



دوره ۳۱، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۱۸، بهار ۱۳۹۷، صفحات ۳۶-۲۳  
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMEJ.2018.116960.1066

# پژوهش‌های آبخیزداری

(پژوهش و سازندگی)

## ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های ال.ان.آر.اف و دبلیو.آی.ان.اف در حوزه‌ی آبخیز خارستان، استان فارس

### معصومه زارع \*

(نویسنده‌ی مسئول) \* کارشناس ارشد منابع طبیعی - آبخیزداری اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس

### محمد شعبانی

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

### سیدمسعود سلیمان‌پور

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

### امین رستمی‌راوری

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

تاریخ دریافت: دی ۹۶ تاریخ پذیرش: خرداد ۹۷

\* Corresponding Email: saba\_shadan@yahoo.com

### چکیده

زمین لغزش یکی از مهم‌ترین عوامل فرسایش خاک و از جمله بلایای طبیعی است که هر ساله زیان‌های مالی و جانی فراوانی را به همراه دارد. از این رو شناسایی این پدیده، عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، و تعیین مناطق حساس برای کاهش زیان‌های ناشی از آن ضروری است. هدف از این مطالعه‌ی ارزیابی خطر زمین لغزش در حوزه‌ی آبخیز خارستان اقلید فارس است. ابتدا نقشه‌ی هر یک عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش شامل شیب، جهت، ارتفاع، بارش، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراه، زمین‌شناسی و نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش منطقه تهیه شد. برای تعیین نرخ هر یک از عوامل مؤثر در وقوع لغزش، لایه‌های اصلی و نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش ادغام و سپس با استفاده از مدل‌های ال.ان.آر.اف و دبلیو.آی.ان.اف محاسبه شد. سپس، با هم‌پوشانی لایه‌های مختلف، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تهیه شد. در نهایت، برای انتخاب مدل برتر، از سه شاخص، شاخص زمین لغزش، نسبت تراکم و مجموع کیفیت استفاده شد. نتایج نشان داد که ۱۷/۵۹ و ۷۹/۶۳٪ از حوزه به ترتیب در پهنه‌ی خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. مقدار مجموع کیفیت در مدل ال.ان.آر.اف ۴/۵۲٪ است، که براساس آن می‌توان نتیجه‌گیری کرد که عمل کرد مدل ال.ان.آر.اف برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه‌ی آبخیز خارستان اقلید بهتر است.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، ال.ان.آر.اف، حوزه‌ی آبخیز خارستان، دبلیو.آی.ان.اف، زمین لغزش

## Landslide Risk Assessment Using LNRF and WPINF Models in Kharestan Watershed, Fars Province

**Masoomeh Zare\***

(Corresponding Author)\* Watershed Management Expert, Fars, Natural Resources and Watershed Management Head of Office

**Mohammad Shabani**

Assistant Professor, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

**Seyed Masoud Soleimanpour**

Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

**Amin Rostami Ravari**

Assistant Professor, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

### Abstract

Landslide is one of the most important factors of soil erosion, and is a natural disaster that makes numerous financial and life damages each year. Therefore, identifying this phenomenon, effective agents in landslide occurrence, and determination of susceptible areas is necessary for reducing damages of this phenomenon. The aim of this study is to evaluate landslide hazards in the Kharestan Watershed, Fars Province. Firstly, maps of the main factors affecting landslide occurrence including slope, direction, height, rainfall, distance from fault, distance from the road, distance from the waterway, land use, lithology and landslide were prepared. Each basic layer and landslide map was integrated to compute the rate of each parameter using LNRF and WINF models. Then, with overlapping different data layers, landslide hazard zonation maps were prepared. Finally, three indices including Landslide index (Li), Density ratio (Dr), and Quality summation (Qs) were used in order to choose the premier model. Results showed that in the LNRF model 17.59 and 79.63% of watershed were located in high and very high zone of risk map respectively. The quantity of Qs in the LNRF model is 4.52%. Based on these results it can be concluded that LNRF model shows a better performance for landslide hazard zonation.

**Keywords:** Fars Province, Kharestan watershed, landslide, LNRF, WINF

### مقدمه

که در تمام ۵۰ ایالت فعال است و سالانه به طور متوسط ۲۵ تا ۵۰ کشته، و حدود یک تا سه میلیارد دلار زیان وارد می‌کند (سلیمان‌پور ۲۰۱۳). زیان‌های ناشی از زمین لغزش‌ها شامل زیان‌های مستقیم و غیرمستقیم است. زیان‌های مستقیم عبارت‌اند از زیان‌های ناشی از جابه‌جایی‌ها، بازسازی‌های ناشی از وقوع زمین لغزش و از بین رفتن اموال و تأسیسات اقتصادی، و زیان‌های غیرمستقیم شامل کاهش تولید اقتصادی، کشاورزی، بهره‌وری جنگل‌ها و کاهش درآمدهای

پدیده‌ی زمین لغزش<sup>۱</sup> یکی از پدیده‌های مهم در محیط‌زیست، آبخیزداری و منابع طبیعی است. زمین لغزش‌ها، پدیده‌های طبیعی‌اند که به طور ناگهانی و در زمان کوتاهی رخ می‌دهند (چندل و همکاران ۲۰۱۱). این پدیده از جمله بلایای طبیعی است که همه‌ساله زیان‌های جانی و مالی بسیاری را در کشورهای مختلف در پی دارد. زمین لغزش‌ها در ایالات متحده‌ی آمریکا عمده‌ترین بلایای زمینی است

1- landslide

ارزش اطلاعاتی، رگرسیون چند متغیره‌ی خطی، مدل‌های کاناکاوا، حائری، حائری اصلاح‌شده و تحلیل پراکنش حرکت‌های توده‌یی با به‌کارگیری سه فیلتر خطی، میانگین و واریانس در منطقه‌ی دماوند در استان تهران پهنه‌بندی خطر وقوع حرکت‌های توده‌یی را در محیط اطلاعات جغرافیایی<sup>۲</sup> انجام داد. لایه‌های اطلاعاتی به‌کاررفته در این تحقیق شامل سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آب‌راه، مقدار بارندگی بیشینه‌ی ۲۴ ساعته با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰ ساله، بارندگی متوسط سالانه، جهت دامنه‌ها، طبقات ارتفاعی و بیش‌ترین شتاب زلزله بود. ایشان از بین روش‌های استفاده‌شده، روش رگرسیون چند متغیره را به‌دلیل بیش‌ترین دقت، روش مناسب معرفی کرد.

احمدی و همکاران (۲۰۰۳) پهنه‌بندی حوزه‌ی آبخیز گرمی‌چای را با دو مدل رگرسیون چندمتغیره و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی انجام دادند و با در نظر گرفتن وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر عامل، و امتیازهایی که هر کدام گرفته‌اند مدل پهنه‌بندی با روش تحلیل سلسله‌مراتبی را به‌دلیل داشتن متغیرهای بیشتر، و طبقه‌بندی اصولی و بدون اعمال نظر کارشناسی، از روش رگرسیون چندمتغیره، پذیرفتنی‌تر (بادقت بیشتر) اعلام نمودند. فرهادی‌نژاد و غیومیان (۲۰۰۳) پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌یی را با استفاده از مدل آماری ارزش اطلاعاتی در حوزه‌ی آبخیز نوژیان (در ۲۰ کیلومتری جنوب‌شرقی خرم‌آباد) انجام دادند. ایشان ضمن تأیید روش ارزش اطلاعاتی برای پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌یی در این منطقه، اعلام نمودند که حدود ۴۹٪ از حرکت‌های توده‌یی رخ داده در این حوزه در محدوده‌ی خطر زیاد تا بسیار زیاد قرار دارند. فیض‌نیا و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌یی و پهنه‌بندی خطر آن‌ها در حوزه‌ی آبخیز شیرین رود (سد تجن) از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده نمودند و به نتایج و نقشه‌های پهنه‌بندی خوبی در این حوزه دست یافتند. شادفر و همکاران (۲۰۰۷) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه‌ی آبخیز جلیسان را با استفاده از مدل ال.ان.آراف انجام دادند. نتایج آنان نشان داد که مدل ال.ان.آراف کارایی بسیار خوبی برای بررسی داده‌ها و پهنه‌بندی زمین‌لغزش در نواحی مرطوب تا نیمه‌مرطوب دارد. پورنادر (۲۰۰۸) نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌یی را از با شناسایی عوامل مؤثر در حوزه‌ی آبخیز سد ایلام بررسی کرد تا راه‌کارهای لازم برای پیش‌گیری و مهار این پدیده را شناسایی و معرفی نماید. نتایج این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین ارتباط فراوانی وقوع حرکت‌های توده‌یی رخ داده در منطقه به‌ترتیب بین نوع سازند زمین‌شناسی، شیب، کاربری زمین و میزان املاح محلول در خاک است؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین فراوانی وقوع حرکت‌های توده‌یی مربوط به طبقه‌ی شیب ۳۰ تا ۵۰٪ از یک‌سو، و سازندهای زمین‌شناسی که در آن‌ها میزان آهک بسیار ناچیز است یا

