



تخمین احتمال بزرگی زمین لغزش‌های رخ داده در حوزه آبخیز پیوه‌ژن (استان خراسان رضوی)

حمیدرضا پورقاسمی

استادیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
(نویسنده مسؤول: hr.pourghasemi@shirazu.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۵

چکیده

اطلاع از تعداد، مساحت و فراوانی زمین لغزش‌های رخ داده در هر منطقه، نقش مهمی در ارزیابی درازمدت منطقه تحت تاثیر زمین لغزش داشته و به منظور تحلیل حساسیت، خطر و ریسک زمین لغزش استفاده می‌شود. در این ارتباط، پژوهش حاضر تلاش می‌کند تا به بررسی احتمال بزرگی زمین لغزش‌های شناسایی شده در حوزه آبخیز پیوه‌ژن در استان خراسان رضوی پرداخته شود. در اولین مرحله، با استفاده از تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای گسترده میدانی نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها تهیه گردید. در مرحله بعد، با استفاده از نرم افزار ArcGIS و جعبه ابزار XTTools Pro، مساحت هر یک از لغزش‌ها تعیین گردید. متعاقباً، احتمال بزرگی زمین لغزش‌های شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه با استفاده از توابع چگالی احتمالی Double Pareto، Double Pareto ساده شده و گامای معکوس در نرم افزار R، محاسبه گردید. همچنین در پژوهش حاضر به منظور بهینه سازی ضرایب تخمینی از دو روش ناپارامتریک تخمینی چگالی هیستوگرام (HDE) و چگالی کرنل (KDE) و روش پارامتریک تخمینی بیشینه احتمال (ML) استفاده گردید. نتایج تابع چگالی احتمال نشان داد که روش‌های تخمین ناپارامتریک (HDE و KDE) نتایج قابل قبولی برای کل لغزش‌ها داشتند، اگرچه روش بیشینه احتمال نتایج خوبی ارائه نکرده است. همچنین نتایج احتمال رخداد لغزش بیان گر شباهت مدل‌های Double Parreto ساده شده و گامای معکوس با روش‌های مختلف بهینه سازی بوده، هرچند نتایج مدل DP با کم تخمینی همراه بوده و نتوانسته برآورد صحیحی از احتمال بزرگی لغزش‌ها ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی: احتمال بزرگی زمین لغزش، تابع چگالی احتمال، تکنیک‌های بهینه سازی، حوزه آبخیز پیوه‌ژن

مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل افزایش جمعیت، استفاده بیش از حد از منابع طبیعی و بالطبع بر هم زدن تعادل منابع مذکور، بلایای طبیعی جزئی از زندگی انسان‌ها گردیده است. با توجه به افزایش پنج برابری فراوانی وقوع بلایای طبیعی در دهه‌های اخیر (۲۰۱۰-۱۹۰۰)، رشد ۳/۵ برابری در تلفات اقتصادی ناشی از آن و همچنین افزایش شش برابری خسارات بیمه‌ای مرتبط، هنوز باید منتظر حوادث ناگوارتری در این زمینه بود (۱۹). در این میان، پدیده زمین لغزش به عنوان یکی از مهم‌ترین فرایندهای ژئومورفولوژیکی مناطق کوهستانی و مرطوب محسوب شده (۲۰) که بعد از سیل و زلزله به عنوان سومین بلایای طبیعی در دنیا (۱۴) شناخته می‌شود که هر ساله رخداد آن در مناطق مستعد این پدیده، خسارت‌ها و صدمات قابل ملاحظه‌ای به بار می‌آورد. گزارش‌ها حاکی از آن است که هر ساله در کشورهای درحال توسعه بیش از ۰/۵ درصد از تولید ناخالص ملی تحت تاثیر زمین لغزش از بین می‌رود (۳). بنابراین به منظور کاهش و یا کنترل خسارت‌های ناشی از وقوع زمین لغزش، تهیه نقشه‌های حساسیت، خطر و ارزیابی ریسک زمین لغزش امری ضروری است (۱،۲۲). برای نیل به این هدف، ابتدا باید مولفه‌های ایجاد خسارت را تعیین و بر اساس آن‌ها ارزیابی خسارت انجام پذیرد. یکی از مولفه‌های مهم در این راستا تخمین احتمال بزرگی زمین لغزش‌هاست (۲۱). از آنجایی که تخمین احتمال بزرگی زمین لغزش‌ها نقش به سزایی در برآورد خطر زمین لغزش دارد، بنابراین لازم است در هر پژوهشی مرتبط با

