

مدلسازی و برآورد حجم پهنه‌های زمین لغزش بر پایه مساحت (مطالعه

موردی: حوضه بقیع نیشابور)

سیمیما پورهاشمی: کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

ابوالقاسم امیر احمدی: دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران*

الهه اکبری: کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، مربی دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

وصول: ۱۳۹۲/۱۲/۱۴ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۴، صص ۸۱-۹۸

چکیده

جابجایی توده‌ای مواد از قبیل زمین لغزش از جمله فرآیندهای دامنه‌ای مشکل آفرین در حوضه بقیع در دامنه‌های جنوبی بینالود است، چرا که این پدیده موجب تخریب اراضی، زمین‌های کشاورزی و مراتع، و نیز افزایش تولید رسوب در خروجی حوضه می‌شود. از آنجایی که برآورد حجم زمین لغزش حائز اهمیت است، لذا در این تحقیق، به منظور برآورد آن، ابتدا اطلاعات مربوط به عمق و مساحت ۴۴ لغزش حوضه بقیع نیشابور گردآوری و پس از رعایت فرضیات آماری، یک مدل رگرسیونی توانی به دست آمد که با ۱۷ رابطه‌ی ارائه شده در دنیا نیز مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مقادیر حجم برآورد شده توسط رابطه ارائه شده برای حوضه بقیع با داده‌های مشاهده‌ای (PValue=0.000, R2=0.692) و برخی روابط ارائه شده از سوی محققان همخوانی نسبتاً خوبی دارد که نشان‌دهنده‌ی کارایی رابطه ارائه شده است. همچنین روابطی که در مناطق با زمین‌لغزش‌های به مساحت کوچک ایجاد شده‌اند، برای استفاده در حوضه بقیع کارایی بهتری نسبت به روابطی دارند که از زمین‌لغزش‌هایی با مساحت بزرگ به دست آمده‌اند. با توجه به رابطه ارائه شده، میزان میانگین عمق زمین‌لغزش‌ها در حوضه بقیع ۳/۳۱۴ متر برآورد شد که به میزان میانگین عمق مشاهده‌ای (۴/۰۶۹متر) نزدیک است. از آنجایی که محاسبه دقیق حجم زمین‌لغزش امری دشوار و نیازمند داده‌هایی از هندسه سطحی و زیرسطحی دامنه گسیخته شده است، با اتخاذ این مدل تجربی که حجم زمین‌لغزش‌ها را با مساحت مرتبط می‌سازد، می‌توان از صرف هزینه‌ها جلوگیری و محاسبات دقیق‌تری را به انجام رساند.

واژه‌های کلیدی: حجم، زمین‌لغزش، مساحت، رابطه تجربی، حوضه بقیع.

- مقدمه

تبدیل می‌شود (فاطمی‌عقدا و همکاران، ۱۳۸۲: ۲۹؛

Paoletti et al, 2013: 147). در این بین زمین لغزش

به عنوان یکی از معضلات جهانی پیش روی انسان که

همواره در سرتاسر جهان باعث ایجاد خسارات

سنگین مالی و جانی می‌شود، دارای اهمیت ویژه‌ای

ناپایداری دامنه‌ها یکی از پدیده‌های

ژئومورفولوژیکی - زمین شناسی است که در تغییر

شکل سطح زمین نقش مؤثری دارد (Vittorio De

Blasio, 2011: 5). زمانی که این فرآیند فعالیت‌های

انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به پدیده‌ای خطرناک

تعداد، مساحت و حجم زمین لغزش‌ها برای برآورد حساسیت (Guzzetti et al, 1999:183)، تعیین خطر زمین لغزش و ارزیابی دراز مدت دامنه‌ها در اثر فرایند حرکات توده‌ای مهم است (Guzzetti et al, 106; Harmon & Doe, 2001:117; 2008). دستیابی به اطلاعات مربوط به مساحت و تعداد زمین لغزشها از طریق عکسهای هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و همچنین بازدیدهای میدانی به راحتی امکان‌پذیر است، درحالی‌که حجم را نمی‌توان از طریق روش‌های یاد شده مشخص نمود. برآورد حجم زمین لغزش امری است مشکل و نیاز به داده‌هایی از هندسه سطحی و زیر سطحی دامنه گسیخته شده دارد (امیدوار و کاویان، ۱۳۸۹:۴۳۹). جمع‌آوری این اطلاعات که طی عملیات میدانی صورت می‌گیرد مشکل و پرهزینه بوده و برآورد حجم دامنه گسیخته شده برای تعداد زیادی لغزش در شیب‌های تند کوهستانی چالش برانگیز است (Malamud et al, 2004, 690). به همین دلیل در حال حاضر برآورد حجم زمین لغزش‌ها تنها با اتخاذ روابط تجربی، که حجم زمین لغزش‌ها را به اندازه‌گیری هندسی گسیختگی‌ها بویژه مساحت مرتبط می‌سازد، محاسبه می‌گردد (ten Brink et al., 2006; Imaizumi and Sidle, 2007; Guzzetti et al., 2008; Imaizumi et al., 2008). پس از آنجا که در مدیریت حوضه‌های آبخیز، تحویل رسوب در خروجی یک حوضه اهمیت بسزایی دارد و بیشتر این رسوبات متأثر از وقوع زمین لغزش‌ها در حاشیه رودخانه‌ها است، اهمیت برآورد حجم زمین لغزش‌ها نیز مورد تأکید قرار می‌گیرد. بطوریکه از جمله مطالعات انجام شده می‌توان به تحقیقات، Foggin و Rice (۱۹۷۱)، Abele (۱۹۷۴)، Larsen و Sanches (۱۹۹۸) و همکاران

است (نیازی و همکاران، ۱۳۸۹:۹؛ سوری و همکاران، ۱۳۹۰:۱۲۷۰).

زمین لغزش یکی از فرایندهای اصلی زمین ریختی است که تکامل چشم انداز مناطق کوهستانی را تحت تأثیر قرار داده و موجب ایجاد حوادث فاجعه برانگیزی شده است (Roering et al, 2005:654). این فرایند از حرکات توده‌ای و مخاطرات محیطی محسوب می‌شود (اسمیت، ۱۳۸۲:۲۱۶) که از جمله ویرانگرترین حوادث طبیعی در مناطق شیب‌دار به حساب می‌آیند (Kanungo et al, 2006:348). علاوه بر این، زمین لغزشها در اثر بسیاری عوامل محرک از قبیل زمین لرزه، بارندگی و ذوب سریع برف ایجاد شده و تحت تاثیر عواملی مانند توپوگرافی، نوع سنگ و خاک، شکستگی‌ها و سطوح بستر و میزان رطوبت (امیدوار و کاویانی، ۱۳۸۹:۴۴۰) و همچنین علل انسانی مثل تخریب پوشش گیاهی و عملیات ناصحیح مهندسی تشدید می‌شوند.

