بررسی عوامل موثر در ایجاد زمین‌لغزش‌های حوضه آبخیز اردل (استان چهارمحال بختیاری) با استفاده از روش رگرسیون لجستیک

عقیل مددی[۱]، مهری مرحمت[۲*] و سید پدرام نی‌نیوا[۳]

۱ و ۲- گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۳- گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم‌کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

نویسنده مسئول : *meri.marhamat90@gmail.com* *

دریافت: ۹۸/۳/۱۶ پذیرش: ۹۸/۱۰/۲۴

چکیده

با توجه به نقش موثر و همه‌جانبه زمین‌لغزش‌ها در حوضه‌های آبخیز، مطالعه حاضر به بررسی عوامل موثر در ایجاد زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اردل، استان چهارمحال‌بختیاری پرداخته است. طی این مطالعه نقشه پراکنش زمین‌لغزش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و بازدید صحرایی تهیه و همگام با آن نقشه فاکتورهای موثر در ایجاد زمین‌لغزش تهیه شد. شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، بارندگی، فاصله از گسل، تراکم و فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و کاربری اراضی به‌عنوان عوامل موثر در زمین‌لغزش انتخاب شدند. برای تهیه نقشه حساسیت به زمین‌لغزش از روش رگرسیون لجستیک در محیط *GIS* استفاده شده و با استفاده از فاکتورهای مذکور و نقشه سیاهه زمین‌لغزش‌ها، حساسیت به زمین‌لغزش از طریق وزن هر فاکتور به روش رگرسیون لجستیک شناسایی شد. نتایج مطالعه نشان داد که عوامل فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و لیتولوژی، به ترتیب مهم‌ترین عوامل موثر در ایجاد لغزش در منطقه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لغزش، رگرسیون لجستیک، رسوبات کواترنری، حوزه آبخیز اردل

۱- پیشگفتار

یکی از فرآیندهای بیرونی که موجب تغییر شکل سطح زمین می‌شود و اشکال و لندفرم‌های خاصی را به وجود می‌آورد، زمین‌لغزش[۱] است. این پدیده یکی از مخاطرات طبیعی کواترنری محسوب می‌شود (شیرانی و خوش‌باطن، ۱۳۹۴). زمین‌لغزش‌های فعال که از آن‌ها به عنوان حرکات توده‌ای نیز یاد می‌شود (شریعت جعفری، ۱۳۷۵)، بر روی سازه‌های مهندسی که در مسیر حرکت آن‌ها یا بر روی آن‌ها قرار دارند، تاثیر مخربی دارند. به عبارت دیگر شریان‌های حیاتی و جاده‌های ارتباطی را تحت تاثیر قرار می‌دهند و نقش موثری در فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز داشته و یکی از مهم‌ترین عوامل فعال در لندفرم‌های کواترنر به شمار می‌روند (شیرانی و خوش‌باطن، ۱۳۹۴). این پدیده طبیعی که با نام‌های زمین‌لغزش، حرکات توده‌ای، حرکات دامنه‌ای، گسیختگی‌های دامنه‌ای و نام‌هایی از این دست خوانده می‌شود که مفهوم آن عبارت است از جابجایی توده‌ای از خاک یا سنگ به سمت پایین در امتداد شیب و یا سقوط بخش‌های از ماده تشکیل‌دهنده شیب (محمودی، ۱۳۸۲). فعالیت‌های انسانی در سطوح شیبدار کوهستانی در طی کواترنری، باعث تشدید رخداد زمین‌لغزش‌های جدید و یا فعالیت مجدد زمین‌لغزش‌های تثبیت شده قدیمی می‌شود؛ هم‌چنین تغییر در ویژگی‌های اقلیمی و در نتیجه آن تغییر در ویژگی‌های هیدرولوژیکی و تنوعات زیستی، باعث رخداد بیش از پیش زمین‌لغزش در این نواحی خواهد شد (بیرانوند و همکاران، ۱۳۹۲). دو دیدگاه کمی و کیفی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش وجود دارد. در روش‌های کیفی بسته به نظر کارشناس، فاکتورهای موثر در رخداد زمین‌لغزش توصیف و نتیجه نهایی ارائه می‌شود. اما در روش‌های کمی، رابطه بین فاکتورهای مختلف تاثیرگذار در زمین‌لغزش به صورت عددی عرضه می‌شود. روش‌های کمی در دو گروه روش‌های ژئوتکنیکی و روش‌های آماری دسته‌بندی می‌شوند. از معروف‌ترین روش‌ها برای پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش به آنالیز رگرسیون چندگانه، آنالیز تشخیصی و رگرسیون لجستیک[۲]

[1]. *Landslide*

[2]. *Logistic Regression*

می‌باشد. تاکنون پژوهش‌های زیادی با استفاده از هرکدام از این روش‌های آماری در ایران و جهان صورت گرفته است؛ که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

شیرانی و عرب‌عامری (۱۳۹۴) به مطالعه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک در حوضه دز علیا پرداخته‌اند. آنان طی این مطالعه اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک کرده‌اند. نتایج آنان با توجه به مقدار ضرایب به‌دست آمده، لایه طبقات ارتفاعی را به عنوان مهم‌ترین عامل در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد شناسایی و معرف نمود. هم‌چنین مقدار شاخص *ROC* برابر ۰/۹۱۷ نشان داد که حرکات توده‌ای در ناحیه مورد بررسی، رابطه قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل رگرسیون لجستیک را دارد.

خالدی و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی عامل‌های مؤثر در رویداد زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محیط *GIS* در حوضه آبخیز طالقان پرداختند. آنان مهم‌ترین عوامل مؤثر در رویداد زمین‌لغزش و پهنه‌بندی میزان خطر این رویداد را شناسایی نمودند. نتایج حاصل از مطالعه آنان نشان داد که حدود ۷۲/۸۳ درصد از محدوده مورد مطالعه در خطر بالا و بسیار بالای زمین‌لغزش قرار دارد و مهم‌ترین عامل موثر بر خطر زمین‌لغزش در محدوده مورد مطالعه را فاصله از گسل معرفی کردند.

