

ارزیابی خطر و خسارت ناشی از پدیده‌ی روانگرایی خاک

مطالعه‌ی موردی: شهرستان گرگان در استان گلستان

علی عبدالله زاده - کارشناسی ارشد، آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
مجید اونیق - استاد گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
رئوف مصطفی زاده* - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس،
raoofmostafazadeh@yahoo.com

چکیده

تحلیل خطرات 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 پیژومتري) 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 اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار Arc GIS 9.3 محاسبه گردید. در نهایت طبقات حساسیت روانگرایی برای منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه شد. بر اساس نتایج پژوهش، 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 بالا قرار دارد. نقشه و نتایج پیش‌بینی محدوده‌ی خطر روانگرایی خاک در قالب سناریوی آینده در چهارچوب تحلیل احتمال خطر و خسارت می‌تواند ابزار مناسبی در مدیریت خطر و کاهش خسارت ناشی از این پدیده باشد. رویکرد ارزیابی مورد استفاده می‌تواند با در نظر گرفتن شدت و محدوده‌ی خطر و عناصر حساس در گرفتن تصمیماتی برای کاهش خطر مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پهنه بندی خطر، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، مخاطرات طبیعی، برنامه ریزی فضایی.

Hazard and risk analysis of soil liquefaction

Case study: Gorgan, Golestan Province

Ali abdollahzadeh¹, Majid Ownegh², Raof Mostafazadeh^{3*}

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 km²), Golestan Province, 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 for 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 was 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). The liquefaction risk classes has been estimated using risk equation considering hazard rate, elements at risk (e.g. roads, residential area and water resources) and their assigned vulnerability values in the case study area. According to the results, the North region of the case study had the highest risk class with dense residential communities and industrial activity, and also high groundwater table. Presented liquefaction vulnerability maps could be used as a basis for the hazard management and reducing future liquefaction losses. The implemented approach employed the intensity and range of liquefaction in collaboration with vulnerable elements to determine the liquefaction risk and make a scientific decision accordingly.

Key words: Soil liquefaction, Geographic information system (GIS), Natural hazards, Spatial planning.

1 M.Sc Graduated, Dept of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2 Prof., Dept of Arid Zone and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3 Ph.D student, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, raoofmostafazadeh@yahoo.com

مقدمه

با توجه به قرارگیری ایران در کمربند زلزله خیز آلپ - هیمالیا، زمین‌لرزه‌ها مخرب‌ترین حادثه‌های طبیعی برای آن محسوب می‌شوند. آثار مخرب حوادث طبیعی مانند زمین‌لرزه، سیلاب، حرکات دامنه‌ای مثل بهم‌ریزش سنگ، لغزش و رانش زمین و توده‌های گلی و سنگی در تمام مناطق جهان نتایج مصیبت‌باری در تخریب و نابودی سکونتگاه‌های انسانی به وجود می‌آورند. آثار پدیده‌های مخرب طبیعی در جوامع در حال توسعه، آسیب‌پذیری بیشتری در قیاس با جوامع پیشرفته دارند [۱، ۲].

بر اساس گزارش برنامه‌ی کاهش خطر طبیعی شهر نیویورک^۱ روانگرایی یکی از پدیده‌های ژئوتکنیکی است که بیشتر در خاک‌های ماسه‌ای اشباع و ریزدانه‌ی ماسه‌ای و سیلتی فاقد رس، در اثر رفتن فشار منفذی و کاهش مقاومت برشی، در مناطق هموار دشتی و جلگه‌ای بر اثر تنش‌های ناشی از شوک‌های لرزه‌ای بالای آستانه‌ی تحریکی بروز می‌کند و منشأ خسارت‌های شدید سازه‌ای به هنگام وقوع زلزله است [۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸].

پس از زمین‌لرزه‌های ۱۹۶۴ نیگاتا^۲ و ۱۹۶۴ آلاسکا^۳، روانگرایی بیشتر مورد توجه مهندسان قرار گرفت [۳]. همچنین روانگرایی عامل اصلی ویرانی‌های سانفرانسیسکو^۴ در زمین‌لرزه‌ی ۱۹۸۹ منطقه‌ی لوماپریتا^۵ و بندر کوبه در زمین‌لرزه‌ی بزرگ هانشین^۶ در سال ۱۹۹۵ بود. همچنین ویرانی‌های شدید منطقه‌ی چریچست چرچ^۷ در زلاندنو در زمین‌لرزه‌ی ۲۰۱۰ کانتربوری^۸ و شدیدتر آن در زمین‌لرزه‌ی ۲۰۱۱ زلاندنو^۹ همگی ناشی از روانگرایی بوده است. صدمه به دیوارهای نگه‌دارنده‌ی بنادر و باراندازها، نشست زیاد، چرخش، کج شدن، خرابی بناها، جاده‌ها و در مواردی تلفات جانی از عواقب روانگرایی است که این اثرات در مناطق نزدیک سواحل، رودخانه‌ها و خلیج‌ها بیشتر است. علاوه بر سه عامل نوسان سطح آب زیرزمینی، خاک ریزدانه و شتاب افقی زمین‌لرزه، عواملی همچون شدت زلزله و سیکل‌های بارگذاری هم اثر بسیار زیادی بر احتمال وقوع روانگرایی دارند که در این پژوهش از پرداختن به آن‌ها صرف نظر شده است. بر اساس دستور کار مرکز ملی تحقیقات ساختمان (NIBS)^{۱۰}، پهنه‌بندی خطر^{۱۱} روانگرایی به محاسبه‌ی مقادیر تغییر مکان ماندگار زمین (شامل نشست خاک و پخش‌شدگی جانبی) و تقسیم‌بندی یک محدوده به مناطق همگن بر اساس درجه‌ی خطر ناپایداری و وقوع روانگرایی اطلاق می‌شود [۹، ۱۰].

