

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ششم، شماره ۱۴، زمستان ۱۳۹۶

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۵/۳۱

صفحات: ۱۶۸-۱۵۳

بررسی مخاطرات ناشی از زلزله اهر ورزقان در حوضه سرندچای و پیرامون آن

فریا کرمی^{۱*}، مریم بیاتی خطیبی^۲، شهرام ملکی^۳

چکیده

زلزله به عنوان مخربترین نیروی طبیعی، لرزش سریع و ناگهانی زمین است که بوسیله شکست و تغییر مکان سنگ های زیر سطح زمین بوجود می آید. بیشتر تلفات جانی و خسارت های مالی به علت اثرات ثانویه زلزله و پس از وقوع آنها بوجود می آیند. وقوع زلزله های مکرر و مخرب در نقاط مختلف کشور واقعیت لرزه خیزی ایران را تأیید می کنند. برای مثال، در ۲۱ مرداد ۱۳۹۱ دو زلزله با بزرگی ۶/۴ و ۶/۳ ریشتر در شهرستان اهر - ورزقان و هریس استان آذربایجان شرقی رخ دادند که تلفات جانی و خسارت های مالی فراوانی را بدنبال داشت. این پژوهش سعی دارد نقشه لرزه خیزی حوضه سرند چای و پیرامون آن را با استفاده داده های لرزه نگاری دستگاهی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران ترسیم کند و مخاطرات ناشی از زلزله را براساس بازدیدهای میدانی و استفاده از تصاویر ماهواره ای شناسایی کرده و در محیط Arc/GIS آنها را بصورت نقشه نمایش دهد. در نهایت، خطر وقوع زمین لغزش را در حوضه سرند چای در صورت رخداد زلزله ای با قدرت ۶/۴ ریشتر پهنه بندی می کند. نتایج پژوهش نشان داد انواع زمین لغزش ها (اعم از سنگ لغزش و سنگ ریزش، لغزش های بلوکی و انتقالی، جریان های واریزه ای)، گسیختگی زمین، روانگرایی و تشکیل فروچاله از مخاطرات ناشی از وقوع زلزله در منطقه می باشند. نقشه پهنه بندی نیز نشان می دهد که در صورت وقوع زلزله ای با قدرت ۶/۴ ریشتر، ۷ درصد مساحت منطقه در پهنه با خطر خیلی زیاد، ۳۵ درصد در پهنه با خطر زیاد، ۷ درصد در پهنه با خطر کم از نظر وقوع انواع زمین لغزش ها قرار خواهند داشت.

واژگان کلیدی: مخاطرات ناشی از زلزله، زمین لغزش، گسیختگی زمین، روانگرایی، زلزله اهر - ورزقان، حوضه سرندچای

fkarami@tabrizu.ac.ir

M5khatibi@yahoo.com

Malekishahram@yahoo.com

۱- دانشیار، گروه پژوهشی جغرافیا، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

۲- استاد، گروه پژوهشی جغرافیا، دانشگاه تبریز

۳- کارشناس ارشد، دانشگاه تبریز

مقدمه

زلزله به عنوان مخربترین نیروی طبیعی، لرزش سریع و ناگهانی زمین است که بوسیله شکست و تغییر مکان سنگ های زیر سطح زمین بوجود می آید. این لرزش ها می توانند سبب فروریختن ساختمان ها و پل ها شوند و تاسیسات گاز، خطوط انتقال نیرو و مخابرات را تخریب کنند. در پی وقوع زلزله، کشورهای صنعتی اغلب از نظر مالی دچار ضرر و زیان می شوند در حالی که در کشورهای در حال توسعه، تلفات جانی بیشتر اتفاق می افتد (وینما^۱، ۲۰۱۳). انرژی رها شده از زلزله ۶/۵ ریشتری تقریباً با انرژی انفجار ۵۶۰۰۰۰۰ تن TNT برابر است. جدول (۱) انرژی رها شده زلزله در مقیاس ریشتری را معادل انفجار TNT نشان می دهد (کیفر^۲ و همکاران، ۲۰۱۱). به همین علت است که زلزله به عنوان مخربترین فرایند زمین شناسی، در چهار هزار سال گذشته حداقل ۱۱ میلیون مرگ و میر را سبب شده است (کوروپ^۳، ۲۰۱۰).

جدول ۱: میزان انرژی رها شده از زلزله بر حسب مقیاس ریشتری معادل انفجار TNT

مقیاس ریشتری	1000 Tons TNT
۵	۳۲
۶	۱۰۰۰
۷	۳۲۰۰۰
۸	۱۰۰۰۰۰۰
۹	۳۲۰۰۰۰۰۰

ماخذ: کیفر و همکاران، ۲۰۱۱

قویترین زلزله تاریخ از زمان اختراع دستگاه های لرزه نگاری دقیق در ۲۲ می ۱۹۶۰ در شیلی به بزرگای ۹/۵ درجه در مقیاس ریشتری اتفاق افتاد که ۱۶۵۵ کشته، ۳ هزار مجروح و ۲ میلیون آواره برجای گذاشت. سونامی که این زلزله تولید کرد در هاوایی ۶۱ قربانی گرفت. این سونامی در ژاپن ۱۳۸ نفر و در فیلیپین ۳۲ کشته برجای گذاشت. دومین زمین لرزه شدیدی که تاکنون ثبت شده است در ۲۸ مارس ۱۹۶۴ در آلاسکا اتفاق افتاد. کانون لرزه در منطقه "پرنس ویلیام ساوند"^۴ به بزرگای ۹/۲ ریشتری بود. ۱۱۳ نفر در اثر سونامی و ۱۵ نفر در اثر زلزله جان باختند. در نزدیکی جزیره مونتاگو، زمین ۱۳ تا ۱۵ متر بالاآمدگی ایجاد کرد. در خلیج والدز^۵، موج سونامی به ارتفاع ۶۷ متر رسید و ۱۵ نفر در سواحل کالیفرنیا و اورگان کشته شدند و در کوبا و پرتوریکو نیز امواج بلند غیرعادی مشاهده شد. در اثر وقوع زلزله آیتاپه^۶ و سونامی پس از آن، در ۱۷ جولای ۱۹۹۸ به بزرگی ۷ ریشتری در نزدیکی ساحل شمالی گینه نو، ۲۱۸۳ نفر کشته، هزاران نفر مجروح و ۹۵۰۰ نفر بی خانمان شدند. زلزله ۲۶ ژانویه ۲۰۰۴ در اقیانوس هند به بزرگی ۹/۱ ریشتری، غرب سواحل سوماترای اندونزی را لرزاند. منطقه شمال غربی این جزیره کاملاً ویران شد.

