

برآورد حجم زمین لغزش‌ها بر پایه مساحت در مقیاس منطقه‌ای (بررسی موردی: استان مازندران)

ابراهیم امیدوار^۱ و عطا... کاویان^{۲*}

^۱ دانشجوی دکتری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه مازندران، ایران

^۲ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

(تاریخ دریافت: ۸۹/۴/۷، تاریخ تصویب: ۸۹/۱۰/۲۸)

چکیده

داشتن داده‌هایی از شمار، تعداد و حجم زمین لغزش‌ها برای برآورد حساسیت، تعیین خطر زمین لغزش و ارزیابی دراز مدت دامنه‌ها در اثر فرایند حرکات توده‌ای مهم است. برآورد حجم زمین لغزش امری دشوار و نیازمند داده‌هایی از هندسه سطحی و زیر سطحی دامنه گسیخته شده می‌باشد که امروزه تنها با اتخاذ روابط تجربی ارتباط دهنده حجم زمین لغزش‌ها به اندازه‌گیری‌های هندسی گسیختگی‌ها بویژه مساحت زمین لغزش، قابل محاسبه می‌باشد. در این پژوهش در آغاز اطلاعات مربوط به تعداد ۴۴۲ زمین لغزش در استان مازندران شامل مساحت، حجم و عمق تهیه شد. سپس یک رابطه تجربی برای برآورد حجم ارائه و این رابطه ارزیابی شد. در نهایت روابط همانند در پیشینه پژوهشی برای داده‌های مشاهده‌ای زمین لغزش‌های استان مازندران به کار برده شد و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که مقادیر حجم برآورد شده توسط رابطه ارائه شده برای استان مازندران همخوانی بسیار خوبی با داده‌های مشاهده‌ای ($P_{value}=0.000$, $R^2=0.823$) و برخی روابط موجود دارد که نشان دهنده کارایی رابطه ارائه شده می‌باشد. همچنین روابط تجربی که در مناطق مورد بررسی خود از زمین لغزش‌های با مساحت بزرگ ایجاد شده‌اند، برای استفاده در استان مازندران، کارایی بهتری نسبت به روابطی دارند که از زمین لغزش‌های کوچک بدست آمده‌اند. با توجه به رابطه ارائه شده میزان عمق میانگین زمین لغزش‌ها در استان مازندران ۷/۸۱ متر برآورد شد که به میزان عمق مشاهده‌ای ۷/۳۸ متر بسیار نزدیک بود.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، حجم، مساحت، رابطه تجربی، استان مازندران

برآورد حجم زمین لغزش‌ها بر پایه مساحت در مقیاس منطقه‌ای ...

مقدمه

(هزاران و چندین هزار گسیختگی) در یک منطقه نیز امری چالش برانگیز بوده (Malamud et al., 2004a) و از سویی دیگر محاسبه دقیق و حتی تقریبی حجم زمین لغزش‌ها در یک منطقه تنها برای شماری از آن‌ها امکان‌پذیر می‌باشد (Guzzetti et al., 2008). به همین خاطر در حال حاضر برآورد حجم زمین لغزش تنها با اتخاذ روابطی تجربی که حجم زمین لغزش‌ها را به اندازه-گیری‌های هندسی گسیختگی‌ها بویژه مساحت مرتبط می-نمایند (Simonett, 1967; Rice et al., 1969; Innes, 1983; Hovius et al., 1997; Guthrie and Evans, 2004a; Korup, 2005b; ten Brink et al., 2006; Imaizumi and Sidle, 2007; Guzzetti et al., 2008; Imaizumi et al., 2008) محاسبه می‌گردد.

مطالعاتی که تاکنون در زمینه زمین لغزش صورت گرفته، بیشتر در رابطه با شناخت عوامل موثر در وقوع زمین لغزش (Zeze et al., 1999; Zhou et al., 2002; Chigira M., 2002) و تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش‌ها (Miles and Ho., 1999; Neaupane and Piantanakulchai., 2006; Yalcin., 2008; Budetta et al., 2008) می‌باشد. این در حالیست که در مدیریت حوزه‌های آبخیز، تحویل رسوب در خروجی یک حوزه آبخیز از اهمیت به سزایی برخوردار است. این تحویل رسوب که بسیار متأثر از وقوع زمین لغزش‌ها بخصوص در حاشیه رودخانه‌ها می‌باشد، بیش از پیش بر اهمیت برآورد حجم زمین لغزش‌ها تأکید دارد. بنابراین با توجه به اهمیت برآورد حجم رسوب ناشی از فرسایش توده‌ای از یک سو و نیز عملیات میدانی بسیار پرهزینه و وقت‌گیر مربوط به اندازه‌گیری حجم از سوی دیگر باعث شد تا مطالعاتی در مناطق مختلف دنیا روی برآورد حجم زمین لغزش با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای مساحت (A_L) و حجم (V_L) انجام گرفته و روابطی تجربی برای هر منطقه ارائه گردد.

از جمله این مطالعات می‌توان به تحقیقات Rice و همکاران (Rice, 1969) و Foggin (1971)، Abele (1974)، Innes (1983)، Simonett (1997)، Larsen و Sanchez (1998)، Martin و همکاران (2002)،

زمین لغزش یکی از فرایندهای اصلی زمین ریختی است که تکامل چشم‌انداز مناطق کوهستانی را تحت تأثیر قرار داده (Roering et al., 2005) و باعث ایجاد حوادث فاجعه برانگیزی می‌گردد (Hattanji and Moriwaki., 2009). زمین لغزش‌ها در اثر بسیاری عوامل محرک از قبیل زمین‌لرزه، بارندگی و ذوب سریع برف ایجاد شده و تحت تأثیر عواملی مانند توپوگرافی، نوع سنگ و خاک، شکستگی‌ها و سطوح بستر و میزان رطوبت قرار می‌گیرند (Crozier, 1986; Turner and Schuster, 1996). داشتن داده‌هایی از تعداد، مساحت و حجم زمین لغزش‌ها برای برآورد حساسیت (Soeters and van Westen, 1996; Guzzetti et al., 1999; Malamud et al., 2004)، تعیین خطر زمین لغزش (Cardinali et al., 2005; Reichenbach et al., 2002)، مطالعات اکولوژیک جنگل و حیات وحش (Montgomery et al., 2007; Miller and Burnett, 2000)، و ارزیابی دراز مدت دامنه‌ها در اثر فرایند حرکات توده‌ای (Hovius et al., 1997; Harmon and Doe, 2001; Lavé and Burbank, 2004; Korup, 2005a,b; Malamud Imaizumi and Sidle, 2007; et al., 2004b) مهم می‌باشد. (Guzzetti et al., 2008)

دستیابی به اطلاعات مربوط به مساحت و تعداد زمین لغزش‌ها از روی عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و همچنین بازدیدهای میدانی به راحتی امکان‌پذیر می‌باشد، در حالی که حجم را نمی‌توان از روی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مشخص نمود. از آنجایی که اطلاعات مربوط به حجم در ارتباط با میزان فرسایش و تولید رسوب می‌باشد، بنابراین مورد توجه ویژه - به خصوص برای متخصصین آبخیزداری - قرار می‌گیرد (Malamud et al., 2004).