گسترش بی‌رویه‌ی شهرها، مهاجرت‌ها و پراکندگی سرمایه‌های آسیب‌پذیر در مناطق پرخطر از علل روند افزایشی خسارات ناشی از سوانح طبیعی است [۱۱]. بنابراین انجام دادن تمهیدات مکان‌یابی جهت اجرای سازه‌های مهندسی و ابنیه‌ی فنی در محدوده‌ی مناطق پرخطر و حساس به منظور کاهش خسارت احتمالی ناشی از روانگرایی اجتناب‌ناپذیر است [۱۲]. ابزار کاهش و مدیریت عملی احتمال خسارت سوانح طبیعی را می‌توان در شناسایی، کاهش و یا حذف سرمایه‌های آسیب‌پذیر، تأمین منابع مالی جهت بازپرداخت خسارت‌های احتمالی و انتقال بخشی از خسارت‌های غیرقابل تحمل به عوامل دیگر خلاصه کرد [۱۰،

۱۳]. کاهش احتمال خسارت، از طریق مدیریت عوامل آن (کاهش خطر)، کاهش احتمال آسیب‌پذیری، و مدیریت پراکنش سرمایه‌ها از موارد اصلی در مدیریت بحران است و اولین قدم در مدیریت خسارت سوانح، برآورد خسارات آن‌ها است که امکان تمرکز بیشتر بر ابزار مدیریتی را فراهم می‌سازد. در این راستا استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS)^{۱۲} می‌تواند ابزاری مهم در تحلیل مکانی خطر و خسارات محیطی، داده‌ها و نتایج مورد پژوهش باشد [۱۳]. به دلیل وقوع سوانح طبیعی با دوره‌ی تناوب طولانی، در دسترس نبودن آمار خسارات گذشته و متغیر بودن آمار سرمایه‌های در معرض خطر، استفاده از روش‌های آماری در مطالعه‌ی آن‌ها دشوار است.

در پژوهش مصطفی‌زاده و اونق [۱۴] بر اساس نوسان در وضعیت سطح ایستابی و شتاب لرزه‌ای، هفت سناریوی بروز خطر روانگرایی تدوین و سپس با نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر روانگرایی در سناریوهای مورد نظر، تفاوت رتبه‌های خطر در وضعیت‌های بروز خطر مورد تحلیل آماری قرار گرفت. سکوند و همکاران [۳] با استفاده از داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای اقدام به پهنه‌بندی خطر روانگرایی دشت سیلاخور کردند. کریسکوین و همکاران [۱۵] خطر روانگرایی ایالت نوادا را پهنه‌بندی نمودند و به اهمیت این نقشه‌ها در برنامه‌ریزی تأکید داشتند. کوتسورولاکیس و همکاران [۱۶] احتمال خسارت ناشی از روانگرایی را در شدت‌های مختلف لرزه‌ای مورد ارزیابی قرار دادند. ارزیابی خسارت ناشی از شتاب لرزه‌ای به منزله‌ی ابزاری در برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی مناطق در جهت مدیریت خسارت را گیووانازی و کوپربینووسکی [۱۷] مورد بررسی قرار دادند. بیکر و فابر [۱۸] روشی برای کمی کردن پتانسیل گسترش روانگرایی با در نظر گرفتن تغییرات مکانی خصوصیات خاک و شتاب‌های لرزه‌ای آتی پیشنهاد کردند.

در بسیاری از کشورهای پیشرفته آیین‌نامه‌ی ساخت و ساز، مهندسان را متعهد می‌کند که اثرات روانگرایی خاک در طراحی ساختمان‌ها، پل‌ها، سدها و سازه‌های نگه‌دارنده در نظر گرفته شود. بر اساس دستور کار سازمان ساخت و ساز و امنیت لس‌آنجلس (LADBS)^{۱۳} [۱۹]، طرح‌های ساختمانی واقع در خارج از محدوده‌ی خطر روانگرایی، نیازمند مطالعات ثبات شیب، روانگرایی، شکستگی سطحی و گسترش جانبی نیستند [۲۰]. هدایت برنامه‌های عمرانی روستا، سامان‌دهی و مقاوم‌سازی سکونتگاه‌های آسیب‌پذیر روستایی، احداث شبکه‌های ارتباطی و توسعه‌ی زیرساخت‌ها به مناطق امن و کم‌خطر، می‌تواند گام اساسی در زمینه‌ی کاهش خطر و خسارت باشد [۱۱، ۲۱، ۲۲]. تدوین سیاست‌های کاهش و کنترل آسیب‌پذیری محیطی از طریق شناسایی شاخص‌ها و تحلیل و طبقه‌بندی حساسیت‌های آن‌ها و تعیین میزان آسیب‌پذیری هر یک امکان‌پذیر می‌گردد [۲۲]. در مناطق پرخطر و آسیب‌پذیر، تمرکز سکونتگاه‌هایی با تراکم شدید جمعیتی و فعالیت‌های صنعتی، ارزش توجه به این مطالعات را افزون می‌سازد. با ارزیابی خطر و خسارت روانگرایی، مناطق بحرانی خطر روانگرایی و سطح خسارت آن تعیین می‌گردد و نتایج تحقیق می‌تواند در برنامه‌ریزی توسعه‌ی شهری، اولویت‌بندی و

