

پژوهش‌های جغرافیایی - شماره ۶۴، تابستان ۱۳۸۷

صص ۵۳-۷۵

ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ (مطالعه موردی: حوضه زهکشی چناران در استان خراسان شمالی)*

ابراهیم مقیمی - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

سید کاظم علوی‌پناه - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تیمور جعفری* - دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه تهران

چکیده

این تحقیق به منظور ارزیابی و شناخت مکانیزم عوامل موثر در وقوع زمین لغزشهای حوضه چناران و پهنه‌بندی این پدیده بر اساس عوامل اثرگذار با مدل LIM انجام شد. ابتدا با انجام مطالعات و بررسیهای میدانی عوامل موثر در وقوع زمین لغزشهای حوضه شناسایی و با استفاده از مدل «روش شاخص زمین لغزش»^۱ (LIM) ارزیابی و بر اساس وزن هر یک در مدل، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش صورت گرفت. سپس از طریق انقطاع نقشه پراکنش زمین لغزشهای موجود با نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش در حوضه، کارایی این مدل در پهنه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که، به دلیل وجود لایه‌های غیر قابل نفوذ رسی، ماری و تبخیری و سیمان انحلال پذیر کربناته در سازند شورجه (Ksh)، این واحد سنگی با دارا بودن بیشترین وزن ($Lnwi=2/3341$)، عامل اساسی در لغزش خیزی حوضه می باشد. سپس لایه‌های آبدار زیر زمینی، افزایش وزن ناشی از رشد درختان تنومند در باغات، اثر غیر مستقیم طیف ارتفاعی (۱۷۱۵-۱۵۷۰) و فرایندهای حاصله، شیب مناسب (۷۸۷-۳۸ درجه)، زیربری دامنه توسط رودخانه چناران و نقاط با برف ماندگار در قالب عوامل موثر در کاهش و افزایش تنش برشی، به ترتیب بیشترین تأثیر را در زمین لغزش حوضه دارند. حدود ۸۹/۳۵ درصد از لغزشهای حوضه در مناطق با پتانسیل خطر زمین لغزش خیلی زیاد واقع شده‌اند که قابلیت این مدل در پهنه‌بندی زمین لغزش را نشان می دهد.

کلیدواژه‌ها: حوضه چناران، آلاداغ، ارزیابی عوامل، پهنه‌بندی زمین لغزش، مدل LIM.

مقدمه

حرکت توده‌ای مواد عبارت از جابجایی مواد هوازده و سنگها روی دامنه‌ها تحت تاثیر نیروی ثقل است. شناخت و تشخیص انواع حرکات توده‌ای حداقل به سالهای ۱۸۶ میلادی در چین باز می گردد (برآب^۲ ۱۹۹۱؛ ۵۲). درباره فرایندها و نحوه حرکت توده‌ای مواد در دامنه‌ها طبقه بندیهای متعددی ارائه شده است. کارسون و کرکبای حرکات

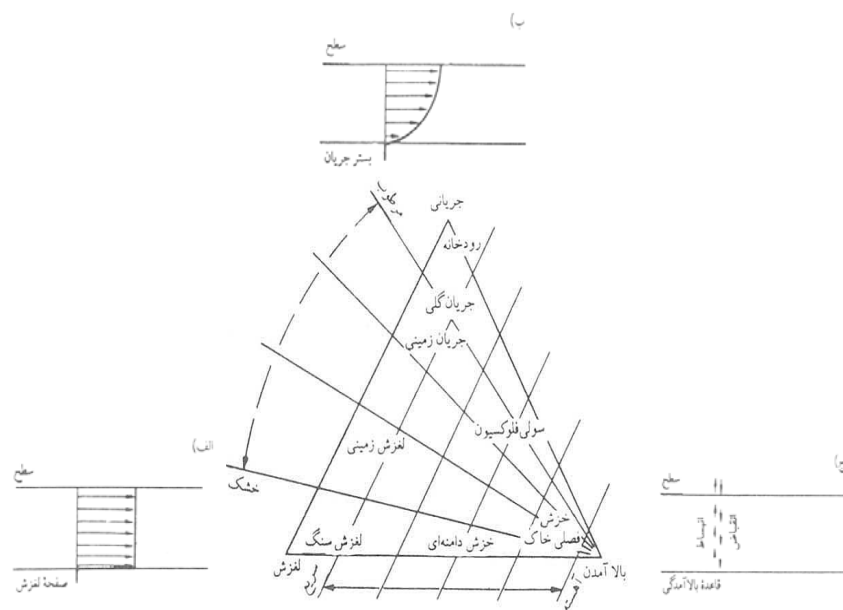
E_mail: Emoghimi@ut.ac.ir

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۶۱۸۶۲۴۶

1 -Landslide Index Method

2 -Brabb

توده‌ای مواد روی دامنه را به سه طبقه لغزشی، جریانی و خزشی تقسیم می‌کنند. از نظر آنها در لغزش کامل (ویژه) سرعت حرکت مواد در همه نقاط از بالا تا پایین یکسان و از نوع انتقالی است. در جریان کامل (خالص) سرعت حرکت مواد در بخش بالایی توده جریانی بیشتر از بخش زیرین و از نوع انتقالی است ولی در خزش (جابجایی) حرکت به صورت قائم است (شکل ۱).



شکل ۱ طبقه بندی فرایندهای حرکت توده ای کارسون و کرکبای (۱۹۷۲)، (ترجمه معتمد و مقیمی، ۱۳۷۹؛ ۶۴).

طبقه بندی وارنز (۱۹۷۸) از حرکات توده‌ای مواد، بیشتر از سایرین توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است. این تقسیم بندی، بر اساس نوع حرکت از جمله سقوط آزاد، فرو ریختن، لغزش، پخش و جریان و نیز نوع مواد موجود ارائه شده است (جدول ۱).

جدول ۱ طبقه بندی مختصری از حرکات توده‌ای (اقتباس از وارنر، ۱۹۷۸)

نوع حرکت	نوع مواد			
	پی سنگ	خاکهای مهندسی		
		عمدتاً دانه درشت	عمدتاً دانه ریز	
سقوط آزاد	سقوط آزاد سنگ	سقوط خرده ریزه ها	سقوط خاکها	
فرو ریخته	فرو ریختن سنگها	فرو ریختن خرده ریزه ها	ریزش خاکها	
لغزش	چند واحد غیر چرخشی	ریزش سنگ	ریزش خرده ریزه ها	ریزش خاکی
		لغزش بلوکی سنگ	لغزش بلوکی خرده ریزه ها	لغزش بلوک خاکها
		لغزش سنگ	لغزش خرده ریزه ها	لغزش خاکها
پخش جانبی	پخش سنگ	پخش خرده ریزه ها	پخش خاکی	
جریانها	جریان سنگ	جریان خرده ریزه ها	جریلن خاکی	
تلفیقی از یک یا دو نوع حرکت اصلی				
پیچیده				

همانطور که اشاره شد، یکی از انواع حرکات توده‌ای مواد روی دامنه‌ها زمین لغزشها هستند. زمین لغزش عمدتاً براساس تلفیقی از فرایندهای مختلف در مناطق با توپوگرافی کوهستانی و با لیتولوژی رسوبی رخ می‌دهد. این حرکات ممکن است به صورت آرام و کند صورت گیرد (چند میلیمتر در سال) و یا ناگهانی و سریع بوقوع می‌پیوندد (۱۶۰ کیلومتر در ساعت) که در بسیاری موارد حوادث تاسف باری را نیز موجب می‌شود (سلبی^۱؛ ۱۹۷۰؛ ۵۷). وقتی مواد دامنه قادر نباشند در برابر نیروی جاذبه مقاومت کنند، زمین لغزه صورت می‌گیرد. علت این کاهش مقاومت می‌تواند برش داخلی یا خارجی باشد. علل داخلی معمولاً شامل شرایط ذاتی و بنیادین نظیر جنس مواد و لایه‌هایی مانند رسها که با افزایش میزان آب، مقاومت برشی آنها کاهش می‌یابد، تغییرات فیزیکی یا شیمیایی مواد و آب محتوای آنهاست. نیروهای خارجی که موجب افزایش تنش برشی دامنه می‌شود معمولاً به نوع به هم ریختگی - که امکان دارد طبیعی یا حاصل کار انسان باشد - مانند حذف حایل و حامی جانبی یا زیرین، افزایش بار دامنه و تنشهای انتقالی زمین بر اثر زمین لرزه و عبور دائم وسایل نقلیه سنگین، بستگی دارد. به طور کلی، پایداری یک دامنه توسط عامل ایمنی (Fs) تعریف می‌گردد که به صورت ساده زیر می‌باشد:

$$F_s = \frac{S}{t} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

^۱ -Selby

S: جمع نیروهای مقاوم در برابر سقوط دامنه (نیروهای مقاومت برشی) و t: مجموع نیروهای محرک گسیختگی (نیروهای موثر در افزایش تنش برشی) است. اگر $FS > 1$ باشد پایداری برقرار است، و اگر $FS < 1$ باشد ناپایداری به وجود می‌آید (قریب‌الوقوع است) (کوک و دورکمپ؛ ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، ترجمه گودرزی‌نژاد، ۱۳۷۷؛ ۲۱۳). استان خراسان شمالی که در زون کپه داغ واقع است به دلیل شرایط خاص لیتولوژیکی، ساختاری و آب و هوایی همه ساله شاهد زمین لغزشهای متعددی است که گاه با خسارات مالی و جانی فراوانی همراه است. در این بین شهرستانهای بجنورد و شیروان جزو نواحی هستند که تقریباً همه ساله شاهد زمین لغزشهایی در ابعاد مختلف می‌باشند. بروز این حوادث که عمدتاً مربوط به نواحی کوهستانی و روستایی است با خسارات گوناگونی در اراضی کشاورزی، خانه‌های مسکونی، جاده‌های مواصلاتی و در نهایت تلفات جانی و مالی همراه می‌باشد (غفوری و عاشوری، ۱۳۷۶؛ ۲). زمین لغزش از مهمترین فرایندهای شکل‌زایی حوضه چناران بوده و مانند سایر حوضه‌های خراسان شمالی، حالت تنگنای محیطی به خود گرفته است (زمردیان، ۱۳۷۳)، به نقل از علایی طالقانی، ۱۳۸۴؛ ۱۹۴). براساس بررسی میدانی ۱۳ مورد زمین لغزش بزرگ و اصلی با سرعت نسبتاً آرام در سطح حوضه شناسایی شد. به عنوان نمونه در تیر ماه ۱۳۷۱، در جنوب شرقی روستای اسفیدان واقع در این حوضه زمین لغزش بزرگی رخ داد که بر اساس نظر کارشناسان کمیته آبخیزداری جهاد استان خراسان سابق، ۳۰۰۰ اصله نهال و چندین هکتار از باغات و زمین‌های زراعی کشاورزان تخریب و حدود ۱۰۰ میلیون تومان (مبنای محاسبه ۱۳۷۱ می‌باشد) خسارت وارد کرده است (غفوری و آشوری، ۱۳۷۶؛ ۹۴).