زمین لغزش به عنوان یکی از انواع حرکت‌های توده‌ای شامل حرکت کند یا تند مواد سنگی، خاکی (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۰:۲۰۳) یا مجموع هر دو در روی دامنه به سمت پایین تحت تأثیر نیروی جاذبه است (Crosta, 2009:76). ویژگی‌های طبیعی و زمین‌شناسی ایران به گونه‌ای است که در برخی نقاط کشور هر ساله حرکات توده‌ای و زمین لغزش‌های متعددی بروز می‌کند. زمین لغزش‌های ایران به عنوان یکی از بلاهای طبیعی هر ساله نقش بسزایی در تخریب جاده‌های ارتباطی، تخریب مراتع-باغات، مناطق مسکونی و همچنین فرسایش خاک و انتقال حجم بالای رسوب در حوضه‌های آبخیز کشور دارند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۰:۹۶). داشتن داده‌هایی از

لغزش دیده می‌شود و روابط جدید بین مساحت و حجم، آغازی برای درجه‌بندی بزرگی لغزش‌هاست. جوان‌دولوئی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی و تعیین سطح لغزش و حجم روباره توده ریزشی مجاور تونل خالنجبه بر اساس اندازه‌گیریهی ژئوفیزیکی پرداختند در این مطالعه، حجم مؤثر ۳۴۰ هزار متر مکعب برای توده ریزشی ناپایدار محاسبه شده است که مؤید توانمندی لغزش زمین در مجاورت تونل دوم خالنجبه در آینده نزدیک است.

اندازه‌گیری حجم لغزش و حجم رسوب ناشی از آن، از طریق عملیات میدانی پرهزینه و وقت‌گیر است، بنابراین در این تحقیق سعی شده است رابطه‌ای تجربی برای برآورد حجم زمین‌لغزش در حوضه بقیع نیشابور ارائه شود که می‌توان از آن به عنوان مقدمه‌ای برای توسعه مدل‌های برآوردکننده حجم و سایر پارامترهای مورفومتری زمین‌لغزش استفاده نمود. با ارائه این مدل در این منطقه به‌سادگی می‌توان در صورت محاسبه مساحت لغزش از طریق عکس‌های هوایی یا تصاویر ماهواره‌ای، حجم را برآورد کرد. در نهایت کارایی مدل با مدل‌های مناطق دیگر مقایسه و صحت و دقت مدل ارائه شده برای منطقه ارزیابی می‌گردد.

- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز بقیع نیشابور، در حوضه آبریز اصلی کویر مرکزی (از حوضه‌های شش‌گانه استان خراسان) واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی، حوضه آبخیز بقیع در محدوده طول جغرافیایی $58^{\circ} 38' 09''$ الی $58^{\circ} 13' 44''$ و عرض جغرافیایی $31^{\circ} 09'$ الی $30^{\circ} 38' 36''$ شمالی و در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات بینالود واقع شده است (شکل ۱).

(۲۰۰۲)، (۲۰۰۵) Korup و Hafidason و همکاران (۲۰۰۵)، (۲۰۰۶) Tenbrink و Imaizumi و Sidle (۲۰۰۷)، (۲۰۰۸) Imaizumi و همکاران (۲۰۰۸)، (۲۰۰۸) Asael و Guzzetti و همکاران (۲۰۰۹)، (۲۰۰۹) Whitehouse و Klar و Guzzetti (۲۰۱۱) اشاره نمود که در مناطق مختلف جهان، از طریق مساحت زمین لغزش، میزان حجم را پیش بینی نموده‌اند.

در ایران لطفی و همکاران (۱۳۸۶) در مطالعه‌ای در شمال کشور حجم لغزش‌های موجود در دو طرف جاده جنگلی را محاسبه و تأثیر نقاط لغزشی از لحاظ مشارکت در تولید رسوب مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که از سطح کل خاک جابجا شده در منطقه مورد مطالعه، تأثیر پدیده زمین لغزش بر اساس مشارکت در تولید رسوب را حدود ۳۵ درصد می‌باشد. امیدوار و کاویانی (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای تحت عنوان برآورد حجم زمین لغزش‌ها بر پایه مساحت در مقیاس منطقه‌ای در استان مازندران رابطه‌ای تجربی برای برآورد حجم ارائه دادند و به این نتیجه رسیدند که مقادیر حجم برآورد شده توسط این رابطه برای استان مازندران همخوانی خوبی با داده‌های مشاهده‌ای و برخی روابط موجود دارد که نشان از کارایی رابطه ارائه شده است.

رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۰) به برآورد روابط ریاضی بین فاکتورهای حجم و مساحت لغزش توده‌ای در گردنه‌ی صائین (شهرستان نیر) پرداختند و از روابط موجود بین حجم و مساحت برای بررسی خود استفاده نموده‌اند. آنها به این نتیجه رسیدند که تحت هر شرایطی، روابط معنی‌داری بین حجم و مساحت

مواد و روش‌ها

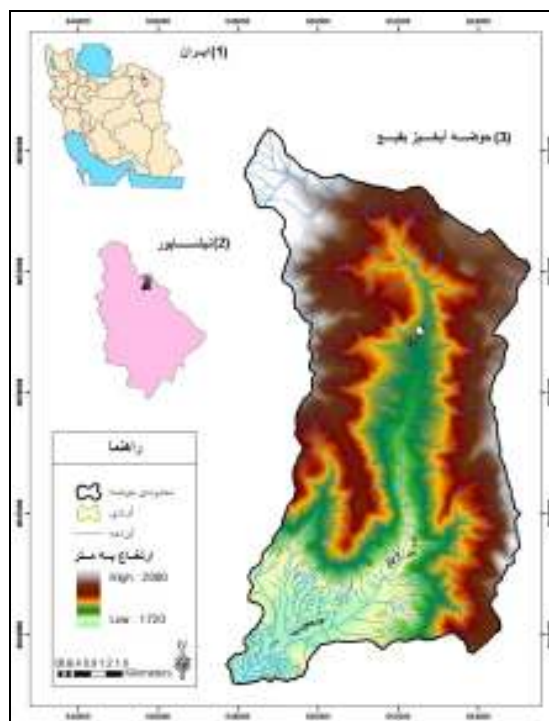
در این تحقیق، برای تهیه اطلاعات مربوط به زمین لغزشها از پرسشنامه‌هایی که توسط دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها معاونت آبخیزداری، گروه بررسی زمین لغزشها تهیه شده بود استفاده گردید. این پرسشنامه‌ها شامل اطلاعاتی از قبیل موقعیت جغرافیایی لغزش، طول، عرض و نوع لغزشها است. عملیات میدانی هم به منظور شناسایی و ثبت زمین لغزشهای موجود و نیز به منظور محاسبه عمق لغزشها انجام گرفت. شکل (۲) توزیع زمین لغزشها در حوضه بقیع را نشان می‌دهد.