نظارت در اجرای آیین‌نامه‌های ساختمان‌سازی در مناطق دشتی و ساحلی در معرض خطر و نیز آمادگی برای مدیریت و کاهش اثرات مخرب زلزله و احتمال روانگرایی مفید واقع گردد. در این راستا هدف این پژوهش، تعیین مناطق بحرانی خطر روانگرایی و ارزیابی طبقات خسارات روانگرایی بر اساس عناصر در معرض خطر انتخابی با تأکید بر استفاده از GIS در شهرستان گرگان واقع در استان گلستان است.

مواد و روش‌ها

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 [۲۳]. 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 [۲۴]. 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^{۱۳} 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 [۹]. 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.

مشخصات منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در پژوهش حاضر محدوده‌ی شهرستان گرگان است که در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه‌ی عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۱۴ دقیقه و ۵۴ درجه و ۵۲ دقیقه‌ی طول شرقی قرار گرفته است. مساحت منطقه حدود ۱۶۰۰ کیلومتر مربع است که بخش بزرگی از آن در یک محدوده‌ی دشتی وسیع واقع شده است. این منطقه از شرق به شهرستان علی‌آباد، از شمال به شهرستان آق‌قلا و از غرب به شهرستان کردکوی محدود می‌گردد و از جنوب با ارتفاعات شاخه‌ی شرقی رشته کوه البرز و استان سمنان (شهرستان شاهرود) هم‌مرز است. بر اساس تقسیمات اداری و کشوری از سال ۱۳۸۳ این شهرستان از دو بخش (مرکزی و بهاران)، دو شهر (گرگان و سرخنگلاته)، پنج دهستان و ۹۸ روستا تشکیل شده است. در تصویر ۱ مشخصات عمومی و موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه ارائه شده است.

روش پژوهش

عوامل مؤثر در بروز پدیده‌ی روانگرایی شامل بزرگی زمین‌لرزه،

تراکم و بافت مواد ریزدانه و میزان آب موجود در فضای ذرات خاک، شدت زلزله و سیکل‌های بار زلزله‌ای است [۲۵]. در این پژوهش به دلیل استفاده از نمونه‌ی تجربی سه فاکتوره‌ی 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 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. جدول ۱ استاندارد طبقه‌بندی فاکتورها و امتیازدهی آن‌ها در روش سه فاکتوری SWM را نشان می‌دهد.

الف. جنس خاک و رسوب

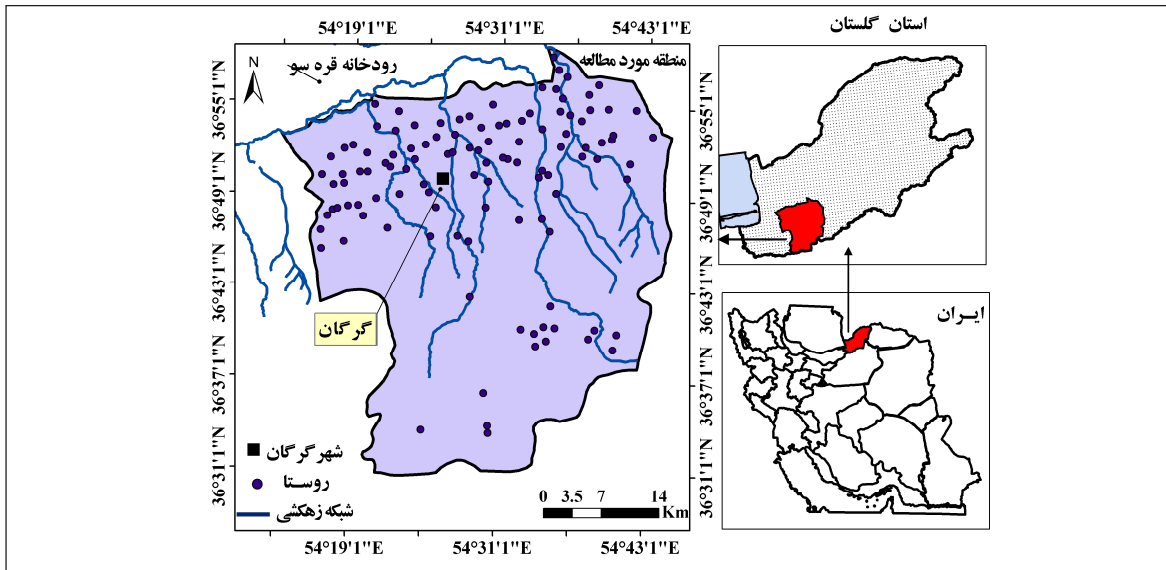
برای مطالعه‌ی عامل خاک و رسوب در ارزیابی خطر روانگرایی سه طبقه در نظر گرفته می‌شود که شامل سیلت (ماسه‌ی ریز)، رس و شن (گراول یا ماسه‌ی دشت) است و به ترتیب بیشترین رتبه‌ی خطر، رتبه‌ی خطر متوسط و رتبه‌ی بدون خطر را به خود اختصاص می‌دهد. بیشترین مقاومت در برابر روانگرایی در خاک‌هایی با بافت درشت یعنی شن و رس است [۲۶]. بنابراین در مطالعات روانگرایی خاک به رسوبات شنی ارزش صفر و به رسوبات حاوی رس به دلیل انتقال آسان ترولی چسبندگی خوب ارزش عددی یک و به رسوبات سیلنی یا رسوبات رس و شن حاوی سیلت زیاد ارزش عددی دو داده می‌شود [۲۵]. در این مطالعه نقشه‌ی بافت خاک و رسوب استان گلستان از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان [۲۷] تهیه و رقومی شد (تصویر ۲ ب).

