

شاخص‌های پیش‌بینی ظرفیت واحدهای زمین‌شناسی نسبت به وقوع

زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله (مطالعه موردی: زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله منجیل)

علی محمد رجیبی

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات، محلات، ایران

چکیده

یکی از مهمترین اثرات ناشی از زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل ($M=7.7$)، ایجاد و تحریک زمین‌لغزش‌های متعدد در مناطق زلزله‌زده بوده است. برخی از این زمین‌لغزش‌ها (مانند زمین‌لغزش گلدیان و فتلک) بسیار عظیم و همراه با خسارات فراوان بوده‌اند. بررسی و آنالیز مشخصات این زمین‌لغزش‌ها و نحوه توزیع آنها در شناخت مناطق مستعد زمین‌لغزش، در زلزله‌های آینده اهمیت بسزایی دارد. در این مطالعه فراوانی، توزیع و هندسه زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله منجیل با محاسبه پارامترهایی نظیر مساحت، طول، عرض، شیب، جهت شیب، نوع واحد لیتولوژی و شدت آریاس، با استفاده از GIS در چهارگوش‌های چلکاسر و چهارمحل (منطقه‌ای در نزدیکی رو مرکز زمینلرزه منجیل) به مساحت $309/30$ کیلومترمربع بررسی شده است؛ سپس دو اندیس به نام‌های شاخص استعداد (Susceptibility Index) و شاخص فراوانی (Frequency Index) زمین‌لغزش، به عنوان اندیس‌های قابل اعتماد جهت پیش‌بینی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله‌های آینده معرفی شده‌اند. در نهایت استعداد وقوع زمین‌لغزش در چهارگوش‌های مورد مطالعه بر اساس دو شاخص مذکور امتیاز دهی شده است. نتایج این مطالعه می‌تواند در پیش‌بینی مناطق مستعد زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله‌های آینده و همچنین شناسایی مناطق خطر در گستره مورد مطالعه قابل استفاده باشد.

واژگان کلیدی: زلزله منجیل، زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شاخص استعداد، شاخص فراوانی.

مقدمه

توسط حائری و ستاری [۴]، کمک پناه و حافظی مقدس [۵]، نوگل سادات [۷] و جعفری و دیگران [۳] تنها در خصوص تهیه فهرست و برخی از مشخصات زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله منجیل انجام شده است. Mahdavifar et al. [۱۸] با ارائه برخی مشخصات زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله آوج، رابطه بین بزرگی زمین‌لغزش، فاصله از رو مرکز و فاصله از گسلش

به طور کلی زمین‌لغزشها بخصوص زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله از جمله پدیده‌هایی هستند که باعث خسارات زیادی به بشر طی سال‌های اخیر شده است [۱۶، ۱۵، ۱۴ و ۲۲]. هر چند مطالعات زیادی در خصوص شناسایی و توصیف زمین‌لغزش‌ها بطور عام انجام شده است، اما بررسی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله بخصوص در ایران بسیار جوان است. مطالعاتی

مورد مطالعه به مساحت $309/30$ کیلومتر مربع پرداخته شده است. در ادامه برخی مشخصات آماری نظیر مساحت، طول، عرض و عوامل موثر در وقوع این زمین لغزش‌ها نظیر شیب، جهت شیب، نوع واحد لیتولوژی و شدت آریاس با استفاده از GIS و با تاکید بر نوع واحدهای زمین شناسی موجود در منطقه بررسی می‌شود. نهایتاً توزیع و فراوانی زمین لغزش‌ها در هر واحد زمین شناسی بررسی شده و به صورت کمی استعداد هر واحد زمین شناسی به زمین لغزش مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. سپس دو اندیس به نام‌های شاخص استعداد (Index Susceptibility) و شاخص فراوانی (Index Frequency) زمین لغزش به منظور پیش‌بینی زمین لغزش‌های ناشی از زلزله‌های آینده ارائه شده و نهایتاً این شاخص‌ها به صورت کمی امتیازدهی خواهند شد.

طی این تحقیق نقشه‌های زمین شناسی و توپوگرافی با مقیاس $1:25000$ رقومی شده‌اند. سپس نقشه DEM (مدل رقمی ارتفاعی) از نقشه توپوگرافی با همین مقیاس تهیه شده است. این نقشه مبنای استخراج سایر نقشه‌ها نظیر نقشه شیب، جهت شیب و شدت آریاس بوده است.

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از منطقه تحت تاثیر زلزله منجیل و به مساحت $309/30$ کیلومتر مربع بین طول‌های $30' 49^{\circ}$ و $45' 49^{\circ}$ و عرض‌های $50' 45''$ و $30' 52'' 35^{\circ}$ واقع شده است. این منطقه محدوده‌های دربرگرفته شده توسط دو نقشه توپوگرافی $1:25000$ چلکاسر و چهارمحل را در بر می‌گیرد.

سطحی و فراوانی زمین لغزش‌های ناشی از این زلزله را مورد بررسی قرار داده است. توفیق ریحانی [۲] در خصوص زمین لغزش‌های ناشی از زلزله اول تیرماه ۱۳۸۱ آوج، به معرفی چند زمین لغزش پرداخته است. مطالعاتی توسط امینی [۱] در ارتباط با زمین لغزش‌های ناشی از زلزله فیروزآباد کجور (هشتم خرداد ماه ۱۳۸۳) انجام شده است. در همه این مطالعات به معرفی موقعیت برخی از زمین لغزش‌ها و برخی از مشخصات آنها پرداخته شده است. مهدویفر [۶] ضمن ارزیابی تحلیلی زمین لغزش‌های ناشی از زلزله‌های منجیل، آوج و فیروزآباد کجور، سامانه‌ای را جهت مدیریت ریسک زمین لغزش‌های ناشی از زلزله در کشور طراحی کرده است.

