

پهنه بندی خطر وقوع فروچاله با استفاده از رگرسیون چند متغیره، مطالعه موردی: فروچاله های ریزشی

دشت جابر، استان ایلام

حاجی کریمی

عضو هیات علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

پرویز گرایبی

کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی استان ایلام

محسن توکلی

عضو هیات علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

تاریخ دریافت: ۳۰/۳/۹۰ تاریخ پذیرش: ۱۷/۱/۹۲

haji.karimi@gmail.com

چکیده

فروچاله های ریزشی بعنوان یکی از خطرات طبیعی همواره مورد توجه محققین قرار گرفته است. فرآیند وقوع این پدیده بگونه ای است که بیشتر در اراضی کشاورزی ایجاد می شود. با توجه به اینکه کاربری عمده دشت جابر استان ایلام کشاورزی میباشد همواره امکان وقوع فروچاله و مخاطرات جانی و مالی در این دشت وجود داشته و انجام یک پهنه بندی خطر وقوع فروچاله می تواند در برنامه ریزی های منطقه ای بسیار موثر باشد. برای این کار، ابتدا تهیه لایه های اطلاعات مربوط به فروچاله های منطقه، زمین شناسی (سنگ شناسی)، نقشه شیب، کاربری اراضی، خط کنیک، شبکه آبراهه، عمق سطح آب زیرزمینی و ضخامت آبرفت به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه گردید و سپس با استفاده از روش آماری رگرسیون چند متغیره و به کمک نرم افزار SPSS نقش عوامل فوق در وقوع فروچاله های منطقه ارزیابی گردید. بر اساس نتایج بدست آمده به ترتیب عوامل شیب دامنه، سنگ شناسی، فاصله از خط کنیک، ضخامت رسوب، کاربری اراضی و عمق سفره آب زیر زمینی بیشترین تأثیر را بر روی وقوع فروچاله های منطقه داشته اند. با استفاده از این عوامل، نقشه پهنه بندی خطر وقوع فروچاله در منطقه تهیه گردید. نتایج نشان می دهد که ۸۱ درصد فروچاله های منطقه در کلاسه های خیلی پر خطر و پر خطر قرار گرفته اند که بیانگر صحت مدل ارائه شده می باشد.

کلمات کلیدی: فروچاله ریزشی، رگرسیون چند متغیره، پهنه بندی خطر، ایلام

مقدمه

تعداد ۳۲ فروچاله در دشت جابر بدنه استان ایلام وجود دارند که اکثر آنها بصورت ریزشی ایجاد شده اند (کریمی، ۱۳۹۰). برخی از فروچاله ها در داخل زمینهای کشاورزی ساکنان منطقه تشکیل گردیده و مابقی در حاشیه دشت و یا در داخل سازند گچساران تشکیل شده اند. از آنجا که اهالی منطقه در این دشت کشاورزی می نمایند و با تجهیزات و ادوات کشاورزی مانند تراکتور، کمباین، بلدوزر و ... در داخل زمینها تردد می نمایند، نگرانی از وقوع فروریزش و تلفات جانی و مالی در این ناحیه می رود. بر اساس اطلاعات موجود سعی بر انجام یک پهنه بندی از دشت مذکور جهت خطر وقوع فروچاله در منطقه می باشد.

لازم به یادآوری است که در مطالعاتی که تاکنون در سطح ملی و بین المللی در رابطه با پهنه بندی وقوع فروچاله صورت گرفته هیچیک از روش رگرسیون چند متغیره، که یک روش آماری-ریاضی با قابلیت بالایی در وزن دهی لایه های موثر در وقوع فروچاله ها است استفاده نکرده اند و از این جنبه روشی جدید در سطح دنیا محسوب می گردد.

فروچاله ها یکی از مخاطرات طبیعی هستند که جان و مال انسانها را در نقاط مختلف کارستی دنیا تهدید می نمایند. در راستای پهنه بندی خطر وقوع فروچاله ها مطالعاتی در دنیا و کشور صورت گرفته که از نمونه مطالعات خارجی می توان به مطالعات Li et al., 2001; Marker, 2010; Cooper, 2008; Yilmaz et al., 2011; Gutierrez et al., 2005, 2008a and 2008b; Margiotta et al., 2012; Tolmachev, 2003; Gao and Jr, 2008; Lee et al., 2012, Doctor and Doctor, 2012; اشاره نمود. در این بررسی ها علاوه بر بررسی پهنه بندی خطر وقوع فروچاله ها و فرونشست با روشهای مختلف، به عوامل موثر در ایجاد فروچاله ها نیز پرداخته شده است. در برخی نقاط کشور نیز که فروچاله هایی به وقوع پیوسته، محققین به بررسی نحوه تشکیل و همچنین پهنه بندی خطر وقوع فروچاله ها پرداخته اند که از آن جمله می توان مطالعات شفیعی مطلق و مودب (۱۳۸۹)، چاوشیان (۱۳۹۰)، محمدی و همکاران (۱۳۹۰) و شیری و همکاران (۱۳۹۱) را نام برد.

معرفی منطقه

دشت جابر بدره در فاصله حدود ۷۰ کیلومتری جنوب شرق شهر ایلام در مسیر جاده ایلام به دره شهر در حد فاصل عرض جغرافیایی $33^{\circ} 20'$ تا $33^{\circ} 28'$ شمالی و طول جغرافیایی $52^{\circ} 46'$ تا 47° شرقی واقع شده است (شکل ۱). متوسط آمار بارندگی بلند مدت (۲۶ ساله) در این دشت حدود ۴۴۰ میلیمتر است. بر اساس داده های موجود، متوسط دمای سالانه محدوده مورد بررسی ۱۸ درجه سانتیگراد و میزان تبخیر سالانه حدود ۲۰۰۰ میلیمتر است. نوع اقلیم منطقه بر اساس تقسیم بندی های کوپن، دمارتن و آمبرژه بترتیب مدیترانه ای، نیمه خشک و نیمه خشک معتدل می باشد (کریمی، ۱۳۸۶). در حاشیه غربی دشت یک روستا بنام جابر وجود دارد که قریب ۲۰۰ نفر سکنه در آن مشغول به کشاورزی و دامپروری هستند.

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی از نظر زمین شناسی در ناحیه (Zone) زاگرس چین خورده واقع شده است (Stocklin, 1968). دشت جابر یک دشت ناودیسسی بوده که در بین تاقدیس های جابری در شمال و کبیر کوه در جنوب قرار گرفته است. سازند های زمین شناسی که در این محدوده رخنمون پیدا کرده اند، شامل سازند آهکی و دولومیتی آسماری (الیگومیوسن) در تاقدیس ها، سازند گچی و مارنی گچساران (میوسن) در حاشیه دشت جابری و کف دشت جابر، سازند بختیاری در ارتفاعات شرق دشت جابر و رسوبات آبرفتی درشت دانه بعنوان یک پوشش در کف دشت جابر بر روی سازند گچساران می باشد. رودخانه جابر از میانه دشت عبور نموده و به رودخانه سیمره می ریزد.