ب. نوسان آب زیرزمینی

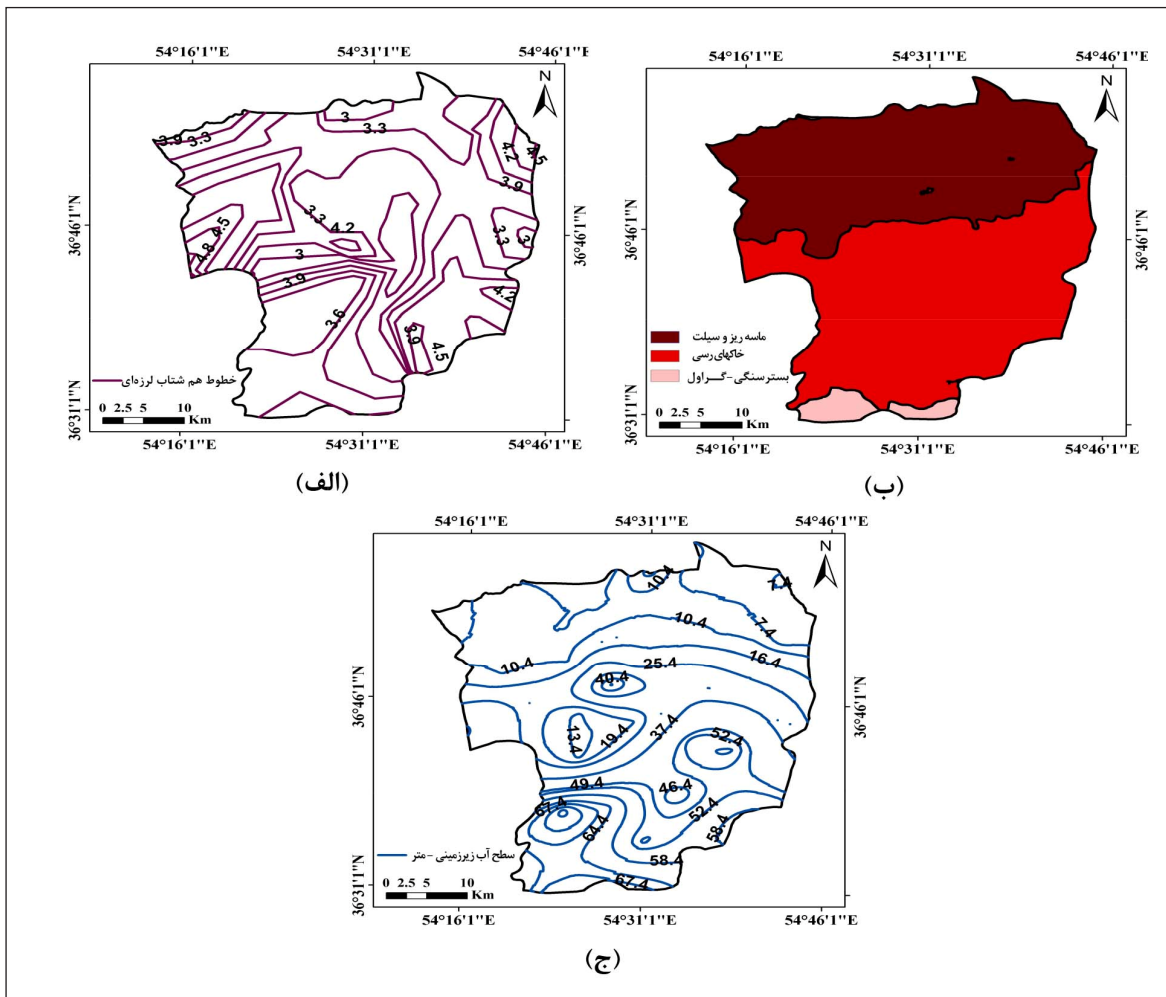
نقش آب زیرزمینی در روانگرایی خاک از طریق تأثیر آن بر از بین بردن چسبندگی خاک و ناپایداری زمین بروز می‌کند. قابل ذکر است که در نظر گرفتن داده‌های سطح آب زیرزمینی را سازمان ساخت و ساز و امنیت لس‌آنجلس (۲۰۱۱) مورد تأکید قرار داده است [۲۸]. در این مرحله از داده‌های عمق آب زیرزمینی ۲۹ چاه پیژومتری با دوره‌ی آماری ۳۰ ساله‌ی شرکت آب منطقه‌ای گلستان استفاده شده است [۲۹]. سپس با استفاده از نرم‌افزار Arc Map 9.3 و روش درون‌یابی کریجینگ، نقشه‌ی هم‌عمق آب زیرزمینی تهیه شد (تصویر ۲ ج).

