نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ششم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸.
صفحات ۷۱ تا ۸۸

پهنه‌بندی خطر فروچاله ها با استفاده از روش وزن شواهد
مطالعه موردی: دشت کبودر آهنگ–فامنین

غلام حسن جعفری[۱]، استادیار ژئومورفولوژی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
هژیر محمدی، کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

دریافت مقاله :۱۳۹۵/۰۹/۲۴ پذیرش نهایی:۱۳۹۸/۰۴/۱۸

چکیده

عواقب و آثار فعالیت‌های انسانی در چند دهه اخیر گاه چنان مخرب و غیرقابل‌بازگشت به حالت اولیه بوده که توجه همه اقشار را به خود جلب کرده است. یکی از این اثرات، فروچاله‌هایی است که در بخش‌های مختلف سیاره زمین و ازجمله ایران، استان همدان و به‌صورت متمرکز در دشت کبودرآهنگ-فامنین اتفاق افتاده است. دراین‌ارتباط، پژوهشگران معتقدند که مهم‌ترین پیامدهای برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، حفر چاه‌های غیرمجاز و فعالیت نیروگاه حرارتی شهید مفتح و تغییر پارامترهای خاکی، پیدایش فروچاله‌های منطقه است. بدین منظور کلیه اطلاعات زمین‌شناسی، گسل، هیدرولوژیکی، ارتفاعی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی و راه‌های منطقه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، مدل رقومی ارتفاعی و تصاویر Google Earth استخراج شد و جهت بررسی روند فروچاله‌ها با توجه به تعداد و تراکم آن‌ها در نرم‌افزار Arc GIS وزن دهی گردید. نتایج نشان می‌دهد که تراز آب‌های زیرزمینی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و دامنه ارتفاعی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار در ایجاد فروچاله است؛ اما در یک دید فضایی نقش عوامل خارج از منطقه و در بخشی دورتر از فروچاله‌ها که باعث افت شدید آب‌های زیرزمینی شده است، اهمیت بیشتری دارد؛ احداث سد اکباتان بر روی مهم‌ترین رودخانه تأمین‌کننده آب دشت‌های موردمطالعه، گسترش شهر (همدان) و تغییر کاربری اراضی اطراف شهرها، از مرتع به کشاورزی، مانع از رسیدن آب به دشت‌های کبودرآهنگ و فامنین شده و افزایش تقاضای آب در پایین‌دست به همراه زیرساخت مناسب فراهم‌شده از قبل (انحلال آهک) در ایجاد فروچاله ها نقش مهمی داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: وزن دهی، فروچاله، سد اکباتان، شبکه زهکشی، همدان.

[۱]. نویسنده مسئول: Email: jafarihas@yahoo.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]

مقدمه

عواقب و آثار فعالیت‌های انسانی در چند دهه اخیر گاه چنان مخرب و غیرقابل‌بازگشت به حالت اولیه بوده که توجه همه اقشار را به خود جلب کرده است. یکی از این اثرات، فروچاله‌هایی است که در بخش‌های مختلف سیاره زمین و ازجمله ایران، استان همدان و به‌صورت متمرکز در دشت کبودرآهنگ-فامنین اتفاق افتاده است. دراین‌ارتباط، پژوهشگران معتقدند که مهم‌ترین پیامد برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، حفر چاه‌های غیرمجاز و فعالیت نیروگاه حرارتی شهید مفتح و تغییر پارامترهای خاکی، پیدایش فروچاله‌های منطقه است (کرم و همکاران، ۱۳۹۱). مخاطرات طبیعی ازجمله عواملی هستند که سالانه با رویداد خود باعث ایجاد خسارات جانی و مالی فراوان در بیشتر مناطق جهان ازجمله ایران می‌شوند. اگر در رابطه با اقدامات کاهش خطر احتمالی این مخاطرات، شناخت بیشتری صورت می‌گرفت بدون شک زندگی بسیاری حفظ می‌شد (کریمی و همکاران ۱۳۹۲). یکی از مسائلی که در اثر برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی اتفاق می‌افتد نشست زمین[۱] است. نشست زمین در آکیفرهای محصور و نیمه محصور واقع در مواد آبرفتی تحکیم نشده یا نیمه تحکیم شده، بیشتر مشاهده می‌گردد. در اثر برداشت آب زیرزمینی و خارج شدن آب از منافذ امکان متراکم شدن مواد تا عمق ۳۰۰ متر فراهم می‌گردد و هرچه بیشتر برداشت شود تراکم مواد بیشتر خواهد بود (علیزاده، ۱۳۹۰: ۳۷۷). وقوع فرونشست زمین یک تهدید جدی به محیط‌زیست انسان، با توجه به افزایش تراکم جمعیت، خطوط لوله و زیربناهای دیگر در امتداد سواحل و فرایند فاجعه باری است که به‌طورکلی بدون هیچ اخطاری رخ می‌دهد. روش پیشنهادی مارژتا و همکاران (Margiotta ،۲۰۱۲) برای شناسایی مکانیسم تشکیل فروچاله و پهنه‌بندی مناطق خطر ناشی از آن، بر اساس چینه‌شناسی و بررسی ژئومورفولوژی و ژئوفیزیک است. همبستگی مکانی بین فروچاله‌ها و تغییرات ناشی از آبخوان‌های محلی به شکل‌های کاهش نسبی آب به‌طور محلی، انحراف جریان آبخوان‌های زیرزمینی به سمت کانال‌های احداث‌شده مصنوعی، افزایش سرعت جریان، تقویت آبخوان‌های زیرزمینی کنترل‌شده به‌وسیله‌ی جزر و مد و جریان معکوس محلی آب زیرزمینی از بالا به پایین منعکس می‌شود (۲۰۱۱، Dolores Fidelibus et al). افزایش روزافزون برداشت از منابع آب زیرزمینی منطقه، به‌ویژه از حوزه‌هایی که با رسوبات تحکیم نیافته آبرفتی یا نهشته‌های کم‌عمق دریایی انباشته‌شده‌اند منجر به فرونشست سطح زمین گردیده است (محبوبی اردکانی و همکاران،۱۳۸۴).

اولین مطالعه رسمی فروچاله ها توسط سازمان یونسکو در ۱۹۰۰ انجام شد که به بررسی تفضیلی ۴۵ فروچاله در ۱۵ کشور جهان پرداخت. نتوتون (Newton ،۱۹۸۷) فروچاله‌های جنوب شرق امریکا، ویلیام (William ،۱۹۸۸) فروچاله-های اورلاندای امریکا، گونگیو، وانفانگ (Gongyu & Wanfang ،۱۹۹۹) در مطالعه ایجاد فروچاله در معادن ذغال سنگ و سنگ‌آهن مناطق کارستی چین دریافتند که هجوم آب از آبخوان‌ها، خلأهای موجود در خاک، وزن خاک و فرایند اشباع به تشکیل فروچاله کمک می‌کنند و اقدامات کلیدی کنترل‌کننده وقوع فروچاله، کاهش نوسانات اُفت آب و مهروموم کردن حفرات مناطق کارستی است. گائو (Gao ،۲۰۰۲) فروچاله های خوشه‌ای را پیشنهاد کرد زیرا مناطق دارای ویژگی‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی یکسان به نفع تشکیل فروچاله می‌باشد. گوتیرز و همکاران (۲۰۰۸، Gutierrez) فروچاله های موجود در مناطق کارست تبخیری را فعال‌تر و متنوع‌تر از فروچاله های کارست کربنات می‌دانند، چراکه مناطق کارست تبخیری با حلالیت بالاتر، مقاومت مکانیکی کمتری دارند. دولارز و همکاران (۲۰۱۱،

[۱]- land subsidence

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]