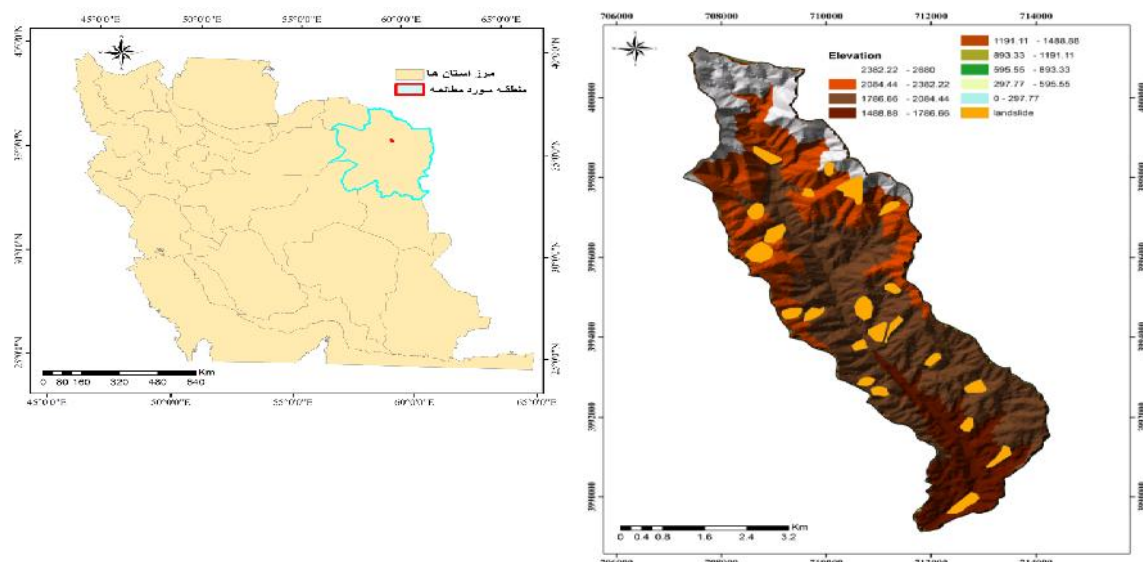
خطر و متعاقباً ریسک زمین لغزش، احتمال بزرگی آن (لغزش‌ها) به صورت کمی محاسبه و برآورد گردد (۱۲). تحقیقات متنوعی در زمینه تخمین احتمال بزرگی زمین لغزش و متعاقباً تهیه نقشه خطر و ریسک زمین لغزش (۲۰، ۱۸، ۱۶، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۲) در نقاط مختلف دنیا مشاهده شده است که چند مورد از آن در این بخش توضیح داده می‌شود. Guzzetti و همکاران به بررسی و ارزیابی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز Staffora در شمال آبنین کشور ایتالیا پرداختند. در این پژوهش اقدام به تهیه نقشه‌های خطر زمین لغزش برای لغزش‌هایی با مساحت ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر مربع گردید. شایان ذکر است که به منظور تخمین احتمال بزرگی زمین لغزش نیز از دو الگوریتم Double Pareto و Inverse Gamma (گامای معکوس) استفاده گردید (۱۰). Galli و همکاران به مقایسه نقشه‌های پراکنش زمین لغزش در کشور ایتالیا پرداختند. پس از مقایسه روش‌های مختلف در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش، به منظور تخمین بزرگی زمین لغزش از دو الگوریتم Double Pareto و گامای معکوس استفاده گردید (۶). Jaiswal و همکاران به ارزیابی خطر زمین لغزش در جنوب کشور هندوستان پرداختند. به این منظور ابتدا نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. نهایتاً بر اساس طول دوره آماری ۲۱ ساله، اقدام به تهیه نقشه‌های خطر زمین لغزش برای دوره‌های ۱، ۳، ۵، ۱۵، ۲۵ و ۵۰ سال و لغزش‌هایی با حجم‌های ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ مترمکعب با الگوریتم گامای معکوس گردید (۱۳). Das و همکاران به ارزیابی احتمال خطر زمین لغزش در شمال هیمالیا

کشور تاکنون در منابع مشاهده و گزارش نشده است که می‌تواند نوآوری تحقیق حاضر محسوب گردد. بنابراین هدف از تحقیق حاضر، بررسی احتمال بزرگی زمین‌لغزش‌های شناسایی‌شده در حوزه آبخیز پیوه‌ژن در استان خراسان رضوی می‌باشد.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوزه آبخیز پیوه‌ژن بوده که در جنوب غربی شهرستان مشهد در استان خراسان رضوی قرار دارد. این منطقه، بخشی از دامنه‌های جنوبی کوه بینالود می‌باشد که مساحت تقریبی آن ۳۱۲۱ هکتار است که بین عرض‌های $36^{\circ}01'28''$ تا $36^{\circ}07'56''$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $59^{\circ}18'$ تا $59^{\circ}22'52''$ شرقی استقرار یافته است. ارتفاع کمینه و بیشینه منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۱۶۰۰ و ۲۶۸۰ متر می‌باشد (شکل ۱). شیب منطقه مورد مطالعه از صفر تا ۵۱ درجه متغیر هست. سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه متنوع بوده اگرچه ۷۱/۶۰ درصد از منطقه را واحدهای سری مایان که متشکل از فیلیت، شیل، ماسه‌سنگ و کوارتزیت هستند، تشکیل داده است. از نظر نوع کاربری اراضی، ۷۲/۵۱ درصد از کاربری منطقه را اراضی مرتعی تشکیل داده و حداقل و حداکثر میانگین بارش سالانه بین ۳۰۲-۴۸۰ میلی‌متر متغیر هست.

