا محاسبه آن شرح داده شد) و S (که به صورت زیر محاسبه می‌شود) به دست می‌آید. هر عنصر ماتریس D بین صفر و یک خواهد بود.

$$S = \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (4)$$

**گام سوم: محاسبه ماتریس روابط کلی<sup>۳</sup>**

ماتریس روابط کلی (T) به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$T = D(I - D)^{-1} \quad (5)$$

که I یک ماتریس همانی است. به کمک این ماتریس می‌توانیم بردارهای r و c را تعریف کنیم. بردار r یک بردار  $(n \times 1)$  است که از جمع ردیف‌های ماتریس روابط کلی (T) به دست می‌آید. بردار c نیز یک بردار  $(n \times 1)$  است که از جمع ستون‌های ماتریس T حاصل می‌شود. فرض کنید  $r_i$  حاصل جمع i امین ردیف ماتریس T است، بنابراین  $r_i$  می‌تواند نشان‌دهنده مجموع اثرات مستقیم و غیرمستقیم اعمال

<sup>2</sup> The normalized initial direct-relation matrix

<sup>3</sup> The total relation matrix

<sup>1</sup> The average matrix



است جمع عناصر هر ستون سوپرماتریس بیش از یک می- باشد. در مرحله بعد سوپرماتریس نرمال می‌شود.

سوپرماتریس حاصل، سوپرماتریس وزنی است. برای آنکه مقادیر سوپرماتریس وزنی همگرا شوند، سوپرماتریس وزنی آنقدر به توان می‌رسد تا عناصر آن همگرا شوند. سوپرماتریس برای تجزیه و تحلیل وابستگی‌های داخلی میان اجزای سیستم، به کار می‌رود (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۴۵-۱۴۹).

پس از بدست آمدن نتایج روش تحلیل فرآیند تحلیل شبکه، و مشخص شدن وزن هر معیار اقدام به تهیه لایه‌های مورد استفاده شد. برای لایه ارتفاع و شیب و آبراه‌ها از تحلیل مدل رقومی با پیکسل ساینز ۱۰ متر سازمان ارتش جمهوری اسلامی استفاده شد. لایه گسل‌ها و سنگ شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی کشور مورد استفاده قرار گرفت. لایه‌های دما، بارش و تبخیر از درون‌یابی داده‌های اقلیمی سازمان آب و هواشناسی حاصل گردید. برای لایه خاک‌شناسی از لایه خاک شناسی توسط منابع طبیعی استفاده شد و در نهایت برای لایه پوشش گیاهی از شاخص پوشش گیاهی NDVI اعمال شده بر روی تصاویر لندست استفاده شد. در نهایت با استفاده از تفسیر تصاویر از World Imagery و Google earth لایه داده‌های مرجع بدست آمد و با استفاده از روش‌های صحت‌سنجی، صحت مدل محاسبه گردید. شکل (۱) فلوچارت مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.

شده توسط فاکتور  $i$  بر روی سایر عوامل باشد. بطور مشابه اگر  $C_j$  حاصل جمع  $z$  امین ستون ماتریس  $T$  باشد،  $C_j$  نشان- دهنده مجموع تاثیرات مستقیم و غیرمستقیم اعمال شده بر  $z$  امین از سایر عوامل است. اگر  $j=i$  باشد حاصل جمع  $(C_j+I_i)$  نشان‌دهنده مجموع تاثیرات اعمال شده و پذیرفته شده توسط فاکتور  $i$  است. بدین ترتیب  $(I_i+C_j)$  نشان‌دهنده درجه اهمیت فاکتور  $i$  در کل سیستم<sup>۱</sup> است. بطور معکوس  $(I_i - C_j)$  نشان- دهنده اثر شبکه است که فاکتور  $i$  با سیستم همکاری کرده است. به طور خاص و بر اساس جمع بندی مطالب بالا می‌توان گفت اگر  $(I_i - C_j)$  مثبت باشد فاکتور  $i$  یک فاکتور علی شبکه<sup>۲</sup> است (چون  $I_i$  یعنی میزان تاثیر گذاری فاکتور  $i$  بزرگتر از  $C_j$  یعنی میزان تاثیر پذیری آن است) و اگر  $(I_i - C_j)$  منفی باشد فاکتور  $i$  یک عامل معلولی یا نتیجه‌ای<sup>۳</sup> در شبکه است.

### گام چهارم: محاسبه ارزش آستانه‌ای<sup>۴</sup> برای به دست آوردن دیاگراف

پس از آن که از ماتریس  $T$  اطلاعاتی در مورد چگونگی تاثیرات هر عامل بر روی سایر عوامل به دست آوردیم ضروری است که ارزش آستانه‌ای را جهت حذف اثرات ناچیز محاسبه کنیم. با انجام این کار تنها اثرات بزرگ‌تر از ارزش آستانه‌ای انتخاب شده و وارد دیاگراف می‌شوند. می‌توان ارزش آستانه‌ای را برابر با میانگین عناصر ماتریس  $T$  در نظر گرفت.

