نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ششم، شماره ۲، تابستان، ۱۳۹۸.
صفحات 165 تا 180

برآورد حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و شاخص آنتروپی مطالعه موردی: ارتفاعات شهرستان دالاهو

سحر دارابی شاهماری،[1] دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
امیر صفاری، دانشیار دانشکده علوم جغرافیایی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۴/۱۲/۱۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۴/۰۴

چکیده

زمین لغزش بخصوص در کشورهای در حال توسعه و جهان سوم، یکی از اصلی ترین مخاطرات طبیعی است و رخداد آن به ویژه در مناطق شهری می‌تواند تهدیدی مستقیم برای زندگی و اقتصاد مردمِ در معرض خطر باشد. در این مطالعه حساسیت زمین لغزش دامنه‌های شهرستان دالاهو با استفاده از مقایسه‌ی شاخص آنتروپی و رگرسیون لجستیک برآورد شده است. پارامترهای مورد مطالعه در تهیه نقشه LSM شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رود، فاصله از جاده، فاصله از گسل، کاربری اراضی، لیتولوژی و بارش هستند. هر یک از پارامترها با توجه به میزان تأثیر بر وقوع مخاطره لغزش، طبق نظرات کارشناسی امتیازدهی شده و به صورت رستری به عنوان لایه‌های اصلی در پهنه بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از شاخص آنتروپی بکار گرفته شده‌اند. ماتریس آنتروپی برای هر یک از عوامل محاسبه شده و سپس در محیط GIS نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش منطقه، تهیه شده است. در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک با توجه به متغیرهای مستقل (پارامترهای مؤثر بر لغزش) و متغیر وابسته (داده های زمین لغزش) به تعیین بهترین معادله اقدام شده و با استفاده از ضرایب مربوط به هر یک از متغیرهای مستقل، نقشه LSM منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. جهت اعتبار سنجی مدل‌ها، با استفاده از ۳۰ درصد نقاط لغزشی، منحنی ROC ترسیم شده و مساحت زیر منحنی (AUC) محاسبه شده است. نتایج اعتبار سنجی نشان میدهد که شاخص مدل آنتروپی (AUC = 0.86) در برآورد حساسیت زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه نسبت به مدل رگرسیون لجستیک (AUC= 0.80) از صحت بیشتر و در نتیجه قابلیت اعتماد بالاتری برخوردار است.

واژه های کلیدی: آنتروپی، رگرسیون لجستیک، زمین لغزش، دالاهو.

[1] . نویسنده مسئول
Email: std_sdarabi@khu.ac.ir

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

مقدمه

یک زمین لغزش همان طور که کرودن (Cruden, 1991) تعریف نموده است حرکت توده ای از سنگ واریزه‌ها و یا بخشی از زمین به سمت پایین دامنه است. این مخاطره جغرافیایی می‌تواند عواقب شدیدی را در پی داشته باشد. از جمله اثرات مخرب ساختاری اقتصادی و زیر بنایی، و نیز در بدترین موارد ممکن است این مخاطره به تلفات منجر شود. طبیعت آزاردهنده این پدیده اولین بار در سال ۱۸۸۱، زمانی که شمار بسیاری از مردم در شهر الم سویس بر اثر وقوع زمین لغزش جان باختند مورد توجه قرار گرفت. این لغزش $۱۰^{۷}$ متر مکعب از مواد را در مسیری به طول ۲۰۱۷ متر از ارتفاع ۶۱۳ متری با خود حمل نمود (Iverson et al, 2015). زمین لغزش‌ها یکی از شناخته شده ترین مخاطرات طبیعی در جهان هستند و نتایج آنها به ویژه در مناطق شهری می‌تواند تهدیدی مستقیم برای زندگی و اقتصاد مردمِ در معرض خطر باشد (Laribi et al, 2015). در کشورهای در حال توسعه بیشتر از ۰/۵ درصد از تولید ناخالص ملی (GNP)[1] در هر سال به علت رانش زمین از دست می‌رود و ۹۵ درصد از بلایای زمین لغزش در کشورهای در حال توسعه ثبت شده است (Chen and li, 2014). به دلیل تعدد، تنوع، تکرار و شدت رخدادهای طبیعی و نا آرامی محیط، ایران در ردیف ۱۰ کشور بلاخیز جهان قرار گرفته است (محمدی و همکاران، ۲۰۰۴). بر پایه یک برآورد اولیه، در کشور ایران، هر ساله ۵۰۰ میلیارد ریال خسارات مالی از طریق زمین لغزش‌ها بر کشور تحمیل می‌شود و این در صورتی است که از بین رفتن منابع طبیعی غیرقابل بازگشت، به شمار آورده نشوند (کمک پناه و همکاران، ۱۳۷۳). این رقم تنها به خسارات مستقیم اشاره دارد و خسارات غیرمستقیم، مانند هدر رفتن خاک که یکی از مهم‌ترین سرمایه‌های ملی است، افزایش حجم رسوبات در پشت سدها، تغییر اکوسیستم مناطق و از بین رفتن جنگل‌ها، خساراتی بیش از این رقم را بر اقتصاد کشور تحمیل می‌کند (کامران زاده و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین، شناسایی و پهنه بندی نواحی مستعد لغزش، گامی مهم در ارزیابی خطرات محیطی به شمار رفته و نقش مهمی در مدیریت حوضه‌های آبخیز ایفا می‌کند.

به طور کلی، ترکیبی از هندسه شیب، دامنه کوه، پوشش گیاهی، خاک و خصوصیات سنگ، ساختار توده سنگی، بارش و شرایط رطوبتی (شامل آب‌های سطحی و زیرزمینی) اثرات مستقیمی بر بی ثباتی دامنه به جای می‌گذارند (leshchinsky, 2013). فهم این عوامل برای دانشمندان و مهندسان در ارزیابی خطرات بالقوه در مناطق خاص، یک قدم مهم برای پیشگیری و یا به حداقل رساندن آسیب می‌باشد (leshchinsky et al, 2015). اگرچه تأثیر عوامل مورفوکلیماتیک مانند تغییرات آب و هوایی ممکن است در فرکانس های بالا در طول زمان در آینده موجب وقوع چنین وقایعی شود (Dixon and brook, 2007)؛ اما تحقیقات مختلف در گذشته، مکانیسم‌های متفاوتی از لغزش‌ها را، بر اثر عوامل کنترل گر بسیاری شناخته‌اند. تأثیر این عوامل پیچیده هستند و مربوط به متغیرهای آب و هوایی و ویژگی‌های دامنه مانند ترکیب مواد دامنه، شرایط زمین شناسی و آب شناسی و پوشش گیاهی هستند. درک کامل روابط، خود نیاز به نظارت دقیق و گسترده عوامل محیطی و تغیرات شکل زمین دارد. البته سهولت دسترسی به داده‌های مربوطه متفاوت است. بسته به منطقه مورد مطالعه داده‌های ثبت شده آب و هوایی ممکن است دوره‌ای طولانی را در بر بگیرد در حالی که به دست آوردن داده‌های تغییرات لندفرم در دوره‌های طولانی درخواستی چالش برانگیز است (Walstra et al, 2007). ایجاد یک پایگاه داده در ارتباط با زمین لغزش از جمله موارد کاربردی است که یک عامل مهم و حائز اهمیت برای کاربران در سطوح مختلف اداری و سازمانی تا محلی می‌باشد. تولید پایگاه داده زمین لغزش (نقشه های قدیمی و

[1]. Gross National Product

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

جدید) در ترکیب با اطلاعات محیطی و فاکتورهای کلیدی جهت تولید نقشه‌های مفید (زمین لغزش lsm و یا نقشه عناصر دخیل در ریسک و ....) و نیز مدیریت موارد اضطراری بسیار مفید است (Ciampalini, 2015). بنابراین شناسایی مکان‌های پر خطر، ارزیابی میزان خطر، شناخت عوامل مسبب و اثرات زیان بار این مخاطره در موارد حساس و نیز مانیتورینگ میزان حرکت و جابجایی سطحی زمین لغزش‌ها در پیش بینی و پیشگیری آنها از اقدامات حائز اهمیت برشمرده می‌شود (Schlogel, 2015). با توجه به وقوع زمین لغزش‌های مخرب در شهرستان دالاهو و قرار گرفتن روستاها و شهر دالاهو و تاسیساتی همچون کانال‌های آبرسانی، خطوط انتقال نیرو، جاده‌های ارتباطی، و تاسیسات کشاورزی در دامنه‌های ارتفاعات منطقه‌ی مورد مطالعه، تهیه نقشه خطر زمین لغزش منطقه جهت بهبود مدیریت، مهم به نظر می‌رسد. با توجه به موارد ذکر شده در این مطالعه با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و شاخص آنتروپی به تهیه نقشه زمین لغزش شهرستان دالاهو پرداخته شده است. مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش، اطلاعات به دست آمده از یک نقشه را به صورت عینی برای پیش بینی مناطقی که ممکن است در آن لغزش روی دهد نشان می‌دهند.