همتی و حجازی (۱۳۹۶) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک در حوضه آبخیز لواسانات پرداختند. نتایج آنان طی این پژوهش گویای این بود که بخش بسیار زیادی از محدوده مطالعاتی در خطر بسیار بالای زمین‌لغزش است و هم‌چنین مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر زمین‌لغزش در ناحیه مطالعاتی کاربری اراضی می‌باشد.

لومباردو و مای (۲۰۱۸) با استفاده از روش رگرسیون لجستیک، به بررسی نحوه نمونه‌برداری و تاثیر آن بر نتایج حاصل از زمین‌لغزش پرداختند. نتایج آنان نشان داد که این حساسیت به زمین‌لغزش و نحوه نمونه‌برداری بر یکدیگر تاثیرگذارند اما برای تعیین نحوه این تاثیر نیاز به مطالعات بیش‌تری است. به طور کلی نقشه حساسیت به زمین‌لغزش در بسیاری از مطالعات با استفاده از روش رگرسیون لجستیک تهیه شده است (اشلوگل و همکاران، ۲۰۱۸؛ لومباردو و مای، ۲۰۱۸؛ هماسینگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ ارنر و همکاران، ۲۰۱۶).

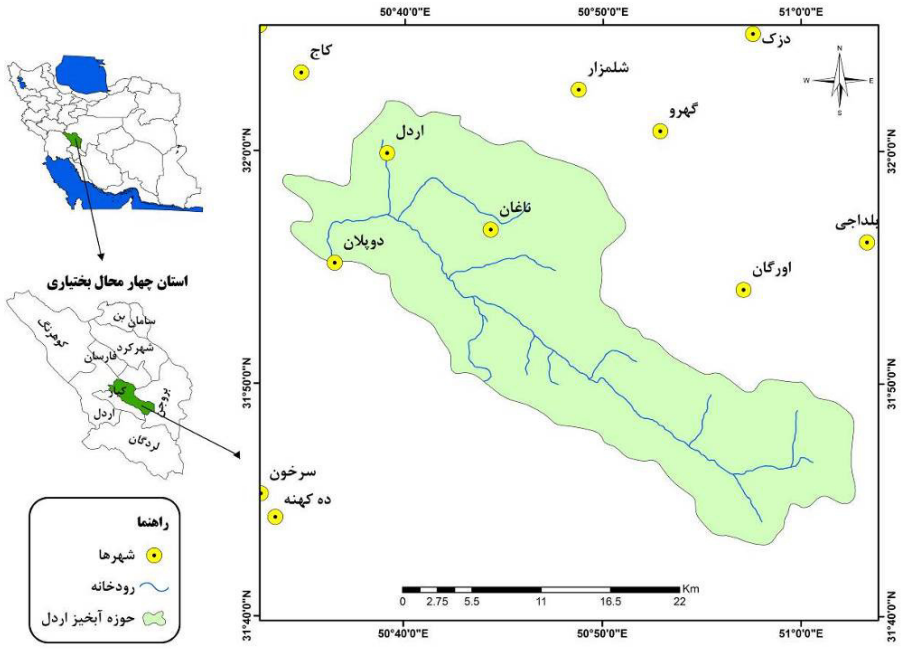
در برخی از این مطالعات روش رگرسیون لجیستکی با انواع دیگری از روش‌ها همانند شبکه عصبی (یسلیناکار و توپال، ۲۰۰۵)، الگوریتم جنگل تصادفی (ترجیلا و همکاران، ۲۰۱۵)، ماشین‌بردار پشتیبان (شیرانی و خوش‌باطن، ۱۳۹۴) تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره *ARM*[3] نیز مقایسه شده‌اند (ارنر و همکاران، ۲۰۱۶) که با توجه به این مقایسه‌ها روش رگرسیون لجستیک نسبت به الگوریتم تصادفی جنگل (ترجیلا و همکاران، ۲۰۱۵) تجزیه و تحلیل تصمیم گیری چند معیاره و *ARM* (ارنر و همکاران، ۲۰۱۷) نتیجه بهتری به دست می‌دهد. لذا هدف از مطالعه حاضر نیز بررسی عوامل موثر بر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اردل در استان چهارمحال بختیاری می‌باشد که با استفاده این مطالعه می‌توان به درک صحیحی از مخاطرات منطقه در راستای اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب رسید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز اردل در محدوده استان چهارمحال بختیاری و در سه شهرستان اردل، کیار و بروجن واقع شده است. بیش‌ترین وسعت این حوضه در محدوده شهرستان کیار واقع شده است. وسعت حوضه مورد مطالعه ۵۹۹۳۵ هکتار و به طور تقریبی در طول جغرافیایی "۵۳ '۳۳ °۵۰ تا "۴۳ '۰۲ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی "۰۰ '۴۳ °۳۱ تا "۰۹ '۰۲ °۳۲ شمالی گسترده شده است. ارتفاع متوسط حوضه از سطح دریا ۲۵۰۰ متر می‌باشد. این حوضه در زون ساختاری زاگرس مرتفع واقع شده و یک محدوده کوهستانی است که به لحاظ تکتونیکی فعال و پویا می‌باشد. توپوگرافی خشن و نزولات جوی به شکل برف و باران، محدوده را برای وقوع زمین‌لغزش مستعد کرده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

[3]. *Association Rule Mining*



شکل ۱. موقعیت جغرافیای حوضه آبخیز اردل در استان چهار محال بختیاری

۲-۲- داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

با توجه به هدف مطالعه در بررسی عوامل موثر بر زمین‌لغزش جهت دستیابی به درک صحیحی از مخاطرات منطقه در راستای اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب، داده‌ها و اطلاعات مورد نظر شامل: تصاویر ماهواره‌ای، عکس هوایی، نقشه پراکنش زمین‌لغزش، نقشه زمین‌شناسی، نقشه توپوگرافی، فاصله از گسل، طبقات ارتفاعی، بارندگی، لیتولوژی، شیب و جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه و جاده‌های ارتباطی می‌باشد؛ که با استفاده از روش رگرسیون لجستیک در حوضه آبخیز اردل، استان چهارمحال و بختیاری مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۲-۱- رگرسیون لجستک