توریستی ناشی از وقوع زمین‌لغزش و از بین رفتن امکانات و شبکه‌های حمل‌ونقل. این پدیده‌ی طبیعی می‌تواند سبب تخریب سازه‌های مهندسی ساخت بشر از جمله مناطق مسکونی، شریان‌های حیاتی همچون راه‌ها، خطوط انتقال نیرو، جنگل‌ها و زمین‌های کشاورزی شود (سوری ۲۰۱۳). از جمله زیان‌های مهم زمین‌لغزش می‌توان به فاجعه‌ی دفن شدن روستای قلتک در خرداد ۱۳۶۹ در رودبار و زمین‌لغزش‌های سال ۱۳۷۳ ناشی از بارندگی‌های شدید در استان گیلان با شش کشته و تخریب ۱۶ واحد مسکونی اشاره کرد (مرتضوی‌چمچالی و همکاران ۲۰۰۹). پدیده‌ی لغزش همچون دیگر پدیده‌های طبیعی زمین‌لرزه، سیل، آتشفشان از بلاهای مهم طبیعی است که هر ساله در مناطق کوهستانی و مرتفع کشور روی می‌دهد (شهپازی ۲۰۱۲). در کشوری با شرایط زمین‌شناسی، پستی‌وبلندی، آب‌وهوایی و کاربری زمین چون ایران، که از لحاظ لرزه‌ی زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی یکی از فعال‌ترین پهنه‌ها در کمربند چین‌خوردگی آلپ‌هیمالیا است، زمین‌لغزش‌ها اهمیت ویژه‌یی دارند. ایران از جمله کشورهایی است که به‌صورت عام با این پدیده روبرو است. براساس یک برآورد اولیه، سالانه ۵۰۰ میلیارد ریال زیان مالی از لغزش‌ها به کشور تحمیل می‌شود، و این در صورتی است که زیان‌های از بین رفتن منابع طبیعی برگشت‌ناپذیر دانسته نشود. این پدیده همه‌ساله در بیش‌تر استان‌های کشور، سبب وارد آمدن زیان‌های اقتصادی به جاده‌ها، خطوط راه‌آهن و انتقال نیرو، نهرهای آبیاری و آب‌رسانی، تأسیسات معدنی، تأسیسات استخراج و پالایش نفت‌وگاز، کارخانه‌ها و مراکز صنعتی، مناطق مسکونی، سدها و دریاچه‌های مصنوعی و طبیعی می‌شود، و موجب تخریب جنگل‌ها، مرتع‌ها و زمین‌های کشاورزی، تسریع فرسایش و انتقال گسترده‌ی موادمعلق به پشت سدها می‌شود. به‌علاوه، وقوع زمین‌لغزش در مقیاس حوزه‌ی آبخیز به‌رغم پراکنده‌بودن و رخداد به‌صورت نقطه‌یی یا محلی، می‌تواند موجب حرکت یا جابه‌جایی حجم قابل توجهی از خاک، ایجاد زیان‌های مالی و جانی، تولید موادمعلق در خارج از حدطبیعی گردد (سلیمان‌پور ۲۰۱۳). این درحالی‌است که تا سال ۱۳۸۶، در مجموع بیش از ۴۹۰۰ زمین‌لغزش در ایران ثبت شده که ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال به کشور خسارت وارد کرده‌است (مرادی و همکاران ۲۰۱۲). تاکنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج از کشور در زمینه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام گرفته است. حق شناس (۱۹۹۵) خطر زمین‌لغزش و ارتباط آنرا با تولید موادمعلق در منطقه‌ی طالقان با استفاده از تحلیل مبین، رگرسیون چندگانه و ارزش اطلاعاتی پهنه‌بندی کرد، و نتیجه گرفت که از میان سه روش به‌کارگرفته شده روش تحلیل مبین، با توجه به فراهم‌آوردن امکان قضاوت کمی در مورد احتمال وقوع لغزش روش کارآتری است. سفیدگری (۲۰۰۲) با استفاده از مدل رگرسیون دو متغیره برمبنای

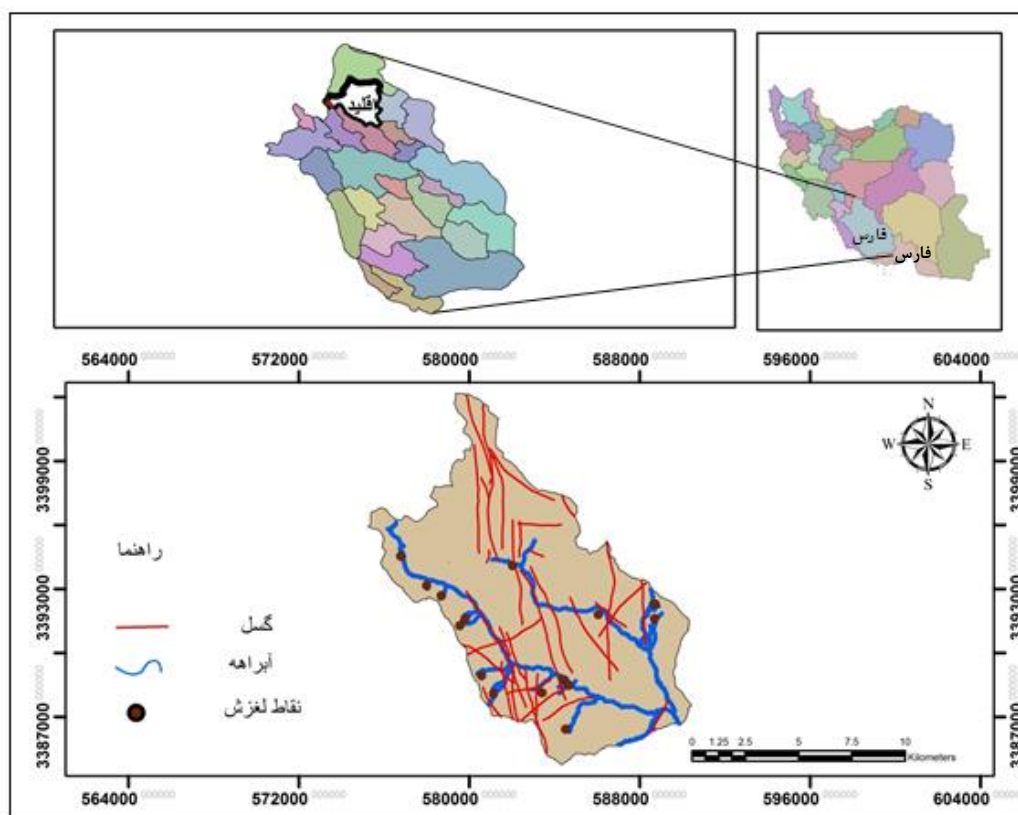
از سایر مدل‌ها در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در آن حوزه‌ی آبخیز دارد. کرنزادی و حیدری (۲۰۱۴) حساسیت حرکت‌های توده‌یی را با استفاده از دو مدل کمی ال.ان.آراف و مدل نیمه‌کمی آ.اچ.پی در حوزه‌ی چمران اهواز بررسی کردند. پس از بررسی دو مدل، ارزش عمل‌کرد آن‌ها با استفاده از شاخص جمع کیفیت و مشخصه‌ی عمل‌کرد نسبی آزموده شد. نتایج این شاخص‌ها نشان داد که مدل آ.اچ.پی، برای توزیع حرکت‌های توده‌یی در این منطقه کارآمدتر است. محمدی‌ترکاشوند و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ال.ان.آراف و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در دامنه‌های شرقی سبلان استان اردبیل پرداختند. نتایج نشان داد که با تلفیق لایه‌های مختلف در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی ۶۷/۸۵٪ از لغزش‌ها در طبقه‌ی خطر زیاد، ۷/۷۶٪ در طبقه‌ی خطر متوسط و ۲۴/۳۹٪ در طبقه‌ی کم‌خطر قرار می‌گیرند. نتایج این تحقیقات حاکی از آن است که در بیش‌تر پژوهش‌های انجام‌شده برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ایران به علت تفاوت شرایط محیطی و روش‌های به‌کار گرفته‌شده امکان مقایسه‌ی نتایج حاصله از الگوهای مختلف با یکدیگر نیست، و به‌کارگیری هر یک از آن‌ها مستلزم اثبات صحت و دقت بیش‌تر آن از دیگری است. در این تحقیق سعی بر آن است تا با به‌کارگیری دو روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش که شامل روش ارزش اطلاعاتی و گوپتا-جوشی است، میزان کارایی آن‌ها سنجیده شود و مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه‌ی آبخیز خارستان با توجه به نتایج معرفی شود.

