

ارزیابی کارآیی مدل‌های آماری ارزش اطلاعاتی و رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش در زیرحوزه پهنه کلا

محمد رضا جوادی¹، مهدی صدیقی و شعبانعلی غلامی

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور؛ M_javadi@iaunour.ac.ir

دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور؛ Sadighi.mehdi@gmail.com

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور؛ Ali_Gholami@Hotmail.com

دریافت: 91/6/19 و پذیرش: 92/4/17

چکیده

هدف از انجام این پژوهش ارزیابی میزان کارآیی دو روش آماری ارزش اطلاعاتی و رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش در زیر حوزه آبخیز پهنه کلا در جنوب شهرستان ساری است. بدین منظور پس از بررسی‌های میدانی و مرور مطالعات مشابه، 8 عامل شامل: ارتفاع از سطح دریا، بارندگی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از جاده، خاک و زمین‌شناسی به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش شناخته شدند و لایه‌های اطلاعاتی این عوامل به همراه لایه اطلاعاتی پراکنش زمین لغزش‌های منطقه در محیط GIS تهیه گردید. 8 لایه اطلاعاتی آماده شده با لایه اطلاعاتی پراکنش زمین لغزش‌ها تطابق داده شد و اطلاعات مربوط به زمین لغزش‌ها در هر یک از لایه‌های اطلاعاتی به صورت کمی بدست آمد. سپس با بهره‌گیری از مدل‌های آماری ارزش اطلاعاتی و رگرسیون لجستیک، نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش در محیط GIS تهیه گردید. در نهایت میزان کارآیی دو مدل از طریق درصد فراوانی زمین لغزش در کلاسه‌های خطر بالا (خطر زیاد و بسیار زیاد) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد با بهره‌گیری از مدل ارزش اطلاعاتی 72/12 درصد و مدل رگرسیون لجستیک 65/56 درصد از لغزش‌های رخ داده در کلاسه‌های پرخطر و خیلی پرخطر واقع شده‌اند. بنابراین مدل ارزش اطلاعاتی نسبت به مدل رگرسیون لجستیک کارآیی مناسب‌تری دارد.

واژه‌های کلیدی: نقشه پهنه‌بندی خطر، روش ارزش اطلاعاتی، روش رگرسیون لجستیک، GIS

مقدمه

همکاران، 2006). بررسی‌ها نشان داده است که خسارت وارد به مناطق مسکونی و زیر بنایی اقتصادی و همچنین تلفات انسانی ناشی از زمین لغزش‌ها در سراسر جهان در حال افزایش هستند (Singhroy و همکاران، 2004). در ایران نیز زمین لغزش‌ها به عنوان یکی از بلایای

بلایای طبیعی به عنوان بزرگترین دشمن طبیعی انسان باعث کشته و مجروح شدن سالانه صدها تن و بی خانمان شدن میلیون‌ها نفر در سراسر جهان می‌شوند. زمین لغزش‌ها از جمله ویرانگرترین بلایای طبیعی در مناطق شیب‌دار به حساب می‌آیند (Kanungo و

¹ نویسنده مسئول، آدرس: مازندران، نور، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، گروه منابع طبیعی

نیمرخ انحنای رودخانه، نقشه حساسیت به زمین لغزش بخش Zhongxian چین را تهیه نمودند. کیفیت نقشه تولیدی مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد موفقیت کلی و دقت طبقه‌بندی با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک به میزان 81/4 درصد درصد می‌باشد. علاوه بر این، روش رگرسیون لجستیک به دلیل توانایی‌های فوق العاده‌ای که در مدل سازی وقوع زمین لغزش‌ها دارد در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران علوم زمین قرار گرفته است. به طوری که در سنوات اخیر اکثر محققین به استفاده از این روش روی آورده‌اند که با توجه به شرایط منطقه و روش‌های مورد نظر در مطالعات مختلف بعضاً نتایج مثبتی داشته است.

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی میزان کارایی دو روش آماری ارزش اطلاعاتی و رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش در زیر حوزه آبخیز پهنه کلا در جنوب شهرستان ساری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

منطقه مورد پژوهش در مختصات جغرافیایی ۱۲° ۵۳'۰۰" تا ۳۴° ۰۶' ۵۳" عرض شمالی و ۴۸° ۲۰' ۳۶" تا ۵۰° ۲۷' ۳۶" طول شرقی در جنوب شهرستان ساری واقع شده و زیر حوضه‌ای از حوضه بزرگ آبخیز تچن می‌باشد. وسعت این منطقه 51/5 کیلومتر مربع بوده و ارتفاع متوسط وزنی آن 430/49 متر و شیب متوسط وزنی آن 11/4 درصد می‌باشد. این منطقه در کل دارای سازندهای حساسی است که عمدتاً از مارن میوسن تشکیل شده است و در بخش کوچکی از آن سازند کوارترن Q₂ (پادگانه آبرفتی) مشاهده می‌شود که در قسمت غرب و شمال غربی منطقه قرار دارد.

اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن از نوع مرطوب بوده و متوسط بارندگی سالانه در منطقه 780 میلی متر می‌باشد. ضمن این که بخشی از مجموع بارندگی سالیانه به ویژه در ارتفاعات بالاتر از 600 متر از سطح دریا (در ماه‌های آخر پاییز و ماه‌های فصل زمستان) را ریزش برف تشکیل می‌دهد که در کل حدود 10-15 درصد مجموع بارندگی سالیانه را شامل می‌شود. بیشتر مساحت حوضه مورد پژوهش دارای پوشش جنگلی می‌باشد که در کل 83/61 درصد از سطح حوزه آبخیز را اشغال کرده است. حدود 9/83 درصد از سطح حوزه آبخیز را اراضی کشاورزی و 6/56 درصد را باغات و اراضی تخریب شده اشغال نموده است (شرکت مهندسی مشاور

طبیعی هر ساله نقش بسزایی در تخریب جاده‌های ارتباطی، تخریب مراکز، باغ‌ها و مناطق مسکونی و همچنین فرسایش خاک و انتقال حجم بالای رسوب در حوزه‌های آبخیز کشور دارند (میرصانعی و کاردان، 1387). در زیرحوزه آبخیز پهنه کلا، زمین لغزش‌های متعدد با وسعت مختلف به وقوع پیوسته است که بسیاری از گونه‌های درختی جنگلی- صنعتی و جاده‌هایی که در این منطقه احداث شده‌اند را در معرض خطر قرار داده است. لذا، لازم است تا ضمن شناسایی نقاطی که دچار بحران شده است، مناطق مستعد زمین لغزش نیز شناسایی شده و اقدامات مؤثری برای تثبیت آنها انجام شود.

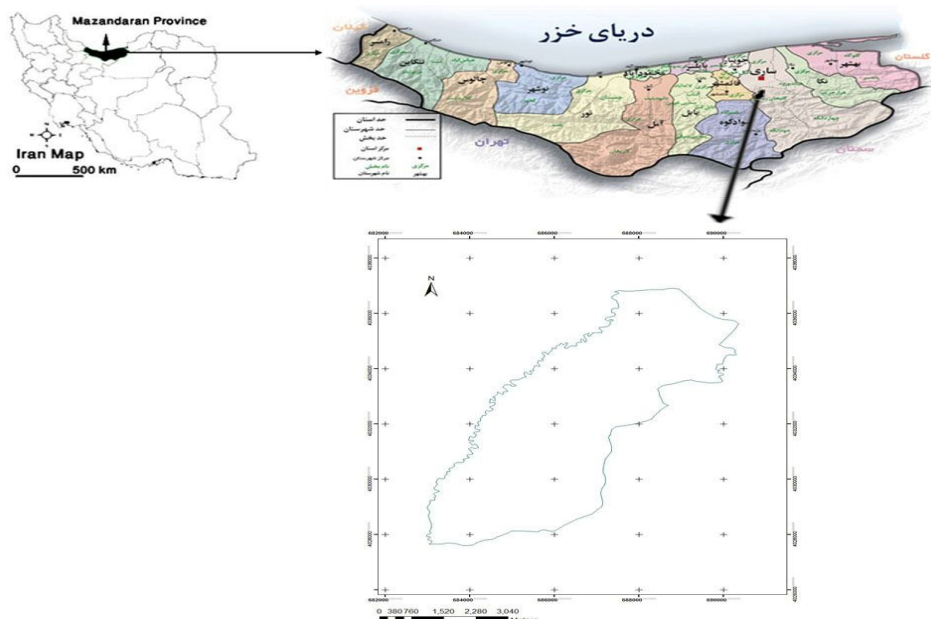
در زمینه پیشنهاد مدل‌ها و راهکارهای مناسب برای ارزیابی حساسیت به زمین لغزش، تلاش‌های بسیاری توسط محققین مختلف در دنیا و کشور صورت پذیرفته است. به طوری که روش‌های مختلفی برای بررسی مناطق لغزشی به منظور تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش، مورد آزمون قرار گرفته است. آنچه نصرآبادی و همکاران (1387)، کارایی به کارگیری روش‌های دو متغیره ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح را در جنگل شصت کلاته گرگان برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بررسی نمودند و روش ارزش اطلاعاتی را به عنوان روش مطلوب‌تر برای این منطقه معرفی کردند.

موسوی خطیر (1389)، با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز سجاد رود پرداخت. وی در این تحقیق عوامل شش گانه فاصله از جاده، جهت شیب، سنگ شناسی، فاصله از شبکه زهکشی، کاربری اراضی و درجه شیب را به ترتیب مهمترین عوامل در وقوع زمین لغزش- های منطقه دانست و بر این اساس مدل منطقه‌ای را برای حوضه مورد نظر ارائه نمود.