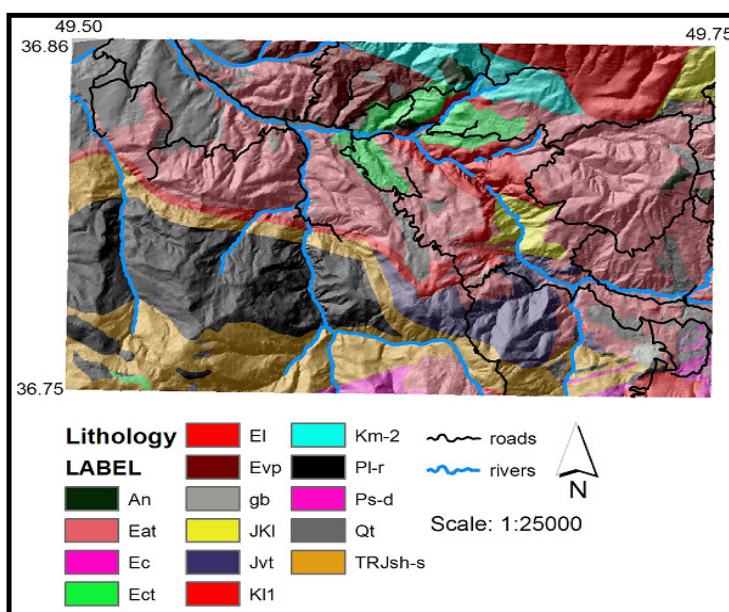
زلزله منجیل به لحاظ بزرگی و وقوع زمین لغزش‌های ناشی از آن یکی از مهمترین زمین لغزش‌های تاریخ ایران است که مهمترین زمین لغزش‌های ناشی از آن فهرست شده‌اند. نظیر این زلزله، می‌توان به زلزله ۱۹۹۴ نورتریج امریکا ($M=6.7$) اشاره کرد که به دلیل کامل بودن فهرست و بررسی اغلب جزئیات زمین لغزش‌های ناشی از آن مبنای بسیاری از روابط و مطالعات انجام شده درخصوص این نوع زمین لغزش‌ها بوده است [۱۴ و ۱۵]. توسعه مطالعات کمی و کیفی روی زلزله‌هایی که مسبب زمین لغزش‌های زیادی بوده‌اند (نظیر زلزله‌های منجیل، آوج و فیروزآباد کجور)، باعث افزایش شناخت ما از اینگونه حوادث طبیعی و در نتیجه مدیریت خطرات ناشی از آنها می‌شود.

روش تحقیق

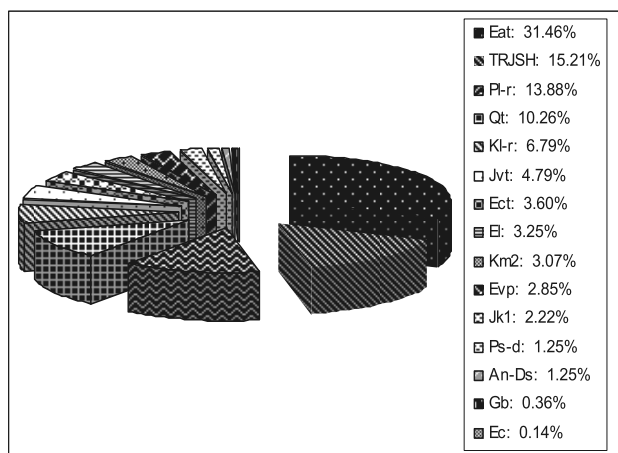
در این تحقیق ابتدا بطور خلاصه به زمین شناسی و زمین لغزش‌های ناشی از زلزله منجیل در چهارگوشه‌های

منطقه هستند. در منطقه مورد بررسی، مجموعه سنگ‌های ترشیاری گسترش زیادی دارند. سنگ‌های پالئوژن (عمدتاً ائوسن) شامل کنگلومرا، آهک نومولیت‌دار و مجموعه سنگی سازند کرج می‌باشد که بیشترین رخمون را در منطقه دارند. در منطقه مورد مطالعه رسوبات کواترنر در حوضه‌های بین کوهستانی، پادگانه‌های آبرفتی و مخروطه‌افکنه‌ها با ناپیوستگی فرسایشی، رسوبات قدیمی‌تر را پوشانده‌اند.

شکل (۱) نقشه زمین‌شناسی رقومی شده و شکل (۲) و جدول (۱) نحوه توزیع واحدهای زمین‌شناسی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. فراوان‌ترین سنگ‌های رخمون‌یافته در منطقه مورد مطالعه شامل توف‌های سازند کرج است. ماسه‌سنگ‌ها، شیل‌ها و کنگلومراهای سازند شمشک که بر روی سطح فرسایش یافته قرار گرفته‌اند و آهک‌های ضخیم تا متوسط لایه سازند نسن از دیگر سنگ‌های موجود در



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (جهت توصیف علائم به جدول ۱ مراجعه شود)



شکل ۲- توزیع درصد فراوانی واحدهای مختلف زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- توصیف واحد های زمین شناسی و در صد رخنمون آنها در منطقه مورد مطالعه

واحد لیتولوژی	توصیف	(km ²) مساحت رخنمون	(%) درصد رخنمون
Eat	توف های آندزیتی ، داسیتی و آگلومرا	۹۷/۲۹	۳۱/۴۶
TRJSH	شیل و ماسه سنگ (سازند شمشک)	۴۷/۰۴	۱۵/۲۱
Pl-r	آهک های ضخیم تا متوسط لایه (سازند نسن)	۴۲/۹۱	۱۳/۸۸
Qt	رسوبات عهد حاضر و پادگانه های آبرفتی	۳۱/۷۲	۱۰/۲۶
Kl-r	سنگ آهک	۲۰/۹۹	۶/۷۹
Jvt	ولکانیک های آندزیتی ، بازالت و توف	۴۰/۸۲	۴/۷۹
Ect	توف های آندزیتی و بازالتی	۱۱/۱۴	۳/۶۰
El	سنگ آهک خاکستری و توف	۱۰/۰۵	۳/۲۵
Km2	آهک هوازده شده مارن و ماسه سنگ سنگ	۹/۴۸	۳/۰۷
Evp	توف های آندزیتی ، داسیتی و آگلومرا	۸/۸۲	۲/۸۵
Jk1	آهک های فسیل دار	۶/۸۷	۲/۲۲
Ps-d	شیل و ماسه سنگ (سازند درود)	۳/۸۵	۱/۲۵
An-Ds	توده های ولکانیکی آندزیت و بازالت	۲/۷۰	۰/۸۷
Gb-Ol	الیوین گابرو	۱/۱۲	۰/۳۶
Ec	کنگومرا	۰/۴۲	۰/۱۴

