

مدل‌سازی مؤلفه‌های مورفومتری فروچاله‌های گچی (مطالعه موردی: دشت جابر، دشت مارون)

حمیده غلام حیدری^۱
مزگان انتظاری^۲
حاجی کریمی^۳
محمدحسین رامشت^۴

چکیده

دشت مارون، واقع در حوضه مارون در استان‌های خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد و دشت جابر در شمال غربی شهر ایلام در استان ایلام واقع شده‌اند. وجود سازند گچساران و پدیده‌های کارستی گچی که مهمترین آنها فروچاله است در این دو دشت، می‌تواند تاثیر بسیار مخربی بر سازه‌های انسان ساخت از جمله تاسیسات استراتژیک، جاده‌ها و واحدهای مسکونی داشته باشد. هدف از این پژوهش اندازه‌گیری و ارزیابی پارامترهای این فروچاله به منظور تفکیک آنها با فروچاله‌های گچی و پیش بینی روند گسترش آنها به منظور کاهش خسارات ناشی از آنها می‌باشد. در این مطالعه فروچاله‌های دو دشت بر اساس روش‌های باسو و سویچ تقسیم بندی شدند و طبق مدل باسو در دسته فروچاله‌های کشیده و کاسه‌ای، و طبق روش سویچ در دسته‌های کاسه‌ای، چاله مانند و قیفی شکل قرار گرفتند و در ادامه با استفاده از روش آماری رگرسیون خطی چند متغیره

۱- دانشجوی دکتری گروه جغرافیا و برنامه ریزی، جغرافیا، دانشگاه اصفهان

۲- دانشیار دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول)

Email: entezary54@yahoo.com - Tel: 09133313193

۳- دانشیار، عضو هیات علمی / دانشگاه ایلام

۴- استاد ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان

رابطه بین این مولفه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بین مؤلفه‌های مورفومتری فروچاله‌ها نشان داد که مؤلفه‌های مساحت با قطر بزرگ، مساحت با قطر کوچک، عمق با مساحت و عمق با قطر بزرگ به ترتیب با ضرایب تبیین ۰,۹۲۲، ۰,۸۷۳، ۰,۶۹۹، ۰,۵۸۱ از بیشترین میزان همبستگی معنی‌دار برخوردارند. حداکثر ارتباط معنی‌دار در سطح احتمال خطای کمتر از ۰,۱، بین مؤلفه‌های مساحت و قطر بزرگ برای روابط درجه ۲ و ۳ با ضرایب تبیین ۰/۹۹۷ و ۰/۹۹۸ و خطای برآورد ۰/۰۷ و ۰/۰۸ است. نتایج تحلیل رگرسیون خطی چند گانه گام به گام^۱ بین مؤلفه‌های مورفومتری فروچاله‌ها نیز نشان داد که بیشترین ضریب تبیین مربوط به مساحت با پارامترهای قطر کوچک و قطر بزرگ و عمق با مقدار عددی ضریب تبیین ۰,۹۹۷ با خطای برآورد ۰,۰۲۴ و کمترین میزان ضریب تبیین مربوط به شیب با عمق و قطر بزرگ و کوچک است که میزان ضریب تبیین آن ۰,۵۸۴ و میزان خطای برآورد ۰,۰۹۱ است. بنابراین پارامترهای مساحت، قطرهای بزرگ و کوچک و عمق می‌توانند پارامترهای مناسبی جهت مدل‌سازی باشند. با استفاده از این نتایج می‌توان فروچاله‌های در معرض گسترش در نزدیکی تاسیسات را شناسایی کرد و مطالعه مورفومتری‌ک این پدیده‌ها می‌تواند امکان مقایسه پارامترهای متنوع فروچاله‌ها را مهیا ساخته و منجر به طرح فرضیاتی در مورد نحوه تکامل آن‌ها شود.

واژگان کلیدی: فروچاله، مورفومتری، آنالیز رگرسیون، دشت مارون، دشت جابر، رگرسیون تک متغیره، رگرسیون خطی چند گانه گام به گام.

مقدمه

کارست یک سیستم ژئومورفیک و هیدرولوژیک است که توسط انحلال سنگ‌های انحلال پذیر مانند سنگ آهک، دولومیت و ژئپس شکل می‌گیرد (ازیوت^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). یکی از سنگ‌هایی که کارستی شدن به راحتی و به سرعت در آن اتفاق می‌افتد سنگ (ژئپس و انیدریت) می‌باشد (وایت^۳، ۱۹۸۸). با توجه به گستردگی سازندهای تبخیری مانند سازندهای گچساران، کلهر، هیث، گنبد‌های نمکی و ... در ایران و بویژه

¹ Stepwise

² Ozyurt

³ White

زاگرس و وجود گچ (ژیپی و انیدریت) بعنوان تشکیل دهنده‌های اصلی آنها، اهمیت آنها در مسائل زمین شناسی مهندسی مانند سدها، تونل ها، راه‌ها و خط آهن، ابنیه، معادن و ... مبرهن و هویداست. میان ژئومورفولوژی کارست و تکامل آن ارتباط نزدیکی وجود دارد، به طوری که فراوانی و گسترش پدیده‌های مورفولوژی کارست در ناحیه می باشد (کریمی ۱۳۸۹: ۲). توسعه یک سیستم کارستی به عواملی مانند اقلیم، لیتولوژی و عوامل ساختمانی (چین گسل و درزه) بستگی دارد. (زمان زاده، ۱۳۹۷، ۲). شکل ۳ شش نوع فروچاله از نظر نحوه تشکیل در سازندهای آهکی را نمایش می دهد (والتام و فوکس^۱، ۲۰۰۵) و به طور کلی چهار مکانیسم مختلف برای تشکیل فروچاله‌ها را تشخیص داده‌اند: انحلال از بالا^۲، ریزش از زیر^۳، انتقال خاک‌های روئین^۴ و برداشته شدن نیروی نگهدارنده.^۵ گاهی مکانیسم‌های تشکیل فروچاله‌ها ترکیبی از مکانیسم‌های مختلف است. به نظر می رسد که مکانیسم‌های فوق را بتوان برای فروچاله‌های گچی نیز به کار برد که تنها تفاوت آنها در سرعت تشکیل لندفرم است. (گونی^۶، ۲۰۰۲). هنگامی که فروچاله‌ها یافت شوند کارست همیشه توسعه یافته است بنابراین آنها می توانند شاخص‌های لندفرمی کارست در نظر گرفته شوند. (فورد و ولیلیامز^۷، ۲۰۱۳). مطالعه مورفومتریک فروچاله‌ها علاوه بر اینکه یک تحلیل کمی از محیط‌های کارستی را فراهم می کند، بلکه مقایسه پارامترهای متنوع فروچاله‌ها ممکن است نتایج غیر منتظره داشته باشد و منجر به ارائه فرضیاتی در مورد نحوه تکامل و دینامیک ژئواکوسیستمی کارستی شود (باندسن^۸ و همکاران ۱۹۹۲). مطالعات متعددی در ارتباط با فروچاله‌ها صورت گرفته است به عنوان نمونه، رضایی مقدم و قدری (۱۳۹۰)، جهانفر و همکاران (۱۳۹۷)، زمان زاده و همکاران (۱۳۹۷) و تعدادی دیگر از پژوهشگران بر روی اشکال کارستی به ویژه فروچاله‌ها مطالعاتی داشتند که طبق نتایج این

