مروری بر عوامل ایجادکننده فروچاله و تأثیر نوع خاک بر شکل‌گیری آن

مقاله علمی- پژوهشی

واحد قیاسی*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ایران
شیوا دشتی فامیلی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول : V.ghiasi@malayeru.ac

دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹- پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵
صفحه ۳۲-۱۵

چکیده

بررسی عوامل موثر بر ایجاد فروچاله‌ها و تاثیر نوع خاک بر شکل گیری آن در این مقاله مورد بررسی قرار خواهد گرفت. فرونشست‌ها می‌توانند موجب تخریب سیستم‌های آبیاری و خاک‌های حاصلخیز کشاورزی، خسارت به چاه‌ها در منطقه‌های فرونشست روستایی و شهری، تغییر هیدرولوژی منطقه و ایجاد سیلاب شوند و به طور معمول خسارت‌های ناشی از فرو نشست‌ها و شکاف‌های زمین ترمیم ناپذیر پرهزینه و مخرب می‌باشند. پس از شناخت مکانیزم فروچاله‌ها و تامین داده‌ها و اطلاعات کافی از محل، شرایط لازم جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها فراهم می‌آید در این شرایط داده‌های جمع‌آوری شده اساس کار را برای تفسیر و شناخت شرایط و اشکال مختلف کار است که در وقوع فروچاله‌ها موثر هستند را فراهم می‌آورد. این بررسی براساس جمع آوری اطلاعات از طریق منابع اسنادی، کتابخانه‌ای، تجربی و روش تحلیل محتوا صورت گرفته است. بصورت کلی نتایج حاکی از آن است که برای کنترل این پدیده باید الگوی مصرف آب عوض شود. فاضلاب‌ها تصفیه شده و مجدداً به مصرف کشاورزی برسد. کشاورزی در بعضی نقاط متوقف شود. از کشت محصولات پرآب بر، در مناطق کم آب جلوگیری بعمل آید تمام چاه‌های غیرمجاز بسته و پلمپ شود و برداشت آب زیرزمینی در مناطقی ممنوع شود و برنامه نگهداشت ذخیره آب در دستور قرارگیرد.

واژه‌های کلیدی: آبهای زیرزمینی، خاک، فروچاله

۱- مقدمه

فرونشست زمین مسئله جهانی و پدیده‌ای مرفولوژیکی است این پدیده متاثر از فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی است که ممکن است مبدل به مخاطره و تهدیدی برای انسان و دستاوردهای انسانی شود. فرونشست اگرچه در تمامی شرایط اقلیمی دیده می‌شود (قیاسی و نجفی،۱۴۰۱، بخشی پور و همکاران ۲۰۰۹). اما در مناطق خشک و نیمه خشک دارای بیشترین پراکندگی است (قیاسی و همکاران، ۲۰۲۱). پارامترهای اقلیمی از عوامل مهم تاثیرگذار در این پدیده می‌باشند (قیاسی و نژدقربانی، ۱۴۰۱). بارش ناچیز دمای بالا و نیاز آبی دشت‌ها و شهرها منجر به استخراج بیش از حد آب زیرزمینی می‌گردد بنابراین، وقوع مخاطره فرونشست در این مناطق به مقدار زیاد مرتبط با استخراج بی‌رویه و درازمدت از آبهای زیرزمینی است و باعث تغییر شیب رودخانه‌ها و جاده‌ها فرو رفتن تدریجی دکل‌ها و سازه‌ها ریزش جداره چاه‌ها تغییر شیب زمین و افزایش سیل‌خیزی منطقه گردد (قیاسی و مولائی،۱۴۰۱). این پدیده به دلیل عوامل گوناگونی از جمله عوامل طبیعی مانند زلزله و آتشفشان، فعالیت گسلی، فرونشست ناشی از بالا آمدن سطح دریا، انحلال در سنگ‌ها، اکسایش، فشردگی رسوبات آلی، توسعه چاله در زمین‌های کارستی و یا ناشی از فعالیتهای انسانی شامل برداشت بی‌رویه سیالات از زمین نظیر آب، نفت، گاز و معدن کاری مثل استخراج زغال سنگ و طلا، گوگرد و مواد جامد دیگر همچنین

ساخت و سازهای زیرزمینی و افزایش بار بر اساس ساخت و ساز زیاد را می‌توان نام برد (قیاسی و توقع همدانی،۱٤۰۱). بر اساس برآورد کارشناسان بیش از ۱۵۰ شهر از شهرهای بزرگ دنیا با تعداد گسترده ای از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه در معرض این پدیده‌اند (صفاری، ۱۳۹۵).

به طور معمول فروچاله به حرکت قائم رو به پایین سطح زمین گفته می‌شود که می تواند با بردار اندک افقی همراه باشد که بیان می‌گردد (قیاسی و مداح،۱٤۰۱). این تعریف پدیده‌های همچون زمین لغزش‌ها را به دلیل اینکه حرکت آنها دارای بردار افقی قابل توجهی است و همچنین نشست در خاک‌های دستی که دارای مکانیسم متفاوتی می‌باشد، شامل نمی‌شود (قیاسی و اسکندری،۱٤۰۱). موسسه زمین شناسی آمریکا سوبسیدانس را فرونشینی بخش بزرگی از پوسته زمین یا جابجایی بدون سمت و سوی مواد سطحی به سمت پایین و به طور عمودی (غیر افقی و کمی افقی) می‌داند. حرکت از نظر شدت و وسعت و میزان مناطق درگیر محدود نبوده و نتیجه چنین حرکاتی در دشت‌های ایران بیشتر به صورت درزها و ترک‌های بزرگی رخنمون یافته که اصطلاحاً به آن شق گفته می‌شود. به طور کلی شق به درزها شکاف‌ها یا ترک‌هایی گفته می‌شود که در اثر فرونشست زمین به وجود می‌آیند (پورخسروانی، ۱۳۹٤).

سینکهول‌ها مشخص‌ترین آثار عملکرد زیرسطحی کارست، در یک منطقه کارستیک محسوب می‌گردند. معمولاً بر اثر عبور جریان آب از بخش‌های سطحی به سمت بخش‌های عمیق‌تر زمین تا رسیدن به سطح اساس اشکال کارستی زیادی می‌توانند به وجود آیند (قیاسی و رشنو،۱٤۰۱). عبور آب از لابلای طبقات زمین همراه با انحلال و شستشوی خاک‌ها و سنگ‌ها می‌باشد که موجب افزایش تخلخل ثانویه در سنگ‌ها شده و موجب توسعه درزها، گسل‌ها، صفحات لایه بندی گردیده و در نتیجه خرد شدن توده های سنگی و تبدیل آنها به قطعات کوچکتر را به همراه خواهد داشت. نتیجه این عمل در برخی از موارد ایجاد فروچاله ها در بخش سطحی زمین است، در همین راستا پدیده انحلال که بخشی از فرایند هوازدگی شیمیایی نیز محسوب می‌گردد و همراه توده‌های خاکی و قطعات خرد شده سنگی که این نیز بخشی از فرایند هوازدگی فیزیکی می‌باشد موجب حضور بیش از پیش فروچاله‌ها در نواحی سطحی زمین در مناطق کارستیک می‌گردد. فروچاله‌ها در ارزیابی‌های صحرایی به صورت فروافتادگی‌های زمین با شعاع دایره‌ای از پایین‌ترین نقطه در مرکز آنها مشخص می‌گردند و به عنوان شواهدی از عملکرد فرآیندهای کارست سطحی و زیرسطحی تلقی می‌گردند که معمولاً کار زهکشی را انجام می‌دهند (خانلری،۱۳۸٤).

اولین مطالعه رسمی فروچاله‌ها توسط سازمان یونسکو در ۱۹۵۰ انجام شد که به بررسی تفصیلی ٤۵ فروچاله در ۱۵ کشور جهان پرداخت و در مطالعه ایجاد فروچاله‌ها در معادن زغال سنگ و سنگ آهن مناطق کارستی چین در یافتند که هجوم آب از آبخوان‌ها، خلاءهای موجود در خاک، وزن خاک و فرآیند اشباع به تشکیل فروچاله‌ها کمک می‌کند. این پدیده می‌تواند به خیابان‌ها پل‌ها بزرگراه‌ها آسیب زده خطوط آبرسانی گاز و فاضلاب را مختل کرده، به پی ساختمان‌ها آسیب رسانده و موجب ترک خوردگی آنها شود در این حالت سازه‌هایی که وسعت زیادتر و ارتفاع بیشتری دارند آسیب پذیرترند. به عنوان نمونه خطوط راه‌آهن سدهای خاکی تصفیه خانه‌ها و کانال‌ها از آسیب‌پذیری زیادتری برخوردار هستند، مطالعه‌ی علت ایجاد پدیده فرونشست جهت اتخاذ راهکارهای مناسب برای مقابله با آن از اهمیت زیادی برخوردار است (پورخسروانی، ۱۳۹٤).

۲- فاکتورهای مقدماتی تشکیل فروچاله

فروچاله‌ها اصولا یکسری فرورفتگی‌های قیفی شکل شبیه ساعت شنی در زمین‌های آهکی، تبخیری و رسوبات ریزدانه و چسبنده رسی و مارنی بوده که به خاطر آب‌های زیرزمینی و صنعتی با عملکرد انحلالی و یا فرورفتگی سقف سنگ‌ها و خاک‌های پیرامونی ایجاد و سپس با رژیم آب‌های موجود در منطقه تغییر و تکوین می‌یابند. بدین صورت که سطح زمین حول یک نقطه داخلی زهکشی فرسایش می‌یابد. زمین شناسان این فرورفتگی‌ها را دولین می‌نامند، اما مهندسان آنها را فرو چاله می‌خوانند. قطر فروچاله‌ها از یک متر تا یک کیلومتر متغیر بوده است. اصولاً فروچاله‌ها و کارست‌ها از نظر سنگ شناسی و نحوه تشکیل و مکانیزم‌های کنترلی توسط عوامل ذیل ایجاد می‌گردند.

