

# ارزیابی خطر روان‌گرایی خاک با استفاده از مدل SWM در دشت‌های جنوبی حوزه‌ی گرگان‌رود (استان گلستان)

محمد آمانی: کارشناسی ارشد آب‌خیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

آرزو صفویان\*: کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران؛ Email: safavian\_az@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۲

تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۱۷

## چکیده

تحلیل خطرهای طبیعی می‌تواند ابزار مناسبی در تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی اقدامات مدیریت بحران باشد. در این پژوهش، ضمن پیش‌بینی سناریوهای بروز خطر و خسارت پدیده‌ی روان‌گرایی، آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. جزئیات این رویکرد در منطقه‌ی گرگان در استان گلستان مورد ارزیابی و توصیف قرار گرفته است. همچنین نقشه‌های خاک (طبقات بافت رسوب)، عمق آب زیرزمینی (اطلاعات چاه‌های پیژومتری) و شتاب زلزله (داده‌های بیشترین شتاب لرزه‌ای تاریخی ثبت شده) تهیه شد. وقوع روان‌گرایی خاک بر اساس متغیرهای مذکور و مدل تجربی سه فاکتوره برای شرایط موجود در چهار رتبه‌ی خطر تهیه گردید. بر اساس ترکیب‌های احتمالی توانایی وقوع شتاب بیشینه‌ی لرزه‌ای و تغییرات عمق آب زیرزمینی، وضعیت بروز خطر مشخص گردید. با در نظر گرفتن ارتباط عوامل پیش‌گفته، پهنه‌های مختلف وقوع خطر روان‌گرایی با استفاده از سامانه‌ی Arc GIS محاسبه گردید. در نهایت طبقات حساسیت روان‌گرایی برای منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه شد. در این مطالعه، پس از تهیه‌ی داده‌ها و نقشه‌های رقمی پایه و همچنین استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و مدل سه پارامتری SWM، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر روان‌گرایی خاک در جنوب حوزه‌ی گرگان‌رود در استان گلستان در سلول‌های  $30 \times 30$  متر تهیه شد. با توجه به نتایج به دست آمده، پتانسیل خطر از بدون خطر تا خیلی زیاد وجود دارد که بیشترین مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه در کلاس بدون خطر قرار می‌گیرد. محدوده‌ی شهر آق‌قلا به علت نزدیکی به مرکز تخلیه‌ی انرژی زلزله در کلاس خطر خیلی زیاد قرار می‌گیرد و چون رودخانه‌ی گرگان‌رود از محدوده‌ی این شهر عبور می‌کند، احتمال وقوع روان‌گرایی را بالا می‌برد.

واژه‌های کلیدی: روان‌گرایی خاک، پهنه‌بندی خطر، مدل SWM، Arc GIS، زلزله

## Risk analysis of soil liquefaction Using SWM in the South Plains area of the river Gorgan, Golestan Province

Mohammad Amani<sup>1</sup>, Arezu Safavian<sup>\*2</sup>

### Abstract

Natural hazard risk assessment helps decision makers for planning and prioritizing disaster management strategies. This paper focuses on the prediction of different scenarios and assessing the risk of soil liquefaction. The vulnerability of the elements due to soil liquefaction was determined. The Gorgan state (1600 km<sup>2</sup>) in Golestan Province of Iran was considered as a case study for assessing the vulnerability due to this phenomenon. Soil deposits map, ground water depth, and the earthquake acceleration map (based on the occurred historical earthquake points) have been prepared in this study. An empirical liquefaction model as a function of the three studied variables was used to model the liquefaction in four hazard classes using the ArcGIS software. Possible scenarios were determined considering the potential of superposing the peak rate of the ground acceleration and water depth. The area of liquefied zones was estimated using the geographical information systems (GIS). In this study, the collection of data and digital maps using ArcGIS software base as well as the three-parameter model SWM, soil liquefaction hazard zonation map to the area south of Gorgan in Golestan province in S1v1hay30 $\times$ 30 were prepared. According to the results of without risk to very high-risk potential that the area most studied in class is without risk. Aq Qala city limits because of the proximity to the center -discharge is too high earthquake hazard class, and because Gorganrood the scope of this town passes increases the probability of liquefaction.

**Keywords:** soil liquefaction, hazard zonation, the SWM, Arc GIS, earthquake.

1 M.Sc. student in Watershed, Department of Watershed Management, Faculty of Watershed, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2 M.Sc. student in Environmental, Department of Environmental Management, Faculty of Environmental, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran; Email: safavian\_az@yahoo.com

۳۵

شماره دهم

پاییز و زمستان  
۱۳۹۵

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



مانند اطراف رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و خلیج‌ها به دلیل بالا بودن سطح تراز آب و نوع خاک، اثرات تخریبی بیشتری دارد.

