

## ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی خطر زمین لغزش در زیرحوضه سرخاب از واحد هیدرولوژیکی سد دز

طاہر فرہادی نژاد<sup>\*</sup>، محسن شریعت جعفری<sup>۲</sup>، سلمان سوری<sup>۳</sup>، ایرج ویسکرمی<sup>۱</sup>

پذیرش مقاله: ۸۷/۱۱/۲

دریافت مقاله: ۸۵/۱۰/۱۶

### چکیده

زیرحوضه سرخاب از واحد هیدرولوژیکی سد دز با توجه به حساسیت سازندهای زمین‌شناسی، توپوگرافی و شیب از مناطق مستعد لغزش زمین است. به منظور ارائه مدل مناسب ارزیابی و پیش‌بینی خطر زمین لغزش و سازگار با شرایط توپوگرافی و آب و هوایی منطقه کوهستانی سرخاب، بررسی‌های متعددی انجام شد. برای این منظور از بین مدل‌های موجود مدل‌های مورا و وارسون (Mora & varson) اصلاح شده، نیلسن (Nilsen) اصلاح شده، آماری دو متغیره ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح و همچنین مدل گوپتا - جوشی (Gupta & joshi) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که پارامترهای لیتولوژی، شیب، فاصله از گسل و کاربری اراضی از عوامل اصلی کنترل کننده وقوع زمین لغزش در این زیرحوضه‌اند، و بیش از ۴۱ درصد از سطح منطقه دارای استعداد بالای وقوع خطر زمین لغزش است. از بین مدل‌های بیان شده، مدل آماری دو متغیره ارزش اطلاعاتی نتایج قابل قبول‌تری در پیش‌بینی وقوع زمین لغزش داشته است.

**کلید واژه‌ها:** زمین لغزش، پهنه‌بندی، پیش‌بینی، ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، مورا - وارسون، نیلسن.

۱- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان Farhadinejad @ yahoo.com

۲- عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد.

\* مسئول مکاتبات

## ۱. مقدمه

زمین لغزش از جمله بلاای طبیعی است که همه ساله زیان‌های جانی و مالی هنگفتی را در کشورهای مختلف به بار می‌آورد. این پدیده طبیعی می‌تواند باعث تخریب و یا خسارت به انواع سازه‌های مهندسی و فعالیت‌های بشری از جمله مناطق مسکونی، شریان‌های حیاتی مانند راه‌ها، لوله‌های انتقال گاز، آب، خطوط انتقال نیرو، جنگل‌ها و مراتع، زمین‌های کشاورزی و معادن شود. افزون بر آن اثرات اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از وقوع این پدیده، مانند اثرهای سوء اجتماعی و افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها را نیز نباید نادیده گرفت.

حدود ۴۳ خطر طبیعی در سطح زمین، شناسایی شده است که به‌طور انفرادی یا در ترکیب با یکدیگر جان و مال افراد و برنامه‌های مدیریتی، اقتصادی و اجتماعی کشورها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. حرکت‌های توده‌ای زمین یکی از خطرات زمین‌شناختی است که تقریباً در دامنه‌های با شیب تند اتفاق می‌افتد، ولی از نظر ابعاد هندسی، فراوانی و شدت وقوع تفاوت‌های منطقه‌ای محسوس وجود دارد (Ownegh, 2002). ارزیابی ناپایداری‌های دامنه‌ای مانند بسیاری از موضوعات زمین‌شناسی محیطی (Geoenvironment) به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری دامنه‌ها یکی از پیچیده‌ترین مسائل است. ناکامل بودن و مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با پارامترهای زمین‌شناختی، هیدرولوژیکی، تکتونیکی، پوشش گیاهی، بارندگی، فرسایش، نوسانات درجه حرارت، تأثیر یخبندان و ... سبب بروز عدم قطعیت در ایجاد ناپایداری دامنه‌ای می‌شود. لذا لزوم استفاده از روش‌های دقیق و مناسب در بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای، منطقی است (Fatemi Aghda et al, 2006).

تا کنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج از کشور در زمینه ارزیابی خطر زمین‌لغزش انجام گرفته است که از جمله می‌توان به استفاده از روش‌های آماری دو متغیره و چند متغیره (Saro Lee, 2006)، شریعت جعفری، (۱۳۸۷) افجه نصرآبادی و همکاران، (۱۳۸۷)، و یا ترکیبی از روش‌های آماری فوق با

