

# مدل سازی و پهنه بندی زمین لغزش های حوضه لتیان با استفاده از مقایسه آماری ۲ متغیره

ابوالقاسم امیراحمدی\*: استاد تمام ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، خراسان رضوی، ایران. amirahmadi1388@gmail.com

جواد جمال آبادی: دکتر ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، خراسان رضوی، ایران.

رفعت دانشفر: دانشجو کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری، خراسان رضوی، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

## چکیده

منطقه مورد مطالعه به دلیل موقعیت جغرافیایی و ویژگی های طبیعی و زمین شناختی اش یکی از مناطق مستعد وقوع زمین لغزش است. در این پژوهش برای انتخاب مهم ترین عامل زمین لغزش در منطقه و همچنین میزان دخالت هر یک از عوامل در زمین لغزش های حوضه لتیان از روش مدل سازی آماری استفاده کرده ایم. لایه های اطلاعاتی استفاده شده شامل لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، ارتفاع، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی، گسل، جاده، دریاچه سد و رودخانه است. بیش از ۱۲۰ زمین لغزش و پهنه لغزشی مورد شناسایی قرار گرفته و نقشه پراکنش زمین لغزش ها برای منطقه تهیه شده است. برای تعیین اهمیت و تأثیر نسبی عوامل مؤثر در پهنه بندی خطر زمین لغزش ابتدا میزان همبستگی عوامل توسط ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد؛ سپس از روش وزن دهی یا امتیازدهی استفاده شده و توسط مدل سازی آماری ۲ متغیره زمین لغزش ها با تک تک عوامل به صورت دوتایی بررسی شده است. سپس با استفاده از روش وزن دهی یا امتیازدهی و توسط مدل سازی آماری ۲ متغیره با وزن های به دست آمده عوامل با هم مقایسه شدند تا میزان دخالت این عوامل در ایجاد زمین لغزش ها به دست آید. در انتها نقشه های پهنه بندی تهیه کردیم. بعد با بازدید میدانی انجام شده از حوضه بعد از پهنه بندی و ثبت موقعیت زمین لغزش های جدیدی که در حوضه اتفاق افتاده، موقعیت این زمین لغزش های ثبت شده را با نقشه های پهنه بندی شده تطابق داده ایم که نشان می دهد بیشترین هم پوشانی در طبقات حساسیت خیلی زیاد و زیاد را نقشه پهنه بندی با روش ارزش اطلاعات به دست آمده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد با توجه به شاخص مجموع کیفیت روش ارزش اطلاعات نسبت به روش ارزش اطلاعات برای حوضه لتیان کارا تر است.

کلید واژگان: زمین لغزش، پهنه بندی، لتیان، مقایسه آماری.

## Modeling and zoning of landslides in the Letian basin using a bivariate statistical comparison

Abolghasem, Amir Ahmadi<sup>\*1</sup>, Javad, Jamalabadi<sup>2</sup>, Rafat, Daneshfar<sup>3</sup>

### Abstract

The study area is one of the landslide prone areas due to its geographical location and natural and geological features. In this study, we have used statistical modeling to select the most important landslide factor in the region and also the extent of involvement of each factor in landslides in Latian Basin; The information layers used include: lithology, land use, precipitation, altitude, slope, slope direction, vegetation, fault, road, dam lake and river; More than 120 landslides and landslides were identified and landslide distribution maps have been prepared for the area. To determine the relative importance and effect of effective factors and factors in landslide risk zoning, first the degree of correlation of factors was calculated by Pearson correlation coefficient, then the weighting or scoring method was used and by two-variable statistical modeling of landslides, two factors were considered. Then, by weighting or scoring method and by bivariate statistical modeling with the obtained weights, the factors were examined together to obtain the degree of involvement of these factors in landslides. Finally, we have prepared zoning maps. By field visit of the basin after zoning and recording the location of new landslides that have occurred in the basin, we have matched the location of these recorded landslides with zoned maps, the most overlap in the very sensitive and highly sensitive classes is the information map. Achieved, the results show that according to the total quality index, the information value method is more efficient than the information value method for the Latian basin.

**Keywords:** Landslide, zonation, Latian, Statistical comparison

1-Professor of Geomorphology at Hakim Sabzevari University, Khorasan Razavi, Iran. amirahmadi1388@gmail.com

2-PhD in Geomorphology of Hakim Sabzevari University, Khorasan Razavi, Iran.

3-Student, Master of Geomorphology, Hakim Sabzevari University, Khorasan Razavi, Iran.

۹۷

شماره ۲۱

بهار و تابستان  
۱۴۰۱

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابوالقاسم امیراحمدی  
مدل سازی و پهنه بندی زمین لغزش های حوضه لتیان با استفاده

روابط آماری بین زمین لغزش گذشته و فاکتورهای مؤثر ارزش وزنی اختصاص داده می‌شود. [۹]

تیری و همکاران (۲۰۰۷) با روش‌های ۲ متغیره در مقیاس بزرگ نشان دادند که استفاده از متغیرهای پیش‌بینی نشده جدید برای کالیبره کردن یک مدل آماری ۲ متغیره برای ارزیابی حساسیت به لغزش منطقه‌ای بزرگ مناسب است. با فرض استفاده از آزمون‌های آماری خاص اگر تنها چند تا داده لغزش وجود داشته باشد، استفاده از مدل‌های آماری ۲ متغیره بر اساس دانش و معیارهای عینی برای ارزیابی حساسیت به لغزش بسیار مناسب است. سیبال قوش و همکاران (۲۰۰۷) با پیش‌بینی‌های فضایی و مدل‌سازی حساسیت زمین لغزش به این نتیجه رسید که نتایج حاصل از ارتباطات فضایی ۲ متغیره در بین زمین لغزش‌ها و عوامل مکانیکی معیارهای تجربی مفید هستند؛ زیرا آن‌ها با کاهش ذهنیت دانش متخصص اعمال می‌شود و در منطقه مورد مطالعه پیش‌بینی‌های انتخاب شده و وزن از طریق روش پیشنهادی واقعی‌تر است. پوره‌اشمی (۱۳۹۳) با روش‌های آماری ۲ متغیره مدل مناسب برای پهنه‌بندی تهیه کرد. ابتدا لایه پراکنش ۴۴ نقطه لغزشی رخ داده در سطح حوضه به عنوان متغیر مستقل تهیه شده؛ سپس از طریق همپوشانی لغزش به عنوان متغیر مستقل تهیه شده؛ سپس از طریق همپوشانی و انطباق نقشه‌های عامل با نقشه پراکنش لغزش به طور جداگانه و مستقل پهنه‌بندی خطر زمین لغزش انجام شد و از روش شاخص زمین لغزش  $L_i$  استفاده شده است. در نتیجه روش ارزش اطلاعاتی به لحاظ داشتن انطباق بیشتر زمین لغزش‌ها با پهنه خطر بالا و همچنین توانایی تفکیک طبقه‌های خطر کارایی بهتری نسبت به روش پیشنهادی دارد. از بین تمامی عوامل شیب بیشترین تأثیر را داشته؛ زیرا بیشتر لغزش‌ها در شیب‌های بیشتر از ۱۲٪ رخ داده است. فتاحی و همکاران (۱۳۸۲) با ارائه مقاله‌ای نشان دادند که روش‌های وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی با دقت‌هایی در حدود ۹۹٫۷ و ۹۹٫۴ درصد از میان مدل‌های انتخاب شده برای پهنه‌بندی در مناطق حوزه آبخیز سد لتیان در البرز مرکزی کاراترین روش‌ها هستند. بررسی‌های انجام شده در حوزه آبخیز سد لتیان نشان می‌دهد که از کل مساحت حوضه حدود ۳۰٫۵ درصد حوضه لغزشی است. آمار زمین لغزش‌ها در مناطقی که قبلاً حرکت کرده‌اند، نشان می‌دهد که این مناطق لغزشی دوباره دچار لغزش شده‌اند. ضمن اینکه تغییر کاربری اراضی و احداث جاده‌های دسترسی روستایی از جمله احداث راه جدید گرمابدر به بلده در شمال بر روی دامنه‌های پرشیب سازند شمشک موجب وقوع چندین لغزش در سال‌های اخیر شده است.

