

بررسی عوامل مؤثر در وقوع فروچاله‌های دشت ابرکوه و تهیه نقشه‌ی خطر نواحی مستعد بروز آن

امیر کرم، استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران
پرویز ضیائیان، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران
نعمه السادات محصل همدانی¹، کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران

چکیده

فروچاله‌ها حفره‌هایی هستند که در سطح زمین‌های آهکی و یا دیگر سنگ‌های انحلال‌پذیر بوجود می‌آیند، تقریباً استوانه‌ای و قیفی شکل‌اند و متوسط ابعاد آن‌ها حدود سه متر است. عوامل طبیعی و انسانی مختلفی در ایجاد این پدیده نقش مؤثری دارند. فروچاله‌ها که به آهستگی و به تدریج گسترش می‌یابند شاید همانند سیل و زلزله، خطرهای ناگهانی و فاجعه‌بار نداشته باشند، با این وجود به طور معمول خسارت‌های ناشی از وقوع فروچاله‌ها ترمیم‌ناپذیر، پرهزینه و مخرب‌اند. شهرستان ابرکوه که در جنوب غرب استان یزد واقع شده، از جمله مناطقی است که با معضل فروچاله روبروست. در سال‌های اخیر وقوع فروچاله در دو روستای فیض آباد و هوروک این شهرستان، خسارت‌های چشمگیری به زمین‌های کشاورزی و نیز تأسیسات منطقه وارد آورده است. در این پژوهش سعی شده تا با مطالعه و بررسی فروچاله‌های رخ داده در دو منطقه‌ی شهرستان، به شناسایی نواحی مستعد وقوع فروچاله در سال‌های آتی و نیز ارائه‌ی پیشنهادهای جهت کاهش خسارت‌های ناشی از رخداد این پدیده پرداخته شود. جهت ارزیابی عوامل مؤثر در وقوع فروچاله‌ها از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و جهت پیش‌بینی نواحی در معرض خطر وقوع فروچاله، از منطق فازی استفاده شد. جهت مدل‌سازی، 9 معیار به عنوان عوامل اصلی و تأثیرگذار در ایجاد فروچاله‌های منطقه در نظر گرفته شد که هرکدام از لایه‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS¹⁰)، فازی شدند. در نتیجه‌ی این مدل‌سازی مشخص شد. به طور کلی حدود 32 درصد از منطقه‌ی مورد مطالعه معادل 17 کیلومتر مربع، در معرض خطر بالای وقوع فروچاله قرار دارد که عمدتاً نواحی مرکزی شهرستان را در بر می‌گیرد و نیز 13 درصد منطقه معادل 7 کیلومتر مربع پتانسیل کمتری جهت وقوع فروچاله دارند.

کلمات کلید: فروچاله، عوامل طبیعی و انسانی، مدل فازی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شهرستان ابرکوه.

1-مقدمه

فروچاله‌ها گودال‌های بسته‌ای هستند که به صورت حفره‌هایی در سطح زمین‌های آهکی و دیگر سنگ‌های انحلال‌پذیر و یا آبرفتی بوجود می‌آیند و عموماً رواناب از سوراخ موجود در کف آن‌ها به آب‌های زیرزمینی می‌پیوندد (رئیس‌ی، 1384: 130). متوسط ابعاد فروچاله‌ها حدود سه متر است اما گاهی ابعاد آن‌ها به ده‌ها متر نیز می‌رسد (والتمن و فوکی³، 2003). بر اساس تقسیم‌بندی فورد ویلیامز در سال 1989، فروچاله‌های کارستی به سه نوع انحلالی،

Email: nmoohasel67@yahoo.com

¹- نویسنده مسئول:

²- Sinkholes

³ - Waltham & Fookes

فرونشستی و ریزشی تقسیم می‌شوند. عوامل مؤثر در ایجاد فروچاله‌ها متعدد هستند اما به طور کلی می‌توان جنس زمین شناسی را از جمله عوامل اصلی در ایجاد این پدیده دانست. همچنین بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و برداشت بی‌رویه از آن، از جمله عوامل و فرایندهای اصلی و تأثیرگذار در پائین افتادن سطح آب زیرزمینی و بهم خوردن تعادل ایزوستاتیک زمین و نهایتاً موجب افت کلی دشت‌ها می‌گردد. شرایط ایجاد شده در برخی مناطق با توجه به شرایط خاص زمین شناسی و هیدروژئولوژی منطقه و سنگ کف، موجب پیدایش فروچاله‌ها می‌شود (ثنایی، 1384: 26).