Yalcin و همکاران (2011)، کارایی مدل نسبت فراوانی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، روش‌های آماری دو متغیره و مدل رگرسیون لجستیک را در ارزیابی حساسیت به وقوع زمین لغزش در استان Trabzon در شمال شرق ترکیه مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که روش آماری دو متغیره وزن دهی به عامل در پیش‌بینی مناطق حساس به زمین لغزش عملکرد دقیق- تری نسبت به روش‌های ارزش اطلاعاتی (شاخص آماری)، نسبت فراوانی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و رگرسیون لجستیک دارد.

Biao Bai و همکاران (2010) با بهره‌گیری از مدل رگرسیون لجستیک و با دخالت عوامل مؤثر زمین- شناسی، ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب و

خزر، 1372). موقعیت زیرحوزه آبخیز پهنه کلا در شکل (1) نشان داده شده است.



شکل 1- موقعیت زیرحوزه آبخیز پهنه کلا در ایران و استان مازندران

عوامل مؤثر و اعمال آن‌ها بر روی نقشه‌های عوامل نامبرده، با روی هم اندازی و جمع کردن ارزش پیکسل-های عوامل مختلف، نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش به روش ارزش اطلاعاتی در محیط GIS در پنج کلاس تهیه می‌شود (میرصانعی و کاردان، 1387). برای طبقه‌بندی نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش به کلاس‌های کم خطر و پرخطر از منحنی تجمعی فراوانی در مقابل ارزش پیکسل استفاده شد و با استفاده از نقاط شکست شیب، محدوده‌های مرزی هر کلاس بدست آمد:

(1)

$$Winf = \frac{\ln\left(\frac{A}{B}\right)}{\frac{C}{D}}$$

که در آن: Winf: وزن مربوط به هر کلاس از عوامل، A: تعداد زمین لغزش‌ها در هر کلاس، B: مساحت هر کلاس به کیلومتر مربع، C: تعداد کل زمین لغزش‌های منطقه مورد پژوهش و مساحت کل منطقه مورد مطالعه به کیلومتر مربع است.

لازم به توضیح است که در روش ارزش اطلاعاتی وزن برخی از کلاس‌ها منفی، و وزن برخی دیگر از کلاس‌ها مثبت می‌باشد. وزن‌هایی که به صورت منفی می‌باشند، نشان دهنده این است که کلاس مورد نظر از آن

روش تحقیق

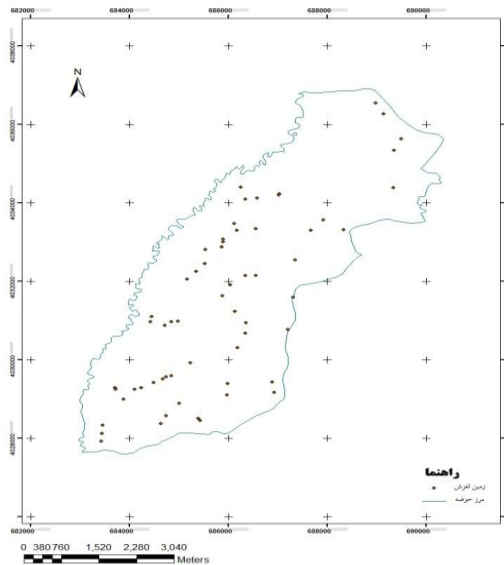
در این پژوهش ابتدا از طریق عملیات میدانی و مصاحبه با افراد بومی و جنگلبانان منطقه، تعداد 61 زمین لغزش شناسایی شد و موقعیت آن‌ها با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد. سپس، مختصات نقاط لغزشی به نرم افزار ArcGIS9.3 انتقال داده شد و نقشه پراکنش زمین لغزش-های منطقه در محیط این نرم افزار تهیه شد (شکل 2). در مرحله بعد، کلیه عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها با استفاده از تحقیقات و مطالعات میدانی شناسایی شد و با بررسی این عوامل در منطقه، هشت عامل مؤثر شامل ارتفاع از سطح دریا، بارندگی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از جاده، خاک و زمین‌شناسی به عنوان عوامل مؤثر نهایی در وقوع زمین لغزش انتخاب شد و لایه‌های اطلاعاتی آن‌ها در محیط نرم افزار Arc GIS9.3 تهیه شد. سپس نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش به منظور تعیین و شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش با استفاده از دو مدل آماری ارزش اطلاعاتی و رگرسیون لجستیک تهیه شد.

مدل ارزش اطلاعاتی¹

در روش ارزش اطلاعاتی ابتدا باید نرخ یا وزن هر کلاس از عوامل مؤثر از طریق رابطه (1) به دست آورده شود. پس از تعیین نرخ مربوط به هر کلاس از

¹ Information Value

عامل خاص، در مقابل ایجاد زمین لغزش پایدارتر از کلاسه‌هایی می‌باشد که وزن آن‌ها مثبت است.