در این پژوهش برای انتخاب مهم‌ترین عامل زمین لغزش در منطقه و همچنین میزان دخالت هر یک از عوامل در زمین لغزش‌های حوضه لتیان از روش مدل‌سازی آماری استفاده کرده‌ایم؛ زیرا با روش مدل‌سازی آماری و همچنین اطلاعات آماری دقیق از حوضه می‌توان مدلی را طراحی کرد که نزدیک‌ترین شباهت با حوضه داشته باشد و بهترین تحلیل و تفسیر وضع موجود حوادث آتی زمین لغزش‌های حوضه را شبیه‌سازی و پیش‌بینی کرده و با آن بتوان نواحی مستعد را طبقه‌بندی کرد. طبقه‌بندی

ژئومورفولوژیست‌ها از همان زمان تکوین و پیدایش دانش ژئومورفولوژی همواره سعی داشته‌اند با استفاده از فناوری‌های در دسترس، فرم‌ها و فرآیندها را در طول زمان و در نظام‌های فضایی خاصی به مقیاس دلخواه به نمایش بگذارند و اصولاً ژئومورفولوژی از طریق استفاده از مدل و پیش‌بینی مدل‌ها می‌تواند مدیریت بهینه محیط‌زیست و منابع طبیعی را به عهده بگیرد. آن‌ها همواره می‌کوشند حوادث گذشته را در قلمرو اشکال و ناهمواری زمین را بازسازی کرده و با تحلیل و تفسیر وضع موجود حوادث آتی را شبیه‌سازی و پیش‌بینی کنند. [۱]

از این رو بررسی، شناسایی، تحلیل و ارزیابی خطر وقوع زمین لغزش و پهنه‌بندی نواحی حساس و مستعد به لغزش یکی از دل‌مشغولی‌ها و اهداف اصلی محققان علوم زمین است. این موضوع یعنی ارزیابی و پهنه‌بندی حساسیت به زمین لغزش، نقش و ارزش و کاربرد بسیاری برای برنامه‌ریزان محیطی برای انجام اقدامات پیشگیرانه و کاهش اثرات و خسارات دارد. شناخت نواحی مستعد لغزش‌ها یکی از گام‌های اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای و عمرانی است. اگرچه زمین لغزش‌ها تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی متعددی رخ می‌دهند که ارزیابی تأثیر هر یک از این عوامل، نقش بسزایی در پیش‌بینی احتمال وقوع حرکت‌های توده‌ای و پهنه‌بندی خطر آن‌ها دارد. [۲] با وجود پیچیدگی حرکت توده‌ای این حرکات جزو قابل پیش‌بینی‌ترین حرکات به شمار می‌روند و مدیریت‌پذیری بالایی دارند.

برای تصمیم‌گیری مناسب و اتخاذ استراتژی‌های آینده نیاز است هر منطقه از نظر وقوع زمین لغزش و حساسیت به آن ارزیابی شود. حساسیت به زمین لغزش را می‌توان احتمال وقوع زمین لغزش در هر مکان بر اساس ارتباط بین توزیع زمین لغزش‌ها و فاکتورهای مؤثر بر آن تعریف کرد. [۳] فرآیندی که طی آن نقاط مختلف منطقه‌ای از نظر وقوع زمین لغزش در طبقات مختلف قرار می‌گیرند، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش [۴] نامیده می‌شود. تاکنون روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ارائه شده که این روش‌ها را می‌توان به ۲ دسته اصلی روش‌های کمی و کیفی تقسیم‌بندی کرد [۵] روش‌های کیفی بیشتر بر نظر شخصی مبتنی است و در این روش‌ها بر اساس قضاوت کارشناسان به ارزیابی خطر یا حساسیت می‌پردازند. [۶] در روش‌های کمی نظر متخصص کمتر دخیل بوده و بیشتر بر اساس مقادیر عددی حاصل از آنالیز لایه‌های اطلاعاتی مختلف بنا گذاشته شده‌اند. [۷] روش‌های کمی به روش‌های احتمالاتی، روش‌هایی که بر اساس قوانین احتمالاتی نیستند (شبکه عصبی، منطق فازی، نوروفازی، ماشین‌های بردار پشتیبانی) و روش‌های آماری تقسیم می‌شود. [۸] روش‌های آماری هم به ۲ دسته ۲ و چندمتغیره تقسیم‌بندی می‌شود. روش‌های ۲ متغیره شکل اصلاح شده ترکیب کیفی نقشه‌ها هستند که در آن هر یک از لایه‌های اطلاعاتی با توزیع زمین لغزش‌های موجود مقایسه می‌شود و برای هر طبقه از فاکتورهای مؤثر بر اساس

## روش تحقیق و ابزارها منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز لتیان یکی از زیرمجموعه‌های حوضه آبریز رودخانه جاجرود است که حوضه آبریز رودخانه جاجرود خود زیرمجموعه حوضه آبریز دریاچه نمک محسوب می‌شود. (نقشه شماره ۱)

حوضه آبریز لتیان از لحاظ تقسیمات کشوری در شمال شرقی شهر تهران در حد فاصل طول‌های شرقی ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه و عرض‌های شمالی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه قرار دارد. این حوضه به طور کامل در محدوده فرمانداری شهرستان شمیرانات است و از نظر سیاسی این حوضه با ۵ شهرستان نور، آمل، دماوند، کرج و تهران مرز مشترک دارد. این حوضه از ۲ بخش لواسان و رودبار قصران و ۳ دهستان لواسان بزرگ، لواسان کوچک و رودبار قصران تشکیل شده است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز سد لار، از غرب به حوضه آبریز کرج، از جنوب به حوضه آبریز شمال تهران و از شرق به حوضه آبریز دماوند محدود می‌شود. [۱۰]

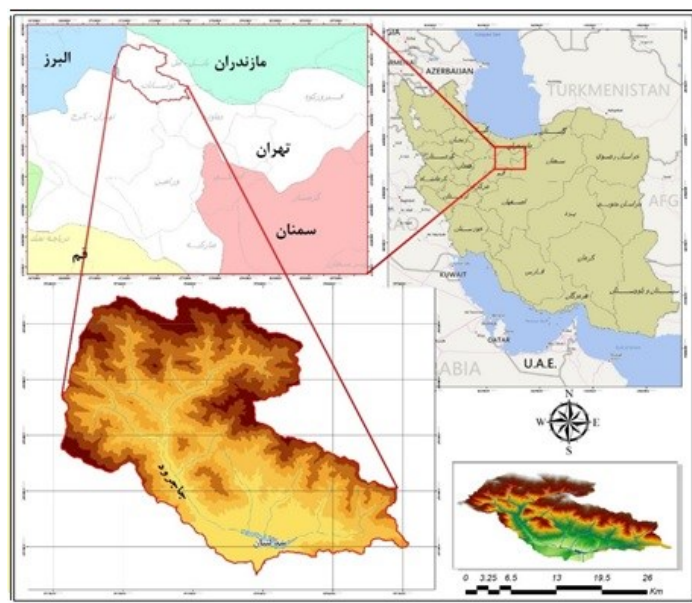
### روش حوضه‌بندی:

در ابتدای امر برای مشخص شدن مرز حوضه نیاز به روشی است که بتوان مرز حوضه را به دقت بالا و کمترین خطا که مناسب حوضه باشد، مشخص کرد. برای مشخص کردن مرز حوضه آبریز این تحقیق مناسب‌ترین، دقیق‌ترین، علمی‌ترین و کم‌خطاترین مدل طراحی استفاده شده است.

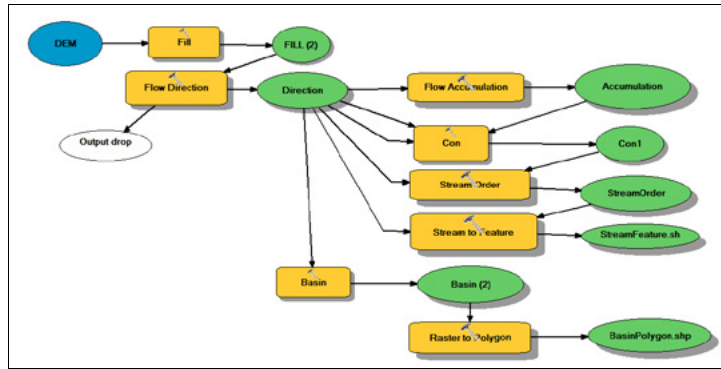
در مدل طراحی شده از DEM ۱۰ متر منطقه در محیط Arc Map ۱۰٫۳ استفاده شده و سپس طبق نمودار (شکل شماره ۱) مراحل اجرا شده و در پایان مرز منطقه مشخص شد. (نقشه شماره ۲)

نواحی مستعد لغزش و پهنه‌بندی خطر آن گامی مهم در ارزیابی خطرات محیطی به شمار رفته و نقش غیر قابل انکاری را در مدیریت حوضه‌های آبریز ایفا می‌کند؛ زیرا زمین‌لغزش‌ها از جمله بلایای طبیعی هستند که سالانه خسارت‌های مالی و جانی زیادی را در کشور ایجاد می‌کنند. تلفات انسانی، تخریب اراضی کشاورزی، باغ‌ها، سازه‌های مهندسی، راه‌های ارتباطی و هدررفت سریع خاک از آثار زمین‌لغزش‌ها به شمار می‌روند. چون شناخت مناطق پرخطر می‌تواند در کاهش خسارت‌ها و تصمیم‌گیری در سیاست‌های توسعه اراضی مؤثر باشد، با این روش‌ها می‌توان کمک بسزایی جهت جلوگیری و کاهش این‌گونه خسارات کرد. پدیده زمین‌لغزش نتیجه عملکرد چندین عامل از جمله لیتولوژی، کاربری اراضی، میزان بارندگی، گسل، ارتفاع، خطوط ارتباطی، خطوط زهکشی، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی و همچنین حاصل تأثیر متقابل این عوامل بر یکدیگر است که در این تحقیق جهت یافتن مهم‌ترین عامل زمین‌لغزش، زمین‌لغزش‌های ثبت شده با لایه‌های مختلف هم‌پوشانی داده شد؛ سپس برای تعیین اهمیت و تأثیر نسبی عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از روش وزن دهی یا امتیازدهی استفاده شده است؛ برای این کار از هر ۱۱ عامل یادشده که مؤثر در زمین‌لغزش منطقه هستند، استفاده شده؛ سپس توسط مدل‌سازی آماری ۲ متغیره با وزن‌های به دست آمده عوامل را با هم مورد بررسی قرار دادیم تا میزان دخالت این عوامل در ایجاد زمین‌لغزش‌ها را به دست آوریم.

