

بررسی ویژگی‌های ژئومورفولوژی و علل شکل‌گیری فروچاله‌های دشت ابرکوه

ساناز پورفلاح^۱، محمدرضا اختصاصی^{۲*}، محسن صادقیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۲۸

چکیده

پدیده فروچاله‌ها و نشست زمین در دشت‌ها از خطرات طبیعی تشدیدشونده هستند که امروزه به دلیل سرعت و تراکم شکل‌گیری مورد توجه قرار گرفته‌اند. از دیدگاه ژئومورفولوژی، می‌توان فروچاله‌های اطراف شهر ابرکوه را به دو دسته فروچاله‌های کوهستانی و دشتی تقسیم‌بندی کرد. هدف از این پژوهش، شناخت عوامل مؤثر در شکل‌گیری فروچاله‌ها در دشت ابرکوه است. در گام اول با استفاده از روش سلسله‌مراتبی، مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار طراحی شد و در نهایت، ارزش وزنی آن‌ها با استفاده از پرسش‌نامه در محیط نرم‌افزار اکسپرت چویس تعیین شد. معیارهای تأثیرگذار به ترتیب اولویت عبارت‌اند از: وجود لایه‌های انحلال‌پذیر در اعماق (۳۰ درصد)، بافت رسوبات و سازندهای آهکی (۲۰/۴ درصد)، افت سفره‌های زیرزمینی (۱۷/۴ درصد)، سیستم آبیاری غرقابی (۱۲/۶ درصد)، نوع کاربری (۷/۱ درصد)، فاصله از چاه‌های بهره‌برداری (۵/۸ درصد)، فاصله از آبراهه‌های قدیمی (۳/۶ درصد) و فاصله از گسل (۳/۱ درصد). در گام دوم، برای صحت‌سنجی نتایج، از اطلاعات میدانی و آزمایش‌های پارامترهای مهم خاک‌شناسی استفاده شد. لوگ‌های حفاری پیزومترهای اطراف فروچاله‌ها و سنگ کف آبخوان دشت ابرکوه، وجود لایه‌های انحلال‌پذیر در اعماق را تأیید کرد. از طرفی آزمایش‌ها نشان داد که بافت رسوبات فروچاله‌های دشتی بسیار ریزدانه و با درصد بالای مقادیر رس و آهک و املاح است. پمپاژ آب از اعماق در جهت مصرف کشاورزی، منجر به ایجاد حفره‌های انحلالی و در نتیجه فروچاله‌های دشتی می‌شود. همچنین موقعیت فروچاله‌های کوهستانی در بالادست آبخوان دشت ابرکوه است که در دهه‌های اخیر با افت شدید آبخوان روبه‌رو شده، بحران افت سفره به‌همراه سازندهای آهکی، پدیده فروچاله‌های کوهستانی را به وجود آورده است.

واژه‌های کلیدی: سازندهای آهکی، مدل تحلیلی سلسله‌مراتبی، آب زیرزمینی، AHP.

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد

۲. استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، نویسنده مسئول؛ mr_ekhtesasi@yahoo.com

۳. کارشناس ارشد مدیریت بیابان، کارمند دانشگاه یزد

مقدمه

طبقه‌بندی‌ها فروچاله‌ها به دو گروه اصلی فروچاله‌های «انحلالی» و «فرونشستی» تفکیک شده‌اند.

فروچاله‌ها گودال‌های بسته‌ای هستند که به صورت حفره‌هایی در سطح زمین‌های آهکی و دیگر سنگ‌های انحلال‌پذیر یا آبرفتی به وجود می‌آیند و عموماً رواناب از سوراخ موجود در کف به آب‌های زیرزمینی می‌پیوندد (رئیزی اردکانی، ۲۰۰۵). به طور کلی، چهار مکانیسم برای تشکیل دولین‌ها تشخیص داده‌اند: انحلال از بالا^۱، ریزش از زیر^۲، انتقال خاک‌های روئین^۳، برداشته شدن نیروی نگه‌دارنده^۴. گاهی مکانیسم‌های مختلفی با هم عمل نموده و دولین‌های دارای چند منشأ^۵ ایجاد می‌شوند. به نظر می‌رسد مکانیسم فوق را بتوان برای تشکیل فروچاله‌ها در گچ نیز به کار برد؛ تنها تفاوت، اختلاف در سرعت تشکیل آن‌هاست (گونی^۱، ۲۰۰۲).

بر اساس مطالعات انجام‌شده در منطقه آریزونا، فرونشست‌ها به دو صورت آهسته و سریع اتفاق می‌افتد؛ حرکات آهسته در مناطق دانه‌ریز رسی که از حالت اشباع خارج شده و تحت نیروی وزن لایه تراکم می‌یابند، به وجود آمده و حرکات سریع بیشتر در مناطقی با سنگ کف کارستی رخ داده و به‌عنوان فروچاله معروف‌اند. مطالعه‌های متعددی در این زمینه انجام گرفته است: ثروتی و همکاران (۲۰۱۳) به شناخت عوامل مؤثر بر پراکنش و رخداد فروچاله‌ها در منطقه گازورخانی کرمانشاه پرداختند و نتایج این مطالعه نشان داد که در شیب بالاتر از ۲۰ درجه، فروچاله‌ای مشاهده نشد و پراهمیت‌ترین متغیرها در وقوع فروچاله‌ها به ترتیب گسل، ارتفاع و بارش هستند. در پژوهشی دیگر، کریمی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از رگرسیون چندمتغیره، به پهنه‌بندی خطر وقوع فروچاله‌های دشت جابر پرداختند؛ نتایج حاکی از این بود که عوامل شیب دامنه، سنگ‌شناسی، فاصله از خط کینک، ضخامت رسوبات، کاربری اراضی و عمق سفره آب

فرونشست زمین و فروچاله‌ها یکی از مخاطرات طبیعی است که در اغلب موارد به صورت عمودی اتفاق افتاده و در مدت‌زمان کوتاه محسوس نیست. عموماً این پدیده‌ها به صورت موضعی است و مکانیسم آن‌ها به فرایندهای فیزیکی و طبیعی بستگی دارد (امیدوار، ۲۰۱۱). این مخاطرات طبیعی جان و مال انسان‌ها را در نقاط مختلف کارستی دنیا تهدید می‌کنند. در مقیاس جهانی، خطر فرونشست زمین و فروچاله‌ها در بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ که هم‌زمان با صنعتی شدن و رشد شهرنشینی است، به اوج خود رسید (والتام، ۱۹۸۹). گزارش‌های متعددی از رخداد این پدیده‌ها در نقاط خشک و کم‌باران در سراسر جهان ارائه شده است. پدیده فروچاله‌ها در محیط‌های کارستی نسبتاً شایع است؛ حدود ۲۰ درصد از مساحت ایالات متحده آمریکا در معرض این رخداد قرار دارد. فلوریدا، تگزاس، آلاباما و میسوری از جمله شهرهایی هستند که بیشترین حساسیت را به رخداد فروچاله دارند و از نظر ساختار زمین‌شناسی از نوع سنگ‌های آهکی و تبخیری هستند (متو و همکاران، ۲۰۱۸).

در چند سال اخیر، این پدیده به‌عنوان یک بحران جدی در بسیاری از دشت‌های حاصلخیز کشور اتفاق افتاده و نگرانی‌های قابل توجهی را به وجود آورده است.