اولین مطالعه‌ی رسمی فروچاله‌ها توسط سازمان یونسکو در سال 1900 انجام شد که به بررسی تفصیلی 45 فروچاله بر روی 15 کشور جهان پرداخت. بعد از آن مطالعه‌ی فروچاله‌ها در کشورهای مختلف انجام شد نظیر مطالعه بر روی فروچاله‌های جنوب شرق آمریکا (نتوتون⁴، 1987، به نقل از هاشمی 1381)، فروچاله‌های اورلاندای آمریکا (ویلیام⁵، 1988)، فروچاله‌ها در 23 استان کشور چین (جونگیو⁶ و همکاران، 1999: 45)، فروچاله‌های متعدد در فوجیای ایتالیا (دولارز⁷ و همکاران، 2011: 118). ضرورت دارد در اولین گام، مطالعات شناسایی جامعی از فروچاله‌های ایران به عمل آید. از میان فروچاله‌های شناسایی شده در ایران فروچاله‌های ایجاد شده در استان همدان در سال‌های اخیر به واسطه نزدیکی آن‌ها به نیروگاه برق و خطرات بعدی آن مورد توجه قرار گرفته و بررسی‌های زیادی پیرامون آن صورت پذیرفته است. برای مثال دشت فامنین - کبودرآهنگ، واقع در شمال همدان بدلیل تراکم بالای جمعیتی، سفره‌های آب زیرزمینی آن شدیداً مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. به علت کاهش آبدهی چاه‌های آب در سال‌های اخیر، کف کنی و حفاری در سنگ بستر برخی از چاه‌های آب منطقه نیز انجام شده است. به دنبال این امر فروچاله‌های بزرگ و کوچکی در مجاورت این چاه‌ها بوجود آمده که ضمن خسارت به زمین‌های کشاورزی و تهدید نیروگاه برق و سایر تأسیسات، موجب نگرانی ساکنین منطقه و مسئولین استان شده است (امیری و همکاران، 1385: 184). یکی دیگر از مناطقی که در ایران با پدیده‌ی فرونشست زمین و نیز فروچاله مواجه است، دشت یزد-اردکان می‌باشد. در دو دهه‌ی اخیر، نشست و گسیختگی زمین در استان یزد و در دشت یزد- اردکان عامل ایجاد گسیختگی سطح جاده‌ها، شکسته شدن لوله‌های آب رسانی، کج شدن دکل‌های برق و ایجاد نشست‌های نامتقارن در ساختمان‌ها و در نتیجه ایجاد شکستگی در سازه‌ها شده است (عالمی، 1381). بررسی‌های صورت گرفته حاکی از آن است که این فرونشست‌ها در اثر استخراج آب‌های زیرزمینی است. این بهره‌برداری از منابع زیرزمینی، بیش از مقداری است که با بارندگی‌های منطقه جبران می‌شود (آمیغ پی و همکاران، 1388: 157). رضایی مقدم و همکاران (1389) با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای به بررسی فروچاله‌های منطقه‌ی تخت سلیمان پرداختند.

طی سال‌های 1379 تا 1385 حدود 31 فروچاله‌ی پوششی و فرونشستی در دو روستای شهرستان ابرکوه واقع در جنوب غرب استان یزد بوقوع پیوسته است (هاشمی، 1381). فروچاله‌ها در دو منطقه‌ی فیض‌آباد و هوروک واقع در این شهرستان رخ داده‌اند که خسارت‌هایی به زمین‌های کشاورزی و نیز تأسیسات آبی در منطقه وارد کرده‌اند. براساس

4- Netwton

5- wiliyam

6- Gongyu

7- Dolores

اهمیت وقوع این پدیده ژئومورفولوژیکی و تأثیرات ناشی از آن، در این تحقیق سعی شده با توجه به بحران وقوع فروچاله در دشت ابرکوه؛ به منظور پهنه‌بندی مناطق حساس و مستعد وقوع فروچاله در منطقه‌ی مورد مطالعه، از میان مدل‌های پیش‌بینی و پهنه‌بندی کننده‌ی موجود نظیر: روش تحلیل خوشه‌ای (وچول^۸ و همکاران، 2010: 8486) روش تداخل سنجی راداری (جورج^۹ و همکاران، 2011: 157)، ارزیابی ژئوفیزیکی (آموس^{۱۰} و همکاران، 2011: 102)، برگردان یک بعدی داده‌های سونداژ الکتریکی قائم (علیاری، 1384: 639)، محاسباتی برگشتی (توفیق و همکاران، 1388)، روش تداخل سنجی راداری و ترازیبی دقیق (آمیغ پی و همکاران، 1388: 157) AHP، شبکه‌ی عصبی و... از منطق فازی به عنوان مدل تحلیلی و پیش‌بینی کننده استفاده شود.

هدف از این پژوهش بررسی علل ایجاد فروچاله‌ها و تهیه نقشه‌ی پیش‌بینی نواحی مستعد وقوع فروچاله، جهت شناسایی و پهنه‌بندی نواحی مستعد وقوع فروچاله‌ی با استفاده از مدل کاربردی فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است.



شکل 1- حفره‌ی بلعنده، یکی از فروچاله‌های روستای فیض آباد ابرکوه

2- معرفی محدوده‌ی مورد مطالعه

شهرستان ابرکوه در منتهی الیه جنوب غرب استان یزد قرار گرفته و دارای موقعیت نسبی $31^{\circ} 10'$ تا $31^{\circ} 50'$ عرض شمالی و $53^{\circ} 25'$ تا $53^{\circ} 50'$ طول شرقی است. این شهرستان دارای مساحتی بالغ بر 2000 کیلومتر مربع و دارای ارتفاع متوسط 1446 متر از سطح دریا است (شکل 2). در شمال این شهرستان، دشت ابرکوه قرار دارد که اراضی اطراف دو روستای واقع در این دشت (فیض آباد و هوروک) با پدیده‌ی فروچاله مواجه شده‌اند. اراضی اطراف روستای فیض آباد دارای 28 فروچاله و اراضی اطراف روستای هوروک دارای 3 فروچاله است.