¹ Waltham and Fookes

² Solution from above

³ Collaps from below

⁴ Soil transport

⁵ Removal of buoyant support

⁶ Gunay

⁷ Ford and Williams,

⁸ Bondesan

پژوهش‌ها عمق فروچاله‌ها رابطه معنا داری با ارتفاع آن‌ها دارد و عامل ارتفاع می‌تواند نقش موثری در مساحت فروچاله‌ها داشته باشد، اما گفته می‌شود فعالیت‌های زمین ساخت در محدوده مورد مطالعه سبب شده تا ارتفاع فروچاله‌ها رابطه معنا داری با مساحت آنها نداشته باشد. همچنین در زمینه شناسایی فروچاله‌ها با استفاده از مطالعات میدانی، نقشه‌های توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع و با استفاده از سایر روش‌های کمی و آماری ۲۳ اووالا در محدوده پراو – بیستون شناسایی شده‌اند و سپس پارامترهای مورفومتری آنها شامل محیط، مساحت، عمق، حجم، جهت‌گیری اصلی، نسبت کشیدگی، سینوسیته، نسبت سطح مقطع و شاخص پیتینگ (حفره بودن) محاسبه شده و این نتیجه حاصل شده است که بین دو روش کلی استفاده از منحنی میزان و خط تقسیم توپوگرافی، روش دوم دارای اعتبار بیشتری است. زمان زاده و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی که بر روی فروچاله‌های آهکی ارتفاعات بین پراو و شاهو انجام داده‌اند، نتایج شکل شناسی فروچاله‌ها بر اساس روش باسو کمترین و بیشترین نوع فروچاله مربوط به فروچاله‌های دایره‌ای شکل و بیضی‌شکل معرفی کرده‌اند همچنین بر طبق روش سویچ نیز، نسبت قطر به عمق تمام فروچاله‌ها بیشتر از ۲ محاسبه کرده‌اند و تمام فروچاله‌ها را جزو فروچاله‌های کاسه‌ای شکل قرار داده‌اند. بنابراین می‌توان بیان کرد که احتمالاً فروچاله‌های مناطق مطالعاتی جزو فروچاله انحلالی محسوب می‌شوند که در اثر پدیده انحلال در مناطق برهنه زاگرس مرتفع شکل گرفته‌اند و شکل کلی فروچاله‌ها را تابع شرایط تکتونیکی و وجود گسل‌های منطقه دانستند. طاهری و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی بر منطقه کبوترآهنگ همدان علت اصلی ایجاد فروچاله‌ها را برداشت بی رویه منابع آب زیر زمینی دانسته و یکی از مخاطرات ایجاد این فروچاله‌ها را تاثیر این پدیده بر روی تاسیسات نیروگاهی دانستند. ثروتی و همکاران (۱۳۹۳) فروچاله‌های منطقه گازورخانی کرمانشاه را مورد بررسی قرار دادند و مورفومتری فروچاله‌ها را مطالعه کرده و این پدیده را در دسته‌های ساده، مرکب و پیچیده قرار دادند همچنین نتایج نشان داد که این پدیده در شیب بالاتر از ۲۰ درجه تشکیل نخواهد شد. در مطالعاتی که در سایر کشورها انجام شده است، برونو^۱ و همکاران (۲۰۱۹) در خط ساحلی آپولیا در جنوب ایتالیا، اشکال کارستی را بر اساس

¹ E. Bruno et al

تحول و تکامل و مورفومتری با استفاده از پارامترهای عمق، طول و عرض مورد بررسی قرار دادند. مساله‌ای که در این پژوهش مورد تاکید قرار داده شده است تعامل بین محیط زیست انسانی و این اشکال کارستی و اثرات منفی این پدیده‌ها بر روی سازه‌های انسان ساخت است. در این پژوهش به اهمیت مطالعه دقیق زمین شناسی و ژئومکانیکی پیش از ساخت و ساز و تعمیر و پرکردن حفره‌ها در صورت مجاورت با سازه‌ها اشاره شده است. سنتو و همکاران (۲۰۱۱) در مقاله‌ای با عنوان توزیع فضایی فروچاله‌های فروریزی در توده سنگ‌های کربناته در مرکز و جنوب آپونینس، بر روی فروچاله‌های فروریزی در منطقه جنوبی و مرکزی منطقه آپونینس (ایتالیا)، متمرکز شده‌اند و عواملی را که منجر به وقوع این نوع فروچاله‌ها شده‌اند مورد بحث قرار داده‌اند. در این پژوهش ویژگی‌های زمین شناسی ساختمانی و پراکنش چشمه‌های محدوده مورد مطالعه بررسی شده و این نتیجه حاصل شد که این دو پارامتر بصورت همزمان در پراکنش فروچاله‌ها موثر هستند (سناتو و همکاران^۱، ۲۰۱۱: ۹۵). در سال ۲۰۱۳ در یک پژوهش باسو^۲ و همکاران بخش جنوبی آفولیا که در جنوب غربی ایتالیا واقع شده است را به لحاظ مورفومتری یک مورد بررسی قرار دادند و رابطه بین مورفومتری فروچاله‌ها و تکامل کارستی منطقه نشان داد که وجود گسل‌ها بر میزان تکامل و شکل‌گیری فروچاله‌ها و همچنین شکل ظاهری آنها تاثیر دارد. ها اوچن^۳ و همکاران (۲۰۱۸) در یک مطالعه که بر روی مناطق کارستی جنوب غربی چین انجام شده است، با استفاده از یک روش شناسایی و اندازه‌گیری، به وسیله DEM‌های مشتق شده از تصاویر ASTER و STRM و نقشه‌های توپوگرافی، بر این مساله تاکید داشتند که شکل کلی فروچاله‌ها تابع خطوط گسل‌های منطقه هستند. در پژوهش حاضر با توجه به ضرورت بررسی فروچاله‌های گچی به دلیل تاثیرگذاری این پدیده بر روی تاسیسات و سازه‌های انسان ساز و با در نظر گرفتن این مساله که فروچاله‌های گچی به دلیل ابعاد کوچک قابلیت بررسی به وسیله متدهای سنجش از دور را ندارند سعی می‌شود ضمن دسته بندی انواع فروچاله‌های دشت‌های جابر و مارون بر اساس مورفولوژی آنها، مناسب ترین پارامترها جهت

