



دوره ۳۲، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۲۴، پاییز ۱۳۹۸، صفحات ۵۲-۳۷  
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.124214.1171

# پژوهش‌های آبخیزداری

## پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در آبخیز سد چراغ‌ویس کردستان با مدل‌های IRAT و LNRF

فؤاد عبادی

گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

علیرضا ایلدرمی\*

(نویسنده‌ی مسئول)\* گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

حمید نوری

گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

خالد بابائی

گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

\*ایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: ildoromi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۲۷ آبان ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: ۲۱ اسفند ۱۳۹۷

### چکیده

زمین‌لغزش یکی از مهم‌ترین عوامل فرسایش خاک و بلای طبیعی است که سالانه خسارت‌های جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌کند. از این رو امروزه در بررسی ناپایداری دامنه‌ها به شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت (مورفوتکتونیک) و مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها توجه می‌شود. هدف از این بررسی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سد چراغ‌ویس کردستان با استفاده از مدل IRAT و LNRF و مقایسه‌ی تطبیقی آن‌ها با بهره‌گیری از جدول‌های متقاطع و شاخص‌های ارزیابی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است. نتایج ارزیابی شاخص‌های مدل IRAT نشان می‌دهد که ۷۷/۷۷٪ از لغزش‌ها در طبقه‌ی شدید زمین‌ساختی است، و در مدل LNRF ۶۴/۰۵٪ در ناحیه‌هایی است که امکان آن شدید و منطبق بر زیرحوزه‌هایی است که بیش‌ترین تعداد و تراکم لغزش آن‌ها زیاد است. بیش از ۹۱/۶۴٪ از مساحت کل لغزش‌ها در محدوده‌ی خطر ناپایداری زیاد و در فاصله‌ی کم‌تر از ۱۰۰۰ متر بوده است. تحلیل روش جدول‌های متقاطع نشان می‌دهد که تطابق هر دو مدل پهنه‌بندی در ارزیابی طبقه‌ی متوسط خطر پذیرفتنی است، ولی در طبقه‌ی خطر شدید به دلیل هم‌خوانی گسل‌ها با لغزش‌ها، مدل IRAT دقت بیش‌تری دارد. مقدار مجموع کیفیت در مدل LNRF به مقدار ۲/۱۶٪ نشان می‌دهد که عمل‌کرد مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در آبخیز سد چراغ‌ویس کردستان بهتر است. پیشنهاد می‌شود که هر تغییر کاربری زمین و برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از سیمای سرزمین حوضه سد با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام شود.

واژگان کلیدی: چراغ‌ویس، ریخت‌زمین‌ساخت، لغزش IRAT، LNRF

## مقدمه

زمین‌لغزش یکی از پدیده‌های مهم در محیط زیست، آبخیزداری و منابع طبیعی است. زمین‌لغزش‌ها پدیده‌های طبیعی‌اند که ناگهانی و در زمان کوتاهی رخ می‌دهند (چندل و همکاران ۲۰۱۱). بخش بزرگی از ایران در مناطق کوهستانی است، و زمین‌لغزش از حوادث طبیعی است که سالانه خسارت‌های جانی و مالی فراوانی به کشور می‌زند (شیرانی و همکاران ۲۰۰۶). در بین ۴۳ خطر طبیعی تهدیدکننده‌ی زندگی بشر و منابع طبیعی، زمین‌لغزش‌ها با وجود تفاوت‌های شدید از هم‌دیگر به دلیل وابستگی به شرایط محیطی اهمیت خاصی دارد (مصفايي و همکاران ۲۰۰۹). برای پهنه‌بندی خطر نسبی ناپایداری دامنه‌ها، ده‌ها مدل عددی با عوامل وزن، نرخ، منطق محاسبه‌ی و مقیاس متفاوت ابداع شده، و در شرایط متنوع بر اساس شواهد زمینی و اسنچی شده است (اونق ۲۰۰۴). تاکنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج از کشور در زمینه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام گرفته است.

الحمدونی و همکاران (۲۰۰۸) برای ارزیابی شاخص‌های زمین‌ساختی، سه طبقه‌ی زمین‌ساختی جداگانه را شامل (۱) با فعالیت زمین‌ساختی زیاد  $SL < 500$ ، (۲) با فعالیت زمین‌ساختی متوسط  $300 \leq SL < 500$ ، و (۳) با فعالیت زمین‌ساختی کم  $SL > 300$  تعیین کردند. اگر مقدار این شاخص بین یک تا ۱/۵ باشد نشان‌دهنده‌ی نواحی با طبقه‌ی زمین‌ساختی شدید است. با استفاده از تحلیل‌های ریخت‌سنجی و بهره‌گیری از شاخص‌های زمین‌ریختی و فراسنجه‌های رتبه‌ی شبکه‌های زه‌کشی می‌توان زمین‌ساخت فعال و ناپایداری حاصل از حرکت‌های توده‌ی در منطقه را بررسی کرد (گارنیر و پیروتا ۲۰۰۸). در این زمینه شاخص‌های زمین‌ریختی ابزار سودمندی برای بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی است و به‌وسیله‌ی آن‌ها می‌توان از منطقه‌ی که در معرض فعالیت زمین‌ساختی نسبتاً سریع یا حتی کند است، اطلاعاتی به‌دست آورد (کیلر و همکاران ۲۰۰۲).

نتایج مصفايي و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که مدل‌های آماری تراکم سطح غیروزنی، تراکم سطح وزنی و رگرسیون چندمتغیره در آبخیز الموت‌رود کارایی لازم را برای تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ی دارد. نادری و همکاران (۲۰۱۳) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را در آبخیز زنگوان استان ایلام با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی بررسی کردند. نتایج یمانی و جعفری آقدم (۲۰۱۱) نشان داد که روش تجزیه و تحلیل عوارض به رقومی بر SRTM در حوضه دهشیر می‌تواند ساختار و شواهد ریخت‌زمین‌ساخت موجود در زمین‌دیس‌های را دقیق‌تر تفسیر کند. نتایج الماسیان و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان داد که شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی  $Sf$ ،  $Vf$  و  $SL$  در حوزه‌های انتخابی بارونق، جزه، قمصر و قهرود تقریباً در یک رده و از دو حوضه دیگر بیش‌تر است، و میانگین نرخ لغزش افقی را ۲/۶

میلی‌متر در سال برآورد کردند. شریفی و همکاران (۲۰۱۳) ارتباط زمین‌ساخت فعال و پهنه‌بندی لغزشی در قالب شاخص‌های  $Vf$  و  $Sf$  را در سه طبقه‌ی فعال زمین‌ساختی، متوسط و غیرفعال زمین‌ساختی بررسی کردند.

نتایج حساسیت حرکت‌های توده‌ی حوضه چمران اهواز با استفاده از دو مدل کمی ال.ان.آراف و مدل نیمه کمی آ.اچ.پی (گرنزادی و حیدری، ۲۰۱۴) نشان داد که مدل آ.اچ.پی، برای توزیع حرکت‌های توده‌ی در این منطقه کارآمدتر است. نتایج حبیبی (۲۰۱۴) نیز نشان داد که استفاده از مدل AHP و روش جدول‌های متقاطع و شمارش نقاط لغزشی در خوزستان، انطباقی پذیرفتنی بین نقشه‌های زمین‌لغزش و شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی دارد.

بررسی خطر روی‌دادن زمین‌لغزش در آبخیز زیارت استان گلستان با استفاده از مدل ارزش اطلاعات و ال.ان.آراف در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (صابرچناری و همکاران ۲۰۱۵) نشان داد که مدل ارزش اطلاعاتی کارایی بهتری از مدل ال.ان.آراف در شناسایی مناطق مستعد خطر زمین‌لغزش دارد.

حبیبی (۲۰۱۵) نشان داد که استفاده از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در خوزستان طبقه‌بندی زمین‌ساختی شاخص‌ها را بهتر و دقیق‌تر معرفی می‌کند.

سپه‌وند و همکاران (۲۰۱۶) برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حساسیت دامنه‌ها در بخشی از آبخیز هراز را با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی بررسی کردند.

نتایج ایلانلو و ابراهیمی (۲۰۱۶) نیز نشان داد که در پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ی با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و ال.ان.آراف در آبخیز زهره در استان فارس، مدل ارزش اطلاعاتی مناسب‌ترین مدل است.

ارزیابی کارایی روش‌های ارزش اطلاعات، تراکم و نسبت فراوانی و LNRF در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ی پشت‌در بند کرمانشاه (قبادی و همکاران، ۲۰۱۷) نشان داد که از میان روش‌های به کار برده شده برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش منطقه، روش تراکم سطح با اختلاف جزئی نتایج مناسب‌تری از روش نسبت فراوانی به‌دست می‌دهد.