عسکری و قاسمی (۲۰۰۴) برای پهنه‌بندی خطر روان‌گرایی لرستان از توصیه‌های ارائه شده در راهنمای پهنه‌بندی خطرهای ژئوتکنیک لرزه‌ای و مهندسی زلزله استفاده کردند. نتایج مطالعات انجام یافته بیانگر آن است که دشت‌های استان لرستان، بسته به نوع و بافت نهشته‌ها و سطح آب زیرزمینی، دارای پتانسیل خطر از کم تا زیاد هستند. عشقی‌زاده و همکاران (۲۰۰۷) برای پهنه‌بندی خطر روان‌گرایی در دشت آق‌قلا از مدل SWM استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که ۷۸/۶ درصد از منطقه‌ی مورد مطالعه در کلاس بدون خطر قرار دارد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

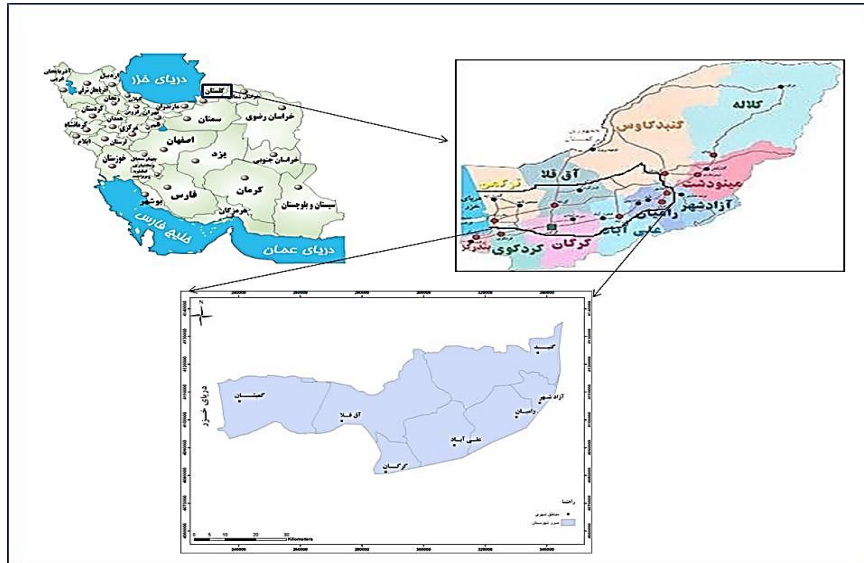
روش‌های ارزیابی خطر روان‌گرایی را می‌توان به روش‌های کمی و کیفی تقسیم کرد. از روش‌های کمی می‌توان به روش سید و ادریس، روش ونگ (ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی در خاک‌های رسی)، مقاومت نفوذ استاندارد، آزمایش نفوذ مخروط و روش‌های مبتنی بر عامل اطمینان اشاره کرد. به طور کلی، احتمال وقوع روان‌گرایی در آبرفت‌های جوان بیش از آبرفت‌های قدیمی است. بنابراین، شرایط زمین‌شناسی، خاک و نوع رسوبات می‌تواند در تعیین کیفی قابلیت خطر مورد استفاده قرار گیرد. در مورد روش‌های کیفی می‌توان به نمونه‌ی SWM پهنه‌بندی خطر بر اساس تحلیل فراوانی داده‌های تاریخی و راهنمای پهنه‌بندی خطرهای ژئوتکنیک لرزه‌ای و مهندسی زلزله اشاره کرد. در این زمینه می‌توان به نرم‌افزار HAZUS اشاره کرد که از روش‌های ریاضی استاندارد و اطلاعات ساختمان، زمین‌شناسی محلی و مکان وقوع زلزله‌های محتمل برای تخمین خسارت ناشی از تغییرات شکل زمین مانند روان‌گرایی استفاده می‌کند. بر اساس داده‌های موجود و ارزیابی از خطر و خسارت وقوع روان‌گرایی و نیز تعیین محدوده‌های متأثر از این پدیده، در پژوهش حاضر از مدل سه فاکتوری با تأکید بر قابلیت‌های سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. حوضه‌ی گرگان‌رود به‌منزله‌ی بزرگ‌ترین حوضه‌ی آبخیز استان گلستان (۴۸ درصد سطح استان) قلمداد می‌شود. بخش عمده‌ی این حوضه در استان گلستان واقع گردیده و بخش‌های بسیار کوچکی از آن در استان‌های خراسان شمالی و سمنان قرار گرفته است. حوضه‌ی گرگان‌رود از شمال به حوضه‌ی آبریز اترک سفلی در استان گلستان، از جنوب به حوضه‌ی آبخیز اصلی ایران مرکزی در استان سمنان، از جنوب غرب به حوضه‌ی آبریز قره‌سو در استان گلستان و از غرب به دریای خزر محدود می‌شود [۵].

