

مدل سازی و برآورد حجم زمین لغزش‌ها بر پایه مساحت در حوزه آبخیز چهار دانگه (استان مازندران)

زینب تیموری یانسری^۱، سید رضا حسین زاده^{۲*}، عطااله کاویان^۳، حمیدرضا پورقاسمی^۴

^۱ دانش‌آموخته ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۲ دانشیار دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۳ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۴ استادیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۴

چکیده

با توجه به اهمیت حجم زمین لغزش‌ها در مدیریت حوزه‌های آبخیز، پژوهش حاضر با هدف انتخاب بهترین مدل برآورد حجم زمین لغزش‌ها بر پایه مساحت و مقایسه رابطه تجربی به دست آمده از این پژوهش با سایر روابط تجربی ارائه شده در دنیا صورت گرفته است. بدین منظور، ابتدا ویژگی‌های مربوط به مساحت، حجم و عمق ۱۸ زمین لغزش حوزه آبخیز چهار دانگه تهیه شد و در مرحله بعد با استفاده از تصاویر گوگل ارث موقعیت و مساحت ۴۸۵ زمین لغزش در این حوزه شناسایی گردید. سپس رابطه بین مساحت با حجم زمین لغزش‌های اندازه‌گیری شده طی عملیات میدانی توسط ۱۰ مدل برآورد منحنی، بررسی گردید. سپس مدل‌ها با استفاده از مقادیر R^2 ، آماره F و S.E مقایسه و ارزیابی شدند. در مرحله بعد مقادیر حجم و عمق زمین لغزش‌های منطقه با استفاده از رابطه تجربی به دست آمده در این پژوهش و دیگر روابط ارائه شده در پیشینه تحقیق، محاسبه و با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه و ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که مدل توانی با مقدار $R^2=0/8$ و $Sig=0/00$ دارای S.E پایین‌تری نسبت به دیگر مدل‌ها بوده و بهترین برازش را با داده‌های مشاهده‌ای دارد و مقادیر حجم برآورد شده با استفاده از این رابطه همخوانی نسبتاً مناسبی با مقادیر مشاهده‌ای دارد. عمق پیش‌بینی شده با استفاده از روابط (Whitehouse, 1983) و (Imaizumi and Sidle, 2007) به ترتیب با ۷/۸۹ و ۷/۰۹ متر نزدیک به عمق مشاهده‌ای (۷/۶۰) متر است. همچنین میزان عمق میانگین ۱۸ زمین لغزش استفاده شده در مدل با ۵/۷۶ متر، بسیار نزدیک به عمق ۴۸۵ زمین لغزش شناسایی شده در منطقه با میانگین عمق ۵/۶۴ متر بوده است.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، مساحت، عمق، حجم، مدل توانی، حوزه آبخیز چهار دانگه

مقدمه و طرح مسئله

مناطق پرخطر، بلایای طبیعی در کشورهای در حال توسعه و صنعتی به شدت در حال افزایش است (Guzzetti et al., 1999: 181). خسارت ناشی از زمین لغزش‌ها به مراتب بیشتر از سایر مخاطرات طبیعی همچون فوران آتشفشان و طوفان است (Guzzetti et al., 2002: 169). اصطلاح زمین لغزش شامل طیف گسترده‌ای از حرکات توده‌ای همچون لغزش خاک، جریان‌های گلی، جریان مواد و سنگ‌ریزش است (Malamud et al., 2004: 687). زمین لغزش‌ها معمولاً در اثر محرک‌های خارجی همچون زلزله، ذوب سریع

زمین لغزش‌ها نقش عمده‌ای در تکامل چشم‌انداز مناطق کوهستانی، فرسایش و انتقال رسوب ایفا می‌کنند (Katz et al., 2014: 105). زمین لغزش پدیده طبیعی پیچیده‌ای است که منجر به خطرات جدی در بسیاری از کشورها و تهدیدی بالقوه برای جمعیت، اقتصاد و محیط‌زیست محسوب می‌گردد (Mondini et al., 2013: 135). در سال‌های اخیر به علت رشد جمعیت، توسعه مناطق مسکونی و خطوط ارتباطی در

*نویسنده مسئول: srhosseinzadeh@um.ac.ir

کوهستان‌های مرکز گینه نو را به صورت رابطه $V_L = 0.1479 * A_L^{1.368}$ برای $10^5 \leq A_L \leq 10^7$ مترمربع ارائه نمود. Rice و همکاران (۱۹۶۹) طول، عرض، مساحت و حجم لغزش خاک را در جنوب کالیفرنیا اندازه‌گیری کردند و رابطه $V_L = 0.234 * A_L^{1.11}$ برای مساحت‌های $10^2 \leq A_L \leq 10^4$ مترمربع تعیین کردند. Abele (۱۹۷۴) مساحت و حجم ۵۳ زمین‌لغزش را در آلپ اندازه‌گیری کرد و رابطه $V_L = 0.242 * A_L^{1.307}$ را برای مساحت‌های $10^3 \leq A_L \leq 10^6$ مترمربع ارائه نمود. Innes (۱۹۸۳) طول، عرض و حجم ۳۰ جریان واریزه را در هایتلند اسکاتلند اندازه‌گیری کرد و رابطه $V_L = 0.0329 * A_L^{1.3852}$ را برای $10^2 \leq A_L \leq 10^3$ مترمربع به دست آورد. Larsen و Sanchez Torres (۱۹۹۸) زمین‌لغزش‌های سطحی و جریان‌های واریزه‌ای را با استفاده از عکس‌های هوایی در سه منطقه در پورتوریکو شناسایی کردند. مساحت زمین‌لغزش‌ها را از طریق حاصل ضرب طول در عرض با فرض مستطیلی شکل بودن شکست شیب‌ها به دست آوردند و حجم زمین‌لغزش‌ها از حاصل ضرب مساحت در عمق متوسط زمین‌لغزش که با اندازه‌گیری عمق در چندین نقطه از هر لغزش به دست آمده بود، محاسبه کردند و رابطه $V_L = 1.826 * A_L^{0.898}$ را برای $10^4 \leq A_L \leq 10^6$ مترمربع به دست آوردند. Martin و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی مساحت و حجم ۴۵ زمین‌لغزش سطحی در جزیره کوئین‌شارلوت کلمبیا، رابطه $V_L = 1.0359 * A_L^{0.880}$ را برای $10^4 \leq A_L \leq 10^5$ مترمربع تعیین کردند.

Guthrie و Evans (۲۰۰۴) ۱۲۴ لغزش واریزه‌ای را در سواحل غربی جزایر ونکور کلمبیا مطالعه و رابطه $V_L = 0.1549 * A_L^{1.0905}$ را برای مساحت‌های $10^2 \leq A_L \leq 10^5$ مترمربع پیشنهاد دادند. Korup (۲۰۰۵) ۲۳ زمین‌لغزش‌های با مساحت بزرگتر از 10^6 مترمربع را در جنوب غربی نیوزلند مطالعه کرد و رابطه $V_L = 0.00004 * A_L^{1.95}$ را بین مساحت