#### مواد و روش‌ها

##### معرفی منطقه‌ی بررسی شده

حوزه‌ی آبخیز خارستان با مساحت ۱۲۳/۰۹ کیلومتر مربع در محدوده‌ی جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه و ۹ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۵۶ دقیقه و ۳۵ ثانیه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۵ دقیقه و ۳۴ ثانیه و ۳۰ درجه و ۴۵ دقیقه و ۱۲ ثانیه عرض شمالی است (شکل ۱). کم‌ترین و بیش‌ترین ارتفاع حوزه به ترتیب ۱۹۵۸ و ۳۱۴۵ متر از سطح دریا است. این حوزه در فاصله‌ی ۱۷۲ کیلومتری شمال‌غربی شهر شیراز واقع شده است (معاونت آبخیزداری سازمان جهادکشاورزی فارس ۲۰۰۴).

آهک ندارد، نظیر سازند گچساران و پابده ازسوی دیگر است. مصفایی و همکاران (۲۰۰۹) در حوزه‌ی آبخیز الموت‌رود به مقایسه‌ی کارایی مدل تجربی مور-وارسون اصلاح‌شده و مدل‌های آماری تراکم سطح غیروزنی، تراکم سطح وزنی و رگرسیون چند متغیره پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که تمامی مدل‌ها، کارایی لازم برای تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌یی در حوزه‌ی آبخیز نام برده را دارد. نادری و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی کارایی دو مدل ارزش اطلاعاتی و گوپتا-جوشی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه‌ی آبخیز تلخاب ایلام پرداختند. قهرمانی و همکاران (۲۰۱۲) در حوزه‌ی آبخیز النگدره به این نتیجه رسیدند که مدل ال.ان.آراف<sup>۳</sup> کاملاً مستقل از نظر کارشناسی عمل می‌کند و به واقعیت نزدیک‌تر است، امکان بروز خطا در آن به کم‌ترین رسیده و از مدل‌های دیگر نیز مطمئن‌تر است. صابرچناری و همکاران (۲۰۱۵) خطر وقوع زمین‌لغزش را در حوزه‌ی آبخیز زیارت استان گلستان با استفاده از مدل ارزش اطلاعاتی و ال.ان.آراف در سیستم اطلاعات جغرافیایی بررسی کردند. ارزیابی نتایج با استفاده از منحنی آراو.سی نشان داد که مدل ارزش اطلاعاتی کارایی بهتری از مدل ال.ان.آراف در شناسایی مناطق مستعد خطر زمین‌لغزش دارد. منطقه‌ی بررسی در مجموع استعداد زیادی برای وقوع زمین‌لغزش دارد و این پدیده همواره ساکنان منطقه، مسافران و زمین‌های کشاورزی را تهدید می‌کند. ایلانلو و ابراهیمی (۲۰۱۶) به پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌یی با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و ال.ان.آراف در حوزه‌ی آبخیز زهره در استان فارس پرداختند؛ و با استفاده از شاخص زمین‌لغزش مدل ارزش اطلاعاتی را مطلوب‌ترین مدل در پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات توده‌یی منطقه معرفی کردند. فانولیو (۲۰۰۷) نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از مدل ال.ان.آراف و ارزش اطلاعاتی در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی برای منطقه‌ی لانگن در استان گانسو چین تهیه کرد. نتایج نشان داد که مدل ارزش اطلاعاتی، بیشتر برای مکان‌هایی که زمین‌لغزش آن فعال بود، کارایی بهتری دارد. نادری و همکاران (۲۰۱۰) کارایی چهار مدل ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، تحلیل سلسله مراتبی سامانه‌ها و مدل گوپتا-جوشی را برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه‌ی آبخیز زنگوان استان ایلام را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل ارزش اطلاعاتی کارایی بهتری

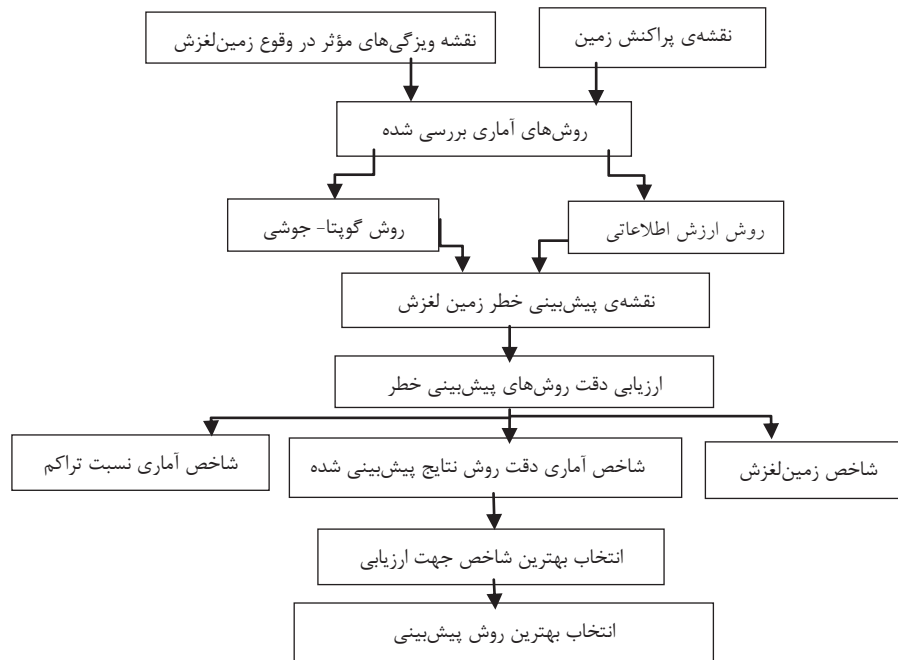


شکل ۱- موقعیت کشوری و استانی منطقه‌ی بررسی شده.

#### روش تحقیق

روش تحقیق براساس مطالعات میدانی، شناسایی نقاط لغزش و تعیین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها و در نهایت تهیه نقشه‌ی

پراکنش زمین لغزش و نقشه‌ی ویژگی‌های مؤثر در وقوع زمین لغزش و پهنه‌بندی خطر با استفاده از مدل‌های آماری در منطقه است. نمودار جریان‌ی شکل ۲ مراحل اجرای این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار جریان‌ی مراحل اجرای پژوهش.

متغیر کمی شوند (نیازی و همکاران ۲۰۱۰). مدل‌های آماری متعددی برای محاسبه‌ی ارزش‌های وزنی به‌کاررفته است که از میان آن‌ها دو مدل ال.ان.آر.اف و دلبلیو.آی.ان.اف بررسی می‌شوند.