ج. شتاب زمین لرزه

برای تهیه‌ی نقشه‌ی شتاب ثقل ابتدا از سامانه‌ی پژوهشکده‌ی زمین‌شناسی، زلزله‌های ثبت شده به شعاع ۱۰۰ کیلومتری از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۱، متناسب با در بر گرفتن منطقه‌ی مورد مطالعه اخذ گردید و پس از محاسبه‌ی شتاب افقی زمین‌لرزه (g) با استفاده



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



تصویر ۲: نقشه‌های مورد استفاده در ارزیابی خطر روانگرایی (الف. شتاب لرزه‌ای؛ ب. بافت خاک و رسوب؛ ج. سطح آب زیرزمینی)

رابطه‌ی ۲: $D = (E^2 + 7.3^2)^{0.5}$
 که در آن، M بزرگی زلزله و E نزدیک‌ترین محل وقوع لرزه (کیلومتر) است. بر اساس نرخ‌های حساسیت طبقات، نقشه‌ی عوامل تهیه شده وزن دهی گردید و نقشه‌ی رتبه‌های خطر تهیه شد. جدول ۱

از روابط ۱ و ۲ که جویئر و بور ارائه کرده‌اند [۳۰] مقادیر مذکور در محیط Arc Map 9.3 پردازش و با استفاده از درون‌یابی کریجینگ، نقشه‌ی حداکثر شتاب افقی لرزه‌ای تهیه گردید.

رابطه‌ی ۱: $PGA = 10^{(0.249 * M - \log(D) - 0.00255 * D - 1.02)}$

رتبه‌های خطر روانگرایی را برای شرایط مختلف نشان می‌دهد (تصویر ۲ الف).

وضعیت‌های خطر و خسارت روانگرایی

پس از تهیه‌ی نقشه‌ی رستری عوامل کلیدی با ابعاد ۳۰×۳۰ متر و طبقه‌بندی آن‌ها به سه دامنه (بر اساس جدول ۱)، با استفاده از الگوریتم محاسباتی حاصل ضرب در مدل سه عاملی، در محیط نرم افزار Arc Map نقشه‌ی پهنه‌ی خطر در وضعیت موجود و نیز سناریوی تدوین شده تهیه گردید و در چهار طبقه (بدون خطر، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد) طبقه‌بندی شد.

در این پژوهش ارزیابی خطر و خسارت در دو وضعیت برآورد شده است:

جدول ۱: نرخ حساسیت طبقات عوامل کلیدی خطر روانگرایی (نمونه‌ی غیروزنی)

رتبه عامل	بالا (عدد ۲)	متوسط (عدد ۱)	پایین (عدد صفر)	دامنه‌ی عددی
خاک (رسوب)	ماسه ریزو سیلت	رس	بسترهای سنگی، گراول	صفر تا ۲
عمق سطح ایستابی	صفر تا ۳ متر	۳ تا ۷ متر	بزرگ‌تراز ۷	صفر تا ۲
شتاب زمین‌لرزه	$> 0.06g$	$0.03 - 0.06g$	$0.03g >$	صفر تا ۲

- سناریوی وضعیت موجود: در این وضعیت، نقشه‌ی خاک و عامل شتاب افقی زمین‌لرزه دارای یک رتبه است. در حالی که نقشه‌ی عمق آب دارای سه رتبه (سطح ایستابی بالا، متوسط و پایین) است.
- سناریوی بروز خطر: در سناریوی بروز خطر، تغییرات دو عامل سطح آب زیرزمینی و شتاب لرزه‌ای لحاظ گردید، که در این حالت عامل شتاب افقی زمین‌لرزه در دو رتبه‌ی کم و متوسط قرار گرفت و همچنین افزایش دو متر برای عمق آب در نظر گرفته شد و این عوامل به صورت نقشه تهیه گردیدند.

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. خطرات 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^{۱۵} و درجه‌ی آسیب‌پذیری^{۱۶} نقشه‌ی عناصر در معرض خطر، بر اساس معادله‌ی عمومی خسارت (رابطه‌ی ۳) برآورد می‌شود [۳۱، ۸].

$$R = H \times E \times V \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

که در آن R 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 [۳۲]. 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

درجه‌ی آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر	طبقات کیفی	تعداد عناصر در واحد پلیگون
I	خیلی کم	≤ 1
II	کم	۲
III	متوسط	۳
IV	زیاد	۴
V	خیلی زیاد	۵

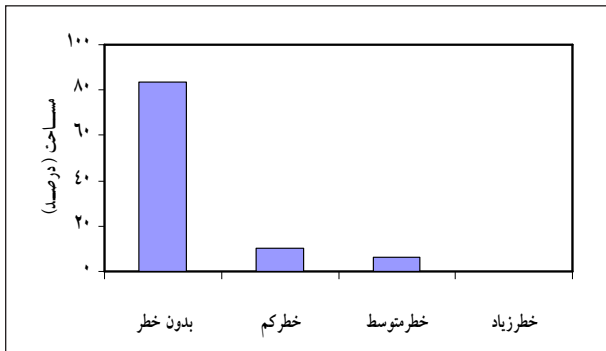
پس از شناسایی و رتبه‌بندی عناصر در معرض خطر در هر واحد از نقشه‌ی خطر، درجه‌ی آسیب‌پذیری عناصر با نظر کارشناسی و بررسی شرایط منطقه‌ی مورد مطالعه تعیین گردید. برای محاسبه‌ی درجه‌ی آسیب‌پذیری در نظر گرفتن شرایط اقتصادی و اکولوژیکی حائز اهمیت است. عناصری که در رتبه‌ی خطر بالاتری قرار دارند از اهمیت و آسیب‌پذیری 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.