### تشکیل سوپر ماتریس اولیه، سوپرماتریس وزنی و سوپرماتریس حد

بعد از آنکه مقایسه‌های زوجی انجام شد، نتایج حاصل وارد سوپرماتریس می‌شود. سوپرماتریس که از تلفیق ماتریس‌های مختلف به دست می‌آید، سوپرماتریس اولیه

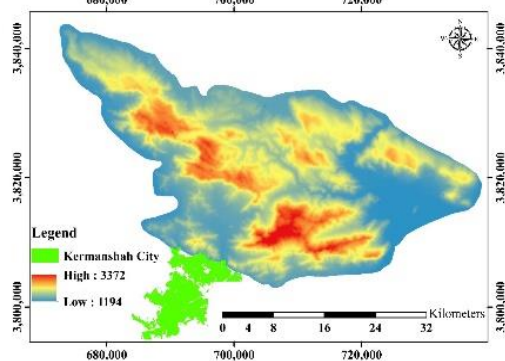
<sup>1</sup> Entire system

<sup>2</sup> Net cause

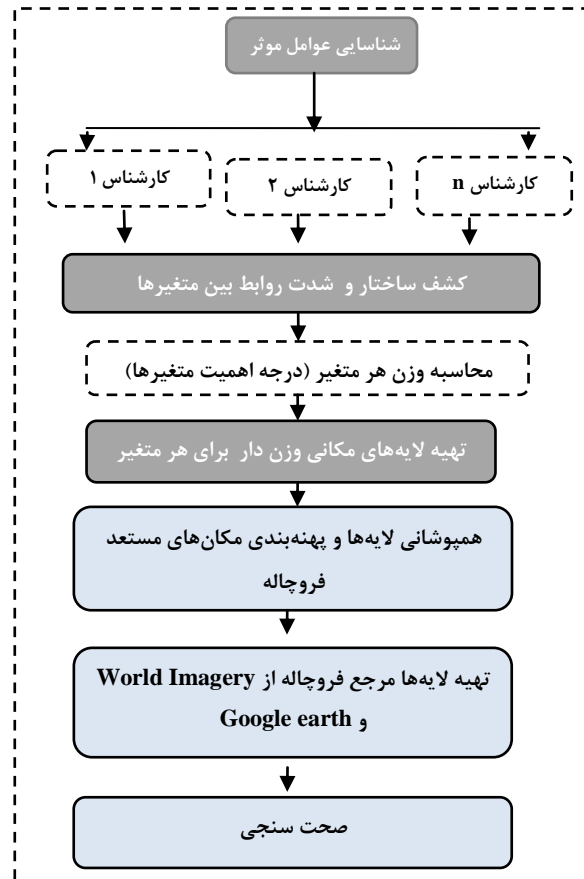
<sup>3</sup> Net receiver or result

<sup>4</sup> Threshold value

منطقه کارستی بیستون بخشی از زاگرس رورانده است که در استان کرمانشاه و در شمال شرقی شهر کرمانشاه به طول تقریبی ۴۰ کیلومتری به عرض حداکثری ۱۵ کیلومتر مطابق با روند قرارگیری گسل اصلی زاگرس در جهت شمال غربی - جنوب شرقی قرار دارد (محمودی و ملکی، ۱۳۸۰: ۹۴). این توده بین عرض‌های  $34^{\circ}21'$  و  $34^{\circ}44'$  شمالی و طول جغرافیایی  $46^{\circ}53'$  و  $47^{\circ}27'$  شرقی قرار گرفته است. دیواره بیستون بزرگترین دیواره گسلی در زاگرس رورانده در دامنه جنوبی این ناهمواری‌ها واقع شده است (شکل ۳) (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۳). اقلیم منطقه از نظر دما و بارندگی تغییرات نسبتاً زیادی در طول سال دارد و در کمربند کوهزایی زاگرس قرار گرفته است (علوی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۴: ۲۱۳). زیرپهنه بیستون در شمال شرقی زیرپهنه رادیولاریتی قرار دارد که قبلاً با نام سکوی قاره کریناته داخلی نامیده شده است (کازمین و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۸۶: ۱۵۶).