¹- Veenema

²- Keefer

³- Korup

⁴- Prince William Sound

⁵- Valdez Gulf

⁶- Aitape

سونامی حاصل از این زلزله تا به تایلند، سواحل سریلانکا، هند و سومالی نیز رسید و در مجموع ۲۳۰ هزار نفر کشته برجای گذاشت. زلزله توهوکوی ژاپن که در ۱۱ مارس ۲۰۱۱ به قدرت ۹ ریشتر در شمال شرق شرقی رخ داد، ۱۵۸۵۰ نفر کشته، ۶۰۱۱ نفر مجروح و ۳۲۸۷ نفر ناپدید داشت. بخش مهمی از تلفات و خسارت‌های این زلزله به وقوع سونامی پس از آن رویداد اصلی مربوط می‌شد. مواردی که به آنها اشاره شد نشان می‌دهد، بیشتر تلفات جانی و خسارت‌های مالی به علت اثرات ثانوی زلزله و پس از وقوع آنها بوجود می‌آیند. مخاطرات ثانویه زلزله‌ها به موقعیت و شدت آنها بستگی دارد و بطور عمده شامل لرزش زمین، گسیختگی زمین^۱، وقوع انواع حرکات توده‌ای مواد دامنه‌ای (مانند انواع زمین لغزش‌ها، جریان‌ات واریزه‌ای، بهمن و غیره)، فرونشست زمین، سونامی، روانگرایی، نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی و غیره می‌شود. (آن و کاپ^۲، ۱۹۸۸؛ برای^۳، ۲۰۰۱؛ مارانو^۴ و همکاران، ۲۰۱۰؛ بونیکو^۵ و همکاران، ۲۰۱۲). پراکندگی زلزله‌های کشنده و پراکندگی پدیده‌های ناشی از وقوع زلزله از سال ۱۹۶۸ تا ۲۰۰۸ در دنیا نشان می‌دهد که در این مدت ۴۰ سال، ۲۱ درصد تلفات انسانی ناشی از زلزله به علت اثرات ثانویه رخ داده زلزله بوده است (مارانو و همکاران، ۲۰۱۰). در مورد مخاطرات پس از وقوع زلزله تحقیقات زیادی انجام شده است که می‌توان به پژوهش‌های دای و همکاران (۲۰۱۰) در زلزله ۷/۸ ریشتری ایالت سیچوان چین در می ۲۰۰۸، کیفر و همکاران (۲۰۱۱) در زلزله ۶/۳ ریشتری سال ۲۰۰۹ شهر لاکوئیلای در ایتالیای مرکزی، وانگ^۶ و همکاران (۲۰۱۴) در زلزله ۷ ریشتری ۲۰۱۳ ایالت سیچوان چین، پارکر^۷ و همکاران (۲۰۱۵) ناپایداری‌های دامنه‌ای بعد از زلزله ۱۹۲۹ بولر^۸ و زلزله ۱۹۶۸ ای ناینگ هوای^۹ در نیوزلند، لی^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۵) در ترسیم اطلس جهانی مخاطرات زلزله اشاره کرد. برای مثال، بومر و رودریگز^{۱۲} (۲۰۰۲) رابطه زمین لغزش‌ها و بزرگی زلزله‌های ۷/۷ ریشتری ژانویه و ۶/۷ ریشتری فوریه ۲۰۰۱ کشورهای آمریکای مرکزی را بررسی کردند. نتیجه مطالعه نشان داد ارتباط و تناسبی بین زمین لغزش‌ها و بزرگی زلزله‌های رخ داده وجود ندارد. کولوت^{۱۳} و همکاران (۲۰۰۴) تاثیر زلزله ۸/۸ ریشتری ۱۹۰۶ حاشیه اکوادور - کلمبیا را بررسی کردند و دریافتند این زلزله یک منطقه گسیختگی بطول ۵۰۰ کیلومتر در سطح زمین ایجاد کرده است. زلزله در این منطقه در سال‌های ۱۹۴۲ (۷/۸ ریشتر)، ۱۹۵۸ (۷/۷ ریشتر) و ۱۹۷۹ (۸/۲ ریشتر) تکرار شد. آيادی^{۱۴} و همکاران (۲۰۰۸) منطقه گسیختگی ناشی از زمین لرزه ۶/۸

^۱- گسیختگی زمین (Earth rupture): این پدیده بدلیل شکستگی سطح زمین در اثر لغزش در امتداد یک گسل در طی یک زمین لرزه بزرگ بوجود می‌آید (بونیکو و همکاران، ۲۰۱۲).

^۲- Allen and Khapp

^۳- Bray

^۴- Marano

^۵- Bonico

^۶- L'Aquila

^۷- Wang

^۸- Parker

^۹- Buller

^{۱۰}- Inangahua

^{۱۱}- Li

^{۱۲}- Bommer and Rodriguez

^{۱۳}- Collot

^{۱۴}- Ayadi

ریشتری زمموری^۱ را در شرق الجزایر در تل اطلس بررسی کردند. نتایج مطالعه نشان داد منطقه گسیختگی با بالآمدگی ساحل منطبق بوده و این شرایط ویژگی یک منطقه فعال تکتونیکی را از طریق حرکات همگرایی در مرزهای صفحه‌ای منعکس می‌کند. بونیکو و همکاران (۲۰۱۲) بعد از زلزله ۶/۳ ریشتری لاکوئیلو در ایتالیای مرکزی، خطر گسیختگی سطح زمین را در طول گسلی نرمال بررسی کردند و نقشه گسیختگی ناشی از زلزله را ترسیم کردند. نتیجه مطالعه نشان می‌دهد پهنای زیاد گسیختگی در کمر بالای گسل بیشتر از کمر پایین آن است. چن^۲ و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه زمین لغزش‌های ناشی از زلزله جنوب غربی چین، رابطه بین مساحت زمین لغزش‌ها و بزرگی زلزله را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که زمین لرزه‌های قوی در مناطق با شیب زیاد و ویژگی‌های زمین شناسی ضعیف، علت اصلی وقوع زمین لغزش‌ها در این منطقه می‌باشند. خو^۳ و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی وقوع جریان‌ات واریزه‌های ناگهانی ناشی از بارش شدید باران در ۱۴-۱۲ آگوست ۲۰۱۰ در ایالت سیچوان چین، متوجه شدند که انباشت مقدار زیادی از مواد سست در دامنه‌های منطقه بعد از زلزله ۲۰۰۸ سیچوان و سپس شدت بارش در ۲۰۱۰ علت اصلی وقوع جریان‌ات واریزه‌ای بوده است. ژانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۴) زمین لغزش‌های ناشی از زلزله ۲۰۰۸ سیچوان چین را که بعد از بارندگی ۲۰۱۰ بازفعال شدند بررسی کردند. نتایج نشان داد در طی فصل بارندگی بعد از زلزله، شدت زمین لغزش‌ها افزایش یافته، در حالیکه مساحت آنها کاهش پیدا کرده است. نوع زمین لغزش‌های واریزه‌ای نیز به جریان‌های واریزه‌ای تغییر یافته است.