آنبالاگان^۱ (۱۹۹۲)، به شناسایی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش ناحیه کوهستانی کاتگودام- ناینیتال در کومان هیمالایا و پهنه‌بندی آن با استفاده از فاکتور ارزیابی خطر زمین لغزش^۲ (LHEF) پرداخت که پارامترهای لیتولوژی، ساختار زمین‌شناسی، شیب و پوشش-کاربری اراضی با ۲ امتیاز بیشترین نقش را در وقوع لغزشهای این ناحیه کسب کرده‌اند (آنبالاگان، ۱۹۹۲؛ ۲۷۷-۲۶۹).

اوکاک اوغلو و همکاران^۳ (۲۰۰۱)، نیز در ناحیه داگوی ترکیه در غرب دریای سیاه، به مطالعه دینامیک حرکات توده‌ای پیچیده ناشی از بارش سنگین پرداختند. تحلیل داده‌های بارش برای دوره‌های طولانی و کوتاه روزانه و ساعتی توسط آنها به وضوح دلالت بر این دارد که بارش سنگین در زمین لغزش به عنوان یک عامل محرک نقش دارد. سپس توپوگرافی، شیب لایه‌بندی مارن، تراکم زیاد درختان و افق خاک ضخیم بر روی زمین مارنی، نقش موثری در وقوع انواع زمین لغزشها داشته‌اند. (اوکاک اوغلو، گوکه اوغلو و ارکان اوغلو، ۲۰۰۱؛ ۳۴۱-۳۲۹).

اسپیزوآ و بنگوچه آ^۴ (۲۰۰۲)، خطر زمین لغزش در حوضه ریوگرانده آندهای مرکزی آرژانتین را پهنه‌بندی

^۱- R. Anbalagan

^۲-Landslide Hazard Evaluation Factor

^۳-Faruk Ocakoglu et al.

^۴-L. E. Espizua and J. D. Bengochea

کردند. آنها ضمن مطالعات خود به ارتباط نزدیک بین سنگ شناسی با مقاومت زیاد و لایه‌بندی ضخیم در بخش فوقانی، جهت شیب غالب جنوبی و غربی، ذوب برفها، بارشهای رگباری و وقوع زمین لغزشها دست یافتند. به علاوه با بررسی تصاویر ماهواره‌ای به فعالیت مجدد یک لغزش قدیمی بر اثر تشکیل یک سد و فشار آب متخلخل ناشی از آن پی بردند (اسپیزوآ و بنگوچه آ، ۲۰۰۲؛ ۱۸۵-۱۷۷).

گرارد و گاردنر^۱ (۲۰۰۲)، به بررسی ارتباط بین زمین لغزش و تغییر کاربری اراضی حوضه زهکشی لیخوکولا، در تپه ماهورهای میانی نپال در شمال کاتماندو پرداختند. نتایج تحقیقات سه ساله آنها (۱۹۹۳-۱۹۹۱) روی چهار زیر حوضه از حوضه نامبرده، ثبت ۳۸۱ مورد زمین لغزش بود که غالباً به شکل گسیختگی در خیز ترسهای آبیاری شده (اصطلاحاً Khetland) بود. تحقیقات آنها نشان داد که بیشترین معناداری بین گسیختگی‌های بزرگ روی ترسهای رها شده و جنگلهای تخریب یافته وجود دارد. برآورد آنها نشان داد که بیشترین میزان فرسایش خاک ناشی از لغزش مربوط به جنگلهای تخریب شده و زمینهای رها شده است (۲۳/۹۵ تن در هکتار). نهایتاً آنها به این نتایج دست یافتند که صرفاً جنگلزدایی منجر به فرسایش شدید خاک از زمین لغزش نمی‌شود بلکه نحوه مدیریت بعد از آن است که منجر به فرسایش شدید خاک بر اثر زمین لغزشها می‌شود (گرارد و گاردنر، ۲۰۰۲؛ ۵۵-۴۸).

گابت و همکاران^۲ (۲۰۰۴)، با استفاده از داده‌های بارش و بار رسوبی روزانه حوضه آناپورنای هیمالایای نپال، به اثرات بارش و ویژگیهای شیب دامنه در شروع زمین لغزشها در دوره بارشهای موسمی این حوضه پی بردند. آنها دریافته‌اند که هر زمان طی دوره بارشهای موسمی آستانه بارش به بیش از ۸۶۰ میلی‌متر برسد، حرکات لغزشی به وقوع خواهد پیوست (گابت، بوربانک و همکاران، ۲۰۰۴؛ ۱۴۳-۱۳۱).

در ایران نیز تحقیقات زیادی در ارتباط با این موضوع انجام پذیرفته است. از آن جمله نیک اندیش (۱۳۷۸)، نقش عوامل هیدرواقليم در وقوع حرکات توده‌ای حوضه کارون میانی را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و بر اساس تحلیل‌های آماری مورد بررسی قرار داد. یافته‌های تحقیق ایشان نشان می‌دهد که تنوع توزیع مکانی و زمانی بارش، زمین لغزشها را کنترل می‌کنند. در سالهایی که بارش بیشتری در بهمن نازل می‌گردد، به دلیل تاثیر قاطع در رفتار دامنه، زمین لغزشهای زیادی رخ می‌دهد. بدین صورت که انباشت بیشتر برف در بهمن و ذوب سریع آن در اسفند و فروردین عامل مهمی در وقوع زمین لغزشهای این حوضه می‌باشد (نیک اندیش، ۱۳۸۰؛ ۱۵۲).

طلایی دولق و غیومیان (۱۳۸۰) در شناخت و بررسی عوامل موثر در لغزش خیزی روستاهای جنوب غرب خلخال به این نتیجه دست یافتند که، حضور رس در سازندهای حساس منطقه با جذب آب و بر اثر خاصیت تورم و خمیری به عنوان یکی از عوامل اصلی حرکات دامنه‌ای است (طلایی دولق و غیومیان، ۱۳۸۰؛ ۱۴۰-۱۲۹).

مهرنهاد (۱۳۸۰)، نقش زمین ساخت جنوبا در ایجاد زمین لغزشهای منطقه بهاباد را مورد بررسی قرار داد و به این

^۱ -John Gerrard and Rita Gardner

^۲ -E. J. Gabet et al.

نتیجه دست یافت که وجود گسل‌های لرزه‌زا و جوان در شرق دشت بهاباد و گسل دهبنان در غرب آن حاکی از زمین ساخت جنباً منطبقه می باشد و زمین لغزشهای مورد مطالعه را می توان نتیجه عملکرد گسل‌های فوق و زلزله های حاصل از حرکات آنها به شمار آورد (مهرنهاد، ۱۳۸۰؛ ۲۷۷-۲۶۷).

مسگری وش و همکاران (۱۳۸۰)، در بررسی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش محمود آباد مسکون یافتند که تراکم زمین لغزشها در سنگهای تکتونیزه و به شدت هوازده با کانیهای سولفیدی بوده و بدین لحاظ نقش اساسی در رویکرد زمین لغزش ایفا نموده است. و تغییرات ساختاری نظیر احداث ترانشه جاده کرمان - جیرفت، خاکریزی مصنوعی، احداث کانال آبیاری در دامنه، آبهای نفوذی جوی و ناشی از کانال آب و ایجاد لرزه‌های طبیعی و مصنوعی مانند زمین لرزه و ارتعاشات ناشی از ترافیک ماشینهای سنگین، به عنوان عوامل ماشه‌ای در وقوع زمین لغزش عمل کرده‌اند (مسگری وش و همکاران، ۱۳۸۰؛ ۱۸۵-۱۸۳).

مهدویفر و جعفری (۱۳۸۰)، ضمن مطالعه آماری عوامل و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش استان لرستان با استفاده از شاخص درصد سطحی واحدهای درگیر لغزش (SP) امتیاز هر یک از زیر عوامل و در نهایت وزن هر یک از عوامل کلی را به دست آوردند. در مطالعه ایشان شیل‌های ائوسن بیشترین درصد سطحی (۲۶٪) و امتیاز و در نهایت عامل لیتولوژی بیشترین وزن را به خود اختصاص داد (مهدویفر و جعفری، ۱۳۸۰؛ ۱۱۶-۱۰۵).

منطق و هاشمی طباطبایی (۱۳۸۰)، پتانسیل زمین لغزش در ارتفاعات گستره تهران (محدوده لشکرک) را با مدل آماری رگرسیون چند متغیره مورد تحلیل و بررسی قرار دادند که در بین عوامل موثر پارامترهای فاصله از خط الراس، لیتولوژی و فاصله از گسل با ضریب زاویه و تاثیر منفی و پارامتر شیب با ضریب زاویه و تاثیر مثبت به ترتیب بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش های این حوضه داشته‌اند (منطق و هاشمی طباطبایی، ۱۳۸۰؛ ۶۸).

شادفر و همکاران (۱۳۸۴)، زمین لغزش در حوضه لاگتاشان تنکابن را با استفاده از مدل LNRF^۱ مورد پهنه‌بندی قرار داد. نتایج تحقیق ایشان نشان می دهد که مدل LNRF کارایی بسیار خوبی برای پهنه‌بندی زمین لغزش به ویژه در نواحی مرطوب تا نیمه مرطوب دارد. در این تحقیق عوامل لیتولوژی (رس، سیلت با لایه هایی از ماسه سنگ زغالدار)، شیب (۴۰-۳۰ درجه) و جهت شیب شمال غربی به دلیل دریافت رطوبت زیادتر از دریای خزر بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزشهای حوضه داشته‌اند (شادفر، ۱۳۸۴؛ ۱۰).

