

بررسی امکان برآورد تعداد و مساحت کل زمین لغزش‌ها با

استفاده از تعیین توزیع فراوانی مساحت و حجم

(مطالعه موردی: استان مازندران)

❖ ابراهیم امیدوار؛ استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان
❖ عطاله کاویان*؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده

زمین لغزش‌ها یکی از اصلی‌ترین بلایای طبیعی‌اند که خسارات درخور توجهی به اموال، موجودات زنده، و پروژه‌های مهندسی در همه مناطق کوهستانی وارد می‌آورند. برای برآورد نقش زمین لغزش‌ها در فرایندهای فرسایشی و همچنین ارزیابی خطرهای ناشی از آن‌ها، کمی‌سازی زمین لغزش‌ها مفید است. یکی از روش‌های کمی‌سازی، به‌کارگیری توزیع‌های احتمالاتی است. در این پژوهش نحوه رفتار پارامترهای حجم و مساحت زمین لغزش‌های استان مازندران بر توزیع‌های فراوانی بررسی شد. همچنین، تعداد و مقدار مساحت و حجم کل زمین لغزش‌های استان، که در طی زمان رخ داده بود، نیز با استفاده از روش Malamud برآورد شد. نتایج مربوط به شکل توزیع‌های فراوانی تجمعی مساحت و حجم نشان داد که زمین لغزش‌های بزرگ سهم بسیار زیادی از مقدار مساحت و حجم کل را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین، بر اساس روش ملامود و همکاران [۲۵]، تعداد 2323 ± 9823 زمین لغزش، در طی سالیان گذشته، در اثر فرسایش، رشد گیاهان، و فعالیت انسان از بین رفته است، و کل مساحت و حجم خاک تحت تأثیر قرار گرفته در اثر این زمین لغزش‌ها در استان مازندران به ترتیب 7.1 ± 31.5 km² و 0.052 ± 0.232 km³ برآورد شد. سایر نتایج نشان داد که، برای انتقال بین مقاومت‌ها در مقابل گسیختگی دامنه، می‌توان یک مساحت آستانه بحرانی برابر با 2×10^{-3} km² را معرفی کرد.

واژگان کلیدی: استان مازندران، بزرگی زمین لغزش، توزیع گامای سه پارامتری، حجم زمین لغزش، مساحت

مقدمه

زمین لغزش‌ها یکی از اصلی‌ترین بلایای طبیعی اند که خسارت درخور توجهی به اموال، موجودات زنده، و پروژه‌های مهندسی در تمامی مناطق کوهستانی وارد می‌سازند [۲۶]. داشتن اطلاعاتی از تعداد، مساحت، و حجم زمین لغزش‌ها برای برآورد حساسیت [۱۳، ۲۵، ۳۲]، تعیین خطر زمین لغزش [۵، ۳۱]، مطالعات اکولوژیکی جنگل و حیات وحش [۲۷، ۲۸]، و ارزیابی طولانی مدت دامنه‌ها در اثر فرایند حرکات توده‌ای [۱۲، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۳، ۲۴، ۲۵] مهم است.

برای برآورد نقش زمین لغزش‌ها در فرایندهای فرسایشی و همچنین ارزیابی خطرهای ناشی از آن‌ها، کمی‌سازی زمین لغزش‌ها امری مفید است [۲۵]. یکی از روش‌های کمی‌سازی به‌کارگیری توزیع‌های احتمالاتی است. این توزیع‌ها مقدار اندازه زمین لغزش را در مقابل چگالی احتمال آن‌ها نشان می‌دهند.

تحقیق فوجی [۸] احتمالاً نخستین تحقیقی بوده که در آن آماره‌های اندازه زمین لغزش بررسی شده است. در این تحقیق با مطالعه فهرستی از ۸۰۰ زمین لغزش در ژاپن، که در اثر بارش سنگین ایجاد شده بود، توزیع‌های تجمعی تعداد-مساحت و تعداد-حجم با دو رابطه توانی مشخص همبسته به‌دست آمد. بیشتر تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که چگالی احتمال مساحت زمین لغزش $p(A_L)$ یک توزیع خاص را نشان می‌دهد. هنگامی که داده‌ها در مختصات لگاریتمی ترسیم می‌شوند، چگالی احتمال با افزایش اندازه زمین لغزش (A_L) تا یک مقدار حداکثر (A_{Lmax}) افزایش می‌یابد و بعد از آن، همراه با یک چرخش (Rollover)، با افزایش اندازه زمین لغزش (زمین لغزش‌های متوسط تا بزرگ) چگالی احتمال به صورت یک قانون توانی به‌سرعت کاهش می‌یابد [۱۰، ۱۲، ۱۴، ۲۵، ۳۳، ۳۴]. با بررسی سوابق

پژوهشی، به‌رغم اختلافات زیاد در انواع، اندازه‌ها، توزیع‌ها، الگوها، و مکانیسم‌های راه‌انداز زمین لغزش‌ها، این نوع معمول توزیع در حالات مختلف دیده شده است [۲۵]؛ از جمله این حالات می‌توان به توزیع‌های فراوانی تجمعی و غیرتجمعی مساحت‌های قدیمی، لیست‌های نسبتاً کامل (که با یک عامل محرک ایجاد شده‌اند)، و لیست‌های تاریخی (که مجموع وقایع منفرد زیادی هستند) اشاره نمود. همچنین، این نوع توزیع برای لیست وقایع زمین لغزش‌های تحریک‌شده در اثر باران، زمین لرزه یا ذوب برف نیز دیده شده است [۳۴]. برای بیشتر مجموعه داده‌ها، اندازه‌گیری توان (α) مربوط به دنباله توانی توزیع برابر $\alpha = 2.5 \pm 0.5$ است [۱۰]. البته، وان دن اکهاات و همکاران [۳۴]، با بررسی سوابق مختلف پژوهشی در دنیا، این توان را، به دلیل نزولی بودن، به صورت β - نشان دادند و مقدار آن را برابر با 2.3 ± 0.5 - معرفی کردند.

بر اساس یک تحقیق، انتقال یا چرخش بین این دو قانون توانی مربوط به انتقال بین مقاومت‌ها در مقابل گسیختگی دامنه‌هاست؛ بدین ترتیب که این انتقال مقاومت در مقابل اصطکاک برای زمین لغزش‌های بزرگ یا عمقی و مقاومت در برابر نیروی چسبندگی برای زمین لغزش‌های کوچک یا سطحی را نشان می‌دهد [۱۱].

همچنین محققان، طی پژوهشی دیگر، با بررسی توزیع‌های فراوانی ارائه‌شده در دنیا، میانگین مساحتی را که در محدوده آن‌ها چرخش و انتقال رخ داده است برای لیست‌های کامل مربوط به وقایع زمین لغزش بین 2×10^{-3} تا 3.5×10^{-3} کیلومتر مربع و برای لیست‌های تاریخی بین 1.1×10^{-3} تا 1.8×10^{-2} کیلومتر مربع نشان دادند. از این رو، برای لیست‌های تاریخی، معمولاً چرخش به مساحت‌های بزرگ‌تر انتقال یافته است [۳۴].

مساحت زمین لغزش‌ها در منطقه UTRB ایتالیا با استفاده از روش برآورد هسته‌ای چگالی محاسبه شد [۹]. مقدار مساحت در قسمتی که در چرخش و انتقال رخ داده 3920 m^2 و همچنین شیب دنباله تابع توزیع $2/3$ - برآورد شد. آن‌ها همچنین با استفاده از روش ارائه‌شده توسط مالمود و همکاران [۲۵] تعداد کل زمین لغزش‌ها را $2/9 \times 10^6 \pm 1/4 \times 10^7$ و مقدار مساحت کل زمین لغزش‌ها در منطقه UTRB را $10^9 \times 8/98 \pm 4/34 \times 10^{10}$ متر مربع برآورد کردند. با توجه به ارزیابی‌های انجام‌شده در این منطقه، مقدار کل مساحت زمین لغزش‌هایی که در لیست موجود بوده حدود $0/1$ درصد از کل مساحت برآورد شده بود. همچنین، این چگالی‌های احتمال برای ترکیبات مختلف سنگ‌شناسی نیز به کار برده می‌شود و این ترکیبات با یکدیگر مقایسه شد [۹].

هدف از این تحقیق بررسی نحوه رفتار پارامترهای حجم و مساحت زمین لغزش‌های استان مازندران در توزیع‌های فراوانی و همچنین برآورد تعداد و میزان مساحت و حجم کل زمین لغزش‌های تاریخی است که در گذشته و طی گذر زمان آثار آن‌ها از بین رفته است. این برآورد از طریق روش ارائه‌شده توسط مالمود و همکاران [۲۵] انجام گرفت.