رگرسیون لجیستیک یکی از روش‌های آماری است که برای متغیرهای وابسته که حالت صفر و یک دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این معنی که مقادیر متغیر وابسته (Y) کیفی بوده و همواره دارای دو حالت (وقوع یا عدم وقوع) می‌باشند، در آن صورت بدیهی است که الگوی رگرسیون عادی جوابگو نخواهد بود. در چنین حالتی احتمال رخداد آن (P) برآورد می‌شود که این مدل را رگرسیون لجستیک می‌نامند. در این روش رابطه رگرسیونی به صورت S شکل و غیرخطی است و برآوردها و تخمین‌ها در دامنه‌ای از صفر تا یک قرار می‌گیرند که اعداد نزدیک به صفر نشان‌دهنده احتمال وقوع کمتر و اعداد نزدیک به یک نشان‌دهنده احتمال وقوع بیش‌تر هستند. در رگرسیون لجستیک متغیر وابسته با استفاده از رابطه ۱ بدست می‌آید:

رابطه ۱

$$Y = Logit\,(p) = Ln(\frac{p}{1-p}) = C0 + C1x1 + C2X2 + \cdots + Cnxn$$

که در آن:

Logit: تابع لوجیت یا لگاریتم شانس است که در مدل رگرسیون لوجستیک استفاده می‌شود. همانطور که در رابطه ۱ نشان داده شده، تابع لوجیت به صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه۲

$$Logit\,(p) = Ln(\frac{p}{1-p})$$

P: احتمال رخداد متغیر وابسته (y) است. عددی حقیقی P بین صفر و یک قرار می‌گیرد.

$p/1-P$: نسبت شانس یا احتمال.

C_0: مقدار ثابت می‌باشد.

$(C_1,\ldots C_n)$: ضرایبی هستند که مشارکت عوامل مستقل $(X_1, X_2 X_n,\ldots)$ را برای متغیر Y نشان می‌دهد.

$(X_1,\ldots X_n)$: متغیرهای مستقل هستند.

۲-۳- روش انجام پژوهش

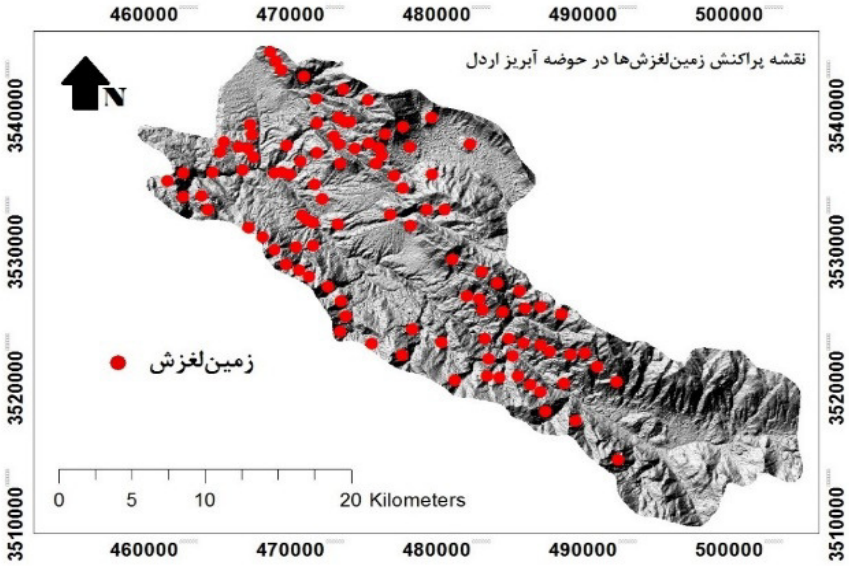
طی این مطالعه ابتدا نقشه پراکنش زمین‌لغزش از طریق گزارشات موجود، عکس‌هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و هم‌چنین بازدید میدانی تهیه شد. سپس نقشه مربوط به هر کدام از فاکتورهای مورد نیاز در روش رگرسیون لجستیک، با استفاده از اطلاعات موجود، تهیه شدند. داده‌هایی که به‌عنوان اطلاعات پایه در تهیه هرکدام از نقشه‌ها استفاده شدند عبارتند از: نقشه‌های زمین‌شناسی حوضه آبخیز اردل و شهرکرد (تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)، عکس هوایی، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور)، تصاویر ماهواره‌ای *Sentinel B*، مدل رقومی ارتفاع (*DEM*) حاصل از سنجنده *ALOS*، آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی.

با استفاده از *DEM* منطقه نقشه طبقات ارتفاعی محدوده مطالعاتی، شیب و جهت شیب تهیه شد. هم‌چنین از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل برای شناسایی خطوط گسلی در محیط نرم‌افزار *Envi5.3* مورد استفاده قرار گرفت و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های فاصله از جاده و فاصله از آبراهه تهیه شدند و سپس با رقومی کردن نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی (تهیه شده بوسیله سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)، علاوه بر نقشه زمین‌شناسی منطقه، نقشه نسبت رسوبات کواترنر نسبت به سایر واحدهای زمین‌شناسی منطقه در محیط نرم‌افزار *ArcGIS 10.5* تهیه شد. در نهایت پس از تهیه فاکتورهای مورد نظر و اعمال ضرایب در روش رگرسیون لجستیک، تاثیر هر عامل بر زمین‌لغزش تعیین و نقشه خطر زمین‌لغزش نسبت به هر فاکتور در منطقه تهیه شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها

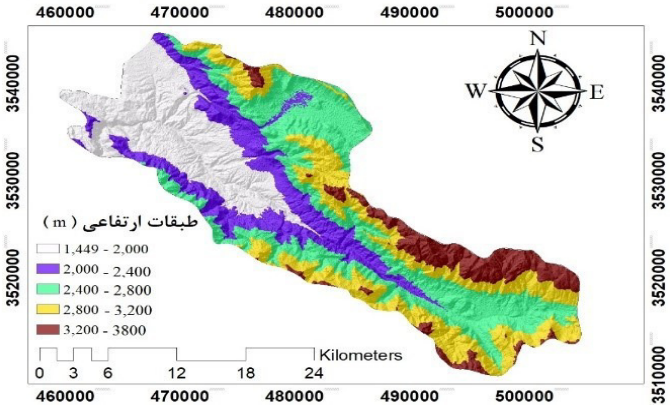
یکی از مهم‌ترین بخش‌های این مطالعه تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه می‌باشد. تهیه سیاهه زمین‌لغزش‌ها یا نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌ها از آن جهت بسیار مهم و کاربردی است که نشان‌دهنده پتانسیل رخداد زمین‌لغزش در منطقه است. با توجه به آن می‌توان حساسیت، خطر و خطرپذیری یک منطقه نسبت به زمین‌لغزش را مشخص کرد. برای تهیه سیاهه زمین‌لغزش‌های منطقه ابتدا با استفاده از عکس‌های هوایی دهه ۱۳۴۰ و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل مناطقی که مشکوک به زمین‌لغزش بودند مشخص شدند. سپس با بررسی‌های صحرایی و گزارشات موجود این محدوده‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. زمین‌لغزش‌ها ۲۳ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه را اشغال می‌کند. شکل ۲ پراکنش زمین‌لغزش‌ها در منطقه را نشان می‌دهد.



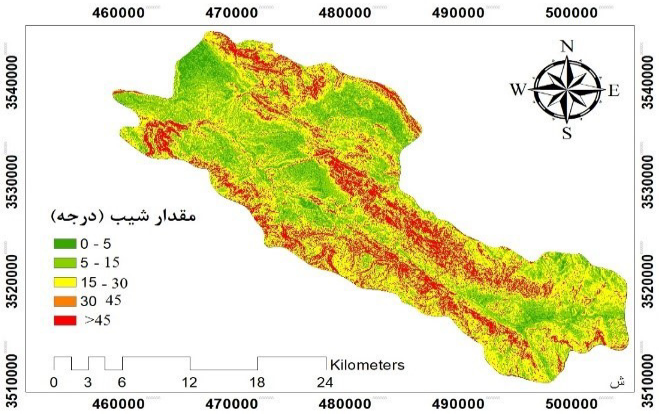
شکل ۲. نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها در حوضه آبخیز اردل

۳-۲- تهیه نقشه فاکتورهای موثر در زمین‌لغزش

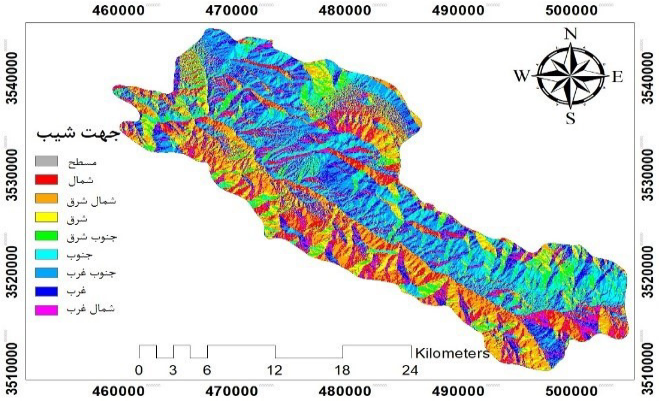
پس از تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش، نقشه مربوط به هر کدام از فاکتورهای مورد نیاز در روش رگرسیون لجستیک، با استفاده از اطلاعات موجود، تهیه شد که شکل‌های ۳ تا ۱۱ نقشه فاکتورهای مورد نظر را نشان می‌دهد. با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب تهیه شد که شکل‌های ۳، ۴ و ۵ به ترتیب طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب را نشان می‌دهد. با استفاده از نقشه توپوگرافی، فاصله از جاده و تراکم زهکشی تهیه شد که شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب فاصله از جاده و آبراهه را نشان می‌دهد. شکل ۸ نقشه پراکنش بارندگی در سطح حوضه آبخیز اردل را نشان می‌دهد.