زلزله منجیل

در تاریخ ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ شمسی، زلزله ای به بزرگی ۷/۷ ریشتر منطقه وسیعی از شمال غربی ایران واقع در استان های گیلان و زنجان را به شدت تکان داد. این زلزله که بیشترین خسارات خود را در استان های مذکور بر جای گذاشت، در محدوده وسیعی از شمال مرکزی و غرب ایران احساس شد. شدت زلزله در شهر منجیل برابر با X در مقیاس مرکالی بوده که موجب ویرانی کامل آن گردید. زلزله به شهرهای رودبار، لوشان و بیش از هزار آبادی پر جمعیت شمال

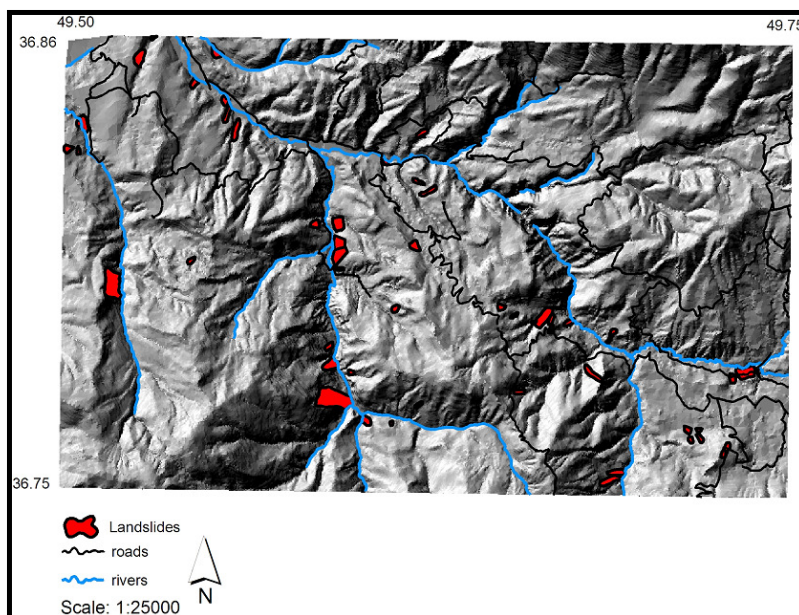
ایران خسارات کلی وارد نمود؛ غیر از اثر مستقیم زلزله، زمین لغزش های ناشی از زلزله به تعدادی از روستاهای محدوده مورد نظر آسیب های اساسی وارد نمودند [۳].

زمین لغزش های ناشی از زلزله منجیل

صدها زمین لغزش در اثر زلزله منجیل ایجاد گردیده است که برخی از آنها موجب بسته شدن جاده های کوهستانی و بخش هایی از جاده اصلی قزوین- رشت شد. بسته شدن جاده ها مانع از انجام بموقع عملیات نجات و در نتیجه افزایش تلفات حاصل از زلزله

زلزله منجیل فهرست شده‌اند که شامل انواع مختلف زمین‌لغزش اعم از زمین‌لغزش‌های خاکی و سنگی می‌باشند. مهدویفر [۶] ضمن بررسی مطالعات سایر محققین و بررسی‌های صحرائی و مطالعه عکس‌های هوایی تعداد ۵۱ زمین‌لغزش ناشی از این زلزله در محدوده مورد مطالعه گزارش کرده است (شکل ۳).

گردیده است. علاوه بر این، تعداد بسیار زیادی از خانه‌های روستایی، باغات، مزارع و سیستم‌های آبرسانی در اثر وقوع لغزش‌ها تخریب و بیش از ۲۰۰ نفر از اهالی مستقیماً در اثر بروز این پدیده جان خود را از دست داده‌اند [۵]. در محدوده چهارگوش‌های چلکاسر و چهارمحل، زمین‌لغزش‌های زیادی ناشی از



شکل ۳- نقشه فهرست زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله منجیل برای چهارگوش چلکاسر و چهارمحل [۶]

بحث

در این بخش چگونگی تاثیر این پارامترها در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرند برخی پارامترهای آماری و فاکتورهای موثر در وقوع این زمین‌لغزش‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است.

آنالیز توزیع زمین‌لغزش‌ها بر اساس فاکتورهای موثر معمولاً توزیع زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله متأثر از جنبش قوی زمین، زاویه شیب، جهت شیب و نوع واحدهای زمین‌شناسی است [۹، ۲۱ و ۱۷].

جدول ۲- پارامترهای آماری زمین لغزش‌های مورد بررسی در این مطالعه

فاکتور	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد
طول (متر)	۲۱/۸۹	۶۷۵/۰۷	۲۶۳/۵۹	۱۵۸/۳۵
عرض (متر)	۱۵	۴۵۰	۱۷۶	۱۰۶
مساحت (متر مربع)	۴۶۷۳	۵۲۵۶۲۲	۷۲۳۵۶	۸۷۲۲۷
شیب (درجه)	۱/۲۵	۸۱/۹۶	۲۷/۳۷	۱۲/۱۵
جهت شیب (درجه)	۰	۳۶۰	۱۴۶	۱۲۱
شدت آریاس (متر بر ثانیه)	۵/۰۶	۱۱/۷	۷/۲۴	۲

تأثیر شدت آریاس

در این رابطه M بزرگی، R فاصله از رومرکز زلزله به کیلومتر و I_a شدت آریاس برحسب متر بر ثانیه است. با توجه به بزرگی زلزله و نزدیکی چهارگوش مورد مطالعه به رومرکز زلزله، شدت آریاس بالایی مورد انتظار است. در منطقه مورد مطالعه شدت آریاس حاصل از زلزله منجیل برای هر یک از سلول‌های لغزشی محاسبه شده است. Harp & Wilson [۱۳] با مطالعه زمین لغزش‌های ناشی از زلزله‌های مختلف، برای زمین لغزش‌های ناپیوسته (isrupted landslides) مثل سنگ‌ریزش‌ها و زمین لغزش‌های پیوسته (Coherent landslide) مثل لغزش‌های خاکی و جریان‌ها به ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۳۲ متر بر ثانیه پیش‌بینی کرده‌اند. این درحالیست که در محدوده مورد مطالعه حداقل و حداکثر و میانگین شدت آریاس به ترتیب ۵/۰۶، ۱۱/۷ و ۷/۲۴ متر بر ثانیه بوده است. این سطح از شدت آریاس بسیار بالاتر از شدت آستانه‌ای مورد نیاز جهت شروع زمین لغزش است.