(هندوستان) پرداختند. در این پژوهش به‌منظور تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش از مدل رگرسیون لجستیک استفاده گردید. سپس اقدام به تهیه نقشه‌های خطر زمین‌لغزش برای احتمال وقوع‌های ۱، ۵ و ۱۰ سال و برای لغزش‌هایی با مساحت‌های مساوی یا بزرگتر از ۸۰۰ و ۵۰۰۰ متر مربع با الگوریتم گامای معکوس گردید (۴). Wu و Chen اقدام به تخمین حساسیت، بزرگی و فراوانی زمین‌لغزش‌های رخ داده برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز Shihmen کشور تایوان کردند. در این پژوهش به‌منظور تخمین بزرگی زمین‌لغزش از الگوریتم گامای معکوس استفاده گردید. سپس بر اساس طول دوره آماری ۱۵ ساله اقدام به تهیه نقشه‌های خطر زمین‌لغزش با دوره‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله گردید (۲۳). Li و همکاران در تحقیقی جهت بررسی اندازه زمین‌لغزش‌ها روی نرخ توزیع آن‌ها در بارش‌هایی با شدت‌های مختلف از الگوریتم‌های Double Pareto و گامای معکوس استفاده کردند. در این تحقیق زمین‌لغزش‌هایی با مساحت‌های بین ۱۰۰-۱۰۰۰۰ مترمربع مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود Double Pareto در مقایسه با گامای معکوس دارای انحراف معیار کم‌تری در برآورد مقادیر هر یک از اجزاء مدل داشته در حالی که در برآورد میزان غلطش انتهای لغزش‌ها، گامای معکوس دقتی بیش‌تر ارائه کرده است (۱۵). به‌عنوان یک جمع‌بندی از سابقه تحقیق ارائه شده می‌توان اظهار داشت که هیچ تلاشی مبنی بر تعیین احتمال بزرگی لغزش‌های اتفاق افتاده در حوزه‌های آبخیز



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان خراسان رضوی
Figure 1. The study area in Iran and Razavi Khorasan Province

لغزش با بزرگی معین، در یک دوره زمانی مشخص و در یک منطقه معین است (۲۱). به عبارتی، خطر زمین لغزش علاوه بر تخمین مکان لغزش، زمان لغزش، فراوانی و حتی احتمال بزرگی آن را نیز توصیف می‌کند (۷). خطر زمین لغزش عموماً به ارزیابی و تخمین لغزش‌های اتفاق افتاده در آینده می‌پردازد و به عبارتی تعیین آن در مقایسه با حساسیت‌پذیری، سخت‌تر بوده و حساسیت‌پذیری جزئی از خطر است (۵). به منظور تخمین خطر زمین لغزش از رابطه ۱ (۷) استفاده می‌گردد.

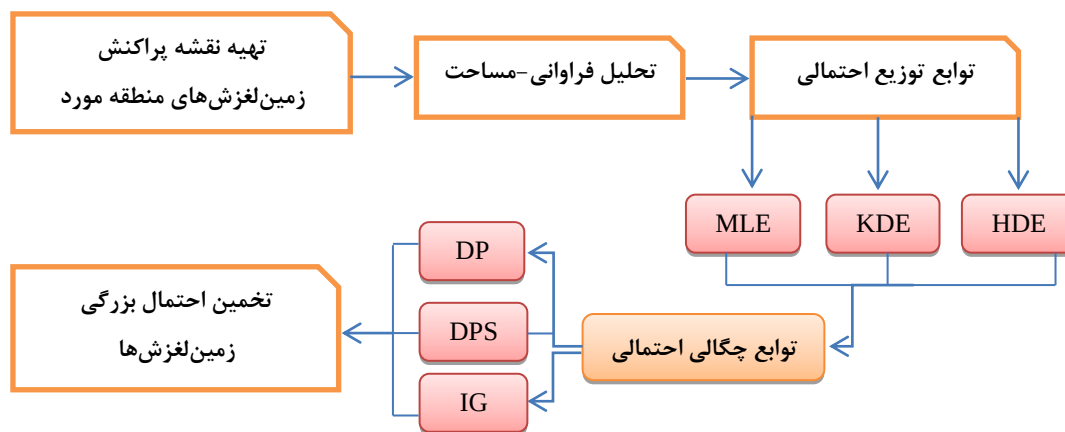
$$H = P_S * P_E * P_T$$

که در آن: H خطر زمین لغزش، P_S احتمال مکان رخداد واقعه یا حساسیت‌پذیری، P_E احتمال رخداد یک حادثه یا واقعه با اندازه^۱ (بزرگی) مشخص و P_T احتمال زمان رخداد واقعه مذکور است.

روش تحقیق
روش تحقیق تخمین احتمال بزرگی زمین لغزش‌های رخ داده در حوزه آبخیز پیوه‌ژن به صورت نمودار جریان در شکل ۲ ارائه شده است.

تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه
در تحقیق حاضر تلاش گردیده از بین عوامل موثر در تهیه نقشه خطر زمین لغزش، احتمال بزرگی آن (P_E) برآورد گردد. به این منظور، در ابتدا موقعیت زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر گوگل ارث و مطالعات گسترده میدانی مشخص گردید. در مجموع ۲۲ زمین لغزش در منطقه شناسایی و نقشه پراکنش آن در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.3 تهیه شد (شکل ۱).

تعیین احتمال بزرگی لغزش‌های شناسایی شده
به‌طور کلی، خطر زمین لغزش عبارت از احتمال رخداد یک



شکل ۲- نمودار جریانی تخمین احتمال بزرگی زمین لغزش‌های رخ داده در حوزه آبخیز پیوه‌ژن
Figure 2. Flowchart of landslide size probability of occurred landslides in Pivejan Watershed

ساده‌شده^۳ (۱۸) و گامای معکوس^۴ (۱۶) استفاده شد. توزیع‌های مذکور ثابت کرده‌اند که در مدلسازی اندازه (سایز) پدیده‌های مختلف در علوم زمین و علوم زیستی بسیار کارآمد و مفید هستند (۱۶). بر این اساس، جهت برآورد احتمال لغزش‌های مساوی یا بزرگ‌تر از یک مساحت مشخص به‌ترتیب از رابطه‌های ۲ تا ۴ استفاده گردید (۱۸، ۱۷، ۱۸).