-فاکتور فرسایش تدریجی: که تحت فرآیند مذکور آب با ترکیب با گازدی اکسید کربن باعث تجزیه آهک می‌گردد و در مناطق نمکی انحلال نمک و مارن‌های نمکی در آب سبب توسعه فروچاله و کارست منطقه می‌شود.

-فاکتور فرسایش : که با عملکرد آب‌های سطحی، زیرزمینی و فرسایش در توسعه مجاری و ایجاد مجاری جدید نقش اساسی دارند.

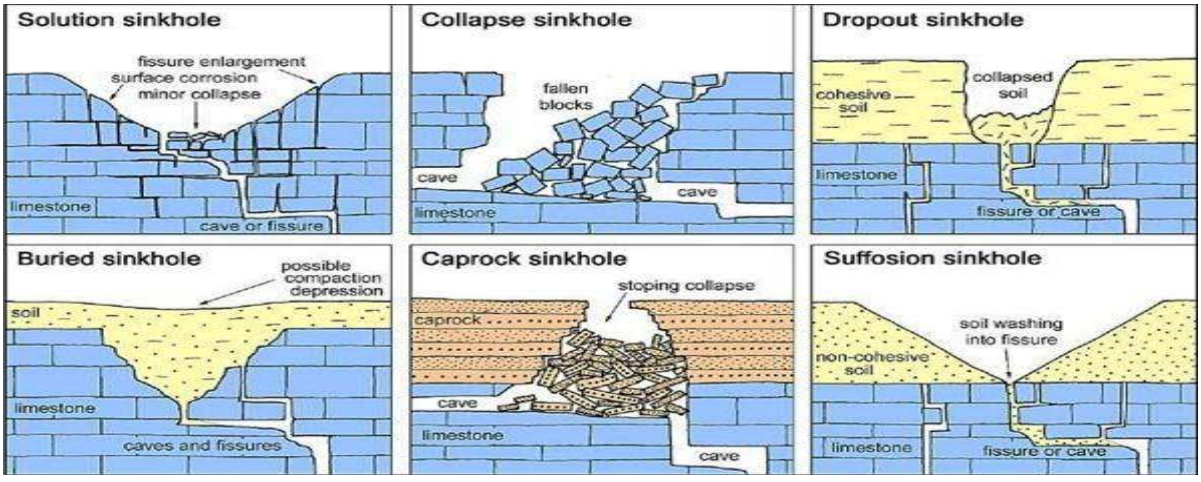
-فاکتور پرکنندگی مواد: که بر اساس لیتولوژی قرارگیری فروچاله عامل فوق نقش اساسی در توسعه مخروط و شفت اصلی تشکیل فروچاله را دارند.

-فاکتور فشار آب و هوا: که در توسعه فضاهای تخلخلی نقش اصلی و باعث توسعه نهایی مجاری ارتباطی در فروچاله و کارست می‌گردد. برای درک بهتر از ظاهر فروچاله، درشکل (۱) نمونه‌ای از فروچاله‌های دشت کبودرآهنگ همدان نشان داده شده است (نظری و همکاران، ۱۳۹۰).

شکل ۱. تصویر یکی از فروچاله‌های دشت‌های شمال همدان (نظری و همکاران،۱۳۹۰)

۳- انواع فروچاله‌ها

فروچاله‌های انحلالی عمدتاً از انحلال آهسته در زیر لایه‌های آهکی و تبخیری به کمک فروریختگی‌های کوچک مقیاس ایجاد می‌شوند. در شکل (۲) انواع فروچاله نشان داده شده است (نجف آبادی و لادریان ۱۳۹۰).



شکل ۲. انواع فروچاله (نجف آبادی و لادریان ۱۳۹۰)

٤-تأثیر پارامترهای مختلف بر تشکیل فروچاله‌ها

توسعه فروچاله در مناطق بیابانی با بارش بسیار کم بعید است. با این حال، چند مورد فرونشست زمین و توسعه گودال در حومه شهر کویت رخ داد. چند فروچاله به صورت ناگهانی و سریع ایجاد شدند که منجر به خسارات اقتصادی زیادی شد. کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و نفوذ رو به پایین آبیاری اضافی به عنوان عوامل اصلی در توسعه فرونشست زمین در کویت پیشنهاد می‌شود. شهرنشینی و آبیاری بیش از حد باغ‌ها به احتمال زیاد محرک‌های فرونشست ناگهانی و سریع زمین هستند (شکور، ۱۹۹٤). مطابق تحقیق صورت گرفته، دشت فامنین کبودراهنگ در شمال استان همدان واقع شده و ضخامت رسوبات سفره آبدار آن به ۷۰ تا ۱۰۰ متر می‌رسد که بهره‌برداری از آن بیش از ظرفیت سفره بوده و سالیانه حدود ۲/۵ الی ۳ متر افت سطح آب سفره وجود دارد. در طی ده سال اخیر حداقل ۱۹ فروچاله کوچک و بزرگ در سطح دشت به وجود آمده که سبب نگرانی ساکنین دشت شده است.

بر اساس پیمایش‌ها، بررسی‌ها و اندازه گیری‌های صحرایی مشخصات و مختصات این فروچاله‌ها شناسایی، ثبت و از نتایج حاصل مشخص گردید که وجود حفره‌های انحلالی، مجاری آب، سیستم درز و شکاف در سنگ بستر آهکی و پمپاژ آب موجود در آنها عامل اصلی تولید فروچاله‌های منطقه بوده است. عواملی چون ماسه شویی لایه‌ها، خروج گاز از چاه‌ها و افت سریع سطح آب زیرزمینی نیز در تسریع وقوع فروچاله‌ها دخیل هستند، لذا جهت جلوگیری از پدیده فوق بایستی از کف کنی و حفاری در سطح بستر خودداری شود و جهت جلوگیری از ماسه شویی چاه‌های آب بایست گراول پک مناسب استفاده شود، تمامی چاه‌هایی که در سنگ بستر حفاری شده و آبدهی بالایی دارند تعطیل شود. لازم به توضیح است که فروچاله‌های منطقه در محل تلاقی مخروط افت چاه‌ها قرار نگرفتند همچنین در هنگام فرو نشست برای هر فروچاله، گل آلودگی آب تنها در یک چاه مشاهده شده است.

به همین علت افت در محل تلاقی مخروط‌های افت تنها عامل اصلی تولید فروچاله در منطقه نمی‌باشد. به طور کلی در حال حاضر بهره برداری از آب موجود در سنگ بستر منطقه فامنین بایست متوقف شود و تنها هنگامی که آب موجود در سفره رسوبی فوقانی به اتمام برسد می‌توان از آب کارست منطقه استفاده نمود (امیری و همکاران،۱۳۸۳). وجود چاه‌های مجاور، مقادیر بالای پیریت در شیستهای پیرامون‌دشت‌ها، توده‌های معدنی‌آهن با کانیهای شاخصی چون اسکورلیت، پستاسیت، پرهنیت و مقادیر بالایی از دی اکسید کربن آزاد محلول در آب مناطق فروچاله‌ها و مناطق گازدار نشان می‌دهند که محلولهای فعال گرمایی و فازهای پنوماتولیتی غنی از دی اکسید کربن به سیستم درز و شکاف و محیط آب زیرزمینی این مناطق وارد شده است. سنگ بستر منطقه در بعضی از جاها از شیست، آهک دانه‌درشت و شیست تشکیل شده و استعداد چندانی برای انحلال و تشکیل کارست درونی از خود نشان نمی‌دهند. ولی در بعضی از جاها (منطقه فروچاله‌ها) سنگ بستر آهکی بوده و با داشتن مشخصاتی همچون توده‌ای، بایومیکرایت، ساخت استیلولیت، میان لایه‌های مارنی و آنکرسیون، گسترش‌های ملایم ناودیسی و تاقدیسی و سیستم درز و شکاف برای انحلال و تشکیل ساخت کارست درونی بسیار مستعد بوده است. در آبهای دشت‌های شمال همدان مقادیر زیادی از گاز دی اکسیدکربن با منشأ درونی انحلال یافته است که این مقادیر حتی در برخی نقاط به بیش از ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر می‌رسد. نتایج تجزیه شیمیایی آبها نشان می‌دهد که آبهای دی اکسید کربن دار منطقه به سنگهای کربناتی حمله کرده و با انحلال مقادیر بالایی از کربنات کلسیم، سبب تشکیل مجاری و حفره‌های انحلالی و توسعه سیستم درون کارست در منطقه گردیده‌اند (نظری و همکاران، ۱۳۹۰).

در سال‌های اخیر وقوع اینگونه از فروچاله‌ها در نواحی شمالی همدان حد فاصل همدان – فامنین از جمله مشکلات ژئوتکنیکی منطقه فوق می‌باشد. در این راستا نتایج مطالعات گمانه زنی صورت گرفته در حوالی فروچاله‌های منطقه مورد مطالعه بیانگر حضور یک سری نواحی ماسه‌ای مستعد رمبندگی و همچنین زون‌های انحلالی و آهکی در اعماق مختلف زمین است. بنحوی که به نظر می‌رسد شدت و بزرگی فروچاله‌های ایجاد شده ناشی از رفتار توام مصالح خاص موجود در منطقه (شامل عملکرد فیزیکی رمبندگی و تاثیر شیمیایی نواحی انحلالی) بوده که این موضوع در مطالعات گذشته تا به حال کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس در پژوهش حاضر با هدف در نظر گرفتن همزمان دو عملکرد رمبندگی و انحلال، با انجام تعداد قابل توجهی آزمایش ادومتری در نمونه‌های با شرایط کنترل شده، مشخص گردید خاک ماسه‌ای منطقه مورد مطالعه دارای درصد بالایی از پتانسیل رمبندگی بوده که با حضور نمک‌های انحلال پذیر مانند سولفات سدیم و کربنات سدیم این پتانسیل به شدت افزایش می‌یابد. علاوه بر این مشاهده گردید قابلیت رمبندگی خصوصاً در حالت وجود کربنات در خاک, به شدت تابع PH آب حفره‌ای می‌باشد.