تحقیقات بسیاری در زمینه برآورد حساسیت زمین لغزش در نقاط مختلف دنیا با استفاده از مدل‌های مختلف انجام شده است. به عنوان مثال، ارنر و همکاران (Erner et al, 2016) نقشه‌های حساسیت زمین لغزش برای حوضه شوشوات در استان هنروین (شمال غربی ترکیه) را با استفاده از سه روش آنالیز چندمعیاره مبتنی بر GIS، رگرسیون لجستیک، و استخراج قواعد ارتباطی (ARM) تهیه نموده‌اند. نتایج مقایسه‌ی خروجی مدل‌ها بیانگر عملکرد بهتر مدل‌های رگرسیون لجستیک و استخراج قواعد ارتباطی در تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش است.

شهابی و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش حوضه زاب را با استفاده از مدل‌های رگرسیون لجستیک، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نسبت فراوانی (FR) تهیه نموده‌اند. نتایج اعتبار سنجی مدل‌ها با استفاده از سطح زیر منحنی (ROC) بیانگر این بوده که مدل رگرسیون لجستیک دارای اعتبار بیشتری در پهنه بندی زمین لغزش منطقه است.

عابدینی و همکاران (۱۳۹۳) خطر وقوع زمین لغزش شهرستان بیجار را با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج اعتبارسنجی مدل بیانگر صحت بالای مدل رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه زمین لغزش است.

بندریک و همکاران (Bednarik et al, 2010) با استفاده از توزیع دو متغیره آماری به ارزیابی حساسیت زمین لغزش در منطقه کارل اونری در اسلوکی پرداخته‌اند. آنها در تحقیق خود استفاده از شاخص آنتروپی را جهت محاسبه وزن لایه‌ها به عنوان عاملی موثر قلمداد نموده و در نهایت نقشه پهنه بندی حساسیت زمین لغزش منطقه را ارائه کرده‌اند.

مقیمی و همکاران (۱۳۹۰) در یک مطالعه نقشه‌ی پهنه بندی زمین لغزش طاقدیس نسار زاگرس غربی را با استفاده از مدل آنتروپی تهیه نموده‌اند. نتیجه پژوهش آنها بیانگر کارایی مناسب مدل آنتروپی جهت تهیه نقشه زمین لغزش است.

زونگجی و همکاران (Zongji et al, 2010) در پژوهشی با استفاده از مدل آنتروپی به تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در گورجس چین اقدام نموده اند. نتیجه تحقیق آنها نیز نشان داده است که این مدل دارای قابلیت اعتماد مطلوبی بالایی جهت تهیه نقشه زمین لغزش در مقیاس منطقه‌ای است.

اگرچه مدل های بسیاری جهت تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش وجود دار. با این حال، نیاز روافزون به استفاده از تکنیک های جدیدتر جهت افزایش صحت داده های پیش بینی زمین لغزش وجود دارد؛ بنابراین، در این پژوهش سعی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

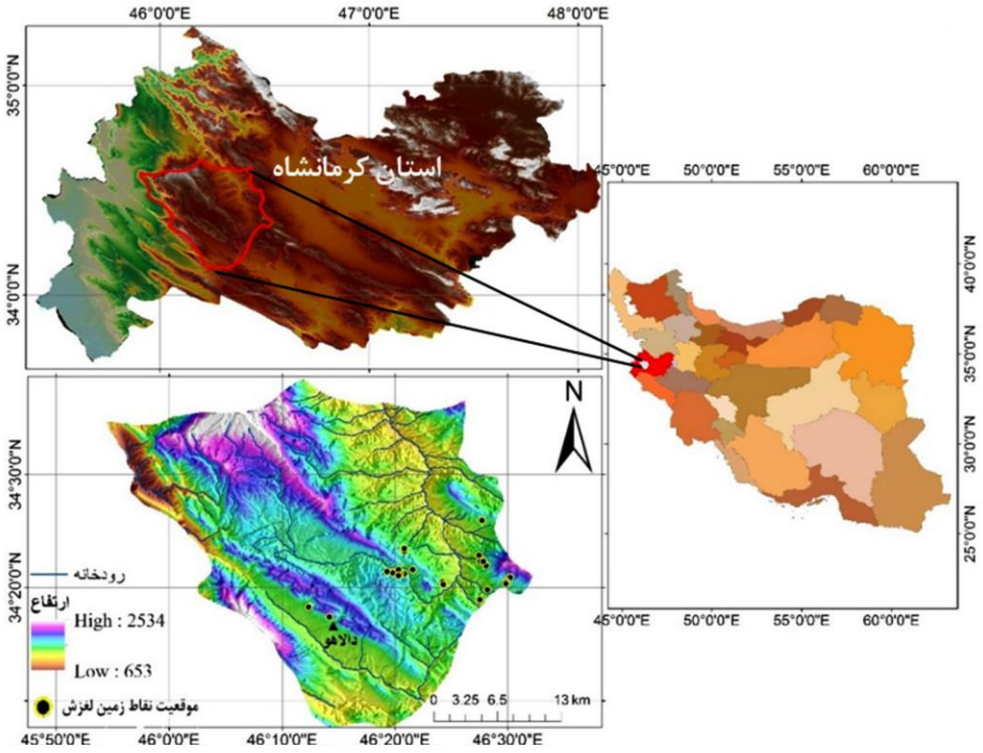
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

شده است که تخمین پیش بینی مکانی زمین لغزش های اطراف شهرستان کنگاور با استفاده از مدل های رگرسیون لجستیک و شاخص انتروپی ارائه شود. مقایسه کارایی و اعتبارسنجی این مدل ها، به معرفی مدل با دقت بیشتر جهت ارزیابی حساسیت زمین لغزش می‌انجامد.

داده‌ها و روش کار

الف) قلمرو جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش ارتفاعات شهرستان دالاهو است. شهرستان دالاهو با مساحت ۱۹۱۹کیلومتر مربع، در قسمت غربی استان کرمانشاه بین ۹ ´۳۴ °۳۴ تا ´۴۶ °۴۶ عرض شمالی و ´۵۳ ° ۴۵ تا ´۳۵ °۴۶ طول شرقی واقع شده است. بلندترین نقطه منطقه با ارتفاع ۲۵۵۶ متر در ارتفاعات بخش شمالی و نیز طاقدیس دالاهو؛ و پست ترین نقطه نیز با ارتفاع ۸۶۴ متر در شمال غربی منطقه قرار گرفته است. طاقدیس مرکب دالاهو در ۹۹ کیلومتری استان کرمانشاه دربخش جنوب و جنوب غربی این شهرستان قرار گرفته است. این طاقدیس از یک سو به جلگه بین‌النهرین و از سوی دیگر به جلگه‌های کرند و اسلام‌آباد غرب مشرف می‌باشد. رشته کوه نوح نیز در جنوب شرقی طاقدیس مرکب دالاهو قرار گرفته و تنگه پاطاق بین این دو رشته کوه قرار گرفته است. موقعیت ۲۹ لغزش در منطقه مورد مطالعه ثبت شده است (اداره منابع طبیعی استان کرمانشاه، ۱۳۹۰). لغزش‌های ثبت شده در بخش‌های شرق، جنوب شرقی و جنوب میانی ارتفاعات دالاهو متمرکز شده‌اند (شکل ۱).



شکل۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

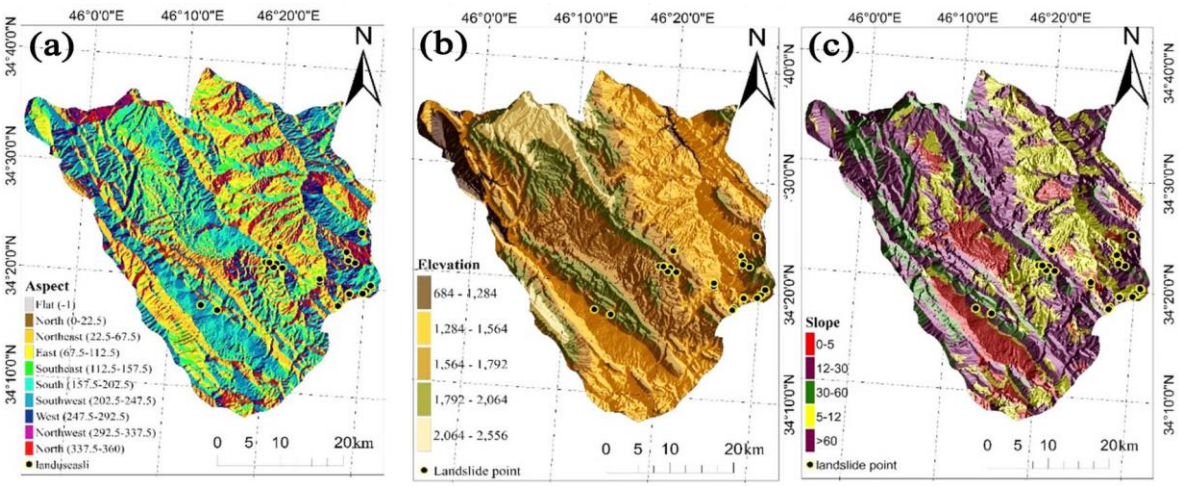
ب: روش کار

پیش نیاز بررسی ریسک زمین لغزش، پراکندگی نقاط و یا پهنه های لغزشی منطقه مورد مطالعه می‌باشد که در این مطالعه از موقعیت زمین لغزش‌های ثبت شده توسط اداره منابع طبیعی استان کرمانشاه استفاده شده است (اداره منابع

