ارزیابی روش رگرسیون لجستیک در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه حاجیلر چای

لیلا خدائی*
دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
شهرام روستائی
استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
سید اسدا... حجازی
دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۱۲

چکیده
ارزیابی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در منطقه‌ای که به دلیل وضعیت جغرافیایی و ساخت‌وسازهای انسانی مستعد لغزش است ضروری می‌نماید. در این مطالعه، جهت بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش، روش رگرسیون لجستیک مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت این مطالعه از تصویر OLI_TIRS، ۲۰۱۴ ماهواره لندست استفاده شد. فاکتورهای مؤثر وقوع زمین‌لغزش (شیب، جهت دامنه، لیتولوژی، کاربری زمین، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، طبقات ارتفاعی) در محیط GIS آماده و سپس با لایه پراکنش زمین‌لغزش‌ها قطع داده شده و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در روش فوق تولید شد. نتایج نشان داد که روش رگرسیون لجستیک عملکرد بهتری را در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه دارد همچنین تفسیر ضرایب نشان داد که، طبقات ارتفاعی، شیب و فاصله از گسل نقش مهمی در وقوع زمین‌لغزش دارند. و با استفاده از نقشه پیش‌بینی احتمال وقوع زمین‌لغزش، منطقه به پنج گروه حساسیت تقسیم شد: بسیار پایین، پایین، متوسط، بالا، بسیار بالا.

واژگان کلیدی: حاجیلر چای، رگرسیون لجستیک، ماهواره لندست، زمین‌لغزش.

مقدمه

زمین‌لغزش‌ها مانند سایر بلایای طبیعی، هر ساله خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را در نقاط مختلف دنیا به بار می‌آورند کشور ما به دلیل داشتن شرایط خاص زمین‌شناسی، فیزیوگرافی و آب و هوایی، مستعد وقوع این پدیده است. چنانچه تاکنون

* نویسنده مسئول: ۰۹۳۷۹۵۲۸۱۷۶ E-mail: KhodaeiLeila@yahoo.com

۳۲۵۰ مورد زمین‌لغزش در استان‌های مختلف کشور به ثبت رسیده و تخمین زده می‌شود که تعداد آن‌ها بالغبر دو برابر این رقم باشد. علاوه بر خسارت‌های ذکر شده، تخریب اراضی کشاورزی، باغ‌ها، سازه‌های مهندسی و راه‌های ارتباطی و هدر رفت سریع خاک، از دیگر آثار زمین‌لغزش‌ها به شمار می‌روند. افزون بر این، رشد سریع جمعیت در دهه‌های اخیر، گسترش شهرها به‌سوی نواحی کوهستانی و پرشیب‌تر و دخالت هر چه بیشتر بشر در طبیعت، سبب شده است که این دو عامل به‌صورت نگران کننده‌ای، سبب افزایش بی‌شمار رخداد زمین‌لغزش‌ها و بالا رفتن میزان خسارت‌ها و تلفات این پدیده در سال‌های اخیر شوند. باوجود افزایش دانش بشری در مورد سازوکار رخداد زمین‌لغزش‌ها و عوامل کنترل کننده آن‌ها که در سایه تلاش بسیاری از پژوهشگران و علاقه‌مندان در کشورهای مختلف حاصل‌شده است، پیش‌بینی می‌شود که در آینده به علت ادامه فزاینده تغییرات انسان در طبیعت و استفاده از نواحی کوهستانی و مستعد لغزش، رخداد زمین‌لغزش‌ها و خسارت‌ها حاصل از آن‌ها ابعاد گسترده‌تری پیدا کند (محمودی، ۱۳۸۰). در ایران، با توجه به ناهمواری شدید مناطق کوهستانی، فعالیت زمین ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط گوناگون زمین‌شناسی و اقلیمی، شرایط طبیعی برای ایجاد طیف گسترده‌ای از زمین‌لغزش‌ها فراهم است و سالیانه خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌شود. در این مطالعه، حوضه آبریز حاجیلر چای، واقع در شهرستان ورزقان به‌صورت موردی انتخاب‌شده است با توجه به کوهستانی بودن منطقه، و برنامه‌ریزی جهت ساخت سد حاجیلر چای شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش اساسی است زیرا در صورت عدم توجه به این مسئله و اقدام به ساخت سد در محل نامناسب و نهایتاً آب‌گیری سد، باعث افزایش فشار آب منفذی بر پنجه زمین‌لغزش قدیمی موجود در منطقه و کاهش مقاومت برشی مواد انباشته در پنجه خواهد شد، که به طبع آن وقوع زمین‌لغزش‌های جدید را بر روی زمین‌لغزش قدیمی در منطقه سبب خواهد شد. بنابراین هدفی که از این پژوهش دنبال می‌شود این است که، مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در منطقه و عوامل مؤثر در آن شناخته شود تا به این وسیله از اثرات زیان‌بار آن در عرصه‌های منابع طبیعی و سایر بخش‌های توسعهٔ عمرانی و اقتصادی جلوگیری کرده و نقاط با پتانسیل بالای خطر شناسایی و پهنه‌بندی شود. بنابراین هدف اصلی این پژوهش، تعیین مناطق مستعد زمین‌لغزش در محدوده حوضه آبریز حاجیلر چای با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی است.

