تعیین حساسیت وقوع زمین‌لغزش با استفاده از رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز واز(استان مازندران)

صدرالدین متولی*
استادیار گروه جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور
رضا اسماعیلی
استادیار گروه جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور
محمدمهدی حسین زاده
استادیار گروه جغرافیای دانشگاه شهیدبهشتی

چکیده

تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش گام بزرگی در مدیریت خطر است. امروزه تهیه چنین نقشه‌هایی با استفاده از تکنیک های کیفی و کمی در GIS صورت می گیرد. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبخیز واز است که در دامنه های شمالی البرز و جنوب شهر چمستان در استان مازندران واقع شده است.

دراین مقاله برای تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش از تکنیک آماری رگرسیون لجستیک استفاده شده است که می تواند برازش مناسبی را برای یافتن روابط بین وجود و عدم وجود زمین‌لغزش (متغیر وابسته) و عوامل مستقل مانند لیتولوژی و زاویه شیب تشریح نماید. نقشه پراکنش زمین لغزش برای ایجاد یک متغیر وابسته که دارای مقدار صفر برای عدم وقع زمین لغزش و مقدار ۱ برای وجود زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفت. لیتولوژی، زاویه شیب، جهت دامنه، ارتقاع،کاربری اراضی، فاصله از جاده و گسل به عنوان متغیرهای مستقل در این مدل هستند. تأثیر هر پارامتر در وقوع زمین لغزش از ضرایبی که در رگرسیون لجستیک ایجاد می شود، ارزیابی می شود. تفسیر ضرایب نشان می دهد که لیتولوژی ، فاصله از جاده و شیب نقش مهمی را در وقوع و توزیع زمین لغزش دارند.

با استفاده از نقشه پیش بینی احتمال وقوع زمین لغزش، منطقه موردمطالعه به پنج گروه حساسیت تقسیم بندی شدند: بسیارپایین، پایین، متوسط، بالا و بسیار بالا. مناطق حساسیت به زمین لغزش متوسط تا بسیار بالا بیش از ۵۰ درصد منطقه مورد مطالعه را شامل می شوند.

واژگان کلیدی: حوضه واز، زمین لغزش، رگرسیون لجستیک

* نویسنده مسئول

مقدمه

فرایند وقوع زمین لغزشها بسیارپیچده بوده و عوامل مختلفی در رخداد آنها نقش دارند. از این رو پیش بینی وقوع زمین لغزشها نیز مشکل است. صحت نقشه‌های حساسیت زمین لغزش به مقادیر و کیفیت داده ها، مقیاس کار و انتخاب روش تحقیق مناسب برای تجزیه و تحلیل مدل‌سازی بستگی دارد.(آیالو و یاماگیشی، ۲۰۰۵).

در نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش دو نگرش کیفی و کمی وجود دارد. در روشهای کیفی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش به صورت موضوعی و توصیفی مورد توجه قرار گرفته و نتایج آنها به نظرات کارشناسی بستگی دارد.

در نگرشهای کمی روابط بین عوامل کنترل کننده زمین لغزشها به صورت عددی بیان می‌شود. ارزیابی کمی و نیمه کمی برای مناطقی صورت می‌گیرد که فعلا فاقد زمین لغزش هستند اما شرایط مشابه در آنها وجود دارد. روشهای کمی به دو دسته روشهای آماری و روشهای ژئوتکنیکی تقسیم می‌شوند. در این مقاله از روش آماری برای پهنه بندی زمین لغزش استفاده شده است. مهمترین روشهای آماری برای پهنه بندی زمین لغزش ها روش آنالیز رگرسیون چندگانه، آنالیز تشخیصی و رگرسیون لجستیک است. روش آنالیز رگرسیون چندگانه و آنالیز تشخیصی برای کشف روابط بین وقوع زمین لغزشها و متغیرهای منطقه‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند (دای و لی، ۲۰۰۲). یک مانع بزرگ برای چنین تکنیک هایی منطق جمع آوری و محاسبه‌ی داده های کمی است(روبتهام و دادی‌چا ۱۹۹۸). مشکل دیگر این است که مقادیر احتمالی محاسبه شده از چنین تکنیک هایی می‌تواند خارج از مقدار ۰ تا ۱ باشد که خود می تواند مشکلی را برای خروجی با یک سطح احتمالاتی سیستماتیک ایجاد کند.

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). رگرسیون لجستیک برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش بوسیله محققین متعددی مورد استفاده قرار گرفته است(گورسوسکی و همکاران ۲۰۰۰، لی و مین ۲۰۰۱، دای و لی ۲۰۰۲، اهلمکر و دیویس ۲۰۰۳ و آیالو و یاماگیشی ۲۰۰۵).