3- بررسی فروچاله‌های منطقه

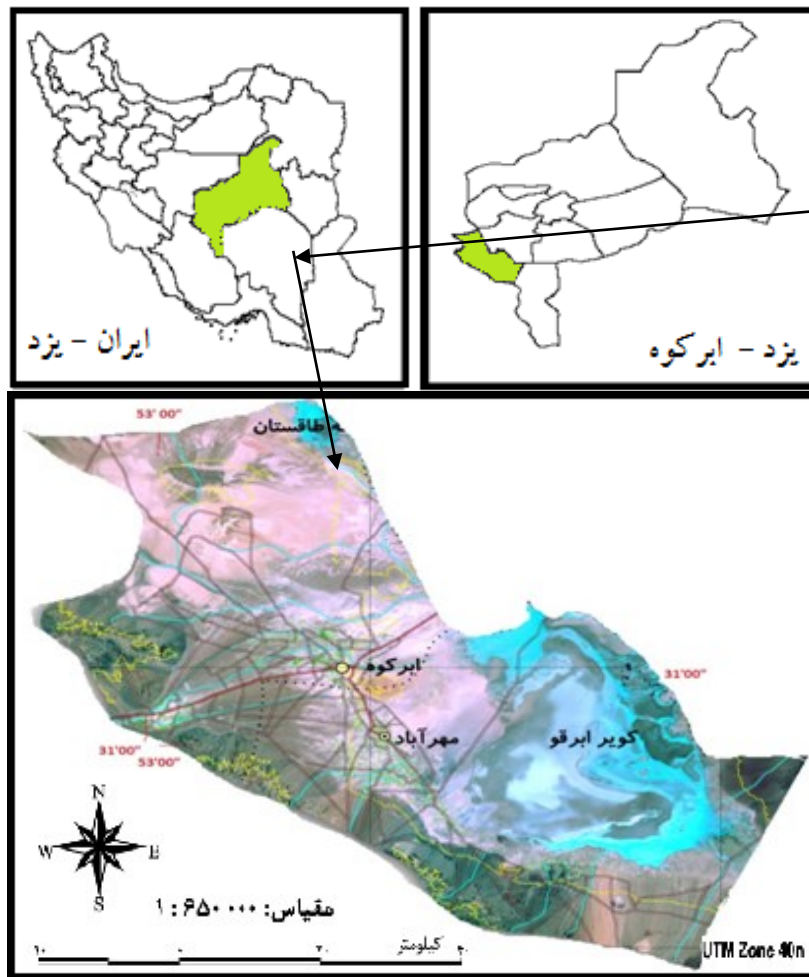
⁸- Wochul

⁹- Jorge

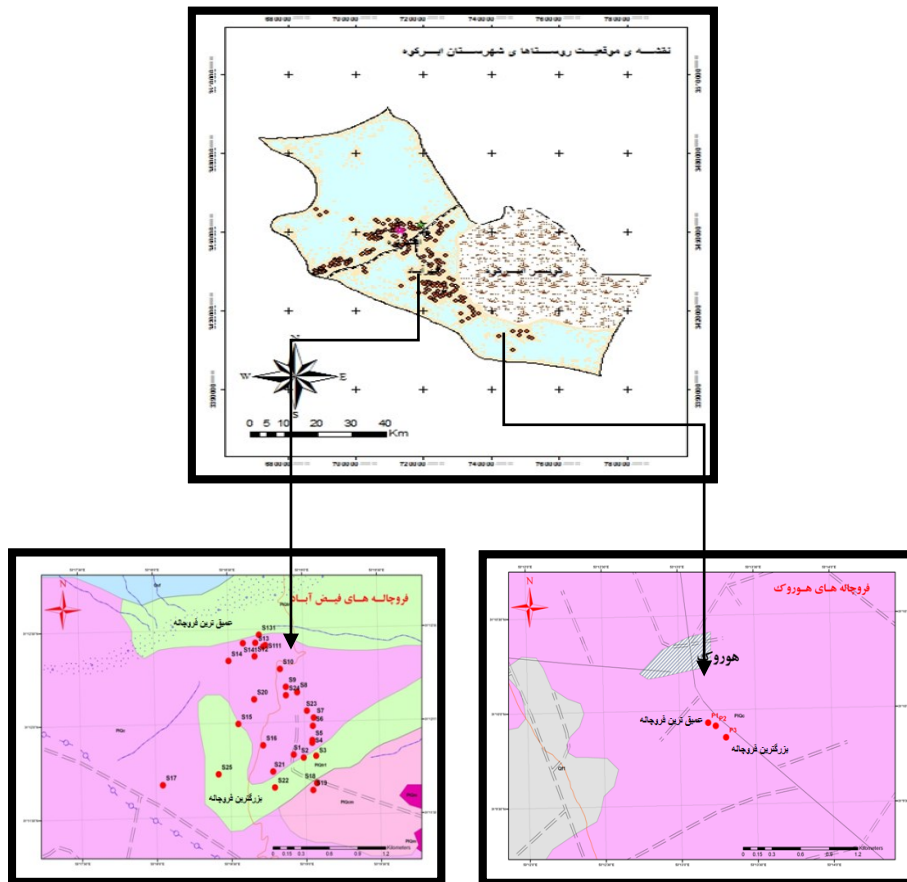
¹⁰- Amos

فروچاله‌های محدوده‌ی مورد مطالعه در ناحیه‌ی فیض آباد و هوروک رخ داده‌اند. روستای فیض آباد در شمال شرق شهر ابرکوه قرار دارد. در این ناحیه بیشترین گسترش فروچاله‌ها ملاحظه می‌شود (28 فروچاله). با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه، فروچاله‌ها در واحد کواترنر (Qt^2) قرار گرفته است. در پاره‌ایی از گزارشات، سال‌های 1372 تا 1379 زمان ایجاد این فروچاله‌ها ذکر شده است (هاشمی، 1381).