پیشینه پژوهش

طی سال‌های متمادی مطالعات زیادی در زمینهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. (سارولی[1]: ۲۰۰۱)، با استفاده از روش رگرسیون خطی[2] به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در کشور کره پرداخته است. که نتایج نشان

1.Sarolee
2.Liner Regression Modeling

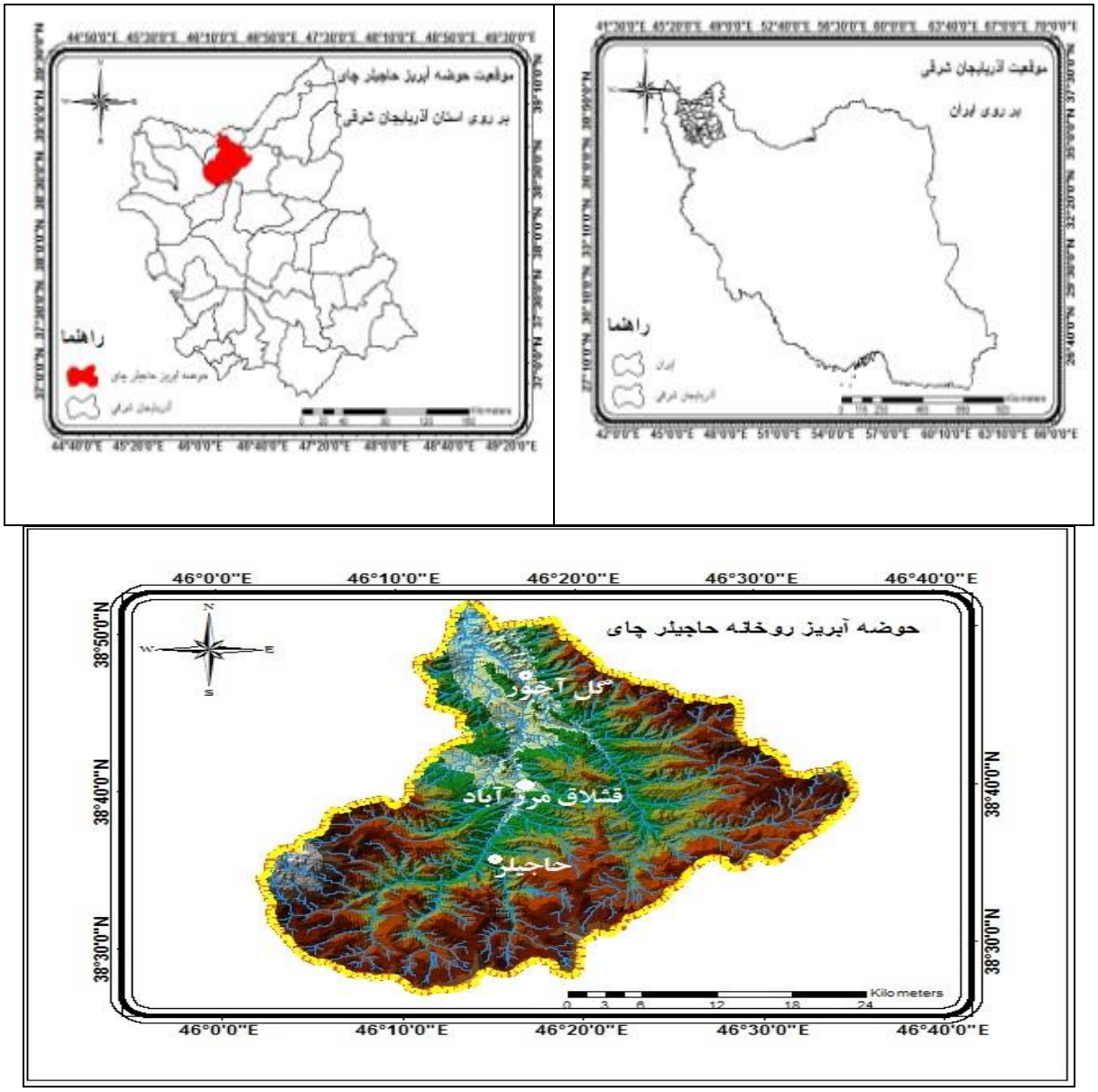
داد که این روش نتایج نسبتاً، مناسبی دارد. (چاو[1] و همکاران ۲۰۰۳) به تحلیل خطر زمین‌لغزش در شهر هنگ‌کنگ با استفاده از GIS و زمین‌لغزش‌های صورت گرفته پرداختند نتایج نشان می‌داد تلفات و مضراتی که زمین‌لغزش‌ها سبب شدند، با تجمع بارندگی در هنگ گنگ افزایش‌یافته و همبستگی شدیدی مابین داده‌های بارندگی و نتایج زمین‌لغزش‌ها نشان داده شد و نهایتاً نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را برای شهر مذکور با استفاده از داده‌های تاریخی تهیه کردند. و به‌طور بالقوه، GIS را برای خطر زمین‌لغزش و نقشه‌های خطر جهت انجام محاسبه‌های رستری مورد استفاده قرار دادند (آیالیو و همکاران: ۲۰۰۵)، از دو روش سلسله مراتبی و رگرسیون لجستیک برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در جزیره سادو[2] در ژاپن استفاده کردند و با مقایسه این دو روش برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به این نتیجه رسیدند که مدل AHP[3] نسبت به مدل رگرسیون لجستیک از دقت بالاتری برخوردار است. در داخل کشور نیز مطالعات زیادی در این زمینه انجام گرفته است از جمله: (فتاحی اردکانی: ۲۰۰۲) به ارزیابی کارایی تعدادی از روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، در حوزه آبخیز سد لتیان پرداختند نتایج نشان داد که روش‌های وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی با دقت‌هایی در حدود ۹۹/۷ و ۹۹/۴ درصد از میان مدل‌های انتخاب‌شده، برای استفاده در مناطق مشابه حوزهٔ آبخیز سد لتیان در البرز مرکزی کاراترین روش‌ها هستند. (روستایی :۲۰۰۴) به بررسی دینامیک لغزش‌های زمین و علل وقوع آن‌ها با استفاده از روش‌های مورفومتری در حوضهٔ اهر چای پرداخته است. حدود پنجاه مورد لغزش اتفاق افتاده در حوضهٔ اهر چای با استفاده از روش‌های مورفومتری تحلیل مورفولوژیکی شده است و در نهایت به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ مذکور با استفاده از مدل آن‌بالاگان اقدام نموده است. (سرتیپی و همکاران: ۲۰۱۱) به بررسی زمین‌لغزش‌های وقوع یافته در ساخت گاه سد قلعه چای عجب‌شیر، بر پایه داده‌های زمین‌شناسی پرداختند که بدین منظور شناسایی دقیق سنگ‌ها و رفتار آن‌ها، ناپیوستگی‌ها و ساختارهای خطی منطقه، خواص مصالح سنگی و خاکی منطقه و پدیده‌ها و مخاطرات زمین‌شناسی منطقه را با استفاده از مطالعات ژئو رادار مورد توجه قرار دادند.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، محدوده حوضه آبریز حاجیلر چای، یکی از سه رودخانه اصلی شهرستان ورزقان است که از کوه‌های ارزیل سرچشمه گرفته و پس از زهکشی محیط پیرامون خود، به رودخانه ارس می‌ریزد. طول این رودخانه ۵۰ کیلومتر با میزان آبدهی ۱۰۰ مترمکعب در ثانیه می‌باشد این رودخانه جزء رودخانه‌های داخلی با رژیم آبی فصلی است. این حوضه آبریز منطبق بر مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۵۸