وجود دولین^۱ یا فروچاله یکی از مهم‌ترین شواهد توسعه کارست است. دولین یک فرورفتگی^۲ بسته طبیعی در نواحی کارستی با زهکشی داخلی یا زیرقشری است. شیب دیواره آن‌ها از ملایم (کم) تا قائم متغیر بوده و فرم کلی آن‌ها از کاسه‌ای تا مخروطی و حتی استوانه‌ای تغییر می‌کند و آن‌ها می‌توانند طیف وسیعی از ویژگی‌های هندسی^۳ را به نمایش بگذارند و ممکن است قطر و عمق آن‌ها به صدها متر برسد (والتام و فوکس^۴، ۲۰۰۵). در سال‌های اخیر، چندین طبقه‌بندی ژنتیکی برای فروچاله‌ها انتشار یافته است. در این

5. Solution from above
6. Collapse from below
7. Soil transport
8. Removal of buoyant support
9. Polygenetic
10. Gunay

1. Doline
2. Closed
3. Cylindrical, Concical, Bowl or Pan-shaped
4. Waltham & Fookes

زیرزمینی، بیشترین تأثیر را بر روی وقوع فروچاله‌های منطقه داشته‌اند.

بیگلو و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل رقومی ارتفاع^۱، مورفوتکتونیک فروچاله‌های کارستی توده بیستون-پراو را تحلیل کردند و به این نتایج دست یافتند که در بیستون-پراو اشکال آگزوکارست در فرم‌ها و ابعاد مختلف توسعه یافته و تیبیک‌ترین این اشکال یعنی فروچاله‌ها در امتداد درزها و گسل‌های کششی ناحیه قرار گرفته‌اند؛ همچنین فروچاله‌های مستخرج از مدل رقومی ارتفاع نیز نشان‌دهنده چنین امتداد و روندی است. همچنین علیاری در سال ۲۰۱۱ در مطالعه فروچاله‌های همدان با بررسی هیدروگراف واحد، میانگین تقریبی افت سطح آب را در یک دوره ۹ ساله حدود ۳ متر در سال برآورد کرده و عامل اصلی تشکیل این فروچاله‌ها را افت شدید سطح آب دانسته و برای تأیید آن اظهار کرده که محل تشکیل فروچاله‌ها، بر محل تلاقی مخروط افت چاه‌ها واقع است. سعادت (۲۰۰۳) با مطالعه زمین‌ساخت منطقه فروچاله‌های همدان بیان کرده است که پراکندگی گودال‌ها فرونشستی بی‌نظم نیست بلکه با محور عبور گسل‌های منطقه همخوانی دارد و از روند آن‌ها تبعیت می‌کند. امیری در سال ۲۰۰۵ به بررسی ارتباط بین فروچاله‌های دشت فامنین همدان با سنگ کف پرداخته است؛ نتایج این پژوهش نشان داد که شرایط ویژه سنگ کف آهکی و وجود دی‌اکسیدکربن بیشتر از ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، عامل اصلی توسعه کارست در منطقه است و همچنین مجاری آب، سیستم درز و شکاف وسیع در سنگ بستر و پمپاژ آب موجود در آن‌ها از عوامل تشدید این پدیده است. در طی سال‌های اخیر، دست‌کم حدود ۳۰ فروچاله کوچک و بزرگ در سطح دشت ابرکوه به وجود آمده که سبب نگرانی ساکنان دشت شده است. با توجه به مطالعات انجام‌شده، این بحران نیاز به یک مدیریت صحیح دارد. تصمیم‌گیری از مهم‌ترین و اساسی‌ترین وظایف مدیریت است. مدیر با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند با در

نظر گرفتن معیارهای متفاوت برای تصمیم‌گیری که گاهی با یکدیگر در تعارض‌اند، به طریقی عقلایی تصمیم‌سازی کند. تصمیم‌گیری چندمعیاره^۲ (MCDM) به دو دسته تصمیم‌گیری چندشاخصه^۳ (MADM) و تصمیم‌گیری چندهدفه^۴ (MODM) تقسیم می‌شود. در مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه، چندین هدف به‌طور هم‌زمان برای بهینه شدن، مورد توجه قرار می‌گیرند و در مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه، انتخاب یک گزینه از بین گزینه‌های موجود مدنظر است (بذرافکن، ۲۰۱۴). فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۵ (AHP) یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. روش AHP دربرگیرنده مجموعه‌ای از قضاوت‌ها و ارزش‌گذاری به شیوه منطقی است؛ به‌طوری که می‌توان گفت این روش از یک طرف وابسته به تصورات شخصی و طرح‌ریزی سلسله‌مراتبی یک مسئله است و از طرف دیگر با منطق، درک و تجزیه برای تصمیم‌گیری و قضاوت نهایی مرتبط است (قدسی‌پور، ۲۰۰۶). این روش را نخستین بار توماس ال. ساعتی در دهه ۱۹۸۰ به‌منظور رتبه‌بندی معیارها و راهبردهای تصمیم‌ابداع کرد. امتیاز فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی این است که ساختار و چارچوبی را برای همکاری و مشارکت گروهی در تصمیم‌گیری‌ها یا حل مشکلات مهیا می‌کند. در مدیریت حوزه‌های آبخیز این روش کاربرد مختلفی دارد. حسینی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل AHP به بررسی مدیریت ریسک خشکسالی در کاهش آسیب‌پذیری کشاورزان پرداختند؛ نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که مدیریت ریسک خشکسالی رویکرد مناسبی برای کاهش آسیب‌پذیری کشاورزان در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیطی در مناطق روستایی است. همچنین درباره ارزیابی پتانسیل یابی آب‌های زیرزمینی، مطالعه‌ای توسط فتحی‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) از طریق فرایند AHP با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه مهدشیر

2. Multiple Criteria Decision Making
3. Multiple Attribute Decision Making
4. Multiple Objective Decision Making
5. Analytical Hierarchy Process

1. DEM

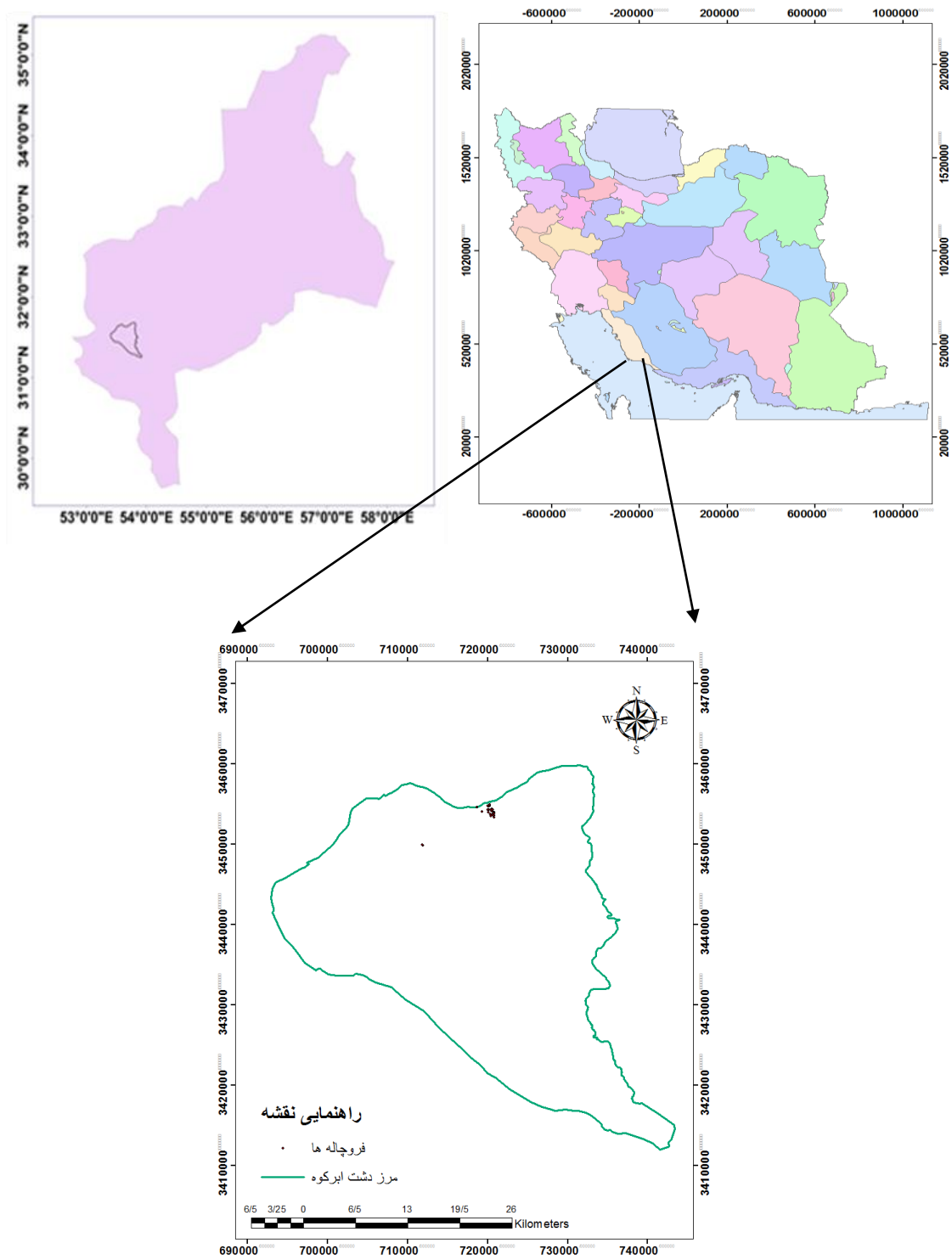
جغرافیایی آن بین طول‌های "۲۰' ۳۹' ۵۲° تا "۵۷' ۳۰' ۵۳° شرقی و عرض‌های "۵۳' ۴۰' ۳۰° تا "۰۶' ۳۱' ۳۱° شمالی قرار گرفته است. این منطقه از شمال به حوضه طاقستان، از شرق به زیرحوضه نیر-دهشیر، از سمت جنوب و جنوب شرق به زیرحوضه مروست و از غرب به حوزه آبرده-اقلید از استان فارس محدود می‌شود. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی آبخوان دشت ابرکوه را نشان می‌دهد.