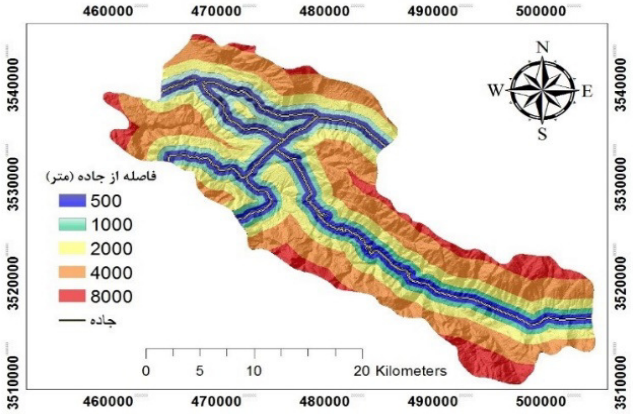
شکل ۳. نقشه طبقات ارتفاعی حوضه اردل



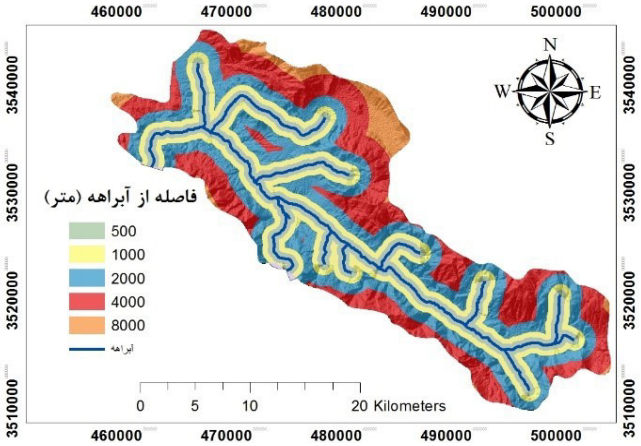
شکل ۴. نقشه شیب حوضه اردل



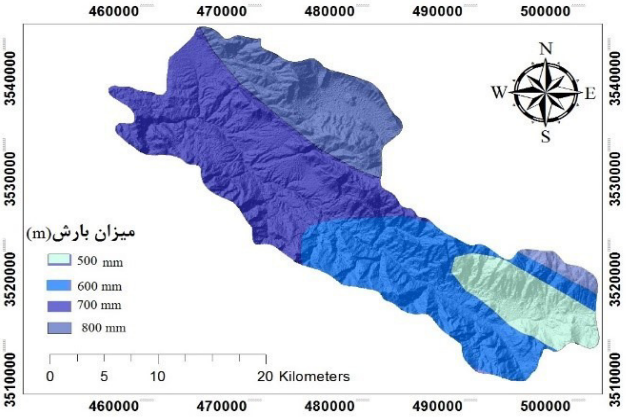
شکل ۵. نقشه جهت شیب حوضه اردل



شکل ۶. نقشه فاصله از جاده حوضه اردل



شکل ۷. نقشه فاصله از آبراهه حوضه اردل



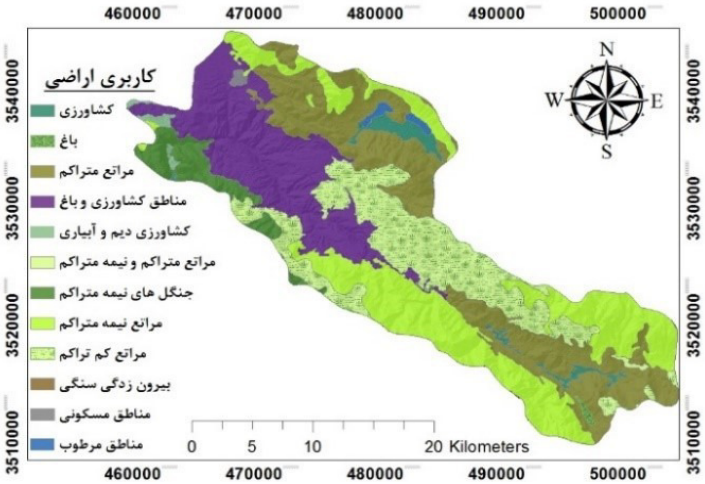
شکل ۸. نقشه پراکنش بارندگی حوضه اردل

همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه زمین‌شناسی، نقشه کاربری اراضی، فاصله از گسل و لیتولوژی تهیه شد که شکل‌های ۹ تا ۱۱ به ترتیب کاربری اراضی، فاصله از گسل و لیتولوژی حوضه آبخیز اردل را نشان می‌دهد.

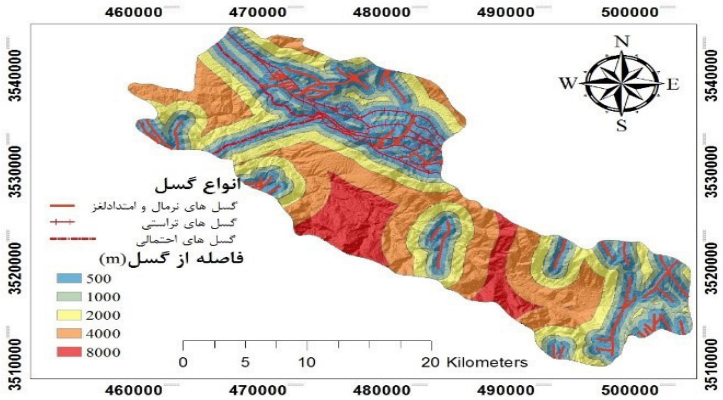
۳-۳- بررسی تاثیر فاکتورها در زمین‌لغزش

مدل رگرسیون لجستیک با ۹ متغیر مستقل، شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، بارندگی، فاصله از گسل، تراکم و فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و کاربری اراضی، برای ارزیابی عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش،

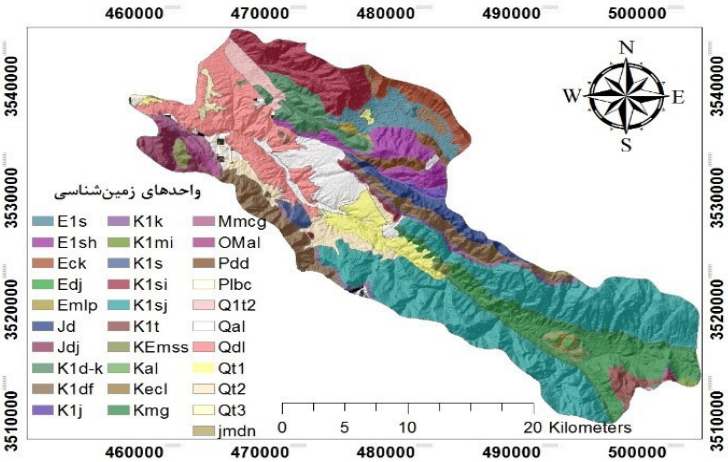
به‌عنوان متغیر وابسته در حوضه آبخیر اردل مورد استفاده قرار گرفت. به طوری که به رویداد زمین‌لغزش به‌عنوان متغیر پاسخ (Y)، دو ارزش صفر به عنوان عدم رویداد و یک به عنوان رخداد زمین‌لغزش تعلق گرفته و سایر فاکتورهای نام برده شده به عنوان فاکتورهای پیشگو (X) در نظر گرفته شده که هرکدام در کلاس‌های مختلف طبقه‌بندی شده است. در نهایت بر اساس ضریب‌های محاسبه شده برای متغیرهای مستقل در روش رگرسیون لجستیک، محدوده مطالعاتی به لحاظ رخداد زمین‌لغزش طبقه‌بندی شد.



