

مقایسه مدل‌های رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و انتروپی در پهنه‌بندی احتمال وقوع لغزش ترانشه‌های جاده جنگلی

عقیل مرادمند جلالی^۱، رامین نقدی^{۲*}، اسماعیل قجر^۳ و حمیدرضا پورقاسمی^۴

^۱ دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا

^۲ استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا

^۳ استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۱۵)

چکیده

پژوهش حاضر، به مقایسه کارایی سه مدل آماری رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و انتروپی در مدل‌سازی حساسیت به لغزش در ترانشه‌های جاده‌های جنگلی در حوزه‌های ۲۴ و ۲۵ (ملک‌رود و شن‌رود) در استان گیلان پرداخته است. بدین منظور جاده‌های دو حوزه پیمایش شد و ۸۴۴ مورد لغزش از مساحت ۰/۱۴ تا ۳۱۳/۵ متر مربع شناسایی شد. ۵۹۱ لغزش (۷۰ درصد) به صورت تصادفی برای مدل‌سازی و ۲۵۳ لغزش (۳۰ درصد) برای اعتبارسنجی استفاده شدند. لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر لغزش تهیه و سپس نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت لغزش به سه روش یادشده شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که روش رگرسیون لجستیک با سطح زیرمنحنی ۷۴/۶ درصد در مقایسه با مدل‌های نسبت فراوانی با ۶۸/۲ درصد و انتروپی با ۶۵/۵ درصد، صحت بیشتری داشته است. همچنین براساس مدل رگرسیون لجستیک عوامل فاصله از گسل و شیب بیشترین تأثیر را بر وقوع لغزش داشته‌اند. طبق نتایج مدل رگرسیون لجستیک میزان جاده‌های موجود در مناطق لغزشی با خطر زیاد و خیلی زیاد، ۴/۳۲ کیلومتر مربع (۴۳/۲۵ درصد) بوده و ۵۱/۳۸ درصد از مساحت منطقه تحقیق نیز در این طبقات قرار گرفته‌اند. نتایج حاکی از آن است که با وجود در نظر نگرفتن وضعیت روسازی در پژوهش حاضر، درصد زیادی از جاده‌های موجود در معرض فروپاشی ترانشه‌ها قرار داشته و به بودجه مناسب برای عملیات نیاز دارند که با توجه به رویکرد جدید توقف بهره‌برداری و درآمدزا نبودن طرح‌های جایگزین حفاظتی، نشان‌دهنده خطر بزرگی برای تأسیسات مهندسی جنگل است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری جنگل، زمین لغزش، شیب، فاصله از گسل، منحنی ROC.

مقدمه

اثرهای منفی حاصل از طراحی غیراصولی بر محیط زیست و حیات وحش، دارای حساسیت زیاد از نظر اقتصادی، زیست‌محیطی و افکار عمومی هستند. زمین لغزش‌ها از انواع مخرب فرسایش در دامنه‌ها هستند. فرسایش همانند پدیده‌های سیل، زمین‌لرزه و

جاده‌های جنگلی از ساختارهای مهم مهندسی و از زیرساخت‌های مهم برای مدیریت مناطق جنگلی به‌شمار می‌آیند. شبکه جاده جنگلی به‌علت هزینه‌های سنگین طراحی، احداث، تعمیر و نگهداری و نیز

آتشفشان از بلایای طبیعی مهم به‌شمار می‌رود که موجب ایجاد خسارت‌های مالی و جانی در جاده‌ها می‌شود (Koehorst et al., 2005). امروزه لغزش بیشتر از اینکه جنبه طبیعی داشته باشد، تحت تأثیر عوامل انسانی است. از عوامل انسانی مؤثر در وقوع لغزش می‌توان به جاده‌سازی اشاره کرد. کمی کردن فرسایش خاک، از بزرگ‌ترین چالش‌ها در مدیریت و حفاظت خاک و طبعاً مطالعات منابع طبیعی و طرح‌های محیط زیست است و توجه به آن در بخش‌های مختلف پروژه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی و جاده‌سازی به‌ویژه طرح‌های مدیریت جامع منابع آب و خاک و توسعه آبخیز ضروری است. شناسایی، مهار، پیش‌بینی و پیشگیری از خسارات و تلفات جانی و اقتصادی-اجتماعی ناشی از خطرهای طبیعی مانند لغزش از مباحث مهم علوم منابع طبیعی به‌شمار می‌رود (Valstad & Anderson, 2005). همچنین پایش احتمال وقوع این پدیده در ترانسه‌های جاده‌های جنگلی موجب شناسایی مناطق پرخطر و تدارک اقدامات پیشگیرانه از جمله ایجاد ابنیه فنی مناسب در این مناطق خواهد بود. به‌طور کلی پهنه‌بندی حساسیت و خطر لغزش به روش‌های گوناگونی صورت می‌پذیرد که از جمله آنها در این پژوهش، مدل انتروپی، نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک است. مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور با بررسی دلایل وقوع لغزش با یکی از مدل‌های یادشده صورت گرفته است. (Shirani & Arabameri, 2015) پژوهشی با هدف شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد پدیده زمین‌لغزش و تعیین مناطق دارای پتانسیل زمین‌لغزش در حوزه دز علیا با استفاده از روش رگرسیون لجستیک انجام دادند. با توجه به مقدار ضرایب به‌دست‌آمده می‌توان گفت که لایه طبقه‌های ارتفاعی مهم‌ترین عامل در وقوع لغزش در منطقه تحقیق است. مقدار منحنی ROC^۱ نیز برابر ۰/۹۱۷

به‌دست آمده است که صحت زیادی را نشان می‌دهد. Eker & Aydın (2016) در ارزیابی لغزش جاده‌های جنگلی در مناطق گالیکا و کاردوز ترکیه با استفاده از رگرسیون لجستیک به این نتیجه رسیدند که بیش از ۹۵ درصد از مساحت کل منطقه در طبقه‌های حساسیت بسیار کم و کم‌لغزش واقع شده است، با توجه به تجزیه و تحلیل از ۳۸۰/۸ کیلومتر جاده موجود در منطقه ۱/۳ کیلومتر از جاده‌های جنگلی در داخل حساسیت بسیار زیاد بوده است. (Hong et al., 2016) به‌منظور مدل‌سازی مکانی زمین لغزش در شهر گوانگژو^۲ چین از چهار مدل تئوری تابع اطمینان، نسبت فراوانی، ماکزیمم انتروپی و رگرسیون لجستیک استفاده کردند. نتایج صحت‌سنجی مدل‌ها نشان داد که مدل رگرسیون لجستیک با سطح زیرمنحنی ۰/۸۲ بیش‌ترین صحت را داشته است. (Aditian et al., 2018) در پژوهشی به مقایسه حساسیت به زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی، رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی کشور اندونزی پرداختند و هشت عامل مؤثر زمین‌لغزشی از جمله ارتفاع، زاویه شیب، شکل شیب، نزدیکی به شبکه جریان، سنگ‌شناسی، زمین‌شناسی، نزدیکی به گسل‌ها و فاصله از جاده را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که شبکه عصبی مصنوعی با سطح زیرمنحنی ۷۳/۴ درصد در مقایسه با دیگر مدل‌های رگرسیون لجستیک با ۶۶/۷ درصد و نسبت فراوانی با ۶۶/۸ درصد، صحت پیش‌بینی بیشتری را به‌خود اختصاص داده است. (Nsengiyumva et al., 2019) به مقایسه روش‌های احتمالاتی و آماری در مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش در شرق آفریقا پرداختند و در این بررسی مدل‌های وزن واقعه، رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و منحنی آماری را به‌کار بردند و به این نتیجه رسیدند که وزن واقعه با سطح زیرمنحنی ۹۲/۷ درصد در مقایسه با دیگر مدل‌های رگرسیون

1. receiver operating characteristics
2. Guangzhou

و عرض شمالی $36^{\circ} 55'$ تا $37^{\circ} 09'$ واقع شده است. محدوده ارتفاعی، ۱۰۰ تا ۲۱۰۰ متر و میانگین بارش و دمای سالیانه به ترتیب ۱۵۷۸ میلی‌متر و $14/4$ درجه سانتی‌گراد است. حوزه ۲۵ دارای هفت سری (سری یک توتکی، سری دو لونک، سری سه توشی، سری چهار باباکوه، سری پنج رنگال، سری‌های شش و هفت شنرود) به مساحت $18961/07$ هکتار و حوزه ۲۴ هم دارای هفت سری (سری‌های یک و دو راداریشته، سری‌های شش و هفت ملک‌رود، سری چهار شیر قلایع، سری یک مادرسرا، سری دو اشکراب) به مساحت $19655/64$ هکتار است. در مجموع $99/573$ کیلومتر جاده جنگلی در این دو حوزه موجود است. این جاده‌ها تا سال ۱۳۹۶ به صورت سالانه توسط مجریان طرح مرمت و تعمیر می‌شد و از سال ۱۳۹۶ به بعد با اجرای طرح تنفس جنگل، عملیات مرمت جاده‌ها متوقف شد (شکل ۱).

