



ISSN 2345 - 4997

Earthquake effects on occurrence of slope instability Case Study (Khoye and Salmas Provinces)

Manijeh Ghahroudi Tali

Department of Physical Geography, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University.

m-Ghahroudi@Sbu.ac.ir

Article History:	Received: Mar 30, 2014	Reviewed: Apr 04, 2014
Revised: Apr 11, 2014	Accepted: Apr 12, 2014	Published: Apr 14, 2014

ABSTRACT

Khoye and Salmas provinces are located in seismically mountainous northwestern Iran. Study of causes of mass movements in the region indicated influence of earthquake stimulant. This study was done aimed to determine the effects of earthquake-induced on mass movement's instability in the provinces. The data were used included 1:25000 topographic and land use maps, railway, major faults, earthquake magnitude (Mw) during 1930 to 2008, Local magnitude of earthquake in 2000 (ML) and field work. Research method used in seismic zonation was exponential semi-variogram model with ordinary Kriging. Curvature, slope and distance of the fault variables were prepared respectively Curvature, Slope and Distance functions. Weighted Sum model was used to combine data and the validation was performed by variance analysis. The results were assessed based on railroads as structurally vulnerable. Finally, it was determined that the stimulatory the earthquake effect on the occurrence of mass movements and, especially landslides in slopes of Khoye and Salmas provinces and it increases in areas with the slope greater than 8 degree, the convexity terrain, close proximity to faults and earthquakes more than magnitude 4.

Keywords: Earthquake, Instability, Khoye and Salmas Provinces, Railway.

اثرات زلزله بر رخداد ناپایداری دامنه‌های مطالعه‌ی موردی (شهرستان خوی و سلماس)

منیژه قهرودی تالی

گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی (m-Ghahroudi@Sbu.ac.ir)

تاریخ داوری: ۱۳۹۳/۱/۱۵	تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۱۰	تاریخچه انتشار مقاله
تاریخ انتشار: ۱۳۹۳/۱/۲۵	تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱/۲۳	تاریخ اصلاحات: ۱۳۹۳/۱/۲۲

چکیده

شهرستان‌های خوی و سلماس در ناحیه کوهستانی و لرزه‌خیز شمال غرب ایران قرار دارند. بررسی علل حرکات توده‌ای در این منطقه، حاکی از نقش محرکی زلزله در رخداد آن است. این پژوهش با هدف تعیین اثر زلزله در ناپایداری ناشی از حرکات توده‌ای در شهرستان‌های خوی و سلماس انجام شده است. داده‌های مورد استفاده شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه کاربری، خطوط ریلی، گسل‌های اصلی، بزرگای زلزله‌های (Mw) سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۳۰، بزرگای زلزله‌های محلی سال ۲۰۰۰ (ML) و برداشت‌های میدانی بود. پهنه‌بندی لرزه‌خیزی براساس مدل نمایی سمی واریوگرام با روش کریجینگ معمولی بوده است. متغیرهای انحناء، شیب، فاصله از گسل به ترتیب با توابع Curvature، Distance، Slope تهیه شدند. ترکیب داده‌ها با استفاده از مدل Sum Weighted انجام شد. نتایج تحقیق بر اساس خطوط ریلی به عنوان سازه‌ای آسیب‌پذیر مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت مشخص شد که اثر محرکی زلزله بر وقوع حرکات توده‌ای به ویژه لغزش در بخش اعظم شهرستان‌های خوی و سلماس وجود دارد و در مناطق با شیب بیشتر از ۸ درجه، تحذب زمین، نزدیکی به گسل‌ها و وقوع زلزله بیشتر از ۴ ریشتر، افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: زلزله، ناپایداری، شهرستان خوی و سلماس، راه آهن.

۱. مقدمه

۱۹۹۸. شواهد اخیر حاکی از تحریک‌پذیری حرکات توده‌ای از زلزله است.

روش‌های ارزیابی پایداری دامنه‌ها در هنگام زلزله از اوایل قرن بیستم مورد توجه بوده است. اولین تلاش‌ها در این زمینه مربوط به پژوهش‌های ترزاگی در سال ۱۹۵۰ است که برپایه نیروهای مسبب زلزله و به هم خوردن تعادل دامنه انجام گرفته است. کی‌فر، زلزله را یکی از محرک‌های اصلی زمین‌لغزش می‌داند و مستندات زمین‌لغزش‌ها را از سال ۳۷۲ قبل از میلاد در کالیفرنیا بررسی نمود و از ۵۶ زمین‌لغزش، علت ۴۰ زمین‌لغزش را زلزله تعیین نمود. او براساس مطالعه ۴۰ زلزله تاریخی مسبب حرکات توده‌ای، آستانه شیب و بزرگای زلزله را برای انواع حرکات دامنه‌ای محاسبه نمود. او برای ریزش‌های سنگی و خاکی، شیب ۴۰ درجه و بزرگای ۴ و برای لند اسلاید، شیب ۳۵ درجه با همان بزرگای و برای دامنه‌های خاکی، آستانه شیب ۱۰ درجه را برآورد نمود (Keefer, D. 1984). گرانتهال و والس‌تورم در سال ۲۰۰۳ با اقتباس از کی‌فر، حداقل بزرگای زلزله محلی (ML) را برای حرکات دامنه‌ای را برآورد نمود (Grunthal, G. and Wahlstrom, 2003). برجستگی‌های توپوگرافی برشدت انتشار امواج زلزله در زمین تأثیر دارد. امواج زلزله از امواج اولیه، ثانویه و امواج سطحی ساخته شده است. امواج سطحی به دلیل حرکات نوسانی که در ذرات ایجاد می‌کنند، سبب لند اسلاید می‌شوند این امواج در پایه برجستگی‌ها متمرکز و تقویت می‌شوند و در توده سنگ‌ها و سطوح زمین پخش می‌شوند، بنابراین بزرگای زلزله در برجستگی‌ها افزایش می‌یابد (Meunier, P. et al., 2008). در این راستا دامنه‌ها به دو علت در اثر زلزله ناپایدار می‌شوند. اول اینکه باعث روانگرایی خاک‌های نرم مانند رس و سیلت می‌شوند و دوم، به علت شتاب گرانش ناپایدار می‌شوند زیرا امواج زلزله در شیب‌های بیشتر و در امتداد خطوط برجستگی‌ها بهتر پخش می‌شوند، البته جنس بستر نیز در آن نقش دارد (Meunier, P. et al., 2008). بنابراین روانگرایی و ناپایداری دامنه‌ای از مهمترین آسیب‌های ناشی از زلزله می‌باشد (Tyagunov, 2002).