اندازه گیری ها

بمنظور دستیابی به اهداف مطالعه که پهنه بندی خطر وقوع فروچاله در دشت جابر می باشد، یکسری بررسی های صحرایی، اندازه گیری ها در محل و کارهای دفتری به انجام رسیده است. اندازه گیریهای میدانی شامل برداشت اطلاعات سازندهای زمین شناسی، تهیه نقشه و مقطع زمین شناسی، اطلاعات سطح آب زیرزمینی، نقشه های توپوگرافی، شناسایی اشکال ژئومورفولوژی کارست بویژه بررسی دقیق فروچاله های منطقه، تهیه نقشه پراکندگی فروچاله ها و تعیین موقعیت منابع آب منطقه می باشد.

برای نیل به این اهداف، بازدیدهای متعددی از منطقه بعمل آمده است. بمنظور جمع آوری اطلاعات فروچاله های منطقه و همچنین تهیه نقشه پراکندگی آنها، ابعاد تقریبی اعم از شکل کلی، قطر (طول و عرض) و عمق فروچاله ها با قدم شماری اندازه گیری و موقعیت آنها بوسیله GPS تعیین گردید و نقشه پراکندگی فروچاله های منطقه (شکل ۲) تهیه شد. با استفاده از خصوصیات منطقه مدلی برای انجام پهنه بندی ارائه گردد. برای این کار، روش آماری رگرسیون چند متغیره که یک روش کمی می باشد، برای پهنه بندی مورد استفاده قرار گرفت. مضافاً در این روش، روابط متقابل عوامل نیز در نظر گرفته شده و همچنین میزان تاثیر هر یک از عوامل در وقوع فروچاله به طور کمی بیان می گردد.

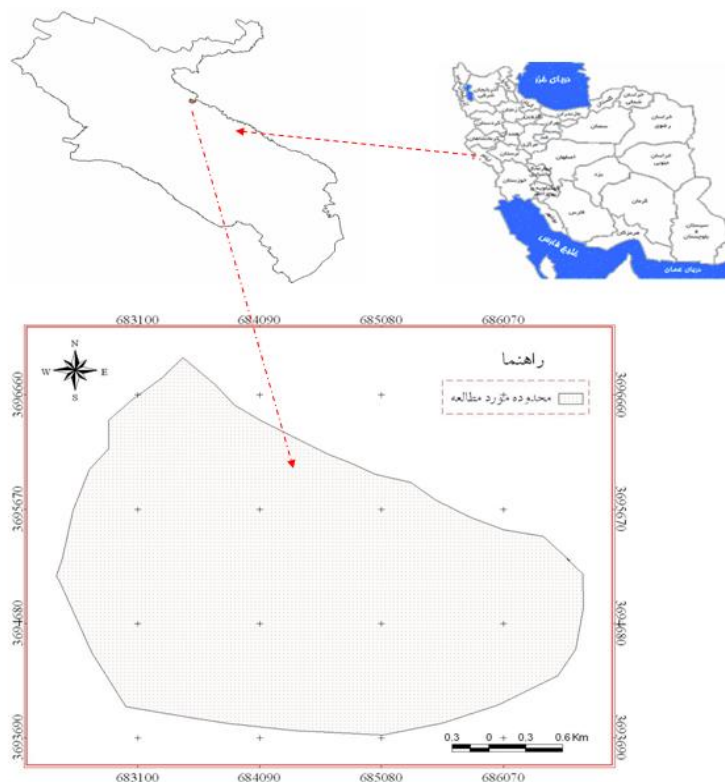
تعیین عوامل موثر در وقوع فروچاله

شناخت و جمع آوری اطلاعات مربوط به عواملی که در وقوع فروچاله نقش موثری دارند، اولین مرحله یک پهنه بندی خطر می باشد. شناخت و انتخاب عوامل مهم نقش زیادی در دقیق و صحیح بودن عمل پهنه بندی خطر دارد. به خصوص برای استفاده موفق از روشهای آماری در پهنه بندی، انتخاب مهم ترین متغیرها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. اگر عوامل به درستی شناسایی شوند، ارزیابی اثرات هر کدام از آنها راحت تر بوده و می توان آنها را بر حسب میزان تأثیرشان اولویت بندی کرد و در کار وزن دهی به عوامل مهمتر، وزنهایی بیشتری اختصاص داد. معمولی ترین روش بررسی عوامل موثر، استفاده از مورفومتری هر کدام از فروچاله های به وقوع پیوسته با استفاده از کارهای صحرایی می باشد. در کارهای صحرایی توجه به مواردی از قبیل موقعیت فروچاله، ساختار سنگ شناسی، پوشش گیاهی، نوع کاربری اراضی در محدوده فروچاله، شیب دامنه، وجود عواملی مثل وجود آبراهه و رودخانه، خط کنیک و ... الزامی بوده و کارشناس مربوطه می تواند با بررسی این عوامل تا حدودی به عوامل موثر در وقوع فروچاله پی برد.

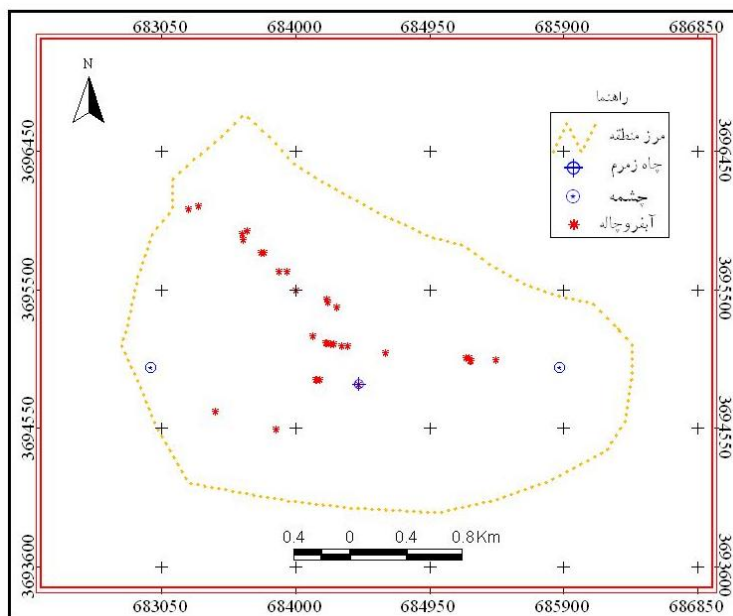
در اینجا نقش کارشناس برای کاهش هزینه و زمان در جمع آوری اطلاعات (از طریق شناخت مهم ترین عوامل و حذف عوامل غیر دخیل) آشکار می شود. در این میان انتشار مکانی می تواند کمک شایانی در شناخت عوامل موثر بنماید. یک کارشناس با بازدید از فروچاله هایی وقوع یافته می تواند به عوامل مسبب آنها پی ببرد. او در می یابد که فروچاله بیشتر در چه نوع کاربری اراضی و یا چه نوع واحد سنگ شناسی، شیب و ... اتفاق افتاده اند. ذکر این نکته ضروری است که کارشناس باید با یک دید کلی ارتباط همه عوامل را با یکدیگر و با پراکندگی مکانی فروچاله در نظر بگیرد واز دید یک بعدی در این زمینه پرهیز نماید. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) این امکان را فراهم می نماید تا همه عوامل و پراکنش مکانی فروچاله ها در کنار یکدیگر نمایش داده شود. این کار برای تجزیه و تحلیل اولیه و نظر کارشناسی در انتخاب عوامل و کلاسه های مربوط به آنها مفید خواهد بود