روش‌شناسی

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان مازندران، که عرصه این پژوهش است، با مساحت $24091/3$ کیلومتر مربع و موقعیت جغرافیایی $35^\circ 27'$ تا $36^\circ 35'$ عرض شمالی $34^\circ 50'$ تا $54^\circ 10'$ طول شرقی (شکل ۱)، از بخش‌های جلگه‌ای و کوهستانی تشکیل شده است، که از سمت شمال دریای خزر، از شرق استان گلستان، از غرب استان گیلان، و از جنوب ارتفاعات البرز در امتداد غربی- شرقی آن را

در پژوهشی سه لیست کامل زمین لغزش از مناطق مختلف دنیا، که در هر مورد زمین لغزش‌ها توسط عامل محرک خاصی وقوع یافته بود، بررسی شد و نتیجه گرفتند که در هر سه لیست مساحت زمین لغزش‌ها به خوبی با توزیع گامای معکوس سه پارامتره تقریب زده می‌شوند [۲۵]. در این تحقیق، با آزمون این توزیع بر روی لیست‌های کامل و ناقص در مناطق دیگر دنیا، به این نتیجه رسیدند که اگر یک لیست موجودی زمین لغزش ناقص باشد، می‌تواند با توزیع احتمالاتی عمومی ارائه‌شده توسط مالمود و همکاران مقایسه شود. پس از این مقایسه، از طریق تخمین میزان بزرگی وقایع لغزشی، می‌توان تعداد و مساحت کل زمین لغزش‌هایی را نیز که طی گذشت زمان در اثر فرسایش، فعالیت بشر، و پوشش گیاهی از بین رفته برآورد نمود [۲۵]. پس از تحقیق فوق‌الذکر، محققان دیگری از توزیع عمومی ارائه‌شده توسط آن‌ها استفاده کردند؛ از جمله وان دن اکهات و همکاران [۳۴] از روش مذکور برای برآورد تعداد و مساحت کل زمین لغزش‌های منطقه تپه‌ای فلمیش آردنس^۱ بلژیک استفاده کردند. در این مطالعه، چگالی احتمال غیرتجمعی مساحت زمین لغزش‌ها به دست آمد. همچنین، شیب دنباله توانی توزیع برای زمین لغزش‌های بزرگ $2/3$ - محاسبه شد و، برخلاف سایر محققان، برای زمین لغزش‌های کوچک نیز یک قانون توانی منفی با توان $0/58$ - به دست آمد که این انتقال بین دو قانون توانی منفی در مساحت بین 10^{-2} تا $2 \times 10^{-2} \text{ km}^2$ بود. همچنین، مساحت کل زمین لغزش‌های به دست آمده توسط وان دن اکهات و همکاران $15/8 \pm 3/5 \text{ km}^2$ برآورد شد که حدود ۲ برابر مساحت کل زمین لغزش‌های نشان داده‌شده روی نقشه بود [۳۴].

همچنین، طی تحقیقی دیگر، تابع چگالی احتمال

پیشانی قابل اندازه‌گیری است، ولی برای محاسبه دقیق آن با حفر چاهک‌هایی که تا لایه غیرقابل نفوذ زیرین زمین لغزش ادامه دارد عمق لغزش مشخص می‌شود. در نهایت، میانگین آن‌ها محاسبه و به عنوان عمق متوسط زمین لغزش استفاده شد. حجم زمین لغزش نیز از حاصل ضرب عمق متوسط در مساحت آن به دست می‌آید [۱۹].

با استفاده از اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی زمین لغزش‌ها، نقشه موقعیت آن‌ها در استان مازندران تهیه شد (شکل ۱). شکل ۱ موقعیت استان مازندران را در ایران و همچنین پراکنش زمین لغزش‌ها را در استان مازندران نشان می‌دهد. همان طور که در نقشه ملاحظه می‌شود، زمین لغزش‌های ثبت شده تقریباً در اکثر مناطق مستعد لغزش در استان پراکنش دارند. از این رو، لیست زمین لغزش‌های موجود می‌تواند به نوعی نماینده کل لغزش‌های استان باشد. همچنین، در قسمت‌های شمالی و ساحلی نقشه هیچ‌گونه زمین لغزشی دیده نمی‌شود، که این امر به دلیل همواربودن این ناحیه است. زمین لغزش‌های ثبت شده در استان مازندران هم شامل زمین لغزش‌های قدیمی و هم زمین لغزش‌های اخیر است، از این رو، این لیست نمونه‌ای از یک لیست تاریخی ناقص است. با توجه به اینکه تقریباً تمامی زمین لغزش‌های بزرگ و خیلی بزرگ استان در این لیست به ثبت رسیده است، می‌توان گفت که این لیست برای زمین لغزش‌های بزرگ و خیلی بزرگ کامل است، ولی برای زمین لغزش‌های متوسط و کوچکی که در مناطق جنگلی و دور از دسترس رخ داده و همچنین آثار زمین لغزش‌های قدیمی، که در اثر فرسایش یا فعالیت انسان از بین رفته و از روی عکس‌های هوایی قابل تشخیص نیست، ناقص است.

محدود می‌کند. بیشتر تشکیلات زمین‌شناسی ارتفاعات البرز مربوط به دوران مزوزوئیک است [۶]. به لحاظ آب و هوایی، با توجه به مجاورت استان مازندران با دریا، میزان بارندگی در آن زیاد است و رودخانه‌های متعددی دارد. بخش بسیار بزرگی از استان مازندران در زون کوه‌های البرز قرار دارد. از مشخصات زون مذکور پیوستگی رسوب‌گذاری از ژوراسیک تا میوسن است، که جنس آن‌ها از سنگ مارن و سنگ آهک است. لایه روباره این تشکیلات از جنس رس سیلتی و ماسه ریزدانه است، که هر لحظه در معرض خطر زمین لغزش قرار دارد. این زون به صورت تاقدیس و ناودیس‌هایی با شیب ملایم است و فاقد هرگونه فعالیت ماگمایی است. تکتونیک و فرایندهای کوه‌زایی زون البرز توسط دو گسل شمالی و جنوبی، که امتداد آن‌ها شرقی-غربی است، از دریای خزر و ناحیه شمال گرگان و از زون ایران مرکزی جدا شده است [۱].

داده‌های زمین لغزش

برای انجام دادن این تحقیق از داده‌های ثبت شده مساحت، حجم، و طول و عرض جغرافیایی زمین لغزش‌ها، که طی عملیات صحرایی در پرسش‌نامه‌هایی که اداره منابع طبیعی استان مازندران تنظیم کرده بود، استفاده شد. هر یک از این پرسش‌نامه‌ها شامل برخی خصوصیات مرفومتری زمین لغزش به‌ویژه حجم، مساحت، و عمق زمین لغزش است، که طی عملیات میدانی اندازه‌گیری شده بودند. اندازه‌گیری مساحت با تبدیل شکل نامنظم زمین لغزش به اشکال منظم هندسی و محاسبه مجموع مساحت این اشکال منظم به عنوان مساحت کل زمین لغزش به دست می‌آید. برای محاسبه عمق نیز، با توجه به اندازه زمین لغزش، در چندین نقطه عمق اندازه‌گیری می‌شود. البته، این عمق در ناحیه