عمیق‌ترین این فروچاله‌ها دارای 13/5 متر عمق و کم عمق‌ترین آن‌ها دارای عمق 0/5 متر است. همچنین عریض‌ترین این فروچاله‌ها، فروچاله‌ای با طول 65 متر و عرض 60 متر می‌باشد. روستای هوروک در شمال غرب شهر ابرکوه قرار دارد. در این ناحیه تعداد 3 فروچاله ملاحظه می‌شود. با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه، فروچاله‌ها در این منطقه نیز در واحد کواترنر (Qt^2) قرار گرفته است که عمیق‌ترین فروچاله دارای عمق 5/3 متر و عریض‌ترین فروچاله دارای 64 متر عرض و 66/4 متر طول می‌باشد. این فروچاله‌ها سال‌هاست که توسعه عمقی و سطحی نیافته‌اند و به نظر می‌رسد عامل ایجاد آن‌ها از بین رفته است (شکل 3).



شکل 2- نقشه‌ی موقعیت شهرستان ابرکوه (تصویر ماهواره‌ای لندست 7، آذر 1384)



شکل 3- موقعیت فروچاله‌های منطقه‌ی فیض آباد و هوروک (نقشه پایه برگرفته از: نقشه زمین شناسی 1:100000 آباده، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح).

5- ابزار پژوهش و روش شناسی

1-5- مواد و داده‌ها

در این پژوهش از نقشه‌های مبنایی و اطلاعات مربوط به منطقه‌ی مورد مطالعه نظیر نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس 1:50000، نقشه‌ی زمین شناسی منطقه با مقیاس 1:10000، داده‌های رقومی تصاویر ماهواره‌ای لندست (ETM) مربوط به سال 2006، نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه با مقیاس 1:250000، نقشه‌ی پوشش گیاهی شهرستان ابرکوه 1:250000، نقشه‌ی خاک شناسی ایران و اطلاعات اقلیمی مربوط به ایستگاه‌های پیرامونی شهرستان استفاده شده است. در این بررسی برای ورود و ذخیره سازی اطلاعات جهت تحلیل و بررسی و نیز پهنه‌بندی خطر

وقوع فروچاله در منطقه‌ی مورد مطالعه، از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد. لازم به ذکر است که جهت تهیه‌ی نقشه‌ی موقعیت فروچاله‌های رخ داده در منطقه، برداشت مکان فروچاله‌ها در چندین مرحله توسط GPS و متر پارچه‌ای صورت گرفت.

5-2 روش شناسی مدل فازی

منطق فازی روشی است که توسط پرفسور لطفی‌زاده در سال 1965 طی مقاله‌ای با عنوان "مجموعه‌های فازی برای رشته‌های ریاضی و الکترونیک" انتشار یافت و کم کم بدلیل قابلیت پیش‌بینی‌کنندگی خود وارد رشته‌های دیگر گردید. مجموعه‌ی فازی از طریق توابع عضویت تعریف می‌شوند که عبارتند از: تابع گوسی زنگوله‌ای، تابع گوسی near، تابع لارج، تابع خطی، تابع small برای هر لایه‌ی فازی عددی بین صفر تا یک وجود دارد که صفر عدم عضویت فازی و یک عضویت کامل را نشان می‌دهد. در این پژوهش از بین عملگرهای متنوع فازی از سه عملگر ضرب جبر فازی، جمع جبر فازی و گامای فازی استفاده شد. در این تحقیق سعی می‌شود از مدل فازی به عنوان مدل جدیدی جهت پهنه‌بندی و یا پیش‌بینی نقاط مستعد فروچاله استفاده شود. برای مدل سازی، ابتدا متغیر و معیارهایی بر اساس هدف مورد نظر تعیین می‌شود. پس از آن براساس میزان تأثیرگذاری هر یک از متغیرها بر پدیده‌ی مورد نظر به آن‌ها ارزش داده می‌شود. ارزش اعداد از 0 تا 1 در نظر گرفته می‌شود که هرچه ارزش به 1 نزدیک‌تر باشد تعلق فازی بیشتر است. متغیرهای در سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از توابع فازی، اصطلاحاً فازی می‌شوند و هرکدام از این توابع فرمول‌های مخصوص به خود را دارند. یکی از عملگرهای مهم منطق فازی، عملگر ضرب جبر فازی¹¹ است که با استفاده از ترکیب لایه‌ها صورت می‌گیرد. لایه‌ی حاصل از این عملگر به سمت صفر میل می‌کند. در عملگر جمع جبر فازی¹²، خروجی بر خلاف عملگر ضرب جبر فازی به سمت یک میل می‌کند. فرمول مربوط به عملگر ضرب و جمع جبر فازی عبارت است از:

$$\mu_{\text{Combination}} = \prod \mu_i \quad \text{عملگر ضرب فازی} \quad \text{-(رابطه 1)}$$

$$\mu_{\text{Combination}} = 1 - \prod (1 - \mu_i) \quad \text{عملگر جمع فازی} \quad \text{-(رابطه 2)}$$