1.Chau
2.Sado
3.Analytical Hierarchy process

دقیقه طول شرقی به مساحت ۱۱۲۹ کیلومتر مربع و محیط ۱۸۹ کیلومتر قرار گرفته است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده-ها و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده:

* نقشه‌های توپوگرافی رقومی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰؛
* نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰؛
* تهیه نقشه‌های پایه و موضوعی مانند (شیب و جهت شیب، پوشش گیاهی، فاصله از گسل و ... . سایر نقشه‌ها برحسب نیاز)؛
* تصویر ماهواره‌ای لندست ۲۰۱۱ سنجنده TM[1]؛
* DEM[2] منطقه مورد مطالعه ۳۰ * ۳۰ متری.

روش پژوهش

* **مدل رگرسیون لجستیک[3]:** یکی از روش‌های آماری پیش‌بینی کننده برای متغیرهای وابسته‌ای است که حالت صفر و یک با وقوع و عدم وقوع (مانند زمین‌لغزش‌ها) دارند. در این روش رابطه رگرسیونی متغیرها خطی نبوده بلکه به‌صورت منحنی S شکل یا لجستیک است. در این مدل 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): (متولی: ۲۰۰۹) بیان می‌شود:

$$Y = \text{Logit}(p) = \text{Ln}(p/1-p) = C0 + C1x1 + C2x2 + .. + Cnxn \qquad \text{رابطه (۱)}$$

لوجیت: Logit یا لگاریتم شانس در واقع مقدار لگاریتم طبیعی احتمال است.

P: احتمال متغیر وابسته (y) است.

$p/1-p$: نسبت شانس یا احتمال.

C_0: مقدار ثابت می‌باشد.

$(C_1,..C_n)$: ضرایبی هستند که مشارکت عوامل مستقل $(X_1,X_2,..X_n)$ را برای متغیر y نشان می‌دهند

$(X_1 \ldots X_n)$: متغیر مستقل‌های مستقل هستند.