شکل ۳. منطقه مورد مطالعه، منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹



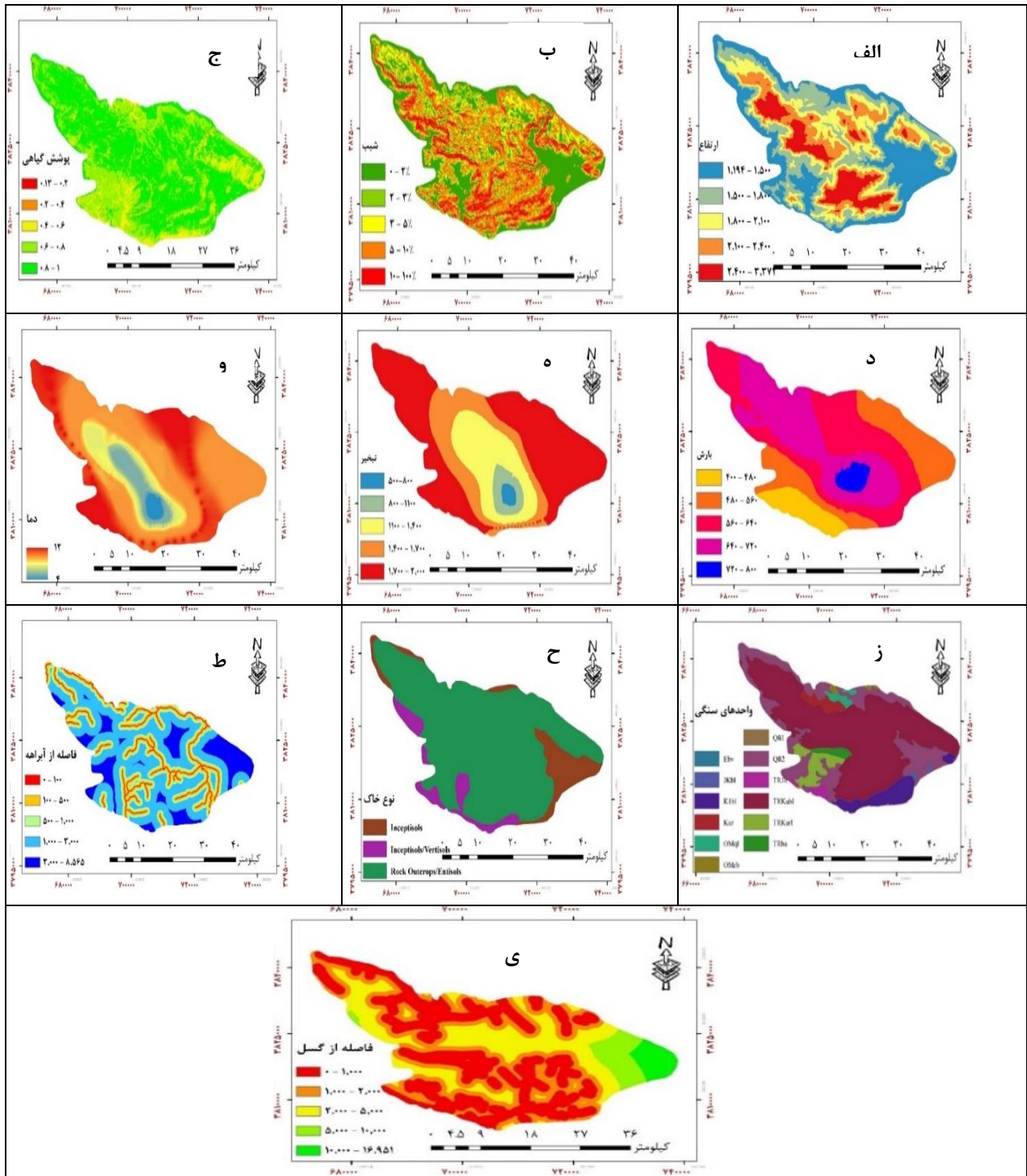
شکل ۱. فلوچارت انجام تحقیق، منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

در شکل (۲) نقشه معیارهای مورد استفاده در این تحقیق نمایش داده شد. شکل (۲-الف) نمایگر نقشه ارتفاع منطقه است که بین ۱۱۹۴ تا ۳۳۷۱ متر است. شکل (۲-ب) نقشه شیب منطقه را نمایش می‌دهد. شکل (۲-ج) نقشه پوشش گیاهی منطقه در طول دوره رشد را نشان می‌دهد. شکل (۲-د) نشان دهنده نقشه بارش منطقه است. شکل (۲-ه) نقشه تبخیر را در منطقه نمایش می‌دهد. شکل (۲-و) نقشه میانگین دمای سال دما را نشان می‌دهد. شکل (۲-ز) واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. شکل (۲-ح) نقشه خاک‌شناسی نمایش داده شده است. اشکال (۲-ط) و (۲-ی) به ترتیب فاصله از آبره‌ها و گسل‌هاست که با استفاده از تابع فاصله اقلیدوسی ایجاد شده‌اند.

## ۲. ۱. محدوده مورد مطالعه

<sup>1</sup> Alavi

<sup>2</sup> Kazmin, et al



شکل ۲. نقشه‌های معیارها (الف) ارتفاع؛ (ب) شیب؛ (ج) پوشش گیاهی؛ (د) بارش؛ (ه) تبخیر؛ (و) دما؛ (ز) واحدهای سنگی؛ (ح)

خاک‌شناسی؛ (ط) فاصله از آبراهه؛ (ی) فاصله از گسل؛ منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

### ۳. یافته‌های تحقیق

تحقیق کامل بودن یا کاملیت (دقت)، صحیح بودن یا صحت<sup>۱</sup>، کیفیت<sup>۲</sup> هستند. برای استفاده از این شاخص‌ها باید

در این مطالعه جهت ارزیابی کمی نتایج این تحقیق از چند شاخص استفاده شد. شاخص‌های مورد استفاده در این

<sup>1</sup> Completeness

<sup>2</sup> Correctness

<sup>3</sup> Quality

ایم. در این در این تحقیق فاکتور با علامت اختصاری TP نشان داده می‌شود.