برآورد حجم زمین لغزش امری مشکل است و نیازمند داده‌هایی از هندسه سطحی و زیر سطحی دامنه گسیخته شده می‌باشد. جمع آوری این اطلاعات که طی عملیات میدانی صورت می‌گیرد، مشکل و پرهزینه است. برآورد حجم دامنه گسیخته شده برای تعداد زیاد زمین لغزش

کوه‌های البرز قرار می‌گیرد. از مشخصات زون مذکور پیوستگی رسوبگذاری از ژوراسیک تا میوسن بوده که جنس آن‌ها از سنگ مارن و سنگ آهک می‌باشد. لایه روباره این تشکیلات از جنس رس سیلتی و ماسه ریزدانه که در هر لحظه در معرض خطر زمین لغزش قرار داد. این زون بصورت تاقدیس و ناودیس‌های دارای شیب ملایم بوده و فاقد هرگونه فعالیت ماگمائی می‌باشد. تکتونیک و فرایندهای کوهزائی زون البرز توسط دوگسل شمالی و جنوبی که امتداد آنها شرقی- غربی می‌باشد، از دریای خزر و ناحیه شمال گرگان و از زون ایران مرکزی جدا شده است (Ahmadi & Feiznia, 2006).

- داده‌های زمین لغزش

برای انجام این تحقیق از داده‌های ثبت شده زمین لغزش‌ها که در پرسش‌نامه‌هایی توسط اداره منابع طبیعی استان مازندران تنظیم شده، استفاده شد. هر یک از این پرسش‌نامه‌ها شامل برخی خصوصیات مرفومتری زمین لغزش به خصوص حجم، سطح و عمق زمین لغزش بوده که طی عملیات میدانی اندازه‌گیری شده بودند. برای اندازه‌گیری مساحت شکل نامنظم، زمین لغزش به اشکال منظم هندسی تبدیل و مجموع مساحت این اشکال منظم به عنوان مساحت کل زمین لغزش محاسبه می‌گردد. برای محاسبه عمق زمین لغزش، با توجه به اندازه زمین لغزش در چندین نقطه چاهک‌هایی که تا لایه غیرقابل نفوذ زیرین ادامه دارد حفر شده و در نهایت از میانگین عمق آن‌ها به عنوان عمق میانگین زمین لغزش استفاده می‌گردد. البته این عمق در ناحیه اسکارپ نیز قابل اندازه‌گیری بوده ولی برای محاسبه دقیق آن از روش حفر چاهک استفاده می‌گردد. حجم زمین لغزش نیز از حاصلضرب عمق میانگین در مساحت آن به دست می‌آید (Iranian landslides study group, 2007).

شکل ۱ موقعیت زمین لغزش‌های موجود را در استان مازندران نشان می‌دهد.

Guthrie و Evans (۲۰۰۴)، Korup (۲۰۰۵) و Imaizumi و Sidle (۲۰۰۷)، Imaizumi و همکاران (۲۰۰۸) و همچنین Guzzetti و همکاران (۲۰۰۹) اشاره نمود که در محدوده‌های مختلف مساحت زمین لغزش میزان حجم را پیش‌بینی نموده‌اند.

با بررسی منابع فوق مشخص شد که برآورد حجم زمین لغزش‌ها با استفاده از داده‌های مساحت در نقاط مختلف دنیا مورد بررسی قرار گرفته و مدل‌هایی که همگی به صورت توانی می‌باشند ارائه شده است. با توجه به اینکه شمار بسیار زیادی از زمین لغزش‌ها در کشور ایران و بخصوص در استان مازندران به دلیل تغییر کاربری اراضی زراعی، باغ و جاده سازی (Kelarestaghi and Ahmadi, 2009; kelarestaghi et al, 2007) رخ داده است و نیز با توجه به اینکه در کشور ایران هیچگونه مطالعاتی در خصوص بررسی روابط حجم-سطح زمین لغزش صورت نگرفته است، تحقیق حاضر با هدف ارائه رابطه‌ای تجربی برای برآورد حجم زمین لغزش‌های استان مازندران، همچنین معرفی و کاربرد برخی روابط تجربی مختلف در دنیا و مقایسه این روابط با رابطه به‌دست آمده در استان مازندران صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

- منطقه مورد مطالعه

استان مازندران که عرصه این پژوهش است، با گستره ۲۴۰۹۱/۳ کیلومتر مربع و با موقعیت جغرافیایی ۲۷' ۳۵° تا ۳۵' ۳۶° عرض شمالی ۳۴' ۵۰° تا ۱۰' ۵۴° طول شرقی (شکل ۱)، از بخش‌های جلگه‌ای و کوهستانی تشکیل شده 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 محدود می‌کنند. بیشتر تشکیلات زمین شناسی ارتفاعات البرز مربوط به دوران مزوزوئیک می‌باشد (Darvishzadeh, 2006). به لحاظ آب و هوایی با توجه به مجاورت استان مازندران با دریا، میزان بارندگی زیاد و رودخانه‌های متعدد می‌باشد. بخش بسیار بزرگی از استان مازندران در زون

برآورد حجم زمین لغزش‌ها بر پایه مساحت در مقیاس منطقه‌ای ...

حجم زمین لغزش با استفاده از داده‌های مساحت، پس از رعایت فرضیات تجزیه رگرسیون، یک مدل رگرسیونی توانی به دست آمد.

- ارزیابی و مقایسه مدل‌ها

پس از بررسی پیشینه مختلف پژوهشی در دنیا برای محاسبه حجم زمین لغزش معادلات تجربی مختلفی که همه آن‌ها به صورت توانی بودند، معرفی شد. جدول ۱ این معادلات، شمار زمین لغزش‌ها و همچنین محدوده مساحتی که با توجه به آن میزان حجم در هر منطقه مورد مطالعه محاسبه شده را نشان می‌دهد. برای ارزیابی رابطه ارائه شده، روابط موجود در جدول ۱ برای شمار ۴۴۲ مساحت مشاهده شده زمین لغزش‌های موجود در استان به کار برده شد و مقادیر حجم محاسبه شده توسط این روابط، با داده‌های حجم مشاهده‌ای زمین لغزش‌های استان مقایسه و ارزیابی شد. در نهایت مدل آماری توسعه یافته برای استان مازندران نیز با روابط همانند در پیشینه پژوهشی (جدول ۱)، مقایسه شد. این ارزیابی و مقایسه از طریق معیارهای زیر انجام پذیرفت.

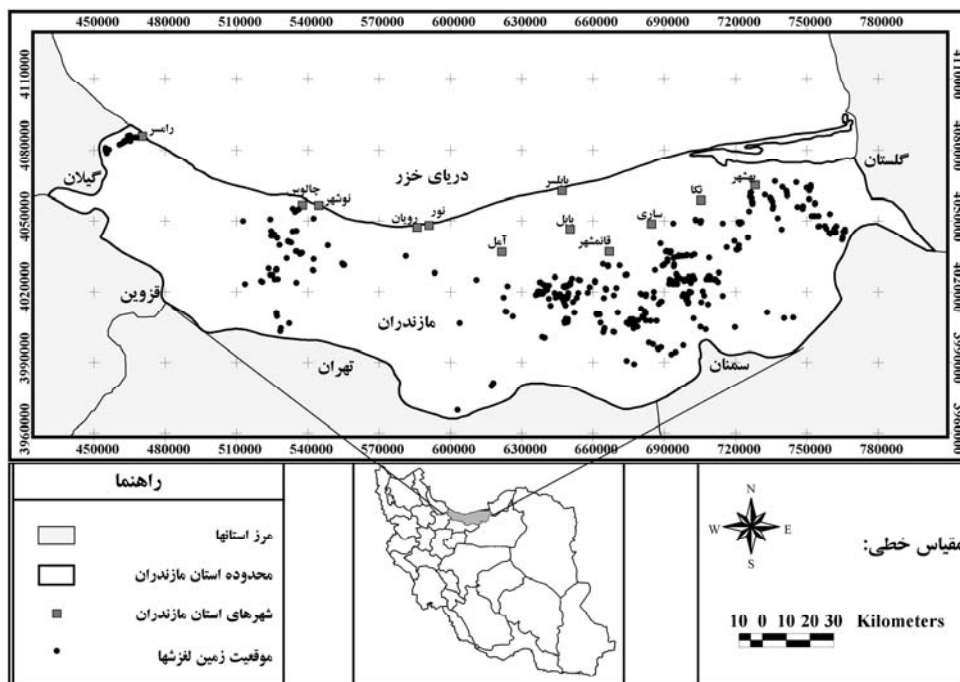
روش تحقیق

- بررسی مشخصات آماری داده‌ها

پس از برداشت داده‌های مورد نیاز از روی پرسش‌نامه‌ها، در آغاز داده‌ها به محیط نرم افزاری Excel منتقل و سپس صحت و کیفیت آن‌ها کنترل شد. نهایتاً پس از انتقال داده‌ها به محیط نرم افزار SPSS 16، مشخصات آماری داده‌ها محاسبه شد.