¹ Santo et al

² A.Basso

³ Hao Chen

مدل سازی تعیین شود. بنابراین با در نظر گرفتن این مساله که این پدیده‌ها تنها از راه بازدید-های میدانی قابلیت بررسی دارند، مدل سازی فروچاله‌های گچی می تواند روشی باشد که بررسی این پدیده‌ها را تسهیل نماید.

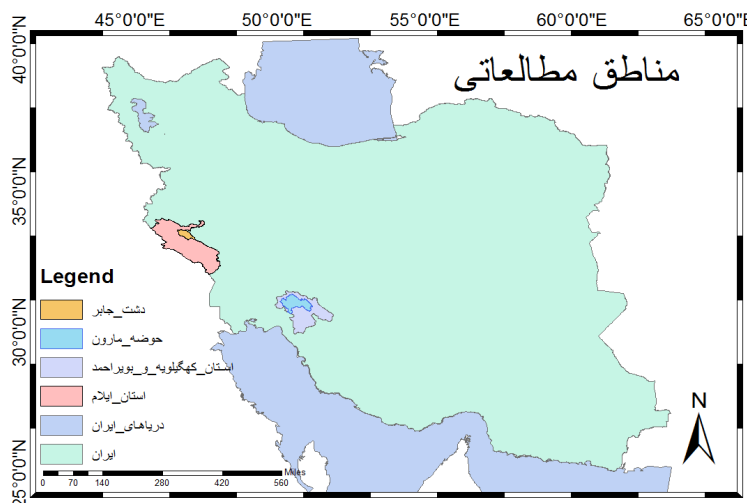
مناطق مورد مطالعه

در این پژوهش دو منطقه دشت مارون و دشت جابر در محدوده سازند گچساران، جهت بررسی فروچاله‌های گچی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. دشت مارون واقع در حوضه مارون، در بخش چین خورده ساده رشته کوه زاگرس در استان‌های خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد، در طول شرقی ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقه و عرض شمالی ۳۰ درجه و ۳۰ دقیقه و ۳۱ درجه ۲۰ دقیقه و در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بهبهان قرار دارد (مومنی پور، ۱۳۹۵) (شکل ۱). تاقدیس خاییز که مرز استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان است در این حوضه واقع شده است. حوضه بسته مارون بسته به ارتفاع دارای اقلیم‌های متفاوتی بوده و در سیستم کوپن سه نوع اقلیم مدیترانه‌ای سرد، نیمه گرمسیری و نیمه خشک گرم با تابستان‌های خشک قابل تشخیص است. حوضه آبخیز مارون در دنباله سلسله جبال زاگرس واقع و از ته نشست‌های دوره کرتاسه تا پلیوسن تشکیل یافته است. سنگ‌های تشکیل دهنده آن عبارتند از مارن، شیل، گچ، کنگلومرا و آهک. (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۶: ۴۱)

دشت جابر بدره واقع در طول جغرافیایی ۶' ۴۶° تا ۱۷' ۴۷° شرقی و عرض جغرافیایی ۱۶' ۳۳° تا ۳۸' ۳۳° شمالی در شمال غربی استان ایلام قرار گرفته است (کریمی ۱۳۹۰: ۱۲۹). (شکل ۲). متوسط بارندگی دشت جابر در دوره بیست ساله ۴۴۰ میلیمتر است. میانگین دمای محدوده مورد مطالعه ۲۱ درجه سانتیگراد بوده و بر اساس تقسیم بندی دمارتن نیز این محدوده در طبقه‌های خشک و نیمه قرار می گیرد. این محدوده در زون زاگرس چین خورده واقع شده (اشتوکلین^۱، ۱۹۶۸) و از دیدگاه ژئومورفولوژیک از رشته کوه‌های نسبتاً مرتفع با روند کلی شمال غرب جنوب شرق تشکیل شده است. توالی چینه شناسی محدوده مورد بررسی شامل

¹ Stocklin

سازند گچساران (شامل گچ، مارن و گل سنگ با سن میو-پلیوسن)، آسماری (شامل آهک و دولومیت با سن الیگوسن - میوسن)، سازند بختیاری (کنگلمرا با سن پلیوپلیستوسن)، پابده و گورپی (شیل و مارن با سن پالتوسن - الیگوسن) و رسوبات عهد حاضر است. سازند مورد بررسی و اهمیت در این پژوهش گچساران است که از ژیبس، انیدریت و مارن‌های قرمز متوسط لایه تشکیل شده است که به طور هم شیب بر روی آسماری قرار گرفته و قسمت فوقانی آسماری بوسیله لایه ضخیمی از ژیبس پوشانده است. ضخامت متوسط و تقریبی آن حداکثر ۱۰۰۰ متر برآورد شده است (مهندسین مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۰).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه (دشت مارون و دشت جابر)