شکل (۲): توزیع زمین لغزشها در حوضه بقیع (منبع: نگارندگان)

پس از کنترل صحت و کیفیت داده‌ها در Excel، مشخصات آماری آنها در محیط نرم‌افزار SPSS18، محاسبه شد.

حوضه آبخیز بقیع در شمال شهرستان نیشابور و در بخش سرولایت واقع و روستاهای بجنوی علیا و سفلی، قرونه و بقیع درون منطقه مطالعاتی قرار دارند. محدوده مورد مطالعه از غرب به روستای برمهان، از جنوب به روستای بار و از جنوب غرب به روستای تنگه علیا منتهی می‌گردد. مساحت حوضه معادل ۶۳۶۷ هکتار و ارتفاع متوسط ۲۲۰۹ متر است که حداکثر ارتفاع آن ۲۸۸۰ متر از سطح دریا و حداقل نقطه ارتفاعی منطقه مطالعاتی نیز در خروجی حوضه به ارتفاع ۱۷۲۰ متر از سطح دریا گزارش شده است. این مناطق پست همان رسوبات دشت سیلابی در طرفین رودخانه است (مطالعات ارزیابی حوضه بقیع، ۱۳۹۲: ۵).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

آماره‌های صدک‌ها، حداکثر، حداقل و میانگین، معیار ریشه میانگین مربعات خطا RMSE، انجام پذیرفت.

- معیار ضریب تبیین R^2

برای تعیین بهترین رابطه و مقایسه با روابط مختلف ابتدا از معیار ضریب تبیین R^2 استفاده شد.

رابطه (۱)

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

که در آن: \bar{o} میانگین حجم‌های مشاهده‌ای و \bar{p} : میانگین حجم محاسبه شده توسط رابطه: o_i مقادیر حجم‌های مشاهده‌ای، p_i حجم محاسبه شده توسط رابطه و n : شمار داده‌ها است (امیدوار و کاویان، ۱۳۸۹: ۴۴۳). 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: 324). برای استفاده از ضریب تبیین، مساحت مشاهده شده زمین لغزش‌ها را در هر رابطه تجربی قرار داده و حجم مربوط به آن لغزش محاسبه، سپس هر یک از این حجم‌ها را با حجم لغزش‌های مشاهده‌ای متناظر نموده و ضریب تبیین مورد ارزیابی قرار گرفت.

در این تحقیق، به منظور ارائه رابطه تجربی برای محاسبه حجم زمین لغزش‌های ثبت شده، زمین لغزش‌هایی که اطلاعات مساحت و حجم آنها کامل بود انتخاب شد. از این رو اطلاعات مربوط به شمار ۴۴ زمین لغزش مشاهده‌ای شامل طول و عرض جغرافیایی، طول، عرض و سطح هر زمین لغزش، برای برقراری یک رابطه آماری بین مساحت (AL) و حجم (VL) وارد نرم‌افزار SPSS شد. برای مدل کردن رابطه تجربی بین AL و VL و با بررسی روابط آماری موجود در سابقه تحقیق از معادله عمومی به شکل $V_L = \varepsilon \times A_L^\alpha$ استفاده گردید. در نهایت برای برآورد میزان حجم زمین لغزش با استفاده از داده‌های مساحت، پس از رعایت فرضیات تجزیه رگرسیون، یک مدل رگرسیونی توانی به دست آمد. در این رابطه، حجم مشاهده‌ای زمین لغزش‌ها از حاصلضرب سطح لغزش و عمق مشاهده‌ای برآورد شده از طریق سنجش از دور و GIS به دست آمده است.

جدول (۱) معادلات تجربی مختلفی که همه آن‌ها به صورت توانی برای محاسبه حجم زمین لغزش بودند، 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 ۴۴ مساحت مشاهده شده زمین لغزش‌های موجود در حوضه به کار برده شد و مقادیر حجم محاسبه شده توسط این روابط، با داده‌های حجم مشاهده‌ای زمین لغزش‌های حوضه مقایسه و ارزیابی شد. در نهایت مدل آماری توسعه یافته برای حوضه بقیع نیز با روابط جدول (۱)، مقایسه شد. این ارزیابی و مقایسه از طریق معیارهای معیار ضریب تبیین R^2 ، مقادیر

جدول (۱): روابط تجربی محاسبه حجم زمین لغزش با استفاده از مساحت زمین لغزش‌ها (منبع: نگارندگان)

تعداد	حداکثر AL	حداقل AL	معادله	منبع
207	$1/9 \times 10^5$	$2/3 \times 10^0$	$V_L = 0.1479 A_L$ 1.368	Simonett(1967)
29	2×10^2	2.1×10^0	$V_L = 0.234 A_L$ 1.11	Rice (1969)
37	$1/5 \times 10^3$	$1/1 \times 10^1$	$V_L = 0.328 A_L$ 1.104	Rice and Foggin(1971)
53	6×10^7	2×10^5	$V_L = 0.242 A_L$ 1.250	Abele (1974)
30	5×10^2	3×10^1	$V_L = 0.0329 A_L$ 1.3852	Innes(1983)
45	$3/9 \times 10^6$	5×10^4	$V_L = 0.769 A_L$ 1.250	Whitehouse(1983)
1019	$1/6 \times 10^4$	5×10^1	$V_L = 1.826 A_L$ 0.898	Larsen and Sanchez (1998)
615	$5/2 \times 10^4$	2×10^2	$V_L = 1.0359 A_L$ 0.880	Martin et al (2002)
124	$1/2 \times 10^5$	7×10^2	$V_L = 0.1549 A_L$ 1.0905	Guthrie and Evans (2004a)
23	-	$> 1 \times 10^6$	$V_L = 0.00004 A_L$ 1.307	Korupe (2005b)
65	3.9×10^{10}	3×10^5	$V_L = 12.273 A_L$ 1.047	Haflidason et al.(2005)
160	2×10^8	5×10^5	$V_L = 4.655.273 A_L$ 1.292	Tenbrink(2006)
51	3×10^3	1×10^1	$V_L = 0.39 A_L^{1.131}$	Imaizumi and Sidle(2007)
539	1×10^9	1×10^1	$V_L = 0.0844 A_L$ 1.4324	Guzzetti et al.(2008)
11	4×10^3	5×10^1	$V_L = 0.19 A_L^{1.19}$	Imaizumi et al.(2008)
677	1×10^9	2×10^0	$V_L = 0.074 A_L$ 1.450	Guzzetti(2009)
442	$1/085 \times 10^6$	$1/23 \times 10^2$	$V_L = 0.974 A_L$ 1.176	Omidvar(2011)

- 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 حوضه‌ی بقیع، آماره‌های ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ از کل حجم لغزش‌ها، حداقل، حداکثر و میانگین حجم‌های برآورد شده محاسبه شد.