۶۷ درصد آب سطحی استان، یعنی ۸۲۸ میلیون متر مکعب در این حوزه جریان دارد که منطقه‌ی مورد مطالعه بخش جنوبی آن را شامل می‌شود. منطقه‌ی مورد مطالعه بین ۵۹° ۵۳' تا ۱۵° ۵۵' طول شرقی و ۳۶° ۵۰' تا ۳۷° ۲۰' عرض شمالی، با مساحتی معادل ۲۹۳۵۳۴ هکتار قرار دارد. مهم‌ترین مراکز جمعیتی منطقه شامل قسمت‌هایی از گرگان، گمیشان، آق‌قلا، رامیان،

روان‌گرایی یکی از پدیده‌های جالب اما پیچیده و بحث‌انگیز در مهندسی زلزله است. این پدیده اثر مخربی در زلزله‌های سال ۱۹۶۴ در آلاسکا و نیگاتای ژاپن، به ترتیب با بزرگی ۹/۲ و ۷/۵ ریشتر بر جای گذاشت. از آن به بعد صدها محقق به تحقیق در مورد این پدیده پرداختند. همچنین عبارت روان‌گرایی در ابتدا توسط موگامی<sup>۱</sup> و کوبو<sup>۲</sup> در سال ۱۹۵۳ بیان شده است [۱]. روان‌گرایی فرایند از بین رفتن مقاومت مکانیکی خاک‌های ریزدانه‌ی مناطق هموار جلگه‌ای (بافت ماسه‌ای و ماسه سیلتی) اشباع شده بر اثر تنش‌های شوک لرزه‌ای است [۲]. چنانچه ماسه‌ی اشباع تحت تأثیر ارتعاشات زمین قرار گیرد، میل به متراکم شدن و کاهش حجم خواهد یافت. در صورت عدم امکان زهکشی، تمایل به کاهش حجم منجر به افزایش فشار منفذی می‌شود و اگر این افزایش به حدی برسد که فشار منفذی مساوی فشار روباز شود، تنش مؤثر صفر شده و ماسه هم‌ی مقاومت خود را از دست می‌دهد و به حالت روان در می‌آید [۲، ۳].

کشور ایران در یکی از مناطق مهم لرزه‌خیز دنیا واقع شده و تاکنون شاهد وقوع زمین‌لرزه‌های شدیدی بوده است. این پدیده اغلب با خسارت‌های جانی و مالی فراوانی همراه بوده و برنامه‌ریزی برای مقابله با خطرهای ناشی از آن ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. از جمله خطرهای ناشی از وقوع زمین‌لرزه، خطرهای ژئوتکنیکی است. این‌گونه خطرها که اغلب بر اثر حرکات شدید زمین به وجود می‌آیند، بسته به شرایط ساختگاه و مشخصات زلزله، منجر به تغییر شکل‌های زمین و خسارت‌های جبران‌ناپذیر به ساختمان‌ها می‌شوند. یکی از خطرهای ژئوتکنیکی مهم، پدیده‌ی روان‌گرایی است [۴].

عسکری و همکاران (۲۰۰۳) در بخشی از نواحی جنوب شرقی تهران با روش ساده‌شده‌ی سید (SID) منطقه را به سه محدوده با پتانسیل خطر روان‌گرایی بدون، کم و زیاد پهنه‌بندی نمودند. شناخت نواحی مستعد خطرات طبیعی آگاهی لازم را برای اجتناب و یا اجرای اقدامات اولویت‌دار در ساخت پروژه‌ها و احداث ابنیه‌ی فنی فراهم می‌سازد. کری سکوپین و همکاران (۲۰۰۱) خطر روان‌گرایی ایالت نوادا را پهنه‌بندی نمودند و نتیجه گرفتند که نقشه‌ی خطر روان‌گرایی ابزار مفیدی برای شناسایی مناطق مستعد خطر بوده و می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری مدیران و برنامه‌ریزان باشد. پدیده‌ی روان‌گرایی بخشی از تهران، در مقیاس بزرگ در سال ۱۹۹۸ توسط حائری و همکاران مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج، حاکی از احتمال بروز خطر در محل‌های حفاری شده بود. ولی با توجه به عمق نهشته‌ها و فاصله از سطح زمین میزان شاخص پتانسیل تمامی نواحی بسیار کم و در حد خطرپذیری پایین به دست آمد. طبری فرد (۱۳۸۳) با پهنه‌بندی خطر وقوع روان‌گرایی خاک در منطقه‌ی شمال غرب گرگان‌رود نشان داد که مناطق واقع در امتداد شبکه‌ی زهکشی اصلی منطقه بیشترین خطر وقوع روان‌گرایی را دارند. وقوع روان‌گرایی مناطقی