شیوه اجرای پژوهش

اولین گام در تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت لغزش در منطقه تحقیق، تهیه نقشه پراکنش لغزش‌های منطقه است. به همین منظور جاده‌های کل حوزه، پیمایش زمینی شد و موقعیت و نقاط لغزشی با استفاده از GPS MAP 64s ثبت شد. ذکر این نکته ضروری است که براساس مطالعات، مؤثرترین فاصله‌ای که می‌توان وقوع لغزش را به وجود جاده نسبت داد فاصله ۱۰۰ متر از جاده است (Jadda et al., 2009)، ولی در تحقیق حاضر همه لغزش‌هایی که دقیقاً از بالای ترانشه‌های جاده جنگلی تا حداکثر فاصله ۸ متری و به طور مشهود اتفاق افتاده بود ثبت شد. سپس موقعیت مکانی لغزش‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به صورت یک لایه نقطه‌ای بازتولید شد (تعداد نمونه‌های لغزشی برداشت شده ۸۴۴ نمونه) (شکل ۱). سپس اطلاعات و لایه‌های رستری شامل درجه شیب، شکل شیب، جهت جغرافیایی، فاصله از آبراهه و ارتفاع از سطح

لجستیک با $86/9$ درصد، نسبت فراوانی با $81/2$ درصد و منحنی آماری با $79/5$ درصد، صحت پیش‌بینی بیشتری دارد. (Demir (2019 به ارزیابی حساسیت به لغزش مناطق آناتولی شمالی ترکیه با استفاده از منحنی‌های انتروپی و نسبت فراوانی پرداخت و عوامل مؤثر بر لغزش از جمله شیب، شکل شیب، ارتفاع، فاصله تا گسل‌ها، فاصله تا آبراهه‌ها و مسافت تا جاده را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که مدل‌های نسبت فراوانی و انتروپی به ترتیب با سطح زیرمنحنی $75/71$ و $75/43$ درصد، مدل نسبت فراوانی کمی بهتر از مدل انتروپی است و همچنین حدود $32/54$ درصد از منطقه تحقیق در طبقه‌های مستعد به خطر لغزش بسیار زیاد و زیاد قرار دارند و عوامل فاصله از جاده و فاصله از گسل، تأثیر اصلی در وقوع لغزش و رانش در منطقه داشته‌اند. با توجه به مطالعات یادشده، تحقیقات فراوانی در خصوص لغزش انجام گرفته، ولی در مورد لغزش جاده‌های جنگلی تحقیقات کمی صورت پذیرفته است. براساس این تحقیق، با پهنه‌بندی حساسیت وقوع لغزش‌ها با سه روش ذکر شده می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر را شناسایی کرد. بنابراین برآورد این حساسیت با توجه به اینکه در سال‌های اخیر، طرح‌های جنگلداری در استان‌های شمالی متوقف و طرح‌های حفاظتی (بدون هیچ‌گونه درآمدزایی) جایگزین شده، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌توان با بیان این برآورد به عنوان آسیبی جدی، از مسئولان خواست در این زمینه چاره‌اندیشی کنند و اتخاذ تمهیدات لازم را در زمینه اعمال مجدد هزینه‌های تعمیر و نگهداری در جاده‌های جنگلی موجود بیندیشند.

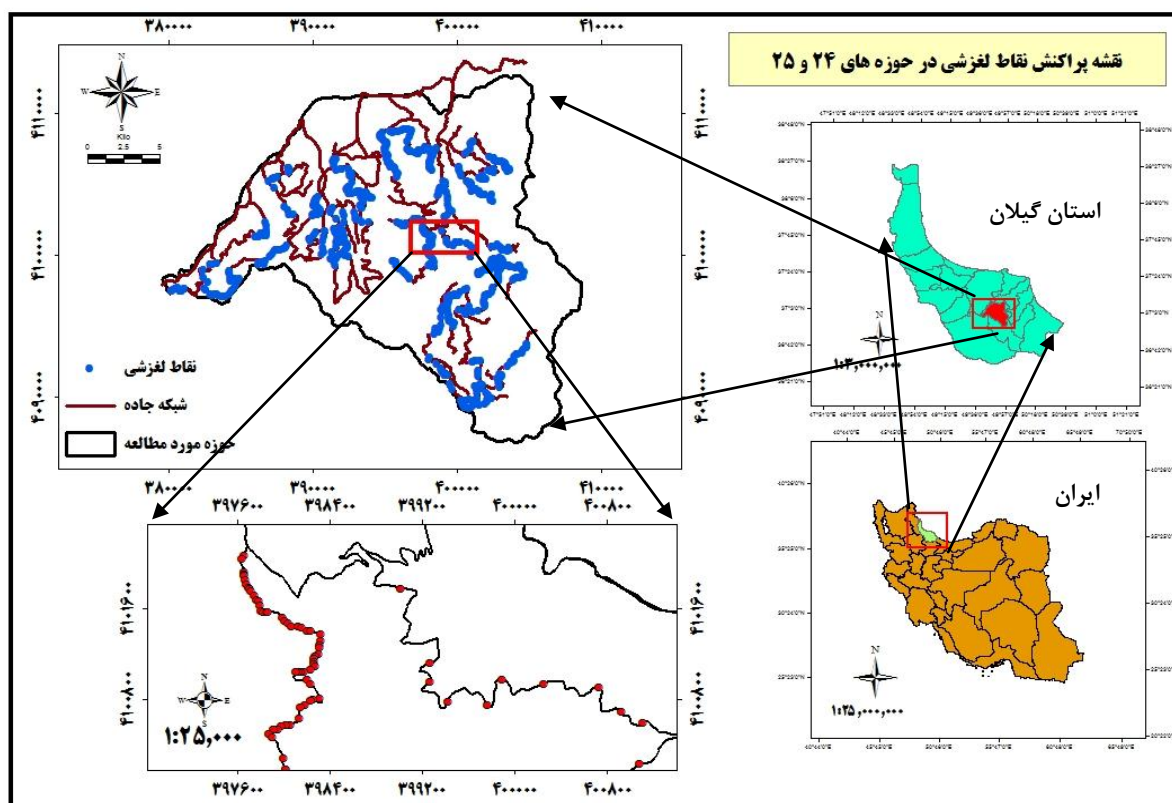
مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

منطقه تحقیق در دو حوزه آبخیز ۲۴ و ۲۵ (ملک‌رود و شن‌رود) در شهرستان‌های سیاهکل و رودبار با مختصات طول شرقی $49^{\circ} 38'$ تا $49^{\circ} 58'$

زمین‌شناسی کشور، خاک‌شناسی و فاصله از گسل از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری تهیه و در محیط ArcGIS طبقه‌بندی شد (جدول ۱).

دریا از DEM (۱۰×۱۰ متری، تهیه‌شده از سازمان نقشه‌برداری کشور) استخراج شده و لایه‌های زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان



شکل ۱- نقاط لغزشی برداشت‌شده حاشیه جاده‌های جنگلی موجود در حوزه تحت بررسی

جدول ۱- مشخصات لایه‌های زمین‌شناسی و خاک‌شناسی حوزه تحت بررسی

مشخصات تپ خاک (پدولوژی)		مشخصات زمین‌شناسی	
زیر واحد اراضی	علائم	نماد اختصاری	توضیحات
تپ خاک قهوه‌ای شسته‌شده جنگلی	۱.۵.۳	کوآترنری	رسوبات سیلابی مخروطه افکنه
تپ خاک قرمز پدزولیک	۲.۵.۳	کرتاسه	خاکستر آتشفشانی تجزیه‌شده و آگلومرا
تپ خاک قهوه‌ای شسته‌نشده با پسدوگلی	۲.۵.۴	تریاس	تناوبی از شیل و ماسه‌سنگ به‌رنگ خاکستری
تپ خاک راندزین همراه با قهوه‌ای جنگلی	۱.۵.۱	ژوراسیک	کریستال‌های شکسته‌شده توف در پایه
تپ خاک قهوه‌ای جنگلی	۱.۵.۲	ژوراسیک	سنگ‌های آتشفشانی دیوریت و گابره
تپ خاک رانکر همراه با قهوه‌ای اسیدی	۲.۵.۱	ژوراسیک	تناوبی از سنگ آهک‌های مارتی - ماسه‌ای، مارن
خاک قهوه‌ای جنگلی به‌همراه رانکر در اراضی شیب‌دار	۲.۵.۲	ژوراسیک	سنگ‌های تجزیه شده داسیت و آندزیت
تپ خاک قهوه‌ای شسته‌شده جنگلی	۱.۵.۴	کرتاسه	آهک با لایه‌بندی متوسط تا ضخیم
تپ خاک قهوه‌ای شسته‌شده با افق پدزول شده	۵.۵.۲	کوآترنری	رسوبات قدیمی

- مدل احتمالاتی نسبت فراوانی (FR)^۲

در این مدل، پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و طبقه‌بندی آنها، تعداد پیکسل‌های مربوط به هر طبقه و درصد آن با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تعیین می‌شود. سپس فراوانی لغزش‌های رخ داده در هر طبقه نیز با هم‌پوشانی نقشه پراکنش لغزش‌ها مشخص و درصد لغزش‌ها نیز محاسبه می‌شود. نسبت فراوانی از تقسیم درصد لغزش در هر طبقه به درصد پیکسل‌های همان طبقه به دست می‌آید. در نهایت، ضرایب نسبت فراوانی هر طبقه از عوامل مؤثر طبق رابطه ۱ محاسبه و منحنی حساسیت پذیری لغزش جاده با هم جمع می‌شود و برپایه آن نقشه نهایی پهنه‌بندی حساسیت لغزش جاده به دست می‌آید (Shirzadi et al., 2006).