فلات ایران از نظر زمین‌ساختی، یکی از فعال‌ترین مناطق جهان است و به عنوان بخشی از کمربند آلپ- هیمالیا، همواره لرزه‌خیزی زیادی را در طول تاریخ نشان داده است. بنابراین زمین لرزه در فلات ایران یکی از مهمترین مخاطرات طبیعی بوده و بر اثر بروز آن، خسارت‌های مالی و جانی زیادی بر جای مانده است (فتاحی، م و همکاران ۱۳۹۰) و (Hollingsworth, J. et al. 2006). همچنین ایران کشوری کوهستانی است و دارای ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی خاصی در دامنه‌ها و پایکوها است. مهمترین ویژگی آن حضور رسوبات ضخیم و منفصل باقی مانده از آخرین دوره یخبچالی می‌باشد که مستعد حرکات توده‌ای به ویژه لغزش است. اگرچه رخداد لغزش به عواملی مانند بارندگی زیاد و وجود چشمه‌های فراوان، جنس لایه‌های زمین و تأثیر گسل‌ها، هم جهت بودن شیب لایه‌ها با شیب دامنه و دخالت انسان بستگی دارد (Khazai, B. and Sitar 2004)، لیکن شواهد میدانی نشان می‌دهد زلزله مهمترین محرک ناپایداری دامنه‌ها می‌باشد. در سال ۲۰۰۸ زلزله با بزرگای ۷/۹ در ونچوان کشور چین رخ داد و طی آن بیش از ۱۵۰۰۰ زمین‌لغزش، ریزش جریان واریزه‌ها را ایجاد نمود و حدود ۲۰۰۰۰ کشته به همراه داشت (Yin, Y. et al. 2009). زلزله‌ای با بزرگای ۷/۶ ریشتر در ۱۸ اکتبر ۲۰۰۵ در کشمیر پاکستان اتفاق افتاد و ۲۴۰۰ لغزش را فعال ساخت (Sato, H. P. et al. 2007). همچنین حجم عظیمی از بهمن‌های واریزه‌ای را به سمت دهکده‌های پایین دست روان ساخت و ۱۰۰۰ تلفات ایجاد نمود (Dunning, S. et al. 2007). زلزله ۱۹۹۹ در چی‌چی تایوان با بزرگای ۷/۶، ۹۲۰۰ زمین‌لغزش در ناحیه به وسعت ۱۲۸ km² را سبب شد (Liao, H. W. 2000) و بزرگترین زمین‌لغزش آن (لنداسلاید تسولینگ) بود که ۱۲۵ میلیون متر مکعب سنگ را حرکت داد و ۳۹ نفر را کشت (Tang, C. L. et al. 2009). زلزله ۱۹۸۹ در لوما پریتا کالیفرنیا هزاران زمین‌لغزش را در ۱۵۰۰۰ کیلومتر مربع ایجاد نمود و ۲۰۰ خانه را ویران کرد، تعداد زیاد جاده و دیگر سازه‌ها را تخریب نمود و ۳۰ میلیون دلار امریکا خسارت وارد کرد (Keefer, D. and Manson 2002).

منطقه مورد مطالعه، با استفاده از روش پیشرفته کیکو - سلوول، (Kijko, A. and Sellevoll 1992) محاسبه شده است. این دو شهرستان در زون ۱۸ در دوره زمانی ۹۲-۱۹۲۴ با ویژگی‌های زیر قرار دارند (Tavakoli, B. et.al. 1999).

رابطه ۱: آهنگ رویداد سالیانه برای بزرگای سطحی

$$\beta = 1.61 - 0.12(b = 0.68 - 0.05), \lambda = 1/0.5 \quad (1)$$

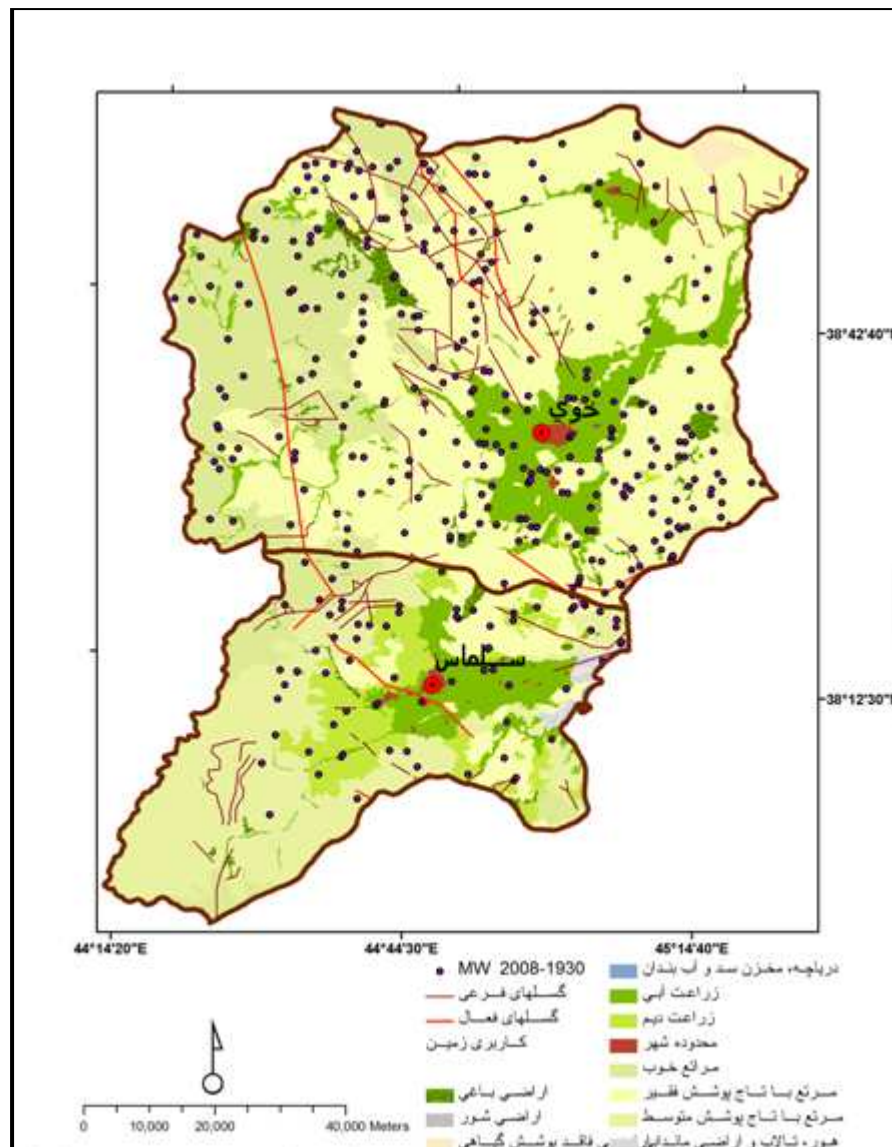
رابطه ۲: حداکثر بزرگای قابل انتظار از نظر آماری