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

طبیعی استان کرمانشاه، ۱۳۹۰). در این نقشه، زمین لغزش‌های روی داده، به صورت نقطه‌ای مشخص شده‌اند. تعداد ۲۹ زمین لغزش در ارتفاعات شهرستان دالاهو تشخیص داده شده است (شکل ۱). به منظور توسعه‌ی یک روش برای تهیه نقشه زمین لغزش، تعیین پارامترهای مؤثر در مدل امر مهمی است. پارامترهای ورودی به هر مدل باید به عنوان نماینده بسیاری از عوامل، دارای قابلیت اطمینان بالایی باشند (Oh and Pradhan, 2011). لایه‌های داده‌های موضوعی مختلف به عنوان فاکتورهای تأثیر گذار بر لغزش در این مطالعه شامل نقشه شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از جاده و بارش هستند. برای تهیه لایه‌های مورد نیاز، از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰و نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و لایه کاربری اراضی ۱:۵۰۰۰منطقه مورد مطالعه (اداره منابع طبیعی استان کرمانشاه، ۱۳۹۰) استفاده شده است. با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) ۲۵ متری، فاکتورهای درجه شیب، جهت شیب و نیز ارتفاع، تهیه شده و در تهیه نقشه زمین لغزش به کار گرفته شده‌اند. پارامتر اصلی تجزیه و تحلیل پایداری شیب درجه شیب است (Lee & Kin, 2007). از آنجا که درجه شیب به طور مستقیم با زمین لغزش در ارتباط است، از این رو غالباً در تهیه نقشه‌های حساسیت لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرد. شیب منطقه به پنج کلاس تقسیم شده، شامل: ۰-۵ درجه، ۵-۱۲ درجه، ۱۲ -۲۰ درجه ،۲۰-۴۰ درجه، و > ۶۰ درجه (شکل ۲(c)).

جهت شیب به انواع شناور ، شمال (۲۲/۵-۳۳۷/۵ درجه)، شمال شرق (۲۲/۵ – ۶۷/۵ درجه)، شرق (۶۷/۵– ۱۱۲/۵درجه)، جنوب شرق (۱۱۲/۵ – ۱۵۷/۵درجه)، جنوب (۱۵۷/۵- ۲۰۲/۵درجه)، جنوب غرب (۲۰۲/۵- ۲۴۷/۵ درجه)، غرب (۲۴۷/۵ - ۲۹۲/۵ درجه)، و شمال غرب (۲۹۲/۵ -۳۳۷/۵ درجه)، تقسیم شده است (شکل ۲(a)). عامل ارتفاع نقش حیاتی در تغییر فضایی شرایط هیدرولوژیک از قبیل رطوبت خاک، جریان آب‌های زیرزمینی، و ثبات شیب دارد. ارتفاع منطقه مورد مطالعه طبق شکل ۲(b) به ۵ کلاس تقسیم شده است.



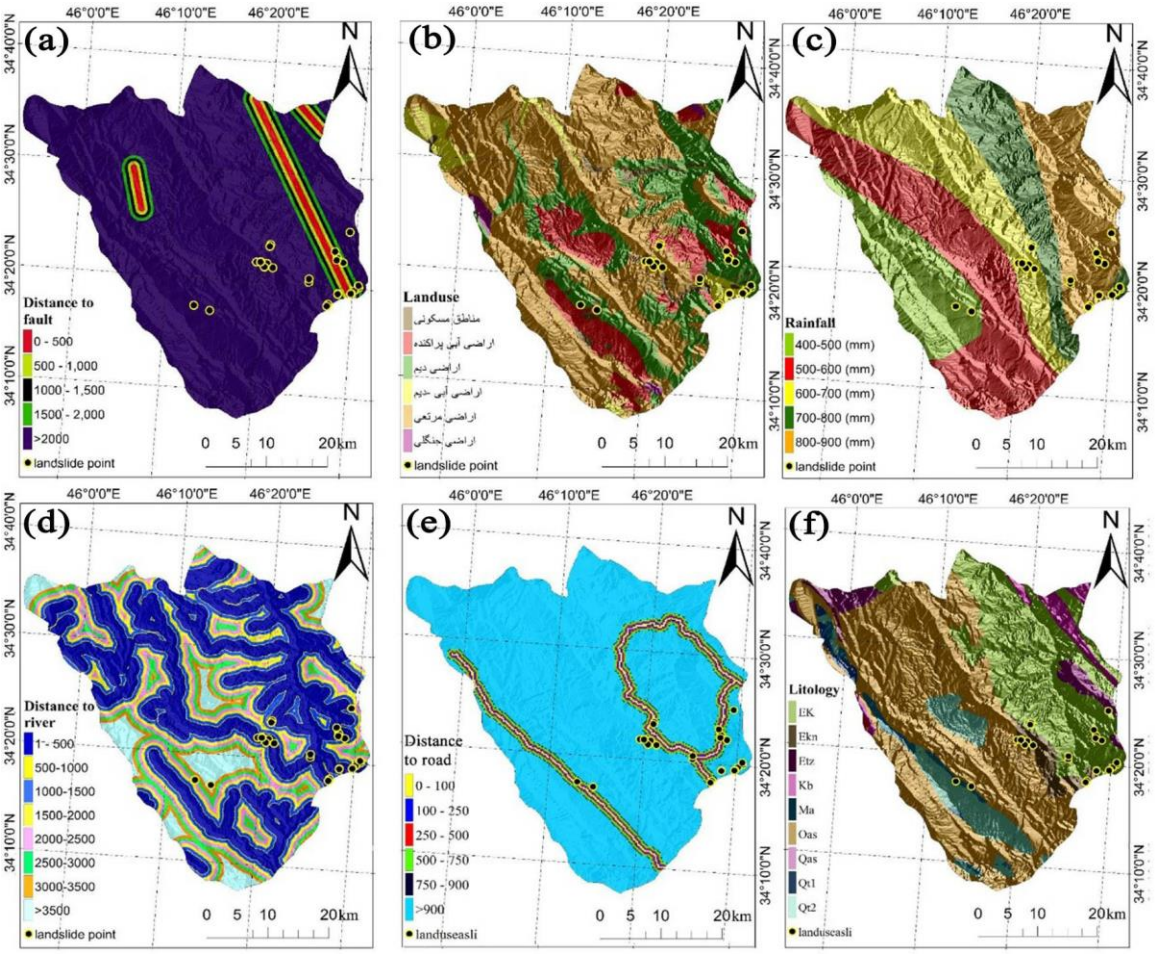
شکل۲) نقشه عوامل مؤثر بر لغزش منطقه مورد مطالعه: a) جهت شیب. b) ارتفاع. c) شیب.

پارامتر فاصله از رودخانه به عنوان عاملی که به سبب نقش رواناب و اثر فرسایش توسط جریان، به تحریک زمین لغزش (Devkota et al, 2013) می‌پردازد؛ مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۳(d)). پارامتر فاصله از جاده (شکل ۳(e)) و فاصله از گسل (شکل ۳(a)) نیز به ترتیب بر اساس تأثیر امواج صوتی، اثر مخرب ترانشه‌ها و عملیات راه سازی و نیز فعالیت‌های تکتونیکی موجود در محدوده دارای گسل، به عنوان عوامل مؤثر بر تحریک لغزش‌ها در شرایط مستعد، در محدوده‌ی مورد مطالعه در نظر گرفته شده‌اند؛ همچون عامل فاصله از رواناب در نرم افزار ArcGIS به برآورد این دو

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

پارامتر نیز پرداخته شده است. استفاده از لایه کاربری زمین به طور گسترده‌ای به عنوان یک عامل مهم به خصوص برای لغزش‌های کم عمق در نظر گرفته شده است. پوشش گیاهی ایجاد شده بر روی دامنه‌ها، محافظت کننده دامنه‌ها در برابر فرسایش خاک، رواناب‌های سطحی و رانش‌های کم عمق می‌باشد. سرعت جریان آب بر روی دامنه‌ای با پوشش گیاهی انبوه، ۱/۴ جریان آب بر روی همان دامنه بدون پوشش گیاهی در همان شرایط بارشی می‌باشد بنابراین سرعت فرسایش خاک که با مربع سرعت متفاوت است، ممکن است به ۱/۱۶ کاهش یابد (Trigila et al, 2015). بدین ترتیب، انواع پوشش گیاهی موجود و نیز انواع کاربری‌ها نقش هیدرولوژیکی مهمی را در پیشگیری از ضرر و زیان ناشی از مخاطرات ژئومورفیک دارند (Trigila et al, 2015).

در این راستا، لایه کاربری اراضی منطقه (اداره منابع طبیعی استان کرمانشاه، ۱۳۹۰)، به عنوان فاکتوری دیگر در برآورد حساسیت لغزش منطقه، بکار گرفته شده است (شکل ۳(b)) عامل لیتولوژِی، یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار بر ایجاد زمین لغزش است که بر ویژگی‌های ژئومکانیکی عوارض زمینی تأثیرگذار است (Costanzo et al, 2012). با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰ لایه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه استخراج شده و در برآورد حساسیت زمین لغزش منطقه، مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۳(f)) هر یک از لایه‌های معرفی شده به تناسب نوع مدل مورد استفاده در تهیه نقشه زمین لغزش، در این مطالعه بکار گرفته شده‌اند.