N landslide: تعداد پیکسل‌های لغزشی هر طبقه،
N class: تعداد پیکسل‌های هر طبقه،
N total landslide: تعداد کل پیکسل‌های لغزشی
نقشه، N map: تعداد کل پیکسل‌های نقشه (رابطه ۱):

$$Fr = \frac{\frac{N_{landslide}}{N_{class}}}{\frac{N_{total, landslide}}{N_{map}}} \quad \text{رابطه ۱}$$

- مدل انتروپی (E)^۳

برای استفاده از این مدل، ابتدا باید ماتریس تصمیم‌گیری ایجاد شود. ماتریس تصمیم‌گیری حاوی اطلاعاتی است که انتروپی می‌تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی آن به کار رود و با محاسبه ماتریس انتروپی و وزن کل عوامل (Wj)، مقدار Hi به عنوان ضریب وقوع حساسیت لغزش به دست می‌آید (Jaafari et al., 2014). پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و هم‌پوشانی لغزش‌های رخ داده و عوامل مؤثر، وزن هر طبقه و همچنین نقش هر عامل در وقوع لغزش براساس رابطه‌های زیر

عامل شدت بارش به دلیل نبود ایستگاه‌های باران‌سنجی به تعداد مناسب در منطقه به منظور درون‌یابی یا مدل‌سازی براساس ارتفاع و تولید نقشه هم‌باران بوده است که به ناچار در نظر گرفته نشد. در مرحله بعد با استفاده از ۷۰ درصد از نقاط لغزشی برداشت‌شده مدل‌سازی با روش‌های رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و بیشینه انتروپی برای منطقه تحقیق انجام گرفت و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر لغزش ترانسه‌ها در پنج طبقه خطر (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تهیه شد. در مرحله آخر، با استفاده از ۳۰ درصد نقاط لغزشی باقی‌مانده، نتایج سه روش یادشده توسط منحنی ROC اعتبارسنجی و مقدار صحت آنها ارزیابی شد. به منظور ارزیابی وضعیت موجود شبکه جاده‌های جنگلی منطقه، لایه رقومی جاده‌های حوزه‌های تحت بررسی با هم‌پوشانی روی نقشه پهنه‌بندی منتج از مدل با صحت بیشتر قرار داده شد و مقدار خطر لغزش در حاشیه جاده‌های جنگلی بررسی شد.

مدل‌سازی خطر لغزش ترانسه جاده‌های جنگلی

- مدل رگرسیون لجستیک (LR)^۱

کاربرد رگرسیون لجستیک، تعیین احتمال رخداد هر یک از سطوح متغیر کیفی دوحالته برپایه متغیرهای مستقل است و شرایط استفاده از آن به گونه‌ای است که متغیر وابسته، یک متغیر کیفی دوحالته است (Iswar et al., 2010). متغیر وابسته حضور و بدون حضور لغزش در هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای مستقل شامل درجه شیب، جهت و انحنای شیب، ارتفاع از سطح دریا، زمین‌شناسی، ویژگی‌های خاک، فاصله تا آبراهه و فاصله از گسل است که برپایه ضرایب به دست آمده از پردازش آماری و معادله احتمال رخداد برای لغزش منطقه تحقیق فرموله می‌شود و نقشه نهایی پهنه‌بندی حساسیت لغزش جاده برپایه آن ساخته می‌شود (Pradhan & Lee, 2009).

1. Logistic regression
2. Frequency ratio
3. Entropy

مساحت زیرمنحنی یا AUC^۱ دارای مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ است و از آن برای ارزیابی صحت مدل استفاده می‌شود (Nandi & Shakoor, 2009). مجموعه نقاط لغزشی به‌طور تصادفی به دو گروه ۷۰ درصد برای مدل‌سازی (۵۹۱ موقعیت) و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی (۲۵۳ موقعیت) تقسیم شدند. در این مرحله از ۲۵۳ موقعیت لغزشی در محیط GIS به‌منظور اعتبارسنجی نقشه‌های نهایی توسط منحنی ROC استفاده شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار SPSS 22 انجام گرفت.

نتایج

- نقشه‌های عوامل مؤثر بر وقوع لغزش

لایه‌های رستری فاصله از گسل و فاصله از آبراهه، شیب، شکل شیب، جهت، ارتفاع از سطح دریا (از روی DEM ۱۰×۱۰ متر)، سنگ‌شناسی، خاک‌شناسی به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع لغزش در منطقه شناسایی و در شکل ۲ ارائه شده است.

- بررسی ارتباط مکانی بین لغزش‌ها و عوامل

مؤثر با استفاده از مدل‌های مختلف

نتایج ارتباط مکانی عوامل مؤثر بر وقوع لغزش و لغزش‌های رخ داده در جدول ۲ ارائه شده است. در مدل رگرسیون لجستیک پس از معرفی عوامل مستقل (هشت عامل) و عامل وابسته (واحدهای همگن دارای کد لغزشی ۰ و ۱) به نرم‌افزار SPSS معادله به‌شکل زیر به‌دست آمد (رابطه ۸):

رابطه ۸

$$\begin{aligned} \text{Logi(Dependent)} = & -0.856 + (-.256 * F) \\ & + (.144 * R) + (-.005 * G) \\ & + (.133 * S) + (-.049 * C) \\ & + (.068 * A) + (.189 * SL) \\ & + (-.121 * E) \end{aligned}$$

F: فاصله از گسل، R: فاصله از رودخانه،

محاسبه می‌شود (Zongji et al., 2010).

P_{ij} احتمال تراکم و a درصد پیکسل‌ها و b درصد لغزش‌ها (رابطه ۲):

$$P_{ij} = \frac{b}{a} \quad \text{رابطه ۲}$$

P_{ij} احتمال تراکم (رابطه ۳):

$$(P_{ij}) = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^{S_j} P_{ij}} \quad \text{رابطه ۳}$$

H_j و $H_{j\max}$ مقادیر انتروپی و ماکزیمم انتروپی با استفاده از رابطه ۴ ارزیابی می‌شود.

$$H_j = - \sum_{i=1}^{S_j} (P_{ij}) \log_2 (P_{ij}), \quad \text{رابطه ۴}$$

$$j = 1, \dots, n$$

S_j : تعداد طبقه‌ها

$$H_{j\max} = \log_2 S_j \quad \text{رابطه ۵}$$

I_j ضریب اطلاعات

$$I_j = \frac{H_{j\max} - H_j}{H_{j\max}}, \quad \text{رابطه ۶}$$

$$I = (0,1), j=1,\dots,n$$

W_j وزن نهایی هر معیار که در رابطه ۷ محاسبه شد.