$$M_{\max} = 7/9 - 0/4 \quad (2)$$

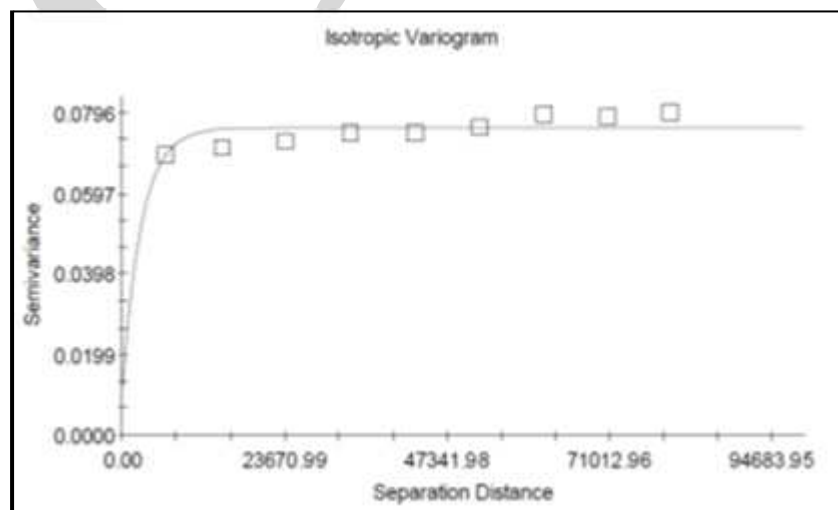
۲. مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های رقومی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه کاربری شهرستان خوی و سلماس مربوط به سال ۱۳۸۵، خطوط ریلی موجود در محدوده مورد مطالعه، گسل‌های مستخرج از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، بزرگای زلزله‌های (M_w) سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۳۰، بزرگای زلزله‌های محلی مربوط به سال ۲۰۰۰ (ML) و برداشت‌های میدانی بود. شکل (۱) پراکنش داده زلزله، گسل‌های محدوده مورد مطالعه و کاربری‌های موجود در شهرستان خوی و سلماس را نشان می‌دهد. همچنان که در این شکل مشاهده می‌شود، زلزله‌های ثبت شده در کل محدود مورد مطالعه پراکنش مناسبی دارد. تعداد زلزله‌های مورد استفاده (M_w) در منطقه شامل ۶۱۴ عدد بود که مدل سمی واریوگرام آن تهیه شد. سپس ۱۰ درصد از نقاط که معادل ۶۹ عدد بود برای صحت‌سنجی به روش تصادفی جدا شد و با سایر داده‌ها تحلیل واریوگرافی انجام شد. براساس عناصر مدل سمی واریوگرام آن که نمایی بود، با روش کریجینگ معمولی درون‌یابی شد. شکل (۲) مدل سمی واریوگرام داده‌های زلزله را نشان می‌دهد که واریانس تصادفی آن ۰/۱۷۷۰، حداکثر واریانس آن ۰/۰۷۵۹ و دامنه تغییرات آن ۲۸۰۰ متر می‌باشد.

در خصوص اثرات زلزله در ناپایداری دامنه‌ای در ایران نیز تحقیقاتی انجام شده است. از جمله، محمودیان در سال ۱۳۷۷ حرکات دامنه‌ای در یک منطقه زلزله زده را ارزیابی نمود، علت تخریب و خسارات وارده را علاوه بر موج لرزه‌ای در برخی نقاط به علت وقوع حرکات دامنه‌ای (زمین لغزش‌ها) در پی وقوع زمین‌لرزه ۳۱ خرداد ۱۳۹۶ منجیل دانسته است (محمودیان، ب. ۱۳۷۷). ایلدرمی و میرسنجری در سال ۱۳۸۹ ضمن ارزیابی ریسک پذیری و تأثیر مخاطرات موجود، درجه خطر و وسعت مناطق ناپایدار در شهر همدان را محاسبه کرده است. فخرایی و همکاران براساس مطالعه چشمه‌های لرزه‌زا و بررسی پیشینه لرزه‌خیزی با استفاده از روش کیکو - سلوول در گستره ۲۵۰ کیلومتری سد خاکی ورزقان میانه به بررسی لرزه خیزی و لرزه‌زمین‌ساخت پرداخته است. استفاده از تکنیک‌های درون‌یابی برای تهیه نقشه‌های هم‌ارزش که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است نیز در مطالعات زلزله توسط قره و همکاران در سال ۱۳۸۸ به کار رفته است. هدف این پژوهش تعیین اثر محرکی زلزله بر وقوع ناپایداری در شهرستان‌های خوی و سلماس است. این دو شهرستان در منطقه کوهستانی آذربایجان غربی قرار دارند و شاهد زلزله‌های متعددی در تاریخ خود بوده‌اند. از جمله زلزله بزرگ و مخرب سال ۱۳۰۹ (۱۹۳۰ میلادی) سلماس که یکی از مخربترین زلزله‌های منطقه آذربایجان محسوب می‌گردد. این زلزله موجب تخریب کامل دیلمقان و حدود شصت روستا در دشت سلماس و مناطق حاشیه آن و کشته شدن ۲۵۰۰ تا ۴۰۰۰ نفر شده است. این دو شهرستان از نظر واحدبندی لرزه‌زمین‌ساخت در ناحیه لرزه‌خیز ایران قرار دارند. البته قدمت واحدبندی لرزه‌زمین‌ساخت ایران به مطالعات اشتوکلین (۱۹۶۸)، تکین (۱۹۷۲) و بربریان (۱۹۷۶) می‌رسد، لیکن یکی از واحدبندی‌های لرزه‌زمین‌ساخت جدید در مقیاس ایران، طی گزارشی از طرف پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله منتشر شده است که براساس آن محدوده مورد مطالعه در زون ۱۸ و از نواحی لرزه خیز با شدت زیاد می‌باشد، در این گزارش پارامترهای لرزه خیزی، ضرایب β و λ (آهنگ لرزه خیزی) و تعیین حداکثر بزرگای پذیرفتنی (M_{\max})، در