برای تعدیل بین لایه‌های بدست آمده از ضرب و جمع جبر فازی، مرحله‌ی نهایی یعنی عملگر گاما انجام می‌گیرد. لایه‌ی بدست آمده، نقشه‌ی نهایی است که بین 0 تا 1 در نوسان است.

$$\mu_{\text{Combination}} = \text{عملگر گامای فازی} \quad \text{-(رابطه 3)}$$

$$\mu_{\text{combination}} = (\text{fuzzy algebraic sum})^\gamma \times (\text{fuzzy algebraic product})^{1-\gamma}$$

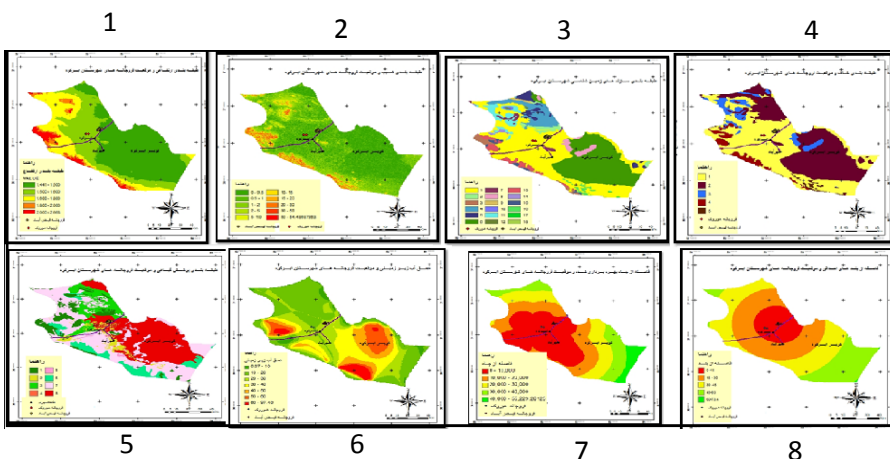
¹¹ -Fuzzy Algebraic Product

¹² -Fuzzy Algebraic Sum

جهت تهیه نقشه‌ی ریسک نواحی مستعد وقوع فروچاله در منطقه، پس از انجام عملیات ضرب و جمع فازی، مرحله‌ی اجرای گاما انجام گرفت. در نهایت نقشه‌ای بدست آمد که حساسیت نواحی مستعد وقوع فروچاله در منطقه را نشان می‌دهد.

6- یافته‌های تحقیق

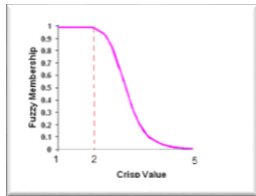
ابتدا نقشه‌های متغیرهای طبیعی نظیر جنس رسوبات، ارتفاع، شیب، جنس خاک، پوشش کاربری اراضی، عمق آب زیر زمینی و متغیرهای انسانی نظیر تأثیر احداث بند مصنوعی و تأثیر چاه‌های موجود و حفرشده، جهت مدل سازی در محیط GIS با فرمت رستری و ابعاد پیکسلی 90×90 متر تهیه گردید (جهت تهیه نقشه‌ی شیب و دسته بندی ارتفاعی، از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه استفاده شد). پس از آن نقشه‌های بدست آمده در محیط GIS دسته بندی¹³ شد و با تطابق موقعیت فروچاله‌ها بر روی هر یک از لایه‌های ذکر شده شدت تأثیر هر کدام در ایجاد فروچاله‌ها مشخص گردید (شکل 4). لازم به ذکر است که برای کلیه نقشه‌ها، سیستم مختصات واحد UTM در نظر گرفته شده است.



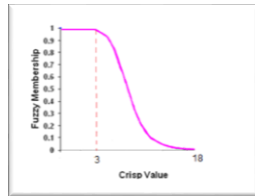
شکل 4- نقشه‌ی طبقه‌بندی شده‌ی معیارها: 1- ارتفاع 2- شیب 3- زمین شناسی 4- پوشش خاک 5- پوشش گیاهی 6- عمق آب زیر زمینی 7- فاصله از چاه‌های بهره‌برداری شده 8- فاصله از بندهای احداثی

جهت فازی سازی لایه‌ها، بر اساس نظرات کارشناسی و ارتباط بین معیارها، از توابع عضویت فازی استفاده شد. از این رو با استفاده از تحلیلگر Raster Calculator در محیط GIS 10، لایه‌ها در بازه‌ی ارزشی از 0 تا 1 استاندارد فازی شدند (شکل 6).