کارایی دو مدل ارزش اطلاعات و تراکم سطح برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان سیستان و بلوچستان با توجه به شاخص‌های مجموع کیفیت (QS) و دقت (P) مدل ارزش اطلاعات کارایی بیش‌تری دارد (پرولتایبان و همکاران ۲۰۱۷). در آبخیز عشوند نیز به‌ترتیب مدل‌های وایازی (رگرسیون) لجیستیک و AHP مدل‌های مناسب پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه است (ایلدرمی و همکاران ۲۰۱۷). در آبخیز خارسرستان اقلید فارس نیز در استفاده از شاخص نسبت تراکم مجموع کیفیت، مدل

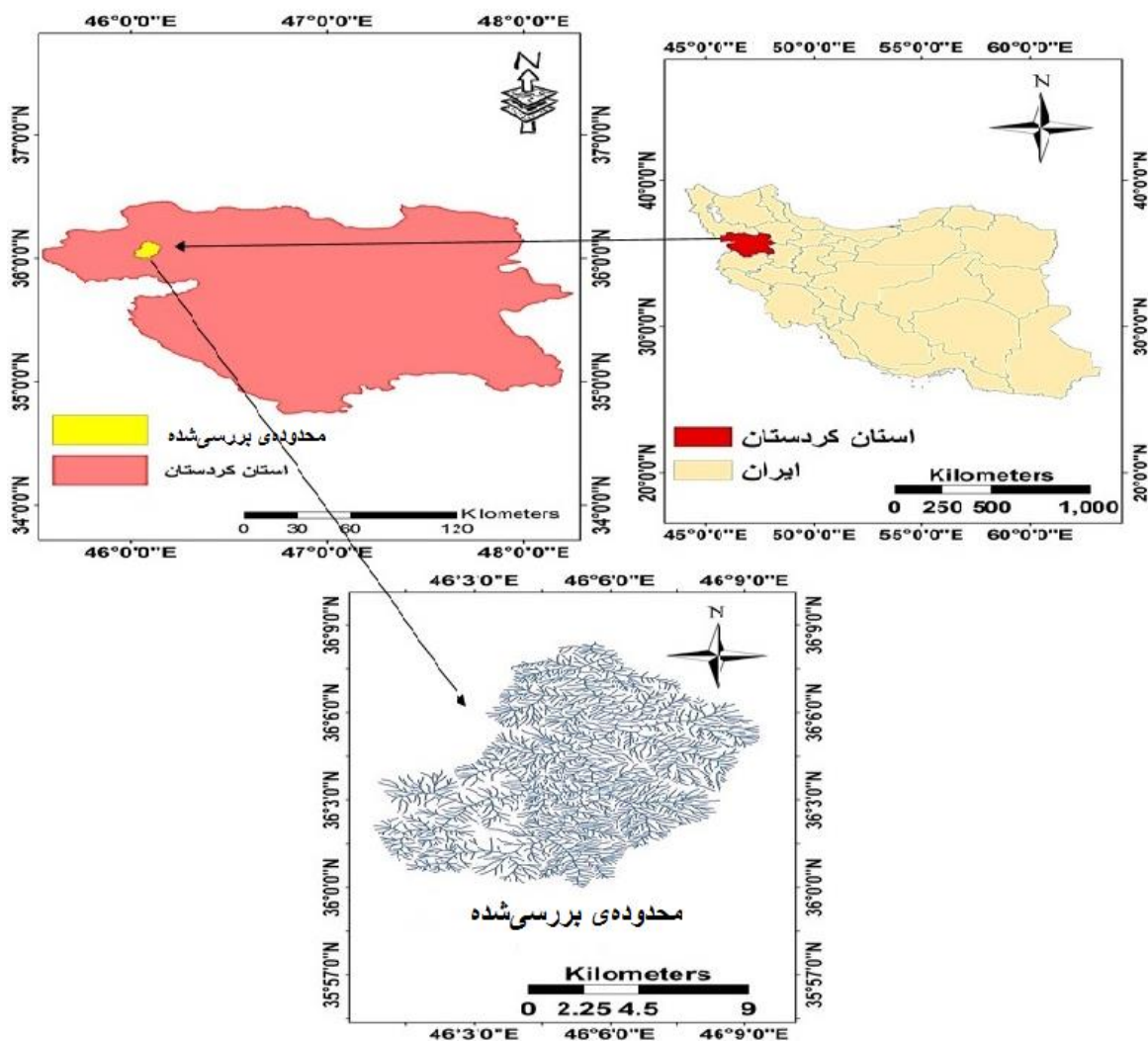
### مواد و روش‌ها منطقه‌ی پژوهش

آبخیز سد چراغ‌ویس با مساحت ۱۲۰۱۵ هکتار در شمال شرقی شهرستان سقز استان کردستان است (شکل ۱). بیشینه و کمینه‌ی ارتفاع حوزه ۲۶۵۴ و ۱۶۰۲ متر از تراز دریا، میزان بارندگی آن بین ۵۰۰ تا بیش از ۹۰۰ میلی‌متر، و متوسط دمای آن ۱۱ درجه‌ی سانتی‌گراد است. حوضه بررسی شده در حاشیه‌ی شمال غربی منطقه‌ی دگرگونی سنندج سیرجان است و از واحدهای سنگی دگرگونی آذرین و رسوبی همچون شیست، گرانیت، پلمه‌سنگ، آهک، دولومیت و ماسه‌سنگ تشکیل شده است، و گسل‌ها و شکستگی‌های فراوانی در واحدهای سنگی دارد که نمایانگر تکتونیک فعال منطقه است. زمین‌ریخت‌شناسی بیش‌تر حوزه در قلمرو واحد کوهستان، و بخش اندک باقی‌مانده در قلمرو واحد دشت‌های بین‌کوهی با نهشته‌های آبرفتی است، و رخساره‌ی با پوشش تخریبی، با جورشدگی و گردشگی ضعیف دارد. در منطقه‌ی بررسی‌شده به‌طور عمده ۳ نوع کاربری مرتع، کشاورزی و باغ است (اداره‌ی کل منابع طبیعی استان کردستان ۲۰۱۳).

LNRF عمل‌کرد بهتری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دارد (زارع و همکاران ۲۰۱۸).

نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در بیش‌تر پژوهش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به علت تفاوت شرایط محیطی و روش‌های به‌کارگرفته‌شده، امکان مقایسه‌ی نتیجه‌ی الگوهای مختلف با یک‌دیگر نیست، و به‌کارگیری هر یک از آنها مستلزم اثبات کردن صحت و دقت بیش‌تر آن است.

با بررسی سابقه‌ی تحقیق در زمینه‌ی خطر و خسارت زمین‌لغزش می‌توان نتیجه گرفت که در تحقیقات جدید باید به ارزیابی خسارت در جایگاه مرحله‌ی از مدیریت زمین‌لغزش پرداخته شود. تجزیه و تحلیل خسارت پس از پهنه‌بندی خطر می‌تواند ما را یک گام به مدیریت یک پارچه‌ی زمین‌لغزش نزدیک کند. هدف از این تحقیق ارزیابی میزان کارایی دو مدل LNRF و IRAT و تعیین مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شدت خطر، عناصر و درجه‌ی آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر برای مدیریت کردن خطر و خسارت در آبخیز سد چراغ‌ویس کردستان است.



شکل ۱ - موقعیت منطقه‌ی بررسی‌شده.