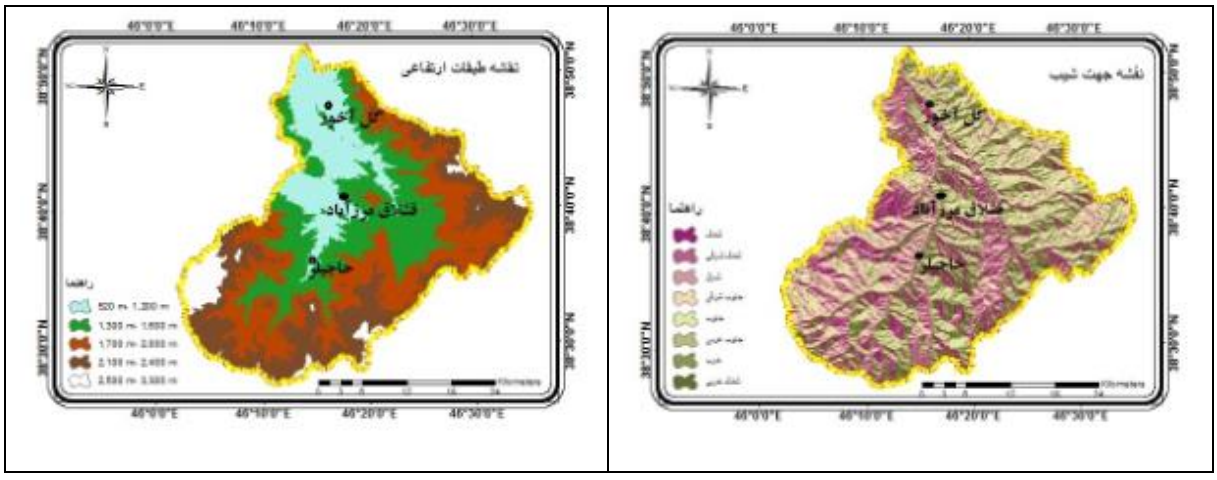
1. Tematic Mapper
2. Digital elevation Model
3. Logastic regression

برای انجام روش فوق، نرم‌افزار ادریسی[1] مورد استفاده قرار گرفت در این مطالعه جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش در محدوده مورد مطالعه مراحل زیر به ترتیب انجام پذیرفته است.