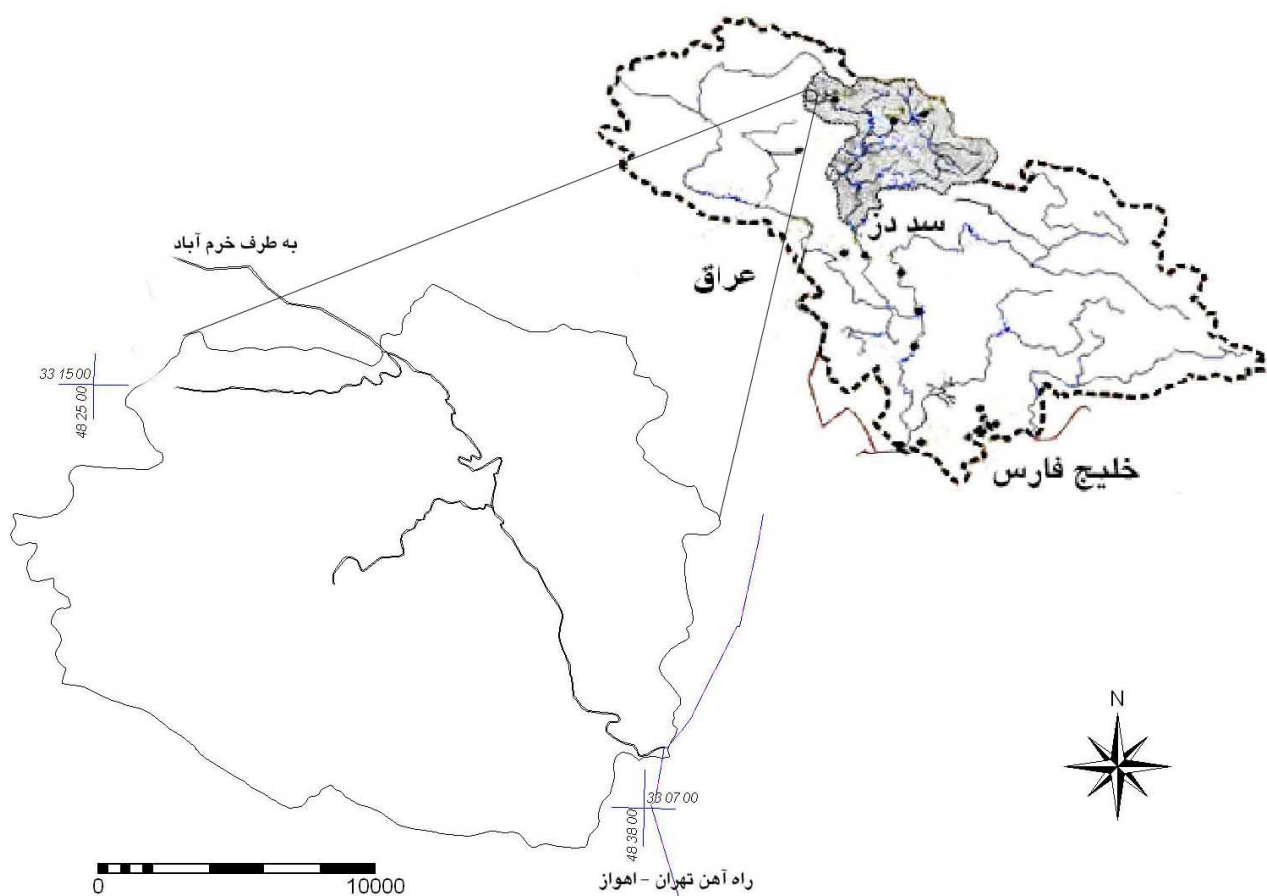
روش‌های مورا و وارسون، نیلسن، اصلاح شده (جلالی، ۱۳۸۱) وزن متغیرها، ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح (یمانی، ۱۳۸۹)، مورا و وارسون و نیلسن اصلاح شده (فرهادی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰) و همچنین استفاده از روش‌های آماری به همراه دیگر مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۲، مصفایی و همکاران، ۱۳۸۸ و Yalcin, 2008) اشاره نمود. به‌طورکلی از سابقه تحقیق می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد، در صورتی که عوامل مؤثر در هر منطقه با دقت تعیین گردند، در میان روش‌های تجربی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مدل‌های مناسبی وجود دارند.

استان لرستان به دلیل خصوصیات زمین‌شناختی نظیر لیتولوژی، تکتونیک، لرزه‌خیزی و شرایط خاص آب و هوایی از جمله استان‌های دارای استعداد لغزش است. با قرارگرفتن بر روی کمربند زلزله‌خیزی آلپ - هیمالیا، عبور گسل بزرگ زاگرس، تناوب لایه‌های سخت سنگ آهکی و لایه‌های سست مارنی شیلی در یال تاقدیس‌های بزرگ در بیشتر نقاط این استان، شرایط برای ناپایداری بخش‌های بزرگی از دامنه‌های طبیعی فراهم است. همچنین شرایط توپوگرافی و زمین‌شناختی منطقه بررسی شده به گونه‌ای است که بهترین وضعیت را برای لغزش قطعات و توده‌های بزرگ خاک و سنگ در مقیاس کوچک تا بسیار بزرگ مهیا کرده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

## ۲-۱. موقعیت جغرافیایی

زیرحوضه سرخاب یکی از زیرحوضه‌های آبریز سد دز واقع در ۲۰ کیلومتری جنوب شرق شهرخرم‌آباد در جنوب غرب ایران (شکل ۱) و دارای مساحتی حدود ۳۴۴ کیلومترمربع است. حداکثر و حداقل ارتفاع از سطح دریای آزاد به ترتیب ۳۰۱۲ متر در ارتفاعات هشتادپهلوی و ۷۷۰ متر در خروجی حوضه است. میانگین بارش سالانه ۷۱۰ میلی‌متر و معدل درجه حرارت سالانه ۱۱/۷ درجه سانتی‌گراد است و با توجه به روش آمبرژه، اقلیم منطقه از نوع نیمه مرطوب سرد است.



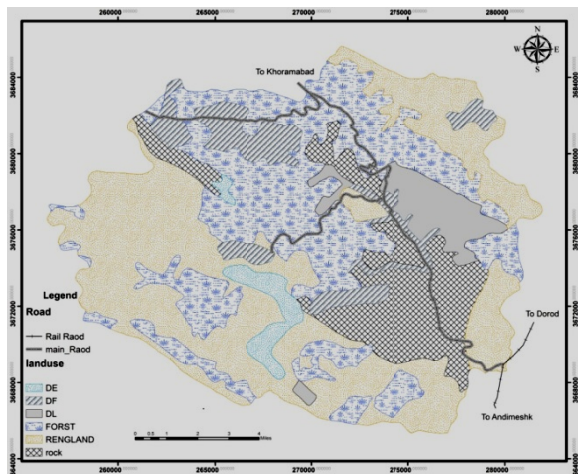
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه سرخاب

مارن زیتونی امیران پوشیده می‌گردد. سازند تله‌زنگ با جنس سنگ آهک‌های متوسط لایه تا توده‌ای با ضخامت متغیر در جنوب حوضه روی سازند امیران قرار دارد. سازند سنگ آهکی و دولومیتی آسماری که ارتفاعات حوضه را می‌پوشاند روی کشکان قرار می‌گیرد و به وسیله سازند مارنی گچی و ماسه سنگی گچساران پوشیده می‌شود. در نهایت رسوبات کنگلومرایی بختیاری با مساحت بسیار کمی که در حوضه دارند بر روی رسوبات کهن‌تر قرار می‌گیرند و رسوبات آبرفتی عهد حاضر به صورت ناپیوستگی در میسر آبراهه‌ها و رودخانه‌ها برجای گذاشته شده‌اند (شکل ۲). در جدول ۱ مساحت واحدهای زمین‌شناختی و مساحت درصد لغزش در هرواحد محاسبه شده است.

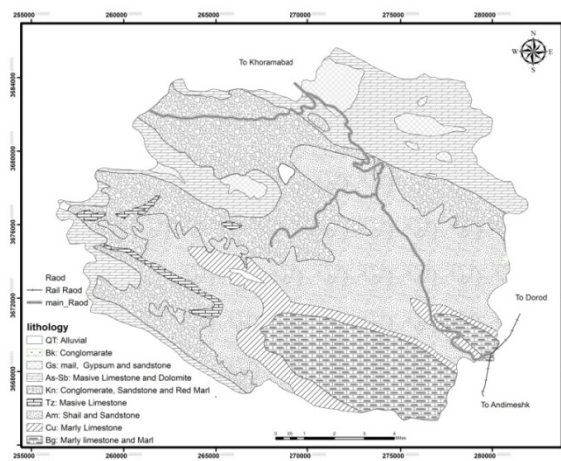
## ۲-۲. زمین‌شناسی - لیتولوژی

منطقه مورد مطالعه بخشی از زون زاگرس چین‌خورده است. این زون دارای ساختمان چین‌خورده ساده و ملایم و شامل مجموعه‌ای از رشته تاقدیس‌ها و ناودیس‌های نزدیک به هم، فشرده می‌باشد. امتداد غالب ساختارهای منطقه شمال غرب، جنوب شرق است.

قدیمی‌ترین واحد آن از سنگ‌های آهک بنگستان تشکیل شده است که ترکیبی از سنگ آهک‌های خاکستری تا تیره با لایه‌بندی خوب و تناوب سنگ آهک‌های رسی و شیلی می‌باشد. سازند گورپی با جنس آهک مارنی و مارن تیره تا کرم رنگ روی سنگ آهک‌های بنگستان قرار دارد و خود به وسیله سازند ماسه سنگی، کنگلومرایی، سنگ‌های سیلتی و



شکل ۳. واحدهای کاربری اراضی حوضه



شکل ۲. واحدهای زمین شناسی - لیتولوژی حوضه

در این نقشه:

- DE: اراضی زراعی آبی و عمدتاً کشت آبی گندم، جو و نخود
- DF: اراضی دیم، کشت دیم گندم، جو و نخود
- DL: اراضی تخریبی زراعی و عمدتاً زیر اشکوب جنگل
- Forst: اراضی جنگلی بلوط- بنه و بلوط.
- Rang: اراضی مرتعی از گراس‌های یک ساله و چندساله.
- Rock: اراضی صخره‌ای شامل رخنمون‌های سنگی بدون پوشش گیاهی.

جدول ۲. طبقات کاربری اراضی و فراوانی زمین لغزش در هر واحد

طبقات نقشه عامل	مساحت (m <sup>2</sup> )	فراوانی زمین لغزش (m <sup>2</sup> )
DE	۸۶۷۴۲۰۱	۸۳۲۲۱۴
DF	۲۷۰۲۳۴۲۶	۲۸۶۸۴۸
DL	۱۷۸۸۷۶۱۴	۴۶۱۶۷۸
FORST	۱۰۸۶۹۲۹۲۱	۱۱۵۳۲۱۵۲
RANGLAND	۱۳۵۷۷۶۷۵۰	۷۴۲۰۴۵۶
ROCK	۴۶۸۲۶۶۸۶	۱۴۷۶۲۴۹

۲-۴. شیب حوضه

با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ رقومی شده (Digit) در محیط نرم‌افزار Ilwis از طریق میان‌یابی (Interpolation) خطوط توپوگرافی مدل رقومی ارتفاع زمین

۲-۳. کاربری اراضی حوضه

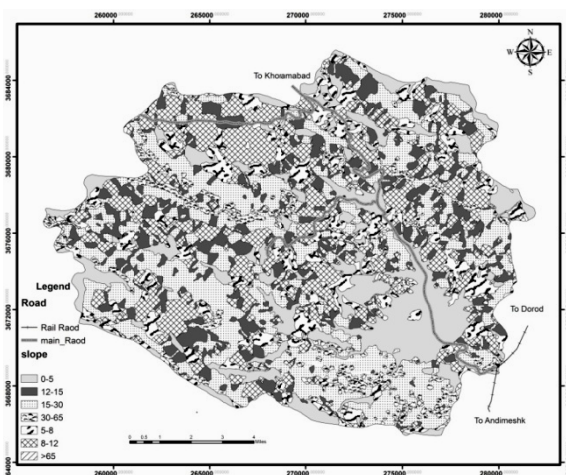
کاربری اراضی حوضه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TM و تفسیر تصاویر NDVI استخراج شده و با عملیات میدانی تکمیل شده است (شکل ۳) و نتایج حاصل از تلفیق نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها با نقشه کاربری اراضی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱. واحدهای زمین شناسی و فراوانی زمین لغزش در

هر واحد

طبقات نقشه عامل	مساحت طبقه (m <sup>2</sup> )	مساحت زمین لغزش در طبقه (m <sup>2</sup> )
Qt	۱۳۲۹۲۰۳	۳۲۸۰۵
Bk	۱۲۰۸۰۰	۰
Gs	۱۲۵۹۰۴۲۹	۱۲۸۱۰۱۶
As	۶۸۲۵۵۳۵۸	۸۰۲۶۹۵۹
Kn	۹۷۵۱۷۸۲۶	۸۶۷۲۲۶۸
Tz	۴۵۳۶۸۱۱۰	۱۵۷۲۲۶
Am	۹۸۰۰۱۰۲۷	۱۹۲۶۷۲۶
Cu	۲۲۲۸۳۶۵۱	۶۲۰۱۰
Bg	۴۰۲۴۶۴۹۳	۱۱۰۲۱۸۶

دامنه‌ها، بارندگی سالیانه (جدول ۶) و شدت بارندگی (جدول ۷) نیز تهیه شده است.



شکل ۴. نقشه شیب حوضه سرخاب.

جدول ۵. طبقات اختلاف ارتفاع در هکتار و فراوانی لغزش در هر واحد

طبقات اختلاف ارتفاع (m)	مساحت طبقه (m <sup>2</sup> )	مساحت زمین لغزش در هر طبقه (m <sup>2</sup> )
۰-۵	۱۵۸۸۲۸۱۹۸	۸۶۱۳۵۹۳
۵-۱۰	۱۱۶۰۰۳۰۷۲	۶۰۲۴۹۰۴
۱۰-۲۰	۶۱۲۸۳۱۴۳	۵۴۵۳۶۳۰
۲۰-۵۰	۸۲۹۳۵۷۵	۱۱۱۹۶۹۷
۵۰-۱۰۰	۴۳۵۲۲۴	۴۹۳۷۴
>۱۰۰	۳۷۶۸۷	۰

جدول ۶. طبقات شکل دامنه و فراوانی لغزش در هر واحد

طبقات نقشه	مساحت طبقه (m <sup>2</sup> )	مساحت زمین لغزش در هر طبقه (m <sup>2</sup> )
عامل		
Concave Slope	۶۰۰۶۳۳۸۰	۴۱۹۸۰۵۰
Convex Slope	۵۹۹۶۲۴۷۶۰۹	۴۰۲۹۱۱۶
Straight Slope	۲۲۴۸۵۵۷۴۲	۱۳۰۳۴۰۳۲

جدول ۷. طبقات بارندگی و فراوانی لغزش در هر واحد

طبقات نقشه	مساحت طبقه (m <sup>2</sup> )	مساحت زمین لغزش در هر طبقه (m <sup>2</sup> )
عامل		
کم	۱۱۱۰۰۳۲۰۰	۱۷۷۱۴۹۹
متوسط	۱۳۱۳۷۱۶۰۰	۸۲۴۰۱۹۵
زیاد	۱۰۲۵۰۶۸۰۰	۱۱۲۴۹۵۰۴

ساخته شده است. نقشه‌های گرادیان در جهت‌های x و y برای مدل رقومی ارتفاع در محیط Ilwis ساخته می‌شود و با استفاده از فیلترهای خطی و روابط تانژانت، نقشه شیب تهیه می‌گردد. حوضه سرخاب دارای توپوگرافی مرتفع و شیب متنوع است به طوری که فقط ۲۱٪ حوضه شیبی زیر ۱۵ درجه دارد و حدود ۴۰٪ حوضه شیب بالای ۳۵ درجه دارد (جدول ۳ و شکل ۴).  
جدول ۳. طبقات شیب و فراوانی زمین لغزش در هر واحد.

طبقات شیب (درجه)	مساحت طبقه (m <sup>2</sup> )	فراوانی زمین لغزش در هر طبقه (m <sup>2</sup> )
۰-۵	۴۳۵۲۳۳۹۱	۲۰۳۴۸۳۸
۵-۱۰	۵۰۸۳۷۷۸۵	۳۱۷۸۳۹۴
۱۰-۱۵	۷۳۰۹۳۴۷۲	۳۱۴۸۳۳۲
۱۵-۲۰	۶۸۲۳۰۳۶۴	۳۲۴۵۴۲۳
۲۰-۲۵	۴۴۵۷۱۵۳۴	۲۶۱۹۴۱۲
۲۵-۳۰	۲۷۲۴۶۸۸۵	۲۳۷۴۸۵۸
۳۰-۳۵	۱۸۴۷۶۵۵۷	۲۰۹۳۷۴۲
۳۵-۴۰	۱۰۶۴۹۷۹۹	۱۵۱۹۳۲۴
۴۰-۹۰	۸۲۵۱۹۰۹	۱۰۴۶۸۷۱

جدول ۴. طبقات فاصله از گسل‌های اصلی و فراوانی لغزش در هر واحد

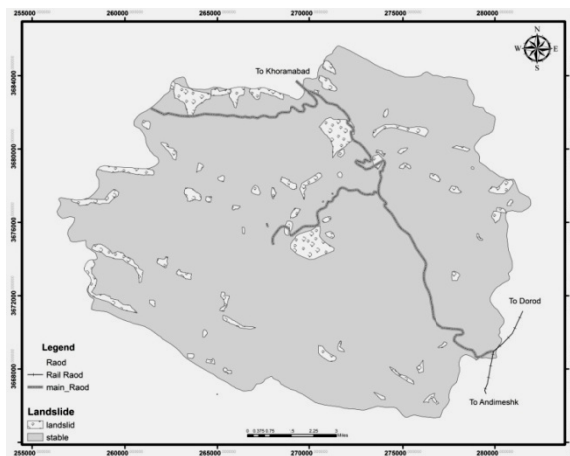
طبقات نقشه	مساحت طبقه (m <sup>2</sup> )	مساحت زمین لغزش در هر طبقه (m <sup>2</sup> )
عامل		
۰-۲ Km	۱۴۸۲۱۸۸۰۰	۱۳۳۵۱۸۶۰
۲-۴ Km	۶۱۱۵۶۰۰۰	۳۳۹۰۵۷۴
۴-۶ Km	۴۵۴۴۶۰۰۰	۳۲۶۶۹۵۳
۶-۸ Km	۳۵۰۸۹۲۰۰	۸۲۴۱۳
>۸ Km	۵۴۹۷۱۶۰۰	۱۱۶۹۳۶۸

۲-۴. دیگر لایه‌های مورد نیاز جهت اجرای مدل‌های پیش‌بینی خطر زمین لغزش

علاوه بر لایه‌های اطلاعات فوق‌الذکر، نقشه‌های فاصله از گسل‌های اصلی حوضه (جدول ۴)، نقشه اختلاف ارتفاع در هکتار (جدول ۵)، نقشه مناطق هم شتاب لرزه‌ای، شکل

۲-۵. پراکنش لغزش‌ها (Inventory landslide map):

با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای TM و کار میدانی در منطقه، نقشه پراکندگی زمین لغزش‌های فعال شامل سنگ لغزش‌ها، سقوط سنگ و خاک، سیلان‌های واریزه‌ای و لغزش‌های خاکی و چرخشی و همچنین پهنه‌های لغزشی قدیمی ارائه شده است (شکل ۵). در نقشه پراکنش زمین لغزش‌های فعال، سقوط سنگ محدود به سازند آسماری در پرتگاه‌ها، سیلان واریزه‌ها عمدتاً در دامنه ارتفاعات کوه چلن در جنوب حوضه متشکل از آهک توده‌ای بنگستان می‌باشد. لغزش‌های خاکی و پهنه‌های لغزشی قدیمی عمدتاً در محدوده گسترش سازند کشکان و گچساران رخ داده‌اند.



شکل ۵. نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه سرخاب

۳. پیش‌بینی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه با

مدل‌های آماری و تجربی

با استفاده از داده‌های موجود از مدل‌های آماری ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح، و از مدل‌های تجربی مدل مورا- وارسون اصلاح شده (فرزامجو و همکاران، ۱۳۷۸ و جلالی، ۱۳۸۰)، نیلسن اصلاح شده (حافظی مقدس ۱۳۷۲) و روش گوپتا - جوشی (Gupta & joshi 1990) در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ اجرا و مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۳-۱. مدل‌های آماری دو متغیره تراکم سطح و ارزش

اطلاعاتی

جهت اجرای مدل‌های مذکور پس از قطع دادن نقشه‌های عوامل شامل نقشه شیب، لیتولوژی، اختلاف ارتفاع، شتاب زلزله، فاصله از گسل اصلی، کاربری اراضی با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها و به دست آوردن مساحت لغزش در هر واحد نقشه، با استفاده از رابطه ۱ (در مدل تراکم سطح) و رابطه ۲ (در مدل ارزش اطلاعاتی) وزن هر واحد در هر طبقه محاسبه شده و نقشه‌های وزنی در محیط Ilwis تولید می‌شوند. جمع عمودی اوزان مربوط به لایه‌های عوامل مؤثر در هر پیکسل وزن کل را به دست می‌دهد. از جدایش (Slicing) منحنی فراوانی تجمعی اوزان در نقشه وزنی نهایی، بر اساس نقاط عطف و طبقه‌بندی نقشه اوزان بر اساس آن، نقشه پهنه‌بندی خطر لغزش تولید می‌گردد (شکل ۶ و ۷).

$$Warea = \left(\frac{A}{B} \times 100\right) - \left(\frac{C}{D} \times 100\right) \quad (1)$$

$$Weight = Ln \left[ \left(\frac{A}{B}\right) : \left(\frac{C}{D}\right) \right]$$

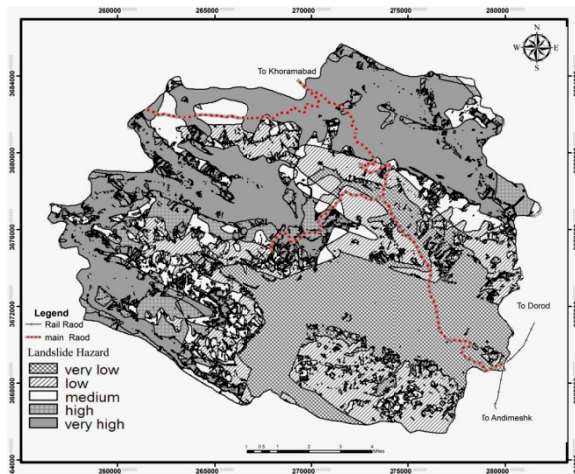
در این روابط:

A = مساحت لغزش‌های هر واحد؛ Warea وزن تراکم سطح

B = مساحت هر واحد؛ Weight وزن ارزش اطلاعات

C = مساحت کل لغزش در حوضه

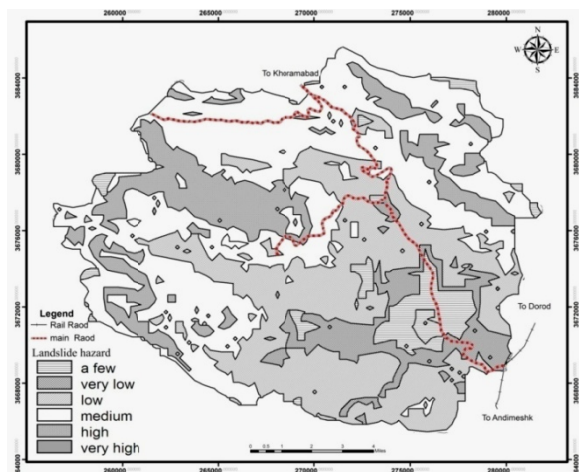
D = مساحت کل حوضه



شکل ۶. پیش‌بینی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از

مدل ارزش اطلاعاتی

بارندگی و شدت بارندگی در این مدل تصحیح گردد. بارندگی حوضه سرخاب با استفاده از دوره آماری ۲۰ ساله محاسبه شده و شدت بارندگی ۲۴ ساعته برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به دست آمده است. با به دست آمدن عامل بارندگی و محاسبه دیگر پارامترها، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش برای حوضه تهیه شده است (شکل ۸). نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که طبقه با خطر بسیار بالا در منطقه نداریم.