لذا، بر اساس نتایج بدست آمده انتظار می‌رود در مناطق مستعد رمبندگی و با حضور پیوند دهنده‌های شیمیایی، در صورت ایجاد شرایط مناسب جهت حل شدن پیوند دهنده‌ها، تاثیر توام عملکرد فیزیکی رمبندگی و اثر انحلال نمک‌های سولفاتی و کربناتی، سبب افزایش شدت و بزرگی فرونشست‌ها گردد (اوحدی و گودرزی، ۱۳۸٦). اگرچه بر اساس مکانیزم رویداد و احتمالات موجود بر زمان رخداد فروچاله‌ها، می‌توان بازه زمانی نسبتاً محدودی را برای وقوع این پدیده در دشت مرکزی همدان متصور شد. اما بی توجهی به بررسی منطقه و شناسائی مناطق پر خطر عواقب جبران ناپذیری را به دنبال دارد. واقع شدن محدوده وقوع فروچاله‌های اخیر در نزدیکی مناطق شهری و روستائی ضرروت بررسی جدی در مورد مناطق با پتانسیل بالا بیش از پیش نمایان می‌کند. در شکل ۳ رخ دادن سینکهول در یک منطقه با پوشش گیاهی به تصویر کشیده شده است (ابراهیم زاده اردستانی و خانلری، ۱۳۸۸).

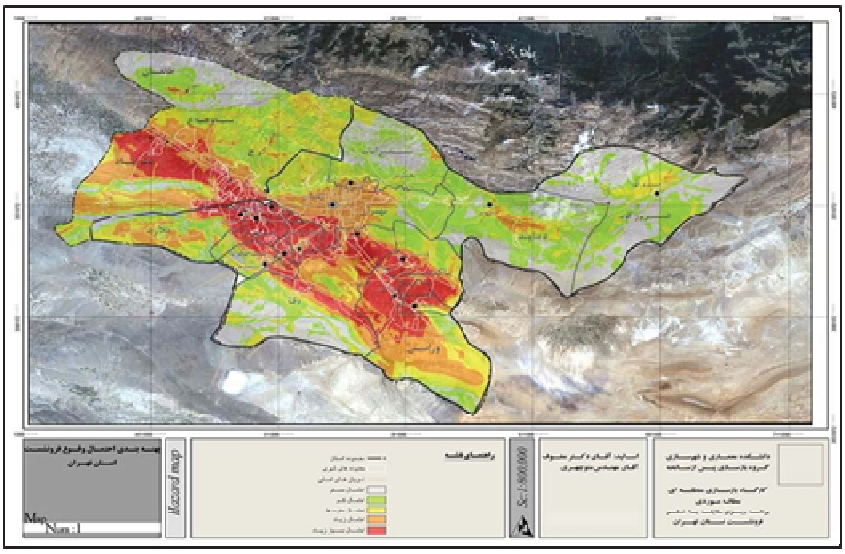
شکل ۳. رخ دادن سینکهول در یک منطقه با پوشش گیاهی (ابراهیم زاده اردستانی و خانلری، ۱۳۸۸)

استان‌های تهران و البرز با توجه به موقعیت خاص طبیعی، منطقه‌ای، تراکم بالای جمعیتی، بافت متراکم کالبدی و شریان‌های حیاتی دارای پتانسیل بالقوه‌ای در رخداد مخاطرات و ایجاد شرایط بحرانی می‌باشد.

پژوهش‌ها نشان داده است که پدیده مورفولوژیکی فرونشست در این دو استان با سرعت متفاوت در حال وقوع و گسترش می‌باشد. درپژوهشی دیگر، داده‌ها از طریق مطالعه اسناد، کتب و مقالات گردآوری شده و سه نقشه اصلی مخاطره، آسیب‌پذیری و ریسک، پس از استنتاج مؤلفه‌های اصلی و وزن‌دهی شاخص‌های فرونشست، در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی ایجاد و تحلیل می‌شوند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد آنچه باعث ایجاد خطر و مطرح شدن فرونشست به‌عنوان مخاطره و تهدید می‌گردد، عدم کنترل و مدیریت مناسب منابع و ذخایر آب‌های زیرزمینی در سطح استان است، همچنین عدم پایش مستمر منابع آب در منطقه و توسعه نامطلوب شهری در حریم فرونشست می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به منابع انسانی، اقتصادی، زیرساختی و زیست‌محیطی وارد کند. سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در استان باید متکی بر نقشه‌های خطر و متناسب با تهدیدات و خسارات ناشی از نشست‌های زمین در مناطق مستعد فرونشست باشد. شکل (٤) پهنه‌بندی احتمال وقوع فروچاله در تهران را نشان می‌دهد. مناطق وسیعی در استان تهران از جمله غرب و جنوب غربی و همچنین دشت ورامین، شهریار، کرج، نظرآباد و ساوجبلاغ در استان البرز از جمله مناطق مستعد وقوع فرونشست هستند (منتظریون و اصلانی ۱۳۹۸). توسعه فروچاله‌ها نشان دهنده یک خطر زمین‌شناسی است که اغلب به دلیل ماهیت بسیار محلی آن دست کم گرفته می‌شود. در واقع، فروچاله‌ها فقط تحت شرایط خاص رخ می‌دهند و معمولاً مناطق نسبتاً کوچکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

با وجود این ویژگی‌ها، دشواری در پیش بینی مکان دقیق و زمان سقوط ناگهانی آنها مشکلات جدی را در این چارچوب برای برنامه‌ریزان شهری در شناسایی مکانیسم و در نتیجه عامل محرک فروچاله‌ها از نظر استراتژیک ایجاد می‌کنند. در تدوین برنامه‌های مدیریتی، مقاله حاضر به منطقه مستعد فرورفتگی ایل پیانو (جزیره البا، مرکزی، ایتالیا) می‌پردازد.

همانطور که در ابتدا فرضیه شده است، ادغام بررسی‌های هیدروژئولوژیکی، همراه با مطالعه کامل نقشه‌های تاریخی و عکس‌های هوایی، نشان می‌دهد که عامل محرک اصلی در این منطقه ممکن است به پمپاژ آب از سفره کارست مربوط نباشد. درعوض، به نظر می‌رسد که فروچاله‌ها ناشی از فرسایش و فرآیندهای فرسایشی هستند که به طور کامل در رسوبات رخ می‌دهند (آرینی و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ٤. پهنه‌بندی احتمال وقوع فروچاله در تهران (منتظریون و اصلانی،۱۳۹۸)

پایش میزان دقیق فرونشست و نیز پرداختن به علت یا علل موجد آن جهت کنترل و مدیریت خطر دارای اهمیت است. با استفاده از روش تداخل سنجی راداری با دهانه ترکیبی به ارزیابی میزان فرونشست زمین در دشت کرج – شهریار می‌پردازد. جهت پردازش تصاویر راداری اخذ شده از ماهواره ان. وی. ست، از روش دانشگاه استانفورد برای پراکنده سازهای دائمی استفاده گردید. با توجه به اینکه گستره منطقه مورد مطالعه در بردارنده مراکز سکونتگاهی شهری و روستایی متعدد است و همچنین پوشش گیاهی در دشت مورد مطالعه سطح زیادی را به خود اختصاص داده است، استفاده از روش سنتی نظیر تداخل سنجی تفریقی موجب عدم همبستگی بین تصاویر ، عدم دقت در پردازش‌ها و نادرستی محاسبه میزان دقیق فرونشست می‌گردد. بر این اساس و جهت جلوگیری از این خطا از روش تداخل سنجی با طول خط مبنای کوچک استفاده گردید و اینترفروگرام هایی با طول خط مبنای زمانی و مکانی کوتاه در بازه زمانی ۲۰۰۳ –۲۰۱۰ تولید شدند. به کمک سری زمانی خط مبنای کوتاه در محیط نرم‌افزاری دوریس نرخ متوسط سالانه فرونشست با بیشینه مقدار ۱۳٦ میلی‌متر در سال به دست آمد. با توجه به اینکه علت اصلی فرونشست در مقاله استخراج بی‌رویه آب زیرزمینی و افت سطح این آب‌ها فرض گردیده است از طریق دو مدل این افت آب اثبات گردید پردازش داده‌های ماهواره گریس و نیز داده‌های هیدروژئولوژی مربوط به چاه‌ها نشان از افت سطح آب دارد. روند تغییراتی سال‌های ۲۰۰۲ – ۲۰۱۲ از طریق داده‌های گریس بین ۵+ تا ۱۵– سانتی‌متر مکعب را نشان می‌دهد. این روند نزولی از طریق پردازش داده‌های مربوط به چاه‌های پیزومتری به ترسیم هیدروگراف واحد نیز به اثبات می‌رسد. مطالعات نشان داده شده بر روی تعداد ده هزار چاه در سطح دشت مخروطی نیز نشان می‌دهد که سالانه میزان ٦۰۵ میلیون مترمکعب آب برداشت می‌گردد. از طریق قرار دادن لایه اطلاعاتی فرونشست بر روی عکس ماهواره‌ای گوگل ارث مشخص گردید مراکز مسکونی رزکان، شهریار و فردوسی و همچنین مزارع و باغات این محدوده و تمام سازه‌های مجاور با این مراکز در حداکثر خطر فرونشست قرار دارند (صفاری و همکاران، ۱۳۹۵).