در این تحقیق چهار هدف مورد توجه قرار گرفته است:

۱- مشخص کردن زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه(حوضه آبخیز واز)

۲- تعیین ارتباط آماری بین فراوانی زمین لغزشها و پارامترهای فیزیکی مؤثر در وقوع زمین لغزشها

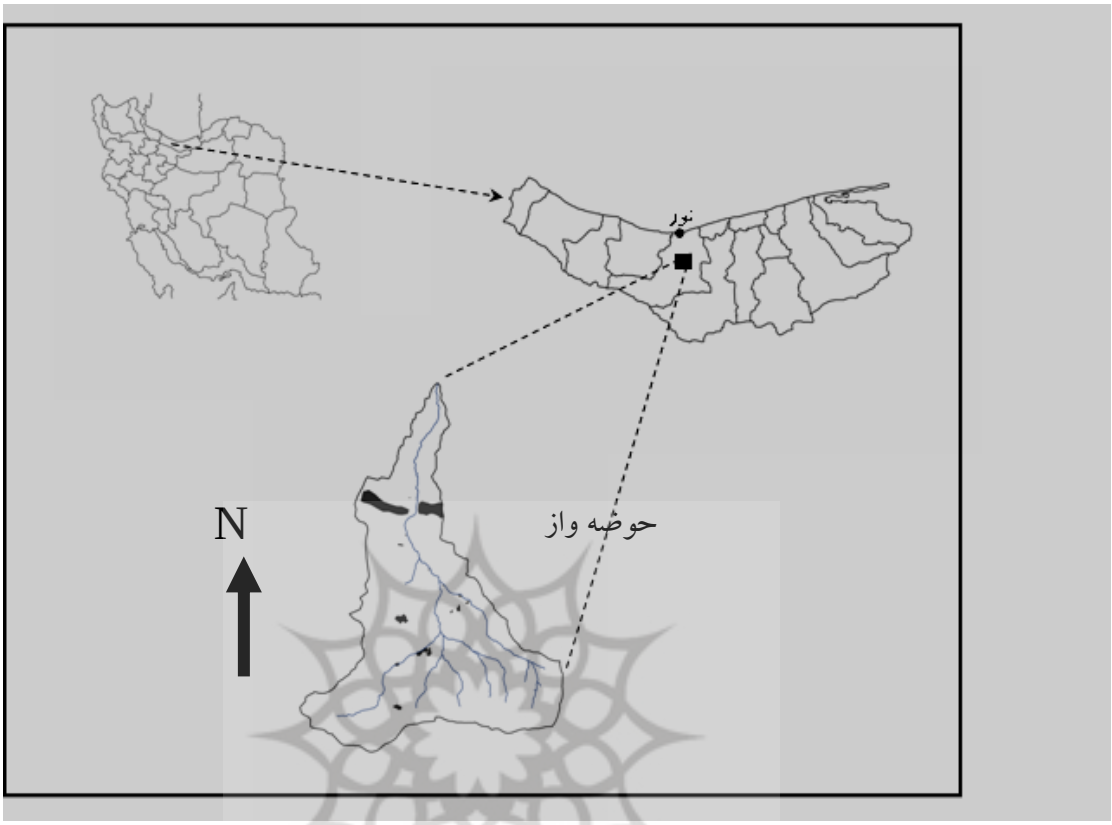
۳- کاربرد روشی برای مدل سازی ناپایداری دامنه با استفاده از GIS

۴- پهنه بندی منطقه از نظر حساسیت به زمین لغزش

حوضه آبخیز واز در دامنه شمالی سلسله جبال البرز و در جنوب شهر چمستان واقع شده است که از نظر تقسیمات سیاسی، این حوضه در شهرستان نور از استان مازندران قرار دارد.

حوضه واز دارای جهتی شمالی- جنوبی بوده که رواناب آب آن به دریای خزر می ریزد. قسمت جنوبی حوضه (سرآب) پهن تر از قسمت شمالی حوضه (نقطه خروجی) می باشد قسمت جنوبی این حوضه در مختصات جغرافیایی بین ″۵۹ ′۱ °۵۲ و ″۵۶ ′۱۲ °۵۲ طول شرقی قرار گرفته است که هر چه به طرف شمال حوضه پیش برویم حوضه مذکور باریک تر شده و نقطه خروجی آن در ″۳۳ ′۷ °۵۲ طول شرقی قرار گرفته است. هم چنین این حوضه در بین ″۱۷ ′۱۴ °۳۷ و ″۱۷ ′۲۵ °۳۶ عرض شمالی قرار دارد. مساحت این حوضه تا خروجی از کوهستان۱۴۰/۹ کیلومتر مربع می باشد. شکل ۱ موقعیت حوضه واز را نشان می دهد. سازندهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه متعلق به زمان

مزوزوئیک به بعد می باشند (جدول ۱). که به ترتیب دولومیت و سنگ آهک (سازند الیکا) و شیل و ماسه سنگ به همراه لایه های زغالی(سازند شمشک) به ترتیب با ۵۵/۷ و ۳۹/۹ درصد مساحت بیشترین پراکنش را در سطح حوضه دارند.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز واز و پراکنش زمین لغزشهای آن

مواد و روش ها

داده‌ها

- تعیین موقعیت زمین لغزشها در مشاهدات زمینی با استفاده از GPS صورت گرفت و پس از انتقال داده‌ها بر روی تصویر ماهواره‌ای IRS ، محدوده زمین لغزش‌ها بر روی نقشه ترسیم گردیدند.