تهیه نقشه پراکنش فروچاله

تهیه نقشه پراکنش فروچاله در شناخت عوامل موثر در وقوع آنها و در نتیجه، پهنه بندی خطر ضروری می باشد. مهمترین بخش تهیه نقشه پراکنش فروچاله، مربوط به بازدیدهای صحرایی و چک صحرایی می باشد؛ بدین صورت مناطقی که از روی تصویر ماهواره ای مرفولوژی آنها فروچاله را نشان می دهد مورد باز بینی صحرایی قرار گرفته و موقعیت دقیق آنها با استفاده از دستگاه GPS ثبت گردید. پس از ثبت مختصات فروچاله ها نقشه پراکنش آنها توسط نرم افزار ARC View رقومی و وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی شد تا در تعیین عوامل موثر در وقوع فروچاله برای تلفیق با نقشه های دیگر آماده باشد (شکل ۲).



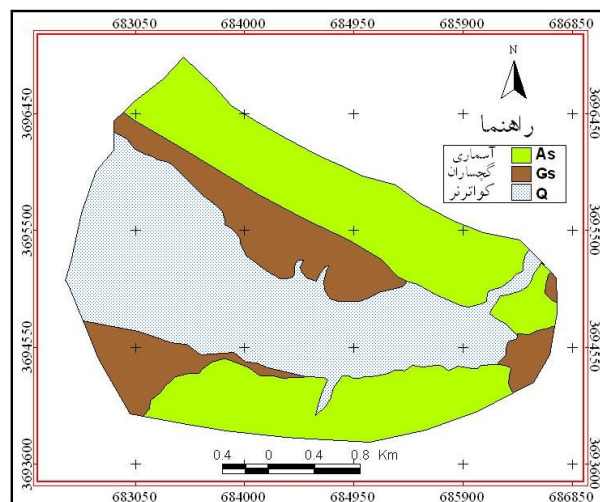
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان ایلام و ایران



شکل ۲. نقشه پراکنش فروچاله های دشت جابربدره

نقشه سنگ شناسی

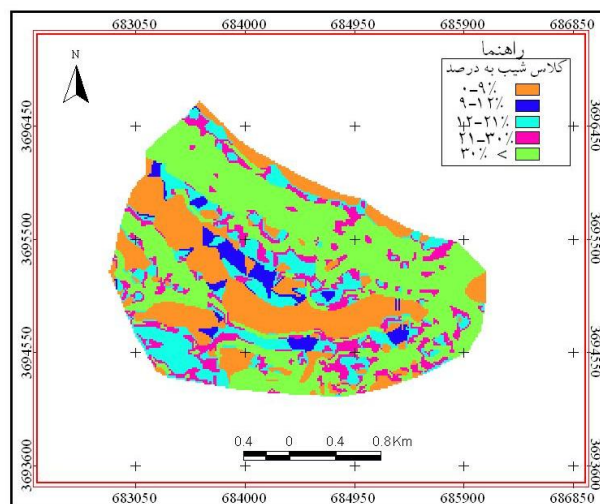
منظور تهیه نقشه سنگ شناسی ابتدا نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شیت کبیرکوه زمین مرجع یا ژئورفرنس (Georeference) شد. سپس نقشه زمین شناسی ژئورفرنس شده در محیط Arc View مرز حوزه را بر روی آنها انداخته و واحدهای سنگ شناسی در محدوده حوزه به صورت پلی گونهایی بسته شدند (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه سنگ شناسی دشت جابردره

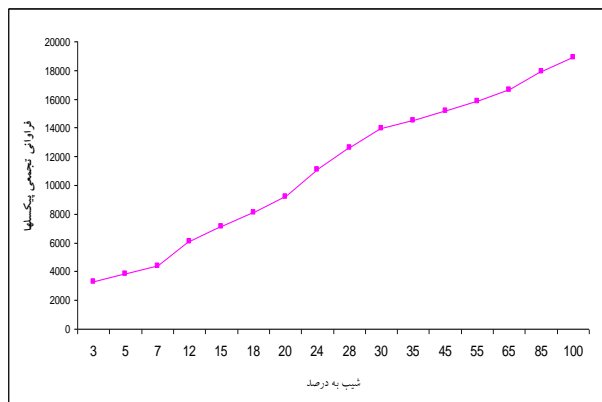
نقشه شیب

برای تهیه نقشه شیب حوزه بایستی در ابتدا مدل رقومی ارتفاعی (DEM) تهیه شود. نقشه مدل رقومی ارتفاعی نقشه ای است که ارزش هر سلول آن بیانگر ارتفاع از سطح دریای آن سلول می باشد (گرایی، ۱۳۸۵). نقشه مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تهیه گردید. سپس از نقشه مدل رقومی ارتفاعی سطح زمین در نرم افزار Arc View نقشه های مورد نظر به راحتی تهیه می گردد. در اینجا هدف تهیه نقشه شیب است (شکل ۴).



شکل ۴. نقشه شیب دشت جابردره

برای تعیین تعداد کلاسه های شیب از منحنی تجمعی فراوانی پیکسلها در برابر ارزش آنها استفاده گردید (فیض نیا و همکاران، ۱۳۸۳) که یک روش منطقی برای طبقه بندی کردن نقشه ها بوده و دخالت کارشناس در آن به حداقل می رسد و در واقع روشی است که با الگو گرفتن از وضعیت زمینی منطقه انجام می گیرد (شکل ۵).



