

ارزیابی خطر زمین لغزش و پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل LIM و بکارگیری تکنیک GIS در حوزه آبخیز گیوی چای، اردبیل

عقیل مددی^۱
بهنام نوعی^۲
اباذر اسمعیلی^۳

چکیده

شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های موجود در یک حوضه و پهنه‌بندی خطر آن یکی از ابزارهای اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل این پدیده و انتخاب مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین گزینه می‌باشد. این تحقیق به منظور ارزیابی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش و پهنه‌بندی این پدیده بر اساس عوامل اثرگذار با مدل LIM انجام گرفت. برای انجام این کار ابتدا ۱۱ عامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها با انجام مطالعات و بررسی‌های میدانی، شناسایی و ارزیابی شدند. سپس بر اساس وزن هر یک از عوامل مؤثر در مدل، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل LIM صورت گرفت. پس از به دست آوردن وزن هر یک از نقشه‌های عاملی و ستون وزن نهایی هر یک از واحدها (شامل: طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، واحدهای سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، بارش سالانه و گروه‌های هیدرولوژیک خاک‌ها) با استفاده از مدل LIM از جمع جبری ۱۱ لایه عاملی، نقشه وزن نهایی به دست آمد. بررسی و تحلیل نتایج ۱۱ نقشه رستری عوامل مؤثر در زمین

Email: aghil48madadi@yahoo.com.

۱- استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۲- دانشجوی ارشد جغرافیای طبیعی (ژئومرفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی.

۳- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی.

لغزش‌های حوضه گیوی چای با استفاده از مدل LIM نشان داد که مناطقی با بارش ۴۰۵-۳۷۵ میلی‌متر در سال، طبقات ارتفاعی بین ۱۹۲۷-۱۵۱۲ متر از سطح دریا، مناطق با پوشش گیاهی کم حوضه، مناطق با نفوذپذیری زیاد خاک، دامنه‌های رو به شرق و شمال شرق حوضه، به ترتیب بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش‌های منطقه داشتند.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، پهنه‌بندی، مدل LIM، گیوی چای.

مقدمه

زمین لغزش به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی عمده در مناطق کوهستانی محسوب می‌شود. حوضه گیوی چای نیز با داشتن چهره کوهستانی و مرتفع و شرایط طبیعی مختلف، پتانسیل‌هایی بالقوه برای ایجاد زمین لغزش را دارا می‌باشد، این امر می‌تواند شهرها، روستاها، مراتع، مزارع و غیره را تهدید کرده و خسارت زیادی را ببار آورد. بنابراین هدف تحقیق حاضر ارزیابی خطر زمین لغزش و پهنه‌بندی آن در حوضه آبخیز گیوی چای می‌باشد. در حوضه گیوی چای تحقیقی در زمینه زمین لغزش صورت نگرفته است، اما مطالعات ارزنده‌ای در رابطه با موضوع پهنه‌بندی زمین لغزش‌ها انجام گرفته است که بطور مختصر به آنها پرداخته می‌شود. آنبالاگان^۱ (۱۹۹۲)، به شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در ناحیه کوهستانی کاتگودام-نانیتال در کومال هیمالیا و پهنه‌بندی آن با استفاده از فاکتور ارزیابی خطر زمین لغزش پرداخت. سعدالدین (۱۳۷۳)، با بهره‌گیری از روش‌های آماری و رگرسیون چند متغیره، حوضه آبخیز چاشم و خطیر کوه در استان سمنان را با روش دستی و شبکه‌بندی نا منظم از نظر زمین لغزش پهنه‌بندی نموده است. روستایی (۱۳۷۹)، از مدل آنبالاگان برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه اهر چای استفاده کرده است. ناگاراگان^۲ و همکاران (۲۰۰۰)، برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در نواحی حاره‌ای هند از ارزش وزن‌دهی به پارامترهای منطقه‌ای و اقلیمی استفاده کردند. طلایی دولق و غیومیان (۱۳۸۰) عوامل مؤثر بر لغزش‌خیزی روستاهای جنوب غرب خلخال را مطالعه کرده و به این

1- Anbalagan

2- Nagaragan

نتیجه دست یافتند که حضور رس در سازندهای منطقه به عنوان یکی از عوامل اصلی حرکت دامنه‌ای است. مهدیفر و جعفری (۱۳۸۰)، خطر زمین لغزش در استان لرستان را با استفاده از شاخص درصد سطحی انجام داده‌اند. اوکاک اوغلو^۱ و همکاران (۲۰۰۱)، نیز در ناحیه داگوی ترکیه در غرب دریای سیاه به مطالعه دینامیک حرکات توده‌ای پیچیده ناشی از بارش سنگین پرداختند. اسمعیلی (۱۳۸۱)، حوضه آبخیز گرمی چای را با استفاده از GIS و تحلیل آماری پهنه‌بندی نموده و عامل کاربری اراضی را از عوامل مهم و مؤثر در وقوع زمین لغزش قلمداد کرده است. اسپیزوا^۲ و بنگوچه‌آ^۳ (۲۰۰۲)، خطر زمین لغزش در حوضه ریوگرانده آندهای مرکزی آرژانتین را پهنه‌بندی کردند. جرارد و گاردنر^۳ (۲۰۰۲)، به بررسی ارتباط بین زمین لغزش و تغییر کاربری اراضی حوضه زهکش لیخو کولا در شمال کاتماندو پرداختند. تحقیقات آنها نشان داد که بیشترین معناداری، بین گسیختگی‌های بزرگ روی تراس‌های رها شده و جنگل‌های تخریب یافته وجود دارد. اسمعیلی و همکار (۲۰۰۳)، پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای را با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیره و تحلیل سلسله‌مراتبی در حوضه آبخیز گرمی چای انجام داد و با ارزیابی دو روش پهنه‌بندی، روش تحلیل سلسله‌مراتبی را به دلیل برخورداری از متغیرهای بیشتر و کلاسه‌بندی اصولی وبدون اعمال نظر کارشناس، نسبت به روش رگرسیون چند متغیره مناسب‌تر دانست. محمدخان (۱۳۸۳)، عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز طالقان را با روش سلسله‌مراتبی بررسی نموده است. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر سنگ‌شناسی در وقوع زمین لغزش در منطقه از بقیه عوامل بیشتر بوده است. شادفر و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از مدل LNRFR زمین لغزش‌های حوضه آبخیز جلیسان تنکابن را مورد پهنه‌بندی قرار داده‌اند. فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۷)، پهنه‌بندی حرکت‌های لغزشی حوضه آبخیز دماوند را بررسی نموده‌اند. یمانی و همکاران (۱۳۸۴)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را با استفاده از روش سلسله‌مراتبی، انجام دادند. جعفری (۱۳۸۷)، عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش دامنه شمالی آلاداغ را بررسی کرده و با استفاده از مدل LIM خطر وقوع زمین لغزش را پهنه‌بندی کرده است.