شکل۳) نقشه عوامل مؤثر بر لغزش در منطقه مورد مطالعه: a) فاصله از گسل. b) کاربری اراضی. c) بارش. d) فاصله از آبراهه. e) فاصله از جاده. f) لیتولوژی.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

مدل‌های آنتروپی و رگرسیون لجستیک در این مقاله جهت برآورد ریسک زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. آنتروپی معیاری برای اندازه گیری اختلال، بی ثباتی، عدم تعادل، و عدم اطمینان یک سیستم است (Yuffeng, 2009 Fengxiang and). مقدار آنتروپی یک سیستم دارای یک رابطه یک به یک با درجه‌ی اختلال است؛ این رابطه، به نام اصل بولتزمن، به توصیف وضعیت ترمودینامیکی یک سیستم (Fengxiang and Yuffeng, 2009) می پردازد. شخصی به نام شنون، مدل بولتزمن را ارتقا بخشیده و مدلی به نام آنتروپی را برای سیستم اطلاعات ایجاد نموده است. روش آنتروپی به طور گسترده‌ای برای تعیین شاخص وزن خطرات طبیعی و نیز ارزیابی‌های زیست محیطی یکپارچه از فرآیندهای طبیعی مانند توفان‌های شن، خشکسالی و ... مورد استفاده قرار گرفته است (Li et al, 2002). یک زمین لغزش یک سیستم پیچیده برای تبادل مواد و انرژی با محیط زیست است، در نتیجه می‌توان یک زمین لغزش را با استفاده از روش آنتروپی اندازه گیری و تشریح نمود (Yang and Qiao, 2009). آنتروپی یک لغزش به تأثیر عوامل مختلف مؤثر بر وقوع این مخاطره اشاره دارد. چندین عامل مهم مؤثر به صورت جمعی، شاخص آنتروپی سیستم را فراهم می‌کنند. نتیجه مدل آنتروپی می‌تواند برای تعیین وزن شاخص‌های سیستم مورد استفاده قرار گیرد (Yang and Qiao, 2009). معادلات مورد استفاده برای تعیین وزن اعضای سیستم به صورت زیر است:

رابطه ۱) $pij = \frac{xij}{\sum_{i=1}^{m} xij}$

ارزش آنتروپی مقدار Ej است که از تابع زیر تعیین می‌شود:

رابطه ۲) $Ej = -k + \sum_{i=1}^{m} pij \ln(pij)$

در این رابطه m تعداد زمین لغزش‌ها و k ضریب ثابتی است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

رابطه ۳) $K = c(lnm)^{-1}$

عدم اطمینان یا درجه انحراف هر معیار (dj) از کسر مقدار EJ از عدد یک به دست می‌آید:

رابطه ۴) $dj = EJ - 1$

پس از محاسبه وزن کل (wj) با استفاده از رابطه ۵، خطر زمین لغزش منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته است؛

رابطه ۵) $H_i = \sum_{i=1}^{m} xij$

در این رابطه (H) ضریب خطر رخداد زمین لغزش، wj وزن نهایی تمامی عوامل و Xij وزن هر یک از عوامل است (zongji et al, 2010). رابطه بیان شده، مدل ناحیه‌ای خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

روش دیگری که جهت برآورد ریسک زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفته است مدل رگرسیون لجستیک است. رگرسیون لجستیک (LR[1]) یکی از روش‌هایی است که به طور گسترده‌ای برای ارزیابی حساسیت زمین لغزش در نواحی مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Trigila et al, 2015) و در میان مجموعه‌ای از روش‌های آماری، محبوب ترین روش در زمینه پهنه بندی زمین لغزش در طول دهه اخیر می‌باشد (Van Den Eeckhaut, 2006). در تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، هدف یافتن مدلی مناسب برای تشریح رابطه بین وجود و یا عدم وجود زمین لغزش (متغیر وابسته) و یک مجموعه از پارامترهای مستقل مانند زاویه شیب، جهت دامنه، لیتولوژی و غیره است. رگرسیون لجستیک یک تکنیک چند متغیره است که چند پارامتر فیزیکی را که ممکن است بر احتمال لغزش تأثیر بگذارند، مورد توجه قرار می‌دهد و به بررسی ارتباط بین متغیرهای پاسخی دو بخشی که از صفر تا یک کد دهی شده‌اند (حضور و عدم حضور زمین لغزش) و مجموعه متغیرهای توضیحی Xn … X1 (هر دو نوع متغیرها به صورت کمی و مطلق هستند) می‌پردازد. در این روش مقادیر متغیر مستقل می‌توانند به صورت باینری (۰ و ۱) و یا کمیت عددی بیان شوند. از این رو استفاده از داده‌هایی که کاملاً پیوسته نیستند یا به صورت کیفی هستند امکان پذیر خواهد بود. در نقشه حساسیت زمین لغزش، خروجی مدل (بین صفر و یک) احتمال p را برای هر سلول شبکه‌ای متعلق به زمین لغزش نمایش می‌دهد (Y=1).

رابطه ۶)
$$p(Y=1)=\frac{1}{1+e^{-z}}=\frac{1}{1+e^{-(\alpha+\beta_1x_1+\cdots\beta_nx_n)}}=\frac{e^{\alpha+\beta_1x_1+\cdots\beta_nx_n}}{1+e^{\alpha+\beta_1x_1+\cdots\beta_nx_n}}$$

نسبت احتمال، نسبتی بین احتمال p که متغیر وابسته (y) ۱ است و نیز احتمال p-1 که متغیر وابسته (y) صفر است را نمایش می‌دهد. لگاریتم طبیعی احتمال (Logit) به صورت تابع خطی متغیرهای توضیحی می‌باشد که ارزش‌هایی از ∞- تا ∞+ را دریافت می‌دارد (Umar et al, 2014).

رابطه ۷)
$$\text{Logit}(p)=\ln\frac{p}{1-p}=\alpha+\beta_1x_1+x_1\beta_1+\ldots+\beta_nx_n$$

لگاریتم شانس (Logit) در واقع مقدار لگاریتم طبیعی احتمال است. p : احتمال متغیر وابسته (y) است، $\frac{p}{1-p}$ نسبت شانس یا احتمال گفته می‌شود. ضرایب β_n … β_1 ضرایبی هستند که توزیع متغیرهای مستقل x_n … x_1 را جهت حساسیت زمین لغزش اندازه‌گیری می‌کنند. اگر ضریب β مثبت باشد، $e^{\beta}>1$ ، و این فاکتور تأثیر مستقیمی بر لغزش دارد ولی اگر ضریب β منفی باشد، e^{β} بین صفر و یک قرار می‌گیرد (Umar et al, 2014).

در مطالعه ی حاضر، جهت برآورد حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک برای هر یک از سلول‌های شبکه محدوده مورد مطالعه، حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل سازی آماری روابط مجموعه‌ای از شرایط محیطی (متغیرهای مستقل)، و وقوع زمین لغزش (متغیر وابسته) ارزیابی شده است (Conoscenti et al, 2015). متغیرهای محیطی که معمولا به عنوان پیش بینی کننده‌های ریسک زمین لغزش انتخاب می شوند شامل توپوگرافی، هیدرولوژی، لیتولوژی و کاربری اراضی هستند (Conoscenti et al, 2015). در اجرای مدل رگرسیون لجستیک، لازم است تمام عوامل مؤثر بر وقوع حرکات توده‌ای کمی سازی شوند. عواملی همچون کاربری اراضی، زمین شناسی و خاک و واحدهای هیدرولیک کیفی هستند، و نیاز به کدهای معنی داری دارند که بجای کیفیت آنها نوشته شود. بدین ترتیب لایه‌های

[1]. Logistic Regression

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

کیفی (کاربری اراضی، لیتولوژی، جهت شیب) بر اساس میزان تأثیر بر لغزش در حوضه مورد مطالعه به صورت صعودی و یا نزولی مرتب شده و کد دهی شده‌اند. سپس لایه‌های مؤثر در وقوع زمین لغزش در نرم افزار ArcGIS به رستر تبدیل شده و با استفاده از الحاقیه Ascii از داده‌های موجود برای ورود به نرم افزار SPSS و انجام تحلیل‌های آماری خروجی گرفته شده است. سپس در محیط SPSS 20 از داده‌های موجود نمونه گیری شده و یک نمونه‌ی (Sample) ۲۰ درصدی از داده‌ها تهیه شده است. پس از این مرحله به اجرای مدل رگرسیون لجستیک پرداخته شده است. در این مطالعه از روش گام به گام برای ورود داده‌ها به مدل رگرسیون لجستیک استفاده شده است. متغیرهای وابسته تحت عنوان (y)، وقوع یا عدم وقوع حرکات توده‌ای؛ و متغیرهای مستقل (xi) نیز برخی عوامل زمین محیطی شامل شیب و جهت شیب، بارش، کاربری اراضی، لیتولوژی، ارتفاع و فاصله از رودخانه، گسل و جاده، می‌باشند. با استفاده از لایه‌های عوامل موثر بر زمین لغزش (متغیر مستقل) و ۷۰ درصد از لغزش های موجود در منطقه؛ بهترین معادله تعیین شده است. با استفاده از معادله، نقشه حساسیت زمین لغزش منطقه مورد مطالعه تهیه شده است.

