

پهنه‌بندی نواحی مستعد وقوع روانگرایی با استفاده از مدل فازی: شهرستان ابرکوه، استان یزد

داریوش مهرشاهی^۱، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه یزد، ایران
نعیمه‌السادات محصل همدانی، کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده

در سال‌های اخیر وقوع زلزله‌های مرگبار در مناطق فعال لرزه‌ای باعث گردیده تا پدیده روانگرایی مورد توجه محققین قرار گیرد. در مناطقی که آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین می‌باشد، ارتعاشات ناشی از زمین لرزه می‌تواند چسبندگی و انسجام میان ذرات تشکیل دهنده خاک را از بین ببرد، و خاک حالت مایع و روان به خود بگیرد در این حالت روان‌گرایی اتفاق می‌افتد. روانگرایی اغلب باعث خسارت‌های وسیعی بر تأسیسات شهری و روستایی، سازه‌های ساحلی، منابع آبی و خطوط انتقال آب، گاز می‌شود. در این پژوهش سعی شده تا با مطالعه عوامل اصلی ایجاد روانگرایی، با استفاده از مدل فازی به پهنه‌بندی نواحی مستعد وقوع این پدیده پرداخته شود. شهرستان ابرکوه به دلیل شرایط مورفوتکتونیکی و وجود گسل‌های فعال به ویژه گسل اصلی دهشیر- بافت و شاخه‌های فرعی آن، ویژگی‌های زمین‌شناسی و وجود رسوبات جوان کواترنر و وجود منابع آب‌های زیرزمینی در معرض خطر روانگرایی می‌باشد. جهت مدل‌سازی، شش معیار به عنوان عوامل اصلی و تأثیرگذار در ایجاد روانگرایی در نظر گرفته شد که با استفاده از توابع عضویت فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS10)، فازی شده‌اند. پس از فازی‌سازی لایه‌ها، عملگر گامای فازی اجرا گردید. جهت افزایش دقت در به دست آوردن نقشه‌ی حساسیت نواحی مستعد وقوع روانگرایی در منطقه، از سه گامای ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ استفاده شد. پس از مقایسه لایه‌های حاصل از سه گامای مورد نظر این نتیجه حاصل که نقشه به دست آمده از مقدار گامای ۰/۹ دارای قدرت هم پوشانی بهتر و نیز دقت بالاتر در پهنه‌بندی نواحی از نظر حساسیت به وقوع روانگرایی می‌باشد. در نتیجه این مدل‌سازی مشخص شد حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع از وسعت شهرستان، در معرض خطر بالای وقوع روان‌گرایی است که عمدتاً نواحی شمال شرق، شرق و جنوب شرق شهرستان را در بر می‌گیرد. نواحی با احتمال خطر وقوع متوسط، ۶۵ کیلومتر مربع برآورد شده است که جنوب شرق و تا حدی مرکز شهرستان را در بر دارد.

کلمات کلیدی: روانگرایی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل فازی، شهرستان ابرکوه.

مقدمه

علی‌رغم تلاش‌های گسترده برای پیش‌بینی زمین لرزه در جهان، به منظور کاهش و مقابله با خسارات آن، هنوز امکان پیش‌بینی دقیق زمان این پدیده میسر نشده است. کشور ایران به دلیل قرار گرفتن بر روی کمربند لرزه خیز آلپ - هیمالیا، زلزله‌های بالای ۷/۵ ریشتر را تجربه کرده است (زنگی آبادی، ۱۳۸۷) و خسارات جانی و مالی زیادی را متحمل شده است. پایداری و ایمنی سازه‌ها و ساختمان‌ها، مهم‌ترین دغدغه‌ای است که ذهن بشر را برای نجات جان خود در برابر حوادث ناشی از وقوع زمین لرزه به خود مشغول کرده است. برای مقابله با این بلایا و خسارات، شناختن ویژگی‌های زمین و تغییرات آن در زمان زمین لرزه ضروری است. روان‌گرایی خاک یکی از مخاطراتی است که در زمین لرزه‌های شدید رخ می‌دهد و خسارات و تلفات جانی و مالی سنگینی را به دنبال می‌آورد. این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که رسوبات ریزدانه (در حد ماسه و سیلت)، توسط آب زیرزمینی اشباع می‌شود و درآب به حالت تعلیق در می‌آیند. فشار اعمال شده از طریق امواج لرزه‌ای ممکن است در حدی باشد که ماسه‌ها را به سمت بالا به حرکت در آورد (کپلن^۱، ۲۰۰۴). روانگرایی باعث خسارت بر تأسیسات شهری، سازه‌های ساحلی و دریایی، سکوهای حفاری، کاهش مقاومت زمین و حرکات جریان مواد می‌شود. روانگرایی ممکن است به وقایع فاجعه بار از نوع جریان مواد منجر گردد. این پدیده در شرایط ویژه ممکن است باعث جابجایی توده‌های بزرگی از خاک به عرض ده متر و در موارد نادر، باعث جابجایی توده‌های بزرگی از خاک تا ده‌ها کیلومتر شود (پژوهشگاه مهندسی زلزله^۲، ۱۹۹۴). در سه دهه اخیر تحقیقات فراوانی در ارتباط با مطالعه روانگرایی جهت کاهش خسارات ناشی از آن در ایالات متحده، کانادا، ژاپن، هند و ایران انجام شده است. در سال ۱۹۶۴ روان‌گرایی ناشی از زلزله ۷/۵ ریشتری، شهر نیگاتای ژاپن را به ویرانه‌ای کامل تبدیل کرد. این زلزله توجه جامعه ژئوتکنیک را به خود جلب نمود تا عوامل اصلی ایجاد روانگرایی را شناسایی و توصیه-

1 - Kaplan

2 - Earthquake Engineering Research, Institute, California

هایی در خصوص تبیین روانگرایی بر اساس داده‌ها و آنالیزهای آزمایشگاهی ارائه دهند (شهیدی فرد، ۱۳۸۶). در سال ۱۹۹۹ در شهر چی چی تایوان، روان‌گرایی ناشی از وقوع زلزله در غرب منطقه به وقوع پیوست که توسط محققین مخاطرات محیطی دانشگاه کالیفرنیا مورد بررسی و نواحی در معرض خطر با استفاده از SPT^1 (آزمایش نفوذ استاندارد) پهنه‌بندی شدند (دنیل و همکاران^۲، ۲۰۰۴). روان‌گرایی ناشی از وقوع زلزله در شمال هند توسط مهندسين زلزله شناسی دانشگاه هند مورد مطالعه قرار گرفت و مناطق مستعد وقوع بر اساس مورفوتکتونیک منطقه و سستی مواد پهنه‌بندی شدند (کوپتا و گراوال^۳، ۱۹۹۸). در ایران نیز ارزیابی پتانسیل روانگرایی در بخشی از نواحی جنوب شرقی تهران انجام شد که این ارزیابی با توجه به روش سید و همکاران (۲۰۰۳)، جهت انجام فرآیند مدل‌سازی به برآورد شتاب حداکثر زمین (ارتعاشات زمین) به بزرگای ۷/۵ ریشتر، و لایه بندی خاک و عمق آب زیر زمینی توجه شده است (عسکری و کسائی، ۱۳۸۲). ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی پی‌آبرفتی ساختگاه سد مخزنی چپر آباد، براساس نتایج آزمایش نفوذ استاندارد مورد بررسی قرار گرفته است (بزرگی و ارومیه‌ای، ۱۳۸۵). خطر روانگرایی استان لرستان براساس بیشینه فاصله از مرکز زمین لرزه، وضعیت زمین ریخت شناسی و آب زیر زمینی منطقه پهنه‌بندی گردیده است (عسکری و قاسمی، ۱۳۸۷). ویژگی‌های زمین ساخت، عمق آب زیرزمینی و ویژگی‌های زمین شناسی و ژئومورفولوژیکی مهم‌ترین معیارهایی هستند که سیکوند و همکاران خطر روان‌گرایی دشت سیلاخور را بر اساس آن‌ها پهنه‌بندی کرده‌اند (سیکوند و همکاران، ۱۳۹۰).