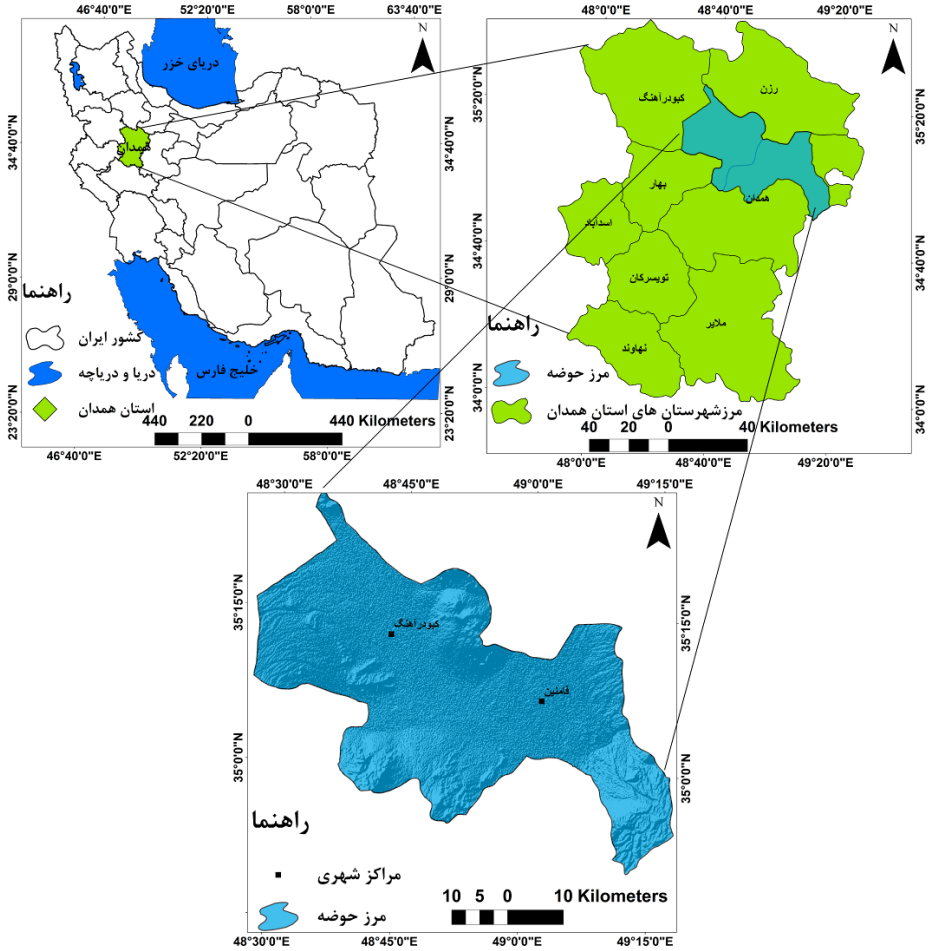
Dolores) فروچاله‌های متعددی را در فوجیای ایتالیا بررسی کرده‌اند. بررسی حیدری و همکاران (Heidari، ۲۰۱۱) حاکی از آن است که بیشترین فروچاله‌ها در دشت مرکزی همدان به وقوع پیوسته که رسوبات الیگومیوسن و سنگ‌آهک اغلب آن‌ها را پوشانده‌اند و اغلب این فروچاله در سنگ‌بستر آهکی با تخلیه‌ی زیاد آب زیرزمینی رخ‌داده است. مارژتا و همکاران (Margiotta، ۲۰۱۲) معتقدند نقشه حساسیت می‌تواند یک ابزار مهم برای مقاصد برنامه‌ریزی و توسعه در نظر گرفته شود. اُزدمیر (Ozdemir، ۲۰۱۵) تشکیل فروچاله‌ها را مهم‌ترین خطر زمین‌شناسی منطقه کریپنر قونیه ترکیه معرفی کرده است زیرا آن‌ها می‌توانند به سازهای مهندسی، مناطق کشاورزی و مناطق مسکونی آسیب جدی وارد کنند. رئیسی (۱۳۸۴) معتقد است فروچاله ها گودال‌های بسته‌ای هستند که به‌صورت حفره‌هایی در سطح زمین‌های آهکی و دیگر سطح‌های انحلال‌پذیر و یا آبرفتی به وجود می‌آیند و عموماً رواناب از سوراخ موجود در کف آن‌ها به آب‌های زیرزمینی می‌پیوندد. دادستان و همکاران (۱۳۸۴) معتقدند که فروچاله‌های منطقه را می‌توان عمدتاً از دو نوع فروچاله‌های طبیعی (مانند فروچاله‌های همه‌کسی) و فروچاله‌هایی که فعالیت‌های انسان در شکل‌گیری آن‌ها مؤثرتر بوده‌اند (مانند فروچاله‌های کردآباد و فامنین) دانست. محبوبی اردکانی (۱۳۸۴) و ولیزاده و همکاران (۱۳۸۴) معتقدند که عمده فروچاله‌های منطقه کبودرآهنگ- فامنین در محدوده‌هایی از دشت رخ‌داده که از سنگ‌بستر آهکی تشکیل‌شده و آبیاری اراضی زراعی به روش غرقابی بوده است. امیری و همکاران (۱۳۸۳) معتقدند فروچاله‌های شناسایی‌شده در ایران بخصوص در استان همدان در سال‌های اخیر به‌واسطه‌ی نزدیکی به نیروگاه برق و خطرات بعدی آن موردتوجه قرارگرفته و بررسی‌های زیادی پیرامون آن صورت پذیرفته است. دلیل آن تراکم بالای جمعیتی دشت فامنین-کبودر آهنگ، واقع در شمال همدان بوده که موجب بهره‌برداری شدید سفرهای آب زیرزمینی شده است. به علت کاهش آبدهی چاه‌های آب در سال‌های اخیر، کف کنی و حفاری در سنگ‌بستر برخی از چاه‌های آب منطقه نیز انجام‌شده است. به دنبال این امر فروچاله های بزرگ و کوچکی در مجاورت این چاه‌ها به وجود آمده که ضمن خسارت به زمین‌های کشاورزی و تهدید نیروگاه برق و سایر تأسیسات، موجب نگرانی ساکنین منطقه و مسئولین استان شده است. قربانی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی با عنوان نقش تغییرات اقلیمی کواترنری در تحول ژئومورفولوژیکی فروچاله های کارستی، ناهمواری‌های شاهو که شرایط مناسبی برای توسعه اشکال کارستی دارند را موردبررسی قرار داده و معتقدند حضور فروچاله‌ها در اقلیم کنونی و از ارتفاع ۱۹۰۰ متر بالاتر، باعث تخریب کارست‌های منطقه می‌شود. کرم و همکاران (۱۳۹۲) معتقدند وقوع فروچاله در دو روستای فیض‌آباد و هوروک شهرستان ابرکوه، خسارت چشم‌گیری به زمین‌های کشاورزی و تأسیسات منطقه وارد آورده است. کریمی و همکاران (۱۳۹۲) با ارزیابی فروچاله-های دشت جابر ایلام با بکار گیری رگرسیون چند متغیره به این نتیجه رسیدند که عوامل شیب دامنه، سنگ‌شناسی، فاصله از خط کنیک، ضخامت رسوب، کاربری اراضی و عمق آب زیرزمینی بیشترین تأثیر را بر روی وقوع فروچاله‌های منطقه داشته‌اند. مسلم است که ویژگی‌های ژئومورفولوژی اساس بررسی‌های منابع طبیعی حوضه‌های آبخیز به شمار می‌رود و فرونشست از مسائلی است که بدون توجه به خصوصیات و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی توسعه نخواهد یافت. این مقاله سعی دارد با نگاهی سیستمی به عوامل محیطی مؤثر در فروچاله‌های دشت کبودرآهنگ-فامنین همدان، از طریق وزن دهی به عوامل، نقشه حساسیت مناطق هم‌جوار به ایجاد فروچاله‌ها را ترسیم نماید.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]

داده‌ها و روش کار

دشت کبودرآهنگ- فامنین با موقعیت ریاضی ۳۴ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۸ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی در شرق و شمال شرقی استان همدان واقع‌شده است. مساحت آن بالغبر ۲۱۵۵ کیلومترمربع و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۹۲۹ متر است. این منطقه از شمال به شهرستان رزن، از جنوب به شهرستان همدان و از شرق به استان مرکزی منتهی است (شکل ۱) و دارای ۲۷ فروچاله است (جدول ۱). ناحیه کبودرآهنگ - فامنین ازلحاظ موقعیت زمین‌شناسی بین دو منطقه واقع‌شده، قسمت‌های شمال آن در بخش ایران مرکزی و ناحیه جنوبی در زون سنندج– سیرجان واقع است؛ بنابراین در محدوده موردمطالعه، سنگ‌ها و اثرات تکتونیکی هر دو ناحیه را می‌توان مشاهده نمود. شیل‌ها و شیست‌های دگرگون‌شده ژوراسیک، قدیمی‌ترین سنگ‌هایی هستند که در منطقه موردمطالعه شناخته‌شده‌اند. این سنگ‌ها بیشتر در حاشیه غربی و گاهی به‌صورت پراکنده در جنوب و شرق منطقه وجود دارند. در قسمت زیرین، شیست‌های خاکستری‌رنگ و آهک کریستالیزه همراه با آهک دولومیتی که به‌صورت متداخل بین لایه‌ای هستند، قرار دارد. رسوبات کرتاسه فقط در محدوده کوچکی از جنوب و مرکز دشت شناخته‌شده‌اند؛ این تشکیلات به دو واحد آهکی و شیلی تقسیم می‌گردند (وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان همدان، ۱۳۹۵).



شکل ۱: موقعیت محدوده موردنظر درروی نقشه ایران و استان همدان (منبع: وزارت کشور، سازمان تقسیمات سیاسی، ۱۳۹۵)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]

جدول ۱: مشخصات فروچاله‌های منطقه موردمطالعه (سازمان آب منطقه‌ای استان همدان، ۱۳۹۵)