برف یا بارش شدید ایجاد می‌شوند (Mondini et al., 135: 2013). زمین‌لغزش حجم عظیمی از رسوبات را در حوزه‌های کوهستانی ایجاد می‌کند (Tsai et al., 661: 2013) و رسوبات حاصل از آن موجب انباشت مواد در کانال و مخزن سدها گشته، از این رو عملکرد مخازن و طول عمر آنها را کاهش می‌دهد. همچنین موجب تغییر و کاهش کیفیت آب، زیستگاه آبزیان و سیستم‌های آب شهری می‌شود (Sidle and Ochiai, 2006). اگرچه اطلاعات مربوط به تعداد و مساحت زمین‌لغزش‌ها به آسانی از طریق تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی قابل دستیابی است، اما اندازه‌گیری حجم زمین‌لغزش‌ها بسیار دشوار می‌باشد. حجم زمین‌لغزش‌ها به علت نقش داشتن در میزان فرسایش رسوب، اهمیت ویژه‌ای دارد (Malamud et al., 2004: 698). در حال حاضر تنها می‌توان با اتخاذ روابط تجربی که حجم زمین‌لغزش‌ها را با اندازه‌گیری هندسی گسیختگی‌ها به‌ویژه مساحت زمین‌لغزش‌ها مرتبط می‌سازد، به دست آورد (Simonett, 1967; Rice and Foggin, 1971; Rice et al., 1969; Larsen and Innes, 1983; Whitehouse, 1983; Martin et al., 2002; Torres Sanchez, 1998; Ten Korup, 2005; Guthrie and Evans, 2004; Imaizumi and Sidle, 2007; Brink et al., 2006; Guzzetti et al., 2008; Imaizumi et al., 2008; Guzzetti et al., 2009). امیدوار و کاویان، ۱۳۸۹؛ Hadian et al., 2014). با توجه به اهمیت آگاهی از حجم زمین‌لغزش‌ها در مدیریت حوزه‌های آبخیز و از طرفی پرهزینه و زمان‌بر بودن اندازه‌گیری میدانی حجم زمین‌لغزش‌ها، پژوهش حاضر با هدف تعیین بهترین مدل برآورد حجم زمین‌لغزش‌ها بر پایه مساحت و مقایسه رابطه تجربی به دست آمده از این پژوهش با سایر روابط تجربی ارائه شده در دنیا صورت گرفته است.

برآورد حجم (V_L) زمین‌لغزش‌ها بر پایه مساحت (A_L) توسط محققین مختلفی در خارج و داخل کشور به دست آمده است. Simonett (۱۹۶۷) در پژوهشی رابطه بین مساحت و حجم ۲۰۷ زمین‌لغزش در

از مواد در امتداد دامنه‌ها رخ می‌دهد (بروغنی، ۱۳۹۷: ۲). مکانیسم آن بدین‌گونه است که در سازندهای ریز دانه (رس، مارن و شیل) در اثر جذب آب، خاصیت کلوئیدی مواد به هم خورده و تا محلی که رطوبت نفوذ کرده باشد، خاک از توده اصلی جدا می‌شود و در نتیجه نیروی ثقل در روی دامنه حرکت می‌کند (احمدی، ۱۳۸۶: ۲۳۰). عوامل متعددی مانند ویژگی‌های زمین‌شناسی، شرایط هیدرولوژی، وضعیت توپوگرافی، مورفولوژی و آب و هوا بر پایداری شیب اثر گذاشته و باعث ایجاد لغزش می‌شوند (بهاروند و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۴).

روش تحقیق

برای انجام پژوهش حاضر، ابتدا زمین‌لغزش‌هایی که داده‌های مربوط به ویژگی هندسی آنها توسط کارشناسان منابع طبیعی استان مازندران به صورت پرسش‌نامه‌هایی طی عملیات میدانی ثبت شده بود، استخراج گردید. بعد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پیمایش‌های میدانی، ۴۸۵ زمین‌لغزش در منطقه شناسایی شد. پس از تعیین موقعیت و ترسیم پلی‌گون مربوط به محدوده هر یک از زمین‌لغزش‌ها بر روی تصاویر Google Earth، موقعیت و محدوده زمین لغزش‌ها به محیط نرم‌افزار ArcGIS منتقل و مساحت زمین‌لغزش‌ها برآورد گردید. پس از استخراج داده‌های مربوط به مساحت و حجم از پرسش‌نامه‌ها و بررسی صحت آنها (از نظر موقعیت و مساحت زمین‌لغزش‌ها) اطلاعات وارد محیط نرم‌افزار SPSS17 شد و ارتباط بین مساحت و حجم زمین‌لغزش‌ها با استفاده از مدل منحنی برآورد خطی، لگاریتمی، معکوس، درجه دوم، درجه سوم، ترکیبی، توانی، منحنی S، منحنی رشد و نمایی به دست آمد که در آن مساحت زمین‌لغزش‌ها (مترمربع) به عنوان متغیر مستقل و حجم (مترمکعب) به عنوان متغیر وابسته معرفی گردید. در نهایت با استفاده از ضریب تبیین (R^2)، سطح معنی‌داری (Sig)، آماره F و خطای استاندارد تخمین ($S.EE$) روابط مختلف مقایسه و بهترین مدل انتخاب گردید.

و حجم زمین لغزش‌ها ارائه نمود. Imaizumi and Sidle (۲۰۰۷) حجم ۵۱ زمین لغزش کم‌عمق را در حوزه آبخیز میاجاوا در مرکز ژاپن اندازه‌گیری و رابطه $V_L = 0.19 * A_L^{1.19}$ را برای $10^1 \leq A_L \leq 3 \times 10^2$ مترمربع به دست آوردند. Imaizumi و همکاران (۲۰۰۸) با اندازه‌گیری ۱۱ زمین لغزش در ژاپن رابطه $V_L = 0.19 * A_L^{1.19}$ را برای $10^1 \leq A_L \leq 4 \times 10^3$ مترمربع تعیین کردند.

Guzzetti و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از ۵۳۹ زمین لغزش در سراسر دنیا رابطه $V_L = 0.0844 * A_L^{1.4324}$ را برای $10^1 \leq A_L \leq 10^9$ مترمربع ارائه کردند. Guzzetti و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های ۶۷۷ زمین لغزش در سراسر دنیا رابطه $V_L = 0.074 * A_L^{1.450}$ را برای $10^1 \leq A_L \leq 10^9$ مترمربع تعیین کردند و این رابطه را در منطقه کالزون ایتالیای مرکزی به کار گرفتند. امیدوار و کاویان (۱۳۸۹) با استفاده از داده‌های موجود مساحت و حجم ۴۲۴ زمین لغزش در استان مازندران رابطه $V_L = 0.974 * A_L^{1.176}$ را برای $10^1 \leq A_L \leq 10^6$ مترمربع به دست آوردند و همچنین نشان دادند که میزان عمق میانگین محاسبه شده زمین لغزش‌ها در استان مازندران با ۷/۸۱ متر بسیار نزدیک به عمق مشاهده‌ای (۷/۳۸ متر) است. Hadian و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های مساحت و حجم ۱۴۲ زمین لغزش در حوزه آبخیز تجن رابطه $V_L = 0.4763 * A_L^{1.244}$ را برای $10^1 \leq A_L \leq 9 \times 10^5$ متر مربع تعیین کردند.

مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

زمین‌لغزش در مجاورت مناطق پرجمعیت و زیرساخت‌های حمل و نقل منجر به فجایع انسانی و آسیب‌های گسترده اقتصادی می‌شود (Brenning et al., 2014: 1947). با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در تجزیه و تحلیل خطر زمین لغزش و مدیریت ریسک آن هنوز تهدیدی جدی برای جان و مال مردم در مناطق کوهستانی سراسر دنیا به‌شمار می‌آید (Goetz et al., 2011: 376). زمین لغزش پدیده‌ای طبیعی است که پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی

1. Significant

2. Standard Error of the Estimate (S.EE)

مختلف تجربی ارائه شده در پیشینه تحقیق و پژوهش حاضر با استفاده از معیار RMSE (رابطه ۱) با یکدیگر و مقادیر مشاهده‌ای مقایسه و ارزیابی شد (Freund, Isaaks and 1992; Mayer and Butler, 1993; Razak et al., 2013; Srivastava, 2001). همچنین برای ارزیابی عمق زمین لغزش‌های محاسبه شده با عمق مشاهده‌ای از معیار خطای نسبی (RE)، رابطه ۲ استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_O - V_P)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$RE = \left| \frac{D_O - D_P}{D_P} \right| \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن V_P : حجم محاسبه شده، V_O : مقادیر حجم‌های مشاهده‌ای، n : تعداد داده‌ها، D_P : عمق محاسبه شده و D_O : عمق مشاهده‌ای می‌باشد. هر چه میزان RMSE و RE کمتر باشد نشان‌دهنده کارایی بیشتر مدل است. با توجه به روابط ۱ و ۲، مدل‌هایی که کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و خطای نسبی (RE) را داشتند به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شدند.