تصویر ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در استان گلستان و ایران

جدول ۱ ارائه شده است. فرایند تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر روان‌گرایی، شامل آماده‌سازی و ترکیب مجموعه‌ای از نقشه‌هایی است که مناطق با خطر روان‌گرایی را مشخص می‌کند. فاکتورهای نمونه‌ی مورد استفاده شامل عمق آب زیرزمینی، بافت رسوب و دامنه‌ی شتاب لرزه‌ای هستند و هر فاکتور به سه دامنه‌ی کم (۰)، متوسط (۱) و زیاد (۲) طبقه‌بندی می‌شود. با افزایش عمق آب زیرزمینی، افزایش اندازه‌ی رسوبات و کاهش شتاب لرزه‌ای، احتمال وقوع روان‌گرایی کاهش می‌یابد.

#### عمق آب زیرزمینی

برای تهیه‌ی این نقشه از داده‌های عمق آب زیرزمینی ۲۴۶ حلقه چاه پی‌زومتری با دوره‌ی آماری ۳۰ ساله استفاده شده است. در اینجا با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و درون‌یابی کریجینگ، نقشه‌ی هم‌عمق آب زیرزمینی تهیه شد [۸].

#### جنس رسوب

نقشه‌ی خاک و رسوب سطحی پس از رقومی شدن، از حالت پلیگون به رسترو به نقشه‌های پایه تبدیل گردید و مقادیر هر یک از سلول‌ها از جدول ۱ استخراج و اقدام به تهیه‌ی مدل و ارزش‌گذاری گردید [۹].

#### دامنه‌ی شتاب زلزله

برای به دست آوردن حداکثر شتاب افقی زمین‌لرزه از رابطه‌ی جویینر و بور (۱۹۸۱) استفاده شد. مقادیر مذکور در محیط Arc GIS پردازش و با استفاده از درون‌یابی کریجینگ، نقشه‌ی حداکثر شتاب افقی لرزه‌ای تهیه گردید [۱۰].

رابطه‌ی ۱:

$$PGA=10^{(0.249*M-\text{Log}(D)-0.00255*D-1.02)}$$

$$D=(E^2+7.3^2)^{0.5}$$

D بزرگی زلزله، M فاصله از مرکز سطحی زلزله و E که در اینجا مرکز سطحی زلزله در شهرستان آق‌قلا است با بزرگی ۷/۲ ریشتر در نظر گرفته شد [۱۱].

علی‌آباد، گنبد و آزادشهر است. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در تصویر ۱ نشان داده شده است. روش‌های ارزیابی خطر روان‌گرایی را می‌توان به روش‌های کمی و کیفی تقسیم کرد. از روش‌های کمی می‌توان به روش سید و ادریس، روش ونگ (ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی در خاک‌های رسی)، مقاومت نفوذ استاندارد، آزمایش نفوذ مخروط و روش‌های مبتنی بر عامل اطمینان اشاره کرد. به طور کلی، احتمال وقوع روان‌گرایی در آبرفت‌های جوان بیش از آبرفت‌های قدیمی است. بنابراین، شرایط زمین‌شناسی، خاک و نوع رسوبات می‌تواند در تعیین کیفی قابلیت خطر مورد استفاده قرار گیرد. در مورد روش‌های کیفی می‌توان به نمونه‌ی SWM، پهنه‌بندی خطر بر اساس تحلیل فراوانی داده‌های تاریخی و راهنمای پهنه‌بندی خطرهای ژئوتکنیک لرزه‌ای و مهندسی زلزله اشاره کرد. در این زمینه می‌توان به نرم‌افزار HAZUS اشاره کرد که از روش‌های ریاضی استاندارد و اطلاعات ساختمان، زمین‌شناسی محلی و مکان وقوع زلزله‌های محتمل برای تخمین خسارت ناشی از تغییرات شکل زمین مانند روان‌گرایی استفاده می‌کند. بر اساس داده‌های موجود و ارزیابی از خطر و خسارت وقوع روان‌گرایی و نیز تعیین محدوده‌های متأثر از این پدیده، در پژوهش حاضر از مدل سه فاکتوری با تأکید بر قابلیت‌های سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است [۶].