- توسعه مدل آماری

در این تحقیق به منظور ارائه رابطه تجربی برای محاسبه حجم زمین لغزش‌ها در استان مازندران، از کل زمین لغزش‌های ثبت شده، زمین لغزش‌هایی که اطلاعات مساحت و حجم آنها کامل بود انتخاب شد. از این رو اطلاعات مربوط به شمار ۴۴۲ زمین لغزش شامل طول و عرض جغرافیایی، طول، عرض، عمق، سطح و حجم هر زمین لغزش، برای برقراری یک رابطه آماری بین مساحت (A_L) و حجم (V_L) وارد نرم افزار SPSS شد. برای مدل کردن رابطه تجربی بین V_L و A_L و با بررسی روابط آماری موجود در سابقه تحقیق از معادله عمومی به شکل $V_L = \epsilon \times A_L^\alpha$ استفاده شد. در نهایت برای برآورد میزان



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

حجم‌های مشاهده‌ای، p_i : حجم محاسبه شده توسط رابطه و n : برابر با شمار داده‌ها می‌باشد. هر چه مقدار R^2 به یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده همبستگی بالای داده‌های واقعی (مشاهده‌ای) و داده‌های محاسبه‌ای توسط رابطه است (John Freund, 1992). برای استفاده از ضریب تبیین مساحت مشاهده شده زمین لغزش‌ها را در هر رابطه تجربی قرار داده و حجم مربوط به آن لغزش محاسبه شد، سپس هر یک از این حجم‌ها را با حجم لغزش‌های مشاهده‌ای متناظر نموده و ضریب تبیین مورد ارزیابی قرار گرفت.

معیار ضریب تبیین R^2

در این تحقیق برای تعیین بهترین رابطه و مقایسه با روابط مختلف با توجه به مقالات پیشین از معیار ضریب تبیین R^2 استفاده شد:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p}) \sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})}} \quad (1)$$

که در آن \bar{o} : میانگین حجم‌های مشاهده‌ای و \bar{p} : میانگین حجم محاسبه شده توسط رابطه، o_i : مقادیر

جدول ۱- روابط تجربی محاسبه حجم زمین لغزش با استفاده از مساحت زمین لغزش‌ها

تعداد	حداکثر A_L	حداقل A_L	معادله	منبع
۶۷۷	1×10^9	2×10^7	$V_L = \frac{0.074}{1.450} A_L$	Guzzetti (2009)
۲۰۷	$1/9 \times 10^5$	$2/3 \times 10^7$	$V_L = \frac{0.1479}{1.368} A_L$	Simonett (1967)
۳۰	5×10^2	3×10^1	$V_L = \frac{0.0329}{1.3852} A_L$	Innes (1983)
۱۲۴	$1/2 \times 10^5$	7×10^2	$V_L = \frac{0.1549}{1.0905} A_L$	Guthrie and Evans (2004a)
۵۱	3×10^3	1×10^1	$V_L = 0.39 A_L^{1.131}$	Imaizumi and Sidle (2007)
۵۳۹	1×10^9	1×10^1	$V_L = \frac{0.0844}{1.4324} A_L$	Guzzetti et al. (2008)
۱۱	4×10^3	5×10^1	$V_L = 0.19 A_L^{1.19}$	Imaizumi et al. (2008)
۳۷	$1/5 \times 10^3$	$1/1 \times 10^1$	$V_L = \frac{0.328}{1.104} A_L$	Rice and Foggin (1971)
۲۳	-	$> 1 \times 10^6$	$V_L = \frac{0.00004}{1.95} A_L$	Korupe (2005b)
۵۳	6×10^7	2×10^5	$V_L = \frac{0.242}{1.307} A_L$	Abele (1974)
۴۵	$3/9 \times 10^6$	5×10^4	$V_L = \frac{0.769}{1.250} A_L$	Whitehouse (1983)
۱۰۱۹	$1/6 \times 10^4$	5×10^1	$V_L = \frac{1.826}{0.898} A_L$	Larsen and Sanchez (1998)
۶۱۵	$5/2 \times 10^4$	2×10^2	$V_L = \frac{1.0359}{0.880} A_L$	Martin et al. (2002)
۶۵	$3/9 \times 10^1$	3×10^5	$V_L = \frac{12.273}{1.047} A_L$	Haflidason et al. (2005)

- محاسبه عمق میانگین زمین لغزش‌های استان

پس از ارزیابی رابطه به‌دست آمده، این رابطه برای برآورد حجم میانگین زمین لغزش‌های موجود استفاده شد. سپس عمق میانگین زمین لغزش‌های موجود در استان را محاسبه و با عمق میانگین داده‌های مشاهده‌ای و عمق‌های به دست آمده از روابط مختلف مقایسه شد.

نتایج

- مشخصات آماری داده‌های هندسی زمین لغزش‌ها

پس از برداشت داده‌های مورد نیاز از روی پرسش‌نامه‌ها، در آغاز صحت و کیفیت آن‌ها کنترل و سپس مشخصات آماری آن‌ها محاسبه و در جدول ۲ ارائه شد. با توجه به نتایج این جدول، 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 $1/085 \times 10^6 \text{ m}^2 \leq A_L \leq 1/23 \times 10^2 \text{ m}^2$ ، حجم زمین لغزش‌ها (V_L) در محدوده بین $3/6 \times 10^7 \text{ m}^3 \leq V_L \leq 1/57 \times 10^2 \text{ m}^3$ و همچنین عمق (D_L) آن‌ها در محدوده $0/2 \text{ m} \leq D_L \leq 120 \text{ m}$ قرار دارند. این محدوده وسیع باعث بالا رفتن انحراف معیار و نهایتاً ضریب تغییرات در مورد هر یک از پارامترها شد.

- مقادیر آماره‌های صدک‌ها، حداکثر، حداقل و میانگین

پس از محاسبه مقادیر حجم برای تمامی زمین لغزش‌های ثبت شده در منطقه مورد مطالعه از طریق روابط مختلف تجربی و همچنین رابطه ارائه شده برای استان، آماره‌های ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ از کل حجم لغزش‌ها، حداقل، حداکثر و میانگین حجم‌های برآورد شده محاسبه شد.

