

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۱، تابستان ۱۳۹۶، صص ۱۴۸-۱۲۷

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۲۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۵

ارزیابی روش رگرسیون لجستیک در بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش مطالعه‌ی موردی: کرانه‌ی جنوبی حوضه‌ی آبریز اهر چای از روستای نصیر آباد تا سد ستارخان

کیوان محمدزاده^{۱*}

سیران بهمنی^۲

محمدحسین فتحی^۳

چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد پدیده‌ی زمین لغزش و تعیین مناطق دارای پتانسیل زمین لغزش در کرانه‌های جنوبی اهر چای از روستای نصیرآباد تا سد ستارخان حوضه‌ی جنوبی اهر چای با استفاده از روش رگرسیون لجستیک انجام شده است. به همین منظور از تصویر سنجنده Resourcesat، ۲۰۱۴، ماهواره IRS استفاده شد. فاکتورهای مؤثر وقوع زمین لغزش در محیط GIS آماده و سپس با لایه‌ی پراکنش زمین لغزش‌ها قطع داده شده و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در روش فوق تولید شد. نتایج نشان داد که روش رگرسیون لجستیک نتایج بهتری را در بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد. بر اساس نقشه‌ی تهیه شده بخش‌های غربی و جنوبی و محدوده‌ی شمال شرق منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر وقوع زمین‌لغزش بیشترین پتانسیل وقوع زمین‌لغزش را دارد. با توجه به اطلاعات به دست آمده، ۱۷/۱۹ درصد از

۱- کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه تبریز (نویسنده‌ی مسئول) E-mail: km_rs1990@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی-دانشگاه تبریز

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه افسری امام علی(ع)، تبریز

اراضی محدوده‌ی مورد مطالعه با پتانسیل متوسط به بالا (۳۴ درصد زمین لغزش‌ها) و ۳ درصد از مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه در محدوده با پتانسیل خیلی زیاد که بیش از ۱۸ درصد زمین لغزش‌ها در آن به وقوع پیوسته است قرار دارد.

کلمات کلیدی: اهر چای، رگرسیون لجستیک، ماهواره IRS، زمین لغزش،

مقدمه

زمین لغزش یکی از مهم‌ترین حرکات دامنه‌ای می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده توسط شبکه‌ی موضوعی ژئوتکنیک اروپا^۱ زمین لغزش، (۲۰۰۱) به تنهایی ۱۷ درصد از بلایای طبیعی جهان را به خود اختصاص داده است (آهورست^۲ و همکاران، ۲۰۰۵؛ ۱۷۳). ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت‌های زمین ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، عمده شرایط طبیعی برای ایجاد طیف وسیعی از زمین لغزش‌ها را داراست که سالانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی به کشور وارد می‌سازد (کمک‌پناه، ۱۳۷۳؛ ۶۵). که بعضاً جبران این خسارت‌ها ممکن نیست و یا نیاز به صرف وقت و هزینه بسیار زیاد دارد (شریعت-جعفری، ۱۳۷۵: ۱۲۶). از این رو، کاهش اثرات بلایای طبیعی به‌ویژه زمین لغزش به عنوان یکی از چالش‌های مهم پیشروی برنامه‌ریزان کاربری زمین و سیاست‌گذاران این عرصه باقی‌مانده است (گوئتز^۳ و همکاران، ۲۰۱۵: ۱). صحت نقشه‌های حساسیت زمین لغزش به مقادیر و کیفیت داده‌ها، مقیاس کار و انتخاب روش تحقیق مناسب برای تجزیه و تحلیل مدل‌سازی بستگی دارد (آیالو و یاماگیشی^۴، ۲۰۰۵: ۲۷). در این

1- European Geotechnical Thematic Network

2- Oehorst

3- Goetz

4- Ayalew & Yamagishi

پژوهش، کرانه‌ی جنوبی حوضه‌ی آبریز اهر چای از روستای نصیرآباد تا سد ستارخان، از نظر احتمال وقوع زمین‌لغزش مورد ارزیابی قرار گرفته است. این منطقه به دلیل دست‌کاری‌های گسترده صورت گرفته در آن و نیز شرایط طبیعی حاکم، از نظر وقوع زمین‌لغزش بسیار مستعد می‌باشد. وقوع زمین‌لغزش‌های سطحی گسترده در این منطقه نشانگر همین موضوع است. در این پژوهش با استفاده از روش رگرسیون خطی^۱ به پهنه‌بندی زمین‌لغزش پرداخته شده است. رگرسیون چندمتغیره یک روش آماری است که با استفاده از آن می‌توان وزن عوامل مؤثر بر لغزش را تعیین و با استفاده از آن احتمال وقوع لغزش را پیش‌بینی نمود (ناندی و شکور^۲، ۲۰۰۹-۱۵۶؛ دوایت و همکاران^۳، ۲۰۱۰؛ ۱۵۸). رگرسیون لجستیک که یکی از انواع مدل‌های خطی تعمیم یافته است برای تجزیه و تحلیل وجود یا عدم وجود متغیر وابسته بسیار مناسب بوده و برای پیش‌بینی ناپایداری دامنه‌ای استفاده شده است (دای و لی، ۲۰۰۲؛ ۳۱). رگرسیون لجستیک برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش به‌وسیله محققان متعددی مورد استفاده قرار گرفته است (لی و مین، ۲۰۰۱؛ دای و لی، ۲۰۰۲؛ اهل‌مکر و دیویس، ۲۰۰۳ و آیالو و یاماگیچی، ۲۰۰۵). (سارولی^۴؛ ۲۰۰۱: ۱۱۰۳)، در پژوهشی در یانگین کره‌ی جنوبی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از روش رگرسیون خطی^۵ پهنه‌بندی نمود. بررسی نتایج نشان داد که این روش نتایج نسبتاً مناسبی دارد. و با توجه به افزایش بارندگی در هنک‌گنگ، همبستگی شدیدی مابین داده‌های بارندگی و نتایج زمین‌لغزش وجود دارد. در داخل کشور نیز مطالعات زیادی در این زمینه انجام گرفته است از جمله:

1- Liner Regression Modeling

2- Nandi & Shakoor

3- Dewitte et al.,

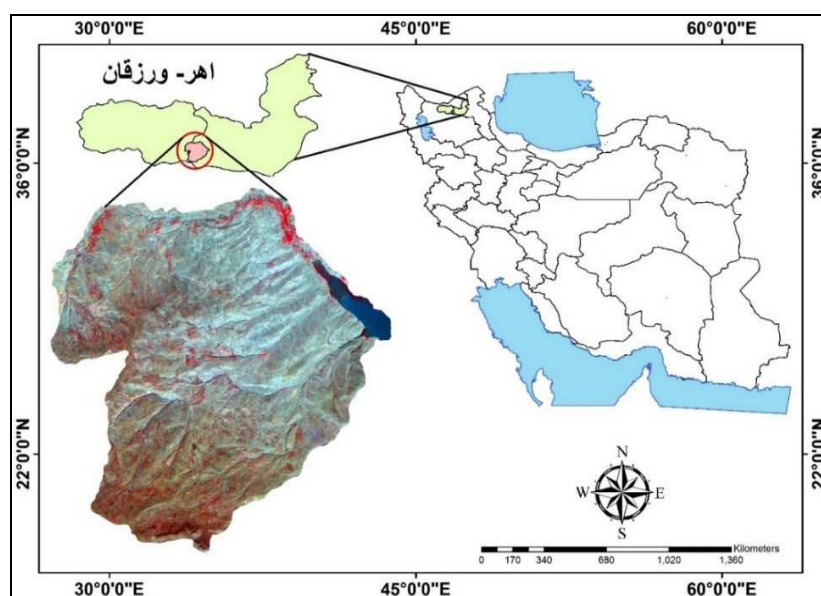
4- Sarolee

5- Liner Regression Modeling

روستائی (۲۰۰۴؛ ۴۸) به بررسی دینامیک لغزش‌های زمین و علل وقوع آنها با استفاده از روش‌های مورفومتری در حوضه‌ی اهرچای پرداخته است. شیرانی و عامری (۱۳۹۴: ۷۲)، خطر وقوع زمین‌لغزش را با استفاده از روش رگرسیون لجستیک برای حوضه دز علیا پهنه‌بندی کردند. 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 توسعه‌ی عمرانی و اقتصادی جلوگیری کرده و نقاط با پتانسیل بالای خطر شناسایی و پهنه‌بندی شود.

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه بخشی از کناره‌های جنوبی رودخانه اهرچای از روستای نصیرآباد ورزقان تا سدستارخان و با مساحت ۱۲۸ کیلومترمربع در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۵۲ دقیقه‌ی طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۱ دقیقه‌ی عرض شمالی قرار دارد. این منطقه به دلیل داشتن وضعیت خاص لیتولوژیکی، اقلیمی و کاربری اراضی، ناهمواری‌های جوان و دامنه‌های پرشیب از حساسیت بالایی برخوردار است.



شکل (۱) موقعیت کرانه‌ی جنوبی حوضه‌ی آبریز اهر چای

مواد و روش‌ها

مدل رگرسیون لجستیک^۱، یکی از روش‌های آماری پیش‌بینی‌کننده برای متغیرهای وابسته‌ای است که حالت صفر و یک با وقوع وعدم وقوع (مانند زمین‌لغزش‌ها) دارند. در این روش رابطه رگرسیونی متغیرها خطی نبوده بلکه به صورت 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 نشان‌دهنده‌ی احتمال وقوع کمتر و اعداد نزدیک به یک نشان‌دهنده‌ی احتمال وقوع بیشتر هستند. در رگرسیون لجستیک متغیر وابسته با استفاده از رابطه‌ی (۱): (متولی : ۲۰۰۹ : ۷۶) بیان می‌شود:

1- Logistic regression

رابطه‌ی (۱)

$$Y = \text{Logit}(p) = \ln(p/1-p) = C_0 + C_1 \times X_1 + C_2 \times X_2 + \dots + C_n \times X_n$$

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،

C₀: مقدار ثابت می‌باشد، (C₁, ..., C_n): ضرایبی هستند که مشارکت عوامل مستقل (X₁, X₂, ..., X_n) را برای متغیر y نشان می‌دهند، (X₁, ..., X_n): متغیر مستقل‌های مستقل هستند.

برای انجام روش فوق، نرم‌افزار ادیسی^۱ مورد استفاده قرار گرفت.