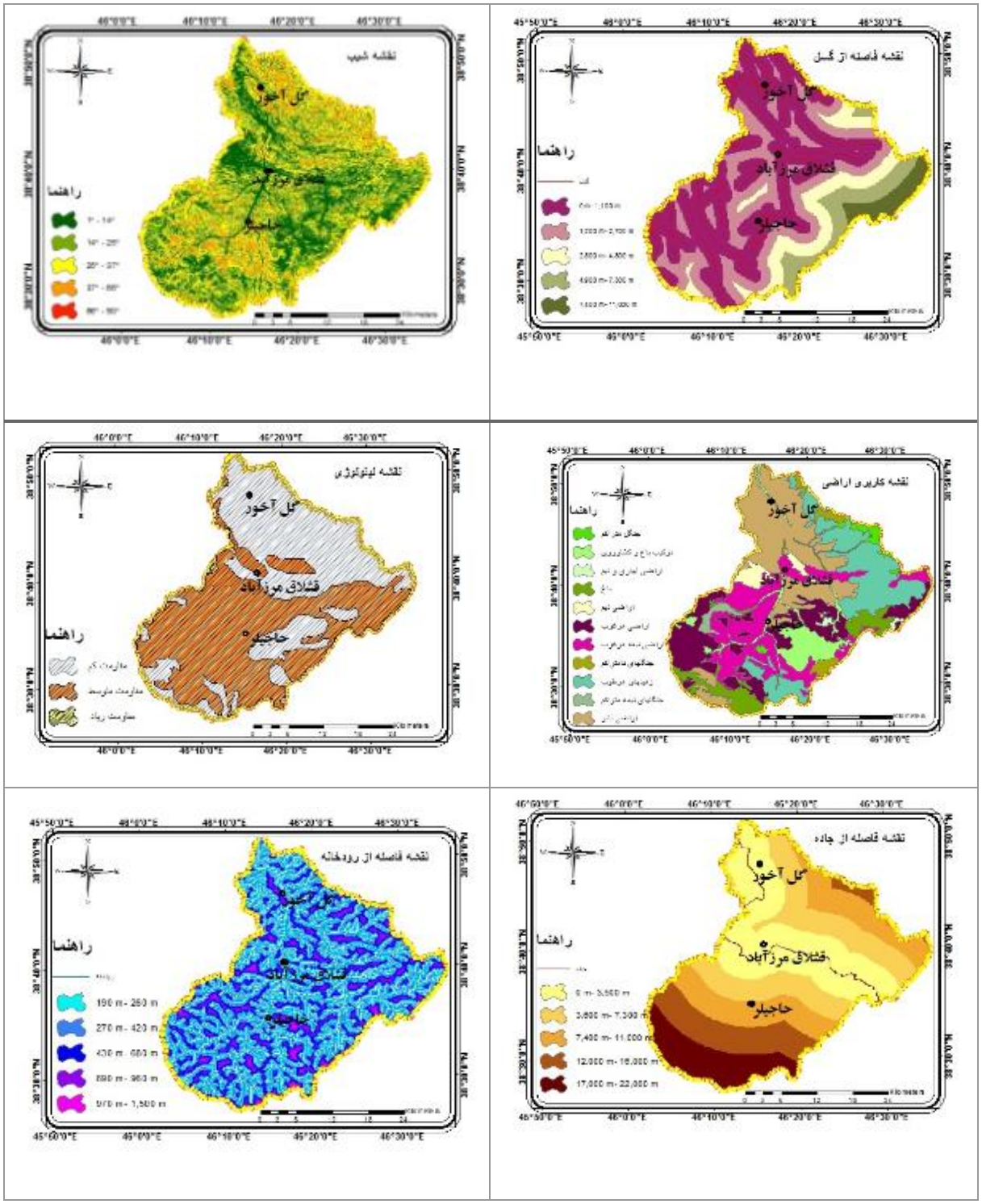
بررسی فاکتورهای مؤثر در زمین‌لغزش

جهت بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش هشت فاکتور شیب، جهت دامنه، لیتولوژی، کاربری اراضی، طبقه‌های ارتفاعی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده به‌عنوان عوامل و فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه تشخیص داده شدند. که مراحل تهیه آن‌ها به‌طور خلاصه عبارتند از:

تهیه نقشه عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه به‌صورت لایه‌های مختلف اطلاعاتی در محیط GIS و انتقال به نرم‌افزار ادریسی که شامل: ۱- تهیه لایه‌های رودخانه، گسل و جاده از طریق نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ و ایجاد نقشه‌های فاصله از پارامترهای مورد نظر با استفاده از تابع Distance؛ ۲: ایجاد نقشه‌های شیب و جهت دامنه از DEM (مدل رقومی ارتفاعی)؛ ۳: تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه بر اساس طبقه‌بندی نظارت‌نشده تصویر ماهواره‌ای لندست سنجنده OLI_TIRS؛ ۴: تهیه نقشه لیتولوژی؛ ۵: تبدیل داده‌های پراکنش زمین‌لغزش منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و نیز گوگل ارس به پهنه‌های لغزشی؛ ۷: انطباق لایه‌های اطلاعاتی با نقشه سیاهه زمین‌لغزش منطقه و محاسبه تراکم آن‌ها در واحد سطح؛ ۸: انجام مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از نرم‌افزار ادریسی. شکل (۲) نقشه فاکتورهای مؤثر در وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای را نشان می‌دهد.



1. Idrisi

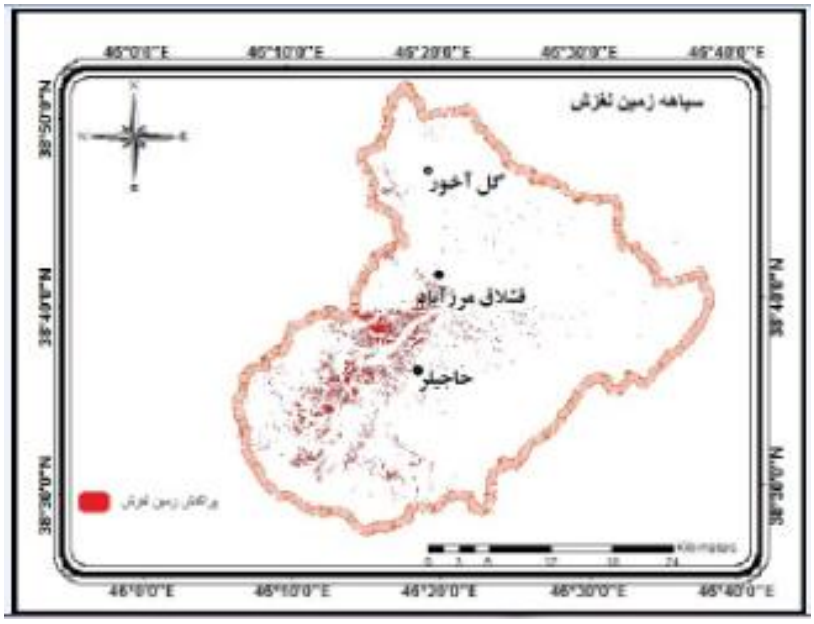


مآخذ: نگارندگان

شکل ۲: نقشه‌های فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه

سیاهه زمین‌لغزش‌ها

در ناحیه مورد مطالعه نقشه سیاهه زمین‌لغزش‌ها به‌صورت پهنه لغزشی بر اساس تصویر ماهواره‌ای لندست سال ۲۰۱۴ تهیه شد، مساحت پیکسل‌های لغزشی منطقه حدود ۲۹۹۴ مترمربع می‌باشد که حدود ۲/۶۵ درصد مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. شکل (۳) پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه را نشان می‌دهد.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۳: پراکنش زمین‌لغزش‌ها

ارزیابی کارایی رگرسیون لجستیک و تحلیل شبکه با پراکنش زمین‌لغزش‌ها

در این مطالعه از درجه تناسب، جهت ارزیابی موفقیت مدل‌ها استفاده‌شده است. درجه تناسب: تحلیل‌های مبتنی بر سازگاری فضایی مابین نقشه حاصل‌شده از روش و زمین‌لغزش‌های رخداده است. درجه تناسب عملکرد مدل را به‌وسیله ارزیابی خطای نسبی و موفقیت نسبی بیان می‌کند: خطای نسبی: "جمع ارزش کلاس‌های مستعد پایین و خیلی پایین"، و ارزیابی مقدار نسبی موفقیت: "جمع ارزش کلاس‌های استعداد بالا و خیلی بالا". کمترین خطای نسبی و بالاترین مقدار موفقیت نسبی، برترین مدل و بهترین نقشه از بین چهار مدل فوق را نشان می‌دهد.