ناحیه مورد مطالعه در معرض سطح بالایی از جنبش قوی زمین در هنگام زلزله منجیل بوده است. فاصله رو مرکز زلزله تا نزدیک‌ترین و دورترین نقطه منطقه به ترتیب ۲۰/۶۴ و ۴۲/۴۳ کیلومتر است. در این مطالعه از شدت آریاس (Arias Intensity) [۸] به عنوان پارامتر جنبش قوی زمین استفاده شده است. این پارامتر نشان دهنده انرژی کل جذب شده در واحد حجم مواد شیب بوده و از کل رکورد شتاب در هر دو مولفه افقی زمین (میانگین هر دو مولفه یا مولفه با بیشترین مقدار) استخراج می‌شود. استفاده از این پارامتر در تحلیل زمین لغزش‌های ناشی از زلزله نتایج قابل اعتمادی را بدست داده و توسط بسیاری از محققین پیشنهاد شده است [۶، ۱۱، ۱۴].

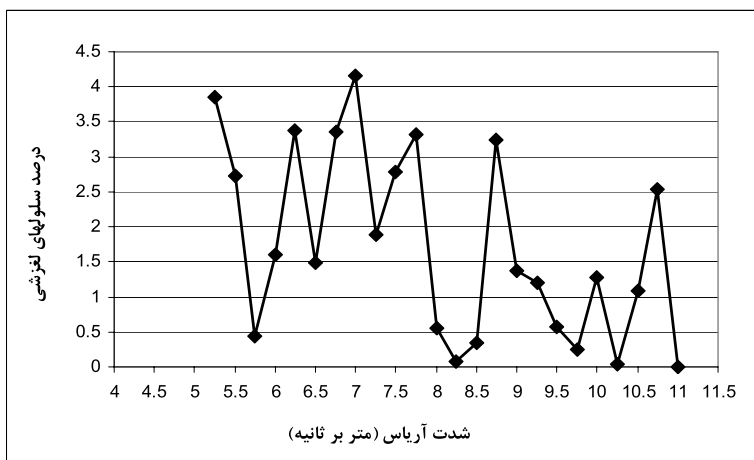
برای بدست آوردن این پارامتر برای زمین لغزش‌های مورد مطالعه از رابطه کاهندگی ارائه شده توسط Mahdavifar et al. [۱۹] به صورت زیر استفاده شده است:

$$\log I_a = -3/88 + 0/81M - \log R - 0/002R$$

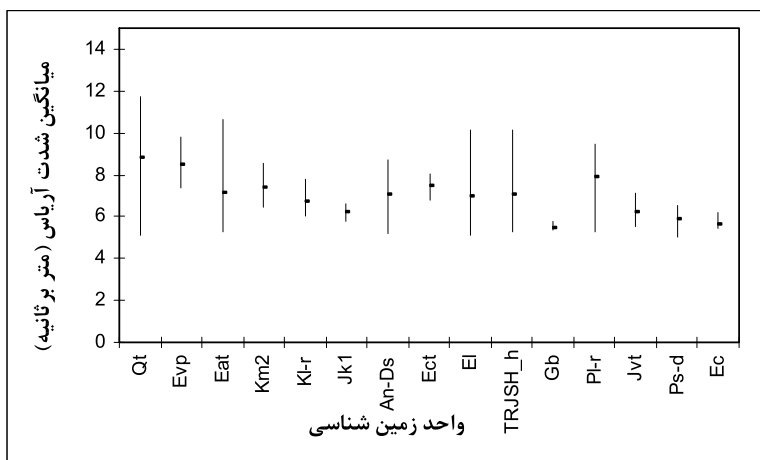
عمومی کاهش با افزایش شدت آریاس قابل مشاهده است. این مسئله نشان می‌دهد علیرغم وجود شدت آریاس بالاتر از حد آستانه، سایر عوامل نظیر نوع واحد زمین‌شناسی، شیب و جهت شیب در تحریک زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله موثر بوده‌اند. با توجه به اهمیت نوع واحدهای زمین‌شناسی در توزیع زمین‌لغزش‌ها، شدت آریاس در هر یک از واحدهای زمین‌شناسی بررسی شد. شکل (۵) میانگین شدت آریاس در منطقه مورد مطالعه را با در نظر گرفتن نوع واحدهای زمین‌شناسی نشان می‌دهد.

در منطقه مورد مطالعه توزیع شدت آریاس به عنوان جنبش قوی زمین برای هر یک از سلول‌های لغزشی به منظور یافتن رابطه‌ای منطقی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، شدت آریاس برای سلول‌های لغزشی با فواصل ۰/۲۵ متر بر ثانیه تقسیم‌بندی شدند. محدوده شدت آریاس در این سلول‌ها بین ۵/۰۶ و ۱۱/۷ متر بر ثانیه بوده است (شکل ۴).

همانطور که در شکل دیده می‌شود افزایش شدت آریاس هیچ رابطه مفهومی با درصد سلول‌های لغزشی نشان نمی‌دهد. هر چند، برعکس، به نظر روند



شکل ۴- توزیع محدوده شدت آریاس در سلول‌های لغزشی محدوده مورد مطالعه



شکل ۵- توزیع شدت آریاس در هر یک از واحدهای زمین‌شناسی (جهت توصیف علائم به جدول مراجعه شود)

بیشترین سلول‌های لغزشی در شیب‌های ۱۶ تا ۳۵ درجه اتفاق افتاده است. در مقیاس محلی زاویه شیب باعث افزایش تمرکز رطوبت و فشار آب منفذی می‌شود. در مقیاس بزرگتر زاویه شیب توزیع جریان هیدرولیکی را کنترل می‌کند [۹]. بیشترین سلول‌های لغزشی در شیب‌های ۱۶ تا ۳۵ درجه اتفاق افتاده است. دلیل کمتر بودن سلول‌های لغزشی در شیب‌های بالاتر وجود واحدهای آذرین نظیر توف‌های آندزیتی و داسیتی و مقاومت بیشتر این واحدها می‌باشد. از طرفی استفاده از GIS در تحلیل شیب سلول‌های لغزشی معمولاً در شیب‌های بالاتر از ۶۰ درجه دارای خطاست.