پراکنش سطحی زمین‌لغزش و نقشه‌ی ارزیابی نسبی فعالیت زمین‌ساختی در GIS بر هم انطباق داده شد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش لغزش، با استفاده از تحقیقات گذشته‌ی حییبی (۲۰۱۴) امکان لغزش با مدل AHP پهنه‌بندی شد. داده‌های به‌دست‌آمده برای ترسیم محدوده پردازش و تحلیل، و وارد نرم‌افزار سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی کرده شد. با بهره‌گیری از جدول‌های متقاطع و شمردن نقطه‌های لغزشی در هر پهنه، همبستگی شدت فعالیت زمین‌ساختی و زمین‌لغزش‌ها بر اساس میزان انطباق شاخص ریخت‌زمین‌ساخت و رخداد زمین‌لغزش‌ها در مدل ارزیابی شد (جدول ۵). برای بررسی نقش موثر گسل در وقوع لغزش‌ها، نقشه‌ی واحد کاری به‌صورت واحد شبکه‌ی تهیه، و کل محدوده به ۲۴۰۳ واحد شبکه‌ی (پیکسل) تقسیم شد. سپس جدول خروجی از نقشه‌ی گسل برای هر سلول (واحد شبکه‌ی) و بر اساس روی‌دادن لغزش (یک) و روی‌ندادن آن (صفر) بررسی شد. برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS16 استفاده شد. برای

#### روش تحقیق

محدوده‌ی بررسی‌شده بر نقشه‌ی پستی‌وبلندی ۱:۵۰۰۰۰ مشخص و به ۱۵ زیرحوزه تقسیم شد. با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، پستی‌وبلندی، ۱:۵۰۰۰۰۰ عکس‌های هوایی ۴۰۰۰۰:۱، تصویرهای ماهواره‌ی ETM<sup>+</sup> و DEM (۵۰ متر) و مشاهده‌های میدانی، موقعیت ۹ لغزش رخ داده با دستگاه GPS تعیین و نقشه‌برداری شد (شکل ۲). با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳ و ILWIS شاخص‌های ارزیابی نسبی فعالیت زمین‌ساختی (IRAT) در هر زیرحوزه محاسبه و نقشه‌ی هریک از شاخص‌ها در سه طبقه‌ی خطر شدید، متوسط و کم تهیه شد (جدول ۲). شاخص‌ها پس از طبقه‌بندی‌شدن با هم جمع و بر تعداد کل شاخص‌ها تقسیم شدند، و نقشه‌ی ارزیابی نسبی فعالیت زمین‌ساختی، IRAT (Relative Active Tectonics Index) حوزه تهیه شد (جدول ۴) (الحمدونی و همکاران ۲۰۰۸). نقشه‌ی

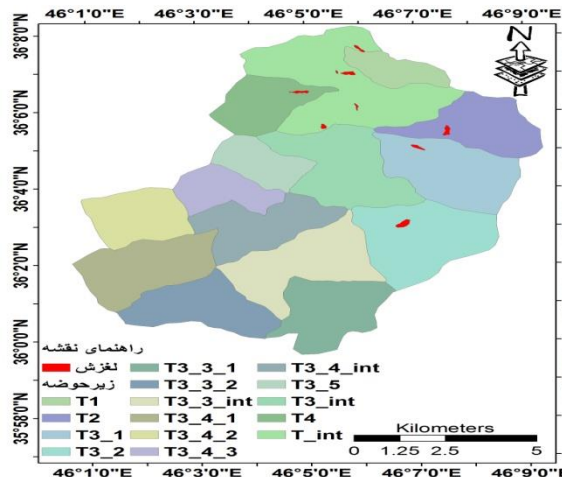
رده‌ی عامل بر چگالی زمین لغزش در کل نقشه  
 $N_{pixl}(Si)$ : تعداد واحدهای شبکه‌ی که در یک رده از عامل  
 ویژه دارای زمین لغزشند  
 $NPixl(Ni)$ : تعداد کل واحدهای شبکه‌ی در رده‌های عامل  
 ویژه  
 براساس روش وزن دهی بالا انداز‌های به‌دست آمده برای هر سلول  
 (واحد کاری) از نقشه تهیه، و فراوانی رده‌های مختلف خطر بررسی  
 شد.

تعیین درجه‌ی حساسیت واحدهای شبکه‌ی به روی دادن لغزش،  
 وزن دهی عامل موثر بررسی، و نقشه‌ی حساسیت پذیری نسبت به  
 روی دادن لغزش تهیه شد.  
 رابطه‌ی (۱)

$$Lnwi = N_{pixl}(Si) / N_{pixl}(Ni) / [(N_{pixl}(Si) / N_{pixl}(Ni))]$$

$Wi$ : وزن داده شده به رده‌ی عامل ویژه

$Ln$ : مولفه‌ی تراکم سطح که برابر است با چگالی زمین لغزش در



شکل ۲- نقشه‌ی پراکنش حرکت‌های توده‌ی در سطح زیرحوزه‌های سد چراغ‌ویس.

$$SL = (\Delta H / \Delta L) \cdot L$$

رابطه‌ی ۳

$\Delta H$  اختلاف ارتفاع مقطع اندازه‌گیری شده،  $\Delta L$  فاصله‌ی افقی  
 اندازه‌گیری شده، و  $L$  طول رودخانه از نقطه‌ی مرکزی مقطع تا  
 سرچشمه است (دلستا ۲۰۰۸). الحمدونی و همکاران (۲۰۰۸)  
 سه طبقه‌ی زمین‌ساختی برای ارزیابی این شاخص شامل (۱) با  
 فعالیت زمین‌ساختی زیاد  $SL < 500$ ، (۲) با فعالیت زمین‌ساختی  
 متوسط  $500 < SL < 300$  و (۳) با فعالیت زمین‌ساختی کم  
 $SL > 300$  تعیین کردند.

### شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی<sup>۲</sup> (AF)

این شاخص کج‌شدگی جانبی حوزه بر اثر نیروهای زمین‌ساختی  
 را نسبت به مسیر اصلی رودخانه نشان می‌دهد و با رابطه‌ی ۴  
 تعریف می‌شود (کیلر و همکاران، ۲۰۰۲). بر طبق نظر الحمدونی  
 و همکاران (۲۰۰۸) اگر  $AF$  برابر ۵۰ باشد حوزه متقارن است، و  
 اندازه‌های بیش‌تر از ۵۰ و کم‌تر از آن به ترتیب بیانگر عمل‌کرد  
 فرسایش در ساحل راست و چپ آبراه اصلی است. اگر کوچک‌تر  
 از هفت باشد، در طبقه‌ی ۳ است. اگر عددهای به‌دست آمده بین

شاخص‌های ارزیابی نسبی فعالیت زمین‌ساختی (IRAT)  
 برای تعیین میزان فعالیت زمین‌ساختی از پنج شاخص  $SL$ ،  $AF$ ،  
 $Hi$ ،  $Tp$  و  $Bs$  در حوزه استفاده شد (الحمدونی و همکاران ۲۰۰۸)  
 تا ارتباط بین نقطه‌های لغزشی با شدت فعالیت زمین‌ساختی  
 (IRAT) مشخص شود (رابطه‌ی ۲).

$$IRAT = S/N$$

رابطه‌ی ۲

$S$  مجموع طبقه‌های شاخص‌های زمین‌ریختی و  $N$  تعداد  
 شاخص‌های محاسبه شده است. بر اساس مقدار  $IRAT$  نیز  
 شدت فعالیت‌های زمین‌ساختی هر زیرحوزه مشخص شده است.  
 اگر  $1 < IRAT < 1/5$  باشد فعالیت‌های زمین‌ساختی شدید،  
 اگر  $1/5 < IRAT < 2$  باشد فعالیت‌های زمین‌ساختی زیاد، اگر  
 $2 < IRAT < 2/5$  باشد فعالیت‌های زمین‌ساختی متوسط، و اگر  
 $2/5 < IRAT$  باشد فعالیت‌ها کم و ناچیز است.

### شاخص شیب طولی رودخانه<sup>۱</sup> (SL)

این شاخص با توجه به تغییرات شیب آبراه هر بی‌نظمی را که بر  
 اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی یا مقاومت سنگ در شیب طولی آبراه  
 ایجاد شده است نشان می‌دهد و با رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود.

1- Stream Length Gradient Index  
 2- Asymmetric Factor

نامتقارن و از لحاظ زمین‌ساختی فعال است و با رابطه‌ی ۶ تعریف می‌شود (علی‌پور و همکاران ۲۰۱۱).

$$TP = Da/Dd \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

Da فاصله‌ی نواری رودخانه از خط میانی حوزه و Dd فاصله‌ی خط میانی حوزه تا مرز حوزه است. اگر TP صفر باشد، حوزه متقارن و آرام، و اگر به سمت یک برود نامتقارن و از لحاظ زمین‌ساختی فعال است.

#### شاخص نسبت شکل حوزه (Bs)

حوزه‌های فعال زمین‌ساختی از لحاظ شاخص شکل حوزه (Bs) دارای شکل کشیده است. به‌طور کلی شکل حوزه با توقف فعالیت زمین‌ساختی در طول زمان با کاهش بالآمدگی مواجه است، به تدریج دایره‌ی شکل می‌شود. این شاخص با رابطه‌ی ۷ بیان می‌شود (بول و مک فادن ۱۹۷۷؛ کانون ۱۹۷۶؛ رامیرز ۱۹۸۸).

$$Bs = Bl/Bw \quad \text{رابطه‌ی ۷}$$

Bl بیش‌ترین طول حوزه و Bw بیش‌ترین عرض حوزه است. اگر Bs بزرگ‌تر از چهار باشد از طبقه‌ی ۱ و بین سه تا چهار طبقه‌ی ۲ و کم‌تر از سه طبقه‌ی ۳ است. به‌طور کلی نحوه‌ی ارزیابی شدت فعالیت زمین‌ساختی شاخص‌ها در جدول ( آورده شده است.