مدل ارزش اطلاعاتی<sup>۴</sup> (دلبلیو.آی.ان.اف)

یکی از معروف‌ترین مدل‌های آماری دومتغیره مدل ارزش اطلاعاتی است، که در آن ابتدا نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش برای منطقه تهیه، و سپس لایه‌های اطلاعاتی لازم استخراج می‌شود. پس از آن درصد خطر لغزش را در رده‌های مختلف تعیین و در نهایت عوامل مؤثر بر وقوع لغزش را وزن دهی می‌کنند (شادفر و همکاران ۲۰۰۷). در این مدل هر عامل محیطی مانند یک لایه‌ی اطلاعاتی جدا از رخداد لغزش برای کل منطقه بررسی و تحلیل می‌شود، و ارزش وزنی برای هر طبقه از عامل‌ها به‌وسیله‌ی لگاریتم طبیعی تراکم زمین لغزش در هر طبقه، تقسیم بر تراکم زمین لغزش در کل نقشه تعریف می‌شود (رابطه‌ی ۱).

$$WINF = \ln(A/B/C/D) \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

در این رابطه، WINF نرخ مربوط به هر طبقه از عامل‌ها، Ln لگاریتم طبیعی، A تعداد زمین لغزش در هر طبقه، B مساحت هر طبقه (کیلومتر مربع)، C تعداد کل زمین لغزش‌های حوزه، و D مساحت کل

نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش با استفاده از اطلاعات ویژگی‌های زمین لغزش از استخراج و ثبت‌گردید (معاونت آبخیزداری جهاد ۲۰۰۹). در مرحله‌ی بعد شناسایی و مطالعه‌ی عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین لغزش مانند شیب، جهت شیب، ارتفاع، بارندگی، کاربری زمین، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، و فاصله از غسل انجام شد، سپس نقشه‌ی این عوامل تهیه شد. نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی رقومی شد. سپس برای هر یک از ویژگی‌های مؤثر لایه‌ای مجزا ایجاد شد. در نهایت با استفاده از هر یک از مدل‌ها تمامی لایه‌ها جداگانه وزن دهی شد، و نقشه‌ی نهایی با روی هم‌گذاری لایه‌ها به‌وسیله‌ی نرم‌افزار ترسیم شد.

مدل آماری دو متغیره

در این مدل، هم‌پوشانی نقشه‌های ویژگی‌ها و تراکم زمین لغزش منطقه، هسته‌ی تحلیل را تشکیل می‌دهند. تحلیل آماری دومتغیره با یک متغیر وابسته (زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه) و یک متغیر مستقل (ویژگی‌های مؤثر در وقوع زمین لغزش)، انجام می‌پذیرد. اهمیت هر ویژگی جداگانه تحلیل و بررسی می‌شود. این مدل‌ها براساس این فرض بنا شده‌اند که عامل‌های مهمی که منجر به زمین لغزش می‌شوند، می‌توانند به واسطه‌ی محاسبه‌ی تراکم زمین لغزش‌ها برای هر طبقه از

معرفی شد (پورهاشمی و همکاران ۲۰۱۴). مدل کار، رقومی کردن و لایه‌بندی ویژگی‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (جی‌آی‌اس) است. در این مرحله نقشه‌های عوامل با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش تطبیق داده، و با استفاده از رابطه‌ی (۲)، وزن هر واحد محاسبه و نقشه‌های وزنی ساخته می‌شود (گوپتا و جوشی ۱۹۹۰) (رابطه‌ی ۲).

$$\text{LNRF} = A/E \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

در این رابطه،  $A$  مساحت سطح لغزش رخ داده در هر طبقه از نقشه‌ی عامل‌ها، و  $E$  میانگین مساحت لغزش رخ داده در کل طبقه‌های نقشه‌ی عامل‌ها است (رنجبر و معمارافتخاری ۲۰۱۲). با استفاده از معادله‌ی بالا وزن هر یک از طبقه‌های عوامل محاسبه شده است (جدول ۱).

جدول ۱- وزن مقدار ریسک زمین‌لغزش در مدل ال.ان.آر.اف.

وزن	ال.ان.آر.اف	ردیف
۰	$1 < \text{ال.ان.آر.اف}$	۱
۱	$1 \leq \text{ال.ان.آر.اف} \leq 2$	۲
۲	$2 < \text{ال.ان.آر.اف}$	۳

و  $n$  تعداد طبقه‌های خطر است (پورهاشمی ۲۰۱۴). ویژگی دقت نتایج پیش‌بینی شده<sup>۶</sup>

برای مقایسه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی شده از ویژگی دقت نتایج پیش‌بینی شده ( $P$ ) استفاده شده است. شاخص آماری دقت نتایج پیش‌بینی شده برای پهنه‌های خطر لغزش زیاد و خیلی زیاد کاربرد دارد (نیازی و همکاران ۲۰۱۰). شاخص آماری دقت نتایج پیش‌بینی شده از رابطه‌ی ۴ به دست می‌آید:

$$P = Ks/S \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

در این رابطه،  $P$  دقت مدل در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد،  $Ks$  مساحت سطح لغزشی افته در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد،  $S$  مساحت پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد می‌باشد. نسبت تراکمی<sup>۷</sup>

از شاخص نسبت تراکمی برای ارزیابی توانایی مدل در تشخیص طبقه‌ی خطر استفاده می‌شود. هر چه تفکیک بین طبقه‌های خطر بهتر باشد، مدل تواناتر است (مرزبانی و همکاران ۲۰۱۶). پس از

حوزه (کیلومتر مربع) است (احمدی و همکاران ۲۰۰۳). با جمع جبری وزن لایه‌های اطلاعاتی، احتمال رخداد زمین‌لغزش کلی به دست می‌آید و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر تهیه می‌شود. براین اساس وزن و سهم هر یک از ویژگی‌ها به دست می‌آید (پرادهان ۲۰۰۶). با این مدل می‌توان متغیرهای کیفی را کمی نمود، و با تغییر متغیر یعنی گرفتن لگاریتم طبیعی، وزن متغیرهای با وزن بسیار کم را نیز می‌توان محاسبه کرد (ایلانلو و ابراهیمی ۲۰۱۶). تحلیل نهایی استعداد ناپایداری برای هر واحد از منطقه، براساس مجموع اثر همه‌ی عوامل در آن واحد انجام می‌گیرد. سپس وزن‌های واقعی هر رده از لایه‌های اطلاعاتی و ارزش اطلاعاتی هر واحد، به واسطه‌ی جمع اطلاعاتی محاسبه می‌شود (ایلانلو و ابراهیمی ۲۰۱۶).

مدل گوپتا- جوشی (ال.ان.آر.اف)

مدل فاکتور خطر اسمی زمین‌لغزش (ال.ان.آر.اف)، برای استخراج عامل‌های بی‌بُعد و ارزیابی حساسیت، به‌وسیله‌ی گوپتا-جوشی (۱۹۹۰)

پس از محاسبه‌ی وزن هر عامل، با جمع کردن نقشه‌ی وزن‌های عامل‌های مختلف و طبقه‌بندی آن در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دست می‌آید.

ارزیابی و مقایسه‌ی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

در ارزیابی مدل‌های دلیو.آی.ان.اف و ال.ان.آر.اف برای پیش‌بینی خطر وقوع زمین‌لغزش‌های حوزه‌ی آبخیز خارستان اقلید، از سه شاخص زمین‌لغزش، ویژگی دقت نتایج پیش‌بینی شده، و نسبت تراکمی استفاده شد.

شاخص زمین‌لغزش<sup>۵</sup>

شاخص زمین‌لغزش درصد نسبت سطح لغزش در هر پهنه به مساحت آن پهنه، تقسیم بر نسبت مجموع لغزش به سطح کل پهنه‌ها است که به شکل رابطه‌ی ۳ تعریف شده است (ون وستن ۱۹۹۷).

$$Li = \left( \frac{Si}{Ai} \right) / \left( \sum \frac{Si}{Ai} \right) \times 100 \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

در این رابطه،  $Li$  شاخص وقوع لغزش در هر پهنه‌ی خطر (به درصد)،  $Si$  مساحت لغزش در هر پهنه‌ی خطر،  $Ai$  مساحت هر پهنه‌ی خطر،

5- landslide index (Li)

6- Percision of the Predicted Results

7- Dantišty raito (Dr)

یا QS، رابطه‌ی ۶ برای مقایسه‌ی عمل کرد مدل‌ها استفاده شد. مقدار QS، انحراف مقدار Dr برای هر یک از نقشه‌های داده‌شده از مقدار متوسط یک، و جمع مربعات این انحراف‌ها بعد از به‌کاربردن یک نوع وزن‌دهی را نشان می‌دهد. QS بیشتر نمایان‌گر جادشدگی بهتر رده‌های مختلف خطر است، به‌طوری‌که هر چه مقدار جمع کیفیت بیش‌تر باشد، آن مدل برای منطقه مناسب‌تر است (نیازی و همکاران ۲۰۱۰).

$$Q_S = \sum_{i=1}^n ((Dr - 1)^2 * S) \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

در این رابطه QS شاخص جمع کیفیت و S نسبت مساحت هر طبقه‌ی خطر به مساحت کل منطقه است.

### بحث و نتایج

پس از بررسی و تهیه‌ی نقشه‌ی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در حوزه‌ی آبخیز خارستان اقلید، این عوامل طبقه‌بندی شد، هر طبقه شماره‌گذاری شد (جدول ۲)، و سپس نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از دو مدل نام‌برده ایجاد شد.

انطباق نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مدل‌های مختلف با نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش‌های حوزه، اگر درصد گسیختگی در طبقه‌های با خطر زیاد بیشتر باشد و روند توزیع درصد گسیختگی، از طبقه‌های کم‌خطر به سمت طبقه‌ی با خطر زیاد افزایش یابد و روند آن صعودی باشد، بیان‌گر این است که مدل به‌کاربرده‌شده در پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ی مناسب است. اگر این روند نزولی یا تقریباً به‌شکل یکسان باشد، نشان‌دهنده‌ی کارایی ضعیف مدل است (مصفا‌ی و همکاران ۲۰۰۹). شاخص آماری نسبت تراکمی با Dr نشان داده می‌شود و از رابطه‌ی ۵ محاسبه می‌شود (جی ۱۹۹۱).

$$Dr = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{A_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{A_i}} \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

در این رابطه، Si مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر پهنه‌ی خطر، Ai مساحت پهنه‌ی خطر هدف در یک نقشه‌ی پهنه‌بندی،  $\sum S_i$  مجموع کل مساحت‌های زمین‌لغزش‌ها در حوزه‌ی آبخیز،  $\sum A_i$  مساحت کل حوزه‌ی آبخیز می‌باشد. پس از محاسبه‌ی مقدار Dr، با استفاده از شاخص جمع کیفیت<sup>۸</sup>

جدول ۲- طبقه‌های عوامل مختلف.

شماره‌ی طبقه	زمین شناسی	شیب (درصد)	جهت شیب	کاربری زمین	ارتفاع (متر)	فاصله از گسل (متر)	فاصله از جاده (متر)	فاصله از رودخانه (متر)	بارندگی (میلی‌متر)
۱	آسماری چهارم	۵-۸	شمال	مرتع	۲۱۰۰-۲۲۰۰	۰-۵۰۰	۰-۱۰۰	۰-۱۰۰	۸۴۰-۹۴۰
۲	بختباری	۸-۱۲	شمال شرق	سنگ	۲۲۰۰-۲۳۰۰	۱۰۰-۵۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۹۴۰-۱۰۴۰
۳	کشکان	۱۲-۲۰	شرق		۲۳۰۰-۲۴۰۰	۱۵۰۰-۱۰۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۱۰۴۰-۱۱۴۰
۴	لاوان-کشکان	۲۰-۳۰	جنوب شرق		۲۴۰۰-۲۵۰۰	۲۰۰۰-۱۵۰۰	۳۰۰-۴۰۰	۳۰۰-۴۰۰	
۵	پابده و گورپی		بی‌جهت		۲۵۰۰-۲۶۰۰	>۲۰۰۰	>۴۰۰		
۶	منطقه‌ی مپلکس								

سپس برای تعیین وزن هر طبقه براساس عامل‌های نه‌گانه، نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه با هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی روی هم‌انداخته شد. با استفاده از رابطه‌ی ۱ نیز مقدار ارزش اطلاعاتی طبقه‌های عامل‌های مختلف به‌دست آمد (جدول ۳).

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با کاربرد مدل ارزش اطلاعاتی (دبلیو.آی.ان.اف) ابتدا لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراه، کاربری زمین، و بارندگی سالانه طبقه‌بندی شد.



جدول ۳- امتیازهای به دست آمده برای عامل های مختلف با استفاده از مدل دبلیو.آی.ان.اف.

نشان	زمین شناسی	شیب (درصد)	جهت شیب	کاربری زمین	ارتفاع (متر)	فاصله از گسل (متر)	فاصله از جاده (متر)	فاصله از رودخانه (متری)	بارندگی (میلی متر)
۱	-۰/۹۸	-۰/۶۸	۰/۸۲	۰/۱۶	۰/۱۸	-۱/۰۳	-۰/۵۹	۱/۳۱	۰/۵۳
۲	۱/۹۵	-۰/۴۹	۰	-۰/۳۰	۰/۳۹	-۱/۹۴	-۰/۵۰	۰/۳۶	۰/۰۵
۳	۲/۲۹	۰/۷۲	۰/۱۲		-۰/۰۶	-۱/۴۰	-۰/۸۱	-۰/۳۸	۱/۰۱
۴	۱/۵۲	۰/۲۸	-۰/۳۹		۰/۸۰	۰/۹۹	-۱/۰۱	-۱/۰۴	
۵	-۱/۲۸		-۰/۵۴		۰/۳۲	-۰/۴۸	-۰/۱۰		
۶	۱/۴۹								

پهنه بندی خطر زمین لغزش با کاربرد مدل گوپتا- جوشی (ال. ان.آراف) در جدول ۴، هر کدام از عامل ها با نقشه ی پراکنش زمین لغزش قطع داده شد، و مقدار لغزش در هر طبقه به دست آمد، و با استفاده از رابطه ی ۲ وزن هر طبقه محاسبه و در جدول ۵ وزن دهی شد. بعد از تهیه ی عوامل وقوع زمین لغزش های منطقه و طبقه بندی لایه ها

جدول ۴- امتیازهای به دست آمده برای عامل های مختلف در مدل ال.ان.آراف در حوزه ی آبخیز خارستان.

شماره ی رده	زمین شناسی	شیب (درصد)	جهت شیب	کاربری زمین	ارتفاع (متر)	فاصله از گسل (متر)	فاصله از جاده (متر)	فاصله از رودخانه (متری)	بارندگی (میلی متر)
۱	۰/۸۹	۰/۲۳	۷/۸	۱۴/۷۷۱	۰/۵۵	۱/۱۵۳	۰/۰۷۷	۱/۹۹	۰/۷۳۲
۲	۰/۵۴۱	۰/۹۳	۰	۰/۷۶۹	۵/۳۶۱	۰/۴۶۱	۰/۵۶۴	۵/۱۹۵	۶/۸۷۶
۳	۵/۹۷۱	۱۰/۷۸	۶/۴۱۱		۱/۶۹	۱/۳۱۹	۵/۴۱۰	۱/۳۴	۷/۳۹
۴	۰/۴۷۷	۳/۰۳۸	۰/۵۴۱		۴/۸۶۶	۱/۹۶	۵/۸۲۲	۶/۴۵۸	
۵	۰/۲۲۸		۰/۲۳۷		۲/۵۲	۱۰/۲۲۹	۳/۰۶۵		
۶	۶/۸۸۷								

جدول ۵- وزن طبقه های عامل های مختلف در مدل ال.ان.آراف در حوزه ی آبخیز خارستان.

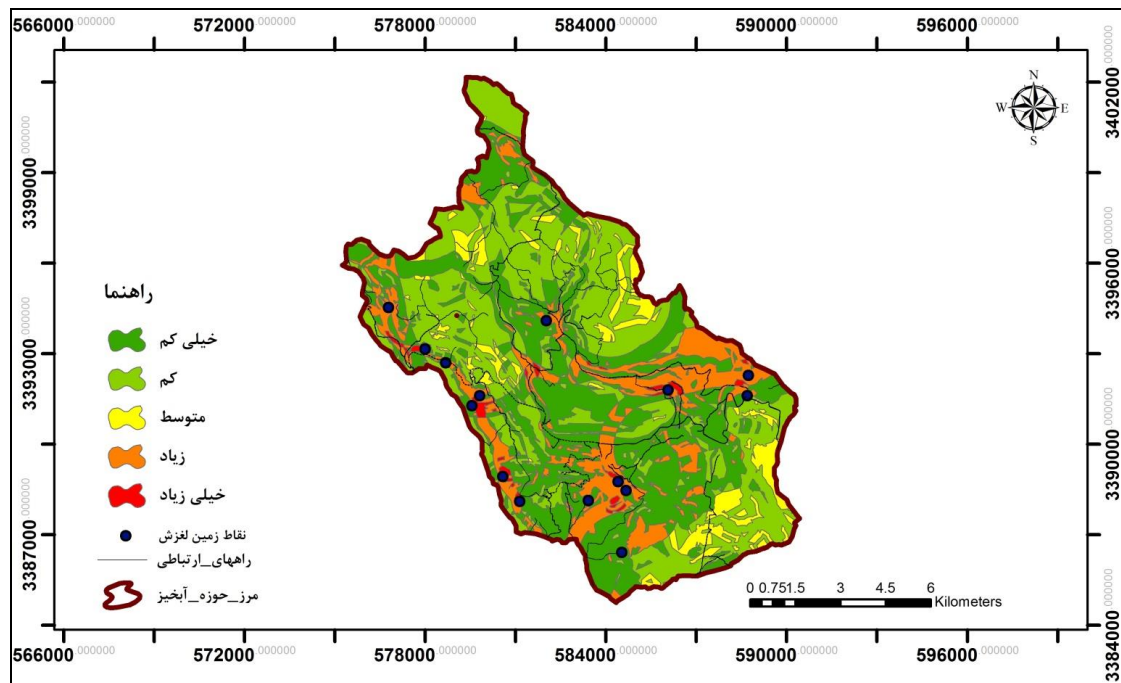
شماره ی طبقه	زمین شناسی	شیب (درصد)	جهت شیب	کاربری زمین	ارتفاع (متر)	فاصله از گسل (متر)	فاصله از جاده (متر)	فاصله از رودخانه (متری)	بارندگی (میلی متر)
۱	۰	۰	۲	۲	۰	۱	۰	۱	۰
۲	۰	۰	-	۰	۲	۰	۰	۲	۲
۳	۲	۲	۲		۱	۱	۲	۱	۲
۴	۰	۲	۰		۲	۱	۲	۲	
۵	۰		۰		۲	۲	۲		
۶	۲								

با استفاده از دو مدل دبلیو.آی.ان.اف و ال.ان.آراف شکل ۴ و ۵ در پنج طبقه ی خطر تهیه شد (جدول ۶).

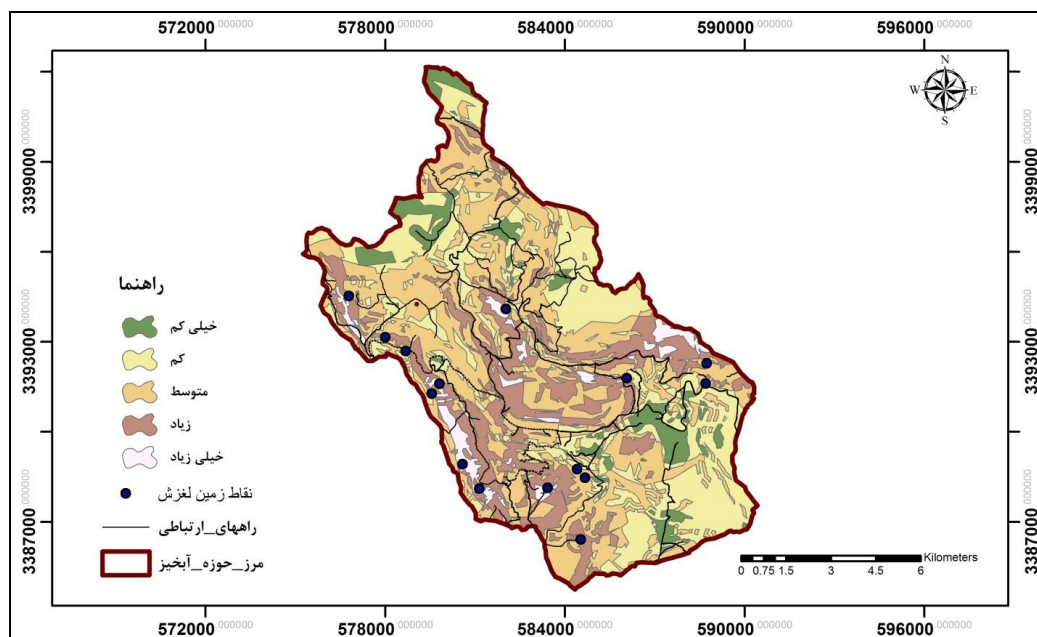
نقشه ی هر یک از عوامل براساس وزن های به دست آمده تهیه و با استفاده از سامانه ی اطلاعات جغرافیایی، روی هم اندازی و جمع کردن پیکسل های عوامل مختلف، نقشه ی پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه

جدول ۶- ویژگی‌های طبقه‌های مختلف نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل دلبیو.آی.ان.اف و ال.ان.آر.اف.

مدل	شماره‌ی رده‌ها	شرح توصیفی	مساحت پهنه (هکتار)	درصد از کل	مساحت زمین لغزش‌های موجود در هر پهنه (هکتار)
مدل ارزش اطلاعاتی	۱	خیلی کم	۴۶۴۷/۳۵	۳۷/۷۶	۴۱/۳۵
	۲	کم	۴۷۰۷/۴۱	۳۸/۲۴	۰/۴۱
	۳	متوسط	۸۹۶/۰۴	۷/۲۸	۰
	۴	زیاد	۱۹۱۷/۷۸	۱۵/۵۸	۴۷/۷۸
	۵	خیلی زیاد	۱۴۰/۴۷	۱/۱۴	۱۴/۴۷
مدل گوپتا-جوشی	۱	خیلی کم	۸۱۷/۷۵	۶/۶۴	۰
	۲	کم	۳۵۱۲/۵۹	۲۸/۵۲	۱/۸۷
	۳	متوسط	۵۰۶۷/۵۲	۴۱/۱۶	۱۳/۲۸
	۴	زیاد	۲۴۷۵/۸۳	۲۰/۱۱	۴۹/۴۶
	۵	خیلی زیاد	۴۳۵/۸۷	۳/۵۴	۳۹/۴۱



شکل ۴- پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل دلبیو.آی.ان.اف.



شکل ۵- پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ال.ان.آر.اف.

نتایج ارزیابی روش های ارزش اطلاعاتی و گوپتا-جوشی با استفاده از شاخص زمین لغزش تهیه شد (جدول ۷).

جدول ۷- شاخص های زمین لغزش (Li) مدل های دبلیو.آی.ان.اف و ال.ان.آر.اف در پهنه بندی خطر زمین لغزش.

مدل پهنه بندی خطر لغزش	طبقه های خطر	Si (هکتار)	Ai (هکتار)	تراکم لغزش در هر رده	$\sum \ln(Si/Ai)$	Li (%)
دبلیو.آی.ان.اف	خیلی کم	۴۱/۳۵	۴۶۴۷/۳۵	۰/۰۰۹	۰/۱۳۷	۶/۵۰
	کم	۰/۴۱	۴۷۰۷/۴۱	۰/۰۰۰		۰/۰۶
	متوسط	۰	۸۹۶/۴	۰/۰۰۰		۰/۰۰
ال.ان.آر.اف	زیاد	۴۷/۷۸	۱۹۷۱/۷۸	۰/۰۲۵	۰/۱۱۳۵	۱۸/۲۰
	خیلی زیاد	۱۴/۴۷	۱۴۰/۴۷	۰/۱۰۳		۷۵/۲۴
	خیلی کم	۰	۸۱۷/۷۵	۰/۰۰۰۰		۰
ال.ان.آر.اف	کم	۱/۸۷	۳۵۱۲/۵۹	۰/۰۰۰۵	۰/۱۱۳۵	۰/۴۷
	متوسط	۱۳/۲۸	۵۰۶۷/۵۲	۰/۰۰۲۶		۲/۳۱
	زیاد	۴۹/۴۶	۲۴۷۵/۸۲	۰/۰۲۰۰		۱۷/۵۹
	خیلی زیاد	۳۹/۴۱	۴۳۵/۸۷	۰/۰۹۰۴		۷۹/۶۳

بر اساس معادله ی شاخص آماری دقت نتایج پیش بینی شده برای دو روش ارزش اطلاعاتی و گوپتا-جوشی، دقت مدل برای دو پهنه ی خطر زیاد و خیلی زیاد در نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش در هر دو مدل به شرح جدول ۸ است.

جدول ۸- مقدار شاخص آماری دقت نتایج پیش بینی شده برای دو مدل ال.ان.آر.اف و دبلیو.آی.ان.اف.

ردیف	مدل	مساحت زمین لغزش های دو پهنه ی زیاد و خیلی زیاد (Ks)	مساحت دو پهنه ی زیاد و خیلی زیاد (S)	P=(Ks/S)
۱	ال.ان.آر.اف	۲۹۱۱/۷۰۴	۸۸۱۸/۷۱۳	۰/۰۳۰۵۲۲
۲	دبلیو.آی.ان.اف	۲۰۵۸/۲۵۸	۶۲۳۵/۸۴	۰/۰۳۰۵۴۸

جدول ۹- مقدار شاخص نسبت تراکمی در هر دو مدل ال.ان.آراف و دبلیو.آی.ان.اف.

مدل پیش‌بینی خطر زمین لغزش	طبقه‌ی خطر	Si	Ai	∑ Si	∑ Ai	نسبت تراکمی (Dr)
ارزش اطلاعاتی (دبلیو.آی.ان.اف)	خیلی کم	۴۱/۳۵	۴۶۴۷/۳۵			۱/۰۵
	کم	۰/۴۱	۴۷۰۷/۴۱			۰/۰۱
	متوسط	۰	۸۹۶/۰۴	۱۰۴	۱۲۳۰۹	۰
	زیاد	۴۷/۷۷	۱۹۱۷/۷۸			۲/۹۴
	خیلی زیاد	۱۴/۴۷	۱۴۰/۴۷			۱۲/۱۹
گوپتا-جوشی (ال.ان.آراف)	خیلی کم	۰	۸۱۷/۷۵			۰
	کم	۱/۸۷	۳۵۱۲/۵۹			۰/۰۶
	متوسط	۱۳/۲۸	۵۰۶۷/۵۲	۱۰۴	۱۲۳۰۹	۰/۳۱
	زیاد	۴۹/۴۶	۲۴۷۵/۸۳			۲/۳۷
	خیلی زیاد	۳۹/۴۱	۴۳۵/۸۷			۱۰/۷۰

مقدار شاخص نسبت تراکمی با استفاده از رابطه‌ی نسبت تراکمی در دو مدل ال.ان.آراف و دبلیو.آی.ان.اف در جدول ۹ و مقدار شاخص جمع کیفیت در این دو مدل در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۱۰- مقدار جمع کیفیت با استفاده از مدل‌های ال.ان.آراف و دبلیو.آی.ان.اف در طبقه‌های مختلف خطر.

مدل پیش‌بینی خطر زمین لغزش	طبقه‌ی خطر	Dr	Dr-1	(Dr-1) <sup>2</sup>	S=si/St	(Dr-1) <sup>2</sup> *S	Qs
ارزش اطلاعاتی (دبلیو.آی.ان.اف)	خیلی کم	۱/۰۵	۰/۰۵۳	۰/۰۰۳	۰/۳۸	۰/۰۰۱	
	کم	۰/۰۱	-۰/۹۹۰	۰/۹۸	۰/۳۸	۰/۳۷	
	متوسط	۰	-۱	۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۲/۴۷۰
	زیاد	۲/۹۵	۱/۹۵	۳/۸۰	۰/۱۶	۰/۶۰	
	خیلی زیاد	۱۲/۱۹	۱۱/۱۹	۱۲۵/۳۰	۰/۰۱	۱/۴۳	
گوپتا-جوشی (ال.ان.آراف)	خیلی کم	۰	-۱	۱	۰/۳۷	۰/۳۷	
	کم	۰/۰۶	-۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۲۸	۰/۲۵	
	متوسط	۰/۳۱	-۰/۶۹	۰/۴۷	۰/۴۱	۰/۱۹	۴/۵۲۱
	زیاد	۲/۳۶	۱/۳۶	۱/۸۶	۰/۲۰	۰/۳۷	
	خیلی زیاد	۱۰/۷	۹/۷	۹۴/۰۷	۰/۰۴	۳/۳۳	

نتایج ارزیابی مدل‌ها با استفاده از شاخص زمین لغزش، دقت نتایج پیش‌بینی شده، نسبت تراکمی و جمع کیفیت به شکل جمع‌بندی شده در جدول ۱۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱۱- نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل‌های دبلیو.آی.ان.اف و ال.ان.آراف.

مدل پیش‌بینی خطر زمین لغزش	طبقه‌ی خطر	(Li)	P	Dr	Qs
ارزش اطلاعاتی (دبلیو.آی.ان.اف)	خیلی کم	۶/۵۰		۱/۰۵	
	کم	۰/۰۶		۰/۰۱	
	متوسط	۰/۰۰	۰/۰۳۰۵۲۲	۰/۰۰	۲/۴۷۰
	زیاد	۱۸/۲۰		۲/۹۵	
	خیلی زیاد	۷۵/۲۴		۱۲/۱۹	
گوپتا-جوشی (ال.ان.آراف)	خیلی کم	۰/۰۰		۰/۰۰	
	کم	۰/۴۷		۰/۰۶	
	متوسط	۲/۳۱	۰/۰۳۰۵۴۸	۰/۳۱	۴/۵۲۱
	زیاد	۱۷/۵۹		۲/۳۶	
	خیلی زیاد	۷۹/۶۳		۱۰/۷۰	

## نتیجه گیری

است. شادفر و همکاران (۲۰۱۱) سه مدل ال.ان.آراف، تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی را باهدف ارزیابی خطر زمین لغزش در حوزه‌ی جلیسان تنکابن بررسی کردند و نتیجه گرفتند که در مدل تراکم سطح حدود ۷۹٪، در مدل ال.ان.آراف حدود ۶۳٪، و در مدل ارزش اطلاعاتی حدود ۶۶٪ از حوزه در محدوده‌ی استعداد خطر لغزش زیاد قرار می‌گیرند. سازمان‌ها و نهادهای مختلف همواره نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در شناسایی نواحی مستعد برای راه‌سازی، مسیر انتقال نیرو، و برنامه‌ریزی‌های مرتبط با مدیریت منابع طبیعی مانند حفاظت خاک، درخت‌کاری و جلوگیری از تخریب جنگل‌ها و مرتع‌ها و عملیات آبخیزداری به کار برده‌اند. بنابراین کارشناسان و برنامه‌ریزان همواره به این پدیده توجه کرده‌اند. از این رو پیشنهاد می‌شود به‌منظور افزایش دقت و صحت اطلاعات استخراج‌شده از روش‌های ارزیابی خطر زمین لغزش، هر منطقه با کاربرد چندین مدل بررسی شود و مهم‌ترین تأثیرگذارترین عامل‌های وقوع زمین لغزش شناسایی شود تا سازمان‌ها و نهادهای مختلف بتوانند از این نتایج برای جلوگیری از گسترش زمین لغزش و رساندن زیان‌های آن به کم‌ترین اندازه استفاده کنند.