مرحله‌ی بعدی اعتبارسنجی مدل‌های مورد استفاده است. یکی از گام‌های اساسی در برآورد ریسک زمین لغزش، سنجش اعتبار تخمین ریسک با استفاده از روش‌های مختلف است. کیفیت حساسیت یک مدل در برآورد ریسک زمین لغزش معمولا با استفاده از اطلاعات مستقلی که برای ساخت مدل در دسترس است برآورد می‌شود. در این مقاله، برای اعتبار سنجی مدل‌های مورد استفاده از منحنی ROC استفاده شده است.

منحنی ROC میزان دقت مدل را به صورت کمی نشان می‌دهد. سطح زیر منحنی ROC(AUG) بیانگر مقدار پیش بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین لغزش) و عدم تخمین آن است. در تهیه نقشه‌های زمین لغزش با استفاده از مدل‌های قید شده از ۷۰ درصد نقاط لغزشی و جهت اعتبارسنجی از ۳۰ درصد نقاط لغزشی استفاده شده است. مقادیر AUG از ۰/۵-۱ است و ایده آل ترین نتیجه صحت سنجی زمانی است که سطح زیر منحنی برابر با یک باشد. همبستگی کیفی- کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین بدین صورت است: (۱- ۰/۹، عالی؛ ۰/۹- ۰/۸، متوسط؛ ۰/۷- ۰/۶ ، خوب و ۰/۶- ۰/۵، ضعیف) (Negnevitsky, 2002).

شرح و تفسیر نتایج

در اجرای مدل آنتروپی، پس از بررسی ویژگی‌های مختلف منطقه، و شناخت عوامل مؤثر و نیز مشترک در میان لغزش‌های ایجاد شده، طبق نظرات کارشناسی، ماتریس عوامل ۹ گانه موثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه حاصل شده است.

پس از تبدیل معیارها به عدد صحیح و تشکیل ماتریس اولیه مقدار pij با استفاده از رابطه (۱) و مقدار (k) با استفاده از رابطه دو حاصل شده است. با استفاده از رابطه چهار، وزن هر یک از معیارهای استفاده شده در ماتریس آنتروپی زمین لغزش (wi) که شامل لیتولوژی (۰/۰۷۶)، فاصله از گسل (۰/۰۶۴)، فاصله از رود (۰/۱۲)، فاصله از جاده (۰/۰۷۶)، کاربری اراضی (۰/۱۱۶)، بارش (۰/۱۱۲)، شیب (۰/۲۲)، جهت شیب (۰/۰۰۸) و ارتفاع (۰/۲۲) می‌باشد، حاصل شده است. در این رابطه، E توزیع احتمال pi؛ بر اساس سازوکار آماری محاسبه شده است و مقدار آن در صورت تساوی pi ها با یکدیگر، بیشترین مقدار ممکن خواهد بود. سپس عدم اطمینان یا درجه انحراف هر معیار dj از کسر Ej از عدد یک به دست آمده است (جدول ۲).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

جدول۱) ماتریس عوامل ۹ گانه موثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه

شماره لغزش	شیب (درجه)	جهت شیب	ارتفاع (متر)	فاصله از جاده (متر)	فاصله از رود (متر)	بارش میلی متر	نوع لیتولوژی	کاربری اراضی	فاصله از گسل(متر)
۱	۳۰-۱۲	NE	۱۶۲۹	۱۴۰۰	۱۱۸۹	۸۰۰-۹۰۰	کژدمی	دیم	۴۳۰۱
۲	۵-۱۲	N	۱۵۸۶	۶۷	۶۰	۸۰۰-۹۰۰	کژدمی	دیم	۶۰۲
۳	۱۲-۳۰	N	۱۶۶۹	۳۰	۶۱	۸۰۰-۹۰۰	کژدمی	دیم	۷۱۵
۴	۱۲-۳۰	NW	۱۶۸۱	۳۵	۱۴۵	۸۰۰-۹۰۰	کژدمی	دیم	۷۰۶
۵	۱۲-۳۰	SW	۱۶۲۶	۶۷	۱۵۱	۸۰۰-۹۰۰	کژدمی	دیم	۵۲۰
6	۱۲-۳۰	NW	۱۷۷۷	۱۲۰	۸۳۰	۸۰۰-۹۰	کژدمی	دیم پراکنده	۵۰۰
۷	۵-۱۲	W	۱۶۹۹	۴۳۴۵	۱۳۵۱	۷۰۰-۸۰۰	کژدمی	دیم پراکنده	۱۹۰۰
۸	۵-۱۲	SW	۱۶۸۷	۴۵۳۵	۱۱۰۹	۷۰۰-۸۰۰	کژدمی	دیم پراکنده	۱۸۰۳
۹	۵-۱۲	W	۱۶۴۶	۴۱۱۶	۷۵۰	۷۰۰-۸۰۰	کژدمی	مرتعی	۱۰۰۶
۱۰	۵-۱۲	W	۱۶۲۳	۴۰۴۴	۸۶۰	۷۰۰-۸۰۰	کژدمی	مرتعی	۸۴۰
۱۱	۵-۱۲	NW	۱۶۰۴	۴۰۵۲	۴۸۰	۷۰۰-۸۰۰	کژدمی	مرتعی	۴۲۰
۱۲	۵-۱۲	W	۱۵۹۱	۴۱۳	۳۶۰	۷۰۰-۸۰۰	کژدمی	مرتعی	۲۵۶
۱۳	۵-۱۲	S	۱۵۲۷	۲۴۶۰	۵	۸۰۰-۹۰۰	کژدمی	مرتعی	۱۵۷۶
۱۴	۵-۱۲	S	۱۵۱۸	۲۴۰۰	۱۰۱	۸۰۰-۹۰۰	کژدمی	مرتعی	۱۶۱۰
۱۵	۱۲-۳۰	W	۱۵۲۹	۱۰۸	۳۰۱	۸۰۰-۹۰۰	شیل کندوان	مرتعی	۳۸۰۰
۱۶	۱۲-۳۰	NE	۱۴۹۴	۲۲۸	۷	۸۰۰-۹۰۰	شیل کندوان	مرتعی	۴۰۰۸
۱۷	۵-۱۲	SE	۱۴۵۰	۲۹۶	۸۰	۸۰۰-۹۰۰	کژدمی	اراضی آبی	۴۷۰۶
۱۸	۰-۵	E	۱۴۲۷	۶۰۶	۸۱	۸۰۰-۹۰۰	کژدمی	اراضی آبی	۵۰۰۳
۱۹	۱۲-۳۰	SW	۱۵۹۶	۱۰۰۱	۷۰	۶۰۰-۷۰۰	کژدمی	جنگل	۹۱۲۵
۲۰	۱۲-۳۰	S	۱۶۰۸	۱۱۰۰	۳۰	۶۰۰-۷۰۰	شهبازان	جنگل	۱۰۰۰۵
۲۱	۳۰-۶۰	NE	۱۵۹۰	۱۸۰۰	۴۸۰	۶۰۰-۷۰۰	کژدمی	جنگل	۱۰۷۰۰
۲۲	۵-۱۲	NE	۱۵۹۱	۲۰۶۰	۴۴۱	۶۰۰-۷۰۰	کژدمی	جنگل	۱۰۶۹۰
۲۳	۱۲-۳۰	SE	۱۶۲۸	۱۶۳۳	۱۵۰	۶۰۰-۷۰۰	شهبازان	اراضی آبی	۱۰۸۳
۲۴	۱۲-۳۰	E	۱۶۶۰	۱۸۹۷	۳۰	۶۰۰-۷۰۰	شهبازان	اراضی ابی	۱۱۴۰۱
۲۵	۳۰-۶۰	SW	۱۶۲۳	۲۱۸۰	۱۳۰	۶۰۰-۷۰۰	شهبازان	اراضی ابی	۸۰۳
۲۶	۵-۱۲	E	۱۶۱۸	۲۸۴	۳۱۱	۶۰۰-۷۰۰	کژدمی	دیم	۸۷۰
۲۷	۰-۵	N	۱۶۰۱	۳۱۳	۶۷	۶۰۰-۷۰۰	کژدمی	دیم	۲۰۳۰۰
۲۸	۱۲-۳۰	S	۱۶۲۹	۱۱۷۳	۳۲۲۹	۴۰۰-۵۰۰	آقاجاری	دیم پراکنده	۱۸۳۰۰
۲۹	۱۲-۳۰	SW	۱۵۷۲	۱۹۲	۲۲۱۱	۴۰۰-۵۰۰	آقاجاری	دیم پراکنده	۷۸۰

جدول ۲) مقادیر شاخص‌های محاسبه شده برای عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش

شاخص‌ها	شیب	جهت شیب	ارتفاع	فاصله از جاده	فاصله از رود	بارش	لیتولوژی	کاربری اراضی	فاصله از گسل
Ej	۰/۹۴۳	۰/۹۹۸	۰/۹۴۳	۰/۹۸۱	۰/۹۷۸	۰/۹۷۲	۰/۹۸۱	۰/۹۷۱	۰/۹۸۴
Dj	۰/۰۵۷	۰/۰۰۲	۰/۰۵۷	۰/۰۱۹	۰/۰۲۲	۰/۰۲۸	۰/۰۱۹	۰/۰۲۹	۰/۰۱۶
Wj	۰/۲۲	۰/۰۰۸	۰/۲۲	۰/۰۷۶	۰/۱۲	۰/۱۱۲	۰/۰۷۶	۰/۱۱۶	۰/۰۶۴