شکل ۹. نقشه کاربری اراضی حوضه اردل



شکل ۱۰. نقشه فاصله از گسل حوضه اردل



شکل ۱۱. نقشه لیتولوژی حوضه اردل

از آنجایی که کاربرد روش رگرسیون لجستیک برای نشان دادن دو وضعیت رخداد و عدم رخداد زمین‌لغزش است، بنابراین علاوه بر حدود ۱۰۰ نقطه که زمین‌لغـزش در آن‌ها رخ داده و حدود ۱۰۰ نقطه دیگر به صورت تصادفی در کل منطقه مشخص شد که در آن نقاط زمین‌لغزشی رخ نداده است. پس از همپوشانی نقاطی که در آن‌ها زمین‌لغزش رخ داده و نقاطی که در آن‌ها زمین‌لغزش رخ نداده، با عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش، به آن‌ها کد صفر و یک تعلق گرفت. آنگاه با انجام تجزیه و تحلیل آماری، ضرایبی به کلاس‌های آماری مستقل همبسته با متغیر وابسته اختصاص داده شد. این ضرایب نشان‌دهنده اهمیت هر فاکتور در رخداد زمین‌لغزش می‌باشند (جدول ۱). بر اساس نتایج حاصله از مدل رگرسیون لجستیک (جدول ۱)، موثرترین عوامل در رخداد زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اردل فاصله از آبراهه با ضریب ۰/۱۸۸، کاربری اراضی با ضریب ۰/۱۴۴ و لیتولوژی با ضریب ۰/۱۳۸ می‌باشد. بارندگی با ضریب ۰/۱۳۷ و فاصله از گسل با ضریب ۰/۱۳۷ به ترتیب در درجه بعدی اهمیت قرار می‌گیرند. توپوگرافی، شیب و جهت شیب با ضرایب ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۱ فاکتورهای کم اهمیت در رویداد زمین‌لغزش در ناحیه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۱. ضرایب حاصل از رابطه رگرسیون لجستیک

متغیر مستقل	ضریب C
طبقات ارتفاعی	۰/۰۰۱۰۸
فاصله از گسل	۰/۱۳۷۹۸
لیتولوژی	۰/۱۳۸۱۷
بارندگی	۰/۱۳۷۸۶
کاربری اراضی	۰/۱۴۴۵۰۴
شیب	۰/۰۰۱۰۸
فاصله از آبراهه	۰/۱۸۸۳۸
جهت شیب	۰/۰۰۱۰۸
فاصله از جاده	۰/۱۱۷۳۶
عدد ثابت (C_0)	۴/۷۴۹۷۱

در جدول ۲ میزان ضرایب اثرگذاری هر طبقه از متغیرهای مستقل بر رویداد زمین‌لغزش را نشان می‌دهد. با توجه به این که هرچه فاصله از رودخانه بیش‌تر باشد، احتمال رخداد زمین‌لغزش کاهش می‌یابد، به طوری که در فاصله کمتر از ۵۰۰ متری بیش‌ترین احتمال رخداد زمین‌لغزش وجود دارد و در فاصله بیش‌تر از ۱۰۰۰ متری زمین‌لغزش ضریب اثرگذاری رودخانه‌ها بر رخداد زمین‌لغزش صفر و یا حتی منفی خواهد بود (جدول ۲). همان‌طور که پیش از این ذکر شد، با توجه به ضریب ۰/۱۴۴ برای کاربری اراضی، این فاکتور دومین عامل تاثیرگذار در رخداد زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی است که در جدول (۲) میزان اثرگذاری انواع کاربری اراضی در رخداد زمین‌لغزش نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، برخلاف مناطق مسکونی، باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی، در مراتع بیش‌ترین احتمال رخداد زمین‌لغزش وجود دارد. با توجه به این که که در بیش‌تر موارد زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها در مناطق هموار و یا کم‌شیب قرار می‌گیرند، بنابراین در این کاربری‌های زمین‌لغزش‌های کمتری مشاهده می‌شود. واحـدهای زمین‌شـناسـی مـنطقه بر اسـاس نقـشه زمین‌شناسی به ۵ طبقه واحدهای کرتاسه، ژوراسیک، میوسن، ائوسن و کواترنر تقسیم‌بندی شدند. با توجه به ضرایب تاثیری گذار طبقات زمین‌شناسی در رخداد زمین‌لغزش مشاهده می‌شود که تاثیرگذارترین تشکیلات زمین‌شناسی در رخداد زمین‌لغزش در ناحیه مورد مطالعه لایه تشکیلات کرتاسه و ژوراسیک می‌باشند. و اکثر زمین‌لغزش‌ها در واحدهای آهکی این مناطق اتفاق افتاده است. بین رخداد زمین‌لغزش و تشکیلات کواترنر با توجه به منفی بودن ضریب منفی آن رابطه مثبتی وجود ندارد. به عبارتی این تشکیلات نقشی در رخداد زمین‌لغزش ندارند.