شکل ۸. پیش‌بینی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش مورا - وارسون

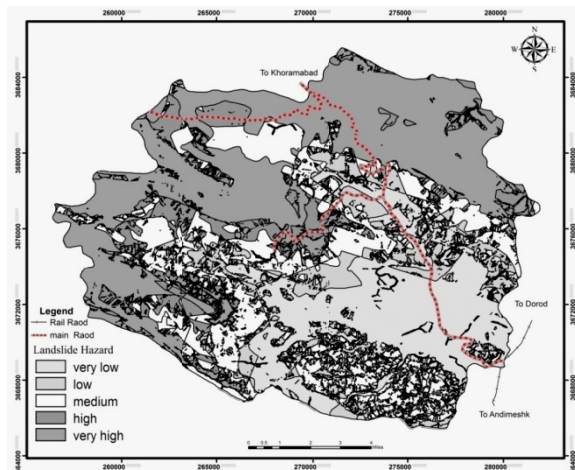
مدل نیلسن اصلاح شده

حافظی مقدس (۱۳۷۲) با توجه به وضعیت منطقه‌ای مورد مطالعه قرار داده است تغییراتی در روش نیلسن اعمال کرده است (جدول ۸). روش کار در تهیه نقشه مزبور به صورت زیر می‌باشد:

۱- تهیه نقشه شیبی محدوده مورد نظر: در این نقشه دامنه‌ها به چهار رده شیبی؛ کمتر از ۵ درجه، ۵-۱۵ درجه، ۱۵-۳۰ درجه، و بیش از ۳۰ درجه تقسیم‌بندی شده است.

۲- شناسایی زمین‌لغزه‌های موجود در محدوده مطالعاتی با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای صحرایی و تهیه نقشه (نقشه پراکندگی زمین‌لغزه‌ها).

۳- تقسیم‌بندی رخنمون‌های سطحی بر اساس مساحت توده‌های لغزشی به کل مساحت هر یک از رخنمون‌ها به چهار گروه مصالح مقاوم بدون لغزش، مصالح سنگی مستعد لغزش، نهشته‌های آبرفتی و نهشته‌های لغزش یافته قدیمی



شکل ۷. پیش‌بینی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل تراکم سطح

مدل مورا - وارسون اصلاح شده

در سال ۱۹۹۳ مورا و وارسون با بررسی گسیختگی‌هایی که در اثر زلزله و بارش‌های جوی در آمریکای مرکزی رخ داده‌اند. روشی را جهت پیش‌بینی مناطق مستعد گسیختگی ارائه نمودند. در این روش سه عامل برجستگی نسبی، شرایط زمین‌شناختی و رطوبت خاک به عنوان عوامل مستعد کننده و دو عامل لرزه‌خیزی و شدت نزولات جوی به عنوان عوامل تحریک کننده در نظر گرفته شده‌اند. با ترکیب این عوامل به کمک رابطه زیر احتمال گسیختگی شیب تعیین شده است.

$$HL = (Sr \cdot Sl \cdot Sh) * (Ts + Tp) \quad (3)$$

که در آن:

HL- شاخص خطر زمین لغزش

Sr- عدد مشخصه ارتفاع نسبی

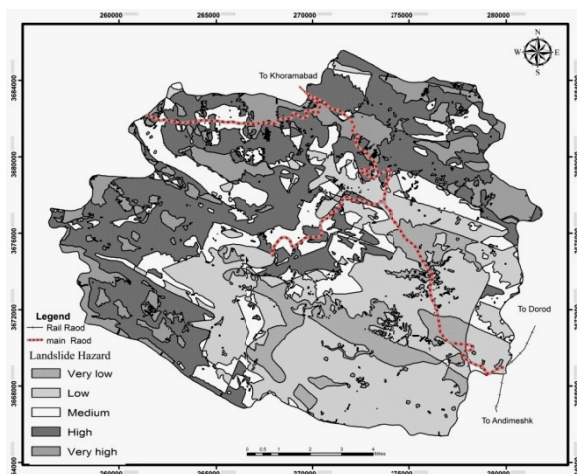
Sl- عدد استعداد ناپایداری مصالح زمین‌شناسی

Sh- عدد مشخصه اثر رطوبت طبیعی خاک

Ts- عدد اثر شدت لرزه‌ای

Tp- عدد تأثیر شدت نزولات جوی

روش مورا و وارسون با توجه به اینکه برای حوضه‌های پرباران در کاستاریکا طراحی شده است، برای حوضه‌های متعدد در ایران اجرا شده و نتایج رضایت‌بخشی به دست نداده است چرا که از رده خطر متوسط (Medium) به بالا را شامل نمی‌شود. بنابراین با توجه به کارهای قبلی (جلالی، ۱۳۸۰، فرزامجو و همکاران، ۱۳۷۸) سعی شده است که نقش عامل



شکل ۱۰. پیش‌بینی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش

گوپتا - جوشی

#### ۴. ارزیابی نتایج خروجی مدل‌های پیش‌بینی خطر

##### زمین‌لغزش

روش‌های مختلفی برای ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش توسط محققین ارائه شده است. در این تحقیق برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر لغزش از شاخص‌های نسبت دانسیته (Dr) و جمع مطلوبیت (Qs)، (Michael D. و Ge 1991)، استفاده نمودیم. شاخص بدون بعد نسبت دانسیته برای مقایسه کلاس‌های خطر مورد استفاده قرار گرفت.

$$Dr = \frac{\%Landslides}{\%Area} \quad (5)$$

$$Qs = \sum_{i=1}^n (Dr - 1)^2 * \%Area \quad (6)$$

در رابطه ۴ درصد مساحت لغزش‌ها به درصد مساحت هر کلاس خطر تقسیم شده است. دانسیته لغزش کلاسی با  $Dr=1$  معادل با متوسط دانسیته لغزش در کل منطقه و کلاس دارای نسبت دانسیته ۲ دارای دانسیته لغزشی معادل با دوبرابر متوسط دانسیته لغزش منطقه می‌باشد. بنابراین هرچه تفکیک بین کلاس‌های خطر، توسط شاخص نسبت دانسیته بهتر صورت گرفته باشد نقشه از مطلوبیت بیشتری برخوردار است.

مقدار Qs نیز نشان دهنده مطلوبیت عملکرد هر یک از مدل‌ها در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در منطقه است (جدول ۲). معمولاً مقدار این شاخص برای مدل‌های مختلف در گستره

۴- تفکیک رده‌های خطر با انطباق سه نقشه فوق و ترسیم نقشه پهنه‌بندی خطر.

با اصلاحات بالا در روش نیلسن، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای حوضه به‌دست آمده است (شکل ۹).

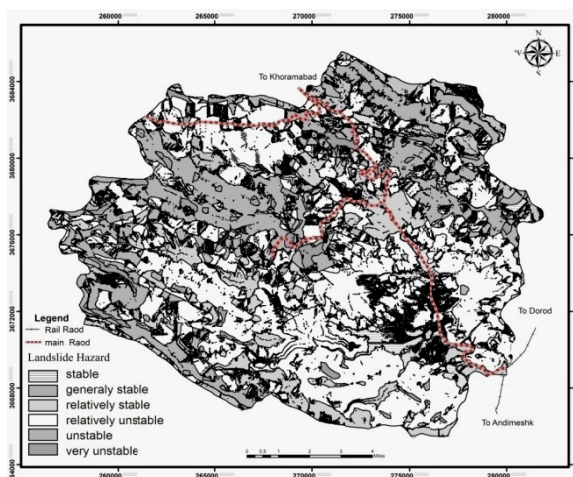
مدل گوپتا - جوشی (Gupta & joshi)

گوپتا و جوشی در سال ۱۹۹۰ یک روش آماری دو متغیره ارائه دادند که در آن پس از قطع دادن نقشه‌های عامل با نقشه پراکنش لغزش‌ها (وزن) برای هر واحد نقشه‌های عامل به شرح زیر محاسبه می‌گردد.

$$LNRF = \frac{\text{لغزش رخ داده در یک واحد نقشه عامل}}{\text{میانگین لغزش رخ داده در کل واحدهای نقشه عامل}} \quad (4)$$

$LNRF > 0.67$	Weight = 0
$0.67 < LNRF < 1.33$	Weight = 1
$LNRF > 1.33$	Weight = 2

بدین شکل وزن لغزش‌ها برای هر واحد نقشه عامل، محاسبه شده و از جمع جبری ستونی اوزان نقشه‌های عامل، وزن نهایی به دست می‌آید. با استفاده از نقاط عطف نمودار، اوزان نقشه پهنه‌بندی نهایی حاصل می‌شود (شکل ۱۰). در این مدل پنج لایه اطلاعاتی شامل نقشه‌های کاربری اراضی، شیب توپوگرافی، فاصله از گسل و لیتولوژی استفاده شده است.



شکل ۹. پیش‌بینی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش

نیلسن اصلاح شده



جدول ۱۲. شاخص‌های Dr در نتایج مدل کوپتا- جوشی

شاخص Dr	مساحت به درصد	طبقات خطر
۰/۰۰۹	۱۴/۱۷	خیلی کم
۰/۰۷۸	۱۸/۳	کم
۰/۲۷۳	۲۵/۱۳	متوسط
۰/۳۰۹	۱۵/۸۳	زیاد
۰/۳۲۹	۲۶/۸۴	خیلی زیاد

جدول ۱۳. شاخص Qs در مدل‌های مورد ارزیابی

مدل‌های مورد ارزیابی	ارزش‌های اطلاعاتی آماری دو متغیره تراکم سطح	آماری دو متغیره اصلاح شده	مورا و ارسون اصلاح شده نیلسن	کوپتا-جوشی
مقدار Qs	۰/۶۴۶	۰/۶۰۳	۰/۶۱	۰/۶۲

#### ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مجموع، از بین پنج مدل منتخب در حوضه مورد تحقیق، نتایج مدل‌های آماری دو متغیره و مدل‌های تجربی مورا و ارسون اصلاح شده و کوپتا- جوشی با تفاوت جزئی نسبتاً مطلوب بوده است. مدل آماری ارزش اطلاعاتی، با تفاوت اندک در جایگاه برتری قرار گرفته و مدل نیلسن اصلاح شده به طور نسبی نتایج مطلوبی ارائه ننموده و با تفاوت قابل توجه در پائین لیست قرار می‌گیرد. روش آماری دو متغیره، با توجه به انعطاف‌پذیری در انتخاب متغیرها از لحاظ نوع و تعداد و انعطاف در اعمال نظرات کارشناسی مبتنی بر تجارب علمی کارشناس خبره، معمولاً در پیش‌بینی خطر به واقعیت نزدیک‌تر است.