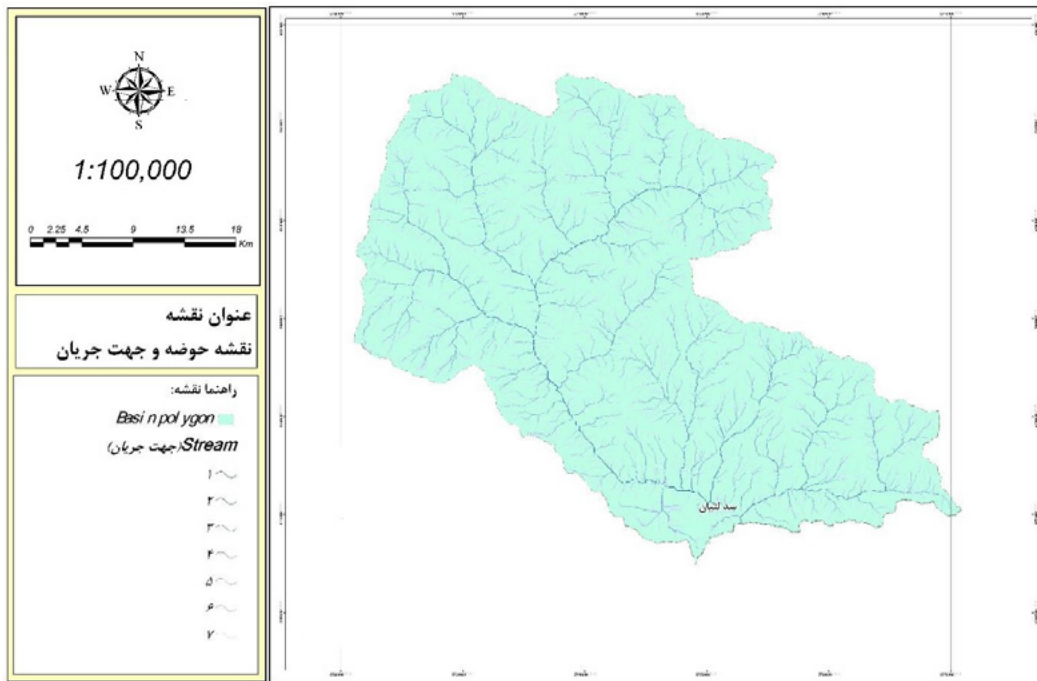
هدف از این تحقیق هم شناخت و تحلیل مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد و تشدید زمین‌لغزش‌ها و همچنین یافتن مهم‌ترین عامل زمین‌لغزش در منطقه و ارتباط عوامل با هم و تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش حوضه لتیان جهت ارائه بهترین راه‌کارهای مدیریتی برای مهار و همچنین پیش‌بینی وقوع آن در مناطق حساس منطقه است.



(نقشه شماره ۱) نقشه موقعیت



شکل شماره ۱) مدل حوضه‌بندی منطقه



نقشه شماره ۲) نقشه حوضه و آبراهه‌ها

است که نشان می‌دهد ۳,۰۲ درصد از کل سطح این حوضه درگیر لغزش شده است. (نقشه شماره ۳)

### تئوری و محاسبات

گام اول: فاکتورهای مؤثر در زمین‌لغزش

پس از تهیه نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه، نقشه فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش تهیه شده است. فاکتورهای مختلف بر اساس ۳ ویژگی مرتبط، در دسترس بودن و مقیاس انتخاب شدند. به همین منظور در این تحقیق ۱۱ فاکتور مرتبط برای تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش انتخاب شد. فاکتورهای انتخاب شده عبارتند از: شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از دریاچه سد، فاصله از گسل، فاصله از جاده، کاربری اراضی، بارش، لیتولوژی، پوشش گیاهی و کاربری ارضی.

پس از تهیه نقشه‌های عوامل مؤثر و طبقه‌بندی آن‌ها این نقشه‌ها با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها قطع داده شدند.

### زمین‌لغزش‌های حوضه لتیان (تعداد، موقعیت و ویژگی‌ها)

به علت شرایط و ویژگی‌های توپوگرافی حوضه لتیان پدیده‌های لغزشی در تمام حوضه به صورت پراکنده به وقوع پیوسته که آثار باقی‌مانده از این پدیده هنوز هم روی دامنه‌ها قابل مشاهده است؛ زمین‌لغزش‌های حوضه با استفاده از نقشه‌های مبنایی زمین‌شناسی، توپوگرافی، تصاویر هوایی، نقشه‌های زمین‌لغزش مطالعات گذشته حوضه لتیان و بررسی تاریخچه وقوع زمین‌لغزش‌های ثبت شده تهیه و سپس به کمک اطلاعات به دست آمده از تفسیر تصاویر Google Earth طی دوره‌های زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ یافته‌های قبلی بررسی و تصحیح و تکمیل شد. بعد هم در محیط ArcMap پردازش‌های لازم انجام شده و نقشه زمین‌لغزش حوضه به دست آمده است. نقشه به دست آمده شامل ۱۲۶ زمین‌لغزش و پهنه لغزشی است که لغزش‌های ثبت شده شامل لغزش‌های منفرد و پهنه لغزشی می‌شوند. بررسی نشان می‌دهد مساحت کل زمین‌لغزش‌های حوضه ۲۲,۲ کیلومتر مربع

در ابتدا برای طبقه‌بندی بر اساس میزان زمین‌لغزش‌ها لازم است تعداد پیکسل‌ها در هر طبقه مشخص شود تا بتوان تشخیص داد که در هر طبقه چه تعداد پیکسل زمین‌لغزشی وجود دارد. برای انجام این عملیات در محیط ArcGIS طبق مسیرهایی که در (شکل شماره ۲) آمده، بر اساس نوع داده‌ها پیش‌رفته‌ایم و برای داده‌هایی که احتیاج به نقشه فاصله است، مانند دریاچه سد، جاده، رودخانه و گسل از روش اول نمودار و برای polygon ها مانند لیتولوژی، هم‌باران، کاربری ارضی از روش دوم و برای داده‌های رستری مانند شیب و جهت شیب از روش سوم پیش‌رفته‌ایم. در انتها هم از داده رستری به دست‌آمده می‌توان تعداد پیکسل‌های هر طبقه و پیکسل‌های زمین‌لغزشی در هر طبقه را به دست آورد.

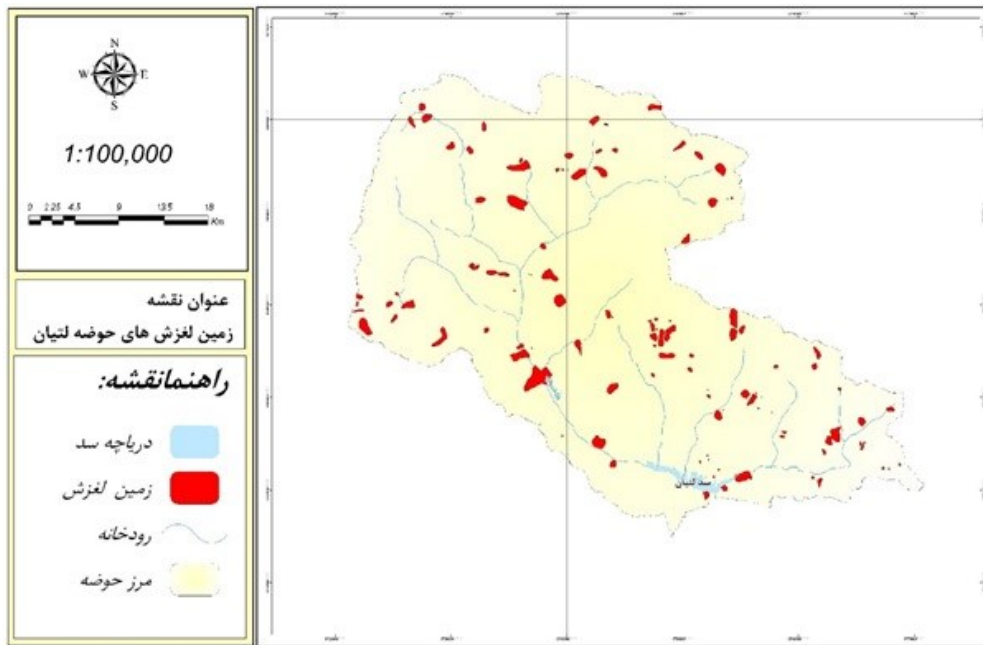
### پوشش گیاهی

تخریب و نبود پوشش گیاهی نه تنها باعث شستشوی دامنه‌ها در زمان بارندگی می‌شود، بلکه چون خاک دامنه‌ها در معرض مستقیم هوا قرار می‌گیرند، به‌آسانی دچار هوازدگی شده و باعث