به‌منظور تعیین بزرگی زمین لغزش از رابطه همبستگی فراوانی-مساحت^۲ (۲، ۹، ۱۱، ۱۶) استفاده گردید. اندازه لغزش‌ها و به‌ویژه مساحت زمین لغزش‌های رخ داده نماینده بسیار خوبی برای بیان بزرگی زمین لغزش محسوب می‌شوند (۱۸). بنابراین در پژوهش حاضر پس از تخمین مساحت لغزش‌های رخ داده در محیط نرم‌افزار ArcGIS و QGIS، از سه نوع تابع چگالی احتمالی Double Pareto (DP)، Double Pareto (۲۰)،

$$pdf(x|\alpha, \beta, t, c, m) = \left[\beta/t \left(1 - \left(\frac{1+(m/t)^{-\alpha}}{1+(c/t)^{-\alpha}} \right)^{\beta/\alpha} \right) \right] \left[\frac{(1+(m/t)^{-\alpha})^{\beta/\alpha}}{(1+(m/t)^{-\alpha})^{(1+\beta/\alpha)}} (x/t)^{-(\alpha-1)} \right] \quad \text{رابطه ۲}$$

$$pdf(x|\alpha, \beta, t) = \frac{\beta(t/\alpha)}{(1+(x/t)^{-\alpha})^{(1+\beta/\alpha)} (x^{\alpha+1})} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$pdf(x|\alpha, \eta, \lambda) = \left[\frac{\lambda^{(2\alpha)}}{\Gamma(\alpha)} \right] \left[\left(\frac{1}{x+\eta^2} \right)^{(\alpha+1)} \right] \exp \left[- \left(\frac{\lambda^2}{x+\eta^2} \right) \right] \quad \text{رابطه ۴}$$

رابطه ۶ $\hat{f}(x) = 1/nh \sum_{i=1}^n k(x - X_i/h)$
 که در آن h : پهنای باند هیستوگرام، n : تعداد نمونه، k : تابع هسته کرنل است.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به تعیین پارامترهای هر یک از توابع توزیع احتمالی Double Pareto (DP)، Double Pareto (DPS) شده (DPS) و گامای معکوس (IG)، با استفاده از الگوریتم نوشته شده در نرم‌افزارهای R و Q-GIS (۱۸) در تخمین احتمال بزرگی زمین‌لغزش‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

که در آن: α پارامتر کنترلی شیب تابع چگالی احتمالی برای مقادیر بالا (لغزش‌های بزرگ و متوسط)؛ β و η پارامتر کنترلی شیب برای مقادیر پایین (لغزش‌های کوچک)؛ t و λ مقدار بیشینه توابع چگالی مذکور؛ c و m کمینه و بیشینه مقادیر سطح، $\Gamma(\alpha)$ مقدار تابع گاما، x مساحت لغزش و pdf : تابع چگالی احتمالی است. هم‌چنین در پژوهش حاضر به منظور بهینه‌سازی ضرایب تخمینی سه تابع چگالی احتمالاتی فوق، از دو روش ناپارامتریک (به‌ترتیب رابطه‌های ۵ و ۶) تخمینی چگالی هیستوگرام (1HDE) و چگالی کرنل (2KDE) و روش پارامتریک تخمینی بیشینه احتمال (3MLE) استفاده گردید (۱۸).