شکل ۱. کاربری، گسل‌ها و زلزله‌ها (Mw)، در شهرستان‌های خوی و سلماس



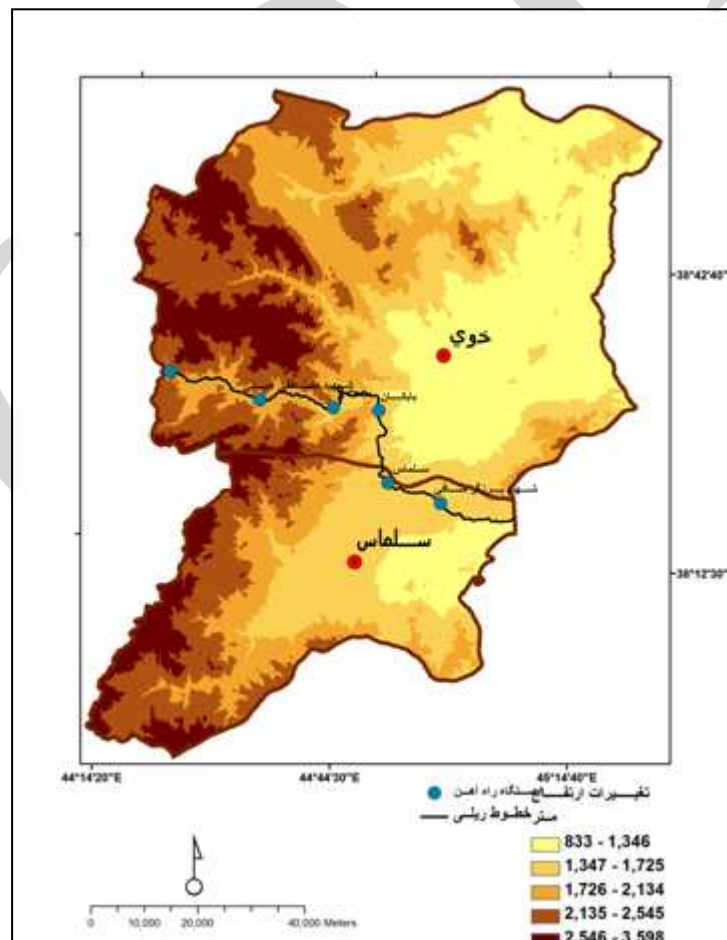
شکل ۲. مدل واریوگرام داده‌های زلزله (سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۳۰)

استفاده شد. به دلیل تأکید بر اثر تشدید کنندگی برای ترکیب داده‌ها از مدل جمعی - وزنی استفاده شده است. برای ارزیابی کمی نتایج پژوهش تحلیل واریانس و ارزیابی کیفی آن خطوط ریلی انتخاب شدند، خطوط ریلی از آن جهت انتخاب شدند که بیش از هر سازه‌ای در مقابل ناپایداری دامنه‌ها آسیب‌پذیر هستند. بنابراین به کمک کارشناسان ناحیه راه‌آهن آذربایجان خطوط ریلی موجود در محدوده مورد مطالعه مورد بازدید قرار گرفت و سوابق حرکات توده‌ای و زلزله در خطوط فوق براساس اطلاعات مرکز تحقیقات راه‌آهن بررسی شد.

۳. بحث و نتایج

بررسی تغییرات ارتفاع نشان داد که حداکثر ارتفاع در این منطقه بیش از ۳۵۰۰ متر است و سرتاسر غرب ناحیه زمین‌های مرتفع می‌باشند (شکل ۳).

در این پژوهش شاخص‌ها یا عوامل توپوگرافی انتخاب شدند که به محرک‌های زلزله پاسخ می‌دادند. این عوامل با مطالعه پیشینه پژوهش به دست آمد. در این راستا با استفاده از داده‌های ارتفاعی با دقت ۱۰ متر، مستخرج از نقشه‌های رقومی توپوگرافی و به کمک تابع شیب و انحناء، میزان شیب و تحدب و تعقر محدوده مورد مطالعه محاسبه شد. سپس گسل‌های اصلی و تراستی از نقشه زمین‌شناسی استخراج گردید. برای تعیین اثرات زلزله بر وقوع ناپایداری دامنه‌ای در شهرستان خوی و سلماس از پارامترهای فاصله از گسل، میزان شیب، انحناء و پهنه‌بندی بزرگای زلزله‌های تاریخی و محلی استفاده شده است. به دلیل اثرات تخریبی گسل‌ها هنگام زلزله، از معکوس داده فاصله از گسل، به دلیل پخش گسترده‌تر امواج زلزله در دامنه‌های محدب، از انحناء زمین، به علت حساسیت شیب‌ها در وقوع حرکات توده‌ای هنگام زلزله، از میزان شیب و همچنین پهنه‌بندی بزرگای زلزله در تحلیل