سمسون و همکاران با استفاده از روش آماری چند متغیره (رگرسیون) به ارزیابی احتمال وقوع روانگرایی پرداخته‌اند (سمسون و همکاران^۴، ۱۹۸۸). پانند و پتروس بر اساس مدل شبیه‌سازی عددی، اقداماتی جهت کاهش خطر ابتلا به روانگرایی را در

1 - Standard Penetration Test

2 - Daniel

3- M. K. Gupta and R. C. Agrawal

4 -Samson S. C. Liao

خاک‌های سست و نیمه اشباع پیشنهاد شده است (پاند و پتروس^۱، ۲۰۰۸). فشارها و شتاب‌های مختلف وارد شده بر ماسه‌ها در بندر انزلی از سه روش آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته تا بر اساس نتایج آن پتانسیل خطر وقوع روانگرایی را در سواحل بندر انزلی کاهش یابد (حامدی و مردانی^۲، ۲۰۱۱). با توجه به روش‌های ذکر شده، در این تحقیق سعی شده است از مدل جدیدی جهت پهنه‌بندی و یا پیش‌بینی نقاط مستعد وقوع روانگرایی استفاده شود. این مدل، منطق فازی نام دارد. از مجموعه‌های فازی برای تبیین تغییرات تدریجی عضویت استفاده می‌کنند و در نمایش و تحلیل پدیده‌های جغرافیایی که محدوده‌ها و ارزش‌های غیرصریحی دارند استفاده می‌شود. شهرستان ابرکوه به دلیل شرایط مورفوتکتونیک و وجود گسل‌های فعال به خصوص گسل بزرگ و اصلی دهشیر- بافت و شاخه‌های فرعی آن، ویژگی زمین‌شناسی و رسوبات جوان، وجود منابع آب‌های زیرزمینی غنی، و نیز به دلیل تراکم رسوبات آبرفتی کواترنر ریزدانه و نیز شیب ملایمی که دارد؛ در صورت لرزه‌های شدید، در خطر رویداد روانگرایی قرار دارد. در این تحقیق تلاش شده است تا بر اساس عوامل و معیارهای اصلی وقوع روانگرایی نظیر نقشه لیتولوژی منطقه، شیب، عمق آب زیرزمینی ژئومورفولوژی منطقه، سستی خاک و پراکندگی گسل‌های منطقه مورد مطالعه، و بکارگیری مدل فازی، نواحی در معرض خطر احتمالی وقوع روانگرایی شناسایی شود تا براساس آن تدابیری جهت کاهش خسارات در این مناطق سنجیده شود.

داده‌ها و روش‌ها

جهت مدل‌سازی در محیط GIS با فرمت رستری و ابعاد پیکسلی ۹۰×۹۰ متر تهیه گردید (جهت تهیه نقشه شیب، از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و نقشه ژئومورفولوژی براساس تفسیر و تفکیک تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، نقشه‌های توپوگرافی، مشخصات ارتفاعی (DEM) و شیب منطقه به دست آمد). پس از آن نقشه‌های به دست

1 -G.N. Pande and S. Pietruszczak

2 - Hamedi & Marandi

آمده در محیط GIS دسته‌بندی^۱ گردید لازم به ذکر است که برای کلیه نقشه‌ها، سیستم مختصات واحد UTM در نظر گرفته شده است. سپس با استفاده از مدل فازی، نقشه نواحی مستعد وقوع روانگرایی در شهرستان ابرکوه تهیه گردید. در این پژوهش از نقشه‌های مبنایی و اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه نظیر نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰، داده‌های رقومی تصاویر ماهواره‌ای لندست (ETM) مربوط به سال ۲۰۰۶، نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده شده است. در این بررسی برای ورود و ذخیره‌سازی اطلاعات جهت تحلیل و بررسی و نیز پهنه‌بندی خطر وقوع روانگرایی در منطقه مورد مطالعه، از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد (شکل ۱).

روش شناسی مدل فازی

منطق فازی روشی است که توسط پرفسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ طی مقاله‌ای با عنوان "مجموعه‌های فازی" برای رشته‌های ریاضی و الکترونیک انتشار یافت و کم‌کم به دلیل قابلیت پیش‌بینی کنندگی خود وارد رشته‌های دیگر گردید (صفاری و همکاران، ۱۳۹۰). مجموعه فازی از طریق توابع عضویت تعریف می‌شوند که عبارتند از: تابع گوسی زنگوله‌ای، تابع گوسی near، تابع لارج، تابع خطی، تابع small برای هر لایه فازی عددی بین صفر تا یک وجود دارد که صفر عدم عضویت فازی و یک عضویت کامل را نشان می‌دهد (پور قاسمی و همکاران، ۱۳۸۸). 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 روانگرایی استفاده شود. برای مدل‌سازی ابتدا متغیر و معیارهایی بر اساس هدف مورد نظر تعیین می‌شود. پس از آن براساس میزان تأثیر گذاری هر یک متغیرها بر پدیده مورد نظر به آن‌ها ارزش داده می‌شود. ارزش اعداد از ۰

تا ۱ در نظر گرفته می‌شود که هرچه ارزش به ۱ نزدیک‌تر باشد تعلق فازی بیشتر است. متغیرها در سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از توابع فازی، اصطلاحاً فازی می‌شوند که هرکدام از این توابع فرمول‌های مخصوص به خود را دارند. یکی از عملگرهای مهم منطق فازی، عملگر ضرب جبر فازی^۱ می‌باشد که با استفاده از ترکیب لایه‌ها صورت می‌گیرد. لایه حاصل از این عملگر به سمت صفر میل می‌کند. در عملگر جمع جبر فازی^۲، خروجی بر خلاف عملگر ضرب جبر فازی به سمت یک میل می‌کند (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۰). فرمول مربوط به عملگر ضرب و جمع جبر فازی عبارت است از:

$$\begin{aligned} \mu \text{ Combination} &= \Pi n \mu_i & \text{❖ رابطه ۱) عملگر ضرب جبر فازی} \\ \mu \text{Combination} &= 1 - \Pi n (1 - \mu_i) & \text{❖ رابطه ۲) عملگر جمع جبر فازی} \end{aligned}$$

برای تعدیل بین لایه‌های به دست آمده از ضرب و جمع جبر فازی، مرحله نهایی یعنی عملگر گاما انجام می‌گیرد. لایه به دست آمده نقشه نهایی می‌باشد که بین ۰ تا ۱ در نوسان است.