بر مبنای نتایج پیش‌بینی این مدل، بیش از ۴۱ درصد منطقه دارای استعداد بالای وقوع خطر زمین‌لغزش می‌باشد که مستلزم انجام پیش‌بینی‌های لازم برای تغییر کاربری‌ها و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای است.

۷-۰ قرار می‌گیرد، اگر چه از لحاظ تئوریک، حدی برای آن وجود ندارد.

در این تحقیق برای ارزیابی مدل‌ها، مقدار شاخص‌های Dr و Qs محاسبه و در جداول ۸ تا ۱۲ جهت مقایسه مقدار شاخص Qs برای تمامی مدل‌ها ارائه شده است.

جدول ۸. شاخص Dr در نتایج مدل آماری دو متغیره ارزش

اطلاعاتی

شاخص Dr	مساحت به درصد	طبقات خطر
۰/۰۱۷۹	۲۴/۰۵	خیلی کم
۰/۰۸۳۲	۲۱/۴۵	کم
۰/۱۹۴	۱۲/۵۹	متوسط
۰/۲۶۷	۱۱/۳۲	زیاد
۰/۴۳۷	۳۰/۵۲	خیلی زیاد

جدول ۹. شاخص Dr در نتایج مدل آماری دو متغیره تراکم

سطح

شاخص Dr	مساحت به درصد	طبقات خطر
۰/۰۱۸	۲۰/۱۲	خیلی کم
۰/۰۵۲	۱۲/۶۵	کم
۰/۱۶۸	۲۱/۷۵	متوسط
۰/۲۶۵	۱۱/۵۶	زیاد
۰/۴۹۴	۳۳/۹۳	خیلی زیاد

جدول ۱۰. شاخص Dr در نتایج مدل مورا و ارسون

شاخص Dr	مساحت به درصد	طبقات خطر
۰/۰۲۱	۱۳/۹۴	خیلی کم
۰/۰۷۸	۳۰/۱۰	کم
۰/۳۳	۴۰/۱۹	متوسط
۰/۴۴۳	۱۵/۷۷	زیاد
-	۰	خیلی زیاد

جدول ۱۱. شاخص‌های Dr در نتایج مدل نیلسن اصلاح شده

شاخص Dr	مساحت به درصد	طبقات خطر
-	۲۱/۱۷	خیلی کم
-	۱۲/۳	کم
-	۴۰/۱۳	متوسط
۰/۱۰۴	۲۱/۴۶	زیاد
۰/۸۹۵	۴/۹۳	خیلی زیاد

## منابع

- افجه نصرآبادی، ح.، شتابی، ش.، رافت‌نیا، ن.، شریعت جعفری، م.، ۱۳۸۷. ارزیابی کارایی مدل‌های آماری ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مناطق جنگلی (سری دو جنگل شصت کلاته ایران). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، ص. ۳۴-۴۳.
- حافظی مقدس، ن.، ۱۳۷۲. پهنه‌بندی خطر لغزش منطقه تحت تأثیر زمین‌لرزه منجیل. پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- جلالی، ن.، ۱۳۸۱. ارزیابی تعدادی از روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- جلالی، ن.، ۱۳۸۰. ارزیابی روش‌های متداول پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز طالقان. مجموعه مقالات دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، جلد اول، ص. ۲۱۱-۲۲۳.
- شریعت جعفری، م.، غیومیان، ج.، ۱۳۸۷. ارزیابی کارایی مدل آنالیز آماری دو متغیره در پهنه‌بندی خطر رانش زمین. مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و چهارم شماره ۱، ص. ۱۳۷-۱۴۳.
- فاطمی عقدا، س.م.، غیومیان، ج.، اشقلی فراهانی، ع.، ۱۳۸۲. ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین‌لغزش. مجله علوم زمین، جلد ۱۱، ص. ۲۸-۴۷.
- فرزام جو، ا.، شریعت جعفری، م.، غیومیان، ج.، ۱۳۷۸. بررسی ناپایداری شیب‌ها و رانش زمین درگستره دامنه البرز مرکزی با تاکید بر نقش عوامل ساختاری و لرزه‌خیزی. مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه تربیت معلّم، تهران، ص. ۱۵۷-۱۶۸.
- فرهادی نژاد، ط.، سوری، س.، لشکری پور، غ.، غفوری، م.، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه کشوری به روش موربا- وارسون و نیلسن اصلاح شده. مجموعه مقالات ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.
- مصفايي، ج.، اوتق، م.، مصداقي، م.، شریعت جعفری، م.، ۱۳۸۸. مقایسه کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: آبخیز الموت رود). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، جلد ۱۶، شماره ۴، ص. ۴۳-۶۱.
- یمانی، م.، محمدی، ا.، نگهبان، س.، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوضه آبخیز توتکابن با استفاده از مدل‌های کمی. مجله جغرافیا و توسعه، ش ۱۹، ص. ۸۳-۹۸.
- Fatemi Aghda, M., Ghiomian J., Eshgheli Farahani, A., 2006. Investigation landslide hazard using fuzzy logic (case study: Roudbar area). Journal of science, Tehran university, 31(1): 43-64.
- Gupta, R.P., Joshi, B.C., 1990. Landslide hazard zoning using the GIS approach—a case study from the Ramanga catchment, Himalayas. Engineering Geology, 28: 119-131.
- Lee, S., Kyungduck, M., 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yonging, Korea. Environmental Geology, 40: 1095–1113.
- Michael, D.G., 1991. Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability. Landslides, bell, Belkma, Rotterdam, ISBN 90 54 10 032 X.
- Ownegh, M., 2002. Landslide Hazard, and Risk Assessment in the Southern Sunbirds of Newcastle. Sabbatical research report No. 2, University of Newcastle, Australia, 85 pp.
- 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.