- معیار ریشه میانگین مربعات خطا RMSE

این معیار نشان دهنده کارایی یک مدل می‌باشد. $RMSE^2$ می‌تواند به عنوان ریشه دوم مقدار میانگین مربعات اختلاف بین مقادیر محاسبه شده و مشاهده‌ای تعریف شود. پس از قرار دادن مساحت زمین لغزش‌های مشاهده‌ای در هر یک از روابط تجربی موجود میزان حجم این لغزش‌ها محاسبه و با توجه به معیار جذر میانگین مربعات خطا (رابطه ۲)، هر مدل که کمترین مقدار RMSE را داشته باشد به عنوان بهترین مدل انتخاب شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p_i)^2}{n}} \quad (2)$$

که در آن: n شمار داده‌ها، O_i مقادیر حجم زمین لغزش مشاهده‌ای و p_i : مقادیر حجم زمین لغزش برآورد شده توسط هر رابطه می‌باشد (Kim et al., 2008).

در نهایت با توجه به معیارهای ضریب تبیین، آماره‌های صدک‌ها، حداکثر، حداقل و میانگین و $RMSE$ نزدیکترین مدل‌ها به مدل ارائه شده برای استان مشخص و همچنین دقت مدل ارائه شده در مقایسه با سایر مدل‌های موجود در دنیا مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۲- آماره‌های توصیفی مربوط به پارامترهای هندسی گستره، حجم و عمق زمین لغزش‌ها در استان مازندران

نوع داده	تعداد	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	چولگی	کشیدگی
مساحت	۴۴۲	m^2 ۲۹۴۷۲/۰۴	$۱۲۳ m^2$	$۱۰۸۵۰۰۰ m^2$	$۸۸۰۲۳/۵۶ m^2$	۲۹۸	۷/۶۶	۷۳/۹۵
حجم	۴۴۲	m^3 ۵۳۶۰۸۵	$۱۵۴ m^3$	$۳۶۰۰۰۰۰ m^3$	۲۹۳۳۹۷۶	۵۴۷	۸/۷۸	۸۵/۹۶
عمق	۴۴۲	m ۷/۳۸	$۰/۲ m$	$۱۲۰ m$	۱۰/۵۵	۱۴۳	۵/۱۵	۳۷/۶۵

بررسی نمودار معادله بدست آمده برای محاسبه حجم زمین لغزش‌ها در استان مازندران (شکل ۲ - ج) نشان می‌دهد که علی‌رغم نشان دادن داده‌ها در مختصات لگاریتمی (Log - Log) باز هم تعدادی داده مشاهده‌ای دیده می‌شوند که از خط برازش داده شده مربوط به معادله رگرسیونی فاصله دارد.

- ارزیابی مدل ارائه شده

برای ارزیابی مقادیر محاسباتی حجم زمین لغزش توسط رابطه ارائه شده، این مقادیر با برآوردهای حجم توسط سایر روابط (جدول ۱) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مقایسه در قالب محاسبه مقادیر آماره‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد، حداقل، حداکثر و میانگین کل داده‌های برآورد شده توسط روابط مختلف تجربی و همچنین رابطه ارائه شده برای استان مازندران در شکل ۳ ارائه شد.

پس از محاسبه حجم زمین لغزش‌های موجود در استان مازندران توسط روابط مختلف، نمودار مربوط به هر رابطه در محدوده مساحت تعیین شده (جدول ۱)، برای هر رابطه ترسیم شد (شکل ۴).

با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان گفت که روابطی مانند (Guzzetti et al. (2008)، (Korup (2005)، (Guzzetti (2009)، (Imaizumi، Abele (1974)، (Sidle (2007) and در محدوده‌های مختلف مساحت تطابق نسبتاً خوبی با نمودار معادله ۳ داشتند ولی روابطی مانند (Larsen and Torres، Rice et al. (1967) را

- توسعه مدل آماری برای استان مازندران

شمار ۴۴۲ زمین لغزش که اطلاعات مساحت (A_L) و حجم (V_L) آن‌ها موجود بود، در یک نمودار با مختصات لگاریتمی (Log - Log) در شکل ۲ نشان داده شدند. با توجه به شکل ۲ - الف و ب روی نمودارها، فراوانی مساحت زمین لغزش‌ها (A_L) محدوده وسیعی از سطح و حجم را پوشش دادند. با توجه به نمودار فراوانی لغزش‌ها، بیشترین آن‌ها در محدوده مساحت بین $۱۰۰۰ m^2$ تا $۵۰۰۰۰۰ m^2$ (۲ - الف) و محدوده حجمی بین $۱۰۰۰ m^3$ تا m^3 بوده‌اند.

بررسی ظاهری شکل (۲ - ج) یک رابطه توانی را در مقادیر مختلف بین A_L و V_L نشان می‌دهد که البته نمایش محورها در مختصات لگاریتمی می‌باشد. برازش رگرسیون نمایی روی داده‌های سطح و حجم نهایتاً منجر به رابطه زیر شد:

$$V_L = 0.974 \times A_L^{1.176} \quad (۳)$$

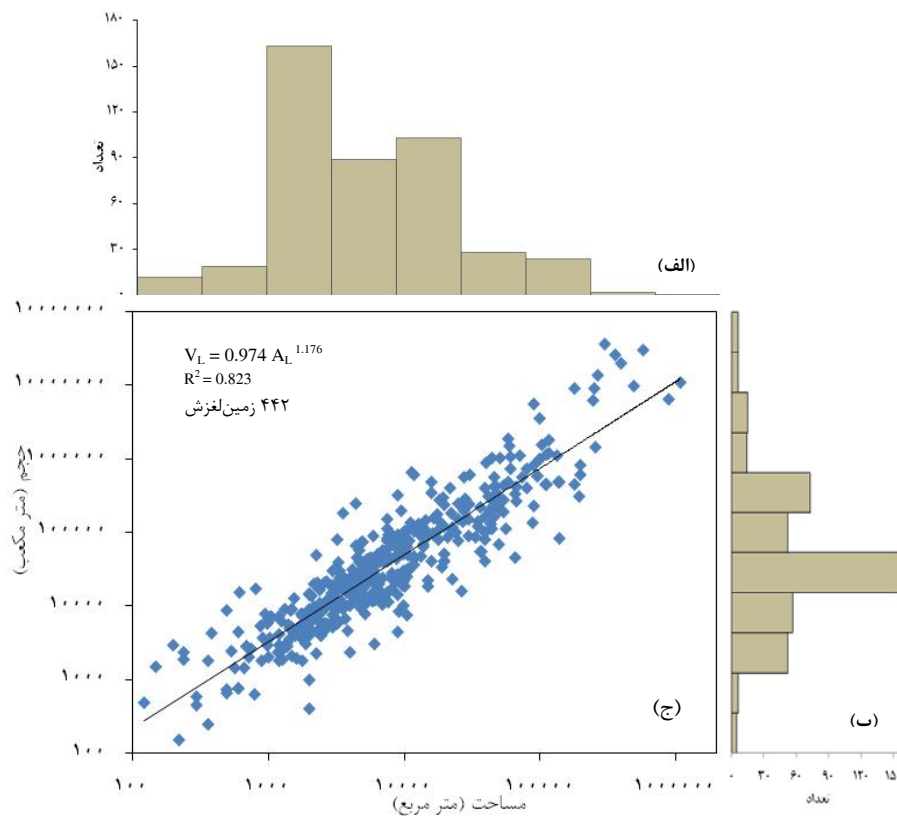
$$R^2 = 0.823$$

که در آن A_L : مساحت برحسب مترمربع (m^2) و V_L : حجم برحسب مترمکعب (m^3) می‌باشد. این معادله توانی می‌تواند برای برآورد حجم حرکات توده‌ای اولیه از نوع لغزش، هنگامی که مساحت دامنه گسیخته شده مشخص باشد استفاده گردد.