وقوع زمین لرزه‌های مکرر و مخرب در نقاط مختلف کشور واقعیت لرزه خیزی ایران را تأیید می‌کنند. ایران جزو کشورهایی با بالاترین خطر سالانه مرگ و میر زلزله می‌باشد. خسارت‌های مالی ناشی از وقوع این پدیده در کشور نیز بسیار چشمگیر می‌باشد. در روز شنبه ۲۱ مرداد ۱۳۹۱ مناطقی از استان آذربایجان شرقی شاهد دو زمین لرزه نسبتاً شدیدی بودند. زمین لرزه‌ها در ۱۰ کیلومتری ورزقان با بزرگای ۶/۴ و ۶/۳ این منطقه را لرزاند. کانون هر دو زمین لرزه در عمق ۱۰ کیلومتری زمین بود. این زلزله‌ها شهرهای اهر، ورزقان و هریس را با شدت لرزاند و تلفات جانی و خسارت‌های مالی فراوانی را بوجود آورد. حوضه سرندچای در جنوب غربی اهر، محل اصلی وقوع زلزله‌های اخیر می‌باشد. هدف این تحقیق، ابتدا ترسیم نقشه ساینموتکتونیکی^۵ حوضه سرند چای و پیرامون آن، با استفاده داده‌های لرزه نگاری دستگاهی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و گسل‌های منطقه، ترسیم نقشه مخاطرات و آثار ژئومورفولوژیکی ناشی از زلزله با استفاده از شواهد زمینی و تصاویر ماهواره‌ای و ترسیم نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌های لرزه‌ای می‌باشد. نقشه اخیر، مناطقی را نشان می‌دهد که می‌تواند بوسیله وقوع زمین لغزش در طی یک زمین‌لرزه ۶/۴ ریشتری متاثر شود.

¹- Zemmouri

²- Chen

³- Xu

⁴- Zhang

⁵- Seismotectonic

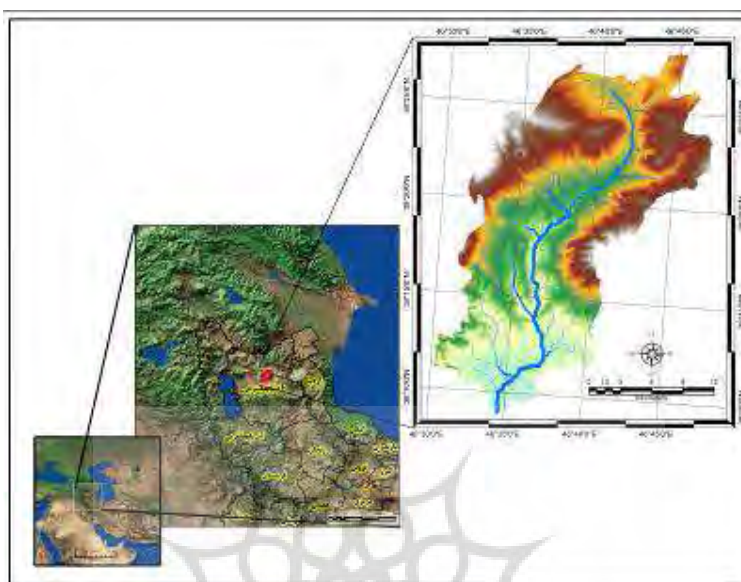
داده‌ها و روش‌ها

الف- مختصات جغرافیایی حوضه سردچای و پیرامون آن

حوضه آبریز سردچای در شمال غرب ایران در استان آذربایجان شرقی و شهرستان ورزقان و هریس قرار دارد. این حوضه یکی از زیرحوضه های آجی چای می باشد. مختصات جغرافیایی آن ۴۶ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی می باشد (شکل ۱). ارتفاع بلندترین نقطه سردچای، کوه آیناخی با ارتفاع ۲۸۷۳ متر است (شکل ۲). رودخانه سرد چای از ارتفاعات شمال غرب و ارتفاعات اوش تپه لر و کوه دوز دره سی سرچشمه می گیرد. از شمال به جنوب جریان دارد و در نزدیکی خواجه به آجی چای می ریزد. قدیمترین واحد لیتولوژی در منطقه ماسه سنگ، سنگ آهک ماسه‌ای، شیل و کنگلومرا (نهشته های فلیش گونه) کرتاسه است که اغلب در ارتفاعات غربی منطقه برونزد دارد (شکل ۳). گسترش سازندهای میوسن مانند واحدمارن گچدار، سیلتستون، ماسه سنگ و کنگلومرای در این حوضه وسعت زیادی دارد. سنگهای آتشفشانی اسیدی، توف ها و ایگنمبریت ها که تقریباً در قسمت های مختلف منطقه ارتفاعات را تشکیل می دهند نشانه ای از تحمل یک فاز آرام زمین ساختی آلپی انتهایی (پاسادنین) می باشد. در منطقه مورد مطالعه چندین گسل بزرگ و کوچک وجود دارد (فریدی و حق فرشی، ۱۳۸۵).

ب- روش شناسی:

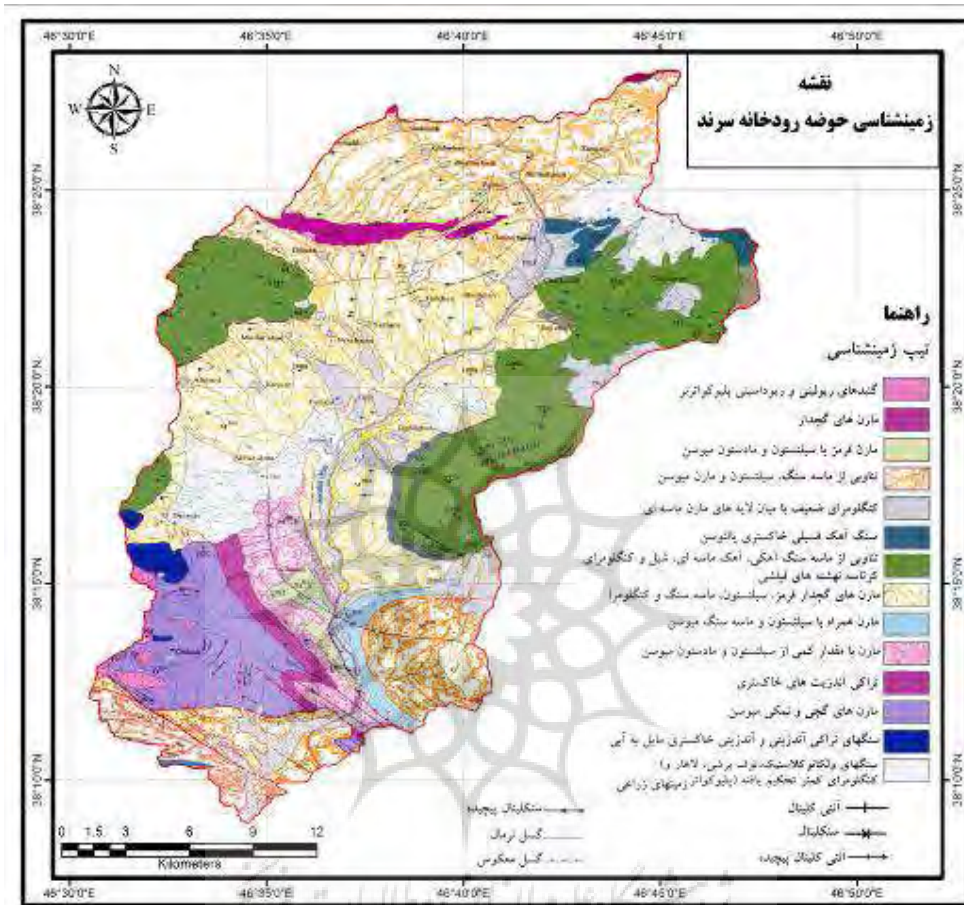
در این پژوهش، برای ترسیم نقشه سائزموکتونیک منطقه از تصاویر ماهواره ای Landsat 7، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خواجه و داده های لرزه نگاری دستگاهی زمین لرزه های اخیر منطقه اهر - ورزقان از شبکه لرزه نگاری سازمان ژئوفیزیک دانشگاه تهران (شامل کانون، بزرگی و عمق) استفاده شد. رومرکز زمین لرزه های بزرگتر از ۴ ریشتر در منطقه از سال ۱۳۸۴ تا زلزله ۱۳۹۱ که به تعداد ۵۳ مورد بود، انتخاب و سپس با در نظر گرفتن گسل های منطقه نقشه سائزموکتونیک ترسیم شد. برای شناسایی آثار و پدیده های ژئومورفولوژیکی ناشی از زلزله، بازدیدهای میدانی مکرر از منطقه انجام شد و با تصاویر ماهواره ای انطباق داده شد. موقعیت مکانی پدیده ها که از طریق GPS برداشت شده بود و یا از تصاویر ماهواره ای تشخیص داده شده بودند بر روی نقشه مخاطرات جانمایی شدند. در نهایت نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش های لرزه ای در حوضه سردچای ترسیم شد. این نقشه مناطقی را که می تواند بوسیله زمین لغزش در طی یک زمین لرزه با بزرگی ۶/۳ ریشتر متاثر شود را نشان می دهد. برای ترسیم این نقشه از نه عامل موثر شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، زهکشی آبراهه ها،



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه سرند چای در استان آذربایجان شرقی
منبع: (نگارندگان)



شکل ۲: ارتفاعات شرقی آبخلی در بخش میانی حوضه سرند چای
منبع: (نگارندگان)



شکل ۳: نقشه زمین شناسی حوضه آبریز سرندچای

منبع: (نگارندگان)

لیتولوژی و عامل لرزه ای شامل عمق، شدت و کانون زمین لرزه ها و فاصله از گسل اصلی استفاده شد. همچنین از روش آماری دو متغیره و مدل شاخص وزنی (Wi) استفاده شد (خو و همکاران، ۲۰۱۲؛ سپوترا^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). شاخص وزنی (Wi) یک مقدار وزنی برای یک کلاس عامل هست و بصورت لگاریتم درصد مساحت زمین لغزش های هر کلاس (LAP) بر درصد مساحت زمین لغزش های کل منطقه بدست می آید (رابطه ۱).

$$LAP\ Wi = Ln \left(\frac{Area(L_i)}{Area_{all}} \right) / \ln \left(\frac{Area(L_{all})}{Area(N_{all})} \right) \quad (1)$$

¹- Saputra

Wi وزن کلاس عامل را نشان می دهد. LAP_{class} درصد مساحت زمین لغزش در کلاس عامل، LAP_{all} درصد مساحت زمین لغزش های کل منطقه، (L_i) Area مساحت زمین لغزش در یک کلاس معین، (N_i) Area مساحت کلاس، (L_{all}) Area مجموع مساحت زمین لغزش در یک منطقه و (N_{all}) Area مجموع مساحت کل منطقه را نشان می دهند. مقادیر (Wi) کلاس های هر عامل موثر که به ترسیم نقشه های وزنی منجر شده، همپوشانی داده شده و شاخص خطر زمین لغزش (LHT) ایجاد شد.

$$LHI = WiElevation + WiSlope + WiAspect + WiLithology + WiDisFromDrainages + WiEpicenter + WiDisFromFault + WiEarthquakedepth + WiEarthquakeintensity \quad (2)$$

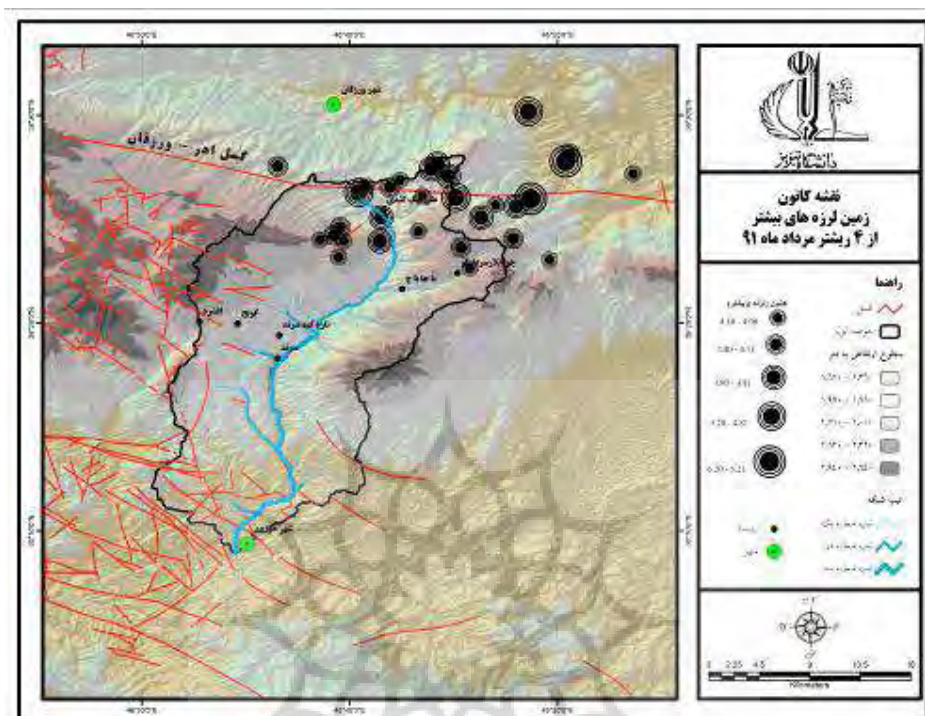
مقادیر شاخص در ۵ طبقه خطر، تقسیم شده و نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش های لرزه ای ترسیم شد. در نهایت با نقشه پراکنش زمین لغزش ها تطبیق داده شد.