جدول ۳: دامنه‌ی عددی احتمال خسارت و صفات عناصر در معرض خطر

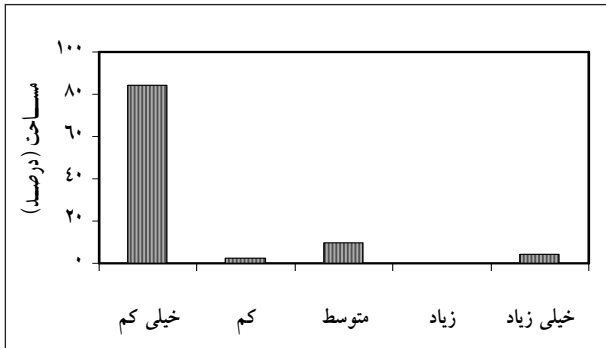
عناصر	عامل	عدد خسارت
جاده	بزرگراه در اولویت بالاتری نسبت به جاده‌های درجه‌ی ۱ و ۲ قرار دارد و با افزایش رتبه‌ی خطر، با ضریب ۲ افزایش می‌یابد.	۴۸-۱
مناطق مسکونی	با افزایش رتبه‌ی خطر، با ضریب ۲ افزایش می‌یابد.	۳۲-۱
منابع آبی	افزایش رتبه‌ی خطر با ضریب ۲ افزایش می‌یابد.	۱۶-۱

بحث و نتایج

بر اساس نتایج، نقشه‌ی شتاب افقی در شرایط موجود و سناریوی اول دارای یک رتبه با نرخ طبقه‌ی صفر بوده در نتیجه در الگوریتم حاصل ضرب باعث صفر شدن دیگر عوامل شده و عدم وقوع روانگرایی در این حالت‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه پیش‌بینی می‌شود. در سناریوی دوم نقشه‌ی شتاب افقی زمین‌لرزه دارای دو

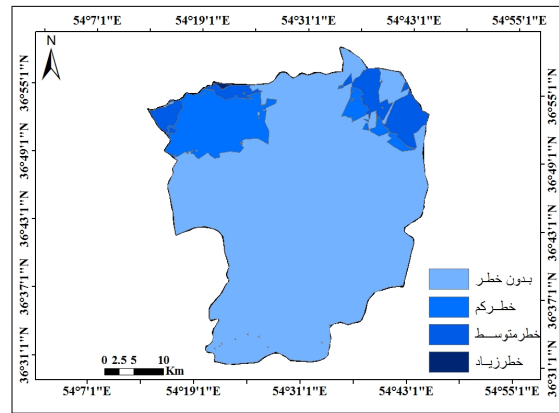


تصویر ۵: درصد مساحتی هر یک از رتبه‌های خطر در منطقه‌ی مورد مطالعه

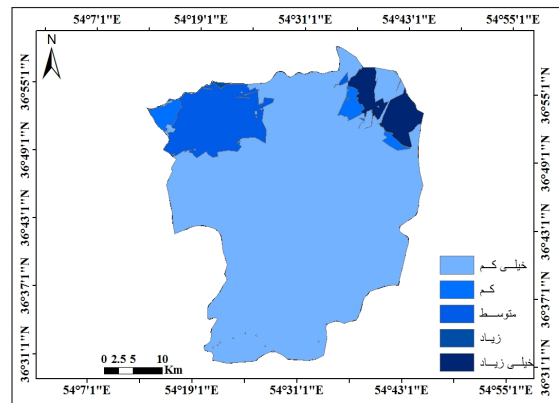


تصویر ۶: درصد مساحتی هر یک از طبقات خسارت در منطقه‌ی مورد مطالعه

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 ابزاری 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 خطرات منطقه‌ای فراهم می‌کند [۳۳]. در این مطالعه نقشه‌ی شتاب افقی 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، که نظرات بیکرو و فابر [۱۸] را مورد تأیید قرار می‌دهد. در خاک‌های حساس ماسه‌ای، ماسه و شن و نیز ماسه و سیلت از نوع سست و نیمه متراکم، 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 که با نتایج کوتسورولاکیس و همکاران [۱۶] همخوانی دارد.