#### روش تحقیق

##### نقشه‌سازی عوامل مؤثر بر روان‌گرایی

به طور کلی فرایند تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر روان‌گرایی، شامل آماده‌سازی و ترکیب مجموعه‌ای از نقشه‌ها یا لایه‌هایی است که مناطقی که خطر روان‌گرایی دارند را مشخص کند [۷]. جدول ۱ استاندارد طبقه‌بندی پارامترها و امتیازدهی آن‌ها را در روش سه پارامتر SWM نشان می‌دهد. در این پژوهش به دلیل استفاده از نمونه‌ی تجربی سه فاکتوره SWM، عوامل مورد نیاز در نمونه شامل عمق آب زیرزمینی، بافت رسوب و دامنه‌ی شتاب لرزه‌ای است که جزئیات استاندارد آن بر اساس نمونه‌ی مذکور در

جدول ۱: استاندارد طبقه‌بندی پارامترها و امتیازدهی آن‌ها در روش سه پارامتری

نرخ طبقات Rate of classes	شرح Description	دامنه‌ی تغییرات Range of Change	پارامتر Parameter
2	سطح ایستابی بالا High water table	3-0 m	عمق آب Depth of water (m)
1	سطح ایستابی متوسط Average water table	7-3 m	
0	سطح ایستابی پایین Low water table	7 > m	
2	حساسیت بالا به روان‌گرایی High susceptibility to liquefaction	ماسه‌ی ریز و سیلت Fine sand and silt	جنس رسوب Material of Deposition
1	حساسیت متوسط به روان‌گرایی Average susceptibility to liquefaction	رس Clay	
0	حساسیت پایین به روان‌گرایی low susceptibility to liquefaction	شن، ماسه و رسوبات درشت Sand, gravel and coarse sediments	
2	مناطق با قابلیت لرزه‌خیزی بالا Areas with high seismic potential	0.6 >	دامنه‌ی شتاب (g) Domain of slope
1	مناطق با قابلیت لرزه‌خیزی متوسط Areas with Average seismic potential	0.3-0.6	
0	مناطق با قابلیت لرزه‌خیزی کم Areas with low seismic potential	0.3 <	

پس از شناسایی و رتبه‌بندی عناصر در معرض خطر در هر واحد از نقشه‌ی خطر، درجه‌ی آسیب‌پذیری عناصر با نظر کارشناسی و بررسی شرایط منطقه‌ی مورد مطالعه تعیین گردید. برای محاسبه‌ی درجه‌ی آسیب‌پذیری در نظر گرفتن شرایط اقتصادی و اکولوژیکی حائز اهمیت است. عناصری که در رتبه‌ی خطر بالاتری قرار دارند از اهمیت و آسیب‌پذیری بیشتری برخوردارند (جدول ۳). پس از شناسایی تعداد و درجه‌ی آسیب‌پذیری هر یک از عناصر در معرض خطر و در نظر گرفتن نقشه‌ی شدت خطر، عدد خسارت روان‌گرایی بر اساس رابطه‌ی ۳ تهیه گردید و به پنج رتبه تقسیم شد [۱۳].

#### تهیه‌ی نقشه‌ی کلاس خطر

پس از تهیه‌ی نقشه‌ی پارامترهای کلیدی، از آن‌ها نقشه‌ی رستری با سلول‌های ۳۰×۳۰ تهیه گردید و در نهایت مقادیر به سه دامنه طبقه‌بندی شدند و با استفاده از جدول استاندارد (جدول ۱) به هر یک از سلول‌ها ارزش عددی مناسب تعلق گرفت. سپس با استفاده از الگوریتم محاسباتی حاصل ضرب در مدل سه پارامتری جدول ۳: دامنه‌ی عددی احتمال خسارت و صفات عناصر در معرض خطر

عناصر	عامل	عدد خسارت
جاده	بزرگراه در اولویت بالاتری نسبت به جاده‌های درجه ۱ و ۲ قرار دارد و با افزایش رتبه‌ی خطر، با ضریب ۲ افزایش می‌یابد.	۴۸-۱
مناطق مسکونی	افزایش رتبه‌ی خطر، با ضریب ۲ افزایش می‌یابد.	۱-۳۲
منابع آبی	افزایش رتبه‌ی خطر با ضریب ۲ افزایش می‌یابد.	۱-۱۶

#### ارزیابی خسارت کیفی

خسارت به صورت مستقیم متأثر از شدت و احتمال وقوع سانحه‌ی طبیعی، احتمال آسیب‌پذیری سرمایه‌ها و ارزش یا اهمیت سرمایه‌های تحت تأثیر است. خطرهای طبیعی نقش مؤثری در تخریب چاه‌ها، مناطق مسکونی و ایجاد فرسایش و رسوب در آب‌خیزها دارند. نقشه‌ی خسارت روان‌گرایی با ترکیب نقشه‌های شدت خطر، فراوانی عناصر و درجه‌ی آسیب‌پذیری نقشه‌ی عناصر در معرض خطر، بر اساس معادله‌ی عمومی خسارت (رابطه‌ی ۲) برآورد می‌شود [۱۲].