$$W_j = I_j P_{ij} \quad \text{رابطه ۷}$$

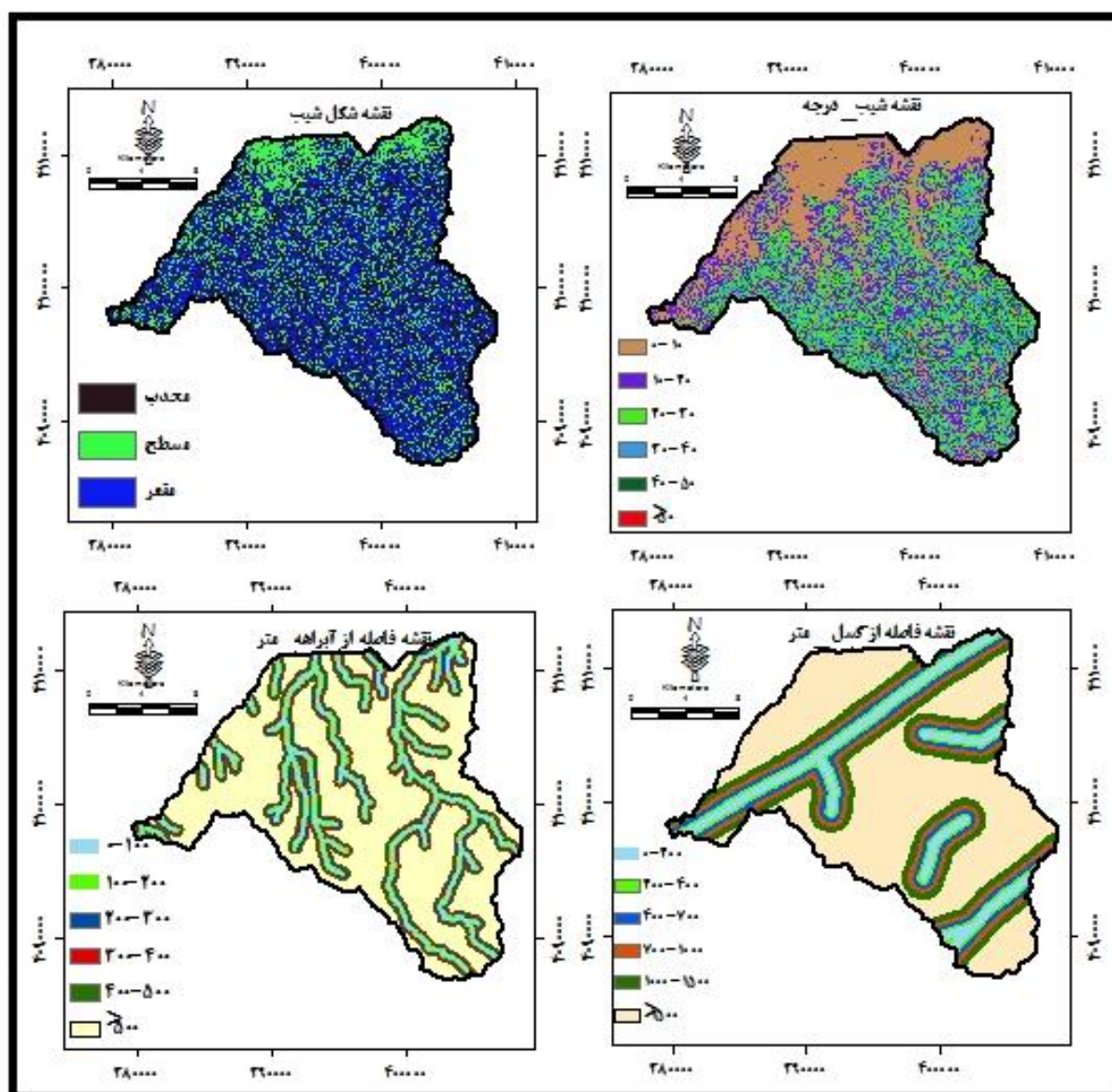
روش تحلیل

در نهایت اعتبارسنجی نقشه‌های پهنه‌بندی لغزش با محاسبه منحنی عملکرد نسبی یا ROC به‌دست می‌آید (Tehrany et al., 2015). منحنی ROC با بررسی نقشه پراکنش لغزش‌های موجود و نقشه‌های پهنه‌بندی به‌دست‌آمده از سه روش مورد نظر، اعتبارسنجی مدل‌ها را انجام می‌دهد. در این روش،

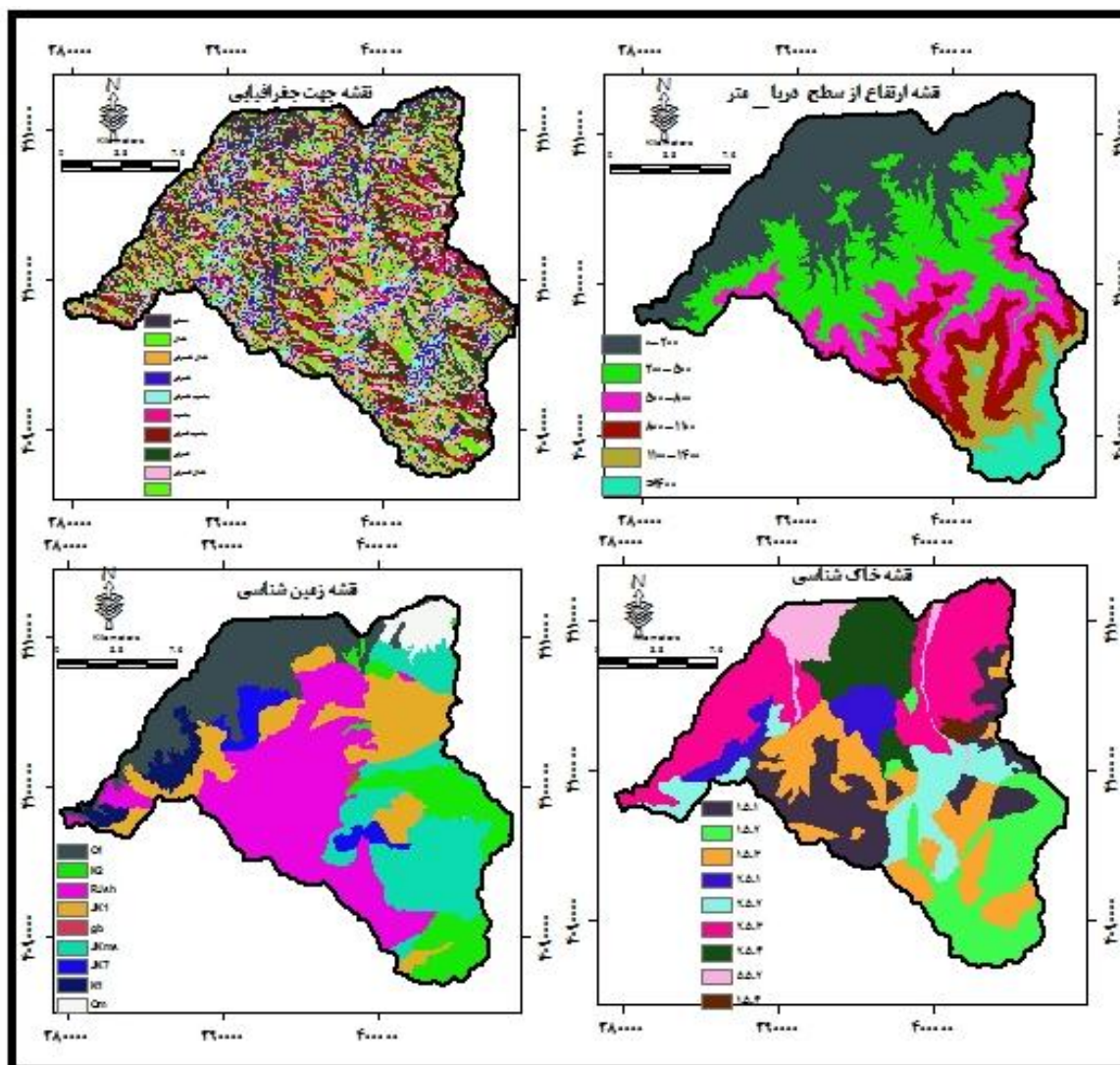
گسل و ارتفاع از سطح دریا مقادیر وزن‌های منفی و برای شیب، فاصله از آبراهه و خاک‌شناسی مثبت است. بیشترین وزن و تأثیر بر لغزش‌ها مربوط به عامل فاصله از گسل با مقدار $-0/256$ است. با توجه به نتایج معنی‌داری در جدول ۲، مؤثرترین عامل‌ها، فاصله از گسل، شیب، فاصله از آبراهه و خاک، و کم‌تأثیرترین عامل، زمین‌شناسی است.