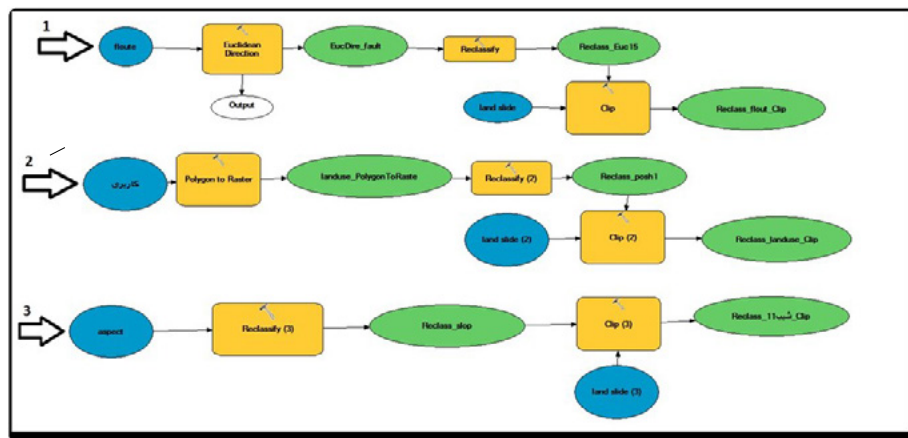
ناپایدار شدن خاک می‌شود که همین امر باعث افزایش احتمال زمین‌لغزش می‌شود؛ حال آنکه وجود پوشش گیاهی می‌تواند برعکس این قضیه عمل کند و در بعضی از شرایط انتخاب نادرست نوع پوشش گیاهی باعث اتفاق افتادن این رخداد می‌شود. نقشه پوشش گیاهی براساس تأثیر نوع پوشش گیاهی و استعداد آن در زمین‌لغزش (نقشه شماره ۴) در ۸ کلاس طبقه‌بندی شده؛ سپس با روی هم قرار دادن نقشه زمین‌لغزش و نقشه پوشش گیاهی با روش دوم نمودار (شکل شماره ۲)، جدول (جدول شماره ۱) خروجی گرفته شده است. بعد هم تعداد پیکسل‌های لغزیده و کل در هر طبقه مشخص شد و در ۸ کلاس (PV) در جدول (جدول شماره ۱) طبقه‌بندی شدند.

### فاصله از دریاچه سد

یکی از عوامل مهم در ایجاد زمین‌لغزش وجود رطوبت در منطقه است. ایجاد دریاچه‌های مصنوعی یکی از عواملی است که می‌تواند باعث ایجاد رطوبت دامنه‌های اطراف دریاچه شود؛ همچنان که در منطقه مورد مطالعه دریاچه مصنوعی سد لتیان



نقشه شماره ۳) نقشه زمین‌لغزش‌های حوضه لتیان



(شکل شماره ۲) نمودار نحوه به دست آوردن پیکسل‌های لغزش در هر طبقه

باعث تغییراتی در میزان زمین‌لغزش‌های منطقه شده است. از این رو دریاچه سد هم یکی از عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش مدنظر محسوب شده است.

نقشه فاصله از دریاچه بر اساس فاصله از سد و استعداد آن در زمین‌لغزش (نقشه شماره ۵) با روش اول نمودار (شکل شماره ۲) تهیه شده؛ سپس از جدول خروجی گرفته شده که تعداد پیکسل‌های لغزیده و پیکسل‌های کل در هر طبقه مشخص شد و در ۹ کلاس در (جدول شماره ۲) طبقه‌بندی شدند.

#### کاربری ارضی:

کاربری ارضی یکی از عوامل زمین‌لغزش است که بر اساس نوع بهره‌برداری از زمین باعث تغییر ثبات در دامنه می‌شود. در این منطقه کاربری‌ها عموماً کشاورزی است که بر اساس میزان مصرف آب در زمین‌ها و وزن پوشش زمین بسته به نوع آن پوشش این درصدها تغییر می‌کند.

نقشه کاربری ارضی بر اساس تأثیر نوع کاربری و استعداد آن در زمین‌لغزش (نقشه شماره ۶) در ۶ کلاس طبقه‌بندی شده

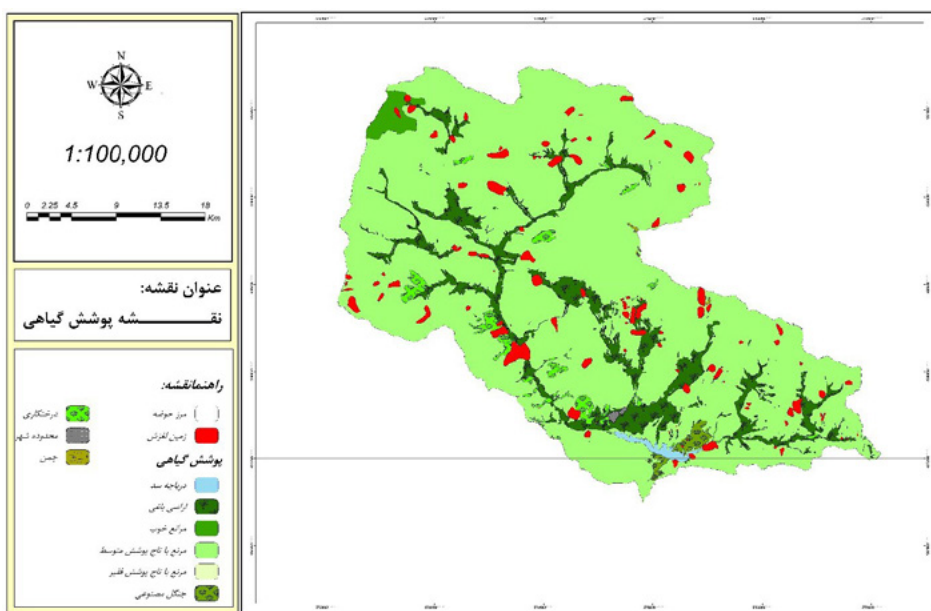
و سپس با روی هم قرار دادن نقشه زمین‌لغزش و نقشه کاربری ارضی با روش دوم نمودار (شکل شماره ۲) مراحل آن طی و در انتها جدول خروجی گرفته شده است. بعد تعداد پیکسل‌های لغزیده و پیکسل‌های کل در هر طبقه مشخص شد و در ۶ کلاس (PLU) در (جدول شماره ۳) طبقه‌بندی شدند.

#### فاصله از رودخانه:

علت اصلی زمین‌لغزش‌های رخ داده یا زمین‌لغزش‌هایی که در شرف وقوع هستند، می‌تواند ناشی از مرطوب ماندن دائمی خاک‌ها باشد. همچنین جریان رودخانه اصلی و انشعاب‌های فرعی آن می‌تواند باعث شستشوی خاک‌های پای دامنه‌ها و ناپایدار کردن آن‌ها شود. هرچقدر توده‌های لغزشی از رودخانه فاصله‌ی بیشتری داشته باشد، کمتر تحت تأثیر شستشوی ناشی از حضور رودخانه قرار می‌گیرد و خاک آن خشک باقی می‌ماند. جریان رودخانه اصلی و انشعاب‌های فرعی آن با مرطوب نگه داشتن خاک اطراف رودخانه موجب آبیگری آن می‌شود و در نتیجه تحت تأثیر نیروی ثقل به حرکت درمی‌آیند.

جدول شماره ۱) جدول نسبت تعداد پیکسل‌های پوشش گیاهی و زمین‌لغزش‌های هر طبقه

| درصد | تعداد پیکسل‌های طبقات پوشش گیاهی | تعداد پیکسل‌های زمین‌لغزش | کلاس  | PV                     |
|------|----------------------------------|---------------------------|-------|------------------------|
| ۴,۷۲ | ۲۴۵۲۸۵                           | ۲۳۱۴۲                     | ۱     | درختکاری شده           |
| ۳    | ۱۲۵۰۱۶                           | ۵۹۱۶                      | ۲     | مراعات با تاج پوشش خوب |
| ۰,۹  | ۷۵۶۹                             | ۳۵۸                       | ۳     | چمن                    |
| ۹,۰۴ | ۹۱۷۲۴۳۴                          | ۲۷۵۸۹۶                    | ۴     | مرتع با تاج پوشش متوسط |
| ۴,۷۳ | ۱۱۸۲۴۴۵                          | ۳۲۱۸۴                     | ۵     | اراضی باغی             |
| ۲,۰۷ | ۵۰۶۴۷                            | ۱۲۸۴                      | ۶     | دریاچه سد              |
| ۲,۰۵ | ۷۱۶۶۳                            | ۶۴۹                       | ۷     | جنگل مصنوعی            |
| ۰    | ۹۹۴۹                             | ۰                         | ۸     | محدوده شهری            |
| ۰    | ۱۱۴۶                             | ۰                         | ۸     | مرتع با تاج پوشش فقیر  |
|      | ۱۰۴۸۱۸۳۶                         | ۳۲۷۳۵۲                    | مجموع |                        |



نقشه شماره ۴) نقشه طبقات پوشش گیاهی و زمین‌لغزش‌ها

کل در هر طبقه مشخص شد (جدول شماره ۴) و در ۸ کلاس (PRI) قرار گرفته است.