در یک دید کلی به نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه، مورفولوژی منطقه یادشده از سازندهای کرتاسه مانند سازند تفت (kt) در منطقه تحت‌تأثیر فرسایش طولانی، به‌صورت تپه‌ماهورهای متعدد بوده که با پیشروی دریای کم‌عمق و گرم الیگومیوسن، شرایط مساعد برای رشد مرجان‌ها بر تپه‌های آهکی کرتاسه فراهم شده و آتلهای متعدد مرجانی به وجود آمده است. با پسروی دریای الیگومیوسن در اثر فازهای آپی و فراهم شدن شرایط مساعد کارستی شدن، کارستی شده‌اند. این کارست‌ها نقش عمده‌ای در هیدرولوژی منطقه داشته ولی چون حفره‌های کارستی در این منطقه در مجاورت آبرفت بوده و با بلوغ کارست‌ها و همچنین با پایین رفتن سطح آب منطقه از فشار داخلی حفره‌ها کاسته شده، فرونشینی تدریجی لایه‌های آبرفتی را فراهم ساخته است. در این منطقه نیز موارد متعددی از فروچاله‌ها و مواردی از شکاف طولی مشاهده شده است. جدول (۱) مشخصات ۳۰ فروچاله موجود در منطقه مورد مطالعه است. فروچاله‌های دشت ابرکوه را می‌توان به دو گروه فروچاله‌های دشتی و فروچاله‌های کوهستانی تقسیم کرد. این فروچاله‌ها از نظر شکل، ابعاد، ساختار، ژئومورفولوژی متفاوت‌اند. شکل (۲) و (۳) نمونه‌ای از فروچاله‌های دشت ابرکوه است.

صورت گرفت؛ نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد از بین ۷ معیار (سنگ‌شناسی، خط‌واره، شیب، توپوگرافی، تراکم زهکشی، پوشش گیاهی و خطوط هم‌باران) مورد بررسی توسط نظریات کارشناسی و روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، معیار سنگ‌شناسی و خط‌واره، بیشترین ارجحیت برای پتانسیل آب زیرزمینی را دارند. هاتف و اختصاصی (۲۰۱۶) به‌منظور مدیریت منابع آب مهدیشهر در استان سمنان، هفت عامل واحدهای سنگ‌شناسی، گسل‌ها، شیب، توپوگرافی، زهکشی، گیاه‌شناسی و خطوط هم‌باران را با استفاده از سه روش سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله‌مراتبی بررسی کردند؛ نتایج نشان داد عوامل سنگ‌شناسی و گسل‌ها به‌ترتیب با وزن نسبی ۰/۳۳ و ۰/۲۲ درصد، بیشترین اهمیت را در پتانسیل آب‌های زیرزمینی این منطقه داشته است. به‌منظور تعیین عوامل مؤثر در شکل‌گیری فروچاله‌های دشت ابرکوه، از فرایند تحلیلی سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شد و در راستای صحت‌سنجی نتایج به‌دست‌آمده از مدل AHP یک‌سری بررسی‌ها و اندازه‌گیری‌های صحرایی و همچنین مطالعات آزمایشگاهی انجام شد. بررسی منابع بیانگر این است که در مطالعات گذشته، علی‌رغم استفاده از AHP در مسائل مرتبط با مدیریت منابع طبیعی، به موضوع علل شکل‌گیری فروچاله‌ها و همچنین بررسی تمام عوامل و معیارهای تأثیرگذار بر آن، پرداخته نشده است. در این پژوهش سعی شد با بررسی تمام گزینه‌ها و معیارهای مؤثر بر شکل‌گیری فروچاله‌ها بر اساس نظریات خبرگان، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه دشت ابرکوه با وسعت ۱۲۵۰ کیلومتر مربع، جزئی از حوضه آبریز کویر ابرکوه-سیرجان است. موقعیت



شکل (۱): محدوده آبخوان دشت ابرکوه به همراه موقعیت فروچاله‌ها

Figure (1): Abarkuh plain aquifer area along with the position of the hollows

جدول (۱): مشخصات فروچاله‌های موجود در دشت ابرکوه (مطالعات آب منطقه‌ای استان یزد، ۲۰۱۱)