جدول ۱- ویژگی‌های سنگ شناسی حوضه آبخیز واز

نام دوره	علامت	لیتولوژی	مساحت(km^2)
میوسن	M	مارن، ماسه سنگ آهکی، سنگ آهک ماسه ای دوکفه ای دار	۱/۰۶
پالئوسن	Pe	مارن، ماسه سنگ، گچ ، کمی سنگ آهک	۰/۲۷
کرتاسه	K1	سنگ آهک، مارن، سنگ آهک مارنی ، مارن سیلت دار	۶/۴۷
ژوراسیک	J	شیل،ماسه سنگ، سیلت سنگ، شیل کربن دار، رس سنگ، کوارتزیت، کنگلومرا، رگه هاو عدسی های زغال سنگ (سازند شمشک)	۵۵/۸
تریاس	T2	سنگ آهک دولومیتی ضخیم لایه تا توده ای شکل،دولومیت،سنگ آهک(سازند الیکا)	۷۰/۸
	T1	سنگ آهک مارنی نازک لایه،با اثرات کرم،شیل آهکی(سازند الیکا)	۹/۳

- نقشه ارتفاعی رقومی منطقه (DEM) از نقشه ۲۵۰۰۰ : ۱ سازمان نقشه برداری کشور تهیه شد. و بر همین اساس نقشه ارتفاعی رقومی، نقشه زاویه و جهت شیب نیز تهیه گردید.
- نقشه لیتولوژی و گسل ها از نقشه ۱۰۰۰۰۰: ۱ سازمان زمین شناسی کشور تهیه و سپس با مختصات UTM در نرم افزار Arc GIS زمین مرجع شد.
- نقشه کاربری اراضی هم از نقشه توپوگرافی ۲۵۰۰۰ : ۱ سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور و تصویر ماهواره‌ای IRS تهیه شد.

جهت پهنه بندی زمین لغزش‌ها در محدوده مورد مطالعه از نرم افزار GIS ادریسی* استفاده شده است.

انتخاب عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه

دررگرسیون لجستیک استفاده از متغیرهای مستقل که نقش مهمی در تعیین متغیر وابسته داشته باشند مدل کامل‌تری را ایجاد می‌کند. انتخاب این متغیرهای مستقل کار مشکلی است و در سطح جهانی معیار مشخصی برای این کار وجود ندارد. به طورکلی هر متغیر مستقل باید ویژگی های زیر را داشته باشد (آیالو و یاماگیشی ۲۰۰۵):

- عملکرد متغیر مشخص باشد(تأثیر مشخص بر متغیر وابسته)
- کامل باشد(نسبتا نشان دهنده‌ی همه‌ی محدوده مورد مطالعه باشد)
- از نظر مکانی تغییرپذیری داشته باشد و یکنواخت نباشد.
- در مقیاس‌های مختلف قابل اندازه گیری باشد.

عوامل متعددی در وقوع زمین لغزشها در حوضه مورد مطالعه دخیل می باشند که اهم آنها عبارتند از: عوامل زمین شناسی و تکتونیک، عوامل اقلیمی (اثرات باران، ذوب برف)، عوامل توپوگرافیک (زاویه و جهت شیب)، ویژگی‌های مکانیکی و شیمیایی خاک و فعالیت های انسانی (متولی ۱۳۸۰).

عوامل شبه استاتیک مؤثر در زمین لغزش که در مدل مورد استفاده قرارگرفتند شامل لیتولوژی، فاصله ازگسل، ارتفاع، زاویه شیب، جهت دامنه، کاربری اراضی، ، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده می شوند. از عوامل دینامیکی مانند بارش و زمین لرزه به علت این‌که محرک نهایی یا عامل ماشه‌ای بوده و در این مدل قابل ارزیابی نیستند، استفاده نگردید. ویژگی های خاک هم که معمولا در پهنه‌بندیهای ژئوتکنیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در این مدل قابل استفاده نیستند. به منظور تعیین نقش هریک از عوامل در وقوع زمین لغزش، تراکم زمین‌لغزشها برای هر یک از متغیرهای مؤثر محاسبه شدند.

رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک چندگانه یک تکنیک چند متغیره است که چند پارامتر فیزیکی را که ممکن است براحتمال تأثیر بگذارند، مورد توجه قرار می دهد. در این روش مقادیر متغیر مستقل می توانند به صورت باینری(۰ و ۱) و هم به صورت کمیت عددی بیان شوند. از این رو استفاده از متغیرهایی که کاملا پیوسته نیستند و یا به صورت کیفی هستند امکانپذیر خواهد بود.

* Idrissi

مزیت مدلسازی با رگرسیون لجستیک نسبت به سایر تکنیک‌های آماری چند متغیره مانند آنالیز رگرسیون چندگانه و آنالیز تشخیصی این است که متغیر وابسته می تواند تنها دو مقدار داشته باشد که یکی احتمال وقوع حادثه و دیگری عدم وقوع آن است.(دای و لی ۲۰۰۲). در این مطالعه، متغیر وابسته یک متغیر باینری است که نشان دهنده‌ی وجود یا عدم وجود زمین لغزش است و مقادیر پیش بینی شده می تواند به صورت احتمال بین دو مقدار ۰ و ۱ بیان شود.

ناپیوستگی داده ها درلایه ها منجر به ایجاد مشکلاتی در نقشه نهایی می شود، از این رو راه حل مناسب برای تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش، ایجاد لایه های با مقادیر دودویی(۰ و ۱) برای هر کلاس یک پارامتر مستقل است (گوزتی و همکاران ۱۹۹۹، لی و مین ۲۰۰۱). برای این که دامنه مقادیر لایه بین ۰ و ۱ قرار گیرد با استفاده از رابطه ۱ عمل استاندارد سازی صورت گرفت.

رابطه(۱)
$$X_{Standard} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

که X به عنوان متغیر ورودی می باشد. لایه‌ها بعد از عمل استانداردسازی به عنوان متغیرهای پیشگو برای ایجاد مدل رگرسیون لجستیک مورد استفاده قرار گرفتند.