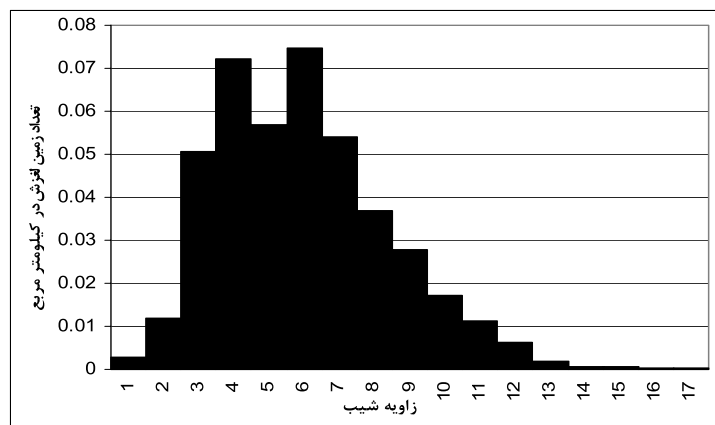
تأثیر جهت شیب

جهت شیب کنترل کننده میزان تمرکز رطوبت و فشار آب منفذی در دامنه‌هاست. به منظور بررسی هرگونه رابطه بین سلول‌های لغزشی و جهت شیب در منطقه مورد مطالعه سلول‌های لغزشی (سلول‌های منشا زمین لغزش) در گروه‌های ۱۰ درجه‌ای بررسی شده‌اند. شکل (۷) رابطه بین جهت شیب و تمرکز زمین لغزش‌ها را نشان می‌دهد. بیشترین تمرکز زمین لغزش‌ها در دو جهت شمال شرق، ۶۷/۵-۲۲/۶ و جنوب غرب، ۲۴۷/۵-۲۰۲/۶ بوده است.

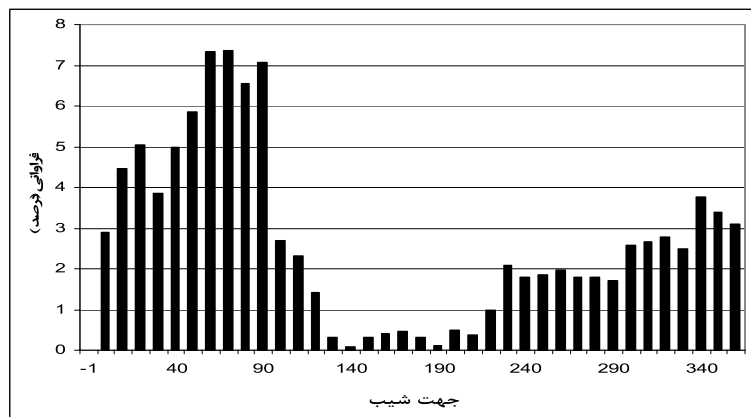
واحدهای Qt، Eat، An-Ds، El، Trjsh، Pl-r به ترتیب شدت آریاس بالاتری را تجربه کرده‌اند. برای اغلب واحدها میانگین شدت آریاس بین ۵/۵ تا ۷/۵ متغیر است که نشان دهنده یکنواختی تقریبی شدت آریاس در محدوده مورد مطالعه است. واحدهای EC و Gb کمترین میزان شدت آریاس را نشان داده‌اند. این واحدها اغلب در گوشه جنوب غربی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که بیشترین فاصله از رومرکز زمین لغزش را داشته‌اند.

تأثیر زاویه شیب

تأثیر زاویه شیب در زمین لغزش‌ها بخصوص زمین لغزش‌های ناشی از زلزله توسط بسیاری از محققین تأکید شده و معمولاً در ارزیابی زمین لغزش‌ها در نظر گرفته می‌شود [۲۰، ۱۲، ۱۷]. در صورت یکسان بودن سایر شرایط دامنه‌های با شیب بیشتر استعداد بیشتری نسبت به وقوع زمین لغزش نشان می‌دهند. در این مطالعه تأثیر زاویه شیب با طبقه‌بندی سلول‌های لغزشی در کلاس‌های مختلف شیب در نقشه فهرست و کل محدوده مورد مطالعه بررسی شده است. شکل (۶) رابطه بین تعداد سلول‌های لغزشی در واحد مساحت نسبت به زاویه شیب را نشان می‌دهد.