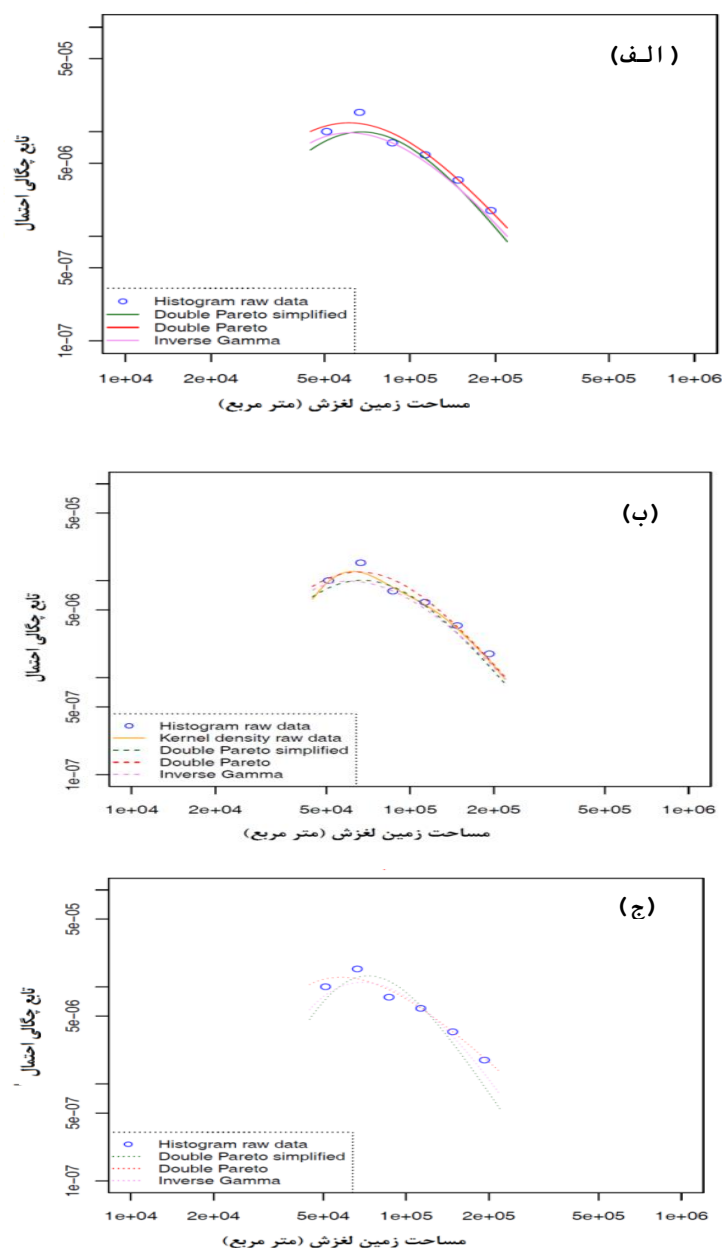
رابطه ۵ $\hat{f}(x) = 1/nh$

جدول ۱- بهینه‌سازی ضرایب تخمینی توابع توزیع احتمالی مختلف در تخمین احتمال بزرگی زمین‌لغزش‌ها
 Table 1. Optimization of calculated coefficients probability density functions for landslides size probability estimation

روش‌های بهینه‌سازی			توابع توزیع احتمال		ضرایب
MLE	KDE	HDE			
۱/۸۲	۲/۵۲	۲/۱۹	DP	مقادیر تخمینی	α
۳۰	۵	۵			β
۲۰۳۴۰/۵۶	۶۲۳۴۴/۳۵	۵۵۰۱۷/۴۲			t
۴۴۶۳۰/۵۷	۴۴۶۳۰/۵۷	۴۴۶۳۰/۵۷			c
۲۱۹۸۹۲/۳۹	۲۱۹۸۹۲/۳۹	۲۱۹۸۹۲/۳۹	DPS	مقادیر تخمینی	m
۳/۳۲	۲/۵۶	۲/۵۴			α
۷/۵	۵	۵			β
۶۴۳۱۶/۸۷	۶۴۱۹۳/۱۱	۶۴۳۶۵/۷۷			t
۴/۶۹	۳/۱۲	۳/۰۹	IG	مقادیر تخمینی	α
۰/۳۳	۱	۱			η
۶۲۸/۱۴	۵۰۰	۵۰۰			λ

لغزش‌ها) در منطقه مورد مطالعه بر اساس توابع توزیع احتمالاتی مختلف (DP، DPS و IG) و روش‌های مختلف بهینه‌سازی (HDE، KDE و MLE) به ترتیب در شکل ۳ و جدول ۲ ارائه شده است.

هم‌چنین در پژوهش حاضر به‌منظور بهینه‌سازی ضرایب تخمینی از روش‌های HDE، KDE و MLE استفاده گردید (جدول ۱). از طرف دیگر، نتایج مربوط به چگالی احتمال و احتمال رخداد زمین‌لغزش‌های مشاهده شده (احتمال بزرگی



شکل ۳- مقایسه چگالی احتمال لغزش‌های رخ داده: (الف) HDE، (ب) KDE، (ج) MLE
Figure 3. Comparison of occurred landslides probability density: a) HDE, b) KDE), and c) MLE

۳) و احتمال بزرگی لغزش‌های اتفاقی افتاده (جدول ۲) بیانگر نتایج مشابه توابع توزیع احتمالی مختلف (Double Pareto ساده شده و گامای معکوس) و روش‌های متنوع بهینه‌سازی ضرایب تخمینی بوده است که با نتایج Guzzetti و همکاران در ایتالیا؛ Rossi و همکاران، در کشورهای ایتالیا، هندوستان، تایوان و چین و Riguer و Rossi در کشور Beichuan کاملاً مطابقت دارد (۱۰، ۱۷، ۱۸).

یکی از عوامل موثر در تهیه نقشه خطر زمین لغزش با احتمال وقوع‌های مختلف، بررسی احتمال بزرگی لغزش‌های اتفاقی افتاده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. Stark و Hovius اظهار نمودند که شناسایی توزیع اندازه (احتمال بزرگی) لغزش نقش به‌سزایی در تخمین اثرات یکپارچه ناشی از توسعه سطح زمین لغزش و تولید فرسایش و رسوب ناشی از آن دارد (۲۰). نتایج بررسی چگالی احتمال (جدول ۱ و شکل

جدول ۲- مقایسه احتمال رخداد زمین لغزش‌های مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه با روش‌های بهینه‌سازی مختلف الف) HDE ب) KDE ج) MLE

Table 2. Comparison of occurred probability of observed landslides in the study area using different optimization techniques a) HDE, b) KDE, and c) MLE