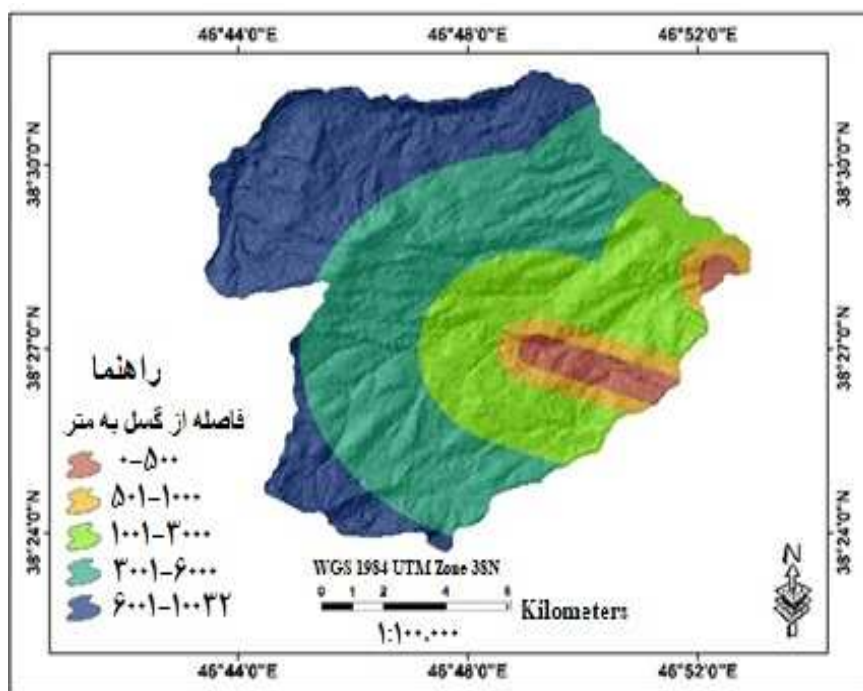
بحث و نتایج

– بررسی فاکتورهای مؤثر در زمین‌لغزش

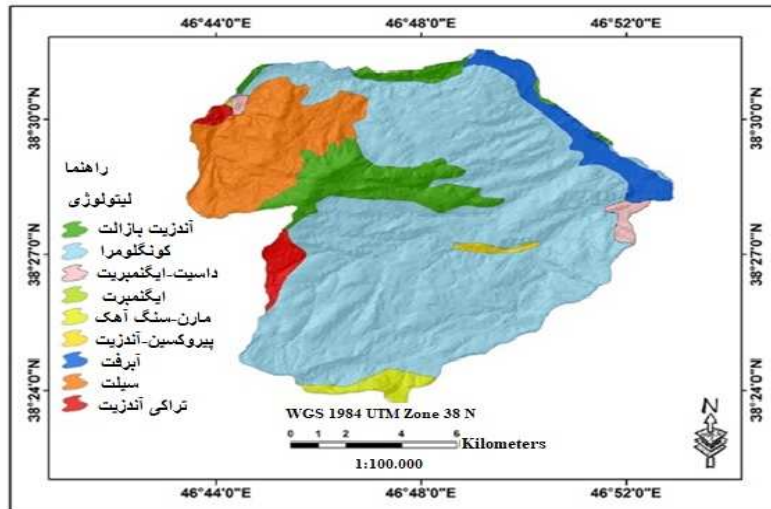
جهت بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش نه فاکتور شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و پوشش گیاهی به عنوان فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه تشخیص داده شدند؛ که مراحل تهیه‌ی آنها به‌طور خلاصه عبارت‌اند از: تهیه‌ی نقشه‌ی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه به‌صورت لایه‌های مختلف اطلاعاتی در محیط GIS و انتقال به نرم‌افزار ادیسی که شامل: ۱- تهیه‌ی لایه‌های رودخانه، گسل از طریق نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ و ایجاد نقشه‌های فاصله از پارامترهای مورد نظر ۲: ایجاد نقشه‌های شیب و جهت شیب از DEM (مدل رقومی ارتفاعی) ۳: تهیه‌ی نقشه کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی منطقه براساس طبقه‌بندی نظارت

1- Idrisi

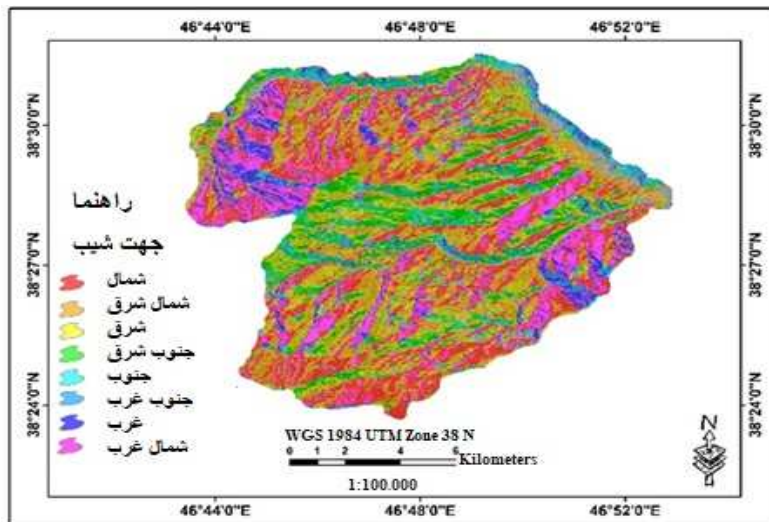
نشده تصویر ماهواره‌ای لندست سنجنده OLI_TIRS^۴: تهیه‌ی نقشه‌ی لیتولوژی ۵: تبدیل داده‌های پراکنش زمین لغزش منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و نیز گوگل ارث به پهنه‌های لغزشی ۷: انطباق لایه‌های اطلاعاتی با نقشه‌ی سیاهه‌ی زمین لغزش منطقه و محاسبه تراکم آنها در واحد سطح ۸: انجام مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از نرم‌افزار ادریسی. شکل (۲) تا ۱۰ نقشه‌ی فاکتورهای مؤثر در وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای را نشان می‌دهد.