شکل 2- نقشه پراکنش زمین لغزش‌های زیرحوزه آبخیز بهنه کلا

که در آن: P : احتمال رخداد حادثه (در این تحقیق احتمال وقوع زمین لغزش)، e : پایه لگاریتم طبیعی و Z : پارامتر یا فاکتور خطی است و از رابطه (3) به دست می‌آید.

$$Z = \log \text{it} (p) = \ln \left(\frac{P}{1-P} \right) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n \quad (3)$$

که در آن:

b_0 : عرض از مبدا یا ضریب ثابت مدل

x_1, x_2, \dots, x_n : ضرایب مربوط به متغیرهای مستقل b_1, b_2, \dots, b_n هستند.

از آنجا که کاربرد مدل آماری رگرسیون لجستیک ایجاد رابطه بین عوامل ناپایداری شیب و متغیر وابسته دوحالته یعنی وقوع و عدم وقوع زمین لغزش است، علاوه بر 61 نقطه لغزشی شناسایی شده، 61 پیکسل و یا نقطه رستری دیگر به عنوان نقاط غیرلغزشی به طور تصادفی از سراسر منطقه انتخاب شد. پس از همپوشانی با نقشه‌های عوامل مؤثر، به طبقات عوامل مؤثر شامل حضور نقاط لغزشی، کد یک و به سایر کلاسه‌ها که فاقد نقاط لغزشی بودند کد صفر تعلق گرفت. همچنین، در مورد نقاط غیر لغزشی، به طبقات عوامل مؤثر شامل حضور نقاط غیرلغزشی عدد یک و به سایر طبقات کد صفر تعلق گرفت. پس از کمی‌سازی، داده‌ها به نرم افزار SPSS17 انتقال داده شد.

روش بدست آمدن این ضرایب به صورت گام به گام می‌باشد. به منظور اجرای روش گام به گام در نرم

مدل رگرسیون لجستیک دوجهی¹

رگرسیون لجستیک روش آماری متعلق به گروه مدل‌های آماری خطی تعمیم یافته است که با استفاده از متغیرهای مستقل، احتمال وقوع یک حادثه را مورد پیش‌بینی قرار می‌دهد. نکته اصلی در رگرسیون لجستیک این است که متغیر وابسته یک متغیر دو حالته است. یعنی این که می‌تواند فقط عدد صفر به معنی عدم وقوع و یک به معنی وقوع رویداد باشد (Garcia-Rodriguez و همکاران، 2008). تحلیل رگرسیون اسمی دو وجهی زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که متغیر وابسته در سطح اسمی، دو وجهی است (دو شقی) است. بنابراین، وجود و یا عدم وجود یک صفت را بر اساس مجموعه‌ای از متغیرهای وابسته پیش‌بینی می‌شود (حبیب پور و صفری، 1388). در مورد نقشه حساسیت زمین لغزش، هدف رگرسیون لجستیک، یافتن بهترین مدل برای تشریح روابط میان حضور و یا عدم حضور متغیر وابسته (زمین لغزش) و مجموعه گروه‌هایی از متغیرهای مستقل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها است.

شکل عمومی معادله رگرسیون لجستیک دوجهی در رابطه (2) آمده است.

$$P = \frac{1}{1 + e^{-Z}} \quad (2)$$

¹ Binomial Logistic Regression= BLR

با توجه به وزن‌های بدست آمده برای کلاسه-های عوامل مختلف از طریق روش ارزش اطلاعاتی (جدول 2)، نقشه‌نهایی حساسیت به وقوع لغزش در محیط نرم افزار ArcGIS 9.3، در پنج کلاس خیلی کم خطر، کم خطر، خطر متوسط، پرخطر و خیلی پرخطر (شکل 3)، برای منطقه مورد نظر تهیه شد.

مدل رگرسیون لجستیک

با بررسی جدول متغیرها در معادله رگرسیون لجستیک (جدول 3)، مشخص می‌شود که آماره والد (Wald) فقط برای متغیر مستقل فاصله از جاده در سطح خطای کوچکتر از 0/05 معنی‌دار شناخته شد و در نتیجه سایر متغیرهای مستقل به علت عدم معنی‌داری این آماره در سطح خطای زیر 0/05، در وقوع زمین لغزش بی تأثیر شناخته شده و از معادله نهایی رگرسیونی حذف و نتایج این جدول در یک گام ارائه شد. همچنین مقدار ضریب ثابت مدل، 3/275 بدست آمد.