شماره لغزش‌ها	مساحت لغزش‌ها (متر مربع)	HDE			KDE			ML		
		IG	DPS	DP	IG	DPS	DP	IG	DPS	DP
۱	۴۴۶۳۰	-/۹۱۰	-/۹۱۷	-/۸۵۴	-/۹۱۵	-/۸۸۸	-/۸۸۸	-/۹۰۷	-/۸۷۸	-/۹۵۴
۲	۵۵۷۹۰	-/۸۱۱	-/۸۲۷	-/۷۲۹	-/۸۲۴	-/۷۷۳	-/۷۷۳	-/۸۰۶	-/۷۴۵	-/۸۶۶
۳	۵۷۹۷۱	-/۷۹۰	-/۸۰۷	-/۷۰۳	-/۸۰۳	-/۷۴۸	-/۷۴۸	-/۷۸۴	-/۷۱۸	-/۸۶۴
۴	۵۸۵۳۰	-/۷۸۴	-/۸۰۲	-/۶۹۶	-/۷۹۸	-/۷۴۱	-/۷۴۱	-/۷۷۹	-/۷۱۱	-/۸۲۸
۵	۶۲۵۷۸	-/۷۴۵	-/۷۶۳	-/۶۴۷	-/۷۵۸	-/۶۹۲	-/۶۹۲	-/۷۳۹	-/۶۶۰	-/۷۹۶
۶	۶۴۷۲۱	-/۷۲۴	-/۷۴۲	-/۶۲۱	-/۷۳۶	-/۶۶۶	-/۶۶۶	-/۷۱۷	-/۶۳۳	-/۷۷۲
۷	۶۷۵۰۸	-/۶۹۷	-/۷۱۴	-/۵۸۷	-/۷۰۸	-/۶۳۱	-/۶۳۱	-/۶۹۰	-/۶۰۰	-/۷۴۲
۸	۶۹۰۵۲	-/۶۸۲	-/۶۹۹	-/۵۶۹	-/۶۱۲	-/۶۹۳	-/۶۹۳	-/۶۷۵	-/۵۸۱	-/۷۲۴
۹	۷۰۵۹۴	-/۶۸۳	-/۶۸۳	-/۵۵۱	-/۵۹۳	-/۵۹۳	-/۵۹۳	-/۶۶۱	-/۵۶۳	-/۷۰۷
۱۰	۷۶۹۹۱	-/۶۲۱	-/۴۷۸	-/۴۷۸	-/۵۱۷	-/۵۱۷	-/۵۱۷	-/۶۰۲	-/۴۹۱	-/۶۳۷
۱۱	۸۷۹۹۸	-/۵۱۹	-/۳۶۶	-/۳۶۶	-/۳۹۸	-/۵۱۳	-/۵۱۳	-/۵۱۰	-/۳۸۲	-/۵۲۴
۱۲	۸۹۱۴۱	-/۵۱۰	-/۳۵۵	-/۳۵۵	-/۳۸۶	-/۵۰۴	-/۵۰۴	-/۵۰۲	-/۳۷۱	-/۵۱۳
۱۳	۹۷۷۵۸	-/۴۴۹	-/۴۴۴	-/۲۷۹	-/۳۰۶	-/۴۳۶	-/۴۳۶	-/۴۴۰	-/۲۹۹	-/۴۳۷
۱۴	۱۰۱۶۲۵	-/۴۲۴	-/۴۱۷	-/۳۴۹	-/۲۴۴	-/۲۴۴	-/۲۴۴	-/۴۱۶	-/۲۷۰	-/۴۰۶
۱۵	۱۰۴۷۹۹	-/۴۰۵	-/۳۹۵	-/۲۲۵	-/۳۸۷	-/۲۴۹	-/۲۴۹	-/۳۹۶	-/۲۴۷	-/۳۸۲
۱۶	۱۲۰۹۴۴	-/۳۲۱	-/۳۰۴	-/۱۲۳	-/۱۴۳	-/۲۹۷	-/۲۹۷	-/۳۱۳	-/۱۴۹	-/۲۸۱
۱۷	۱۲۴۳۸۶	-/۳۰۵	-/۲۸۸	-/۱۰۵	-/۱۲۴	-/۲۸۱	-/۲۸۱	-/۲۹۸	-/۱۳۲	-/۲۶۳
۱۸	۱۳۴۶۱۶	-/۲۶۵	-/۲۴۶	-/۰۵۶	-/۰۷۶	-/۲۳۹	-/۲۳۹	-/۲۵۸	-/۰۸۵	-/۲۱۷
۱۹	۱۴۴۹۱۷	-/۲۳۱	-/۲۱۱	-/۰۱۵	-/۰۳۶	-/۲۰۴	-/۲۰۴	-/۲۲۴	-/۰۴۴	-/۱۷۹
۲۰	۱۵۹۸۱۷	-/۱۹۱	-/۱۷۱	-/۰۳۳	-/۰۱۰	-/۱۶۵	-/۱۶۵	-/۱۸۵	-/۰۰۴	-/۱۲۷
۲۱	۱۹۵۵۴۱	-/۱۲۵	-/۱۰۸	-/۰۱۲	-/۰۸۲	-/۱۰۴	-/۱۰۴	-/۱۲۰	-/۰۸۵	-/۰۷۵
۲۲	۲۱۹۸۹۲	-/۰۹۶	-/۰۸۲	-/۰۱۴۶	-/۰۱۲	-/۰۷۸	-/۰۷۸	-/۰۹۲	-/۰۱۲۲	-/۰۵۲