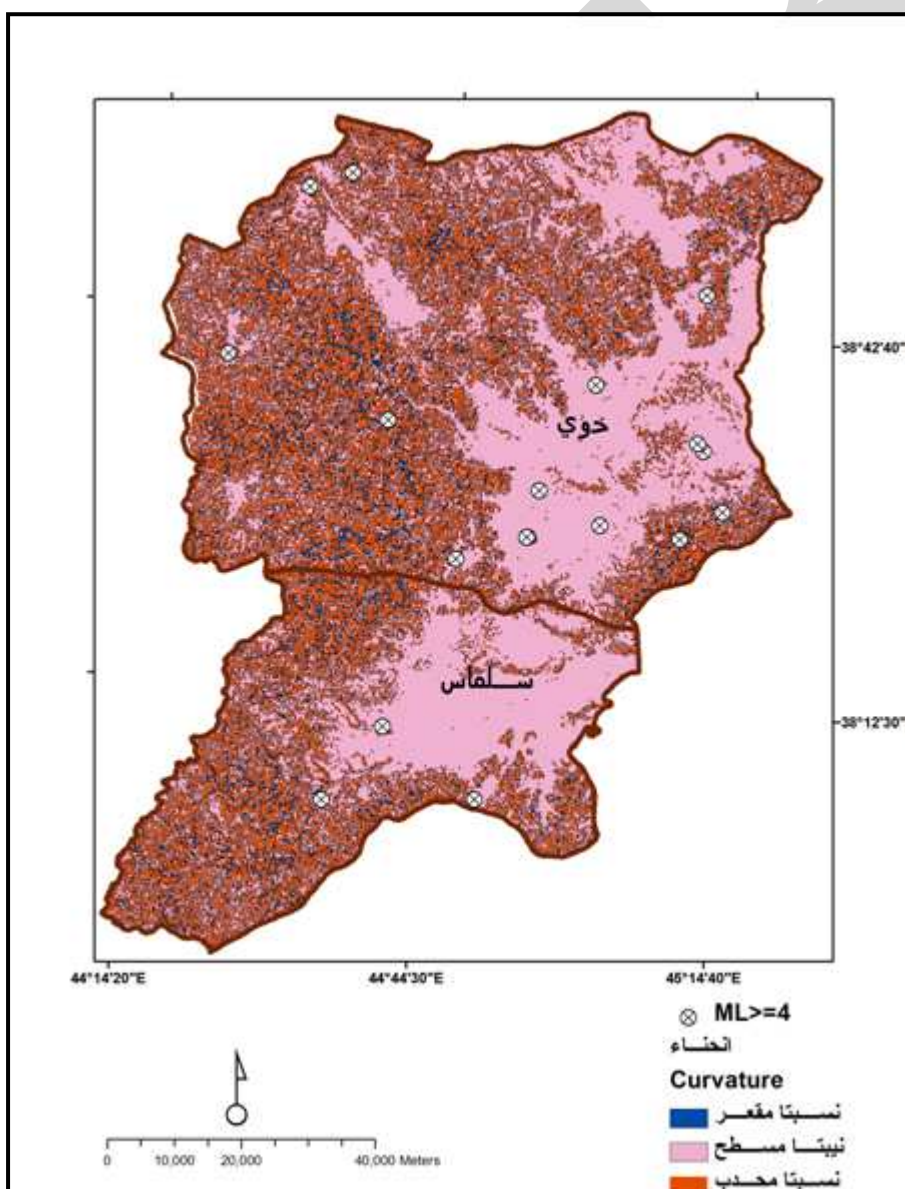


شکل ۳. تغییرات ارتفاع در شهرستان‌های خوی و سلماس

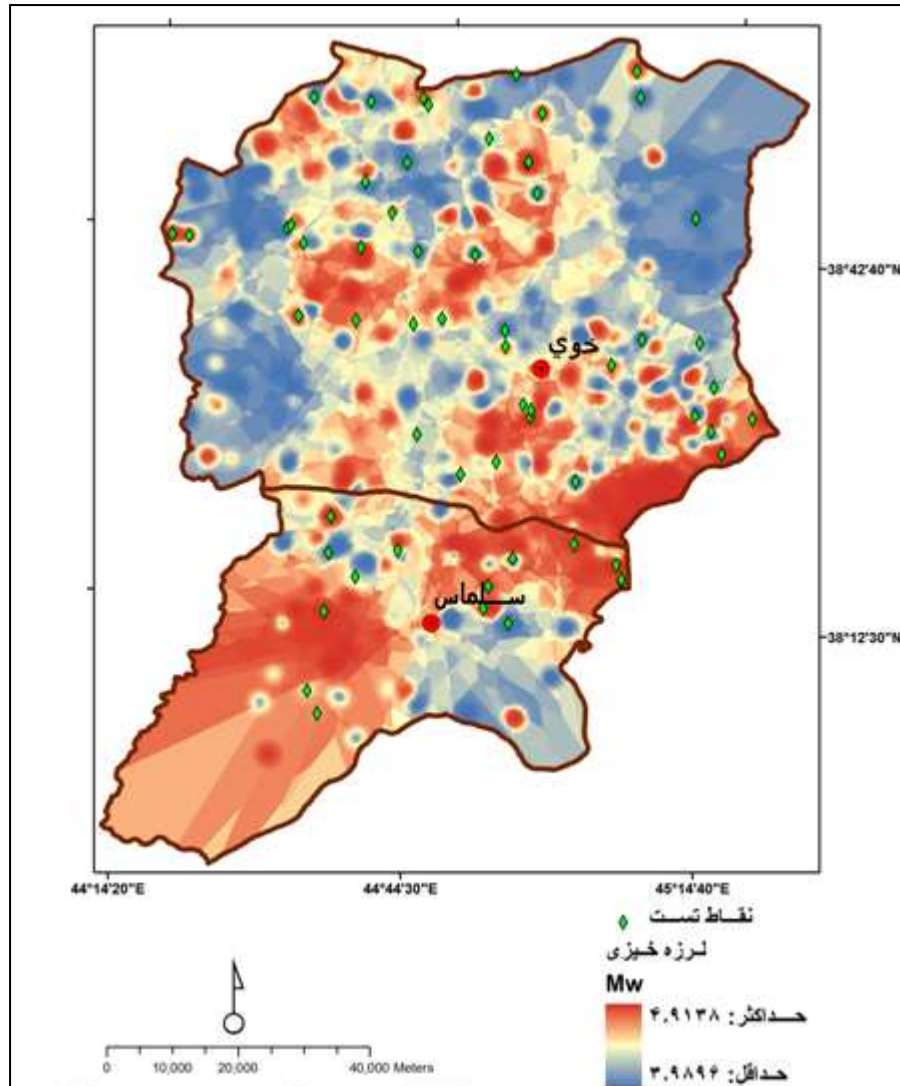
است. پهنه‌بندی زلزله‌های سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۳۰، بازه بین ۴.۹۱-۳.۹۸ را نشان می‌دهد.

شکل (۵) براساس عناصر مدل سمی واریوگرام و مدل کریجینگ با صحت‌سنجی ۱۰ درصد داده‌ها که در شکل مشخص است، محاسبه شده است. شکل (۶) نمودار متقابل داده ثبت شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد که رابطه خطی درجه ۳ بین آنها وجود دارد. نتایج حاصل از مدل جمعی-وزنی عوامل انتخابی در ۴ کلاس قرار گرفت. طبقه حداکثر ناپایداری ناشی از زلزله چندین پهنه را در محدوده مورد مطالعه نشان داد (شکل ۷).

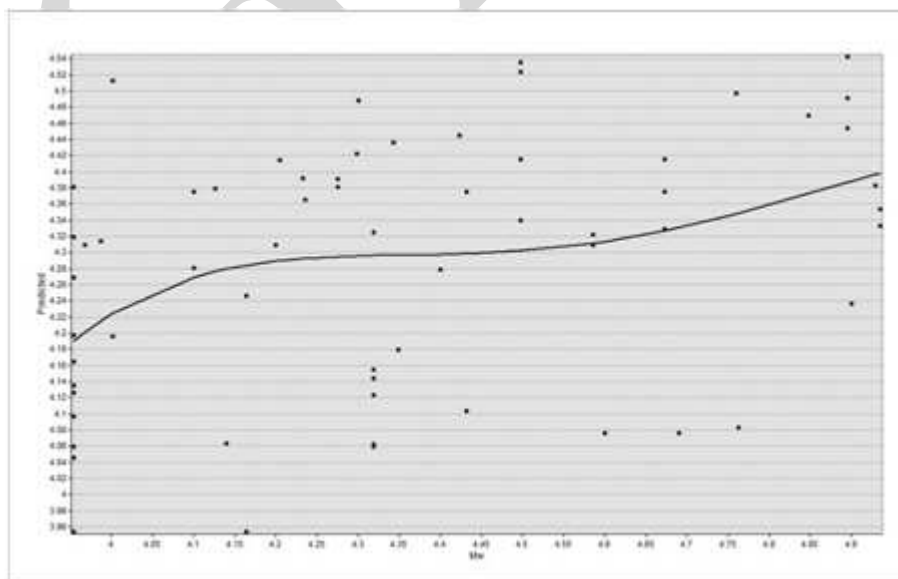
مقایسه شکل اخیر با نقشه انحناء زمین حاکی از وجود حداکثر انحناء زمین به صورت تحدب و تعقر در زمین‌های مرتفع می‌باشد که امری بدیهی است، اما به دلیل نقش برجستگی‌ها بر شدت انتشار امواج زلزله و افزایش بزرگای زلزله در امتداد برجستگی‌ها (Meunier P. et al., 2008) از انحناء‌های محدب در مدل ناپایداری استفاده شد. شکل (۴) میزان انحناء زمین را نشان می‌دهد که برای نمایش بهتر، ضرایب محاسبه شده در سه طبقه قرار گرفته است. شکل اخیر پراکنش زلزله‌های محلی بزرگتر از ۴ ریشتر در سال ۲۰۰۰ را نیز نشان می‌دهد که بیش از نیمی از آنها در دامنه‌ها محدب رخ داده