یافته‌های پژوهش

در روش رگرسیون لجستیک پس از ورود داده‌ها به مدل آماری رگرسیون لجستیک، با استفاده از پارامترهای مؤثر در نرم‌افزار ادریسی، ضرایب مدل، مطابق جدول (۱) استخراج شد.

جدول ۱: ضرایب حاصل از مدل رگرسیون لجستیک

ضرایب	متغیرهای مستقل	
-۵/۲۰۴۹۰۶۳۵	عدد ثابت	X_0
۰/۵۱۳۸۳۶۱۳	فاصله از گسل	X_1
۰/۴۳۲۱۳۷۵۴	فاصله از رودخانه	X_2
-۰/۰۰۹۴۷۰۰۱	فاصله از جاده	X_3
۰/۱۰۴۹۹۶۵۶۳	کاربری اراضی	X_4
۰/۱۱۳۱۰۱۱۰	لیتولوژی	X_5
۱/۶۵۲۰۱۲۵۱	طبقه‌های ارتفاعی	X_6
۰/۷۰۶۵۹۱۴۳	شیب	X_7
۰/۰۰۰۸۸۵۹۵۱	جهت شیب	X_8

مآخذ: نگارندگان

آزمون کی دو[1]

آزمون کی دو، یک آزمودن معتبر و معمولی برای رگرسیون لجستیک است از اختلاف بین (L) 2Ln- برای مدل بهترین برازش و(L0)2Ln- برای فرضیه صفر است، به دست می‌آید. چنانچه این آماره در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار باشد (Chi Square > 14.1) فرضیه صفر (H_0) رد می‌شود. مقدار شاخص کی دو Chi Square نیز برابر ۱۴۵۷/۰۶۵۳ گردید که با توجه به اینکه مقدار آن بسیار بیشتر از مقدار آستانه تعیین‌شده است در نتیجه فرض صفر بودن تمام ضرایب نیز رد می‌گردد.

آزمون پی آر دو[2]: (PR2)

مقدار PR2 می‌تواند از رابطه (۳) محاسبه شود:

$$PR^2 = 1 - \frac{Ln\,(L)}{Ln\,(L0)}$$ رابطه (۳)

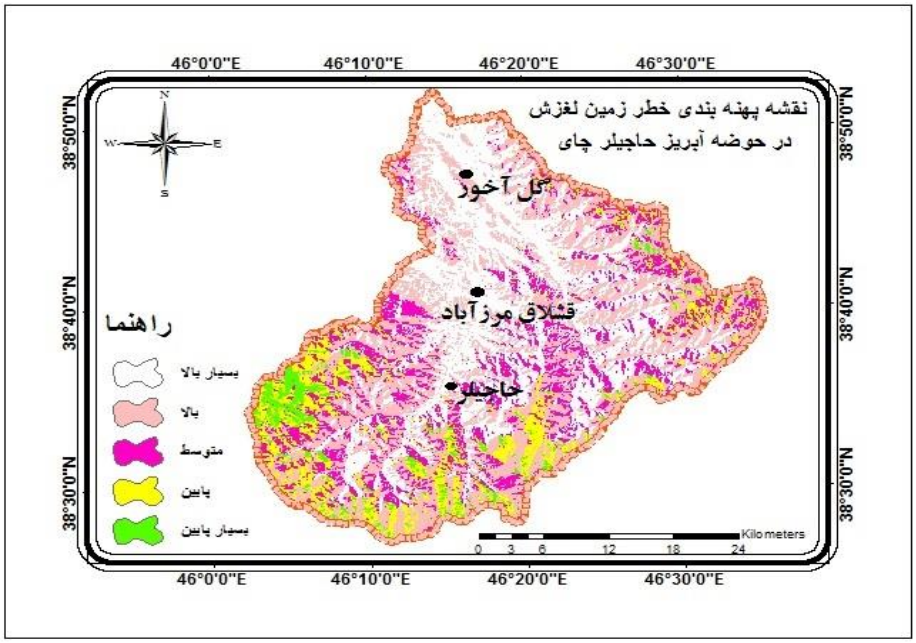
مقدار PR2 نشان می‌دهد که چگونه مدل لوجیت، مجموعه داده‌ها را برازش می‌دهد (منارد: ۱۹۹۵). بنابراین PR2 مساوی با ۱ نشان‌دهنده برازش کامل مدل است، چنانچه این مقدار برابر ۰ باشد نشان‌دهنده عدم رابطه متغیرهای مستقل با متغیر وابسته است. چنانچه مقدار PR2 بزرگ‌تر از ۰/۲ باشد نشان‌دهنده برازش نسبتاً خوب مدل است (آیالیو و یاماگیشی: ۲۰۰۵). با

1.Chi Square
2.Pseudo R Square

توجه به اینکه در این پژوهش مقدار شاخص PR2 برابر ۰/۷۶۸۷ گردید و مقدار آن بزرگ‌تر از آستانه ۰/۲ می‌باشد، این مدل برازش قابل قبولی را نشان می‌دهد.