در مورد نقشه حساسیت زمین لغزش هدف رگرسیون لجستیک، یافتن مدلی مناسب برای تشریح رابطه بین وجود یا عدم وجود زمین لغزش (متغیر وابسته) و یک مجموعه از پارامترهای مستقل مانند زاویه شیب، جهت دامنه، لیتولوژی و غیره است. در رگرسیون لجستیک متغیر وابسته با استفاده از معادله زیر بیان می شود:

$$Y= Logit(p) = Ln (p / 1-p)= C0 + C1x1 + C2x2 +\ldots\ldots+ Cnxn$$

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 گفته می شود، C0 مقدار ثابت، (C1,C2 ,.....) ضرایبی هستند که مشارکت عوامل مستقل (x1 ، x2,.....) را برای متغیر y نشان می دهند.

در یک مفهوم دقیق، در این روش احتمال یک متغیر دینامیک مانند بارش که به عنوان یک محرک نهایی (عامل ماشه‌ای) در نظر گرفته نمی‌شود. از این رو اصطلاح ناپایداری دامنه یا حساسیت‌پذیری به زمین لغزش بر اساس پارامترهای شبه استاتیک می باشد (دای و لی ۲۰۰۲).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

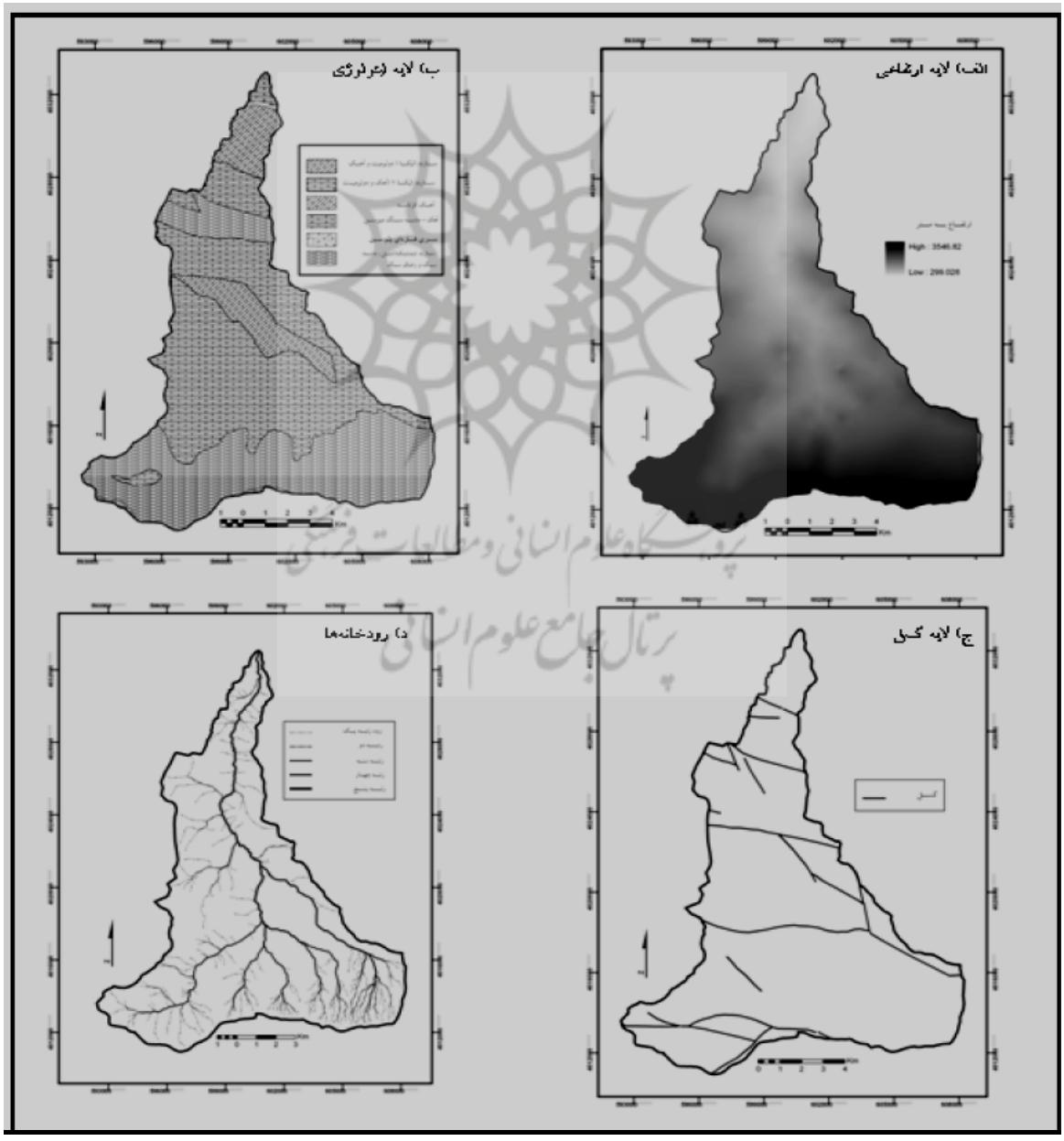
نتایج

همان طور که در بخش مواد و روشها ذکرگردید، ابتدا عوامل مؤثر در ایجاد زمین لغزش به صورت لایه های مختلف اطلاعاتی در GIS تهیه شدند(شکل ۲). سپس نقشه زمین لغزشها ی منطقه باهریک از این عوامل انطباق داده شده و تراکم زمین لغزش‌ها در واحد سطح محاسبه گردید. شکل ۳ درصد تراکم زمین لغزشها در کلاسهای مختلف متغیرهای مورد مطالعه را نشان می دهد. درصد تراکم زمین لغزشها از نسبت مساحت زمین لغزشها در هر کلاس به مساحت کل زمین‌لغزشها نشان داده شده است.