نتایج و بحث

در پهنه رومرکزی زلزله های اهر- ورزقان در مدت زمان حدود ۱۳۰۰ سال گذشته که تاریخچه مستند از آن در دسترس است هیچ زمین لرزه شدیدی گزارش نشده بود (زارع و همکاران، ۱۳۹۱). در این زمینه، شکل (۴) وضعیت لرزه خیزی (زلزله های بزرگتر از ۴ ریشتر) این منطقه را در طی سال های ۱۳۸۴ تا اول مردادماه ۱۳۹۱ نشان می دهد. چنانچه مشخص است بزرگترین زلزله ها در سال های اخیر ۴/۶ ریشتر می باشند. ولی در ساعت ۱۶ و ۵۳ دقیقه و ۱۷ و ۴ دقیقه روز اول مرداد ماه ۱۳۹۱ دو زلزله به بزرگی ۶/۴ و ۶/۳ ریشتر در منطقه اهر - ورزقان روی داد. این زلزله بیش از ۳۰۰ نفر کشته و ۲۰۰۰ نفر مجروح داشت. با توجه به توزیع پس لرزه ها سازو کار کانونی محاسبه شده گسل مسبب زمین لرزه اصلی، گسلی امتداد لغز از نوع چپگرد با روند شمال شرق - جنوب غرب و به طول حدوداً ۲۰ کیلومتر می باشد که به فاصله ۱۵ کیلومتری غرب اهر قرار گرفته است (داودی و همکاران، ۱۳۹۱).

بر اساس بازدیدهای میدانی از منطقه زلزله زده، مخاطرات ناشی از زلزله، شامل وقوع انواع حرکات دامنه ای، گسیختگی زمین (ایجاد شکاف در سطح زمین)، نوسانات سطح آب های زیرزمینی، روانگرایی و غیره می شود. در اثر لرزش شدید و ناگهانی زمین، مسکن روستایی حوضه سرندچای و پیرامون آن که در امتداد گسل زمین لرزه ای ورزقان - اهر قرار داشتند بشدت تخریب شدند. بطوری که روستاهای میرزاعلی کندی، شخملو، چخماخ بولاغ علیا، زنگ آباد صددرصد تخریب شدند. تعداد زیادی از اهالی روستاهای مورد مطالعه منطقه کشته و مجروح شدند. ویرانی بقیه روستاها نیز بیش از ۷۰ درصد تخمین زده شد و خسارت زیادی به روستائیان تحمیل کرد.

یکی از پدیده هایی که بلافاصله بعد از لرزش زمین در منطقه رخ داد وقوع انواع حرکات دامنه ای در منطقه بود. بزرگترین لغزش شناسایی شده ناشی از زلزله ورزقان لغزش بلوکی سنگی در مسیر جاده باجه باجه به چوپانلار می



شکل ۴: نقشه لرزه خیزی حوضه سرنند چای و پیرامون آن
منبع: (نگارندگان)

باشد. این لغزش بلوکی سنگی بزرگ در میانه مسیر روستای باجه باج به چوپانلار رخ داده است (شکل ۵). این زمین لغزش لغزش با ارتفاع پرتگاه ۵ متر، عرض ۶۰ متری و طول حداکثری ۹۵ متر باعث جابجایی مساحتی در حدود ۳۵۰۰ متر مربع گردیده است. سنگ لغزش در کنار جاده خواجه به اهر بعد از خروجی روستای زنجیر بلاغ، سنگ لغزش در کنار جاده سد ستارخان، ریزش سنگی در جنوب روستای گورا دره، ریزش سنگی در یک و نیم کیلومتری شمال غرب روستای گمند، ریزش سنگی در نزدیکی روستای شیخ رجب نمونه های دیگری از وقوع زمین لغزش ها در منطقه مورد مطالعه پس از وقوع زلزله می باشند (مهدوی فر و معماریان، ۱۳۹۱). با توجه به استعداد بخش های زیادی از منطقه، لغزش بلوکی خاکی در مسیر روستای باجه باج به چوپانلار (در کنار چشمه)، لغزش بلوکی خاکی در ۳ کیلومتری شمال شرق روستای چوپانلار و لغزش بلوکی خاکی در نزدیکی روستای کروویق از پدیده هایی است که پس از زلزله اتفاق افتاده اند (شکل ۵).

جریان های واریزه ای از جمله حرکات دامنه ای هستند که بوفور در منطقه قابل مشاهده می باشند و بعد از زلزله به تعداد زیاد اتفاق افتاده اند. در اثر وقوع این پدیده حجم زیادی از مواد دامنه ای به پایین دامنه حرکت کرد. جریان واریزه ای جاده اصلی تبریز- ورزقان نزدیک سه راهی روستا زنگ آباد یکی از مواردی بود که به گفته رهگذران و



شکل ۵: لغزش بلوکی خاکی در ۳ کیلومتری شمال شرق روستای چوپانلار و سنگ لغزش در جاده سد ستارخان اهر

کشاورزان آن روستا، مواد دامنه‌ای با صدای مهیبی به سمت پایین دامنه حرکت کردند. در منطقه روستای قلعه لر نیز این پدیده بیشتر دیده می‌شود. در اطراف روستای گویدرق نیز مواردی از وقوع جریانات واریزه‌ای دیده شده است. شدت وقوع جریان‌های واریزه‌ای با صدای مهیب، لحظاتی بعد از زلزله در روستاهای قشلاق علیا موجب از بین رفتن دید کافی گردید و خسارت‌هایی را در روستا به باغات و زمین‌های زراعی ایجاد کرد (شکل ۶). وقوع ریزش و لغزش سنگ در دامنه‌های ارتفاعات منطقه بعد از زلزله، یکی دیگر از حرکات دامنه‌ای می‌باشد. همچنین وقوع لغزش‌های سطحی و لغزش‌های قدیمی که مجدد فعال شده‌اند در برخی نواحی مانند روستای نصیرآباد و در جنوب غرب روستای ساری یارقان بوفور وجود دارد.