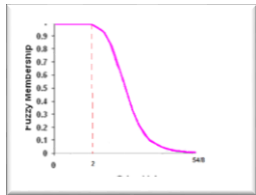
1



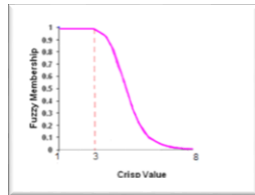
2



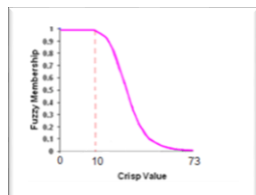
3



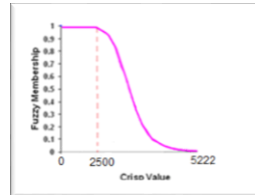
4



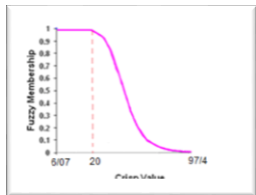
5



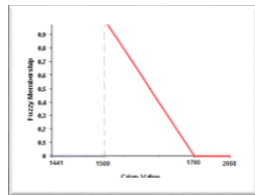
6



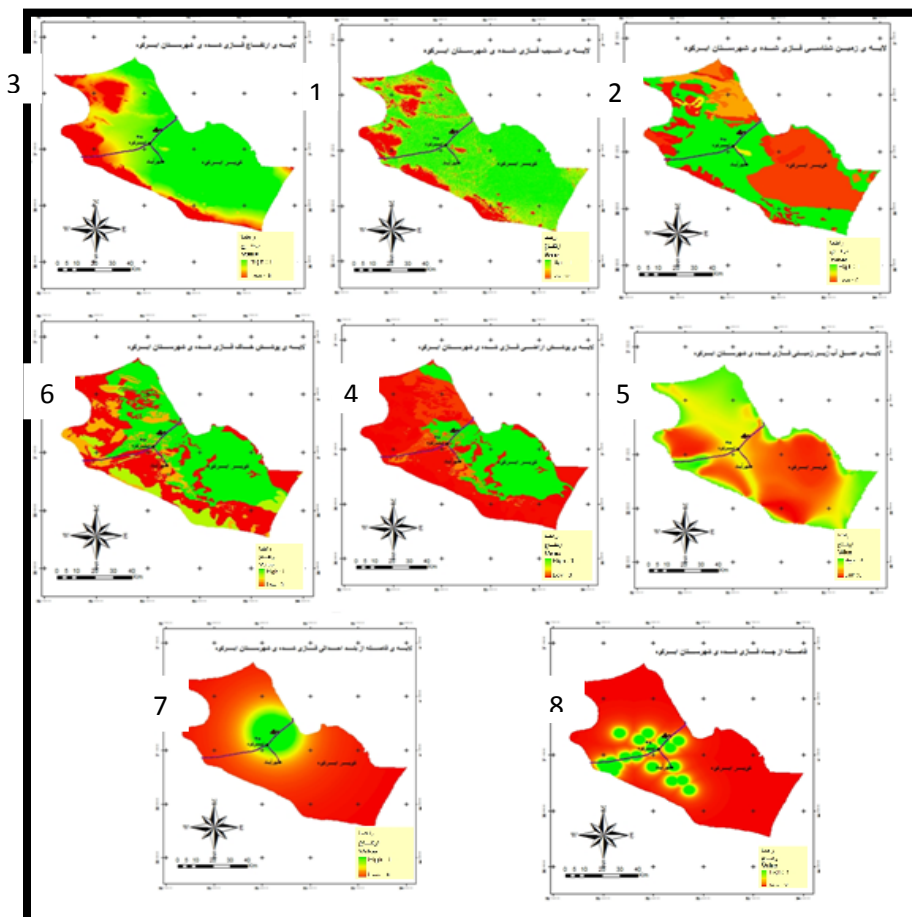
7



8

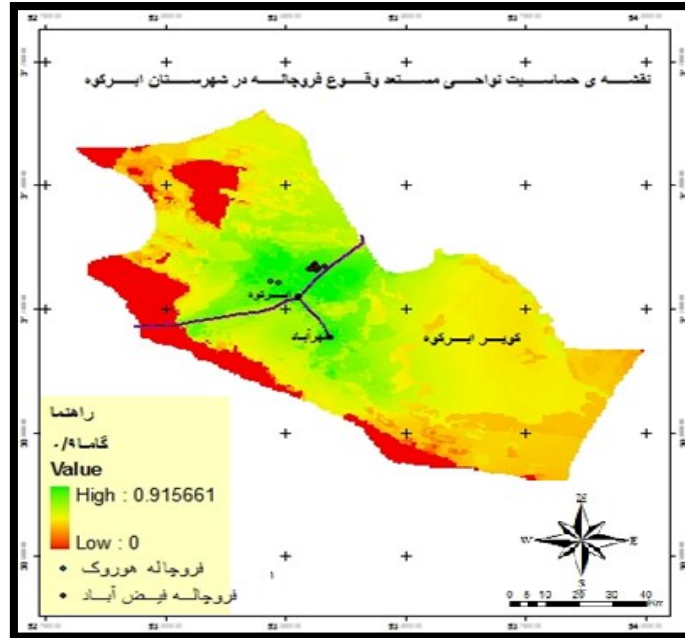


شکل 5- توابع فازی سازی معیارها: 1- ارتفاع 2- شیب 3- زمین شناسی 4- خاک 5- پوشش زمین 6- عمق آب زیرزمینی 7- فاصله از بند احداثی 8- فاصله از چاه های حفر شده.



شکل 6- لایه های فازی شده بر اساس توابع فازی سازی معیارها: 1- ارتفاع 2- شیب 3- زمین شناسی 4- خاک 5- پوشش زمین 6- عمق آب زیرزمینی 7- فاصله از بند احداثی 8- فاصله از چاه های حفر شده.