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

در نهایت، مدل ناحیه‌ای خطر زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه با استفاده از ضرایب به دست آورده شده در رابطه (۶) به شکل زیر محاسبه شده، و مدل خظر زمین لغزش به دست آمده است:

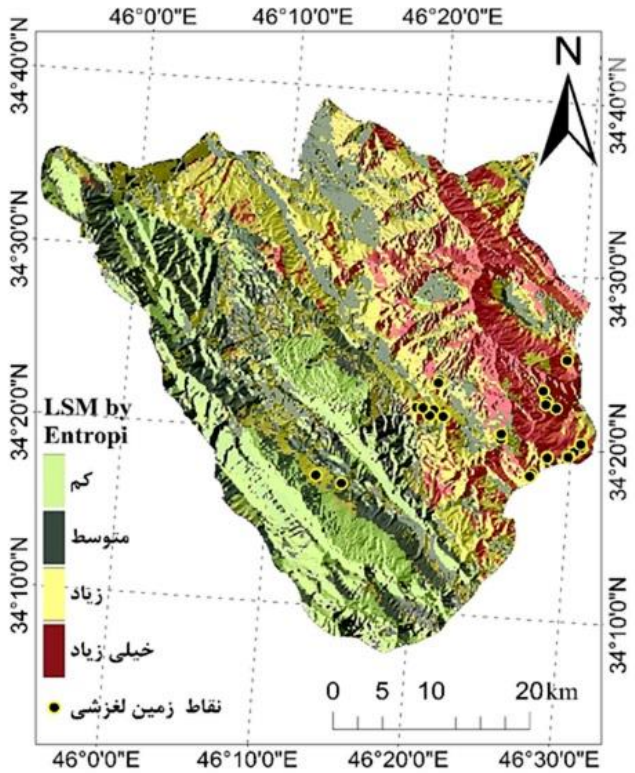
$$H = (S\times0/22) + (Df \times 0/064) + (E \times 0/22) + (Dr \times 0/076) + (Dri \times 0/12) + (A \times 0/008) + (lu \times 0/116) + (R \times 0/112) + (lt \times 0/076)$$

با توجه به نتایج مدل آنتروپی، میزان تأثیر هر یک از عوامل به ترتیب زیر می‌باشد:

جدول۳) میزان تأثیر عوامل مؤثر بر زمین لغزش منطقه دالاهو

عوامل مؤثر	شیب	جهت شیب	ارتفاع	فاصله از جاده	فاصله از رود	بارش	لیتولوژی	کاربری اراضی	فاصله از گسل
درصد تأثیر	۱۱/۸۵	۰/۷۹	۲۱/۷۳	۷/۵۰	۲۱/۷۳	۱۱/۰۶	۷/۶	۱۱/۴۶	۶/۳۲

به دلیل عدم تفاوت پذیری جهت شیب در زمین لغزش‌های ثبت شده، تأثیر این عامل نسبت به سایر عوامل کمتر است. عامل بعدی که میزان کمتری از تأثیر گذاری را به خود اختصاص داده است، عامل فاصله از گسل می‌باشد؛ در منطقه مورد مطالعه دو گسل فرعی وجود دارد که به دلیل فاصله‌ی زیاد از موقعیت زمین لغزش‌ها و نیز از ارتفاعات و طبعاً دامنه‌های لغزش پذیر، تأثیر کمتری از این عامل در زمین لغزش در مقایسه با سایر عوامل دیده می‌شود. بیشترین میزان تأثیر بر ریسک زمین لغزش منطقه دالاهو، به ترتیب مربوط به عوامل لیتولوژی، فاصله از رود، ارتفاع، شیب، بارش و کاربری اراضی و کمترین میزان تأثیر نیز مربوط به پارامترهای جهت شیب، فاصله از گسل و فاصله از جاده است. در ادامه، با استفاده از اعمال ضرایب محاسبه شده در هر یک از لایه‌های پارامترهای مؤثر؛ نقشه حساسیت زمین لغزش (LSM) منطقه تهیه شده است (شکل ۴).



شکل ۴) نقشه LSM منطقه دالاهو با استفاده از شاخص آنتروپی

جدول۴) مساحت و درصد طبقات خطرزمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

خطر	مساحت	درصد مساحت	تعداد لغزش
کم	۴۴/۳۶	۲۲/۷	-
متوسط	۵۸۹/۴۴	۳۰/۸۲	۳
زیاد	۵۵۴/۲	۲۸/۹۶	۹
بسیار زیاد	۳۴	۱۷/۵	۱۷
کل	۱۹۱۹	۹۹/۹۸	۲۹

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

با توجه به جدول شماره (۴) پهنه‌های با خطر زیاد و بسیار زیاد ۴۶/۴۶ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین مساحت منطقه را، پهنه با خطر متوسط و پس از آن، پهنه‌ی با خطر زیاد (۲۶/۹۶) در بر گرفته است، بنابراین، پهنه‌های با خطر زیاد و بسیار زیاد در منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس مدل آنتروپی درصد بالایی از مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین تعداد زمین لغزش‌های روی داده در منطقه مورد مطالعه در پهنه‌ی با خطر بسیار زیاد قرار گرفته است. با استفاده از هم پوشانی نقشه‌ی لغزش و هر یک از عوامل ۹ گانه، مشخص شده که پهنه‌ی پر خطر شیب‌های ۵ تا ۱۲ درجه در ارتفاع بین ۱۲۸۴ تا ۱۷۹۸ را پوشش داده است. در این محدوده فاصله از گسل ها از صفر تا ۵۰۰ متر و بیشتر در شیب‌های غربی و جنوب غربی با میانگین بارشی از ۷۰۰ تا ۸۰۰ mm می‌باشد. فاصله از آبراهه در وقوع لغزش عاملی تأثیر گذار است. در این مطالعه حدود ۸۰ درصد از لغزش‌های رخ داده در فواصل صفر تا ۶۰۰ متر از آبراهه‌ها قرار گرفته‌اند. وجود فرسایش آبی، شست و شوی دامنه و تقویت رطوبت زمین بخصوص در مواقع سیلابی، از عوامل تأثیر گذار بر وقوع لغزش و بی ثباتی دامنه‌ها هستند. از عوامل انسانی تأثیر گذار بر ایجاد پهنه‌های با خطر بالا در وقوع لغزش، پارامتر کاربری اراضی و نیز فاصله از جاده‌ها است. ۱۲ عدد از لغزش‌های رخ داده (شکل ۲) در پهنه‌ی با خطر بالا در فواصل صفر تا ۵۰۰ متر از جاده قرار گرفته‌اند؛ کاربری موجود در این پهنه‌ها کشاورزی دیم و دیم پراکنده در دامنه‌ها است. وسعت این منطقه در جهت شرق و نیز شرق میانی و بخش‌هایی از شمال حوضه بیشتر است. لیتولوژی پوشش دهنده‌ی پهنه‌های با خطر بسیار زیاد، از نوع کژدمی و نیز پهنه‌ی با خطر زیاد، ترکیبی از کژدمی و آسماری-شهبازان می‌باشد. تعداد زمین لغزش‌های ثبت شده در سازند کژدمی (۱۶ عدد از لغزش‌ها در این سازند قرار گرفته است) از سایر سازندها بیشتر است و این امر بیانگر پتانسیل بالای وقوع لغزش در این نوع سازند است. پهنه‌های کم خطر در منطقه دالاهو بر اساس مدل آنتروپی، در شیب‌های ۰ تا ۱۲ درجه قرار گرفته‌اند. پهنه‌های کم خطر از لحاظ لیتولوژی بیشتر در سازندهای آقاجاری، آسماری و رسوبات پدیمنتی و پادگانه‌های کم عمق و در ارتفاعات کمتر از ۱۰۰۰ متر و یا بیشتر از ۲۵۰۰ متر واقع شده‌اند. فاصله از جاده و نیز آبراهه در این پهنه‌ها بیش از ۱۱۰۰ متر و فاصله از گسل نیز بیش از ۲۰۰۰ متر است. کاربری موجود در پهنه‌های کم خطر، شامل اراضی جنگلی و کشاورزی آبی، بخصوص جنگل‌های بلوط موجود در ارتفاعات دالاهو است. با توجه به مراحل قید شده در بخش روش تحقیق، بهترین معادله برازش شده و ضرایب محاسبه شده‌ی معرف هر پارامتر مؤثر بر لغزش؛ در معادله مربوطه جایگزین شده (رابطه ۸) و سپس با استفاده از نرم افزار ArcGIS نقشه زمین لغزش منطقه مورد مطالعه حاصل شده است. نقشه حساسیت زمین لغزش که به صورت رستر می‌باشد باز طبقه‌بندی[1] شده و به چهار طبقه خطر(کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد) تقسیم شده است.