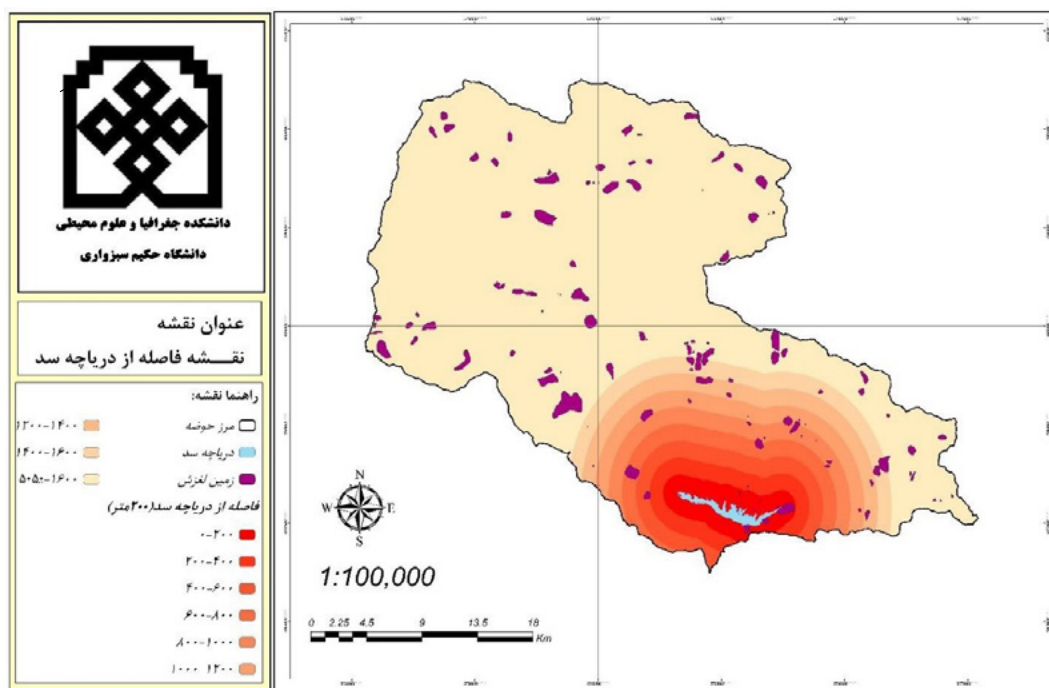
#### لیتولوژی:

هر یک از سازندها بسته به نحوه، زمان تشکیل و موادی مادری میزان حساسیت متفاوتی نسبت به زمین لغزش دارند. هر

با روی هم قرار دادن نقشه زمین لغزش و نقشه فاصله از رودخانه (نقشه شماره ۷) بر اساس میزان فاصله از رودخانه و استعداد آن در زمین لغزش در ۸ کلاس طبقه بندی با روش اول نمودار (شکل شماره ۲) مراحل آن طی شده و در انتها جدولی را خروجی گرفته ایم. سپس تعداد پیکسل های لغزیده و پیکسل های

(جدول شماره ۲) جدول نسبت تعداد پیکسل های فاصله از دریاچه سد و زمین لغزش های هر طبقه

| درصد | تعداد پیکسل های طبقات فاصله از دریاچه سد | تعداد پیکسل های زمین لغزش | کلاس  | pl        |
|------|--|---------------------------|-------|-----------|
| ۴.۲۹ | ۳۴۵۶۰۰                                   | ۱۴۸۵۷                     | ۱     | ۰-۲۰۰     |
| ۰.۱۲ | ۳۱۵۸۵۱                                   | ۴۰۲                       | ۲     | ۲۰۰-۴۰۰   |
| ۰.۶۹ | ۳۶۲۴۴۲                                   | ۲۵۲۱                      | ۳     | ۴۰۰-۶۰۰   |
| ۳.۵۵ | ۳۴۶۵۲۱                                   | ۱۲۳۳۲                     | ۴     | ۶۰۰-۸۰۰   |
| ۲.۳۴ | ۳۵۸۷۰۳                                   | ۸۳۹۷                      | ۵     | ۸۰۰-۱۰۰۰  |
| ۲.۵۷ | ۳۹۳۲۷۴                                   | ۱۰۰۹۹                     | ۶     | ۱۰۰۰-۱۲۰۰ |
| ۲.۳۲ | ۴۲۱۳۷                                    | ۹۹۱۷                      | ۷     | ۱۲۰۰-۱۴۰۰ |
| ۴.۳۳ | ۴۶۵۲۵۳                                   | ۲۰۱۵۱                     | ۸     | ۱۴۰۰-۱۶۰۰ |
| ۳.۳۲ | ۷۴۶۷۹۵۵                                  | ۲۴۸۶۷۶                    | ۹     | ۱۶۰۰-۱۸۰۰ |
|      | ۱۰۴۸۱۸۳۳۶                                | ۳۲۷۳۵۲                    | مجموع |           |



(نقشه شماره ۵) نقشه طبقات فاصله از دریاچه سد و زمین لغزش ها

(جدول شماره ۳) جدول نسبت تعداد پیکسل های کاربری ارضی و زمین لغزش های هر طبقه

| درصد | تعداد پیکسل های طبقات کاربری ارضی | تعداد پیکسل های زمین لغزش | کلاس  | PLU       |
|------|-----------------------------------|---------------------------|-------|-----------|
| ۴.۵۷ | ۹۱۶۲۴۷                            | ۴۱۸۷۷                     | ۱     | زراعت آبی |
| ۳.۳۶ | ۸۳۹۴۰۸۹                           | ۲۸۲۲۳۹                    | ۲     | دامنه     |
| ۱.۲۰ | ۲۹۰۱۵۹                            | ۳۴۸۹                      | ۳     | مسکونی    |
| ۰.۹۵ | ۱۲۴۰۶۹۶                           | ۱۱۸۲۷                     | ۴     | زراعی     |
| ۰    | ۸۴۲                               | ۰                         | ۵     | دیم کاری  |
| ۰    | ۲۵۶۸۸                             | ۰                         | ۶     | جنگل کاری |
|      | ۱۰۸۶۷۷۲۱                          | ۳۳۹۴۲۹                    | مجموع |           |

۱۰۳

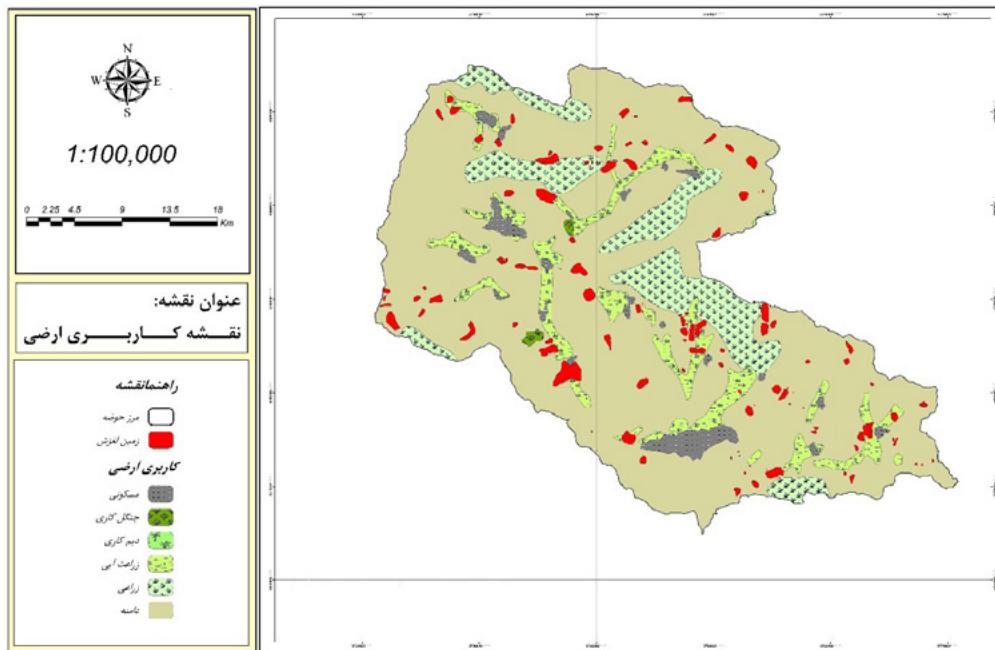
شماره ۲۱

بهار و تابستان  
۱۴۰۱

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



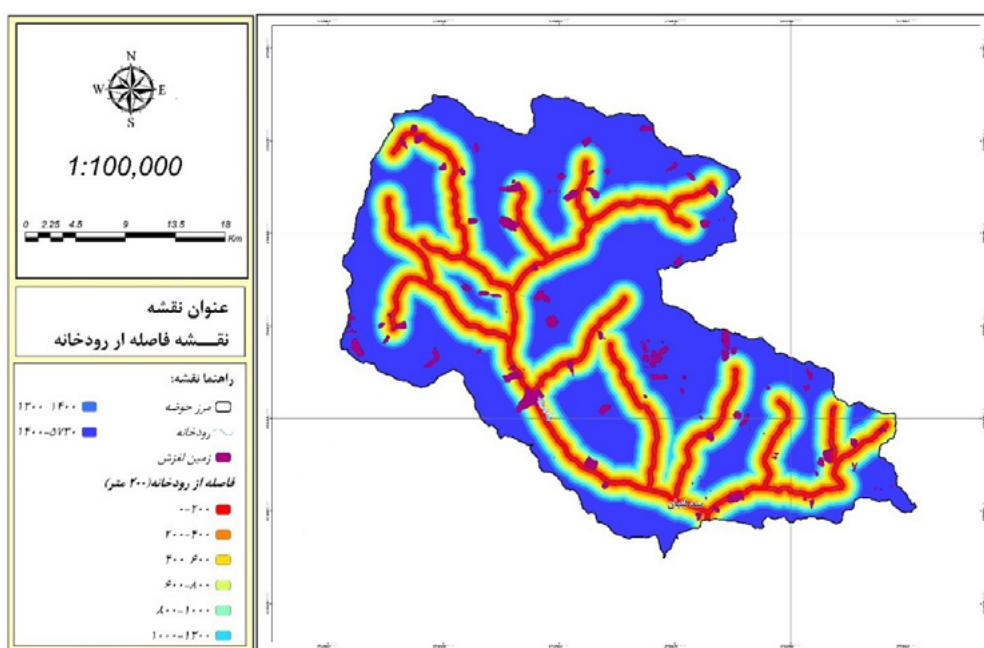
مجله سازی و بهینه بندی زمین لغزش های حوضه تیان با استفاده از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابو القاسم امیر احمدی