ردیف	محدوده مطالعاتی	نام محل	UTM x	UTM y	ارتفاع از سطح دریا	قطر	عمق	تاریخ وقوع
۱	کبودرآهنگ	بابان ۱	۲۹۵۵۷۳	۳۸۹۹۸۰۶	۱۶۷۱	۲۵/۶	۱۷	۱۳۸۷
۲	کبودرآهنگ	بابان ۲	۲۹۵۴۹۶	۳۸۹۹۷۶۳	۱۶۷۱	۴	۴	نامشخص
۳	قهاوند	جهان‌آباد ۱	۳۱۵۳۱۹	۳۸۸۳۷۰۷	۱۶۳۰	۲۳	۱۷	۱۳۷۳
۴	قهاوند	جهان‌آباد ۲	۳۱۵۵۱۲	۳۸۸۳۴۷۲	۱۶۳۰	۱۹/۰۶	۱/۵	۱۳۷۳
۵	کبودرآهنگ	خان‌آباد	۲۹۵۳۴۴	۳۸۹۴۴۲۹	۱۶۶۰	۷	۱۲	۱۳۷۴
۶	کبودرآهنگ	کردآباد ۵	۲۹۸۸۴۱	۳۸۸۸۲۴۰	۱۶۱۰	۳۶	۷	۱۳۸۲
۷	کبودرآهنگ	کردآباد ۱	۲۹۹۱۹۷	۳۸۸۸۴۷۹	۱۶۴۲	۲۷/۷	۱۰	نامشخص
۸	کبودرآهنگ	کردآباد ۴	۲۹۸۸۷۲	۳۸۸۸۳۸۴	۱۶۴۲	۲۹	۱۰	۱۳۸۵
۹	کبودرآهنگ	کردآباد ۶	۲۹۸۹۲۷	۳۸۸۸۳۸۴	۱۶۴۲	۳۸	۱۴	۱۳۸۴
۱۰	کبودرآهنگ	کردآباد ۷	۲۹۹۰۴۹	۳۸۸۸۴۴۹	۱۶۴۲	۱۸	۷	۱۳۸۴
۱۱	کبودرآهنگ	کردآباد ۳	۲۹۹۴۵۲	۳۸۸۸۷۳۹	۱۶۴۲	۲۵	۲۰	۱۳۸۴
۱۲	کبودرآهنگ	کردآباد ۲	۲۹۹۷۶۷	۳۸۸۸۸۲۱	۱۶۴۳	۲۲	۸	۱۳۷۴
۱۳	کبودرآهنگ	نوآباد	۲۹۶۹۹۷	۳۸۸۹۰۳۵	۱۶۵۵	۱۵	۵	۱۳۷۸
۱۴	قهاوند	همه‌کسی ۱	۳۱۴۵۵۲	۳۸۷۷۸۸۰	۱۶۱۴	۱۰	۲۰	۱۳۸۳
۱۵	قهاوند	همه‌کسی ۱۰	۳۱۳۸۳۳	۳۸۷۷۱۷۷	۱۶۴۸	۶	۰/۵	نامشخص
۱۶	قهاوند	همه‌کسی ۳	۳۱۴۳۷۶	۳۸۷۷۳۵۱	۱۵۸۰	۱۵	۱	۱۳۷۱
۱۷	قهاوند	همه‌کسی ۴	۳۱۴۴۳۹	۳۸۷۷۲۳۴	۱۶۳۶	۵*۹	۱۰	۱۳۸۹
۱۸	قهاوند	همه‌کسی ۵	۳۱۴۱۲۱	۳۸۷۷۰۲۰	۱۶۴۰	۵/۸*۵/۹	۱۰	۱۳۹۰
۱۹	قهاوند	همه‌کسی ۶	۳۱۴۱۳۵	۳۸۷۷۰۲۸	۱۶۳۹	۸/۶*۸/۷	۱۰	۱۳۸۳
۲۰	قهاوند	همه‌کسی ۹	۳۱۳۸۲۷	۳,۸۷۷,۲۰۹	۱۶۴۹	۳*۴	۰/۵	نامشخص
۲۱	قهاوند	همه‌کسی ۸	۳۱۶۰۶۷	۳۸۷۸۱۱۲	۱۶۱۶	۶	۷	۱۳۸۹
۲۲	قهاوند	همه‌کسی ۷	۳۱۴۲۰۹	۳۸۷۶۸۱۱	۱۶۳۸	۸/۳*۱۳/۵	۶	نامشخص
۲۳	قهاوند	بین‌همه‌کسی‌جهان‌آباد	۳۲۴۳۹	۳۸۸۱۱۰۲	۱۶۲۱	۱۸*۲۰	۱۰	نامشخص
۲۴	کبودرآهنگ	آق تپه	۲۸۹۵۲۶	۳۹۰۱۸۴۸	۱۶۸۶	۴۰	۱	۱۳۹۱
۲۵	کبودرآهنگ	شاوه	۲۸۶۵۴۴	۳۸۹۵۸۹۲	۱۶۸۶	۱۰	۵	نامشخص
۲۶	قهاوند	طمه چی ۱	۳۳۷۱۰۳	۳۸۷۳۲۵۶	۱۷۶۵	۲۴	۲	۱۳۷۵
۲۷	قهاوند	طمه چی ۲	۳۳۷۰۹۵	۳۸۷۳۱۷۶	۱۷۶۰	۱۹	۳	۱۳۷۵

به‌منظور شناسایی فروچاله‌ها از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰، ۳۰*۳۰ metre DEM استان همدان مستخرج از ماهواره‌ی SRTEM در سایت USGS و از دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) در برداشت موقعیت فروچاله استفاده گردید. پس از واردکردن نقشه‌های پایه و جدول مختصات جغرافیایی فروچاله ها منطقه موردنظر در محیط GIS، لایه فروچاله های منطقه تهیه و با توجه به مطالعات و بررسی‌های مقدماتی به‌منظور شناسایی میزان اثرگذاری عوامل و مکانیسم آن‌ها، اطلاعات مربوط به عوامل احتمالی ایجاد فروچاله ها شامل نقشه‌های توپوگرافی، شیب، جهت شیب، فاصله از جاده‌های ارتباطی، طبقات ارتفاعی، فاصله از رودخانه، تراز آب‌های زیرزمینی، لیتولوژی و فاصله از گسل، کاربری اراضی و نقشه مهم‌ترین حوضه‌های آبریز اثرگذار بر آبخوان‌های منطقه موردمطالعه از منابع مختلف تهیه شد. درمجموع ۹ لایه عامل رستری در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد و در مدل‌سازی مورداستفاده قرار گرفت. روش به کار گرفته برای ارزیابی عوامل مؤثر در وقوع فروچاله ها در محدوده، مدل آماری روش وزن شواهد است. این

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]

مدل بر اساس نسبت تراکم فروچاله ها در هر یک از لایه‌های عاملی به تراکم فروچاله ها در کل منطقه می‌باشد که نتیجه این نسبت دستیابی به وزن واحدهای هر یک از لایه‌های عاملی است. در این مدل مقادیر وزنی اعداد مثبت و منفی می‌شود که به ترتیب بیانگر نقش بیشتر و کمتر متغیرهای موردبررسی است (رابطه ۱، ۲۰۱۵، Ozdemir). در نرم‌افزار Arc GIS منوی Reclassify ارزش‌های قدیمی را حذف کرده و یک فیلد (New values) ایجاد و وزن‌های برآوردی از هر طبقه، وارد می‌گردد. اغلب روش‌های ارزیابی عوامل و پهنه‌بندی خطر وقوع فروچاله ها عمدتاً بر قضاوت کارشناسی و وزن دهی‌های نامشخص و به‌کارگیری تعداد کمی از متغیرهای مؤثر در پهنه‌بندی و عدم استفاده از رایانه استوار هست (۱۹۸۴، Varnes)؛ سپس با توجه به تهیه نقشه رستری لایه‌های عامل فروچاله، وزن نهایی به هریک لایه‌ها داده می‌شود؛ به این طریق که در هرکدام از لایه عامل‌ها که بیشترین تراکم فروچاله وجود دارد، بیشترین وزن داده می‌شود و در مقابل به لایه عاملی که تراکم فروچاله‌ها در آن کم است وزن و ارزش کمتری اختصاص می‌یابد. از جمع جبری نقشه تهیه‌شده در نرم‌افزارArc GIS ، نقشه نهایی پهنه‌بندی مناطق حساس خطر فروچاله تولید می‌شود (رابطه ۲).

رابطه ۱: $wi=ln\frac{Count\ sinkholes}{Factor\ class\ area}$

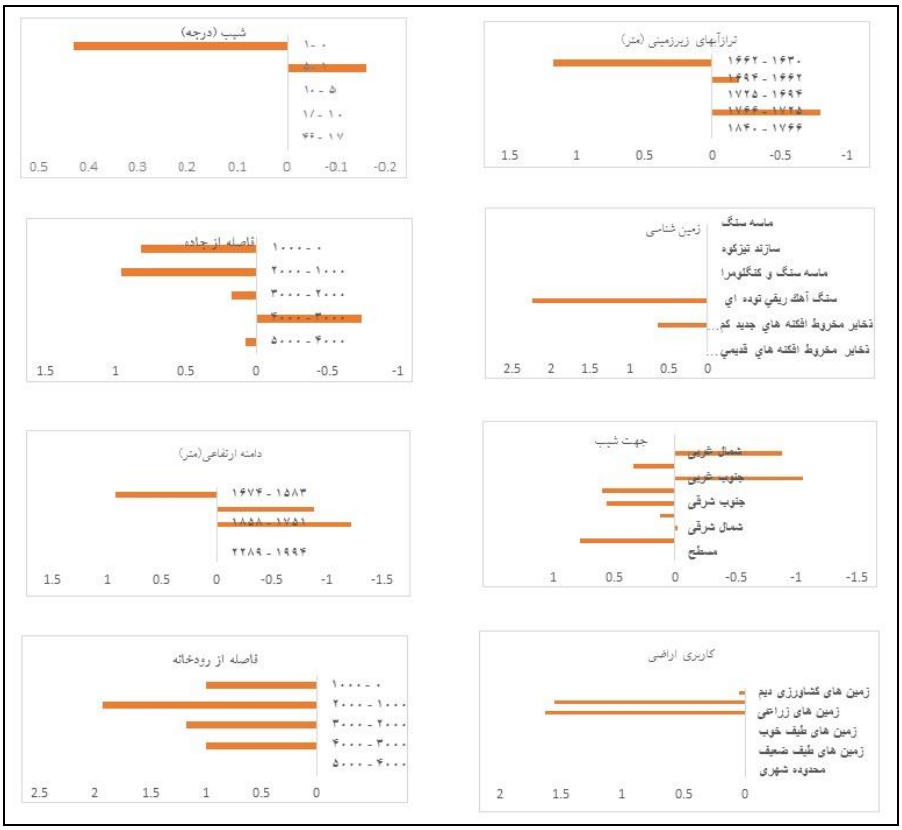
Wi وزن هر یک از لایه عاملی فروچاله، *Count sinkholes* فراوانی فروچاله در لایه عاملی و *Factor class area* مساحت لایه عامل است. نقشه پهنه‌بندی خطر فروچاله با استفاده از رابطه (۲) بر اساس وزن هریک از لایه‌های عامل (Slop, Geology, Landuse,… عامل) به دست می‌آید.