داده‌ها و روش‌ها

جهت بررسی و مطالعه مورفومتری فروچاله‌های گچی دو محدوده مطالعاتی دشت مارون و دشت جابر، پس از بررسی‌های میدانی و برداشت مشخصات کمی و تهیه داده‌های مورد نیاز فروچاله‌های دو منطقه مطالعاتی، پارامترهای مورد نیاز توسط نرم افزار SPSS تهیه شد. (جدول ۱). در ابتدا با استفاده از داده‌های تهیه شده، فروچاله‌های دو محدوده مطالعاتی به وسیله روش‌های باسو و سویچ دسته بندی شدند، سپس در نرم‌افزار SPSS تحلیل

رگرسیون پارامترهای مورفومتری فروچاله‌ها انجام شد. برای این منظور از روش‌های خطی تک متغیره، درجه ۲، درجه ۳ و چند متغیره استفاده و مناسب‌ترین مدل‌ها که دارای ارزش رجحانی بالاتر بودند، ارائه گردیدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

جدول ۱ نتیجه آنالیز توصیفی مولفه‌های برداشت شده از فروچاله‌ها از جمله محیط، مساحت، عمق، شیب، قطر بزرگ و قطر کوچک بوده که در بازدید میدانی برداشت شده‌اند و در نرم افزار SPSS دامنه، حداقل، حداکثر، چولگی، میانگین و انحراف معیار محاسبه شد تا به این وسیله ضریب کشیدگی نیز به دست‌آید.

جدول ۱- آنالیز توصیفی مؤلفه‌های مورفومتری فروچاله‌ها

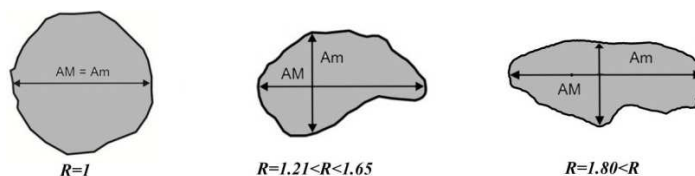
منطقه	شاخص - های آماری	مساحت	محیط	عمق	شیب	قطر بزرگ	قطر کوچک	ضریب کشیدگی (قطر بزرگ / قطر کوچک)
مارون	دامنه	۴۳۲۸۲۳	647	۱۴	260	196	79	3/3
	حداقل	۴	3	۱	40	4	1	1
	حداکثر	2827/43	650	۱۵	300	200	80	4/3
	میانگین	565/3642	125/12	4/741935	83/8	24/65	16/4	1/47
	انحراف معیار	1652/339	43/72417	۳/۲	34/98317	32/87778	15/58895	0/953411
	چولگی	6/720301	2/518675	۳/۱	3/694975	3/372341	2/187288	1/963834
جابر	دامنه	۲۷۸۵۲	311/66	۵/۲۹	130	88/5	99	2/57
	حداقل	۷۷/۱	2/5	۵/۰	10	1/5	1	1
	حداکثر	۹۸۷۸۵۳	314/16	۳۰	140	100	100	3/57
	میانگین	630/184	67/3	۳/۵	58/21429	18/96809	18/35	1/1
	انحراف معیار	1476/235	74/05003	5/673338	39/45925	21/75941	21/95794	0/497609
	چولگی	3/563941	1/920559	2/584313	2/555166	2/14394	2/155631	4/707929

در مرحله بعد جهت تعیین مورفولوژی فروچاله‌ها از روش‌های باسو^۱ و سویچ^۲ استفاده شد. تعیین شکل در روش باسو به صورت دو بعدی انجام می‌شود، بدین صورت که بر اساس

1 Basso

2 Cvijić

ضریب کشیدگی R ، فروچاله‌ها به سه طبقه: دایره‌ای (ضریب کشیدگی ۱ یا نزدیک به ۱)، بیضی‌شکل (ضریب کشیدگی $1/21$ تا $1/65$) و کشیده (بیشتر از $1/8$) تقسیم‌بندی می‌شوند (باسو و همکاران، ۲۰۱۳) (شکل ۲). بنابراین طبق محاسبات انجام شده فروچاله‌های دشت مارون با توجه به اینکه دارای ضریب کشیدگی بیشتر از $1/8$ محاسبه شده‌اند در دسته کشیده و فروچاله‌های دشت جابر با ضریب ۱ و یا نزدیک ۱ در دسته دایره‌ای قرار می‌گیرند.



شکل ۲- انواع مورفولوژی فروچاله‌ها (باسو و همکاران، ۲۰۱۳ با کمی تغییر)

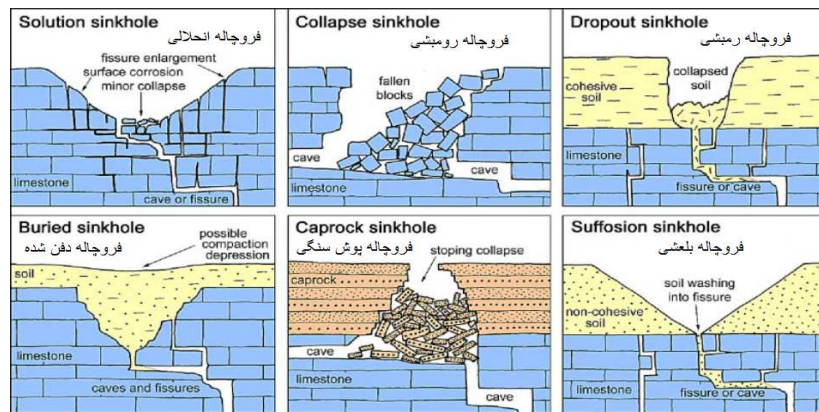
در روش سویچ نیز با استفاده از نسبت‌های عمق به قطر، فروچاله‌ها به سه طبقه: چاله‌های کم عمق یا حوضچه‌های کاسه‌ای شکل با کف پهن (قطر/عمق بیشتر از ۲)، فروچاله‌های عمیق‌تر و پرشیب‌تر قیفی شکل (قطر/عمق بین $1/5$ تا ۲) و فروچاله‌های چاهک مانند (قطر/عمق کمتر از $1/5$) که در آن‌ها معمولاً پهنا کمتر از عمق است، تقسیم می‌شوند (سویچ، ۱۹۸۳؛ باندسان، ۱۹۹۲؛ فورد و ویلیامز، ۲۰۱۳). در این مطالعه ۱۴ درصد از فروچاله‌ها در دسته فروچاله‌های چاهک مانند، ۱۳ درصد قیفی شکل و ۷۳ درصد در دسته فروچاله‌های کاسه‌ای قرار دارند.