Table (1): Specifications of the hollows in Abarkuh plain

ردیف	مختصات (UTM)		ردیف	مختصات (UTM)		ردیف	عمق (متر)	شعاع (متر)	سال ایجاد حفره	مختصات (UTM)	ردیف	عمق (متر)	شعاع (متر)	سال ایجاد حفره	مختصات (UTM)
	Y	X		Y	X										
۱	۳۴۵۳۲۸۰	۷۲۰۸۶۰	۱۶	۳۴۵۳۲۸۰	۷۲۰۸۶۰	۱۵	۲/۵	۱۵	۷۵	۳۴۵۳۲۸۰	۷۲۰۸۶۰	۱	۱/۵	۵	۷۵
۲	۳۴۵۳۲۲۵	۷۲۷۹۰	۱۷	۳۴۵۳۲۷۶۰	۷۲۰۸۶۰	۱۵	۲/۵	۱۵	۷۵	۳۴۵۳۲۲۵	۷۲۷۹۰	۲	۰/۵	۱۰	۷۹
۳	۳۴۵۳۴۵۵	۷۲۰۴۰۰	۱۸	۳۴۵۳۵۵۰	۷۲۰۸۶۰	۳۰	۱	۳۰	۷۹	۳۴۵۳۴۵۵	۷۲۰۴۰۰	۳	۱/۵	۵	۷۵
۴	۳۴۵۳۷۲۰	۷۲۰۳۵۰	۱۹	۳۴۵۳۵۴۰	۷۲۰۷۲۰	۱۵	۲	۱۵	۷۴	۳۴۵۳۷۲۰	۷۲۰۳۵۰	۴	۱	۸	۷۵
۵	۳۴۵۴۱۲۰	۷۲۰۴۸۰	۲۰	۳۴۵۳۵۸۵	۷۲۰۵۸۰	۱۰	۴	۱۰	۷۳	۳۴۵۴۱۲۰	۷۲۰۴۸۰	۵	۱	۸	۷۹
۶	۳۴۵۴۷۴۰	۷۲۰۳۱۵	۲۱	۳۴۵۴۲۵۰	۷۲۰۴۴۰	۸	۱	۸	۷۴	۳۴۵۴۷۴۰	۷۲۰۳۱۵	۶	۱	۴	۷۹
۷	۳۴۵۴۸۳۰	۷۲۰۳۱۵	۲۲	۳۴۵۴۶۲۰	۷۲۰۱۱۰	۴	۲	۴	۷۴	۳۴۵۴۸۳۰	۷۲۰۳۱۵	۷	۱/۵	۵	۷۸
۸	۳۴۵۴۹۱۰	۷۲۰۲۴۰	۲۳	۳۴۵۴۷۴۰	۷۲۰۰۵۰	۴	۲	۴	۷۶	۳۴۵۴۹۱۰	۷۲۰۲۴۰	۸	۱/۵	۴	۸۹
۹	۳۴۵۴۷۰۰	۷۲۰۲۰۰	۲۴	۳۴۵۴۲۶۵	۷۲۰۱۶۰	۵	۱۲	۵	۷۴	۳۴۵۴۷۰۰	۷۲۰۲۰۰	۹	۷	۳	۷۲
۱۰	۳۴۵۴۳۴۰	۷۲۰۵۰۰	۲۵	۳۴۵۴۲۳۰	۷۲۰۰۶۰	۱۲	۱/۵	۱۲	۷۷	۳۴۵۴۳۴۰	۷۲۰۵۰۰	۱۰	۲	۸	۷۷
۱۱	۳۴۵۴۳۴۰	۷۲۰۵۷۰	۲۶	۳۴۵۳۹۶۰	۷۲۰۱۰۰	۱/۵	۱	۱/۵	۷۷	۳۴۵۴۳۴۰	۷۲۰۵۷۰	۱۱	۸	۳	۷۲
۱۲	۳۴۵۴۲۴۰	۷۲۰۶۵۰	۲۷	۳۴۵۴۵۸۰	۷۱۸۷۰۰	۵	۲	۵	۷۵	۳۴۵۴۲۴۰	۷۲۰۶۵۰	۱۲	۱۰	۲۰	۷۲
۱۳	۳۴۵۳۹۶۰	۷۲۰۸۶۰	۲۸	۳۴۵۴۰۵۰	۷۱۹۳۳۰	۵	۱	۵	۷۵	۳۴۵۳۹۶۰	۷۲۰۸۶۰	۱۳	۲	۱۰	۷۴
۱۴	۳۴۵۳۹۱۰	۷۲۰۷۸۰	۲۹	۳۴۴۹۸۲۵	۷۱۱۹۱۰	۵	۱	۵	۷۵	۳۴۵۳۹۱۰	۷۲۰۷۸۰	۱۴	-	-	-
۱۵	۳۴۵۳۸۳۵	۷۲۰۷۹۰	۳۰	۳۴۴۹۹۰۰	۷۱۱۸۲۵	۵	۱/۵	۵	۷۵	۳۴۵۳۸۳۵	۷۲۰۷۹۰	۱۵	-	-	-



شکل (۲): دو تصویر از فروچاله‌های کوهستانی در دشت ابرکوه

Figure (2): Two sinkholes image of the mountain in plain Abarkuh



شکل (۳): نمونه‌ای از دیواره‌های فروچاله‌های دشتی در منطقه مورد مطالعه
Figure (3): An example of the walls of the sinkhole plain in the study area

روش تحقیق

بررسی نقش عوامل مؤثر در توسعه و شکل‌گیری فروچاله‌ها می‌تواند دربرگیرنده عوامل فراوانی باشد؛ با این حال تصمیم‌گیری درباره اینکه کدام یک از عوامل تأثیر بیشتری دارند، کار دشواری است. در همین راستا از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد و گروه تصمیم‌گیرنده تعدادی از خبرگان آگاه به علوم زمین‌شناسی و منابع طبیعی بودند و شناخت محیطی کاملی درباره دشت ابرکوه داشتند. در این پژوهش، ابتدا سلسله‌مراتب برای معیارهای مؤثر در علل شکل‌گیری فروچاله‌های دشت ابرکوه طراحی شد (شکل ۲). سپس پرسش‌نامه‌ای برای مقایسه زوجی معیارها آماده شد و برای نظرسنجی در اختیار کارشناسان و خبرگان قرار گرفت. به‌منظور دستیابی به اهداف مطالعه که شناخت ویژگی‌های ژئومورفولوژی و علل شکل‌گیری فروچاله‌های رخ داده در دشت ابرکوه است، پس از تعیین مهم‌ترین معیارهای مؤثر در شکل‌گیری فروچاله‌ها توسط مدل تحلیلی AHP در جهت صحت‌سنجی نتایج به‌دست‌آمده، یک‌سری بررسی‌ها و مطالعات میدانی انجام گرفت و پس از آن بسیاری از شاخص‌ها در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری شد.

روش AHP

یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است. این روش بر اساس مقایسه‌های زوجی

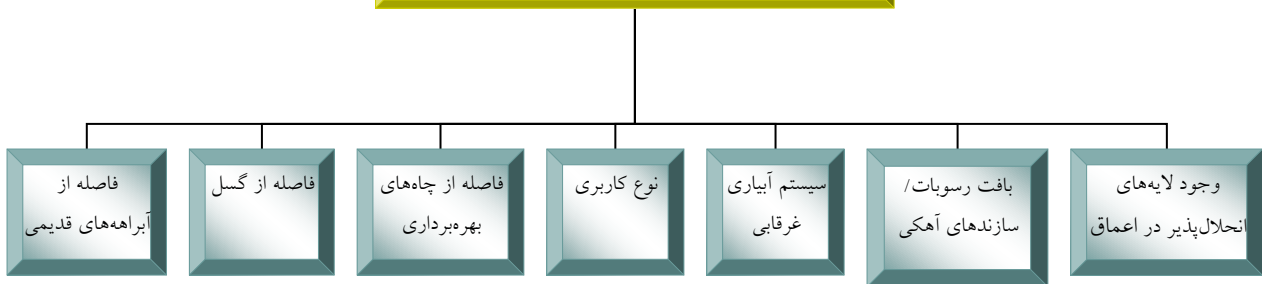
بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد. اولین قدم در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله است که در آن، هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند.

سطح یک در تحلیل سلسله‌مراتبی، هدف را نشان داده، سطوح میانی معیارهای مؤثر بر تصمیم‌گیری و سطح آخر گزینه‌های تصمیم‌گیری هستند. مهم‌ترین بخش در این مرحله، انتخاب معیارها و عوامل مؤثر بر هدف تصمیم است (قدسی‌پور، ۲۰۰۶). با روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، در آغاز ساختار تهیه می‌شود و سپس معیارهای مناسب تصمیم‌گیری با یکدیگر مقایسه و در نهایت ارزش وزنی هر یک از آن‌ها تعیین می‌شود (اصغرپور، ۲۰۰۹). اعدادی که برای مقایسه زوجی به کار برده می‌شوند، از ۱ تا ۹ می‌باشند که یک سنجش استاندارد است.

کاربرد AHP بر پایه پیروی از سه اصل ایجاد ساختار و آراستن آن بر پایه موضوع، برقراری برتری از راه مقایسه زوجی و برقراری سازگاری منطقی از اندازه‌گیری است.

در این پژوهش، ابتدا سلسله‌مراتب برای معیارهای مؤثر در شکل‌گیری فروچاله‌های دشت ابرکوه طراحی شد (شکل ۴)، سپس پرسش‌نامه‌ای برای مقایسه زوجی معیارها آماده شد و برای نظرسنجی در اختیار کارشناسان و خبرگان قرار گرفت.