رابطه ۲: Mapfw = slopw+ geologyw+ Landusew+ Demw +…… nw

در منطقه موردمطالعه تعداد ۲۷ فروچاله شناسایی شد و عواملی همچون دامنه ارتفاع، دامنه شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و درنهایت آب‌های زیرزمینی در تشکیل و وقوع فروچاله‌ها بررسی شد و وزن هریک از لایه عامل‌ها به‌صورت نمودار ترسیم گردید (شکل ۲).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]

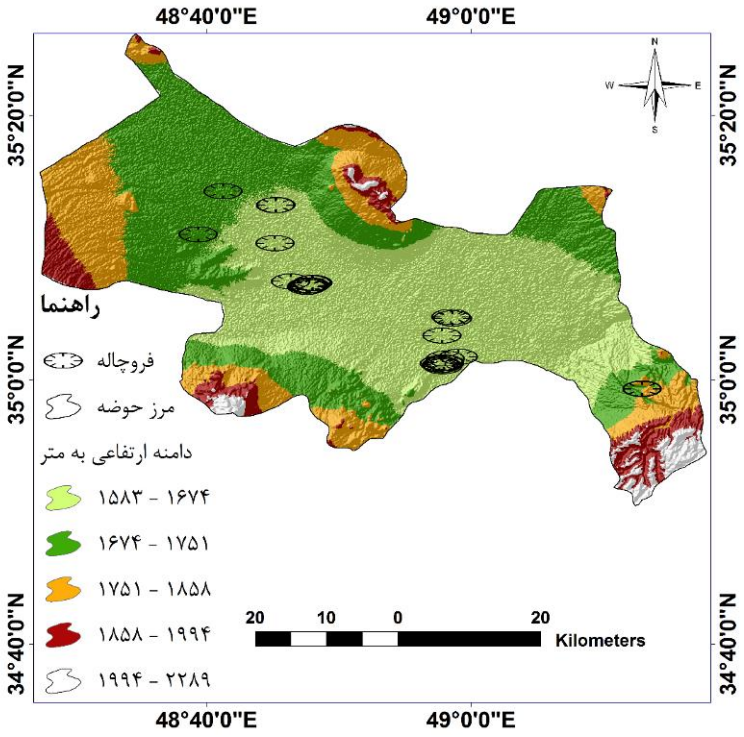


شکل ۲: نمودارهای مربوط به وزن هر یک از لایه‌های عامل ایجاد فروچاله در محدوده موردمطالعه (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

دامنه ارتفاع: عامل ارتفاع با توجه به اثراتی که بر روی عناصر اقلیمی بخصوص دما و بارش و در کنار آن بر آب‌های زیرزمینی دارد؛ یکی از عوامل مؤثر در پدیده فرونشست است. به این منظور منطقه را به ۵ طبقه ارتفاعی تقسیم و هر طبقه ارتفاعی با توجه به تراکم فروچاله ها ارزش‌گذاری شد. رابطه‌ی رگرسیون خطی معکوسی بین ارتفاع و تعداد وقوع فروچاله وجود دارد؛ به‌این‌ترتیب که با افزایش ارتفاع تعداد فروچاله ها کمتر می‌شود، با توجه به ارزیابی که انجام شد اکثر فروچاله‌ها در مناطق کم ارتفاع منطقه موردمطالعه به وجود آمده‌اند (شکل ۳). چنین تغییری در فروچاله‌ها با کاهش ارتفاع حاکی از آن است که مناطق هم‌جوار توده مرتفع کوهستانی که درواقع قسمت آبگیر حوضه محسوب می‌شوند بیشتر از خود مناطق کوهستانی که آبخوان هستند از افت آب‌های زیرزمینی متأثر می‌شوند. این موضوع دال بر این مطلب است که در نواحی کم ارتفاع هر حوضه که سطوح ارضی قابل‌توجهی ازنظر شیب بر آن‌ها تسلط دارند و آب سطحی و زیرزمینی آن‌ها را تأمین می‌نمایند، با برداشت آب زیرزمینی، احتمال وقوع فرونشست بیشتر است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]



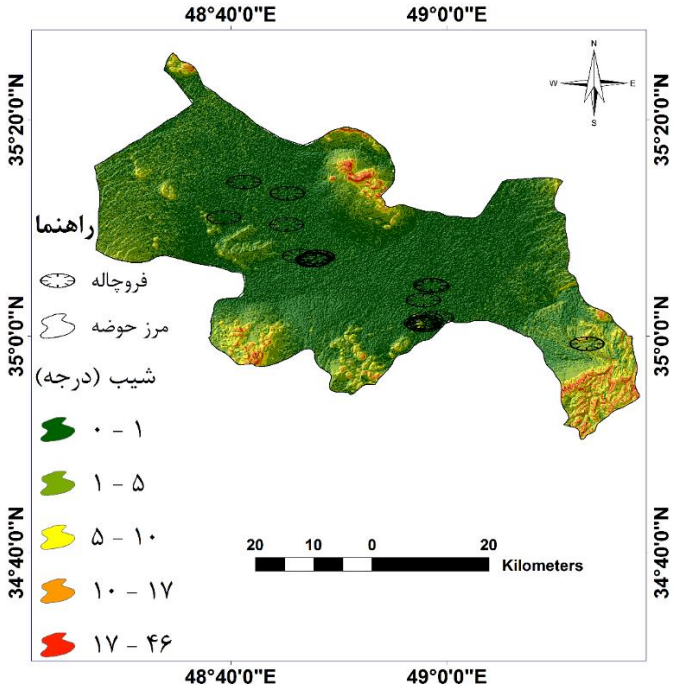
شکل ۳: نقشه دامنه ارتفاعی منطقه موردمطالعه (منبع: سایت UGGS)

دامنه شیب: با دقت در محل و شکل اکثر فروچاله‌ها می‌توان گفت که شیب در شکل و اندازه فروچاله‌ها تأثیرگذار است. به این طریق که ارزیابی این فاکتور بیان‌کننده آن است که اکثر فروچاله‌ها درشیب ۱-۰ درجه شکل‌گرفته‌اند، درشیب‌های کم با کاهش سرعت آب‌های زیرزمینی، مجاری عبور آب، شرایط گسترش بیشتری دارند و با افت آب‌های زیرزمینی فضای خالی بیشتری در زیرزمین متروک می‌شوند که در میزان و تعداد فرونشست اثر می‌گذارند. شیب زیاد باعث ناتوانی در مورفولوژی فروچاله‌ها می‌شود. درشیب‌های کم، عمق فروچاله‌ها زیاد می‌شود و یک نوع توازن در عمق و قطر فروچاله‌ها به وجود می‌آید (شکل ۴).

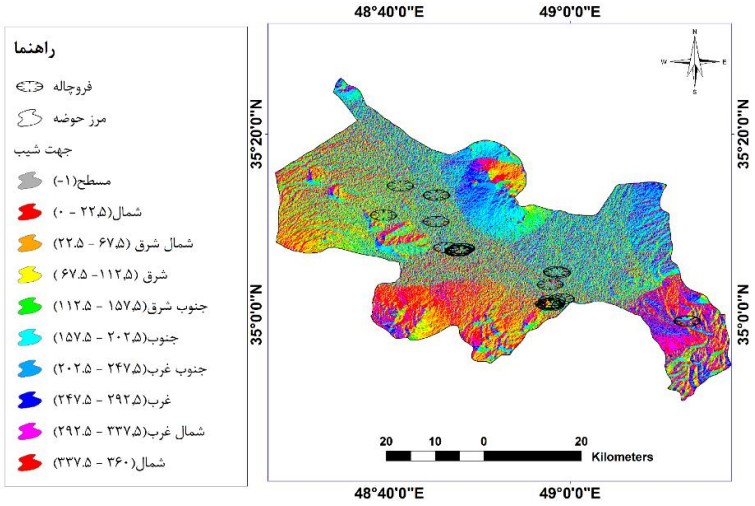
جهت شیب: با توجه به رخداد فروچاله درشیب‌های کم، جهت نمی‌تواند اثر زیادی بر آن داشته باشد ولی اهمیت جهت شیب بیشتر وابسته به اثری است که سطوح هم‌جوار به‌عنوان آبخوان بر مقدار آبدهی آب‌های زیرزمینی می‌گذارند. مسلماً جهت شیب فروچاله‌ها متأثر از جهت آن سطوح خواهد بود. در مورد تأثیر جهت شیب در محدوده موردنظر با به دست آوردن وزنی که از روی جهت شیب و تراکم فروچاله ها دیده شد، می‌توان دریافت که جهت شمال و جنوب بیشترین رخداد فروچاله و ارزش را داشتند و جهت‌های شمال غربی و جنوب غربی که سطح هم‌جوار با این جهت، ارتفاع کمی دارند؛ کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. این مطلب بیان‌کننده تأثیرگذاری جهت شیب سطوح هم‌جوار در مقدار تغذیه و حرکت آب‌های زیرزمینی است. به این صورت که حرکت آب از الوند شروع می‌شود و در جهت شیب حرکت می‌کند. هرچه از سرچشمه آبخوان دورتر شویم تراکم فروچاله‌ها بیشتر می‌شود (شکل ۵).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]