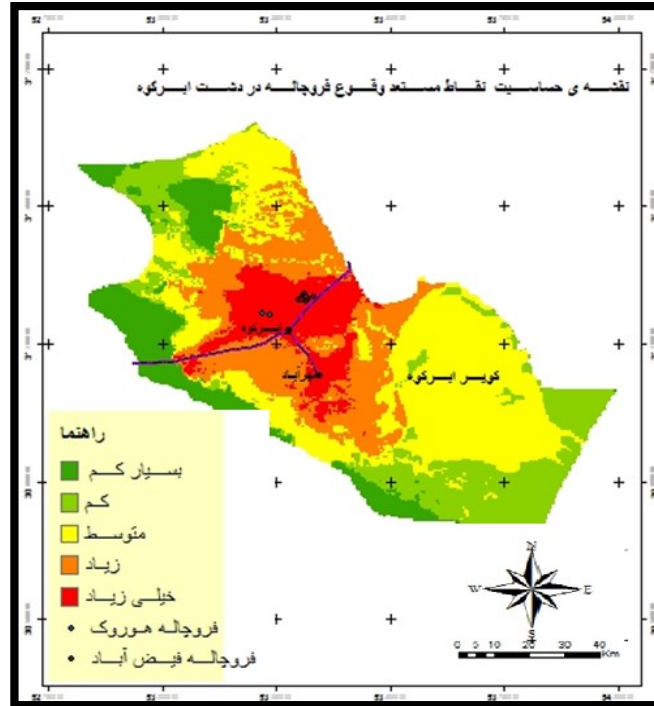
پس از فازی سازی لایه ها، عملگر گامای فازی اجرا گردید. جهت افزایش دقت در بدست آوردن نقشه ی حساسیت نواحی مسنعد وقوع فروچاله در منطقه، از سه گامای 0/7، 0/8 و 0/9 استفاده شد. برای انتخاب گامای بهینه به عنوان لایه ی نهایی، لازم است با توجه به پراکندگی فروچاله ها در منطقه، لایه ی حاصل از گامایی را انتخاب کرد که مقدار لاندای آن پهنه ی مناسب و بیشتری از نقاط آسیب دیده و نیز نواحی مستعد و حساس به وقوع را در بر می گیرد؛ لذا مقدار گامای 0/9 به عنوان نقشه ی نهایی انتخاب گردید. بر اساس لایه ی بدست آمده از اجرای گامای 0/9، همان طور که در شکل 7 دیده می شود گامای 0/9 دارای قدرت هم پوشانی بهتر و نیز دقت بالاتر در پهنه بندی نقاط از نظر حساسیت به وقوع فروچاله است.



شکل 7- لایه ی حاصل از گامای 0/9 فازی

7- نتیجه گیری

لایه ی بدست آمده از گامای 0/9 فازی، با استفاده از روش شکستگی های طبیعی در محیط GIS طبقه بندی و مشخص شد. 32 درصد از منطقه ی مورد مطالعه که معادل 17 کیلومتر مربع است در کلاس با حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار دارد (شکل 8). این مقدار برای کلاس با حساسیت بسیار کم برابر 13 درصد که معادل 7 کیلومتر مکعب و کلاس با حساسیت کم 19 درصد معادل 10 کیلومتر مربع است. در مقابل 36 درصد از سطح منطقه معادل 29 کیلومتر مربع در کلاس با حساسیت متوسط جای گرفته اند (جدول 1). به طور کلی حدود 32 درصد از منطقه ی مورد مطالعه در معرض خطر بالای وقوع فروچاله قرار دارد که عمدتاً نواحی مرکزی شهرستان را در بر می گیرد.



شکل 8- نقشه‌ی نهایی مناطق مستعد وقوع فروچاله در شهرستان ابرکوه با مدل گامای 0/9 فاز

جدول 1- مقادیر حساسیت مناطق مستعد وقوع فروچاله در شهرستان ابرکوه با مدل گامای 0/9 فازی

کد	میزان حساسیت	مساحت KM ²	درصد مساحت
1	بسیار کم	7	13
2	کم	10	19
3	متوسط	29	36
4	زیاد	11	21
5	بسیار زیاد	6	11

بر اساس نقشه‌های بدست آمده و بازدیدهای میدانی از منطقه‌ی مورد مطالعه، این گونه برآورد شد که تأثیر عوامل انسانی نظیر احداث بند، بهره‌برداری از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در منطقه و بهره‌برداری بیش از حد از آب زیر زمینی که خود باعث افت عمق آب زیر زمینی می‌شود، در ایجاد فروچاله‌ها چشمگیرتر است. بر اساس اطلاعات اخذ شده از دفتر مطالعات شرکت آب منطقه‌ای یزد، در هیدروگراف واحد دشت ابرکوه از فروردین 1362 تا شهریور 1387 میزان افت آب زیرزمینی در این دشت 15/03 متر بوده است. مقایسه‌ی مقدار بارش در 10 سال گذشته با افت سفره، نمایان‌گر این نکته است که روند افت سفره از کاهش بارش منطقه بیشتر است. همچنین بر اساس آمار بدست آمده از سال‌های 1379-1381-1389 مشخص شد بیشترین میزان بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی منطقه، از طریق 156 حلقه چاه انجام گرفته است (مطالعات هیدرولوژی حوضه‌ی ابرکوه، 1390). بنابراین با توجه به عدم تغذیه‌ی

کافی آبخوان‌ها و جبران مازاد برداشت آب زیرزمینی در منطقه، شرایط برای گسترش فروچاله‌ها در سال‌های آتی مهیا می‌شود.