مورفولوژی فروچاله‌ها

نتایج شکل‌شناسی فروچاله‌ها در مناطق مطالعاتی به شرح جدول ۲ و شکل ۲ می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که بر اساس روش باسو نوع فروچاله‌های مناطق مطالعاتی دایره‌ای شکل و کشیده می‌باشد. همچنین بر طبق روش سویچ، نسبت قطر به عمق فروچاله‌های این مناطق شامل فروچاله‌های کاسه‌ای، قیفی و چاهک مانند هستند که تعداد فروچاله‌های چاهک مانند از دو نوع دیگر بیشتر است. طبق اظهارات (فورد و ویلیامز، ۲۰۱۳)

فروچاله‌های انحلالی معمولاً کاسه‌ای شکل بوده و فرم کاسه‌ای شکل آن‌ها دلالت بر آن دارد که از مرکز فروچاله‌ها توده بزرگ‌تری از سنگ نسبت به اطرافشان جابجا شده است، بنابراین می‌توان بیان کرد که احتمالاً فروچاله‌های مناطق مطالعاتی جزو فروچاله‌های کاسه-ای محسوب می‌شوند که در اثر پدیده انحلال شکل گرفته‌اند و این درحالیست که فروچاله‌هایی که دارای شیب بالایی در دیواره و مساحت کمتری در دهانه هستند می‌توانند فروچاله‌های ریزشی باشند (فورد و ویلیامز، ۲۰۱۳).

شکل (۳) انواع فروچاله‌ها که توسط والتام و فوکس (۲۰۰۵) دسته‌بندی شده‌اند را نشان می‌دهد. این دسته‌بندی، مکانیزم شکل‌گیری انواع فروچاله‌ها را که به طور مستقیم بر موفولوژی این اشکال تاثیر دارند را نشان می‌دهد که می‌تواند اظهارات فورد و ویلیامز را تکمیل کند.



شکل ۳ - دسته‌بندی انواع فروچاله‌ها و مکانیزم تشکیل آنها - والتام و فوکس (۲۰۰۵)

جدول شماره ۲ نتایج حاصل از روش باسو و سویچ در دو محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.

جدول ۲ - شکل‌شناسی فروچاله‌های مناطق مورد مطالعه

منطقه	روش سویچ			روش باسو	
	چاهک مانند	قیفی شکل	کاسه‌ای شکل	کشیده	بیضی شکل
دشت مارون	۴۷	۷	۶	۲۲	-

۳۱	۷	۱۰	۵	-	۴۳	دشت جابر
----	---	----	---	---	----	----------

اشکال ۴ تا ۷ نمونه‌هایی از فروچاله دو دشت را نشان می‌دهد که در دسته بندی‌های جدول شماره ۲ قرار می‌گیرند. (منبع: نگارندگان)



شکل ۴ و ۵- نمونه‌ای از فروچاله‌های کشیده و قیفی شکل (دشت مارون) - منبع: نگارندگان

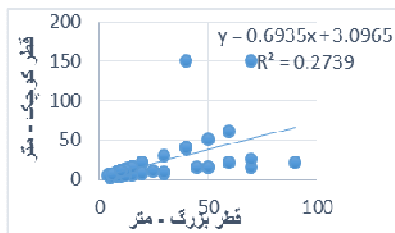
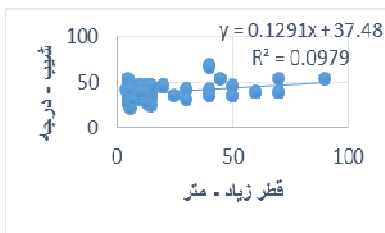
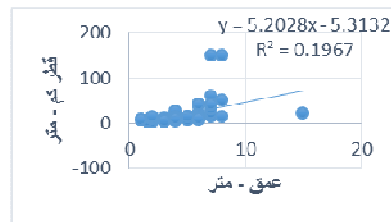
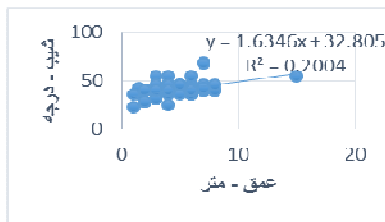
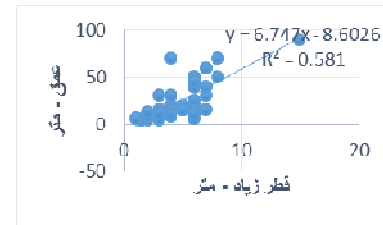
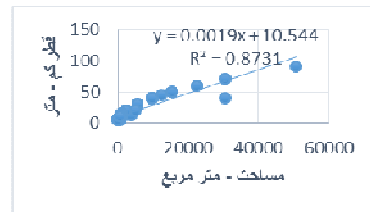
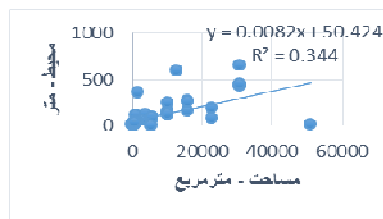
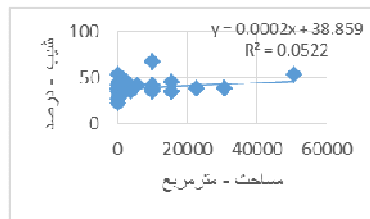