هفت تا ۱۵ باشد از لحاظ زمین‌ساختی در طبقه‌ی ۲ است، و در حالت‌های بیش‌تر از ۱۵ در طبقه‌ی ۱ جا می‌گیرد.

$$AF = 100 \cdot (Ar/At) \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

Ar مساحت حوزه در سمت راست آبراه اصلی و At مساحت کل حوزه است.

#### شاخص فرازسنجی هیپسومتریک (Hi)

این شاخص توزیع ارتفاع‌ها (پستی‌وبلندی) را در راستای عمود بر ناحیه‌ی از زمین یا حوضه زهکش توصیف می‌کند، و بیانگر توزیع مساحت به‌ازای ارتفاع‌ها است که متفاوت است (رابطه‌ی ۵). طبقه‌ی ۱ شاخص فرازسنجی  $Hi > 0.5$  و طبقه‌ی  $0.25 < Hi < 0.4$  و طبقه‌ی ۳ کوچک‌تر از ۰/۴ است.

$$Hi = (H_{Ave} - H_{min}) / (H_{max} - H_{min}) \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

#### شاخص تقارن پستی‌وبلندی عرضی (Tp)

این شاخص بی‌تقارنی پستی‌وبلندی در شبکه‌ی زه‌کشی را در حوزه‌هایی با سنگ‌شناسی تقریباً همسان با عمل‌کرد زمین‌ساخت فعال نشان می‌دهد. مقدار Tp برداری با جهت‌گیری خاص و با اندازه‌هایی از صفر تا یک است که عددهای نزدیک به ۱ می‌تواند بیانگر فعالیت ریخت-پویایی و فرسایش باشد و بر عکس. اگر Tp صفر باشد، حوزه متقارن و آرام است، و اگر به سمت یک برود،

جدول ۱- نحوه‌ی ارزیابی شدت فعالیت زمین‌ساختی شاخص‌ها.

رده	فعالیت زمین‌ساختی	Sl	Af	Hi	Bs	Tp
۱	زیاد	$sl \geq 500$	$[Af-50] > 15$	$0.55-1$	$4 <$	۱
۲	متوسط	$300 \leq SL < 500$	$[Af-50] = 7-15$	$0.45-0.55$	$3-4$	$0. > T < 1$
۳	کم	$SL < 300$	$[Af-50] < 7$	$1-0.45$	$3 >$	۰

پراکنش زمین‌لغزش انطباق داده و با استفاده از رابطه‌ی LNRF وزن هر واحد محاسبه و نقشه‌های وزنی تهیه شد. برای تعیین وزن فراسنجه‌ها ابتدا تعداد زمین‌لغزش در هر واحد بر میانگین تعداد کل واحدهای آن نقشه تقسیم و شاخص فوق تعیین شد. سپس با جمع کردن نقشه‌ی وزن‌های عامل‌ها و طبقه‌بندی آن در (GIS)، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ی در طبقه‌های کم، متوسط و شدید تهیه و طبقه‌بندی شد (رابطه‌ی ۸ و جدول ۲).

$$LNRF = A/E$$

A مساحت سطح لغزش رخ داده در هر طبقه از نقشه‌ی عامل‌ها

#### معرفی مدل LNRF

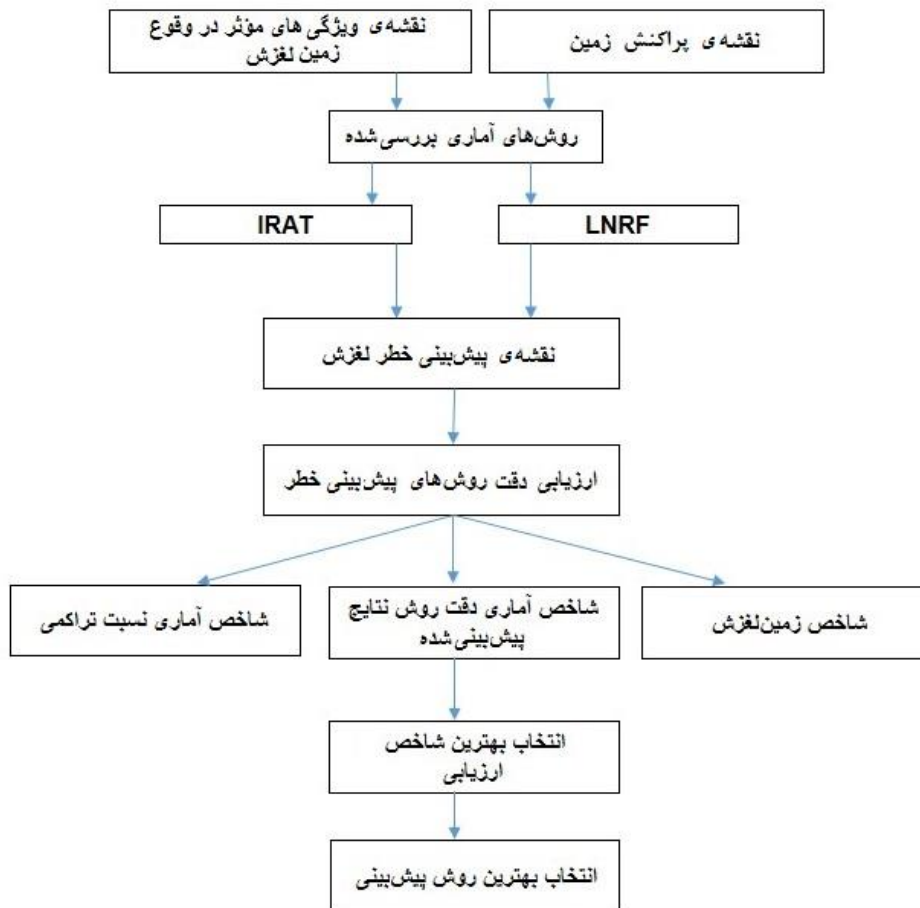
برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از مدل LNRF<sup>۶</sup> استفاده شد که روشی نیمه‌کمی و از مدل‌های متداول برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است و (مدل گوپتا و جوشی) (نادری و همکاران ۲۰۱۱). مهم‌ترین عامل‌های مؤثر در روی‌دادن زمین‌لغزش در این مدل‌سنجی، فاصله از گسل، طبقه‌های ارتفاعی، شیب، جهت شیب، میزان بارش، کاربری زمین، فاصله از رودخانه، شاخص رطوبت پستی‌وبلندی و شاخص طول شیب است. شیوه‌ی کار در این بررسی شامل رقوم‌ی کردن و لایه‌بندی کردن متغیرها در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) بود. نقشه‌های عوامل تهیه و با نقشه‌ی

- 3- Hypsometric Integra
- 4- Transverse Topographic Symmetry Facto
- 5- Drainage Basin Shape Index
- 6- Landslide Nominal Risk Factor

(هکتار) و E میانگین مساحت لغزش رخ داده در کل طبقه‌های نقشه‌ی عامل‌ها (هکتار) است (رنجبر و راکاری ۲۰۱۲) (رابطه‌ی ۷ و جدول ۲). به‌طور کلی روند اجرای پژوهش در شکل ۳ آورده شد.

جدول ۲- تعیین اندازه‌های وزنی وسعت زمین لغزش براساس مدل LNRF.

ردیف	LNRF ضریب		LNRF دامنه‌ی تغییرات	Weight	ناپایداری
	کمینه	بیشینه			
۱	۰	۰/۶۷	$LNRF < ۰/۶۷$	۰	کم
۲	۰/۶۷	۱/۳۳	$۰/۶۷ < LNRF < ۱/۳۳$	۱	متوسط
۳	۱/۳۳	$۱/۳۳ < LNRF$	$LNRF > ۱/۳۳$	۲	زیاد



شکل ۳ - نمودار جریان‌ی مراحل اجرای پژوهش.