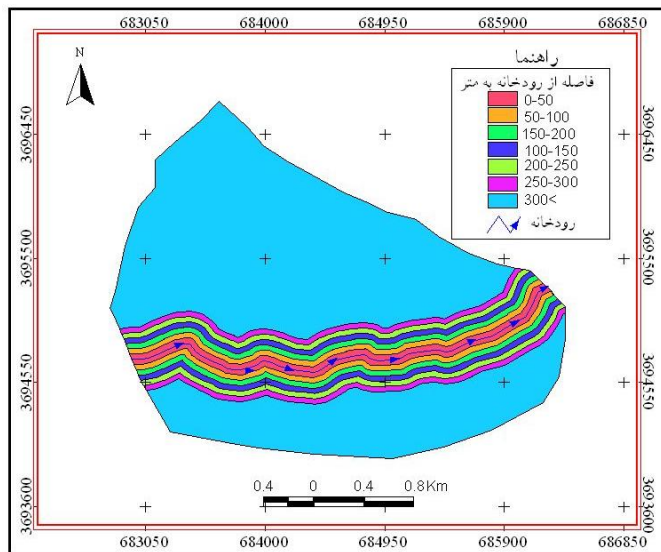
شکل ۵. فراوانی تجمعی پیکسلهای شیب در برابر مقدار شیب

نقشه رودخانه و آبراهه ها

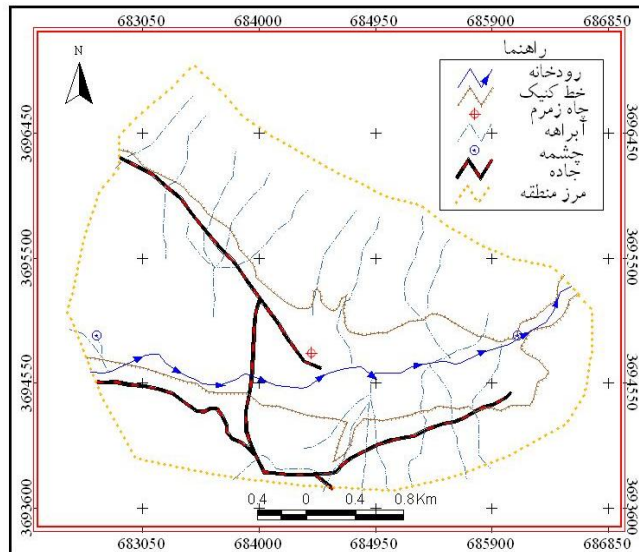
نقشه شبکه زهکشی منطقه از روی نقشه های توپوگرافی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید (شکل ۶). برای بیان میزان تاثیر شبکه زهکشی در ایجاد فروچاله میزان فاصله از شبکه زهکشی در نظر گرفته می شود (شکل ۷). فواصل مشخص از شبکه زهکشی با استفاده از بافرهایی در سامانه اطلاعات جغرافیایی به راحتی قابل تهیه است، به طوری که اگر میزان فاصله از رودخانه را روی محور X نشان داده و تعداد فروچاله های رخ داده در روی محور Y نمایش دهیم فرض بر آن است نموداری به دست خواهد آمد که بیان کننده کاهش تعداد فروچاله ها با فاصله گرفتن از شبکه زهکشی می باشد. بر طبق (شکل ۸) این روند رعایت نشده و با فاصله گرفتن از رودخانه تعداد فروچاله به شدت افزایش یافته و این عامل در مرحله پهنه بندی حذف گردید.

نقشه کاربری اراضی

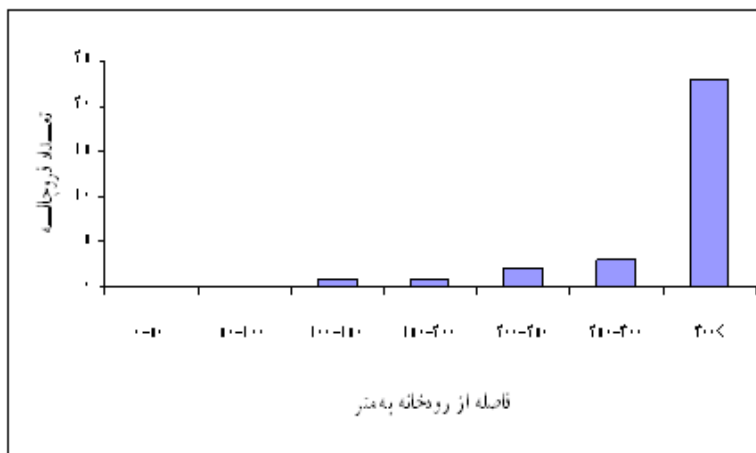
برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره ای لندست ۷ سنجنده ETM⁺ و نرم افزار Google Earth استفاده گردید (شکل ۹).



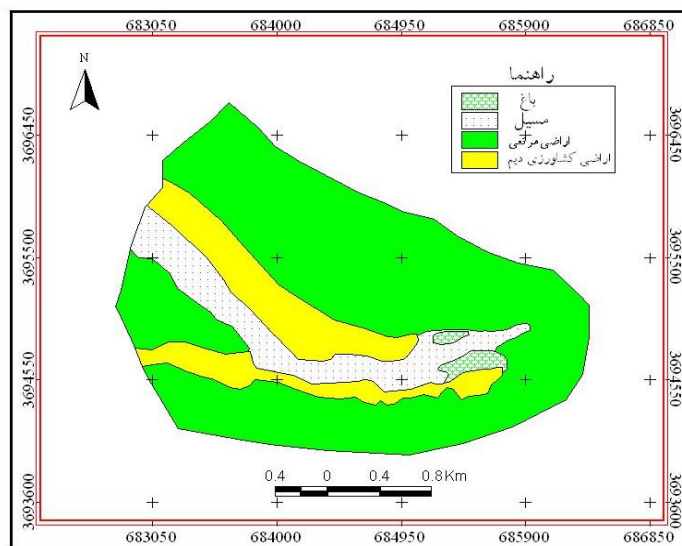
شکل ۷. فواصل ۵۰ متری از شبکه زهکشی



شکل ۶. نقشه شبکه زهکشی دشت جابردره



شکل ۸. تاثیر فاصله از شبکه زهکشی در وقوع فروچاله های منطقه جابر



شکل ۹. نقشه کاربری اراضی دشت جابر

خط کنیک

کنیک یک خط فرضی است که کوهستان را از دشت جدا می کند که در پایین آن دشت و در بالای آن کوه قرار دارد. این خط با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نقشه توپوگرافی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. برای بیان میزان تاثیر خط کنیک در ایجاد فروچاله همانند شبکه زهکشی میزان فاصله از آن در نظر گرفته می شود (شکل ۱۰). به طوری که اگر میزان فاصله از خط کنیک را روی محور X نشان داده و تعداد فروچاله های رخ داده در روی محور Y نمایش دهیم فرض بر آن است نموداری به دست خواهد آمد که بیان کننده کاهش تعداد فروچاله ها با فاصله گرفتن از خط کنیک می باشد (شکل ۱۱). در مورد خط کنیک این فرض صادق بود و به عنوان یکی از عوامل در پهنه بندی مورد استفاده قرار گرفت. علت افزایش تعداد فروچاله ها در نزدیکی خط کنیک اینست که آبهای بارندگی که از روی سازند آسماری و یا گچساران از روی تپه ها بصورت رواناب جریان پیدا می کنند، بدلیل شیب زیاد در بالادست فرصت زیادی برای نفوذ پیدا نمی کنند اما پس از رسیدن به ابتدای دشت (کنیک)، بدلیل کاهش شیب بصورت یکباره، آب زمان کافی برای نفوذ پیدا نموده و باعث ایجاد انحلال و در نتیجه باعث تشکیل فروچاله می شود.