تصویر ۳: رتبه‌های وقوع خطر روانگرایی با در نظر گرفتن تغییر در عوامل سطح آب زیرزمینی و شتاب لرزه‌ای



تصویر ۴: طبقات احتمال خطر روانگرایی بر اساس عناصر در معرض خطر در منطقه‌ی گرگان

رتبه‌ی کم و متوسط بوده و نقشه‌ی عمق آب دارای سه رتبه‌ی (سطح ایستابی بالا، متوسط و پایین) است. نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر روانگرایی حاصل در تصویر ۳ نشان داده شده است. محاسبه‌ی عدد نهایی خسارت روانگرایی از طریق تحلیل همپوشانی لایه‌های مورد استفاده صورت گرفت، که نتایج در تصویر ۴ ارائه شده است. درصد مساحت هر یک از رتبه‌های خطر و طبقات احتمال خطر در منطقه‌ی مورد مطالعه در تصویر ۵ و ۶ ارائه شده است. در سناریوی وقوع خطر، نقشه‌ی شتاب افقی زمین‌لرزه دارای دو رتبه‌ی کم و متوسط بوده و نقشه‌ی عمق آب دارای سه رتبه‌ی (سطح ایستابی بالا، متوسط و پایین) است. حاصل ضرب این سه نقشه در هم نقشه‌ی خطر با چهار رتبه‌ی خطر (بدون خطر، کم، متوسط، زیاد) است. در ناحیه‌ی شمالی منطقه‌ی مورد مطالعه با تمرکز فعالیت‌ها و مراکز جمعیتی و بالا بودن سطح آب زیرزمینی در رتبه‌های خطر و خسارت بالا قرار دارد.

نتیجه‌گیری

پهنه‌بندی خطر یک مرحله از مدیریت خطر و خسارت در برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین در جهت کاهش خطرات طبیعی است. در این پژوهش در میان روش‌های کمی و کیفی موجود،

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. در این پژوهش از رابطه‌ی ۳ برای ارزیابی خسارت روانگرایی خاک استفاده شد. مناطق مسکونی، جاده و منابع آبی به مثابه‌ی عناصر در معرض خطر در این پژوهش انتخاب و در پنج رتبه‌ی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند (تصویر ۳). صنایع و همکاران [۴] دشت‌های ساحلی دریای خزر، مناطق مسکونی استان گلستان، جاده، تأسیسات، منابع آبی و اراضی کشاورزی، اونق [۳۲] آبخیز زیارت جاده، شبکه‌ی برق، خانه‌ی مسکونی، مجتمع گردشگری، منابع آب و جمعیت، و کریمی سنگ‌چینی و همکاران [۳۱] 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 به منظور 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. New York City Natural Hazard Mitigation Plan
2. Nigata
3. Alaska
4. San Francisco
5. Loma Prieta
6. Hanshin
7. Christchurch
8. Canterbury
9. New Zealand
10. National Institute of Building Sciences (NIBS)
11. Hazard Zonation
12. Geographic Information System (GIS)
13. Los Angeles Department of Building and Safety
14. Hazards United States
15. Elements at risk
16. Vulnerability

منابع

۱. شمس پور، علی اکبر؛ شیخی، محمد (۱۳۸۹). پهنه‌بندی مناطق حساس و آسیب‌پذیری محیطی در ناحیه‌ی غرب فارس، با روش طبقه‌بندی فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*. شماره‌ی ۷۳، ۵۳-۶۸.
2. Joyner, W.B., Boore, D.M. (1981). Peak horizontal acceleration and velocity from strong motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71 (6), 2011-2038.

۳. سکوند، حبیب؛ شایان، سیاوش؛ شریفی‌کیا، محمد (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر روانگرایی در دشت سیلاخور. *نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، جلد ۱۸، شماره‌ی ۲۱، ۵۱-۶۸.

۴. صنایعی، ابراهیم؛ اونق، مجید؛ خوشروان، همایون (۱۳۹۰). تعیین پتانسیل روانگرایی خاک در سواحل جنوب شرقی دریای خزر استان گلستان. کنفرانس ملی توسعه‌ی پایدار و عمران شهری، اصفهان.

5. New York City Natural Hazard Mitigation Plan (March 2009). *Section III: Natural Hazard Risk Assessment*, 167-179.

6. Seed, H.B.; Idriss, I. M. (1982). Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. *Journal of Geotechnical Engineering, Div., ASCE*, 105 (2), 201-255.

7. Snoussi, M.; Ouchani, T.; Niazi, S. (2008). Vulnerability assessment of the impact of sea-level rise and flooding on the Moroccan coast: The case of the Mediterranean eastern zone. *Journal of Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 77, 206-213.

8. Varnes, D. J.; Radbruch-Hall, D. H. (1984). Landslides cause and effect. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 13 (1), 205-216.

9. Ozdemir, A.; Ince, I. (2005). Geology seismotectonics and soil liquefaction susceptibility of IlgVn (west-central part of Turkey) residential area. *Journal of Engineering Geology*, 77, 169-188.

10. Witter, R.C.; Knudsen, K.L.; Sowers, J.M.; Wentworth, C.M.; Koehler, R.D.; Randolph, C. E.; & et al. (2006). Maps of Quaternary deposits and liquefaction susceptibility in the Central San Francisco Bay Region, California: U.S. Geological Survey Open-File Report 06-1037.

۱۱. کرمی، فریبا؛ رجبی، معصومه (۱۳۸۸). بررسی خطر زمین‌لغزش و تحلیل ریسک‌پذیری آن در نواحی روستایی (مطالعه‌ی موردی: دامنه‌ی شمالی توده‌ی کوهستانی سهند). *نشریه‌ی جغرافیا*، سال ششم، شماره ۱۸ و ۱۹، ۱۳۹-۱۴۵.