پس از بررسی پیشینه تحقیق مربوط به برآورد حجم زمین لغزش‌ها بر پایه مساحت در دنیا و رابطه به‌دست آمده از پژوهش حاضر، حجم زمین لغزش‌ها بر پایه هر یک از روابط مذکور محاسبه گردید. سپس عمق زمین لغزش‌ها با استفاده از رابطه حجم/مساحت=عمق (Martin et al., Larsen and Torres Sanchez, 1998)؛ (2002) به‌دست آمد. لازم به ذکر است که برای اندازه‌گیری عمق زمین لغزش‌های مورد استفاده در مدل‌ها با توجه به اندازه زمین لغزش، چاهک‌هایی تا لایه غیرقابل نفوذ زیرین حفر شد و در نهایت از میانگین عمق آنها به عنوان عمق میانگین زمین لغزش استفاده شد. حجم این زمین لغزش‌ها از حاصل ضرب عمق میانگین در مساحت به‌دست آمده است (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۳۸۶). در مرحله بعد آماره‌های توصیفی و شاخص‌های پراکندگی شامل دامنه تغییرات، میانگین، حداکثر، حداقل، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی داده‌های حجم و عمق زمین لغزش‌های برآورد شده از روابط توانی ارائه شده در منطقه و پیشینه تحقیق محاسبه و با یکدیگر مقایسه گردید و نمودار رابطه بین مساحت با حجم زمین لغزش‌ها با استفاده از روابط مختلف ترسیم شد. در نهایت حجم‌های محاسبه شده از طریق روابط

جدول ۱: روابط توانی محاسبه حجم بر پایه مساحت در پژوهش‌های مختلف

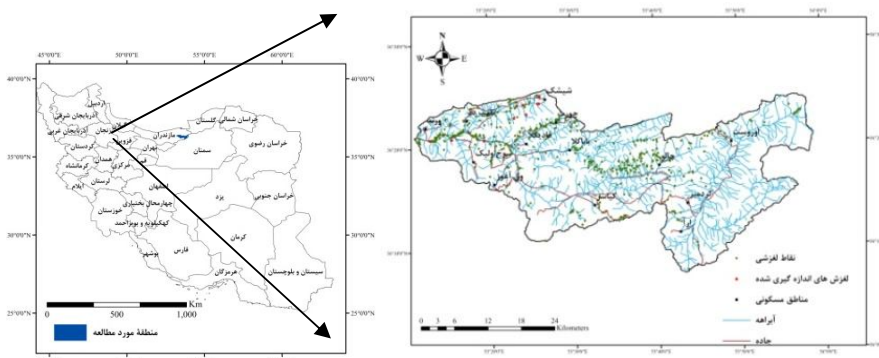
شماره	منبع	معادله	حداقل مساحت (مترمربع)	حداکثر مساحت (مترمربع)	تعداد
۱	پژوهش حاضر	$V_L = 0.408 * A_L^{1.284}$	$9/56 \times 10^2$	$1/447 \times 10^5$	۱۸
۲	Hadian et al (2014)	$V_L = 0.4763 * A_L^{1.244}$	$1/8 \times 10^2$	9×10^5	۱۴۴
۳	Omidvar and Kavian (2011)	$V_L = 0.974 * A_L^{1.176}$	$1/23 \times 10^2$	$1/0.85 \times 10^6$	۴۲۴
۴	Guzzetti et al (2009)	$V_L = 0.074 * A_L^{1.450}$	2×10^1	1×10^9	۶۷۷
۵	Guzzetti et al (2008)	$V_L = 0.0844 * A_L^{1.4324}$	1×10^1	1×10^9	۵۳۹
۶	Imaizumi et al (2008)	$V_L = 0.19 * A_L^{1.19}$	5×10^1	4×10^3	۱۱
۷	Imaizumi and Sidle (2007)	$V_L = 0.39 * A_L^{1.31}$	1×10^1	3×10^3	۵۱
۸	Ten Brink et al (2006)	$V_L = 4.655 * A_L^{1.292}$	5×10^5	2×10^8	۱۶۰
۹	Haflidason et al (2005)	$V_L = 12.273 * A_L^{1.046}$	3×10^5	$3/9 \times 10^{10}$	۶۵
۱۰	Korup (2005)	$V_L = 0.00004 * A_L^{1.95}$	$> 1 \times 10^6$	----	۲۳
۱۱	Guthrie and Evans (2004)	$V_L = 0.1549 * A_L^{1.0905}$	7×10^2	$1/2 \times 10^5$	۱۲۴
۱۲	Martin et al (2002)	$V_L = 1.0359 * A_L^{0.880}$	2×10^2	$5/2 \times 10^4$	۶۱۵
۱۳	Larsen and Torres Sanchez	$V_L = 1.826 * A_L^{0.898}$	5×10^1	$1/6 \times 10^4$	۱۰۱۹

				(1998)	
۳۰	2×10^2	3×10^1	$V_L = 0.0329 * A_L^{1.3852}$	Innes (1983)	۱۴
۴۵	$3/9 \times 10^6$	5×10^4	$V_L = 0.769 * A_L^{1.250}$	Whitehouse (1983)	۱۵
۵۳	6×10^7	6×10^3	$V_L = 0.242 * A_L^{1.307}$	Abele (1974)	۱۶
۳۷	$1/5 \times 10^3$	$1/1 \times 10^1$	$V_L = 0.328 * A_L^{1.104}$	Rice and Foggin (1971)	۱۷
۲۹	2×10^2	$2/1 \times 10^1$	$V_L = 0.234 * A_L^{1.11}$	Rice et al (1969)	۱۸
۲۰۷	$1/9 \times 10^5$	$2/3 \times 10^1$	$V_L = 0.1479 * A_L^{1.368}$	Simonett (1967)	۱۹

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز چهاردانگه در جنوب شهرستان ساری (استان مازندران) با مساحت ۱۲۱۰ کیلومتر مربع و در محدوده جغرافیایی $53^{\circ}11'01''$ تا $53^{\circ}58'57''$ طول شرقی و $36^{\circ}07'31''$ تا $36^{\circ}26'31''$ عرض شمالی واقع گردیده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه ۱۴۹۹ متر و دارای شیب متوسط ۱۹/۶۲ درجه می‌باشد که نشان‌دهنده کوهستانی بودن منطقه است. متوسط بارش سالانه آن با توجه به مقادیر بارندگی سالیانه ایستگاههای داخل و مجاور منطقه ۴۶۴/۶۲ میلی‌متر است و از نظر شرایط اقلیمی دارای آب و هوای معتدل کوهستانی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل و خشک می‌باشد. کاربری اراضی عمده منطقه مورد مطالعه، جنگل و در بخش شرقی آن مرتع است. منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی متعلق به زون البرز مرکزی است. کوههای البرز به شکل ساختار مرکبی است که در حاشیه شمالی پهنه ایران مرکزی قرار دارد و در راستای عمومی شرقی- غربی از آذربایجان در شمال غرب تا خراسان در شمال شرق امتداد دارد (آقانباتی،

۱۳۷۷) و حلقه واسط بین کوههای آناطولی- قفقاز و افغانستان است (Cartier, 1971). رشته کوههای البرز از نظر زمین‌شناسی، دارای مرز جنوبی آشکاری نیست و به طرف جنوب بر شدت کوهزایی‌ها افزوده شده است. این رشته کوه فقط از نظر ریخت‌شناسی دارای خصوصیت مستقل بوده و باید آن را به عنوان رشته کوههای حاشیه‌ای ایران مرکزی در نظر گرفت. مهمترین عامل مؤثر در تشکیل ساختار البرز برخورد صفحه ایران و توران، عملکرد گسل‌های رانده شده و گسل امتدادلغز بخش‌های غربی و شرقی است (Dedual, 1967). نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه‌های پل سفید و کیاسر نشان می‌دهد ۶۵/۳۲ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه تحت گستره سازندهای دوران دوم و سوم، متشکل از ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سنگ آهک با میان‌لایه‌های شیل و مارن قرار دارد. تیپ غالب منطقه مورد مطالعه کوهستانی است، ولی در محدوده کیاسر دارای اراضی دشتی و مسطح می‌باشد که مساحت کمی از حوزه را شامل می‌شود (تیموری یانسری، ۱۳۹۷).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲: نمونه‌ای از زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه

یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از بررسی برآورد حجم زمین‌لغزش‌ها بر پایه مساحت با استفاده از منحنی برآورد ۱۰ گانه (جدول ۲) نشان داد که بیشترین ضریب تبیین مربوط به معادله درجه سوم با $R^2 = 0/975$ و مقدار $Sig = 0$ است و همچنین بیشترین مقدار آماره $F = 103/291$ به این مدل اختصاص دارد، اما برآورد معیار خطای معادله درجه سوم برابر با $9/733 \times 10^{12}$ است که بیشترین مقدار را بین مدل‌های منحنی برآورد دارد و مقادیر حجم به دست آمده از این مدل منفی و غیر

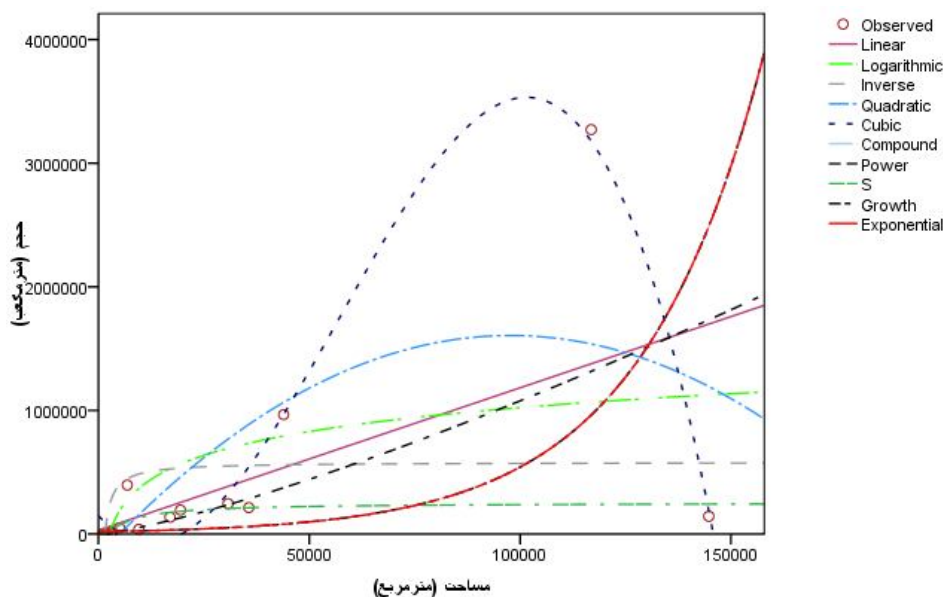
واقعی است. بعد از معادله درجه سوم، بیشترین مقدار ضریب تبیین (R^2) و آماره F به رابطه توانی اختصاص دارد. برای این اساس (جدول ۲) بهترین رابطه بین مساحت حجم زمین‌لغزش از نوع رگرسیون توانی با ضریب تبیین $0/80$ ، معنی‌داری 0 (صفر)، آماره F برابر با $63/922$ و خطای استاندارد تخمین $67/897$ است که رابطه آن به شکل زیر (رابطه ۳) تعریف گردید.

$$V_L = 0.408 * A_L^{1.284} \quad \text{رابطه (۳)}$$

A_L : مساحت زمین‌لغزش بر حسب مترمربع و V_L : حجم زمین لغزش بر حسب مترمکعب

جدول ۲: مقایسه مدل‌های منحنی برآورد مساحت با حجم زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه

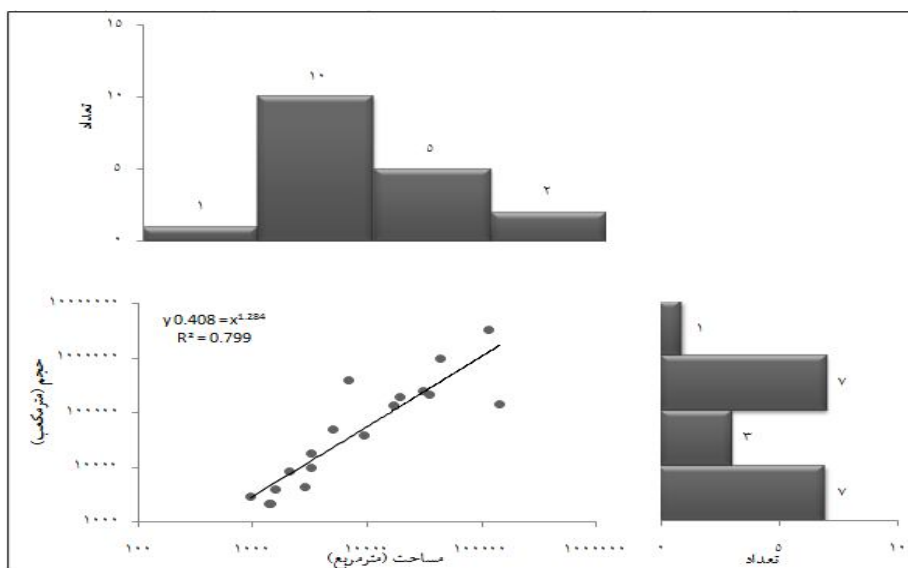
خطای استاندارد تخمین	آماره F	سطح معنی‌داری	ضریب تبیین	معادله	مدل
$3/787 \times 10^{12}$	9/489	0/007	0/372	$y = a + b_1x$	خطی
$3/248 \times 10^{12}$	7/503	0/015	0/319	$y = a + b_1 \ln x$	لگاریتمی
$13/341 \times 10^{12}$	2/430	0/139	0/122	$y = a + b_1/x$	معکوس
$4/970 \times 10^{12}$	7/165	0/02	0/489	$y = a + b_1x + b_2x^2$	درجه دوم
$9/733 \times 10^{12}$	103/291	0/00	0/957	$y = a + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3$	درجه سوم
33/134	10/001	0/00	0/385	$y = ab_1^x$	ترکیبی
68/897	63/922	0/00	0/8	$y = ax^{b_1}$	توانی
62/602	42/551	0/00	0/727	$y = e^{a+(b_1/x)}$	منحنی S
33/134	10/001	0/006	0/385	$y = e^{b_1x}$	منحنی رشد
33/134	10/001	0/006	0/385	$y = a^{b_1x}$	نمایی



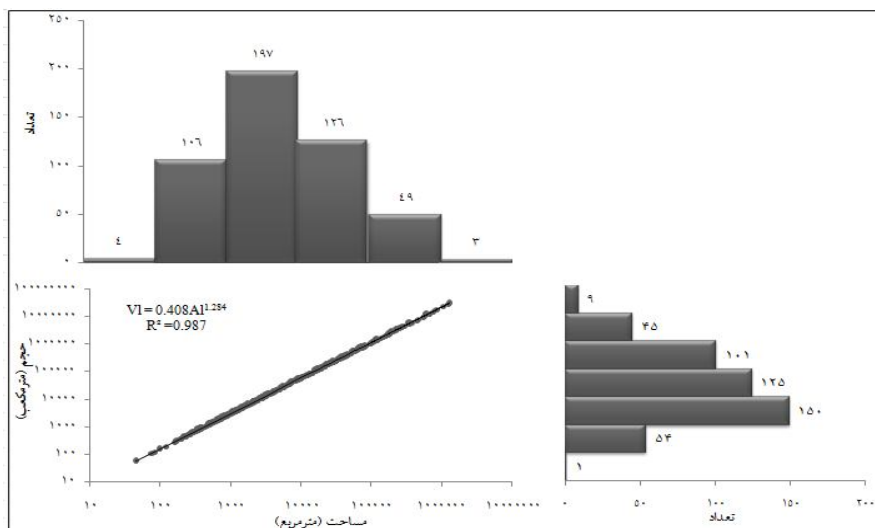
شکل ۳: ترسیم توزیعی مدل‌های منحنی برآورد مساحت - حجم زمین لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه

است. با توجه به شکل ۳، توزیع فراوانی زمین لغزش‌های اندازه‌گیری شده در منطقه نرمال نیست. با این وجود برای نرمالیته کردن داده‌ها مجاز به حذف داده‌ها نیستیم، به‌علت اینکه این داده‌ها حقیقی بوده و استفاده از داده‌هایی با اندازه‌های متفاوت جهت تعیین احتمال خطر اهمیت دارد (Hadian et al., 2014). برای نمایش بهتر داده‌های رابطه بین مساحت با حجم، محور نمودارها به صورت لگاریتمی تعریف شد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری میدانی متغیر مساحت زمین لغزش‌ها توسط کارشناسان اداره کل منابع طبیعی استان مازندران (جدول ۱) نشان می‌دهد حداقل مساحت مشاهده شده زمین لغزش‌ها $9/56 \times 10^2$ مترمربع و حداکثر مساحت مشاهده شده $1/447 \times 10^5$ مترمربع است. همچنین حداقل و حداکثر مساحت ۴۸۵ زمین لغزش شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه $2/9 \times 10^7 \leq A_L \leq 5 \times 10^1$ مترمربع



شکل ۳: نمودار فراوانی زمین لغزش‌های اندازه‌گیری شده حاصل از برداشت‌های میدانی در طبقات مختلف مساحت و حجم و رابطه توانی به‌دست آمده بین مساحت و حجم زمین لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴: نمودار فراوانی زمین لغزش‌های رخ داده در طبقات مختلف مساحت و حجم و رابطه توانی به‌دست آمده بین مساحت و حجم زمین لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه

جدول ۳: آماره‌های توصیفی مربوط به پارامترهای هندسی مساحت، حجم و عمق زمین لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه

پارامتر	تعداد	دامنه تغییرات	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
مساحت	۱۸	۱۴۳۷۸۱	۹۵۶	۱۴۴۷۳۷	۲۴۸۰۳/۷۸	۴۰۹۷۴/۸۱	۲/۳۱	۴/۷۵
حجم	۱۸	۳۲۶۹۶۹۷	۲۱۰۳	۳۲۷۱۸۰۰	۳۱۷۱۰۳/۸۹	۷۷۳۵۷۲/۶۱	۳/۶۸	۱۴/۲۹
عمق	۴۸۵	۲۹۰۹۳۷۹۷/۳۶	۵۵/۰۱	۲۹۰۹۳۸۵۲/۳۷	۶۷۶۶۷۰/۲۴	۲۷۱۱۲۷۶/۴۱	۷/۰۷	۵۸/۱۶
مشاهده‌ای	۱۸	۲۶/۵۰	۱/۵۰	۲۸	۷/۶۰	۷/۰۱	۲/۰۲	۴/۰۶
عمق	۴۸۵	۲۱/۰۶	۱/۲۱	۲۲/۲۷	۵/۶۴	۳/۸۰	۱/۶۳	۲/۸۶

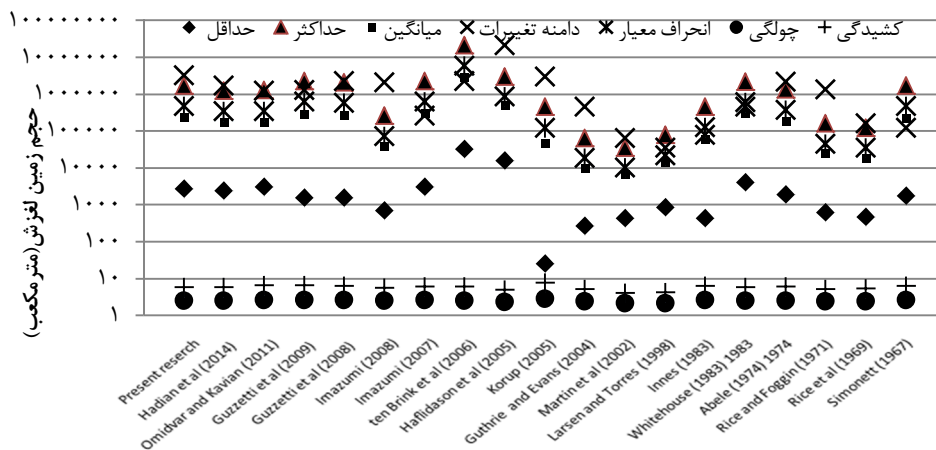
به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود میانگین عمق زمین لغزش‌های مورد استفاده در رابطه ۵/۷۶ متر و میانگین عمق ۴۸۵ زمین لغزش شناسایی شده در منطقه ۵/۶۴ متر محاسبه شد.

نتایج همبستگی بین حجم و عمق‌های مشاهده‌ای با حجم و عمق‌های پیش‌بینی شده با استفاده از آزمون مقایسه زوجی (جدول ۴) نشان دهنده تفاوت بین حجم‌های مشاهده‌ای از مقادیر پیش‌بینی شده است. در صورتی‌که بین عمق‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده همبستگی معنی‌داری وجود دارد (با توجه به ضریب همبستگی ۰/۷۵۶ و معنی‌داری ۰/۰۰).

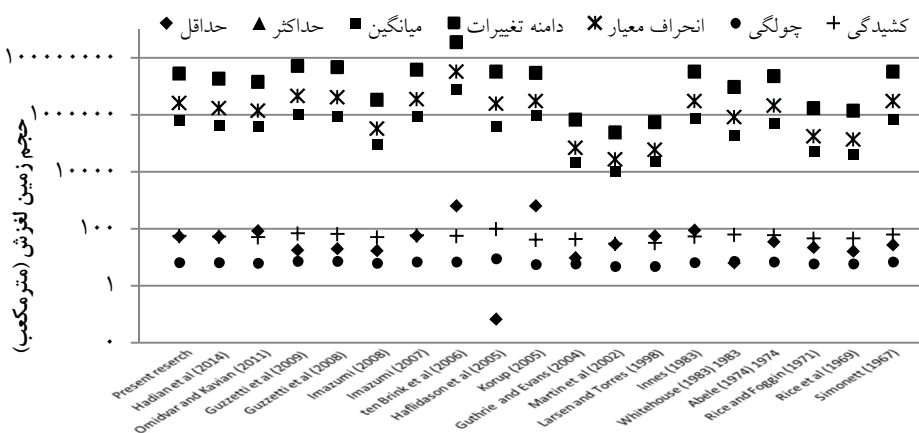
با توجه به نمودار فراوانی مساحت زمین لغزش‌ها (شکل‌های ۳ و ۴)، بیشتر زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه در محدوده مساحت‌های $10^3 \leq A_1 \leq 10^4$ مترمربع قرار دارند. همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، به‌علت محاسبه حجم زمین لغزش‌ها براساس رابطه به‌دست آمده در منطقه، پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده در محدود خط برآزش قرار گرفته و توزیع آنها نرمال است. نتایج حاصل از بررسی آماره‌های توصیفی و شاخص‌های پراکنندگی داده‌های حجم و عمق زمین لغزش‌های مورد استفاده در مدل و ۴۸۵ زمین لغزش شناسایی شده در منطقه (شکل‌های ۵، ۶، ۹ و ۱۰) و جدول ۳ نشان‌دهنده مطابقت و نزدیکی آنها می‌باشد.