احتمالاتی DPS و IG نتایج تقریباً مشابهی را ارائه کرده است و اختلاف‌ها در برآورد احتمال وقوع لغزش‌ها بسیار ناچیز هست، در صورتی که نتایج تابع DP با کم‌تخمینی^۱ همراه بوده و برای لغزش‌های بزرگ و عمیق نتوانسته برآورد صحیحی ارائه نماید. از طرف دیگر، Li و همکاران اظهار داشتند که خطاهای مربوط به پارامترهای برآورد شده برای هر یک از توابع توزیع احتمالاتی برای لغزش‌های کوچک، به‌مراتب بیش‌تر از لغزش‌های بزرگ بوده و بیان داشتند که برای یک لغزش با مساحت حدود ۱۰۰ مترمربع، خطای نسبی برآورد میزان یا نرخ فرسایش که احتمالی در حدود ۵۰ درصد دارد تا میزان ۱۰۰ درصد نیز مشاهده شده است (۱۵). به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که احتمال خطر لغزش‌های بزرگ و عمیق در منطقه مورد مطالعه، کم‌تر از لغزش‌های متوسط و کوچک می‌باشد در حالی که خسارات حاصله از این نوع لغزش‌ها بیش‌تر است. Guzzetti و همکاران و Das نیز معتقدند که احتمال وقوع خطر زمین‌لغزش با مساحت زمین‌لغزش‌ها، رابطه‌ای عکس داشته و با افزایش سطح لغزش، احتمال رخداد آن کاهش می‌یابد (۴، ۱۰).

بنابراین می‌توان گفت که تعیین مساحت هر زمین‌لغزش و تخمین احتمال وقوع آن می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مهم جهت تهیه نقشه خطر و ریسک زمین‌لغزش در بخش‌های مختلف نظیر ستاد سوانح طبیعی، مدیریت بحران، وزارت مسکن و شهرسازی و منابع طبیعی مورد استفاده قرار گیرد و به‌منظور آمایش سرزمین و مدیریت جامع و همه‌جانبه‌نگر حوزه‌های آبخیز به‌کار گرفته شود.

همچنین نتایج Malamud و همکاران در سه کشور آمریکا، ایتالیا و گواتمالا نیز بیان‌گر دقت قابل‌توجه تابع توزیع احتمال گامای معکوس در تخمین بزرگی زمین‌لغزش بوده است (۱۶). از طرف دیگر مقایسه دو توزیع Double Pareto و گامای معکوس توسط Galli و همکاران در سه حوزه آبخیز ایتالیا نیز بیان‌گر دقت یکسان و نتایج مشابه توابع مذکور بوده است، اگر چه در تحقیق حاضر دقت تخمین مدل Double Pareto در مقایسه با دو روش دیگر تا حدودی متفاوت بوده است (۶). همچنین دقت در شکل ۳ نشان می‌دهد که دو روش ناپارامتریک HDE و KDE نتایج نسبتاً مشابهی برای تمامی لغزش‌های مشاهده شده در منطقه داشته‌اند در حالی که تنها تفاوت اندکی در مدل‌سازی نتایج برای داده‌هایی با مساحت کم‌تر بر اساس روش پارامتریک MLE مشاهده می‌شود که این موضوع شاید به این دلیل است که بخش عمده‌ای از لغزش‌های منطقه (۱۳ لغزش (۵۹/۱ درصد)، مساحتی بین ۱۰۰۰۰۰-۴۰۰۰۰ مترمربع و ۹ لغزش (۴۹/۹ درصد)، مساحتی بین ۲۲۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰ مترمربع داشته‌اند.

همچنین غلطش در بخش انتهایی شکل‌ها (شکل ۳) نشان‌دهنده آن است که به‌طور کلی لغزش‌های متوسط و بزرگ کاملاً با توزیع‌های آماری مذکور تطبیق داشته و رابطه‌ای ندارند در حالی که این رابطه برای لغزش‌های کوچک از حالت نمایی منحرف شده و به صورت خطی می‌باشد (۷). در پژوهش حاضر تلاش گردید که احتمال وقوع هر یک از زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گیرد (جدول ۲). نتایج بررسی‌ها نشان داد که سه الگوریتم بهینه‌سازی HDE، KDE و ML برای توابع توزیع