شکل ۴. میزان انحناء زمین در شهرستان‌های خوی و سلماس



شکل ۵. پهنه‌بندی داده‌های زلزله (سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۳۰)

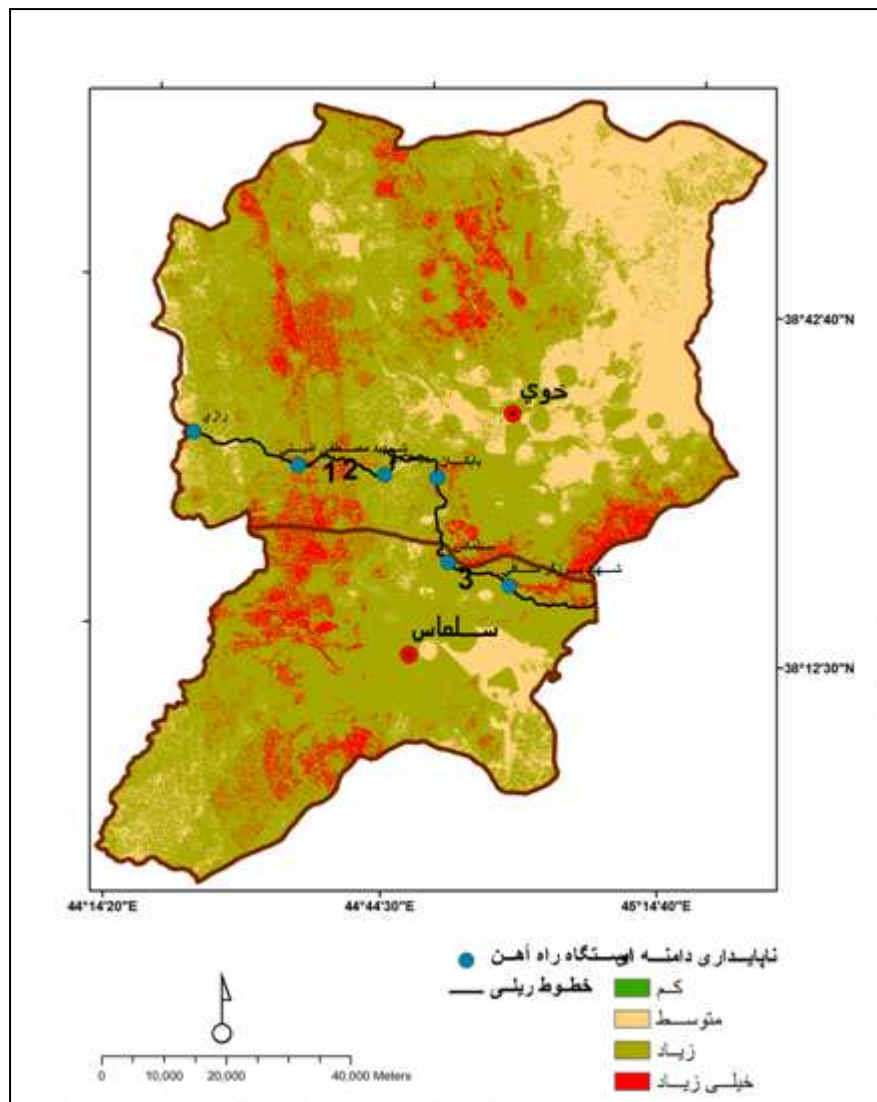


شکل ۶. مقایسه زلزله‌های ثبت شده با پیش‌بینی‌ها

شکل ۷ خطوط ریلی را نیز نشان می‌دهد. خطوط فوق توسط درزین با همکاری مرکز تحقیقات راه‌آهن و ناحیه راه‌آهن آذربایجان در آبان سال ۱۳۹۲ مورد بازدید قرار گرفت. در بخش اعظم مسیر این خطوط رسوبات ضخیم و دانه درشت که در بعضی از قسمت‌ها غلبه با املاح تبخیری بود، مشاهده گردید. در موقعیت ۱ (شکل ۷) براساس آمار مرکز تحقیقات راه‌آهن در اردیبهشت ۱۳۷۲ پدیده رانش زمین رخ داده است (شکل ۸) که به دلیل عدم ثبت دقیق وقوع رانش و لغزش‌ها تطابق زمانی آن با وقوع زلزله ممکن نیست اما در آن سال ۱۹ زلزله بالاتر از ۴ ریشتر در محدوده مورد مطالعه رخ داده است. در موقعیت ۲ رانش زمین در مرداد ماه ۱۳۸۸ سبب شکسته شدن خط و خارج شدن آن از محور شده است (شکل ۹) که در اواخر تیرماه سال بعد هم مجدداً این پدیده در ابعاد کوچکتر اتفاق افتاده است. با توجه به رخداد آن در فصل خشک و ثبت زلزله‌های تاریخی و دستگاهی بزرگتر از ۴ ریشتر، تحریک‌پذیری دامنه‌ها را در اثر زلزله نشان می‌دهد. در آبان ۱۳۹۲ مشاهدات متعددی از احتمال وقوع حرکات توده‌ای در خطوط ریلی برداشت گردید که نمونه‌ای از آن در ایستگاه سلماس در موقعیت ۳ در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود.