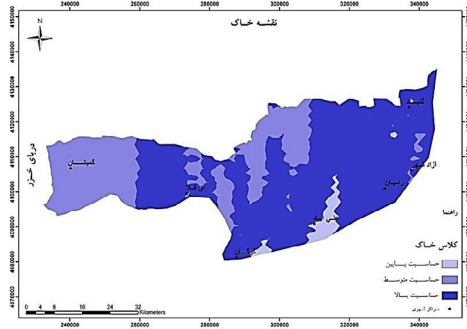
$$R = H \times E \times V$$

رابطه‌ی ۲:

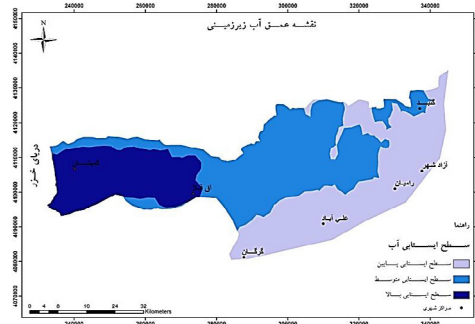
که در آن R میزان خسارت، H بزرگی خطر، E عناصر در معرض خطر و V درجه‌ی آسیب‌پذیری عناصر هستند. با استفاده از نقشه‌های اراضی و توپوگرافی و با فهرست‌برداری از عناصر در هر واحد از نقشه‌ی رتبه‌ی خطر، عناصر موجود تعیین و نقشه‌ی طبقات عناصر در معرض خطر بر اساس فراوانی تهیه گردید. تعداد عناصر در معرض خطر و درجه‌ی آسیب‌پذیری آن‌ها در هر یک از رتبه‌های خطر در منطقه‌ی مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

#### جدول ۲: رتبه‌های عناصر در معرض خطر در منطقه‌ی مورد مطالعه

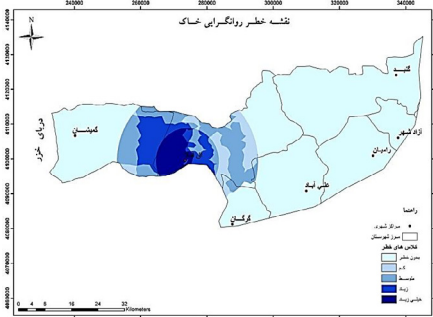
رتبه‌ی آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر	طبقات کیفی	تعداد عناصر در واحد پلی‌گون
I	خیلی کم	≤ ۱
II	کم	۲
III	متوسط	۳
IV	زیاد	۴
V	خیلی زیاد	۵



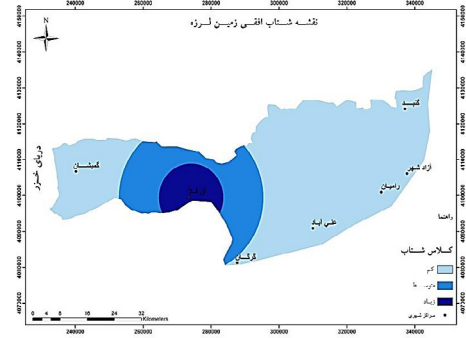
تصویر ۳: نقشه‌ی بافت خاک و رسوب



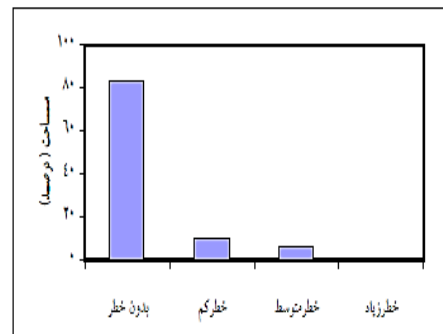
تصویر ۲: نقشه‌ی عمق آب زیرزمینی



تصویر ۵: نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر روان‌گرایی خاک



تصویر ۴: نقشه‌ی شتاب افقی زمین لرزه



تصویر ۶: درصد مساحتی هر یک از رتبه‌های خطر در منطقه‌ی مورد مطالعه

با دستور Overlay لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار Arc GIS نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر با پنج طبقه تهیه گردید [۱۳].