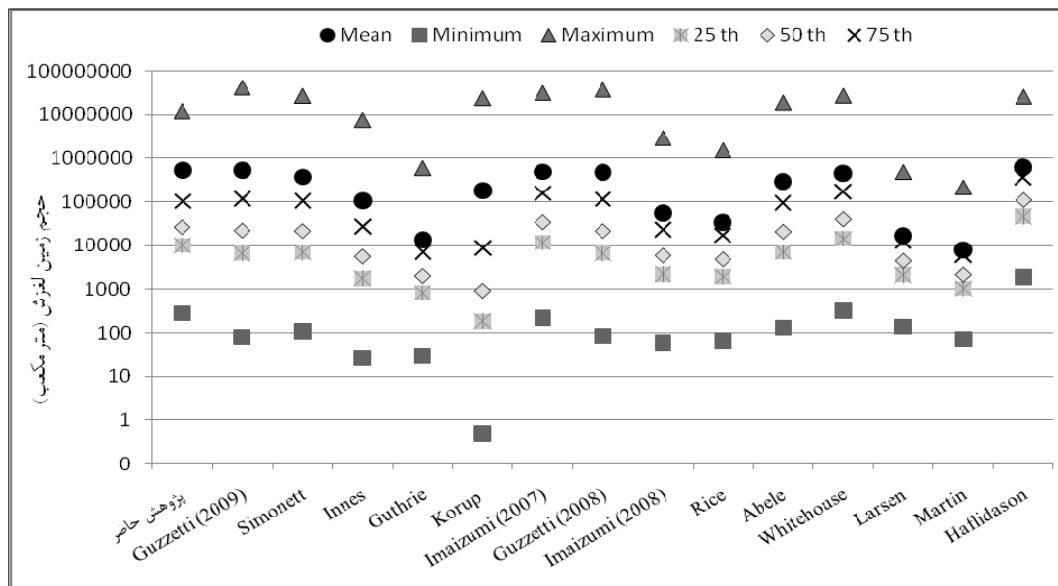
برآورد حجم زمین لغزش‌ها بر پایه مساحت در مقیاس منطقه‌ای ...

شده (جدول ۱)، حداقل حجم پیش‌بینی‌شده توسط این رابطه 1893 m^3 بود، در حالیکه حداقل حجم مشاهده شده در استان 154 m^3 و حداقل حجم محاسباتی توسط رابطه ارائه شده 178 m^3 بوده که برآورد تقریباً معقولی می‌باشد. البته همانطور که در بالا ذکر شد این تقیصه در مورد داده‌های حداکثر برای روابطی مانند Rice et al. (1967)، Larsen and Torres Sanchez (1998)، Marrtin et al. (2002) و Imaizumi (2008)، Guthrie and Evans (2004) نیز وجود داشت.

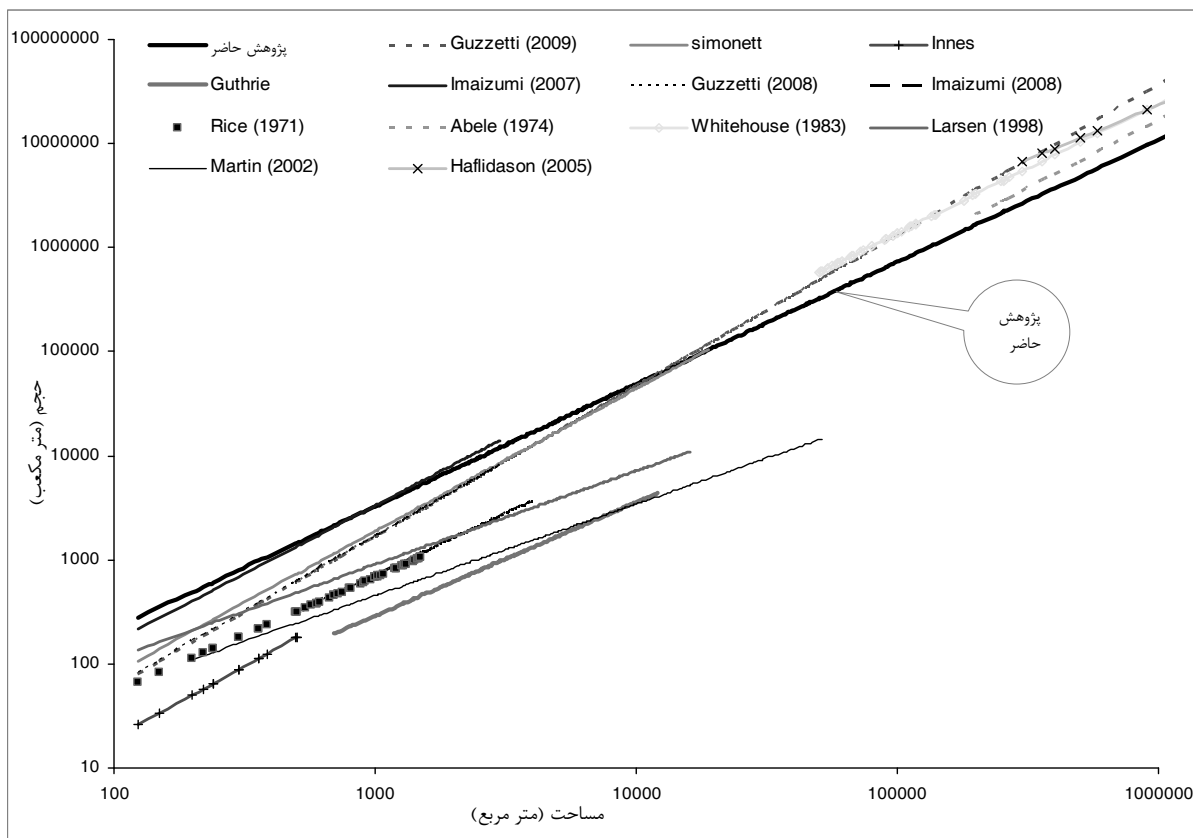
Marrtin et al. (2002)، Sanchez (1998) و Guthrie and Evans (2008) دارای میزان برآورد کمتری نسبت به معادله ارائه شده بودند. البته در محدوده مساحت بالا نیز معادلاتی مانند Whitehouse، Haflidason et al. (2005) و حتی Guzzetti (2009) و Haflidason et al. (1983) نسبتاً بالاتری نسبت به معادله ارائه شده بودند. همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد، برای رابطه Haflidason et al. (2005) که برای زمین لغزش‌های خیلی بزرگ ارائه



شکل ۲- نمودار فراوانی زمین لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف مساحت (الف) و حجم (ب)، رابطه تجربی بدست آمده بین مساحت و حجم برای زمین لغزش‌های موجود در استان مازندران (ج)



شکل ۳- مقایسه آماره‌های ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪، حداقل، حداکثر و میانگین حجم‌های برآورد شده توسط روابط مختلف با رابطه ارائه شده



شکل ۴- نمودار روابط تجربی ارائه شده در پیشینه پژوهشی و همچنین نمودار به دست آمده برای این تحقیق (خط سیاه رنگ)

برآورد حجم زمین لغزش‌ها بر پایه مساحت در مقیاس منطقه‌ای ...

نسبی این روابط با معادله به دست آمده به نظر می‌رسد که معادله به دست آمده، معادله یا به عبارتی مدلی قابل قبول برای پیش‌بینی حجم زمین لغزش‌ها می‌باشد. از اینرو مقدار میانگین حجم، برای شمار ۴۴۲ زمین لغزش که داده‌های آن موجود بود با استفاده از این رابطه 523089 m^3 برآورد شد. با توجه به مقدار میانگین مساحت 66976 m^2 برای این زمین لغزش‌ها، مقدار عمق میانگین زمین لغزش‌ها در استان مازندران $7/81 \text{ m}$ برآورد شد. از آنجایی که میزان عمق هر زمین لغزش نیز در اطلاعات پرسش‌نامه‌ها موجود بود، بنابراین میانگین عمق این ۴۴۲ لغزش مشاهده شده نیز $7/32 \text{ m}$ محاسبه شد، که دارای اختلاف کمی با عمق محاسبه شده از طریق رابطه موجود بود.