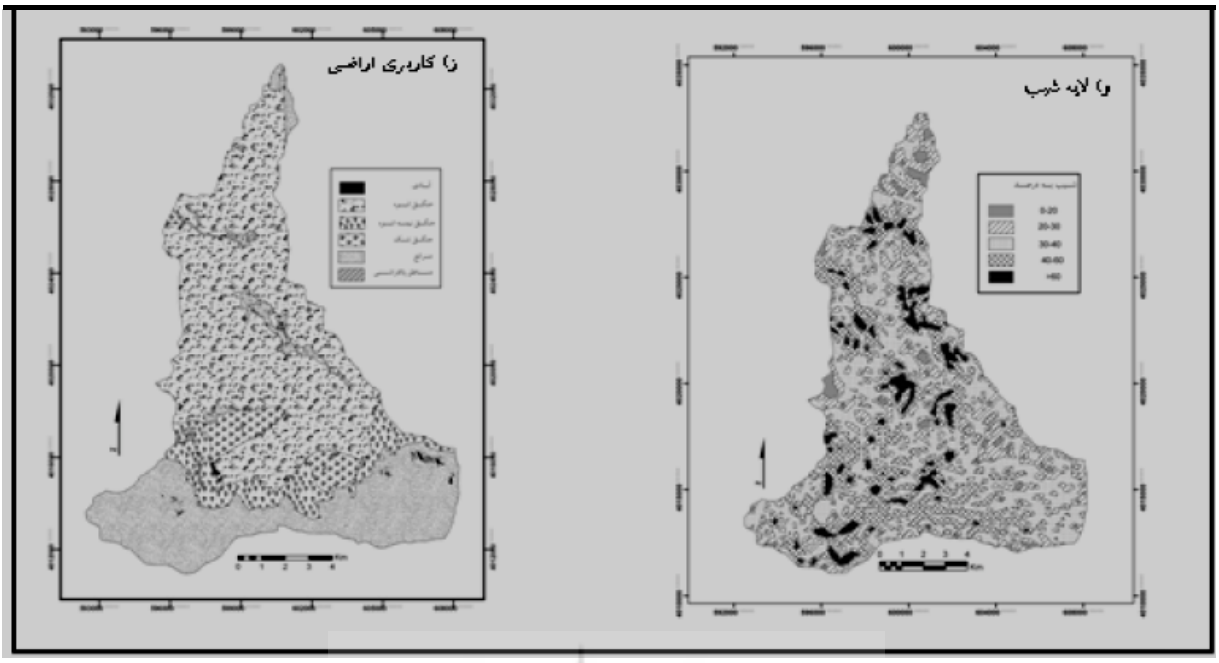
پس از اجرای مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از پارامترهای مؤثر در نرم افزار ادریسی، ضرایب مدل مطابق جدول ۲ استخراج شده است.

جدول ۲- ضرایب حاصل از مدل رگرسیون لجستیک

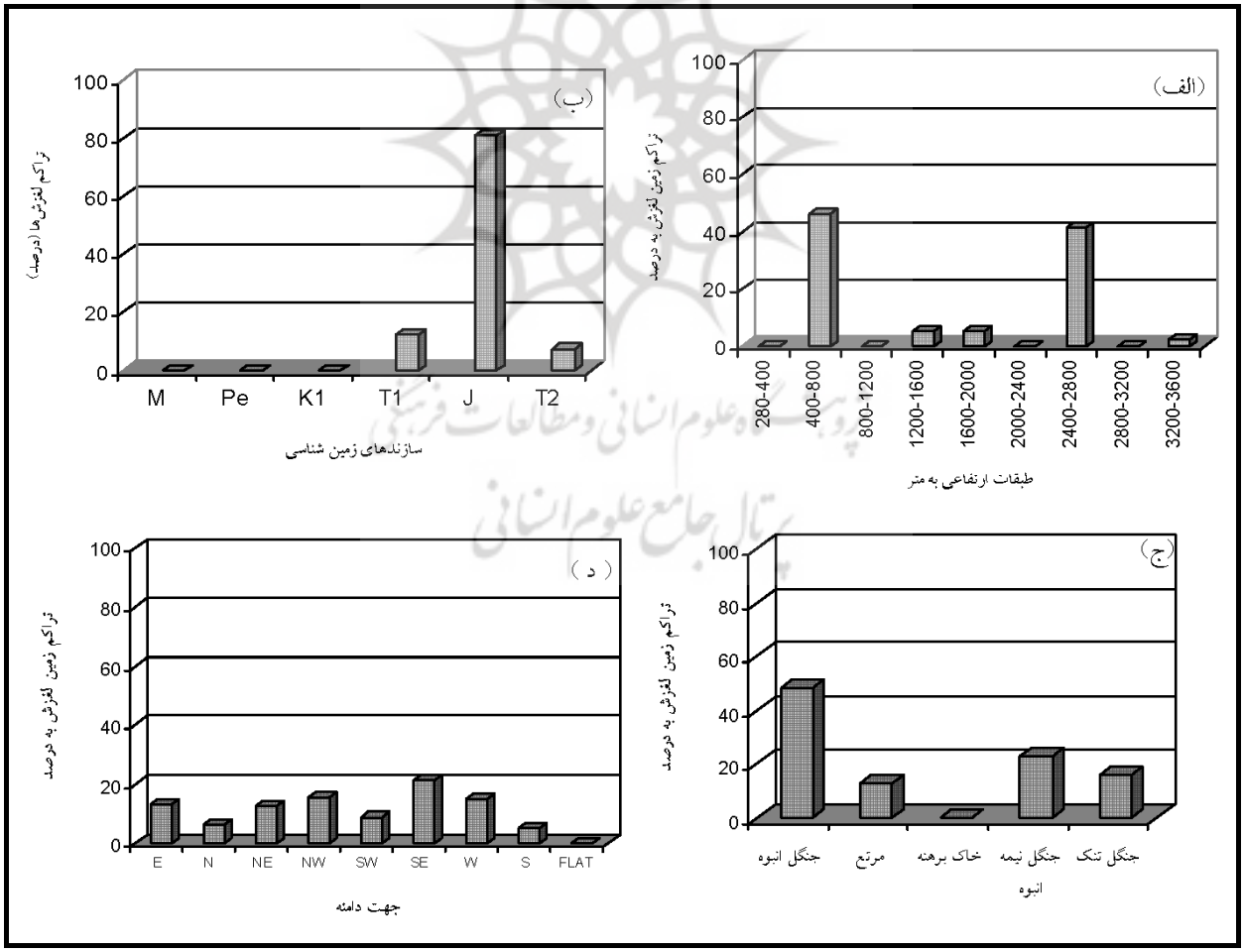
ضرایب	متغیر های مستقل	
-۱۰/۶۷۹۳۲۵۵۶	عدد ثابت	X_0
۸/۸۹۷۷۵۷۷۹	لیتولوژی	X_1
-۵/۲۷۲۳۱۹۱۳	ارتفاع	X_2
-۲/۹۰۰۰۶۵۶۷	فاصله از گسل	X_3
-۴/۸۳۱۹۱۳۸۶	فاصله از جاده	X_4
۱/۶۸۱۶۱۲۷۹	جهت دامنه	X_5
۳/۵۹۰۸۲۰۷۹	شیب	X_6
۲/۱۶۷۲۳۶۴۴	کاربری اراضی	X_7