شکل ۴: نقشه دامنه شیب منطقه موردمطالعه (منبع: سایت USGS)

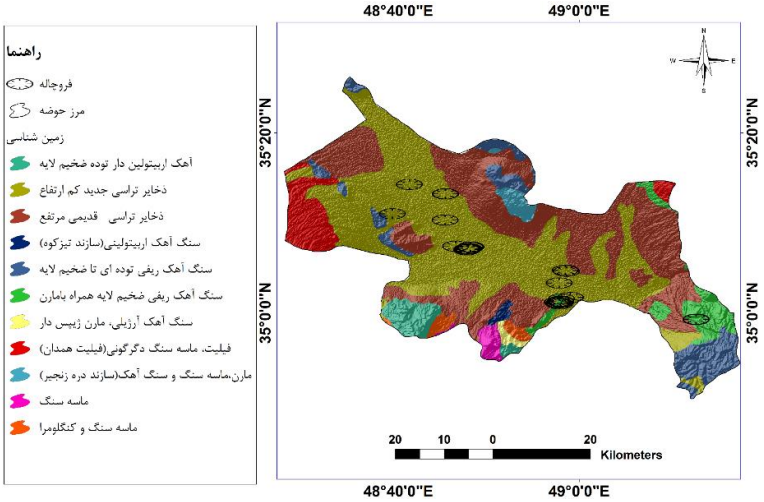


شکل ۵: نقشه جهت شیب منطقه موردمطالعه (منبع: سایت USGS)

زمین‌شناسی: واحد آهکی در حد جنوبی دشت گسترش داشته و ارتفاعات جنوب روستای قرخلر را تشکیل می‌دهند. گسترش آهک‌ها در شرق دره خورونده نسبت به سایر نقاط بیشتر است. واحد شیلی در ۱۵ کیلومتری شرق کبودرآهنگ ارتفاعات کوه قره‌لر را تشکیل می‌دهد. روی این واحدهای آهکی و شیستی ذخایر تراسی و مخروط‌افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع گسترده شده است (وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان همدان، ۱۳۹۵). ارزش به دست آمد نشان می‌دهد که بیشترین وزن مربوط به سنگ‌آهک ریفی توده‌ای ضخیم همراه با مارن است که دال بر آهکی بودن بستر اکثر فروچاله‌ها است و نمی‌توان نقش عمل انحلال را در وقوع فروچاله نادیده گرفت (شکل ۶).

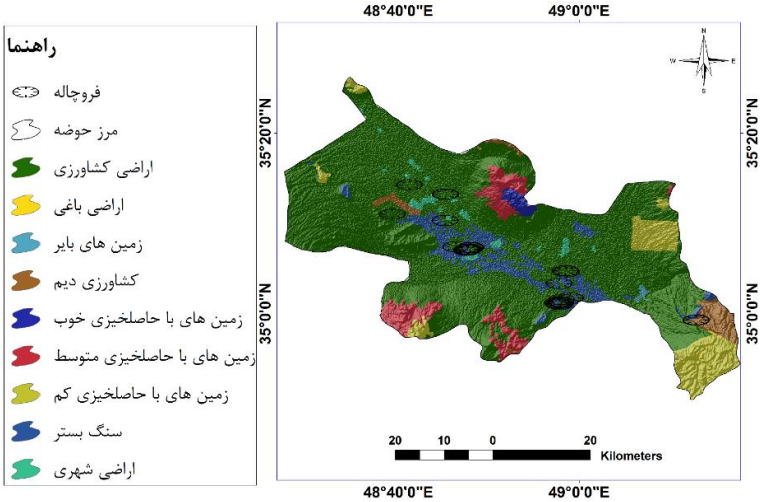
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]



شکل ۶: نقشه زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه (منبع: وزارت صنایع و معادن کشور، ۱۳۸۳)

کاربری اراضی: کاربری زمین علاوه بر اینکه بر میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی اثر می‌گذارد به لیتولوژی منطقه هم‌بستگی دارد. سطوح ارضی مسیر آبراهه در طی زمان، آبرفت‌های مناسبی برای کشاورزی فراهم می‌نماید؛ استفاده از زمین، به ایجاد و گسترش فروچاله دامن می‌زند. بررسی نقش کاربری اراضی در تراکم فروچاله ها دال بر این است که زمین‌های زراعی و باغی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. چراکه در زمین‌های منطقه موردنظر بیشتر از آب‌های زیرزمینی برای کشاورزی استفاده می‌شود می‌توان گفت کاهش سطح آبخوان براثر برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی باعث به وجود آمدن فروچاله ها یا گسترش عمق و قطر فروچاله ها شده است (شکل ۷).

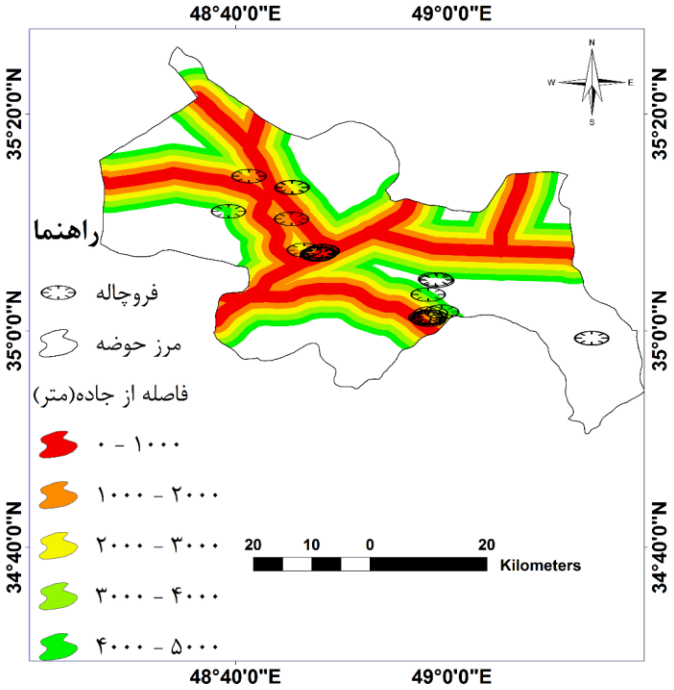


شکل ۷: نقشه کاربری اراضی منطقه موردمطالعه (منبع: سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری استان همدان، ۱۳۹۵)

فاصله از محورهای ارتباطی: رابطه‌ی مستقیمی بین رطوبت و تخلخل وجود دارد؛ به این صورت که زمانی رطوبت در خاک وجود دارد تخلخل کم می‌باشد اما با از بین رفتن رطوبت تخلخل زیاد و ذرات خاک ازهم‌پاش یده می‌شوند. محورهای ارتباطی نیز باوجود عبور و مرورهای زیاد با ایجاد امواجی به طرفین و عمق زمین، به فروپاشی ذرات خاک در

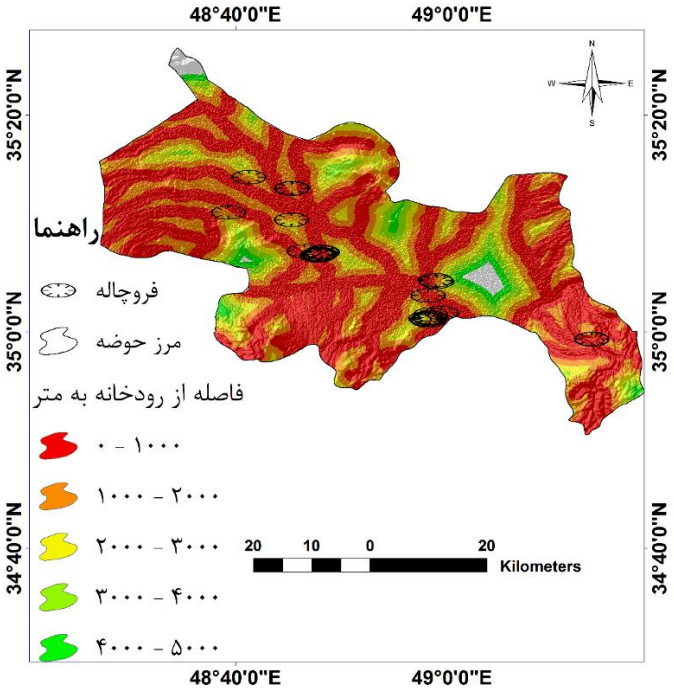
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]

محل‌های که رطوبت کاهش پیداکرده به فرونشست زمین کمک کرده و فروچاله هـا را تقویـت می‌کنـد؛ بنـابراین بـ رای بررسی وزن این عامل، بیشترین ارزش، به بافرهای نزدیک به جاده اختصاص داده شد (شکل ۸).



شکل ۸: نقشه فاصله از محورهای ارتباطی منطقه موردمطالعه (منبع: وزارت راه و ترابری کشور، ۱۳۹۵)

فاصله از رودخانه: شبکه رودخانه‌ها با توجه به اثری که برجهت آب‌های سطحی و بالطبع بر آب‌های زیرزمینی می‌گذارد از دیگر عوامل مؤثر در تشکیل فروچاله‌ها است. بررسی کردن این فاکتور حاکی از این است که هرچه از سمت رودخانه‌ها دور شویم تراکم و تعداد فروچاله ها نیز کاهش می‌یابد (شکل ۹).