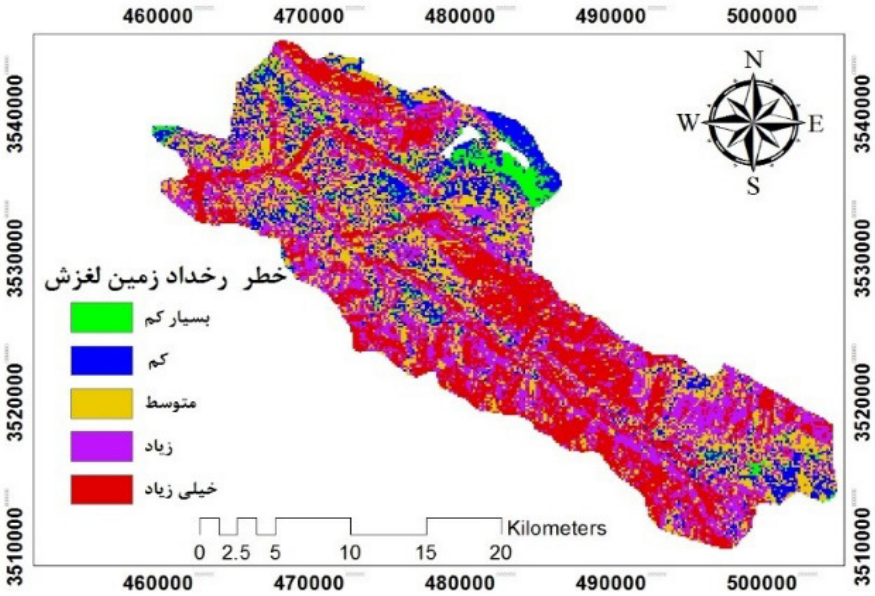
پس از اعمال ضرایب به دست آمده از مدل به طبقات متغیرهای مستقل در نرم‌افزار *ArcGIS 10.5* نقشه احتمال رخداد زمین‌لغزش تهیه شد (رابطه ۲). با تلفیق این نقشه با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه و تهیه هیستوگرام درصد فراوانی زمین‌لغزش‌ها در محدوده مورد مطالعه، محدوده به ۵ کلاس در حساسیت به زمین‌لغزش تقسیم‌بندی شد (شکل ۱۲). مشاهده می‌شود که درصد زیادی از محدود مطالعاتی در معرض خطر زیاد زمین‌لغزش قرار دارد.

رابطه ۲:

$$Logit\ (LANDSLIDE) = 4.74971 + (0.00108163\times Aspect) + (0.00108163\times Altitute) + (0.137987229\times Fault) + (0.138175642\times Geology) + (0.14450404\times Landuse) + (0.137863432\times Rain) + (0.117362525\times Road) + (0.00108163\times Slope)$$

جدول ۲. میزان ضرایب اثرگذاری هر طبقه از متغیرهای مستقل بر رویداد زمین‌لغزش

فاصله از رودخانه (متر)		فاصله از جاده (متر)		فاصله ازگسل (متر)	
طبقه	ضریب	طبقه	ضریب	طبقه	ضریب
۵۰۰	۰/۶۳۱۲	۵۰۰	-۰/۱۳۷۸	۵۰۰	-۰/۳۴۸۶
۱۰۰۰	۰/۱۹۶۶	۱۰۰۰	۰/۰۳۷۳۱	۱۰۰۰	۰/۱۳۳۲
۲۰۰۰	-۰/۱۹۲۱	۲۰۰۰	۰/۰۱۱۳۱	۲۰۰۰	۰/۰۴۸۷۹
۴۰۰۰	۰/۱۶۱۱	۴۰۰۰	۰/۰۷۴۲	۴۰۰۰	۰/۰۳۷۱۸
۸۰۰۰	-۱/۲۴۳۹	۸۰۰۰	-۰/۲۱۷۵	۸۰۰۰	۰/۰۳۲۸
طبقات ارتفاعی (متر)		**جهت شیب**		**مقدار شیب (درجه)**	
طبقه	ضریب	طبقه	ضریب	طبقه	ضریب
۱۴۴۹-۲۰۰۰	۰/۱۱۶۲	مسطح	-۱/۱۷۵۳	۰-۵	-۰/۸۸۶۵۰
۲۰۰۰-۲۴۰۰	-۰/۱۸۳۸	شمال شرق	-۰/۱۹۸۴۴	۵-۱۵	-۰/۳۸۳۶۶
۲۴۰۰-۲۸۰۰	۰/۰۲۹۶	جنوب شرق	۰/۳۶۶۶	۱۵-۳۰	۰/۰۷۴۹۰۵
۲۸۰۰-۳۲۰۰	۰/۰۱۴۴	جنوب غرب	۰/۰۲۲۱۵	۳۰-۴۵	۰/۲۶۵۶۲
۳۲۰۰-۳۸۰۰	-۰/۴۶۵۴۸	شمال غرب	۰/۹۵۱۶۶	۴۵-۷۷.۶۵	۰/۱۹۷۲۸۸
واحدهای زمین‌شناسی		**کاربری اراضی**		**شدت بارندگی (میلیمتر)**	
طبقه	ضریب	طبقه	ضریب	طبقه	ضریب
ائوسن	-۰/۵۱۴۷۱۴	کشاورزی	-۰/۸۵۱۷۳	۶۰۰	۰
ژوراسیک	۰/۱۹۹۱۸	باغ	-۰/۲۹۶۴۶	۵۰۰	-۰/۶۱۸۶۱
کرتاسه	۰/۰۷۷۵۲	مراتع	۰/۰۲۵۴۹	۷۰۰	-۰/۰۱۳۶۲
میوسن	-۰/۴۶۹۴۹	مناطق مسکونی	-۰/۴۲۱۱۴	۸۰۰	۰/۰۰۹۷
کواترنر	-۰/۲۶۰۵۱۵	آب	۰	۹۰۰	۰/۰۷۲۶۷۷



شکل ۱۲. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با روش رگرسیون لجستیک