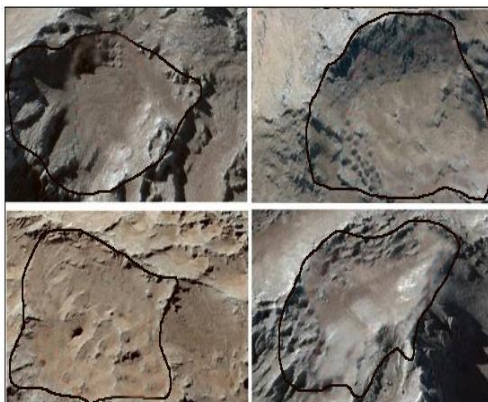
(ب) غلط - مثبت: تعداد واحد عوارضی که در داده‌های مرجع وجود ندارد ولی در نتیجه کار به عنوان عارضه ژئومورفولوژیک مورد نظر تشخیص داده شده است. در این تحقیق این فاکتور با علامت اختصاری FP نشان داده می‌شود.

(پ) غلط - منفی: تعداد واحد عوارضی که در داده‌های مرجع وجود دارد ولی در نتایج کار تشخیص داده نشده است. در این تحقیق این فاکتور با علامت اختصاری FN نشان داده می‌شود. جدول ۱ نتایج فرآیند تحلیل شبکه و وزن نسبی هریک از عوامل تاثیرگذار در فرآیند کارستی شدن و ایجاد فروچاله است. شکل ۴ نمونه‌ای از چند فروچاله استخراج شده با استفاده از تفسیر تصاویر World Imagery و Google Earth است را نشان می‌دهد.

جدول ۱. وزن نسبی پارامترها

معیار	وزن	معیار	وزن
سنگ‌شناسی	۲۴/۷۸٪	جنس خاک	۶/۳۳٪
بارش	۱۹/۶۲٪	گسل	۶/۰۹٪
آبراهه	۱۵/۰۷٪	شیب	۵/۲۳٪
دما	۹/۳۱٪	تبخیر	۴/۱۷٪
ارتفاع	۶/۴۱٪	پوشش گیاهی	۲/۰۹٪

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹



شکل ۴. نمونه‌های از فروچاله‌ها با استفاده از تفسیر

تصاویر Google earth و world imagery. منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

فاکتورهای مورد استفاده در هر شاخص معرفی کردند (ملکی، ۱۳۹۴: ۶۴-۶۵؛ ملکی و توکلی‌صبور، ۱۳۹۶: ۲۲-۲۳؛ ملکی و همکاران، ۱۳۹۷: ۹۶-۹۷).

### کامل بودن یا کاملیت (دقت): این شاخص به

این مفهوم است که چند درصد از عوارض که در داده‌های مرجع بعنوان عوارض ژئومورفولوژیک وجود داشته و در نتیجه کار بعنوان عوارض ژئومورفولوژیک مورد نظر تشخیص داده شد است. در این شاخص واحد عوارضی که مربوط به عوارض دیگر هستند و به اشتباه تشخیص داده شده‌اند، تاثیری در مقدار این شاخص ندارند؛ بنابراین این شاخص بصورت رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$(۴) \text{Completeness} = (TP/TP+FN) * 100$$

### صحیح بودن یا صحت: این شاخص به منظور

درستی و صحت قطعه‌بندی و طبقه‌بندی بکار گرفته می‌شود. این شاخص بدین مفهوم است که چند درصد عوارض که در نتایج بعنوان عوارض ژئومورفولوژیک تشخیص داده شده‌اند و در داده‌های مرجع هم همان عوارض هستند. در این شاخص واحد عوارضی که در داده‌های مرجع بودند اما در نتیجه کار تشخیص داده نشده‌اند، تاثیری بر مقدار این شاخص ندارند؛ این شاخص بصورت رابطه زیر قابل تعریف است.

$$(۷) \text{Correctness} = (TP / FP+TP) * 100$$

### کیفیت: این شاخص معیاری است برای ارزیابی نتایج

که هم شاخص صحیح بودن و هم شاخص کامل بودن را در نظر می‌گیرد (ملکی، ۱۳۹۴: ۶۴-۶۵؛ ملکی و توکلی‌صبور، ۱۳۹۶: ۲۲-۲۳؛ ملکی و همکاران، ۱۳۹۷: ۹۶-۹۷).