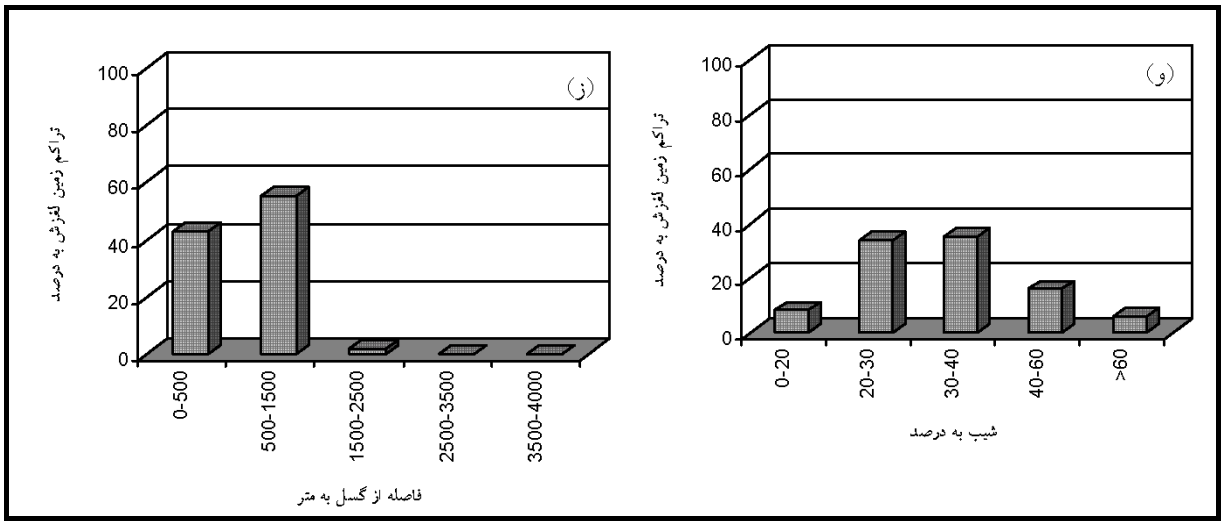
ادامه شکل ۲



شکل ۲- لایه های پارامترهای مؤثر در وقوع رمین لغزش در حوضه آبخیز وار



ادامه شکل ۳



شکل ۳- میزان تراکم زمین لغزش در متغیرهای مؤثر در وقوع زمین لغزش

بنابراین با توجه به ضرایب ارائه شده در جدول ۲، معادله رگرسیون لجستیک به صورت رابطه‌ی ۳ می باشد.

رابطه ۳)

$$\textbf{logit(p)}= -۱۰/۶۷۹۳۲۵۵۶ + ۸/۸۹۷۷۵۷۷۹\ X_0 - ۵/۲۷۲۳۱۹۱۳\ X_1 - ۲/۹۰۰۰۶۵۶۷\ X_2 + ۱/۶۸۱۶۱۲۷۹\ X_4 + ۳/۵۹۰۸۲۰۷۹\ X_5 + ۲/۱۶۷۲۳۶۴۴\ X_6 - ۴/۸۳۱۹۱۳۸۶\ X_7$$

شاخص‌های اعتبار مدل آماری حاصل از رگرسیون لجستیک در جدول ۳ ارائه شده است. برای بررسی اعتبار این مدل از تست Chi Square ، Pseudo R Square و ROC استفاده شده است.