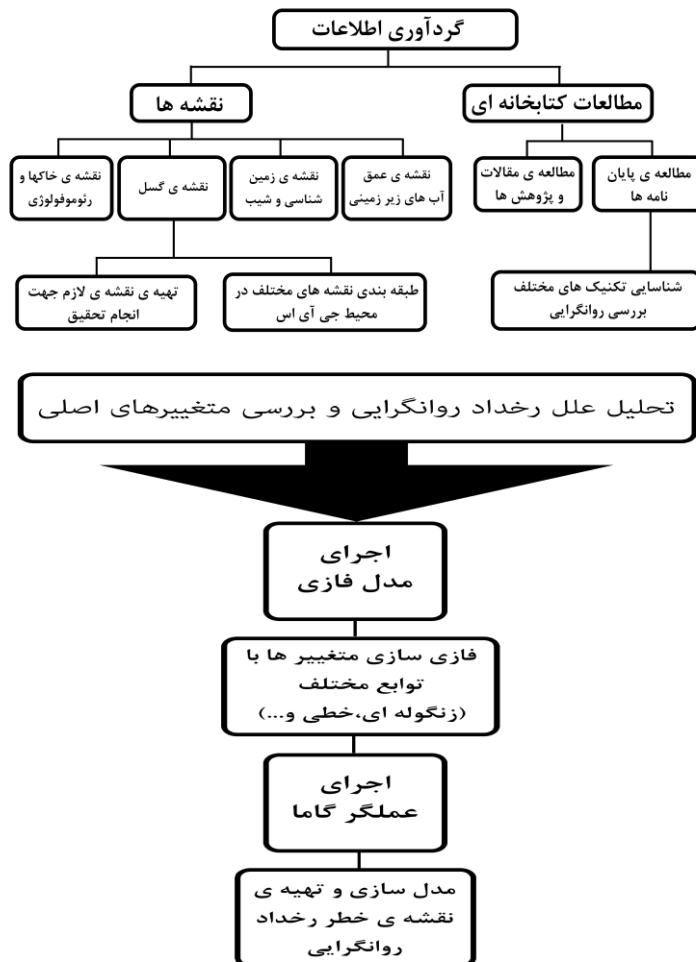
❖ رابطه ۳) عملگر گامای فازی

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

ویژگی‌های طبیعی منطقه مورد مطالعه

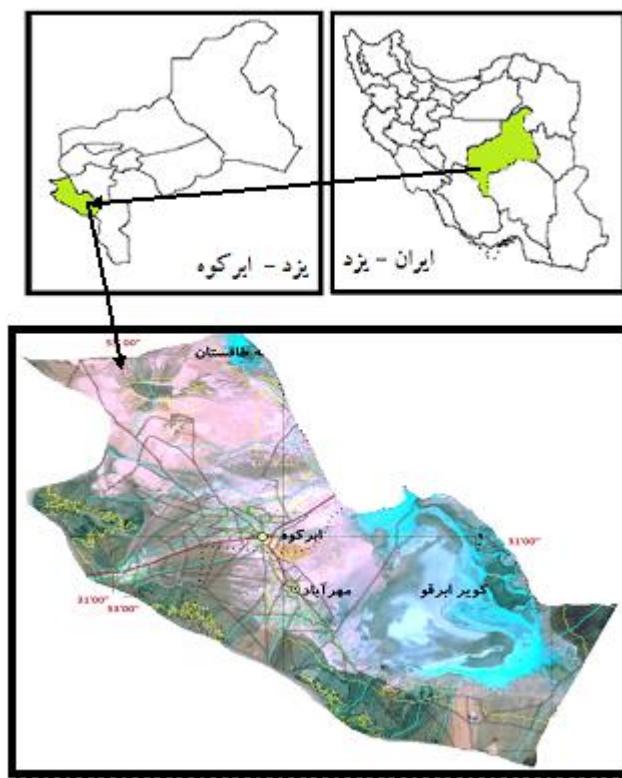
شهرستان ابرکوه در منتهی الیه جنوب غرب استان یزد قرار گرفته و دارای موقعیت نسبی ۱۰° ۳۱ تا ۳۱° ۵۰ عرض شمالی و ۵۰° ۵۳ تا ۲۵° ۵۳ طول شرقی می‌باشد (شکل ۲). این شهرستان دارای مساحتی بالغ بر ۲۰۰۰ کیلومتر مربع و دارای ارتفاع متوسط ۱۴۴۶ متر از سطح دریا است (نقشه زمین شناسی ابرکوه). ارتفاعات شهرستان عمدتاً در بخش جنوب، جنوب غرب، شمال غرب و غرب متمرکز شده‌اند.

1 -Fuzzy Algabric Product
2 -Fuzzy Algabric Sum



شکل ۱. فلوجارت مطالعات و پژوهش و مدل‌سازی پیش‌بینی نواحی مستعد رخداد روانگرایی

به‌طور کلی منطقه از نظر ریخت‌شناسی دارای توپوگرافی نسبتاً پست و ملایم است و بیشترین رخنمون‌های سنگی در شمال غربی محدوده قرار دارد. بیشترین شیب منطقه ۵۴/۴۰ درجه در دامنه ارتفاعات و کمترین آن ۰ درجه برآورد شده است.



شکل ۲. نقشه موقعیت شهرستان ابرکوه (تصویر ماهواره‌ای لندست ۷، آذر ۱۳۸۴).

در محدوده مطالعاتی ابرکوه سازندهای زیر بر اساس نقشه زمین‌شناسی ابرکوه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ وجود دارد:

- واحد K^I (سازند تفت): بیشترین رخنمون این واحد در کوه‌های پنجه انگشت، اعلا و عیش در غرب شهرستان نمایان است (جدول ۱). واحد K^I از سنگ آهک، ماسه سنگ آهکی، ماسه سنگ و شیل به رنگ کرم تا خاکستری تیره به صورت ضخیم لایه وستیغ ساز پدید آمده است (شکل ۳).
- واحدهای OM (سازند قم): نهشته‌های واحد در کوه‌های اعلا و عیش در شمال و