در مطالعه‌ای دیگر از فروچاله‌های غیرطبیعی، از نسخه‌های مختلف مدل‌های فیزیکی فروچاله در مقیاس کوچک در آزمایش‌ها برای نظارت بر نشست سطح زمین یا فروریختن به دلیل نشت از سطح زمین استفاده شد. فاکتورهای مورد بررسی: خط لوله زیرزمینی، نوع پروفیل خاک زیرسطحی، نوع جریان آب و موقعیت نشتی در خط لوله بود. هدف نهایی استفاده از این اطلاعات برای پیش بینی خطر وقوع فروچاله به دلیل نشت از فاضلاب یا لوله‌های آب تحت شرایط مختلف خاک زیر سطحی بود. نتایج تجربی و تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که شرایط لایه‌های خاک زیرسطحی بر مکانیسم وقوع فروچاله غالب بود، اگرچه موارد دیگر نیز در ایجاد آن نقش داشته‌اند. سپس از این تحلیل برای پیش‌بینی وقوع فروچاله استفاده شد سطح ریسک تحت شرایط مختلف، یک سیستم قابل اعتماد پیش‌بینی خطر فروچاله، می‌تواند به طور بالقوه خطر آسیب به جان انسان‌ها و زیرساخت‌ها را به حداقل برساند (هایت و هی چوی، ۲۰۱۹).

بررسی‌های دیگری پیرامون تاثیر تغییرات اقلیم بر ایجاد فروچاله‌های دشت میناب صورت گرفته است. آب و هوا که یکی از ارکان بنیادین زندگی بشر محسوب می‌شود و با پیشرفت و توسعه در جهان حفاظت از آن روز به روز اهمیت بیشتری می‌یابد. تغییر آب و هوایی یکی از پیچیده‌ترین مشکلاتی است که بشر در حال و آینده با آن مواجه است.

انسان با بی‌توجهی به قوانین حاکم بر طبیعت و عدم شناخت مسائل زیست محیطی مرتبط با آن عامل اصلی این تغییرات محسوب می‌گردد. تغییر اقلیم یکی از مهمترین چالش‌های قرن جاری است. در شکل (۵) ایجاد فروچاله‌ها در کنار زمین کشاورزی در دشت میناب نشان داده شده است.

شکل ۵. ایجاد فروچاله‌ها در کنار زمین‌های کشاورزی دشت میناب (زارعی و عطایی،۱۳۹۷)

جهت بررسی و تهیه نقشه‌های شکستگی زمین و فروچاله‌های دشت میناب از نرم افزار گوگل ارث استفاده شده و نتایج نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی که در سالهای اخیر باعث کاهش بارش‌ها و خشکسالی در دشت میناب از یک طرف و تداوم و برداشت بی رویه آب از منابع آبی از طرف دیگر باعث ایجاد شکستگی‌های زمین و فروچاله در منطقه شده است. در سال‌های اخیر طی به وجود آمدن پدیده فرونشست زمین روستای زیادی تحت محاصره فروچاله‌ها قرار دارند.

با وجود پیشروی این پدیده در روستاهای نظیر گورزانگ، کاشرانی، کناران، محمودی و .... ساکنین روستاها با ترک خانه‌های خود از ترس فرونشست در این فروچاله‌های به اطراف شهر مهاجرت کردند. این در حالی است که پیشروی فروچاله‌ها را که کارشناسان و محققان زمین شناسی از آن به عنوان زلزله خاموش یاد می‌کنند در حال پیشروی به سمت منازل مسکونی در روستاها و اطراف شهر است. نتایج نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی که در سالهای اخیر باعث کاهش بارش‌ها و خشکسالی در دشت میناب از یک طرف و تداوم برداشت بی‌رویه آب از منابع آبی دشت و آبخوان‌های میناب که دلیل اصلی کاهش سفره‌های زیرزمینی است از طرف دیگر باعث ایجاد شکستگی‌های زمین و فروچاله‌ها در منطقه شده است (زارعی و عطایی، ۱۳۹۷).

طی تحقیقات صورت گرفته پیرامون فروچاله های ریزشی دشت جابر ایلام و با توجه به اینکه کاربری عمده دشت جابر کشاورزی می‌باشد، موضوع اینگونه بیان گردید که، همواره امکان وقوع فروچاله و مخاطرات جانی و مالی در این دشت وجود داشته و انجام یک پهنه‌بندی خطر وقوع فروچاله می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای بسیار موثر باشد. برای این کار ابتدا تهیه لایه‌های اطلاعات مربوط به فروچاله‌های منطقه، زمین شناسی منطقه، شیب کاربری اراضی، خط کنیک، شبکه آبراهه، عمق سطح آب زیرزمینی و ضخامت آبرفت به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید.

سپس با استفاده از روش آماری رگرسیون چند متغیره و به کمک نرم‌افزار (SPSS) نقش عوامل فوق در وقوع فروچاله‌های منطقه ارزیابی گردید. بر اساس نتایج به دست آمده به ترتیب عوامل شیب دامنه، سنگ شناسی، فاصله از خط کنیک، ضخامت رسوب، کاربری اراضی و عمق سفره آب زیرزمینی بیشترین تاثیر را بر روی حقوق فروچاله‌های منطقه داشته اند.

با استفاده از این عوامل نقشه پهنه بندی خطر وقوع فروچاله در منطقه تهیه گردید. نتایج نشان می‌دهد که ۸۱ درصد فروچاله‌های منطقه در کلاس‌های خیلی پر خطر و پر خطر قرار گرفتند که بیانگر صحت مدل ارایه شده می‌باشد. تعداد ۳۲ فروچاله در دشت جابر بدره استان ایلام وجود دارند که اکثر آنها به صورت ریزشی ایجاد شده‌اند و برخی از فروچاله‌ها در داخل زمین‌های کشاورزی ساکنان این منطقه تشکیل گردیده و مابقی در حاشیه دشت و در داخل سازند گچساران تشکیل شده‌اند. از آنجا که اهالی منطقه در این دشت کشاورزی می‌نمایند و با تجهیزات کشاورزی مانند تراکتور، کمباین و غیره در داخل زمین‌ها تردد می‌نمایند نگرانی از وقوع فروریزش و تلفات جانی و مالی در این ناحیه می‌رود. با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از روش آماری رگرسیون چند متغیره به کمک نرم افزار (SPSS) نقش عوامل مختلف ارزیابی گردید و یک نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع فروچاله در منطقه تهیه گردیده است (کریمی و همکاران ۱۳۹۲).

از نگاهی دیگر شناخت صحیح و تشخیص علت وقوع پدیده اهمیتی بسیار زیاد و انکار ناپذیر در تحلیل کنترل و مدیریت آن خواهد داشت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که هر چند اکثر پژوهش‌های صورت گرفته علت تامه این پدیده را برداشت آزاد از منابع آب زیرزمینی می‌دانند. اما، اگر در یک مطالعه سیستمی در دشت‌ها و ارتفاعات اطراف آنها به طور همزمان و یکپارچه بررسی گردد، نتایج جدیدی به دست خواهد آمد. نتایج حاکی از آن است که فرونشست زمین در دشت‌های داخلی بیشتر از آن که مربوط به برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی باشد ناشی از حرکات پوسته‌های نرم آن هم به صورت زوجی جهت رسیدن به تعادل است، به عبارت دیگر فرونشست دشت‌ها در یک سیستم تعادلی و همزمان با پدیده بالا آمدگی در ارتفاعات مجاور آنها صورت می‌گیرد که از جمله مصادیق بارز دوالیتی می‌باشد. دوالیتی مفهومی است که به بیان تضاد بین دو پدیده مرتبط می‌پردازد و معنی هماهنگی منظمی از دو قسمت متضاد یا مکمل که در یک کل عمل می‌کنند گفته می‌شود. هر چند شاید بتوان برداشت مازاد از منابع آب زیرزمینی را از جمله عوامل تشدید کننده پدیده فرونشست تلقی نمود. اما قبول آن به عنوان علت تامه این پدیده نمی‌تواند صحیح باشد.

تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای توسط محققین مختلف در این زمینه صورت گرفته است از جمله بررسی فرونشست دشت اشتهارد (توماس و همکاران،۲۰۱۰)، مطالعه فرونشست زمین در شهر مورسیا در اسپانیا با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری (شنگ هسیه و همکاران، ۲۰۱۱)، مطالعه فرونشست زمین در دشت پینگ تانگ در جنوب غرب تایوان با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری که بیان می‌کند برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی باعث ایجاد فرونشست به میزان بیش از ۱۱/۵ سانتی‌متر در سال در این منطقه گردیده منعکس است. با این همه کامیاب ضمن بررسی دلایل ایجاد شکاف و فرونشست زمین در دشت مهیار شمالی بیان می‌کند که شکاف‌ها از حدود ۳۰ سال قبل در منطقه مشاهده شده‌اند و از راستای ساختمانی منطقه پیروی می‌کنند. به طور کلی تحقیقات صورت گرفته فرونشست زمین را به برداشت بی رویه از آب های زیرزمینی نسبت می‌دهند و در نتیجه به وجود آمدن شق‌ها به عنوان یک پدیده مخاطره‌آمیز به فعالیت‌های بشری نسبت داده شده است (پورخسروانی، ۱۳۹٤). شرایط زمین شناسی کارست به ۵ رده تقسیم می‌شود که جدول (۱) پارامترها را توضیح می‌دهد.