که مدل به کار برده شده در پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌یی مناسب است. اگر این روند نزولی یا یکسان باشد، نشان‌دهنده‌ی کارآیی ضعیف مدل است (مصفايي و همکاران ۲۰۰۹). شاخص آماری نسبت تراکمی با  $Dr$  با تقریب نشان داده می‌شود و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Dr = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad \text{رابطه‌ی ۱۱}$$

$S_i$ : مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های هر پهنه‌ی خطر،  
 $A_i$ : مساحت پهنه‌ی خطر هدف در نقشه‌ی پهنه‌بندی،  
 $n$ : تعداد در آبخیز،  
 $Q_s = \sum_{i=1}^n ((Dr - 1)^2 * S)$

#### شاخص‌های جمع کیفیت

پس از محاسبه‌ی مقدار  $Dr$  با استفاده از شاخص جمع کیفیت یا  $Q_s$ ، مقایسه‌ی عمل کرد مدل‌ها ارزیابی شد. مقدار  $Q_s$ ، انحراف مقدار  $rD$  برای هر یک از نقشه‌های داده‌شده از مقدار متوسط یک و جمع مربع‌های این انحراف‌ها بعد از به کار بردن یک نوع وزن دهی را نشان می‌دهد.  $Q_s$ ، بیش‌تر نمایانگر جداشدگی بهتر رده‌های مختلف خطر است، به طوری که هر چه مقدار جمع کیفیت بیش‌تر باشد، آن مدل برای منطقه مناسب‌تر است (مصفايي و همکاران ۲۰۰۹؛ نیازی و همکاران ۲۰۱۰).

$$Q_s = \sum_{i=1}^n ((Dr - 1)^2 * S) \quad \text{رابطه‌ی ۱۲}$$

$Q_s$ : شاخص جمع مطلوبیت  
 $S$ : نسبت مساحت هر رده‌ی خطر به مساحت کل حوزه  
 $Dr$ : تراکم لغزش در هر رده‌ی خطر  
 $n$ : تعداد رده‌های خطر

#### نتایج

##### ارزیابی نسبی فعالیت زمین‌ساختی IRAT

بررسی نتایج حاصل از ارزیابی نسبی فعالیت زمین‌ساختی (مدل IRAT) نشان داد که فعالیت زمین‌ساختی ۶ زیرحوزه شدید، ۷ زیرحوزه متوسط، و ۲ زیرحوزه کم است (جدول ۳ و شکل ۳). نتایج مدل IRAT نشان می‌دهد که مقدار آن بین ۱/۸ تا ۲/۶ متغیر، و بیانگر این است که ۴۰/۵۲٪ از منطقه در فعالیت زمین‌ساختی زیاد، ۴۷/۴۲٪ متوسط و ۱۲/۰۶٪ در

#### ارزیابی و مقایسه‌ی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (LNRF) و (IRAT)

در ارزیابی مدل‌های IRAT، LNRF برای پیش‌بینی خطر وقوع زمین‌لغزش‌های آبخیز سد چراغ‌ویس کردستان، از سه شاخص زمین‌لغزش، ویژگی دقت نتایج پیش‌بینی شده، و نسبت تراکمی استفاده شد.

#### شاخص زمین‌لغزش $Li$

شاخص زمین‌لغزش درصد نسبت سطح لغزش در هر پهنه به مساحت آن پهنه، تقسیم بر نسبت مجموع لغزش به سطح کل پهنه‌ها است (پورهاشمی و همکاران ۲۰۱۴).

$$Li = \left( \frac{S_i}{A_i} \right) / \left( \sum_{i=1}^n \left( \frac{S_i}{A_i} \right) \right) \times 100 \quad \text{رابطه‌ی ۹}$$

$Li$ : شاخص وقوع لغزش در هر پهنه‌ی خطر (به درصد)  
 $S_i$ : مساحت لغزش در هر پهنه‌ی خطر  
 $A_i$ : مساحت هر پهنه‌ی خطر  
 $N_i$ : تعداد طبقه‌های خطر

#### ویژگی دقت نتایج پیش‌بینی شده $P$

برای مقایسه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی شده از ویژگی دقت نتایج پیش‌بینی شده ( $P$ ) استفاده شد. شاخص آماری دقت نتایج پیش‌بینی شده برای پهنه‌های خطر لغزش زیاد و خیلی زیاد کاربرد دارد (نیازی و همکاران ۲۰۱۰).

$$P = K_s / S \quad \text{رابطه‌ی ۱۰}$$

$P$ : دقت مدل در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد  
 $K_s$ : مساحت سطح لغزشی افته در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد  
 $S$ : مساحت پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد

#### نسبت تراکمی

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 انطباق نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مدل‌های مختلف با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های حوزه، اگر درصد سطح 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



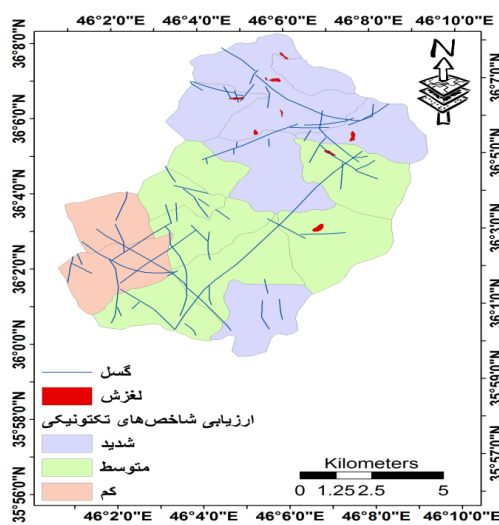
تراکم گسل‌ها در سطح حوزه ۰/۴۱ کیلومتر بر کیلومتر مربع است که نشان از فعالیت زمین‌ساختی حوزه دارد. بررسی گسل‌ها و توزیع آن‌ها نشان می‌دهد که تمام زیرحوزه‌ها متأثر از گسل‌ها است و عمده‌ی لغزش‌های حوزه در زیرحوزه‌هایی رخ داده که تعداد و طول گسل‌ها در آن بیشتر است (شکل ۴). بررسی معادله‌ی همبستگی در SPSS بین فاصله‌ی اقلیدسی محاسبه‌شده‌ی گسل و لغزش نشان می‌دهد که بین گسل‌ها و رخداد لغزش‌ها رابطه‌ی متوسط و مثبت معنی‌دار وجود دارد (رابطه‌ی ۱۳).

طبقه‌ی کم است. نتایج تلفیق نقشه‌های ارزیابی شاخص-های زمین‌ساختی IRAT با نقشه‌ی گسل و زمین‌لغزش‌ها نشان می‌دهد که از مجموع کل زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه ۷ لغزش ۷۷/۷۷٪ از زمین‌لغزش‌های منطقه با مساحت ۴۸/۶۷ کیلومتر مربع در طبقه‌ی شدید، و ۲ لغزش با ۲۳/۲۲٪ در طبقه‌ی متوسط است (شکل ۴ و جدول ۴). نتایج بررسی گسل‌های منطقه نشان می‌دهد که مجموع طول گسل‌های منطقه ۴۹/۵۶ کیلومتر و روند آن‌ها عمدتاً جنوب غربی-شمال شرقی و در امتداد زمین‌لغزش‌های منطقه است.

0.481 Pearson correlation, sig0.000 is Significant at the 0.01 level (2-tailed)

جدول ۳- نتایج ارزیابی شاخص‌های شدت فعالیت زمین‌ساختی و IRAT.

Sl	Hi	Tp	Af	Bs	IRAT	طبقه‌بندی	مساحت Km2	زیرحوزه
۱	۲	۲	۱	۳	۱/۸	شدید	۵/۸۲	T4
۱	۳	۲	۳	۳	۲/۴	متوسط	۱۰/۳۲	T3-1
۱	۲	۲	۳	۳	۲/۲	متوسط	۱۰/۸۳	T3-2
۱	۱	۱	۳	۳	۱/۸	شدید	۶/۷۸	T3-3-1
۳	۱	۲	۳	۲	۲/۲	متوسط	۷/۹۱	T3-3-2
۱	۳	۲	۳	۳	۲/۴	متوسط	۹/۹۳	T3-3-int
۳	۲	۲	۳	۳	۲/۶	کم	۸/۳۲	T3-4-1
۲	۳	۲	۳	۳	۲/۶	کم	۶/۱۸	T3-4-2
۳	۲	۲	۲	۲	۲/۲	متوسط	۴/۲۵	T3-4-3
۲	۳	۲	۳	۲	۲/۴	متوسط	۷/۹۶	T3-4-int
۱	۳	۲	۳	۳	۲/۴	متوسط	۵/۷۹	T3-5
۱	۳	۲	۳	۱	۲	شدید	۹/۲۳	T3-int
۱	۲	۲	۲	۲	۱/۸	شدید	۷/۵۷	T2
۱	۳	۲	۱	۲	۱/۸	شدید	۳/۳۸	T1
۱	۳	۲	۳	۱	۲	شدید	۱۵/۸۹	T-int



شکل ۴- ارزیابی نسبی فعالیت زمین‌ساختی IRAT، گسل و زمین‌لغزش‌ها.

جدول ۴ - مساحت مناطق از لحاظ حساسیت به فعالیت زمین‌ساختی (IRAT) و تعداد زمین لغزش مشاهده شده.

طبقه‌بندی	مساحت (Km <sup>2</sup> )	تعداد زمین لغزش	درصد وقوع زمین لغزش	مساحت زمین لغزش (Km <sup>2</sup> )
زیاد	۴۸/۶۷	۷	۷۷/۷۷	۲۸/۲۷۵۲
متوسط	۵۶/۹۸	۲	۲۲/۲۳	۸/۰۸۵
کم	۱۴/۵	۰	۰	۰

رابطه‌ی ۱۳

#### نتایج پهنه‌بندی زمین لغزش‌های حوزه با مدل LNRF

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بین عوامل موثر در وقوع حرکت‌های توده‌یی بیش‌ترین تأثیر و وزن عامل را فاصله از گسل با وزن ۲ نسبت به سایر عوامل در امکان ناپایداری منطقه دارد. بنابراین در حوضه بررسی شده حرکت‌های زمین‌ساختی نقش تشدید و تسریع‌کننده‌یی در وقوع حرکت‌های توده‌یی دارند. برای اثبات این مسئله، نقشه‌ی گسل با فاصله‌ی ۱۰۰۰ متر بافریندی و با نقشه‌ی پراکنش حرکت‌های توده‌یی تلفیق شد (جدول ۶). بیش‌ترین حرکت‌های دامنه‌یی در فاصله‌ی کم‌تر از ۱۰۰۰ متر با ۹۱/۶۴٪ از کل مساحت رخ داده است (شکل ۶).

بر اساس نتایج جدول‌های مقاطع بین متغیر واحدهای عامل و اندازه‌های رخداد لغزش در عامل گسل بررسی و مقایسه شد. مقایسه‌ی تعداد پیکسل‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین لغزش در واحد کاری فاصله از گسل در مدل IRAT رخ داده است. مقایسه‌ی درصد احتمال اندازه‌های انتظاررفته و مشاهده شده از پیکسل‌ها نشان می‌دهد که گسترش و تعداد رخداد لغزش‌ها در

واحد کاری فاصله از گسل بیش‌تر از سایر عوامل موثر در وقوع زمین لغزش است، به طوری که از مجموع پیکسل‌ها ۹۷۴ شبکه با مساحت ۴۸۶۷ هکتار از وسعت حوزه با توجه به رخداد لغزش در طبقه‌ی خطر شدید است، در حالی که در سایر پیکسل‌ها لغزشی رخ نداده است. نتایج آزمون آماری مربع کای بر اساس جدول‌های مقاطع نشان می‌دهد که تراز معنی‌داری مشاهده برای اندازه‌های کای پیرسون کم‌تر از ۰/۴۸ است که بدین معنی است که اگر فرضیه‌ی صفر صحیح باشد کم‌تر از ۰/۴۸ در ۱۰۰۰ انتظار می‌رود که مقدار کم‌ترین مربع کای به بزرگی عددهای محاسبه‌یی باشد (رابطه‌ی ۱۳). بنابراین چون تراز معنی‌دار مشاهده شده بسیار کوچک است، می‌توان فرضیه‌ی صفر را رد کرد و اختلاف معنی‌دار بین فاصله از گسل و وقوع لغزش را به اثبات رساند. مثبت بودن ضریب‌ها به معنی این است که مقدار مشاهده شده از مقدار انتظارداشته بیشتر است. منفی بودن باقی‌مانده‌ها به این معنی است که مقدار مشاهده شده از مقدار انتظارداشته کم‌تر بود. منفی یعنی وقوع لغزش کم‌تر از توزیع طبیعی آن در منطقه است که در مورد لغزش و گسل همگی مثبت است (جدول ۵).

جدول ۵ - ضریب‌های فاصله از گسل.

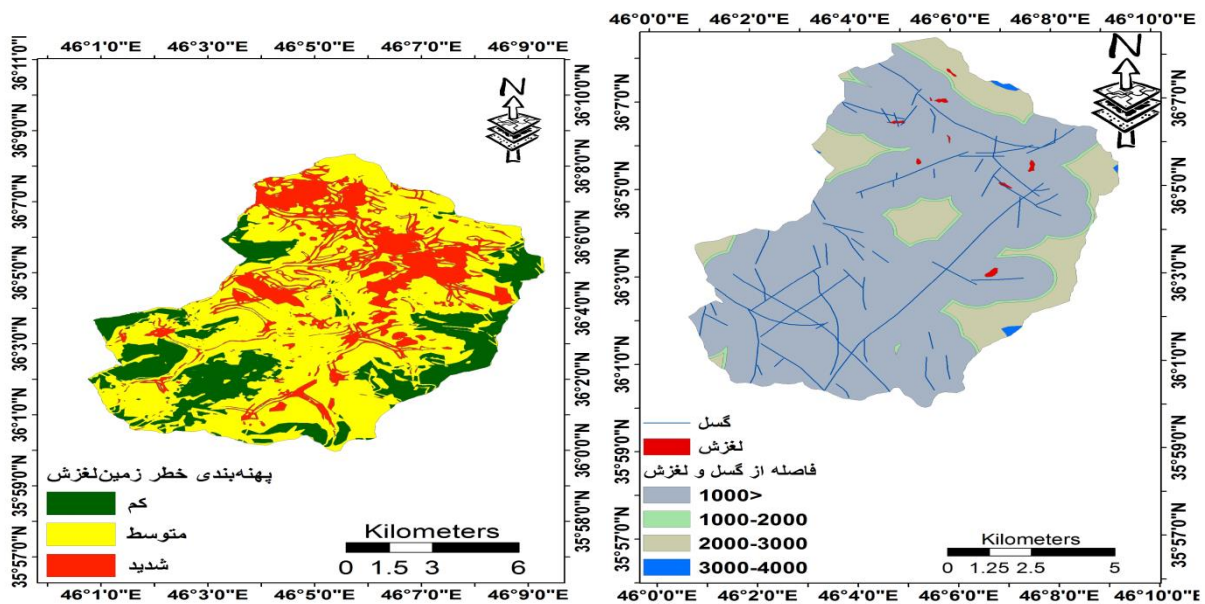
فاصله از گسل	<۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	>۳۰۰۰
ضریب	۰/۱۲۵	۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۰۷۹

بررسی‌های میدانی و تحلیل نقشه‌ی پهنه‌بندی مدل LNRF نشان می‌دهد که از تعداد ۹ لغزش در محدوده‌ی بررسی شده، بیش از ۹۱/۶۴٪ از مساحت کل لغزش‌های رخ داده با مساحت ۳۳۳۲۱۸/۳ مترمربع به تعداد ۸ لغزش در طبقه‌ی خطر زیاد و در فاصله‌ی یک کیلومتری از گسل‌ها رخ داده است. به طوری که

۸۱/۳٪ از مساحت طبقه‌ی خطر پهنه‌بندی زیاد حوضه سد چراغ‌ویس در این محدوده است (جدول ۶ و شکل ۵). مدل پهنه‌بندی LNRF نشان می‌دهد که ۲۳/۴۲٪ از حوزه در طبقه‌ی خطر ناپایداری شدید، ۴۰/۶۳٪ در طبقه‌ی متوسط و ۳۵/۹۵٪ در طبقه‌ی کم است (جدول ۷ و شکل ۵).

جدول ۶- مساحت و طبقه‌های لغزش با وزن فاصله از گسل و درجه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مدل LNRf.

طبقه	فاصله از گسل	مساحت طبقه‌ها		مساحت لغزش‌ها		LNRf	وزن	درجه‌ی خطر
		M <sup>2</sup>	درصد	M <sup>2</sup>	درصد			
1	<1000	9772190.3	81/3	333218/3	91/64	3/6	2	زیاد
2	1000-2000	17866311	15	30384/2	8/36	0/33	0	کم
3	2000-3000	3678774	3	.	.	.	0	کم
4	>3000	887922	0/7	.	.	.	0	کم
جمع		120154910	100	363602/5	100			



شکل ۶- فاصله از گسل و لغزش رخ داده در واحد.

شکل ۵- پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل LNRf.

جدول ۷- درصد مساحت خطر ناپایداری لغزش‌های منطقه با استفاده از مدل LNRf و IRAT.