- معیار ریشه میانگین مربعات خطا RMSE

RMSE^۱ نشان دهنده کارایی یک مدل است. این معیار می‌تواند به عنوان ریشه دوم مقدار میانگین مربعات اختلاف بین مقادیر محاسبه شده و مشاهده‌ای تعریف شود. پس از قراردادن مساحت زمین لغزش‌های مشاهده‌ای در هر یک از روابط تجربی موجود میزان حجم این لغزش‌ها محاسبه و با توجه به معیار جذر

^۱Root Mean Square Error

- محاسبه عمق میانگین زمین لغزش‌های حوضه جهت ارزیابی مدل

پس از ارزیابی رابطه به دست آمده، این رابطه برای برآورد حجم میانگین زمین لغزش‌های موجود استفاده شد. سپس عمق میانگین زمین لغزش‌های موجود در حوضه 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 حوضه بقیع در محدوده نسبتاً وسیعی از مساحت، حجم و عمق قرار دارند. به طوری که مساحت (A_L) آن‌ها در محدوده بین $1/5 \times 10^4 m^2 \leq A_L \leq 2 \times 10^6 m^2$ ، حجم مشاهده‌ای زمین لغزش‌ها (V_L) در محدوده بین $1 \times 10^3 m^3 \leq V_L \leq 8/4 \times 10^6 m^3$ و همچنین عمق (D_L) آن‌ها در محدوده $0/1 m \leq D_L \leq 13/85 m$ قرار دارند. این محدوده وسیع باعث بالا رفتن انحراف معیار و نهایتاً ضریب تغییرات در مورد هر یک از پارامترها شده است.

میانگین مربعات خطا (رابطه ۲)، هر مدل که کمترین مقدار RMSE را داشته باشد به عنوان بهترین مدل انتخاب شده است.

رابطه (۲)

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

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 است (Kim et al., 2008).

- محاسبه عمق زمین لغزش

- محاسبه عمق زمین لغزش‌های مشاهده‌ای حوضه جهت برآورد مدل
برای برآورد عمق مشاهده‌ای زمین لغزش‌های منطقه از روش‌های میدانی و سنجش از دور استفاده شده است، چرا که در بعضی مناطق به علت صعب‌العبور بودن، قابلیت انجام مطالعه میدانی وجود نداشت. لذا از طریق سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای ASTER و قابلیت زوج تصویر ماهواره‌ای چپ و راست در این تصاویر، مدل رقومی زمین^۱ (DEM) در سال ۱۳۸۲ و نیز مدل رقومی زمین از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ (تهیه شده از عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴) تهیه شده است. سپس از آنجاییکه لغزش‌های رخ داده در حوضه در بین این سال‌ها و در دهه ۷۰ روی داده است، با کسر نمودن این دو لایه از یکدیگر، عمق مشاهده‌ای محاسبه گردید.

¹ Digital Elevation Model

جدول (۲): آماره‌های توصیفی مربوط به پارامترهای هندسی گستره، حجم و عمق زمین‌لغزش‌ها در حوضه
بقیع (منبع: نگارندگان)

نوع داده	تعداد	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
مساحت	44	280852.27 m ²	15000 m ²	2000000 m ²	332420.625	1.105E11	16.446	3.517
عمق	44	4.06939 m	0.1 m	13.858 m	2.879654	8.292	2.019	1.315
حجم	44	1260190.00 m ³	10000 m ³	8400000 m ³	1941738.387	3.770E12	6.639	2.618

در داده‌های مشاهده‌ای دیده نمی‌شود بیشتر نمود پیدا می‌کند، زیرا با استفاده از بخشی که فهرست اطلاعات فراوان‌تر بوده است (در این تحقیق مساحت‌های بین $1 \times 10^5 m^2 < A_L < 5 \times 10^6 m^2$) می‌توان وابستگی حجم به سطح را برای قسمتی که اطلاعات کمتر باشد استخراج نمود.

– محاسبه عمق زمین‌لغزش‌های مشاهده‌ای (۴۴)

نمونه) از طریق سنجش از دور و GIS

به دلیل نبودن داده‌های مشاهده‌ای عمق اقدام به محاسبه عمق مشاهده‌ای لغزش‌ها از طریق سنجش از دور و GIS گردید. علاوه بر این، برای اطمینان از واقعی بودن نتایج با انتخاب ۸ محل زمین‌لغزش از ۴۴ لغزش روی داده در منطقه و مراجعه حضوری از این محل‌ها میزان دقت عمق‌های محاسباتی برآورد شد (جدول ۳). از طرفی، برای تعیین صحت و میزان اطمینان به داده‌های محاسباتی، همبستگی بین عمق برآورد شده و عمق مشاهده‌ای میدانی (جدول ۴ و شکل ۳) به دست آمده با اطمینان ۹۹ درصد، $R^2: 0.84$ و میزان همبستگی ۹۲٪. به داده‌های عمق محاسباتی از طریق سنجش از دور و GIS می‌توان اطمینان نمود.