فروچاله‌ها از نظر شکل ظاهری و نوع، حفره‌هایی هستند که در سطح زمین‌های آهکی و یا دیگر سنگ‌های انحلال پذیر بوجود می‌آیند، تقریباً استوانه‌ای و قیفی شکل‌اند و متوسط ابعاد آنها حدود سه متر است. در پژوهشی دیگر که شهرستان میناب که در غرب استان هرمزگان واقع شده صورت گرفته و از جمله مناطقی است که با معضل فروچاله‌ها روبروست. در سالهای اخیر وقوع فروچاله دشت‌های این شهرستان، خسارت‌های چشمگیری به زمین‌های کشاورزی و نیز تاسیسات منطقه وارد آورده است. در پژوهش انجام شده سعی شده با مطالعه و بررسی فروچاله‌های رخ داده در دشت میناب، به شناسایی نواحی مستعد در سال‌های آتی و نیز ارایه پیشنهاداتی جهت کاهش خسارات ناشی از این رخداد این پدیده پرداخته شده است. جهت ارزیابی عوامل موثر در وقوع فروچاله‌ها از سیستم اطلاعات جغرافیایی و میزان مصرف بارندگی و مصرف آب بهره گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که عوامل انسانی نظیر بهره‌برداری از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در منطقه و بهره برداری بیش از حد از آب زیر زمینی از مهمترین عوامل موثر بر بروز فروچاله‌ها در دشت میناب می‌باشند (مصلحی و

شریفی، ۱۳۹۷). در بررسی دیگر در شمال استان همدان فروچاله‌های بزرگ و خطرناکی به وجود آمده است و در سال‌های اخیر بر مبنای حفاری‌های انجام شده در دشت و بیرون زدگی‌های پیرامون آن سنگ بستر منطقه از آهک‌های الیگومیوسن تشکیل شده و بر اساس بررسی‌های صحرایی، اندازه‌گیری سیستم‌های درزو شکاف، بررسی مقاطع نازک، وضعیت حفاری و آبدهی چاه‌ها، نتایج حاصل از آزمایش‌های شیمی آب و برآورد پارامترهای چون اندیس اشباع، اندیس پایداری، میزان دی اکسید کربن آزاد محلول و فشار اولیه گاز دی‌اکسید کربن حاکم بر سیستم مشخص می‌شود که سنگ بستر منطقه پدیده کارستیفیکاسیون را تحمل می‌کند و در آن ساختار درون کارست‌ها به وجود آمده است (امیری و نظری پویا،۱۳۸۲).

.

جدول ۱. طبقه بندی مهندسی کارست (نجف آبادی و لادریان، ۱۳۹۰)

رده	بررسی و مطالعه	حفرات	درز و شکاف	مورفولوژی، توپوگرافی	فروچاله‌ها	محل تشکیل	رده کارست
قراردادی	قراردادی	کم و کوچک- دارای مقداری قطعات جدا شده	حداقل- با نفوذپذیری ثانویه کم	تقریبا یک شکل –با شکستگی کم	کمیاب	فقط در بیابان ها و مناطق یخچالی	KI تازه
کنترل زهکشی- دوغاب ریزی	اصول قراردادی- بررسی سنگ تا عمق ۳ متر	غارهای خیلی کوچک با طول کمتر از ۳ متر	گسترده در چند متر در سطوح	شکستگی‌های کوچک و با تعداد زیاد	از نوع پر شونده با فرونشستی کوچک	در مناطق با حداقل دما	KII جوان
کنترل زهکشی	بررسی توپوگرافی- بررسی سنگ تا عمق ٤ متر	اکثرا کمتر از ۵ متر–طول در چند سطح	حفرات ثانویه- گسترده با تعداد زیادی درز و شکاف	شکستگی های وسیع – برجستگی‌های کمتر از ۵ متر	از نوع پرشونده و فرونشستی – انحلالی بزرگ	در مناطق معتدل و حاره ای با حداقل رطوبت	KIII بالغ
تزریق –کنترل زهکشی-کنترل نشست سفره	بررسی توپوگرافی- بررسی سنگ تا عمق ۵ متر	با طول بیشتر از ۵ متر در چند سطح	حفرات انحلالی بزرگ بر روی شکستگی ها	هرمی(مخروطی)- برجستگی‌های ۵ تا ۲۰ سانتیمتر- ستون های سست	انحلالی بزرگ- فرونشستی- دفنی و ریزشی پراکنده	در مناطق معتدل و گرمسیری	KIV پیچیده
استحکام خاک همراه با بارگذاری بر روی هرمهای آشکار	برای هر منطقه و سایت مطالعات مخصوص دارد.	سیستم حفرات سه بعدی متعدد	حفرات انحلالی فراوان و بسیار پیچیده	هرم های بلند- برجستگی های بیشتر از ۲۰ متر	انواع با ابعاد بزرگ –قوسهای باقیمانده	فقط در مناطق گرمسیری مرطوب	KV منهی درجه

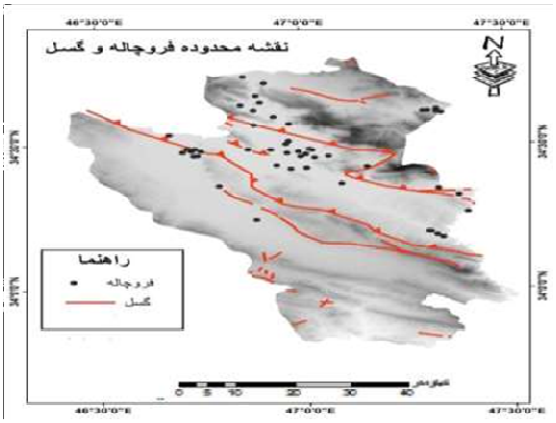
همانطور که پیش‌تر عنوان شد، در طی ده سال اخیر حداقل حدود ۱۹ فروچاله کوچک و بزرگ در سطح دشت کبودرآهنگ (همدان) به وجودآمده که سبب نگرانی ساکنین دشت گردیده است. در این تحقیق پس از پیمایش‌ها و اندازه‌گیری‌های صحرایی، آنالیز نمونه‌ها و برآورد میزان دی اکسیدکربن آزاد انجام گرفته و مشخصات فروچاله‌ها شناسایی و ثبت گردیده است و از نتایج حاصل مشخص گردید که شرایط ویژه در سنگ بسترآهکی و وجود دی اکسید کربن بیشتراز ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر عامل اصلی توسعه کارست در منطقه است (امیری، ۱۳۸٤).

پژوهشگران معتقدند که مهمترین پیامدهای برداشت بی رویه از آب‌های زیرزمینی، حفر چاه‌های غیرمجاز و فعالیت نیروگاه حرارتی شهید مفتح و تغییر پارامترهای خاکی، پیدایش فروچاله‌های منطقه است. بدین منظور کلیه اطلاعات زمین شناسی و راه‌های منطقه کاربری اراضی و راه‌های منطقه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و زمین شناسی مدل رقومی ارتفاعی و تصاویر گوگل ارث استخراج شد و جهت بررسی روند فروچاله‌ها با توجه به تعداد و تراکم آنها در نرم افزار ArcGIS وزن دهی گردید.

نتایج نشان می‌دهد که تراز آب‌های زیرزمینی، زمین شناسی، کاربری اراضی و دامنه ارتفاعی از مهمترین عوامل اثرگذار در ایجاد فروچاله است . احداث سد اکباتان بر روی مهمترین رودخانه تامین کننده آب در دشت‌های مورد مطالعه، گسترش شهر همدان و تغییر کاربری اراضی اطراف شهرها از مرتع به کشاورزی مانع از رسیدن آب به دشتهای کبودراهنگ و فامنین شده و افزایش تقاضای آب در پایین دست به همراه زیرساخت مناسب فراهم شده از قبل (انحلال آهک) در ایجاد فروچاله‌ها نقش مهمی داشته‌اند. پیامد ناشی از آبگیری سد اکباتان کاهش حق آبه حوزه قره‌چای است که به همراه حفر چاه‌های عمیق در نیروگاه شهید مفتح باعث افت شدید تراز آب‌های زیرزمینی شد (جعفری و محمدی، ۱۳۹۸).

لندفرم یا عارضه زمین است که تشکیل آن به وسیله فرآیندهای طبیعی به صورتی شکل گرفته که می‌توان آن را با عارضه‌های شاخص توصیف و تعریف کرد. فروچاله‌ها یکی از لندفرم‌های شاخص مناطق کارستی می‌باشند که در اثر عوامل و فرایندهای گوناگون شکل می گیرند. با توجه به اهمیت فروچاله کارستی، شناسایی و تهیه نقشه پراکندگی فروچاله و ویژگی‌های شکلی آنها از نیازهای علوم محیطی به خصوص ژئومورفولوژی است.

هدف از این پژوهش تجزیه و تحلیل مورفومتری فروچاله‌ها جهت مدل سازی برای شناسایی ویژگی‌های کمی شکل فروچاله‌ها در دشت کرمانشاه با استفاده از روش‌های ژئومورفومتریک می‌باشد. داده‌های ورودی در این مدل شامل شیب، انحنای پلان، انحنای پروفیل و ... می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد نقش عامل گسل در شکل‌گیری فروچاله‌ها به عنوان عامل غالب می‌باشد. در شکل(٦) محدوده فروچاله‌های دشت کرمانشاه نشان داده شده است.



شکل ٦. نقشه موقعیت فرو چاله‌ها و گسل‌های دشت کرمانشاه (حیدری و همکاران، ۱۳۹۹)

فروچاله‌های منطقه به تبعیت از ارتفاعات و بیشتر تحت تاثیر روراندگی گسل‌ها از نوع فروچاله مرکب با عمق زیاد شکل گرفته است و امتداد تعداد اندکی از فروچاله‌های (انحلالی) گرد و ساده در مناطق با توپوگرافی ملایم می‌باشد. در واقع ارزیابی میزان فعالیت گسل‌ها نشان می‌دهد که روش‌های مورفومتریک شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی ویژگی‌های شکلی فروچاله‌ها می‌باشند (حیدری و همکاران، ۱۳۹۹).

همانطور که قبلا نیز اشاره گردید کارست‌ها و فروچاله‌ها ممکن است باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی شوند. به علت بوجود آمدن بعضی از فروچاله‌ها در نواحی کشاورزی و مسکونی و قرار گرفتن بعنوان جایگاه مناسبی برای دفع زباله ها زائد و با توجه به اینکه آب‌های سطحی در مناطق کارستی معمولاً مسیر کوتاهی را برای رسیدن به آب‌های زیرزمینی طی می‌نمایند و عمده آب آنها وارد جریان آب زیرزمینی می‌گردد، بدین دلیل مناطق کارستی و فروچاله‌ها مستعد برای آلوده کردن منابع آب‌های زیرزمینی می باشند.