مدل	کم	متوسط	زیاد
LNRf / km <sup>2</sup>	43/18	48/86	28/11
درصد	35/95	40/63	23/42
IRAT/K m <sup>2</sup>	14/5	56/98	48/67
درصد	12/06	47/42	40/52

است. بر اساس معادله‌ی شاخص آماری دقت نتایج پیش‌بینی برای دو مدل LNRf و IRAT، دقت مدل برای پهنه‌بندی خطر زیاد در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تهیه شد (جدول ۹). مقدار شاخص نسبت تراکمی با استفاده از رابطه‌ی نسبت تراکمی در مدل‌های LNRf و IRAT در جدول (۱۰) و مقدار شاخص جمع-کیفیت در جدول ۱۱ نشان داده شد. نتایج ارزیابی مدل‌ها با استفاده از سه شاخص به شکل جمع‌بندی در

نتایج ارزیابی مدل‌های (LNRf) و (IRAT) نتایج ارزیابی مدل LNRf و IRAT با استفاده از شاخص زمین‌لغزش تهیه شد (جدول ۸). با استفاده از شاخص‌های ارزیابی و مقایسه‌ی مدل‌ها-ی ارزیابی خطر زمین‌لغزش در آبخیز سد چراغ‌ویس کردستان استنباط می‌شود که مدل LNRf نسبت به مدل IRAT با مقدار مجموع کیفیت به مقدار ۲/۱۶٪ نشان می‌دهد که عمل کرد مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بهتر

جدول ۱۲ نمایش داده شد. بر اساس نتایج محاسبه با استفاده از شاخص‌های ارزیابی و مقایسه‌ی مدل‌های ارزیابی خطر زمین لغزش در آبخیز سد چراغ‌ویس کردستان استنباط می‌شود که مدل LNRf نسبت به مدل IRAT با مقدار مجموع کیفیت به مقدار ۲/۱۶٪ نشان می‌دهد که عمل کرد مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بهتر است (جدول ۱۲).

جدول ۸- شاخص‌های زمین لغزش (Li) در مدل LNRf و IRAT در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش.

مدل پهنه‌بندی	طبقه‌ی خطر	Si (هکتار)	Ai (هکتار)	تراکم در هر رده Si/Ai	$\sum \ln(Si/Ai)$	%Li
IRAT	کم	۰	۱۴۵۰	۰	۰	۰
	متوسط	۸۰۸/۵	۵۶۹۸	%۱۴۲	۰/۷۲۳	۱۹/۶۴
	زیاد	۲۸۲۷/۵۲	۴۸۶۷	%۵۸۱	۰	۸۰/۳۶
LNRf	کم	۳۰۳/۸۴۲	۴۳۱۸	%۰/۰۷۱	۰	۵/۶۵
	متوسط	۰	۴۸۸۶	۰	۱/۲۵۶	۰
	زیاد	۳۳۳۲/۱۸۳	۲۸۱۱	۱/۱۸۵	۰	۹۴/۳۵

جدول ۹- شاخص آماری دقت نتایج پیش‌بینی‌شده برای دو مدل LNRf و IRAT.

ردیف	مدل	مساحت زمین لغزش دو پهنه زیاد و خیلی کم (Ks)	مساحت دو پهنه زیاد و خیلی زیاد (S)	P = (Ks/s)
۱	IRAT	۲۸۲۷/۵۲	۴۸۶۷	۰/۵۸۱
۲	LNRf	۳۳۳۲/۱۸۳	۲۸۱۱	۱/۱۸۵

جدول ۱۰- مقدار شاخص‌های نسبت تراکمی در مدل‌های LNRf و IRAT در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش.

مدل پهنه‌بندی	طبقه‌ی خطر	Si (هکتار)	Ai (هکتار)	$\sum si$	$\sum Ai$	نسبت تراکمی (Dr)
IRAT	کم	۰	۱۴۵۰	۰	۰	۰
	متوسط	۸۰۸/۵	۵۶۹۸	۳۶۳۶/۰۲۵	۱۲۰۱۵	۰/۴۷
	زیاد	۲۸۲۷/۵۲	۴۸۶۷	۰	۱/۹۲	۱/۹۲
LNRf	کم	۳۰۳/۸۴۲	۴۳۱۸	۰	۰	۰/۲۳
	متوسط	۰	۴۸۸۶	۳۶۳۶/۰۲۵	۱۲۰۱۵	۰
	زیاد	۳۳۳۲/۱۸۳	۲۸۱۱	۰	۳/۹۱	۳/۹۱

جدول ۱۱- مقدار کیفیت با استفاده از مدل‌های LNRf و IRAT در طبقه‌های مختلف خطر.

Qs	(Dr-1) <sup>2</sup> × S	S=Si/St	(Dr-1) <sup>2</sup>	Dr-1	Dr	طبقه‌ی خطر	مدل پهنه‌بندی
	۰	۰/۱۲۱	۰	۰	۰	کم	IRAT
۰/۴۸	۰/۱۳۳	۰/۴۷۴	۰/۲۸	-۰/۵۳	۰/۴۷	متوسط	
	۰/۳۵	۰/۴۱	۰/۸۵	۰/۹۲	۱/۹۲	زیاد	
	۰/۲۱	۰/۳۶	۰/۵۹	-۰/۷۷	۰/۲۳	کم	LNRf
۲/۱۶	۰	۰/۴۱	۰	۰	۰	متوسط	
	۱/۹۵	۰/۲۳	۸/۴۷	۲/۹۱	۲/۹۱	زیاد	

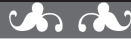
### بحث و نتیجه گیری

استفاده از شاخص‌های ارزیابی زمین‌ساختی زمین‌لغزش‌ها و مدل‌های پهنه‌بندی خطر ناپایداری به‌صورت تطبیقی می‌تواند تحلیل مناسبی از زمین‌لغزش‌ها و دقت روش کار به‌دست دهد. در این بررسی سعی شد که با استفاده از شاخص‌های IRAT و مدل LNRf و مقایسه‌ی تطبیقی آن‌ها، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش آبخیز سد چراغ‌ویس کردستان تهیه و ارزیابی شود. نتایج ارزیابی شاخص‌های IRAT نشان می‌دهد که ۷۷/۷۷٪ از لغزش‌ها در طبقه‌ی شدید زمین‌ساختی و ۲۲/۲۳٪ در طبقه‌ی متوسط است. به دلیل تراکم گسل‌ها به مقدار ۰/۴۱ کیلومتر بر کیلومتر مربع در نواحی گسترده‌ی از منطقه امکان لغزش شدید است. بررسی گسل‌ها و توزیع آن‌ها نشان می‌دهد که تمام زیرحوزه‌ها متأثر از گسل‌ها است و عمده‌ی لغزش‌های حوزه، در زیرحوزه‌هایی رخ داده که تعداد و طول گسل‌های آن بیش‌تر است، و بر این اساس ۶ زیرحوزه، فعالیت زمین‌ساختی شدید دارد. بررسی معادله‌ی همبستگی بین فاصله‌ی اقلیدسی محاسبه‌شده‌ی گسل و لغزش نشان می‌دهد که بین گسل‌ها و رخداد لغزش‌ها رابطه‌ی متوسط و مثبت معنی‌دار وجود دارد. بررسی شاخص فاصله از گسل در مدل LNRf نیز نشان می‌دهد که بیش از ۹۱/۶۴٪ از مساحت کل لغزش‌های رخ داده در محدوده‌ی خطر ناپایداری زیاد است که بیانگر تأثیر مهم گسل در رخداد لغزش‌ها است. نتایج مدل LNRf نشان داد که ۶۴/۰۵٪ از نواحی که امکان لغزش در آن بسیار شدید و متوسط خطر است، منطبق بر نواحی است که فراوانی لغزش آن‌ها زیاد است. نتایج روش جدول‌های متقاطع و شمارش نقطه‌های لغزشی در هر پهنه نشان داد که بیش‌ترین مساحت حوزه در هر دو مدل در درجه‌ی خطر ناپایداری شدید زمین‌ساختی و متوسط است. تنها درصد کمی از زمین‌لغزش‌ها در طبقه‌ی خطر کم است که این موضوع در هر دو مدل و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر به‌خوبی دیده می‌شود. بررسی و تطبیق دو مدل نشان می‌دهد که تطبیق هر دو مدل در طبقه‌ی

متوسط خطر خوب است، اما در طبقه‌ی خطر شدید بر اساس هم‌خوانی گسل‌ها و لغزش‌ها دقت مدل IRAT بیشتر است. همبستگی پذیرفتنی نقشه‌ی حساسیت به فعالیت زمین‌ساختی (IRAT) و فراوانی لغزش‌های رخ داده نشان می‌دهد که استفاده از این روش در برآورد فعالیت حرکت‌های دامنه‌یای (لغزش) می‌تواند ابزار مناسبی برای ارزیابی امکان خطر پهنه‌بندی لغزش باشد. بر اساس نتایج محاسبه‌ی انجام‌گرفته با استفاده از شاخص‌های ارزیابی و مقایسه‌ی مدل‌های ارزیابی خطر زمین‌لغزش در آبخیز سد چراغ‌ویس کردستان استنباط می‌شود که مدل LNRf نسبت به مدل IRAT با مقدار مجموع کیفیت ۲/۱۶٪ نشان می‌دهد که عمل‌کرد مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بهتر است. نتایج این بررسی با تحقیقات انجام‌شده‌ی حبیبی (۲۰۱۴)، مصفايي و همکاران (۲۰۰۹)، گرنژادی و حیدری (۲۰۱۴)، زارع و همکاران (۲۰۱۸)، شریفی و همکاران (۲۰۱۳) و الحمدونی و همکاران (۲۰۰۸)، الماسیان و همکاران (۲۰۱۱)، شریفی و همکاران (۲۰۱۳) و یمانی و همکاران (۲۰۱۱) هماهنگی خوبی را نشان می‌دهد، با این تفاوت که در این تحقیق از شاخص‌های بیش‌تر (۵ شاخص) و بررسی هم‌زمان گسل و لغزش نیز بهره‌برده شده است. با توجه به حساسیت آبخیز سد چراغ‌ویس به رخداد لغزش‌ها، پیشنهاد می‌شود تغییر کاربری زمین و برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از سیمای سرزمین حوضه سد با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام شود و کاربری زمین و مدیریت یک‌پارچه در طرح آمایش و مدیریت حوزه‌های آبخیز سامان‌دهی شود. به‌علت رفتار پیچیده و غیرخطی بودن متغیرهای موثر در وقوع لغزش در منطقه، پیشنهاد می‌شود در بررسی‌های مربوط به شناسایی رفتار پیچیده‌ی دامنه‌ها در خصوص رخداد زمین‌لغزش از شاخص‌های هندسی دیگری همچون تأثیر انحنا، انحنا، متقاطع، انحنا سطح و انحنا گوسی برای تکمیل کردن نتایج این پژوهش‌ها استفاده شود.

- Alipoor R, Poorkermani M, Zare M, El-Hamdouni R. 2011. Active tectonic assessment around Rudbar Lorestan dam site, High Zagros Belt (SW of Iran). *Geomorphology*. 128: 1–14. (In Persian).
- Almasian M, Roshanbakht K, Tavakolizadeh M. 2011. Young and active tectonics in the area of Kashan, Qom fault system Zefreh. *Journal of Sciences, Islamic Azad University, Autumn*. 21( 81): 90–106. (In Persian).
- Bull WB, Mcfadden LD. 1977. Tectonic geomorphology of the north and south of the Garlock fault, Slope, Baghro Dag, *Geographic Researches*. 48: 123–138. (In Persian).
- Cannon PJ. 1976. Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin, *Oklahoma Geology Notes*. 36 (1): 3–16.
- Chandel V, Karbara K, Chauhan Y. 2011. RS and GIS landslide hazard zonation of mountainous terrains, A Study From Middle Himalayan Kullu District, Himachal Pradesh, India. *International Journal of Geometrics and Geosciences*. 2(1): 121- 132.
- Della Seta M, Del-Monte M, Fredi M, Miccadei E, Troiani F. 2008. Morphotectonic evolution of the Adriatic piedmont of the Apennines: advancement in the knowledge of the Marche–Abruzzo border area. *Geomorphology*. 102: 119–129.
- Department of Natural Resources Kurdistan. 2013. master plan Watershed Dam Weiss lights Kurdistan.
- El-Hamdouni R, Irigaray C, Fernández T, Chacón J, Keller EA. 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*. 96: 150–173.
- Ghobadi M, Jalali H, Sa'edi B. 2017. Evaluation of the efficiency of information value methods, density and frequency ratio in LNRF hazard zonation, landslide area in the back of Darband, Kermanshah, *Engineering Geology Journal*. 11(1): 91-114. (In Persian).
- Guarnieri P, Pirrotta C. 2008. The response of drainage basins to the late quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*. 95: 260-273.
- Habibi A. 2014. Landslide hazard zonation for determination appropriate regions with AHP model in dry areas of Iran Khuzeestan. *International Journal of Forest, Soil and Erosion*. 4(1): 16–20. (In Persian).
- Habibi A. 2015. Landslide survey using morphotectonic indicators, *Journal of Engineering and Management of Watershed*. 7(1): 98–108. (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).
- Ildoromi A, Noori H, Mohammadi M, Mousavi SM. 2017. Investigating the effective factors and land landing deterioration zone using AHP and logistic regression in Aswand Basin, *Journal Environmental Erosion Research*. 7(4): 1–23. (In Persian).
- Keller EA, Pinter N. 2002. *Active tectonics: Earthquakes, uplift and landscape*, New Jersey, Prentice Hall.
- 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.
- 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).
- Mosafae J, Onegh M, Shariat Jaffari M. 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, Karimi H, Naseri B, Salajegheh A. 2013. Comparison of different models for landslide hazard zonation in Zangvan Ilam watershed, Rangeland and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources. 67(2):459-474.
- 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).
- Onegh M. 2004. Landslide hazard zonation of Ziarat Wwatershed in Gorgan. Research Project of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 120 p. (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).
- Proletarian A, Fotohi S, Rigi H. 2017. Efficiency of landslide hazard zonation using information value and surface density models in Siستان and Baluchestan province, Advanced Applied Geology Journal. 24: 1-11. (In Persian).
- Ramirez Herrera MT. 1988. Geomorphic assessment of active tectonic in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt ,Earth Surface and Landforms. 23:317-322.
- Ranjbar M, Rakkari M. 2012. Landslide zonation using the LNRF method on the Haraz road (from Hasht to Larijan but Azadeh), Geography (Journal of the Iranian Geographic Society). 33(10): 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).
- Sepahand A, Moradi H, Abdolmalaki P. 2016. Landslide hazard zonation using Artificial Neural Network in a part of Haraz Watershed, Journal of Watershed Research (Research and Building). 113: 9-19. (In Persian).
- Sharifi R, Poorkermini M, Salgi A, Jamaliyan N. 2013. Evaluating the trend of active tectonic zonation of landslide affected SMF index. National Conference of Iranian Tectonics. Tehran. (In Persian).
- Shirani K, Chavoshi S, Ghauomian J. 2006. Assessment and evaluation landslide susceptibility zonation in Padena Semirom, Science Research Esfahan university. 23(1): 23-38. (In Persian).
- Yamani MBS, Jafari Aghdam M. 2011. Impact neo tectonic in the morphology drainage basin western Zagros. Geographical Environment. 1: 68-82. (In Persian).
- Zare M, Shabani M, Soleimanpour M, Ravari Roštami A. 2018. Landslide hazard assessment using LNARF and WLAN models. F in Khurasan Watershed, Fars Province. Watershed Research (Research and Development). 118: 23-36. (In Persian).



## ***Watershed Management Research***

VOL. 32, No. 3, Ser. No: 124, Autumn 2019, pp. 37 -52  
DOI: 10.22092/wmej.2019.124214.1171

### **Landslide Hazard Zoning at the Cheragh Veis Dam Watershed of Kurdistan Using the IRAT and LNRF Models**

**Fouad Ebadi**

Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural and Environmental Sciences, Malayer University

**Alireza Ildoromi\***

Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural and Environmental Sciences, Malayer University

**Hamid Nouri**

Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural and Environmental Sciences, Malayer University

**Khaled Babaei**

Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University

\*Corresponding Author Email: ildoromi@gmail.com

Received: 18 November 2018 Accepted: 12 March 2019

#### **Abstract**

Landslide is one of the most important agents of soil erosion and occurrence of natural disasters that causes annually damage in Iran. Morphotectonic indices and landslide hazard zonation models have been increasingly used in the study of slope instability. The purpose of this study was to assess the zoning of landslide hazard at the Cheragh Veis Dam Watershed of Kurdistan using the IRAT (LNRF) model and comparative comparisons of them using the cross-sectional table technique and landslide hazard zonation assessment indicators. The results of the IRAT evaluation indicate that 77.77% of the landslides are in the tectonic category; however, using the LNRF model, 64.05% occur in areas with a very high potential that is consistent with the sub-basins with the highest number and large slip density. Moreover, more than 91.64% of the total area of landslides occur in high risk areas and within less than 1000 meters of each other. An analysis of the cross-sectional tables indicate that both zoning models occur in the middle class risk assessment with an acceptable compliance, but on the high risk side due to the faults' alignment with landslides, the IRAT model is more accurate. The total quality indicators as the LNRF model, 2.16 % indicates that the model performance is better for zoning the landslide risk in the catchment area of the Kesht-e-Wis Dam. It is suggested that any land use change and planning to exploit the landform of the dam watershed be in accordance with the land risk mapping guidelines.

**Keywords:** Cheraghveis, IRAT, landslide, LNRF, morphotectonics