روش تحقیق

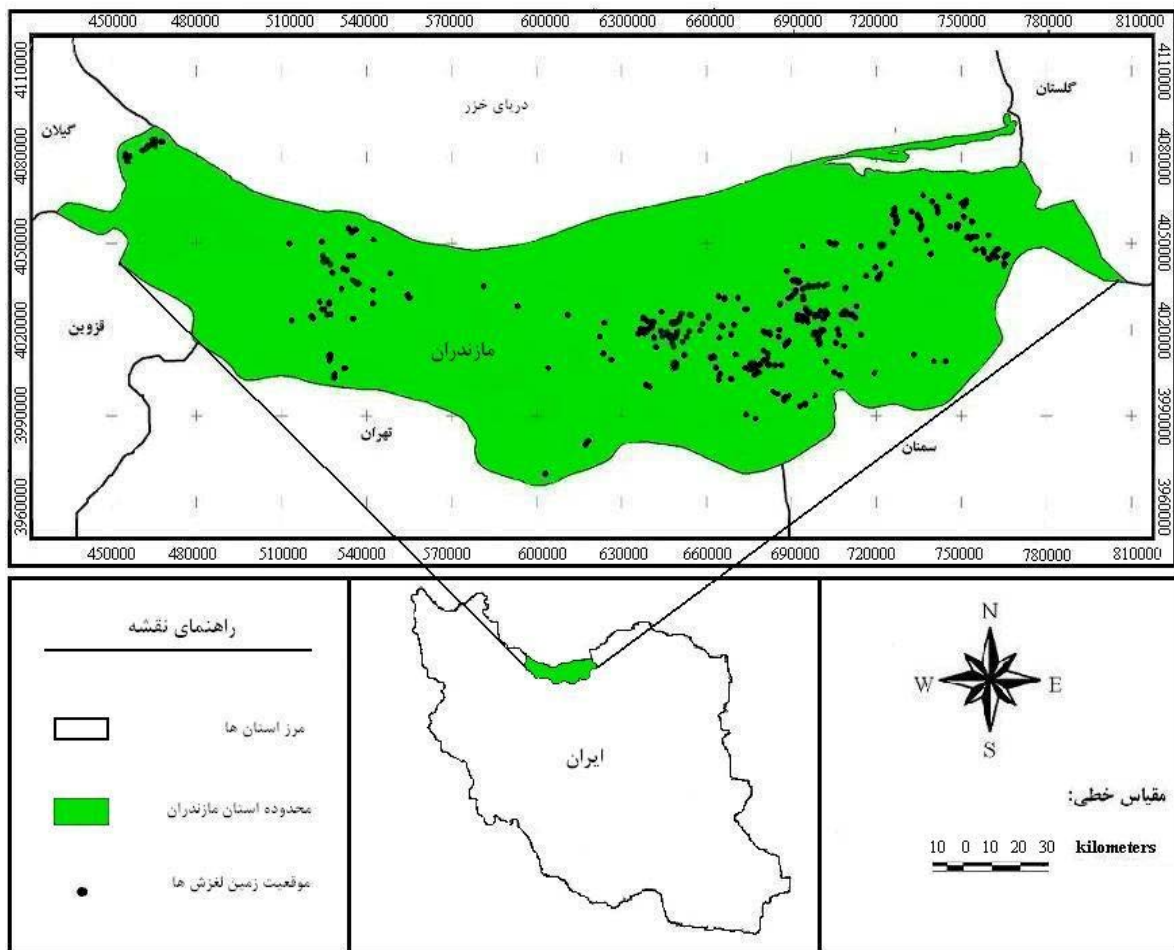
بررسی مشخصات آماری داده‌ها

پس از برداشت داده‌های مورد نیاز از روی پرسش‌نامه‌ها، نخست داده‌ها به محیط نرم‌افزاری Excel منتقل شد. سپس، صحت و کیفیت آن‌ها کنترل گردید و، در نهایت، مشخصات آماری داده‌ها محاسبه شد.

محاسبه توزیع تجمعی مساحت و حجم زمین لغزش‌ها

به منظور محاسبه توزیع تجمعی زمین لغزش‌ها،

نخست کل داده‌های مساحت به صورت صعودی مرتب شد. پس از تقسیم هر مساحت بر مساحت کل زمین لغزش‌ها، سهم هر زمین لغزش از کل لغزش‌های موجود در لیست به درصد محاسبه شد. سپس، مساحت تجمعی هر زمین لغزش محاسبه شد و، نهایتاً، رتبه هر زمین لغزش در مقابل مساحت تجمعی آن لغزش قرار گرفت و نمودار مربوط ترسیم گردید. مراحل فوق برای داده‌های مربوط به حجم زمین لغزش‌ها نیز انجام گرفت و نمودار توزیع تجمعی حجم نیز به دست آمد.



شکل ۱. موقعیت استان مازندران در ایران و همچنین پراکنش زمین لغزش‌های موجود روی نقشه استان مازندران

بررسی کردند. از این رو، این سه لیست برای زمین لغزش‌هایی با مساحت بالاتر از 250 m^2 کامل بودند. آن‌ها دریافتند که هر سه لیست کامل به وسیله یک تابع چگالی احتمال $(P(A_L))$ مشابه، یعنی توزیع احتمال گامای سه پارامتری (معادله ۱)، تقریب زده می‌شوند [۲۷]:

رابطه (۱)

$$P(AL; \rho, a, s) = \left(\frac{1}{NLT} \frac{\partial NL}{\partial AL} \right) = \frac{1}{a\Gamma(\rho)} \left[\frac{a}{AL-s} \right]^{\rho+1} \exp \left[-\frac{a}{AL-s} \right]$$

که در آن A_L مساحت زمین لغزش به کیلومتر مربع است؛ ρ پارامتر کنترل‌کننده کاهش توانی چگالی احتمال برای زمین لغزش‌های متوسط و بزرگ؛ α پارامتر کنترل‌کننده موقعیت حداکثر احتمال توزیع؛ s پارامتر کنترل‌کننده چرخش توانی برای زمین لغزش‌های کوچک؛ N_{LT} تعداد کل زمین لغزش‌ها در یک لیست؛ و $\frac{\partial NL}{\partial AL}$ تعداد زمین لغزش‌ها در محدوده مساحت‌های بین A_L تا $A_L + \partial AL$. همان طور که در بخش پیشین نیز توضیح داده شد، با افزایش A_L به مقدار ∂AL اضافه می‌شود. از این رو، عرض محدوده‌ها مساوی مقیاس لگاریتمی است. $\Gamma(\rho)$ تابع گامای ρ است. توزیع گامای معکوس سه پارامتری دارای یک نزول توانی معکوس با یک توان $-\beta = -(\rho+1)$ برای مساحت‌های بزرگ و متوسط، و یک چرخش توانی برای مساحت‌های کوچک است (شکل ۲). با توجه به اینکه گشتاور اول حول مبدأ هر تابع توزیع نشان‌دهنده مقدار میانگین متغیر آن توزیع است [۷]، مالامود و همکاران [۲۵] با استفاده از گشتاور اول معادله ۱ مقدار متوسط مساحت زمین لغزش‌ها را $3,07 \times 10^{-3} \text{ km}^2$ محاسبه نمودند. مشابه با مقیاس ریشتر-گوتنبرگ برای زمین‌لرزه و

محاسبه چگالی فراوانی - مساحت

زمین لغزش‌ها

برای به‌دست آوردن چگالی فراوانی - مساحت، نخست همه زمین لغزش‌های موجود بر حسب مساحت و بر اساس مقیاس لگاریتمی به ۳۶ طبقه مختلف مساحت تقسیم‌بندی شد. سپس، تعداد زمین لغزش‌های هر طبقه محاسبه شد و به عرض محدوده مربوط به هر طبقه تقسیم گردید. در نهایت، برای به‌دست آوردن نمودار چگالی فراوانی، مقادیر به‌دست آمده برای هر طبقه در مقابل مرز پایینی مساحت هر طبقه قرار گرفت و نمودار مربوطه ترسیم شد. این روش مشابه روش اتخاذشده در تحقیق مالامود و همکاران [۲۵] و همچنین وان دن اکهات و همکاران [۳۴] است. پس از مشخص شدن شکل چگالی فراوانی - مساحت و تطابق آن با سوابق پژوهشی ارائه شده، از روش رگرسیونی استفاده شد و رابطه توانی مربوط به دو قسمت مختلف چگالی فراوانی محاسبه شد و، در نهایت، توان‌های مربوطه (β و α) با سایر مطالعات مقایسه گردید.

برآورد تعداد و مساحت کل زمین لغزش‌های

رخ داده طی گذر زمان

به منظور محاسبه تعداد و مساحت کل زمین لغزش‌های رخ داده در طی زمان، همان‌طور که در بخش مقدمه نیز ذکر شد، از روش ارائه شده توسط مالامود و همکاران [۲۵]، به عنوان روشی جدید و مورد قبول در دنیا استفاده شد [۳، ۴، ۹، ۱۲، ۲۶، و ۳۴]. مالامود و همکاران [۲۵] توزیع فراوانی - مساحت زمین لغزش برای سه لیست کامل زمین لغزش از سه منطقه گواتمالا، کالیفرنیا، آمریکا، و ایتالیا را، که به ترتیب به وسیله سه عامل محرک بارندگی، سنگین، زمین‌لرزه، و ذوب سریع برف رخ داده بود،

معادله ۴ نشان می‌دهد که $f(A_L)$ را می‌توان با ضرب $P(A_L)$ در N_{LT} مربوط به بزرگی‌های مختلف زمین لغزش (معادله ۲) به دست آورد. شکل ۲ ب منحنی‌های تئوری چگالی فراوانی ($f(A_L)$) را برای بزرگی‌های (M_L) بین ۱ تا ۸ نشان می‌دهد، که با توجه به آن مقادیر N_{LT} بین 10^1 تا 10^8 است. برای محاسبه تعداد کل زمین لغزش‌ها از روی موقعیت دنباله توانی مربوط به لیست ناقص و همچنین معادله ۲، می‌توان تعداد کل N_{LT} را محاسبه کرد و، در نهایت، با ضرب تعداد کل در مساحت متوسط تئوریک زمین لغزش ($3,07 \times 10^{-3} \text{ km}^2$)، کل مساحت تحت تأثیر قرار گرفته توسط زمین لغزش‌ها را محاسبه نمود.

از آنجایی که لیست زمین لغزش‌های استان مازندران از نوع تاریخی و ناقص است، از روش فوق برای محاسبه تعداد و مساحت کل زمین لغزش‌هایی که طی گذر زمان در منطقه اتفاق افتاده استفاده شد. پس از محاسبه و ترسیم نمودار چگالی فراوانی مساحت زمین لغزش‌های استان مازندران (معادله ۳)، نمودار توزیع عمومی ارائه شده توسط مالامود و همکاران [۲۵]، که مربوط به معادله ۴ بوده، برای بزرگی‌های زمین لغزش (M_L) ۱ الی ۵ از طریق فرمول نویسی و وارد نمودن پارامترهای مختلف آن (معادلات ۱ و ۲) در نرم افزار Excel محاسبه و ترسیم گردید. سپس، نمودار چگالی فراوانی مساحت زمین لغزش‌های استان مازندران روی نمودار عمومی ترسیم شده قرار گرفت. در انتها، با توجه به موقعیت دنباله توانی مربوط به نمودار چگالی فراوانی مساحت زمین لغزش‌های استان تعداد و همچنین مساحت کل برآورد گردید.