G: زمین‌شناسی، S: پدولوژی (تیپ خاک)، C: شکل شیب، A: جهت جغرافیایی، SL: شیب، E: ارتفاع از سطح دریا)

با توجه به جدول ۲، مقادیر وزن‌های منفی برای ضرایب رگرسیون لجستیک دلالت بر این دارد که عامل مؤثر بر لغزش به‌طور منفی در ارتباط با متغیرهای مستقل است. برای عامل‌های فاصله از



شکل ۲- نقشه لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر وقوع لغزش در منطقه تحقیق



ادامه شکل ۲

نتایج نسبت فراوانی هر یک از متغیرها نشان می‌دهد که دو طبقه زمین‌شناسی (سنگ‌های آتشفشانی دیوریت و گابره و سنگ‌های تجزیه‌شده داسیت و آندزیت)، دو طبقه فاصله از گسل (۲۰۰-۰ و ۴۰۰-۲۰۰ متری)، طبقه خاک (ماسه سنگ و شیل-آرژیلیت همراه با بازالت)، جهت جغرافیایی (غربی و شمال‌غربی)، شیب (۲۰-۳۰ درجه) و ارتفاع از سطح دریا (۸۰۰-۵۰۰ متری) بیش‌ترین حساسیت به لغزش را نشان می‌دهد، به‌طوری که ضریب نسبت فراوانی آنها بیشتر از ۱ و بیشتر از دیگر طبقه‌ها بوده است. نتایج اولویت‌بندی عوامل مؤثر با استفاده از مدل انتروپی نیز

جدول ۲- وضعیت مناطق لغزشی براساس تحلیل آماری نسبت فراوانی، انترویی و رگرسیون لجستیک

ضرایب مدل رگرسیون لجستیک (سطح معنی‌داری)	نسبت فراوانی		نسبت فراوانی		طبقه‌ها	عامل
	انترویی		درصد پیکسل‌ها	درصد لغزش‌ها		
	P_{ij}	ضرایب				
(۰/۰۰۰)۰/۱۳۳	۰/۰۳۷	۰/۳۱	۴/۵۷	۱۴/۷۱	۱۵.۱	پدولوژی (خاک)
	۰/۰۸۳	۰/۶۹	۱۰/۱۵	۱۴/۶۵	۱۵.۲	
	۰/۱۵	۱/۲۲	۱۹/۹۷	۱۶/۳۵	۱۵.۳	
	۰/۱۳	۱/۱۰	۵/۹۲	۵/۳۷	۲۵.۱	
	۰/۱۷۴	۰/۲۲	۱۸/۷۸	۱۰/۰۲	۲۵.۲	
	۰/۰۸۷	۰/۷۳	۱۷/۴۳	۲۳/۸۰	۲۵.۳	
	۰/۲۹	۲/۴۳	۲۳/۱۸	۹/۵۵	۲۵.۴	
	.	.	.	۴/۸۴	۵۵.۲	
	.	.	.	۰/۷۲	۱۵.۴	
(۰/۸۸۲)۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۱۰	۱/۶۹	۱۶/۶۱	Q_1^{al}	زمین‌شناسی
	۰/۰۳	۰/۸۰	۹/۳۱	۱۱/۵۶	K_2^v	
	۰/۰۵	۱/۳۴	۳۸/۴۱	۲۸/۶۴	Rj_s^{sh}	
	۰/۰۶۱	۱/۶۲	۲۵/۳۸	۱۵/۶۵	JK^1	
	۰/۷۰۴	۱۸/۶۶	۳/۵۵	۰/۱۹	gb	
	۰/۰۲۲	۰/۵۷	۱۰/۱۵	۱۷/۷۲	JK^{ms}	
	۰/۰۸۸	۲/۳۵	۸/۲۹	۳/۵۲	JK^v	
	۰/۰۳۹	۱/۰۴	۳/۲۱	۳/۰۹	K_1^1	
	.	.	.	۳	Q_1^m	
(۰/۰۰۱)۰/۱۸۹	۰/۱۱۲	۰/۶۴	۱۶/۹۲	۲۶/۳۱	۰-۱۰	شیب
	۰/۱۹۸	۱/۱۴	۳۰/۲۹	۲۶/۶۴	۱۰-۲۰	
	۰/۲۱۲	۱/۲۲	۳۲/۱۵	۲۶/۲۸	۲۰-۳۰	
	۰/۱۸۹	۱/۰۹	۱۶/۰۷	۱۴/۷۴	۳۰-۴۰	
	۰/۱۲۴	۰/۷۲	۳/۵۵	۴/۹۶	۴۰-۵۰	
	۰/۱۶۴	۰/۹۴	۱/۰۲	۱/۰۸	>۵۰	
(۰/۰۰۴)۰/۰۶۸	۰/۰۳۲	۰/۲۲	۱/۳۵	۶/۱۱	مسطح	جهت جغرافیایی
	۰/۱۳۲	۰/۹۱	۱۴/۵۵	۱۵/۹۴	شمالی	
	۰/۱۱۲	۰/۷۷	۱۱/۸۴	۱۵/۳۲	شمال شرقی	
	۰/۱۲۷	۰/۸۸	۹/۱۴	۱۰/۴۰	شرقی	
	۰/۱۵۳	۱/۰۶	۸/۲۹	۷/۸۴	جنوب شرقی	
	۰/۱۱۴	۰/۷۹	۵/۰۸	۶/۴۴	جنوبی	
	۰/۱۳۲	۰/۹۱	۱۰/۸۳	۱۱/۸۶	جنوب غربی	
	۰/۱۹۵	۱/۳۴	۱۹/۹۷	۱۴/۸۸	غربی	
	۰/۱۵۹	۱/۰۹	۱۸/۹۵	۱۴/۳۱	شمال غربی	

ادامه جدول ۲

ضرایب مدل رگرسیون لجستیک (سطح معنی‌داری)	انتروپی		نسبت فراوانی			طبقه‌ها	عامل
	ضرایب	P_{ij}	ضرایب	درصد لغزش‌ها	درصد پیکسل‌ها		
(۰/۴۷۶)/۰/۴۹	۰/۰۰۴	۰/۳۶۴	۱/۰۸	۳۸/۰۷	۳۵/۳۹	محدب	شکل شیب
		۰/۲۸۶	۰/۸۵	۲۱/۴۹	۲۵/۳۹	مسطح	
		۰/۳۴۹	۱/۰۳	۴۰/۴۴	۳۹/۲۲	مقعر	
(۰/۰۰۰)/۰/۱۴۴	۰/۰۲۴۶	۰/۲۰۸	۱/۴۰	۷/۴۵	۵/۳۲	۰-۱۰۰	فاصله از رودخانه
		۰/۱۱۱	۰/۷۵	۳/۷۲	۴/۹۸	۱۰۰-۲۰۰	
		۰/۱۱۲	۰/۷۶	۳/۷۲	۴/۹۱	۲۰۰-۳۰۰	
		۰/۲۲۰	۱/۴۸	۷/۱۱	۴/۸۰	۳۰۰-۴۰۰	
		۰/۲۰۶	۱/۳۹	۶/۴۳	۴/۶۳	۴۰۰-۵۰۰	
		۰/۱۴۱	۰/۹۵	۷۱/۵۷	۷/۳۵	>۵۰۰	
(۰/۰۰۰)-۰/۲۵۶	۰/۱۳۵	۰/۲۸۱	۳/۴۹	۱۸/۶۱	۵/۳۳	۰-۲۰۰	فاصله از گسل
		۰/۲۲۰	۲/۷۴	۹/۸۱	۳/۵۸	۲۰۰-۴۰۰	
		۰/۱۵۰	۱/۸۶	۱۰/۱۵	۵/۴۵	۴۰۰-۷۰۰	
		۰/۱۵۵	۱/۹۳	۱۰/۸۳	۵/۶۰	۷۰۰-۱۰۰۰	
		۰/۱۵۵	۱/۹۳	۱۸/۶۱	۹/۶۵	۱۰۰۰-۱۵۰۰	
		۰/۰۳۶	۰/۴۵	۳۱/۹۸	۷۰/۳۸	>۱۵۰۰	
(۰/۰۴)-۰/۱۲۱	۰/۱۱۸	۰/۱۷۹	۰/۹۲	۳۱/۴۷	۳۴/۲۹	۰-۲۰۰	ارتفاع از سطح دریا
		۰/۲۳۰	۱/۱۸	۳۰/۴۶	۲۵/۸۷	۲۰۰-۵۰۰	
		۰/۳۲۷	۱/۶۷	۲۶/۲۳	۱۵/۶۶	۵۰۰-۸۰۰	
		۰/۱۱۲	۰/۵۷	۶/۴۳	۱۱/۲۴	۸۰۰-۱۱۰۰	
		۰/۱۵۱	۰/۷۷	۵/۴۱	۷/۰۲	۱۱۰۰-۱۴۰۰	
		.	.	.	۵/۹۲	>۱۴۰۰	

رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و بیشینه انتروپی
به ترتیب ۵۱/۳۸، ۴۷/۰۷ و ۳۱/۴۹ درصد است.