در رابطه با برآورد حجم با توجه به نتایج این تحقیق در مورد آماره‌های توصیفی داده‌های گستره، حجم و عمق زمین‌لغزش‌ها (جدول ۲)، بالا بودن ضرایب تغییرات، چولگی و کشیدگی داده‌ها شاید از لحاظ آماری، حاکی از غیرطبیعی و عدم نرمال بودن داده‌ها باشد. ولی این نکته لازم به ذکر است که اندازه زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در طبیعت بسیار متفاوت بوده و یک زمین‌لغزش می‌تواند حتی ۱ متر مربع یا مترمکعب تا چندین کیلومتر مربع یا کیلومتر مکعب از سطح یا حجم خاک یک منطقه را پوشش دهد. به طوری که محدوده مساحت در تحقیق Guzzetti et al. (2009) از $2 m^2$ تا $1 \times 10^9 m^2$ بوده و یا حداکثر مساحت زمین‌لغزش‌های مورد مطالعه در تحقیق Haflidason et al. (2005) به $3/9 \times 10^{10} m^2$ 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 حوضه 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

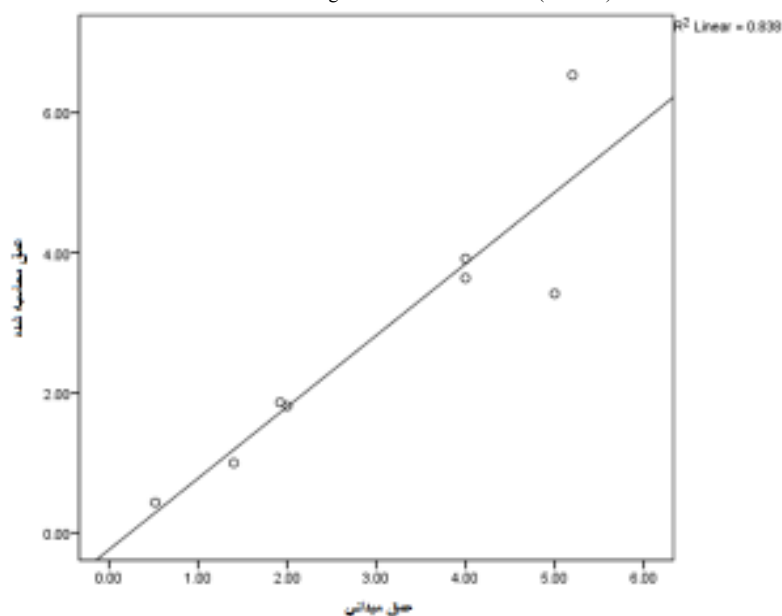
جدول (۳): میزان عمق محاسباتی و میدانی (منبع: نگارندگان)

شماره لغزش	میزان عمق محاسبه شده (متر)	میزان عمق میدانی (متر)
۲	۱/۹۲	۱/۸۶۳
۴	۱/۴	۰/۹۹۸
۱۳	۰/۵۲	۰/۴۳۵
۱۹	۲	۱/۸۱۱
۲۰	۵/۲	۶/۵۳۴
۲۲	۴	۳/۹۱۴
۳۱	۴	۳/۶۳۷
۴۱	۵	۳/۴۱۵

جدول (۴): همبستگی بین عمق میدانی و محاسبه شده (منبع: نگارندگان)

	میدانی	محاسبه شده
میدانی	Pearson Correlation	.915**
	Sig. (2-tailed)	.001
	N	8
محاسبه شده	Pearson Correlation	.915**
	Sig. (2-tailed)	.001
	N	8

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



شکل (۳): نمودار ضریب همبستگی بین عمق میدانی و عمق محاسبه شده (منبع: نگارندگان)

۱۰۰۰۰۰۰ و محدوده حجمی بین m^3 ۵۰۰۰۰۰۰ تا m^3 ۵۰۰۰۰۰۰ بوده‌اند.

بررسی ظاهری شکل (۴) یک رابطه توانی را در مقادیر مختلف بین V_L و A_L نشان می‌دهد که البته نمایش محورها در مختصات لگاریتمی است. برازش رگرسیون نمایی بر روی داده‌های سطح و حجم مشاهده‌ای، نهایتاً منجر به ایجاد رابطه (۳) شد.

- توسعه مدل آماری برای حوضه بقیع

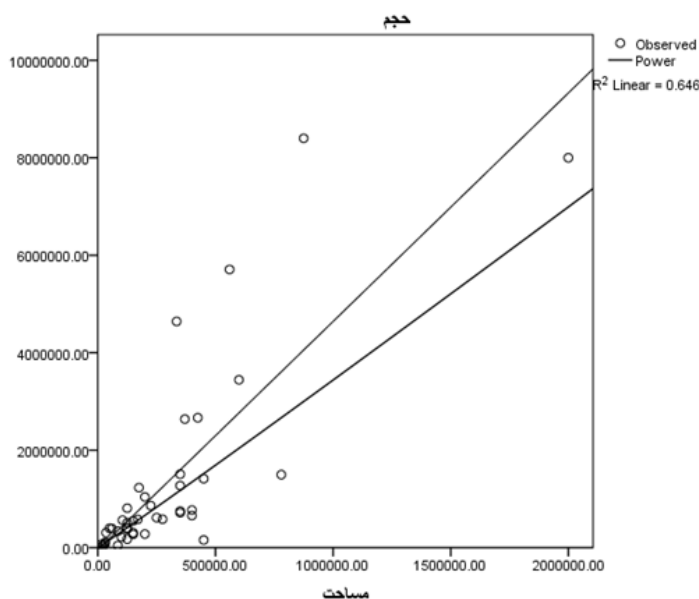
شمار ۴۴ زمین لغزش که اطلاعات مساحت (A_L) و حجم (V_L) آن‌ها کامل بود، در یک نمودار با مختصات لگاریتمی ($\text{Log} - \text{Log}$) در شکل ۵ نشان داده شدند. با توجه به شکل ۵، فراوانی لغزش‌ها بیشتر در محدوده مساحت بین m^2 ۱۰۰۰۰۰ تا m^2

جدول (۵): داده‌های رگرسیون نمایی (منبع: نگارندگان)

Dependent Variable: Volume

Equation	Model Summary					Parameter Estimates	
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
dimension1 Power	.692	92.034	1	41	.000	2.482	1.024

The independent variable is Area.



شکل (۴): نمودار برازش رگرسیون نمایی روی داده‌های سطح و حجم (منبع: نگارندگان)

که در آن A_L : مساحت بر حسب متر مربع

V_L (m^3): حجم بر حسب متر مکعب است. این

معادله توانی می‌تواند برای برآورد حجم حرکات

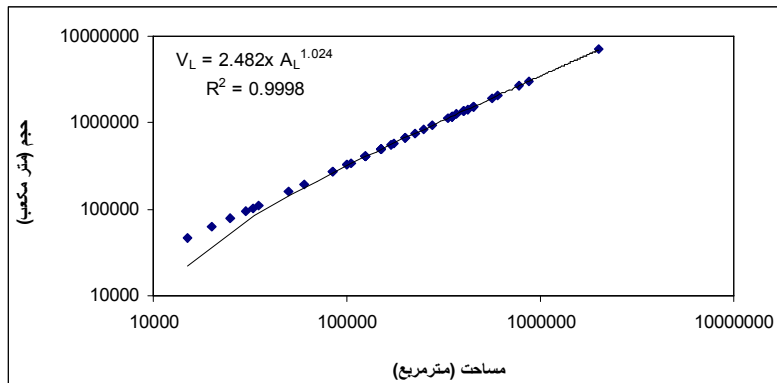
(رابطه ۳)

$$V_L = 2.482 \times A_L^{1.024}$$

$$R^2 = 0.99$$

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.