مقیاس بزرگی برای زمین لغزش [۲۲]، برای یک لیست کامل زمین لغزش، یک مقیاس بزرگی زمین لغزش (M_L) مطابق با معادله ۲ پیشنهاد شد [۲۵]:

$$M_L = \log_{10}(N_{LT}) \quad \text{رابطه (۲)}$$

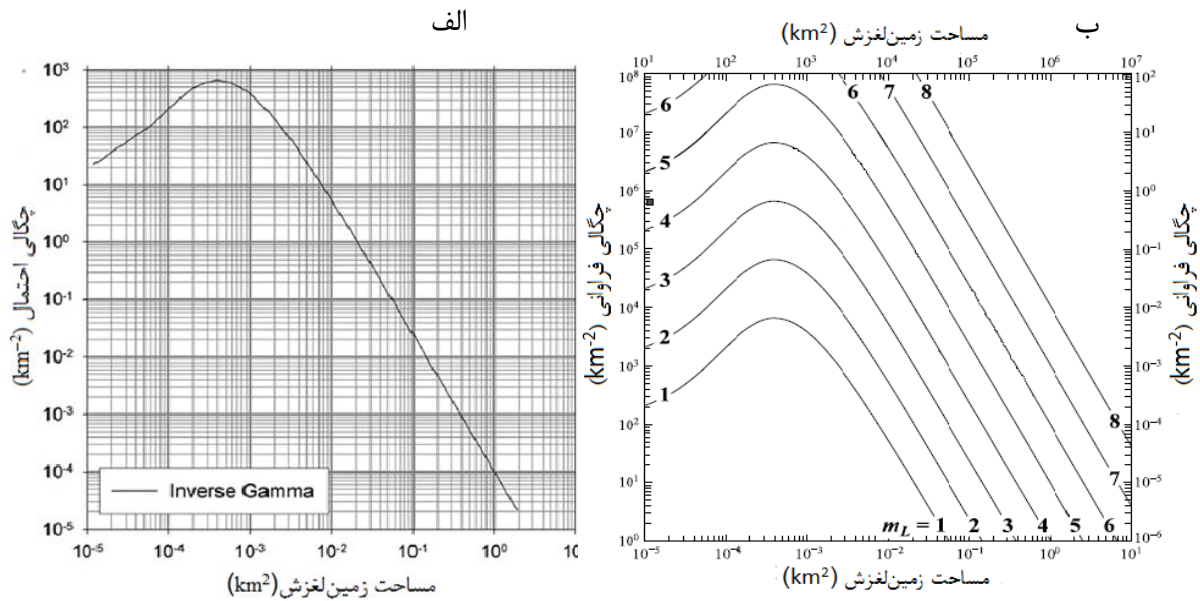
که در آن N_{LT} تعداد کل زمین لغزش‌های مربوط به یک واقعه راه انداز است. بر اساس معادله ۲، یک واقعه، که بین ۱۰ تا ۱۰۰ زمین لغزش را تحریک نموده، دارای بزرگی بین ۱ تا ۲ است.

مالامود و همکاران [۲۵] از تجزیه و تحلیل‌های ارائه شده فوق برای استخراج تعداد کل و همچنین کل مساحتی که در لیست‌های تاریخی و ناقص تحت تأثیر این زمین لغزش‌ها قرار گرفته اند استفاده نمودند. لیست زمین لغزش‌های تاریخی و ناقص مجموع وقایع منفرد زمین لغزشی هستند که در یک منطقه معین رخ داده اند. از آنجایی که ثابت شده این وقایع منفرد با توزیع احتمال عمومی ارائه شده در بالا برازش دارند، این انتظار وجود دارد که مجموع این وقایع منفرد نیز با این توزیع برازش داشته باشند. از آنجایی که تعداد کل زمین لغزش‌ها (N_{LT})، که طی زمان‌های مختلف رخ داده، برای لیست‌های ناقص نامعلوم است، تابع چگالی احتمال (معادله ۱) نیز نمی‌تواند محاسبه شود. اما چگالی فراوانی یا $f(A_L) (\text{km}^{-2})$ می‌تواند از طریق معادله ۳ محاسبه شود:

$$f(A_L) = \frac{\partial N_L}{\partial A_L} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن $\frac{\partial N_L}{\partial A_L}$ تعداد زمین لغزش‌هایی با مساحت‌های بین A_L و $A_L + \partial A_L$ است. ترکیب روابط ۱ و ۳ به معادله ۴ منجر می‌شود:

$$f(A_L) = N_{LT} \cdot P(A_L) \quad \text{رابطه (۴)}$$



شکل ۲ الف. توزیع عمومی احتمال زمین لغزش به دست آمده توسط مالمود و همکاران [۲۵]، که با توزیع گامای معکوس سه پارامتری (معادله ۱) تطابق خوبی دارد ($\rho = 1/4$ ، $\alpha = 1/28 \times 10^{-2} \text{ km}^2$ و $s = -1/32 \times 10^{-4} \text{ km}^2$).

شکل ۲ ب. نمودار وابستگی چگالی فراوانی زمین لغزش (f) به مساحت (A_L) (توزیع فراوانی زمین لغزش بر اساس توزیع عمومی احتمال زمین لغزش (معادله ۱) و برای بزرگی‌های (M_L) معین وقایع زمین لغزش (معادله ۲) تعیین شده است).

نتایج

مشخصات آماری داده‌های هندسی

زمین لغزش‌ها

پس از برداشت داده‌های مورد نیاز از روی پرسش‌نامه‌ها، نخست صحت و کیفیت آن‌ها از طریق تطابق با داده‌های حاصل از برداشت‌های صحرایی کنترل شد. سپس، مشخصات آماری آن‌ها محاسبه گردید. با توجه به نتایج به دست آمده، زمین لغزش‌های موجود در استان در محدوده بسیار وسیعی از مساحت، حجم، و عمق قرار دارند، به طوری که مساحت (A_L) آن‌ها در محدوده بین $1,085 \times 10^6 \text{ m}^2 \leq A_L \leq 1,23 \times 10^7 \text{ m}^2$ و حجم زمین لغزش‌ها (V_L) در محدوده بین $10^3 \text{ m}^3 \times 10^7 \text{ m}^3$ قرار دارد.

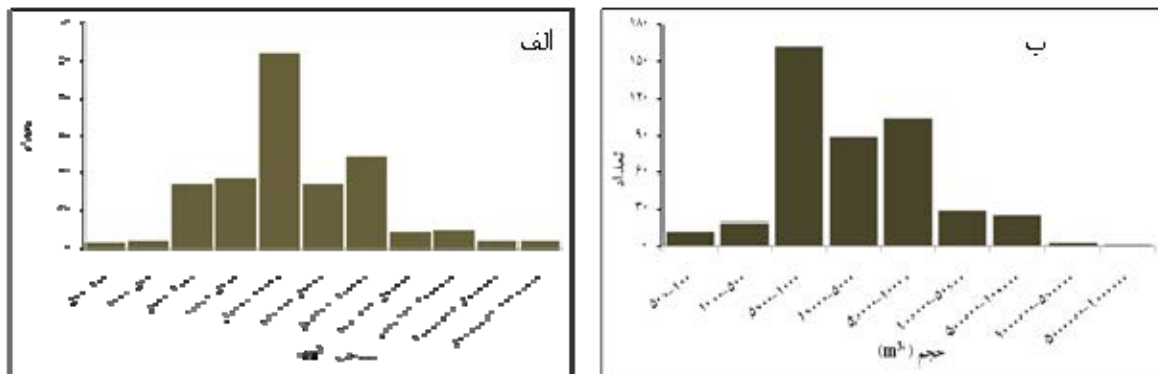
از آنجایی که لیست زمین لغزش‌های استان مازندران از نوع تاریخی و ناقص است، از روش فوق برای محاسبه تعداد و مساحت کل زمین لغزش‌هایی که طی گذر زمان در منطقه اتفاق افتاده استفاده شد. پس از محاسبه و ترسیم نمودار چگالی فراوانی مساحت زمین لغزش‌های استان مازندران (معادله ۳)، نمودار توزیع عمومی ارائه شده توسط مالمود و همکاران [۲۵]، که مربوط به معادله ۴ بوده، برای بزرگی‌های زمین لغزش (M_L) ۱ الی ۵ از طریق فرمول نویسی و وارد نمودن پارامترهای مختلف آن (معادلات ۱ و ۲) در نرم افزار Excel محاسبه و ترسیم گردید. سپس، نمودار چگالی فراوانی مساحت زمین لغزش‌های استان مازندران روی نمودار عمومی ترسیم شده قرار گرفت. در انتها، با توجه به موقعیت دنباله توانی مربوط به نمودار چگالی فراوانی مساحت زمین لغزش‌های استان تعداد و همچنین مساحت کل برآورد گردید.

مازندران در قالب شکل ۴ ارائه شد. با توجه به شکل ۴، نمودار این توزیع‌ها در بیشتر قسمت‌ها دارای شیب بسیار کمی بوده و در قسمت انتهایی شیب بسیار زیادی رو به بالا دارد. شیب بسیار کم نمودارها، که در قسمت زمین لغزش‌های کوچک تا متوسط اتفاق افتاده، نشان‌دهنده سهم کم این زمین لغزش‌ها از مساحت و حجم کل زمین لغزش‌های استان بوده است. شیب بسیار بالای این دو نمودار در قسمت انتهایی، یعنی زمین لغزش‌های بسیار بزرگ، حاکی از سهم بالای این زمین لغزش‌ها از مساحت و حجم کل به‌رغم تعداد کم آنها بوده است.