شکل ۶- رابطه بین تعداد سلول‌های لغزشی در واحد مساحت نسبت به زاویه شیب

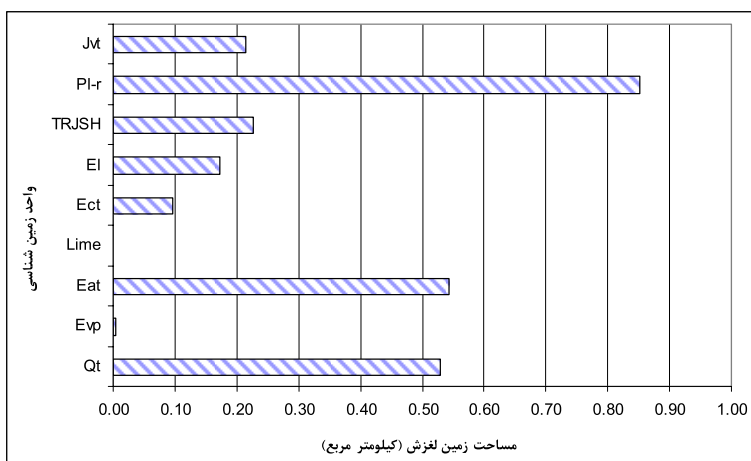


شکل ۷- توزیع زمین‌لغزش‌ها از نظر جهت شیب

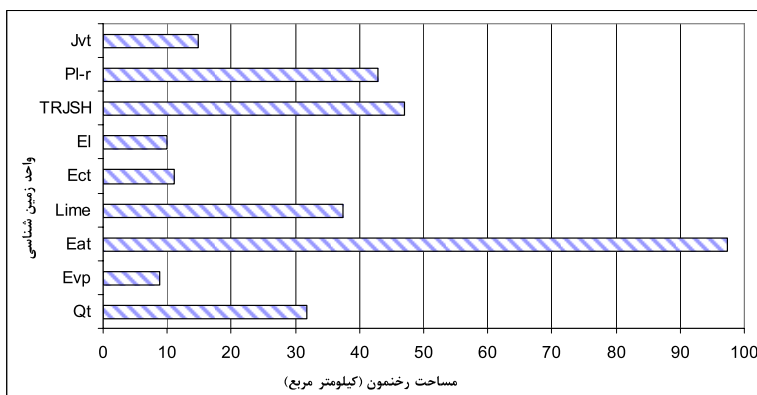
شامل شیل و ماسه‌سنگ سازند شمشک و سنگ‌های توفی مربوط به سازند کرج هر کدام ۰/۲۳ کیلومتر مربع گسیخته شده‌اند. واحد Evp کمترین تمرکز سلول‌های لغزشی را نشان می‌دهد (۰/۰۰۴۵). در مورد واحد Lime حداقل در چهارگوش مورد مطالعه هیچ نوع زمین‌لغزشی گزارش نشده است. این نوع فراوانی سلول‌های لغزشی در انواع واحدهای زمین‌شناسی هیچ هماهنگی با فراوانی واحدهای موجود در محدوده مورد مطالعه (شکل ۹) نشان نمی‌دهد. این موضوع نشان دهنده رابطه موثر بین واحدهای زمین‌شناسی و توزیع زمین‌لغزش‌ها صرف‌نظر از تاثیر سایر پارامترها است.

تاثیر واحدهای زمین‌شناسی

در این بخش با توجه به اینکه هدف نهایی معرفی شاخص‌های استعداد و فراوانی زمین‌لغزش و سپس امتیازدهی واحدها از نظر این شاخص‌ها است، لذا باید به این نکته توجه کرد که مساحت واحدهای مورد بررسی آنقدر کم نباشد که از نظر آماری مورد اتکا نباشد. به این منظور با توجه به مساحت کم واحدهای Ps-d, Ect, An-Ds, Gb و Ec، این واحدها از بررسی‌ها حذف شده‌اند. از طرفی با توجه به جنس یکسان واحدهای Jk1, Km2, Kl-r و عدم وقوع زمین‌لغزش در این واحدها تحت عنوان یک واحد و به نام Lime در نظر گرفته شده‌اند (جدول ۳). با توجه به شکل (۸) و جدول (۳) واحد سنگ آهک ضخیم لایه تا لامینه‌ای PI-r که مربوط به سازند نسن است به طور قابل توجهی بیشترین زمین‌لغزش (۰/۸۵ کیلومتر مربع) را نشان می‌دهد، واحد توف داسیتی، آندزیتی و آگلومرای (Eat) و رسوبات کواترنری (Qt) هر کدام بیش از ۰/۵ کیلومتر مربع گسیخته شده‌اند. واحدهای TRJSH و Jvt به ترتیب



شکل ۸- رابطه بین توزیع زمین لغزش‌ها (بر حسب متر مربع) و واحدهای زمین شناسی



شکل ۹- توزیع واحدهای زمین شناسی (بر حسب متر مربع) در محدوده مورد مطالعه

می‌توان از طریق نسبت بین مساحت پوشیده شده توسط زمین لغزش در هر واحد زمین شناسی به کل مساحت آن واحد در منطقه مورد مطالعه تعیین کرد. این نسبت به نام شاخص استعداد زمین لغزش (susceptibility Index Landslide) نامیده می‌شود. جدول (۳) و شکل (۱۰) چگونگی توزیع این شاخص را در واحدهای محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهند.

استعداد واحدهای زمین شناسی به زمین لغزش‌های ناشی از زلزله
شاخص استعداد (Index Susceptibility)
زمین لغزش
 طبق مطالعه حاضر، کل مساحت تحت تاثیر زمین لغزش در یک واحد زمین شناسی بستگی نزدیکی به میزان رخنمون آن واحد زمین شناسی در منطقه دارد. میزان استعداد (susceptibility) یک واحد زمین شناسی به زمین لغزش ناشی از زلزله را

شاخص‌های پیش‌بینی ظرفیت واحدهای زمین‌شناسی نسبت به وقوع زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله

جدول ۳- معرفی شاخص استعداد و شاخص فراوانی نسبت به نوع واحد زمین‌شناسی در محدوده مورد مطالعه

واحد لیتولوژی	تعداد سلول هر واحد	رخنمون مساحت (Km ²) هر واحد	مساحت زمین لغزش (Km ²)	تعداد سلولهای زمین لغزش	تعداد زمین لغزشها	شاخص استعداد (%)	شاخص فراوانی (Ls/Km ²)
Qt	۳۵۲۴۷	۳۱/۷۲	۰/۵۳	۵۸۸	۱۲	۱/۶۷	۰/۳۸
Evp	۹۷۹۵	۸/۸۲	۰/۰۰۴۵	۵	۱	۰/۰۵	۰/۱۱
Eat	۱۰۸۰۹۶	۹۷/۲۹	۰/۵۴	۶۰۴	۱۲	۰/۵۶	۰/۱۲
Lime	۱۴۱۹۵۶	۳۷/۳۴	۰	۰	۰	۰	۰
Ect	۱۲۳۸۱	۱۱/۱۴	۰/۱	۱۰۶	۳	۰/۸۶	۰/۲۷
El	۱۱۱۷۰	۱۰/۰۵	۰/۱۷	۱۹۱	۴	۱/۷۱	۰/۴۰
TRJSH	۵۲۲۶۷	۴۷/۰۴	۰/۲۳	۲۵۱	۷	۰/۴۸	۰/۱۵
Pl-r	۴۷۶۸۳	۴۲/۹۱	۰/۸۵	۹۴۶	۶	۱/۹۸	۰/۱۴
Jvt	۱۶۴۷۰	۱۴/۸۲	۰/۲۳	۲۳۹	۵	۱/۴۵	۰/۳۴