مهم‌ترین معیارها در شکل‌گیری فروچاله‌های دشت ابرکوه



شکل (۴): درخت سلسله‌مراتب مهم‌ترین علل شکل‌گیری فروچاله‌های دشت ابرکوه در محیط نرم‌افزار Expert Choice 11

Figure (4): Hierarchy tree The most important causes of the formation of Abarkuh Plain hollows in the Expert Choice11 environment

نرم‌افزار Expert Choice

نرم‌افزار Expert Choice یک ابزار قوی برای تصمیم‌گیری چندمعیاره بر اساس روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است. این نرم‌افزار توانایی‌های فراوانی دارد و علاوه بر امکان طراحی نمودار سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری، طراحی سؤالات، تعیین اولویت‌ها و محاسبه وزن نهایی، قابلیت تحلیل حساسیت تصمیم‌گیری در برابر تغییرات در پارامترهای مسئله را نیز دارد (کریمی و همکاران، ۲۰۱۳). به‌منظور انجام مقایسات زوجی، پرسش‌نامه‌ها به‌صورت ماتریس اعداد وارد مدل Expert Choice 11 شد و وزن هر یک از معیارها و طبقات با استفاده از روش مقایسه زوجی در نرم‌افزار محاسبه گردید. بدین ترتیب پس از وارد کردن هر ماتریس مقایسه زوجی، مدل نموداری از وزن‌ها را به نمایش درآورده و به کمک دستور ناسازگاری، نرخ ناسازگاری محاسبه و بررسی شد. در حالت کلی، اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، ناسازگاری قابل‌قبول است و در صورتی که بیش از این مقدار باشد، باید در قضاوت‌های صورت‌گرفته بازنگری گردد. در نهایت به‌منظور دستیابی به نتایج کلی پرسش‌نامه‌ها، با استفاده از ابزار Participant موجود در نرم‌افزار، نظریات و مقایسه‌های زوجی پرسش‌نامه‌ها با هم ترکیب شد و وزن نهایی هر یک از معیارهای سطح اول، دوم و سوم مشخص گردید. پس از آنالیز حساسیت مدل، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر خروجی مدل شناسایی شد و در نهایت مهم‌ترین معیارها بر اساس هدف مشخص شدند.

نتایج

همان‌طور که گفته شد، در این مطالعه علل شکل‌گیری فروچاله‌های دشتی و کوهستانی در دشت ابرکوه دنبال شد. در مدل، مهم‌ترین عوامل در شکل‌گیری فروچاله‌های دشت ابرکوه، ۸ معیار فاصله از چاه‌های بهره‌برداري، فاصله از گسل، فاصله از آبراه‌های قدیمی، افت سفره‌های زیرزمینی، نوع کاربری، سیستم آبیاری غرقابی، وجود لایه‌های انحلال‌پذیر در اعماق و همچنین بافت رسوبات در مناطقی که فروچاله‌های دشتی دیده می‌شود و سازندهای آهکی در محل رخداد فروچاله‌های کوهستانی تعریف شدند.

مدل AHP معیارهای در نظر گرفته‌شده با نرخ ناسازگاری ۰/۰۹ به‌صورت وجود لایه‌های انحلال‌پذیر در اعماق با وزن استاندارد شده ۳۰ درصد، بافت رسوبات (در فروچاله‌های دشتی) و سازندهای آهکی (در فروچاله‌های کوهستانی) با وزن ۲۰/۴ درصد، افت سفره‌های زیرزمینی با وزن ۱۷/۴ درصد، سیستم آبیاری با وزن ۱۲/۶ درصد و معیارهای کاربری، فاصله از چاه‌های بهره‌برداري، فاصله از آبراه‌های قدیمی و گسل با وزن‌های به‌ترتیب ۷/۱، ۵/۸، ۳/۶، ۳/۱ درصد اولویت‌بندی شدند.

نتایج حاصل از این اولویت‌بندی در جدول (۲) قابل مشاهده است.

جدول (۲): ماتریس مقایسه زوجی مهم‌ترین مشکل معیارها در شکل‌گیری فروچاله‌های دشت ابرکوه

Table (2): Comparison of the matrix of the pair The most important criterion problem in the formation of the sheds of Abarkuh Plain

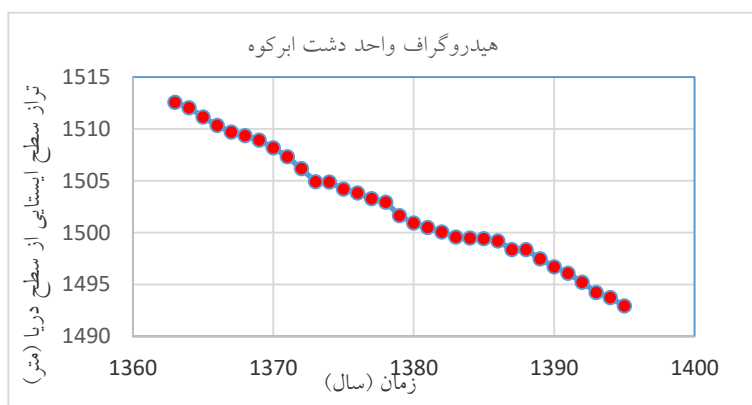
وزن استاندارد شده (درصد)	وجود لایه‌های انحلال‌پذیر در اعماق آهکی	بافت رسوبات/ آبیاری غرقابی	سیستم آبیاری کاربری	نوع سفره‌های زیرزمینی	افت آبراه‌های قدیمی	فاصله از فاصله از گسل	فاصله از چاه‌های بهره‌برداری	معیارها
۵/۸	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۴۹	۰/۵۲	۰/۳۳	۲/۰۲	۳/۰۵	فاصله از چاه‌های بهره‌برداری
۳/۱	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۳۳	۰/۴	۰/۲۵	۱	۲/۲۸	فاصله از گسل
۳/۶	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۴	۰/۵	۰/۲۸	۱	۱/۰۴	فاصله از آبراه‌های قدیمی
۱۷/۴	۰/۳۳	۰/۵	۱/۹	۲/۵	۱	۳/۵	۴	افت سفره‌های زیرزمینی
۷/۱	۰/۱۵	۰/۱۶	۲	۱	۰/۴	۲	۲/۵	نوع کاربری
۱۲/۶	۰/۱۶	۰/۱۸	۱	۰/۵	۰/۵۲	۲/۵	۳	سیستم آبیاری غرقابی
۲۰/۴	۰/۵	۱	۵/۵	۶	۲	۷/۰۵	۷/۴	بافت رسوبات/ سازندهای آهکی
۳۰	۱	۲	۶	۶/۵	۳	۷/۰۸	۷/۵	وجود لایه‌های انحلال‌پذیر در اعماق

در راستای صحت‌سنجی نتایج حاصل از اولویت‌بندی مدل AHP بعد از بازبندی‌های به عمل آمده از فروچاله‌های دشت ابرکوه، بسیاری از پارامترها در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و همچنین بسیاری از اطلاعات بررسی گردید که به شرح زیر است:

آبخوان دشت ابرکوه به دلیل برداشت از طریق چاه‌های بهره‌برداری در طی ۳۵ سال اخیر، از نظر آبدهی کاهش یافته است. افت متوسط آبخوان دشت ابرکوه بر اساس هیدروگراف واحد آب زیرزمینی در دوره درازمدت ۳۵ ساله طی سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۵ برابر با ۱۹/۶۴ متر (در هر سال ۰/۵۶ متر) بوده که در شکل (۵) روند تغییرات آن ارائه شده است.

در راستای صحت‌سنجی نتایج حاصل از اولویت‌بندی مدل AHP بعد از بازبندی‌های به عمل آمده از فروچاله‌های دشت ابرکوه، بسیاری از پارامترها در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و همچنین بسیاری از اطلاعات بررسی گردید که به شرح زیر است:

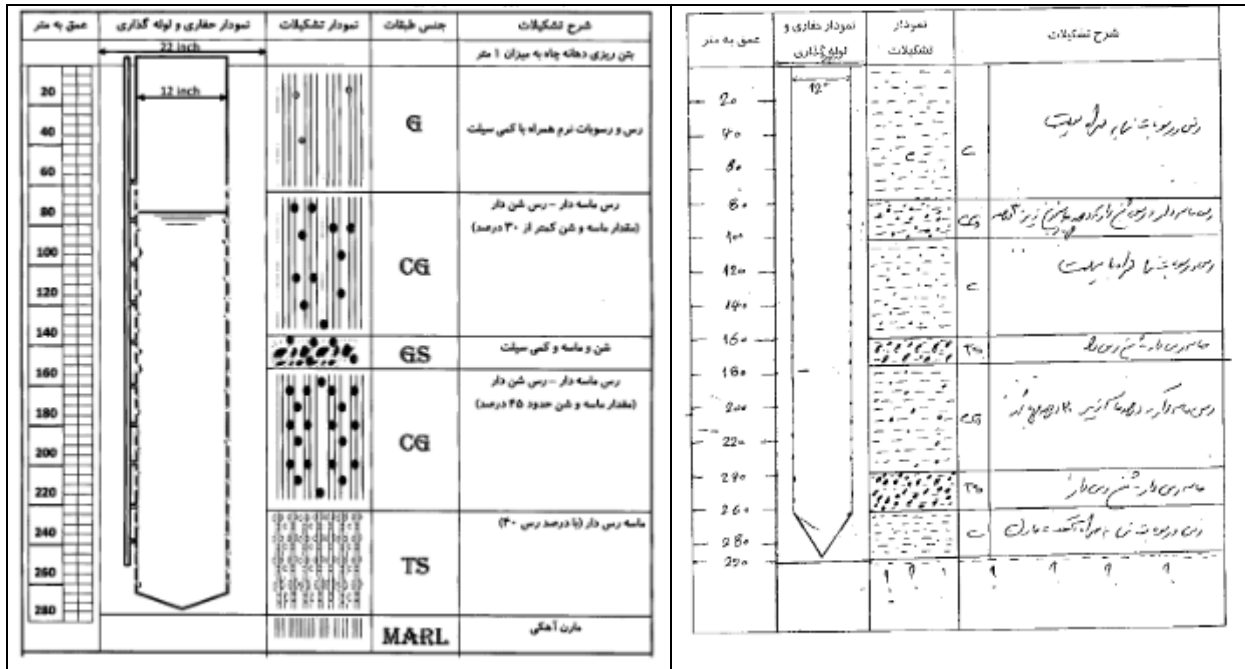
آبخوان دشت ابرکوه به دلیل برداشت از طریق چاه‌های



شکل (۵): هیدروگراف واحد دشت ابرکوه بین سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۵
Figure (5): Hydrograph unit of Abarkuh plain between 1360-1395

بررسی لوگ حفاری تعدادی از پیژومترهای اطراف فروچاله‌های دشتی نشان داد بخش عمده‌ای از ضخامت لایه‌های اشباع این پیژومترها شامل مواد دانه‌ریز رس و سیلت است که در افق‌های مختلف و ضخامت‌های محدود، مواد دانه‌ریز همراه با ماسه و شن به نسبت‌های متفاوت نیز وجود دارد و سنگ کف از جنس مارن آهکی است (شکل ۶).

بررسی لوگ حفاری تعدادی از پیژومترهای اطراف فروچاله‌های دشتی نشان داد بخش عمده‌ای از ضخامت لایه‌های اشباع این پیژومترها شامل مواد دانه‌ریز رس و سیلت



شکل (۶): لوگ حفاری دو پیزومتر اطراف فروچاله‌های دشتی و کوهستانی منطقه مورد مطالعه

Figure (6): Logging of two piezometers around the sinkhole

نتایج آزمایش‌های صورت‌گرفته در هر دو فروچاله، به‌صورت میانگینی از هر ۵ نقطه نمونه‌برداری ارائه شده است. نتایج حاصل از این دانه‌بندی به روش هیدرومتری در جدول (۳) قابل مشاهده است.

جدول (۳): نتایج دانه‌بندی هیدرومتری دو نمونه از فروچاله‌های کوهستانی و دشتی

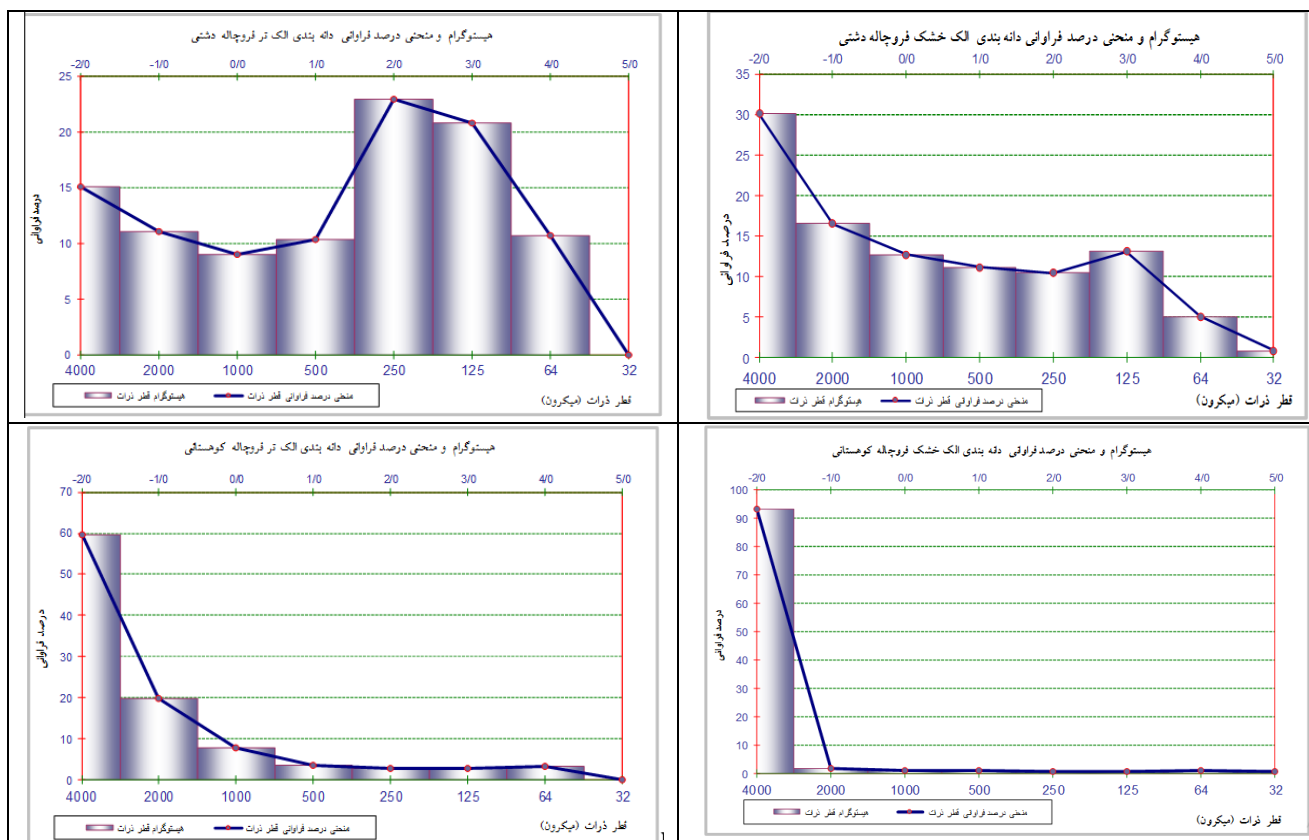
Table (3): Results grainding hydrometer two examples of sinkholes mountain and plain

شماره ۱ (کوهستانی)	شماره ۲ (دشتی)	فروچاله
۶	۱۲	رس %
۱۲	۱۸	سیلت %
۸۲	۷۰	شن %
شنی لومی	لومی شنی	بافت خاک

نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد مقادیر رس و سیلت در فروچاله دشتی بیشتر از فروچاله کوهستانی است؛ در نتیجه بافت خاک در فروچاله دشتی ریزدانه‌تر است. دانه‌بندی به‌صورت الک خشک انجام گرفت و نمودارهای توزیع دانه‌ها در شکل (۷) قابل مشاهده است.