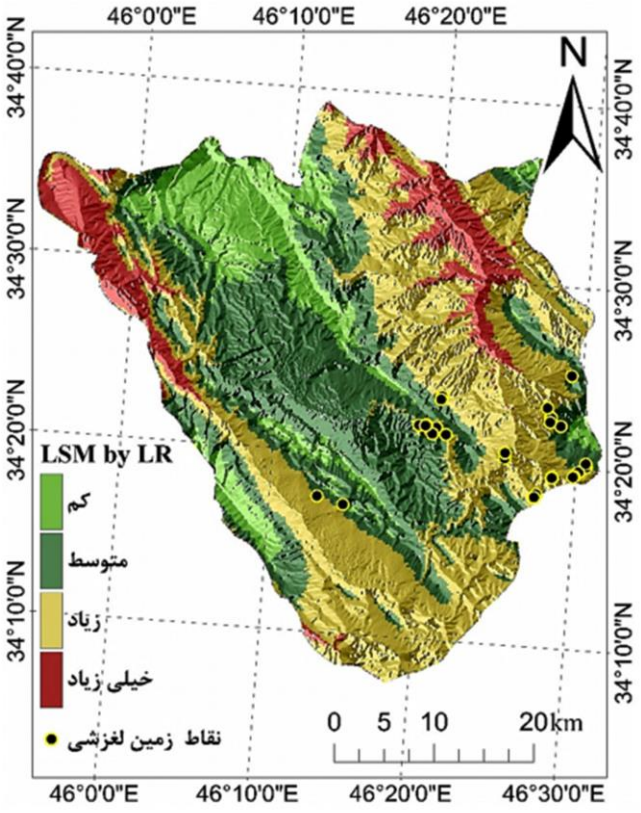
رابطه ۸)

$$Z= -22/742 + (0.112\ slope) - (0.089\ lithology) + (0.10\ elevation) + (distance\ to\ river\ 0.080) + (0.035\ aspect) - (0.012\ land\ use) + (0.054\ rainfall) - (0.0007\ distance\ to\ fault) - (0.008\ distance\ to\ road)$$

[1]. Reclassify

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

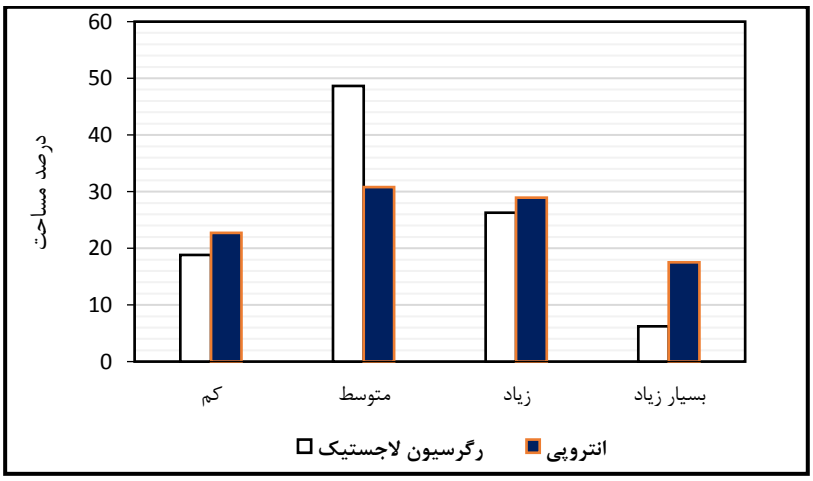


شکل ۵) نقشه LSM منطقه دالاهو با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

جدول۵) مساحت و درصد طبقات خطرزمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

خطر	مساحت	درصد	تعداد لغزش
کم	۳۶۰/۹	۱۸/۸۰	۰
متوسط	۹۳۴	۴۸/۶۷	۱۱
زیاد	۵۰۴/۸	۲۶/۳۰	۱۸
بسیار زیاد	۱۱۹/۳۰	۶/۲۱	۰
کل	۱۹۱۹	۹۹/۹۸	۲۹

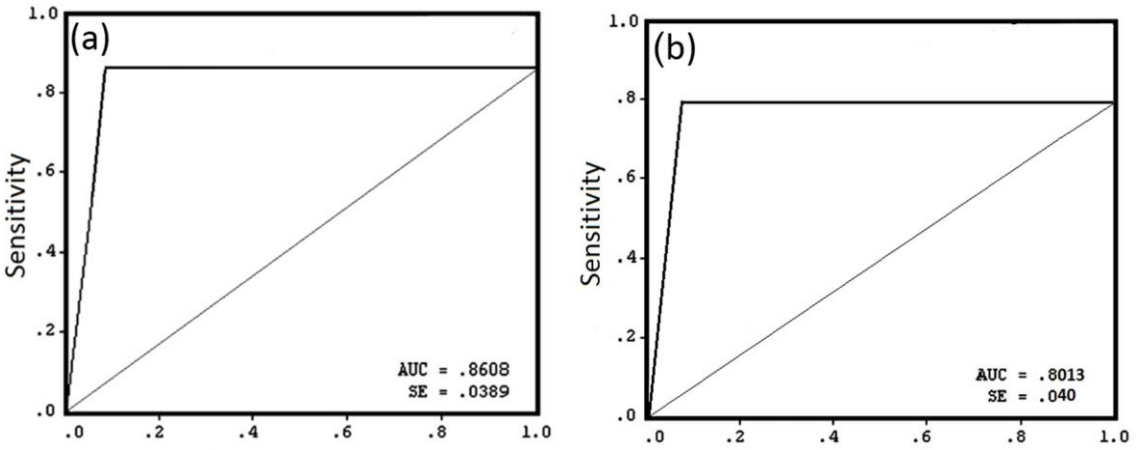
طبق نقشه LSM حاصل از مدل رگرسیون لجستیک، بیشترین مساحت منطقه را پهنه با خطر متوسط در بر گرفته است که حدود ۴۸/۶۷ درصد می‌باشد. پهنه‌ی با خطر بسیار زیاد بیشتر سطوح با شیب ۱۲ تا ۳۰ درجه، در جهت شرقی حوضه در میانگین ارتفاع ۱۶۰۰ متر، در سازند لیتولوژیک کژدمی، با کاربری دیم و فاصله ۰ تا ۵۰۰ متر از آبراهه را در بر گرفته است. عوامل لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل و جاده در برآورد رگرسیون لجستیک با دارا بودن ضرایب منفی دارای تأثیر کمتر و عوامل شیب، با دار بودن ضرایب مثبت دارای تأثیر بیشتری هستند. به ترتیب اهمیت، تاثیر عوامل شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه و بارش بیشتر از تاثیر سایر عوامل بر ریسک زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۶) نمودار توزیع درصد مساحت طبقات ریسک زمین لغزش بر اساس مدل‌های رگرسیون لجستیک و آنتروپی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

درصد مساحت هر یک از طبقات زمین لغزش با استفاده از مدل‌های آنتروپی و رگرسیون لجستیک در شکل شماره ۶ مشاهده می‌شود.



شکل ۷) منحنی ROC مدل شاخص آنتروپی (a) و مدل رگرسیون لجستیک (b)

ارزیابی صحت نتایج حاصل از مدل‌ها، با استفاده از منحنی ROC (شکل ۷) نشان داده که در نقشه پهنه‌بندی با استفاده از مدل آنتروپی، سطح زیر منحنی ۰/۸۶ و در مدل رگرسیون لجستیک ۰/۸۰ است. پس بر این اساس، استفاده از مدل آنتروپی در تهیه نقشه LSM از قابلیت اعتماد بالاتری برخوردار است.

نتیجه گیری

با توجه به یافته‌های تحقیق، پهنه‌ی با خطر بسیار زیاد در نقشه‌های تولید شده توسط دو مدل مورد استفاده در بخش شرقی و شرق میانی حوضه قرار گرفته است (شکل ۴ و ۵). دامنه‌های طاقدیس دالاهو و سایر ارتفاعات موجود در منطقه، مسلط به دشت‌ها می‌باشند و این بخش از حوضه دربرگیرنده نواحی مسکونی شامل نیلک، چقاچوبین، بیموش، بانیاران تیمور و سایر نواحی روستایی دیگر است؛ با توجه به این امر، در نظر گرفتن برنامه‌های کاربردی جهت پیشگیری از ایجاد خسارات جانی و مالی بخصوص در نواحی که سهواً در پای دامنه‌های در معرض لغزش اسکان یافته‌اند بسیار ضروری است. از تعداد زمین لغزش‌های روی داده در منطقه، در نقشه تولید شده از طریق مدل شاخص آنتروپی، ۱۶ لغزش در پهنه‌ی با خطر بسیار زیاد و شش لغزش در پهنه‌ی با خطر زیاد قرار گرفته‌اند و پهنه‌ی با خطر کم فاقد زمین لغزش است. مؤثرترین عامل در بررسی ریسک زمین لغزش توسط مدل آنتروپی با توجه به فاصله کم لغزش‌های روی داده از آبراهه‌های موجود؛ فاصله از رود و نیز عامل ارتفاع است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل ارتباط رویداد زمین لغزش (متغیر وابسته) با عوامل محیطی (متغیرهای مستقل) با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، مؤثرترین عامل در بروز لغزش، متغیر شیب با ضریب ۰/۱۱۲ است. متغیرهای ارتفاع، جهت شیب، فاصله از آبراهه و بارش در درجه‌های بعدی اهمیت قرار دارند. بیشترین تعداد زمین لغزش‌ها در پهنه با خطر زیاد قرار گرفته و تعداد ۱۱ زمین لغزش نیز، در پهنه با خطر متوسط قرار گرفته است. با توجه به ارزیابی نتایج صحت نتایج حاصل از مدل ها با استفاده از منحنی ROC، روش آنتروپی به عنوان روشی مناسب جهت پهنه بندی حساسیت زمین لغزش می باشد و این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات مقیمی و همکاران (۱۳۹۰)، زونگجی و همکاران (۲۰۱۰) و بندریک و همکاران (۲۰۱۰) منطبق است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

منابع

عابدینی، موسی؛ بهاره قاسمیان و عطا شیرزادی. ۱۳۹۳. مدل سازی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک، مطالعه موردی: استان کردستان، شهرستان بیجار. *جغرافیا و توسعه*، **۳۷**: ۱۰۲-۸۵.