به همین منظور در این مقاله به مکانیزم نفوذ آب در فروچالها و تاثیر آنها بر آلودگی آب‌های زیر زمینی پرداخته شده است (محبی حسن آبادی و توسکی، ۱۳۸٤).

در پژوهشی دیگر بیان گردیده که برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی استان اصفهان به همراه کاهش

نزولات جوی، خسارات جبران ناپذیری را به منابع آب استان تحمیل و دشت‌های آن را با خطر فرونشست و فروچاله مواجه کرده است. شهرستان سمیرم در جنوب استان، یکی از مناطق تحت تأثیر برداشت‌های بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی است. در این تحقیق با ایجاد پروفیل‌های خاک در قسمتهای مختلف منطقه، شناسایی محیط‌های کارستی، بررسی خصوصیات ژئومورفولوژیکی و شناسایی چاه‌های مجاز و غیر مجاز، افت سطح آب‌های زیرزمینی بررسی و نقشه پهنه‌بندی خطر ایجاد فروچاله توسط مدل فازی تهیه گردید. نتایج حاصل از نقشه‌های خروجی بیشترین احتمال وقوع پدیده فروچاله را مربوط به منطقه کمه واقع در بخش پادنا در جنوب غربی شهرستان سمیرم در فاصله ٦٥ کیلومتری از مرکز شهرستان نشان می‌دهد. نقشه پهنه‌بندی خطر فروچاله بیانگر آن است که ۱۳,۲درصد از مساحت در پهنه ریسک خیلی زیاد، ٥٦,۹ درصد ریسک زیاد، ١٦,٥١ درصد ریسک متوسط و ۱۳,۲ درصد ریسک کم را به خود اختصاص داده است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل هیدروگراف و تغییرات به وجود آمده در حجم ذخیره آبی آبخوان‌ها و شواهد آن نشان داد که کاهش تغییرات حجم آبخوان‌ها در شهرستان سمیرم به طور متوسط سالانه ۱۰,۵ میلیون مترمکعب می‌باشد (حجه فروش نیا و برهانی، ۱۳۹۹).

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 شده اند. وجود سازند گچساران و پدیده‌های کارستی گچی که مهمترین آنها فروچاله است در این دو دشت، می‌تواند تاثیر بسیار مخربی بر سازه‌های انسان ساخت داشته باشد. مطالعه مورفومتریک این پدیده‌ها می‌تواند امکان مقایسه پارامترهای متنوع فروچاله‌ها را مهیا ساخته و منجر به طرح فرضیاتی در مورد نحوه تکامل آن‌ها شود.

در این مطالعه فروچاله‌های دو دشت بر اساس روش‌های باسو و سویچ تقسیم‌بندی 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. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون خطی تک متغیره 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، ۰,٦۹۹، ۰,٥۸۱ 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 قدم به قدم بین مولفه های مورفومتری فروچاله ها نیز نشان داد که بیشترین ضریب تبیین مربوط به مساحت، قطر کوچک و قطر بزرگ و عمق با مقدار عددی ضریب تبیین ۰,۹۹۷ با خطای برآورد ۰,۰۲٤ و کمترین میزان ضریب تبیین مربوط به شیب با عمق و قطر بزرگ و کوچک است که میزان ضریب تبیین آن ۰,٥۸٤ و میزان خطای برآورد ۰,۰۹۱ است. بنابراین پارامترهای مساحت، قطرهای بزرگ و کوچک و عمق می‌توانند پارامترهای مناسبی جهت مدل سازی فروچاله‌ها باشند (غلام صیادی و همکاران، ۱۳۹۹).

در تحقیقی دیگر در شهرستان درگز با توجه به این که شهرستان به طور عمده به وسیله‌ی سازندهای آهکی تیرگان و غیره پوشیده شده است، همواره امکان وقوع فروچاله و ایجاد مخاطرات مالی و جانی در این منطقه وجود دارد. بدین ترتیب ارزیابی خطر وقوع فروچاله‌ها در این منطقه می‌تواند در برنامه ریزی‌های منطقه ای مناسب باشد. برای این کار، ابتدا اقدام به تهیه لایه‌های اطلاعاتی، بارش، فاصله از گسل، شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، زمین شناسی، کاربری اراضی با استفاده سیستم اطلاعات جغرافیایی شده است. سپس با استفاده از تئوری فازی در محیط نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی نقش عوامل اکوژئومورفیک در خطر وقوع فروچاله های منطقه ارزیابی گردید. طبق نتایج حاصل نمایان است که که بخش‌های جنوبی و جنوب غربی و غرب شهرستان دارای بیشترین میزان حساسیت پذیری به ایجاد فروچاله می‌باشد و عوامل زمین شناسی، کاربری اراضی و طبقات ارتفاعی نقش موثرتری را ایفا کرده‌اند (سپهرو همکاران، ۱۳۹٥).

از نقطه نظر جهانی، حفاظت از کیفیت آب‌های زیرزمینی در مناطق کارستی، انسان‌ها و منابع را با چالش های ویژه ای مواجه می‌کند. حدود یک چهارم آب جهان از منابع کارست تامین می‌شود. چهل درصد ایالات متحده در شرق تولسا،

اوکلاهاما، کارست است. مقدار نامتناسب بالایی از تولیدات کشاورزی در خاکهای کارست حاصلخیز منطقه آپالاش رخ می‌دهد. آلاینده‌هایی مانند رسوب، نیترات و عوامل بیماری زا به سرعت از طریق شبکه گسترده فروچاله‌ها و نهرهای در حال غرق شدن منطقه به آب‌های زیرزمینی کم عمق در کارست آپالاچی می‌رسند. فروچاله‌ها اغلب نقاط ورود مستقیم به سیستم زیرزمینی غارها و مجراها را فراهم می‌کنند که به سرعت آب و آلاینده‌ها را در فواصل طولانی در مدت زمان کوتاهی حرکت می‌دهند. رابطه نزدیک بین فرآیندهای سطحی و آب‌های زیرزمینی به مجموعه‌ای از بهترین شیوه‌های مدیریتی متناسب با تنظیمات خاص سایت برای محافظت مؤثر از منابع آب زیرزمینی در مناطق کارستی نیاز دارد (داگلاس و بویر، ۲۰۰۸). تلاش‌ها برای ارزیابی شکل‌گیری فروچاله و تعیین کمیت عوامل کنترل‌کننده به دلیل فقدان مشاهدات تاریخی یا مجموعه داده‌های تفکیک شده در بسیاری از مناطق مانع پیشرفت ما می‌شود. ما پیشرفت‌های اخیر را در نقشه‌برداری گودال و آمار فضایی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی به کار بردیم تا به طور جامع عوامل کنترل کننده تشکیل فروچاله را در محیط کارست پوشیده شهرستان دوگرتی، جورجیا بررسی کنیم. فروچاله‌ها در مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت در محل آزمایش شکل می‌گیرند. روش شناسی سه مرحله ای انجام شد. ابتدا، ۲۷۵ فروچاله که بین سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۱۱ تشکیل شده یا بزرگ شده‌اند، با مقایسه نتایج موجود فروچاله‌ها از دو مدل دیجیتالی سه بعدی از سطح زمین بدست‌آمده در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۱۱ شناسایی شدند. علاوه بر این، از یک سری DEM (رزولیشن ۱ متر) برای جمع‌آوری فهرستی از ۳۴۱۲ فروچاله استفاده شد. داده‌های موجوداین فروچاله‌ها برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی به نقشه های چگالی فروچاله تبدیل شد.

مدل‌های آماری فضایی حداقل مربعات معمولی و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، برای تعین کمیت تأثیر عوامل کنترل بر تراکم گودال استفاده شد.

عوامل کنترل کننده شامل متغیرهای زمین شناسی، هیدرولوژیکی، انسانی، هیدروژئولوژیک و ژئومورفولوژیک بود. در نهایت، نتایج آمار فضایی برای :

۱. تولید نقشه‌های پیش‌بینی درون‌یابی فروچاله

۲. ارزیابی دقت پیش‌بینی چگالی فروچاله

استفاده شد. نتایج ارزیابی عوامل کنترل کننده تشکیل گودال را فراهم می‌کند و پتانسیل کاربردهای مشابه را در سایر مناطق کارستی با سری زمانی DEM و مجموعه داده‌های جانبی مشابه نشان می‌دهد (کاهالان و مایلوسکی، ۲۰۱۸).

از سوی دیگر ، فروچاله ها نشان دهنده یک خطر زمین شناسی است که اغلب به دلیل ماهیت بسیار محلی آن دست کم گرفته می‌شود. در واقع، فروچاله‌ها فقط تحت شرایط خاص رخ می‌دهند و معمولاً مناطق نسبتاً کوچکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با وجود این ویژگی‌ها، دشواری در پیش بینی مکان دقیق و زمان سقوط ناگهانی آنها مشکلات جدی ایجاد می‌کند و هدف برنامه‌ریزان شهری در این چارچوب، شناسایی مکانیسم و در نتیجه عامل محرک فروچاله‌ها از نظر استراتژیک در تدوین برنامه‌های مدیریتی است. تحقیق حاضر به فروچاله ایل پیانو (جزیره البا، ایتالیا) می‌پردازد. ادغام بررسی‌های هیدروژئولوژیکی، همراه با مطالعه کامل نقشه های تاریخی و عکس های هوایی، نشان می‌دهد که عامل محرک اصلی در این منطقه ممکن است به پمپاژ آب از سفره کارست مربوط نباشد. در عوض، به نظر می‌رسد فروچاله‌ها ناشی از فرآیندهای فرسایشی است که به طور کامل در رسوبات رخ می‌دهد (فتانلی و همکاران، ۲۰۱۸). مجددا در بررسی دیگر عنوان می‌گردد، منابع آب زیرزمینی علیرغم اندازه‌گیری‌های حفاظتی و موقعیت طبیعی آنها، به دلیل اثرات طبیعی و انسانی بسیار آسیب پذیر هستند. این امر به ویژه در مناطق خشک و مناطق نیمه خشک کارست به دلیل افزایش نیاز به آب مورد تأکید قرار می‌گیرد. این مقاله به تأثیرات فروچاله‌های بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در شهرستان ابرکوه ایران می‌پردازد. در جلگه ابرکوه ۲۸ فروچاله وجود دارد.