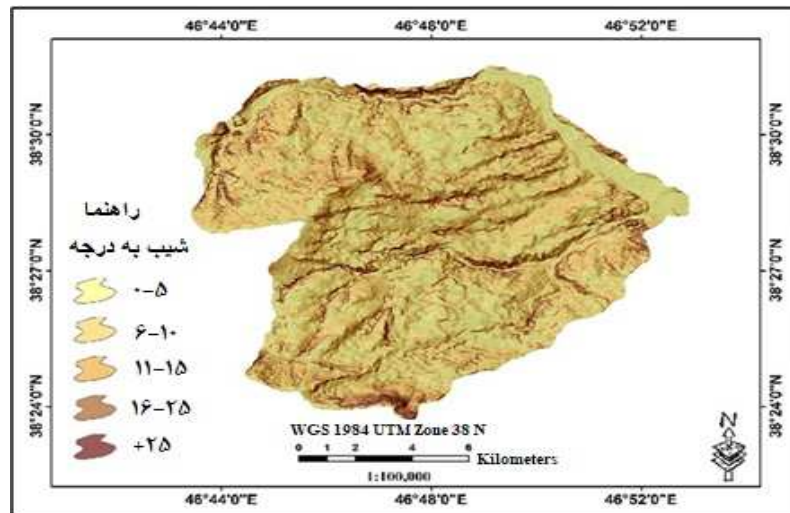
شکل (۲) نقشه‌ی فاصله از گسل



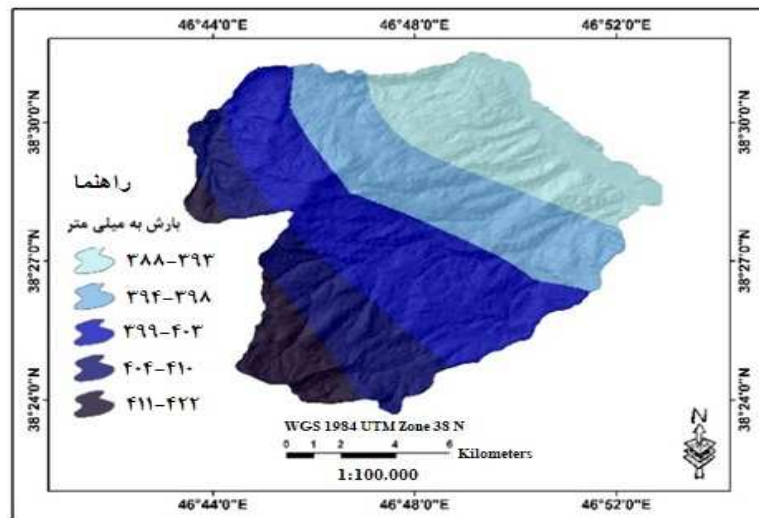
شکل (۳) نقشه‌ی لیتولوژی



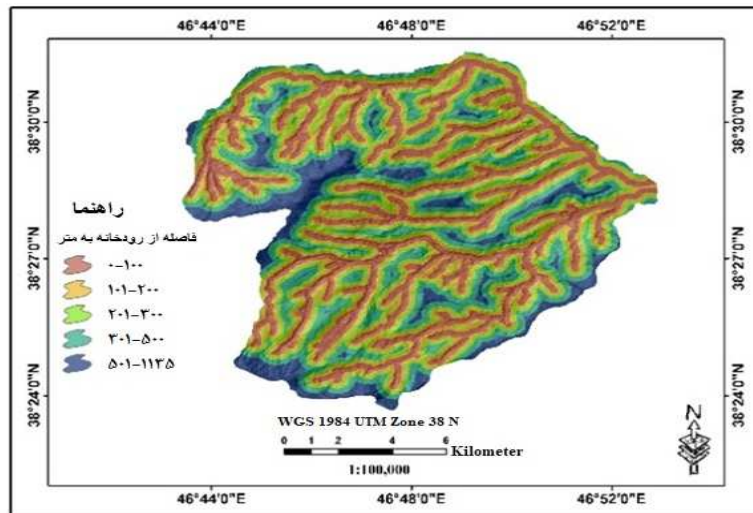
شکل (۴) نقشه‌ی جهت شیب



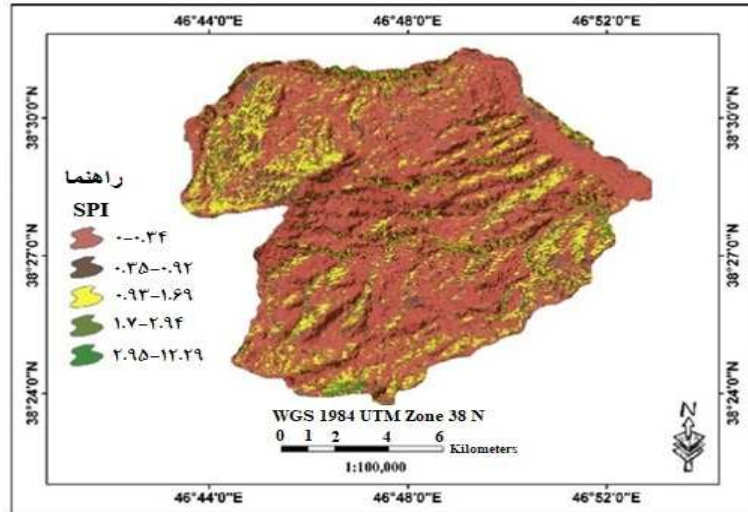
شکل (۵) نقشه‌ی شیب زمین



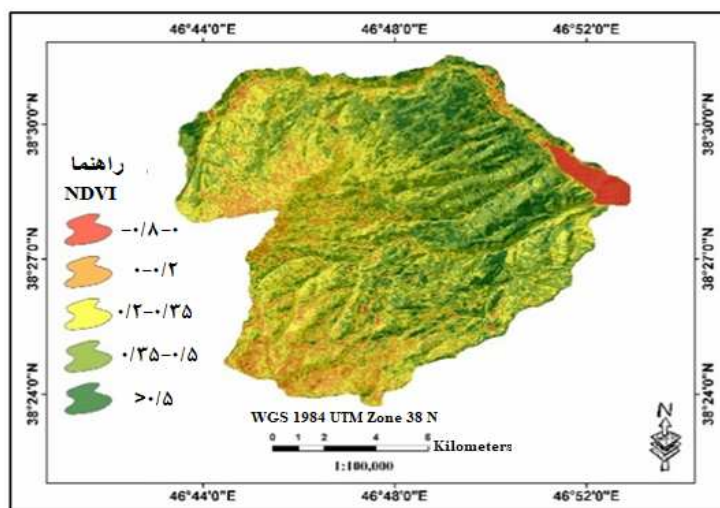
شکل (۶) نقشه‌ی بارش



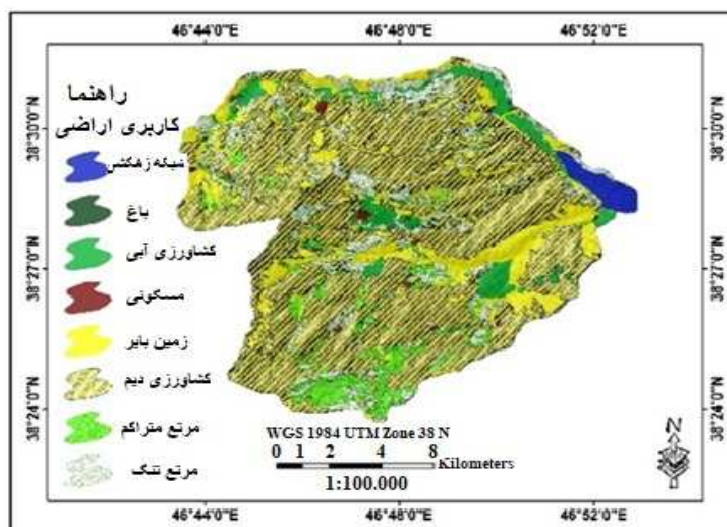
شکل (۷) نقشه‌ی فاصله از آبراهه



شکل (۸) نقشه‌ی قدرت آبراهه (شاخص SPI)

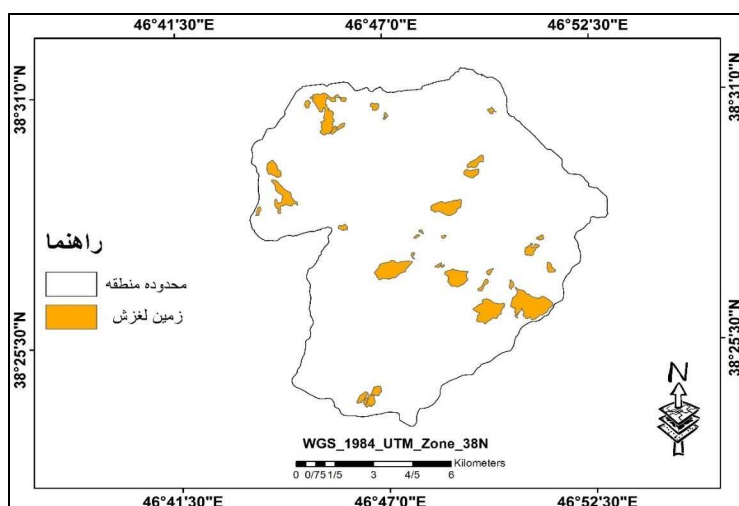


شکل (۹) نقشه‌ی تراکم پوشش گیاهی (NDVI)



شکل (۱۰) نقشه‌ی کاربری زمین

پس از تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی مختلف، در ناحیه‌ی مورد مطالعه نقشه‌ی سیاهه زمین‌لغزش‌ها به صورت پهنه لغزشی براساس تصویر ماهواره‌ای IRS سال ۲۰۱۴ تهیه شد، مساحت پیکسل‌های لغزشی منطقه حدود ۳۴۵۳ مترمربع می‌باشد که حدود ۳/۴۸ درصد مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. شکل (۱۰) پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه را نشان می‌دهد.



شکل (۱۱) پراکنش زمین‌لغزش‌ها در کرانه‌ی جنوبی حوضه‌ی آبریز اهر چای

– ارزیابی کارایی رگرسیون لجستیک با پراکنش زمین‌لغزش‌ها

در این مطالعه از درجه تناسب، جهت ارزیابی موفقیت مدل‌ها استفاده شده است. درجه تناسب: تحلیل‌های مبتنی بر سازگاری فضایی مابین نقشه‌ی حاصل‌شده از روش و زمین‌لغزش‌های رخ داده است. درجه تناسب عملکرد مدل را به وسیله‌ی 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. رگرسیون لجستیک: 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

متغیرهای مستقل	ضرایب
X ₀ عدد ثابت	-۳/۵۲۶۳۰۲۴۹
X ₁ فاصله از غسل	-۰/۰۰۰۱۰۶۰۳
X ₂ فاصله از رودخانه	-۰/۰۰۱۳۶۶۰۶
X ₃ شاخص NDVI	-۰/۳۵۰۵۹۸۴۴
X ₄ شاخص SPI	۰/۱۳۶۶۹۳۲۱
X ₅ کاربری اراضی	۰/۳۶۰۹۷۱۵۱
X ₆ لیتولوژی	۰/۲۳۷۶۹۸۵۲
X ₇ بارش	-۰/۱۵۳۹۷۴۱۲
X ₈ شیب	-۰/۱۹۱۳۷۳۷۶
X ₉ جهت شیب	۰/۰۳۳۵۱۸۹۵

جدول (۲) شاخص‌های آماری حاصله برای ارزیابی مدل

شاخص	مقدار
Pseudo R- square	۰/۱۹۹۳
Chi- Square	۱۰۹۶۶/۵۴۷۸
Goodness of Fit	۱۴۴۷۲۳/۳۷۴۹

– آزمون کی دو^۱

آزمون کی دو، از اختلاف بین $-2\ln(L)$ برای مدل بهترین برازش و $-2\ln(L0)$ برای فرضیه صفر است، به دست می‌آید. چنانچه این آماره در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار باشد ($\text{Chi Square} > 14.1$) فرضیه صفر (H_0) رد می‌شود. مقدار شاخص کی دو Chi Square نیز برابر $10966/5478$ گردید، با توجه به اینکه مقدار آن بسیار بیشتر از مقدار آستانه‌ی تعیین‌شده است در نتیجه فرض صفر بودن تمام ضرایب نیز رد می‌گردد.

– آزمون پی آر دو^۲ (PR^2)

مقدار PR^2 می‌تواند از رابطه‌ی (۳) محاسبه شود:

$$PR^2 = 1 - \frac{\ln(L)}{\ln(L0)} \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

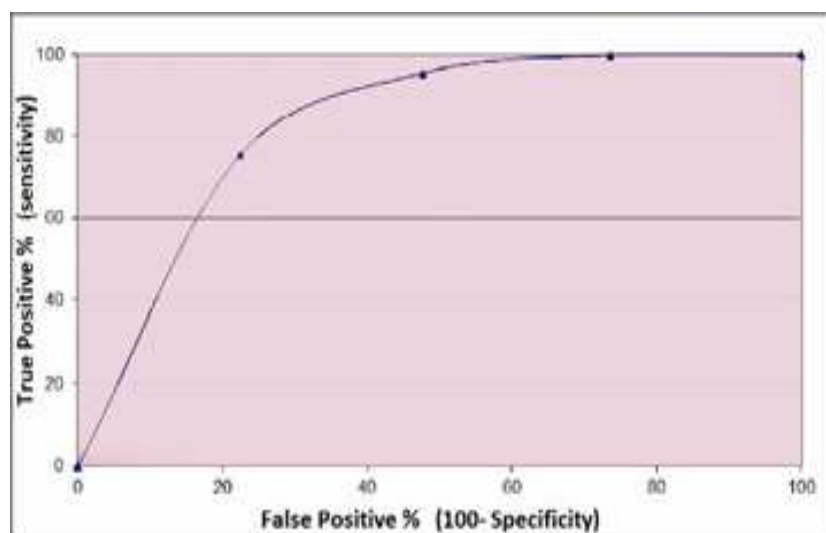
مقدار PR^2 نشان می‌دهد که چگونه مدل لوجیت، مجموعه داده‌ها را برازش می‌دهد (منارد: ۱۹۹۵). بنابراین PR^2 مساوی با ۱ نشان‌دهنده‌ی برازش کامل مدل است و صفر نشان‌دهنده‌ی عدم رابطه‌ی متغیرهای مستقل با متغیر وابسته می‌باشد. چنانچه مقدار PR^2 بزرگ‌تر از $0/2$ باشد نشان‌دهنده‌ی برازش نسبتاً خوب مدل است (آیالیو و یاماگیشی، ۲۰۰۵: ۲۸). با توجه به اینکه در این تحقیق مقدار شاخص PR^2 برابر $0/8642$ گردید و مقدار آن بزرگ‌تر از آستانه‌ی $0/2$ می‌باشد، این مدل برازش قابل قبولی را نشان می‌دهد.

1- Chi Square

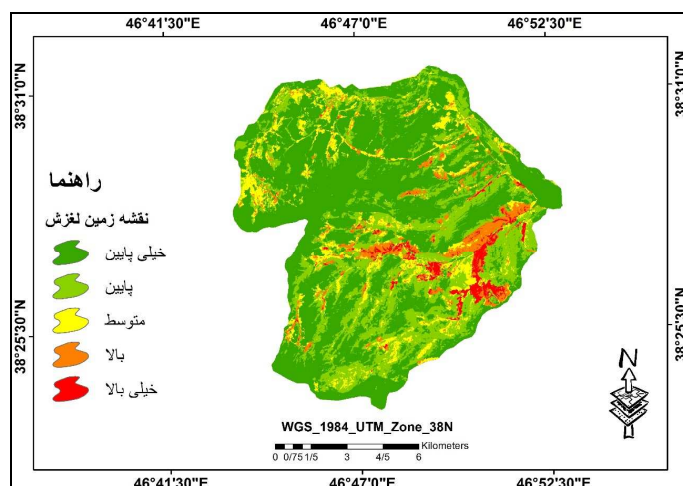
2- Pseudo R Square

– شاخص راک (ROC^1)

مقدار راک از ۰/۵ تا ۱ متغیر است که ۱ نشان‌دهنده‌ی تطابق کامل و ۰/۵ نشان‌دهنده‌ی تطابق اتفاقی است (متولی: ۲۰۰۹؛ ۷۵). مقدار ۰/۹۶۵ به دست آمده در این مطالعه، نشان‌دهنده‌ی همبستگی بسیار بالای بین متغیر مستقل و وابسته است. پس از مشخص شدن اعتبار مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از شاخص‌های فوق، نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش تهیه گردید (شکل ۱۲).