## بحث و نتیجه‌گیری

پهنه‌بندی خطر یک مرحله از مدیریت خطر و خسارت در برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین برای کاهش خطرات طبیعی است. در این پژوهش در میان روش‌های کمی و کیفی موجود، از مدل تجربی سه فاکتوری (با قابلیت اعمال وزن دهی) استفاده شده است. تحلیل‌های کیفی با توجه به سرعت آن در ارزیابی و بی‌نیازی به جمع‌آوری داده‌های ژئوتکنیکی پرهزینه در مواردی نتایج مناسب ارائه می‌دهد. اما نتایج به دست آمده از روش کیفی را نمی‌توان ارزیابی دقیق برای پهنه‌بندی جزئی در برنامه‌ریزی توسعه‌ی شهری دانست. خروجی‌های به دست آمده از چنین روشی، می‌تواند فقط برای هشدار در مورد وجود مناطق روان‌گرایی استفاده شود. ارزیابی با عبارات کیفی (بسیار زیاد، زیاد، متوسط،

کم و خیلی کم)، امکان تهیه‌ی نقشه‌های حساسیت را با هزینه‌ی کم برای مقاصدی مانند آمایش سرزمین یا ارزیابی خطرهای منطقه‌ای فراهم می‌کند. در این مطالعه نقشه‌ی شتاب افق در شرایط موجود، دارای یک رتبه با نرخ طبقه‌ی صفر است، در نتیجه در الگوریتم حاصل ضرب موجب صفر شدن دیگر عوامل شده و واقع نشدن روان‌گرایی در این حالت‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه پیش‌بینی می‌شود. در سناریوی وقوع خطر، ناحیه‌ی شمالی منطقه‌ی مورد مطالعه با تمرکز فعالیت‌ها و مراکز جمعیتی و بالا بودن سطح آب زیرزمینی در رتبه‌های خطر و خسارت بالایی قرار دارد. اتخاذ تصمیمات مهندسی در مورد خطر و خسارت ناشی از روان‌گرایی در وضعیت‌های محتمل قابل اعتمادتر خواهد بود. در خاک‌های حساس ماسه‌ای، ماسه و شن و نیز ماسه و سیلت از نوع سست و نیمه‌متراکم، و نیز سطح آب زیرزمینی کمتر از ۳ تا ۶ متر، مطالعات دقیق برای بررسی احتمال وقوع روان‌گرایی و تمهیدات لازم ضروری است. بر اساس نتایج، وقوع روان‌گرایی به صورت یکسان در سطوح وسیع اتفاق نمی‌افتد و وقوع آن موضعی و در مناطقی خاص خواهد بود. با توجه به نتایج به دست آمده پتانسیل خطر از بدون خطر تا خیلی زیاد وجود دارد که بیشترین مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه در کلاس بدون خطر قرار می‌گیرد. محدوده‌ی شهر آق‌قلا به دلیل نزدیکی به مرکز تخریبی انرژی زلزله در کلاس خطر خیلی زیاد قرار می‌گیرد، و چون رودخانه‌ی گرگان رود از محدوده‌ی این شهر عبور می‌کند احتمال وقوع روان‌گرایی را بالا می‌برد که با مطالعات مصطفی‌زاده و اونق (۲۰۰۷) همخوانی دارد. شهرستان‌های گنبد، رامیان و آزادشهر به دلیل دور بودن از مرکز سطحی زلزله در کلاس بدون خطر قرار می‌گیرند و قسمت‌هایی از گرگان و گمیشان در کلاس خطر کم و متوسط قرار می‌گیرند.

همچنین شناسایی نواحی با پتانسیل بالای وقوع روان‌گرایی، آگاهی لازم برای اجتناب از اراضی مذکور برای اهداف سکونت و ایجاد تأسیسات صنعتی را فراهم کرده و در مکان‌یابی عرصه‌ی مناسب ساخت طرح‌ها، احداث ابنیه و اولویت‌بندی استقرار امکانات مدیریت بحران به هنگام وقوع خطر می‌تواند مفید واقع گردد.