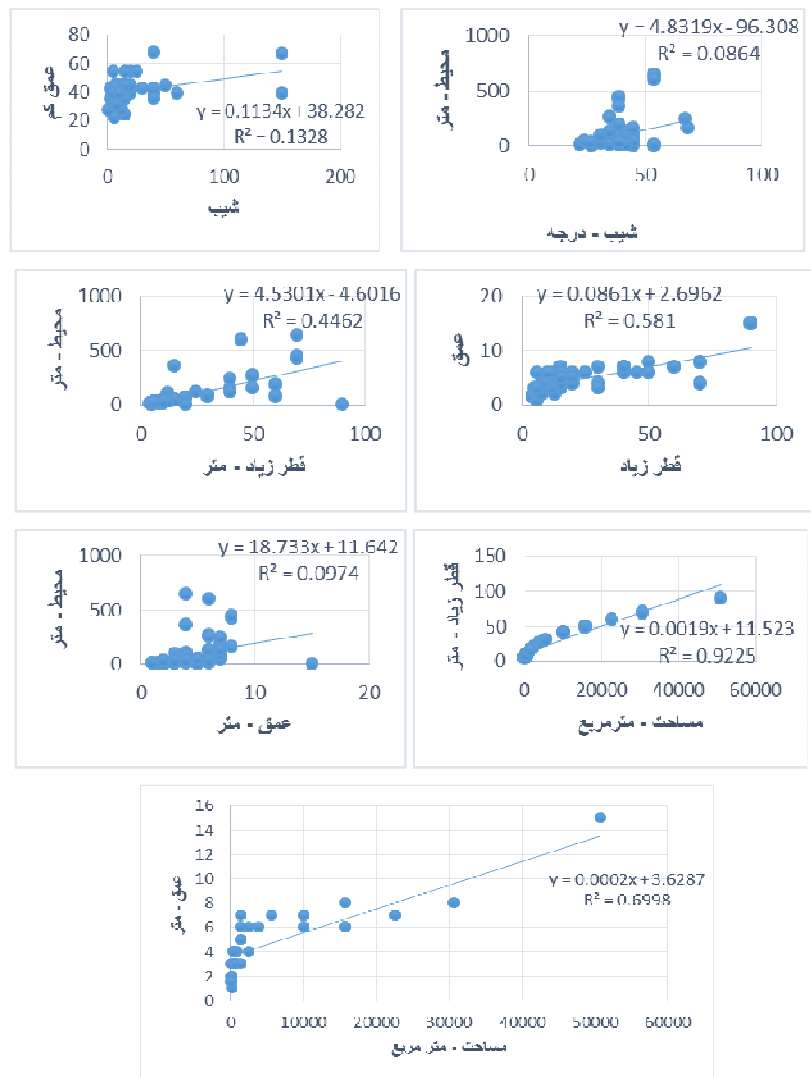
شکل ۶ و ۷- نمونه‌ای از فروچاله‌های کاسه‌ای و چاهک مانند (دشت جابر) - منبع: نگارندگان

تحلیل رگرسیون مؤلفه‌های مورفومتری فروچاله‌ها

در این مرحله از بررسی، ضرایب تبیین بین تک تک مؤلفه‌های برداشت شده در بازدیدهای میدانی محاسبه شده است. هدف از این محاسبه تخمین میزان ضرایب تبیین بین تک تک پارامترهای فروچاله‌های مناطق مطالعاتی است. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون خطی تک متغیره بین مؤلفه‌های مورفومتری فروچاله‌ها به شرح شکل ۸ است. هدف از این محاسبات، تعیین بیشترین ضریب تبیین بین هر یک از پارامترهای فروچاله‌ها با پارامتر دیگر است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که مؤلفه‌های مساحت با قطر بزرگ، مساحت با قطر

کوچک، عمق با مساحت و عمق با قطر بزرگ به ترتیب با ضرایب تبیین ۰/۸۷۳، ۰/۹۲۲، ۰/۶۹۹، ۰/۵۸۱. بیشترین میزان همبستگی معنی‌دار برخوردارند.





شکل ۸- نتایج تحلیل رگرسیون ساده خطی بین پارامترهای مورفومتری فروچاله‌ها

علاوه بر محاسبه رگرسیون خطی تک متغیره، مقادیر ارتباط معنی دار در روابط درجه ۲ و درجه ۳ نیز محاسبه شد. طبق نتایج جدول ۳ که محاسبات آن در نرم افزار SPSS حاصل

شده است، بین پارامترهایی مانند محیط و مساحت و همچنین قطر کوچک و قطر بزرگ بیشترین میزان همبستگی وجود دارد. نتایج جدول ۳ نشان دهنده این مساله است که حداکثر ارتباط معنی‌دار در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۱ بین مؤلفه‌های مساحت و قطر بزرگ برای روابط درجه ۲ و ۳ با ضرایب تبیین ۰/۹۹۷ و ۰/۹۹۸ و خطای برآورد ۰/۰۷ و ۰/۰۸ است. این نتایج همچنین نشان می‌دهد که کمترین ارتباط معنی‌دار درجه ۲ و ۳، بین محیط و شیب با ضرایب تبیین ۰/۰۲۵ و ۰/۰۸۱ و خطای برآورد ۰/۰۲۲ و ۰/۰۲۲ می‌باشد.

جدول ۳- نتایج آنالیز رگرسیون ساده روابط درجه ۲ و ۳ بین پارامترهای مورفومتری فروچاله‌ها

پارامتر	نوع مدل	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	خطای برآورد	مقدار F	ضرایب مدل			
						معنی‌داری	0	1	2
مساحت و محیط	درجه ۲	0/595	0/354	0/008	15/592	0/000	0/001	0/063	-0/39
	درجه ۳	0/597	0/358	0/008	10/311	0/000	0/001	0/043	0/063
مساحت و عمق	درجه ۲	0/987	0/974	0/026	675/379	0/000	0/080	-0/731	1/634
	درجه ۳	0/995	0/990	0/017	1109	0/000	-0/031	0/505	-1/84
مساحت و شیب	درجه ۲	0/596	0/355	0/131	9/927	0/000	1/209	4/920	-4/921
	درجه ۳	0/677	0/459	0/121	9/980	0/000	-2/598	16/703	-34/551
مساحت و قطر بزرگ	درجه ۲	0/999	0/997	0/008	7104/4	0/000	-0/007	0/83	0/924
	درجه ۳	0/999	0/998	0/007	6375/4	0/000	0/02	-0/463	3/55
مساحت و قطر کوچک	درجه ۲	۸۶۱۰	0/384	0/128	0/173	0/000	0/173	-7/379	67/808
	درجه ۳	0/705	0/479	0/117	11/53	0/000	-0/104	9/362	-202/4
محیط و عمق	درجه ۲	0/604	0/365	0/018	10/34	0/000	0/006	0/225	-0/219
	درجه ۳	0/612	0/374	0/018	6/968	0/001	0/018	0/095	0/146
محیط و شیب	درجه ۲	0/157	0/025	0/022	0/455	0/638	-0/018	0/240	-0/220
	درجه ۳	0/284	0/081	0/022	1/023	0/394	0/368	-1/957	3/785
محیط و قطر بزرگ	درجه ۲	0/776	0/602	0/014	27/26	0/000	0/000	0/457	-0/447
	درجه ۳	0/811	0/657	0/013	22/38	0/000	0/033	1/12	-3/659
محیط و قطر کوچک	درجه ۲	0/746	0/556	0/015	22/53	0/000	-0/004	1/14	-4/606
	درجه ۳	0/774	0/599	0/014	17/443	0/000	0/020	-0/290	18/469
شیب و عمق	درجه ۲	0/552	0/305	0/092	7/891	0/001	0/442	0/569	-0/223
	درجه ۳	0/557	0/310	0/093	5/244	0/004	0/398	1/061	-1/605
شیب و قطر بزرگ	درجه ۲	0/361	0/130	0/103	2/694	0/081	0/535	0/267	-0/006
	درجه ۳	0/398	0/158	0/103	2/191	0/107	0/635	-2/080	11/277
شیب و قطر کوچک	درجه ۲	0/3	0/09	0/106	1/774	0/184	0/576	-0/996	13/7
	درجه ۳	0/407	0/166	0/105	2/322	0/092	0/412	8/367	137/4
قطر کوچک و قطر بزرگ	درجه ۲	0/717	0/514	0/107	19	0/000	0/203	-5/7	60/556
	درجه ۳	0/767	0/589	0/099	16/7	0/000	-0/10	7/13	-147/15

نتایج تحلیل رگرسیون خطی چند گانه گام به گام^۴ بین مولفه‌های مورفومتری فروچاله‌ها مرحله بعد محاسبات است که به شرح جدول ۴ می‌باشد. در این محاسبات بر خلاف محاسباتی که تاکنون انجام شده و هر متغیر با یک متغیر دیگر سنجیده شده، چهار مولفه

⁴ Stepwise

عمق، مساحت، محیط و شیب متغیر وابسته در نظر گرفته شده و به ازای هر متغیر سایر متغیرها متغیر مستقل تعریف شده و در نهایت سطح معناداری آنها محاسبه شده است تا این روش نیز جهت تعیین ارتباط بین متغیرها مورد استفاده قرار گیرد و مکمل و تایید کننده سایر روش‌ها باشد. طبق محاسبات انجام شده در جدول مذکور، بیشترین ضریب تبیین مربوط به مساحت، قطر کوچک و قطر بزرگ و عمق با مقدار عددی ضریب تبیین ۰,۹۹۷ با خطای برآورد ۰,۰۲۴ و کمترین میزان ضریب تبیین مربوط به شیب با عمق و قطر بزرگ و کوچک است که میزان ضریب تبیین آن ۰,۵۸۴ و میزان خطای برآورد ۰,۰۹۱ است.

جدول ۴- خلاصه مدل‌های خطی چند متغیره مؤلفه‌های مورفومتری فروچاله‌ها در مناطق مطالعاتی

متغیر وابسته	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب تبدیلی	خطای برآورد	متغیر مستقل	ضرایب غیراستاندارد		مقدار Beta	سطح معناداری
						مقدار B	خطای استاندارد		
عمق	0/901	0/813	0/797	0/720	مساحت	0/548	0/084	0/543	0/000
					قطر کوچک	1/949	0/415	0/380	0/000
					شیب	0/363	0/117	0/244	0/004
					مقدار ثابت	-0/089	0/068	-	0/201
مساحت	0/989	0/997	0/975	0/024	قطر بزرگ	1/172	0/052	1/102	0/000
					قطر کوچک	-1/014	0/174	-0/200	0/000
					عمق	-0/018	0/053	-0/018	0/742
					مقدار ثابت	-0/051	0/010	-	0/000
محیط	0/878	0/771	0/758	0/011	قطر کوچک	0/755	0/068	1/064	0/000
					مقدار ثابت	0/011	0/004	-	0/010
					عمق	0/645	0/195	0/657	0/002
					قطر بزرگ	-0/257	0/189	-0/356	0/181
شیب	0/584	0/342	0/285	0/091	قطر کوچک	-0/597	0/636	-0/173	0/355
					مقدار ثابت	0/475	0/036	-	0/000

نتیجه‌گیری

طبق نتایج جدول شماره ۱ و بررسی و تطابق این نتایج با روش باسو فروچاله‌های دشت جابر دایره‌ای شکل بوده و فروچاله‌های دشت مارون در دسته فروچاله‌های کشیده قرار گرفته‌اند که البته مکانیزم تشکیل فروچاله‌ها در شکل و مورفومتری آنها تاثیر مستقیم داشته است. وجود آبراهه‌ها بر روی سازندها ولایه‌های گچی در دشت مارون باعث ایجاد فروچاله‌های کشیده شده و در دشت جابر نیز که عمده فروچاله‌ها بر روی خط کنیک شکل گرفته‌اند، محل تلاقی یک جریان متمرکز دامنه‌ای و لایه گچی باعث ایجاد فروچاله‌های دایره‌ای شده است. بنابراین می‌توان اینگونه عنوان کرد که ارتباطی مستقیم بین مورفومتری فروچاله‌ها و مکانیزم تشکیل آنها دارد ۷۳ درصد فروچاله‌ها در این مطالعه در اثر پدیده انحلال، ۱۴ درصد با توجه به اینکه در دسته چاهک مانند قرار دارند و دارای شیب بسیار زیاد و مساحت دهانه کمتری هستند در دسته ریزشی قرار می‌گیرند و ۱۳ فروچاله‌های قیفی شکل می‌تواند در اثر ترکیب پدیده انحلال و ریزش شکل گرفته باشند. یکی از موارد بسیار مهمی که در ارتباط با فروچاله‌های گچی باید مد نظر قرار داد این است که مجاورت لایه‌های مارنی در کنار لایه‌های گچی می‌تواند به مرور مورفومتری فروچاله‌ها را تغییر داده و باعث ایجاد خطا در مورفومتری و تشخیص مکانیزم تشکیل گردد. همچنین عمق فروچاله‌های دشت جابر بیشتر بوده که علت آن را می‌توان ستبر بودن لایه‌های گچ دشت جابر نسبت به دشت مارون و از آن مهمتر قرارگیری این لایه‌ها در خط کنیک و در معرض یک جریان متمرکز قدرتمند دامنه‌ای دانست. طبق محاسبات و برداشت‌های میدانی، فروچاله‌های دشت مارون دارای شیب بیشتری بوده که این نشان از ریزشی بودن عمده فروچاله‌ها دارد و از لحاظ پارامتر مساحت نیز فروچاله‌های دشت جابر دارای مساحت بیشتری هستند که اگر تاثیر مارن بر روی مورفومتری فروچاله نادیده گرفته شود عمده‌این فروچاله‌ها انحلالی محسوب می‌شوند. همچنین یکی از نتایج جالب توجه به دست آمده پس از بررسی‌ها و مشاهدات میدانی این است که نسبت قطر کوچک و بزرگ در فروچاله‌های کشیده تقریباً یک به سه محاسبه شده است. نتایج نهایی با استفاده از روش‌های مختلف تایید کننده این مطلب است که پارامترهای مساحت، قطرهای بزرگ و کوچک و عمق می‌تواند پارامترهای مناسبی جهت مدل سازی باشند. همانگونه که عنوان شد عوامل متعددی چون ریزش، انحلال و ترکیبی از ریزش و انحلال باعث شکل‌گیری و مورفومتری متنوع فروچاله-