توده‌ای اولیه از نوع لغزش، هنگامی که مساحت دامنه گسیخته شده مشخص باشد، استفاده گردد. بررسی نمودار معادله به دست آمده برای محاسبه حجم زمین لغزش‌ها نشان می‌دهد که علی‌رغم نشان

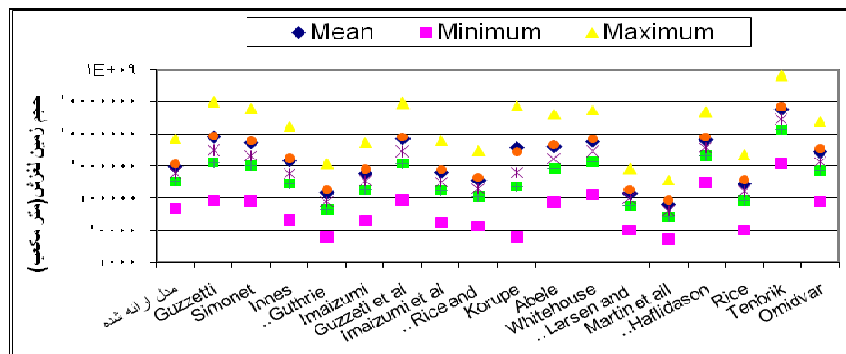


شکل (۵): رابطه تجربی به دست آمده بین مساحت و حجم برای زمین لغزش‌های موجود در حوضه (منبع: نگارندگان)

آماره‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد، حداقل، حداکثر و میانگین کل داده‌های برآورد شده توسط روابط مختلف تجربی و همچنین رابطه ارائه شده برای حوضه بقیع در شکل (۶) ارائه شده است.

- ارزیابی مدل ارائه شده

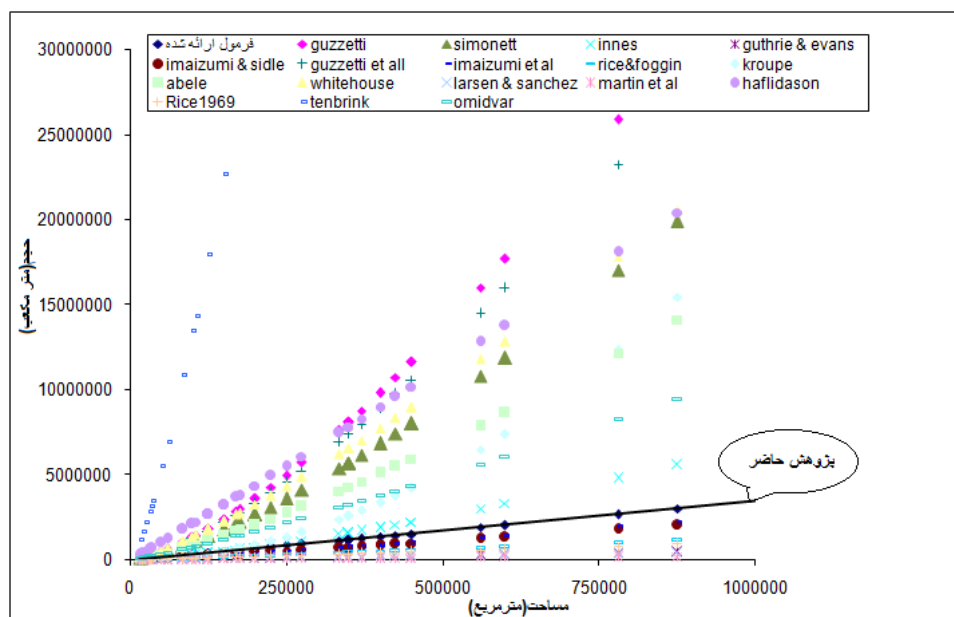
برای ارزیابی مقادیر محاسباتی حجم زمین لغزش توسط رابطه ارائه شده، این مقادیر با برآوردهای حجم توسط سایر روابط (جدول ۱) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مقایسه در قالب محاسبه مقادیر



شکل (۶): مقایسه آماره‌های ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪، حداقل، حداکثر، میانگین حجم‌های برآورد شده توسط روابط مختلف و رابطه ارائه شده در حوضه بقیع (منبع: نگارندگان)

هر رابطه در محدوده مساحت تعیین شده (جدول ۱)، برای هر رابطه ترسیم شد (شکل ۷).

پس از محاسبه حجم زمین لغزش‌های موجود در حوضه بقیع توسط روابط مختلف، نمودار مربوط به



شکل (۷): نمودار روابط تجربی مختلف و همچنین نمودار به دست آمده از این تحقیق (منبع: نگارندگان)

ترتیب $91/289279m^3$ و $1157256.40 m^3$ بود، در حالیکه حداقل حجم مشاهده شده در استان $100000 m^3$ و حداقل حجم محاسباتی توسط رابطه ارائه شده $15000 m^3$ بوده که برآورد تقریباً معقولی است. البته همانطور که در بالا ذکر شد این تقیصه در مورد داده‌های حداکثر برای روابطی مانند Larsen and Marrtin et al. (2002), Guthrie, Sanchez (1998) and Evans (2004) نیز وجود دارد.

– مقایسه آماری مدل ارائه شده با سایر مدل‌ها
هر یک از مدل‌های مختلف معرفی شده در جدول (۱)، برای ۴۴ زمین‌لغزش موجود در حوضه بقیع به کار برده شد و داده‌های پیش‌بینی شده توسط هر رابطه با داده‌های مشاهده‌ای حوضه از طریق معیارهای ضریب تبیین و مجذور مربعات خطا (RMSE) مورد مقایسه قرار گرفتند (جدول ۶).