علامت منفی ضریب B (-1/696)، و همچنین کوچکتر از یک شدن آماره $\text{Exp}(B)$ (0/183)، برای متغیر مستقل جاده بیانگر تأثیر منفی این عامل در مدل است. بدین معنی که با افزایش میزان متغیر مستقل، احتمال به وقوع پیوستن متغیر وابسته کاهش می‌یابد. یعنی با افزایش میزان فاصله از جاده احتمال به وقوع پیوستن زمین لغزش کاهش پیدا می‌کند. با در نظر گرفتن ضرایب حاصله در جدول (3)، پارامتر خطی (z) و معادله نهایی رگرسیون لجستیک به صورت زیر بدست می‌آید:

$$Z = 1/696 - 3/275 e \quad (4)$$

$$p = \left(\frac{1}{1 + e^{-3/275 - 1/696e}} \right) \quad (5) \text{ رابطه}$$

نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش با استفاده از رابطه (5)، و انتقال آن به نرم افزار Arc GIS Ver 9.3 به دست آمد (شکل 4). همچنین، نتایج ارزیابی صحت مدل در جدول خلاصه مدل⁴ (جدول 4) نشان می‌دهد، مقادیر آماره‌های R^2 Nagelkerk و R^2 Cox and Snell به ترتیب 0/571 و 0/428 بدست آمد که بیانگر این امر می‌باشد که نقش متغیر مستقل فاصله از جاده در تبیین واریانس متغیر وابسته (وقوع یا عدم وقوع زمین لغزش) مناسب است. همچنین، مقدار آماره $-2LL$ ، 100/941 بدست آمد. به عبارت دیگر، نتایج این جدول بیانگر تطابق مناسب مدل با داده‌های مشاهده‌ای و معنی‌داری آماری متغیر مستقل در مدل با وقوع زمین لغزش‌های منطقه است.

افزار SPSS17، چندین روش وجود دارد که در این تحقیق از روش پیش رونده نسبت درستی نمائی¹ استفاده شد. در این روش، ورود متغیرها به تحلیل بر اساس معنی‌داری مقدار آماره نسبت درستی نمائی²، و خروج متغیرها از تحلیل بر اساس این آماره و با توجه به برآوردهای حداکثر درستی نمائی جزئی (تفکیکی) انجام می‌شود (حبیب‌پور و صفری، 1388). پس از اعمال ضرایب به دست آمده از مدل به متغیرهای مستقل، مطابق رابطه (2)، پارامتر خطی Z محاسبه شده که با جایگذاری پارامتر خطی Z در معادله اصلی رگرسیون لجستیک (رابطه 3) و انتقال آن به نرم افزار ArcGIS9.3 نقشه اولیه حساسیت به وقوع لغزش‌های منطقه تهیه شد. سپس، برای تقسیم‌بندی نقشه بدست آمده به کلاسه‌های پرخطر تا کم خطر از نمودار فراوانی تجمعی پیکسل‌ها استفاده شد. بدین صورت که نقاطی از منحنی را که دارای شکست طبیعی است، به عنوان مرز یک کلاس با کلاس دیگر در نظر گرفته شد. در پایان نقشه پهنه‌بندی نهایی در چهار کلاس کم خطر، خطر متوسط، پرخطر و خیلی پرخطر به دست آمد. به منظور تعیین مدل مناسبتر از بین دو مدل مورد نظر در این پژوهش از شاخص نقشه پراکنش زمین لغزش استفاده شد. در این ارتباط نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در دو روش مذکور با نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه قطع داده شد و نمودار درصد سطحی لغزش هر یک از طبقات مختلف خطر مشخص گردید. هر چه میزان درصد سطحی لغزش در طبقات با خطر بالا بیشتر باشد و روند تغییرات درصد سطح لغزش از طبقات کم خطر به سمت طبقات با خطر بالا افزایش یابد و دارای یک روند صعودی باشد نشان دهنده این است که روش پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مناسب تر بوده و اگر این روند بالعکس باشد و یا در تمام پهنه‌های خطر میزان درصد سطح لغزش تقریباً بطور یکسان باشد نشان دهنده آن است که روش پهنه‌بندی خطر مناسب نمی‌باشد.

نتایج

با بررسی روش‌های مذکور نتایجی به شرح زیر حاصل شده است:

روش ارزش اطلاعاتی

در جدول (1)، کلاسه‌های هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های زیرحوزه آبخیز پهنه کلا و در جدول (2) وزن اختصاص یافته به هر کلاس، نمایش داده شده است.

³ Variables in the Equation

⁴ Model Summary

¹ Forward Likelihood Ratio=Forward LR

² Likelihood Ratio

مقدار ضریب والد (Wald) تنها برای متغیر فاصله از جاده در سطح خطای زیر 0/05 معنی‌دار می‌باشد و مدل سایر عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش‌های منطقه (ارتفاع- بارندگی- شیب- جهت شیب- خاک- کاربری اراضی و زمین‌شناسی) را به علت عدم معنی‌داری از معادله نهایی رگرسیونی حذف نمود و نتایج این جدول در یک گام ارائه شد.