در صورت شناسایی خطر روان‌گرایی، می‌توان راهکارهایی همچون اصلاح وضعیت خاک منطقه یا تقویت طراحی سازه و انتقال محل طرح را به کار برد، در غیر این صورت می‌توان با قبول خطر آن نسبت به احداث سازه و بنا اقدام کرد. مناطق مسکونی، جاده و منابع آبی به‌مثابه‌ی عناصر در معرض خطر در این پژوهش انتخاب و در پنج رتبه‌ی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند. صنعتی و همکاران دشت‌های ساحلی دریای خزر، مناطق مسکونی استان گلستان، جاده، تأسیسات، منابع آبی و اراضی کشاورزی و اوقاف آبخیز زیارت جاده، شبکه‌ی برق، خانه‌ی مسکونی، مجتمع گردشگری، منابع آب و جمعیت، و کریمی سن گچینی و همکاران جاده، اماکن مسکونی، چشمه، آبراهه و زمین‌های کشاورزی را عناصر در معرض خطر انتخاب کردند. در مجموع نواحی شمالی منطقه‌ی مورد مطالعه، با تمرکز فعالیت‌ها و مراکز جمعیتی و بالا بودن سطح آب زیرزمینی، در رتبه‌های خطر و خسارت بالا قرار دارد که نیازمند تصمیمات مهندسی درباره‌ی خطر و خسارت ناشی از روان‌گرایی در وضعیت‌های احتمالی آینده خواهد بود. بر اساس نتایج، استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی امکان ارزیابی و تحلیل‌های مکانی خطرات محیطی را فراهم آورده است. نتایج پژوهش می‌تواند به‌منظور ارزیابی سریع و شناسایی این پدیده با درجات متفاوت خطر مورد استفاده قرار گیرد. البته در صورت نیاز برای مکان‌یابی و اجرای پروژه‌های مهندسی و ساختمانی، مطالعات دقیق ژئوتکنیک در مناطق حساس از مواردی است که می‌تواند در ارائه‌ی تمهیدات ایمن‌سازی مناطق مستعد و تکمیل این پژوهش مؤثر باشد.

### پی‌نوشت

1. Mogami
2. Kubo

### منابع

1. Barthold, F.K. Wiesmeier, M. Breuer, L. Frede, H.G. Wu, J. and Blank, F.B. (2013). Land use and climate control the spatial distribution of soil types in the grasslands of Inner Mongolia. *J. Arid Environ.* 88, 194-205.
2. Breiman, L. Friedman, J.H. Olshen, R.A. and Stone, C.J. (1984). *Classification and Regression Trees*. New York, Chapman and Hall.
3. Breiman, L., and Cutler, A. (2004). Random Forests. Department of Statistics, University of Berkeley. [http://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc\\_home.htm](http://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm).
4. Brungard, C.W. (2009). *Alternative Sampling and*

*Analysis Methods for Digital Soil Mapping in South-western Utah*. Thesis for Master of Science, USA, Utah State University.

5. Cook, S.E., Jarvis, A. and Gonzalez, J.P. (2008). A New Global Demand for Digital Soil Information, P 31-43. In: Hartemink, A.E., McBratney, A., Mendonca-Santos, M.L. (eds.), *Digital Soil Mapping with Limited Data*. Springer, Dordrecht Heidelberg, London, New York.
6. Grimm, R., Behrens, T., Marker, M., and Elsenbeer, H. (2008). Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island – Digital soil mapping using random forests analysis. *Georama*. 146 (1-2), 102-113.
7. Grunwald, S. (2010). Current State of Digital Soil Mapping and What Is Next, P 3-12. In: Boettinger, J.L., Howel, D.W., Moore, A.C., Hartemink, A.E., and Kienast-Brown, S., (eds.), *Digital Soil Mapping: Bridging Research, Environmental Application, and Operation*. Springer. Dordrecht Heidelberg, London, New York.
8. Huete, A.R. (1988). A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 25, 295-309.
9. Jafari, A., Finke, P.A., Van de Wauw, J., Ayoubi, S., and Khademi, H. (2012). Spatial prediction of USDA-great soil groups in the arid Zarand region, Iran: comparing logistic regression approaches to predict diagnostic horizons and soil types. *Europe, Soil Science*. 63, 284-309.
10. Jenny, H. (1941). *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Penology*. New York, McGraw-Hill.
11. Lieb, M., Glaser, B., and Huwe, B. (2012). Uncertainty in the spatial prediction of soil texture comparison of regression tree and random forest models. *Groderma*, 170, 70-79.

۱۲. آمانی، محمد (۱۳۹۰). ارزیابی خطر روان‌گرایی خاک با استفاده از مدل SWM در دشت‌های جنوبی حوزه‌ی گرگان‌رود (استان گلستان)، چاپ نشده.

۱۳. مصطفی‌زاده، رئوف؛ اونق، مجید؛ عبدالله‌زاده، علی (۱۳۹۲). ارزیابی خطر و خسارت ناشی از پدیده‌ی روان‌گرایی خاک، مطالعه‌ی موردی شهرستان گرگان در استان گلستان. *مجله‌ی مدیریت بحران*، شماره‌ی چهارم، ۲۵-۳۴.