با توجه به شکل‌های (۶) و (۷) می‌توان گفت که روابطی نظیر Imaizumi and Sidle (2007), Rice and Foggin (1971), Imaizumi (2008) (1969) در محدوده‌های مختلف مساحت تطابق نسبتاً خوبی با نمودار تحقیق حاضر (معادله ۳) داشتند ولی روابطی چون Larsen and Sanchez (1998), Marrtin et al (2002), Guthrie and Evans (2004) دارای میزان برآورد کمتری نسبت به معادله ارائه شده می‌باشند. البته در محدوده مساحت بالا نیز معادلاتی نظیر Kurupe, Tenbrink (2006), Guzzettio (2005b), Guzzetti et al. (2008) و (2009) دارای برآوردهای نسبتاً بالاتری نسبت به معادله ارائه شده دارا هستند. همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می‌گردد، برای رابطه Haflidason et al. (2005) و Tenbrink (2006) که برای زمین‌لغزش‌های خیلی بزرگ ارائه شده (جدول ۱)، حداقل حجم پیش‌بینی شده توسط این روابط به

جدول (۶): نتایج بررسی مقادیر معیارهای ضریب تبیین و RMSE بین داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده توسط روابط مختلف (منبع: نگارندگان)

روابط تجربی	پژوش حاضر	Guz (۲۰۰۹)	Sim (۱۹۶۷)	Inn (۱۹۸۳)	Guth (۲۰۰۴)	Kor (۲۰۰۵)	Ima (۲۰۰۷)	Guz (۲۰۰۸)	Ima (۲۰۰۸)
ضریب تبیین	۰/۶۴۶	۰/۵۷۴	۰/۵۹	۰/۵۸۷	۰/۶۳۸	۰/۴۷۶	۰/۶۳۳	۰/۵۷۷	۰/۶۲۳
معنی‌داری (sig.)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
RMSE	۱/۲۴۵×۱۰ ^۶	۱۵/۷۵۷×۱۰ ^۶	۹/۱۶۵×۱۰ ^۶	۱/۷۸۵×۱۰ ^۶	۲/۰۹۷×۱۰ ^۶	۱۰/۷۳×۱۰ ^۶	۱/۵×۱۰ ^۶	۱۳/۷۹۴×۱۰ ^۶	۱/۴۴۳×۱۰ ^۶

روابط تجربی	Ric (۱۹۷۱)	Abe (۱۹۷۴)	Whi (۱۹۸۳)	Lar (۱۹۹۸)	Mar (۲۰۰۲)	Haf (۲۰۰۵)	Ric (۱۹۶۹)	Ten (۲۰۰۶)	Omi (۲۰۱۱)
ضریب تبیین	۰/۶۳۷	۰/۶۰۲	۰/۶۱۳	۰/۶۵۵	۰/۶۵۶	۰/۶۴۴	۰/۶۳۶	۰/۶۰۵	۰/۶۲۶
معنی‌داری (sig.)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
RMSE	۱/۸۰۵×۱۰ ^۶	۵/۷۹۸×۱۰ ^۶	۸/۹۴۲×۱۰ ^۶	۲/۱۲۹×۱۰ ^۶	۲/۲۲۱×۱۰ ^۶	۸/۲۴۱×۱۰ ^۶	۱/۹۱×۱۰ ^۶	۱۱۶/۱۴۸×۱۰ ^۶	۳/۱۱۸×۱۰ ^۶

آمده، به نظر می‌رسد که معادله به دست آمده، معادله یا به عبارتی مدلی قابل قبول برای پیش‌بینی حجم زمین لغزش‌ها است. از این‌رو مقدار میانگین حجم، برای شمار ۴۴ زمین لغزش که داده‌های آن موجود است با استفاده از رابطه تحقیق حاضر m^3 ۹۲۲۶۵۸/۴۲ برآورد شد. با توجه به مقدار میانگین مساحت برای این زمین لغزش‌ها، مقدار عمق میانگین زمین لغزش‌ها در حوضه بقیع m ۳/۳۱۴ برآورد شد. از آنجایی که میانگین عمق این ۴۴ لغزش مشاهده شده نیز m ۴/۰۶ محاسبه شده، مشاهده می‌شود که دارای اختلاف کمی با عمق محاسبه شده از طریق رابطه موجود است.

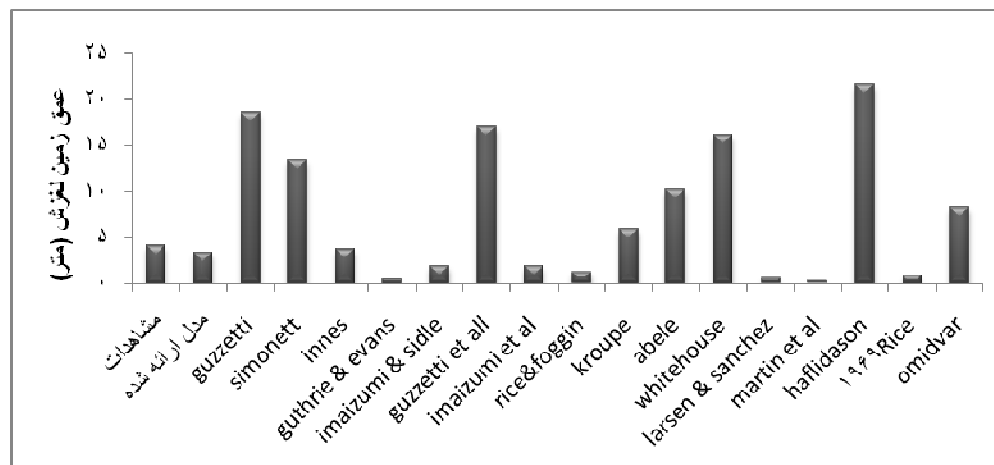
این محاسبات برای روابط مختلف نیز انجام شد و عمق میانگین با توجه به مقدار حجم میانگین پیش‌بینی شده توسط هر رابطه محاسبه شد (شکل ۸). همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده، روابطی که دارای پیش‌بینی بالایی در رابطه با میانگین حجم کل لغزش‌ها می‌باشند، در مورد عمق نیز مقدار عمق بالایی را

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 نیز استفاده شد. همانطور که در جدول (۴) نشان داده شده، علاوه بر رابطه ارائه شده در پژوهش حاضر رابطه Imaizumi et al. (2008) دارای مقدار RMSE کمتری نسبت به سایر روابط بوده و بعد از آن به ترتیب Rice Innes (1983), Imaizumi and Sidle (2007) and Foggin (1971) دارای پیش‌بینی‌های نسبتاً نزدیکی با داده‌های مشاهده‌ای می‌باشند.

- محاسبه عمق میانگین زمین لغزش‌های حوضه با توجه به همانندی نوع معادله به دست آمده برای تعیین حجم زمین لغزش‌های حوضه بقیع (رابطه ۳) با روابط ارائه شده در سایر نقاط دنیا (جدول ۱) و همچنین تطابق نسبی این روابط با معادله به دست

عمق مشاهده‌ای است.