۳-۴- مقایسه نتایج

براساس نتایج حاصل از جدول ۱ و فاکتورهای تاثیرگذار در رخداد زمین‌لغزش، مطالعه حاضر از لحاظ تاثیر فاکتور کاربری اراضی با مطالعه همتی و حجازی (۱۳۹۶) مطابقت بیش‌تر و از لحاظ فاصله از گسل به عنوان فاکتور چهارم، با مطالعه خالدی و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت کمتری را نشان می‌دهد و گویای این می‌باشد که تاثیرگذاری هر فاکتور در ایجاد زمین‌لغزش با توجه به نتایج آنان، در هر منطقه متفاوت می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس مدل تهیه شده از بین فاکتورهای مورد بررسی در رخدادهای زمین‌لغزش محدوده مورد مطالعه سه فاکتور فاصله از رودخانه، کاربری‌اراضی و زمین‌شناسی بیش‌ترین نقش را در رخداد زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی ایفا می‌کنند. از بین تشکیلات زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی، بیش‌ترین سهم ایجاد زمین‌لغزش به تشکیلات ژوراسیک و کرتاسه مربوط می‌شود. اما ضرایب بدست آمده از مدل اجرا شده و پراکندگی زمین‌لغزش‌ها در رسوبات کواترنری، نشان می‌دهد که رسوبات کواترنری در رخداد زمین‌لغزش نقش زیادی ندارند. رسوبات کواترنری بیش‌تر در دشت‌هایی با شیب کم گسترش دارند، بنابراین رخداد زمین‌لغزش در این رسوبات کمتر مشاهده می‌شود. بیش‌ترین زمین‌لغزش‌ها در شیب‌های بیش‌تر از ۴۵ درجه اتفاق افتاده که این شیب بیش‌تر در مناطق کوهستانی دارای تشکیلات زمین‌شناسی کرتاسه و ژوراسیک به چشم می‌خورد. هم‌چنین این رسوبات اکثرا به وسیله زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها و مناطق شهری پوشیده شده و بنابراین بر خلاف انتظار، در حوزه مطالعاتی مورد نظر، رخداد زمین‌لغزش و رسوبات کواترنر رابطه عکس با هم دارند. عوامل دیگری همچون فرسایش آبی و نوع کاربری اراضی می‌تواند نقش موثرتری در ایجاد لغزش در منطقه ایفا کنند. البته آن چه که لازم است در این خصوص بیش‌تر مورد توجه قرار گیرد، این است که به دلیل پوشش گیاهی و شهری ممکن است زمین‌لغزش‌ها در این گونه کاربری‌ها به خوبی قابل شناسایی نباشند و بنابراین نقش رخداد زمین‌لغزش در این گونه مناطق منفی باشد. لذا پیشنهاد می‌شود برای شناسایی زمین‌لغزش‌ها در این گونه مناطق از ابزارهای کارآمدتری همانند تصاویر رادار استفاده شود تا نتایج به واقعیت نزدیک‌تر باشند.

منابع

بیرانوند، ح.، سیف، ع. و شاهرخوندی، س. م (۱۳۹۲) پالئوژئوگرافی و تحولات ژئومورفولوژیک دریاچه قدیمی سیمره، مجله جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، شماره ۶، ص: ۱۱۰-۹۷ .

خالدی، ش. خ.، درفشی، ا.، مهرجونژاد، س.، قره‌چاهیوش.، خ (۱۳۹۱) ارزیابی عامل‌های موثر در رویداد زمین‌لغزش. پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محیط *GIS* (مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱، ص: ۸۲-۶۵.

شیرانی، ک.، خوش باطن، م (۱۳۹۴) بررسی زمین‌لغزش‌های فعال دوره کواترنر با استفاده از روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری، اولین همایش ملی کاربرد علوم کواترنری در شناخت فرایندهای محیطی و دومین همایش انجمن کواترنری ایران، دانشگاه اصفهان.

شریعت‌جعفری، م (۱۳۷۵) زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)، انتشارات سازه، ص: ۲۱۸.

شیرانی، ک.؛ عرب عامری، ع (۱۳۹۴) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال نوزدهم، شماره ۷۲، ص:۳۳۴-۳۲۱.

محمودی، فرج ا... (۱۳۸۲) ژئومورفولوژی دینامیک، انتشارات دانشگاه تهران.

همتی، ف. و حجازی، س. ا (۱۳۹۶) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز لواسانات، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال هفدهم، شماره ۴۵، ص: ۲۴-۷.

Erener, A., Mutlu, A., Düzgün, H. S (2016) A 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.

Erener, A., Sivas, A. A., Selcuk-Kestel, A. S., Düzgün, H. S (2017) Analysis of training sample selection strategies for regression-based quantitative landslide susceptibility mapping methods. Computers and Geosciences, 104: 62-74.

Hemasinghe, H., Rangali, R. S. S., Deshapriya, N. L., Samarakoon, L (2018) Landslide susceptibility mapping using logistic regression model (a case study in Badulla District, Sri Lanka). Procedia engineering, 212: 1046-1053.

Lombardo, L., Mai, P. M (2018) Presenting logistic regression-based landslide susceptibility results. Engineering Geology, 244: 14-2.

Schlögel, R., Marchesini, I., Alvioli, M., Reichenbach, P., Rossi, M., Malet, J. P (2018) Optimizing landslide susceptibility zonation: Effects of DEM spatial resolution and slope unit delineation on logistic regression models. Geomorphology, 301: 10-20.

Trigila, A., Iadanza, C., Esposito, C., Scarascia-Mugnozza, G (2015) Comparison of logistic regression and random forests techniques for shallow landslide susceptibility assessment in Giampilieri (NE Sicily, Italy). Geomorphology, 249: 119-136.

Yesilnacar, E., Topal, T (2005) Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). Engineering Geology, 79(3-4): 251-266.

Investigating the Effective Factors in Landslides Creation in the Ardal Basin (Chaharmahal Bakhtiari Province) Using Regression Logistic

A. Madadi[1], M. Marhamat[*2] and S. P. Nainiva[3]

1, 2- Dept., of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil
3- Dept., of Watershed Management Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resource

** meri.marhamat90@gmail.com*

Recieved: 2019/6/6 Accepted: 2020/1/14

Abstract

Considering the important role of Landslides in watersheds, the present study has investigated the effective factors in landslide occurrence in Ardal watershed, Chaharmahal Bakhtiari province. In this research, landslide inventory map was prepared using satellite images, aerial photos and field investigation. At the same time, maps of the effective factors in the landslide event were prepared. Slope, direction of gradient, height, lithology, rainfall, distance from fault, river density, distance from road and land use were selected as factors affecting landslide occurrence. Logistic regression method has been used in GIS environment to prepare landslide sensitivity map. Using these factors and land inventory map, landslide susceptibility and the significance of each selected factor for landslide occurrence in the area, were identified by logistic regression method. The results showed that "distance from the river", "land use" and lithology are considered as the most important factors influencing the landslide occurrence in the region.

Keywords*: Landslide, Logistic regression, Quaternary sediments, Ardal basin.*