هدف این مقاله مشخص‌کردن ویژگی‌ها و علل بروز و همچنین مشخص نمودن مناطق آسیب پذیر و توسعه آتی فروچاله‌ها و تأثیر آنها بر منابع آب زیرزمینی فروچاله‌ها است. مرحله بعدی تعریف روش اصلی حفاظت از منابع آب‌های زیرزمینی موجود در مناطق مشخص مانند مناطق خشک کارستی و نیمه خشک است. با در نظر گرفتن داده‌های زمین شناسی، هیدروژئولوژی و هواشناسی و در نهایت از طریق هیدروژئوشیمیایی و تجزیه و تحلیل ژئوفیزیک، نتیجه‌گیری نهایی و توصیه‌هایی برای حفاظت از آب‌های زیرزمینی منابع به دست می‌آید. این امر برای تامین آب شهرستان ابرکوه در ایران

اهمیت بسزایی دارد. لازم به ذکر است که روش مذکور برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در سایر مناطق خشک و نیمه خشک قابل استفاده است (سولدو و همکاران، ۲۰۲۰).

۵- روش انسداد و تحکیم فروچاله‌ها

امروزه در دنیا به روش‌های متفاوتی اقدام به انسداد فروچاله‌ها می‌کنند بر اساس رژیم تشکیل فروچاله و سنگ شناسی سازند دربرگیرنده مانند شکل ۷، معمولاً از قسمت‌های پایین‌تر نسبت به انسداد و تثبیت آنها اقدام می‌گردد. مهمترین مسئله در مورد دوغاب انسداد فروچاله‌ها مواد تشکیل دهنده دوغاب می‌باشد مواد تشکیل دهنده دوغاب تزریق می‌تواند گل رس، بنتونیت گچ و سیمان باشد با توجه به تاثیر نامطلوب نمک بر روی سیمان و هزینه استفاده از سیمان دوغاب سیمان با رس جهت ترکیب مناسب نیستند و مقداری کمی نمک و بنتونیت در دوغاب رس باعث تورم و عملکرد مناسب‌تر دوغاب با دیواره نمکی می‌گردد. همچنین دوغاب رس به صورت مناسب و همانند یک پتو روی نمک را می‌پوشاند و مانع از حل شدن نمک می‌گردد (نجف آبادی و لادریان، ۱۳۹۰).

شکل ۷. درحال انسداد دهانه یک فروچاله در دره بوستانی (نجف آبادی و لادریان، ۱۳۹۰)

٦- نتیجه‌گیری

با توجه به توضیحات ارایه شده و مطالعه بخشی از بررسی‌های صورت گرفته، نتیجه‌گیری می‌شود، عواقب و آثار فعالیت‌های انسانی در چند دهه اخیر گاه چنان مخرب و غیر قابل بازگشت به حالت اولیه بوده که توجه همه را به خود جلب کرده است. یکی از این اثرات فروچاله‌هایی است که در بخش‌های مختلف سیاره زمین و از جمله ایران اتفاق افتاده است. یکی از مسائلی که در اثر برداشت بی رویه آب زیرزمینی اتفاق می‌افتد نشست است. فرونشست‌ها می‌توانند موجب تخریب سیستم‌های آبیاری و خاک‌های حاصلخیز کشاورزی، خسارت به چاه‌ها در منطقه‌های فرونشست روستایی و شهری، تغییر هیدرولوژی منطقه و ایجاد سیلاب شوند و به طور معمول خسارت‌های ناشی از فرو نشست‌ها و شکاف‌های زمین ترمیم

ناپذیر پرهزینه و مخرب می‌باشند. پس از شناخت مکانیزم فروچاله‌ها و تامین داده‌ها و اطلاعات کافی از محل، شرایط لازم جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها فراهم می‌آید در این شرایط داده‌های جمع آوری شده اساس کار را برای تفسیر، شناخت شرایط و اشکال مختلف کار است که در وقوع فروچاله‌ها موثر هستند را فراهم می‌آورد. نشست زمین در آکیفر های 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 هر چه بیشتر برداشت شود تراکم مواد بیشتر خواهد بود وقوع فرونشست زمین یک تهدید جدی به محیط زیست انسان با توجه به افزایش تراکم جمعیت می‌باشد. عواملی مانند: پایین افتادن سطح آب زیرزمینی و اثر خشکسالی همراه با پمپاژ بی‌رویه چاه‌ها و همچنین بارش‌های متوالی در ابتدای فصول پر باران همگی می‌توانند منجر به ظهور فرونشست‌های جدید در یک منطقه گردند. در شرایطی که با توجه به مطالبی که قبلاً بیان گردید انحلال و فرسایش سنگ‌های انحلال پذیر نیاز به یک زمان زمین شناسی طولانی دارند تا اینکه بتوانند منجر به تشکیل غارها و فضاهای زیرزمینی که فاقد شرایط بحرانی باشند گردند، در ارزیابی میزان خطر در هر منطقه ،گروه‌بندی زیر ضروری است:

مناطق با خطر کم : مناطقی هستند که احتمال خطر فروچاله در تمام عمر یک پروژه در آن مناطق صفر می‌باشد.

مناطق با خطرات متوسط : مناطقی هستند که احتمال وقوع فروچاله در آنها توسط یک مکانیسم درونی مطابق آن چه تا کنون بیان شد از طرف فروچاله تقویت می‌گردد.

مناطق با خطر زیاد: مناطقی هستند که در آنها احتمال وقوع فروچاله قطعی می‌باشد.

بررسی فروچاله‌های بوقوع پیوسته، بیانگر رخداد مکانیزم رمبندگی و فرو ریزشی است که با نوسان سطح ایستابی آب و میزان کارستی شدن متغیر خواهد بود.

سالهای کم باران و ماه‌های اول سال از اهمیت بالایی در بررسی خطر برخوردارند که گمانه‌زنی اکتشافی برای یقین پیدا کردن کارستی بودن یا سستی لایه می‌تواند در تعیین مکانیزم تشکیل کارگشا باشد. سطح آب زیرزمینی در اغلب دشت‌های کشور افت شدید کرده است. فرونشست غالباً در خاک‌های دانه‌ریز و رسی بصورت تدریجی و از دید مردم مخفی است، ولی فروچاله‌ها عمدتاً در زمین‌های شنی و ریگ و عملکردی ناگهانی دارد. کاهش منابع آب زیرزمینی، موجب فرونشست می‌شود و تنش‌های اجتماعی- اقتصادی را تشدید کرده و تأثیر آن بر کشاورزی و بخش صنعت غیرقابل انکار است. با فرونشست زمین، پی ساختمان‌ها آسیب می‌بیند و حتی ممکن است کج شود. لوله‌های آب یا گاز کج شده و می‌شکنند. لوله‌های فاضلاب شکسته می‌شوند و جاده‌ها فروکش می‌کنند. باید الگوی مصرف آب عوض شود. فاضلاب‌ها تصفیه شده و مجدداً به مصرف کشاورزی برسد.

کشاورزی در بعضی نقاط متوقف شود. از کشت محصولات پرآب بر، در مناطق کم آب جلوگیری بعمل آید. تمام چاه‌های غیرمجاز بسته و پلمپ شود. برداشت آب زیرزمینی در مناطقی ممنوع شود و برنامه نگهداشت ذخیره آب در دستورکار قرارگیرد.

۷- پی‌نوشت‌ها

1-SPSS: (Statistical package for social science)
2-DEM: (Digital Elevation Model)
3-Arc GIS: (Geographic Information System)

۸-مراجع

-حیدری، ز. قدیمی، م. رضایی،ع. و میان رشته‌ای، م.، (۱۳۹۹)، "شناخت عوامل موثر بر پراکندگی و وقوع فروچاله‌ها با استفاده از شاخص‌های کمی مورفومتریک مطالعه موردی دشت کرمانشاه"، نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳٤، ص. ۲۲٦-۲۱۵.

- غلام صیادی، ح. انتظاری، م. کریمی، ح. حسینی راشت، م.، (۱۳۹۹)، "مدلسازی مولفه‌های مورفومتری فروچاله‌های گچی"، فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شماره ۷۳، دوره ۲٤، ص.۲۵٦-۲۳۷.

-کریمی، م. عرب، م. اسلامی، م. و روشنی، الف، (۱۳۹۹)، "تاثیر متقابل حفرات و سازه‌های زیرزمینی و نشست سطح زمین"، فصلنامه علوم و فنون سازندگی، شماره ۲، ص.٤۲-۳۵.

-حجه فروش نیا، ش. و برهانی، م.، (۱۳۹۹)، "بررسی خطر وقوع فروچاله‌ها در آبخوان‌های جنوب استان اصفهان با تاکید بر نقاط کارستی"، فصلنامه جغرافیای طبیعی شماره ٤۸، دوره ۱۲، ص. ٦۰-٤۷.

-منتظریون، م. اصلانی، ف.، (۱۳۹۸)، "ارزیابی خطر فرونشست زمین با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی در پهنه استان‌های تهران و البرز"، فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره ۹ ، شماره ۱ ، ص. ٤۸-۳۵.

-جعفری، غ. محمدی، ه.، (۱۳۹۸)، "پهنه‌بندی خطر فروچاله‌ها با استفاده از روش وزن شواهد مطالعه موردی داشت کبودراهنگ- فامنین"، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ششم، شماره ۳، ص. ۸۸ -۷۱.