- اعتبارسنجی نقشه‌های پهنه‌بندی لغزش
تهیه شده

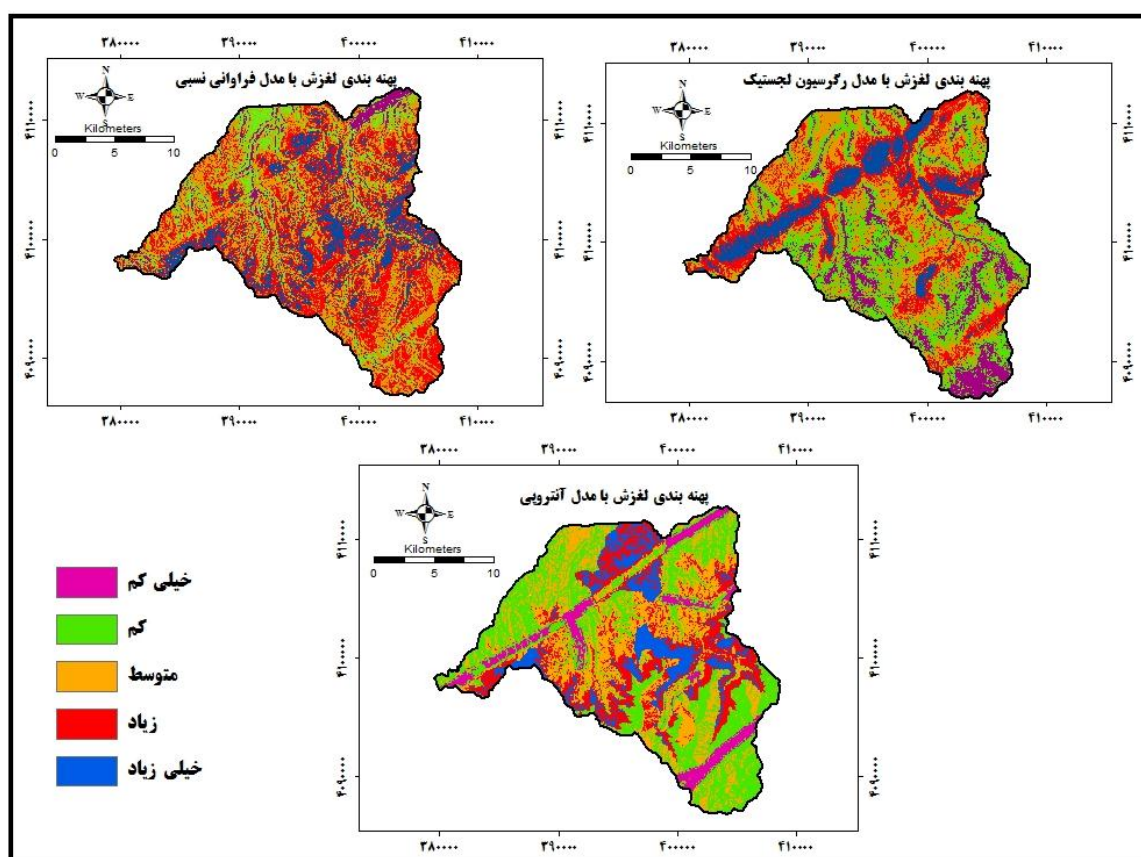
در نهایت، نقشه‌های پهنه‌بندی شده با ۳۰ درصد
از نقاط لغزشی باقی‌مانده اعتبارسنجی شد. از منحنی
ROC و مساحت زیرمنحنی (AUC) برای نقشه‌های
پهنه‌بندی ترسیم به منظور ارزیابی استفاده شد. مقادیر
حاصل نشان داد که مقدار پیش‌بینی سطح زیرمنحنی

- نقشه پهنه‌بندی حساسیت لغزش با مدل‌های
مختلف

نقشه پهنه‌بندی احتمال وقوع لغزش در حوزه‌های
۲۴ و ۲۵ با استفاده از ۷۰ درصد از نقاط لغزشی
برداشت شده با روش‌های نسبت فراوانی، انتروپی و
رگرسیون لجستیک در محیط GIS تهیه و براساس
شکستگی‌های طبیعی به پنج طبقه خطر خیلی کم، کم،
متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد (شکل ۳ و جدول
۳). نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که درصد حساسیت به
وقوع لغزش در طبقه‌های زیاد و خیلی زیاد در مدل‌های

برای مدل های رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و انتروپی به ترتیب ۰/۷۴۶، ۰/۶۸۲ و ۰/۶۵۵ است (شکل ۴ و جدول ۴). بنابراین مدل رگرسیون لجستیک دارای نتیجه قابل قبول تری به منظور تهیه نقشه پهنه بندی لغزش در حوزه تحت بررسی است. همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود پهنه بندی حساسیت لغزش با استفاده از مدل

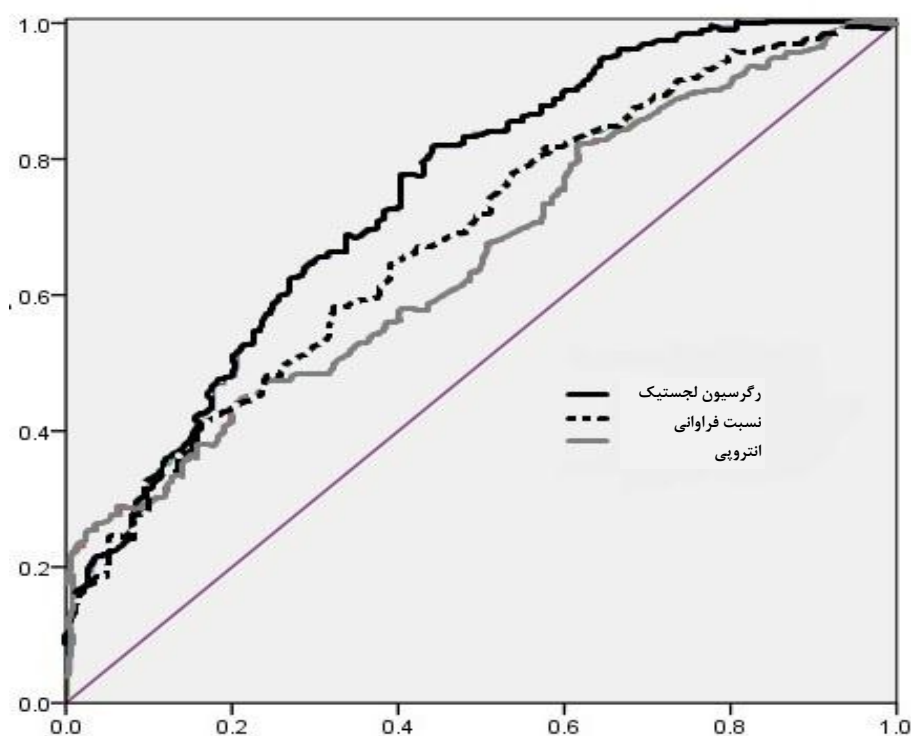
رگرسیون لجستیک نسبت به دو مدل دیگر از صحت بیشتری برخوردار است، به همین منظور با هم پوشانی نقشه شبکه جاده های جنگلی موجود با نقشه پهنه بندی به روش رگرسیون لجستیک نشان داد که مقدار جاده های عبوری از مناطق لغزشی با خطر زیاد و خیلی زیاد، ۴۳/۲۵ درصد از کل مقدار جاده ها را به خود اختصاص داده است (جدول ۵).



شکل ۳- نقشه پهنه بندی خطر لغزش به روش سه مدل بررسی شده

جدول ۳- مقایسه درصد طبقه های لغزش در سه مدل استفاده شده در منطقه تحقیق

مدل رگرسیون	مدل نسبت فراوانی	مدل انتروپی	طبقه های لغزش
۴/۶۰	۵/۸۴	۷/۱۶	خیلی کم
۱۱/۷۴	۱۶/۲۷	۳۳/۳۵	کم
۳۲/۲۸	۳۰/۸۲	۲۸	متوسط
۳۴/۸۵	۳۳/۱۵	۲۰/۰۱	زیاد
۱۶/۵۳	۱۳/۹۲	۱۱/۴۸	خیلی زیاد