با توجه به نتایج یکسان به دست آمده در این بخش از پژوهش در مورد اهمیت تأثیر جاده سازی غیر اصولی در وقوع زمین لغزش‌های منطقه پیشنهاد می‌شود که در احداث تاسیسات و جاده‌های این منطقه نهایت دقت اعمال شود و حتی الامکان از احداث جاده‌ها در مناطق حساس به زمین لغزش جلوگیری شود، به طوری که که با توجه به این شرایط کمترین طول و بیشترین استفاده را داشته باشد. همچنین، توصیه می‌شود که از زهکش در اطراف جاده‌ها و کناره‌های آن برای تخلیه رواناب حاصل از بارندگی و ذوب برف استفاده شود. احمدی و همکاران (1384)، گرابی (1385) و Yalcin (2008) نیز در تحقیقات خود جاده سازی را به عنوان مهمترین عامل در وقوع زمین لغزش‌ها معرفی نمودند. در رابطه با کارایی بالای روش ارزش اطلاعاتی در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش، که در این تحقیق به اثبات رسیده است، در مقایسه با سایر پژوهش‌های صورت پذیرفته در این زمینه باید مطرح نمود. نتایج حاصله از این تحقیق با نتایج شیروانی و همکاران (1384)، افجه نصر آبادی و همکاران (1387)، حاجی کریمی و همکاران (1389) و همچنین نتایج سیارپور (1999)، سفیدگری (2002) و Fanyu (2007) که همگی بر کارایی بالای روش ارزش اطلاعاتی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تأکید داشته‌اند، مطابقت دارد.

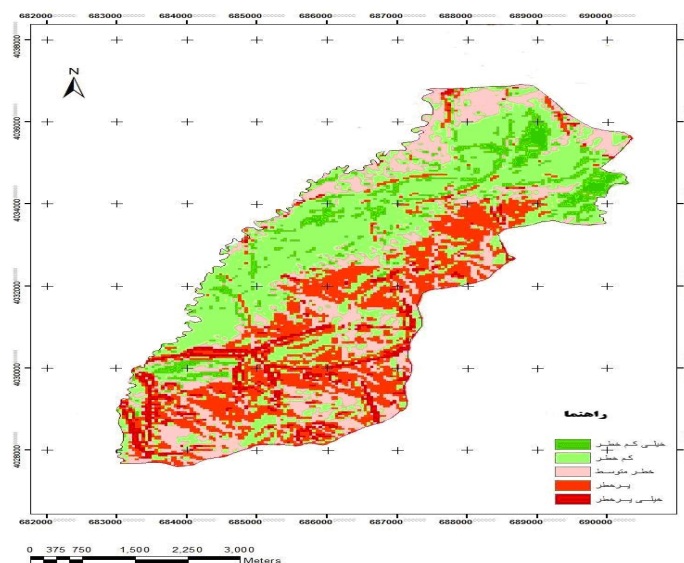
همچنین نتایج آزمون درصد صحت پیش‌بینی مدل به صورت جدول طبقه بندی¹ صفر و یک برای نقاط مشاهده ای و احتمال پیش بینی شده (P) در جدول (5) آمده است. نتایج این بخش نشان می‌دهد میزان موفقیت کلی پیش بینی مدل 85/2 درصد بوده که قابل قبول است. در ادامه برای ارزیابی صحت نقشه های حساسیت به وقوع زمین لغزش حاصله از به کارگیری روش‌های ارزش اطلاعاتی و رگرسیون لجستیک، از طریق روی هم اندازی هر یک از نقشه‌های حساسیت به وقوع زمین لغزش با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها تعداد زمین لغزش‌هایی که در کلاس‌های خطر بالا (شامل کلاس‌های پرخطر و خیلی پرخطر) اتفاق افتاده‌اند، محاسبه شد (جدول 6).

نتایج نشان می‌دهد در روش ارزش اطلاعاتی 72/12 درصد از زمین لغزش‌های منطقه در کلاس‌های پرخطر و خیلی پرخطر قرار گرفته‌اند در حالی که در روش رگرسیون لجستیک 65/56 درصد از زمین لغزش‌های منطقه در کلاس‌های پرخطر و خیلی پرخطر واقع شده‌اند. بنابراین، روش ارزش اطلاعاتی به لحاظ داشتن انطباق بالای زمین لغزش‌ها با مناطق پرخطر و همچنین توانایی در تفکیک کلاس‌های خطر در منطقه مورد پژوهش، کارایی مناسبی در تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش داشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

