



دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد نوزدهم، شماره اول، ۱۳۹۱

<http://jwfst.gau.ac.ir>

مقایسه کارایی ۴ مدل کمی و نیمه کمی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چهل‌چای، استان گلستان

*ابراهیم کریمی سنگ‌چینی^۱، مجید اونق^۲ و امیر سعالدین^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۹

چکیده

شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش از طریق پهنه‌بندی خطر با مدل‌های مناسب، یکی از اقدامات اولیه در کاهش خسارت احتمالی و مدیریت خطر است. در این پژوهش کارایی روش‌های نیمه‌کمی مدل آماری دومتغیره وزنی AHP، ترکیب خطی وزنی (WLC) و روش‌های کمی آماری چندمتغیره گام‌به‌گام و لجستیک در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه چهل‌چای به‌منظور تعیین مدل برتر برای مدیریت خطر مورد مقایسه قرار گرفتند. از طریق انجام بازدید میدانی در کل حوضه و استفاده از اطلاعات محلی و اداره آبخیزداری، و دستگاه GPS نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها تهیه گردید. با بررسی حوضه آبخیز چهل‌چای ۹ عامل ارتفاع، شیب، جهت، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از راه، کاربری اراضی و میزان بارش به‌عنوان عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش انتخاب شدند. نقشه خطر نسبی زمین‌لغزش براساس ۴ روش یاد شده تهیه شد. برای ارزیابی صحت مدل‌ها از شاخص جمع کیفیت (Qs) استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل آماری دومتغیره وزنی با AHP با Qs برابر ۳/۶۲۵ به‌عنوان مدل مناسب‌تر برای حوضه می‌باشد. و مدل‌های ترکیب خطی وزنی (WLC) با Qs برابر با ۲/۲۰۱۹، رگرسیون چندمتغیره لجستیک با Qs برابر با ۱/۷۰۳ و رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام با Qs برابر با ۱/۶۲۷ به‌ترتیب در اولویت بعدی قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مدل کمی، مدل نیمه‌کمی، آبخیز چهل‌چای

* مسئول مکاتبه: e.karimi64@gmail.com

مقدمه

برای پهنه‌بندی خطر نسبی ناپایداری دامنه‌ها ده‌ها مدل عددی با عوامل، وزن، نرخ، منطق محاسباتی و مقیاس متفاوت ابداع و در شرایط متنوع براساس شواهد زمینی واسنجی و اصلاح شده است (اوتق، ۲۰۰۴). سه رویکرد اصلی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش به صورت کیفی، نیمه‌کمی و کمی وجود دارد (لی و جونز، ۲۰۰۴). روش‌های کمی بر پایه منطق ریاضی از همبستگی بین فاکتورهای مؤثر و وقوع زمین‌لغزش می‌باشند که شامل رگرسیون تحلیلی دو متغیره، چندمتغیره و لجستیک، منطق فازی، شبکه عصبی مصنوعی هستند (آیالو و یاماگیشی، ۲۰۰۵؛ کانینانی و همکاران، ۲۰۰۸؛ ناندی و شکور، ۲۰۰۹). روش‌های کیفی بر پایه نظرات کارشناسی می‌باشند (فال و همکاران، ۲۰۰۶). مدل‌های کیفی که از روش‌های وزن‌دهی و نرخ‌دهی استفاده می‌کنند به عنوان روش‌های نیمه‌کمی شناخته می‌شوند (یالین، ۲۰۰۸؛ کریمی‌سنگچینی و همکاران، ۲۰۱۰). نمونه‌ای از این روش‌ها تحلیل سلسله مراتبی^۱ (اوتق، ۲۰۰۴؛ شادفر و همکاران، ۲۰۰۷؛ کلارستاقی و همکاران، ۲۰۰۷) و ترکیب خطی وزین^۲ (آیالو و همکاران، ۲۰۰۴؛ کولی و همکاران، ۲۰۱۰) می‌باشند. اشقلی‌فراهانی (۲۰۰۱)، با استفاده از روش‌های آماری دو متغیره، آماری چندمتغیره خطی، حداقل مربعات وزن‌دار، تحلیل ممیزی لجستیک با داده‌های گسسته و پیوسته و منطق فازی، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را در منطقه رودبار انجام داد و نتیجه گرفت که رگرسیون لجستیک دقت بیشتری را دارد. اسماعیلی و احمدی (۲۰۰۳) در بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر به دست آمده از آن در حوضه گرمی‌چای، به دو روش رگرسیون چندمتغیره و تحلیل سلسله مراتبی به این نتیجه رسیدند که روش سلسله مراتبی نسبت به روش رگرسیون چندمتغیره از دقت بیشتری برخوردار است. کرم (۲۰۰۵)، با کاربرد مدل خطی وزین ترکیب (WLC)، پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش را در منطقه سرخون در استان چهارمحال و بختیاری انجام داد. برای استانداردسازی داده‌ها از روش فازی و برای وزن‌دهی به معیارها از روش AHP استفاده شد. نتایج نشان داد که حدود ۳۸ درصد از اراضی محدوده مورد بررسی، پتانسیل بالایی برای وقوع زمین‌لغزش دارند. شیرانی و همکاران (۲۰۰۶)، بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از روش آماری در پادناهی علیای سمیرم انجام دادند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که روش‌های آماری دو متغیره نسبت به روش‌های آماری چندمتغیره در عین سادگی دارای دقت قابل قبولی هستند. کولی و همکاران (۲۰۱۰)، خطر زمین‌لغزش در نواحی با خسارت زیاد حوضه رتیمنو، جزیره ایسلند را با مدل

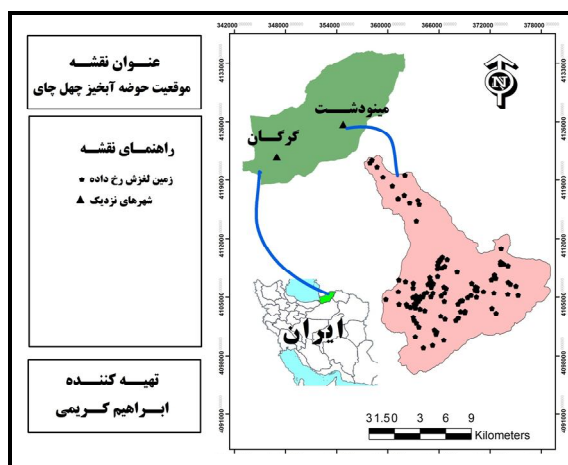
1- Analytical Hierarchy Process

2- Weighted Linear Combination

WLC در یونان پهنه‌بندی کردند و فاکتورهای سنگ‌شناسی، فرآیندهای ژئومورفولوژیکی و فعالیت‌های انسانی مدنظر قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مدل WLC توانسته مناطق با آسیب‌پذیری زمین‌لغزش را به‌خوبی پهنه‌بندی کند. انتخاب مدل مناسب و اصلاح منطقه‌ای آن در مقیاس‌های فضایی مختلف می‌تواند در پیش‌بینی و مدیریت خطر زمین‌لغزش در متن برنامه‌های آمایش سرزمین کاربرد گسترده‌ای داشته باشد. از این‌رو در این پژوهش، روش‌های نیمه‌کمی مدل آماری دومتغیره وزنی AHP، ترکیب خطی وزین (WLC) و روش‌های کمی آماری چندمتغیره گام‌به‌گام و لجیستیک در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز چهل‌چای مورد مقایسه قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

معرفی حوضه مورد پژوهش: چهل‌چای از حوضه‌های کوهستانی کشور با مختصات ۵۵ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۳ دقیقه عرض شمالی، دارای وسعت ۲۵۶۸۳/۱۲ هکتار می‌باشد. این حوضه از نظر تقسیمات سیاسی در محدوده شهرستان مینودشت و یکی از زیرحوضه‌های بزرگ گرگان‌رود است. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۱۳۵ متر و حداکثر آن ۲۵۵۰ متر می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه حوضه برابر ۷۶۶/۵ میلی‌متر بوده و حدود ۹۰ درصد بارش به‌صورت باران است. از نظر زمین‌شناسی در حد واسط دو ایالت بزرگ ساختاری-رسوبی البرز شرقی و کپه‌داغ غربی قرار داشته، همبری سازندهای حوضه اکثراً از نوع گسلی می‌باشد. حدود ۶۰ درصد پوشیده از جنگل و اراضی زراعی بقیه سطح حوضه را دربرمی‌گیرد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز چهل‌چای در ایران و گلستان.

تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش، انتخاب و طبقه‌بندی عوامل مؤثر: با انجام بازدید میدانی در حوضه، استفاده از اطلاعات محلی، دستگاه GPS^۱ و با کمک نقشه پراکنش زمین لغزش تهیه شده از تفسیر عکس هوایی و بازدید صحرائی توسط اداره آبخیزداری استان گلستان، فهرست‌برداری و نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها تهیه گردید. مبنای کار زمین لغزش‌های با آستانه مساحتی یا بزرگی حداقل ۱۰×۱۰ مترمربع انتخاب شد. با مرور منابع قبلی (اونق، ۲۰۰۴؛ آیالو و همکاران، ۲۰۰۴؛ عبادی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۷؛ کولی و همکاران، ۲۰۱۰) و با بررسی عوامل مورفومتریک، اقلیمی و انسانی حوضه آبخیز چهل‌چای ۹ عامل ارتفاع، شیب، جهت، فاصله از آبراهه، فاصله از راه، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، کاربری اراضی و میزان بارش به‌عنوان عوامل مؤثر بر زمین لغزش انتخاب گردیدند. از روی نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ رقوم نقشه‌های ارتفاع، آبراهه و راه استخراج و از روی مدل رقومی ارتفاع^۲ نقشه‌های شیب و جهت ساخته شد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از نقشه موجود (اداره منابع طبیعی و آبخیزداری گلستان) و اصلاح با تفسیر تصاویر ماهواره‌ای IRS سال ۲۰۰۶ تهیه گردید. نقشه سنگ‌شناسی و گسل از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) استخراج و نقشه طبقات بارندگی از منحنی هم‌باران تهیه شده از آمار ایستگاه‌های مجاور حوضه (اداره منابع طبیعی و آبخیزداری گلستان) تهیه شد. در مرحله بعد مساحت و درصد زمین لغزش، نرخ تراکم سطح و درصد تراکم زمین لغزش در هر طبقه از عوامل نه‌گانه زمین لغزش محاسبه گردید.

پهنه‌بندی خطر با مدل آماری دومتغیره تراکم سطح، وزن‌دهی شده با AHP: نقشه عوامل ۹ گانه مؤثر با نقشه پراکنش زمین لغزش قطع داده شد. مساحت و درصد زمین لغزش در هر طبقه از نقشه عوامل محاسبه و بعد با استفاده از معادله تراکم سطح (کلارستاقی و احمدی، ۲۰۰۹) نرخ هر طبقه محاسبه گردید.

$$Ra = 1000 \times (A/B) - 1000 \times (C/D) \quad (1)$$

که در آن، A: مساحت لغزش‌های هر طبقه از عوامل، B: مساحت هر هر طبقه از عوامل، C: مساحت کل لغزش در حوضه، D: مساحت کل حوضه و Ra: نرخ تراکم سطح می‌باشد.

وزن عوامل نه‌گانه توسط AHP محاسبه شد. مقایسه‌های زوجی توسط ۸ متخصص هیأت علمی و ۶ متخصص اجرایی و سپس نرم‌افزار Expert-Choice-۱۱ انجام شد (جدول ۱). با استفاده از

1- Global Position System
2- Digital Elevation Model

رابطه ۲ نقشه شدت خطر تهیه و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در ۶ کلاس طبقه‌بندی گردید (شکل ۲).

$$(2) \text{ نقشه خطر زمین لغزش با مدل آماری دو متغیره وزنی AHP} = (\text{نقشه نرخ طبقات بارش} \times 0/246) + (\text{نقشه نرخ طبقات شیب} \times 0/225) + (\text{نقشه نرخ طبقات سنگ شناسی} \times 0/164) + (\text{نقشه نرخ طبقات جهت} \times 0/088) + (\text{نقشه نرخ طبقات کاربری اراضی} \times 0/08) + (\text{نقشه نرخ طبقات فاصله از گسل} \times 0/062) + (\text{نقشه نرخ طبقات فاصله از جاده} \times 0/064) + (\text{نقشه نرخ طبقات فاصله از آبراهه} \times 0/048) + (\text{نقشه نرخ طبقات ارتفاع} \times 0/023)$$

جدول ۱- مقایسه‌های زوجی و تعیین وزن نهایی عوامل مختلف مؤثر بر زمین لغزش.

ارتفاع	فاصله از آبراهه	فاصله از گسل	فاصله از راه	کاربری	جهت شیب	سنگ شناسی	شیب	بارش	
۷	۴	۳	۳	۴	۳	۲	۲	۱	بارش
۷	۴	۳	۴	۳	۳	۳	۱	۰/۵	شیب
۶	۴	۴	۳	۲	۳	۱	۰/۳۳	۵/۰	سنگ شناسی
۴	۲	۱	۲	۲	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	جهت شیب
۳	۲	۲	۲	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲۵	کاربری
۴	۱	۲	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۳۳	فاصله از راه
۳	۲	۱	۰/۵	۰/۵	۱	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳	فاصله از گسل
۳	۱	۰/۵	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	فاصله از آبراهه
۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۴	ارتفاع
۰/۰۲۳	۰/۰۴۸	۰/۰۶۲	۰/۰۶۴	۰/۰۸	۰/۰۸۸	۰/۱۶۴	۰/۲۲۵	۰/۲۴۶	وزن نهایی

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با مدل رگرسیون چندمتغیره گام به گام: برای تعیین ارزش عددی طبقات مختلف عوامل کیفی (جهت، کاربری اراضی و سنگ شناسی) از AHP استفاده شد و براساس میزان سطح لغزش در طبقات مختلف عوامل، طبقات وزندهی شده و پس از انجام مقایسه‌های زوجی بین طبقات، وزن هر یک از طبقات محاسبه گردید. در نرم افزار Arc GIS ۹/۳ ۹ لایه با هم تلفیق و نقشه واحدهای همگن استخراج شد. سپس نقشه واحدهای همگن با نقشه پراکنش زمین لغزش قطع و ۹

عامل به‌عنوان متغیر مستقل و لگاریتم سطح لغزش^۱ به‌عنوان متغیر وابسته انتخاب شدند. با استفاده از نرم‌افزار SPSS و روش گام‌به‌گام به تعیین مؤثرترین عوامل اقدام گردید (مصفايي، ۲۰۰۶). با استفاده از این معادله، نقشه شدت خطر زمین‌لغزش در نرم‌افزار Arc GIS ۹/۳ تهیه و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها، در ۶ کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۲).

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل رگرسیون چندمتغیره لجستیک: برای به‌کارگیری رگرسیون چندمتغیره لجستیک، درصد تراکم زمین‌لغزش در هر طبقه از عوامل نه‌گانه زمین‌لغزش محاسبه گردید. از تلفیق نقشه‌های عوامل، نقشه واحدهای همگن تهیه شد. بعد از قطع نقشه واحدهای همگن با نقشه پراکنش زمین‌لغزش، واحدهای دارای لغزش مشخص گردید. و به تمام واحدهای همگن دارای لغزش کد یک و به واحدهای همگن بدون لغزش کد صفر داده شد. وجود یا نبود زمین‌لغزش در واحدهای همگن به‌عنوان متغیر وابسته و درصد تراکم زمین‌لغزش در هر طبقه از عوامل نه‌گانه به‌عنوان عوامل مستقل وارد رگرسیون لجستیک در نرم‌افزار آماری R شدند. رابطه رگرسیون لجستیک به‌صورت زیر می‌باشد (آیالو و یاماگیشی، ۲۰۰۵):

$$Y = \text{Logit}(P) = \ln(P/(1-P)) = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad (3)$$

که در آن، P: احتمال متغیر مستقل (Y)، $P/(1-P)$: نسبت احتمال یا نبود توافق، C_0 : عدد ثابت و C_1, C_2, \dots, C_n : ضرایب (مقدار مشارکت عوامل مستقل X_1, X_2, \dots, X_n در متغیر وابسته) می‌باشند.

با استفاده از رابطه یاد شده، نقشه شدت خطر زمین‌لغزش در محیط نرم‌افزار Arc GIS ۹/۳ تهیه و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها، در ۶ کلاس طبقه‌بندی گردید (شکل ۲).

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با روش ترکیب خطی وزین (WLC): در این روش عوامل یا لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در زمین‌لغزش باید استاندارد شوند. به‌منظور استاندارد کردن لایه‌های اطلاعاتی، از منطق فازی استفاده شد. در منطق فازی، عضویت هر پیکسل نقشه، در مقیاسی از ۰ تا ۱ نشان داده می‌شود. در این حالت بیش‌ترین ارزش یعنی عدد (۱) به حداکثر خطر و کم‌ترین ارزش یعنی عدد (۰)

۱- فرض لازم برای انجام رگرسیون چندگانه آن است که رابطه بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل خطی باشد و نیز برای هر یک از ترکیب‌های مقادیر مستقل، توزیع متغیر وابسته نرمال بوده و واریانس آن ثابت باشد (کلارک و هوسکینک، ۱۹۸۶). برای نرمال کردن تبدیل لگاریتمی صورت گرفت (مصفايي، ۲۰۰۶)

به حداقل خطر در مجموعه تعلق می‌گیرد (سویی، ۱۹۹۹). ۹ لایه فازی از عوامل مؤثر تهیه شد. وزن عوامل با AHP تعیین گردید. پس از تهیه نقشه عوامل مؤثر در زمین‌لغزش، با روش WLC و نرم‌افزار IDRISI، نقشه شدت خطر زمین‌لغزش با ۶ کلاس تهیه شد (شکل ۲).

$$S = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (4)$$

که در آن، S: خطر زمین لغزش، W_i : وزن هر یک از لایه‌ها و X_i : لایه فازی، یا عامل می‌باشند.

$$\begin{aligned} (5) \quad & \text{نقشه خطر زمین‌لغزش آبخیز چهل‌چای} = ((\text{نقشه فازی طبقات بارش}) \times 0/246) + \\ & ((\text{نقشه فازی طبقات شیب}) \times 0/225) + ((\text{نقشه فازی طبقات سنگ‌شناسی}) \times 0/164) + ((\text{نقشه فازی} \\ & \text{طبقات جهت}) \times 0/088) + ((\text{نقشه فازی طبقات کاربری}) \times 0/08) + ((\text{نقشه فازی طبقات فاصله از} \\ & \text{گسل}) \times 0/062) + ((\text{نقشه فازی طبقات فاصله از جاده}) \times 0/064) + ((\text{نقشه فازی طبقات فاصله از} \\ & \text{آبراهه}) \times 0/048) + ((\text{نقشه فازی طبقات ارتفاع}) \times 0/023). \end{aligned}$$

ارزیابی کارایی مدل‌های ارزیابی خطر زمین‌لغزش: از شاخص نسبت تراکم^۱ برای ارزیابی توانایی مدل در تفکیک کلاس‌های خطر استفاده شد. هرچه تفکیک بین کلاس‌های خطر بالاتر باشد مدل تواناتر است (شیرانی و همکاران، ۲۰۰۶) و از شاخص جمع کیفیت^۲ برای مقایسه کارایی مدل‌ها استفاده شد. هر قدر مقدار Q_s به دست آمده بیش‌تر باشد آن مدل برای منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است (عبادی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۷).

$$D_r = \frac{S_i / A_i}{\sum_{i=1}^n S_i / \sum_{i=1}^n A_i} \quad (6)$$

که در آن، D_r : تراکم لغزش در هر کلاس خطر، A_i : مساحت هر کلاس خطر، S_i : مساحت زمین‌لغزش‌ها در هر کلاس خطر و n : تعداد کلاس‌های خطر می‌باشند.

$$Q_s = \sum_{i=1}^n [(D_r - 1)^2 \times S] \quad (7)$$

که در آن، Q_s : شاخص جمع مطلوبیت، D_r : تراکم لغزش در هر کلاس خطر، S : نسبت مساحت هر کلاس خطر به مساحت کل حوضه و n : تعداد کلاس‌های خطر می‌باشند.

1- Density Ratio (Dr)

2- Quality Sum

نتایج

نقشه پراکنش زمین لغزش حوضه: با تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش مشاهده گردید که در کل حوضه تعداد ۱۱۱ مورد زمین لغزش پراکنده می‌باشند. در مقیاس حوضه، مبنای کار شناسایی تشخیص تیپ و نقشه‌بندی زمین لغزش‌های با آستانه مساحتی یا بزرگی حداقل $10 \times 10 = 100$ مترمربع انتخاب شده است، در حالی که در نقشه تهیه شده توسط اداره آبخیزداری مبنای کار زمین لغزش‌های با حداقل ۱۰۰ هکتار مدنظر قرار گرفت. سطح مجموع سطح لغزش یافته در حوضه $1192/1452$ هکتار می‌باشد که معادل $4/64$ درصد سطح آبخیز است.

نقشه خطر زمین لغزش تهیه شده با مدل‌های مختلف: در مدل رگرسیون گام‌به‌گام، ۷ عامل ارتفاع، شیب، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از راه، کاربری اراضی و بارش سالیانه به‌عنوان عوامل مؤثر بر زمین لغزش انتخاب شدند. ضریب تعیین معادله برابر $67/96$ درصد است که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

(۸)

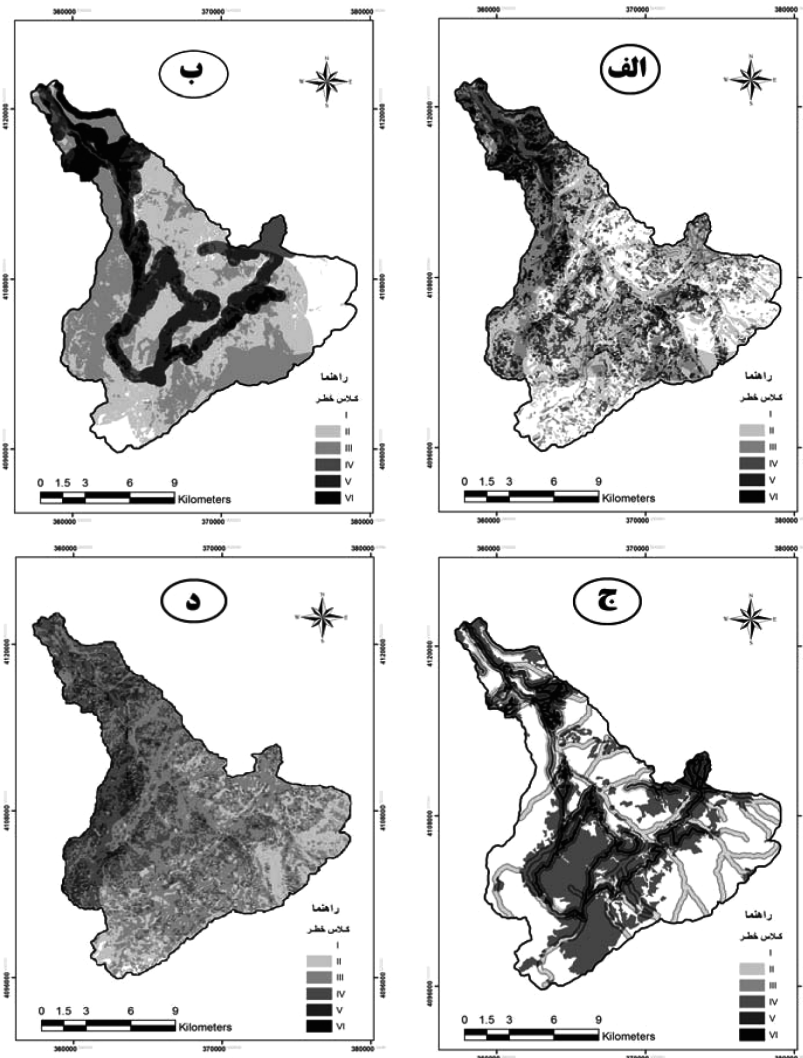
$$Y = 1/316 + 0/02629P + 0/0059828S - 0/0005869R + 0/0005449L + 0/0016025G + 0/000374E - 0/000121F$$

که در آن، Y: عدد خطر، P: میزان بارش سالیانه، S: شیب، R: فاصله از راه، L: کاربری اراضی، G: سنگ‌شناسی، E: ارتفاع و F: فاصله از گسل می‌باشد.

در رگرسیون لجستیک ۳ عامل فاصله از جاده، کاربری اراضی و فاصله از آبراهه به‌عنوان مؤثرترین عوامل انتخاب گردیدند. با استفاده از درصد تراکم این ۳ عامل به‌عنوان متغیرهای مستقل و وجود و نبود زمین لغزش به‌عنوان متغیر وابسته، به تعیین بهترین معادله اقدام گردید. که در سطح خطا $0/01$ درصد معنی‌دار می‌باشد.

$$Y = -0/1604699 + 0/0296272R + 0/122247L + 0/173418S \quad AIC: 1025 \quad (9)$$

که در آن، Y: معادله عدد خطر، S: فاصله از آبراهه، R: فاصله از راه و L: کاربری اراضی می‌باشند.



شکل ۲- نقشه شدت خطر زمین‌لغزش تهیه شده با مدل‌های مختلف (الف: آماری دو متغیره، ب: چندمتغیره گام‌به‌گام، ج: چندمتغیره لجستیک و د: ترکیب خطی وزین) در حوضه آبخیز چهل‌چای

انتخاب مدل مناسب با استفاده از شاخص‌های D_r و Q_s : از انطباق نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دست آمده از مدل‌ها با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه، شاخص‌های Q_s و D_r برای مدل‌ها و کلاس‌های خطر آن‌ها محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۲- تعیین شاخص‌های D_r و Q_s برای مدل‌های مختلف خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز چهل‌چای.

رتبه	جمع کیفیت (Q_s)	نسبت تراکم (D_r)	نسبت مساحت	سطح لغزش در کلاس (ha)	مساحت (ha)	کلاس خطر	روش پهنه‌بندی
۱	۳/۶۲۲	۰/۱۴۷	۰/۰۰۶۸	۳۴/۸۳	۵۱۰۱/۹۱۲	ناچیز	تراکم سطح دومتغیره وزنی
		۰/۵۷۷	۰/۰۲۶۹	۱۸۹/۸۷۲۷	۷۰۶۴/۵۰۴	خیلی کم	
		۰/۶۶۳	۰/۰۳۰۸	۱۵۵/۴۶۲۷	۵۰۴۰/۳۷۶	کم	
		۰/۷۸۸	۰/۰۳۶۷	۱۶۰/۰۹۴	۴۳۶۴/۴۱۵	متوسط	
		۰/۹۶	۰/۰۴۴۷	۱۲۸/۳۹۶۵	۲۸۷۴/۰۱۳	زیاد	
		۹/۶۴	۰/۴۴۹	۵۲۳/۴۶۹۵	۱۱۶۶/۵۸۱	خیلی زیاد	
		۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۷	۱۸/۸	۲۵۷۳/۹۰۹	ناچیز	
۴	۱/۶۲۷	۰/۶۷۳	۰/۰۳۱۳	۲۶۱/۴۳	۸۶۶۶/۵۳۵	خیلی کم	رگرسیون چندمتغیره گام به گام
		۰/۴۹۵	۰/۰۲۳	۱۵۱/۲۱	۶۵۶۰/۷۲	کم	
		۰/۲۹۷	۰/۰۱۳۸	۲۰/۹۶۵	۱۵۱۸/۶۷	متوسط	
		۱/۲۷۳	۰/۰۵۹۳	۲۵۱/۹۰۵۲	۴۲۵۰/۳۵۱	زیاد	
		۵/۱۵	۰/۲۳۹۷	۴۹۴/۸۱۵	۲۰۶۴/۱۷۸	خیلی زیاد	
		۰/۳۴۲	۰/۰۱۵۹	۱۷۱/۵۴۵	۱۰۷۶۳/۹۳	ناچیز	
		۱/۷۲۶	۰/۰۸۰۳	۱۲۸/۰۶۵	۱۵۹۴/۴۴۵	خیلی کم	
۳	۱/۷۰۳	۰/۱۱۷	۰/۰۰۵۴	۱۰/۷۸۵	۱۹۸۴/۴۲۴	کم	رگرسیون چندمتغیره لجیستیک
		۰/۶۲۷	۰/۰۲۹	۲۱۳/۰۸۰۲	۷۲۹۹/۰۶۴	متوسط	
		۲/۳۳۵	۰/۱۰۸۷	۲۴۲/۹۴۷۵	۲۲۳۵/۰۷۱	زیاد	
		۵/۲۶۷	۰/۲۴۵۲	۴۲۵/۷۰۲۵	۱۷۳۶/۳۶۸	خیلی زیاد	
		۰	۰	۰	۱۵۱/۵۲۷۸	ناچیز	
		۰/۰۲۷۹	۰/۰۰۱۳	۶/۰۶	۴۶۷۰/۴۲	خیلی کم	
		۰/۶۶۵۴	۰/۰۳۰۹۷	۳۴۸/۰۱۲۵	۱۱۲۳۶/۲۵۸۸	کم	
۲	۲/۲۰۱۹	۰/۹۲۶۳	۰/۰۴۳۱	۳۴۲/۹۹۳۲	۷۹۵۵/۵۱۶	متوسط	ترکیب خطی وزین
		۶/۵۹۸۵	۰/۳۰۷۱	۴۹۵/۰۵۹۵	۱۶۱۱/۸۵۶	زیاد	
		۰	۰	۰	۵۶/۶۷۳۴	خیلی زیاد	
		۰	۰	۰	۰	۰	

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از مدل‌های ترکیب خطی وزین (WLC)، آماری دومتغیره تراکم سطح وزنی با AHP به‌عنوان مدل‌های نیمه‌کمی، و رگرسیون چندمتغیره لجیستیک و رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام به‌عنوان مدل‌های کمی (کولی و همکاران، ۲۰۱۰) به تعیین بهترین روش پهنه‌بندی در حوضه آبخیز چهل‌چای اقدام شد.

مدل آماری دومتغیره تراکم سطح وزنی با AHP با Qs برابر با ۳/۶۲۲ به‌عنوان مدل برتر برای حوضه برگزیده شد و مدل‌های ترکیب خطی وزین (WLC) با Qs برابر با ۲/۲۰۱۹، رگرسیون چندمتغیره لجیستیک با Qs برابر با ۱/۷۰۳ و رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام با Qs برابر با ۱/۶۲۷ به‌ترتیب در اولویت بعدی قرار گرفتند. نتیجه این پژوهش با اسماعیلی و احمدی (۲۰۰۳) در حوضه گرمی‌چای، اونق (۲۰۰۴) در استرالیا، شیرانی و همکاران (۲۰۰۶) در سمیرم، یالسن (۲۰۰۸) در اردسن ترکیه، و کولی و همکاران (۲۰۱۰) در یونان هم‌راستا و با نتایج اشقلی‌فراهانی (۲۰۰۱) رودبار گیلان، آیالو و یاماگیشی (۲۰۰۵) در ژاپن و ناندی و شکور (۲۰۰۹) در امریکا هم‌خوانی ندارد. با وجود این‌که در روش‌های آماری چندمتغیره تحلیل هم‌زمان اثر تعدادی متغیر مستقل بر متغیر وابسته فضایی فراهم می‌گردد و از آنجا که پدیده‌هایی مانند زمین‌لغزش، ناشی از عملکرد هم‌زمان و با اثر متفاوت چندمتغیر می‌باشند بنابراین باید استفاده از آن‌ها مناسب باشد، ولی مشاهده می‌گردد که میزان Qs این مدل‌ها کم‌تر از Qs مدل‌های آماری دومتغیره تراکم سطح وزندهی با AHP و ترکیب خطی وزین (WLC) شدند، شاید این نتیجه را باید در اعمال نظر کارشناسی در وزندهی به عوامل مختلف با AHP جستجو کرد. پس از پهنه‌بندی با مدل آماری دومتغیره تراکم سطح وزنی AHP، ۱۵/۷۷ درصد از آبخیز چهل‌چای (بیش‌تر در قسمت‌های شمالی و خروجی حوضه) در طبقات خطر زیاد و خیلی‌زیاد طبقه‌بندی شدند. کریمی‌سنگ‌چینی و همکاران (۲۰۱۰) در حوضه مورد مطالعه تراکم سطح وزندهی شده با AHP را از ۳ روش مدل آماری دومتغیره، تراکم عددی و سطحی غیروزنی و تراکم عددی وزنی AHP مناسب‌تر دانسته‌اند. با توجه به تجزیه و تحلیل عوامل در رگرسیون لجیستیک، از میان ۹ عامل مؤثر، ۳ عوامل کاربری اراضی، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده به‌عنوان عوامل مؤثر انتخاب گردیدند که با توجه به این نتایج و پژوهش‌های قبلی (شادفر و همکاران ۲۰۰۷) در حوضه آبخیز چالکرو، کلارستانی و همکاران (۲۰۰۷) در حوضه آبخیز تجن) می‌توان به این نتیجه رسید که تغییر کاربری زمین‌های جنگلی به زراعت دیم و جاده‌سازی که در سال‌های اخیر به‌شدت در شمال کشور انجام شده، منجر به پررنگ‌تر شدن نقش عوامل انسانی نسبت به دیگر عوامل در وقوع

زمین لغزش شوند و تعداد زیادی زمین لغزش در اطراف جاده‌ها و در زمین‌های زراعی وقوع یابند. در نهایت می‌توان از پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چهل‌چای با استفاده از ۴ مدل مورد بررسی نتیجه گرفت که وقوع زمین لغزش‌های با مساحت بزرگ‌تر به عوامل بارش، شیب، سنگ‌شناسی، جهت و کاربری اراضی بستگی دارد (آماري دومتغیره وزنی AHP و ترکیب خطی وزین)، این در حالی است که وقوع یا نبود وقوع زمین لغزش (رگرسیون لجیستیک) به عوامل فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی بستگی دارد و تعداد بیش‌تری زمین لغزش نزدیک جاده و آبراهه و در کاربری کشاورزی وقوع یافتند. پیشنهاد می‌شود با توجه به این نتایج از تغییر کاربری و جاده‌سازی غیراستاندارد در مناطق پرخطر و مستعد وقوع زمین لغزش جلوگیری شود. مدل آماری دو متغیره وزنی AHP به‌عنوان مدل برتر در حوضه مورد بررسی شناخته شد و پیشنهاد می‌شود که در مدیریت خطر و خسارت زمین لغزش این حوضه کوهستانی مورد توجه قرار گیرد.

منابع

1. Ashghali Farahani, A. 2001. Assessing natural slopes hazard by fuzzy sets Theory in Roodbar (Iran). Thesis of M.Sc. in Geology Engineering, Tarbiat Moalem University, 142p. (In Persian)
2. Ayalew, L., Yamagishi, H., and Ugawa, N. 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. *Landslides*, 1: 73-81.
3. Ayalew, L., and Yamagishi, H. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65: 15-31.
4. Caniani, D., Pascale, S., Sdao, F., and Sole, A. 2008. Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza. *Nat Hazards*, 45: 55-72.
5. Clark, W.A.V., and Hosking, P.L. 1986. *Statistical methods for geographers*. Mathematics, 518p.
6. Ebadinejat, S.A., Yamani, I., Maghsodi, M., and Shadfar, S. 2007. Assessment of fuzzy logic functions applicability to determine to ability of occurrence of landslides, (Case study: Shiroad Watershed). *Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 1: 2. 39-44. (In Persian)
7. Esmaili, A., and Ahmadi, M. 2003. Using GIS and RS in mass movements hazard zonation, A Case Study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran. *Map Asia Conference*. Pp: 13-18. (In Persian)
8. Fall, M., Azam, R., and Noubactep, C. 2006. A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping. *Eng. Geol.* 82: 4. 241-263.

9. Karam, A. 2005. Application weighted linear combination (WLC) to landslide hazard zonation a case study: Sarkhon Region, chahar mahal and Bakhtiari Province. *Joghrafia and Toseaeh*, Autumn and Winter Number, Pp: 131-146.
10. Karimi Sangchini, E., Ownegh, M., Saddodin, A., and Najafinejad, A. 2010. Landslide hazard zonation using multivariate stepwise regression statistical model in Chehel-chai Watershed, Minoodasht, Golestan. 4th National Seminar on Erosion and sedimentary sciences, Tarbiat Modares University, 8p. (In Persian)
11. Kelarestaghi, A., Habibnejat, M., and Ahmadi, H. 2007. Studying of landslides occurrence to relation to land use change and road construction, case study: Tajan Watershed, Sari. *Pajoheshhaie Joghrafiiai*, 2: 81-91. (In Persian)
12. Kelarestaghi, A., and Ahmadi, H. 2009. Landslide susceptibility analysis with a bivariate approach and GIS in Northern Iran. *Arab. J. Geosci.* 2: 95-101.
13. Kouli, M., Loupasakis, C., Soupios, P., and Vallianatos, F. 2010. Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece. *Nat Hazards*, 52: 599-621.
14. Lee, E.M., and Jones, D.K.C. 2004. *Landslide risk assessment*. Thomas Telford, London, 454p.
15. Mosafaii, J. 2006. Comparing applicability of statistical and experimental models to landslide hazard zonation and development management plan in Alamoot watershed and, Thesis of M.Sc. in Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 200p. (In Persian)
16. Nandi, A., and Shakoor, A. 2009. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology*, 110: 11-20.
17. Ownegh, M. 2004. Assessing the applicability of the Australian landslide databases in hazard management. *Proceedings of ISCO*, Brisbane, 4 to 8 July, Australia, Pp: 1001-1006. (In Persian)
18. Shadfar, S., Yamani, M., Ghoddosi, J., and Ghayoumian, J. 2007. Landslide hazard zonation using analytical hierarchy method a case study: Chalkrood catchment. *Pajouhesh and Sazandegi*, 75: 118-126. (In Persian)
19. Shirani, K., Chavoshi Borojeni, S., and Ghayoumian, J. 2006. Investigation and evaluation landslide hazard zonation method in Padena Olia Region, Semirrom, Esfahan, Esfahan University, 23: 1. 23-28. (In Persian)
20. Sui, D.Z. 1999. A Fuzzy GIS Modeling Approach for Urban land Evaluation. *Computer, Environment, and Urban systems*, 16p.
21. Yalcin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72: 1-12.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 19(1), 2012
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Comparing applicability of 4 quantitative and semi-quantitative models in landslide hazard zonation in Chehel-Chay watershed, Golestan province

***E. Karimi Sangchini¹, M. Ownegh² and A. Saddodin³**

¹M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Professor, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 2011/01/09; Accepted: 2011/11/30

Abstract

Identification of areas susceptible to landslide occurrence is one of the basic measures taken to reduce the possible risk, and hazard management. In this paper, compared applicability weighted (AHP) bivariate statistical model and weighted linear combination (WLC), two semi-quantitative hazard analysis method, and stepwise and logistic multivariate regression, two quantitative hazard analysis methods, were compared in order to determine suitable model for landslide hazard management in the watershed. First, landslide was mapped through field observation, using local data and watershed management agency information and GPS devices. The nine factors including elevation, slope, aspect, lithology, distance from fault, stream and road, land use, and precipitation amount were chosen as effective factors on landsliding through studying conditions of Chehel-chay watershed, and relative hazard map was prepared via 4 above models. Quality sum (Qs) index was used for evaluation of models accuracy. Results show that weighted (AHP) bivariate statistical model is suitable for chehel_chay watershed with Qs equal to 3.625. and weighted linear combination (WLC) with Qs equal to 2.2019, logistic multivariate regression with Qs equal to 1.703 and stepwise multivariate regression with Qs equal to 1.627, were the next in order of priority.

Keywords: Landslide hazard zonation, Quantitative model, Semi-quantitative model, Chehel-chay watershed

* Corresponding Author; Email: e.karimi64@gmail.com