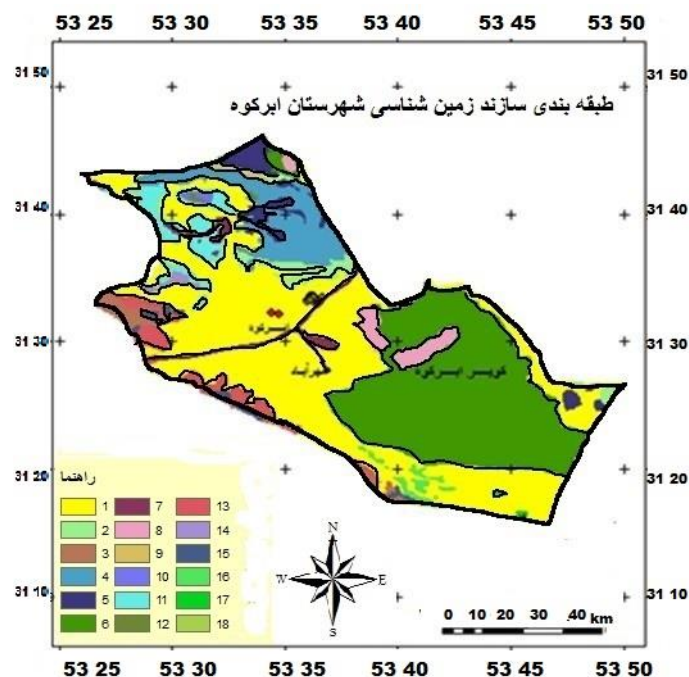
شمال خاوری منطقه و در جنوب خاوری ابرکوه نمایان است (جدول ۱). سنگ آهک‌های آن از نوع زیستی - تخریبی هستند. دارای سن الیگوسن پایانی - میوسن آغازین (شاتین - آکیتانین) می‌باشند (شکل ۳).

• واحد M^s : نهشته‌های این واحد که در شمال خاوری کوه عیش رخنمون دارد در برگیرنده ماسه سنگ‌های قهوه‌ای تا کرم رنگ با لایه‌بندی خوب همراه با میان لایه‌هایی از مارن‌های سبز تا قرمز و مارن‌های گچ دار است (جدول ۱).

• واحدهای PIQ (پیلو-کوآترنز: واحدهای تخریبی پلیوسن - کوآترنز بخش گسترده‌ای از منطقه ابرکوه را پوشانده‌اند.

جدول ۱- طبقه بندی نوع رسوبات (۱۳۸۵) شهرستان ابرکوه

ردیف	سن	نماد	رسوب
۱	کوآترنری	Q ^{T2}	مخروط افکنه های قدیم
۲	پلیستوسن	PL	کنگلو مرا
۳	پرمین پایانی	Pj	آهک و دولومیت تیره
۴	الیگومیوسن	oM ^m	مارن و ماسه سنگ
۵	کوآترنز	Q ^{t1}	تراس مخروط افکنه
۶	کوآترنز	Q ^{s^f}	مواد نمکی تبخیری
۷	کرتاسه ی تحتانی	K ^{1t}	آهک و مارن
۸	کوآترنز	Q ^{sc}	کفه های نمکی - شنی
۹	الیگومیوسن	URig	کنگلو مرا
۱۰	الیگومیوسن	OM ^C	کنگلو مرا
۱۱	الیگومیوسن	OM	آهک ریفت، کنگلو مرا، مارن
۱۲	الیگومیوسن	LRig	رس و ماسه سنگ قرمز
۱۳	تریاس	TRE	دولومیت
۱۴	تریاس میانی	TRE ¹	دولومیت
۱۵	تریاس پایانی	TR ⁿ	شیبست های میکا دار
۱۶	تریاس پایانی	TR ⁿ	شیبست های میکا دار سیاه
۱۷	ژوراسیک	JS	شیل، ماسه سنگ، کنگلو مرا
۱۸	پالئوزوئیک	Mgs	مرمر



شکل ۳- طبقه بندی سازندهای زمین شناسی شهرستان ابرکوه

• واحد Q (کواترنری): انباشته‌های کواترنری شامل پادگانه‌های آبرفتی قدیمی در مناطق کوهستانی که سطحی نسبتاً هموار داشته و بر روی واحدهای کهن‌تر قرار گرفته‌اند و آن‌ها را می‌توان بقایایی از دشت‌های آبرفتی کهن در نظر گرفت. از دیگر نهشته‌های این دوران در منطقه مورد مطالعه: کنگلومرای سخت نشده به شکل مخروط افکنه و دشت-های آبرفتی کم ارتفاع، بستر رودخانه و مانددهای سیلابی و فصلی، انباشته‌های مخروط افکنه‌ها به صورت کهن و جوان، رسوبات سیلتی، ماسه‌ای و قلوه سنگی، پهنه‌های رسی، نمکی و ژیبس و تلماسه‌های بادی می‌باشند. بر اساس مساحت‌های محاسبه شده همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود رسوبات مربوط به دوران کواترنری وسعت بیشتری از منطقه را تحت پوشش خود قرار داده‌اند (جدول ۲).

جدول ۲- زمین شناسی و مساحت سازند های سخت ابرکوه (ماخذ: سازمان

جهاد کشاورزی استان یزد ۱۳۸۵)

دوران زمین شناسی		نماد	مساحت	درصد
سنوزوئیک	کواترنری	Q^p Q^{t2}	۳۸/۵	۳۱/۷۱
		Q^{t1}		
	پلیستوسن	QpI^c	۷۵/۹	۷/۲۴
		PI	۷/۹۲	۰/۷۶
الیگومیوسن	OM^1			
	OM^m			
	OM^c	۱/۲۵	۰/۱۲	
مزوزوئیک	کرتاسه	K^1_1	۱۷/۰-۴۰/۸	۱/۴۹
		k^c_1		
	ژوراسیک	J^1_{2-3}	۱۵/۵۳	۲/۳۳
		J^s_1	۵۴/۳۱	
		$D f^e$		۲۴/۶۲
	ترشیاری	T^d_2 T^{lm}_1	۲۴/۳۱	۱۳/۳۵
V		۲۵۵/۲۵		
		۱۳۸/۴۰	-	
پالئوزوئیک	پرمین	P^1 P^m P^S	۲۸۰/۲۵	۲۷/۰۴
			۲۸/۲۱	۲/۷۲
	کربنیفر دونین	C^1_1	۰/۸	-
		D_3^{sh}	۳/۱۴	۰/۳۰
		T_3^m		
		AM	۷۵/۵۹	۱/۰۶
		MA		
		SD	۰/۴۷	۷/۲۹
		SM	۴/۴۹	-
			۳/۲۷	۰/۴۳
	۰/۵۲	۰/۰		

گروه‌های هیدرولوژیک خاک‌ها در شهرستان ابرکوه براساس روش اداره حفاظت خاک وزارت کشاورزی امریکا^۱ انجام گردید (سازمان جهاد کشاورزی یزد، ۱۳۸۷) مشخصات کلی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک که در شکل ۴ نمایش داده شده است به این شرح می‌باشد:

گروه ۱- خاک‌ها با شدت نفوذپذیری بالا: این خاک‌ها در شکل ۳ به رنگ زرد نشان داده شده‌اند. خاک‌هایی با شدت نفوذپذیری بالا حتی هنگامی که کاملاً مرطوب هستند، دارای زهکشی خوب بوده و آبگذری بالایی دارند، خاک‌های این گروه هیدرولوژیکی دارای بافت سبک تا نسبتاً سبک ماسه‌ای^۲، لومی ماسه‌ای^۳ و لومی^۴ در مناطق رخنمون سنگ با خصوصیات تکتونیک زیاد و نفوذپذیری سریع می‌باشند. این خاک‌ها دارای خصوصیت تولید هرزآب کم می‌باشند (شکل ۴).