همچنین با بازدیدهای میدانی، نوع کاربری محل رخداد فروچاله‌های دشتی، کاربری کشاورزی تعریف شد. این دو عامل در کنار هم باعث می‌شود که منابع آب در جهت مصرف در بخش کشاورزی از لایه‌های عمیق پمپاژ شود و به لایه‌های سطحی با رسوبات رس و املاح‌دار تزریق گردد؛ این امر منجر به تشکیل غار یا حفره‌های انحلالی زیرین می‌شود و با افزایش فشار طبقات فوقانی به‌صورت دولین انحلالی-ریزشی درآمده است.

برای به‌دست‌آوردن نتایجی بهتر در آذرماه ۱۳۹۵، دو منطقه از دشت ابرکوه (با مختصات، $x=071111581$, $y=3450065$ و $x=0681963$, $y=3434878$) که فروچاله‌های دشتی و کوهستانی در آن مشاهده می‌شد، به‌عنوان محل نمونه‌برداری برای انجام آزمایش‌های مربوط به بافت و خاک انتخاب شد. در هر دو محل با رعایت فواصل مشخص، در ۵ نقطه از عمق ۱/۵ متری، نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس برای به‌دست‌آوردن توزیع اندازه دانه‌ها در نمونه‌ها به سه روش هیدرومتری، الک تر و الک خشک، دانه‌بندی صورت گرفت. از آنجا که بافت رسوبات در فروچاله‌های دشتی به‌صورت ریزدانه بود، برای به‌دست‌آوردن نتایج مطلوب‌تر، از دانه‌بندی به‌صورت الک تر و هیدرومتری استفاده شد.



شکل (۷): دانه‌بندی خاک به روش الک تر و خشک در محدوده فروچاله‌های ابرکوه

Figure (7): Sieve and dry aggregates in the hollows

مقادیر کلر، کلسیم و منیزیم، کربنات و بی‌کربنات، آهک، EC، TDS، PH، مدول الاستیسیته حجمی در هر دو فروچاله اندازه‌گیری شد. علت این آزمایش‌ها مشخص کردن درجه انحلال‌پذیری خاک و رسوبات داخل فروچاله‌هاست؛ نتایج در جدول (۴) قابل مشاهده است.

با توجه به شکل (۷) در هر دو دانه‌بندی الک تر و خشک، فروچاله دشتی دارای ذرات ریز نسبت به فروچاله کوهستانی است؛ به عبارتی در فروچاله دشتی بیشتر ذرات به‌صورت ماسه و در فروچاله کوهستانی ذرات سنگ‌ریزه درصد بیشتری دارند.

جدول (۴): نتایج آزمایش خاک بر نمونه‌های فروچاله‌ها

Table (4): Soil test results on samples sinkholes

درصد مدول الاستیسیته حجمی	PH	TDS (ppm)	EC (ms)	آهک (درصد)	بی‌کربنات (meq/lit)	کربنات (meq/lit)	کلسیم و منیزیم (meq/lit)	کلر (meq/lit)	فروچاله
۲۵٪	۷/۴۸	۱۳۹۵/۲	۲/۱۸	۷۶	۲/۵	۳	۳/۹	۸	شماره ۱ پایکوهی
۳۳٪	۷/۶۶	۴۴۹۲/۸	۷/۰۲	۸۵	۹	۲	۷	۱۲۰	شماره ۲ دشتی (فیض‌آباد)

آب منطقه‌ای استان یزد (۲۰۱۱) بر روی سنگ کف دشت ابرکوه این نتیجه را تأیید می‌کند؛ سنگ کف در حاشیه ارتفاعات شمالی مارن، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و آهک مرجانی و در ارتفاعات غربی آهک‌ها و دولومیت‌های تریاس، در حاشیه

با توجه به جدول (۴)، بالا بودن مقادیر درصد آهک، TDS و کربنات‌ها در خاک بیانگر انحلال‌پذیری نسبتاً زیاد در خاک‌های منطقه مورد مطالعه است. هر دو فروچاله از درصد بالای آهک (بیش از ۵۰ درصد) برخوردارند. مطالعات شرکت

پیزومترهای اطراف فروچاله‌ها و همچنین آزمایش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد بافت رسوبات در فروچاله‌های دشتی ریزدانه و با درصد آهک، رس و مارن بالاست و وجود اراضی کشاورزی سبب می‌شود منابع آب از لایه‌های عمیق بیرون کشیده شده و به لایه‌های سطحی با درصد رس، مارن زیاد و املاح‌دار تزریق گردد؛ این امر باعث تشکیل غار یا حفره‌های انحلالی زیرین می‌شود. سپس با اندک تجمع رواناب سطحی یا افزایش فشار طبقات فوقانی، این حفره‌های انحلالی زیرین شروع به ریزش کرده و فروچاله‌های دشتی را ایجاد می‌کنند.

اما بافت رسوبات گروه دوم فرونشست یا فروچاله‌های دشت ابرکوه تحت شرایط الک خشک و تر نشان می‌دهد که رسوبات این فروچاله‌ها درصد ذرات سیلت و رس املاح‌دار و همچنین مقادیر کل نمک‌های محلول (TDS) حداقل ۳ برابر رسوبات فروچاله‌های محدوده دشتی است و به همین ترتیب مدول الاستیسیته حجمی آن ۱/۵ تا ۲ برابر فروچاله‌های دشتی است که همگی بیانگر منشأ نشست انحلالی و کاهش فشار هیدرواستاتیکی در محدوده نهشته‌های آهکی اطراف فروچاله است؛ دلیل اصلی انسانی و زمین‌ساختی آن را می‌توان به صورت افت سفره‌های آبی و تشدید جریانات زیرقشری ناشی از آبیاری غرقابی ذکر کرد که در طی دو دهه اخیر در منطقه ایجاد شده و گسترش یافته است. وجود سفره‌های با سنگ کف آهکی و منطبق با ضخامت کم در محدوده دشت ابرکوه را که در مجاورت پلایای قدیمی ابرکوه است، می‌توان از دلایل تجمع و گسترش زمین‌ساختی این پدیده ذکر کرد.

ارتفاعات جنوب غرب سنگ آهک‌های خاکستری رنگ پرمین و شیل و کنگلومرا، آهک‌های شیلی تریاس و بالاخره در حاشیه شرقی دشت کفه‌های گلی و کفه‌های نمکی (رسوبات ریزدانه حاوی املاح گچ و نمک) تشکیل می‌دهند. مقادیر کلر، کلسیم و منیزیم، بی‌کربنات، TDS در فروچاله‌های دشتی نسبت به فروچاله‌های پایکوهی (کوهستانی) بیشتر است.

بحث و نتیجه‌گیری

با به‌کارگیری روش سلسله‌مراتبی، نقش عوامل مختلف در وقوع فروچاله‌های دشت ابرکوه ارزیابی شد. ابتدا معیارهای تأثیرگذار بر اساس نظریات کارشناسان و خبرگان تعیین گردید، سپس نتایج استخراج شده از مدل Expert Choice بررسی شد؛ از آنجا که ضرایب معیارها و زیرمعیارها کمتر از ۰/۱ بود، سازگاری قضاوت‌ها تأیید شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد عمده‌ترین معیار در ایجاد بحران فروچاله‌های دشت ابرکوه، وجود لایه‌های انحلال‌پذیر در اعماق است. ضریب تأثیر این معیار بر اساس نتایج حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی برابر با ۳۰ درصد به دست آمد و پس از آن بافت رسوبات (در فروچاله‌های دشتی) و سازندهای آهکی (در فروچاله‌های کوهستانی) با وزن ۲۰/۴ درصد، افت سفره‌های زیرزمینی با وزن ۱۷/۴ درصد، سیستم آبیاری با وزن ۱۲/۶ درصد و معیارهای نوع کاربری، فاصله از چاه‌های بهره‌برداری، فاصله از آبراه‌های قدیمی و گسل با وزن‌های به ترتیب ۷/۱، ۵/۸، ۳/۶، ۳/۱ درصد اولویت‌بندی شدند. نتایج به دست آمده در گام اول با نتایج عالی‌پور و همکاران (۲۰۱۶) و او (۲۰۱۰) تطابق دارد.