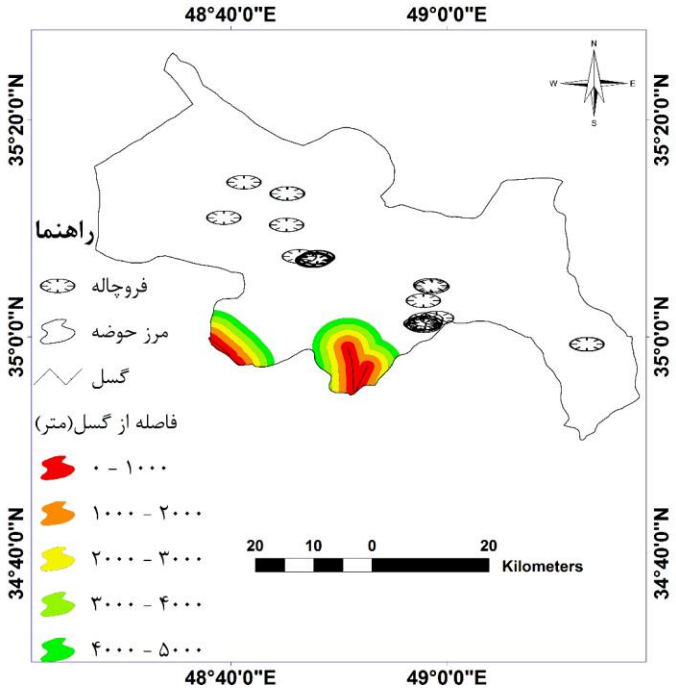


شکل ۹: نقشه فاصله از رودخانه منطقه موردمطالعه (سازمان آب منطقه‌ای استان همدان، ۱۳۹۵)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]

فاصله از گسل: نیروهای درونی و تکتونیکی نیز از عوامل ایجاد فروچاله ها هستند که با ایجاد شکستگی‌هایی درروی زمین و لایه‌های زمین‌شناسی می‌توانند حفرهای بزرگ و کوچکی را به وجود آورند و یا با شکست لایه‌های آبدار باعث پایین رفتن سطح آب فروچاله‌ها شوند. در منطقه موردمطالعه با استناد به نقشه‌های زمین‌شناسی تنها چند گسل کوچک در منطقه دیده شد که بافاصله زیادی که دارند به نظر می‌رسد کمترین اثر را بروی ایجاد فروچاله‌ها داشته باشند (شکل ۱۰).

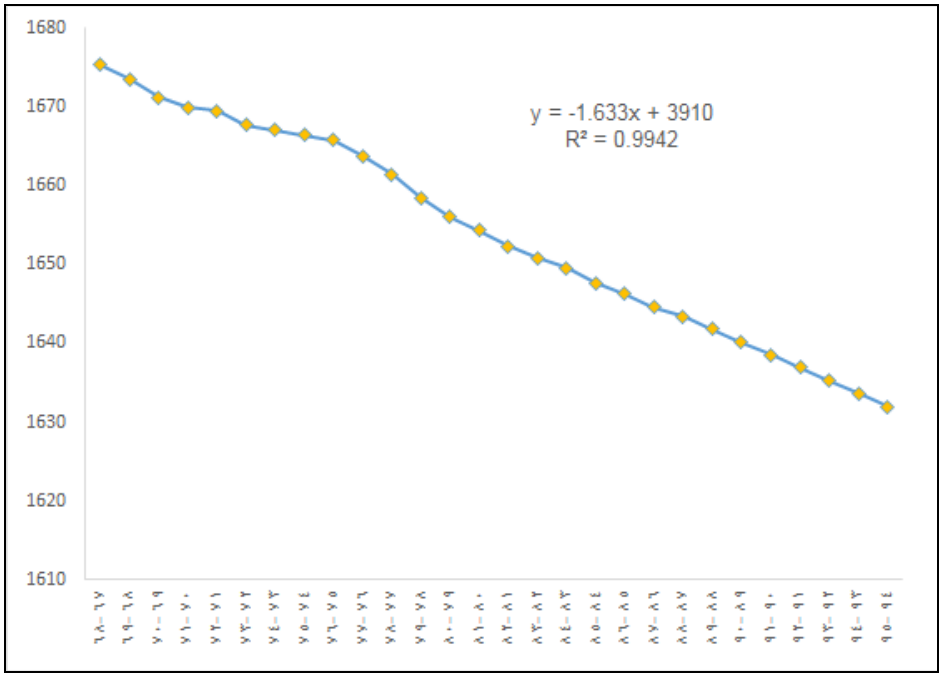


شکل ۱۰: نقشه فاصله از گسل منطقه موردمطالعه (منبع: وزارت صنایع و معادن کشور، ۱۳۸۳)

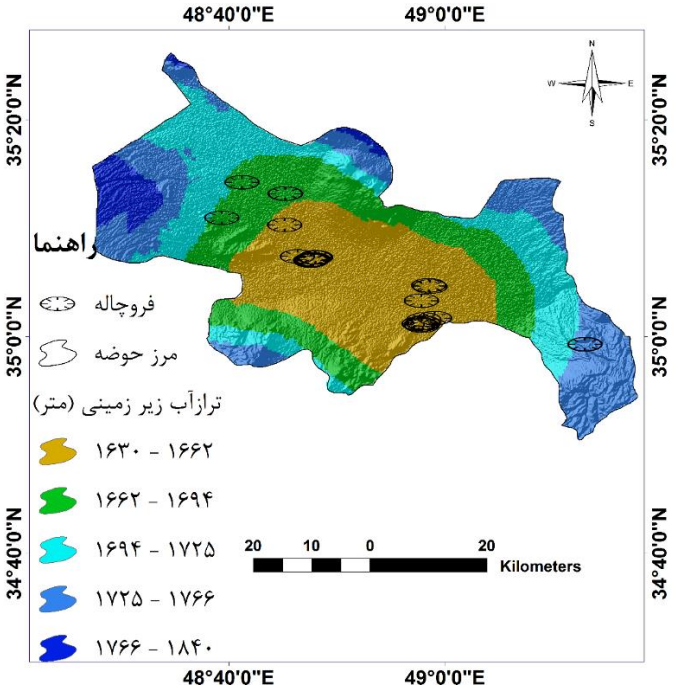
تراز آب‌های زیرزمینی: در محدوده مطالعاتی این دشت طبق نقشه و بر اساس مرز محدوده مطالعاتی مربوطه، دشت کبودرآهنگ با مساحت آبخوان ۱۱۸۶ کیلومترمربع با تعداد پیزومترها ۵۳ حلقه اندازه‌گیری می‌شود. هیدروگراف معرف آب زیرزمینی برای دشت از سال ۱۳۶۸ تا سال ۱۳۸۷ تهیه‌شده، در این هیدروگراف میزان افت ۲۵ ساله به میزان ۳۵/۴۸ متر مِی‌باشد. بر اساس رابطه‌ی خطی که از افت سطح آب‌های زیرزمینی با تعداد سال، هیدروگراف میزان افت آب‌های زیرزمینی تا سال ۹۵ به دست آمد (شکل ۱۲)؛ افت متوسط سالیانه‌ای برابر ۱/۷۷ متر می‌باشد، میزان کسری کل حجم مخزن دشت با توجه به ضریب ذخیره ۴ درصدی در منطقه فوق، معادل ۱۷/ ۱۶۸۳ میلیون مترمکعب و کسری متوسط سالانه معادل ۸۴/۱۶ میلیون مترمکعب برآورد گردیده است. در سال آبی ۸۷-۸۶ میزان افت سطح آب زیرزمینی ۵/۳۹ متر است؛ در این سال میزان کسری حجم مخزن ۲۵۵/۷ میلیون مترمکعب برآورد گردیده است. بیشترین میزان افت سفره در سال آبی ۸۷-۸۶ در ۲۵ سال گذشته با ۵/۳۹ متر افت بوده است؛ دلیل این افت ناگهانی بروز خشک‌سالی و برداشت زیاد از منابع آب زیرزمینی دشت بوده که این امر نشانگر این است که آبخوان زیرزمینی دشت فوق در سال‌های خشک بسیار آسیب‌پذیر است (سازمان آب منطقه‌ای استان همدان، ۱۳۹۵). با توجه به مطالبی که بیان شد و با استفاده از داده‌های آب‌های زیرزمینی در منطقه و ارزش‌گذاری که انجام شد مسئله مهم، تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین عامل ایجاد فروچاله های منطقه است که با بررسی‌های که انجام‌شده محل

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]

و تراکم فروچاله ها در مناطقی است که سطح آب‌های زیرزمینی افت داشته و یا کمترین حد خود را داشتند (شکل ۱۲ و ۱۳).