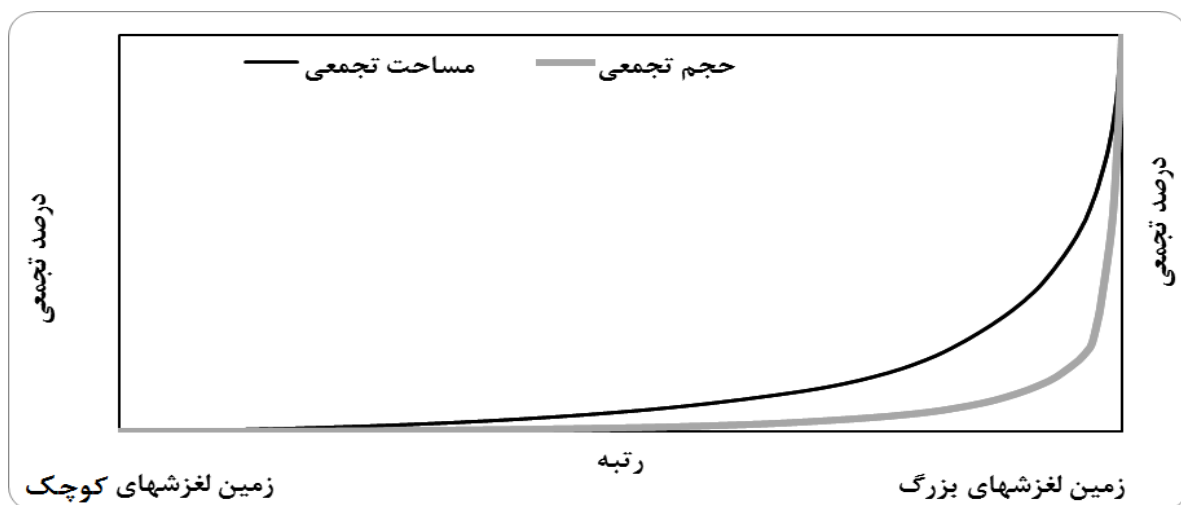
توزیع تجمعی مساحت و حجم زمین لغزش‌ها

تعداد ۴۴۲ زمین لغزش، که اطلاعات مساحت و حجم آنها موجود بود، در یک نمودار با مختصات لگاریتمی در شکل ۲ نشان داده شد. با توجه به شکل ۳ الف و ب، بیشترین فراوانی زمین لغزش‌ها در محدوده مساحت بین 1000 m^2 تا 500000 m^2 (الف) و محدوده حجمی بین 1000 m^3 تا 1000000 m^3 بوده است.

نتایج مربوط به محاسبات و شکل توزیع تجمعی مساحت و حجم زمین لغزش‌های ثبت‌شده در استان



شکل ۳. نمودار فراوانی زمین لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف مساحت (الف) و حجم (ب)



شکل ۴. نمودار توزیع تجمعی مساحت و حجم زمین لغزش‌های ثبت‌شده در استان مازندران

افزایش مساحت با نظم خاصی انجام نپذیرفت، به طوری که در برخی محدوده‌های مساحت، از جمله محدوده بین $4 \times 10^{-4} \text{ km}^2$ الی $5 \times 10^{-4} \text{ km}^2$ چگالی فراوانی به مراتب از محدوده‌های قبلی کمتر بود، ولی به طور کلی برای زمین‌لغزش‌های کوچک ($A_L \leq 2 \times 10^{-3} \text{ km}^2$) تغییرات چگالی فراوانی دارای روند افزایشی بود. سپس، با یک چرخش که در محدوده مساحت بین $2 \times 10^{-3} \text{ km}^2$ تا $3 \times 10^{-3} \text{ km}^2$ اتفاق افتاد، چگالی فراوانی با افزایش مساحت زمین‌لغزش به صورت یک رابطه توانی منفی و با توان $\beta = -1.77$ شروع به کاهش نمود (معادله ۶).

رابطه ۶

$$f(A_L) = 2/474 A_L^{-1.77} \quad R^2 = 0.975$$

انتقال بین دو قانون توانی مثبت و منفی سبب معرفی مساحت بحرانی $3 \times 10^{-3} \text{ km}^2$ با بیشترین چگالی فراوانی و احتمال وقوع گردید.

روند تغییرات مقادیر در شکل ۵ بدین معنی است که نخست زمین‌لغزش‌هایی با مساحت کم در منطقه دارای تعداد نسبتاً کمتری بوده و با افزایش مساحت مقدار چگالی فراوانی زمین‌لغزش‌ها (که تابعی از تعداد یا فراوانی است) بیشتر شده است و بعد از یک مقدار آستانه با افزایش مساحت این روند حالت نزولی گرفته تا جایی که در مساحت‌های بسیار زیاد چگالی فراوانی دارای مقدار نزدیک به صفر می‌گردد. از نتایج این نمودار (شکل ۴) برای برآورد تعداد، مساحت، و حجم کل زمین‌لغزش‌ها نیز استفاده می‌شود. بررسی نتایج حاصل از شکل ۴ نشان می‌دهد که از نظر اندازه زمین‌لغزش‌ها، در استان مازندران دو جامعه آماری با اندازه‌های متفاوت وجود دارد: یکی زمین‌لغزش‌هایی با مساحت کمتر از $2 \times 10^{-3} \text{ km}^2$ که فراوانی آن‌ها بسیار زیاد است؛ و دیگری زمین‌لغزش‌هایی با مساحت بزرگ‌تر از $3 \times 10^{-3} \text{ km}^2$ که فراوانی آن‌ها کمتر است.

به بیان عددی در مورد مساحت (خط سیاه نازک‌تر)، تعداد ۱۴ زمین‌لغزش انتهایی با مساحت‌های بیشتر از 0.2 km^2 ، که بزرگ‌ترین زمین‌لغزش‌ها را در لیست شامل می‌شوند، به‌رغم اینکه فقط ۳ درصد از تعداد کل زمین‌لغزش‌ها هستند، ۴۲ درصد از مساحت کل را دربر گرفته‌اند. در مورد نمودار توزیع تجمعی حجم (خط خاکستری ضخیم‌تر) نیز تعداد ۴۰۰ زمین‌لغزش، که ۹۰ درصد از تعداد کل زمین‌لغزش‌ها را شامل می‌شوند، فقط حجمی معادل ۱۰ درصد از حجم کل توده خاک جابه‌جاشده را اشغال نموده‌اند. در مقایسه با نمودار توزیع تجمعی مساحت، نمودار مربوط به حجم شیب ابتدایی ملایم‌تر و قسمت انتهایی دارای شیبی به مراتب بیشتر بود.

چگالی فراوانی - مساحت زمین‌لغزش‌ها

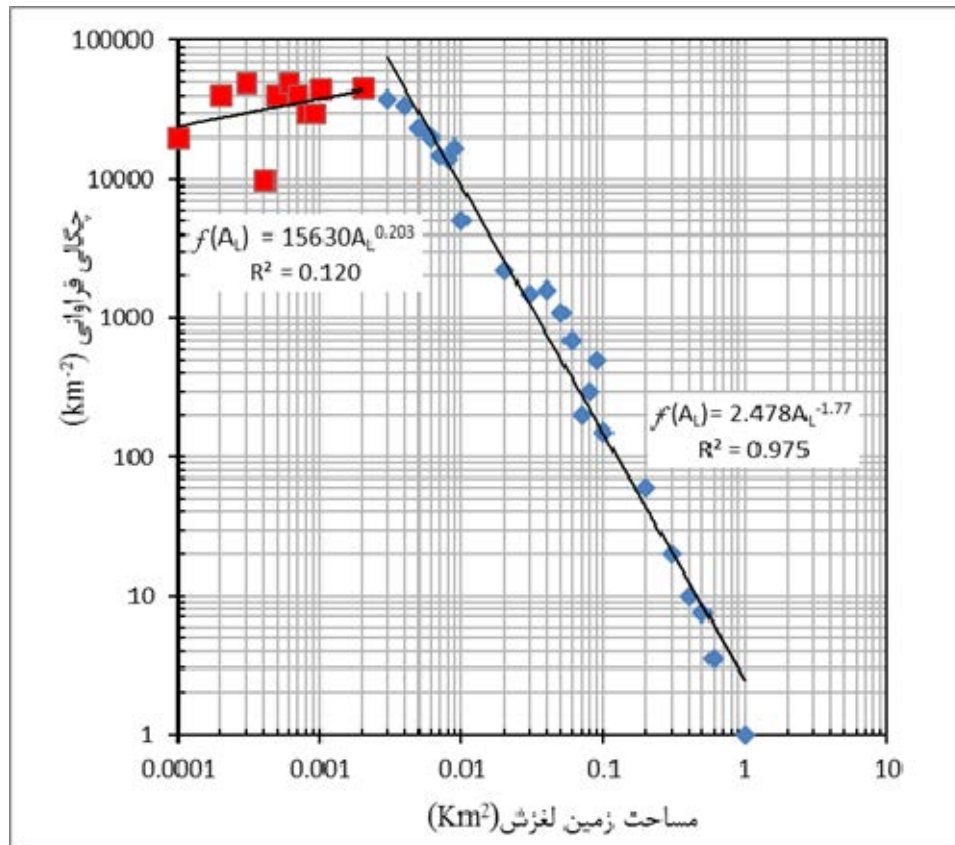
توزیع چگالی فراوانی مساحت برای تعداد ۴۴۲ زمین‌لغزش در استان مازندران ترسیم گردید؛ شکل ۴ توزیع چگالی فراوانی مساحت زمین‌لغزش‌های ثبت‌شده در استان مازندران را نشان می‌دهد. این نمودار بیان‌کننده آن است که چه تعداد زمین‌لغزش در هر طبقه از مساحت در لیست جمع‌آوری‌شده از زمین‌لغزش‌های استان وجود دارد. به دلیل اینکه در جامعه آماری زمین‌لغزش‌ها دامنه تغییرات مساحت بسیار بالا بود، از مقیاس لگاریتمی در این نمودار استفاده شد.