شکل ۶: جریان‌های واریزه‌ای در نزدیکی روستای قشلاق علیا و جریان‌های واریزه‌ای در نزدیکی روستای قلعه لر منبع: (نگارندگان)

اثرات ناشی از حرکات زمین بصورت گسیختگی در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. بطوری که در اثر زلزله، شکافهایی در پوسته زمین ایجاد شد. این شکافها و گسیختگیها، گاهی بصورت شعاعی از یک مرکز می‌باشد اما بیشتر بی‌نظم بوده و در جهات مختلف پراکنده است. شکافها در دامنه‌کوهها در جهت دامنه و در کرانه و در طول آنها ایجاد شده است. پهنای گسیختگیها از ۲۰ سانتیمتر تا ۱۵ متر هم مشاهده شده است و طول آنها از ده

ها تا حتی صدها متر هم رسیده است. این گسیختگی‌ها در برخی از مناطق موجب تخریب جاده شده و یا در زمین های زراعی در سطح زمین دیده می شوند. در این مورد می توان به گسیختگی زمینهای زراعی روستاهای میرزا علی کندی و شیخملو اشاره کرد. گسیختگی زمین در دامنه ها، احتمالا وقوع لغزش های بزرگتری را در آینده در پی خواهد داشت. این روستاها در منطقه ای واقع شده اند که واحدهای سنگی آن اغلب از مارن و ماسه سنگها تشکیل شده اند. گسیختگی بزرگ دیگری در قطور نزدیکی روستای قلعه لر بعد از زلزله باعث شکافته شدن زمین و بالا آمدگی یک قطعه نسبت به قطعه دیگر شده است. در نزدیکی روستای زنگ آباد در دامنه های مشرف به جاده تبریز- ورزقان نیز گسیختگی های ممتد در روی دامنه دیده می شود. اثر زلزله در روستای چوبانلار شامل جابجایی راستگرد همراه با بالا آمدگی قطعه شمالی، گسیختگی زمین و وقوع لغزش بوده است (شکل ۷).



شکل ۷: ایجاد گسیختگی در سطح زمین در نزدیکی روستای قلعه لر (راست) و نزدیک روستای زنگ آباد منبع: (نگارندگان)

یکی دیگر از پدیده های ناشی از حرکات لرزشی زمین در منطقه مورد مطالعه، نوسان سطح آبهای زیرزمینی و برونزد آبهای زیر قشری از دامنه ها است. ظهور آبهای زیر قشری به وفور در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه دیده می شود (شکل ۸). حتی بعضی از چشمه ها که خشک شده بودند، مجدد بعد از زلزله، دارای آب شده اند. در بعضی از مناطق مورد مطالعه آب زیاد شده است و حالت عکس این مسئله نیز در منطقه رخ داده است. در خیلی از روستاها که در ارتفاعات قرار دارند مانند روستای علی آباد، آب چاهها یا چشمه ها خشک شده است. روستاهایی که آب آنها زیاد شده است، نسبت به روستا های دیگر در ارتفاع پایینی قرار دارند. در نزدیکی روستای قلعه لر، بالا آمدن آب های زیرزمین در بخشی از زمین از پدیده هایی است که بعد از وقوع زلزله اتفاق افتاد. با توجه به این موضوع که یکی از عوامل مهم رخداد زمین لغزش نقش آب در شیب ها می باشد، در اغلب نقاط مستعد که در اثر زلزله آبهای زیرقشری نوساناتی را در دامنه ها داشته اند، بدلیل مرطوب شدن سازندها، زمین لغزش اتفاق افتاده است. برای مثال، در نزدیکی روستای مقصودلو، پس از زلزله و ظهور آب های زیر قشری در پایین دست دامنه، در چندین نقطه زمین لغزش رخ داده است (شکل ۸).



شکل ۸: برونزد آب‌های زیرقشری در دامنه‌های منطقه (راست) و ایجاد زمین لغزش در اثر برونزد آب‌های زیرزمینی پس از زلزله در نزدیکی روستای مقصودلو (چپ) منبع: (نگارندگان)

روانگرایی پدیده دیگری است که تحت تاثیر زلزله در مناطق پست و در نزدیکی رودخانه‌ها بر اثر هم ریختن ناگهانی ساختار خاکهای ماسه‌ای و سیلتی رخ داد. این پدیده پس از زلزله اهر - ورزقان در محدوده‌های روستای مرجانلار، دشت لوریک در نزدیکی روستای گمند، دشت نوشام در نزدیکی روستای گمند و محدوده روستای کرویق دیده شد (شکل ۸). در جریان زلزله و بر اثر حرکت ذرات خاک ریزدانه با نفوذپذیری متوسط در کنار روانگرایی پدیده گسترش جانبی خاک نیز اتفاق افتاد، مهمترین گسترش جانبی با طول ۱۰۰ متر و عرض ۸ متر و گسترش ترک‌ها تا فاصله ۲۰ متری رودخانه در دشت نوشام در محدوده روستای گمند می‌باشد. همچنین در جنوب روستای شیخ رجب و در کناره رودخانه گسترش جانبی دیگری دیده می‌شود (شکل ۹).



شکل ۹: پدیده روانگرایی و بیرون زدن ماسه از زمین در محدوده روستای مرجانلار (راست)، گسترش جانبی در دشت نوشام در محدوده روستای گمند (چپ) (مهدوی فر و معاریان، ۱۳۹۱)

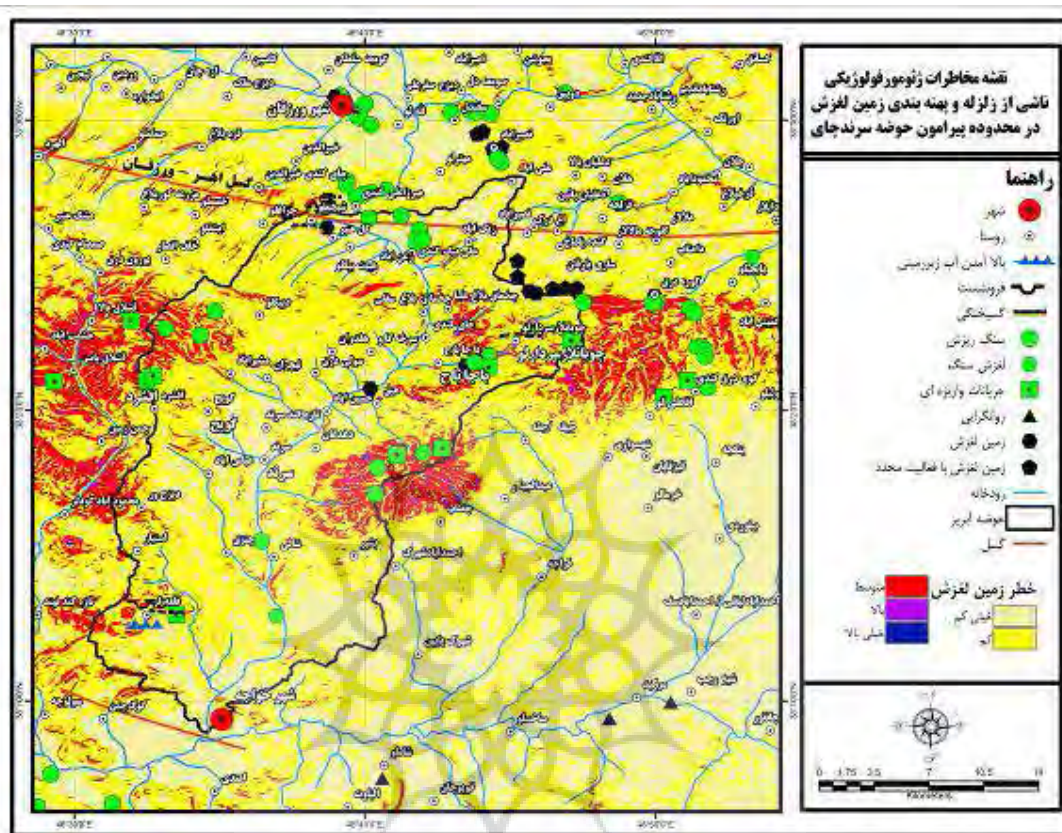
یکی دیگر از پدیده‌هایی که در اثر زلزله اهر - ورزقان در منطقه ایجاد شد تشکیل فروچاله‌های دایره‌ای بزرگ در نزدیکی روستای مرجانلار، در بستر رودخانه در محل پل ورودی به روستای مرکید و در نزدیکی روستای قلعه لرمی باشد (شکل ۱۰). فروچاله واقع در بستر رودخانه قطری در حدود ۲ متر و فروچاله دیگر از محل ترک‌های اصلی