پیش‌بینی نموده‌اند. البته در مورد روابطی که پیش‌بینی پایین‌تری داشتند نیز عمق محاسبه شده پایین‌تر از



شکل (۸): مقادیر عمق زمین لغزش‌ها با استفاده از محاسبات روابط مختلف (منبع: نگارندگان)

- نتیجه‌گیری

حجم زمین لغزش‌های شمال شرق ایران معرفی نمود. بطوری که برآورد حجم زمین لغزش می‌تواند در ارتباط با میزان رسوب تولید شده و فرسایش، مورد توجه و استفاده متخصصین آبخیزداری قرار گیرد. بنابراین با توجه به نبود چنین مدل‌هایی در کشور از این تحقیق می‌توان به عنوان مقدمه‌ای برای توسعه مدل‌های برآورد کننده حجم و سایر پارامترهای موفق‌تری زمین لغزش استفاده نمود. با ارائه این مدل، در صورت محاسبه مساحت یک زمین لغزش، 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

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که فرمول ارائه شده برای حوضه بقیع با برخی روابط ارائه شده در دنیا سازگاری منطقی خوبی دارد. از آنجایی که این روابط در مناطق مطالعاتی با شرایط محلی و فیزیوگرافی متفاوتی نسبت به حوضه بقیع 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 است، بطوریکه امیدوار و کاویان نیز در سال ۱۳۸۹ به نتیجه‌ی مشابه با تحقیق حاضر دست یافته‌اند. در نتیجه‌گیری نهایی با توجه به صحت آماری مدل ارائه شده و مطابقت آن با برخی روابط دیگر و نیز برخورداری نتایج این مدل از داده‌های به دست آمده از سراسر حوضه، می‌توان این مدل را مدلی مناسب برای حوضه بقیع و محاسبه

که منطقه مورد مطالعه وسیع و شمار زمین لغزش‌ها زیاد باشد منجر به تغییرات زیاد در حجم کلی 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.

منابع

اسمیت، ک، (۱۳۸۲)، مخاطرات محیطی، ترجمه: شاپور گودرزی نژاد و ابراهیم مقیمی، چاپ اول، انتشارات سمت.

امیدوار، ابراهیم و کاویان، عطالله، (۱۳۸۹)، برآورد حجم زمین لغزش بر پایه مساحت در مقیاس منطقه‌ای (بررسی موردی: استان مازندران)، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۳، شماره ۴، زمستان ۸۹، ۴۵۵-۴۳۹.

جوان دولوئی، غلام، عباسی، محمدرضا و سید محمد جعفریان، (۱۳۹۰)، تعیین سطح لغزش و حجم روباره توده ریزشی بر اساس اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی (مطالعه موردی: توده ریزشی مجاور تونل خالنجه)، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال چهاردهم، شماره سوم و چهارم، پاییز و زمستان ۹۰، ۹-۱.

حسینی، سیدعطاالله و رضا لطفی، (۱۳۸۶)، بررسی پدیده زمین لغزش از لحاظ فیزیوگرافی (مطالعه موردی سری چایباغ، حوضه تالار صنایع چوب و کاغذ مازندران)، دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی.

رضایی مقدم، محمدحسین، فیض‌الله‌پور، مهدی و صیاد اصغری، (۱۳۹۰)، برآورد ریاضی بین فاکتورهای حجم و مساحت لغزش توده‌ای در گردنه صائین (شهرستان نیر)، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال نهم، شماره ۲۸، بهار ۲۰۳، ۱۳۹۰-۲۱۸.

سوری، سلمان، لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد و طاهر فرهادی نژاد، (۱۳۹۰)، پهنه‌بندی خطرزمین لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مطالعه موردی: حوضه کشوری (نوژیان)، نشریه زمین شناسی مهندسی، جلد پنجم، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۰، ۱۲۶۹-۱۲۸۶.

فاطمی عقدا، محمود، غیومیان، جعفر و عقیل اشقلی فراهانی، (۱۳۸۲)، ارزیابی کارایی روش‌های ماری در تعیین پتانسیل خطر زمین لغزش، فصلنامه علوم زمین، شماره ۴۸-۴۷.

کریمی، حاجی، نادری، فتح اله، مرشدی، ابراهیم و مهدی نیک سرشت، (۱۳۹۰)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چرداول ایلام با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیای (GIS).

- Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy, *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 279, 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.
- 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.
- Kalderon-Asael, B., Katz, O., Aharonov, E., Marco, Sh., (2008), Modelling the relation between area and volume of landslides. Ministry of National Infrastructures, Geological Survey of Israel, Jerusalem, April 2008, 1–21.
- Kanungo, D.P., Arora, M.K., Sarcar, S., and Gupta, R.P. (2006), A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۷، شماره ۴، ۳۳۲–۳۱۹.
- مطالعات ارزیابی حوزه آبخیز بقیع- بجنو نیشابور (۱۳۹۲)، شرکت مهندسی آبخیزداران دشت توس.
- نیازی، یعقوب، اختصاصی، محمدرضا، طالبی، علی، آرخی، صالح و محمد حسین مختاری، (۱۳۸۹)، ارزیابی کارایی مدل آماری ۲ متغیره در پیش بینی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی حوضه سد ایلام)، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال چهارم، شماره ۱۰، بهار ۱۳۸۹، ۲۰–۹.
- Abele, G., (1974), *Bergsturze in den Alpen – ihre Verbreitung, Morphologie und Folgeerscheinungen*, Wiss. Alpenvereinshefte, 25, 247 p.
- Crosta, B. G. (2009), Dating, triggering, modeling and hazard assessment of large landslides, *Geomorphology*, 103, 1-4.
- 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),

- 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.
- Paoletti, V., Tarallo, D., Matano, F., Rapolla A., (2013), Level-2 susceptibility zoning on seismic-induced landslides: An application to Sannio and Irpinia areas, Southern Italy. *Physics and Chemistry of the Earth* 63 (2013). pp 147–159
- 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 procedures for landslide susceptibility zonation In Darjeeling Himalayas. Engineering Geology*, 85: 347-366.
- 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.
- Klar, A., Aharonov, E., Kalderon-Asael, B., Katz, O., (2011). Analytical and observational relations between landslide volume and surface area, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 116, 1–10.
- 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.
- Larsen, M.C., and Torres Sanchez, A.J., (1998), The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico: *Geomorphology*, v. 24, p. 309-331.
- 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*

- Vittorio De Blasio, F. (2011), Introduction to the physics of landslides. Springer.
- Whitehouse, I. E. (1983), Distribution of large rock avalanche deposits in the central Southern Alps, New Zealand, N. Z. J. Geol. Geophys., 26, 272–279.
- NewGuinea. Cambridge University Press, Cambridge, 64–84.
- 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.