جدول ۳ : شاخص های آماری حاصل از مدل رگرسیون لجستیک

شاخص	مقدار
Chi Square	۱۲۴۴۰
Pseudo R_square	۰/۳۹۳۰
ROC	۰/۹۴۸۵

- آزمون Chi Square: که یک تست معتبر و معمولی برای رگرسیون لجستیک است از اختلاف بین (L) 2Ln- برای مدل بهترین برازش و (L0) 2Ln- برای فرضیه صفر است، بدست می آید. چنانچه این آماره در سطح ۹۵ درصد معنی دار باشد (Chi Square >14.1) فرضیه صفر(H_0) رد می شود. مقدار شاخص Chi Square نیز برابر ۱۲۴۴۰ گردید که با توجه به اینکه مقدار آن بسیار بیشتر از مقدار آستانه تعیین شده است در نتیجه فرض صفر بودن تمام ضرایب نیز رد می گردد.

- Pseudo R Square (PR2): مقدار PR2 می تواند از رابطه زیر محاسبه شود:

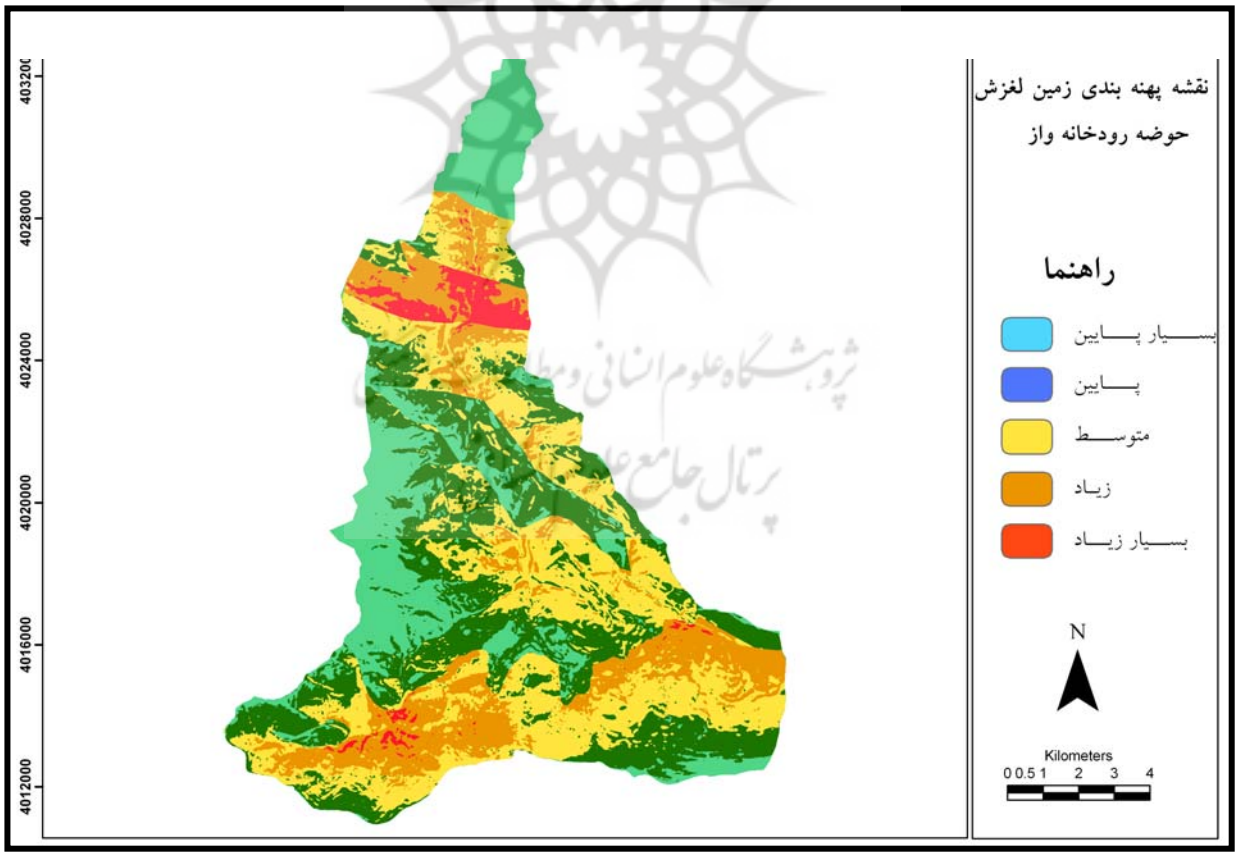
رابطه ۴)

$$PR^2 = 1 - \frac{Ln(L)}{Ln(L_0)}$$

مقدار PR2 نشان می دهد که چگونه مدل لوجیت، مجموعه داده‌ها را برازش می دهد(منارد ۱۹۹۵). بنابراین PR2 مساوی با ۱ نشان دهنده برازش کامل مدل است، چنانچه این مقدار برابر صفر باشد نشان دهنده عدم رابطه متغیرهای مستقل با متغیر وابسته می باشد. چنانچه مقدار PR2 بزرگتر از ۰/۲ باشد نشان دهنده برازش نسبتا خوب مدل است (آیالو و یاماگیشی، ۲۰۰۵). با توجه به اینکه در این تحقیق مقدار شاخص PR2 برابر ۰/۳۹۳۰ گردید و مقدار آن بزرگتر از آستانه ۰/۲ می‌باشد، این مدل برازش قابل قبولی را نشان می دهد.