شکل ۱۲: میزان افت آب‌های زیرزمینی سال‌های آبی ۹۵- ۱۳۶۷(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

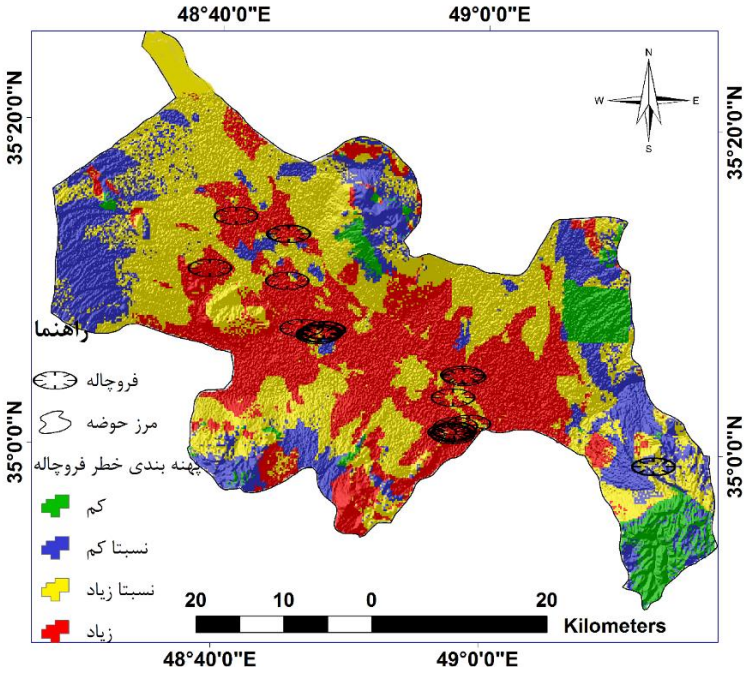


شکل ۱۳: نقشه تراز آب‌های زیرزمینی منطقه موردمطالعه (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

پس از انجام مراحل تهیه نقشه‌های عامل ایجاد فروچاله، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر فروچاله نیز ایجاد شد که بر اساس این نقشه منطقه موردمطالعه به ۴ کلاس خطر: کم، نسبتاً کم، نسبتاً زیاد و زیاد تقسیم‌بندی شد که این کلاس‌ها را بعد از صحت سنجی تائید گردید (شکل ۱۴)(جدول ۲).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]



شکل ۱۴: نقشه پهنه‌بندی خطر ایجاد فروچاله در منطقه موردمطالعه (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

جدول ۲: ارزش‌گذاری کلاس‌های طبقه‌بندی خطر فروچاله

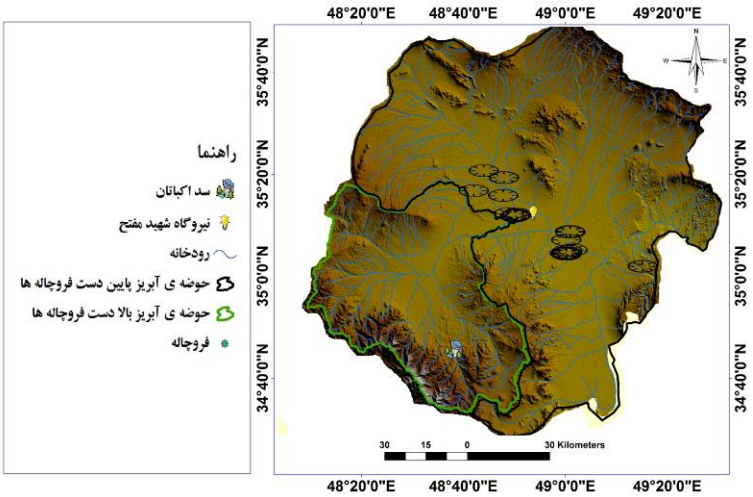
ارزش‌ها	کلاس‌های خطر
۰	کم
۰/۷۱۶	نسبتاً کم
/۸	نسبتاً زیاد
۲/۴۰۶	زیاد

شرح و تفسیر نتایج

سد اکباتان مهم‌ترین سد استان همدان است که در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر همدان بر روی رودخانه آبشینه (یلفان) پائین تر از محل تلاقی رودخانه‌های یلفان و ابرو واقع‌شده است. سد اولیه باهدف تأمین آب شرب شهر همدان و حقآبه کشاورزی باقدرت تنظیم سالیانه ۱۷ میلیون مترمکعب از آب رودخانه آبشینه در سال ۱۳۴۲ به بهره‌برداری رسید. علیرغم اینکه متوسط رواناب رودخانه در محل محور سد اکباتان، با ۲۱۳ کیلومترمربع وسعت حوضه و ۵۰۵ میلی‌متر متوسط بارش سالیانه، حدود ۵۵ میلیون مترمکعب می‌باشد، فقط ۳۱ درصد از آن توسط سد اکباتان تنظیم و به مصرف می‌رسد. با توجه به انباشته شدن رسوبات در مخزن سد که منجر به کاهش میزان ذخیره سد گردیده پس از مطالعه و بررسی در سال ۱۳۸۷ طرح افزایش ارتفاع سد به میزان ۲۵ متر جهت افزایش ظرفیت مخزن عملیاتی گردید. ظرفیت فعلی مخزن هم ۴۰ میلیون مترمکعب است. ارتفاع سد در زمان ساخت ۵۴ متر (از پی) بوده است و پس از اتمام طرح افزایش ارتفاع، به ۷۹ متر رسیده است (سازمان آب منطقه‌ای استان همدان، ۱۳۹۵) (شکل ۱۵). با بررسی نقشه‌های منطقه، می‌توان دریافت شبکه زهکشی تحت تأثیر تیپ ناهمواری، نوع لیتولوژی و تغییرات ناهمواری یکی از بخش‌های اصلی ریخت‌زایی فعال در چشم‌انداز منطقه است که اختلال در بهره‌برداری از این منابع (ایجاد سد بر روی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]

یلفان) بهره‌برداری نادرست از آب‌های زیرزمینی، تغییر حریم رودخانه به نفع اراضی کشاورزی و صنعتی و تغییر نوع کشت از عوامل مؤثر در بروز پدیده فرونشست در منطقه است.



شکل ۱۵: نقشه‌ی حوضه‌های آبریز بالادست و پایین‌دست محدوده ایجاد فروچاله ها (سازمان آب منطقه‌ای همدان، ۱۳۹۵)

لازمه بررسی فروچاله‌ها، وزن دهی عوامل مؤثر محیطی ازجمله: لیتولوژی، آبراهه، گسل، کاربری اراضی، دامنه ارتفاعی، شیب، جهت شیب، تراز آب‌های زیرزمینی و جاده در محل وقوع فروچاله‌ها است. دیدگاه فضایی لازم به محیط پیرامون فروچاله‌ها با توجه به شکل (۱۵) حاکی از آن است که دو رودخانه اصلی محل فروچاله‌ها، یکی یلفان از نواحی مرتفع الوند (۳۵۴۰ متر ارتفاع) و دیگری رودخانه قره‌چای از نواحی کم ارتفاع سرچشمه می‌گیرد. هرچند وسعت حوضه یلفان نسبت به قره‌چای کمتر است ولی مرتفع‌تر بودن آبخیز آن باعث شده نقش بیشتر در تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و سطحی منطقه داشته باشد. با احداث سد اکباتان و افزایش دادن ارتفاع سد، میزان تغذیه بشدت کاهش‌یافته و گسترش شهر همدان و شهرک‌های هم‌جوار همچون بهار باعث تغییر کاربری اراضی اطراف این شهرها به کشاورزی و نیاز بیشتر آب در قسمت بالادست شده و درمجموع میزان آب خروجی از حوضه یلفان را کاهش داده به دنبال آن بهره‌برداری از منابع آب دشت به‌واسطه چاه‌های عمیق و نیمه عمیق برای نیروگاه و سایر مصارف، باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است. عدم تغذیه و جبران آب برداشت‌شده در وقوع فروچاله ها نقش اساسی داشته است. به‌طوری‌که از نقطه خروجی رودخانه یلفان به فاصله ۵ کیلومتر به سمت شمال غرب (برخلاف جهت جریان رود) و ۱۰ کیلومتر در سمت جنوب شرق (در جهت جریان رود) تراکم فروچاله‌ها به حداکثر رسیده است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، توزیع فضایی فروچاله و عوامل کنترل و تشکیل فروچاله با استفاده از روش وزن شواهد در محیط GIS موردبررسی قرار گرفت. پیش‌بینی وقوع آینده نیاز به درک شرایط و فرآیندهای دخیل در ایجاد فروچاله دارد. مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد و وقوع فروچاله‌ها در محدوده موردنظر به ترتیب شامل: تراز آب‌های زیرزمینی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و دامنه ارتفاعی می‌باشد. افت تراز آب‌های زیرزمینی و وزن‌های به‌دست‌آمده حاکی از بیشترین تعداد فروچاله در تراز ۱۶۶۲-۱۶۳۰، با اختلاف ۳۲ متری می‌باشد. بالاترین حساسیت در زمین‌شناسی مربوط به سازند آهک است که دلیل آن انحلال و ریزش‌های است که در این نوع لیتولوژی به وقوع می‌پیوندد و در مکانیسم تشکیل فروچاله

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]