غفوری و آشوری (۱۳۷۶)، به بررسی زمین لغزش به عنوان یکی از بلایای طبیعی شمال خراسان با دید کلی از بعد عوامل موثر محیطی با روش تحلیلی، نوع و میزان خسارات وارده پرداخته‌اند. آنها در این مطالعه توالی رسوبی کپه داغ در دو گروه کلی واحدهای صخره ساز و تشکیل دهنده ارتفاعات و واحدهای سنگی تشکیل دهنده مورفولوژیهای پست راه، به عنوان عامل موثر معرفی کرده‌اند. از نظر آنها واحدهای صخره ساز با تشکیل ارتفاعات، شیب توپوگرافی لازم را برای زمین لغزه‌ها به وجود می آورده‌اند و واحدهای با مورفولوژی پست که عمدتاً از شیل و مارن تشکیل یافته

^۱ -Landslide Nominical Risk Factor

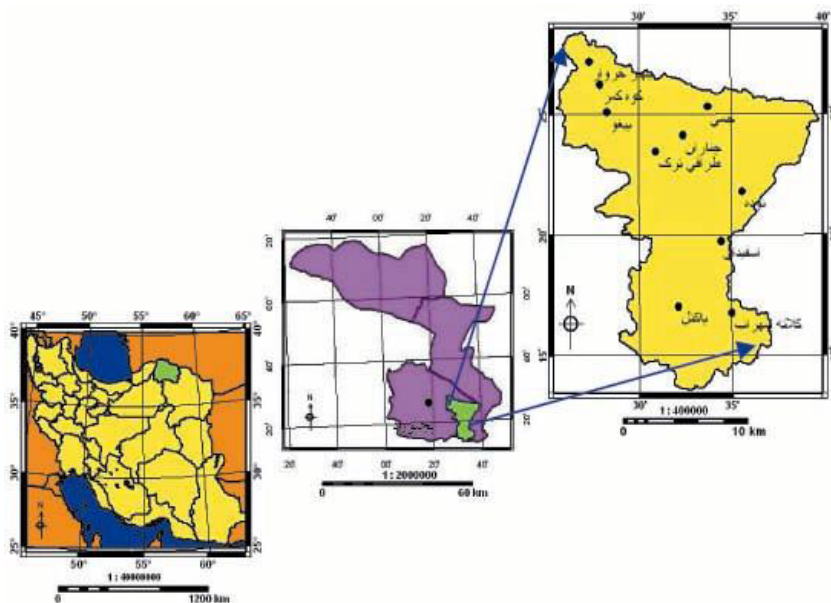
و نفوذ ناپذیرند، علاوه بر تامین توده‌های خاکی سطوح لغزشی زمین لغزه‌ها را تشکیل می‌دهند (غفوری و آشوری، ۱۳۷۶؛ ۹۳-۹۲).

آدابی و موسوی حرمی (۱۳۷۷)، نیز به بررسی نقش لیتولوژی در رانش زمین در شمال شرق ایران به روش تحلیلی پرداخته‌اند و نتیجه گرفته‌اند که؛ در شمال شرق ایران سنگهای غیر قابل نفوذ در تشکیل مواد رسی هوازده و رانش زمین که همه ساله خسارات مالی فراوانی را بار می‌آورند، نقشی اساسی دارند (آدابی و موسوی حرمی، ۱۳۷۷؛ ۸۸). با وجود تحقیقات انجام گرفته، تاکنون مطالعه جامعی از نظر عوامل ایجاد زمین لغزشهای حوضه چناران در قالب مدل و بررسی پتانسیل زمین لغزش در آن صورت نگرفته است. در این تحقیق بر آن هستیم که؛

۱- کدام عوامل محیطی بیشترین تاثیر را در رویکرد زمین لغزشهای حوضه ایفا نموده‌اند و مکانیزم هر یک چگونه است؟

۲- مدل LIM تا چه حد در پهنه‌بندی نقاط با پتانسیل لغزش خیزی متفاوت کارآمد بوده و آیا نقاط با پتانسیل لغزش خیزی خیلی زیاد چه میزان منطبق بر زمین لغزشهای واقعی و موجود در حوضه هستند؟

حوضه زهکشی چناران با مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۳ دقیقه و ۳۴ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه و ۲۴ ثانیه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۲۵ دقیقه و ۳۲ ثانیه تا ۵۷ درجه و ۳۹ دقیقه و ۴۷ ثانیه طول شرقی و مساحت حدود ۲۸۱/۸ کیلومتر مربع، در شرق بخش مرکزی شهرستان بجنورد مرکز استان خراسان شمالی و دامنه‌های شمالی رشته کوه آلاداغ قرار دارد. این حوضه دارای ده سکونتگاه روستایی است و از نظر تولیدات باغی از مهمترین مناطق شهرستان بجنورد می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲) موقعیت حوضه زهکشی چناران در ایران و شهرستان بجنورد.

مواد و روش‌ها

به منظور شناسایی زمین‌لغزشها ابتدا با تهیه نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، عکسهای هوایی و تصاویر ماهواره‌ای رنگی کاذب^۱ حوضه به مطالعات میدانی پرداخته شد. در ضمن جهت برداشت محدوده زمین‌لغزشها از دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی^۲ (GPS) استفاده گردید و برای هر کدام از پهنه‌های لغزش یافته، فرم مشخصات زمین لغزش تهیه شد.

پس از وارد کردن نقشه‌های پایه، عکسهای هوایی و جدول مختصات جغرافیایی لغزشهای حوضه به محیط GIS، لایه زمین‌لغزشهای حوضه تهیه (شکل ۳) و با توجه به مطالعات و بررسیهای مقدماتی، به منظور شناسایی میزان اثر گذاری عوامل و مکانیزم آنها، اطلاعات مربوط به عوامل احتمالی ایجاد لغزشها به شرح زیر از منابع مختلف تهیه شد:

- نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ بر گهای بجنورد، اسفراین و سیسب، جهت تهیه لایه‌های شیب، فاصله از جاده‌های مهم ارتباطی، طبقات ارتفاعی، فاصله از رودخانه و آب‌های زیرزمینی،

- نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ ورقه‌های بجنورد و شیروان، جهت تهیه لایه‌های واحدهای سنگ‌شناسی، و فاصله از گسل،

- عکسهای هوایی ۱:۵۵۰۰۰ و ۱:۴۴۰۰۰ به ترتیب مربوط به سالهای ۱۳۳۵ و ۱۳۷۳ و تفسیر آنها به روش Orthophoto جهت شناسایی و تهیه لایه پراکنش زمین لغزشهای حوضه،

- باندهای مختلف تصاویر سنجنده ج⁺ ماهواره لندست مربوط به ماه مه سال ۲۰۰۳ میلادی، جهت تهیه لایه‌های

شاخص تراکم پوشش گیاهی، کاربری اراضی، ماندگاری برف و تشخیص زمین لغزشها

- آمار ماهانه و سالانه ایستگاههای باران‌سنجی اسدلی، گرمخان، نوشیروان، سه یک آب شیروان و ایستگاه

هواشناسی سینوپتیک بجنورد در دوره آماری ۱۳۵۸ تا ۱۳۸۳ به منظور تهیه لایه همبارش حوضه

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته و تجزیه و تحلیل دقیق لایه‌ها نسبت به پهنه‌های دچار لغزش شده در مجموع ۱۱

لایه عاملی رستری در محیط نرم افزار Ilwis تهیه و در مدل سازی مورد استفاده قرار گرفتند.

روش به کار رفته برای ارزیابی عوامل موثر در وقوع زمین لغزه‌های حوضه زهکشی چناران و پهنه‌بندی آن، مدل

آماری LIM می باشد (رابطه ۲). این مدل نخستین بار در موسسه ITC کشور هلند به منظور پهنه‌بندی زمین لغزش ناحیه

چینا در کلمبیا مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل براساس لگاریتم طبیعی (Ln) نسبت تراکم رویکرد لغزش

هر یک از واحدهای لایه عاملی به تراکم لغزش در کل حوضه می باشد که نتیجه این نسبت دستیابی به وزن

واحدهای هر یک از لایه‌های عاملی می باشد. در این مدل مقادیر وزنی معمولاً دامنه‌ای بین اعداد مثبت و منفی دارند

که به ترتیب بیانگر نقش بیشتر و کمتر متغیرهای مورد بررسی هستند (سی جی وان وستن، ۱۹۹۵؛ ۸۲).

^۱ - False Color Composite (FCC)

^۲ - Global Positioning System (GPS)

^۳ - C. J. Van Westen, 1995

روش‌های اولیه ارزیابی عوامل و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزشها عمدتاً بر قضاوت کارشناسی و وزن دهی‌های نامشخص استوار بوده است (وارنز، ۱۹۸۴). ویژگی دیگر این روشها، بکارگیری تعداد کمی از متغیرهای موثر در پهنه‌بندی و عدم استفاده از رایانه و اطلاعات حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای است. غیر از روشهای سنتی، مدل‌های آماری رگرسیون چند متغیره، مدل رگرسیون لجستیک و مدل تحلیل تشخیصی^۲ نیز در پهنه‌بندی زمین لغزشها بکار گرفته می‌شوند. با اینکه این مدلها قادر به شناسایی متغیرهای مستقل موثر در زمین لغزشها از طریق آماره آزمون و درجه معناداری هستند، ولی مدل‌های حاصل از این روشها در بردارنده کلیه متغیرها نبوده و فقط شامل برخی از آنها می‌شوند (نیکلا بريس و همکاران، ترجمه علی آبادی و صمدی، ۱۳۸۴؛ ۳۷۳-۲۸۹). حال آنکه در مدل‌های مبتنی بر GIS مانند مدل LIM برای پهنه‌بندی این حرکات تعداد زیادی از متغیرهای کمی و کیفی بر حسب تشخیص و مقادیر وزنی خود می‌توانند لحاظ شوند. با این مدل می‌توان متغیرهای کیفی را کمی نمود و با تغییر متغیر یعنی گرفتن لگاریتم طبیعی (Ln)، وزن متغیرهای دارای وزن بسیار کم، زیاد و وارد محاسبات می‌شوند. مدل LIM مبتنی بر رابطه زیر می‌باشد:

$$\text{Ln}w_i = \text{Ln} \left[\frac{\text{Densclas}}{\text{Densmap}} \right] = \text{Ln} \left[\frac{\frac{\text{NPix}(\text{Si})}{\text{NPix}(\text{Ni})}}{\frac{\sum \text{NPix}(\text{Si})}{\sum \text{NPix}(\text{Ni})}} \right] \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه؛ w_i = وزن هر یک از واحدهای لایه عاملی،

Densclas = تراکم لغزش در هر واحد از لایه عاملی،

Densmap = تراکم لغزش در کل حوضه،

$\text{Npix}(\text{Si})$ = فراوانی لغزش در هر یک از واحدهای لایه عاملی و فراوانی کل لغزش در حوضه،

$\text{Npix}(\text{Ni})$ = فراوانی کل هر واحد از لایه عاملی و فراوانی کل حوضه است.