جدول ۴: همبستگی بین مقادیر حجم و عمق زمین لغزش‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده در منطقه مورد مطالعه

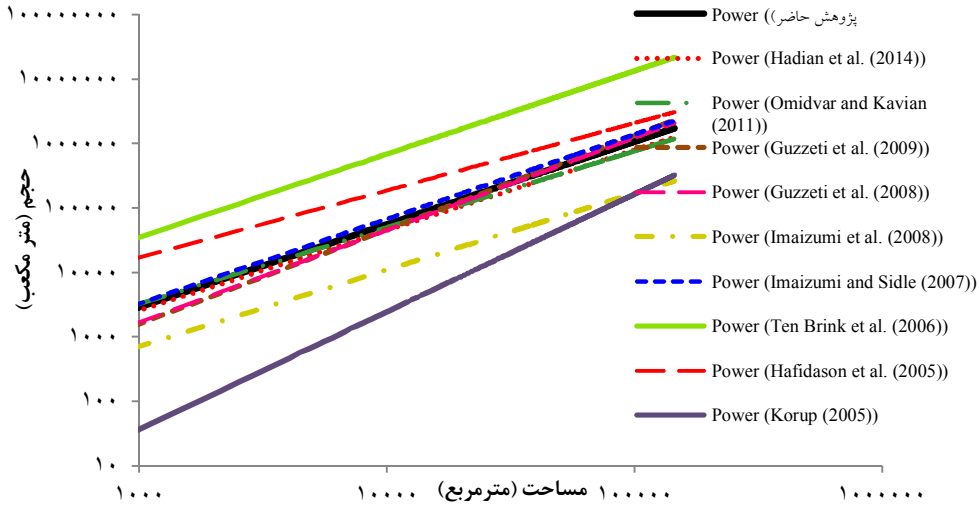
پارامتر	تعداد	ضریب همبستگی	معنی‌داری
حجم (مترمکعب)	۱۸	۰/۵۸۳	۰/۰۱۱
عمق (متر)	۱۸	۰/۷۵۶	۰/۰۰



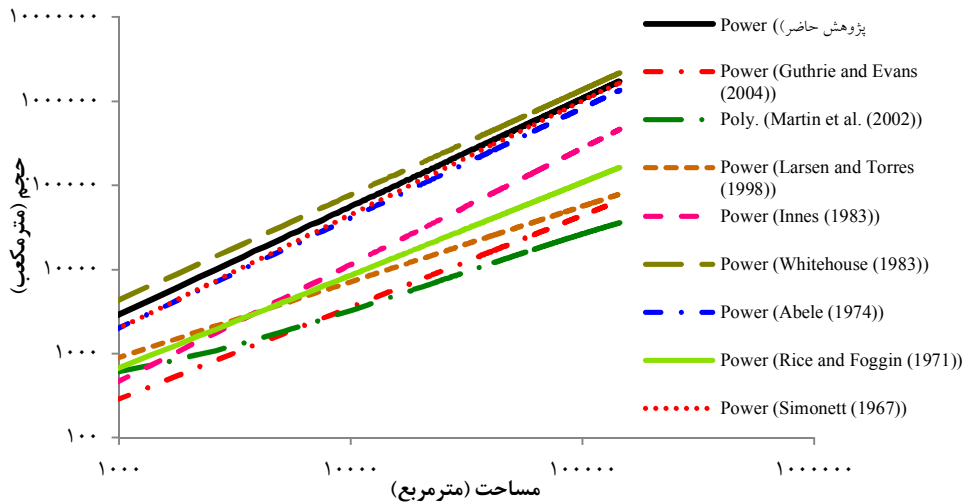
شکل ۵: مقادیر آماره‌های توصیفی و شاخص‌های پراکندگی برآورد حجم زمین لغزش‌های اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روابط مختلف



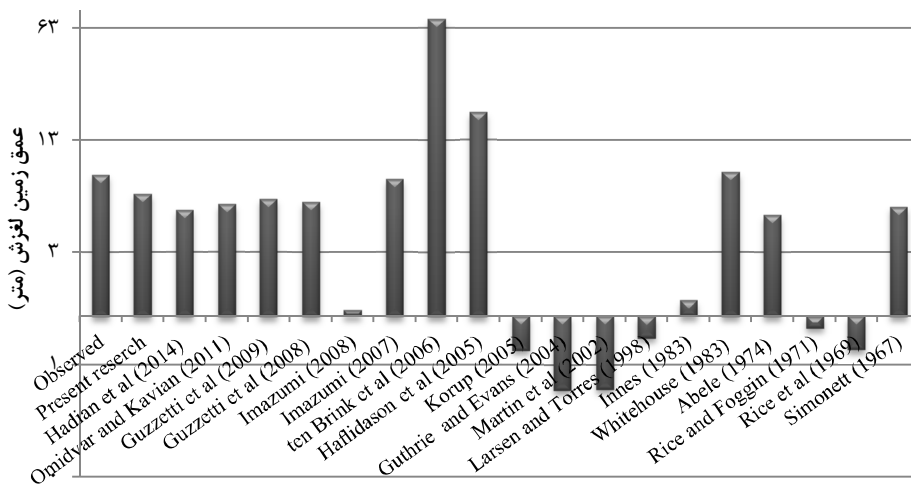
شکل ۶: مقادیر آماره‌های توصیفی و شاخص‌های پراکندگی برآورد حجم ۴۸۵ زمین لغزش‌شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روابط مختلف



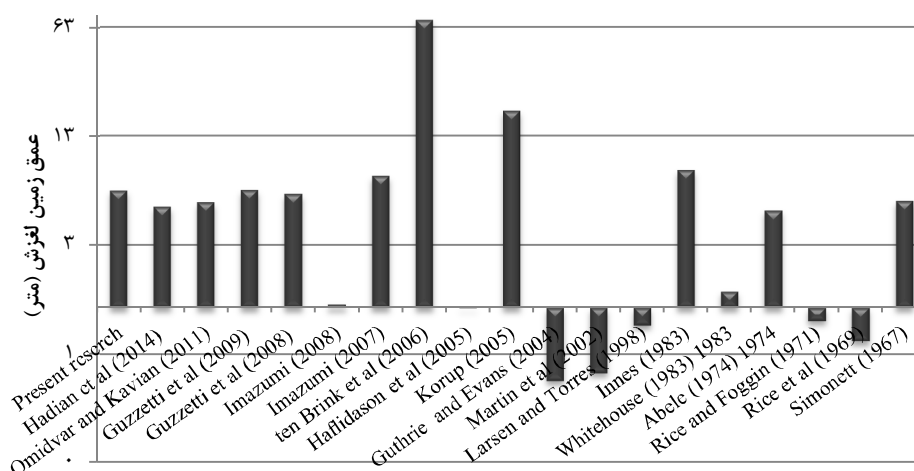
شکل ۷: نمودار روابط توانی مختلف ارائه شده در پیشینه تحقیق و نمودار به دست آمده از پژوهش حاضر



شکل ۸: نمودار روابط توانی مختلف ارائه شده در پیشینه تحقیق و نمودار به دست آمده از پژوهش حاضر



شکل ۹: مقادیر عمق متوسط زمین لغزش‌های اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روابط مختلف



شکل ۱۰: مقادیر عمق متوسط زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روابط مختلف

جدول ۵: نتایج بررسی مقادیر ضریب تبیین RMSE و RE بین داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده با استفاده از روابط مختلف

مجدور مربعات میانگین خطا RMSE	خطای نسبی RE (درصد)	عمق پیش‌بینی	رابطه
$3/21 \times 10^5$	31/94	5/76	پژوهش حاضر
$5/84 \times 10^5$	65/93	4/58	Hadian et al (2014)
$5/83 \times 10^5$	53/22	4/96	Omidvar and Kavian (2011)
$1/24 \times 10^5$	42/05	5/35	Guzzetti et al (2009)
$2/05 \times 10^5$	48/15	5/13	Guzzetti et al (2008)
$1/18 \times 10^6$	597/25	1/09	Imazumi et al (2008)
$3/27 \times 10^4$	7/19	7/09	Imazumi and sidle (2007)
$1/14 \times 10^7$	89/31	71/09	Ten Brink et al (2006)
$8/02 \times 10^5$	59/12	18/59	Hafidason et al (2005)
$1/14 \times 10^6$	1145/90	0/61	Korup (2005)
$1/30 \times 10^6$	2071/43	0/35	Guthrie and Evans (2004)
$1/31 \times 10^6$	2071/43	0/35	Martin et al (2002)
$1/28 \times 10^6$	941/09	0/73	Larsen and Torres Sanchez (1998)
$1/08 \times 10^6$	512/90	1/24	Innes (1983)
$3/04 \times 10^4$	2/81	7/82	Whitehouse (1983)
$5/88 \times 10^5$	77/98	4/27	Abele (1974)
$1/23 \times 10^6$	804/76	0/84	Rice and Foggin (1971)
$1/26 \times 10^6$	1125/80	0/62	Rice et al (1969)
$3/77 \times 10^5$	58/33	4/80	Simonett (1967)