۱۲. مصطفی‌زاده، رئوف؛ اونق، مجید (۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۸۸). پهنه‌بندی خطر روانگرایی با مدل MWS و ابزار سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در شهرهای واقع در دشت‌های جنوبی گرگانرود استان گلستان. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری (مدیریت بلایای طبیعی)، گرگان، ۲۰۷۲-۲۰۸۱.

۱۳. ذوالفقاری، محمدرضا (۱۳۹۰). جایگاه مدلسازی و تخمین خسارات و تلفات سوانح در مدیریت ریسک و بحران سوانح طبیعی. *پژوهشنامه‌ی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله*، سال چهاردهم، شماره‌ی ۱ و ۲، بهار و تابستان، ۶۱-۷۳.

۱۴. مصطفی‌زاده، رئوف؛ اونق، مجید (۱۳۹۰). ارزیابی پتانسیل بروز خطر روانگرایی در دشت‌های جنوبی گرگانرود استان گلستان. *پژوهش‌های آب‌خیزداری (پژوهش و سازندگی)*. شماره‌ی ۹۳، ۱-۱۰.

15. Criscione, J.; Werel, J.; Slemmons, D.; Luke, B.A. (2001). *Liquefaction hazard map of the Las Vegas Valley Nevada*.

16. Koutsourelakis, S.; Prevost, J.H.; Deodatis, G.D. (2002). Risk assessment of an interacting structure-soil system due to liquefaction. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 31, 851-879.

17. Giovanazi, S.; Cubrinovski, M. (30 Mar-1 Apr 2007). *Liquefaction Hazards for Seismic Risk Analysis*. Palmerston North, New Zealand: New Zealand Society of Earthquake Engineering Conference (NZSEE 2007), In Proceedings of the 2007 Annual NZSEE Technical Conference, 06.

18. Baker, J.W., Faber, M.H. (2008). Liquefaction Risk Assessment Using Geostatistics to account for Soil Spatial Variability. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*. 134 (1), 14-23.

19. National Institute of Building Sciences. (2012). Building Enclosure

- Commissioning Process. *NIBS Guideline 3*, 337p.
20. Federal Emergency Management Agency. (2002). *Earthquake Loss Estimation Methodology*.
HAZUS®99 User's Manual 316p.
21. Los Angeles Department of Building and Safety (LADBS). (2011). *Information Bulletin. Public Building Code*. Report No. P/BC 2011-044. 3p.
22. Maithani, S., Sokhi, B.S. (2004). Radius: a methodology for earthquake hazard assessment in urban areas in a GIS environment, Case study: Dehradun municipal area. *Institute of Town Planners, India Journal (ITPI)*, 1(3), 55-64.
۲۳. انصاری، زهرا؛ منصوری کیا، محمد تقی (۱۳۸۷). بررسی پیکاربردترین روش های ارزیابی پتانسیل روانگرایی در ایران. *اولین سمینار ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه های آبیاری و زهکشی*. مؤسسه ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ۳۳.
24. Laurini, R. (2002). *Information Systems for Urban Planning: A Hypermedia Cooperative Approach*, Rutledge, London, UK. 349p.
25. Van Westen, C.J., Slob, S. Montoya Morales, A.L. Boerboom, L. (2004). Application of GIS for Earthquake Hazard and Risk Assessment: Kathmandu, Nepal. *Technical Manual Number UNSPECIFIED Asia Disaster Preparedness Centre, Thailand*, 13p.
۲۶. اونق، مجید (۱۳۹۰). *جزوه ی درسی*. سازندهای دوران چهارم. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۵۰-۱۶۷.
۲۷. مرکز تحقیقات و منابع طبیعی استان گلستان (۱۳۸۵). گزارش آمار و اطلاعات نقشه های بافت خاک استان.
۲۸. قدرتی، علیرضا؛ غریب رضا، محمدرضا؛ داداشی، محمدعلی؛ صبح زاهدی، شهریار (۱۳۸۴). *بررسی تغییرات خطوط ساحلی دریای خزر در تغییر ژئومورفولوژی حوزه های سواحل گیلان*، دومین کنفرانس آبخیزداری و مدیریت آب و خاک، کرمان، ۲۵۶-۲۶۶.
۲۹. شرکت آب منطقه ای استان گلستان (۱۳۸۸). *آرشیو آمار و اطلاعات آب های زیرزمینی استان*.
30. Kumar Piya, B. (2004). *Generation of a geological database for the liquefaction hazard assessment in Kathmandu valley*. M.Sc Thesis in Earth Resources & Environmental Geoscience, ITC, Netherlands, 141p.
۳۱. کریمی سنگ چینی، ابراهیم؛ اونق، مجید؛ سعدالدین، امیر؛ نجفی نژاد، علی (۱۳۹۰). *ارزیابی خسارت زمین لغزش در حوضه ی آبخیز چهل چای*، استان گلستان. هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۷ و ۸ اردیبهشت. اصفهان.
۳۲. اونق، مجید (۱۳۸۸). *پهنه بندی خطر و خسارت زمین لغزش آبخیز زیارت گرگان*. طرح پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۳۳. عسکری، فرج الله؛ قاسمی، امیر (۱۳۸۸). *پهنه بندی خطر روانگرایی استان لرستان*. نشریه ی مهندسی عمران و نقشه برداری دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ۹۸-۱۰۳.