ضخامت آبرفت

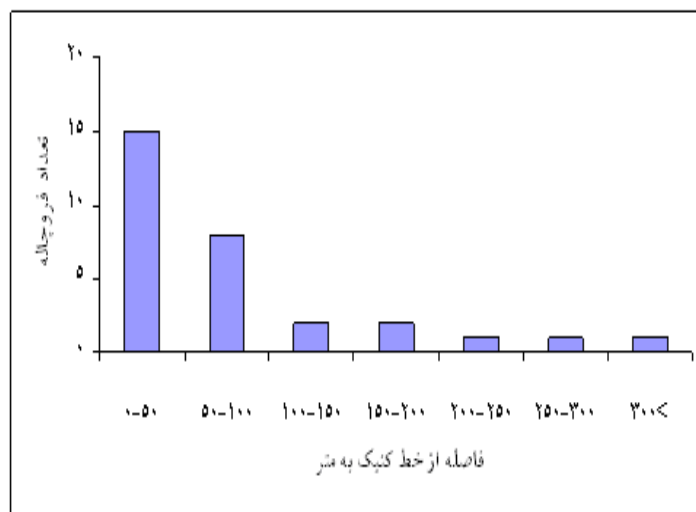
این عامل بر اساس شواهد موجود در منطقه مانند خط کنیک، چاه زمزم و رودخانه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید (شکل ۱۲). لازم به ذکر است که در محدوده مورد مطالعه هیچگونه چاه یا گمانه ای جهت بررسی ضخامت آبرفت وجود ندارد.

عمق سفره آب زیر زمینی

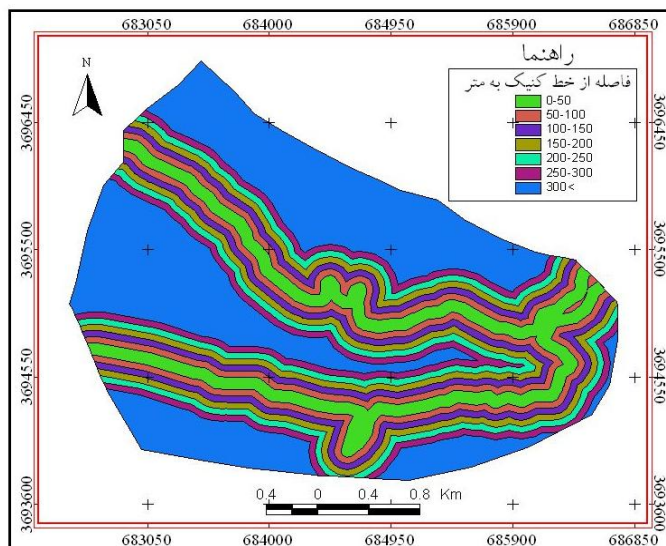
به دلیل اینکه چاههای مشاهده ای در منطقه وجود نداشت از روی شواهد موجود در منطقه مانند چشمه ها، چاه زمزم و خط کنیک عمق سفره آب زیر زمینی تخمین زده شد (شکل ۱۳).

تعیین واحدهای همگن

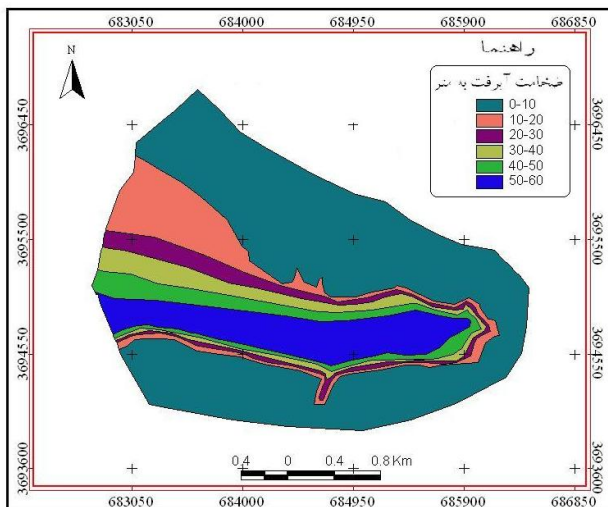
برای تجزیه و تحلیل اثرات هر کدام از عوامل موثر در ایجاد فروچاله و نیز کمی کردن و وزن دهی به عوامل به طریق رگرسیون چند متغیره نیاز به نقشه واحدهای همگن (Homogene unit) می باشد. بدین صورت که کارشناس پس از تهیه انواع نقشه های مربوطه با توجه به متغیرهایی که می خواهد اثرات آنها را در وقوع فروچاله بسنجد و نسبت به هم مقایسه کند نقشه های مربوط به این متغیرها را روی هم انداخته و واحدهای همگن به دست می آید. این کار از طریق نرم افزار Arc View قابل انجام است. در ابتدا تمامی لایه ها از حالت وکتوری به رستری تبدیل شدند. لایه های رستری که کلاسه های هر کدام با کدهای مشخص معین گردیده اند (جدول ۱) بایستی با هم ترکیب گردند تا واحدهای همگن از تلفیق آنها به دست آید. واحدهای همگن واحدهای هستند که به واسطه داشتن اختلاف با واحدهای مجاور خود از نظر یکی از عوامل در نظر گرفته شده از آنها متمایز می شوند. این عوامل شامل سنگ شناسی، نوع کاربری اراضی، عمق آب زیر زمینی، فاصله از خط کنیک و شیب دامنه می باشند. عامل فاصله از آبراهه در این مرحله به خاطر دلایلی که در بالا ذکر شد حذف گردید. در کل برای منطقه ۴۱ واحد همگن به دست آمد (شکل ۱۴).



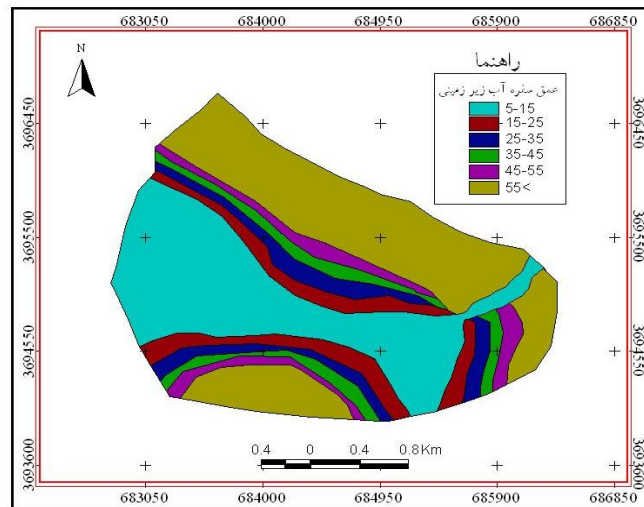
شکل ۱۱. تاثیر فاصله از خط کنیک در وقوع فروچاله های منطقه جابر