شاخص راک (ROC[1])

معیار دیگر، توجه به این مسئله است که مدل چه مقدار می‌تواند متغیر وابسته را به‌خوبی پیش‌بینی کند. در این مورد نرم‌افزار ادریسی از معیار (راک) برای مقایسه یک نقشه بولین (وجود یا عدم وجود زمین‌لغزش) با نقشه احتمال بکار می‌رود. مقدار (راک) از ۰/۵ تا ۱ متغیر است که ۱ نشان‌دهنده تطابق کامل و ۰/۵ نشان‌دهنده تطابق اتفاقی است (متولی: ۲۰۰۹). مقدار ۰/۹۸۳۶ به‌دست‌آمده در این مطالعه، نشان‌دهنده همبستگی بسیار بالای بین متغیر مستقل و وابسته است. پس از مشخص شدن اعتبار مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از شاخص‌های فوق، نقشه پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش تهیه گردید شکل (۴). منطقه مورد مطالعه از نظر حساسیت به زمین‌لغزش به ۵ کلاس خطر بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین تقسیم شد.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۴: نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز حاجیلر چای

1. Relative Operating Characteristic

در تعیین تعداد پارامترهای مستقل در وقوع زمین‌لغزش هیچ استانداردی وجود ندارد. در پژوهش حاضر اثر جهت دامنه و فاصله از جاده در وقوع زمین‌لغزش، ضریب پایینی را به خود اختصاص داده‌اند. لذا از مدل حذف شدند. و نتیجه مدل به‌صورت معادله (۱) نشان داده شد.

معادله (۱)

Logit (lan3) = 0/5138 ×Distance to Fault + 0/1049 × Land Use + 0/1131×Litology + 1/6520 × DEM 0.7065 × Slope + 0/4321 × Distance to River

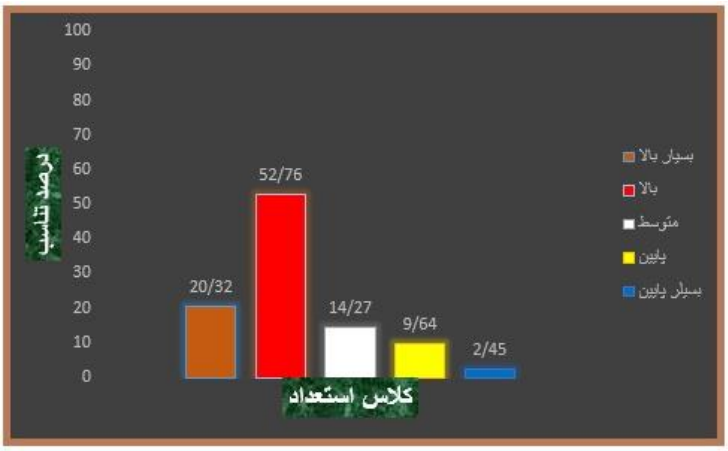
در مدل حاضر که با استفاده از رگرسیون لجستیک انجام گرفت، عامل طبقه‌های ارتفاعی با بیشترین ضریب بهترین متغیر پیش‌بینی کننده احتمال وقوع زمین‌لغزش در منطقه است و پس از آن به ترتیب شیب و فاصله از گسل بیشترین ضرایب را به خود اختصاص داده‌اند. پس از انجام پهنه‌بندی زمین‌لغزش درصد پهنه‌های لغزشی در هر کلاس محاسبه شد نتیجه نشان داد که مناطقی که با خطر بالا پهنه‌بندی شده‌اند بیشترین درصد از میزان مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند این مناطق در دامنه‌های شمالی و شمال غربی واقع شده‌اند. جدول (۲) درصد پهنه‌های لغزشی در هر کلاس را در منطقه مورد نظر نشان می‌دهد.

جدول ۲: مساحت پهنه‌ها به درصد در هر کلاس

کلاس	مساحت به درصد
بسیار پایین	۴/۲۵
پایین	۱۰/۱۸
متوسط	۱۵/۹۴
بالا	۳۵/۱۶
بسیار بالا	۳۴/۴۵