شکل (۱۲) پراکنش زمین‌لغزش‌ها



شکل (۱۳) نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش به روش رگرسیون لجستیک در حوضه‌ی مورد مطالعه در تعیین تعداد پارامترهای مستقل در وقوع زمین لغزش هیچ استاندارد ی وجود ندارد. نتیجه مدل به صورت رابطه‌ی (۴) نشان داده شد.

$$\text{رابطه‌ی (۴): } \text{logit}(\text{lagzesh1}) = -3.5263 - 0.153974 * \text{rerain} + 0.360972 * \text{asslandue} + 0.237699 * \text{rendvi} - 0.350598 * \text{asslito} - 0.000106 * \text{disfult} - 0.001366 * \text{disriver} + 0.136693 * \text{respi} + 0.033519 * \text{reaspect} - 0.191374 * \text{reslope}$$

جدول (۳) ارزیابی صحت مدل بر اساس منحنی ROC با حضور تمامی متغیرهای مستقل

ضریب معنی‌داری در اعتماد آماری ۹۵٪	ضریب معنی‌داری		مساحت زیرمنحنی	
	حد بالا	حد پایین	انحراف معیار	ضریب معنی‌داری
	۱/۰۰۰	۰/۹۵۷	۰/۰۰۸۲	۰/۹۶۵

در مدل حاضر، عامل کاربری اراضی با بیشترین ضریب بهترین متغیر پیش‌بینی کننده‌ی احتمال وقوع زمین لغزش در منطقه است و پس از آن به ترتیب شاخص SPI 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 بسیار بالا پهنه‌بندی شده‌اند کمترین درصد از میزان مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند این مناطق در دامنه‌های غربی واقع شده‌اند. جدول (۴) درصد پهنه‌های لغزشی در هر کلاس را در منطقه موردنظر نشان می‌دهد.

جدول (۴) مساحت پهنه‌ها به درصد در هر کلاس

کلاس	مساحت به درصد
بسیار پایین	۵۵/۳۸
پایین	۲۷/۴۰
متوسط	۹/۲۱
بالا	۵/۶۲
بسیار بالا	۲/۳۶

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده در منطقه‌ی مورد مطالعه، جنس سنگ‌های این مناطق عمدتاً از نوع گنکومرای پلی ژنیک و برش‌های مارنی و ماسه‌ای است. این مناطق عمدتاً مناطق حاشیه سد ستارخان و بخش‌های شرقی را شامل می‌شوند. به خاطر به هم زدن شیب طبیعی زمین برای ساخت‌وساز و کشاورزی اکثر زمین‌لغزش‌ها نیز در این مناطق رخ داده است. کاربری زمین در این مناطق عمدتاً از نوع مرتع تنک، باغ و زمین‌های کشاورزی بر روی دامنه‌ها می‌باشد. عمدتاً مناطق با پتانسیل کم و خیلی کم در بخش‌های مرتفع منطقه (غرب منطقه مورد مطالعه) و نواحی پست شمال شرق آن واقع شده است. کاربری از نوع مرتع متراکم و مرتع خوب، داشتن فاصله‌ی دورتر از مناطق مسکونی و حاشیه رودخانه و دست‌کاری کمتر توسط انسان، دریافت بارش کمتر نسبت به مناطق جنوبی و غربی و شیب کم

از مجموعه عواملی هستند که باعث شده مقدار وقوع زمین لغزش در این مناطق کمتر باشد و به عنوان مناطقی با پتانسیل کم و خیلی کم معرفی شوند.

جدول (۵) ارزیابی نقشه‌ی خطر پهنه‌بندی زمین لغزش با شاخص SCAI

شاخص SCAI	درصد زمین لغزش	درصد مساحت	کلاس حساسیت
۱/۵۵۲	۴۶/۶۱۱	۵۵/۳۸	بسیار پایین
۰/۵۷۸	۱۷/۳۶۱	۲۷/۴۰	پایین
۰/۵۲۲	۶/۹۴۴	۹/۲۱	متوسط
۰/۴۸۷	۸/۳۳۳	۵/۶۲	بالا
۰/۳۶۱	۱۸/۷۵۱	۲/۳۶	بسیار بالا
-	۱۰۰	۱۰۰	جمع کل

- ارزیابی نقشه‌ی خطر پهنه‌بندی زمین لغزش با شاخص SCAI 1

شاخص SCAI در واقع نسبت درصد مساحت هر یک از کلاس‌های پهنه‌بندی خطر لغزش به درصد لغزش‌های اتفاق افتاده در هر کلاس است. روش مذکور دقت را به صورت کیفی ارائه می‌کند و بیانگر صحت یا سقم نقشه‌ی پهنه‌بندی لغزش با توجه به مقدار SCAI است (منظور از صحت یعنی کاهش مقدار SCAI از کلاس خطر کم به سمت کلاس خطر زیاد است). ارزیابی دقت در جدول (۵) نشان می‌دهد که با پیش رفتن هر چه بیشتر از کلاس خطر کم به سمت کلاس خطر خیلی زیاد، مقدار SCAI کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش پهنه‌بندی پتانسیل زمین لغزش کرانه‌ی جنوبی حوضه‌ی آبریز اهر چای مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت انجام این کار از مجموعه‌ای از پارامترهای