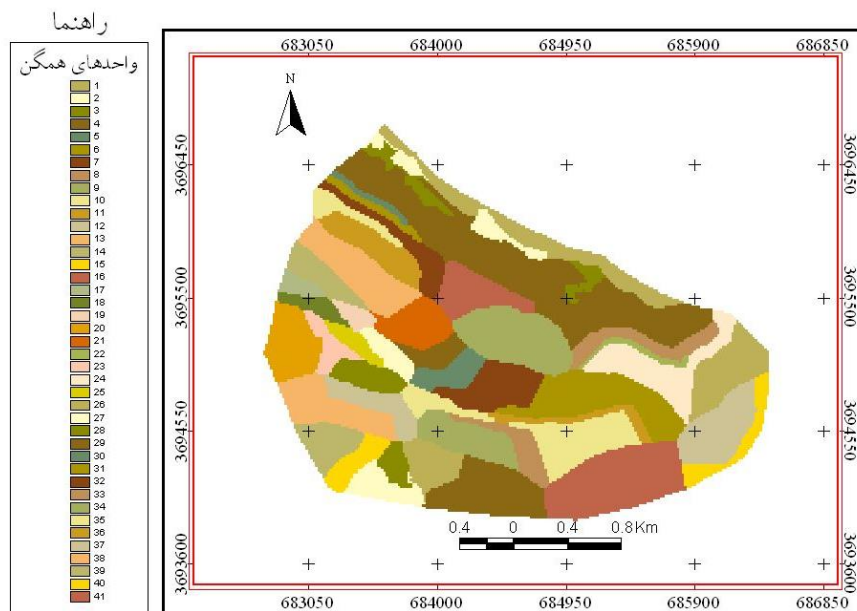
شکل ۱۰. فواصل ۵۰ متری از خط کنیک



شکل ۱۳. نقشه عمق سفره آب زیر زمینی



شکل ۱۲. نقشه ضخامت آبرفت دشت جابر



شکل ۱۴. نقشه واحدهای همگن

جدول ۱. کلاسه های لایه های مختلف

شیب	فاصله از خط کنیک	عمق آب زیر زمینی	فاصله از آبراهه	نوع کاربری	ضخامت رسوبات	سنگ شناسی	عامل کلاسی
۰-۹	۰-۵۰	۵-۱۵	۰-۵۰	کشاورزی	۰-۱۰	AS	۱
۹-۱۲	۵۰-۱۰۰	۱۵-۲۵	۵۰-۱۰۰	باغ	۱۰-۲۰	Gs	۲
۱۲-۲۱	۱۰۰-۱۵۰	۲۵-۳۵	۱۰۰-۱۵۰	مرتع	۲۰-۳۰	Q	۳
۲۱-۳۰	۱۵۰-۲۰۰	۳۵-۴۵	۱۵۰-۲۰۰	مسیل	۳۰-۴۰	-	۴
۳۰ < math> < /math>	۲۰۰-۲۵۰	۴۵-۵۵	۲۰۰-۲۵۰	-	۴۰-۵۰	-	۵
-	۲۵۰-۳۰۰	۵۵ < math> < /math>	۲۵۰-۳۰۰	-	۵۰-۶۰	-	۶
-	۳۰۰ < math> < /math>	-	۳۰۰ < math> < /math>	-	-	-	۷

کمی کردن عوامل موثر و وزن دهی به آنها

به منظور تجزیه و تحلیل آماری و وزن دهی (Weighting) به کلاسه های مختلف هر کدام از متغیرها و ایجاد رگرسیون چند متغیره بین عوامل، لازم است که عوامل در نظر گرفته شده را کمی نمود تا قابل مقایسه با همدیگر باشند چرا که عوامل کیفی را نمی توان با هم مقایسه کرده و ارجعیت هر کدام از آنها را نسبت به یکدیگر ارزیابی کرد. کمی کردن عوامل و وزن دهی کلاسه های مختلف آن با توجه به درصد سطح فرو افتاده در واحدهای همگنی صورت می گیرد که از نظر تمامی عوامل در نظر گرفته شده مشابه بوده و تنها به واسطه تغییر کلاسه های یکی از عوامل متفاوت می باشند.

تجزیه و تحلیل آماری و ایجاد رگرسیون چند متغیره بین عوامل

به منظور تجزیه و تحلیل های آماری روش رگرسیون چند متغیره انتخاب شد. این روش دارای مزایای زیر است. رابطه متقابل متغیرهای مستقل (عوامل موثر) با همدیگر و تاثیر عوامل مختلف را به طور یکجا در وقوع فروچاله (متغیر وابسته) در نظر می گیرد. از این نظر نسبت به روشهای تجربی-آماری که تاثیر هر یک از عوامل را به طور جداگانه در وقوع فروچاله بررسی می کنند، ارجعیت دارد. همچنین این روش ضریب همبستگی متغیرهای مستقل (عوامل) را با متغیر وابسته (فروچاله) برآورد می نماید و بدین ترتیب می توان عوامل موثر را به ترتیب اهمیتشان در وقوع فروچاله شناسایی نمود. به منظور انجام رگرسیون چند متغیره بین عوامل، پس از دستیابی به کدهای مربوط به کلاسه های مختلف هر یک از عوامل، این اطلاعات به محیط نرم افزار SPSS منتقل می شود که در آن

تیمارهای عوامل مستقل در برابر واحدهای همگن قرار می گیرند. در انتخاب روش رگرسیون چند متغیره روش Backward انتخاب گردید.

عمق سفره آب زیر زمینی $0/163 -$ عمق رسوب $0/229 +$ سنگ شناسی $0/43 +$ خط کنیک $0/148 +$ شیب دامنه $0/76 +$ کاربری اراضی $0/19 +$ $Y =$

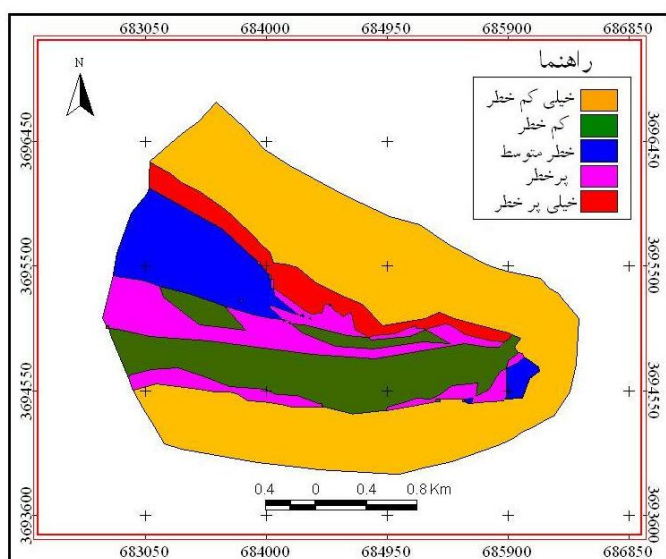
همانطوری که از ضرایب معادلات پیاداست به ترتیب عوامل شیب دامنه، سنگ شناسی، فاصله از خط کنیک، ضخامت رسوب، کاربری اراضی و عمق آب زیر زمینی بیشترین تاثیر بر روی وقوع فروچاله ها موجود داشته اند.