پهنه‌بندی تحریک‌پذیری ناپایداری در اثر زلزله در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که شکل اخیر نشان می‌دهد، بخش اعظم محدوده مورد مطالعه را پهنه‌های با شدت تحریک‌پذیری زیاد و خیلی زیاد در بر گرفته است. با توجه به نقش زلزله‌های با بزرگای ۴ ریشتر ($M_I=4, M_w=3.6$) در وقوع پدیده‌های ریزش و لغزش خاک (Grunthal, G. and Wahlstrom, 2003) و همچنین نقش برجستگی‌ها در شدت انتشار امواج زلزله (Meunier, P. et al., 2008)، نزدیکی به گسل‌ها در تحریک‌پذیری در اثر زلزله و نقش شیب توپوگرافی در کاهش مقاومت دامنه‌ها نسبت به حرکات توده‌ای، نتایج این تحلیل می‌تواند اثرات محرکی زلزله را در وقوع حرکات توده‌ای در شهرستان خوی و سلماس نشان دهد. چون در آزمون اعتبارسنجی پهنه‌بندی بزرگای زلزله از نقاط تست که ۱۰ درصد کل داده‌ها بود، استفاده شد. شکل (۵) پراکنش نقاط تست را نشان می‌دهد. برای آزمون نتایج نهایی نیز همان نقاط به کار گرفته شد. به این منظور برای متغیرهای میزان انحناء، فاصله از گسل، بزرگای زلزله و میزان ناپایداری دامنه‌ای جدول تطابق مکانی تهیه شد و آزمون واریانس یک طرفه بین آنها انجام شد، جدول (۲) نتیجه تحلیل واریانس را نشان می‌دهد. میزان F در متغیرها در سطح معنی‌داری، قابل قبول می‌باشد.

برطبق نقشه کاربری (شکل ۱) با وجود حضور دو شهر سلماس و خوی در محدوده مورد مطالعه، فقط ۴/۸۶ درصد از زمین‌های محدوده مورد مطالعه تحت قلمرو شهر است و بیش از ۴۶ درصد را مراتع فقیر پوشانده است. به طور کلی درصد مساحت مراتع خوب، متوسط و فقیر حدود ۸۰ درصد است. به دلیل اینکه بخش اعظم پهنه‌های مستعد ناپایداری با شدت زیاد و خیلی زیاد بر این مراتع انطباق داشت، لذا برای بررسی میدانی و ارزیابی یافته‌های تحقیق، انتخاب سازه‌ای مستقر بر روی دامنه‌ها ضروری بود. بنابراین خطوط ریلی به دلیل عبور از دامنه‌ها و آسیب‌پذیری نسبت به حرکات توده‌ای، انتخاب گردیدند. طول خطوط ریلی موجود در این دو شهرستان ۹۸.۵۹۲ کیلومتر می‌باشند و ۶ ایستگاه راه‌آهن را شامل است.



شکل ۷. اثرات زلزله در رخداد ناپایداری در شهرستان‌های خوی و سلماس

جدول ۱. آزمون تحلیل واریانس در نقاط نمونه

واریانس		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	(F)نسبت فیشر	(Sig.) معنی داری
انحناء	بین گروهی	۰.۹۰۷	۲	۱.۱۱۷	۱.۶۸۴	.00
	درون گروهی	۳۹.۰۹۳	۵۹	۰.۶۶۳		
	کل	۴۰.۰۰	۶۱			
فاصله از گسل	بین گروهی	۸E۷۸۹۰	۲	۸E۳۹۴۵	۱۲.۶۸۷	.00
	درون گروهی	۹E۱۸۳۵	۵۹	۷E۳.۱۱۰		
	کل	۹E۲۶۲۴	۶۱			
بزرگای زلزله	بین گروهی	۲.۳۱۹	۲	۱.۱۶۰	۱۷.۹۳۲	.00
	درون گروهی	۳۸۱۶	۵۹	۰.۰۶۵		
	کل	۶.۱۳۵	۶۱			



شکل ۸. رانش زمین و خالی شدن زیر خط در سال ۱۳۷۲ در موقعیت ۱



شکل ۹. رانش زمین و انحراف خط از محور در مرداد ۱۳۸۸ در موقعیت ۲



شکل ۱۰. پتانسیل لغزش در ایستگاه سلماس در موقعیت ۳ (تاریخ ۱۸ آبان ۱۳۹۲)

۴. نتیجه‌گیری

داشت. با توجه به سوابق لرزه‌خیزی و حداکثر بزرگای قابل انتظار از نظر آماری که ۷.۹ ریشتر است (Tavakoli, Bet.al. 1999)، توجه به افزایش مقاومت سازه‌ها در مقابل زلزله در این منطقه ضروری است.

تشکر و قدردانی

در این پژوهش مرکز تحقیقات راه‌آهن و ناحیه راه‌آهن آذربایجان در تهیه اطلاعات و بازدید میدانی همکاری نمودند که بدین وسیله قدردانی می‌شود.

منابع

- ایلدیمی، ع.ر. و میرسنجری، م. (۱۳۸۹) بررسی و ممیزی مخاطرات محیطی دامنه‌های مشرف به شهر همدان. پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۸۹، صص ۶۷ تا ۷۷.
- فتاحی، م.، رستمی مهربان، س.، طالبیان، م.، بحرودی، ع.، هالینکورت، ج. و والکر، ر. (۱۳۹۰) بررسی فعالیت گسل نیشابور در استان خراسان. فصلنامه علوم زمین، سال ۲۰، شماره ۷۹، صص ۶۰-۵۵.
- فخرائی، ز.، پورکرمانی، م. و مؤید، م. (۱۳۸۸) زمین‌شناسی ساختمانی، لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساخت سد خاکی ورزقان میانه. فصلنامه علمی-پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال اول، شماره اول، پاییز ۱۳۸۸، صص ۶۴-۵۷.
- قره‌س، فاطمی عقدا س. م.، ادیب ا.، صدقی م. (۱۳۸۸) مطالعه تحلیلی اثر ساختگاه بر روی جنبش‌های نیرومند زمین در گستره شهر زاهدان. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.
- قهرودی تالی، م.، ثروتی، م.ر. و حسنی قارنایی، ر. (۱۳۹۲) تحلیل ناپایداری‌های حاصل از نهشته‌های یخچالی در حوضه رود زاب کوچک. فصلنامه فضای جغرافیایی، (۴۳) ۱۳، ۱-۱۳.
- کنگی، ع.، پورکرمانی، م.، میرزایی، س. (۱۳۹۰) نقش سیستم شکستگی‌ها در شرایط بارگذاری لرزه‌ای بر ناپایداری دیواره غربی معدن مس سرچشمه. فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، (۱) ۷، ۶۳-۷۶.
- محمودیان، ب. (۱۳۷۷) ارزیابی حرکات دامنه‌ای در یک منطقه زلزله زده. فصلنامه تخصصی بنیاد مسکن، انقلاب اسلامی.
- مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله- خرداد (۱۳۷۰) گزارش زلزله منجیل رودبار ایران ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ (۱)، ۹۱-۷۰.