گروه ۲- خاک‌های با شدت نفوذپذیری خوب: این خاک‌ها حتی هنگامی که مرطوب هستند عمدتاً همراه با لایه‌ای که مانع نفوذ آب به بخش‌های پائین‌تر می‌گردد و دارای بافت سنگین لوم رسی^۵، لوم رسی ماسه‌ای^۶، با ضریب آبگذاری کم می‌باشند و در مناطق رخنمون سنگی با فعالیت تکتونیک کم تا متوسط و دارای نفوذپذیری آهسته می‌باشند. تولید هرزآب در این خاک‌ها نسبتاً زیاد می‌باشد (شکل ۴).

گروه ۳- خاک‌های با شدت نفوذپذیری متوسط: این گروه از خاک‌ها حتی هنگامی که مرطوب هستند زهکشی و آبگذری متوسط دارند خاک‌های این گروه هیدرولوژیکی دارای بافت متوسط لومی و سیلتی لومی^۷ در مناطق رخنمون سنگی با فعالیت‌های تکتونیک و نفوذپذیری متوسط می‌باشند. این گروه از خاک با تولید هرزآب متوسط می‌باشند (شکل ۴).

1- Soil-Conservation-Service

2 -Sandy

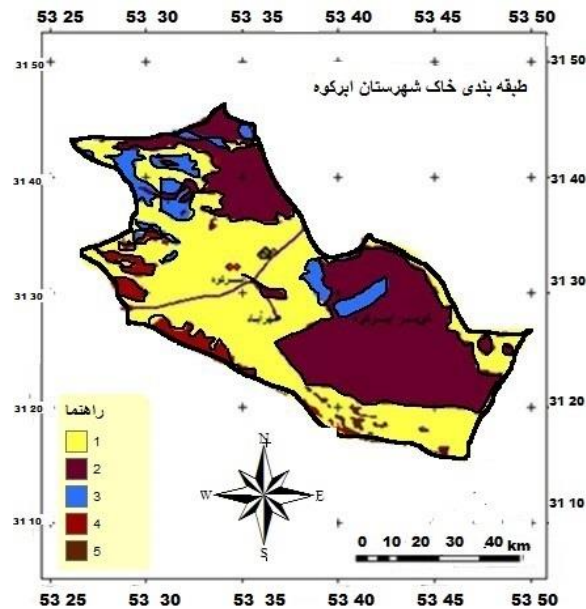
3 -Loamysand

4 -Loam

5 -Clayloam

6 -Sandy clayloam

7 -Siltloam



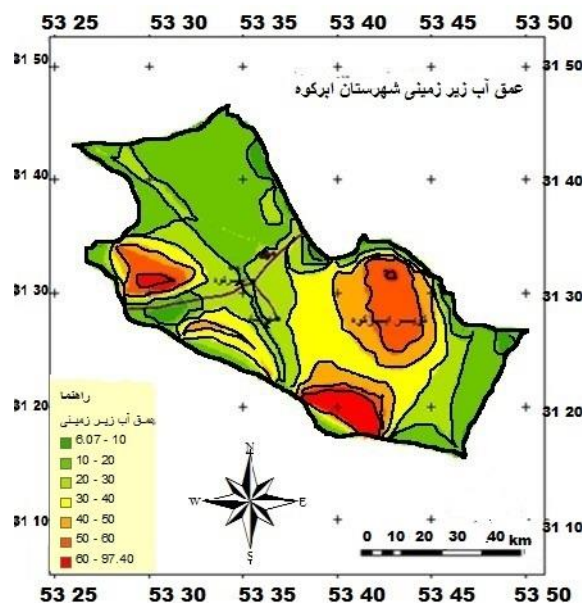
شکل ۴. طبقه‌بندی خاک شهرستان ابرکوه.

گروه ۴ و ۵: خاک‌های با شدت نفوذپذیری خیلی کم می‌باشد این خاک‌ها دارای بافت خیلی سنگین رس^۱، ماسه‌ای رسی^۲ و رسی سیلتی^۳ با ضریب آب‌گذاری کم به خصوص در مناطق رخنمون سنگی با فعالیت تکتونیکی همراه بوده و تولید هرز آب در این گروه از خاک‌ها زیاد تا خیلی زیاد می‌باشد (شکل ۴).

منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم خشک و خیلی خشک می‌باشد که در ارتفاعات به علت کاهش دما، به اقلیم نیمه خشک تغییر می‌یابد. با این حال به دلیل شرایط ویژه هیدرولوژی حاکم، نواحی مرکزی این منطقه مورد توجه گروه‌های انسانی قرار گرفته و به منطقه مسکونی همراه با فعالیت‌های اقتصادی و تولیدی تبدیل شده است. گسترش اراضی کشاورزی در این شهرستان بر اساس دسترسی به منابع آب سطحی و زیرزمینی

1 -Clay
2 -Sandyclay
3 -Siltyclay

می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است عمق آب زیرزمینی در کویرها و دشت‌ها به حداکثر خود رسیده و در مقابل در مناطق شهری آب‌های زیرزمینی به سطح نزدیک‌تر هستند.

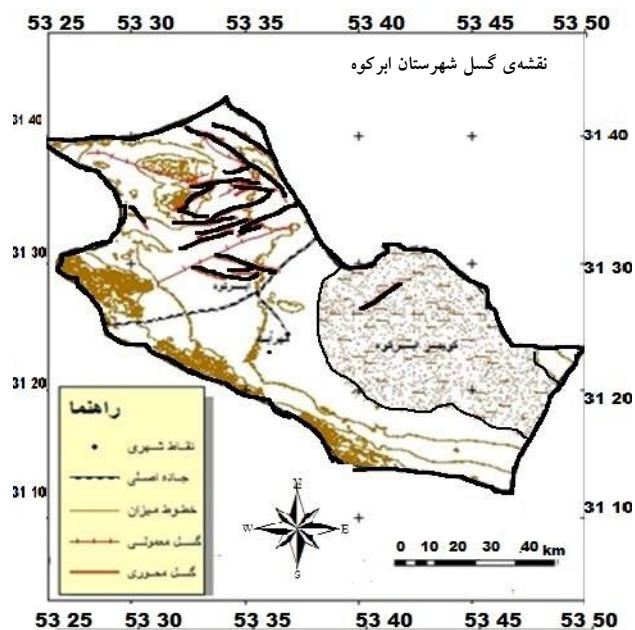


شکل ۵. نقشه عمق آب زیر زمینی شهرستان ابرکوه.