دخیل است. درزمانی که سطح آب‌های زیرزمینی بالا بوده سازند مذکور انحلال پیداکرده و بعد از اُفت آب‌های زیرزمینی ناشی از برداشت بی‌رویه، دچار ریزش شده و در ایجاد فروچاله‌ها نقش اساسی داشته است. در کاربری اراضی بیشترین اثر مربوط به زمین‌های زراعی است که نشان‌دهنده استحصال بی‌رویه آب توسط کشاورزان است. به دلیل شیب زیاد مناطق کوهستانی و سرعت آب، شدت و مقدار نفوذ کم است و آب سرازیر شده به دشت‌های پایین‌دست منجر به انحلال سازندهای آهکی و ایجاد فروچاله می‌شود. بر اساس وزن دهی و ارزش‌گذاری دامنه ارتفاعی ۱۶۷۴-۱۵۸۳ بیشترین تراکم و وزن در ایجاد فروچاله را دارا می‌باشد. سقوط و فروپاشی پوشش فروچاله ممکن است باعث آسیب شدید مناطق مسکونی، مناطق کشاورزی، سازه‌های مهندسی و تهدید جانی انسان‌هایی شود که در مسیر فاجعه‌بار مکانیسم وقوع فروچاله قرار دارند. پیامد ناشی از آبگیری سد اکباتان، کاهش حقآبه حوضه قره‌چای است که به همراه حفر چاه‌های عمیق در نیروگاه شهید مفتح، باعث اُفت شدید تراز آب‌های زیرزمینی و ایجاد فروچاله‌ها شده است. آماده‌سازی نقشه‌های خطر از ملاحظات آینده‌نگری برای تحقیقات فروچاله‌ها است. با استفاده از نقشه حساسیت زمین به فروچاله‌ها و نقشه خطر می‌توان مقدار خسارات جانی و مالی را کاهش داد. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های محبوبی اردکانی (۱۳۸۴)، گونگیو، وانفانگ (Gongyu & Wanfang، ۱۹۹۹)، حیدری و همکاران (Heidari، ۲۰۱۱)، کریمی و همکاران (۱۳۹۲)، همخوانی دارد که این مهم نشانگر کاربردی بودن مدل بکار برده شده در تهیه و ترسیم نقشه خطر در منطقه فامنین- کبودرآهنگ است. درنهایت باید اذعان نمود که هرچند عوامل محیطی در ایجاد فروچاله‌ها نقش کلیدی دارند ولی ایجاد اغتشاش در شریان‌های اصلی محیط و قطع ارتباط آبخوان‌ها با بخش‌های دیگر یک سفره آب زیرزمینی، به‌واسطه احداث سد و غیره درافت سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی نقش اساسی دارند که نباید مورد غفلت قرار گیرد. احداث سد اکباتان بر روی رودخانه یلفان، رشد غده‌ای شهر همدان و شهرک‌های اطراف و نیاز بیشتر به منابع آب در قسمت آبخیز به همراه افزایش تقاضای آب در پایین‌دست به خاطر نیروگاه برق و حفر بیشتر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق از عواملی هستند که درافت آب زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین عامل اثرگذار در ایجاد فروچاله‌ها نقش اساسی داشته‌اند.

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در طی روند پژوهش و نتایج به‌دست‌آمده پیشنهادهای ارائه‌شده در این زمینه به شرح زیر می‌باشد:

- هرچند نمی‌توان از نیازهای روزافزون انسان به منابع آب صرف‌نظر نمود ولی رعایت حقآبه های زیست‌محیطی در مناطق مختلف از بروز چنین مشکلاتی جلوگیری می‌نماید.
- رعایت حقآبه‌های زیست‌محیطی، به این معنی است که از آب‌های زیرزمینی و سطحی به‌گونه‌ای استفاده شود که تعادل لندفرم های ژئومورفولوژیکی منطقه حفظ شود.
- مسلماً اگر درصدی از منابع آب از سرچشمه حوضه‌ها به پایاب حوضه اختصاص داده شود و از منابع آب زیرزمینی در حد معقول بهره‌برداری گردد، خروجی نهایی بهره‌برداری از منابع آب منفی خواهد ماند و تعادل لندفرم های محیطی بر هم نخواهد خورد.
- استفاده از روش‌های نوین آبیاری کشاورزی برای به حداقل رساندن مصرف و هدر رفت آب.
- کنترل دقیق سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، برای برنامه‌ریزی و جلوگیری از وقوع فروچاله.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]

- درنهایت با توجه به نقشه‌ی نهایی خطر فروچاله، از ساخت‌وسازهای مسکونی، تجاری و کاربری‌های کشاورزی در مناطق پرخطر جلوگیری شود و این مناطق به‌عنوان مناطق ممنوعه قلمداد گردد تا از ایجاد فروچاله‌های بیشتر ممانعت شود.

منابع

امیری، منوچهر؛ هادی نظری پویا و حبیب‌الله مظاهری. ۱۳۸۳. علل و مکانیسم وقوع فروچاله ها در دشت فامنین - کبودرآهنگ. *فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی*، **۷۳**: ۱۸۶-۱۷۲.

دادستان، احمد؛ ایمان انتظام سلطانی و محمدجواد بلورچی. ۱۳۸۴. *مجموعه مقالات کنفرانس بررسی خطرات فروچاله ها در مناطق کارستی (با تأکید ویژه‌بر فروچاله های همدان)*. شرکت آب منطقه‌ای غرب کرمانشاه، ۱-۲۲.

رئیسی اردکانی، عزت‌الله. ۱۳۸۴. *مجموعه مقالات کنفرانس بررسی مخاطرات فروچاله در مناطق کارستی*، چاله‌های کارستی حادثه‌ساز و پتانسیل ایجاد آن در ایران با تأکید بر فروچاله ی همدان. شرکت آب منطقه‌ای غرب کرمانشاه، ۱۲-۱.

سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، *اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان همدان*، ۱۳۹۵.

علیزاده، امین. ۱۳۹۰. *اصول هیدرولوژی کاربردی*، چاپ سی و دوم. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.

قربانی، محمدصدیق؛ فرج‌الله محمودی، مجتبی یمانی و ابراهیم مقیمی. ۱۳۸۹. نقش تغییرات اقلیمی کواترنر در تحول ژئومورفولوژیکی فروچاله های کارستی (مطالعه موردی: ناهمواری شاهو، غرب ایران). *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی*، **۷۴**: ۱-۱۶.

کرم، امیر؛ پرویز ضیائیان و نعیمه السادات محصل همدانی. ۱۳۹۲. بررسی عوامل مؤثر در وقوع فروچاله های ابرکوه و تهیه‌ی نقشه‌ی خطر نواحی مستعد بروز آن. *کاوش‌های جغرافیای مناطق بیابانی*، سال اول، **۱**: ۳۴ - ۱۷.

کریمی، حاجی؛ پرویز گرایی و محسن توکلی. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی خطر وقوع فروچاله با استفاده از رگرسیون چند متغیره، مطالعه موردی: فروچاله‌های ریزشی دشت جابر، استان ایلام. *مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته*، تابستان ۹۱، ۶: ۵۳-۶۲.

کریمی، مرتضی؛ علی‌اصغر قنبری و شهرام امیری. ۱۳۹۲. سنجش خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری از پدیده فرونشست زمین مطالعه موردی: منطقه ۱۸ شهر تهران. *مجله علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)*، سال سوم، ۱ (پیاپی **۸**): ۳۷-۵۶.

محبوبی اردکانی، احمدرضا؛ سید عباس هاشمی. ۱۳۸۴. *مجموعه مقالات کنفرانس بررسی مخاطرات فروچاله در مناطق کارستی*، بررسی علل نشست عمومی زمین و چاله‌های فرونشستی در دشت فامنین با نگرش ویژه‌بر موقعیت نیروگاه شهید مفتح (با تأکید ویژه‌بر فروچاله های همدان). شرکت آب منطقه‌ای غرب کرمانشاه، ۱-۱۵.

وزارت نیرو، *شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان همدان*، ۱۳۹۵.

وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور؛ *برگ ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ نقشه‌های زمین‌شناسی استان همدان*، کبودرآهنگ،۱۳۸۳.

وزارت راه و شهرسازی کشور، *اداره کل راه و شهرسازی استان همدان*، ۱۳۹۵.

وزارت کشور، سازمان تقسیمات سیاسی کشور، *تقسیمات سیاسی استان همدان*،۱۳۹۵.

ولیزاده، رسول؛ بهروز یعقوبی کیکله و حسن موسیوند. ۱۳۸۴. *مجموعه مقالات کنفرانس بررسی خطرات فروچاله ها در مناطق کارستی*، تحلیلی بر فروچاله‌های دشت مرکزی. همدان شرکت آب منطقه‌ای غرب کرمانشاه، ۱-۱.

Dolores, M. F.G. Fidelibus, and s. Giuseppe. ۲۰۱۱. Human-induced hydrogeological changes and sinkholes in the coastal gypsum karst of Lesina Marina area (Foggia Province, Italy). Engineering Geology, ۱۱۸: ۱۹-۱.

Gao, Y. ۲۰۰۲. Karst Feature Distribution in SoutheasternMinnesota: Extending GIS-Based Database for Spatial Analysis and Resource Management (PhD Thesis). University of Minnesota.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]

Gongyu, L. Z. Wanfang. ۱۹۹۹. Sinkholes in karst mining areas in China and some methods of prevention. Engineering Geology, **۵۲**: ۵۰–۴۵.
Gutierrez, F. A.H. Cooper and K.S. Johnson. ۲۰۰۸. Identification, prediction, and mitigation of sinkhole hazards in evaporite karst areas, Environ Geol, v. **۵۳**: ۱۰۲۲–۱۰۰۷.
Heidari, M. G.R. Khanlari, A.R. Taleb Beydokhti and A.A. Momeni. ۲۰۱۱. The formation of cover collapse sinkholes in North of Hamedan, Iran. Geomorphology, **۱۳۲**: ۸۶–۷۶.
Newton, J. S. ۱۹۸۷. Development of sinkholes resulting from man's activities in the Eastern United State, United State, United State Geological Survey, Circular ۹۶B, ۵۴B, Bibliography, ۴۰.
Ozdemir, A. ۲۰۱۵. Investigation of sinkholes spatial distribution using the weights of evidence method and GIS in the vicinity of Karapinar (Konya, Turkey). Geomorphology, **۲۴۵**: ۵۰–۴۰.
Margiotta, S. S Negri, M. Parise and R. Valloni. ۲۰۱۲. Mapping the susceptibility to sinkholes in coastal areas, based on stratigraphy. geomorphology and geophysics, Nat Hazards,v **۶۲:** ۶۷۶–۶۵۷.
Varnes, D. J. ۱۹۸۴. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice UNESCO, Paris.
William, W. B. ۱۹۸۸. Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains. Oxford University Press.
www.earthexplorer.usgs.gov

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.71]