نقشه پهنه بندی

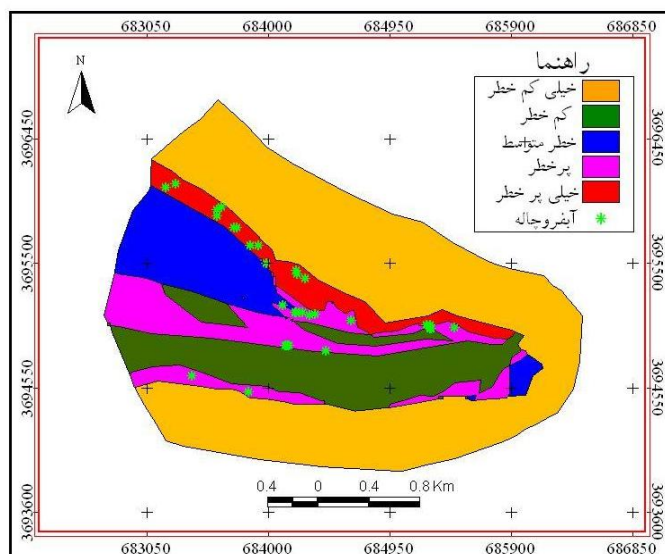
بعد از به دست آمدن معادله از رابطه رگرسیونی چند متغیره این معادله در کلیه لایه های عوامل موثر اعمال شده و لایه به دست آمده به پنج کلاس مساوی از نظر حساسیت به فروچاله تقسیم بندی گردید (شکل ۱۵).

ارزیابی صحت نقشه پهنه بندی خطر وقوع فروچاله

برای ارزیابی نقشه پهنه بندی تهیه شده از فروچاله های رخ داده در خود منطقه مورد مطالعه استفاده گردید (شکل ۱۶). به این صورت که هر چه فروچاله های بیشتری در مناطق با خطر بالا اتفاق افتاده باشند نقشه پهنه بندی تهیه شده از دقت بالاتری برخوردار است. همان طوری که از (جدول ۲) پیاداست اکثر فروچاله ها در کلاسه های خیلی پر خطر و پر خطر که توسط مدل ارائه شده اند اتفاق افتاده اند بنابراین صحت نقشه پهنه بندی فروچاله های منطقه جابر مورد تایید می باشد. نقشه زیر بعنوان یک ابزار مدیریتی و همچنین برآورد ریسک جهت انجام کارهای مختلف مهندسی در منطقه می تواند مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۱۶. نقشه ارزیابی پهنه بندی خطر فروچاله منطقه جابر بدره



شکل ۱۵. نقشه پهنه بندی خطر فروچاله منطقه جابر بدره

جدول ۲. تعداد فروچاله های رخ داده در کلاسه های خطر

تعداد فروچاله	کلاس خطر
۰	خیلی کم خطر
۲	کم خطر
۴	خطر متوسط
۱۲	پر خطر
۱۴	خیلی پر خطر

راههای جلوگیری از توسعه یا تشکیل فروچاله ها

انحلال ژئوسپیس می تواند باعث تشکیل آبروچاله های ریزشی و باعث حوادث ناگوار شود و برای نواحی شهری و ساکنان در معرض فروچاله خطرناک باشد (Waltham and Cooper, 1998).

یکی از کارهایی که می تواند جهت تشخیص مناطق با پتانسیل ریزش بکار رود، تشخیص و شناسایی مجاری کارستی زیرزمینی است. اما با دقت مورد نظر امکان شناسایی و تعیین مسیر و محل آنها در زیر زمین وجود ندارد (Gongyu and Wanfang, 1999). استفاده از پهنه بندی می تواند تا حدود زیادی مناطق پرخطر را مشخص نموده و در مناطق مذکور، با برنامه ریزی و مطالعه بیشتر، اقدام به کارهای اجرایی کرد. باید سعی نمود احداث راهها، تاسیسات و ساخت ابنیه در مناطق با خطر نسبی بالا صورت نگیرد. در صورت ضرورت انجام کار در مناطق پر خطر، باید با علم به این خطرات، عمل نمود و مطالعات کافی انجام گیرد. از ساخت ابنیه و یا عبور راه از کنار فروچاله های موجود حذر نمود (کاری که در حال حاضر جهت راههای ارتباطی بین مزارع در دشت جابر صورت گرفته و بسیار خطرناک است). بمنظور جلوگیری از توسعه فروچاله ها، بایستی از ورود متمرکز آب به داخل سفره جلوگیری کرد. معمولاً در مناطقی که آبراهه وجود دارد، فروانی فروچاله ها نیز زیادتر است. برخی از فروچاله های منطقه جابر در امتداد آبراهه ها قرار گرفته اند که بدلیل تمرکز جریان آب و افزایش انحلال در امتداد آنهاست همچنین از این آبروچاله ها بعنوان پل نیز استفاده گردیده است. اتفاقاً در محلهایی که جریان آب متمرکز وارد سفره کارستی می گردد، بدلیل افزایش انحلال بصورت متمرکز، خطر ریزش چند برابر می گردد.

روش جلوگیری از تشکیل آبروچاله شامل کنترل میزان آب برداشتی، کاهش نوسانات سطح آب زیرزمینی، مسدود کردن مجاری کارستی و غارهای زیرزمینی در زیر خاک، جلوگیری از ورود آب و یا افزایش فشار گاز در داخل مجاری کارستی است (Gongyu and Wanfang, 1999). در صورت آبیگری سد سیمره دشت جابر نیز زیر آب سد قرار گرفته و با نوسانات سطح آب دریاچه سد، انتظار می رود توسعه و تشکیل فروچاله های جدید تشدید پیدا کند. پیش بینی نشست و ریزش در یک ناحیه بسیار مشکل و تا حدی غیر ممکن است. هر قدر فروافتادگی ها فراوانتر و نزدیک تر به هم باشند، امکان توسعه و ایجاد فروافتادگی های دیگر در آن راستا وجود دارد. مناطق مجاور فروافتادگی ها نیز در خطر هستند. اگر یک فروافتادگی Subsidence hollow ایجاد شد، مهمترین

عملکرد، پر کردن آن با مواد غیر قابل حمل (Inert) است. این امر باعث جلوگیری از ریزش نواحی مجاور و توسعه به نواحی کناری در حفره گردیده و از تشکیل یک فرو افتادگی مخروطی بزرگ جلوگیری می نماید. نباید فرو افتادگی ها را با مواد مضر و خطرناک پر کرد چون به سفره های آب زیرزمینی منتقل شده و نهایتاً از چشمه ها تخلیه می شود. برای سازه های پر هزینه، بررسی های صحرائی دقیق تنها راه شناسایی وضعیت پایداری زمین است. این بررسی ها شامل حفاری ها تا رسیدن به لایه های گچی بمنظور شناسایی وضعیت لایه های گچی، وجود یا عدم وجود حفرات و شرایط هیدروژئولوژیکی در لایه های مجاور است. (Cooper, 1986).