در این نمودار (شکل ۵) چگالی فراوانی برای زمین‌لغزش‌هایی با مساحت کم از یک مقدار کوچک‌تر (20000 km^2) شروع شد و با افزایش مساحت میزان چگالی فراوانی نیز با یک رابطه توانی ضعیف به صورت معادله ۵ افزایش یافت:

رابطه ۵

$$f(A_L) = 15630 A_L^{0.23} \quad R^2 = 0.12$$

این افزایش در میزان چگالی فراوانی به ازای



شکل ۵. نمودار توزیع چگالی فراوانی مساحت زمین لغزش‌های ثبت‌شده در استان مازندران

وجود ندارد پیدا نمود، البته این در صورتی امکان‌پذیر است که لیست موجودی زمین لغزش‌های ما برای زمین لغزش‌هایی با مساحت بالا کامل باشد. از آنجایی که لیست زمین لغزش‌های استان مازندران برای زمین لغزش‌های بزرگ و خیلی بزرگ کامل بود، از روش مذکور استفاده شد.

جهت محاسبه منحنی‌های تئوری $f(A_L)$ ، برای بزرگی‌های مختلف واقعه زمین لغزش (M_L) از حاصل ضرب توزیع احتمال ($P(A_L)$) ارائه‌شده در معادله ۱ در تعداد کل زمین لغزش‌های واقعه زمین لغزش استفاده شد و منحنی‌هایی در شکل ۶ برای $M_L=1$ تا $M_L=5$ ($N_{LT}=10^5$) ترسیم گردید. این منحنی‌های تئوری همان منحنی‌های به‌دست‌آمده توسط مالامود و همکاران [۲۵] است. پس از ترسیم منحنی‌های تئوری، چگالی فراوانی

با تفکیک این دو جامعه و محدوده مساحت انتقال (چرخش) بین این دو جامعه می‌توان به ماهیت شکل‌گیری این زمین لغزش‌ها از نظر غلبه بر نیروها پی برد؛ بدین صورت که زمین لغزش‌هایی با مساحت کمتر از این محدوده آستانه ($2 \times 10^{-3} \text{ km}^2$ تا 10^{-3} km^2) در اثر شکستن نیروی پیوستگی بین ذرات خاک به وجود آمده و زمین لغزش‌های بزرگ‌تر در اثر شکستن نیروهای اصطکاک ایجاد شده‌اند.

برآورد تعداد، مساحت، و حجم کل

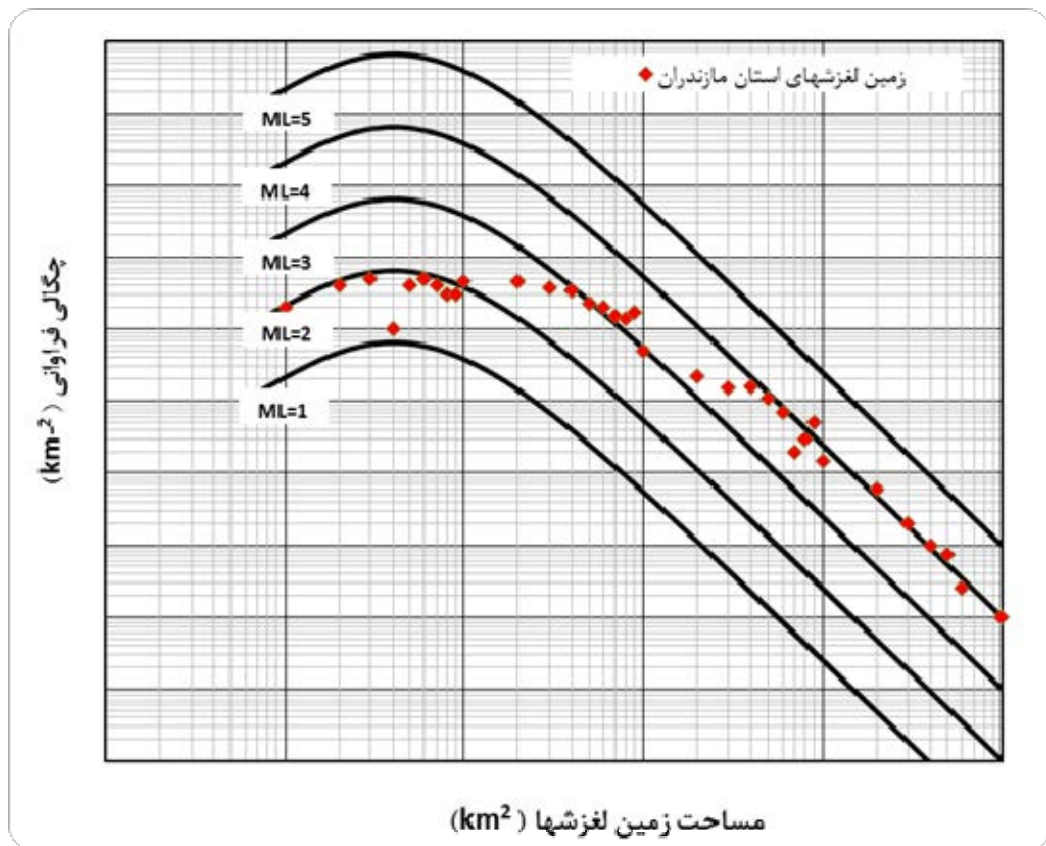
زمین لغزش‌های رخ داده طی گذر زمان

همان طور که در بخش روش‌ها نیز بیان شد، با استفاده از برون‌یابی توزیع عمومی ارائه‌شده Malamud [۲۵]، می‌توان تعداد و مساحت کل زمین لغزش‌هایی را که در لیست ناقص تاریخی ما

آثار مربوط به زمین لغزش‌ها در اثر فرسایش، فعالیت انسان، و رشد پوشش گیاهی و هم به دلیل پایین بودن دقت لیست ارائه شده در مورد زمین لغزش‌های کوچک باشد.

با توجه به رابطه ۲ و مقدار بزرگی به دست آمده $M_L = 4 \pm 0.1$ ، تعداد کل زمین لغزش‌های رخ داده در استان مازندران $N_{LT} = 2323 \pm 10266$ به دست آمد. از آنجایی که تعداد زمین لغزش‌ها در لیست موجودی ۴۴۳ زمین لغزش بود، نتیجه گرفته شد که تعداد 2323 ± 9823 زمین لغزش کوچک‌تر در طی سالیان گذشته در اثر فرسایش، رشد گیاهان، و فعالیت انسان از بین رفته و یا چنانچه آثار آن‌ها وجود داشته باشد، به دلیل پایین بودن دقت لیست موجودی در لیست زمین لغزش‌های موجود در استان مازندران، ثبت نگردیده است.

زمین لغزش‌های استان مازندران روی منحنی‌های تئوری انداخته شد (شکل ۵). این نمودار برای زمین لغزش‌هایی با مساحت بالا در تطابق خوبی با منحنی تئوری مربوط به بزرگی واقعه زمین لغزش ۴ ($M_L=4$) بود. البته، در برخی مساحت‌ها، از جمله 0.5 km^2 و 6 km^2 ، انحرافات از منحنی مذکور داشته که، با توجه به موقعیت این نقاط، محدوده اطمینان بزرگی $M_L = 4 \pm 0.1$ برای زمین لغزش‌های استان مازندران استفاده گردید. این انحراف از منحنی تئوری برای زمین لغزش‌های کوچک‌تر بسیار زیاد بوده تا جایی که در مساحت‌های بسیار کوچک نقاط مربوط به چگالی فراوانی با منحنی تئوری ۲ ($M_L=2$) انطباق یافته است، که البته این امر به دلیل ناقص بودن لیست ارائه شده برای زمین لغزش‌های کوچک است. این ناقص بودن نیز می‌تواند هم به دلیل از بین رفتن



شکل ۶. تطابق توزیع چگالی فراوانی مساحت زمین لغزش‌های استان مازندران با توزیع فراوانی احتمال پیشنهادی توسط ملامود و همکاران [۲۵] (معادله ۱) برای بزرگی‌های مختلف ($M_L = 1, 2, 3, 4, 5$) (معادله ۲)

این نکته است که در میزان وابستگی حجم به مساحت، در مساحت‌ها و حجم‌های بالا، تغییری ایجاد شده است که می‌تواند به دلیل این باشد که در مساحت‌های بالا میزان عمق زمین لغزش‌ها به نسبت زیادتری افزایش یافته است.