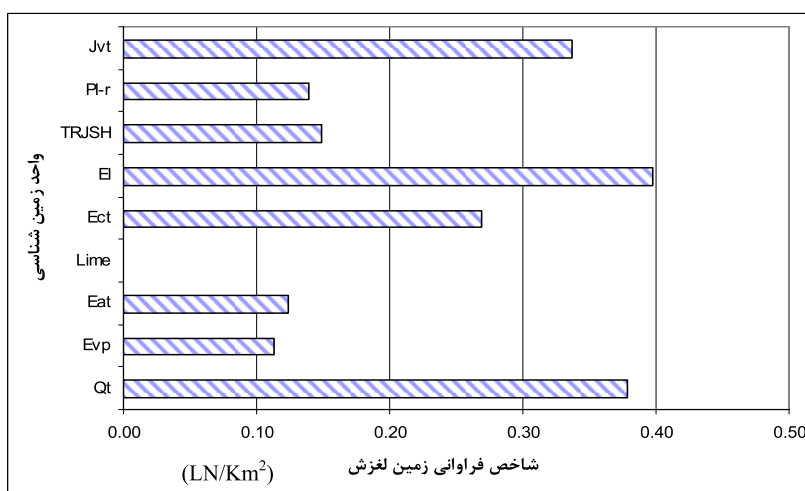
شاخص فراوانی (Frequency Index)
زمین‌لغزش

میزان فراوانی یک زمین‌لغزش در هر واحد زمین‌شناسی را می‌توان با تعیین نسبت تعداد زمین‌لغزش‌های بوقوع پیوسته در آن واحد به مساحت رخنمون یافته توسط آن واحد تعیین کرد. این نسبت به نام شاخص فراوانی زمین‌لغزش نامیده شده و بر حسب تعداد زمین‌لغزش به مربع مساحت قابل اندازه‌گیری است. جدول (۳) و شکل (۱۱) نسبت این شاخص را برای واحدهای مختلف نشان می‌دهد.

واحدهای Qt, El, Pl-r و Jvt با ۱/۹۸، ۱/۷۱، ۱/۶۷ و ۱/۴۵ بیشترین درصد استعداد زمین‌لغزش را نشان می‌دهند. واحدهای Eat, Ect و TRJSH به ترتیب با ۰/۸۶، ۰/۵۶ و ۰/۴۸ به ترتیب درصدهای بعدی این شاخص را به خود اختصاص می‌دهند. واحدهای Evp و Lime با ۰/۰۵ و ۰ درصد کمترین شاخص استعداد را نشان می‌دهند. با دقت در توزیع شاخص‌ها بین واحدهای مختلف، توجه به این نکته مهم است که در حالی واحد El شاخص استعداد بالایی را نشان می‌دهد اما فراوانی این واحد در منطقه نسبت به سایر واحدها (به جز واحد Evp) کم است (۱۰/۰۵ کیلومتر مربع). برعکس واحد Eat با بیشترین مساحت رخنمون، میزان شاخص استعداد کمی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- رابطه شاخص استعداد زمین لغزش و نوع واحد زمین شناسی



شکل ۱۱- رابطه شاخص فراوانی زمین لغزش و نوع واحد زمین شناسی

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشخص می‌شود که در اغلب موارد استفاده از این دو شاخص نتایج یکسانی را بدست می‌دهد. بنابراین با استفاده از این دو شاخص، استعداد واحدها به زمین لغزش‌های ناشی از زلزله امتیازدهی و توصیف شده است (جدول ۴). در این جدول واحدهای با $>1/5$ (SI) یا $>0/35$ (Ls/Km^2) دارای "استعداد خیلی بالا" به وقوع زمین لغزش‌های ناشی از زلزله، $0/5-1/5$ (SI) یا $0/25-0/35$ (Ls/Km^2) "استعداد بالا"، $0/3-0/5$ (SI) یا $0/25-0/10$ (Ls/Km^2)

ارزیابی استعداد واحدهای زمین شناسی به زمین لغزش

شاخص‌های معرفی شده می‌توانند به عنوان شاخص‌هایی مهم به منظور ارزیابی نسبی استعداد واحدهای مختلف به زمین لغزش‌ها ناشی از زلزله مورد استفاده قرار گیرند. شاخص استعداد معرف نسبت مساحت گسیخته شده واحدهای زمین شناسی و شاخص فراوانی معرف میزان فراوانی زمین لغزش‌ها در واحدهای مختلف زمین شناسی است. با توجه به

و TRJSH دارای استعداد متوسط و واحدهای Evp و Lime واحدهای با کمترین استعداد به وقوع زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در محدوده مورد مطالعه هستند.

"استعداد متوسط" و واحدهای $0.3 < (SI) < 0.10$ یا (Ls/Km^2) دارای "استعداد کم" نسبت به زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله هستند. بر این اساس واحدهای $PI-r$ ، EI ، Qt دارای استعداد خیلی بالا به وقوع زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله، واحدهای Jvt و Ect دارای استعداد بالا، واحدهای Eat

جدول ۴- امتیاز استعداد زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله بر اساس نوع واحدهای زمین‌شناسی

استعداد زمین لغزش (Seismic Landslide Susceptibility)	ارزش (Rate)	شاخص فراوانی (Ls/Km^2)	شاخص استعداد (%)	واحد لیتولوژی
خیلی بالا Very High Susceptibility	$(SI) > 1/5$ (%) یا $(FI) > 0.35$	0.14	1/98	$PI-r$
		0.40	1/71	EI
		0.38	1/67	Qt
بالا High Susceptibility	$(SD): 0.5-1/5$ یا $(FI): 0.35-0.25$	0.34	1/45	Jvt
		0.27	0.86	Ect
متوسط Moderate Susceptibility	$(SD): 0.3-0.5$ یا $(FI): 0.25-0.10$	0.12	0.56	Eat
		0.15	0.48	TRJSH
پایین Low Susceptibility	$(SD) < 0.3$ یا $(FI) < 0.10$	0.11	0.05	Evp
		.	.	Lime

زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله‌های آینده در این منطقه ارائه می‌کند. امتیازهای ارائه شده در این مطالعه به منظور پیش‌بینی استعداد و فراوانی زمین‌لغزش‌های مورد انتظار در واحدهای زمین‌شناسی در زلزله‌های آینده قابل استفاده است. این نوع ارزیابی‌ها را برای

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه واحدهای زمین‌شناسی از جنس واحدهای موجود در منطقه مورد مطالعه در بخش‌های وسیعی از البرز پراکنده است، لذا داده‌ها و بررسی‌های فوق چهارچوب مناسبی را برای پیش‌بینی

این تحقیق را می‌توان در پیش‌بینی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله‌های آینده در البرز، با احتیاط، مورد استفاده قرار داد.