قطری در حدود ۱۰ متر داشت. فروچاله قلعه لر نیز دارای قطری بیش از ده متر بود. عمق این فروچاله در حدود ۳ متر برآورد گردید.



شکل ۱۰: فروچاله بستر رودخانه در محل پل ورودی به روستای مرکید (راست) و فروچاله نزدیکی روستای قلعه لر (چپ) منبع: (نگارندگان)

شکل (۱۱) پدیده ها و مخاطرات ناشی از زلزله را در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد. این پدیده ها براساس بازبدهای میدانی و تصاویر ماهواره ای در روی نقشه ترسیم شده است. همچنین از نظر اهمیت وقوع زمین لغزشها بعد از زلزله به پهنه بندی زمین لغزشهای لرزه ای در حوضه سرندچای و پیرامون آن پرداخته شد. نقشه پهنه بندی نشان می دهد، بیش از ۸۶ درصد این پدیده ها در مناطق با خطر متوسط تا بالا رخ داده اند. اغلب سنگ ریزشها و لغزشها و جریانات واریزه ای در دامنه ارتفاعات غربی و کوه دیبکلو در شمال غربی و دامنه های ارتفاعات شرقی حوضه سرندچای مانند کوه آیناخلی دیده می شوند. لغزش انتقالی و بلوکی خاک نیز اغلب در دامنه های دره ای سرندچای بویژه در بالادست حوضه مشاهده می شوند.



شکل ۱۱: مخاطرات ناشی از زلزله و پهنه بندی زمین لغزش در حوضه سردچای و پیرامون آن

نتیجه گیری

شدت در پهنه رومرکز زمین لرزه اهر - ورزقان، در شهر ورزقان و روستاهای آن VIII، در شهر اهر VII، در شهر هریس VI و در تبریز V برآورد شد. این زلزله تلفات انسانی و زیان های مالی زیادی را ببار آورد. علاوه بر خسارتهای ذکر شده طی زلزله اهر - ورزقان زمین لغزشهای بسیاری رخ داد، که از مهمترین انواع آن می توان به لغزشها و ریزشهای سنگی، لغزش خاک، جریان های وارزه ای و غیره اشاره نمود. منطقه مورد مطالعه، به دلیل وجود سازندهای حساس و کم مقاوم (مانند سازندهای نئوژن) از نظر وقوع زمین لغزش پتانسیل بسیار بالایی دارد. وجود تعداد زیادی از زمین لغزشهای بزرگ و قدیمی در این منطقه موید این موضوع می باشد. بزرگترین لغزش شناسایی شده ناشی از زلزله اهر - ورزقان، لغزش بلوکی سنگی در مسیر جاده باجه باج به چوپانلار می باشد. همچنین برخی از زمین لغزشهای قدیمی مانند روستای نصیرآباد پس از زلزله مجدد فعال شدند. نقشه پهنه بندی زمین لغزشهای لرزه ای نیز نشان می دهد که در صورت وقوع زلزله ای با قدرت ۶/۴ ریشتر، ۷ درصد مساحت منطقه در پهنه با خطر کم، ۵۱ درصد در پهنه با خطر متوسط، ۳۵ درصد در پهنه با خطر زیاد، ۷ درصد در پهنه با خطر خیلی زیاد از نظر وقوع

انواع زمین لغزش ها قرار دارند. با انطباق زمین لغزش های رخ داده با نقشه پهنه بندی معلوم می شود که انواع پدیده ها با پهنه متوسط و زیاد خطر منطبق هستند.

پدیده هایی مانند گسیختگی زمین، روانگرایی، تشکیل فروچاله، برونزد آب های زیرقشری، گسترش جانبی و غیره از دیگر مخاطراتی هستند که حوضه سرندچای و پیرامون آن را پس از زلزله تهدید کردند. بارزترین پدیده در این منطقه ایجاد شکافها طولی ممتدد و گسیختگی زمین با پهنای ۲۰ سانتیمتر تا ۱۵ متر از دامنه کوهها تا زمینهای زراعی می باشد که سبب تخریب خاک و زمین های زراعی گشته است. ایجاد این درزها و شکافها در خاک سطحی می تواند زمین لغزش های بعدی را در آینده در زمینهای شیبدار بدنبال داشته باشد.