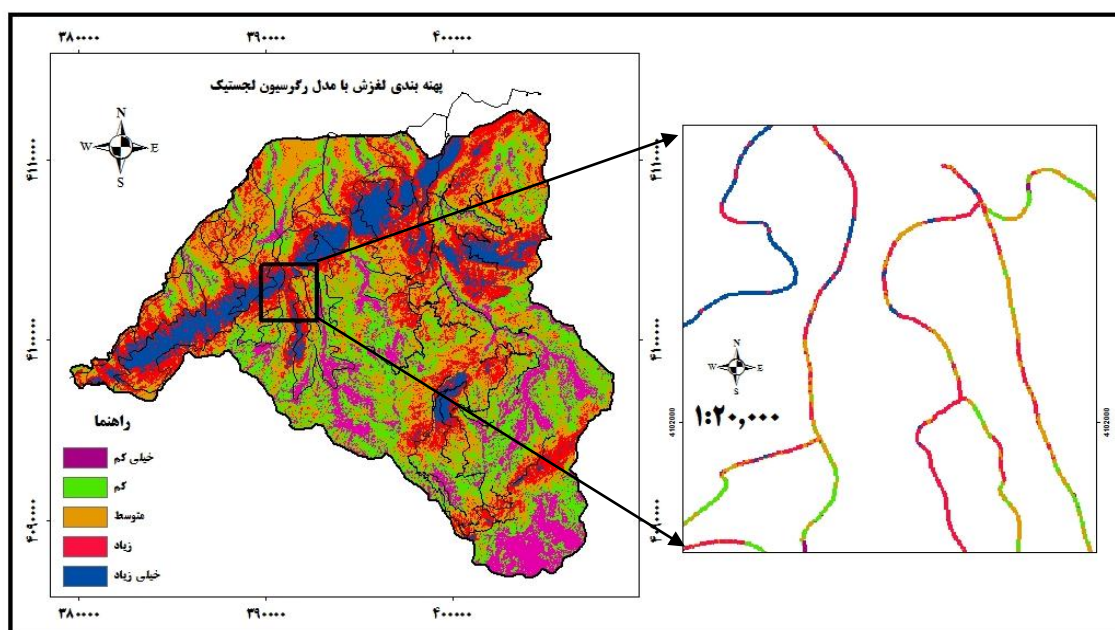
شکل ۴- منحنی نرخ پیش‌بینی (ROC) مدل‌های رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و انتروپی

جدول ۴- مساحت زیرمنحنی (ROC) به همراه انحراف استاندارد و سطح اطمینان

مدل‌ها	Area	Std. Error ^a	Asymptotic Sig. ^b	Asymptotic 95% Confidence Interval	
				Upper Bound	Lower Bound
رگرسیون لجستیک	۰/۷۴۶	۰/۰۲۲	۰/۰	۰/۷۰۴	۰/۷۸۸
نسبت فراوانی	۰/۶۸۲	۰/۰۲۴	۰/۰	۰/۶۳۵	۰/۷۳۰
انتروپی	۰/۶۵۵	۰/۰۲۵	۰/۰	۰/۶۰۶	۰/۷۰۵

جدول ۵- مقدار عبوری جاده‌های جنگلی موجود از مناطق لغزشی در مدل رگرسیون لجستیک

مقدار خطر لغزش	مساحت (کیلومتر مربع)	تراکم مساحت (درصد)
خیلی کم	۱/۰۹۰۹	۱۰/۹۳
کم	۲/۳۷۰۹	۲۳/۷۵
متوسط	۲/۲۰۱۳	۲۲/۰۵
زیاد	۳/۰۰۹۷	۳۰/۱۶
خیلی زیاد	۱/۳۰۶۶	۱۳/۰۹



شکل ۵- شبکه جاده‌های جنگلی موجود در پهنه‌بندی خطر لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

بحث

با توجه به نتایج ارزیابی مدل‌ها با استفاده از روش منحنی ROC، مشخص شد که پهنه‌بندی حساسیت لغزش (با پنج طبقه حساسیت خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم، خیلی کم) با مدل رگرسیون لجستیک دارای بیشترین صحت است و با ضریب اطمینان بیشتری می‌توان از آن استفاده کرد. نتایج حاصل با یافته‌های Lee & Pradhan (2006); Nefeslioglu et al. (2008); Shirani & Arabameri (2015); Hong et al. (2016); Aditian et al. (2018) مطابقت دارد که همگی بر کارایی زیاد روش رگرسیون لجستیک تأکید داشته‌اند. براساس نتایج تجزیه و تحلیل متغیرهای مؤثر در وقوع لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (عوامل فاصله از گسل و درجه شیب)، مدل نسبت فراوانی (عوامل زمین‌شناسی، فاصله از گسل و خاک‌شناسی) و مدل بیشینه انتروپی (عوامل زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و ارتفاع از سطح دریا)، بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، عامل فاصله از گسل در هر سه مدل تأثیر زیادی در وقوع لغزش دارند که این عامل در مدل

رگرسیون لجستیک دارای ضریب منفی بوده و نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار میان تغییرات فاصله از گسل با لغزش است یعنی با کاهش فاصله از گسل مقدار لغزش ترانشه‌های جاده‌های جنگلی افزایش می‌یابد. در حوزه پژوهش، بیشترین تعداد لغزش‌ها در دو طبقه اول عامل فاصله از گسل (۲۰۰- و ۴۰۰-متری) مشاهده می‌شود. Safari et al. (2015) گسل را از مهم‌ترین عوامل در وقوع لغزش خود نام برده‌اند. فرض عمومی در مورد فاصله از گسل‌ها و وقوع حرکت‌های لغزشی این است که با دور شدن از گسل‌ها، تأثیر شدت زمین‌لرزه کاهش می‌یابد و احتمال وقوع لغزش کمتر می‌شود. Demir (2019) در تحقیقاتش در ترکیه به این نتیجه رسید که عوامل فاصله از جاده و فاصله از گسل، تأثیر اصلی در وقوع لغزش و رانش در منطقه داشته‌اند. با توجه به نتایج مدل رگرسیون لجستیک در این پژوهش، افزون‌بر عامل فاصله از گسل، مهم‌ترین عامل مؤثر دیگر بر لغزش، عامل شیب منطقه بوده و دارای ضریب مثبت است که نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار میان تغییرات

شیب با لغزش منطقه است. نتایج جدول ۲ مدل نسبت فراوانی نشان داد که در شیب ۲۰-۳۰ درجه بیشترین تعداد لغزش‌ها را به خود اختصاص داده است. مطابق نتایج با افزایش شیب تا حد مشخصی تراکم لغزش در حوزه افزایش و بعد از حد مشخصی کاهش یافت. در شیب‌های کم به‌طور معمول، نیروی مقاوم مانند اصطکاک خاک بیشتر از نیروهای محرک مانند نیروی ثقل است. در این درجه از شیب شرایط ایجاد لغزش مهیاست و با داشتن بارندگی مؤثر و ناپایداری ترانشه‌های جاده‌های جنگلی و داشتن شیب کافی برای لغزش، نیروی ثقل بر نیروی مقاومت غلبه می‌کند و در نتیجه لغزش در منطقه رخ می‌دهد. Mohammady et al. (2012) نیز به این نتیجه رسیدند که لغزش‌ها در شیب‌های ۱۵-۳۰ درجه رخ می‌دهند. همچنین Abasian et al. (2017) (طبقه شیب ۲۰-۴۰ درجه)، Lee et al. (2006) (طبقه‌های شیب ۲۰-۳۶ درجه)، Eker & Aydin (2014) (طبقه‌های شیب ۱۵-۳۰ درجه) را مؤثرترین طبقه معرفی کردند در شیب‌های تند، تعداد لغزش‌ها کمتر است که می‌توان دلیل آن را رخنمون سنگی و نبود لایه خاک در این شیب دانست. نتایج مدل‌های نسبت فراوانی و انتروپی حاکی از تأثیرگذاری طبقه دیوریت-گابرو از عوامل زمین‌شناسی در وقوع لغزش‌هاست. این طبقه در حوزه تحت بررسی مساحت خیلی کمی را در بر گرفته، ولی لغزش‌های بیشتری در آن حادث شده است. Shariat Jafari (1997) در طبقه‌بندی تأثیر لیتولوژی و حساسیت آن در وقوع لغزش بیان کرد که سنگ‌های کاملاً دگرسان‌شده، خاک‌های برجا، آبرفت‌ها و کوهرفت‌ها دارای حساسیت بسیار زیادند. رحمتی و همکاران در سال ۱۳۹۵ در بررسی فرسایش‌ها با مدل انتروپی نیز به این نتیجه رسیدند که بافت خاک، تراکم زهکشی، زمین‌شناسی و فاصله از آبراهه‌ها مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع فرسایش در منطقه هستند. در خصوص عامل ارتفاع از سطح دریا همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش

ارتفاع تا حد مشخصی لغزش افزایش یافت و در ارتفاعات بالا این مقدار روند نزولی داشت، زیرا با افزایش ارتفاع، بارندگی فزونی می‌یابد و حساسیت وقوع لغزش‌ها بیشتر می‌شود، اما این روند در ارتفاعات بالا به‌علت اینکه بارندگی اغلب به‌صورت برف است و پدیده یخبندان غلبه دارد، در بخش بزرگی از سال سبب کندی پدیده خاک‌زایی می‌شود. Demir et al. (2013) و Safari et al. (2015) نیز به این نتیجه رسیدند که بیشترین لغزش‌های رخ داده در طبقه‌های ارتفاعی میانی بین ۱۰۰۰-۸۵۰ متر به وقوع پیوسته است. همان‌طور که در نتایج این تحقیق مشاهده می‌شود، برخلاف برخی از مطالعات دیگر که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر لغزش را عوامل زمین‌شناسی و خاک عنوان می‌کنند، مهم‌ترین عامل مؤثر بر لغزش در منطقه پژوهش، فاصله از گسل می‌دهد است که می‌توان علت را همجواری حوزه تحت بررسی با شهرستان رودبار و حتی قرار گرفتن بخشی از آن در این شهرستان (وجود گسل‌های فعال و زلزله‌خیز بودن منطقه) بیان کرد. در نهایت با عنایت به صحت بیشتر مدل رگرسیون لجستیک نسبت به دیگر مدل‌ها با هم‌پوشانی شبکه جاده‌های جنگلی روی نقشه پهنه‌بندی مدل رگرسیون لجستیک مقدار جاده‌های جنگلی در پنج طبقه حساسیت مشخص شد که بر این اساس، ۴۳/۲۵ درصد از جاده‌های جنگلی موجود در مناطق با حساسیت لغزش زیاد و خیلی زیاد واقع شده است. در کنار این نتایج، مشکل توقف طرح‌های جنگلداری در سال‌های اخیر و جایگزینی طرح‌های حفاظتی در مناطق جنگلی شمال ایران و درآمدزا نبودن این طرح‌ها سبب شده است که اعتباراتی به‌منظور تعمیر و نگهداری از جاده‌های جنگلی صرف نشود. در سال‌های گذشته هزینه زیادی برای ساخت و نگهداری جاده‌ها به‌منظور دسترسی به اهداف طرح‌های جنگلداری از قبیل پرورش جنگل، حفاظت از جنگل، اطفای حریق، بهره‌برداری از جنگل و دیگر مسائل مربوط به آن صرف می‌شد. این موارد از نظر

نگهداری و ترمیم جاده‌های جنگلی، به صورت چالشی بزرگ در آینده نزدیک مطرح خواهد شد که باید در این زمینه تمهیداتی اندیشیده و اتخاذ شود.

اقتصادی، بیشترین هزینه‌های طرح‌های جنگلداری را شامل می‌شد. با توجه به اهمیت بی‌بدیل جاده‌های جنگلی به مثابه یکی از سرمایه‌های ملی کشور در حفاظت و توسعه پایدار جنگل، توقف عملیات

References

- Abasian, A., Naghdi, R., & Ghajar, I. (2017). Planning a single forest road based on artificial neural network model of landslide susceptibility (case study: Kojour watershed). *Journal of Forests and wood products*, 70(3), 499-508.
- Aditian, A., Kubota, T., & Shinohara, Y. (2018). Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network in a tertiary region of Ambon, Indonesia. *Geomorphology*, 318, 101-111.
- Demir, G. (2019). GIS-based landslide susceptibility mapping for a part of the North Anatolian Fault Zone between Reşadiye and Koyulhisar (Turkey). *catena*, 183, 1-12.
- Demir, G., Aytekin, M., Akgün, A., Ikizler, S. B., & Tatar, O. (2013). A comparison of landslide susceptibility mapping of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by likelihood-frequency ratio and analytic hierarchy process methods, *Natural hazards*, 65 (3), 1481-1506.
- Eker, R., & Aydın, A. (2016). Landslide Susceptibility Assessment of Forest Roads. *European Journal of Forest Engineering*, 2(2), 54-60.
- Eker, R., & Aydın, A. (2014). Assessment of forest road conditions in terms of landslide susceptibility: a case study in Yığılca Forest Directorate (Turkey). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38, 281-290.
- Hong, H., Haghibi, S. A., & Pourghasemi, H. R. (2016). GIS-based landslide spatial modeling in Ganzhou City, China. *Saudi Society for Geosciences*, 9:112.
- Iswar, D., Sashikant, S., Cees, V.W., Alfred, S., & Robert, H. (2010). Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas, India. *Geomorphology*, 114, 627-637.
- Jadda, M., Shafri, H.Z.M., Mansor, S.B., Sharifikia, M., & Pirasteh, S. (2009). Landslide susceptibility evaluation and factor effect Iran. *Natural Hazard*, 63(2), 965-996.
- Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H.R., Rezaeian, J., & Sattarian, A. (2014). GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *International Journal Environ Science Technol*, 11: 909-926.
- Koehorst, B.A.N., Kjekstad, O., Patel, D., Lubkowski, Z., Knoeff, J.G., & Akkerman, G.J. (2005). Work package 6 Determination of Socio-Economic Impact of Natural Disasters. *Assessing socioeconomic Impact in Europe*, 173p.
- Lee, S., & Pradhan, B. (2006). Probabilistic Landslide risk mapping at Penang Island, Malaysia. *Earth System Science Journal*, 115(6), 661-672.
- Lee, S., Ryu, J.H., Lee, M.J., & Won, J.S. (2006). The Application of artificial neural networks to landslide susceptibility mapping at Janghung, Korea. *Mathematical Geology*, 38 (2), 199 - 220.
- Mohammady, M., Pourghasemi, H.R., & Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping at Golestan Province Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights-of evidence models. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, 221-236.

- Nandi, A., & Shakoor, A. (2009). A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology*, 110, 11–20.
- Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., & Sonmez, H. (2008). An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*, 97, 171-191.
- Nsengiyumva, J.B., Luo, G., Amanambu, A.C., Mind'je, R., Habiyaremye, G., Karamage, F., Ochege, F.U., & Mupenzi, C. (2019). Comparing probabilistic and statistical methods in landslide susceptibility modeling in Rwanda/Centre-Eastern Africa. *Science of The Total Environment*, 659, 1457-1472.
- Pradhan, B., & Lee, S. (2009). Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. *Environmental Earth Science*, 60(5), 1037-1054.
- Safari, A., Riati, M., Ahmadi, M., & Shirzad, L. (2015). Landslide Hazard Zonation Using Frequency Ratio and Fuzzy System. *Journal Of Geography and Environmental Hazards*, 8(30), 15-30.
- Shariat Jafari, M. (1997). Landslide (principal and basic of natural slopes stable). *Sazeh publication*, pp. 218.
- Shirani, K., & Arabameri, A.R. (2015). Landslide Hazard Zonation Using Logistic Regression Method (Case Study: Dez-e-Oulia Basin). *Water and Soil Science*, 72, 321-334.
- Shirzadi, A., Shirzadi, B., & Solaimani, K. (2006). Rockfall hazard susceptibility mapping at along mountainous roads by a probabilistic-frequency Ratio model (Case study: Kurdistan, Salvatabad saddle). *3rd Disaster Management Conference*, Tehran, Iran, 13p.
- Tehrany, M.S., Pradhan, B., Mansor, S.H., & Ahmad, N. (2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena*, 125, 91-101.
- Valstad, T.R., & Anderson, L. (2005). The storage slide: evaluation of triggering sources and slides mechanics. *Marine and Petroleum Geology*, 22, 245-255.
- Zongji, Y., Jianping, Q., & Xiaogang, Z.H. (2010). Regional Landslide Zonation Based on Entropy Method in Three Gorges Area, China, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD). *Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 1336- 1339.



Research Article

Comparison of Logistic Regression and Frequency Ratio and Entropy Models in Landslide Failure Probability of Forest road Trenches

A. Moradmand Jalali¹, R. Naghdi^{2*}, E. Ghajar³, and HR. Pourghasemi⁴

¹ph.D. student., Department of Forestry, Faculty of natural resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran

²Professor., Department of Forestry, Faculty of natural resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran

³Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of natural resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran, Iran

⁴ Associate Prof., Department of Natural Resources and Environmental Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

(Received: 26 October 2019, Accepted: 4 May 2020)

Abstract

The present study compares the performance of three statistical models including logistic regression, frequency ratio and maximum entropy in preparing the zoning map of landslide sensitivity on the watersheds of 24 and 25 (Malak-roud and Shen-roud) regions of Guilan province. For this purpose, all the roads of the two areas were surveyed and the number of 844 landslides were detected. Then effective data layers on landslide formation were prepared and then zoning maps of the landslide sensitivity were extracted to the three methods. The results showed that the logistic regression model has an accuracy of 74.6 percent of the Area under ROC Curve in prediction of sensitive areas compared to the accuracy of 68.2 and 65.2 percent by the probabilistic frequency ratio model and Entropy model, respectively. Moreover, based on the logistic regression model, the distance and slope factors have the highest effect on the landslide of forest road trenches. According to this study, a total of 4.32 square kilometers (43.25%) of the landslide areas is categorized in very high and high susceptible groups which have occurred along 51.38 percent of the area. Despite the lack of consideration to superstructure conditions in the present study, a notable percentage of existing roads are exposed to the collapse of trenches and require adequate funding for repair operations. According to the logging ban as a new approach in forest utilization and lack of revenue regeneration of alternative conservation projects great dangers threaten the forest engineering installations and road structures.

Keywords: Distance from faults, Forest utilization, Landslide, Slope, Receiver Operating Characteristics.