طبیعی و انسانی و زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه (۷۰ درصد زمین لغزش‌ها) و مدل رگرسیون لجستیک استفاده شده است. با توجه به نتایج مشخص می‌گردد که عوامل کاربری اراضی، لیتولوژی و شاخص SPI با دارا بودن ضرایب مثبت، همبستگی بیشتر و سایر عوامل با دارا بودن ضرایب منفی، همبستگی کمتر را نشان می‌دهند. در واقع ضرایب منفی نشان‌دهنده‌ی عدم همبستگی نیست بلکه به معنای همبستگی ضعیف‌تر نسبت به سایر عوامل دیگر است. بر این اساس به ترتیب اهمیت عوامل کاربری اراضی، لیتولوژی، جهت دامنه، شاخص SPI بیشتر می‌باشند. بر اساس نقشه‌ی تهیه شده بخش‌های غربی و جنوبی و محدوده‌ی شمال شرق منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر وقوع زمین لغزش بیشترین پتانسیل وقوع زمین لغزش را دارد. با توجه به نتایج حاصل از بررسی‌ها، ۱۷/۱۹ درصد از اراضی محدوده‌ی مورد مطالعه به عنوان منطقه‌ای با پتانسیل متوسط به بالا که ۳۴ درصد زمین لغزش‌ها در آن به وقوع پیوسته است. همچنین ۳ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه در محدوده با پتانسیل خیلی زیاد که بیش از ۱۸ درصد زمین لغزش‌ها در آن به وقوع پیوسته است قرار دارد. بالا بودن مقدار شاخص ROC و نزدیک بودن آن به عدد یک نشان‌دهنده‌ی آن است که زمین لغزش‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه، رابطه‌ای قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل رگرسیون لجستیک دارد و ارزیابی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با شاخص SCAI نشان داد که همبستگی بالایی بین نقشه‌ی خطر تهیه شده با نقاط لغزشی موجود و بازدیدهای میدانی منطقه وجود دارد، که با دیدگاه کینسال (۲۰۰۹) مبنی بر کاهش SCAI به‌ویژه در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی زیاد مطابقت دارد و نشان‌دهنده‌ی همبستگی بالای نقشه‌ی خطر تهیه شده با نقاط لغزشی و بازدیدهای میدانی در منطقه است. در نهایت می‌توان گفت مدل آماری رگرسیون لجستیک مدلی مناسب جهت پهنه‌بندی احتمال وقوع زمین لغزش‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه (به ویژه در کنار خطوط ارتباطی و مناطق مسکونی) به شمار

می‌رود. به عنوان نتیجه‌گیری نهایی تحقیق می‌توان گفت علاوه بر عوامل طبیعی برخی عوامل انسانی از جمله جاده‌سازی غیراصولی نقش مهمی را بر وقوع لغزش دارد، که جهت کاهش نسبی خطرات و افزایش میزان پایداری دامنه‌ها لازم است از تغییر اکوسیستم و کاربری اراضی موجود اجتناب نموده و هرگونه سیاست‌گذاری به منظور احداث سازه‌ها باید متناسب با شرایط ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی منطقه باشد.

منابع

- شریعت جعفری، محسن (۱۳۷۵)، زمین لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)، انتشارات سازه.
- شیرانی، کورش و علیرضا عرب عامری (۱۳۹۴)، پهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (حوضه‌ی دزعلیا)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌و‌خاک/سال نوزدهم/شماره‌ی ۷۲.
- کمک‌پناه، علی؛ منتظرالقائم، سعید و جعفر چدنی (۱۳۷۳)، پهنه‌بندی زمین لغزه در ایران، زمین لغزه و مروری بر زمین لغزه‌های ایران، (جلد اول) پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۶۵ صفحه.
- Ayalew, I. and Yamagishi, H. (2005), **The application of GIS-based Logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yaahiko Mountains, central Japan**, Geomorphology 65: PP. 15-31.
- Chau, K.T., Sze .Y.L., Fung .W.Y., Wong .E.L., Fong .L.C.P., (2003), **Landslide Hazard Analysis for HongKong using Landslide Inventory and GIS** K.T. Computers & Geosciences, 30: PP. 429–443.
- Dai, F.C & Lee, C.F (2001), Landslide characteristics anslope instability modeling using GIS, Landau Island, Hong Kong, Geomorphology, 31.
- Dewitte, O, C. Chung, Y. Cornet, M. Daoudi, and A. Demoulin (2010), **Combining spatial data in landslide reactivation susceptibility mapping: a likelihood ratio-based approach in W Belgium**, Geomorphology, 122: PP. 153.
- Modelling, J.N. Goetz, A. Brenning, H. Petschko, P. Leopold (2015), **Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility**, Computers & Geosciences, Vol. 81, August 2015: PP. 1-11.

- Motavalli, S., Esmaili, R., Hosseinzadeh, M.M., (2009), **The Signification of Sensitive Regions in the Vaz Catchment by Logistic Regression**, Journal of Physiography, Volume 2, Number 5, Autumn, PP. 73-83 .
- Nandy, L.G., Andrew, W.M., Richard, A., and Stephana, G.C., (2009), **Assessing Landslide Potential Using GIS, Soil Wetness Modeling and Topographic Attribute, Payette River, Idaho**, Geomorphology, 37: PP. 149-165.
- Ohlmacher, G.C., and Davis, J.C., (2003), **Using multiple logistic regression and Gis technology to predict landslide hazard in northest Kansast USA**, Engineering Geology, 69: PP. 331-348.
- 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, No. 1: PP. 45-60.
- Sarolee, K.M (2001), **Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yonging, Korea**, Environmental Geology, 40: PP: 1095-1113.