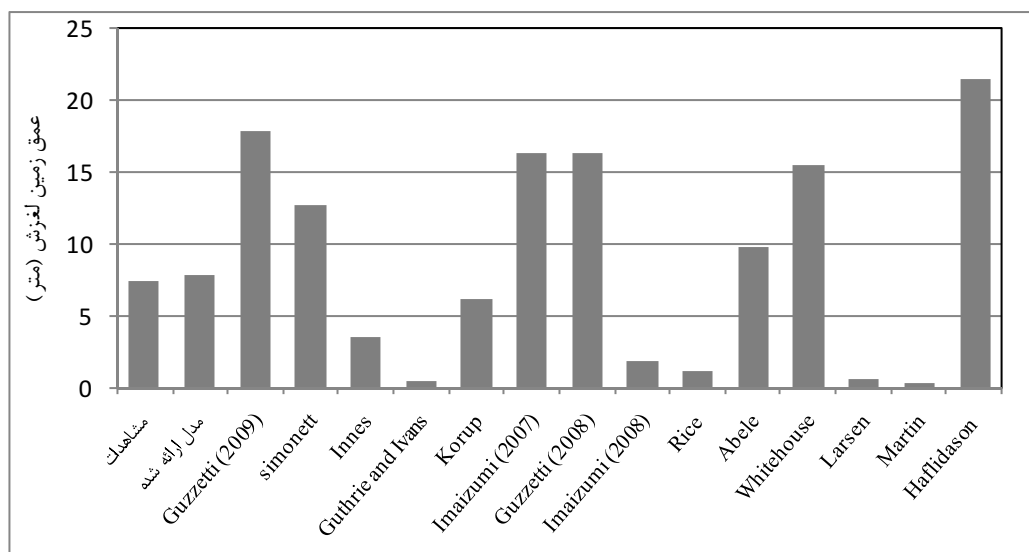
این محاسبات برای روابط مختلف نیز انجام شد و عمق میانگین با توجه به مقدار حجم میانگین پیش‌بینی شده توسط هر رابطه محاسبه شد (شکل ۵). همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده، روابطی که دارای پیش‌بینی بالایی در رابطه با میانگین حجم کل لغزش‌ها بودند، در مورد عمق نیز مقدار عمق بالایی را پیش‌بینی نمودند. البته در مورد روابطی که پیش‌بینی پایین‌تری داشتند نیز عمق محاسبه شده پایین‌تر از عمق مشاهده‌ای بود.

مقایسه آماری مدل ارائه شده با سایر مدل‌ها

هر یک از مدل‌های مختلف معرفی شده در جدول ۱، برای زمین لغزش‌های موجود در استان به کار برده شد و داده‌های پیش‌بینی شده توسط هر رابطه با داده‌های مشاهده‌ای استان از طریق معیارهای ضریب تبیین و مجذور مربعات خطا (RMSE) مورد مقایسه قرار گرفتند (جدول ۲). نتایج در مورد ضریب تبیین نشان داد که همبستگی معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد بین مقادیر حجم پیش‌بینی شده توسط تمامی این روابط با مقادیر حجم مشاهده‌ای وجود داشته است. از آنجایی که ضریب تبیین به طور دقیق نمی‌تواند صحت روابط مختلف را برای کاربرد نشان دهد از معیار RMSE استفاده شد. همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده، علاوه بر رابطه ارائه شده در پژوهش حاضر رابطه (Haflidason et al. (2005) دارای مقدار RMSE کمتری نسبت به سایر روابط بوده و بعد از آن به ترتیب (Simonett, Whitehouse (1983) و (Abele (1974) دارای پیش‌بینی‌های نسبتاً نزدیکی با داده‌های مشاهده‌ای می‌باشند.

محاسبه عمق زمین لغزش‌ها

با توجه به همانندی نوع معادله بدست آمده برای تعیین حجم زمین لغزش‌های استان مازندران (معادله ۲) با روابط ارائه شده در سایر نقاط دنیا (جدول ۱) و همچنین تطابق



شکل ۵- مقادیر عمق زمین لغزش با استفاده از محاسبات روابط مختلف

جدول ۳- نتایج بررسی مقادیر معیارهای ضریب تبیین و RMSE بین داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده توسط روابط مختلف

Haf.	Mar.	Lar.	Whi.	Abe.	Ric.	Ima (۲۰۰۸)	Guz. (۲۰۰۸)	Ima. (۲۰۰۷)	Kor.	Guth.	Inn.	Sim.	Guz. (۲۰۰۹)	پژوهش حاضر	روابط تجربی
۰/۶۴۱	۰/۶۶۱	۰/۶۵۹	۰/۶۰۱	۰/۵۸۹	۰/۶۳۱	۰/۶۱۴	۰/۵۶۰	۰/۵۸۸	۰/۴۴۸	۰/۶۳۳	۰/۵۷۱	۰/۵۷۵	۰/۵۵۶	۰/۷۲۳	ضریب تبیین
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	معنی‌داری (sig.)
۲/۲۵۶ $\times 10^6$	۲/۹۶۶ $\times 10^6$	۲/۹۵۰ $\times 10^6$	۲/۳۵۰ $\times 10^6$	۲/۴۱۵ $\times 10^6$	۲/۹۰۳ $\times 10^6$	۲/۸۴۵ $\times 10^6$	۲/۵۹۱ $\times 10^6$	۲/۴۲۴ $\times 10^6$	۲/۶۴۸ $\times 10^6$	۲/۹۴۹ $\times 10^6$	۲/۷۰۳ $\times 10^6$	۲/۴۱۰ $\times 10^6$	۲/۷۱۷ $\times 10^6$	۲/۰۲۳ $\times 10^6$	RMSE

برآورد حجم زمین لغزش‌ها بر پایه مساحت در مقیاس منطقه‌ای ...

Guzzetti et al. (2009) نیز مشاهده شده است. البته با توجه به بالا بودن ضریب تبیین و پایین بودن مقدار RMSE که بیان کننده صحت و دقت مدل ارائه شده می‌باشد، می‌توان از این پراکندگی و فاصله داده‌ها با خط برازش داده شده صرف نظر کرد.

با توجه به نتایج مقایسه آماری مدل ارائه شده با سایر مدل‌ها، مقادیر پیش‌بینی شده توسط روابطی مانند Larsen and Torres. Rice et al. (1967)

.Sanchez (1998)، .Marrtin et al. (2002)

.Imaizumi (2008)

Guzzetti et al. Guthrie and Evans (2004)

(2009)، Koruspe (2005b) و Innes (1983) دارای

مقادیر بالای RMSE بودند. این مقادیر بالا نشان دهنده اختلاف زیاد بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط این روابط و

مقادیر حجم واقعی زمین لغزش‌ها در استان بوده و دلیل این اختلاف بدین خاطر می‌باشد که معادلات فوق برای

مجموعه داده‌های با سطح بسیار بالا (بالتر از $1/2 \times 10^5$ متر مربع) ارائه نشده درحالی‌که در مجموعه داده‌های

مساحت استان مازندران مساحت‌های بالا تا مقدار مساحت $1/085 \times 10^6$ نیز وجود دارد. البته در این مورد تنها مقادیر

پیش‌بینی شده توسط مدل ارائه شده توسط Imaizumi and Sidle (2007) که برای مجموعه داده‌های با

مساحت پایین (پایین‌تر از 3×10^3 متر مربع) ارائه شده بود، اختلاف معنی‌داری با داده‌های مشاهده‌ای نداشت.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که معادله (۳) با برخی روابط ارائه شده سازگاری منطقی خوبی دارد. از

آنجایی‌که این روابط در مناطق مطالعاتی با شرایط محلی و فیزیوگرافی متفاوتی نسبت به استان مازندران و همچنین

برای محدوده‌های مختلفی از مساحت ارائه شده، لذا این سازگاری اشاره به این دارد که رابطه بین حجم و مساحت

زمین لغزش اساساً هندسی بوده و مستقل از شرایط محلی و فیزیوگرافی می‌باشد.