(نقشه شماره ۶) نقشه طبقات کاربری ارضی و زمین لغزش‌ها

(جدول شماره ۴) جدول نسبت تعداد پیکسل‌های فاصله از رودخانه و زمین لغزش‌های هر طبقه

| PRi       | کلاس  | تعداد پیکسل‌های زمین لغزش | تعداد پیکسل‌های فاصله از رودخانه | درصد |
|-----------|-------|---------------------------|----------------------------------|------|
| ۰-۲۰۰     | ۱     | ۲۵۴۹۰                     | ۶۳۹۲۶۷                           | ۳٫۹۹ |
| ۲۰۰-۴۰۰   | ۲     | ۲۸۱۶۶                     | ۶۱۲۵۹۹                           | ۴٫۶۰ |
| ۴۰۰-۶۰۰   | ۳     | ۲۵۳۶۲                     | ۵۹۸۵۵۲                           | ۴٫۲۴ |
| ۶۰۰-۸۰۰   | ۴     | ۲۰۵۸۱                     | ۵۸۷۲۱۰                           | ۳٫۵۰ |
| ۸۰۰-۱۰۰۰  | ۵     | ۱۷۲۷۲                     | ۵۶۲۷۲۸                           | ۳٫۰۷ |
| ۱۰۰۰-۱۲۰۰ | ۶     | ۱۳۸۶۸                     | ۵۳۱۲۵۱                           | ۲٫۶۱ |
| ۱۲۰۰-۱۴۰۰ | ۷     | ۱۰۸۶۷                     | ۵۰۶۰۲۳                           | ۲٫۱۵ |
| ۱۴۰۰-۵۷۳۰ | ۸     | ۸۰۴۶۶                     | ۳۰۷۱۳۰۸                          | ۲٫۶۲ |
|           | مجموع | ۳۳۹۴۲۹                    | ۱۰۸۶۷۷۲۱                         |      |



(نقشه شماره ۷) نقشه طبقات فاصله از رودخانه و زمین لغزش‌ها



(جدول شماره ۵) جدول نسبت تعداد پیکسل های لیتولوژی و زمین لغزش های هر طبقه

| درصد | تعداد پیکسل های طبقات لیتولوژی | تعداد پیکسل های زمین لغزش | کلاس  | PLi                        |
|------|--------------------------------|---------------------------|-------|----------------------------|
| ۸,۴۶ | ۴۷۶۲۷                          | ۴۰۳۱                      | ۱     | سازند قم                   |
| ۷,۳۱ | ۲۷۹۱۹۲                         | ۲۰۴۳۴                     | ۲     | سازند روته                 |
| ۶,۹۱ | ۶۴۱۳۷۶                         | ۴۴۳۶۵                     | ۳     | سازند قرمز فوقانی          |
| ۵,۹۶ | ۱۶۸۹۵۳                         | ۱۰۰۸۰                     | ۴     | سازند آبناک                |
| ۵,۷۱ | ۴۲۶۱۴۶                         | ۲۴۳۶۸                     | ۵     | سازند جیرود                |
| ۴,۶۴ | ۱۸۹۴۷۶                         | ۸۷۹۸                      | ۶     | سازند کند                  |
| ۴,۳۴ | ۵۸۲۳۴                          | ۲۵۲۹                      | ۷     | سازند سلطانیه              |
| ۳,۲۴ | ۲۴۱۷۰۸                         | ۷۸۳۳                      | ۸     | آبرفت (آبرفت تهران)        |
| ۳,۲۲ | ۴۶۵۶۶۹۰                        | ۱۵۰۱۰۶                    | ۹     | سازند کرج                  |
| ۳,۲۲ | ۱۱۳۳۹۲۲                        | ۳۶۵۴۹                     | ۱۰    | سازند شمشک                 |
| ۲,۹۷ | ۹۶۰۸۵                          | ۲۸۶۱                      | ۱۱    | سازند لار                  |
| ۲,۵  | ۲۱۲۹۶۲                         | ۵۳۴۲                      | ۱۲    | سازند بایندر               |
| ۲,۰۴ | ۶۲۴۴۵                          | ۱۲۷۸                      | ۱۳    | گرانیت                     |
| ۱,۳۰ | ۹۷۵۸۵۱                         | ۱۲۷۱۱                     | ۱۴    | سازند قاجان                |
| ۰,۹۱ | ۵۳۲۲۹۷                         | ۴۸۷۷                      | ۱۵    | سازند زیارت                |
| ۰,۷۶ | ۱۴۰۶۳۲                         | ۱۰۷۱                      | ۱۶    | بازالت                     |
| ۰,۵۲ | ۱۳۱۱۰۷                         | ۶۸۲                       | ۱۷    | سازند زاگون                |
| ۰,۴۰ | ۱۰۱۴۵۴                         | ۴۱۵                       | ۱۸    | سیل با ترکیب بازی تا متوسط |
| ۰,۲۱ | ۱۸۹۶۸۵                         | ۳۹۹                       | ۱۹    | سازند میلا                 |
| ۰,۲۰ | ۳۵۷۰۱۳                         | ۷۳۶                       | ۲۰    | سازند هزار دره             |
| ۰    | ۲۰۲۲۸۷                         | ۰                         | ۲۱    | سازند لالون                |
| ۰    | ۲۲۵۷۱                          | ۰                         | ۲۲    | سازند قرمز تحتانی          |
|      | ۱۰۸۶۷۷۱۳                       | ۳۳۹۴۶۵                    | مجموع |                            |

۱۰۵

شماره ۲۱

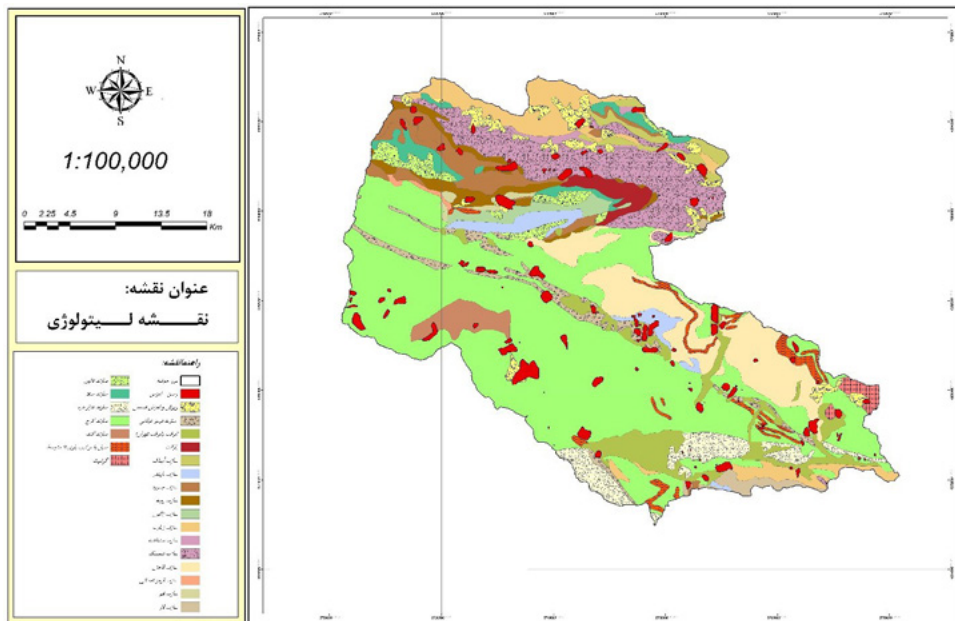
بهار و تابستان

۱۴۰۱

دوفصلنامه علمی و پژوهشی



مجله سازی و بهینه‌بندی زمین لغزش های حوضه تیان با استفاده از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابو القاسم امیراحمدی



(نقشه شماره ۸) نقشه طبقات لیتولوژی و زمین لغزش ها

(جدول شماره ۶) جدول نسبت تعداد پیکسل های فاصله از گسل و زمین لغزش های هر طبقه

| PF        | کلاس  | تعداد پیکسل های زمین لغزش | تعداد پیکسل های طبقات فاصله از گسل | درصد  |
|-----------|-------|---------------------------|------------------------------------|-------|
| ۰-۲۰۰     | ۱     | ۳۰۸۷۴                     | ۷۸۱۰۶۲                             | ۳۰٫۹۵ |
| ۲۰۰-۴۰۰   | ۲     | ۳۲۴۲۸                     | ۷۲۱۹۷۹                             | ۴۰٫۴۹ |
| ۴۰۰-۶۰۰   | ۳     | ۲۷۵۲۰                     | ۶۳۳۰۷۹                             | ۴۰٫۳۴ |
| ۶۰۰-۸۰۰   | ۴     | ۲۰۹۵۶                     | ۵۹۰۹۲۵                             | ۳۰٫۵۴ |
| ۸۰۰-۱۰۰۰  | ۵     | ۱۶۸۰۸                     | ۵۴۱۸۰۶                             | ۳۰٫۱  |
| ۱۰۰۰-۱۲۰۰ | ۶     | ۱۰۲۱۲                     | ۴۹۹۰۳۵                             | ۲۰٫۴  |
| ۱۲۰۰-۱۴۰۰ | ۷     | ۱۰۵۵۴                     | ۴۳۴۳۶۳                             | ۲۰٫۴۲ |
| ۱۴۰۰-۱۶۰۰ | ۸     | ۷۲۷۱۰                     | ۲۹۰۶۶۸۹                            | ۲۰٫۲  |
|           | مجموع | ۳۳۹۴۲۹                    | ۱۰۸۶۷۷۲۱                           |       |

با روش اول نمودار (شکل شماره ۲) تعداد پیکسل های لغزیده و پیکسل های کل در هر طبقه مشخص شده و در (جدول شماره ۶) در ۸ کلاس (PF) طبقه بندی شده است.

#### بارش

بارندگی بسیار زیاد و بیش از حد باعث شستشوی خاک روی دامنه ها می شود؛ مخصوصاً دامنه هایی که پوشش گیاهی آن از بین رفته است. بارندگی زیادی که در بخش کوهستانی منطقه مورد مطالعه رخ می دهد، باعث ایجاد گسیختگی در دامنه ها می شود و در نتیجه منجر به رخداد زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه می شود.

نقشه هم باران بر اساس تأثیر میزان بارش و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۷) با روی هم قرار دادن نقشه زمین لغزش و نقشه هم باران با روش دوم نمودار (شکل شماره ۲) تعداد پیکسل های لغزیده و پیکسل های کل در هر طبقه مشخص شد و در ۷ کلاس (PRA) در (جدول شماره ۱۰) طبقه بندی شده است.

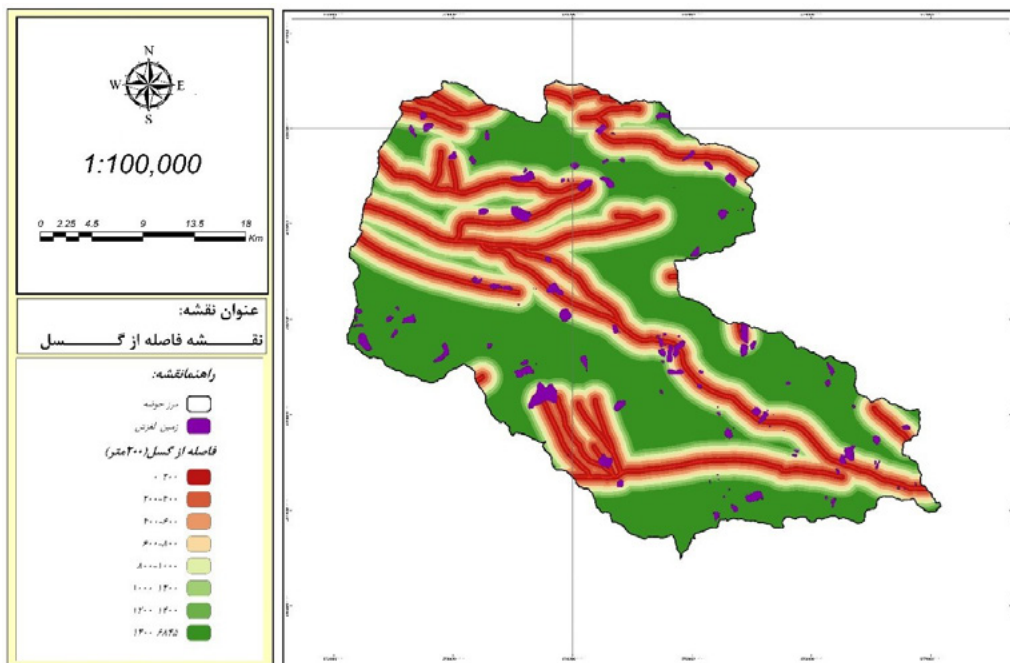
چه میزان نفوذپذیری و وجود خلل و فرج، منفصل بودن و... بیشتر باشد، این حساسیت بالاتر می رود و در این نوع سازندها احتمال ایجاد زمین لغزش افزایش می یابد.

نقشه لیتولوژی بر اساس نوع سازند و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۸) در ۲۲ کلاس طبقه بندی شده سپس با روی هم قرار دادن نقشه زمین لغزش و نقشه لیتولوژی با روش دوم نمودار (شکل شماره ۲) تعداد پیکسل های لغزیده و پیکسل های کل در هر طبقه مشخص شد و در ۲۲ کلاس (PLi) در (جدول شماره ۵) طبقه بندی شده است.

#### فاصله از گسل

وجود گسل های فعال در حوضه مورد مطالعه نشان دهنده فعال بودن این حوضه از نظر فعالیت های تکتونیکی است. از این رو در صورت فعال شدن هر یک از این گسل ها هنگام زلزله احتمال رخداد زمین لغزش هایی وجود دارد. در عوض هرچقدر توده های لغزشی فاصله ی بیشتری از گسل ها داشته باشند، کمتر تحت تأثیر فعالیت گسل ها قرار می گیرند.

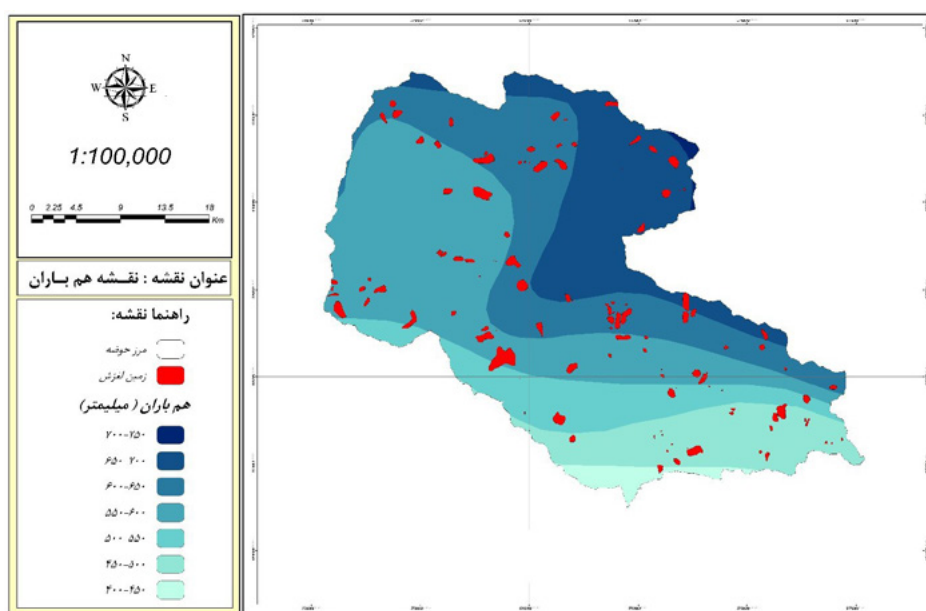
نقشه فاصله از گسل و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۹) با روی هم قرار دادن نقشه زمین لغزش و نقشه فاصله از گسل



نقشه شماره ۹) نقشه طبقات فاصله از گسل و زمین لغزش ها

(جدول شماره ۷) جدول نسبت تعداد پیکسل های هم باران و زمین لغزش های هر طبقه

| PRa     | کلاس  | تعداد پیکسل های زمین لغزش | تعداد پیکسل های طبقات هم باران | درصد |
|---------|-------|---------------------------|--------------------------------|------|
| ۷۵۰-۷۰۰ | ۱     | ۰                         | ۳۲۰۰۱                          | ۰    |
| ۷۰۰-۶۵۰ | ۲     | ۴۲۲۲۶                     | ۲۰۹۳۶۴                         | ۲.۱  |
| ۶۰۰-۵۶۰ | ۳     | ۱۰۵۱۷۵                    | ۲۴۹۴۴۸۴                        | ۴.۲۲ |
| ۵۵۰-۵۰۰ | ۴     | ۱۲۹۱۱۳                    | ۳۶۴۶۵۵۶                        | ۳.۵۴ |
| ۵۰۰-۴۵۰ | ۵     | ۲۴۹۰۲                     | ۱۱۹۱۱۶۳                        | ۲.۰۹ |
| ۴۵۰-۴۰۰ | ۶     | ۳۶۰۹۵                     | ۱۲۷۹۳۴۹                        | ۲.۸۲ |
| ۴۰۰-۳۵۰ | ۷     | ۱۹۱۸                      | ۲۱۴۸۰۴                         | ۰.۸۹ |
|         | مجموع | ۳۳۹۴۲۹                    | ۱۰۸۶۷۷۲۱                       |      |



نقشه شماره ۱۰) نقشه طبقات هم باران و زمین لغزش ها

۱۰۷

شماره ۲۱

بهار و تابستان  
۱۴۰۱

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



مجله سازی و پهنه بندی زمین لغزش های حوضه تیان با استفاده  
از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابو القاسم امیر احمدی

## فاصله از جاده

برش عرضی دامنه‌ها برای ایجاد جاده، سطح اتکا و وزن دامنه را کاهش داده و باعث سست شدن دامنه می‌شود. اگر دامنه به صورت اصولی مقاوم‌سازی نشود و همچنین اگر عامل لغزشی دیگری به دامنه اضافه شود، در این دامنه‌های برش خورده درصد ایجاد زمین لغزش افزایش می‌یابد و همچنین به علت وجود جاده در دامنه وزن اضافه‌ای به دامنه تحمیل می‌شود و همین امر هم موجب ایجاد زمین لغزش می‌شود.