کامران زاده، فرناز؛ عماد محصل افشار، مسعود مجرب و حسین معماریان. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در استان تهران با استفاده از روش‌های داده محور. *فصلنامه علوم زمین*، **۹۷** : ۱۱۴-۱۰۱.

کمک پناه، ع؛ س منتظرالقائم و الف چدنی. ۱۳۷۳. پهنه بندی خطر زمین لغزش در ایران. *زمین لغزه و مروری بر زمین لغزه‌های ایران*، جلد اول، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

گزارش تفصیلی وضعیت طبیعی شهرستان دالاهو، اداره منابع طبیعی کرمانشاه. ۱۳۹۰.

مقیمی، ابراهیم؛ سجاد باقری و طاهر صفرراد. ۱۳۹۱. پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: تاقدیس نسار زاگرس شمال غربی). *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، **۷۹**: ۹۰-۷۷.

Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M., Marschalko, M., 2010, Landslide Susceptibility Assessment of the Kralˇovany–Liptovsky Mikulas Railway Case Study, *Physics and Chemistry of the Earth*, **35**, PP.162-171.

Chen. Yi; Kangtsung. Chang, Hang. Lee and Shou. Chiang. 2014. Average landslide erosion rate at the watershed scale in southern Taiwan estimated from magnitude and frequency of rainfall. *Geomorphology*, **228**: 756-764. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.07.022.

Ciampalini, Andrea; Federico. Raspini, Silvia. Bianchini, William. Frodella, Federica. Bardi, Daniela. Lagomarsino, Federico. Di Traglia, Sandro. Moretti, Chiara. Proietti, Paola. Pagliara, Roberta. Onori, Angelo. Corazza, Andrea. Duro, Giuseppe. Basile and Nicola. Casagli. 2015. Remote sensing as tool for development of landslide databases: The case of the Messina Province (Italy) geodatabase. *Geomorphology*, **249**:103-118. DOI:10.1016/j.geomorph.2015.01.029.

Conoscenti, Chrstian; Marilena. Ciaccio, Nathalie Almaru. Caraballo-Arias, Aivaro. Gomez-Gutierrez, Edoardo. Rotigliano and Valerio. Agnesi. 2015. Assessment of susceptibility to earth-flow landslide using logistic regression and multivariate adaptive regression spline: A case of the Belice River basin (western Sicily, Italy). *Geomorphology*, **242**: 49-64. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.09.020.

Costanzo, D; E. Rotigliano, C. Irigaray, J. D. jimenez-Perevalvarez and J. Chacon. 2012. Factors selection in landslide susceptibility modelling on large scale following the GIS matrix method: application to the river Beiro basin (Spain). *Natural Hazards Earth System Science*, **12**: 327-340. DOI: 10.5194/nhess-12-327-2012.

Devkota, K.C; A. D. Regmi, H. R. Pourghasemi, K. Yoshida, B. Pradhan, I. C. Ryu, M. R. Dhital and O. F. Althuwaynee. 2013. Landslide susceptibility mapping using certainly factor, index of entropy and Logistic Regression models in GIS and their comparison at Mugling- Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Natural Hazards and earth system science*, **65**: 15-165. DOI: 10.1007/s11069-012-0347-6.

Dixon, N; and E. Brook. 2007. Impact of predicted climate change on landslide reactivation: case study of Mam Tor, UK. *Landslides*, **4**: 137-147. DOI 10.1007/s10346-006-0071-y.

Erener. Arzu; Alev. Mutlu and H. Sebnem. Düzgün. 2016. Comparative study for landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis (MCDA), logistic regression (LR) and association rule mining (ARM). *Engineering Geology*, **203**: 45-55. DOI: 10.1016/j.enggeo.2015.09.007.

Guzzetti, F; A. Carrara, M. Cardinali and P. Reichenbach. 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi scale study, central Italy. *Geomorphology*, **31**: 181-216. DOI: 10.1016/S0169-555X(99)00078-1.

Iverson. R.M; D.L. george, K. Allstadt, M.E. Reid, B. D. Collins, J. W. Vallance, S. P. Schilling, J. W. Godt, C.M. Cannon, C. S. Magirl, R.L. Baum, J. A. Coe, W.H. Schulz and J. B. Bower. 2015. Landslide mobility and hazards: implications of the 2014 Oso disaster. *Earth and Planetary Science Letters*, **412**: 197-208. DOI: 10.1016/j.epsl.2014.12.020.

Lagomarsino. Daniela; Federico. Tragila, Sandro. Moretti, Chiara. Proietti, Paola. Pagliara, Roberta. Onori, Angelo. Corazza, Andrea. Duro, Giuseppe. Basile and Nicola. Casagli. 2015. Remote sensing as tool for

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]

development of landslide database: The case of the Messina Province (Italy) geodatabase. *Geomorphology*, **249**: 103-118. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.01.029.

Laribi. Abdallah; Jan. Walstra, Moussa. Ougrine, Ahcene. Seridi and Noureddine. Dechemi. 2015. Use of digital photogrammetry for study of unstable slopes in urban areas: Case study of the EI Biar landslide, Algiers. *Engineering Geology*, **187**: 73-83.

Li, X.J; Y. N. Chen and H. Ouyang. 2002. Analysis on sand disaster with disaster entropy method. *Arid Land Geography*, **25**: 350-353.

Mohammadi, A; A. Heshmatpoor and A. Mosaedi. 2004. Study on Efficiency of an Iranian Method for Landslide Hazard Zonation in Golestan Province (Iran). *Geophysical Research Abstracts*, **6**: 10-22.

Negnevitsky, M. 2002. Artifical Intelligence: A Guide to Intelligent Systems. Addison Wesley/Pearson Education, Harlow, England, p: 394.

Oh, HJ; and B. Pradhan. 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide susceptibility mapping for shallow landslide in tropical hilly area. *Computers and Geosciences*. **37**: 1264-1276. DOI: 10.1016/j.cageo.2010.10.012.

S. Lee; J. H. Ryu, J. S. Won and H. J. Park (2004) "Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping: using an artificial neural network," *Engineering Geology*, **2**: 289-302. DOI: 10.1016/S0013-7952(03)00142-X.

Schlogel. Romy; Cecile. Jean, Jean-Philippe. Malet and Frederic. Masson. 2015. Landslide deformation monitoring with ALOS/PALSAR imagery: AD-InSAR geomorphological interpretation method. *Geomorphology*, **231**:314-330. DOI:10.1016/j.geomorph.2014.11.031

Shahabi. Himan; Saeed. Khezri, Baharin. Bin Ahmad and Mazlan. Hashim. 2014. Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models. *CATENA*, **115**: 55-70. DOI: 10.1016 /j.catena.2013.11.014.

Timilsina. manita; Netra. Bhandary, Ranjan. Kumar dahal and ryuichi. Yatabe. 2014. Distribution probability of large-scale landslides in central Nepal. *Geomorphology*, **226**: 236-2. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.05.031.

Trigila. Alessandro; Carla. Iadanza, Carlo. Esposito and Scarascia. Mugnozza. 2015. Comparison of Logistic Regression & Random Forests techniques for shallow landslide susceptibility assessment in Giampilieri (NE Sicily, Italy). *Geomorphology*, **249** : 119-138. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.06.001

Umar, Zahrul; Biswajeet. Pradhan, Anuar. Ahmad, Mustafa. Neamah Jebur and Mahyat Shafapour Tehrani. 2014. Earthquake induced landslide susceptibility mapping using an integrated ensemble frequency ratio and logistic regression models in west Sumatera Province, Indonesia. *Catena* **118**:124-135. DOI: 10.1016/j.catena.2014.02.005.

Van Den Eeckhaut; M. Vanwalleghem, T. Poesen, J. Govers, G. Verstraeten and L. Vandekerckhove. 2006. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: case study in the Flemish Ardennes (Belgium). *Geomorphology*, **76**: 392–410. DOI: 10.1109/ESIAT.2009.258.

westra, J; N. Dixon and J. H. Chandler. 2007. Historical aerial photographs for landslide assessment: two case histories. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, **40**: 315–332. DOI: 10.1144/1470-9236/07-011.

Yang, Z; J. Oiao. 2009. Entropy- Based Hazard Degree Assessment for Typical landslides in the three gorges area, *China. Environmental science and engineering*, 15 may 2009: 519-529. DOI: 10.1007/978-3-642-00132-1_25.

Yufeng, S; J. Fengxiang. 2009. Landslide stability analysis based on generalized information Entropy. *International conference on environmental science and information application technology*: 83-85. DOI: 10.1109/ESIAT.2009.258.

Zongji, Y. 2010. Regional Landslide Zonation Based on Entropy Method in Three Gorges Area, China. 2010. *Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, (FSKD 2010).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.2.165]