همانطور که در نتایج مربوط به مقایسه آماری مدل ارائه شده با سایر مدل‌ها نشان داده شد، روابطی که در مناطق

مورد مطالعه خود از زمین لغزش‌های با مساحت بزرگ

در این تحقیق با ارائه یک رابطه مبتنی بر مساحت برای برآورد حجم زمین لغزش‌ها، یکی دیگر از کارایی‌های داده‌های مساحت علاوه بر موارد ذکر شده در مقدمه مشخص شد، این امر نشان دهنده ارزش بالای داده‌های گسترده در مطالعات مورفومتری زمین لغزش‌ها می‌باشد.

با توجه به نتایج این تحقیق در مورد آماره‌های توصیفی داده‌های گسترده، حجم و عمق زمین لغزش‌ها (جدول ۲)،

بالا بودن ضرایب تغییرات، چولگی و کشیدگی داده‌ها شاید از لحاظ آماری، حاکی از غیر طبیعی و عدم نرمال بودن

داده‌ها باشد. ولی این نکته لازم به ذکر است که اندازه زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در طبیعت بسیار متفاوت بوده و یک

زمین لغزش می‌تواند حتی ۱ مترمربع یا مترمکعب تا چندین کیلومترمربع یا کیلومترمکعب از سطح یا حجم

خاک یک منطقه را پوشش دهد. به طوری‌که محدوده مساحت در تحقیق Guzzetti et al. (2009) از 2 m^2

تا $1 \times 10^9 \text{ m}^2$ بوده و یا حداکثر مساحت زمین لغزش‌های مورد مطالعه در تحقیق Haflidason et al. (2005) به

$3/9 \times 10^{10} \text{ m}^2$ نیز می‌رسد که در این موارد نیز این دامنه تغییرات بالا می‌تواند سبب بالا بودن ضرایب مذکور گردد.

بنابراین بالا بودن ضرایب تغییرات، چولگی و کشیدگی نمی‌تواند دلیل بر پایین بودن کیفیت آماری داده‌های

استفاده شده در این تحقیق باشد.

نظر به اینکه کلیه محاسبات و نتایج این تحقیق بر اساس داده‌های مشاهده‌ای برداشت شده در عرصه بوده، بنابراین

اهمیت داده‌های مشاهده‌ای بیش از پیش نمایان می‌گردد. این مطلب به خصوص در مورد قسمتی از داده‌ها که از نظر

فراوانی کمتر بوده یا اصلاً در داده‌های مشاهده‌ای دیده نمی‌شوند بیشتر نمود پیدا می‌کند، زیرا با استفاده از

بخشی که فهرست اطلاعات فراوان‌تر بوده است (در این تحقیق مساحت‌های بین $1 \times 10^3 \text{ m}^2 < A_L < 5 \times 10^5$

m^2) می‌توان وابستگی حجم به سطح را برای قسمتی که اطلاعات کمتر باشد استخراج نمود.

در مورد پراکندگی داده‌های مشاهده‌ای از خط برازش داده شده معادله رگرسیونی، لازم به ذکر است که این پراکندگی در موارد همانند دیگر از جمله تحقیق

مدلهایی در کشور از این تحقیق می‌توان به عنوان مقدمه‌های برای توسعه مدل‌های برآورد کننده حجم و سایر پارامترهای مورفومتری زمین لغزش استفاده نمود. با ارائه این مدل برای استان مازندران در صورت محاسبه مساحت یک زمین لغزش که به سادگی می‌توان آنرا از طریق عکس-های هوایی یا طی عملیات صحرایی به دست آورد، می‌توان به حجم و عمق آن پی برد. در حقیقت با ارائه این مدل از صرف هزینه و وقت برای محاسبه حجم و عمق زمین لغزش که امری دشواری است، جلوگیری می‌گردد. با توجه به اینکه روابطی که از اولویت بهتری برخوردار بودند نیز دارای پیش‌بینی‌هایی با میانگین بالاتر و پایین‌تری نسبت به داده‌های مشاهده‌ای بودند و از آنجایی که حتی تفاوت کم میانگین‌ها در حالتی که منطقه مورد مطالعه وسیع و شمار زمین لغزش‌ها زیاد باشد منجر به تغییرات زیاد در حجم کلی لغزش‌های یک منطقه می‌گردد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ارائه یک رابطه برای هر منطقه در صورت وجود داده‌های حجم و مساحت زمین لغزش امری ضروری به نظر می‌رسد. لذا توصیه می‌گردد که برای مناطق مستعد زمین لغزش در کشور که از چنین داده‌هایی برخوردار می‌باشند این چنین مدل‌هایی ارائه و توسعه یابند.

ایجاد شده‌اند، RMSE کمتری نسبت به روابطی دارند که از زمین لغزش‌های کوچک بوجود آمده‌اند. همچنین بررسی دقیق روابط تجربی ارائه شده نیز مشخص نمود که برخی روابط تجربی که از مجموعه زمین لغزش‌های غالباً کوچک بدست آمده‌اند (Rice et al., 1969; Larsen and Torres Sanchez, 1998; Martin et al., 2002) دارای توان کوچکتري نسبت به روابط بدست آمده از زمین لغزش‌های بزرگ مانند (Guzzetti et al. (2008 & 2009) و Abele (1974) می‌باشند. این امر نشان دهنده این است که در میزان وابستگی حجم نسبت به مساحت با افزایش اندازه زمین لغزش یک تغییر ایجاد شده و ممکن است به دلایلی مانند شمار داده‌های نمونه‌برداری در هر منطقه، روش اندازه‌گیری حجم زمین لغزش و یا شاید تفاوت در روش بدست آوردن رابطه باشد.

در نتیجه‌گیری نهایی با توجه به صحت آماری مدل ارائه شده و مطابقت آن با برخی روابط دیگر از جمله Guzzetti et al. (2005)، Haflidason et al. (2009)، Simonett و Whitehouse (1983) و (1967)

و نیز برخورداری نتایج این مدل از داده‌های بدست آمده از سراسر استان، می‌توان این مدل را مدلی مناسب برای استان مازندران معرفی نمود و با توجه به نبود چنین

منابع

- Ahmadi, H., Feiznia, S., 2006. Quaternary Formation, 2ed Edition, University of Tehran press, 627p. (In Persian)
- Budetta P., Santo A., Vivenzio F., 2008. Landslide hazard mapping along the coastline of the Cilento region (Italy) by means of a GIS-based parameter rating approach. *Geomorphology* vol. 94, pp. 340–352.
- Cardinali, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Antonini, G., Galli, M., Cacciano, M., Castellani, M., 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.
- Chigira M., 2002. Geologic factors contributing to landslide generation in a pyroclastic area: August 1998 Nishigo Village, Japan. *Geomorphology*, vol. 46, pp. 117–128.
- Crozier, M.J., 1986. *Landslides: Causes, Consequences & Environment*. Croom Helm Pub., London. 245 p.

- Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides, Investigation and Mitigation*, Transportation Research Board Special Report 247, Washington D.C., pp. 36–75.
- Darvishzade, A., 2006. *Iran geology*, Amir-Kabir publications, 434 p.
- Freund, J., 1992. *Mathematical statistics*. 5th edition. 650 p. (In Persian)
- Guthrie, R.H., Evans, S.G., 2004a. Analysis of landslide frequencies and characteristics in a natural system, coastal British Columbia. *Earth Surface Processes and Landforms* 29, 1321–1339.
- Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M., Reichenbach, P., Rossi, M., 2008. Distribution of landslides in the Upper Tiber River basin, central Italy. *Geomorphology* 96, 105–122.
- Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Rossi, M., Valigi, D., 2009. Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy, *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 279, pp. 222–229.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study. *Geomorphology* 31, 181–216.
- Harmon, R.S., Doe III, W.W., 2001. *Landscape Erosion and Evolution Modeling*. Springer-Verlag. 535 p.
- Hattanji T., Moriwaki H., 2009. Morphometric analysis of relic landslides using detailed landslide distribution maps: Implications for forecasting travel distance of future landslides, *Geomorphology* 103, 447–454.
- Hovius, N., Stark, C.P., Allen, P.A., 1997. Sediment flux from a mountain belt derived by landslide mapping. *Geology* 25, 231–234.
- Imaizumi, F., Sidle, R.C., 2007. Linkage of sediment supply and transport processes in Miyagawa Dam catchment, Japan. *Journal Geophysical Research* 112 (F03012). doi:10.1029.2006JF000495.
- Imaizumi, F., Sidle, R.C., 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. doi:10.1002/esp.1574.
- Innes, J.N., 1983. Lichenometric dating of debris-flow deposits in the Scottish Highlands. *Earth Surface Processes and Landforms* 8, 579–588.
- 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.
- Kelarestaghi, A., Habibnejad, M., Ahmadi, H., 2007, A Study of Landslide Occurrence in relation to land use changes and road construction- case study Tadjan watershed, Sari, *Geographical Research Quarterly* 62, 81-91. (In Persian)
- Kelarestaghi, A., Ahmadi, H., 2009, Landslide susceptibility analysis with a bivariate approach and GIS in Northern Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 2, 95-101.
- Kim S., Kim H. S., 2008. Neural networks and genetic algorithm approach for nonlinear evaporation and evapotranspiration modeling. *Journal of Hydrology*, vol. 351, pp. 299– 317.
- Korup, O., 2005a. Geomorphic imprint of landslides on alpine river systems, southwest New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms* 30, 783–800. Korup, O., 2005b. Distribution of landslides in southwest New Zealand. *Landslides* 2, 43–51.

- Korup, O., 2005b. Distribution of landslides in southwest New Zealand. *Landslides* 2, 43–51.
- Lavé, J., 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). doi:10.1029.2003JF000023, 2004.
- Malamud, B.D., Turcotte, D.L., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 2004a. Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms* 29, 687–711.
- Martin, Y., Rood, K., Schwab, J.W., Church, M., 2002. Sediment transfer by shallow landsliding in the Queen Charlotte Islands, British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences* 39 (2), 189–205.
- Miles S.B., Ho C.L., 1999. Rigorous landslide hazard zonation using Newmark's method and stochastic ground motion simulation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 18, pp. 305–323.
- Miller, D.J., 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). doi:10.1029.2005WR004807.
- Montgomery, R.D., Schmidt, K.M., Greenberg, H.M., Dietrich, W.E., 2000. Forest clearing and regional landsliding. *Geology* 28 (4), 311–314.
- Neaupane K.M., Piantanakulchai M., 2006. Analytic network process model for landslide hazard zonation. *Engineering Geology*, vol. 85, pp. 281–294.
- Reichenbach, P., Galli, M., Cardinali, M., Guzzetti, F., 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.
- Rice, R.M., Corbett, E.S., Bailey, R.G., 1969. Soil slips related to vegetation, topography, and soil in Southern California. *Water Resources Research* 5 (3), 647–659.
- Rice, R.M., Foggin III, G.T., 1971. Effects of high intensity storms on soil slippage on mountainous watersheds in Southern California. *Water Resources Research* 7 (6), 1485–1496.
- Roering, J.J., Kirchner, J.W., Dietrich, W.E., 2005. Characterizing structural and lithologic controls on deep-seated landsliding: Implications for topographic relief and landscape evolution in the Oregon Coast Range, USA. *Geological Society of America Bulletin* 117, 654–668.
- Simonett, D.S., 1967. Landslide distribution and earthquakes in the Bewani and Torricelli Mountains, New Guinea. In: Jennings, J.N., Mabbutt, J.A. (Eds.), *Landform Studies from Australia and New Guinea*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 64–84.
- Soeters, R., 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.
- Ten Brink, U.S., Geist, E.L., Andrews, B.D., 2006. Size distribution of submarine landslides and its implication to tsunami hazard in Puerto Rico. *Geophysical Research Letters* 33, L11307.
- Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), 1996. *Landslides: Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board Special Report, vol. 247. National Research Council, Washington, D.C. 673 p.

- Turner T R., Duke S D., Fransen B R., Reiter M L., Kroll A J., Ward J W., Bach J L., Justice T E., Bilby R E., 2010. Landslide densities associated with rainfall, stand age, and topography on forested landscapes, southwestern Washington, USA. *Forest Ecology and Management*, vol. 259, pp. 2233–2247.
- Yalcin A ., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena* vol. 72, pp 1–12.
- Zezere, J. L ., Ferreira A. D B., Rodrigues M. L. 1999. The role of conditioning and triggering factors in the occurrence of landslides: a case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Geomorphology*, vol. 30, pp. 133–146.
- Zhou C.H., Lee C.F., Li J., Xu Z.W. 2002. On the spatial relationship between landslides and causative factors on Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, vol. 43, pp.197– 207.

Landslide Volume Estimation Based on Landslide Area in a Regional Scale (Case Study: Mazandaran Province)

E. Omidvar¹ and A. Kavian^{*2}

¹ Ph.D. student, University of Mazandaran, Sari, I.R. Iran

² Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran
(Received: 28 June 2010, Accepted: 18 January 2011)

Abstract

Knowing the number, area, and volume of landslides is important in order to determine landslide susceptibility and hazard to evaluate the long term evolution of landscapes dominated by mass wasting processes. Determining the volume of a landslide is a more difficult task that requires information on the surface and sub-surface geometry of the slope failure that, at present, can be achieved only by adopting empirical relationships to link the volume of individual landslides to geometrical measurements of the failures, chiefly landslide area. In this research, at first, the data of 442 landslides in Mazandaran province including area, volume and depth was provided. Then a new empirical relationship was calculated for prediction of landslide volume and this relationship was evaluated. Subsequently similar relationships in literature review were applied for the landslide observation data of Mazandaran province and were compared together. Results show that calculated volume values by new empirical relationship is in agreement with observed data ($R^2=0.823$, $P_{value}= 0.000$) and some relationships which revealed applicability of presented relationship. Also for Mazandaran landslides, the relationships which were presented for large landslides in their study areas were more applicable than those presented for small landslides in their study areas. Regarding new relationship, the mean of landslide depth was determined 7.81 m that was close to mean of observed depth (7.38 m).

Keywords: Landslide, Volume, Area, Empirical relationship, Mazandaran province