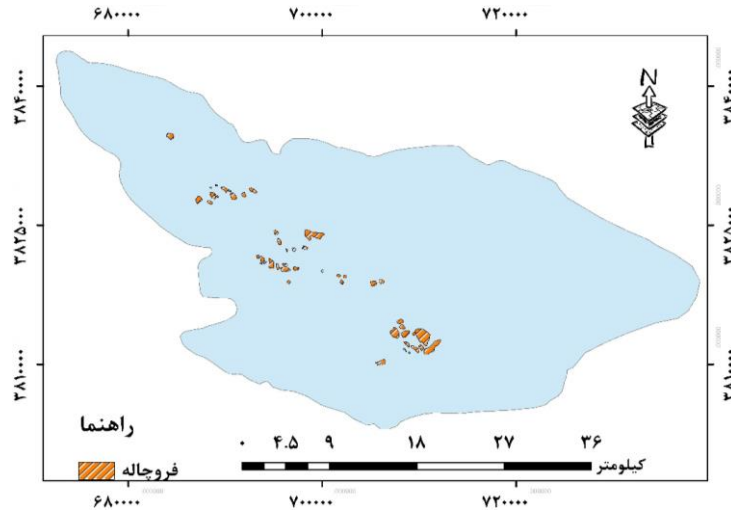
$$(۸) \text{Quality} = (TP/TP+FP+FN) * 100$$

(الف) درست - مثبت: تعداد واحد عوارضی که هم در داده‌های مرجع وجود دارد و هم در نتایج کار وجود دارد. به بیان دیگر یعنی تعداد واحد عارضه‌ای که موفق به تشخیص درست آن به عنوان عارضه ژئومورفولوژیک شده-

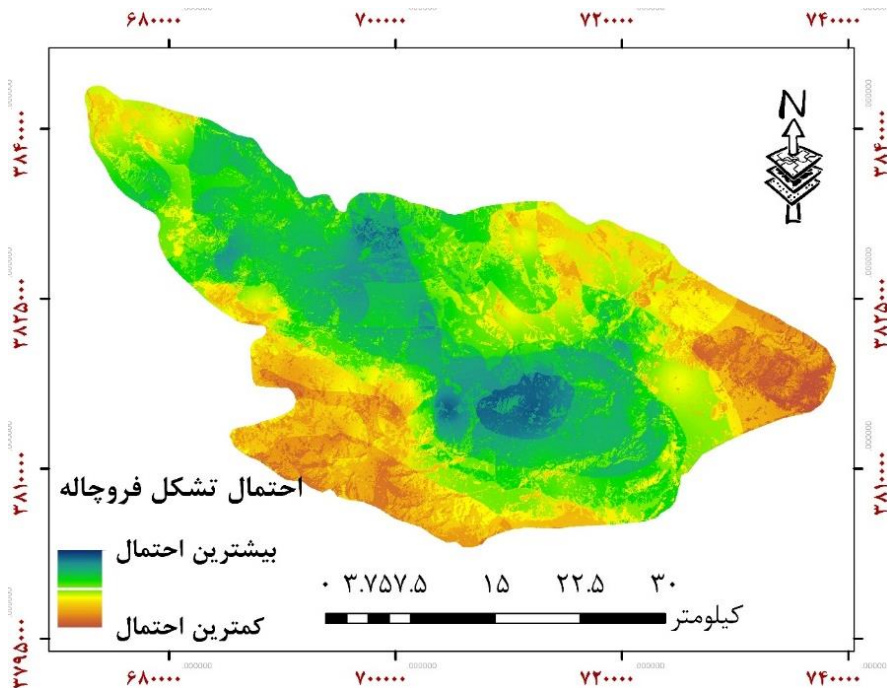


نقشه مناطق مستعد تشکیل فروچاله‌ها با استفاده از معیارهای مورد استفاده است.

شکل ۵، نقشه فروچاله‌های موجود در توده پرآو - بیستون است که با استفاده تفسیر تصاویر Google Earth و world imagery بدست آمده است، با استفاده از تصاویر مذکور ۴۶ فروچاله در منطقه مورد بررسی شناسایی شد. شکل ۶،



شکل ۵. فروچاله‌های مرجع با استفاده تفسیر تصاویر Google earth و world imagery منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹



شکل ۶. نقشه مناطق مستعد فروچاله، منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

که در واقع پهنه‌های است که با استفاده از معیارهای مورد استفاده بصورت صحیح تشخیص داده شده‌اند. همچنین در این جدول شاخص‌های مورد استفاده ارائه گردیده است.