نتایج این تحقیق درباره توزیع چگالی فراوانی نشان داد که شکل توزیع چگالی فراوانی زمین لغزش‌های استان مازندران همانند توزیع عمومی به‌دست‌آمده در تحقیق مالامود و همکاران [۲۵] و همچنین توزیع‌های ارائه‌شده توسط سایر محققان، که در سوابق پژوهشی ارائه شد [۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۳۳، ۳۴]، بوده است.

همچنین، شکل توزیع چگالی فراوانی نشان داد که در بخش ابتدایی یک رابطه مثبت توانی با توان پایین (۰٫۲۰۳) وجود داشت و این افزایش به صورت نامنظم بود. این رابطه مثبت توانی در نتایج دیگر محققان [۱۴] نیز دیده شد که آن‌ها این رابطه مثبت را به دلیل ناقص بودن این لیست‌ها در اثر از بین رفتن آثار زمین لغزش‌ها به وسیله فرسایش و همچنین محدودیت‌های مربوط به تکنیک‌های برداشت این لیست‌ها از روی نقشه‌ها و عکس‌ها دانسته‌اند. همچنین، در تحقیقی دیگر [۲۵] نیز این رابطه مثبت را برای لیست‌های کامل به‌دست آوردند و نتیجه گرفتند که این رابطه مثبت به دلیل ناقص بودن لیست نیست. با در نظر گرفتن این مباحث، می‌توان اظهار کرد که رابطه مثبت برای استان مازندران هم می‌تواند به خاطر هر یک از دلایل فوق‌الذکر باشد، ولی نامنظم بودن و پایین بودن توان رابطه توانی به دلیل ناقص بودن لیست زمین لغزش‌های استان مازندران به‌خصوص در مورد زمین لغزش‌های کوچک است.

توان منفی مربوط به دنباله توانی توزیع فراوانی ($\beta = -1,77$) از مقدار پیشنهادی که برای اکثر مجموعه داده‌ها محدودۀ $0,5 \pm 2,5$ را معرفی

با توجه به متوسط مساحت به‌دست‌آمده در سوابق پژوهشی ($3,07 \times 10^{-3} \text{ km}^2$) [۲۵] و تعداد کل زمین لغزش‌های برآوردشده برای استان مازندران، کل مساحت تحت تأثیر قرارگرفته توسط زمین لغزش‌ها در استان $7,1 \pm 31,5 \text{ km}^2$ برآورد شد که بین ۰٫۱۶ - ۰٫۱۰ درصد از کل مساحت استان است. در واقع، کل مساحت زمین لغزش‌های ثبت‌شده در استان حدود ۴۱ درصد از کل مساحتی است که تحت تأثیر فرایند زمین لغزش قرار گرفته است. با توجه به مساحت کل به‌دست‌آمده ($31,5 \pm 7,1 \text{ km}^2$) و همچنین میزان عمق متوسط $7,28 \text{ m}$ مربوط به نقشه‌برداری‌های صحرایی زمین لغزش‌های ثبت‌شده در استان مازندران [۳۰]، میزان حجم کل مواد جابه‌جاشده در اثر پدیده زمین لغزش $0,232 \pm 0,052 \text{ km}^3$ برآورد شد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مربوط به توزیع تجمعی مساحت و حجم زمین لغزش‌ها نشان داد که، به‌رغم تعداد کم زمین لغزش‌هایی با مساحت و حجم بالا، سهم آن‌ها از مساحت و حجم کلی بسیار زیاد است. این یافته با نتایجی که برای منطقه UTRB ایتالیا به‌دست آمد [۱۲] مطابقت دارد. با توجه به نمودار توزیع‌های تجمعی به‌دست‌آمده، در بیشتر قسمت‌ها، منحنی تجمعی حجم در پایین و در قسمت انتهایی (زمین لغزش‌های بزرگ) در بالای منحنی تجمعی مساحت قرار گرفته است. این نوع رفتار از طرف داده‌های مربوط به زمین لغزش نشان‌دهنده آن است که زمین لغزش‌های بزرگ درصد بسیار زیادی از حجم کل را اشغال کرده‌اند، در حالی که سهم آن‌ها از مساحت کل کمتر بوده است. مثلاً، ۱۰ زمین لغزش مساحتی (بزرگ‌تر) ۷۰ درصد از حجم کل را دربر گرفته، در حالی که مساحت اشغال‌شده توسط همین زمین لغزش‌ها ۳۸ درصد بوده است. این امر بیانگر

بلژیک $2 \times 10^{-2} \text{ km}^2$ [۳۴] با مقدار به دست آمده طی پژوهش حاضر تفاوت زیادی دارد که دلیل آن می‌تواند به خاطر تفاوت ژئومورفولوژی در دو منطقه باشد.

بر اساس تحقیقی، انتقال بین این دو قانون توانی مربوط به انتقال بین مقاومت‌ها در مقابل گسیختگی دامنه‌هاست [۱۱]، بدین ترتیب که این انتقال مقاومت در مقابل اصطکاک برای زمین‌لغزش‌های بزرگ یا عمقی و مقاومت در برابر نیروی پیوستگی برای زمین‌لغزش‌های کوچک یا سطحی را نشان می‌دهد.

نتایج محاسبه مساحت کل منطقه تحت تأثیر زمین‌لغزش‌ها نشان داد که $0.16 - 0.10$ درصد از کل منطقه تحت تأثیر زمین‌لغزش قرار گرفته است که در مقایسه با میزان ۴ درصد که برای منطقه فلمیش آردنس بلژیک به دست آمد [۳۴] و همچنین رقم به دست آمده برای منطقه UTRB، که درصد بسیار بالایی از مساحت را تحت تأثیر زمین‌لغزش نشان داده بود [۱۲]، بسیار پایین است. در این مورد می‌توان اظهار نمود که با وجود شرایط مستعد جهت وقوع زمین‌لغزش در استان مازندران، از جمله تغییر کاربری اراضی و وجود سازندهای حساس به فرسایش، باز هم میزان مساحت تحت تأثیر قرار گرفته کمتر از مناطق مذکور است. این امر به دلیل پایین بودن شدت عوامل راه‌انداز زمین‌لغزش‌ها در استان نسبت به مناطق مذکور است.

درباره جنبه کاربردی این پژوهش ذکر این نکته لازم است که، با مشخص شدن نقش بالای زمین‌لغزش‌های بزرگ استان در مساحت و حجم کلی، در مواردی که به دلیل محدودیت‌ها عملیات مدیریتی و حفاظتی نمی‌تواند در همه مناطق گسترده شود، می‌توان مناطقی را که از نظر وقوع زمین‌لغزش‌های بزرگ مستعد شناسایی نمود و عملیات مدیریتی و کنترلی را در این بخش‌ها متمرکز

نموده [۱۰] کمتر بود و در مقایسه با مقدار محاسباتی برای کل مطالعات انجام گرفته در دنیا ($\beta = 2.3 \pm 0.6$) [۳۴] نیز کمی پایین‌تر از آستانه حداقل بود. سوابق پژوهشی در دو مورد این پراکندگی و تغییرات زیاد در مقدار β را، که در مناطق مختلف دیده شده، به دلیل اختلاف در فاکتورهای محیطی مناطق مورد مطالعه دانسته‌اند [۱۲، ۲۲]. از آنجایی که مقدار کوچک‌تر این توان (شیب کمتر دنباله توزیع) نشان‌دهنده آن است که زمین‌لغزش‌های بزرگ‌تر دارای سهم بیشتری از کل لیست موجودی زمین‌لغزش‌ها بوده‌اند و بالعکس [۳۴]، در مورد استان مازندران نیز به دلیل پایین بودن مقدار این توان در مقایسه با سایر نقاط دنیا می‌توان نتیجه گرفت که سهم زمین‌لغزش‌های بزرگ از کل زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه بالاتر از زمین‌لغزش‌های کوچک است. البته، این یافته با نتایج قسمت توزیع جمعیتی نیز، که در بالا بحث شد، هم‌خوانی کامل دارد. طی پژوهش‌های گذشته، رفتار توانی توزیع چگالی مساحت‌های زمین‌لغزش به مفهوم بحرانی بودن خودسازمان‌یافته زمین‌لغزش‌ها نسبت داده شده بود [۲، ۲۹، ۳۵]. این مفهوم برای بیان رفتار توانی مدل آزمایشگاهی توده ماسه بیان شد، که در آن، با اضافه شدن یک به یک دانه‌های ماسه، توده ماسه‌ای شروع به ریزش نمود و، نهایتاً، یک قانون توانی بین تعداد ریزش‌ها N_A و تعداد دانه‌ها به عنوان نماینده مساحت ریزش‌ها (A_B) برقرار شد [۲۱].