8- پیشنهادات

جهت کاهش بروز فروچاله‌ها در منطقه و مراقبت از نواحی بحرانی و مستعد وقوع، پیشنهاد می‌شود اقداماتی نظیر جلوگیری از انجام هرگونه عملیات تغذیه مصنوعی و ایجاد خاکریزها و حوضچه‌های سکون آب، تغییر الگوی آبیاری منطقه از روش غرقابی به روش‌های قطره‌ای برای جلوگیری از مصرف بی‌رویه آب زیر زمینی و افت آبخوان و ممانعت از تمرکز و نفوذ آب‌های سطحی اجرا گردد. همچنین می‌توان به تهیه نقشه‌ی خطر نقاط مستعد بروز فروچاله با استفاده از روش‌های دقیق دیگر نظیر: روش ژئوفیزیک، (GPR) روش نقشه‌برداری به روش الکترومغناطیسی (EMS)، روش‌های لرزه‌یابی و گراویمتری بویژه در نواحی مسکونی شهر ابرکوه دست یافت.

منابع

- اسلامی زاده، علی، زارع، محمد، سامانی، رامین، (1386)، بررسی پدیده نشست زمین و شکستگی‌های موجود در منطقه‌ی رستاق جنوب میبد، همایش ملی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی بافق.
- آمیغ پی، معصومه، عربی، سیاوش، طالبی، علی، (1389)، بررسی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و ترازبایی دقیق. فصلنامه‌ی علوم زمین، سال 20، شماره 77 صص 157-164.
- امیری، منوچهر، نظری، هادی، (1385)، علل و مکانیسم وقوع فروچاله‌ها در دشت فامنین - کبودر آهنگ. فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره 73 صص 174-186.
- ثنایی، محمد علی، (1384)، بررسی بهره‌برداری از منابع آب زیر زمینی و علل و عوارض جانبی پدیده‌ی نشست و ایجاد فروچاله‌ها در دشت همدان، مجموعه مقالات کنفرانس بررسی خطرات فروچاله در مناطق کارستی با تأکید بر فروچاله‌ی همدان، شرکت آب منطقه‌ای غرب کرمانشاه، صص 26-36.
- رئیزی اردکانی، عزت الله، (1384)، چاله‌های کارستی حادثه ساز و پتانسیل ایجاد آن در ایران. مجموعه مقالات کنفرانس بررسی خطرات فروچاله در مناطق کارستی با تأکید بر فروچاله‌ی همدان، شرکت آب منطقه‌ای غرب کرمانشاه، صص 130-141.
- طاهری، کمال، پرویزی، فریدون، ولی زاده، رسول، (1384)، مقدمه‌ای بر فروچاله‌های همدان، دفتر مطالعات و تحقیقات کارست غرب، صص 12-27.
- عالمی، افشین، (1381)، بررسی علل نشست زمین در دشت یزد- اردکان. سومین همایش ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران.

علیاری، علی، فاطمی عقدا، محمد، نخلی، محمد، بیت الهی، علی، (1384)، بررسی مکانیسم تشکیل فروچاله‌های دشت مرکزی همدان، دومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شماره 73، ص 639.

نقشه‌ی پوشش گیاهی شهرستان ابرکوه 1:250000، سازمان منابع طبیعی استان یزد.

نقشه‌ی زمین شناسی شهرستان ابرکوه 1:100000، سازمان نیروهای مسلح.

نقشه‌ی زمین شناسی شهرستان ابرکوه 1:100000، سازمان جهاد کشاورزی استان یزد.

نقشه‌ی کاربری اراضی شهرستان ابرکوه 1:250000، سازمان جهاد کشاورزی استان یزد.

هاشمی، علی، (1381)، بررسی علل فرونشست زمین و تشکیل فروچاله‌ها در دشت فامنین و راه‌های مقابله با آن. پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد دانشگاه رازی کرمانشاه.

مهندسین مشاور آبخوان، (1379)، مطالعات آب زیرزمینی دشت ابرکوه.

مهندسین مشاور ژرف پویا، (1380)، مطالعات ژئوفیزیک دشت ابرکوه با استفاده از روش ژئوالکترونیک.

- Amos, F., Michael, E., Al-Zoubi, A., Akkawi, E., Abueladas, A. (2011), The deadsea sinkhole hazard: Geophysical assessment of salt dissolution and collapse, *Geomorphology*, 134, 102–117.
- Dolores, M., Fidelibus, F. G., Giuseppe, S. (2011), Human-induced hydrogeological changes and sinkholes in the coastal gypsum karst of Lesina Marina area (Foggia Province, Italy), *Engineering Geology*, 118, 1–19.
- Gongyu Li, A., Zhou, W. (1999), Sinkholes in karst mining areas in China and some methods of prevention, *Engineering Geology*, 52, 45–50.
- Heidari, M., Khanlari, G. R., Taleb Beydokhti, A. R., Momeni, A. A. (2011), The formation of cover collapse sinkholes in North of Hamedan, Iran, *Geomorphology*, 132, 76–86.
- Jorge, P. G., Juan, R., Francisco, G. (2011), Improving sinkhole hazard models incorporating magnitude–frequency relationships and nearest neighbor analysis, *Geomorphology* 134, 157–170.
- Newton, J. S. (1987), Development of sinkholes resulting from man's activities in the Eastern United State, United State, United State Geological Survey, Circular 96B, 54B.
- Waltham, A. C., & Fookes, P. G. (2003), Engineering classification of karst ground conditions, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, *The Virtual Scientific Journal*.
- William, W. B. (1988), *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford University Press.
- Woochul, S., Gisung, K., Sehun, K. (2010), A distributed sinkhole detection method using cluster analysis, *Expert Systems with Applications* 37, 8486–8491.