کشور ما با دارا بودن دامنه‌های پوشیده از نهشته‌های رسوبی و قرارگیری در کمربند لرزه‌خیز دنیا همواره با مخاطرات دامنه‌ای مواجه بوده است. کوهستانی بودن ایران سبب شده تا بخش گسترده‌ای در ایران تحت تأثیر تحولات اقلیمی کواترنر قرار گیرد. حاصل تحولات اقلیمی دوران چهارم برای دامنه‌ها و پایکوها حجم عظیمی از رسوبات منفصل را فراهم ساخته است. همراهی عوامل متعدد سبب ایجاد ناپایداری دامنه‌ها و وقوع حرکات توده‌ای از جمله لغزش، خزش و ریزش شده است که شهرها، روستاها و سایر سازه‌ها را در معرض خطر قرار داده است (قهرودی، م و همکاران ۱۳۹۲). شهرستان‌های خوی و سلماس در محدوده کوهستانی شمال‌غرب ایران، با سوابق لرزه‌خیزی و قرارگیری در زون لرزه‌زمین‌ساخت با شدت زیاد می‌باشد (Tavakoli, B. et.al. 1999). شواهد متعدد حاکی از وقوع حرکات توده‌ای در جاده‌ها و خطوط ریلی این محدوده بوده است. شواهد میدانی نشان داد که وقوع این حرکات وابستگی شدیدی به بارندگی زیاد، هم جهت بودن شیب لایه‌ها با شیب دامنه و دخالت انسان ندارد، لذا اثر محرک‌پذیری ناشی از زلزله در آن مورد بررسی قرار گرفت. اثر محرکی زلزله بر تشدید سایر عوامل مانند انحناء زمین، فاصله از گسل‌های فعال، شیب توپوگرافی سبب شد تا ضمن پهنه‌بندی یزرگای زلزله (Mw)، از عوامل فوق نیز برای تعیین شدت ناپایداری‌ها استفاده شود. ضمن ارزیابی کمی نتایج تحقیق، شواهد تاریخی و میدانی نیز مورد توجه قرار گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از وقوع حرکات توده‌ای در محدوده‌های بود که اثر محرکی زلزله‌های بالاتر از ۴ ریشتر وجود دارد. کی‌فر آستانه شیب ۳۵ درجه را با بزرگای بیش از ۴ ریشتر را برای لغزش و شیب ۱۰ درجه با همان بزرگای زلزله را برای ریزش‌های خاکی برآورد نمود که در محدوده مورد مطالعه بازه شیب برای لغزش بین ۲۸-۸ است، کاهش آستانه شیب با افزایش حجم رسوبات منفصل قابل توجه است. اما در حداقل بزرگای زلزله نتایج این تحقیق با نتایج کی‌فر در سال ۱۹۸۴ انطباق دارد. همچنین این نتایج با یافته‌های گرانتهال و والستورم در سال ۲۰۰۳ و میونیر در سال ۲۰۰۸ انطباق

- Sato, H.P., Hasegawa, H., Fujiwara, S., Tobita, M., Koarai, M., Une, H. and Iwahashi, J. (2007) Interpretation of Landslide Distribution Triggered by the 2005 Northern Pakistan Earthquake Using SPOT 5 Imagery. *Landslides*, 4(2), 113-122.
- Tang, C.L., Hu, J.C., Lin, M.L., Angelier, J., Lu, C.Y., Chan, Y.C. and Chu, H.T. (2009) The Tsaoling Landslide Triggered by the Chi-Chi Earthquake, Taiwan: Insights from a Discrete Element Simulation. *Engineering Geology* 106(1-2), 1-19.
- Tavakoli, B., Ghafory Ashtiany, M., (1999) Seismic Hazard Assessment of Iran. *Annali DI Geofisica*, 42(6), 1013-1023.
- Terzhagi, K. (1950) Mechanism of Landslides. In: Paige, S. (Ed.), Application of Geology to Engineering Practice (Berkey Volume). *Geological Society of America*, New York, NY, pp 83-123.
- Yin, Y., Wang, F. and Sun, P. (2009) Landslide Hazards Triggered by the 2008 Wenchuan Earthquake, Sichuan, China, *Landslides*, 6(2), 139-151.
- Alavi, M., (1994) Tectonics of Zagros Orogenic belt of Iran, new data and interpretation. *Tectonophysics*, 229, 211-238.
- Berberian, M., 1994- Natural Hazards and the First Earthquake Catalogue of Iran. *International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES)*, 1, 620 Pages.
- Chug, K.A., (1982) Slope Stability Analysis for Earthquakes. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 6(3), 307-322.
- Dunning, S.A., Mitchell, W.A., Rosser, N.J. and Petley, D.N. (2007) The Hattian Bala Rock Avalanche and Associated Landslides Triggered by the Kashmir Earthquake of 8 October 2005. *Engineering Geology*, 93(3-4), 130-144.
- Grunthal, G. and Wahlstrom, R. (2003) An Mw Based Earthquake Catalogue for Central, Northern and Northwestern Europe Using f Hierarchy of Magnitude Conversions. *Journal of Seismology*, (7).
- Hollingsworth J., Jackson J., Walker R. and Nazari H., 2008, Extrusion Tectonics and Subduction in the Eastern South Caspian Region Since 10Ma. *Geology*, 36(10), 763-766.
- Keefer, D., (1984a) Landslides Caused by Earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*, 95, 406-421.
- Keefer, D. (2000b) Statistical Analysis of an Earthquake Induced Landslide Distribution- the 1989 Loma Prieta, California Event. *Engineering Geology*, 58, 231-249.
- Keefer, D.K. and Manson, M.W., (1998) Regional Distribution and Characteristics of Landslides Generated by the Earthquake. *US Geological Survey Professional Paper*, 1551-C, 7-32.
- Khazai, B. and Sitar, N., (2004) Evaluation of Factors Controlling Earthquake-Induced Landslides Caused by Chi-Chi Earthquake and Comparison with the Northridge and Loma Prieta Events. *Engineering Geology*, 71(1-2), 79-95.
- Kijko, A. and Selevoll, M.A. (1992) Estimation of Earthquake Hazard Parameters Data Files. Part II. *Incorporation of Magnitude Heterogeneity*, 213.
- Liao, H.W. (2000) Landslides Triggered by Chi-Chi Earthquake, *National Central University, Chung-Li*, 90.
- Muenier, P., Hovius, N. and Haines, J. (2008) Topographic Side Effects and the Location of Earthquake Induced Landslides. *Earth and Planetary Science Letters*, 275, 221-232.