نتایج به دست آمده از بررسی اطلاعات و لوگ‌های حفاری

منابع

1. Aliari, A., 2001. The study of the mechanism of the formation of Hamadan sinkholes. second conference of Engineering Geology and Environment of Iran, pp. 693-703.
2. Alipour, M., Malek Mohammadi, B., Jafari, H., 2016. Land submarine risk zoning due to groundwater abatement using fuzzy hierarchy analysis model. Journal of Watershed management science 11 (38), 25-35.
- 3.
4. Amiri, M., 2005. Relationship between Sinkholes of Famenin-Kabudrahang Ghahavand Plain and the bed rock of the area. Journal of Earth sciences. 11 (58), 134-147.
5. Asgharpour, M., 2009. Application of multi-criteria decision making. Tehran, Iran
6. Bazrafkan AS, Mohammadifar A A, Ekhtesasi MR. 2014. Book of Application of Group

- Decision-Making Models in Natural Resources Management, Shiraz. Waiting Room, 52 pp.
7. Biglou, J., Moghimi A., Safari, F., 2011. The use of tail in the morphotectonic analysis of the karstic ferrochoids of the Prao-Bisotun masses. *Geography Magazine and Environmental Planning*. 22
 8. Fathizadeh H, Alipour H, Hasheminasab N, Karimi H. 2016. Potentiality of groundwater through a hierarchical analysis process using remote sensing and geographic information system in the Mahdishahr basin, *Hydrogeology Journal* 8 (3), 1–20. (In Persian)
 9. Ghodsim Pour, H., 2006. Analytical Hierarchy Process AHP. Amir Kabir University of Technology Publishing Center.
 10. Gunay, G., 2002. Gypsum karst, sivas, Turkey. *Environmental Geology*, v.42, pp.387-398.
 11. Hatf, A, Ekhtesasi, MR., 2016. Groundwater potentiality through Analytic Hierarchy Process using remote sensing and Geographic Information System. *Geopersia Journal* 6 (1): 75–88.
 12. Hoseininezhad, A., Taghdisi, A., Nori, H., Akbarian, R., 2018. Drought Risk Management plan to reduce the vulnerability farmers. *Journal of Rural Research*. 9 (2). 264-277.
 13. Karimi, H., Gerai, P., Tavakoli, M., 2013. The risk of collision enclosure zoning using multivariate regression, *Journal of Advanced Applied Geolog* (6), 53-62.
 14. Matthew, D., Cahalan, M., 2018. Sinkhole formation mechanisms and geostatistical-based prediction analysis in a mantled karst terrain. *Journal of Elsevier* (165), 333-344.
 15. Oh, H., Lee, S., 2010. Assessment of ground subsidence using GIS and the weights-of-evidence model. *Engineering Geology* (115), 36-48.
 16. Omidvar, K., 2011. Natural hazards, Yazd University Press.
 17. Raisei Ardakani, A., 2005. Cartilage pits of the incident and its potential in Iran, Proceedings of the conference on the assessment of the dangers of the hollow in the karstic regions. with emphasis on the Hamdan's fountains. West Regional Water Company of Kermanshah, 130-141
 18. Sa'ati, Gh., 2004. Techno-technical condition of the downpours of the central plain of Hamedan. "3 th Conference on Engineering and Environmental Geology of Iran, 220-286.
 19. Sadati, Gh., 2003. Status tectonic subsidence pits the central plain of Hamadan. Third conference on Engineering and Environmental geology of Iran.
 20. Servati, M., Rostami, M., Nosrati, K., Ahmadi, M., 2013. Identifying the Factors Affecting the Distribution and Event of Shrubs in Kermanshah Gaskarkhani Region Using Logistic Regression 12 (36), 181-194.
 21. Waltham, A. C., 1989. Ground subsidence. Blackie.
 22. Waltham, A.C., Fookes, P.G., 2005. Engineering classification of karst ground conditions, *Speleogenesis and Evolution karst Aquifers* 3(1), 1-19.
 23. Yazd Regional Water Organization, 2011. *Geohydrology study of the Abarkouh plain.* (In Persian)

Investigation of Geomorphological characteristics and causes of Sinkholes in Abarkuh plain

Sanaz Pourfallah¹, Mohammad Reza Ekhtesasi ^{*2}, Mohsen Sadeghi³

Received: 21/07/2018

Accepted: 19/12/2018

Expanded abstract

Introduction: One of the most important evidence of karst development is the existence of Devlin or sinkholes. Devlin is a natural depression in the karstic areas with internal or subcutaneous drainage. In recent years several genetic classifications have been published for sinkholes sink holes in these categories into two main groups sinkholes of "liquidation" and "depression" are segregated. The sinkholes are closed pits that form holes in the surface of calcareous and other soluble or alluvial soils, and generally runoff from the hole in the floor to groundwater Joins.

materials and methods: The study area with an area of 3714.43 km² is part of the Abarkuh-Sirjan desert catchment area. Karsts of the region play a major role in the hydrology of the region, but because of the karst cavities in the area adjacent to alluvium, and with the maturation of the karsts, as well as the decrease of the surface area of the area, the internal pressure of the cavities was reduced and the gradual subsidence Alluvial layers are provided. Several cases of sinkholes and longitudinal gaps have also been observed in this area. The areas of occurrence of these hazards can be summarized as follows.

30 sinkholes in the study area. Abarkuh sinkholes on the plains can be divided into sinkholes and sinkhole mountainous desert divided. These halls are different in terms of shape, dimensions, structure, geomorphology

Result: AHP model proposed measures are incompatible with a rate of 09/0 for the presence of soluble layers deep with standard weight of 30%, sediment texture (the sinkhole plain) and limestone formations (sinkholes mountain in) with a weight of 4.20 percent, down from 4.17 percent weight aquifers, irrigation system with a weight of 12.6% and standard user type, distance from the well of operation, distance from the old stream and fault by weight, respectively, 1/7, 8/5, 6/3, 1/3 were prioritized. Abarkuh plain is based on hydrograph of the underground water unit during the long period of 35 years, during the years 1360 to 1395, equal to 19.64 m (0.56 m per year), Investigation of the drilling log of some piezometers around plain sinkholes showed that the major part of the thickness of the saturated layers of these piezometers was micro-clay and silty granular materials, which in different horizons and limited thicknesses, granular materials Along with sand and The sand is also of different proportions and the stone floor is from calcareous marl .The amounts of chlorine, calcium and

1. Student Master of Watershed Management, Yazd University

2. Professor of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desertification, Yazd University, Corresponding Author: Email: mr_ekhtesasi@yahoo.com

3. Master of Desertification Management, Yazd University

DOI: 10.22052/deej.2018.7.21.51

magnesium, carbonate and bicarbonate, lime, EC, TDS, PH, volumetric elastic modulus were measured in both fossils. The reason for these experiments is to determine the degree of solubility of the soil and sediments within the hollows. High amounts of lime percent, TDS and carbonates in the soil indicate relatively high solubility in the soils of the study area.

Discussion and Conclusion: The texture is very fine-grained sediments sinkhole plain and with a high percentage of clay content, lime and minerals to pump water from depths to agricultural use leads to dissolution and the resulting sinkhole plain holes as well as the location of sinkholes Abarkuh upstream mountain aquifer, which in recent decades has faced with a sharp drop in the aquifer, the crisis of falling into sinkholes and limestone formations mountainous phenomenon has created.

Keywords: Calcareous Formations, Analytical Hierarchy Model, Groundwater, AHP.