جدول ۲ ارائه دهنده پارامترهای آماری بدست آمده از نتایج تحقیق شامل مساحت فروچاله‌هایی مرجع، که از تفسیر تصاویر با تفکیک مکانی بالا تشخیص داده شده است. مساحت فروچاله‌های که به درستی تشخیص داده شده‌اند،

## جدول ۲. پارامترهای آماری حاصل از تحقیق

کیفیت	دقت	صحت	مساحت فروچاله‌های که به درستی تشخیص داده شده‌اند (متر)	مساحت کل فروچاله‌های مرجع (متر)
٪۶۵/۵۵	٪۶۹/۴۱	٪۹۸/۴۲	۱۱۸۸۱۶۶	۱۲۰۱۷۲۴۱

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹

## ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در توده پرآو - بیستون به علت شرایط زمین ساختی و لیتولوژیکی خاص شرایط توسعه فرایندهای انحلالی و مورفولوژیکی در سطح و عمق وجود دارد. فرایندهای کارستی با شرایط اقلیمی کنونی نیز در ارتفاعات بالای ۲۵۰۰ متر هنوز ادامه دارد (ملکی، ۱۳۸۰) وجود لایه‌های ضخیم آهکی با خلوص بالا شرایط توسعه فرایندهای کارستی را در عمق فراهم کرده است. گسیختگی‌ها و بهم ریختگی‌های ناشی از فعالیت‌های گسل‌ها شرایط را جهت سمت و سوبخشی به فرایندهای انحلالی در عمق و ایجاد فروچاله‌های منطبق با امتداد درز و شکاف‌ها فراهم کرده است (جعفری‌گلو و همکاران، ۱۳۹۰: ۸). توجه به جدول ۲ مشخص می‌سازد که بالاترین وزن نسبی در فرآیند کارستی شدن و ایجاد فروچاله‌ها مربوط به عامل سنگ‌شناسی است. عامل مهم دیگر میزان بارش است که با افزایش بارش خصوصا به شکل برف فرآیند کارست‌زایی قوت می‌گیرد که این خود عوامل ارتفاع و دما را نیز توجه می‌کند. وجود آبراهه‌ها با شستشوی سنگ‌های آهکی تا رسیدن به سنگ مقاوم زیرین باعث ایجاد فروچاله می‌شود. همچنین فعالیت گسل‌ها باعث فرو افتادگی محدوده سست شده و تجزیه شده، شده و باعث شکل‌گیری فروچاله می‌شود. اما دلیل اینکه مهمترین عامل در تشکیل فروچاله‌ها عامل سنگ‌شناسی است این است که در ابتدا باید سنگ بستر ویژگی کارستی شدن را داشته باشد، سپس دیگر عوامل در تقویت این فرآیند کمک کنند.

با توجه به جدول ۳، بدست آمدن صحت ۹۸,۴۲ درصد نشان دهنده کارایی بسیار بالا در شناسایی محدوده‌های مستعد فروچاله است. دقت و کیفیت کمتر که در جدول ارائه شده است، هرگز به معنی کارایی پایین مدل نبوده چرا که این شاخص‌ها براساس فروچاله‌های موجود در داده‌های مرجع ارائه گردیده است اما نقشه ارائه شده مناطق مستعد ایجاد فروچاله را نشان می‌دهد. پایین بودن دقت و کیفیت یک عامل دیگر نیز دارد و آن این است با توجه به داده موجود محققین تمامی فروچاله‌ها موجود در منطقه را به دلایلی بعنوان مثال کوچک بودن فروچاله به دلیل اینکه هنوز توسعه کامل نیافته را نتوانسته‌اند تشخیص دهند. همچنین همانطور که ذکر شد نقشه مناطق مستعد شکل-گیری فروچاله، درواقع مناطقی را نشان می‌دهد که در آینده نیز قابلیت تبدیل به فروچاله را دارند و نه صرفا فروچاله‌هایی که از گذشته شکل گرفته‌اند و در حال حاضر وجود دارند. نتایج این تحقیق را می‌توان با نتایج تحقیق عابدینی و همکاران (۱۳۹۴) مقایسه کرد، در این تحقیق از معیارهای بیشتری استفاده شده است و همچنین در مورد فروچاله‌های مرجع، در تحقیق حاضر تعداد فروچاله‌های مرجع بیشتری تشخیص داده شده است؛ که در هر دو مورد اشاره، این تحقیق نسبت به تحقیق عابدینی و همکاران برتری دارد. در پایان پیشنهاد می‌شود که از روش‌ها و داده‌های متفاوتی در یک منطقه استفاده گردد تا مدل بهینه و داده‌های مورد استفاده و عوامل موثر مشخص گردد.