مآخذ: نگارندگان

نتایج حاصل از مدل از طریق قطع دادن نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با نقشهٔ پهنه‌بندی به‌صورت درجه تناسب مدل با پراکنش زمین‌لغزش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت شکل (۵). مقدار خطای نسبی بر اساس مجموع کلاس‌های مستعد خطر خیلی پایین و پایین به دست آمد، درحالی‌که مقدار موفقیت نسبی مدل، از مجموع کلاس‌های مستعد خطر بالا و خیلی بالا حاصل شد. بنابراین با توجه به نتایج شکل (۵) مقدار خطای نسبی به ترتیب برابر با ٪ ۱۲/۰۹ و میزان موفقیت نسبی برابر با ٪ ۷۳/۰۸ است.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۵: مقایسه درجه تناسب بین نتایج رگرسیون لجستیک با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس مدل مورد استفاده نتایج زیر حاصل شد. از میان هشت فاکتور مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه عامل طبقه‌های ارتفاعی، شیب، فاصله از گسل بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند. بیشترین لغزش‌ها در شیب‌های شمالی و شمال غربی و در ارتفاع ۱۳۰۰ تا ۱۸۰۰ متر به وقوع پیوسته‌اند که در سال‌های اخیر فعالیت‌های انسانی از جمله سدسازی و سایر ساخت‌وسازهای انسانی و کشت دیم در این منطقه افزایش یافته است. بر اساس نتایج حاصل از شکل (۴) از نظر درصد درجه تناسب نقشه پهنه‌بندی روش بحث شده، شکل (۴) با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، شکل (۳)، مدل رگرسیون لجستیک دارای مقدار خطای نسبی در حدود ٪ ۱۲/۰۹ و بالاترین مقدار موفقیت نسبی برابر با ٪ ۷۳/۰۸ می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در روش رگرسیون لجستیک، شکل (۴) مشخص گردید که دامنه‌های شمالی و شمال غربی نسبت به بقیه قسمت‌های منطقه از ناپایداری بیشتری برخوردار هستند. بر روی این دامنه‌ها وجود گسله‌های کوچک و متعدد، ساخت‌وسازهای انسانی از جمله احداث سد انواع کشت‌های دیم و آبی و عوامل دیگر هر کدام به سهم خویش سبب تشدید این ناپایداری‌ها شده‌اند که در بین آن‌ها سهم عامل طبقات ارتفاعی و شیب و وجود گسل‌ها نسبت به بقیه عوامل بیشتر بوده است. همچنین با توجه به نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش ذکرشده ۳۴/۴۵ درصد از کل مساحت منطقه دارای خطر بسیار بالا از نظر وقوع زمین‌لغزش است.

منابع

۱- سرتیپی، عبدالحمید. انتظام سلطانی، ایمان (۱۳۹۱):" بررسی زمین‌لغزش‌های ساخت گاه سد قلعه چای عجب‌شیر." مجله زمین‌شناسی مهندسی، سال ۹۱.

۲- متولی، صدرالدین. اسماعیلی، رضا. حسین زاده، محمدمهدی (۱۳۸۸):" تعیین حساسیت وقوع زمین‌لغزش با استفاده از رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز و از (استان مازندران)"فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال دوم، شماره ۵، پاییز، صص: ۸۳ – ۷۳.
۳- روستایی، شهرام (۱۳۸۳): "بررسی وقوع زمین‌لغزش در روستای نصیرآباد ورزقان (استان آذربایجان شرقی) با استفاده از روش‌های کمی." فصلنامه علوم انسانی، دوره ۸، شماره ۱,
۴- فتاحی اردکانی، محمدعلی. غیومیان، جعفر. جلالی، نادر (۱۳۸۱):"ارزیابی کار آیی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز سد لتیان."مجله زمین‌شناسی مهندسی، جلد ۱، شماره ۱، بهار، صص:۴۲-۲۵.

5- Ayalew. L., Yamagishi H., (2005): The Application of GIS-Based Logistic Regression For Landslide Susceptibility Mapping in The Kakuda - Yahiko Mountains, Central Japan. Journal of Geomorphology 65 Pp: 15-31
6- Chau. K.T., Sze. Y. L., Fung. W. Y., Wong. E. L., Fong. L. C. P., (2003): Landslide Hazard Analysis For Hong Kong Using Landslide Inventory and GIS K.T. Computers & Geosciences 30., Pp: 429–443.
7- Fattahi Ardekani. M. A., Ghayoumian J., Jalali N., (2002): Evaluation of Landslide Hazard Zonation Models in Latian Dam Watershed. Journal of Engineering Geology, Vol. 1, N. 1, Spring, Pp: 42-25.
8- Menard. S., (1995): Applied Logistic Regression Analysis. Sage University Paper Series on Quantitative Applications in Social Sciences, vol. 106. Thousand Oaks. California. Pp. 98.
9- Motavalli. S, Esmaili. R., Hosseinzadeh. M. M., (2009): The Signification of Sensitive Regions in the Vaz Catchment by Logistic Regression, Journal of Physiography, Vol. 2, N. 5, Autumn, Pp:73 – 83.
10- Roostaei Sh., (2004): Evaluation of Landslide Occurrence in Nasir Abad Village Varzeqan (Province of East Azarbayjan) by Using Quantitative Methods, Journal of Humanity, Vol. 8, N.1.
11- Sarolee. K. M, (2001) Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yonging, Korea, Environmental Geology, 40, Pp: 1095-1113
12- Sartipi. A., Entezam Soltani. E., (2011): Evaluation of Ghalea Chai Dam Landslides, Thirtieth Meeting of Geosciences, Winter. Pp: 1 – 7.