براساس نتایج محاسبه‌های انجام‌گرفته با استفاده از چهار شاخص آماری برای ارزیابی و مقایسه‌ی مدل‌های ارزیابی خطر زمین لغزش در حوزه‌ی آبخیز خارستان استنباط می‌شود که روند هر دو مدل افزایشی است، و مقدار شاخص خطر زمین لغزش در مدل ال.ان.آراف در رده‌ی خطر زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۱۷/۵۹ و ۷۹/۶۳، و در مدل دلبلیو.آی.ان.اف به ترتیب ۱۸/۲۰ و ۷۵/۲۴ است. روند صعودی شاخص نسبت تراکمی نیز نمایان‌گر تفکیک بهتر طبقه‌های خطر در مدل ال.ان.آراف است. میزان جمع کیفیت نیز در مدل ال.ان.آراف ۴/۵ است، که در مقایسه با مقدار جمع کیفیت در مدل دلبلیو.آی.ان.اف با اندازه‌ی ۲/۴ تقریباً دو برابر بوده‌است، و این بیان‌گر کارایی بهتر مدل ال.ان.آراف در ارزیابی خطر زمین لغزش در این منطقه است. اکبری و مشایخان (۲۰۱۲) دو مدل ال.ان.آراف و ترکیب خطی ترکیبی وزن (دلبلیو.ال.سی) را در تهیه‌ی نقشه‌ی خطر زمین لغزش مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که با استفاده از مدل ال.ان.آراف در ۵۰٪ از حوزه‌ی آبخیز، و در مدل دلبلیو.ال.سی در ۷۱٪ از آن خطر زمین لغزش زیاد

## منابع

- Ahmadi H, Esmaili A, Feiznia M, Shariat Jafari M. 2003. Landslid hazard zonation by multivariate regression and AHP method in Garmichai Basin. Iranian Natural Resources Journal. 56(4):323–336. (In Persian).
- Akbari M, Mashayekhan A. 2012. The comparison of conceptual model LNRF and WLC in zoning landslide risk (Case study: AkhlandBasin, Chenaran, Khorasan, Iran). Watershed Engineering and Sciences Journal. 6(18):1–11. (In Persian).
- Chandel V, Karbara K, Chauhan Y. 2011. RS and GIS landslide hazard zonation of mountainous terrains, A study from middle himalayan kullu district, himachal aradesh, india. International journal of Geometrics and Geosciences. 2(1):121–132.
- Fanyu liu Z. 2007. Study on landslide susceibility mapping based GIS and with bivariate statistics a Case study in Longnon Area Highway. 212 Science paper online.
- Farhadinejad T, Ghayomian J. 2003. Landslide hazard zonation in the region of the Nojyan in the statistical model, Proceedings of the Sixth International Conference on Civil Engineering in Isfahan. (In Persian).
- Feiznia S, Kalarestaghi A, Ahmadi H. 2004. Investigation of affective factor in landslide occurrence and landslide hazard zonation (Case study: Tajan watershed). Iranian Natural Resources Journal. 57(1):3–20. (In Persian).
- Gee MD. 1992. Classification of landslides hazard zonation methods and a test of predictive capability. In Bell Davi H.(eds.). Proceedings 6th International Symposium on Landslide. 48–56 pp.
- Ghahramani N, Khashei A, Dakhili A. 2012. AHP, LNRF and FAHP hierarchical analysis methods for landslide risk alignment (Case study: Alang Darre Watershed), Remote Sensing and GIS Iran. 4(1): 65–80. (In Persian).
- Gupta RP, Joshi BC. 1990. Landslide hazard zoning using the GIS approach-A case study from the Ramganga catchment. Himalayas Engineering Geology. 28(1): 119–131.
- Haghshenas A. 1995. The zoning of landslide hazard and its relation with sediment production in Taleghan Area, dissertation of the master's degree in geology, engineering. University of Tarbiat Modarres, Faculty of Engineering. 183 pp. (In Persian).
- Ilanlou M, Ebrahimi L. 2016. The zoning of the risk of occurrence of mass movements using information value method, surface density, LNRF in Zohreh Watershed, Knowledge of Risks. 3(2): 141–153. (In Persian).
- Kornejady A, Heidary K. 2014. Performance assessment of the LNRF and AHP -Area Density models in landslide susceptibility zonation. Journal of Life Science and Biomedicine. 4(3): 169–176.
- Landslide of Iran. 2011. Scientific journal of the Organization of Forests of Pastures and Watershed of the Country. 48 pp. (In Persian).

- Marzbani M, Shirzadi H, Fathi M. 2016. Landslide hazard zoning using information value model in geographic information system (GIS) case study (Dareh Shahr watershed-Simakan). The First International Conference on Natural Hazards and Environmental Crises. Strategies and Challenges. (In Persian).
- Mohamadi Torkashvand A, Irani A, Sorur J. 2014. Landslide map by landslide numerical risk factor (LNRF) model and geophyic information system. The Egyptian journal of Remonte Sensing and Space Sciences. 17(2): 159–170.
- Moradi H, Mohammadi M, Pour Ghasemi H. 2012. Mass movements with emphasis on quantitative models of landslide occurrence analysis, Samt Publishing. 224 pp. (In Persian).
- Mortazavi Chamchali M, Haghazhar Sh. 2009. Evaluation of the risk of skidding movements and engineering geology of the Dolatabad Village in the North East of Roodbar. Quarterly Journal of Land and Resources. 2(1): 87–103. (In Persian).
- Mosafae J, Onegh M, Shariat Jaffar IM. 2009. Comparison of the efficiency of the experimental and statistical method of landslide ranger zoning (Case study of Alamoot Roud Watershed), Journal of Water and Soil Conservation Studies. 6(4): 43–61. (In Persian).
- Naderi F, Naseri B, karimi H, Hbibi Bibalani Gh. 2010. Efficiency evaluation of different land slide susceptibility mapping methods (Case study: Zangvan watershed, Ilam Province). First International Conference of Soil and Roots Engineering Relationship (LANDCON1005), Ardebil Province, Iran.
- Naderi F, Karimi H. 2011. Evaluation of the efficiency of two information value methods and LNRF in landslide risk density distribution in the Iyam Talkhab Watershed, Watershed Management Researches. 24(3):95–103. (In Persian).
- Niyazi Y, Ekhtesasi M, Talebi A, Arkhi S, Mokhtari M. 2010. Evaluating the effectiveness of bivariate statistical method in predicting landslide hazard (Case study: Iylam Watershed), Watershed Science and Engineering Iran. 4(10): 9–20. (In Persian).
- Pour Hashemi S, Amir Ahmadi A, Akbari A. 2014. Selection of a suitable method for bivariate statistical methods for zoning of landslide hazard in the GIS (Case study: Baghiee Watershed), Geographical Studies of Arid Zones. 4(15):71–89. (In Persian).
- Pournader M. 1387. Zoning the mass movements and studying the factors affecting its occurrence (Case study: Ilam Watershed), Thesis Master's degree in Natural Resources Engineering and Watershed Management, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran, Faculty of Agriculture and Natural Resources. 131 pp. (In Persian).
- Pradhan B, 2006. Estimation of stress and its use in evaluation of landslide proneregions using remote sensing data. T Advances in Space Research. 37(4): 698–709.
- Ranjbar M, Memar Eftekhari M. 2012. The zoning of the slipping phenomenon using the LNRF method on the road of Haraz (from Imamzadeh Hashem to Larijan), Journal of the Iranian Geographic Society. 10(33):107–128. (In Persian).
- Saber Chenari K, Salmani H, Mohammadi M. 2015. Evaluation of landslide risk using LNRF, information values, Echo-Hydrology. 2(1): 105–116. (In Persian).
- Sefidgari R. 2002. Evaluation of landslide hazard zonation methods in 1/50000 scale (Case study: Damavand Watershed). M.Sc.Thesis, Tehran University. 1159 pp. (In Persian).
- Shadfar S, Yamani M, Ghodosi J, Ghaionian J. 2007. Landslide hazard zonation by AHP method in Tonekabon Basin. Research and Development Journal. 20(2):53–65. (In Persian).
- Shadfar M, Yamani M, Namaki M. 2011. Zoning landslide hazard by information value method (IVM), density area (DA) and Landslide Numerical Risk factor (LNRF) model in Chalkrood. Watershed Management and Engineering. 3(1):40–47. (In Persian).
- Shahbazi M, Mohammadifar A. 2012. Investigating the possibility of increasing the accuracy of landslide zonation through schematic units of work, Proceedings of the 8th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering. Lorestan University. (In Persian).
- Solimanpour M. 2013. Principles and principles of mass movements. Leaflet of the Master's Degree in Natural Resources Engineering-Watershed Management of the Islamic Azad University, Arsanjan Branch, Faculty of Agriculture and Natural Resources. 261pp. (In Persian).
- Sori S. 2013. Landslide hazard zonation using a hierarchical analysis process method (Case study: Kesh area), Journal of Applied Geology. 9(2):101–110. (In Persian).
- Van Westen CJ. 2000. The modelling of landslide hazards using GIS, Surveys in Geophysics. 21(2–3): 241–255. Watershed Management Department of Jihad –e-Agriculture Organization 2009 Detailed Studies Kharestan Eghlid Basin Report. Final Report. 753 pp. (In Persian).