های گچی است. بنابراین یکی از مهمترین دلایلی که باعث شده است پارامترهای محدودی در فروچاله‌های گچی دارای همبستگی بالا باشند، ریشه در نحوه شکل‌گیری این فروچاله‌ها دارد.

منابع

- ثروتی، م، رستمی، م، نصرتی، ک، احمدی، م (۱۳۹۳). شناخت عوامل موثر بر پراکنش و رخداد فروچاله‌ها در منطقه ی گازورخانی کرمانشاه با استفاده از رگرسیون لجستیک. *جغرافیا و توسعه* شماره ۳۶ پاییز ۱۳۹۳، ۱۸۱ - ۱۹۴.
- جهانفر، علی، بهرامی، شهرام، زنگنه اسدی، محمد علی، ۱۳۹۷، تحلیل مورفومتری و مورفولوژی در توده آهکی پراو و بیستون. *فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی*، سال هجدهم، شماره ۶۳ صفحات ۱۶۵-۱۸۰.
- جهانفر، علی، بهرامی، شهرام، زنگنه اسدی، محمد علی، ۱۳۹۷، تحلیل مورفومتری و مورفولوژی در توده آهکی پراو و بیستون. *فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی*، سال هجدهم، شماره ۶۳ صفحات ۱۶۵-۱۸۰.
- رضایی مقدم، محمد حسین، قدری، محمد رضا، ۱۳۹۰، تحلیل کمی فروچاله‌ها در زمین‌های کارستی (مطالعه موردی: منطقه تخت سلیمان) *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، شماره ۳۵، صص ۱۱۳ - ۱۳۵.
- زمان زاده، سید محمد، پاریزی، اسماعیل، امینی، مهدی، ۱۳۹۷، دل‌سازی مؤلفه‌های مورفومتری فروچاله‌ها و ارائه شاخص بعد فرکتال در مطالعه گسل‌های مناطق کارستی (مطالعه موردی: مناطق کارستی بین پراو و شاهو)، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، سال ششم، شماره ۴، صص ۱-۱۶.
- قبادی، م، ح. ۱۳۸۸، *زمین‌شناسی مهندسی کارست*، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، چاپ دوم.
- کریمی، حاجی، ۱۳۸۹، ارتباط سیستم ساختمانی و کارست شدگی، *مجموعه مقالات دومین سمپوزیوم بین‌المللی منابع آب کارست در ایران*، تهران.
- کریمی، حاجی ۱۳۹۰، بررسی ساز و کار تشکیل فروچاله‌های دشت جابر در جنوب شرق استان ایلام، *زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته*، دوره ۱، شماره ۲، زمستان ۹۰، صص ۱۲۵-۱۳۹.

- مقصودی، مهران، زمان زاده، سید محمد، یمانی، مجتبی، حاجی زاده، عبدالحسین ۱۳۹۶، بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز مارون با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، سال ششم، شماره ۳، صص ۳۷-۵۹.
- مومنی پور، مهدی (۱۳۹۵)، مطالعه نئوتکتونیک و فرسایش حوضه ی مارون با تکنیک ژئومورفومتری، *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، پاییز ۱۳۹۵، ۳۳-۵۱.
- Bondesan, A., Meneghel, M. & Sauro, U., 1992. Morphometric analysis of dolines. *International Journal of Speleology* 21(1), pp 1-55.
- Basso, A., Bruno, E., Parise, M. & Pepe, M., 2012. Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy). *Environmental Earth Sciences*, 70(6), pp 1-16.
- Baryakh, A., Fedoseev, A (2011). Sinkhole formation mechanism. *Journal of Mining Science*. – 1Bates, Rl., Jackson, J (1987). *Glossary of geology Alexandria Virginia*. American Geological institute.
- E. Bruno, Domenico Calcaterra, M. Parise (2008), Development and morphometry of sinkholes in coastal plains of Apulia, southern Italy. Preliminary sinkhole susceptibility assessment, *Engineering Geology* 99(3):198-209.
- Ford, D. & Williams, P. D., (2013). *Karst hydrogeology and geomorphology*. London.
- Ford, D. & Williams, P. D., (2013). *Karst hydrogeology and geomorphology*. London. • Gutiérrez, F., Parise, M., De Waele, J. & Jourde, H., 2014. A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. *Earth-Science Reviews*, 138, pp 61–88.
- Hoa Chen, Takashi Oguchi, Pan Wu, (2018) Morphometric analysis of sinkholes using a semi – automatic approach in Zhijin County, China, *Arabian journal of Geoscience* (2018) 11:412.
- Santo, A., Ascione, A., Delperete, S., Dicrescenzo, G., Santangelo, N (2011). Collapse sinkhole distribution in the carbonate massifs of central and southern Apennines. *Acta of Carsologica*, 40/1.

- Taheri, K, Gutierrez, F, Mohseni, H, Raeisie, E, 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 (2015) 64–79.
- Ozyurt, N. N., Lutz, H. O., Hunjak, T., Mance, D. & Roller-Lutz, Z., 2014. Characterization of the Gacka River basin karst aquifer (Croatia): Hydrochemistry, stable isotopes and tritium-based mean residence times. *Science of The Total Environment*, 487, pp 245–254.