هر چند زمین‌لغزش‌های آینده به طور قابل توجهی متاثر از بزرگی، (و در نتیجه شدت آریاس حاصل از آن)، موقعیت رو مرکز زلزله و ساز و کار کانونی آن است، نتایج ارائه شده در این مطالعه تقریب اولیه‌ای را از نظر توزیع و فراوانی زمین‌لغزش‌های در زلزله‌های آینده بدست می‌دهد. بدیهی است پیش‌بینی دقیق زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله‌های آینده مستلزم بررسی جزئیات دقیق‌تر می‌باشد.

سایر واحدها نیز می‌توان با استفاده از دو شاخص ارائه شده مورد بررسی قرار داد.

ارائه یک روش امتیازدهی جهت پیش‌بینی استعداد واحدهای مورد مطالعه در منطقه نشان داد که واحدهای با $(SI) > 1/5$ یا $(Ls/Km^2) > 0/35$ دارای "استعداد خیلی بالا" به وقوع زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله، $(SI) 0/5-1/5$ یا $(Ls/Km^2) 0/35-0/25$ "استعداد بالا"، $(SI) 0/3-0/5$ یا $(Ls/Km^2) 0/10-0/25$ "استعداد متوسط" و واحدهای $(SI) < 0/3$ یا $(Ls/Km^2) < 0/10$ دارای "استعداد کم" نسبت به زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله هستند.

با توجه به گسترش واحدهای زمین‌شناسی موجود در منطقه مورد مطالعه در بخش‌های وسیعی از البرز، نتایج

منابع

۱- امینی حسینی، ک.، (۱۳۸۴): گزارش شناسایی زمین لغزشهای ناشی از زلزله ۱۳۸۳/۳/۸ فیروزآباد - کجور، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال هفتم، شماره دوم، ص ۵۷.

۲- توفیق ریحانی، م. ح.، (۱۳۸۱): پی آمدهای زمین شناسی زمین لرزه چنگوره-آوج، مجموعه مقالات سمینار "درسهایی از زلزله چنگوره-آوج"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ص ۱۰۳-۱۱۱.

۳- جعفری، م. ک.، منتظرالقائم، س.، مهدویفر، م. ر.، حیدری، م. (۱۳۷۹): مطالعات زمین لغزشهای مرتبط با زلزله در البرز) گزارش مرحله اول)، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ص ۲۱۳.

۴- حائری، س. م.، ستاری، م. ح. (۱۳۷۲): لغزشهای بزرگ بوقوع پیوسته بر اثر زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل، مرکز

۵- کمک پناه، ع.، حافظی مقدس، ن. (۱۳۷۲): پهنه بندی خطر زمین لغزه در ایران، جلد ششم: شناسایی و به نقشه در آوردن زمین لغزه‌های مهم تحریک شده در زمین لرزه خرداد ۱۳۶۹ منجیل، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ص ۱۱۵.

۶- مهدویفر، م. ر.، (۱۳۸۵): ارزیابی تحلیلی و طراحی سامانه مدیریت ریسک زمین لغزشهای ناشی از زلزله در کشور، پایان نامه دکترا، پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ص ۲۱۳.

۷- نوگل سادات. م.، (۱۳۷۵): طرح جامع خطر رانش استان گیلان، کارفرما: زیر کمیته زلزله و لغزش لایه‌های زمین معاونت شهرسازی و معماری وزارت مسکن و شهرسازی، ص ۱۴۵.

- 8- Arias, A., (1970): A measure of earthquake intensity. In: Hansen RJ, editor. Seismic design for nuclear power plants. Cambridge, MA: MIT Press, pp. 438–483.
- 9- Ayalew, L. and Yamagishi, H., (2004): The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65, 15–31p.
- 10- Dai, F.C. and Lee, C.F., (2002): Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42, 213– 238 p.
- 11- Del Gaudio, V.J. and Wasowski (2004): Time probabilistic evaluation of seismically induced landslide hazard in Irpinia (Southern Italy). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 915–928 p.
- 12- Guzzetti, F., Carrarra, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., (1999): Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31, 181–216 p.
- 13- Harp, E. and Wilson, R.C., (1995): Shaking Intensity Thresholds for rock falls and slides. Evidens from the 1987 Whitter Narrow and Superstition Hill Earthquake Strong Motion Records. *Bulletin of Seismological Society of America*, 85, 1739-1757 p.
- 14- Jibson, R.W., Harp, E.L., Michael, J.A., (2000): A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. *Engineering Geology*, 58, 271–289 p.
- 15- Jibson, R.W., (2007): Regression models for estimating coseismic landslide displacement. *Engineering Geology*, 91, 912-918 p.
- 16- Keefer, D.K., (1984): Landslides caused by earthquakes. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 95: 406–421 p.
- 17- Lee S. and Min K. (2001), statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, 40, 1095-1113 p.
- 18- Mahdavifar M.R., Solaymani S, Jafari MK., (2002): Landslides triggered by the Avaj, Iran earthquake of June 22. *Engineering Geology*, 86, 166–182 p.
- 19- Mahdavifar M.R., Jafari, M.K., Zolfaghari, M.R., (2007): The attenuation of Arias Intensity in Alborz and Central Iran. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*. Tehran, Iran.

20- Ohlmacher, C.G. and Davis, C.J., (2003), Using multiple regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA, *Engineering Geology* 69, 331–343 p.

21- Parise, M. and Jibson, R.W., (2000): A seismic landslide susceptibility rating of geologic units based on analysis of characteristics of landslides triggered by the 17 January, 1994 Northridge, California earthquake, *Engineering Geology* 58, 251–270 p.

22- Plafker, G., Galloway, J.P., (Eds.), (1989): Lessons learned from the Loma Prieta, California earthquake of October 17, and extracted specific data sets from them. US Geol. Surv. Circ. 1045-1989 p.