حاصل از روابط Hadian و همکاران (۲۰۱۴)؛ امیدوار و کاویان (۱۳۸۹)؛ Guzzetti و همکاران (۲۰۰۹)؛ Guzzetti و همکاران (۲۰۰۸)؛ Imaizumi و همکاران (۱۹۸۳)؛ Whitehouse (۱۹۷۴)؛ Abele (۱۹۷۴) و Simonett (۱۹۶۷) برآورد حجمی نزدیک به

مقایسه آماره‌های توصیفی و شاخص‌های پراکندگی مقادیر حجم ۱۸ زمین لغزش اندازه‌گیری شده طی عملیات میدانی و ۴۸۵ زمین لغزش شناسایی شده در منطقه توسط رابطه ارائه شده و دیگر روابط موجود در پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که نتایج

نسبی را نسبت به عمق زمین لغزش‌های مشاهده‌ای داشتند.

نتیجه‌گیری

رابطه تجربی بین مساحت (مترمربع) با حجم (مترمکعب) با استفاده از ۱۸ زمین لغزش ثبت شده در حوزه آبخیز چهاردانگه به دست آمده است. این رابطه بعد از مقایسه و ارزیابی مدل‌های مختلف منحنی برآورد به صورت رابطه‌ای از نوع رگرسیون توانی به شکل $V_L = a \times A_L^x$ تعیین شد که مشابه روابط ارائه شده توسط Hadian و همکاران (۲۰۱۴)؛ امیدوار و کاویان (۱۳۸۹)؛ Guzzetti و همکاران (۲۰۰۹)؛ Guzzetti و همکاران (۲۰۰۸)؛ Imaizumi و همکاران (۲۰۰۸)؛ Sidle و Ten Brink (۲۰۰۷)؛ همکاران (۲۰۰۵)؛ Haflidason و همکاران (۲۰۰۶)؛ Korup (۲۰۰۵)؛ Guthrie و Evans (۲۰۰۴)؛ Martin و همکاران (۲۰۰۲)؛ Larsen و Whitehouse (۱۹۹۸)؛ Sanchez (۱۹۹۸)؛ Innes (۱۹۸۳)؛ Foggin و Rice (۱۹۷۱)؛ Rice و همکاران (۱۹۶۹)؛ Simonett (۱۹۶۷) است. نتایج حاصل از محاسبه حجم زمین لغزش‌ها با استفاده از رابطه ۳ نشان‌دهنده سازگاری آن با روابط Hadian و همکاران (۲۰۱۴)؛ امیدوار و کاویان (۱۳۸۹)؛ Guzzetti و همکاران (۲۰۰۹)؛ Imaizumi و همکاران (۲۰۰۸)؛ Sidle و Whitehouse (۲۰۰۷)؛ (۱۹۸۳)؛ Abele (۱۹۷۴)؛ Simonett (۱۹۶۷) می‌باشد. این سازگاری نشان دهنده آن است که رابطه بین مساحت و حجم زمین لغزش‌ها اساساً هندسی بوده و کمتر متأثر از ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و مکانیکی شکستگی شیب یا سنگ‌شناسی و نوع زمین لغزش است (Guzzetti et al., 2009). علت اختلاف برآورد حجم زمین لغزش‌های منطقه با استفاده از روابط Ten Brink و همکاران (۲۰۰۶) و Haflidason و همکاران (۲۰۰۵) از مقدار برآورد حجم محاسبه شده با رابطه ارائه شده در منطقه به این علت است که مدل‌های مذکور برای داده‌های با مساحت بالا (بالتر از 10^5 مترمربع) ارائه شده‌اند. از آنجایی که مدل‌های

رابطه ارائه شده در این تحقیق دارند. ولی نتایج حاصل از روابط Guzzetti و همکاران (۲۰۰۹)؛ Guzzetti و همکاران (۲۰۰۸)؛ Whitehouse (۱۹۸۳) و Simonett (۱۹۶۷) مقدار حجم پیش‌بینی شده در مساحت‌های کوچک با مقادیر حجم پیش‌بینی شده با استفاده از رابطه ارائه شده در منطقه تحقیق اختلاف دارد و مقدار حجم پیش‌بینی شده با استفاده از رابطه امیدوار و کاویان (۱۳۸۹) در مساحت‌های بزرگ با رابطه ارائه شده اختلاف دارد. مقدار برآورد حجم حاصل از روابط Ten Brink و همکاران (۲۰۰۶) و Haflidason و همکاران (۲۰۰۵) از مقدار برآورد حجم محاسبه شده با استفاده از رابطه ارائه شده در منطقه بیشتر است و متوسط عمق زمین لغزش‌های پیش‌بینی شده با استفاده از این روابط به ترتیب $71/09$ و $18/59$ متر محاسبه گردید (جدول ۵ و شکل‌های ۹ و ۱۰) که بسیار بالاتر از عمق مشاهده‌ای است. مقدار RMSE و RE این دو مدل نیز بالا می‌باشد. مقادیر حجم محاسباتی توسط روابط Imaizumi و همکاران (۲۰۰۸)؛ Korup (۲۰۰۵)؛ Evans و Guthrie (۲۰۰۴)؛ Martin و همکاران (۲۰۰۲)؛ Larsen و Torres Sanchez (۱۹۹۸)؛ Innes (۱۹۸۳)؛ Rice و Foggin (۱۹۷۱) و Rice و همکاران (۱۹۶۹) دارای برآورد حجم کمتری نسبت به رابطه ارائه شده در پژوهش حاضر می‌باشند و مقدار RMSE این روابط نیز بالاست. در این بین فقط مقادیر حجم پیش‌بینی شده حاصل از رابطه Guthrie و Evans (۲۰۰۴) با وجود آنکه برای داده‌هایی با سطوح نزدیک به مساحت زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه ($10^2 \times A_L \geq 10^5$) ارائه شده است، اما مقادیر حجم پایینی را نشان می‌دهد و دارای RMSE بالا می‌باشد. رابطه ارائه شده توسط Imaizumi و Sidle (۲۰۰۷) که برای مساحت‌های پایین (کمتر از 3×10^3) و Whitehouse (۱۹۸۳) که برای مساحت‌های بالاتر از 5×10^4 متر ارائه شده‌اند با مقادیر مشاهداتی اختلاف معنی‌داری نداشته و عمق متوسط زمین لغزش‌ها با استفاده از این روابط به ترتیب با $7/09$ و $7/82$ متر کمترین خطای