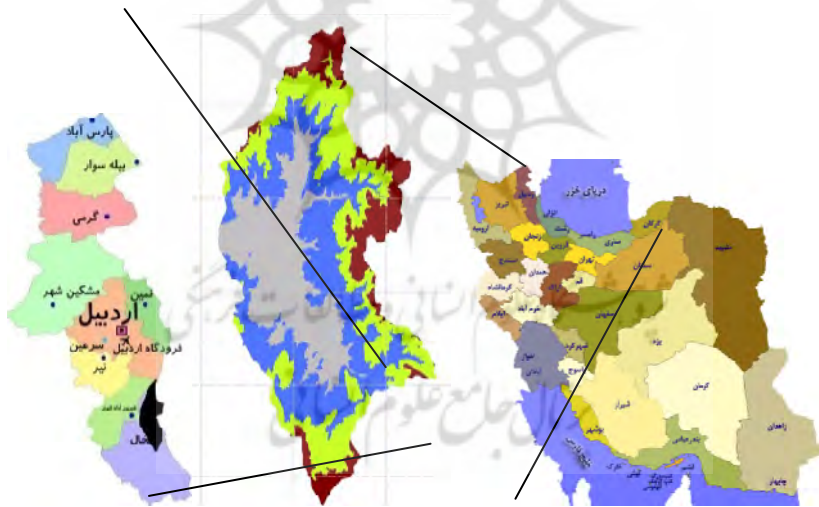
1- Ocakoglu

2- Espizua and Bengochea

3- Gerrard and Gardner

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با وسعتی معادل ۶۱۸ کیلومترمربع در بخش شمال غربی کشور و در موقعیت جغرافیایی "۳۷°۵۴'۰۸" تا "۳۷°۲۶'۶۱" عرض شمالی و "۴۸°۴۰'۶۹" تا "۲۴°۲۱'۲۴" طول شرقی قرار گرفته است. حوضه آبخیز رودخانه گیوی چای از بخش شمالی به حوزه آبریز قره‌سو از خاور به حوضه‌های آبخیز رودخانه‌های آق‌اولر، تاورود و لومیر (ساحل جنوب شرقی دریای خزر)، از بخش جنوبی به حوضه آبخیز پایاب رودخانه قزل‌اوزن و از بخش غربی به حوضه آبخیز سنگور چای محدود می‌گردد (شکل ۱). مرتفع‌ترین نقطه ارتفاعی به ۳۰۰۹ متر از سطح دریا در قله عجم داغ واقع در بخش خاوری و پست‌ترین محل با ارتفاع مطلق ۱۵۱۲ متر از سطح دریا مربوط به گلوگاه حوزه در بخش غربی حوضه می‌باشد. حضور کوه‌ها و تپه‌ها در بخش‌های وسیعی از اراضی حوضه آبخیز گیوی چای موجب افزایش شیب و میزان پستی و بلندی اراضی گردیده است.



شکل (۱) نقشه موقعیت حوضه آبخیز گیوی چای

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر از روش وزن‌دهی بر اساس مدل تحلیل آماری «روش شاخص زمین

لغزش^۱ (L.I.M) برای پهنه‌بندی زمین لغزش‌ها استفاده شده است. این روش که براساس وزن‌دهی به لایه‌های عاملی موثر در پدیده لغزش است، از پیش توسط استیونسون و حوزه استحفاظی کاناگاوا^۲ (۱۹۸۶) در ژاپن به کار گرفته شده است (شریعت جعفری، ۱۳۷۵: ۱۹۰). موادی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است عبارتند از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ به عنوان نقشه پایه به منظور تهیه نقشه ارتفاعی، شیب و...، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی و همچنین عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای. در این تحقیق پس از شناسایی منطقه و ممیزی لغزش‌ها از روی عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای، بررسی‌های میدانی انجام گرفته است. در بررسی زمینی فقط زمین لغزش‌های مهم با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شده و مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین بررسی‌های توپوگرافی، تطبیق نقشه‌های زمین‌شناسی روی زمین در این مرحله انجام پذیرفته است. سپس نتایج حاصل از کارهای دفتری، آرشیوی، میدانی و آزمایشگاهی باهم تلفیق شده و نتیجه‌گیری به عمل آمد. در نهایت لایه‌های اطلاعاتی تهیه شد، نقشه‌های مورد نیاز ترسیم گردیدند و تحلیل‌های آماری و کمی با استفاده از مدل پهنه‌بندی زمین لغزش (LIM) در محیط GIS انجام گرفت.

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش L.I.M

در این روش وزن‌دهی براساس میزان تراکم هر واحد یا طبقه لایه عاملی در پهنه‌های لغزش یافته انجام می‌پذیرد. این مدل بر اساس لگاریتم طبیعی (Ln) نسبت تراکم لغزش هر یک از واحدهای لایه‌های عاملی به تراکم لغزش در کل حوضه به دست می‌آید. در مدل LIM برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، تعداد زیادی از متغیرهای کمی و کیفی مورد استفاده قرار گیرند و متغیرهای کیفی را می‌توان به متغیر کمی تبدیل نمود، و با گرفتن لگاریتم طبیعی (Ln) وزن متغیرهای مختلف را وارد محاسبات کرد. مدل LIM مبتنی بر رابطه زیر می‌باشد (وان وستن^۳، ۱۹۹۵: ۲):

1- Landslide Index Method (LIM)

2- Kanagawa prefecture

3- Van Westen

$$Lnw_i = Ln \left[\frac{Densclas}{Densmap} \right] = Ln \left[\frac{\frac{NPix(Si)}{NPix(Ni)}}{\frac{\sum NPix(Si)}{\sum NPix(Ni)}} \right]$$

در این رابطه: W_i وزن هر یک از واحدهای لایه عاملی بر اساس پیکسل

$Densclas$ = تراکم لغزش در هر واحد از لایه عاملی بر اساس پیکسل

$Densmap$ = تراکم لغزش در کل حوضه بر اساس پیکسل

$Npix(Si)$ = فراوانی لغزش در هر یک واحدهای لایه عاملی و فراوانی کل لغزش بر

اساس پیکسل

$Npix(Ni)$ = فراوانی کل هر واحد از لایه عاملی و فراوانی کل حوضه براساس

پیکسل است

در این روش ابتدا با به دست آوردن فراوانی پیکسل‌های لغزش یافته هر واحد از لایه‌های عاملی و فراوانی کل هر واحد در محیط GIS، تراکم لغزش در هر واحد ($Densclas$) محاسبه گردید؛ سپس از فراوانی پیکسل‌های لغزش یافته در کل حوضه و فراوانی کل حوضه، تراکم لغزش در کل حوضه ($Densmap$) به دست آمد. در نهایت لگاریتم طبیعی نسبت بین تراکم لغزش در هر واحد از لایه عاملی و تراکم لغزش در کل حوضه محاسبه و وزن نهایی برای هر کدام از واحدهای نقشه‌های عاملی حاصل شد. با استفاده از وزن نهایی واحدها، برای هر یک از نقشه‌های عاملی، یک نقشه اطلاعات توصیفی وزنی برای هر یک از ۱۱ لایه عاملی انجام و در نهایت ۱۱ لایه وزنی برای پهنه بندی زمین لغزش تهیه گردید. هر چه وزن واحدها به طرف مثبت میل کند، نشانگر این است که آن واحد نقش مؤثرتری در وقوع زمین لغزش‌ها داشته است. از جمع جبری ۱۱ لایه عاملی وزنی شامل شیب ($slop_w$)، زمین‌شناسی (geo_w)، کاربری اراضی ($Lanuse_w$)، طبقات ارتفاعی (Dem_w) و ... نقشه وزنی نهایی به شکل زیر به دست آمد:

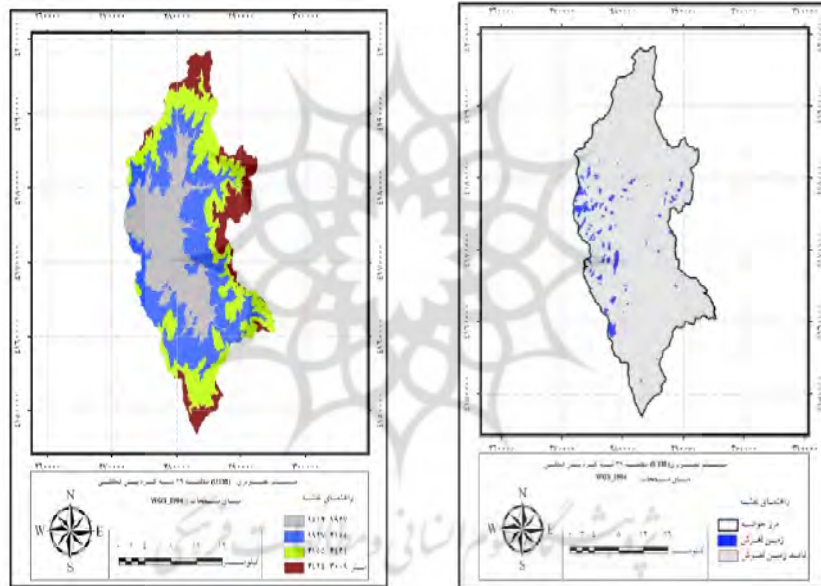
$$\text{Mapfw} = \text{slop}_w + \text{geology}_w + \text{Landuse}_w + \text{Dem} + \dots + n_w$$

سپس نقشه وزنی نهایی با توجه به دامنه تغییرات وزن پیکسل‌ها و بر اساس تغییرات منحنی هیستوگرام آن به پنج کلاس پتانسیل خیلی کم، پتانسیل کم، پتانسیل متوسط، پتانسیل زیاد و پتانسیل خیلی زیاد تقسیم و نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش برای حوضه تهیه گردید.

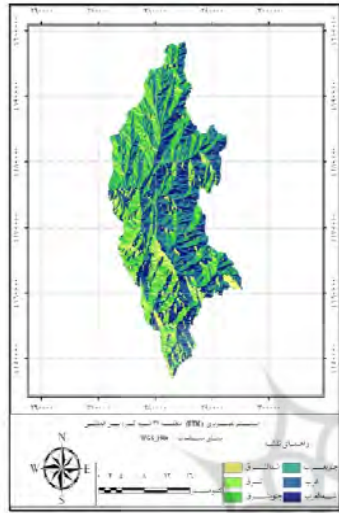
مراحل تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش به شرح زیر می‌باشد:

- مختصات‌دار نمودن نقشه‌های پایه و رقومی کردن آنها در محیط GIS
- تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه با بررسی‌های میدانی و با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) (شکل ۲).
- تهیه لایه‌های اطلاعاتی طبقات ارتفاعی (شکل ۳)، شیب (شکل ۴)، جهت شیب (شکل ۵)، تراکم زهکشی (شکل ۶)، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده‌ها (شکل ۷)، از مدل رقومی نقشه توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰) مربوط به حوضه در محیط GIS.
- تهیه لایه‌های واحدهای سنگ‌شناسی (شکل ۸) و فاصله از گسل (شکل ۹) از روی نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) مربوط به حوضه گیوی چای در محیط GIS.
- تهیه لایه‌های اطلاعاتی پوشش گیاهی (شکل ۱۰)، کاربری اراضی (شکل ۱۱)، با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و در نهایت بازدیدهای صحرائی، نسبت به کنترل نقشه پایه تهیه شده است (شکل ۶).
- بررسی آمار سالانه ایستگاه‌های باران سنجی اعم از سینوپتیک، کلیماتولوژی حوضه و ایستگاه‌های مجاور به منظور تهیه لایه‌های هم بارش حوضه از طریق ضریب همبستگی در محیط GIS (شکل ۱۲).

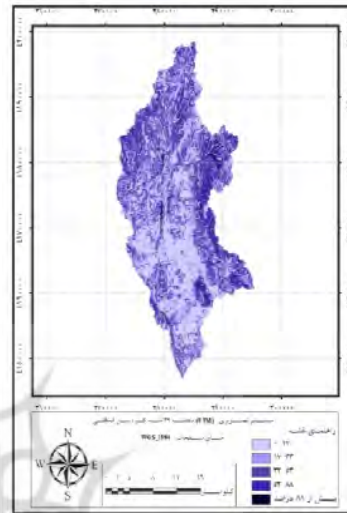
- تهیه لایه اطلاعاتی گروه‌های هیدرولوژیک خاک‌ها بر اساس مطالعات میدانی و نمونه‌برداری. به این شکل که پس از نمونه‌برداری از خاک در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی چگونگی و مقدار نفوذ آب در خاک مشخص شد. بر اساس این آزمایش نشان داد که خاک‌های حوضه از نظر نفوذپذیری به سه نوع تقسیم شدند: خاک‌های با نفوذپذیری کم، متوسط و زیاد (شکل ۱۳).



شکل (۲) نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه
شکل (۳) نقشه طبقات ارتفاعی حوضه



شکل (۵) نقشه جهت شیب حوضه



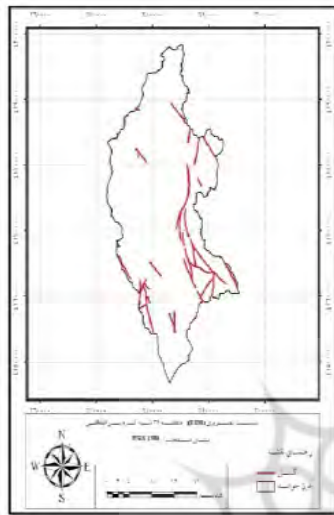
شکل (۴) نقشه شیب حوضه



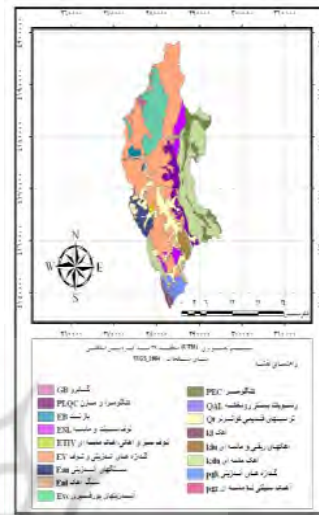
شکل (۷) نقشه جاده‌های منطقه



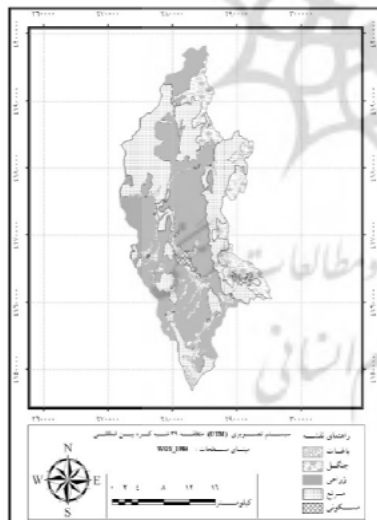
شکل (۶) نقشه تراکم زهکشی حوضه



شکل (۹) نقشه گسل حوضه



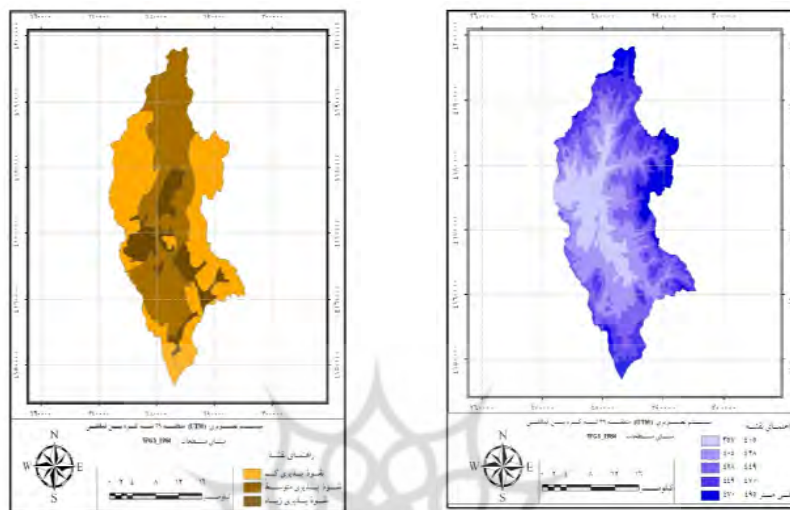
شکل (۸) نقشه سنگ‌شناسی حوضه



شکل (۱۱) نقشه کاربری اراضی حوضه



شکل (۱۰) نقشه پوشش گیاهی حوضه



شکل (۱۲) نقشه طبقات بارش حوضه

شکل (۱۳) نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک

نتایج و یافته‌ها

بررسی و تحلیل نتایج ۱۱ نقشه رستری که عوامل مؤثر در زمین لغزش‌های حوضه گیوی چای را با استفاده از مدل LIM نشان می‌دهند، گویای این مطلب است که مناطقی با بارش سالانه بین ۳۷۵-۴۰۵ میلی‌متر بیشتر از مناطق دیگر برای وقوع زمین لغزش مساعد می‌باشد (جدول ۱). طبقه ارتفاعی بین ۱۹۲۷-۱۵۱۲ متر از سطح دریا بیشتر از طبقات ارتفاعی دیگر بهترین شرایط را برای ایجاد زمین لغزش مهیا می‌کند (جدول ۲). همچنین مناطقی با پوشش گیاهی کم (جدول ۳)، مناطقی با نفوذپذیری زیاد خاک (جدول ۴)، دامنه‌های رو به شرق و شمال شرق به دلیل اینکه امکان یخبندان طولانی مدت و ذوب در آن‌ها بیشتر است. در بلندمدت یخبندان طولانی مدت نسبت به دامنه‌های دیگر مواد هوازده بیشتر فراهم می‌کند (جدول ۵) و کاربری زمین به صورت باغات به طریق افزایش وزن ناشی از رشد درختان در باغات و افزایش تنش برشی دامنه‌ها (جدول ۶) مناطق مستعد برای زمین لغزش است. واحدهای سنگی سازند کرج مرکب از سنگ‌های ولکانیکی و توفی (جدول ۷)، طبقات شیب ۱۷-۳۳ درصد (جدول ۸)، و دیگر عوامل به ترتیب بیشترین تأثیر را در وقوع زمین

لغزش‌ها داشته‌اند که به ترتیب در جداول ۱ تا ۱۱ آورده شده‌اند.

جدول (۱) وزن لایه عاملی بارش در حوضه آبخیز گیوی چای^۱

ردیف	طبقات بارش دچار لغزش (متر)	فراوانی کل حوضه	فراوانی - کل لغزش در حوضه	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل واحد	فراوانی لغزش در واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحدها
۱	۳۵۷-۴۰۵	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۱۱۱۶۲۴	۶۹۶۰۹	۰/۰۶۲	۰/۹۰۶
۲	۴۰۵-۴۲۸	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۷۴۶۸۸۳	۳۹۷۶۵	۰/۰۲۲	-۰/۱۰۵
۳	۴۲۸-۴۴۹	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۵۷۷۰۲۰	۲۸۹۲۴	۰/۰۱۸	-۰/۳۲۱
۴	۴۴۹-۴۷۰	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۱۰۶۵۶۸	۸۰۱۳	۰/۰۰۷	-۱/۲۵۱
۵	۴۷۰ < %	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۵۶۶۳۸۴	۸۵۳۰	۰/۰۱۵	-۰/۵۱۸

جدول (۲) وزن لایه عاملی ارتفاع حوضه آبخیز گیوی چای

ردیف	طبقات ارتفاعی دچار لغزش	فراوانی کل حوضه	فراوانی کل لغزش در حوضه	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل واحد	فراوانی لغزش در واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحدها
۱	۱۵۱۲-۱۹۲۷	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۶۵۵۳۷۵	۸۵۸۴۸	۰/۰۵۱	۰/۷۰۱
۲	۱۹۲۷-۲۱۵۵	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۲۰۸۲۵۶۷	۴۲۱۹۴	۰/۰۲۰	-۰/۲۲۳
۳	۲۱۵۵-۲۴۲۴	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۶۴۲۸۸۱	۱۷۲۵۱	۰/۰۱۰	-۰/۸۸۰
۴	۲۴۲۴-۳۰۰۹	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۷۲۷۶۵۶	۹۵۴۹	۰/۰۱۳	-۰/۶۵۶

جدول (۳) وزن لایه عاملی پوشش گیاهی حوضه آبخیز گیوی چای

ردیف	پوشش گیاهی دچار لغزش	فراوانی کل حوضه	فراوانی کل لغزش در حوضه	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل واحد	فراوانی لغزش در واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحدها
۱	پوشش کم	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۳۱۴۸۲۶۰	۱۳۳۹۵۴	۰/۰۴۲	۰/۵۱۲
۲	پوشش متوسط	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۲۵۷۷۸۹۲	۲۱۸۵۶	۰/۰۰۸	-۱/۰۹۳
۳	پوشش زیاد	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۳۸۲۴۰۸	۳۳	۰	-۵/۶۸۰

۱- واحد ستون‌های ۲ تا ۹ در جدول‌های ۱ تا ۱۱ برحسب بی‌کسل می‌باشد.

جدول (۴) وزن لایه عاملی گروه هیدرولوژیکی خاک حوضه آبخیز گیوی چای

ردیف	واحد هیدرولوژیکی خاک	فراوانی کل حوضه	فراوانی کل لغزش در حوضه	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل واحد	فراوانی لغزش در واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحد
۱	نفوذ پذیری زیاد	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۸۳۳۱۴۹	۳۲۹۳۳	۰/۰۳۹	۰/۴۴۶
۲	نفوذ پذیری متوسط	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۲۵۰۱۷۷۹	۲۶۹۸۰	۰/۰۱۰	-۰/۸۵۲
۳	نفوذ پذیری کم	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۲۷۷۳۶۱۸	۹۴۹۲۵	۰/۰۳۴	۰/۳۰۲

جدول (۵) وزن لایه عاملی جهت شیب حوضه آبخیز گیوی چای

ردیف	جهت شیب دچار لغزش	فراوانی کل حوضه	فراوانی کل لغزش در حوضه	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل واحد	فراوانی لغزش در واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحدها
۱	شمالشرق	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۷۷۵۹۷۶	۲۶۱۸۴	۰/۰۳۳	۰/۲۸۷
۲	شرق	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۰۴۴۴۲۸	۳۶۶۶۹	۰/۰۳۵	۰/۳۲۷
۳	جنوبشرق	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۰۰۸۵۳۵	۲۵۹۲۲	۰/۰۲۵	۰/۰۱۵
۴	جنوبغرب	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۰۰۰۶۲۸	۱۵۰۰۸	۰/۰۱۴	-۰/۵۲۲
۵	غرب	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۲۱۴۱۵۳	۲۳۰۱۹	۰/۰۱۸	-۰/۲۸۸
۶	شمالغرب	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۰۶۴۷۵۹	۲۸۰۳۹	۰/۰۲۶	۰/۰۴۰

جدول (۶) وزن لایه عاملی کاربری اراضی حوضه آبخیز گیوی چای

ردیف	نوع کاربری اراضی دچار لغزش	فراوانی کل حوضه	فراوانی کل لغزش در حوضه	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل واحد	فراوانی لغزش در واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحدها
۱	زراعی	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۲۷۰۱۳۳۷	۸۲۹۷۱	۰/۰۳۰	۰/۱۹۳
۲	مرتع	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۲۱۸۷۳۴۷	۵۰۷۸۰	۰/۰۲۳	-۰/۰۸۵
۳	جنگل	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۷۰۲۰۴۲	۷۱۰۲	۰/۰۱۰	-۰/۹۱۶
۴	باغات	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۴۴۷۵۳۷	۱۳۹۸۹	۰/۰۳۱	۰/۲۱۱
۵	مسکونی	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۶۹۸۲۸	۰	۰	۰

جدول (۷) وزن لایه عاملی سنگ‌شناسی حوضه آبخیز گیوی چای

ردیف	واحد سنگ شناسی دچار لغزش	فراوانی پیکسل‌های کل حوضه	فراوانی پیکسل‌های لغزش در حوضه	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل واحد	فراوانی لغزش در واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحد
۱	Ev, Kslu	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۳۴۵۷۵۶۳	۱۱۷۹۳۳	۰/۰۳۴	۰/۲۹۸
۲	Ean, Qt	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۷۱۱۵۷۳	۲۴۴۰۴	۰/۰۳۵	۰/۳۰۴
۳	Evc, Eb, Enl, Pec	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۰۵۱۶۸۵	۱۶۹۳۶	۰/۰۱۶	-۰/۴۵۱
۴	Etiv, PIQC, Esl, Qal, El	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۵۳۳۳۳۳	۲۵۱۱	۰/۰۰۴	-۱/۶۸۱
۵	Klu, Gb, Pkg, Kl, Pgz	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۳۳۵۳۲۸	۰	۰	۰

جدول (۸) وزن لایه عاملی شیب حوضه آبخیز گیوی چای

ردیف	طبقات شیب دچار لغزش (درصد)	فراوانی کل حوضه	فراوانی کل لغزش در حوضه	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل واحد	فراوانی لغزش در واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحدها
۱	۰ - ۱۷	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۲۳۱۳۲۳۷	۵۰۷۸۸	۰/۰۲۱	-۰/۱۴۱
۲	۱۷ - ۳۳	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۹۴۸۸۰۸	۵۴۴۷۶	۰/۰۲۷	۰/۰۹۹
۳	۳۳ - ۵۳	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۲۴۵۶۰۹	۳۴۲۵۹	۰/۰۲۷	۰/۰۸۳
۴	۵۳ - ۸۸	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۵۴۰۲۸۲	۱۴۱۳۴	۰/۰۲۶	۰/۰۳۳
۵	بیش از ۸۸	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۶۰۵۴۳	۱۱۸۴	۰/۰۱۹	-۰/۲۵۷

جدول (۹) وزن لایه عاملی رودخانه در حوضه آبخیز گیوی چای

ردیف	فاصله از رودخانه دچار لغزش (متر)	فراوانی کل حوضه	فراوانی کل لغزش در حوضه	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل واحد	فراوانی لغزش در واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحدها
۱	۰ - ۵۰	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۲۱۷۳۰۵	۳۲۵۷۹	۰/۰۲۶	۰/۰۵۶
۲	۵۰ - ۱۰۰	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۰۸۶۰۵۹	۲۸۴۴۰	۰/۰۲۶	۰/۰۳۴
۳	۱۰۰ - ۲۰۰	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۶۷۰۵۸۳	۴۲۷۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۱۰
۴	۲۰۰ - ۳۰۰	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۰۴۴۴۸۶	۲۴۱۸۴	۰/۰۲۳	-۰/۰۸۸

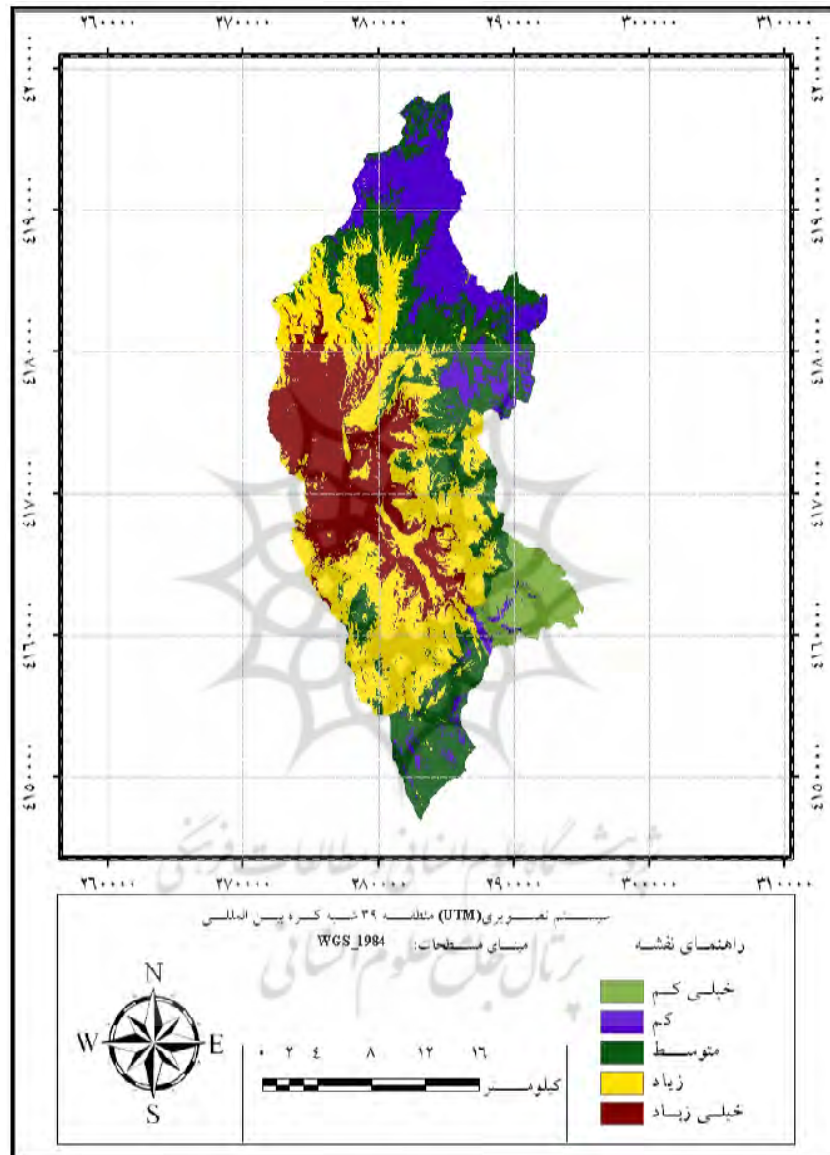
جدول (۱۰) وزن لایه عاملی جاده در حوضه آبخیز گیوی چای

ردیف	فاصله از جاده دچار لغزش (متر)	فراوانی کل حوضه	فراوانی کل لغزش در حوضه	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل واحد	فراوانی لغزش در واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحدها
۱	۰-۵۰	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۴۷۸۱۵۹	۱۱۴۲۷	۰/۰۲۳	-۰/۰۵۷
۲	۵۰-۱۰۰	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۴۳۳۵۳۳	۱۰۱۶۸	۰/۰۲۳	-۰/۰۷۵
۳	۱۰۰-۲۰۰	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۷۵۷۷۶۸	۱۷۹۴۶	۰/۰۲۳	-۰/۰۶۶
۴	۲۰۰-۳۰۰	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۶۵۰۸۱۵	۱۷۸۸۴	۰/۰۲۷	-۰/۰۸۲

جدول (۱۱) وزن لایه عاملی گسل در حوضه آبخیز گیوی چای

ردیف	فاصله از گسل دچار لغزش (متر)	فراوانی کل حوضه	فراوانی کل لغزش در حوضه	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل واحد	فراوانی لغزش در واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحدها
۱	۰-۵۰	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۱۲۲۸۴۸	۲۷۴۱	۰/۰۲۴	-۰/۰۴۰
۲	۵۰-۱۰۰	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۱۱۴۵۸۲	۲۷۹۱	۰/۰۲۴	-۰/۰۳۷
۳	۱۰۰-۲۰۰	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۲۳۱۴۲۹	۵۴۸۷	۰/۰۲۳	-۰/۰۶۴
۴	۲۰۰-۳۰۰	۶۱۰۸۴۷۹	۱۵۴۸۴۴	۰/۰۲۵۳	۲۲۹۸۵۶	۵۸۴۶	۰/۰۲۵	-۰/۰۰۵

پس از به دست آوردن وزن هر یک از نقشه‌های عاملی و ستون وزن نهایی هر یک از واحدها با استفاده از مدل LIM از جمع جبری ۱۱ لایه، نقشه وزن نهایی به دست آمد و با توجه به دامنه تغییرات وزن پیکسل‌ها بر اساس تغییرات منحنی هیستوگرام به پنج کلاس تقسیم و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمد (شکل ۱۴ و جدول ۱۲).



شکل (۱۴) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز گیوی چای

جدول (۱۲) نتیجه ارزیابی کارایی مدل LIM در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر اساس لغزش‌های موجود در حوضه به درصد

کلاس پهنه‌بندی	پتانسیل خیلی زیاد	پتانسیل زیاد	پتانسیل متوسط	پتانسیل کم	پتانسیل خیلی کم	مجموع
درصد	۵۷/۸	۳۰/۲	۹/۱	۲/۹	۰	۱۰۰

در نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه مورد مطالعه، که با دخالت ۱۱ عامل مؤثر در زمین لغزش و با استفاده از مدل LIM تهیه شد زمین لغزش‌های حوضه از نظر خطر زمین لغزش به پنج کلاس با خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم‌بندی شد و طی آن شرایط مکانی مطلوب برای زمین لغزش‌های حوضه، از طریق پهنه‌بندی مشخص شد. در این رابطه نتایج جدول ۶ و وزن‌های به دست آمده از مدل LIM در کاربری‌های مختلف نشان می‌دهد که تغییر کاربری اراضی توسط انسان به صورت باغات و زمین‌های زراعی و در نهایت تغییر شیب دامنه‌ها در ناپایداری دامنه‌ها و وقوع زمین لغزش‌ها نقش دارند و از عوامل تشدیدکننده زمین لغزش‌ها در منطقه می‌باشد. عامل گسل کمترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش‌های منطقه داشته است (جدول ۱۱). اما نمی‌توان گفت که هیچ تأثیری ندارد زیرا با بررسی نتایج وزن‌های به دست آمده در مدل LIM و انقطاع نقشه گسل با نقشه پراکنش زمین لغزش معلوم شد که در فاصله ۲۰۰ الی ۳۰۰ متری از گسل زمین لغزش‌هایی رخ داده است. تأثیر گسل بدین گونه است که گسل‌ها باعث خردشدگی و ایجاد درز و شکاف در توده‌های سنگی اطراف شده و نفوذ عوامل فرسایشی به داخل توده را آسان می‌کنند. نفوذ آب‌های سطحی به داخل درز و شکاف‌ها با افزایش فشار منفذی و کاهش اصطکاک همراه بوده و ناپایداری دامنه را افزایش می‌دهد. نتایج وزن‌های به دست آمده خطوط آبراهه‌ای نشان داد که بیشترین لغزش‌ها در فاصله ۵۰-۰ متری از رودخانه رخ داده است (جدول ۹). تأثیر این عامل به صورت برداشت تکیه‌گاه جانبی و زیرین دامنه‌ها بر اثر فرسایش و زیر بری رودخانه است که در نهایت سبب تغییر هندسه و تند شدن آن می‌شود. همچنین نتایج جدول خطوط ارتباطی (جدول ۱۰) نشان می‌دهد که خطوط ارتباطی با تغییر هندسه شیب دامنه‌ها، حذف تکیه‌گاه جانبی بر اثر ترانشه‌های جاده و تنش‌های

انتقالی زمین در زمین لغزش‌های منطقه مؤثر می‌باشد. بررسی نقشه بارندگی حوضه و نتایج حاصل از وزن‌های به دست آمده در هر طبقه از بارش نشان می‌دهد که کلاس ۱ با کمترین بارش (۳۵۷-۴۰۵) بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است (جدول ۱). این در حالی است که نقاط با بارش بیشتر، کمتر دچار لغزش شده‌اند. یعنی رابطه بارش با حرکات لغزش یک نوع رابطه معکوس می‌باشد و دلیل آن نحوه توزیع مکانی بارش می‌باشد و می‌توان آن را با رابطه بارش و ارتفاع توجیه کرد. بدین معنی با افزایش ارتفاع حوضه، متوسط بارش سالانه آن نیز افزایش می‌یابد اما دیگر شرایط لازم برای وقوع زمین لغزش با افزایش ارتفاع و شیب از بین می‌رود. یعنی در ارتفاعات و شیب‌های تند جنس سازندها سخت شده (جدول ۷) و حرکات از حالت لغزشی به ریزش تغییر می‌یابد که نتایج حاصل از جداول ارتفاع و شیب نیز گواه این مسأله است چنانچه بیشترین حرکات لغزشی در ارتفاعات و شیب‌های کم رخ داده است (جدول‌های ۲ و ۸). نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که خاک‌های با نفوذپذیری زیاد بیشترین وزن را براساس مدل LIM به خود اختصاص داده‌اند. چنانچه اگر نفوذپذیری خاک زیاد باشد باعث کاهش مقاومت برشی و افزایش تنش برشی مواد روی دامنه می‌شود و سبب ناپایداری دامنه‌ها می‌گردد.

منابع

- ۱- اسمعیلی، ا. (۱۳۸۱)، «پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای در حوضه گرمی چای و ارائه مدل منطقه‌ای»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ۲- جعفری، ت. (۱۳۸۷)، «ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در دامنه شمالی آلا داغ با استفاده از مدل (LIM)»، پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۶۴، ص ۵۳-۷۵.
- ۳- روستایی، ش. (۱۳۷۹)، «پژوهشی در دینامیک لغزش‌های زمین و علل وقوع آن با استفاده از روش‌های مورفومتری در حوضه اهر چای»، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تبریز، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی.
- ۴- سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۹۹۷)، «نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰»، شیت‌های گیوی، خلخال و ماسوله.
- ۵- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۴)، «نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰»، شیت‌های هل‌آباد، آق‌اولر، گیوی، خلخال و کلور.
- ۶- سعدالدین، ا. (۱۳۷۳)، «بررسی اثر پارامترهای هیدروژنومورفولیک بر حرکت‌های توده‌ای مواد دامنه‌ای در حوضه آبخیز چاشم و خطیرکوه-سمنان»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۷- شادفر، ص.، یمانی، م. (۱۳۸۶)، «پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل LNRF»، پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۶۲، ص ۱۱-۲۳.
- ۸- شریعت جعفری، م. (۱۳۷۵)، «زمین لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)»، انتشارات سازه.
- ۹- طلایی دولق، ر.، غیومیان، ج. (۱۳۸۰)، «شناخت و بررسی عوامل مؤثر در لغزش‌خیزی جنوب خلخال»، مجموعه مقالات دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صص ۱۴۰-۱۲۹.
- ۱۰- فیض‌نیا، س.، محمدی، ع. (۱۳۸۷)، «پهنه‌بندی حرکت‌های لغزشی حوضه آبخیز دماوند»، نشریه دانشکده منابع طبیعی، دوره ۶۱، ش ۱، صص ۲۹-۴۲.

- ۱۱- مهدوی‌فر، م.، جعفری، م. (۱۳۸۰)، «مطالعه آماری عوامل و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش استان لرستان»، *مجموعه مقالات دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران*، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صص ۱۱۶-۱۰۵.
- ۱۲- محمدخان، ش. (۱۳۸۴)، «ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله‌مراتبی حوضه آبخیز طالقان»، *مجله منابع طبیعی ایران*، ج ۵۸، ش ۱.
- ۱۳- یمانی و همکاران (۱۳۸۶)، «پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی در حوضه آبخیز چالکروود تنکابن»، *پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، شماره ۷۵.
- 14- Anbalagan, R. (1992), "Landslid Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain", *Engineering Geology*, 32: 269-277.
- 15- Esmaili, A., Ahmadi, H. (2003), "Using GIS & RS in Mass Movements Hazard Zonation", A Case Study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran, *Map Asia Conference*.
- 16- Espizua, L.E., Bengochea, J.D. (2002), "Landslid Hazard and Risk Zonation Mapping in the Rio Grande Basin, Central Andes of Mandoza", *Argentina, Mountain Research and Development*, Vol 22, No. 2: 177-185.
- 17- Gerrard, J., Gardner, R. (2002). "Relationships between Landslid and Land Use in the Likhu Khola Drainage Basin", Middle Hills, *Nepal, Mountain Research and Developoment*, Vol. 22, No. 1: 48-55.
- 18- Nagarajan, R., A. Roy, R. Vinodkumar, A. Mukherjee. & M.V. Khire, (2000), "Landslide Hazard Susceptibility Mapping based on Terrain and Climatic Factors for Tropical Monsoon Reggions", *Bull Eng Geol Env.* 58.
- 19- Ocakoglu, F., Gokeoglu, C., Ercanoglu, M. (2002), "Dynamics of a Complex Massmovement Triggered by Heavy Rainfall, a Case Study from NW Turkey", *Geomorphology*, 42: 329-341.
- 20- Van Westen, C.J., (1995), "Geographic Information System in Landslide Hazard Zoning: A Review, with Example from the Andes of Colombia in: Price, M. and System", *Taylor & Francis, Bsingstoke*, U.K. PP 135-165.