برداشت حجم قابل ملاحظه ای از آب زیرزمینی بوسیله چاه می تواند باعث تشدید انحلال سولفات و باعث پتانسیل بیشتر پدیده نشست یا ریزش در مجاور آنها شود. آبهای زیرزمینی با سولفات بالا برای سیمان (ساخت و ساز) مضر است. در نواحی با کارست ژئوسپیس سیمانهای مقاوم در برابر سولفات نیاز بوده و این امر باعث افزایش هزینه کارهای مهندسی که با آبهای ژئوسپیس در تماس هستند می شود (Yaoru and Cooper, 1997).

نتیجه گیری

با بکار گیری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با استفاده از روش آماری رگرسیون چند متغیره به کمک نرم افزار SPSS نقش عوامل مختلف در وقوع فروچاله های دشت جابر بدره ارزیابی گردید. بر اساس نتایج حاصله به ترتیب عوامل شیب دامنه، سنگ شناسی، فاصله از خط کنیک، ضخامت رسوب، کاربری اراضی و عمق سفره آب زیر زمینی بیشترین تاثیر بر روی وقوع فروچاله های موجود داشته اند. یک نقشه پهنه بندی خطر وقوع فروچاله در منطقه تهیه گردید. نتایج نشان داد که ۸۱ درصد فروچاله های منطقه در کلاسه های خیلی پر خطر و پر خطر قرار گرفته اند که بیانگر صحت مدل ارائه شده می باشد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه ایلام به انجام رسیده است. از همکاریهای کارشناسان سازمان آب منطقه ای ایلام بویژه آقایان پاکزاد، نوروزی، آهونبر و کاظمی تقدیر بعمل می آید.

منابع

- شفیعی مطلق، خدارحم، مودب، محمد، ۱۳۸۹، پهنه بندی ریسک ریزش فروچاله های شهر دیشموک با استفاده از GIS,RS جنوب غرب ایران، همایش ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار،
- شیری، مهدی، زند بابارثیسی، ابراهیم، محمدی، سعید، رنجبر کرمی، رسول، ۱۳۹۱، پهنه بندی خطر فروچاله در دشت فامنین-کیودرآهنگ با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
- چاوشیان، مولودالسادات، ۱۳۹۰، بررسی ارتباط افت سطح ایستایی و ایجاد فروچاله ها و پتانسیل یابی مناطق مستعد فروچاله (مطالعه موردی دشت فامنین-کیودرآهنگ، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه سمنان.
- فیض نیا سادات، عطاءاله کلارستاقی. حسن احمدی. مهرداد صفایی، ۱۳۸۳، بررسی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزشها و پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیرین رود- سد تجن). مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، محل نشر دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران شماره ۱.
- کریمی حاجی، ۱۳۸۶، بررسی مکانیسم تشکیل چاه زمزم برده بمنظور بهبود پروژه های عمرانی، طرح پژوهشی دانشگاه ایلام.
- کریمی حاجی، ۱۳۹۰، بررسی ساز و کار تشکیل فروچاله های دشت جابر در جنوب شرق استان ایلام، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، جلد ۱، شماره ۲، ص ۱۳۹-۱۲۶
- گرایی پرویز، ۱۳۸۵، بررسی حرکت های توده ای به منظور ارائه مدل پهنه بندی خطر در حوضه لاجیم رود تجن، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه مازندران. ۱۲۵ص.
- محمدی، سعید، لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد، ۱۳۹۰، پهنه بندی خطر فروچاله های دشت فامنین- کیودرآهنگ با استفاده از GIS، سی امین گردهمایی علوم زمین.
- Cooper, A.H., 1986- Subsidence and foundering of strata caused by the dissolution of Permian gypsum in the Ripon and Bendale areas, north Yorkshire. Geological special publication, no. 22, p.127-139.
- Cooper, A.H. (2008) The GIS approach to evaporite-karst geohazards in Great Britain, *Environ Geol*, v. 53, p.981-992.
- Doctor, D.H.; Doctor, K.Z. (2012) Spatial analysis of geologic and hydrologic features relating to sinkhole occurrence in Jefferson County, West Virginia, *Carbonates Evaporites*, v. 27, p. 143-152.
- Gongyu L., Wanfang Z., 1999- Sinkholes in karst mining areas in China and some methods of prevention. *Engineering Geology*, v. 52, p. 45-50.
- Gao, Y.; Jr,E.C.A. (2008) Sinkhole hazard assessment in Minnesota using a decision tree model, *Environ Geol*, v. 54, p. 945-956.
- Gutierrez, F.; Gutierrez,M; Marin, C.; Maklonado, C.; Younger, P. (2005) Subsidence hazard avoidance based on geomorphological mapping in the Ebro River valley mantled evaporite karst terrain (NE Spain), *Environ Geol*, v. 48, p. 370-383.
- Gutierrez, F; Cooper, A.H.; Johnson, K.S. (2008a) Identification, prediction, and mitigation of sinkhole hazards in evaporite karst areas, *Environ Geol*, v. 53, p. 1007-1022.
- Gutierrez, F; Guerrero, J.; Lucha, P. (2008b) Quantitative sinkhole hazard assessment. A case study from the Ebro Valley evaporite alluvial karst (NE Spain), *Nat Hazards*, v. 45, p. 211-233.
- Lee, S.; Park, I.; Choi, J.K. (2012) Spatial Prediction of Ground Subsidence Susceptibility Using an Artificial Neural Network, *Environmental Management*, v. 49, p. 347-358.
- Li, X.; Zhou, S.; Xu, G. (2001) GIS-Based Risk Assessment to Karst Susceptibility of Shenzhen University Center (China), *Procedia Environmental Sciences*, V. 10, P. 1389-1395.
- Margiotta, S.; Negri, S.; Parise, M.; Valloni, R. (2012) Mapping the susceptibility to sinkholes in coastal areas, based on stratigraphy, geomorphology and geophysics, *Nat Hazards*, v. 62, p. 657-676.
- Marker, B.R. (2010) Review of approaches to mapping of hazards arising from subsidence into cavities, *Bull Eng Geol Environ*, V. 69, p. 159-183.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran, A review, *Amer. Assoc. Petrol. Geologists Bull.*, v.52, No.7, p. 1229-1258.
- Tolmachev, V.V. (2003) AN ANALYSIS OF STUDIES IN THE FIELD OF PROBABILISTIC METHODS FOR PREDICTING SINKHOLE DANGER, *Power Technology and Engineering*, v. 37, No. 6, p. 350-353.
- Waltham T., Copoper A., 1998- Features of gypsum caves and Karst at Pinega (Russia) and Ripon (England). *CAVE AND KARST SCIENCE*, VOL. 25 NO 3, P. 131- 140.
- Yaoru L. and Cooper A.H., 1997- Gypsum karst geohazards in China. The engineering geology and hydrogeology of karst terranes, Rotterdam, p. 117-126.
- Yilmaz, I.; Marschalko, M.; Bednarik, M. (2011) Gypsum collapse hazards and importance of hazard mapping, *Carbonates Evaporites*, v. 26, p. 193-209.