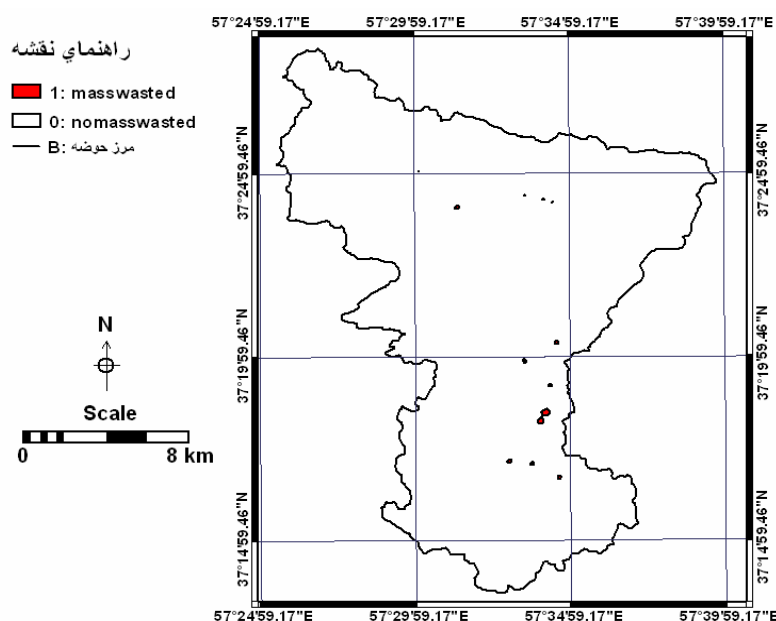
در این روش ابتدا با به دست آوردن فراوانی پیکسل‌های لغزش یافته هر واحد از لایه عاملی و فراوانی کل هر واحد تراکم لغزش در هر واحد (Densclas) محاسبه و سپس با استفاده از فراوانی پیکسل‌های لغزش یافته در کل حوضه و فراوانی کل حوضه تراکم لغزش در حوضه (Densmap) به دست آمد. در نهایت لگاریتم طبیعی نسبت بین تراکم لغزش در هر واحد از لایه عاملی و تراکم لغزش در کل حوضه محاسبه و وزن نهایی واحدهای هر یک از لایه‌های عاملی با طیف مثبت و منفی در ستون جداگانه‌ای حاصل شد. ستون وزن نهایی واحدها در جدول حاصل از انقطاع نقشه پراکنش زمین لغزشها و لایه‌های عاملی به جدول اطلاعات توصیفی^۱ لایه‌های عاملی وصل و با استفاده از اطلاعات این ستون، ۱۱ لایه عاملی وزنی تهیه شد که از جمع جبری آنها، نقشه وزنی نهایی به دست آمد (رابطه ۳).

^۲ - Discriminant analysis

^۱ - Attribute table

سپس نقشه وزنی نهایی با توجه به دامنه تغییرات وزن پیکسل‌ها در منحنی هیستوگرام آن (شکل ۶)، به پنج طبقه تقسیم و نقشه پهنه‌بندی استعداد خطر زمین لغزش در حوضه به دست آمد (شکل ۷). به منظور ارزیابی مدل LIM در پهنه‌بندی لغزش، به پیکسل‌های پهنه‌های لغزش یافته در لایه پراکنش زمین لغزشها ارزش یک و به پیکسل‌های مناطق فاقد لغزش ارزش صفر داده شد و با نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش انقطاع داده شد که نتایج آن در جدول ۱۳ ارائه شده است.

$$\text{Map}_{fw} = \text{geo}_w + \text{slope}_w + \text{asp}_w + \dots n_w \quad (\text{رابطه ۳})$$



شکل ۳ نقشه پراکنش زمین لغزش های حوضه زهکشی چناران

یافته‌های پژوهش

در وقوع پدیده زمین لغزش عوامل زیادی نقش دارند، که برخی از آنها سبب کاهش مقاومت برشی و بعضی سبب افزایش تنش برشی مواد روی دامنه می‌شوند. با توجه به وزنهای حاصل از مدل LIM، هر یک مورد تحلیل قرار می‌گیرند. از جمله عوامل موثر در کاهش مقاومت برشی عبارت است از:

الف) عامل سنگ شناسی: اطلاعات حاصل از انقطاع نقشه رستری زمین‌شناسی (شکل ۴) با نقشه پراکنش زمین لغزشهای حوضه و بررسی‌های میدانی حاکی از آن است که، حدود ۹۲ درصد مناطق تحت لغزش حوضه بر روی

سازند شوربجه عمدتاً از ماسه‌سنگ ریگ‌دار^۱ متمایل به صورتی، مارن، کنگلومرا و شیل‌های سیلیسی و رسی ژپس‌دار قرار دارد. یافته‌های این تحقیق در قالب مدل LIM نیز نشان می‌دهد که در بین تمام واحدهای عوامل موثر در لغزش خیزی حوضه این واحد بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است ($LNWi=2/3341$). که شواهد فوق در مجموع بیانگر نقش اساسی و زیربنایی این سازند در لغزشهای این حوضه است که چگونگی آن مورد تحلیل بیشتر قرار می‌گیرد (جدول ۲).

جدول ۲ وزن لایه عاملی سنگ‌شناسی در حوضه چناران با استفاده از مدل^۲ LIM

ردیف	واحد سنگ‌شناسی 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 واحد
۱	K_{sn}	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۷۴۶۸	۱۱	۰/۰۰۱۴	-۰/۷۹۴۹
۲	K_{sh}	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۳۸۰۳۸	۹۰۲	۰/۰۲۳۷	۲/۳۳۴۱
۳	K_{st}	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۲۳۳۸۰	۵۱	۰/۰۰۲۲	-۰/۳۴۲۹

* منظور از فراوانی، تعداد پیکسل‌ها می‌باشد که ابعاد هر یک 30×30 متر می‌باشد.

سازند شوربجه از سه بخش زیرین، میانی و بالایی تشکیل شده است. بخش زیرین عمدتاً از رخساره‌های دانه ریز شیلی قرمز رنگ و لایه‌های نازک ماسه سنگی دانه‌ریز است. به علاوه لایه‌های محدودی از گچ به طور پراکنده و نیز سنگ آهک دانه‌ریز رس‌دار در این بخش مشاهده می‌شود. بخش میانی عمدتاً از ماسه سنگ و ماسه سنگ ریگ‌دار و مقدار کمی کنگلومرا همراه با لایه‌هایی از شیل سیلتی است. بخش بالایی این سازند مشابه بخش زیرین است. با این تفاوت که، میزان لایه‌های ماسه‌سنگی در آن بیشتر است (افشار حرب، ۱۳۷۳؛ ۸۳). وجود لایه‌های رسی، مارنی و تبخیری و نفوذ آبهای ناشی از آبیاری باغات و بارندگی از داخل درز و شکاف‌های متعدد، سبب تجمع زیاد آب در سطح بین مواد هوازده و پی سنگ شده و در نتیجه باعث لغزنده شدن، کاهش نیروی اصطکاک و مقاومت برشی مواد و تشدید حرکت لغزشی تحت تأثیر نیروی ثقل روی سطح شیب‌دار به طرف پایین دامنه می‌شود.

سیمان ماسه سنگ‌ها بیشتر کربناته (کلسیت و مقدار ناچیزی دولومیت) و تا حدی سیلیسی است. نفوذ آبهای ناشی از آبیاری باغات و بارندگی از داخل درز و شکاف‌های متعدد در ماسه سنگها و کنگلومراها باعث انحلال سیمان کربناته و ایجاد تخلخل ثانوی^۱ در آنها می‌شود. فرایند انحلال نیز باعث کاهش مقاومت برشی این سنگها در مقابل

^۱-Pebble

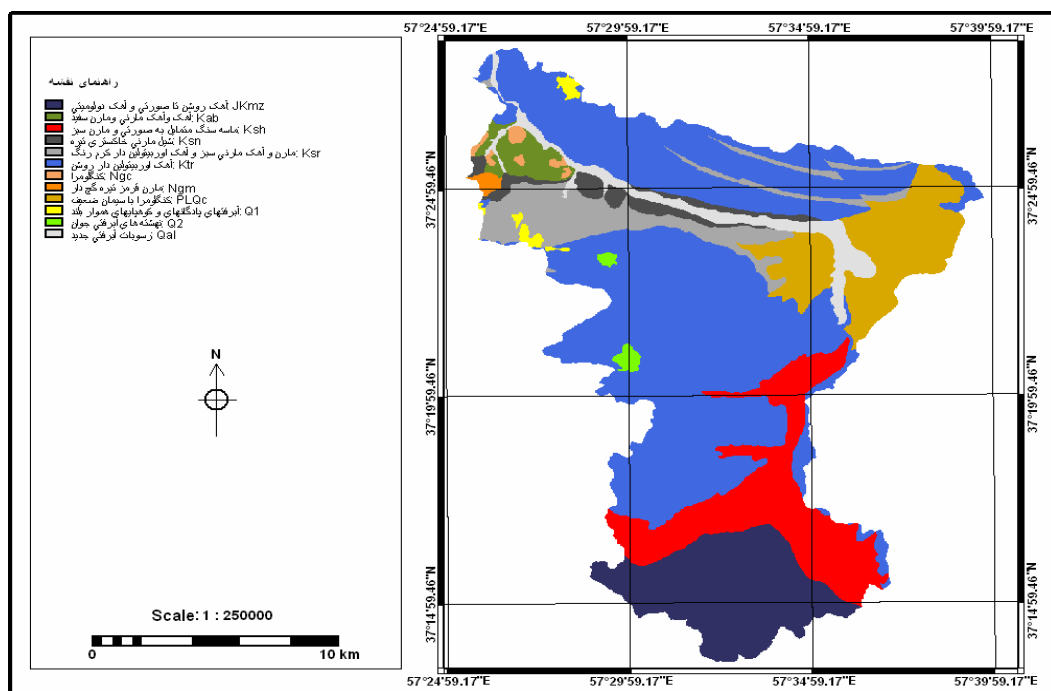
^۲- در کلیه جدولهای این مقاله وزن واحدهایی ارائه شده است که دچار لغزش شده و دارای وزن بوده است و از ارائه واحدهای بدون وزن به دلیل محدودیت در عرصه تحقیق خودداری شده است.

^۳-Secondary porosity

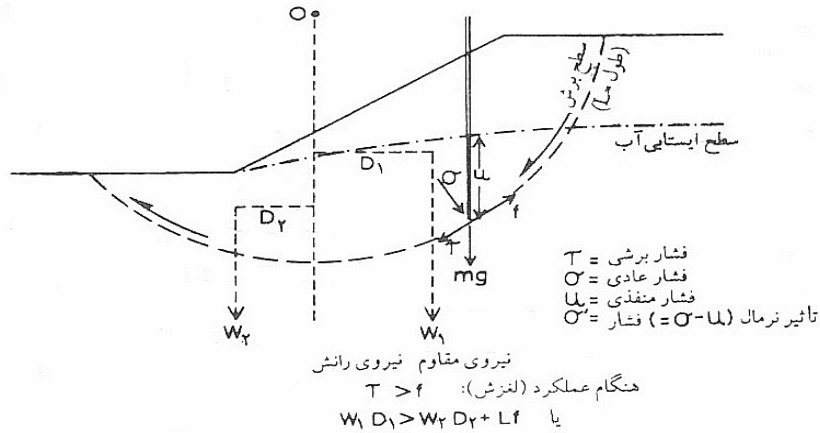
میزان بار تحمیلی شده و به شکست سنگها و لغزش مواد هوازده کمک می کند. زمین لغزشهای حوضه به دو شکل فروافتادگی و جریانی‌اند. فروافتادگی‌ها معمولاً در امتداد سطح لغزش داخلی انجام و در سطح به شکل شکستگیهای متحدالمرکز و مقعر در جهت شیب اصلی ظاهر شده‌اند. این حرکات الزاماً چرخشی‌اند و از این رو بخش فوقانی برخی از بلوکهای فروافتاده شیب معکوس پیدا می کند. نیروهای لازم که در تعادل فروافتادگی نقش دارند در شکل پنج و رابطه زیر ارائه شده‌اند.

$$\text{رابطه ۴)} \quad W_1 \times D_1 = W_2 \times D_2 + LF \Rightarrow \text{نیروی مقاوم} = \text{نیروی وارده بر سطح لغزش}$$

در این رابطه؛ W_1 وزن بخشی از مواد هوازده مسبب شکستگی، W_2 وزن مواد هوازده که در مقابل حرکت مقاومت می کند، D_1 و D_2 به ترتیب فواصل مراکز توده لغزشی از خط پیوستگی، L عبارت از طول سطحی که لغزش در آن صورت گرفته و F نیروی مقاومت برشی مواد هوازده است. به طوری که از این رابطه استنباط می شود، در این حوضه نیروی محرک عمدتاً به ضخامت مواد هوازده بستگی دارد که در ارتباط با مقاومت سنگ به عنوان اصلی ترین عامل در زمین لغزش می باشد.



شکل ۴ نقشه سنگ شناسی حوضه زهکشی چناران



شکل ۵ فشارهای موجود در یک لغزش (چورلی و همکاران، ۱۹۸۵، ترجمه معتمد و مقیمی، ۱۳۷۹؛ ص ۱۰۵)

ب) عامل چشمه‌ها و لایه‌های آبدار زیر زمینی: یافته‌های این تحقیق در قالب مدل LIM نشان می‌دهد که، در لایه فاصله از چشمه‌ها و آبهای زیر زمینی، واحد با فاصله صفر تا ۱۰۰ متری از چشمه‌ها و آبهای زیر زمینی، بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است ($LNwi = 2/2079$). با توجه به وزن حاصله می‌توان اظهار داشت که، این عامل دارای درجه دوم اهمیت از نظر تاثیر در لغزش خیزی حوضه می‌باشد. مطالعات و بررسیهای میدانی در سطح حوضه نیز نشان می‌دهند که، هر میزان فاصله از مظهر چشمه‌ها و سفره‌های زیر زمینی بیشتر شود، امکان وقوع حرکات لغزشی کاهش می‌یابد (جدول ۳). شواهد موجود حاکی از نقش سفره‌های آبدار زیر زمینی در نتیجه بارش و آبهای نفوذی جوی و یا دخالت انسان مانند آبیاری باغات در جهت عمود بر شیب توپوگرافی می‌باشد که سبب افزایش فشار آب متخلخل و لغزش در حوضه می‌شود.

جدول ۳ وزن لایه فاصله از چشمه‌های دائمی و لایه‌های آبدار زیر زمینی به متر در حوضه چناران با استفاده از مدل LIM

ردیف	فواصل (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 واحد
۱	۰-۱۰۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۱۷۷۶	۵۰	۰/۰۲۸۲	۲/۲۰۷۹
۲	۱۰۰-۲۰۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۴۶۲۸	۸۳	۰/۰۱۷۹	۱/۷۵۳۴
۳	۲۰۰-۳۰۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۷۱۱۰	۹۶	۰/۰۱۳۵	۱/۴۷۱۳
۴	۳۰۰-۴۰۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۹۳۶۵	۱۳۸	۰/۰۱۴۷	۱/۵۵۶۴
۵	۴۰۰-۵۰۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۱۱۳۱۹	۱۷۳	۰/۰۱۵۳	۱/۵۹۶۵

ج) عامل شیب دامنه‌ها: بررسی لایه شیب در قالب مدل LIM نشان می‌دهد که، در این لایه کلاس شیب ۳۸ تا ۷۸/۷ درجه بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است ($LNWi=1/6840$) (جدول ۴). معمولاً انتظار می‌رود که هر میزان شیب بیشتر باشد، ناپایداری نیز بیشتر شود. مطالعات مختلف در سطح حوضه نشان داده است که، در شیبهای طبیعی افزایش ناپایداری به شکل لغزش تا درجه شیب معینی به وقوع می‌پیوندد و بعد از آن درصد ناپایداریها کاهش می‌یابد. علت این امر را می‌توان مربوط به سختی لیتولوژی تشکیل دهنده این دامنه‌ها و تغییر فرایندهای حرکات توده‌ای دانست.

جدول ۴ وزن لایه عاملی شیب به درجه در حوضه چناران با استفاده از مدل LIM

ردیف	واحد شیب دچار لغزش	فراوانی کل حوضه	فراوانی ل لغزش در حوضه	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل واحد	فراوانی لغزش در واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحد
۱	۰-۱۵	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۲۱۳۸۴۵	۳۶۹	۰/۰۰۱۷	۰/۶۰۰۸
۲	۱۵-۱۹	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۲۶۵۸۳	۱۱۷	۰/۰۰۴۴	۰/۳۵۰۲
۳	۱۹-۲۶	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۳۲۱۸۶	۱۵۷	۰/۰۰۴۹	۰/۴۵۷۸
۴	۲۶-۳۸	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۲۷۷۶۷	۲۲۰	۰/۰۰۷۹	۰/۹۳۵۵
۵	۳۸-۷۸/۷	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۶۰۳۰	۱۰۱	۰/۰۱۶۷	۱/۶۸۴۰

د) عامل گسلها: گسلهای حوضه عموماً از نوع تراستی یا معکوس بزرگ زاویه‌اند که می‌توان به گسلهای راندگی چهار خروار، گسل راندگی زوارم و مجموعه گسلهای راندگی توده اشاره کرد. نتایج حاصل از انقطاع نقشه رستری فاصله از گسل با نقشه پراکنش زمین لغزشهای حوضه و بررسی‌های میدانی حاکی از آن است که، حدود ۱۰۰ درصد مناطق تحت لغزش حوضه در فاصله صفر تا ۲۰۰۰ متری از گسلها واقع شده‌اند. به گونه‌ای که از فاصله صفر تا ۵۰۰ متری، لغزشها روند افزایشی و از ۵۰۰ متری تا ۲۰۰۰ متری، دارای روند کاهشی هستند. یافته‌های این تحقیق در قالب مدل LIM نیز نشان می‌دهد که، در این لایه واحد با فاصله ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری از گسلها بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است ($LNWi=0/2296$). مجموع این نتایج نقش گسل خوردگی را در خرد شدن سنگهای تشکیل دهنده دامنه، مهیا کردن شرایط جهت عبور آبهای سطحی و زیرزمینی، افزایش میزان هوازدگی و آلتراسیون و کاهش مقاومت سنگهای اطراف توده‌های لغزشی، و تنشهای انتقالی ناشی از لرزش آنها نشان می‌دهد. این عامل بطور اساسی فاکتوری مهم در ناپایداری شیبها و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تلقی می‌گردد (جدول ۵).

جدول ۵ وزن لایه عاملی فاصله از گسل ها به متر در حوضه چناران با استفاده از مدل LIM

ردیف	فاصله از گسل 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 واحد
۱	۵۰۰-۱۰۰۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۸۰۹۶۶	۳۱۲	۰/۰۰۳۹	۰/۲۲۹۶
۲	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۵۰۰۱۷	۱۸۶	۰/۰۰۳۷	۰/۱۷۶۹

اما از لحاظ عوامل موثر در افزایش تنش برشی به موارد زیر می توان اشاره کرد:

الف) عامل پوشش - کاربری اراضی: نتایج حاصل از انقطاع نقشه رستری پوشش - کاربری اراضی با نقشه پراکنش زمین لغزشهای حوضه و بازدیدهای میدانی حاکی از آن است که، حدود ۶۵/۱ درصد مناطق تحت لغزش حوضه در باغات و اراضی آبی واقع شده اند. به گونه‌ای که، در سایر کاربریها این روند به شدت کاهش می یابد. بررسی لایه پوشش - کاربری در قالب مدل LIM نیز نشان می دهد که، این واحد بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است ($LNWI=2/0.228$). نقش این عامل را می توان اینگونه توجیه نمود که، به دلیل تنگنای مورفولوژیکی حاکم بر حوضه و فقدان اراضی برای احداث باغات، غالب باغات که تامین کننده معیشت ساکنین هستند بر روی دامنه های شیبدار احداث شده اند. با توجه به اینکه گونه های گیاهی غالباً از نوع درختان تنومند با تنه های قطور و وزن سنگین نظیر گردو، چنار، سپیدار و... هستند، سبب افزایش وزن دامنه و ارتفاع زیاد آنها سبب می شود که اثر گذاری باد بر روی تاج آنها بیشتر شده که نهایتاً نیروی باد به وسیله شاخه ها به تنه و از تنه به ریشه انتقال و سبب تحریک و افزایش تنش برشی مواد روی دامنه می شود. از طرف دیگر ریشه دوانی سبب تخریب مکانیکی و هوازگی شیمیایی مواد به سبب وجود اسید هومیک شده که سبب کاهش مقاومت برشی مواد می شود. لذا در بین عوامل موثر در افزایش تنش برشی مواد و وقوع زمین لغزشها این عامل به عنوان مهمترین فاکتور تلقی می گردد (جدول ۶).

جدول ۶ وزن لایه عاملی نوع پوشش - کاربری اراضی در حوضه چناران با استفاده از مدل LIM

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 واحد
۱	مراتع	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۶۹۵۷۳	۱۶۰	۰/۰۰۲۳	-۰/۲۹۸۵
۲	سطوح سنگی و عریان	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۱۵۶۰۶۲	۳۰۶	۰/۰۰۲	-۰/۴۳۸۳
۳	اراضی دیم	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۶۴۲۲۶	۴۵	۰/۰۰۰۷	-۱/۴۸۸۱
۴	باغات و اراضی آبی	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۱۶۴۵۲	۴۵۳	۰/۰۲۷۵	۲/۰۲۲۸

ب) عامل بارش عموماً میزان بارش سالانه با وقوع حرکات لغزشی همبستگی دارد. بررسیها در حوضه نشان می‌دهد که، نقاط با بارش سالانه بیشتر کمتر دچار لغزش شده‌اند. بر اساس این مدل مدل LIM نیز نشان می‌دهد که واحد با بارش سالانه ۲۹۸-۳۰۲ میلیمتر بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است ($LNWI=1/8643$). حال آنکه طبقه با بارش سالانه ۳۰۲-۳۱۰ میلیمتر کمترین وزن را به خود اختصاص داده است ($LNWI=-1/361$) (جدول ۷). این شرایط را می‌توان به دلیل برتری سایر عوامل به ویژه نقش لیتولوژی و پوشش - کاربری اراضی در وقوع لغزشهای حوضه، توجیه نمود.

جدول ۷ وزن لایه عاملی بارش سالانه به میلیمتر در حوضه چناران با استفاده از مدل LIM

ردیف	واحد بارشی دچار لغزش (میلیمتر)	فراوانی کل حوضه	فراوانی کل لغزش در حوضه	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل	فراوانی لغزش در واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحد
۱	۲۹۸-۳۰۲	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۳۶۰۶۳	۷۲۳	۰/۰۲	۱/۸۶۴۳
۲	۳۰۲-۳۱۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۹	۰/۰۰۳۱	۲۲۸۹۳۷	۲۴۱	۰/۰۰۱۱	-۱/۰۳۶۱

ج) عامل شاخص تراکم پوشش گیاهی (NDVI): تاثیر عامل پوشش گیاهی در پایداری دامنه‌ها به دو صورت است. گاهی به عنوان یک عامل مثبت عمل کرده و سبب تثبیت دامنه‌ها می‌شود و گاهی به عنوان یک عامل منفی عمل کرده و سبب ناپایداری دامنه‌ها می‌گردد. در این حوضه نقاط با شاخص تراکم پوشش گیاهی غنی که منطبق بر باغات و اراضی آبی هستند، بیشترین درصد لغزشها را به خود اختصاص داده‌اند (۵۰/۲ درصد). با این وجود تاثیر این واحد شبیه تاثیر واحد کاربری اراضی باغی در حوضه بوده که، سبب ناپایداری دامنه‌ها می‌شود. به گونه‌ای که در نقاط با شاخص تراکم پوشش گیاهی کمتر این روند به شدت کاهش می‌یابد. یافته‌های این تحقیق در قالب مدل LIM نیز نشان می‌دهد که این واحد بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است ($LNWI=1/8130$). لذا در بین عوامل موثر در افزایش تنش برشی مواد و وقوع زمین لغزشهای حوضه این عامل سومین فاکتور مهم تلقی می‌گردد (جدول ۸).

جدول ۸ وزن لایه عاملی شاخص تراکم پوشش گیاهی (NDVI) در حوضه چناران با استفاده از مدل LIM

ردیف	نوع 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 واحد
۱	پوشش گیاهی متوسط	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۲۱۵۰۳۴	۳۸۳	۰/۰۰۱۸	-۰/۵۴۳۶
۲	پوشش گیاهی نسبتاً غنی	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۵۹۳۶۵	۱۳۸	۰/۰۰۲۳	-۰/۲۹۸۵
۳	پوشش گیاهی غنی	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۲۳۲۷۹	۴۴۳	۰/۰۰۱۹	۱/۸۱۳۰

د) عامل ارتفاع: این عامل به طور غیر مستقیم، تعیین کننده بسیاری از عوامل مسبب زمین لغزش مانند بارش سالانه، بارشهای شدید و رگباری، نوع بارش، تغییرات دما، یخبندان و ذوب یخ، تخریب فیزیکی و هوازدگی شیمیایی است. با این وجود این عامل در وقوع زمین لغزشها می تواند بسیار مهم و اثر گذار باشد. بررسی ارتباط عامل ارتفاع و حرکات لغزشی نشان می دهد، در حوضه طیف‌های ارتفاعی وجود دارند که بیشتر دچار حرکات لغزشی شده‌اند. حدود ۶۳/۶ درصد واحدهای دارای حرکت لغزشی در طیف ارتفاعی ۱۷۱۵-۱۵۷۰ متر قرار دارند و این طیف از این لحاظ بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است ($LNwi=1/7534$). حال آنکه در طیفهای ارتفاعی بالاتر و پایینتر به دلیل تغییر در رسوبات و فرایند، این رویکرد کاهش می یابد (جدول ۹).

جدول ۹ وزن لایه عاملی طبقات ارتفاعی به متر در حوضه چناران با استفاده از مدل LIM

ردیف	طبقه 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 واحد
۱	۱۲۲۰-۱۴۴۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۹۱۰۹۷	۶۹	۰/۰۰۰۷۶	-۱/۴۸۸۱
۲	۱۴۴۰-۱۵۷۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۲۹۴۱۱	۵۲	۰/۰۰۱۷۷	-۰/۵۴۳۶
۳	۱۵۷۰-۱۷۱۵	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۲۹۷۶۱	۵۴۳	۰/۰۱۸۲۵	۱/۷۵۳۴
۴	۱۷۱۵-۱۸۹۵	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۲۸۳۱۹	۱۶۲	۰/۰۰۵۷۲۰	۱/۱۸۱۱
۵	۱۸۹۵-۲۰۲۵	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۳۱۸۰۲	۲	۰/۰۰۰۰۶	-۱/۱۳۱۴

ذ) عامل زیربری رود: ضمن مطالعه شبکه‌های هیدروگرافی حوضه مشاهده شد که، اغلب حرکات لغزشی حوضه در نقاط نزدیک آبراهه‌ها و کانالهای آب رخ داده‌اند و رابطه معکوسی با فاصله گرفتن از آنها وجود دارد. نتایج حاصل از بکارگیری مدل LIM نیز بیانگر این واقعیت است که واحدهای با فاصله صفر تا ۳۰۰ متری از آبراهه‌ها و کانالهای آب بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند ($LNwi=1/4372$). این نتایج بیانگر تاثیر این عامل به صورت برداشت تکیه گاه جانبی و زیرین دامنه بر اثر فرسایش و زیربری رودخانه است که نهایتاً سبب تغییر در هندسه شیب دامنه و تند شدن آن می شود. اثرات نامبرده به طور مصنوعی توسط انسان هنگام احداث کانالهای آب نیز صورت می گیرد این عامل علاوه بر تغییر هندسه شیب دامنه، سبب نفوذ بیشتر آب از طریق کانالهای آب به لایه های حساس و نفوذ ناپذیر دامنه و سنگینی وزن آن می شود.

جدول ۱۰ وزن لایه عاملی فاصله از رودخانه و کانالهای آب به متر در حوضه چناران با استفاده از مدل LIM

ردیف	فاصله از رودخانه 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 واحد
۱	۰-۳۰۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۱۹۲۰۳	۹۲۱	۰/۰۰۴۸	۱/۴۳۷۲
۲	۳۰۰-۶۰۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۷۹۴۲۰	۴۳	۰/۰۰۰۵	-۱/۸۲۴۵

ر) عامل پوشش برفی: بررسی تصاویر ماهواره ای مربوط به ماههای اسفند و فروردین نشان داد که، حرکات لغزشی بیشتر در نقاط با برف ماندگار رخ داده‌اند. با انجام طبقه‌بندی تراکم^۱ بخشهای با برف ماندگار از بقیه تفکیک و وارد مدل شد. در مدل LIM واحد دارای برف ماندگار بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است ($LNwi=1/3451$) (جدول ۱۰). این عامل را به صورت یک عامل محرک و ثانویه با تاثیر در افزایش بار و وزن دامنه، آبهای نفوذی ناشی از ذوب برف در سیستم درزه‌ای و لایه‌های حساس، تکرار یخبندان و ذوب یخ و فشار ناشی از افزایش حجم یخ (۱۰ درصد) در شکافها، تخریب فیزیکی و هوازگی شیمیایی، می توان تحلیل نمود.

جدول ۱۰ وزن لایه ماندگاری برف در حوضه چناران با استفاده از مدل LIM

ردیف	طبقات 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 واحد
۱	مناطق غیر ماندگار	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۲۴۲۰۹۶	۱۳۰	۰/۰۰۰۵	-۱/۸۲۴۵
۲	مناطق ماندگار	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۷۰۳۷۴	۸۳۴	۰/۰۱۱۹	۱/۳۴۵۱

ز: عامل جاده: هنگام پرداختن به مطالعات میدانی و بررسی عوامل موثر در لغزش حوضه با توجه به مبانی نظری تحقیق مشاهده شد که، اکثر رانشها در نزدیکی راههای ارتباطی ماشین رو رخ داده‌اند (حدود ۸۰/۷ درصد در فاصله صفر تا ۵۰۰ متری). در مدل LIM واحد با فاصله صفر تا ۳۰۰ متر از جاده، بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است ($LNwi=1/3332$) (جدول ۱۱). حال آنکه با افزایش فاصله از ۳۰۰ متر از حرکات لغزشی کاسته می شود. اثر این عامل را می توان در تغییر هندسه شیب دامنه، حذف تکیه گاه جانبی دامنه بر اثر ترانشه‌های جاده و تنشهای انتقالی زمین بر اثر عبور وسایل نقلیه تحلیل نمود.

^۱-Density slicing

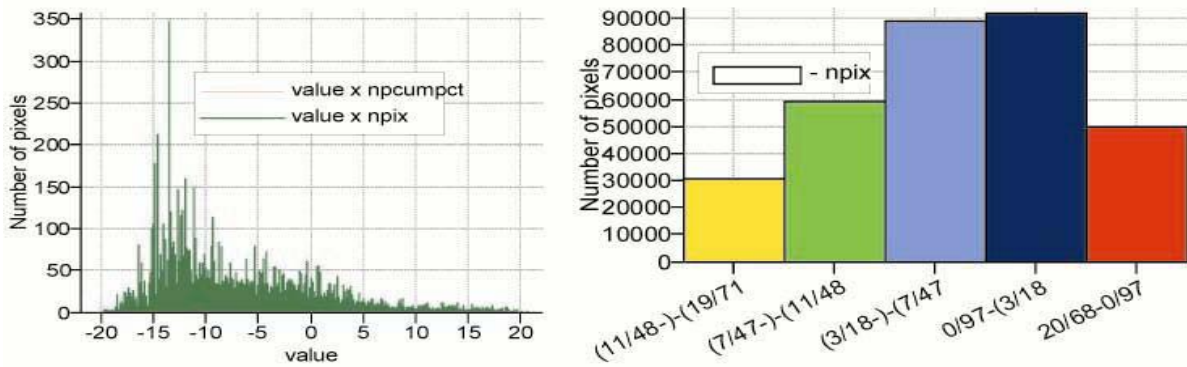
جدول ۱۱ وزن لایه عاملی فاصله از جاده‌های ارتباطی ماشین‌رو در حوضه چناران با استفاده از مدل LIM

ردیف	فاصله از جاده (متر)	فراوانی کل حوضه	فراوانی کل لغزش	تراکم لغزش در کل حوضه	فراوانی کل واحد	تراکم لغزش در واحد	وزن نهایی واحد
۱	۰-۳۰۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۴۸۲۰۹	۵۳۲	۱/۳۳۳۲
۲	۳۰۰-۶۰۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۳۹۴۴۱	۲۷۲	۰/۸۶۶۸
۳	۶۰۰-۸۰۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۲۲۳۶۱	۸۳	۰/۲۴۳۶
۴	۸۰۰-۱۰۰۰	۳۱۲۴۷۰	۹۶۴	۰/۰۰۳۱	۲۰۴۴۸	۱۱	-۱/۷۵۷۹

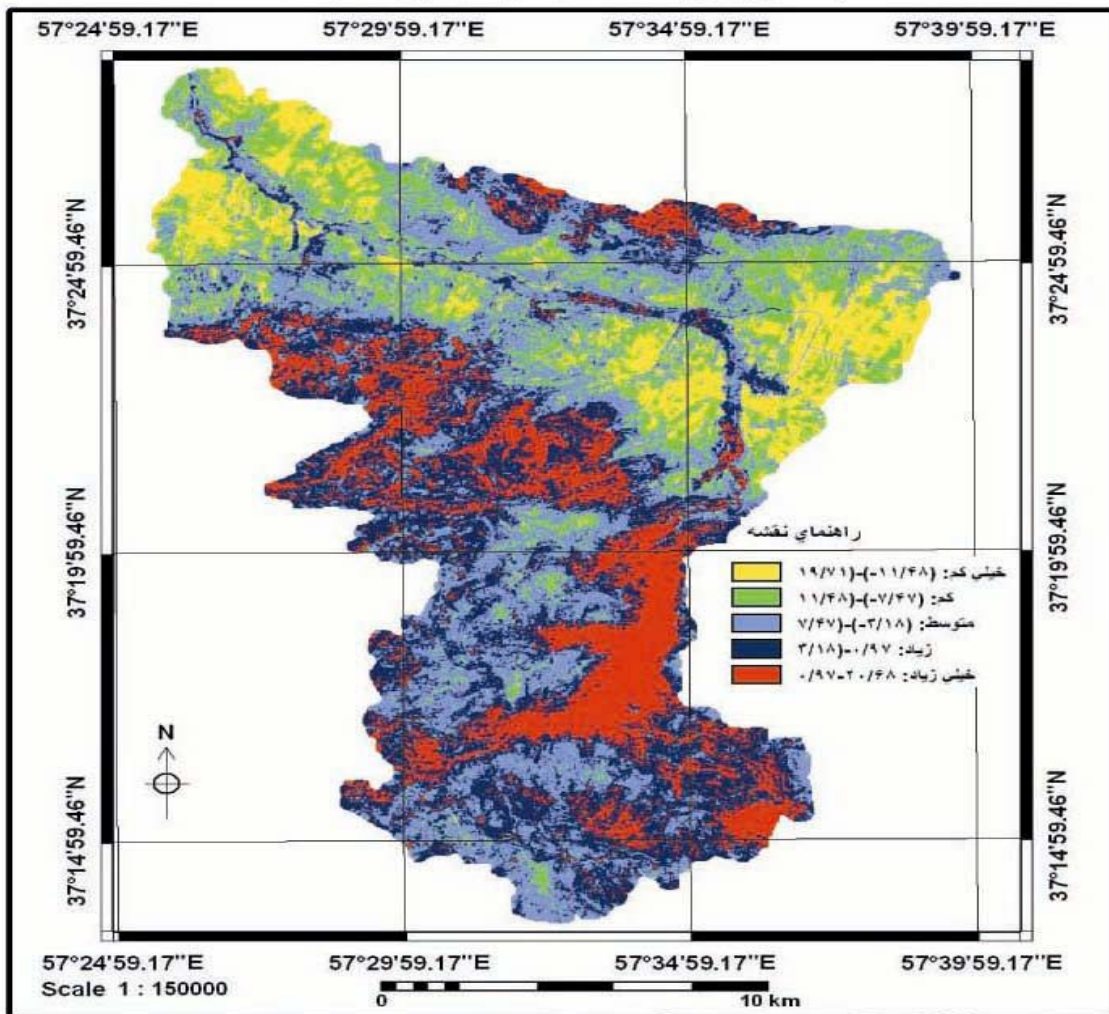
پس از بدست آوردن ستون وزن نهایی هر یک از واحدها با استفاده از مدل LIM، از طریق Properties هر یک از نقشه‌های عاملی، یک جدول اطلاعات توصیفی تهیه و ستون وزن نهایی نامبرده به این جدول الحاق شد. سپس با استفاده از این ستون ملحق شده، نقشه اطلاعات توصیفی تهیه گردید. این اقدامات برای هر یک از ۱۰ لایه عاملی انجام و ۱۰ لایه وزنی تهیه شد که از جمع جبری این ۱۰ لایه، نقشه وزنی نهایی بدست آمد و با توجه به دامنه تغییرات وزن پیکسلها بر اساس تغییرات منحنی هیستوگرام و به روش آماری به پنج کلاس تقسیم و نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزشهای حوضه تشکیل شد. به منظور حصول اطمینان از صحت پهنه‌بندی، نقشه پهنه‌بندی با نقشه پراکنش زمین لغزشهای موجود انقطاع داده شد که داده‌های جدول حاصل دلالت بر مناسب بودن پهنه‌بندی بر اساس این مدل دارد (جدول ۱۲).

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

کلاس پهنه‌بندی	پتانسیل خیلی زیاد	پتانسیل زیاد	پتانسیل متوسط	پتانسیل کم	پتانسیل خیلی کم	مجموع
درصد	۸۹/۳۵	۵/۹۲	۴/۷۳	۰	۰	۱۰۰



شکل ۶) هیستوگرام مربوط به نقشه وزنی نهایی زمین لغزش های حوضه چناران



شکل ۷) پهنه بندی پتانسیل خطر زمین لغزش بر اساس مدل LİM در حوضه زهکشی چناران

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی عوامل موثر در لغزش خیزی حوضه با مدل LIM نشان می‌دهد که، به دلیل وجود لایه‌های غیر قابل نفوذ رسی، مارنی و تبخیری و سیمان انحلال پذیر کربناته در سازند شوریه (Ksh)، این واحد سنگی با دارا بودن ۹۲ درصد از زمین لغزشها، عامل اساسی در این پدیده می‌باشد. سپس فشار آب متخلخل ناشی از چشمه‌ها و لایه‌های آبدار زیر زمینی در فاصله صفر تا ۱۰۰ متری، افزایش وزن ناشی از رشد درختان تنومند در باغات و اراضی آبی و انتقال نیروی باد از شاخه‌ها به تنه و ریشه‌ها و مواد دامنه، تاثیر غیر مستقیم طیف ارتفاعی (۱۷۱۵-۱۵۷۰) در تغییرات دما، یخبندان و ذوب یخ و فرایندهای حاصل از آن، نیروی ثقل و شیب مناسب (۷۸/۷-۳۸ درجه)، اثر زیربری دامنه توسط رودخانه چناران و مناطق با برف ماندگار در قالب عوامل موثر در کاهش و افزایش تنش برشی مواد دامنه، به ترتیب بیشترین تاثیر را در زمین لغزش حوضه داشته‌اند. مدل LIM به دلیل گرفتن لگاریتم طبیعی نسبت تراکم لغزش در طبقه با تراکم لغزش در کل حوضه که نوعی تغییر متغیر محسوب می‌شود، تمام عوامل دچار لغزش را در پهنه‌بندی لحاظ می‌کند که این ویژگی جزء نقاط قوت این مدل محسوب می‌شود. بر اساس مدل و پهنه‌بندی مذکور حدود ۸۹/۳۵ درصد از زمین لغزش‌های مشاهده شده در بررسی میدانی در پیش‌بینی و پهنه‌بندی در پهنه با پتانسیل خطر خیلی زیاد، حدود ۵/۹۲ درصد در پهنه با پتانسیل زیاد و ۴/۷۳ درصد در پهنه با پتانسیل متوسط قرار گرفته‌اند که بیانگر دقت بالای مدل LIM در پهنه‌بندی لغزش است.

بر اساس نقشه پهنه‌بندی مشخص می‌شود که، حدود ۱۵/۴۵ درصد از مساحت حوضه در پهنه خطر خیلی زیاد، ۲۸/۷۴ درصد در پهنه خطر زیاد، ۲۷/۶۸ درصد در پهنه خطر متوسط، ۱۸/۵۴ درصد در پهنه خطر کم و ۹/۴۹ درصد در پهنه خطر خیلی کم قرار می‌گیرد که این واقعیت بیانگر حساسیت زیاد حوضه نسبت به پدیده لغزش می‌باشد. لذا در این ارتباط پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

- ۱- در مناطقی که با خطر خیلی زیاد و زیاد مشخص شده‌اند، باید مطالعات پایداری شبیها برای احداث سازه‌ها صورت گیرد و سازه‌های متمرکز باید در محل‌های کم خطرتر احداث شوند.
- ۲- آموزش روستائیان ساکن در زمینه ایجاد سیستم‌های زهکشی سطحی و عمیق، ایجاد دیوارهای مصنوعی در طرفین رودخانه، نوع کشت و نحوه آبیاری باغات، انتخاب گونه‌های درختی کم حجم با وزن اندک و دفع صحیح فضلابهای خانگی عامل مهمی در کمک به پایداری دامنه‌ها محسوب می‌شود.
- ۳- جهت کاهش نسبی خطرات و افزایش میزان پایداری دامنه‌ها در حوضه، هرگونه تغییری در اکوسیستم موجود، کاربری اراضی و احداث سازه‌ها باید با لحاظ کردن شرایط ژئومورفولوژی و زمین شناسی حوضه انجام گیرد.
- ۴- پهنه‌بندی انجام گرفته بر اساس مدل LIM با توجه به وضع موجود ویژگیهای طبیعی و انسانی حوضه است و چنانچه تغییر عمده‌ای در مدیریت زمین به وجود آید، پهنه‌بندی زمین لغزش نیاز به تجدید نظر دارد.

منابع

- ۱- آدابی، محمدحسین و سیدرضا موسوی حرمی؛ «نقش لیتولوژی (سنگ‌شناسی) در رانش زمین در شمال شرق ایران»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، مقاله شماره ۴۴۴؛ ص ۸۸.
- ۲- آر. یو. کوک و جی. سی. دورکمپ؛ (۱۳۷۷)، ژئومورفولوژی و مدیریت محیط (جلد اول)، ترجمه شاپور گودرزی نژاد، انتشارات سمت، چاپ اول، تهران، ص ۲۱۳.
- ۳- افشار حرب، عباس؛ (۱۳۷۳)، زمین شناسی کپه داغ، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ اول، تهران، ص ۸۳.
- ۴- ریچارد جی. چورلی، استانیلی ای. شوم و دیوید ای. سودن؛ (۱۳۷۹)، ژئومورفولوژی (جلد سوم)، ترجمه احمد معتمد و ابراهیم مقیمی، انتشارات سمت، تهران.
- ۵- شادفر، صمد، علی اکبر نوروزی، جمال قدوسی و جعفر غیومیان؛ (۱۳۸۴)، «پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز لاکتراشان»، نشریه علمی ترویجی حفاظت آب و خاک، شماره ۱، صص ۱۰-۱.
- ۶- طلایی دولقی، رضا و جعفر غیومیان؛ (۱۳۸۰)، «شناخت و بررسی عوامل موثر در لغزش خیزی جنوب غرب خلخال»، مجموعه مقالات دومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صص ۱۴۰-۱۲۹.
- ۷- علایی طالقانی، محمود؛ (۱۳۸۴)، ژئومورفولوژی ایران، نشر قومس، چاپ سوم، تهران، ص ۱۹۴.
- ۸- علوی پناه، سید کاظم؛ (۱۳۸۲)، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۹- غفوری، محمد و علیرضا عاشوری؛ «زمین لغزش به عنوان یکی از بلایای طبیعی در شمال خراسان»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، مقاله شماره ۴۴۵؛ صص ۱۰۱-۹۰.
- ۱۰- مسگری وش، عباس، حمید فلاح و سعید کریمی نسب؛ (۱۳۸۰)، بررسی نقش عوامل موثر در وقوع زمین لغزش محمود آباد مسکون، مجموعه مقالات دومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صص ۱۸۶-۱۷۷.
- ۱۱- منطق، افشین و سعید هاشمی طباطبایی؛ (۱۳۸۰)، تحلیل و بررسی پتانسیل زمین لغزش در ارتفاعات گستره تهران (محدوده لشکرک)، نشریه شماره ک-۳۵۰، ص ۶۸.
- ۱۲- مهدوی فر، محمد رضا و محمد کاظم جعفری؛ (۱۳۸۰)، مطالعه آماری عوامل و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش استان لرستان، مجموعه مقالات دومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صص ۱۱۶-۱۰۵.
- ۱۳- مهرنهاد، حمید؛ (۱۳۸۰)، بررسی نقش زمین ساخت جنباً در ایجاد زمین لغزشهای منطقه بهاباد، مجموعه مقالات دومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صص ۲۶۷-۲۶۷.
- ۱۴- نیک اندیش، نسرين؛ (۱۳۸۰)، نقش عوامل هیدرواقليم در وقوع حرکات توده‌ای در حوضه کارون میانی، مجموعه مقالات دومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صص ۱۵۳-۱۴۱.

- ۱۵- نیکلا، پریس و ریچارد کمپ؛ (۱۳۸۴)، تحلیل داده‌های روانشناسی با برنامه‌ی SPSS، ترجمه‌ی خدیجه‌ی علی‌آبادی و علی‌صمدی، نشر دوران، چاپ اول، تهران، صص ۳۷۳-۲۸۹.
- ۱۶- وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات، سازمان فضایی ایران؛ تصاویر ماهواره‌ی ای‌باند‌های مختلف سنجنده‌ی ETM+ ماهواره‌ی لندست مربوط به ماه مه ۲۰۰۳ میلادی.
- ۱۷- وزارت دفاع و پشتیبانی، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ برگ ۱: ۵۰۰۰۰ نقشه‌های توپوگرافی بجنورد، سیسب و اسفراین و عکسهای هوایی با مقیاس ۱:۵۵۰۰۰ و ۱:۴۴۰۰۰؛ احوضه‌ی چناران مربوط به سالهای ۱۳۳۵ و ۱۳۷۳.
- ۱۸- وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور؛ برگ ۱: ۱۰۰۰۰۰ نقشه‌های زمین‌شناسی بجنورد و شیروان.
- ۱۹- وزارت نیرو، موسسه تحقیقات منابع آب (تماب)، بخش آنالیز آمار و اطلاعات؛ گزارش ایستگاههای تبخیرسنجی اسدلی بجنورد، بربرقلعه بجنورد، سه یک آب شیروان، گرمخان بجنورد و نوشیروان اسفراین.

- 20- Brabb, E. E., The World landslide Problem: Episodes, V.14. No.1. 1991, p. 52-61.
- 21- E. J. Gabet, Douglas W. Burbank, and Jaakko K. Putkonen, 2004. Rainfall Thresholds for Landsliding in the Himalayas of Nepal. *Geomorphology* 63:131-143.
- 22- Faruk Ocakoglu, Candan Gokeoglu, and Murat Ercanoglu, 2002. Dynamics of a Complex Massmovement Triggered by Heavy Rainfall: a case study from NW Turkey. *Geomorphology* 42:329-341.
- 23- John Gerrard & R.Gardner, 2002. Relationships Between Landsliding and Land Use in the Likhu khola Drainage Basin, Middle Hills, Nepal. *Mountain Research and Development*, Vol. , 22 No. 1:48-55.
- 24- Narajo, J. L., Van Westen, C. J. and Soeters, R. (1994). Evaluating the Use of Training Areas in Bivariate Statistical Landslide Hazard Analysis – a case study in Colombia. *ITC Journal* 1994-3, PP 292 – 300.
- 25- L. E. Espizua, J. D. Bengochea, 2002. Landslide Hazard and Risk Zonation Mapping in the Rio Grande Basin, Central Andes of Mendoza, Argentina, *Mountain Research and Development* vol 22 No 2:177-185.
- 26- R. Anbalagan, 1992. Landslide Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain, *Engineering Geology*, 32: 269-277.
- 27- Selby, M. J. , 1970. Slope and Slope Processes: Publication No.1 of The wiakato Branch of the New Zealand Geographical Society, p.57.
- 28- Van Westen, C. J., 1994. Geographic Information System in Landslide Hazard Zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia. In: Price, M. and Systems. Taylor & Francis, Basingstoke, U.K. PP 135-165.
- 29- Van Westen, C. J., 1995. Statistical Landslide Hazard Analysis. ITC- Publication Number 11, ITC, Enschede, The Netherlands. P.82.
- 30- Varnes, D. J., 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice (UNESCO, Paris)
- 31- Varnes, D. J., 1978. "Slope Movement Types and Processes: In Schuster", R. L. and Krizek, R. J. (eds.), *Landslide, Analysis and Control*, Transportation Research Board Special Report 176, P. 11033.