– ROC*: معیار دیگری که برای تفسیر بسیار آسان است، توجه به این مسأله است که مدل چه مقدار می تواند متغیر وابسته را به خوبی پیش بینی کند. در این مورد نرم‌افزار ادریسی از معیارROC برای مقایسه یک نقشه بولین (وجود یا عدم وجود زمین لغزش) با نقشه احتمال به کار می رود. مقدار ROC از ۰/۵ تا ا متغیر است که۱ نشان دهنده‌ی تطابق کامل و ۰/۵ نشان دهنده‌ی تطابق اتفاقی است. مقدار ۰/۹۴۸۵ بدست آمده در این مطالعه، نشان دهنده‌ی همبستگی خوب بین متغیر مستقل و وابسته است.

– نقشه پهنه بندی: پس از مشخص شده اعتبار مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از شاخص‌های فوق، نقشه پهنه‌بندی حساسیت به زمین لغزش تهیه گردید (شکل ۳). جهت پهنه بندی این لایه ها از روش طبقه بندی فاصله ژئومتریک به دلیل تطابق بیشتر آن با واقعیت منطقه انتخاب شد. در نهایت منطقه مورد مطالعه از نظر حساسیت به زمین لغزش به ۵ کلاس بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین تقسیم گردید (جدول ۴).



شکل ۳ - نقشه پهنه بندی زمین لغزش حوضه رودخانه واز

* - Relative Operating Characteristic

جدول ۵ - مساحت پهنه ها به درصد در هر کلاس

کلاس	مساحت به درصد
بسیار پایین	۲۰/۴
پایین	۲۹
متوسط	۳۰/۳۸
زیاد	۱۷/۳
بسیار زیاد	۳

۴- بحث و نتیجه‌گیری

همان طور که در قسمت ۲-۲ گفته شد، هیچ استانداردی برای تعداد پارامترهای مستقل در وقوع زمین‌لغزش وجود ندارد. در این تحقیق اثر فاصله از رودخانه در وقوع زمین‌لغزش، ضریب پایینی را به خود اختصاص داده بود و از مدل حذف گردید. در مقاله دیگری که توسط رضایی مقدم و همکاران (۱۳۸۵) برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در حوضه لاویج رود(این حوضه در ضلع غربی حوضه واز قرار دارد) با روش همپوشانی انجام گرفت، عامل فاصله از گسل و جهت دامنه از مدل حذف شدند. در صورتی که این دوعامل در تحقیق حاضر به عنوان عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش مورد استفاده قرارگرفتند. این مسئله نشان می دهد که پارامترهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش حتی در مناطق مشابه هم می‌توانندتفاوت داشته باشند. از این رو نیاز به هیچ استانداردی برای فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین لغزش نمی باشد.

در مدل حاضر که با استفاده از رگرسیون لجستیک تهیه گردید، عامل لیتولوژی با بیشترین ضریب بهترین متغیر پیش بینی کننده احتمال وقوع زمین لغزش در منطقه است. بیشترین پتانسیل زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه در سازند شمشک که به صورت تناوبی از ماسه سنگ، شیل و لایه‌های زغالی است، وجود دارد. در قسمت‌هایی از این سازند که پوشش جنگلی انبوه وجود داشته و مورد دخالت انسان (جاده‌سازی، دکل برق وغیره) قرارگرفته بیشترین سطح زمین لغزش شکل گرفته و حساسیت بالایی هم برای وقوع زمین‌لغزش داراست.

منابع

۱- رضایی مقدم، محمدحسین، رضا اسماعیلی و محمدمهدی حسین‌زاده (۱۳۸۵): پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز لاویج رود(البرز شمالی)، نشریه دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز، بهار.

۲- متولی، صدرالدین (۱۳۸۰): بررسی سازوکار زمین‌لغزش و راههای پیشگیری از آن در حوضه آبخیز واز رود، پایان نامه دوره دکتری واحد علوم و تحقیقات، استاد راهنما: دکتر محمدرضا ثروتی.

۳- سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۷۹): نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آمل و بلده.

۴- سازمان نقشه برداری کشور(۱۳۷۳): عکس های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه،(پروژه D-1900).

۵- سازمان نقشه برداری کشور (۱۳۷۳): نقشه های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ پایین واز، جوربند.

6- Ayalew, L. and Yamagishi, H. (2004): Slope failures in the Blue Nile basin, as seen from landscape evolution perspective, Geomorphology 57,95-116.

7- Ayalew,l. and Yamagishi,H. (2005): The application of GIS-based Logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yaahiko Mountains, central Japan, Geomorphology 65, 15-31.
8- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. and Vescovi, P., (2002): A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. Geomorphology 48, 349-364.
9- Dai, F.C. and Lee, C.F. (2002): Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau, Hong Kong. Geomorphology 42,213-228.
10- Gorsevski, P.V., Gessler, P., Foltz, R.B., (2000): Spatial prediction of landslide hazard using logistic regession and GIS. 4th Int. Conference on Integrating GIS and Evironmental Modeling, Alberta, Canada. 9 pp.
11- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P. (1999): Landslide hazard evaluation: a review of current technique and their application in a multi-scale study, central Italy. Geomorphology 31,181-216.
12- Komac, M. (2005): A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in Perialpine Slovenia. Geomorphology, in press.
13- Menard, S., (1995): Applied logistic regression analysis. Sage university Paper Series on Quantitative Applications in Social Sciences, vol. 106. Thousand Oaks. California. 98 pp.
14- Rowbotham, D.N., Dudycha, D., (1998): GIS modeling of slope stability in Phewa Tal Watershed, Nepal. Geomorphology 26, 151-170.
15- Van Westen, C. J. and Terlien, M. T. J., (1996): An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia), Earth Surface and Processes and Landforms, Vol. 21, 853-868.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی