مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد نوزدهم، شماره اول، ۱۳۹۱
http://jwfst.gau.ac.ir

# مقایسه کارایی ۴ مدل کمی و نیمه‌کمی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز چهل‌چای، استان گلستان

**ابراهیم کریمی‌سنگ‌چینی[۱]*، مجید اونق[۲] و امیر سعدالدین[۳]**

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]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 ٤ روش یاد شده تهیه شد. برای ارزیابی صحت مدل‌ها از شاخص جمع کیفیت (Qs) استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل آماری دومتغیره وزن‌دهی با AHP با Qs برابر ۳/٦۲۵ به‌عنوان مدل مناسب‌تر برای حوضه می‌باشد. 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 ۱/٦۲۷ به‌ترتیب در اولویت بعدی قرار گرفتند.

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

* مسئول مکاتبه: e.karimi64@gmail.com



Archive of SID
www.SID.ir

**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 (اونق، ۲۰۰٤). سه رویکرد اصلی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش به‌صورت کیفی، نیمه‌کمی و کمی وجود دارد (لی و جونز، ۲۰۰٤). روش‌های کمی بر پایه منطق ریاضی از همبستگی بین فاکتورهای مؤثر و وقوع زمین‌لغزش می‌باشند که شامل رگرسیون تحلیلی دومتغیره، چندمتغیره و لجیستیک، منطق فازی، شبکه عصبی مصنوعی هستند (آیالو و یاماگیشی، ۲۰۰۵؛ کانیانی و همکاران، ۲۰۰۸؛ ناندی و شکور، ۲۰۰۹). روش‌های کیفی بر پایه نظرات کارشناسی می‌باشند (فال و همکاران، ۲۰۰٦). مدل‌های کیفی که از روش‌های وزن‌دهی و نرخ‌دهی استفاده می‌کنند به‌عنوان روش‌های نیمه‌کمی شناخته می‌شوند (یالسین، ۲۰۰۸؛ کریمی‌سنگچینی و همکاران، ۲۰۱۰). نمونه‌ای از این روش‌ها تحلیل سلسله مراتبی[1] (اونق، ۲۰۰٤؛ شادفر و همکاران، ۲۰۰۷؛ کلارستاقی و همکاران، ۲۰۰۷) و ترکیب خطی وزین[2] (آیالو و همکاران، ۲۰۰٤؛ کولی و همکاران، ۲۰۱۰) می‌باشند. اشقلی‌فراهانی (۲۰۰۱)، با استفاده از روش‌های آماری دومتغیره، 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 به‌دست 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 (۲۰۰٦)، بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از روش آماری در پادنای علیای سمیرم انجام دادند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که روش‌های آماری دومتغیره نسبت به روش‌های آماری چندمتغیره در عین سادگی دارای دقت قابل‌قبولی 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

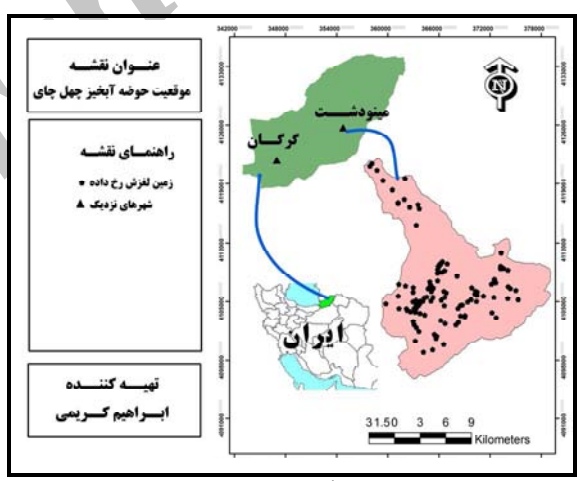


www.SID.ir

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.**



www.SID.ir

**تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش، انتخاب و طبقه‌بندی عوامل مؤثر:** با انجام بازدید میدانی در حوضه، استفاده از اطلاعات محلی، دستگاه GPS[1] و با کمک نقشه پراکنش زمین‌لغزش تهیه شده از تفسیر عکس هوایی و بازدید صحرایی توسط اداره آبخیزداری استان گلستان، فهرست‌برداری و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها تهیه گردید. مبنای کار زمین‌لغزش‌های با آستانه مساحتی یا بزرگی حداقل ۱۰×۱۰ مترمربع انتخاب شد. با مرور منابع قبلی (اونق، ۲۰۰٤؛ آیالو و همکاران، ۲۰۰٤؛ 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 زمین‌لغزش انتخاب گردیدند. از روی نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ رقومی نقشه‌های ارتفاع، آبراهه و راه استخراج و از روی مدل رقومی ارتفاع[2]، 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 ۲۰۰٦ 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 زمین‌لغزش، نرخ تراکم سطح و درصد تراکم زمین‌لغزش در هر طبقه از عوامل نه‌گانه زمین‌لغزش محاسبه گردید.

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

$$Ra = ۱۰۰۰ \times (A/B) - ۱۰۰۰ \times (C/D) \qquad (۱)$$

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 ٦ متخصص اجرایی و سپس نرم‌افزار Expert-Choice-۱۱ انجام شد (جدول ۱). با استفاده از

1- Global Position System
2- Digital Elevation Model



www.SID.ir

رابطه ۲ نقشه شدت خطر تهیه و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در ٦ کلاس طبقه‌بندی گردید (شکل ۲).

(۲) نقشه خطر زمین‌لغزش با مدل آماری دومتغیره وزنی AHP =(نقشه نرخ طبقات بارش × ۰/۲٤٦) + (نقشه نرخ طبقات شیب × ۰/۲۲۵) + (نقشه نرخ طبقات سنگ‌شناسی × ۰/۱٦٤) + (نقشه نرخ طبقات جهت × ۰/۰۸۸) + (نقشه نرخ طبقات کاربری اراضی × ۰/۰۸) + (نقشه نرخ طبقات فاصله از گسل × ۰/۰٦۲) + (نقشه نرخ طبقات فاصله از جاده × ۰/۰٦٤) + (نقشه نرخ طبقات فاصله از آبراهه × ۰/۰٤۸) + (نقشه نرخ طبقات ارتفاع × ۰/۰۲۳)

**جدول ۱- مقایسه‌های زوجی و تعیین وزن نهایی عوامل مختلف مؤثر بر زمین‌لغزش.**

| | بارش | شیب | سنگ‌شناسی | جهت شیب | کاربری | فاصله از راه | فاصله از گسل | فاصله از آبراهه | ارتفاع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بارش | ۱ | ۲ | ۲ | ۳ | ٤ | ۳ | ۳ | ٤ | ۷ |
| شیب | ۰/۵ | ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ٤ | ۳ | ٤ | ۷ |
| سنگ‌شناسی | ۵/۰ | ۰/۳۳ | ۱ | ۳ | ۲ | ۳ | ٤ | ٤ | ٦ |
| جهت شیب | ۰/۳۳ | ۰/۳۳ | ۰/۳۳ | ۱ | ۲ | ۲ | ۱ | ۲ | ٤ |
| کاربری | ۰/۲۵ | ۰/۳۳ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۳ |
| فاصله از راه | ۰/۳۳ | ۰/۲۵ | ۰/۳۳ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۱ | ۲ | ۱ | ٤ |
| فاصله از گسل | ۰/۳۳ | ۰/۳۳ | ۰/۲۵ | ۱ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۱ | ۲ | ۳ |
| فاصله از آبراهه | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۱ | ۰/۵ | ۱ | ۳ |
| ارتفاع | ۰/۱٤ | ۰/۱٤ | ۰/۱۷ | ۰/۲۵ | ۰/۳۳ | ۰/۲۵ | ۰/۳۳ | ۰/۳۳ | ۱ |
| وزن نهایی | ۰/۲٤٦ | ۰/۲۲۵ | ۰/۱٦٤ | ۰/۰۸۸ | ۰/۰۸ | ۰/۰٦٤ | ۰/۰٦۲ | ۰/۰٤۸ | ۰/۰۲۳ |

**پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام:** برای تعیین ارزش عددی طبقات مختلف عوامل کیفی (جهت، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی) 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 نرم‌افزار Arc GIS ۹/۳ لایه با هم تلفیق و نقشه واحدهای همگن استخراج شد. سپس نقشه واحدهای همگن با نقشه پراکنش زمین‌لغزش قطع و ۹



Archive of SID
www.SID.ir

عامل به‌عنوان متغیر مستقل و لگاریتم سطح لغزش[1] به‌عنوان متغیر وابسته انتخاب شدند. با استفاده از نرم‌افزار SPSS و روش گام‌به‌گام به تعیین مؤثرترین عوامل اقدام گردید (مصفایی، 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 ٦ 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):

$$Y=\text{Logit}(P)=\ln(P/(1-P))=C_0+C_1X_1+C_2X_2+\ldots+C_nX_n \qquad (۳)$$

که در آن، P: احتمال متغیر مستقل (Y)، P/(۱−P): نسبت احتمال یا نبود توافق، $C_0$: عدد ثابت و $C_1$، $C_2$، ... و $C_n$: ضرایب (مقدار مشارکت عوامل مستقل ($X_1$، $X_2$، ... و $X_n$) 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 ٦ 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، ۱۹۸٦). برای نرمال کردن تبدیل لگاریتمی صورت گرفت (مصفایی، ۲۰۰٦)



Archive of SID
www.SID.ir

به حداقل خطر در مجموعه تعلق می‌گیرد (سویی، ۱۹۹۹). ۹ لایه فازی از عوامل مؤثر تهیه شـد. 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 ٦ کلاس تهیه شد (شکل ۲).

$$S = \sum i = ۱ \text{ to } n \; W_i X_i \qquad (٤)$$

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

(٥) نقشه خطر زمین‌لغزش آبخیز چهل‌چای = ((نقشه فازی طبقات بارش) × ۰/۲٤٦) + ((نقشه فازی طبقات شیب) × ۰/۲۲٥) + ((نقشه فازی طبقات سنگ‌شناسی) × ۰/۱٦٤)+((نقشه فازی طبقات جهت) × ۰/۰۸۸) + ((نقشه فازی طبقات کاربری) × ۰/۰۸) + ((نقشه فازی طبقات فاصله از گسل) × ۰/۰٦۲) + ((نقشه فازی طبقات فاصله از جاده) × ۰/۰٦٤) + ((نقشه فازی طبقات فاصله از آبراهه) × ۰/۰٤۸) + ((نقشه فازی طبقات ارتفاع) × ۰/۰۲۳).

**ارزیابی کارایی مدل‌های ارزیابی خطر زمین‌لغزش:** از شاخص نسبت تراکم[1] برای ارزیابی توانایی مدل در تفکیک کلاس‌های خطر استفاده شد. هرچه تفکیک بین کلاس‌های خطر بالاتر باشد مدل تواناتر است (شیرانی و همکاران، ۲۰۰٦) و از شاخص جمع کیفیت[2] برای مقایسه کارایی مدل‌ها استفاده شد. هر قدر مقدار Qs به‌دست آمده بیش‌تر باشد آن مدل برای منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است (عبادی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۷).

$$D_r = \frac{S_i / A_i}{\sum_{۱}^{n} S_i / \sum_{۱}^{n} A_i} \qquad (٦)$$

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.

$$Q_s = \sum_{i=۱}^{n} [(D_r - ۱)^{۲} \times S] \qquad (۷)$$

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



www.SID.ir

## نتایج

**نقشه پراکنش زمین‌لغزش حوضه:** با تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش مشاهده گردید که در کل حوضه تعداد ۱۱۱ مورد زمین‌لغزش پراکنده می‌باشند. در مقیاس حوضه، مبنای کار شناسایی تشخیص تیپ و نقشه‌بندی زمین‌لغزش‌های با آستانه مساحتی یا بزرگی حداقل ۱۰۰=۱۰×۱۰ مترمربع انتخاب شده است، در حالی‌که در نقشه تهیه شده توسط اداره آبخیزداری مبنای کار زمین‌لغزش‌های با حداقل ۱۰۰ هکتار مدنظر قرار گرفت. سطح مجموع سطح لغزش‌یافته در حوضه ۱۱۹۲/۱٤٥۲ هکتار می‌باشد که معادل ٤/٦٤ درصد سطح آبخیز است.

**نقشه خطر زمین‌لغزش 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 زمین‌لغزش انتخاب شدند. ضریب تعیین معادله برابر ٦۷/۹٦ درصد است که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

(۸)

$$Y=۱/۳۱٦+۰/۰۰۲٦۲۹P+۰/۰۰٥۹۸۲۸S-۰/۰۰۰٥۸٦۹R+۰/۰۰۰٥٤٤۹L+۰/۰۰۱٦۰۲٥G+۰/۰۰۰۳۷٤E-۰/۰۰۰۱۲۱F$$

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.

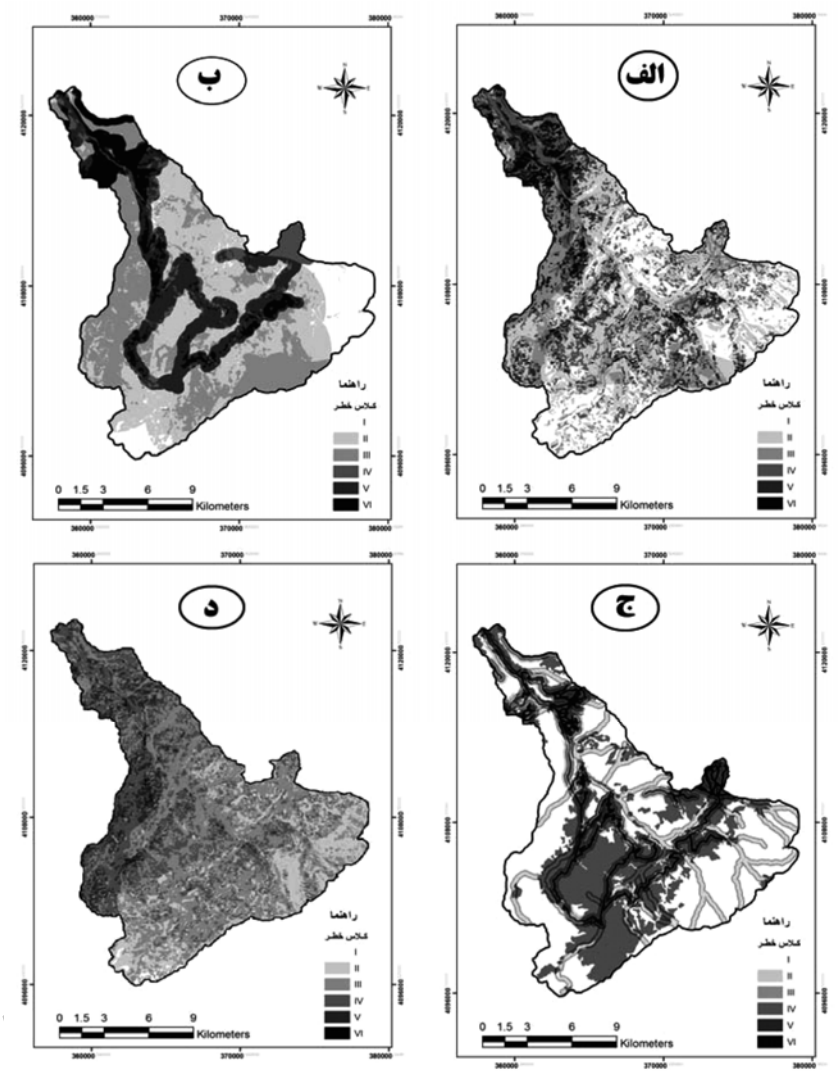
در رگرسیون لجستیک ۳ عامل فاصله از جاده، کاربری اراضی و فاصله از آبراهه به‌عنوان مؤثرترین عوامل انتخاب گردیدند. با استفاده از درصد تراکم این ۳ عامل به‌عنوان متغیرهای مستقل و وجود و نبود زمین‌لغزش به‌عنوان متغیر وابسته، به تعیین بهترین معادله اقدام گردید. که در سطح خطا ۰/۰۱ درصد معنی‌دار می‌باشد.

$$Y=-٥/۱٦۰٤٦۹۹+۰/۰۲۹٦۲۷۲R+۰/۰۱۲۲۲٤۷L+۰/۰۱۷۳٤۱۸S \qquad AIC: ۱۰۲٥ \qquad (۹)$$

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



www.SID.ir




**شکل ۲- نقشه شدت خطر زمین‌لغزش تهیه شده با مدل‌های مختلف (الف: آماری دومتغیره، 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 به‌دست آمده از مدل‌ها با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه، شاخص‌های Dr و Qs برای مدل‌ها و کلاس‌های خطر آن‌ها محاسبه شد (جدول ۲).



www.SID.ir

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

| روش پهنه‌بندی | کلاس خطر | مساحت (ha) | سطح لغزش در کلاس (ha) | نسبت مساحت | نسبت تراکم ($D_r$) | جمع کیفیت ($Q_s$) | رتبه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تراکم سطح دومتغیره وزنی | ناچیز | ۵۱۰۱/۹۱۲ | ۳٤/۸۳ | ۰/۰۰٦۸ | ۰/۱٤۷ | ۳/٦۲۲ | ۱ |
| | خیلی‌کم | ۷۰٦٤/۵۰٤ | ۱۸۹/۸۷۲۷ | ۰/۰۲٦۹ | ۰/۵۷۷ | | |
| | کم | ۵۰٤۰/۳۷٦ | ۱۵۵/٤٦۲۷ | ۰/۰۳۰۸ | ۰/٦٦۳ | | |
| | متوسط | ٤۳٦٤/٤۱۵ | ۱٦۰/۰۹٤ | ۰/۰۳٦۷ | ۰/۷۸۸ | | |
| | زیاد | ۲۸۷٤/۰۱۳ | ۱۲۸/۳۹٦۵ | ۰/۰٤٤۷ | ۰/۹٦ | | |
| | خیلی‌زیاد | ۱۱٦٦/۵۸۱ | ۵۲۳/٤٦۹۵ | ۰/٤٤۹ | ۹/٦٤ | | |
| رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام | ناچیز | ۲۵۷۳/۹۰۹ | ۱۸/۸ | ۰/۰۰۰۷ | ۰/۰۱۵ | ۱/٦۲۷ | ٤ |
| | خیلی‌کم | ۸٦٦٦/۵۳۵ | ۲٦۱/٤۳ | ۰/۰۳۱۳ | ۰/٦۷۳ | | |
| | کم | ٦۵٦۰/۷۲ | ۱۵۱/۲۱ | ۰/۰۲۳ | ۰/٤۹۵ | | |
| | متوسط | ۱۵۱۸/٦۷ | ۲۰/۹٦۵ | ۰/۰۱۳۸ | ۰/۲۹۷ | | |
| | زیاد | ٤۲۵۰/۳۵۱ | ۲۵۱/۹۰۵۲ | ۰/۰۵۹۳ | ۱/۲۷۳ | | |
| | خیلی‌زیاد | ۲۰٦٤/۱۷۸ | ٤۹٤/۸۱۵ | ۰/۲۳۹۷ | ۵/۱۵ | | |
| رگرسیون چندمتغیره لجیستیک | ناچیز | ۱۰۷٦۳/۹۳ | ۱۷۱/۵٤۵ | ۰/۰۱۵۹ | ۰/۳٤۲ | ۱/۷۰۳ | ۳ |
| | خیلی‌کم | ۱۵۹٤/٤٤۵ | ۱۲۸/۰٦۵ | ۰/۰۸۰۳ | ۱/۷۲٦ | | |
| | کم | ۱۹۸٤/٤۲٤ | ۱۰/۷۸۵ | ۰/۰۰۵٤ | ۰/۱۱۷ | | |
| | متوسط | ۷۲۹۹/۰٦٤ | ۲۱۳/۰۸۰۲ | ۰/۰۲۹ | ۰/٦۲۷ | | |
| | زیاد | ۲۲۳۵/۰۷۱ | ۲٤۲/۹٤۷۵ | ۰/۱۰۸۷ | ۲/۳۳۵ | | |
| | خیلی‌زیاد | ۱۷۳٦/۳٦۸ | ٤۲۵/۷۰۲۵ | ۰/۲٤۵۲ | ۵/۲٦۷ | | |
| | ناچیز | ۱۵۱/۵۲۷۸ | ۰ | ۰ | ۰ | | |
| ترکیب خطی وزین | خیلی‌کم | ٤٦۷۰/٤۲ | ٦/۰٦ | ۰/۰۰۱۳ | ۰/۰۲۷۹ | ۲/۲۰۱۹ | ۲ |
| | کم | ۱۱۲۳٦/۲۵۸۸ | ۳٤۸/۰۱۲۵ | ۰/۰۳۰۹۷ | ۰/٦٦۵٤ | | |
| | متوسط | ۷۹۵۵/۵۱٦ | ۳٤۲/۹۹۳۲ | ۰/۰٤۳۱ | ۰/۹۲٦۳ | | |
| | زیاد | ۱٦۱۱/۸۵٦ | ٤۹۵/۰۵۹۵ | ۰/۳۰۷۱ | ٦/۵۹۸۵ | | |
| | خیلی‌زیاد | ۵٦/٦۷۳٤ | ۰ | ۰ | ۰ | | |



Archive of SID

www.SID.ir

## 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 ۳/٦۲۲ 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 ۱/٦۲۷ به‌ترتیب در اولویت بعدی قرار گرفتند. نتیجه این پژوهش با اسماعیلی و احمدی (۲۰۰۳) در حوضه گرمی‌چای، اونق (۲۰۰٤) در استرالیا، شیرانی و همکاران (۲۰۰٦) در سمیرم، یالسین (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 چالکرود، کلارستاقی 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



www.SID.ir

زمین‌لغزش شوند و تعداد زیادی زمین‌لغزش در اطراف جاده‌ها و در زمین‌های زراعی وقوع یابند.

در نهایت می‌توان از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز چهل‌چای با استفاده از ٤ مدل مورد بررسی نتیجه گرفت که وقوع زمین‌لغزش‌های با مساحت بزرگ‌تر به عوامل بارش، شیب، سنگ‌شناسی، جهت و کاربری اراضی بستگی دارد (آماری دومتغیره وزنی AHP و ترکیب خطی وزین)، این در حالی است که وقوع یا نبود وقوع زمین‌لغزش (رگرسیون لجیستیک) به عوامل فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی بستگی دارد و تعداد بیش‌تری زمین‌لغزش 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 زمین‌لغزش 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: Shirood 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.




Archive of SID
www.SID.ir

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 Joghrafiaii, 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, Semirom, 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.



Archive of SID
www.SID.ir

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 Sangchini[1], M. Ownegh[2] and A. Saddodin[3]**

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



Archive of SID

www.SID.ir