

جغرافیا و توسعه شماره ۳۶ پاییز ۱۳۹۳

وصول مقاله: ۱۳۹۱/۴/۲۷

تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۱۱/۲

صفحات: ۱۹۴-۱۸۱

شناخت عوامل مؤثر بر پراکنش و رخداد فروچاله‌ها در منطقه‌ی گازورخانی کرمانشاه با استفاده از رگرسیون لجستیک

دکتر محمدرضا ثروتی^۱، مژگان رستمی^۲، دکتر کاظم نصرتی^۳، دکتر محمود احمدی^۴

چکیده

در پژوهش حاضر، عوامل کنترل‌کننده‌ی فروچاله‌ها به همراه مورفومتری آنها با تکیه بر فروچاله‌ها مطالعه شده است. فروچاله‌ها اشکال غالب منطقه گازورخانی کرمانشاه را تشکیل می‌دهند. اولین قدم در شناخت و چگونگی گسترش پدیده کارست و به‌ویژه عوامل کنترل‌کننده‌ی فروچاله‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه مورفومتری (ریخت‌سنجی) آنهاست. در این پژوهش طی بازدید میدانی، آنالیز نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاعی (DEM 10 m)، تعداد ۲۰۰ فروچاله در منطقه شناسایی و پارامترهای مختلف فروچاله‌ها شامل: عمق، مساحت، محور اصلی و فرعی، جهت‌گیری محور اصلی و گسل، شاخص پیتینگ (میزان حفره‌حفره بودن) و نقشه‌ی تراکم اندازه‌گیری شد. فروچاله‌ها از نظر شکل ظاهری از نوع ساده، مرکب و پیچیده هستند. نتایج نشان داد در شیب بالاتر از ۲۰ درجه فروچاله‌ای مشاهده نشد. نتایج تحلیل لجستیک نشان دادند که پراهمیت‌ترین متغیرها در وقوع فروچاله‌ها به ترتیب گسل، ارتفاع و بارش هستند.

کلیدواژه‌ها: مورفومتری، فروچاله، گازورخانی، رگرسیون لجستیک.

R_sarvati@sbu.ac.ir
mozhgan.roostami@gmail.com
K_nosrati@sbu.ac.ir
ma_ahmadi@sbu.ac.ir

۱- استاد جغرافیا طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسؤل)
۲- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد جغرافیا طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی
۳- استادیار مهندسی منابع طبیعی (محیط زیست)، دانشگاه شهید بهشتی
۴- استادیار جغرافیا طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی

مقدمه

فروچاله حفره کیفی شکلی است که در ته آن بلوک‌ها و قطعات سنگ کربناته بطور نامنظم وجود دارند (قبادی، ۱۳۸۶: ۸۷). تقریباً ۱۰-۷ درصد سطح زمین به عنوان نواحی کارستی طبقه‌بندی شده است (Ford & Williams, 1992: 601). در ادبیات علمی اصطلاحات دولین و فروچاله هر دو در یک مفهوم وسیع استفاده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی چاله بسته‌ای است که آب را نگه نمی‌دارد، واژه دولین عمدتاً در ادبیات اروپا استفاده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی اشکال مرتبط با کارست است (Jennings, 1975: 18). در حالی که فروچاله بطور عمده در ادبیات آمریکای شمالی برای تعریف هر گونه حفره بدون در نظر گرفتن منشأ آن استفاده می‌شود (Beck, 1984: 429). مورفومتری به عنوان اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل ریاضی پیکربندی سطح زمین و ابعاد اشکال آن است (Bats et al, 1987: 235).

بررسی مورفومتری فروچاله‌ها از جنبه‌های مختلف دارای اهمیت می‌باشد، یک فروچاله می‌تواند یک زهکش طبیعی به زیرزمین یا ورودی یک غار یا ریزشی بشود که به سازه‌ها آسیب برساند، فروچاله ارزش زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی دارد و قسمتی از یک سیستم یکپارچه است که از گونه‌های غیر معمولی گیاهان یا حیوانات پشتیبانی می‌کند (Beynen, 2011: 1-8).

محدوده در امتداد زاگرس مرتفع واقع شده و عمدتاً از آهک‌های توده‌ای سازند بیستون تشکیل شده است. بنابراین ارتفاع زیاد، بارش و درجه حرارت مناسب، وجود سنگ‌های کربناته، گسل‌ها، درزه و شکاف‌ها عواملی هستند که گسترش و تحول کارست را در منطقه باعث شده‌اند. فروچاله‌ها اشکال غالب منطقه کارستی گازورخانی را تشکیل می‌دهند. بررسی مورفومتری فروچاله‌های منطقه می‌تواند جهت بررسی

چگونگی گسترش پدیده‌ی کارست در منطقه و مقایسه‌ی توسعه‌ی کارست در مناطق مختلف مفید باشد، تا با استفاده از این اطلاعات عوامل کنترل‌کننده‌ی فروچاله‌های منطقه‌ی مورد مطالعه قرار گیرد و سیمایی کلی از شرایط ژئومورفولوژی و مورفومتری منطقه معرفی شود. مطالعاتی که تاکنون در این منطقه انجام گرفته است با تکیه بر منابع آب کارست بوده است و مطالعه‌ی مورفومتری فروچاله‌ها انجام نگرفته است. اندازه‌گیری پارامترهای مورفومتری فروچاله‌ها با استفاده از توابع ناحیه‌ای در محیط Arc map10 انجام می‌شود. برای شناخت عوامل مؤثر بر پراکنش و رخداد فروچاله‌ها از رگرسیون لجستیک استفاده می‌شود.

اگر متغیر وابسته دو بعدی باشد رگرسیون لجستیک برای بیان پیش‌بینی استفاده می‌شود. منظور از دو بعدی بودن، رخ داد یک واقعه تصادفی در دو موقعیت ممکنه است.

قربانی و همکاران در پژوهشی با عنوان نقش تغییرات اقلیمی کواترنر در تحول ژئومورفولوژیکی فروچاله‌های کارستی (مطالعه موردی: ناهمواری شاهو، غرب ایران)، ناهمواری شاهو را که شرایط مناسبی برای توسعه اشکال کارستی دارد مورد بررسی قرار داده‌اند. حضور فروچاله‌ها در ارتفاع مشخصی به بالا (۱۹۰۰ متر) برآورد شده و در شرایط اقلیم کنونی کارست‌های منطقه تحت تأثیر تخریب شدید مکانیکی قرار دارند، که برخلاف پژوهش حاضر از نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه استفاده شده و تحلیل مورفومتری و رگرسیون لجستیک انجام نشده است.

(قربانی و همکاران، ۱۳۸۹؛ ۱).

قهرودی‌تالی در پژوهشی با عنوان کاربرد تصاویر حرارتی و مادون قرمز سنجنده ETM⁺ در شناسایی اشکال کارستی فروچاله‌های ارتفاعات شمال غرب کامیاران، هدف شناسایی مناطق کارستی گسترش یافته بود که فروچاله‌ها شواهد بیرونی آنها محسوب

بریاخ و همکاران، در مقاله‌ای با عنوان مکانیسم تشکیل فروچاله، که در آن یک مدل ریاضی از یک غار در حال رشد برای توصیف حالات ممکن فروچاله در مناطق کارستی استفاده شده و معیارهای تشکیل فروچاله‌های سطحی و غارهای زیرزمینی و برآورد اندازه آنها را ارائه می‌دهند (Baryakh et al, 2011: 154).

معرفی موقعیت و زمین‌شناسی منطقه

محدوده‌ی مورد مطالعه یعنی گازورخانی (لون‌سادات) در غرب ایران و در شمال‌غرب استان کرمانشاه واقع شده است (شکل ۱)، با میانگین بارندگی سالانه ۶۳۰ میلی‌متر و با میانگین دمای سالانه ۱۴/۳ درجه سانتیگراد (قربانی، ۱۳۸۹: ۱۰).

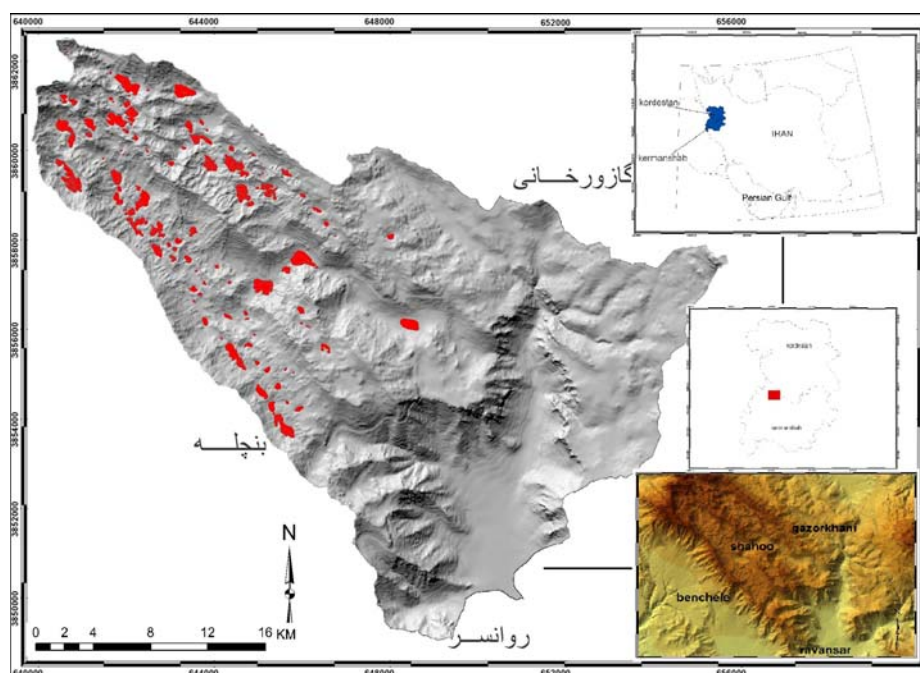
این منطقه عمدتاً شامل یک توده‌ی کوهستانی آهکی است که بخشی از زاگرس مرتفع (رورانده یا شکسته) را تشکیل می‌دهد. بیشترین ارتفاع منطقه ۲۸۸۳ متر واقع در شمال‌غرب منطقه و منطبق بر آهک‌های سازند بیستون (منطقه اصلی فروچاله‌ها) و کمترین ارتفاع منطقه ۱۵۰۸ متر واقع در جنوب منطقه و منطبق بر آبرفت‌های کواترنری می‌باشد (شکل ۲). آهک‌های ضخیم بیستون (تقریباً ۳۰۰۰ متر) رسوب‌های به شدت چین‌خورده‌ای هستند که تکوین آن از تریاس بالایی تا کرتاسه میانی - پایانی (سنومانین) به طول انجامیده است. مجموعه حرکات زمین‌ساختی در اواخر کرتاسه، اواخر ائوسن و پس از میوسن میانی سبب بالاآمدگی، خرد شدن طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌ها و رورانده‌گی و ایجاد گسل‌ها و سیستم درز و شکاف‌های متعدد در جهات مختلف شده است و اثر مستقیمی در تحول کارست‌های این منطقه بر جای گذاشته است.

می‌شوند، روش تحقیق تک‌باندی و بر اساس مطالعه هیستوگرام باندهای قرمز نزدیک و مادون قرمز دور، تغییرات DN در قلمروهای آهکی در وضعیت گین پایین و بالا بوده است (قهرودی‌تالی، ۱۳۹۰: ۱).

تحقیقات نشان داد که فروچاله‌ها حتی آنهایی که به صورت حفره‌های خرد شده هستند انعکاس‌های کمی را در باند ترمال در وضعیت گین بالا دارند و امکان شناسایی آنها به این طریق فراهم می‌شود. در پژوهشی با عنوان ژئومورفولوژی و منابع آب کارست ارتفاعات شاهو، که اساسی‌ترین هدف در این پژوهش اثبات تحول یافته بودن اشکال کارستی و متعاقب آن ارتباط بین اشکال کارستی و نفوذ نزولات جوی و تغذیه و تخلیه آبخوان‌های کارستی می‌باشد (عارفی، ۱۳۸۵: ۱۲).

زارعی و همکاران در پژوهشی با عنوان ریخت‌سنجی آبرفروچاله‌های گنبد نمکی کنارسیاه فیروزآباد، نقشه پراکنده‌گی آبرفروچاله‌ها با استفاده از عکس‌های هوایی و دومه کار صحرایی تهیه شده است، پارامترهای مختلف آبرفروچاله‌ها شامل عمق، طول و عرض، امتداد محور طولی آبرفروچاله‌ها و رده آبراهه آنها اندازه‌گیری شده، آبرفروچاله‌های کنارسیاه عمدتاً کاسه‌ای با شکل هندسی دایره‌ای و تک‌حفره‌ای هستند (زارعی و همکاران، ۱۳۸۵: ۲).

سنو و همکاران در مقاله‌ای با عنوان توزیع فضایی فروچاله‌های فروریزی در توده سنگ‌ها 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 (Santo et al, 2011: 95)



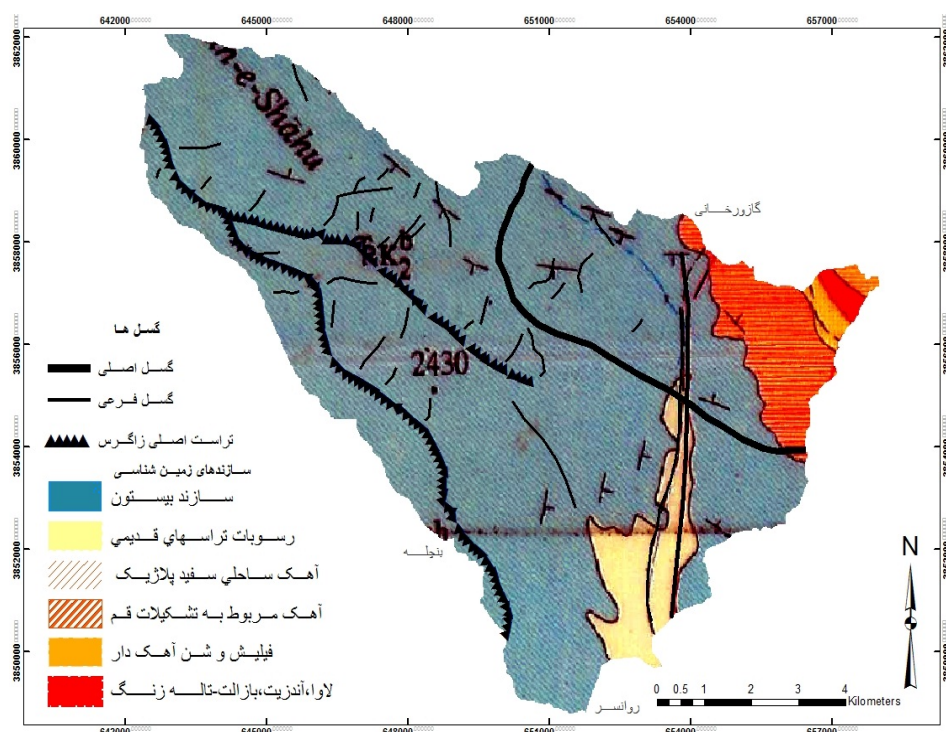
شکل ۱: محدوده‌ی جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

را پوشش داده است. سری ولکانیکی شامل اسپیلیت‌های پورفیری، گدازه‌های آندزیتی حفره‌دار، گدازه‌های بازالتی با اسپیلیتی شدید است.

گسل‌های منطقه عموماً شامل گسل‌های رورانده در جنوب منطقه که یک گسل امتداد لغز راستگرد نیز محسوب می‌شود، چندین گسل فرعی منقطع در داخل منطقه به ویژه در سازند بیستون و گسل اصلی که در قسمت کوچکی از شمال منطقه عبور نموده است (قربانی، ۱۳۸۱: ۳۳).

رسوب‌های کواترنری شاخص مناسبی برای شناسایی چشمه‌های فسیل و تحول هیدرولوژیکی کارست‌های منطقه محسوب می‌شوند. سنگ آهک ساحلی سفید پلاژیک (پالئوسن بالائی- ائوسن زیرین)، متشکل از آهک‌های سیلیسی و زیست آواری بالاترین بخش آهک‌های بیستون را تشکیل می‌دهد. واحد فیلیشی از مارن‌های خاکستری دارای افق‌های ماسه‌ای- آهکی آواری تشکیل شده است. آهک مربوط به تشکیلات قم (الیگومیوسن) بخش اعظم آن رسوبی و اغلب آهکی است. تشکیلات تاله‌زنگ (پالئوسن) که سری ولکانیکی



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی و گسل‌های منطقه

مأخذ: نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی کرمانشاه، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۸

مواد و روش‌ها

بطور کلی در پژوهش حاضر، مجموعه‌ای از بررسی‌های کتابخانه‌ای، میدانی و کامپیوتری در ارتباط با مورفولوژی فروچاله‌ها در منطقه گازورخانی صورت گرفته است. فروچاله‌های منطقه از جنبه مورفولوژی و فرآیندهای مؤثر بر شکل‌گیری و توسعه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نقشه‌ی توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰، سازمان نقشه‌برداری و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰، کرمانشاه و کامیاران به دقت بررسی شد و بازدید میدانی جهت درک کلی از مورفولوژی کارست منطقه انجام شد. برای انجام عملیات مورفومتری بر روی فروچاله‌ها و استفاده از توابع ناحیه‌ای در محیط Arc map 10 وکتورهای چاله‌ها که از نقشه توپوگرافی رقومی استخراج شده‌اند به فایل‌های رستری تبدیل شدند. برای اندازه‌گیری و بازنمایی داده‌های ارتفاعی از

Dem (Dem10m) استفاده شد. برای توصیف اشکال کارستی در شرایطی که آنها به درستی توسعه یابند به خوبی استفاده می‌شود (Telbisz, 2004: 27). در نهایت پارامترهای اندازه‌گیری شده فروچاله‌ها شامل: مساحت، محیط، عمق، محور اصلی، محور فرعی، تراکم، شاخص پیتینگ، کشیدگی (گسل و محور اصلی فروچاله) و میزان فاصله از نزدیکترین همسایه با استفاده از توابع ناحیه‌ای استخراج می‌شود. جهت استخراج مهمترین عوامل در وقوع فروچاله‌ها از رگرسیون لجستیک استفاده شده است.

تحلیل آماری

رگرسیون لجستیک یک مدل آماری، برای متغیرهای وابسته دودویی است. این مدل را می‌توان به عنوان مدل خطی تعمیم یافته‌ای که از تابع لجوجیت به عنوان تابع پیوند استفاده می‌کند و خطایش از توزیع چند

حاصله معادل ۱ باشد فروچاله قابلیت وقوع را خواهد داشت و در صورتی که عدد صفر شود احتمال وقوع کاهش می‌یابد، برای بررسی معنی‌دار بودن از آماره‌های (کای اسکور و والد) استفاده می‌شود، آماره‌ی کای اسکور به منظور تعیین میزان اثرگذاری متغیر (متغیرهای مستقل) بر متغیر وابسته و بطور کلی برازش کلی مدل است. آزمون والد معنی‌دار بودن متغیرهای وارد شده در معادله را بررسی می‌کند (بایزیدی، ۱۳۹۱: ۱۴۰-۱۳۲).

نتایج و بحث

تحلیل آماری ویژگی‌های فروچاله‌ها

مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه ۹۵/۱۸ کیلومتر مربع می‌باشد و تعداد ۲۰۰ فروچاله در منطقه شناسایی شد. مساحت کل فروچاله‌ها برابر با ۳/۴۱ کیلومتر مربع و درصد مساحت فروچاله‌ها به کل مساحت منطقه ۳/۵۷ درصد می‌باشد. اندیس مساحت فروچاله‌ها که عبارت است از نسبت سطح کل منطقه به سطح کل فروچاله‌ها برابر با ۲۷/۹۱ کیلومتر مربع می‌باشد.

نسبت سطح کل فروچاله‌ها^۱ به تعداد آنها برابر با $10^{-3} \times 17/7$ می‌باشد. شاخص پیتینگ که از تقسیم مساحت کل منطقه به مساحت کل چاله‌ها به دست می‌آید برابر با ۲۷/۸ می‌باشد. تفاوت فاصله از نزدیکترین همسایه از ۱۱۵ متر تا ۹۸۰۹ متر می‌باشد. (Kemmerly, 1982: 1078-1086)، رابطه بین تراکم و درصد تجمعی ۲۵۰۰۰ فروچاله را در ۴۲ منطقه آهکی در ایالات متحده مورد مطالعه قرار داد و دو تراکم را تشخیص داد، در یکی تراکم بیشتر از ۴ در هر کیلومتر مربع است و در واقع فروچاله‌های بزرگ را شامل می‌شود و در دومی جمعیت کوچکتر یا مساوی ۴ در هر کیلومتر مربع است. میانگین تراکم فروچاله‌ها در منطقه بطور متوسط ۱۵ فروچاله در هر کیلومتر مربع است،

جمله‌ای پیروی می‌کند به حساب آورد. در این پژوهش هدف از کاربرد رگرسیون لجستیک در تعیین عوامل مؤثر بر پراکنش فروچاله‌ها مشخص نمودن مهمترین عوامل ایجاد فروچاله‌ها می‌باشد که معمولاً با علامت Y نشان داده شده و تحت این شرایط متغیرهای وابسته کدهایی بین ۰ یا ۱ می‌باشند. در این میان مجموعه متغیرهای مستقل با حروف X_1, X_2, \dots, X_n نشان داده می‌شوند که شامل فاکتورهای ارتفاع، دما، بارش و گسل می‌باشند. در مدل رگرسیون لجستیک Y از طریق فرمول زیر به دست می‌آید:

$$i = 1, \dots, n_i$$

$$\text{logit}(p) = \ln \left(\frac{p}{1-p} \right) = \alpha + \beta_1 x_{1,i} + \dots + \beta_k x_{k,i}$$

$$p = \Pr(Y_i = 1 | X) = \frac{e^{\alpha + \beta_1 x_{1,i} + \dots + \beta_k x_{k,i}}}{1 + e^{\alpha + \beta_1 x_{1,i} + \dots + \beta_k x_{k,i}}}$$

$$p = \Pr(Y_i = 1).$$

برای محاسبه‌ی مدل رگرسیون لجستیک از تابع لوجیت استفاده می‌شود، در ریاضیات و آمار تابع لوجیت عدد p بین صفر و یک به صورت زیر است:

$$\text{logit}(p) = \log \left(\frac{p}{1-p} \right) = \log(p) - \log(1-p).$$

این تابع در مدل رگرسیون لجستیک استفاده می‌شود. معمولاً این تابع در مدل لوجیت که در ساده‌ترین حالت به صورت:

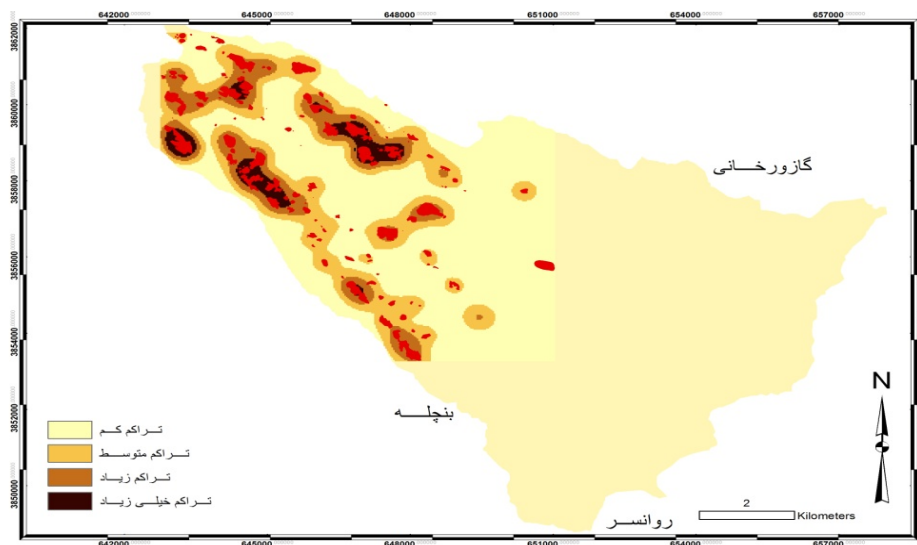
$$\text{logit}(p_i) = a + bx_i$$

می‌باشد که در آن X_i متغیری است که وقوع یا عدم وقوع در i -امین اتفاق را نشان می‌دهد و P_i احتمال وقوع را نشان می‌دهد. از نتایج حاصل از این محاسبات در تعیین نقش گسل در وقوع فروچاله نسبت به دیگر فاکتورها استفاده می‌شود. اولین مرحله پیش‌روی آنالیز آماری، ورود داده‌ها در رگرسیون لجستیک می‌باشد، اگر این فرآیند به درستی انجام نگیرد مشکلاتی در تفسیر نتایج نهایی پیش خواهد آورد. چنانچه عدد

1-Mdr(mean depression relief)

بدون تأثیر یک جانبه‌ی بزرگترین فروچاله انتخاب شد. برای دستیابی به مشاهده‌ی بهتر منطقه به چهار نوع از تراکم کم تا بسیار زیاد تقسیم‌بندی شد (شکل ۳).

با حجم چگالی ۳۰۸۲-۱۰۵ متر مکعب در کیلومتر مربع، توزیع فضایی تراکم با استفاده از شعاع جستجوی ۳۹۹ متر که برابر است با دایره ۰/۲ کیلومتر مربع انجام شد، این پارامتر به منظور ارائه نتایج دقیق و



شکل ۳: نقشه نحوه توزیع تراکم فروچاله‌ها

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

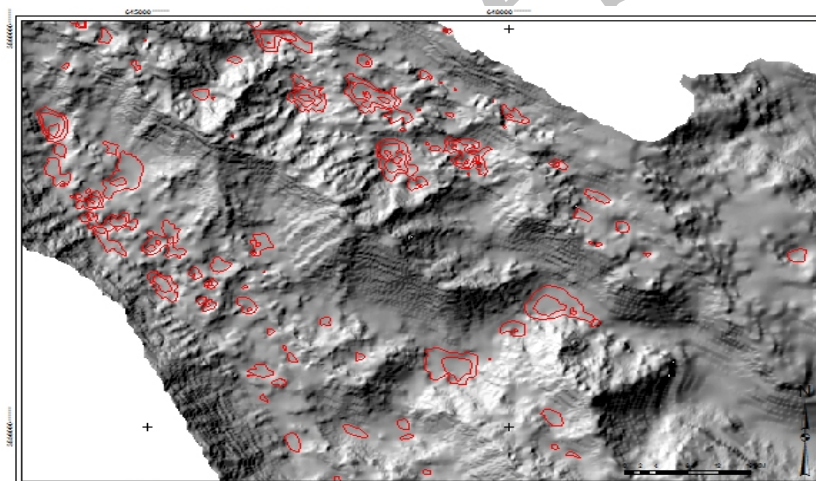
گودالی شکل هست که به وسیله‌ی فرسایش یخچالی مختصر شده‌اند، زمانی که فروچاله‌های ریزشی به صورت خوشه‌ای متجمع می‌شوند در جهت سیستم‌های ناپیوستگی اصلی رشد می‌نمایند و ریزش دیواره‌هایشان آنها را از شکل دایره‌ای به بیضوی کشیده تبدیل می‌نماید. فروچاله‌های منطقه از نظر مورفولوژی از نوع ساده، مرکب و پیچیده هستند (شکل ۴).

خلاصه‌ای از ویژگی‌های مورفومتری فروچاله‌ها در جدول ۱ آورده شده است. مورفولوژی فروچاله‌ها اغلب قیف‌مانند است، اما بطور کلی به شکل چاله‌ای هستند. به نظر می‌رسد که منشأ بیشتر فروچاله‌ها انحلالی باشد در حالی که تعدادی از فروچاله‌ها از نوع فروریزشی هستند. چندین ویژگی در سیرک‌های منطقه نشان می‌دهد که شکل فروچاله‌ها در واقع

جدول ۱: خلاصه‌ای از ویژگی‌های مورفومتری فروچاله‌ها

پارامترهای مورفومتری	مقدار	پارامترهای مورفومتری	مقدار
بزرگترین محور اصلی (m)	۳۳۱/۹	بیشترین مساحت (m^2)	۱۰۵۸۳۸
کوچکترین محور اصلی (m)	۱۸/۶۳	میانگین مساحت (m^2)	۱۶۹۹۴
کوچکترین محور فرعی (m)	۱۸/۶۳	کمترین محیط (m)	۱۲۸/۱۳
بزرگترین محور فرعی (m)	۱۰۶/۷۳	بیشترین محیط (m)	۵۹۴۵
میانگین کشیدگی (آزیموت)	۹۵/۶۹	میانگین محیط (m)	۱۰۱۹/۷۵
میانگین تراکم (km^2)	۱۵	کمترین عمق (m)	۱۶/۵۱
کمترین فاصله از همسایه (m)	۱۱۵/۶۶	بیشترین عمق (m)	۴۹/۵۴
بیشترین فاصله از همسایه (m)	۹۸۰۹	میانگین عمق (m)	۱۸/۴۶
کمترین مساحت (m^2)	۱۰۹۱		

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

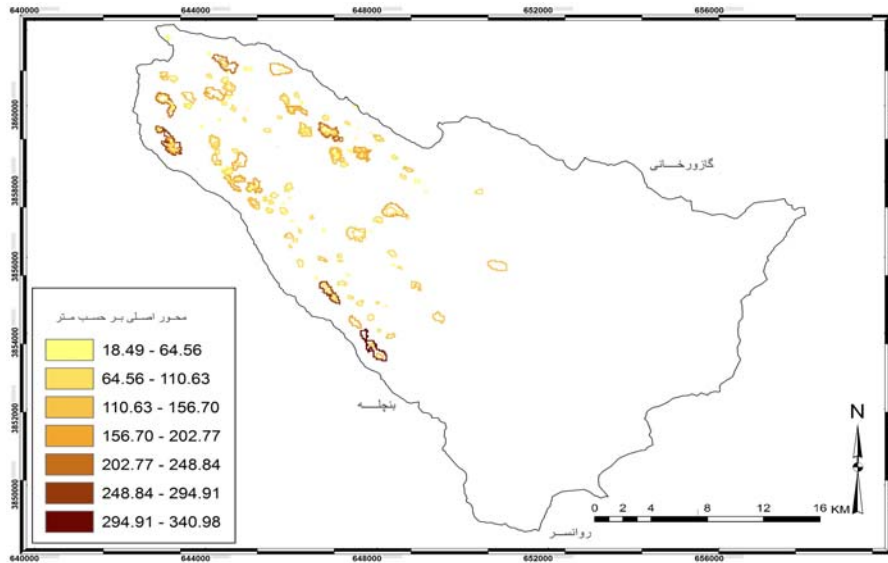


شکل ۴: انواع فروچاله‌ها در منطقه گازورخانی بر اساس مورفولوژی - برگرفته از ۱۰دمتر منطقه

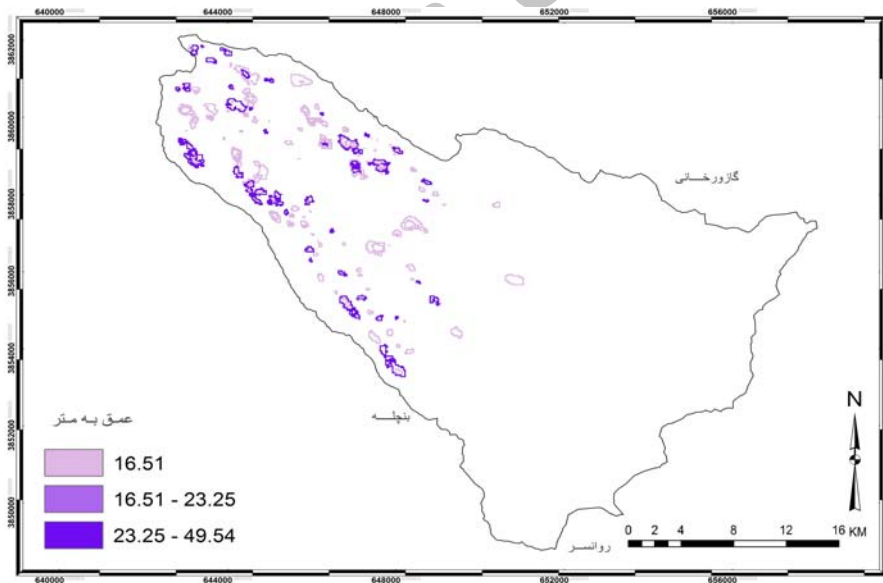
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

جهت کشیدگی نشان داده شده است. بررسی این نمودار نشان می‌دهد ترجیحاً جهت کشیدگی غالب فروچاله‌های منطقه شمال‌غربی - جنوب شرقی است. جهت غالب گسل‌های منطقه با توجه به نمودار گلسرخی شمال‌غربی - جنوب شرقی و تقریباً شمالی - جنوبی است، با تعدادی کشیدگی کوچکتر در جهات شمال شرقی - جنوب غربی. بزرگترین محور فرعی ۱۰۶/۷ متر است با میانگین ۵۲/۷ و انحراف استاندارد ۲۸/۱.

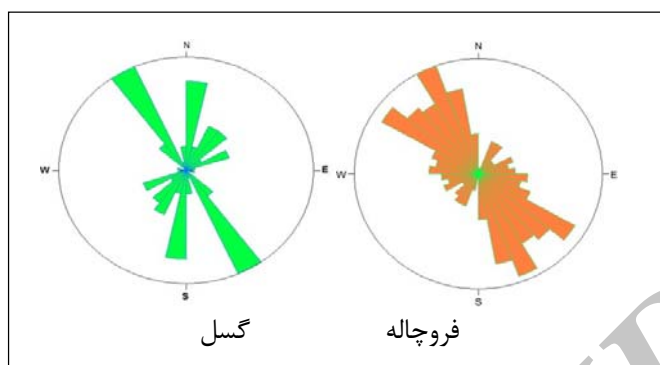
شکل ۵ و ۶ پراکنش فروچاله‌ها را بر اساس محور طولی و عمق نشان می‌دهد. کمترین عمق چاله اندازه‌گیری شده ۱۶/۵۱ و بیشترین ۴۹/۵۴ متر می‌باشد با انحراف استاندارد ۵/۳۲ و میانگین ۱۸/۷۹، بیشترین و کمترین فراوانی مربوط به عمق ۱۶ متر و ۴۹ متر می‌باشند. کشیدگی محور بزرگ طولی ۲۰۰ فروچاله محاسبه شد (شکل ۷)، بزرگترین محور اصلی ۳۳۱/۹ متر و با انحراف استاندارد ۵۱/۸ و میانگین ۸۲/۲



شکل ۵: پراکنش فروچاله‌ها بر اساس محور طولی - استخراج شده از توابع ناحیه‌ای
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



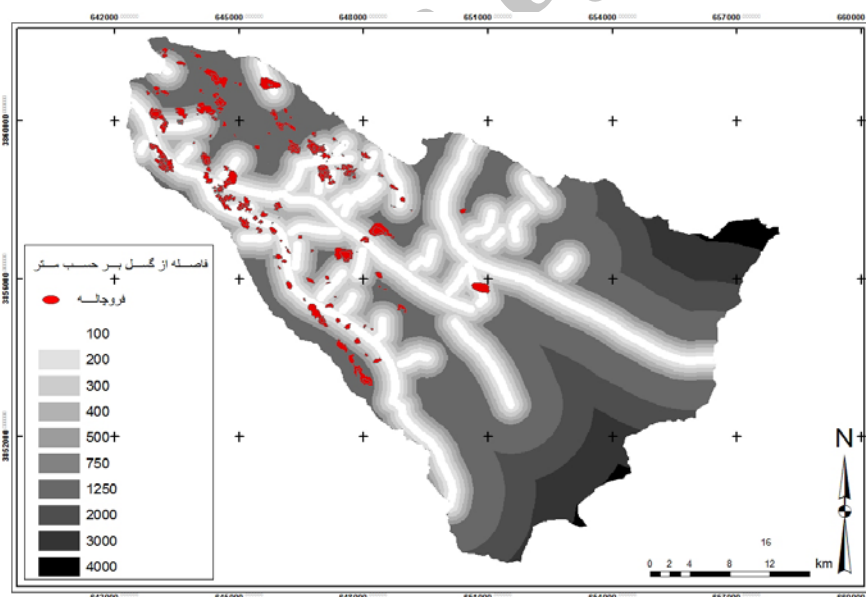
شکل ۶: پراکنش فروچاله‌ها بر اساس عمق - استخراج شده از توابع ناحیه‌ای
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۷: نمودار گلسرخي کشيدگي محور اصلي فروچاله‌ها و گسل‌ها
 مأخذ: مطالعات ميداني نگارندگان، ۱۳۹۱

دارند و با فاصله گرفتن از گسل تعداد آنها کاهش می‌یابد. دورترین فروچاله ۳۰۰۰ متر از گسل فاصله دارد.

تعدادی از فروچاله‌ها در ارتباط با فاصله از گسل هستند، شکل ۸ نشان می‌دهد که بیشتر فروچاله‌ها (۸۸٪) آنها مساوی یا کمتر از ۵۰۰ متر از گسل فاصله



شکل ۸: فروچاله‌ها در ارتباط با میزان فاصله از گسل
 مأخذ: مطالعات ميداني نگارندگان، ۱۳۹۱

است زیرا ۷۳/۸ درصد تغييرات متغیر پاسخ (وقوع یا عدم وقوع فروچاله)، توسط متغیرهای پیشگو (ارتفاع، گسل، دما و بارش) بیان می‌شود، همچنین این جدول حاوی آزمون‌های Hosmer and Lemeshow است با نام

شناخت عوامل مؤثر بر رخداد فروچاله‌ها

در جدول ۲ مقدار ضریب تعیین بر اساس ملاک کاکس و اسنل برابر ۷۳/۸ به دست آمده است که به نظر می‌رسد مدل ارائه شده برای این نمونه مناسب

از متغیرهای تشریحی در ستون بتا می‌باشد. همچنین آزمون معنی‌داری هر کدام از ضرایب برآورد شده نیز انجام شده است. مشاهده می‌شود که متغیرهای بارش، گسل، ارتفاع و دما معنی‌دار نیستند، یعنی این متغیرها تأثیری بر وقوع یا عدم وقوع فروچاله‌ها ندارند.

که یک مربع کای است، این آزمون تطابق بین تعداد موارد مشاهده شده و مورد انتظار را برای دو طبقه وقوع و عدم وقوع فروچاله نشان می‌دهد. که میزان سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰ نشان‌دهنده تطابق خوب است. در جدول ۳ مقادیر برآورد شده‌ی ضرایب هر کدام

جدول ۲: آزمون‌های تعیین ضرایب رگرسیون و تطابق بین موارد مشاهده شده و مورد انتظار برای دو طبقه وقوع و عدم وقوع فروچاله

آزمون Hosmer and Lemeshow			
خلاصه مدل	کای اسکور	درجه آزادی	معنی داری
ضریب کاکس و اسنل	۶۵۳/۳۰	۶	۱/۰۰۰

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

جدول ۳: مقادیر برآورد شده ضرایب هر کدام از متغیرهای تشریحی و آزمون معنی‌داری

متغیر	بتا	خطای استاندارد	والد	درجه آزادی	معنی‌داری	Exp(B)
بارش	۰/۴۹۹	۱۲/۶۴	۰/۰۰۲	۱	۰/۹۶۸	۱/۶۴
دما	۳۱/۰۶	۸۳۶/۳۵	۰/۰۰۱	۱	۰/۹۷۰	۳/۰۹
گسل	۰/۰۰۹	۰/۵۲۵	۰/۰۰۰۱	۱	۰/۹۸۷	۱/۰۰۹
ارتفاع	۰/۴۵۰	۱۱/۱۹	۰/۰۰۲۱	۱	۰/۹۶۸	۱/۵۶
ضریب ثابت	-۱۶۷۱/۴	۴۱۴۴۸/۰۹	۰/۰۰۲	۱	۰/۹۶۸	۰/۰۰۰

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

در ستون Exp(B) نسبت بخت‌ها را مشاهده می‌کنید. مقادیر بیشتر از یک نشان از بخت موفقیت بیشتر نسبت به شکست دارد و مقادیر کمتر از یک به معنی بخت موفقیت کمتر نسبت به شکست است. شانس تأثیر در وقوع فروچاله برای بارش برابر است با ۰/۰۶۳ یعنی $e^{0/063}$ برابر است با ۰/۹۳۹ به معنی دیگر یعنی برای متغیر بارش به میزان لگاریتم شانس در وقوع فروچاله ۰/۰۶۳ اضافه می‌کند. برای گسل برابر با ۱/۹۴ و برای ارتفاع برابر با ۰/۹۷۳ است.

با توجه به اینکه متغیر دما با مقادیر بالای خطای استاندارد باعث اختلال در معادله شده است، مجدداً معادله را با کنار گذاشتن این متغیر انجام می‌دهیم، با کنار گذاشتن متغیر دما نتایج معادله بهبود می‌یابد. جدول ۴ نتایج نهایی ضرایب معادله‌ی لوجیت را نشان می‌دهد. بنابراین معادله‌ی لوجیت آن به صورت زیر است:

$$\text{Logit} = -0/063 B_1 + 0/000 B_2 - 0/028 B_3 + 100/05$$

جدول ۴: نتایج نهایی ضرایب معادله لوجیت

متغیر	بتا	خطای استاندارد	والد	درجه آزادی	معنی داری	Exp(B)
بارش	۰/۰۶۳	۰/۱۳	۲۴/۲	۱	۰/۰۰۰	۰/۹۳۹
گسل	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۱	۱	۰/۰۰۰	۱/۹۴
ارتفاع	۰/۰۲۸	۰/۰۰۶	۲۲/۶	۱	۰/۰۰۰	۰/۹۷۳
ضریب ثابت	۱۰۰/۰۵	۲۰/۴	۹/۲۳	۱	۰/۰۰۰	۲/۸

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

نتیجه

مشخصه‌ی اصلی کارست در منطقه‌ی گازورخانی فروچاله‌ها هستند و تعداد ۲۰۰ فروچاله در منطقه از طریق بازدید میدانی، نقشه رقوم‌ی و بررسی ۱۰ dem متر منطقه شناسایی شدند. پارامترهای مختلف فروچاله‌ها شامل مساحت، محیط، عمق، تراکم، فاصله از نزدیکترین همسایه، محور طولی و عرضی، جهت‌گیری گسل و محور طولی فروچاله و شاخص پیتینگ اندازه‌گیری شد. تعداد اندکی از فروچاله‌هایی که مساحت بزرگتری داشتند عمق بیشتری نیز داشتند و بطور کلی وسیع‌ترین فروچاله‌های منطقه عمق متوسط و کمی دارند و کم وسعت‌ترین فروچاله‌ها عمق بیشتری دارند با شکل‌هایی نامنظم و مورفولوژی ساده، مرکب و پیچیده.

مقادیر تراکم فروچاله و تفاوت فاصله از نزدیکترین همسایه برای منطقه نشان از تغییراتی بزرگ است که نشان‌دهنده‌ی تغییرات در سیستم درزه و شکاف، میزان بارش، دما و فاکتورهای محلی (نوع خاک، میزان انحلال، پوشش گیاهی) در منطقه در جهت کنترل فروچاله‌ها می‌باشد، علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد که جمعیت فروچاله‌ها به مناطق متمرکز تمایل زیادی نشان می‌دهد و اثر همسایگی نقش بسیار مهمی در توزیع و شکل‌گیری فروچاله‌ها دارد. توزیع فروچاله از ارتفاع ۲۲۰۰ متر به بالا شروع شده است.

شیب توپوگرافی از دیگر عوامل تأثیرگذار در توسعه‌ی کارست سطحی در ناهمواری شاهو می‌باشد، شیب زیاد یک عامل محدودکننده در شکل‌گیری فروچاله‌ها محسوب می‌گردد، هرچه شیب کمتر باشد شرایط برای توسعه‌ی فروچاله‌ها بهتر خواهد بود، بیشترین فروچاله‌ها در فاصله ۰ تا ۵ و ۵ تا ۱۰ درجه قرار گرفته‌اند. از شیب ۱۰ درجه به بالاتر تعداد فروچاله‌ها کاهش می‌یابد. در شیب بالاتر از ۲۰ درجه فروچاله‌ای مشاهده نشد و وجود تعداد اندکی در این شیب به دخالت متغیرهای اقلیم و یا سطوح لایه‌بندی باز می‌گردد.

نتایج رگرسیون لجستیک نشان داد که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر توسعه فروچاله‌ها به ترتیب گسل، ارتفاع و بارش می‌باشند و دما نقشی در وقوع این پدیده نداشته است. ۸۸٪ از فروچاله‌ها در فاصله کمتر یا مساوی ۵۰۰ متر از گسل شکل گرفته‌اند که با افزایش فاصله از گسل تعداد آنها کاهش می‌یابد، نیمی از فروچاله‌های عمیق در این فاصله قرار دارند. جهت غالب کشیدگی محور اصلی فروچاله‌ها شمال غربی- جنوب شرقی است که با جهت غالب شمال غربی- جنوب شرقی و شمال شرقی- جنوب غربی گسل‌ها هماهنگ است که بیانگر نقش مؤثر عامل زمین‌ساخت در شکل‌گیری فروچاله‌ها می‌باشد.

منابع

- نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور.
- نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور.
- نقشه توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور.
- Baryakh, A., Fedoseev, A (2011). Sinkhole formation mechanism. *Journal of Mining Science*.
- Bates, R.L., Jackson, J (1987). *Glossary of geology Alexandria Virginia. American Geological Institute*.
- Kemmerly, PR (1982). Spatial analysis of a karst depression population: clues to genesis. *Geol soc Am Bull*. 93.
- 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.
- Telbisz, T (2004). Digital elevation models in karst investigations. *karszt fejlodes*. 9.
- Van, Beynen PE (2011). Introduction. In : Van Beynen, P E. *Karst management*. Springer.
- Ford, D. C., Williams, P.W (1992). *Karst Geomorphology and Hydrology*. New York, Chapman and Hall.
- Jennings, J.N (1975). Doline morphometry as a morphogenetic tool: New Zealand examples. - *New Zealand geographer*. 31.
- Sauro, U (2003). Dolines and sinkholes: Aspects of evolution and problems of classification. *Acta carsologica*. 32, 2.
- Beck, B. F. (Ed) (1984). *Sinkholes, their geology, engineering and environmental impact*. Rotterdam and Boston Balkema.
- بایزیدی، ابراهیم؛ بهنام اولادی؛ نرگس عباسی (۱۳۹۱). تحلیل داده‌های پرسشنامه‌ای با کمک نرم‌افزار SPSS(PASW)، تهران. عابد (مهرگان قلم).
- زارعی، مهدی؛ عزت‌الله رئیسی؛ عبدالله مرادی (۱۳۸۵). ریخت‌سنجی آبروچاله‌های گنبد نمکی کنارسیاه فیروزآباد. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران. بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.
- عارفی، محمدرئوف (۱۳۸۵). ژئومورفولوژی و منابع آب کارست ارتفاعات شاهو-شمال شهرستان‌های جانرود و پاوه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی محمدرضا ثروتی. دانشکده علوم زمین. دانشگاه شهید بهشتی.
- قبادی، محمدحسین (۱۳۸۶). زمین‌شناسی مهندسی کارست، دانشگاه بوعلی سینا.
- قربانی، محمدصدیق؛ فرج‌الله محمودی؛ مجتبی یمانی؛ ابراهیم مقیمی (۱۳۸۹). نقش تغییرات اقلیمی کوآثرنر در تحول ژئومورفولوژیکی فروچاله‌های کارستی (مطالعه موردی: ناهمواری شاهو، غرب ایران)، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی. ۷۴.
- قربانی، محمدصدیق (۱۳۸۸). مقایسه سیستم‌های کارستی شاهو و سپیدان و اهمیت مدیریت آنها، رساله دکتری. دانشگاه تهران.
- قهرودی‌تالی، منیژه (۱۳۹۰). کاربرد تصاویر حرارتی و مادون قرمز سنجنده ETM⁺ در شناسایی اشکال کارستی مطالعه‌موردی: فروچاله‌ها در ارتفاعات شمال غرب کامیاران. پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.