در مورد مساحت $2 \times 10^{-3} \text{ km}^2$ ، که در آن محدوده انتقال بین دو قانون توانی انجام پذیرفت، می‌توان گفت که مساحت به دست آمده با مقدار مشاهده شده لیست‌های تاریخی در سایر مناطق دنیا، که بین $1.1 \times 10^{-3} \text{ km}^2$ تا $1.8 \times 10^{-2} \text{ km}^2$ است [۳۴]، مطابقت دارد. البته، این مقدار برای لیست تاریخی زمین‌لغزش در منطقه تپه‌ای فلمیش آردنس

هدف از این مطالعه بررسی رابطه بین مساحت و حجم زمین لغزش‌ها و نحوه رفتار توزیع‌های فراوانی حجم و مساحت و همچنین برآورد تعداد، مساحت، و حجم کل زمین لغزش‌ها در استان مازندران بود. طی این تحقیق رابطه‌ای توانی جهت برآورد حجم زمین لغزش به دست آمد و توزیع‌های فراوانی تجمعی برای مساحت و حجم به گونه‌ای به دست آمد که سهم زمین لغزش‌های بزرگ از مقدار مساحت و حجم کل بسیار بالا بود. همچنین، تعداد، مساحت، و حجم کل زمین لغزش‌هایی که در طی زمان آثار آن‌ها از بین رفته بود با استفاده از روش ملامود و همکاران [۲۵] به دست آمد. ذکر این نکته لازم است که تعداد، مساحت، و حجم کل برآورد شده در این تحقیق مربوط به یک بازه زمانی است. این محدوده زمانی به سن زمین لغزش‌های لیست شده در منطقه بستگی دارد. بدیهی است اگر بتوان سن زمین لغزش‌های ثبت شده را تعیین نمود، این بازه زمانی نیز مشخص می‌شود.

کرد یا در اولویت قرار داد. به بیان دیگر، در مدیریت مناطق مستعد لغزش، مناطق با زمین لغزش‌های بزرگ و تعداد کم بر مناطق با زمین لغزش‌های کوچک و تعداد زیاد ارجحیت دارند؛ مگر اینکه بحث مسکونی بودن منطقه و یا خسارت‌های جانی و مالی مطرح شود.

همان طور که در بخش‌های قبلی نیز اشاره شد، با پیدا کردن محدوده چرخش بین دو قانون توانی در توزیع چگالی مساحت‌های زمین لغزش، می‌توان به علت اصلی ایجاد زمین لغزش از نظر غلبه بر نیروی مقاومت (پیوستگی بین ذرات و یا اصطکاک) دامنه گسیخته شده پی برد و از این طریق روش کنترلی متناسبی اتخاذ نمود. بنابراین، کاربرد دیگر تحقیق حاضر این است که، به منظور اجرای عملیات کنترلی برای زمین لغزش‌هایی با مساحت پایین‌تر از آستانه بحرانی به دست آمده ($2 \times 10^{-3} \text{ km}^2$)، از روش‌هایی استفاده شود که در مقابل نیروی پیوستگی ذرات خاک دامنه مقابله نماید و برای زمین لغزش‌هایی با مساحت بالاتر نیز روش‌های کنترلی در مقابل نیروی اصطکاک اعمال شود.

References

- [1] Ahmadi, H. and Feiznia, S. (2006). *Quaternary Formation*. 2ed Edition, University of Tehran press, 627p.
- [2] Bak, P., Tang, C., Wiesenfeld, K. (1988). Self-organized criticality. *Physical Review A*38, 364-374.
- [3] Brink ten, U.S., Barkan, R., Andrews, B.D. and Chaytor, J.D. (2009). Size distribution and failure initiation of submarine and subaerial landslides. *Earth and Planetary Science Letters*, 287, 31-42.
- [4] Brink ten, U.S., Geist, E.L. and Andrews, B.D. (2006). Size distribution of submarine landslides and its implication to tsunami hazard in Puerto Rico. *Geophysical Research Letters*, 33, L11307.
- [5] Cardinali, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Antonini, G., Galli, M., Cacciano, M., Castellani, M. and Salvati, P. (2002). A geomorphological approach to estimate landslide hazard and risk in urban and rural areas in Umbria, central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2 (1-2), 57-72.
- [6] Darvishzade, A. (2006). *Iran geology*, Amir-Kabir publications, 434p.
- [7] Freund, J. (1992). *Mathematical statistics*. 5th edition, 650p.
- [8] Fujii, Y. (1969). Frequency distribution of landslides caused by heavy rainfall. *Journal of Seismological Society of Japan*, 22, 244-247.
- [9] Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F. and Reichenbach, P. (2008). Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 94, 268-289.
- [10] Guzzetti, F. (2009). *Statistics of Landslide Sizes to Determine Landslide Mobilization Rates and to Ascertain Landslide Hazard and Risk*. International Conference in Commemoration of the 10th Anniversary of the 1999. Chi-Chi Earthquake, Taiwan September, 17-21, 2009.
- [11] Guzzetti, F., Aleotti, P., Malamud, B.D. and Turcotte, D.L. (2002a). *Comparison of three landslides event inventories in central and northern Italy*, 4th EGS Plinius Conference held at Mallorca, Spain, October, 2002.
- [12] Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M., Reichenbach, P. and Rossi, M. (2008). Distribution of landslides in the Upper Tiber River basin, central Italy. *Geomorphology*, 96, 105-122.
- [13] Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- [14] Guzzetti, F., Malamud, B.D., Turcotte, D.L. and Reichenbach, P. (2002b). Power-law correlations of landslide areas in Central Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, 195, 169-183.
- [15] Harmon, R.S. and Doe III, W.W. (2001). *Landscape Erosion and Evolution Modeling*. Springer-Verlag. 535p.
- [16] Hovius, N., Stark, C.P. and Allen, P.A. (1997). Sediment flux from a mountain belt derived by landslide mapping. *Geology*, 25, 231-234.
- [17] Imaizumi, F. and Sidle, R.C. (2007). Linkage of sediment supply and transport processes in Miyagawa Dam catchment, Japan. *Journal of Geophysical Research*, 112, (F03012).
- [18] Imaizumi, F., Sidle, R.C. and Kamei, R. (2008). Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33, 827-840.
- [19] Iranian landslides study group (2007). *The instructive guide of 4 pages questionnaire of Iran's*

landslides database. Published by Iranian forests, ranges and watershed management organization.

- [20] Iwahashi, J., Watanabe, S. and Furuya, T. (2003). Mean slope-angle frequency distribution and size frequency distribution of landslide masses in Higashikubiki area, Japan, *Geomorphology*, 50(4), 349-364.
- [21] Kadanoff, L.P., Nagel, S.R., Wu, L. and Zhou, S.M. (1989). Scaling and universality in avalanches. *Physical Review A* 39, 6524-6533.
- [22] Keefer, D.K. (1984). Landslides caused by earthquakes, *Geol. Soc. Am. Bull*, 95, 406-421.
- [23] Korup, O. (2005). Distribution of landslides in southwest New Zealand. *Landslides*, 2, 43-51.
- [24] Lavé, J. and Burbank, D. (2004). Denudation processes and rates in the transverse ranges, southern California: erosional response of a transitional landscape to external and anthropogenic forcing. *Journal of Geophysical Research*, 109 (F01006).
- [25] Malamud, B.D., Turcotte, D.L., Guzzetti, F. and Reichenbach, P. (2004). Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, 687-711.
- [26] Martha, T.R., Kerle, N., Jetten, V., van Westen, C.J. and Kumar, K.V. (2010). Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landslides for semi-automatic detection using object-oriented methods. *Geomorphology*, 116, 24-36.
- [27] Miller, D.J. and Burnett, K.M. (2007). Effects of forest cover, topography, and sampling extent on the measured density of shallow, translational landslide. *Water Resources Research*, 43 (W03433).
- [28] Montgomery, R.D., Schmidt, K.M., Greenberg, H.M. and Dietrich, W.E. (2000). Forest clearing and regional landsliding. *Geology*, 28(4), 311-314.
- [29] Noever, DA. (1993). Himalayan sandpiles. *Physical Review*, E47, 724-725.
- [30] Omidvar, E. and Kavian, A. (2011). Development of a statistical model to estimate landslide volume based on landslide area in a regional scale (a comparative study). *Iranian journal of natural resources*, 63, No. 4, 439-455.
- [31] Reichenbach, P., Galli, M., Cardinali, M., Guzzetti, F. and Ardizzone, F. (2005). Geomorphologic mapping to assess landslide risk: concepts, methods and applications in the Umbria Region of central Italy. In: Glade, T., Anderson, M.G., Crozier, M.J. (Eds.), *Landslide Risk Assessment*. John Wiley, Chichester, pp. 429-468.
- [32] Soeters, R. and vanWesten, C.J. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslide Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board Special Report, vol. 247. National Research Council, pp. 129-177.
- [33] Stark, C.P. and Hovius, N. (2001). The characterization of landslide size distribution. *Geophysical Research Letters*, 28, 1091-1094.
- [34] Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G. and Demoulin, A. (2007). Characteristics of the size distribution of recent and historical landslides in a populated hilly region. *Earth and Planetary Science Letters*, 256, 588-603.