**فهرست منابع**

- جعفریگلو، منصور؛ مقیمی، ابراهیمی؛ صفری، فرشاد. ۱۳۹۰. استفاده از DEM در تحلیل مروفودینامیک فروچاله‌های کارستی توده پرآو - بیستون، **جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی**، شماره ۴۴، صص ۱-۱۸.
- خوش‌اخلاق، فرامرز، باقری، سجاده، صفرراد، طاهر. ۱۳۹۰. مطالعه اثر خشکسالی‌ها بر تغییرات دوره‌ای و روند آبدهی چشمه‌های کارستی در منطقه زاگرس (استان کرمانشاه)، طرح پژوهشی دانشکده زبردست، اسفندیار. ۱۳۸۹. کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، **نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی**، دوره ۲، شماره ۴۱، صص ۱۴۰-۱۲۹.
- عابدینی، موسی؛ کارمرانی، معصومه؛ اقبال، محمدرضا. ۱۳۹۴. بررسی عوامل مؤثر در شکل‌گیری فروچاله‌ها در سازندهای کارستی با استفاده از مدل رگرسیون خطی چند متغیره در محیط ArcGIS و SPSS (مورد مطالعه: ناهمواری‌های بیستون - پرآو). **جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی**، شماره ۶۰، صص ۶۲-۴۱.
- فرجی‌سبکبار، حسنعلی، بدری، سیدعلی، مطیعی لنگرودی، سیدحسن و شرفی، حجت اله. ۱۳۸۹. سنجش میزان پایداری نواحی روستایی بر مبنای مدل تحلیل شبکه با استفاده از تکنیک بردا مطالعه موردی: نواحی روستایی شهرستان فسا. **پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی**، شماره ۴۱، پیاپی (۷۲)، صص ۱۳۵-۱۵۵.
- کرم، امیر؛ ضیائیان، پرویز؛ محصل‌همدانی، نعیمه‌السادات. ۱۳۹۲. بررسی عوامل مؤثر در وقوع فروچاله‌های دشت ابرکوه و تهیه نقشه - ی خطر نواحی مستعد و بروز آن. **کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی**، سال اول، شماره اول، صص ۳۴-۱۷.
- مقصودی، مهران؛ کریمی، حاجی؛ صفری، فرشاد؛ چهارهی، ذبیح‌الله. ۱۳۸۸. بررسی توسعه کارست در توده پرآو - بیستون با استفاده از ضریب فرود، زمان مرگ چشمه‌ها و تحلیل نتایج ایزوتوپی و شیمایی، **پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی**، شماره ۶۹، ۵۲-۶۵.
- محمودی، فرج اله، ملکی، امجد. ۱۳۸۰. تحول کارست و نقش آن در منابع آب زیرزمینی در ناهمواری‌های بیستون - پرآو (کرمانشاه)، دوره ۳۳، شماره ۴۰؛ از صص ۹۳-۱۰۵.
- ملکی، محمد. ۱۳۹۴. مقایسه داده‌های رادار و اپتیک در استخراج عوارض و پدیده‌های زمینی، پایان نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه خوارزمی.
- ملکی، محمد، توکلی‌صبور، سیدمحمد. ۱۳۹۶. استخراج عوارض سطح زمین از تصاویر سنجنده OLI. **فصلنامه جغرافیایی سرزمین**، شماره ۵۴، صص ۱۷-۳۰.
- ملکی، محمد، توکلی‌صبور، سید محمد، ضیائیان فیروزآبادی، پرویز، رئیسی، مجید. ۱۳۹۷. مقایسه داده‌های رادار و اپتیک در استخراج عوارض و پدیده‌های زمینی، **سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی**، دوره ۹، شماره ۲، پیاپی ۳۱، صص ۹۳-۱۰۷.

- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(3-4), pp.211-238.
- Ali, H. and Choi, J.H., 2019. A review of underground pipeline leakage and sinkhole monitoring methods based on wireless sensor networking. *Sustainability*, 11(15), p.4007.
- Caramanna, G., Ciotoli, G. and Nisio, S., 2008. A review of natural sinkhole phenomena in Italian plain areas. *Natural hazards*, 45(2), pp.145-172.

- Chen, H., Oguchi, T. and Wu, P., 2018. Morphometric analysis of sinkholes using a semi-automatic approach in Zhijin County, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(15), p.412.
- Doctor, D.H. and Young, J.A., 2013. An evaluation of automated GIS tools for delineating karst sinkholes and closed depressions from 1-meter LiDAR-derived digital elevation data.
- Ford, Derek, and Paul D. Williams. 2013. Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons.
- Galve, J.P., Gutiérrez, F., Remondo, J., Bonachea, J., Lucha, P. and Cendrero, A., 2009. Evaluating and comparing methods of sinkhole susceptibility mapping in the Ebro Valley evaporite karst (NE Spain). *Geomorphology*, 111(3-4), pp.160-172.
- Gunn, J., 2004. *Encyclopedia of caves and karst science*. Taylor & Francis.
- Gutiérrez, F., Guerrero, J. and Lucha, P., 2008. A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporite paleokarst exposures in Spain. *Environmental Geology*, 53(5), pp.993-1006.
- Gutiérrez, F., Parise, M., De Waele, J. and Jourde, H., 2014. A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. *Earth-Science Reviews*, 138, pp.61-88.
- Harrison, R.W., Newell, W.L. and Necdet, M., 2002. Karstification along an active fault zone in Cyprus. US Geological Survey Karst Interest Group Proceedings, *Shepherdstown, West Virginia*, pp.45-48.
- Kazmin, V., Ricou, L.E. and Sbornshikov, I.M., 1986. Structure and evolution of the passive margin of the eastern Tethys. *Tectonophysics*, 123(1-4), pp.153-179.
- La Rosa, A., Pagli, C., Molli, G., Francesco, C., De Luca, C., Amerino, P. and D'AMATO AVANZI, G.A., 2018. Growth of a sinkhole in a seismic zone of the northern Apennines (Italy).
- Milanovic, P.T., 1981. *Karst hydrogeology* (No. 551.49 M637). Water Resources Publications.
- Neuendorf, K.K., 2005. Glossary of geology. Springer Science & Business Media.
- Rosdi, M.A.H.M., Othman, A.N., Abdul, M.A.M.Z.Z. and Yusoff, Z.M., 2017. Sinkhole susceptibility hazard zones using GIS and analytical hierarchical process (AHP): A case study of Kuala Lumpur and ampang Jaya. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.
- Saaty, T.L., 1996. Decision making with dependence and feedback: The analytic network process (Vol. 4922). RWS Publ.
- Salvati, R. and Sasowsky, I.D., 2002. Development of collapse sinkholes in areas of groundwater discharge. *Journal of Hydrology*, 264(1-4), pp.1-11.
- Taheri, K., Gutiérrez, F., Mohseni, H., Raeisi, E. and Taheri, M., 2015. Sinkhole susceptibility mapping using the analytical hierarchy process (AHP) and magnitude–frequency relationships: A case study in Hamadan province, Iran. *Geomorphology*, 234, pp.64-79.
- Tharp, T.M., 1999. Mechanics of upward propagation of cover-collapse sinkholes. *Engineering geology*, 52(1-2), pp.23-33.
- Van Schoor, M., 2002. Detection of sinkholes using 2D electrical resistivity imaging. *Journal of Applied Geophysics*, 50(4), pp.393-399.



- Wadas, S.H., Tanner, D.C., Polom, U. and Krawczyk, C.M., 2017. Structural analysis of S-wave seismics around an urban sinkhole: evidence of enhanced dissolution in a strike-slip fault zone. *Natural Hazards and Earth System Sciences* (NHESS), 17, pp.2335-2350.
- Waltham, T., Waltham, A.C., Bell, F.G. and Culshaw, M.G., 2005. Sinkholes and subsidence: karst and cavernous rocks in engineering and construction. Springer Science & Business Media.
- White, W.B., 1988. Geomorphology and hydrology of karst terrains (No. 551.447 W4).
- Williams, P., 2004. Dolines In: GUNN, J.(Ed.) Encyclopedia of Caves and Karst Science. New York: Fitzroy Dearborn, pp.628-642.



## Identification of Sinkhole Prone Areas in Biston-Paro Karst Basin

**Mohammad Maleki** <sup>\*1</sup>, M.Sc. of Remote Sensing and GIS Department, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

**Alireza Jozak**, M.Sc. Student of Geography Department, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mazandaran University, Babol Sar, Iran.

**Javad Sadidi**, Assistant Professor of Remote Sensing and GIS Department, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

*Received: 29 October 2020*

*Accepted: 9 November 2020*

### Abstract

Sinkhole is a type of karst form that appear as pits on the surface of the earth. Identification of these sinkholes is crucial in the management of water resources, as contamination of these sites causes contamination of water resources in the region. Bistoon-Parav Karst Basin is important because it creates mirages in the cities of Bistoon and Kermanshah and provides part of the water to these cities. The purpose of this study was to identify sinkholes in this area as well as identify potential areas of sinkholes. In this research, using the analysis network process, different criteria for sinkhole formation such as precipitation, temperature, evaporation, lithology, soil type, slope, elevation, fault, stream and vegetation are ranked. The results of the analysis network process showed that lithology with 24.87% are the most important cause of the sinkhole. After combining the layers, a map of the possible sinkhole areas was identified. Furthermore, sinkholes in the area were detected using the interpretation of World Imagery and Google Earth imagery. The accuracy, completeness and quality indices were used to evaluate the results of the work, which were 98.42, 69.41 and 65.55, respectively. The high accuracy index indicates high performance in detecting existing sinkholes, but the low two indices do not indicate the weakness of the method, rather, the two indicators of completeness and quality indicate areas that are likely to form sinkholes. However, at the moment they are either not crashed or they are not in the reference data. In the end it can be said that this method is suitable for identifying sinkholes and susceptible areas of sinkholes.

**Keywords:** Karst, Sinkhole, Bistoon-Parave, ANP, World Imagery.

<sup>\*1</sup> Corresponding Author: email: m.ghasemi@acecr.ac.ir

### To cite this article:

Maleki, M., Jozkab, A., Sadidi, J (2020). Identification of sinkhole prone areas in Biston-Paro karst basin, Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas, 1(3), 67-80. Doi:10.29252/gsma.1.3.67