- ارائه شده توسط Imaizumi و همکاران (۲۰۰۸)؛ Martin و همکاران (۲۰۰۲)؛ Torres و Sanchez (۱۹۹۸)؛ Innes (۱۹۸۳)؛ Rice و Foggin (۱۹۷۱)؛ Rice و همکاران (۱۹۶۹)؛ برای داده‌هایی با سطوح کمتر از 10^4 ارائه شده‌اند، مقادیر حجم محاسباتی زمین لغزش‌های منطقه با استفاده از این روابط حجم کمتری نسبت به رابطه ارائه شده در پژوهش حاضر نشان داده‌اند. مقدار بالای RMSE آنها نشان دهنده اختلاف زیاد بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط این روابط با مقدار حجم مشاهده‌ای در منطقه مورد مطالعه است. با وجود اینکه روابط Imaizumi و Sidle (۲۰۰۷)؛ و Whitehouse (۱۹۸۳) مقصدار RMSE کمتری نسبت به رابطه ارائه شده داشته‌اند، اما مقدار میانگین عمق محاسبه شده با استفاده از این روابط نزدیک به مقدار میانگین عمق مشاهده‌ای است. به‌علت اینکه بیش از ۶۵ درصد زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه در محدوده مساحتی بین 10^3 تا 10^5 مترمکعب می‌باشند و از طرفی بیش از ۸۰ درصد زمین لغزش‌های مورد استفاده در مدل نیز در این محدوده مساحتی هستند، مدل ارائه شده در این تحقیق ($V_L = 0.408 * A_L^{1.284}$) مناسب‌تر و کارآمدتر برای محاسبه مقادیر حجم زمین لغزش‌های منطقه است.
- منابع**
- ۱- آقاناتی، علی. ۱۳۷۷. چینه‌شناسی ژوراسیک ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.
 - ۲- احمدی، حسن. ۱۳۸۶. ژئومورفولوژی کاربری (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران، جلد اول، تهران.
 - ۳- امیدوار، ابراهیم و کاویان، عطاله. ۱۳۸۹. برآورد حجم لغزش‌ها بر پایه مساحت در مقیاس منطقه‌ای (بررسی موردی: استان مازندران)، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران. دوره ۶۳، شماره ۴، صفحه ۴۵۵-۴۳۹.
 - ۴- بروغنی، مهدی، پوره‌اشمی، سیما و زنگه اسدی، محمدعلی. ۱۳۹۷. ارزیابی خطر و خسارت زمین لغزش در حوزه آبخیز بقیع به روش‌های فاکتور قطعیت و
 - رگرسون لجستیک. مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال ۸، شماره ۲۹، صفحه ۱۸-۱.
 - ۵- بهاروند، سیامک، پورکرمانی، محسن، آرین، مهران، اجل لوثیان، رسول و بوریزدان، عبدالرضا. ۱۳۸۸. زمین لغزش سیمره و نقش آن در تغییرات زیست محیطی و ژئومورفولوژیکی منطقه پلدختر، فصل‌نامه زمین. سال چهارم، شماره ۴، صفحه ۲۴-۱۳.
 - ۶- تیموری یانسری، زینب. ۱۳۹۷. مطالعه حساسیت به وقوع زمین لغزش در حوزه آبخیز چهاردانگه با تأکید بر مقایسه تطبیقی روش‌های ارزیابی. رساله دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا.
 - ۷- سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، معاونت آبخیزداری کشور، معاونت آبخیزداری. ۱۳۸۶. دفتر مهندسی و ارزیابی طرح‌ها، گروه مطالعه امور زمین لغزش. فهرست زمین لغزش‌های کشور، شهریور ۱۳۸۶.
 8. Abele, G. 1974. Bergstürze in den Alpen: ihre Verbreitung, Morphologie und Folgeerscheinungen. Univ.-Verlag Wagner Italian translation by Nicoletti, P.G. (1990-1994) Bergsturznelte Alpi. Rapporti Interni CNR-IRPI, Cosenza.
 9. Brenning, A., Schwinn, M., Ruiz-Páez, A.P., and Muenchow, J. 2014. Landslide susceptibility near highways is increased by one order of magnitude in the Andes of southern Ecuador, Loja province. Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions, 2: 1945-1975.
 10. Cartier, E.G. 1971. Die Geologie des unteren Chalus Tals Zentral-Alborz/Iran (No. 164). Geologisches Institut der Eidg. Technischen Hochschule und der Universität Zürich.
 11. Dedual, E. 1967. Zur geologie des mittleren und unteren Karaj-Tales, zentral-Elburz (Iran). Mitt. Geol. Inst. ETH Univ. Zurich, 79: 45-75.
 12. Freund, J. 1992. Mathematical statistics. 5th-Goetz, N. J., Prentice Hall. 658.
 13. Goetz, J.N., Guthrie, R.H., and Brenning, A. 2011. Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models. Geomorphology, 129(3): 376-386.

23. Innes, J.L. 1983. Lichenometric dating of debris-flow deposits in the Scottish Highlands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 8(6): 579-588.
24. Isaaks, E.H., and Srivastava, R.M. 2001. An introduction to applied geostatistics. 1989. New York, USA: Oxford University Press. Jones DR, A taxonomy of global optimization methods based on response surfaces. *Journal of Global Optimization*, 23, 345-383.
25. Katz, O., Morgan, J.K., Aharonov, E., and Dugan, B. 2014. Controls on the size and geometry of landslides: insights from discrete element numerical simulations. *Geomorphology*, 220: 104-113.
26. Korup, O. 2005. Distribution of landslides in southwest New Zealand. *Landslides*, 2(1): 43-51.
27. Larsen, M.C., and Torres-Sánchez, A.J. 1998. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. *Geomorphology*, 24(4): 309-331.
28. Malamud, B.D., Turcotte, D.L., Guzzetti, F., and Reichenbach, P. 2004. Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(6): 687-711.
29. Martin, Y., Rood, K., Schwab, J.W., and Church, M. 2002. Sediment transfer by shallow landsliding in the Queen Charlotte Islands, British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 39(2): 189-205.
30. Mayer, D.G., and Butler, D.G. 1993. Statistical validation. *Ecological modelling*, 68(1-2): 21-32.
31. Mondini, A. C., Marchesini, I., Rossi, M., Chang, K.T., Pasquariello, G., and Guzzetti, F. 2013. Bayesian framework for mapping and classifying shallow landslides exploiting remote sensing and topographic data. *Geomorphology*, 201, 135-147.
32. Razak, K.A., Santangelo, M., Van Westen, C.J., Straatsma, M.W., and de Jong, S.M. 2013. Generating an optimal DTM from airborne laser scanning data for landslide mapping in a tropical forest
14. Guthrie, R.H., and Evans, S.G. 2004. Analysis of landslide frequencies and characteristics in a natural system, coastal British Columbia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(11): 1321-1339.
15. 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, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1): 181-216.
16. Guzzetti, F., Malamud, B.D., Turcotte, D.L., and Reichenbach, P. 2002. Power-law correlations of landslide areas in central Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, 195(3-4): 169-183.
17. 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(1): 105-122.
18. Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Rossi, M., and Valigi, D. 2009. Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, 279(3): 222-229.
19. Hadian-Amri, M., Solaimani, K., Kaviani, A., Afzal, P., and Glade, T. 2014. Curve estimation modeling between area and volume of landslides in Tajan River basin, North of Iran. *ECOPERSIA*, 2(3): 651-665.
20. Hafidason, H., Lien, R., Sejrup, H.P., Forsberg, C.F., and Bryn, P. 2005. The dating and morphometry of the Storegga Slide. *Marine and Petroleum Geology*, 22(1): 123-136.
21. Imaizumi, F., and Sidle, R.C., 2007. Linkage of sediment supply and transport processes in Miyagawa Dam catchment, Japan. *Geophysical Research* 112. (F03012). doi:10.1029/2006JF000495.
22. 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(6): 827-840.

- Guinea. Landform studies from Australia and New Guinea, 64-84.
37. Ten Brink, 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(11).
38. Tsai, Z.X., You, G.J.Y., Lee, H.Y., and Chiu, Y.J. 2013. Modeling the sediment yield from landslides in the Shihmen Reservoir watershed, Taiwan. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(7): 661-674.
39. Whitehouse, I.E. 1983. Distribution of large rock avalanche deposits in the central Southern Alps, New Zealand. *New Zealand journal of geology and geophysics*, 26(3): 271-279.
- environment. *Geomorphology*, 190: 112-125.
33. Rice, R.M., Crobett, E.S., and Bailey, R.G. 1969. Soil slips related to vegetation, topography, and soil in southern California. *Water Resources Research*, 5(3): 647-659.
34. Rice, R.M., and Foggin, G.T. 1971. Effect high intensity storms on soil slippage on mountainous watersheds in Southern California. *Water Resources Research*, 7(6): 1485-1496.
35. Sidle, R.C., and Ochiai, H. 2006. Landslides: processes, prediction, and land use (Vol. 18). American Geophysical Union. 312pp.
36. Simonett, D.S. 1967. Landslide distribution and earthquakes in the Bewani and Torricelli Mountains, New