منابع

- داودی، محمد، کلاتری، افشین، مصطفی زاده، مهرداد، (۱۳۹۱). گزارش فوری مقدماتی شناسایی مناطق زلزله زده اهر، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- زارع، مهدی، کلاتری، افشین، انصاری، انوشیروان، حق شناس، ابراهیم، داودی، محمد، مصطفی زاده، مهرداد، (۱۳۹۱). گزارش شناسایی مقدماتی زمین لرزه های دوگانه اهر- ورزقان، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران.
- فریدی، محمد، حق فرشی، عنایت اله، (۱۳۸۵). گزارش نقشه زمین شناسی خواجه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین شناسی شمال غرب کشور.
- مهدوی فر، محمدرضا، معاریبان، پرهام، (۱۳۹۱). گزارش شناسایی مقدماتی پدیده های ژئوتکنیکی ناشی از زلزله ورزقان، پژوهشگاه بیم المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. تهران.
- Allen, M.G.H., Khapp, B. (1988). Environmental Hazards, Earth surface processes, and landforms, 13(3): 193-292.
- Ayadi, A., Dorbath, C., Ousadou, F., Maouche, S., Chikh, M., Bounif, M. A., Megharoui, M. (2008). Zemmouri earthquake rupture zone (Mw 6.8, Algeria), Journal of Geophysical Research, 113:1-15.
- Bommer, J.J., Rodriguez, C.E. (2002). Earthquake-induced landslides in Central Americ, Engineering Geology, 63:189-220.
- Bonico, P., Galli, P., Naso, G., Pizzi, A. (2012). Zoning surface rupture hazard a long normal fault: Insight from the 2009 Mw 6.3 L'Aquila, Central Italy, Bulletin of the Seismological Society of America, 102 (3): 918-935.
- Bray, J.D., 2001. Developing mitigation measures for the hazards associated with earthquake surface fault rupture, Seismic Fault- induced Failures, 55-80.
- Chen, X.L., Zhou, Q., Ran, H., Dong, R., 2012. Earthquake – triggered landslides in southwest China, Nat. Hazards Earth Sys. Sci., 12:351-363.
- Collot, J., Marcaillou, B., Sage, F., Michaud, F., Agudelo, W., Charvis, D., Gutscher, M., Spence, G., 2004. Are rupture zone limits of great subduction earthquakes controlled by upper plate structures? Evidence from multichannel seismic reflection data acquired across the northern Ecuador southwest Colombia Margin, Journal of Geophysical Research, 109: 1-14.
- Di, B., Zeng, H., Zhang, M., Ustin, S, L., Tang, Y., Wang, Z., Chen, N., Zhang, B., 2010. Quantifying the spatial distribution of soil mass wasting processes after the 2008 earthquake in Wenchuan, China, Remote Sensing of Environment, 114: 761-771.
- Gorum, T., Fan, X.M., van Westen, C.J., Huang, R.Q., Xu, Q., Tang, C., Wang, G.H., 2011. Distribution pattern of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008 Wenchuan earthquake, Geomorphology 133, 152–167.
- Keefer, P., Neumayer, E., Plumper, Th., 2011. Earthquake propensity and the politics of Mortality prevention, World Development, 39(9): 1530-1541.
- Korup, O., 2010. Earthquake-triggered Landslides, spatial patterns and impacts, Coupled Seismogenic Geohazards in Alpine Regions (report), Swiss Federal Research Institutes WSL/SLF CH-7260 Davos, Switzerland.
- Lee, Ch., Huang, Ch., Lee, J., Pan, K., Lin, M., Dong, J., 2008. Statistical approach to earthquake – induced landslide susceptibility, Engineering Geology, 100: 43-58.
- Li, M., Zou, Z., Xu, G., Shi, P., 2015. Mapping Earthquake Risk of the World, Shi, P., and Kaspersen, R., (eds.), World Atlas of Natural Disaster Risk, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, and Beijing Normal University Press.

- Marano, K.D., Wald, D.J. Allen, T.I., 2010. Global earthquake casualties due to secondary effects: a quantitative analysis for improving rapid loss analyses, *Nat. Hazards*, 52:319-328.
- Parker, R.N. Hancox, G.T. Petley, D.N., Massey, C.I., Densmore, A.L. Rosser, N.J. 2015. Spatial distributions of earthquake – induced landslides and hillslope preconditioning in northwest South Island, New Zealand, *Earth Surf. Dynam. Discuss*, 3, 1-52.
- Saputra, A., Gomez, Ch., Hadmoko, D. S., Sartohadi, J., 2016. Coseismic landslide susceptibility assessment using geographic information system, *Geoenvironmental Disasters*, DOI 10.1186/s40677-016-0059-4.
- Veenema, T.G., 2013. *Disaster nursing and emergency preparedness*, Springer Publishing Company, LLC.
- Wang, G, Huang, ., Lourenço, S. D.N., Kamai, T., 2014. A large landslide triggered by the 2008 Wenchuan (M8.0) earthquake in Donghekou area: Phenomena and mechanisms, *Engineering Geology*, 182,148-157.
- Xu, Q., Zhang, S., Li, W.L., Van Asch, Th.W.J., 2012. The 13 August 2010 catastrophic debris flows after the 2008 Wenchuan earthquake, China. *Nat. Hazards Earth Sys. Sci.*, 12: 201-216.
- Xu, Ch., Xu, X., Yu, G., 2012. Earthquake triggered landslide hazard mapping and validation related with the 2010 Port-au-Prince, Haiti earthquake, *Disaster Advances*, 5 (4):1297-1304.
- Zhang, S., Zhang, L.M., Glade, T., 2014. Characteristics of earthquake- and rain-induced landslides near the epicenter of Wenchuan earthquake, *Engineering Geology*, 10,58-73.



Study of hazards induced by the Ahar-Varzeghan Earthquake in Sarand chai Basin and its Surrounding

Fariba Karami^{1*}, Maryam Bayati Khatibi², Shahram Maleki³

Received: 2016-05-04

Accepted: 2017-08-22

Abstract

An earthquake, generally considered being the most destructive and frightening of all forces of nature is a sudden rapid shaking of the earth caused by the breaking and shifting of rock beneath the earth's surface. More casualties and financial losses due to secondary effects of the earthquake and after they occur. Iran is seismically active country and frequent and destructive earthquakes reveal the fact in different parts of the country. For example, two severe earthquakes happened on Sunday 21 Mordad 1391 in areas of East Azerbaijan province. Earthquake magnitude were 6/4 and 6/3 on the Richter scale near the Varzeghan and Ahar. The epicenter of both quakes was at a depth of 10 kilometers underground. The earthquake strongly shook towns of Ahar, Haris, and Varzeghan. It created a lot of casualties and financial losses. This study tries to draw a map of seismicity in the Sarand Chai and around the area, using seismic data to Tehran University Geophysics Agency, satellite imagery review the evidence and Frequent field observations whit use Arc/GIS. Finally, It is zoning the risk of landslides in the area in the event of an earthquake with the strength of 6.4 on the Richter scale. The results of this study show, the hazard of the earthquake in Ahar - Varzeghan include shaking, the type of landslides (slides, rock falls, debris flows...), ground rupture, liquefaction, groundwater level fluctuations and etc., based on field observations of the region. The zonation map show, that in the event of an earthquake with a strength of 6.4 on the Richter scale, will be 7% of the area in the very high hazard zone, 35 % in the high hazard zone and 7 % of the area in the low hazard zone, in terms of landslides occurrence.

Keywords: Hazards Induced Earthquake, Landslide, Ground rupture, liquefaction, Ahar-Varzeghan Earthquake, Sarand chai Basin.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
رتال جامع علوم انسانی

^{1*}- Associate Professor of Geomorphology, Faculty of Geography and planning, Tabriz University

²- Professor of Geomorphology, Faculty of Geography and planning, Tabriz University, Tabriz, Iran

³- MA, Tabriz University, Tabriz, Iran