گسل‌های اصلی و فعال نقش اصلی در رخداد زلزله را به عهده دارند از جمله گسل دهشیر که در قسمت شمال شرق و شرق شهرستان قرار دارد که باعث فرو افتادگی دشت ابرکوه شده است. گسل دهشیر به گسل‌های فرعی تقسیم شده که به صورت آمیزه‌های رنگی و افیولیتی از مروست، شهر بابک و بافت به گسل نائین متصل می‌شود (روشن روان، ۱۹۹۷). در شمال شرق شهرستان ابرکوه، گسل‌هایی با امتداد NW-SE که جا به جایی راستالغز دارند وجود دارد (شکل ۶)، از جمله می‌توان به گسل‌های کفه طاقستان و تل برزه اشاره نمود (آمبراسیس و ملویل^۱، ۱۹۸۲). دسته دوم گسل‌های

1 -Ambraseys, N. N. and C. P. Melville (1982)

منطقه امتداد کلی NE-SW دارند (شکل ۶). این شکستگی‌ها بیشتر جابجایی امتداد لغز چپ گرد نشان می‌دهند (بربریان^۱، ۱۹۷۶). بیشتر گسل‌های موجود در کوتاه‌تر از گسل-های گروه دوم به شمار می‌آیند که از جمله می‌توان به گسل‌های بخش مرکزی منطقه اشاره نمود (شکل ۶). بررسی‌های جدید نشان می‌دهند که بخشی از گسل دهشیر-بافت مابین ابرکوه و مروست حتی در اواخر هولوسن (در حدود دوهزار سال پیش) نیز فعالیت شدیدی داشته است که با تغییرات ریخت‌شناسی محلی همراه بوده است (نظری و همکاران، ۲۰۰۹). این یافته‌های جدید لزوم مطالعات محلی دقیق‌تر، به‌ویژه در رابطه با مسئله روانگرایی یا سایر مسائلی مرتبط با زمین لرزه را ضروری می‌سازد.



شکل ۶. نقشه گسل شهرستان ابرکوه.

1 -Berberian, M. (1976)

یافته‌های تحقیق

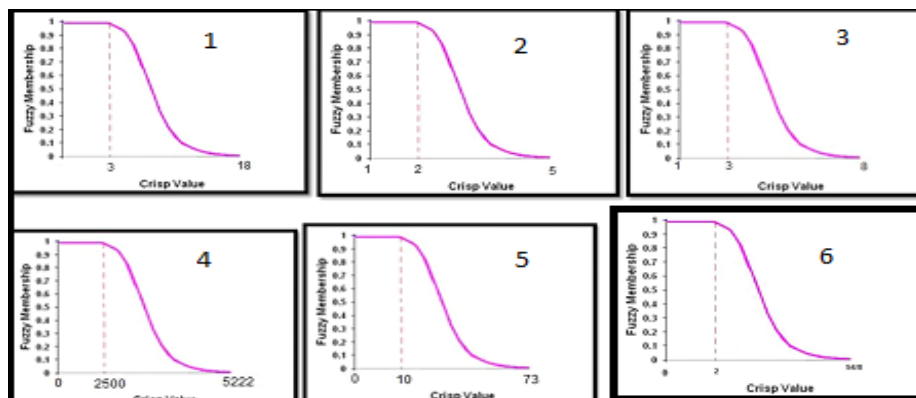
جهت تهیه نقشه نواحی مستعد وقوع روانگرایی در شهرستان ابرکوه ابتدا ۶ معیار اصلی در نظر گرفته شد. سپس نقشه هریک از معیارها با توجه به اهمیت این عوامل و تأثیرگذاری هریک از آنها در وقوع پدیده روانگرایی در منطقه (جدول ۳) در محیط GIS طبقه‌بندی شد.

جدول ۳ - معیارها و پتانسیل آنها جهت وقوع روانگرایی

The age of the deposit (سن رسوبات)	Liquefaction potential (پتانسیل روانگرایی)
کمتر از ۵۰۰ سال	A
بعد از هولوسن	B
هولوسن	D
پلیوستوسن	E
قبل از پلیستوسن	E
Ground slope (شیب زمین)	Liquefaction potential (پتانسیل روانگرایی)
سطح زمین	A (خیلی زیاد)
شیب کمتر از ۱ درجه	A (خیلی زیاد)
شیب بین ۱ تا ۲ درجه	A (خیلی زیاد)
شیب بیشتر از ۲ درجه	D (خیلی کم)
Depth of the water(m) (عمق آب زیر زمینی بر حسب متر)	Liquefaction potential (پتانسیل روانگرایی)
بیشتر از ۵ متر	A (خیلی زیاد)
۵-۱۰ متر	A (خیلی زیاد)
۱۰-۲۰ متر	A (خیلی زیاد)
۲۰-۳۰ متر	B (زیاد)
بیشتر از ۳۰ متر	D (کم)
The type of deposit واحدهای ژئومورفولوژیکی	Liquefaction potential (پتانسیل روانگرایی)
دشت‌های دامنه‌ای (رسوبات کواترنر)	A (خیلی زیاد)
مخروط افکنه (شیب کمتر ۵ درصد)	A (خیلی زیاد)
کانال رودخانه	A (خیلی زیاد)
تپه ماسه‌ای	B (زیاد)

واریزه	D (کم)
دشت‌های سیلابی	D (کم)
Fault فعالیت گسلی	Liquefaction potential (پتانسیل روانگرایی)
گسل فعال	A
گسل نیمه فعال	B
گسل غیرفعال	C
Soil density سستی خاک	Liquefaction potential (پتانسیل روانگرایی)
خیلی سست با نفوذ پذیری بالا	A
سست و نفوذ پذیر	B
سستی و نفوذپذیری متوسط	C
متراکم با نفوذ پذیری کم	E
متراکم و غیر قابل نفوذ	E

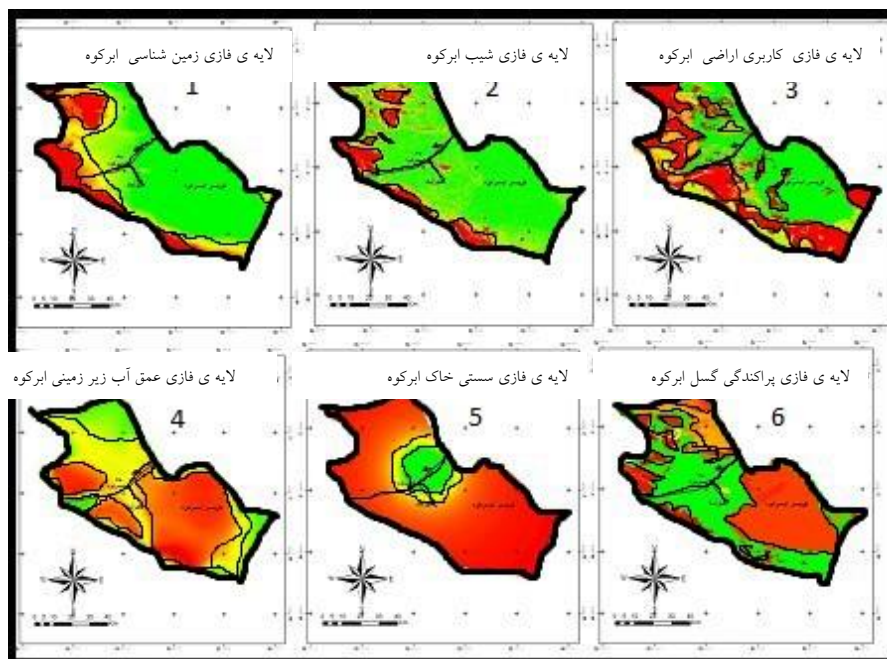
جهت فازی سازی لایه‌ها، بر اساس نظرات کارشناسی (رحمان و خالد، ۱۹۹۶) (ژئوتکنیک زلزله، ۱۹۹۶) و ارتباط بین معیارها (جدول ۳)، از توابع عضویت فازی استفاده شد (شکل ۷).



شکل ۷. توابع فازی سازی معیارها: ۱- زمین شناسی ۲- شیب ۳- عمق آب زیر زمینی

۴- لند تاپ ۵- سستی خاک ۶- پراکندگی گسلی

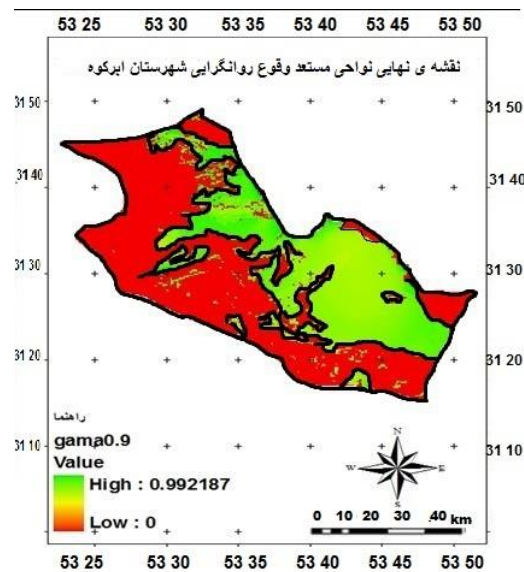
سپس با استفاده از تحلیلگر Raster Calculator در محیط GIS₁₀، لایه‌ها در بازه ارزشی از ۰ تا ۱ استاندارد و فازی شدند (شکل ۸).



شکل ۸- توابع فازی سازی معیارها: ۱- زمین شناسی ۲- شیب ۳- عمق آب زیر زمینی ۴- لند تایپ ۵- سستی خاک ۶- پراکندگی گسلی پس از فازی سازی لایه.

پس از فازی سازی لایه‌ها، عملگر گامای فازی اجرا گردید. جهت افزایش دقت در به دست آوردن نقشه حساسیت نواحی مستعد وقوع روانگرایی در منطقه، از سه گامای ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ استفاده شد. برای انتخاب گامای بهینه به عنوان لایه نهایی، لازم است با توجه به معیارهای ارزیابی شده و میزان پتانسیل آن‌ها در وقوع روان گرایی در منطقه، لایه حاصل از گامایی را انتخاب نمود که مقدار لاندای آن پهنه مناسب و بیشتری نواحی مستعد و حساس به وقوع را در بر می‌گیرد. برای انتخاب گامای مناسب جهت لایه نهایی، از روش‌های ۱- مساحت سنجی بین سه گامای در نظر گرفته شده بر اساس sellsize هر یک از پیکسل‌ها ۲- مساحت سنجی بین سه گامای انتخابی بر

اساس روش zonal static ۳- مقایسه لایه‌های حاصل از سه گامای مورد نظر استفاده شد و این نتیجه حاصل که نقشه به دست آمده از مقدار گامای ۰/۹ به دلیل قدرت هم- پوشانی بهتر و نیز دقت بالاتر در پهنه بندی نواحی از نظر حساسیت به وقوع روانگرایی به عنوان نقشه نهایی انتخاب گردید (شکل ۹).



شکل ۹. لایه حاصل از گامای ۰/۹ فازی.

نتیجه گیری

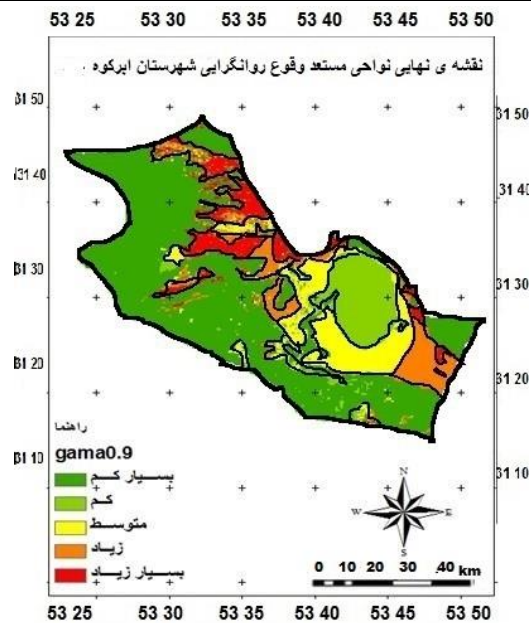
جهت تفسیر و شناخت بهتر نواحی در معرض وقوع روانگرایی در شهرستان ابرکوه، لایه به دست آمده از گامای ۰/۹ فازی، با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی در محیط GIS طبقه‌بندی و مشخص شد (شکل ۱۰). در این مرحله نقشه‌ها از ۱ تا ۵ دسته- بندی می‌شوند. از طریق این دسته‌بندی می‌توان به طور توصیفی احتمال وقوع روانگرایی در منطقه را بیان نمود: ۱- خیلی کم ۲- کم ۳- متوسط ۴- زیاد ۵- خیلی زیاد. همچنین بر اساس پیکسل‌های اشغال شده توسط رنگ‌ها می‌توان احتمال رخداد کم و زیاد پدیده را پیش‌بینی نمود. برای تفسیر احتمال رخداد توسط پیکسل‌ها، باید Cell size به دست آمده را در تعداد پیکسل‌های هر کلاس ضرب کنیم تا مساحت

هر رنگ به دست آید. بر اساس طبقه‌بندی انجام شده مشخص شد ۱۰۰ کیلومتر مربع از منطقه در طبقه با حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار دارد (شکل ۱۰). این مقدار برای طبقه حساسیت بسیار کم برابر ۳۰۵ کیلومتر مربع و طبقه حساسیت کم ۵۵ کیلومتر مربع می‌باشد. در مقابل ۶۵ کیلومتر مربع در طبقه با حساسیت متوسط جای گرفته‌اند (جدول ۴). همان طور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود بیشترین احتمال وقوع روانگرایی در نواحی شمال شرق، شرق و تا حدی از جنوب شرق قابل شناسایی است. مهم‌ترین امر در پراکنندگی وقوع روانگرایی در قسمت شرقی منطقه، وجود گسل اصلی و فعال دهشیر - بافت و در وهله بعد عمق آب زیرزمینی و رسوبات و مواد ریز دانه و سست سازنده می‌باشد. روانگرایی در مناطقی که دارای گسل‌های فعال، رسوبات آبرفتی جوان با شیب ملایم و آب‌های زیرزمینی نزدیک به سطح، به خوبی رخ می‌دهد (دنیل و همکاران، ۲۰۰۴). امکان ایجاد روانگرایی در مناطقی که آب‌های زیر زمینی آن در عمق ۱۰ متری از سطح زمین نهفته‌اند، بسیار بالا می‌باشد (پژوهشگاه مهندسی زلزله، ۱۹۹۴). اگرچه مناطق حساس به وقوع روانگرایی مساحت کمی را به خود اختصاص داده‌اند؛ اما باید توجه داشت استقرار اغلب جمعیت این شهرستان در این بخش‌ها، الزاماً توجه بیشتر به موضوع زیرسازی مناسب سازه‌های مختلف را در این قسمت‌ها روشن می‌سازد.

جدول ۴- حساسیت مناطق مستعد

وقوع روانگرایی در شهرستان ابرکوه

کد	حساسیت	مساحت KM ²
۱	بسیار کم	۳۰۵
۲	کم	۵۵
۳	متوسط	۶۵
۴	زیاد	۵۵
۵	بسیار زیاد	۴۵



شکل ۱۰. نقشه ی نهایی مناطق مستعد وقوع روانگرایی در شهرستان ابرکوه با مدل گامای ۰/۹ فازی.

منابع

- بزرگی، قدرت و ارومیه‌ای علی، (۱۳۸۵)، ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی پی آبرفتی ستگاه اخسد مخزنی چپر آباد براساس نتایج آزمایش نفوذ استاندارد. نشریه علوم زمین، شماره ۶۷، صص ۵۶-۶۸.
- پورقاسمی، حمیدرضا، مرادی حمیدرضا فاطمی عقدا سید محمود، (۱۳۸۸)، ارزیابی خطر زمین لغزه با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی. علوم مهندسی آبخیز داری ایران؛ شماره ۸ صص ۵۱-۶۳.
- تصویر ماهواره‌ای لندست، ETM، ۱۳۸۵.

حسینی، هاشم، کرم امیر صفاری امیر فنواتی عزت ا...، (۱۳۹۰)، ارزیابی و مکان یابی جهات توسعه فیزیکی شهر با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: شهر دیواندره).

تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۲۳، صص ۶۳-۸۳.

زنگی آبادی، ع و محمدی ج، (۱۳۸۷)، تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری مسکن شهری

در برابر خطر زلزله. جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، صص ۶۱-۷۹.

سازمان منابع طبیعی استان یزد، مطالعات تفصیلی حوضه ابرکوه. ۱۳۸۹.

سیکوند، حبیب و شایان سیاوش، (۱۳۹۰)، پهنه‌بندی خطر روانگرایی در دشت

سیلاخور. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیا، شماره ۲۱، صص ۵۱-۶۸.

شهیدی فرد، امیرحسین، (۱۳۸۶)، بستر سازی و پی ریزی بروی خاک‌های ریز دانه و

اشباع. طرح تفصیلی سازمان نوسازی کشور.

صفاری، امیر، ساسان پور فرزانه موسی و ند جعفر، (۱۳۹۰)، ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق

شهری در برابر خطر سی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی.

تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۲۰، صص ۱۲۹-۱۵۰.

عسکری، فرج الله و کسای مجید، (۱۳۸۲)، ارزیابی پتانسیل روانگرایی در بخشی از

نواحی جنوب شرقی تهران. نشریه دانشکده فنی پژوهشگاه زلزله؛ شماره ۲

صص ۲۵۷-۲۶۸.

عسکری، فرج الله و قاسمی امیر، (۱۳۸۸)، پهنه‌بندی خطر روانگرایی استان لرستان.

نشریه مهندسی عمران و نقشه‌برداری دانشکده فنی پژوهشگاه زلزله؛ شماره

۱ صص ۹۵-۱۰۳.

مطالعات هیدرولوژی حوضه ابرکوه، سازمان آب منطقه‌ای استان یزد، ۱۳۹۰.

نقشه زمین شناسی شهرستان ابرکوه ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان نیروهای مسلح.

نقشه زمین شناسی شهرستان ابرکوه ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان جهاد کشاورزی استان یزد.

نقشه کاربری اراضی شهرستان ابرکوه ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان جهاد کشاورزی استان یزد.

نقشه توپوگرافی شهرستان ابرکوه ۱:۵۰۰۰۰، سازمان نقشه برداری کشور.

- Alisha Kaplan, Under Direction of Dr. Paul Mayne Mid. (2004). Soil Liquefaction Undergraduate Research-America Earthquake Center and Georgia Institute of Technology.
- Ambraseys, N. N. , & Melville, C. P. (1982). A History of Persian Earthquakes. Cambridge, Cambridge University.
- Berberian, M. (1976). Quaternary faults in Iran. Contribution to the seismotectonics of Iran (part 2). M. Berberian. Tehran, Geological Survey of Iran. 39 (GSI Reports), 187-258
- Daniel B. Chua, Jonathan P. Stewart, Shannon Leeb, J. S. Tsai, P. S. Lind, B. L. Chud Raymond B. Seede, S. C. Hsuf, M. S. Yug, Mark C. H. Wangh. (2004). Documentation of soil conditions at liquefaction and non-liquefaction sites from 1999 Chi-Chi (Taiwan) earthquake Soil Dynamics and Earthquake Engineering 24, 647-65
- Earthquake Engineering Research Institute, 1994, Liquefaction what is it and what to do about it, Oakland California.
- Gupta M. K., and Agrawal, R. C. (1998). Seismotectonic and liquefaction studies of an industrial site in Northern India, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 17, 349-355
- Hamedi Sangari, A., Marandi, S. M. (2011). laboratory studies on the effect of vertical gravel column drains on liquefaction potential. IJE TRANSACTIONS B: Applications. 24(3), 209-226
- Nazari, H., Fattahi, M., Meyer, B., Se´ brier, M., Talebian, M., Foroutan, M., Le Dortz, K., Bateman, M. D., and Ghorashi, M. (2009). First Evidence for Large Earthquakes on the Dehshir Fault, Central Iran. Terra Nova, 21, 417-426.
- Manual for zonation geotechnical hazard. (1999). The technical committee for earthquake geotechnical Engineering. The Japanese Geotechnical Society.
- Pande, G. N., and Pietruszczak, S. (2008). Assessment of Risk of Liquefaction in Granular Materials and It's Mitigation, International Conference of "International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)" Goa, India.
- Rahman, M. S., and Khalid, M., Zahaby, E. (1996). Probabilistic liquefaction risk analysis including fuzzy variables, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 16, 63- 79
- Samson, S. C., Liao, Daniele Veneziano, and Robert, V. Whitman. (1998). Regression Models For Evaluating Liquefaction Probability, Publisher: American Society of Civil Engineers.