- زارعی، ج. و عطایی، ه.، (۱۳۹۷)، "بررسی تاثیر تغییر اقلیم و خشکسالی‌های دو دهه اخیر دشت میناب و شکستگی‌های زمین"، سیزدهمین همایش پژوهش‌های نوین در علوم و فناوری، تهران.

- مصلحی، ط. و بردلی، ر.و شریفی، س.، (۱۳۹۷)، "علل و عوامل بروز فروچاله‌ها در دشت میناب"، چهارمین همایش علمی پژوهشی استانی «از نگاه معلم»، اردیبهشت، بندرعباس.

-صفاری، الف. جعفری، ف. توکلی صبور، م.، (۱۳۹۵)، "پایش فرونشست زمین و ارتباط آن با برداشت آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی دشت کرج – شهریار"، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۲، پیاپی ۱۸، ص.۹۳ -۸۲.

-سپهر، ع. حسینی زاده، ر. و نیکزاد، ف.، (۱۳۹۵)، "ارزیابی خطر فروچاله‌ها بر پایه تئوری فازی و عوامل اکو ژئومورفیک، مطالعه موردی حوضه آبریز درگز"، وزارت علوم تحقیقات و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد.

-پورخسروانی، م.، (۱۳۹٤)،" بررسی و تحلیل علت فرونشست دشت‌ها و اثرات آن"، اولین کنفرانس بین المللی علوم جغرافیایی موسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی، شیراز.

-کریمی، ح. گرایی، پ. و توکلی، م.، (۱۳۹۲)، "پهنه بندی خطر وقوع فروچاله با استفاده از رگرسیون چند متغیره، مطالعه موردی فروچاله های ریزشی دشت جابر استان ایلام"، نشریه زمین شناسی‌کاربردی پیشرفته شماره ٤، دوره ۲، ص. ٦۲-۵۳.

-کاظمی نجف آبادی، الف. و لادریان، الف.، (۱۳۹۰)، "بررسی انواع فروچاله‌های توده گچساران عنبل و روش انسداد و تحکیم آنها"، نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل، تهران.

-نظری، م. حیدری، ز. رضایی، م.، (۱۳۹۰) "تاثیر خشکسالی و برداشت بی‌رویه آب از منابع آب زیرزمینی در دشت‌های شمال همدان بر سطح آب زیرزمینی و تشکیل فروچاله‌ها"، پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم، تهران.

-ابراهیم زاده اردستانی، و خانلری، غ.، (۱۳۸۸)، "تلفیق مطالعات زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک فیزیکی در تعیین میزان ریسک موجود به ساختگاه مخاطرات فروچاله"، اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران.

-اوحدی گودرزی، الف.، (۱۳۸٦)، " تاثیر توام انحلال نمک‌های کربناتی یا سولفاتی و قابلیت رمبندگی و تشدید شکل گیری فروچاله‌ها"، مجله دانشکده فنی مهندسی عمران، جلد ۳٤، شماره ۳، شماره پیاپی ٤۸، ص. ۱۰-۱.

-محبی حسن آبادی، ی. و توسکی، ف.، (۱۳۸٤)، "درآمدی بر نقش فروچاله‌ها در آلودگی منابع آب کارستی با نگرشی ویژه بر فروچاله‌های همدان"، کنفرانس بررسی خطرات فروچاله‌ها در مناطق کارستی کرمانشاه.

-امیری، م.، (۱۳۸٤)، "تاثیر انحلال سنگ بستر و پمپاژ از آن در وقوع فروچاله‌های همدان"، کنفرانس بررسی خطرات فروچاله‌ها در مناطق کارستی، کرمانشاه.

-خانلری، غ.، (۱۳۸٤)، "روش‌های مطالعه فروچاله‌ها و شناخت فاکتورهای موثر و رفتار آن‌ها"، کنفرانس بررسی خطرات فروچاله‌ها در مناطق کارستی، کرمانشاه.

-امیری، م. نظری پوبا، ه. و مظاهری، ح.، (۱۳۸۳)، "علل و مکانیسم وقوع فروچاله‌ها در دشت فامنین – کبودراهنگ"، تحقیقات جغرافیایی مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام سازمان جهاد کشاورزی استان همدان، دوره ۱۹، شماره ۲ (پیاپی ۷۳)، ص. ۱۸٦ – ۱۷۲.

-امیری، م. و نظری پوبا، ه.، (۱۳۸۲)، "نشانه‌های درون کارست در سنگ بستر منطقه فروچاله‌های همدان"، فصلنامه زمین شناسی مهندسی شماره ۳ دوره ۱.

-Ghiasi, V., Ghasemi, S. A. R., & Yousefi, M. (2021). Landslide susceptibility mapping through continuous fuzzification and geometric average multi-criteria decision-making approaches. Natural Hazards, 107(1), pp.795-808.
-G.Boyer, D., (2008), "A sinkhole filter for protection of karst groundwater" Journal of Soil and Water Conservation, Journal of Soil and Water Conservation January 2008, 63 (1) 25A.
DOI: ps://doi.org/10.2489/jswc.63.1.25A.
-Haibat, A. Jae-ho, Ch., (2019), "Risk Prediction of Sinkhole Occurrence for Different Subsurface Soil Profiles due to Leakage from Underground Sewer and Water Pipelines" Civil Engineering Dong-A University, Busan, Korea.
-Hsieh,Sh . Shih, T.Y. Ching Hu, J. Tung, H. Huang, M.H. Ngelier, J., (2011), "Using ifferential SAR interferometry to map land subsidence: a case study in the Pingtung Plain of SW Taiwan, Nat Hazards.
-Shaqour, F., (1994), "Hydrogeologic role in sinkhole development in the desert of Kuwait", Environmental Geology Vol. 23, pp.201–208.
- Soldo,B. Mahmoudi, S. Afrasiabian, A. Durin, B., (2020)," Effect of Sinkholes on Groundwater Resources in Arid and Semi-Arid Karst Area in Abarkooh, Iran" Department of Civil Engineering, University North, 42000 Varaždin, Croatia, 31.
-Tomás, G. Herrera, J. Delgado, J. M, Lopez- Sanchez. J, Mallorquí. J, Mulas., (2010), "A ground subsidence study based on Din SAR data: Calibration of soil parameters And subsidence prediction in Murcia City Spain", Engineering Geology 111, pp.19–30.
-Toulkeridis, T. Rodríguez, F. Arias Jiménez, N. Baile, D.S. Martínez, R. Addison,A. Carreón Freyre,D. Mato,F and Díaz.C., (2016), "Causes and consequences of the Sinkhole at "El Trebol" of Quito, Ecuador - mplications to economic damage and risk assessment", Manuscript under review for Journal Nat. Hazards Earth Syst. Sci.
-Arini, F. Carlà1, T. Pazzi, V. DiFilippo, M., (2017), "Definition of sinkhole triggers and susceptibility based hydrogeomorphological analyses" ,Environmental Earth Sciences, DOI:10.1007/s12665-017-7179-3.
-Bakhshipouri, Z., Omar, H., Yousof, Z. B., & Ghiasi, V., (2019), "An Overview of Subsurface Karst Features Associated with Geological Studies in Malaysia".
-Cahalan, M.D. Milewski, A.M., (2018), "Sinkhole formation mechanisms and geostatistical-based prediction analysis in a mantled karst terrain", University of Georgia Department of Geology, 210 Field Street Athens, GA 30602, USA.
Doi 10.1007/s11069-011-9734-7.
-Ghiasi, V., & Najafi, F., (2022), "Investigation of liquefiable soils improvement methods. Road", 30(110), pp.41-56.
Doi: 10.22034/road.2023.112863.
-Ghiasi, V., & nazhdghorbani, A., (2022), "An overview of the use of fly ash for soil stabilization, Road".
Doi: 10.22034/road.2022.333556.2034.
-Ghiasi, V., & Molaei Tari, P., (2022), "Geotechnical design of landfills and solutions for their construction in different soils, Road".
Doi: 10.22034/road.2022.324326.2020.
-Ghiasi, V. & Tavagho Hamedani, H., (2022), "A review of soil improvement with waste and recycled materials and its impact on soil parameters, Road".
Doi: 10.22034/road.2022.324228.2019.
-Ghiasi, V., & madah, S., (2022), "Investigation of increasing shear strength of dispersive clays using additives, Road".
Doi: 10.22034/road.2022.324512.2023.
Ghiasi, V., & Eskandari, S., (2022), "Improvement of Alluvial Soils Using Cement Injection Method, Road".
Doi: 10.22034/road.2022.323689.2016.
-Ghiasi, V., & Rashno, S., (2022), "An overview of chemical soil stabilization methods, Road".
Doi: 10.22034/road.2022.312705.1988.

A Review of the Factors That Cause Sinkholes and the Effect of Soil Type on Its Formation

Vahed Ghiasi, Assistant Professor, Department of Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.

Shiva Dashti Famili, M.Sc., Student, Department of Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.

E-mail: v.ghiasi@malayeru.ac.ir

Received: September 2022- Accepted: February 2023

ABSTRACT

In this article, the factors affecting the formation of depressions and the effect of soil type on its formation will be investigated Landslides can cause damage to irrigation systems and fertile agricultural soils, damage to wells in rural and urban subsidence areas, change the hydrology of the area and cause floods and typically image caused by landslides and irreparable landslides. They are costly and destructive. After understanding the mechanism of sinkholes and providing sufficient data and information from the site, the necessary conditions for data analysis are provided. In these conditions, the collected data is the basis for interpreting and recognizing the different conditions and forms of work that occur Provides sinkholes are effective. This study is based on data collection through documentary, library, experimental sources and content analysis method. In general, the results indicate that in order to control this phenomenon, the pattern of water consumption must be changed. Wastewater is treated and re-used for agriculture Stop farming in some places. The cultivation of irrigated crops should be prevented in low water areas, all illegal wells should be closed and sealed, and groundwater abstraction should be prohibited in some areas, and a water storage maintenance program should be ordered.

Keywords: Sinkholes, Groundwater, Soil, Formation