منابع

1. Bijukchhen, S.M., P. Kayastha and M.R. Dhital. 2013. A comparative evaluation of heuristic and bivariate statistical modelling for landslide susceptibility mapping in Ghurmi-Dhad Khola, East Nepal. *Arabian Journal of Geoscience*, 6(8): 2727-2743.
2. Brunetti, M.T., F. Guzzetti and M. Rossi. 2009. Probability distributions of landslide volumes. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 16: 179-188.
3. Chen, W., W. Li, E. Hou, H. Bai, H. Chai, D. Wang, X. Cui and Q. Wang. 2014. Application of frequency ratio, statistical index, and index of entropy models and their comparison in landslide susceptibility mapping for the Baozhong Region of Baoji, China. *Arabian Journal of Geoscience*. DOI: 10.1007/s12517-014-1554-0.
4. Das, I., A. Stein, N. Kerle and V.K. Dadhwal. 2011. Probabilistic landslide hazard assessment using homogeneous susceptible units (HSU) along a national highway corridor in the northern Himalayas, India. *Landslides*, 8: 293-308.
5. Fell, R., K.K.S. Ho, E. Lacasse and E. Leroi. 2005. A framework landslide risk assessment and management. (Hunger, O, Fell, R., Couture, R., Eberhardt, E., eds.), Taylor and Francis Group, London, 3-26.
6. Galli, M., F. Ardizzone, M. Cardinali, F. Guzzetti and P. Reichenbach. 2008. Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 94: 268-289.
7. Guzzetti, F. 2005. Review and selection of optimal geological models related to spatial information available, Action 1.14. Risk aware is partially co-financed by the European Union under the INTEREG IIIB CADSES program, pp. 44
8. Guzzetti, F. 2006. Landslide hazard and risk assessment. Ph.D. Thesis, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, University of Bonn, Bonn, Germany, 389 pp. WWW page, <http://geomorphology.irpi.cnr.it/Members/fausto/PhD-dissertation>.
9. Guzzetti, F., B.D. Malamud, D.L. Turcotte and P. Reichenbach 2002. Power-law correlations of landslide areas in Central Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, 195: 169-183.
10. Guzzetti, F., P. Reichenbach, M. Cardinali, M. Galli and F. Ardizzone. 2005. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 72: 272-299.
11. Hungr, O., S.G. Evans and J. Hazard. 1999. Magnitude and frequency of rock falls and rock slides along the main transportation corridors of southwestern British Columbia. *Canadian Geotechnical Journal*, 36(2): 224-238.
12. Hovius, N., C.P. Stark, H.T. Chu and J.C. Lin. 2000. Supply and removal of sediment in a landslide-dominated mountain belt: Central Range, Taiwan. *Journal of Geology*, 108: 73-89.
13. Jaiswal, P., C.J. van Westen and V. Jetten. 2011. Quantitative estimation of landslide hazard along transportation lines using historical records. *Landslides*, 8: 279-291.
14. Koehorst, B.A.N., O. Kjekstad, D. Patel, Z. Lubkowski, J.G. Knoeff and G.J. Akkerman. 2005. Work package 6, Determination of Socio-Economic Impact of Natural Disasters, Assessing socio-economic Impact in Europe, 173 pp.
15. Li, L., H. Lan and Y. Yuming Wu. 2016. How sample size can effect landslide size distribution. *Geoenvironmental Disasters*, 3:18, 11pp. DOI 10.1186/s40677-016-0052-y
16. Malamud, B.D., D.L. Turcotte, F. Guzzetti and P. Reichenbach. 2004. Landslide inventories and their statistical properties, *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(6): 687-711.
17. Riguer, D. and M. Rossi. 2011. Magnitude-frequency probability estimation of landslides. The 24th Annual Geological Convention of the Geological Society of the Philippines 08 December 2011 Crowne Plaza Hotel, Philippines, 19 pp.
18. Rossi, M., F. Ardizzone, M. Cardinali, F. Fiorucci, I. Marchesini, A.C. Mondini, M. Santangelo, S. Ghosh, D.E.L. Riguer, T. Lahousse, K.T., Chang and F. Guzzetti. 2012. A tool for the estimation of the distribution of landslide area, Abstract ID-No.: EGU2012-9438.
19. Singh, A.K. 2010. Bioengineering techniques of slope stabilization and landslide mitigation. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 19(3): 384-397.
20. Stark, C.P. and N. Hovius. 2001. The characterization of landslide size-frequency distributions. *Geophysics Research Letter*, 28: 1091-1094.
21. Varnes, D.J. 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, Paris, pp. 1-55.
22. Wang, Q., W. Li., Y. Wu., Y. Pei and P. Xie. 2016. Application of statistical index and index of entropy methods to landslide susceptibility assessment in Gongliu (Xinjiang, China). *Environment Earth Sciences*, 75: 598- 599.
23. Wu, C.Y. and S.C. Chen. 2013. Integrating spatial, temporal, and size probabilities for the annual landslide hazard maps in the Shihmen watershed, Taiwan. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13: 2353-2367.

Estimation of Landslide Size Probability Occurrence in the Pivejan Watershed (Razavi Khorasan Province)

Hamid Reza Pourghasemi

Department of Natural Resources and Environmental Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz,
Iran. (Corresponding author: hr.pourghasemi@shirazu.ac.ir
Received: July 23, 2016 Accepted: December 25, 2016

Abstract

Knowing the number, area, and frequency of landslides occurred in each area has a prominent role in the long-term evolution of area dominated by landslides and can be used for analyzing of susceptibility, hazard, and risk. In this regard, the current research is trying to consider identified landslides size probability in the Pivejan Watershed, Razavi Khorasan Province. In the first step, landslides inventory map was created using Google Earth images and extensive field surveys. In the next step, area of each landslide was determined using ArcGIS software and Xtools Extension. Subsequently, probability of landslides size identified were calculated in R statistical software using Double Pareto (DP), Double Pareto Simplified (DPS), and Inverse Gamma (IG) probability density functions in the study area. Also, in the present study for optimization of parameters coefficients used of two non-parametric probability density function namely Histogram Density Estimation (HDE) and Kernel Density Estimation (KDE) and a parametric Maximum Likelihood (ML) estimation. The results showed that non-parametric estimation methods (i.e., HDE and KDE) provided accurate results for all the landslides; whereas, ML failed to provide a good result. Also, results of landslide occurrence probability showed a good similarity between DPS and IG with different optimization techniques, meanwhile the DP model had under estimation results and can't presented a correct calculation for probability of landslides in the study area.

Keywords: Landslide size probability, Probability density function, Optimization techniques, Pivejan Watershed