در مجموع با بررسی وزن‌های اختصاص یافته به هر کلاس از عوامل مؤثر در روش ارزش اطلاعاتی، برای بررسی پر اثرترین و کم اثرترین کلاس‌ها در وقوع زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه می‌توان مطرح نمود بیشترین وزن مربوط به کلاس 0-100 متر فاصله از جاده می‌باشد. همچنین کلاس‌های شیب 58-37 درصد، نوع خاک قهوه‌ای شسته شده با افق کلسیک، جهت شیب شمالی، طبقه ارتفاعی 197-0 متر، طبقه بارندگی 87-772 میلی‌متر، کاربری زراعت و سازند مارن میوسن، به ترتیب از نظر اهمیت در وقوع زمین لغزش در مرحله بعدی قرار می‌گیرند. اختصاص یافتن بیشترین وزن به کلاس 0-100 متر فاصله از جاده، بیانگر این مطلب است که جاده سازی غیر اصولی که عمدتاً به منظور بهره‌برداری از درختان جنگلی صنعتی و برداشت چوب در منطقه صورت می‌پذیرد، بیشترین نقش را در وقوع زمین لغزش‌های زیرحوزه آبخیز پهنه کلا بر عهده دارد. همچنین، با توجه به مدل نهایی و جدول متغیرها در معادله (جدول 1)، در خروجی رگرسیون لجستیک، مشخص شد که

¹ Classification Table



شکل 3- نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش در زیرحوزه آبخیز پهنه کلا به روش ارزش اطلاعاتی

جدول 1- کلاسه های عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها در زیر حوزه آبخیز پهنه کلا

عامل کلاسه	شیب (درصد)	فاصله از جاده (متر)	ارتفاع (متر)	کاربری اراضی	بارندگی (میلیمتر)	واحد زمین شناسی	تیپ خاک	جهت شیب
1	12-0	100-0	197-0	جنگل	639-463	M _{2,3} ^{msl}	قهوه ای جنگلی	شمال
2	23-12	200-100	320-197	زراعت	708-639	Q ₂	قهوه ای سشته شده با افق کلسیک	شرق
3	37-23	300-200	459-320	باغ و جنگل	772-708	-	قهوه ای سشته شده با پسودو گلی	جنوب
4	58-37	>300	743-459	-	874-772	-	-	غرب
5	>58	-	-	-	-	-	-	-

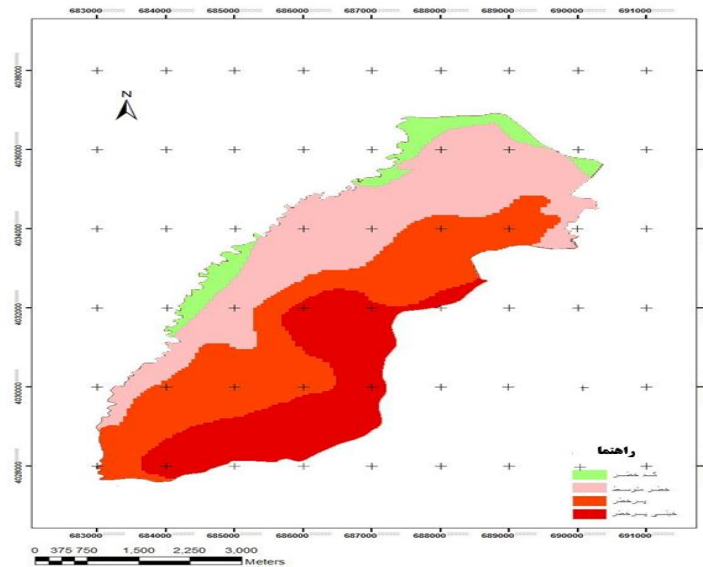
جدول 2- وزن کلاسه های عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های زیر حوزه آبخیز پهنه کلا به روش ارزش اطلاعاتی

عامل کلاسه	شیب (درصد)	فاصله از جاده (متر)	ارتفاع (متر)	کاربری اراضی	بارندگی (میلیمتر)	واحد زمین شناسی	تیپ خاک	جهت شیب
1	-0/13	1/27	0/24	-0/01	-0/24	0/02	-	0/26
2	-0/19	-0/64	-0/18	0/08	-0/32	-0/72	0/27	-0/33
3	0/59	-0/67	0/06	0/06	-0/16	-	-0/08	-0/47
4	0/97	-3/38	0/05	-	0/18	-	-	0/09
5	-	-	-	-	-	-	-	-

جدول 3- جدول متغیرها در معادله رگرسیون لجستیک

EXP(B)	Si	df	Wald	S.E	B
نسبت	سطح	درجه	آماره والد	خطای	ضریب
بخت ها	معنی داری	آزادی	استاندارد	رگرسیونی	
0/183	0/000	1	34/304	0/290	-1/696
26/430	0/000	1	35/261	0/551	3/275

گام 1 عامل جاده (e)
عدد ثابت



شکل 4- نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش در زیرحوزه آبخیز پهنه کلا به روش رگرسیون لجستیک

جدول 4- جدول خلاصه مدل

Nagelkerk R ²	Cox and Snell R ²	-2Log likelihood	گام
آماره ناگلکرک	آماره کوکس و اسنل	آماره لگاریتم درست نمایی	
0/571	0/428	100/941	1

جدول 5- جدول طبقه‌بندی نقاط صفر و یک برای نقاط مشاهده‌ای و احتمال پیش‌بینی شده

درصد صحت	نقاط پیش‌بینی شده		نقاط مشاهده‌ای	گام
	وضعیت نقاط			
	1	0		
86/9	8	53	0	1 وضعیت نقاط
83/6	51	10	1	
85/2				درصد کلی صحت مدل

جدول 6- ارزیابی کارایی دو مدل ارزش اطلاعاتی و رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت بوقوع زمین لغزش

درصد	ارزش اطلاعاتی		مدل پهنه بندی		پهنه خطر
	زمین لغزش	درصد	زمین لغزش	درصد	
29/50	18	31/14	19		خیلی پر خطر
36/06	22	40/98	25		پر خطر
65/56	39	72/12	44		مجموع

فهرست منابع:

1. احمدی، ح، ش. محمدخان، س. فیض‌نیا و ج. قدوسی. 1384. ساخت مدل منطقه ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و سلسله مراتبی سیستم‌ها، پژوهش موردی، حوزه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران، جلد 55، ص. 3 تا 14.
2. افجه نصر آبادی، ح، ش. شتایی، ن. رافت نیا و م. شریعت جعفری. 1387. ارزیابی کارایی مدل‌های آماری ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مناطق جنگلی، سری دو جنگل شصت کلاته، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 15، شماره 6، ص. 12 تا 24.
3. حاجی کریمی، ح، ف. نادری و ب. ناصری. 1389. پهنه‌بندی و تهیه نقشه ریسک و خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز تلخاب ایلام با استفاده از GIS، همایش ملی منابع طبیعی، دانشگاه ایلام.
4. حبیب پور گنابی، ک. و ر. صفری شالی. 1388. راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی، تحلیل داده‌های کمی، انتشارات لویه و متفکران. ص 704-738.
5. شیروانی، ک، ج. غیومیان، و الف. مختاری، 1384. بررسی و ارزیابی روش‌های آماری دومتغیره و چند متغیره در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، پژوهش موردی، حوزه رودخانه ماربر، مجله آب و آبخیز، ج 2، ص 36 تا 47.
6. شرکت مهندسی جهاد، مهندسین مشاور خزر. 1372. طرح آبخیزداری رودخانه تجن (حوزه آبخیز سد شهید رجایی)، هواشناسی و اقلیم، ص. 11 تا 43.
7. گرایبی، پ. 1385. بررسی حرکت‌های توده‌ای زمین (زمین لغزش) به منظور ارائه مدل منطقه‌ای پهنه بندی خطر در حوزه آبخیز لاجیم رود. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه مازندران، ص 79-85.
8. میرصانعی، ر. و ر. کاردان. 1387. نگرشی تحلیلی بر ویژگی‌های زمین لغزش کشور. مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین شناسی محیط زیست ایران، چاپ اول، دانشگاه تربیت معلم تهران، 84-83 ص.
9. موسوی خطیر، ز. 1387. مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از رگرسیون لجستیک (پژوهش موردی: حوزه آبخیز سجاد رود، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه مازندران.
10. Biao Bai, Sh., J. Wang, G. Nian Lu, P. Gen Zhou, Sh. Shan Hou and S. Ning Xu. 2010. GIS-Bsed logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Gorges area, China, *Geomorphology*, 115: 23-31.
11. Fanyu liu, Z. 2007. Study on landside susceptibility mapping based gis and with behavior statistics a case study in Longnan area highway212. Science paper online.
12. Garcia-Rodriguez, M., J.A. Malpica, B. Benito and M. Diaz. 2008. Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression. *Geomorphology*, 95: 172-191.
13. Kanungo, D.P., M.K. Arora, S. Sarcar and R.P. Gupta. 2006. A comparative study of convential, ANN black box, fuzzy an combined neural weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology*, 85: 347-366.
14. Sayyarpour, M. 1999. The potential landslide hazard zonation in southern of Khalkhal, Ardabil province. MSc.Thesis. Tehran University: 173 p.
15. Sefidgari, R. 2002. Elavation investigation on landslide hazard methods in Damavand Watershed. MSc.Thesis. Tehran University: 159 p.
16. Singhroy, V., N. Glenn and H. Ohkura. 2004. Landslide hazard team report of the CEOS disaster management support group. CEOS Disaster Information Server. National Academy Press, Washington, D.C., 130-132 p.

17. Yalcin, A. 2008. GIS based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariat statistics in Ardesen (Turkey): comparison of results and confirmations. *Catena*, 72:1-12.
18. Yalcin, A., S. Reis, A.C., Aydinoglu and, T. Yomralioglu. 2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, vivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*, 85: 274-287.