نقشه فاصله از جاده بر اساس فاصله از جاده و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۱۱) با روش اول نمودار (شکل شماره ۲) تعداد پیکسل‌های لغزیده و پیکسل‌های کل در هر طبقه مشخص شد و در ۸ کلاس (FRO) در (جدول شماره ۸) طبقه‌بندی شده است.

## ارتفاع

با افزایش ارتفاع، بارندگی هم بیشتر می‌شود و در نتیجه بارندگی بسیار زیاد و بیش از حد باعث شستشوی دامنه‌ها و از هم گسیختگی

آن‌ها شود؛ همین‌طور ضربات ناشی از قطرات باران مخصوصاً در نقاطی که فاقد پوشش گیاهی است، می‌تواند ذرات خاکدانه‌ها را تخریب کند و در نتیجه با سست کردن، این خاک‌ها را مستعد وقوع زمین لغزش می‌کند. با توجه به اینکه در ارتفاعات بالا فرآیند هوازدگی و تخریب سنگ‌ها بیشتر است؛ در نتیجه مواد و مصالح مورد نیاز برای رخدادهای زمین لغزش را فراهم می‌سازد.

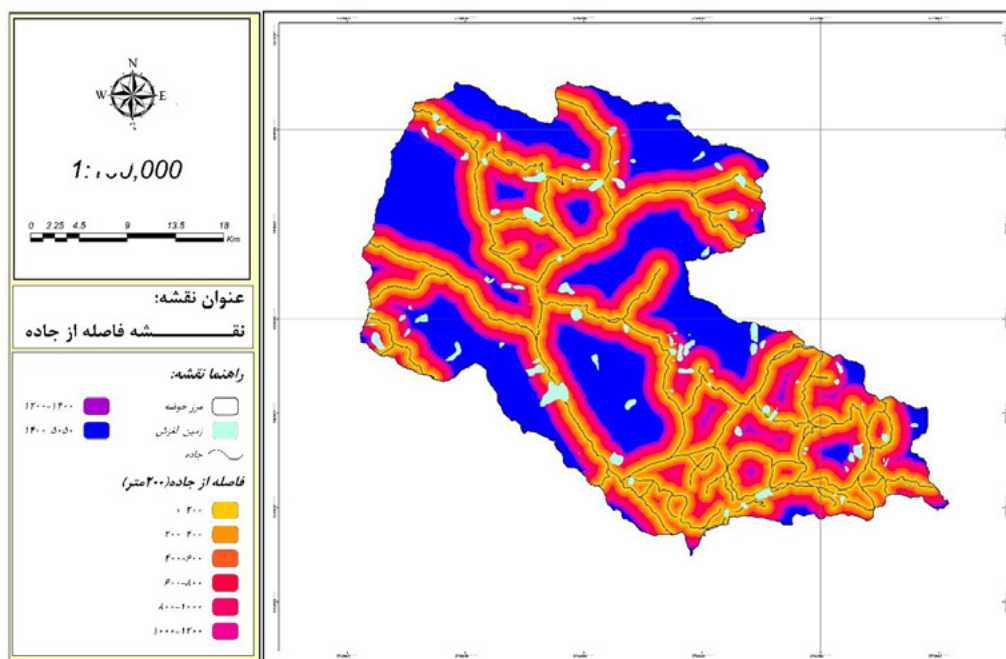
نقشه طبقات ارتفاعی بر اساس میزان ارتفاع و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۱۲) در ۱۳ کلاس طبقه‌بندی و سپس با روی هم قرار دادن نقشه زمین لغزش و نقشه طبقات ارتفاعی با روش سوم نمودار (شکل شماره ۲) آورده شده است. در انتها هم تعداد پیکسل‌های لغزیده و پیکسل‌های کل در هر طبقه مشخص شد و در ۱۳ کلاس (PE) در (جدول شماره ۹) طبقه‌بندی شده است.

## شیب

عامل شیب از عوامل اصلی در انواع حرکات توده‌ای است؛ مخصوصاً در زمین لغزش‌ها بعد از میزان نفوذ عامل شیب عامل

جدول شماره ۸) جدول نسبت تعداد پیکسل‌های فاصله از جاده و زمین لغزش‌های هر طبقه

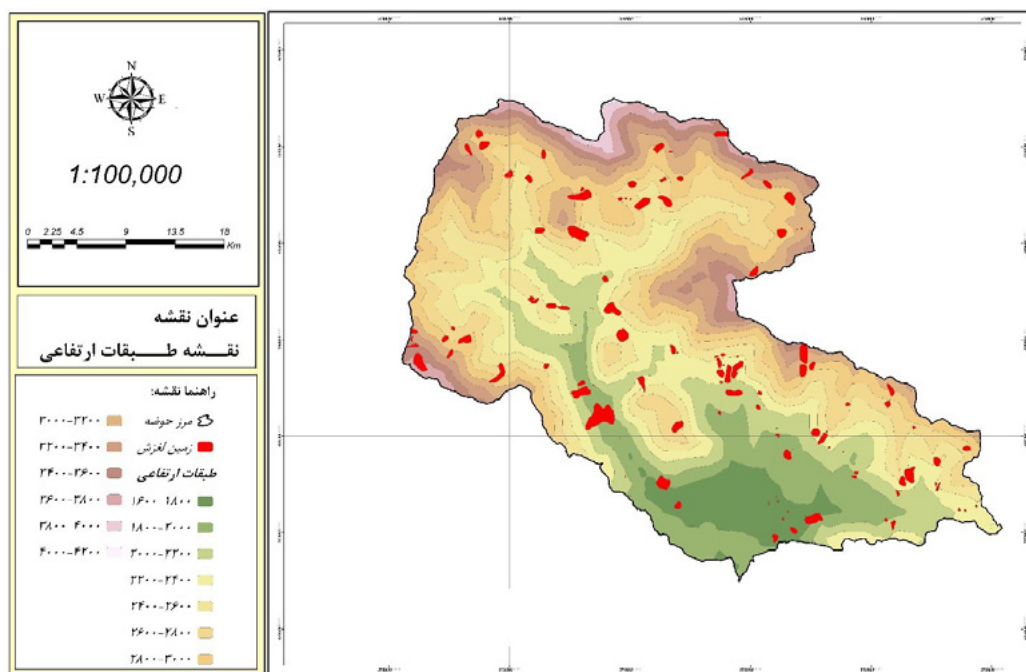
| درصد | تعداد پیکسل‌های طبقات فاصله از جاده | تعداد پیکسل‌های زمین لغزش | کلاس  | PRO       |
|------|-------------------------------------|---------------------------|-------|-----------|
| ۳،۳۲ | ۱۱۵۷۴۷۳                             | ۳۸۴۰۱                     | ۱     | ۰-۲۰۰     |
| ۳،۵۲ | ۹۳۹۲۳۴                              | ۳۳۰۸۷                     | ۲     | ۲۰۰-۴۰۰   |
| ۳،۵۹ | ۸۰۰۹۷۵                              | ۲۸۷۴۳                     | ۳     | ۴۰۰-۶۰۰   |
| ۳،۷۴ | ۶۹۰۵۴۷                              | ۲۵۸۳۸                     | ۴     | ۶۰۰-۸۰۰   |
| ۴،۳۶ | ۶۰۱۸۱۲                              | ۲۶۲۳۷                     | ۵     | ۸۰۰-۱۰۰۰  |
| ۴،۱  | ۵۱۱۲۹۴                              | ۲۰۹۶۱                     | ۶     | ۱۰۰۰-۱۲۰۰ |
| ۲،۴۶ | ۴۲۲۱۵۰                              | ۱۰۳۸۴                     | ۷     | ۱۲۰۰-۱۴۰۰ |
| ۱،۹۴ | ۱۹۸۵۴۵۳                             | ۳۸۴۲۱                     | ۸     | ۱۴۰۰-۵۰۵۰ |
|      | ۱۰۸۶۷۷۲۱                            | ۳۳۹۴۲۹                    | مجموع |           |



نقشه شماره ۱۱) نقشه طبقات فاصله از جاده و زمین لغزش‌ها

(جدول شماره ۹) جدول نسبت تعداد پیکسل های طبقات ارتفاعی و زمین لغزش های هر طبقه

| PE        | کلاس  | تعداد پیکسل های زمین لغزش | تعداد پیکسل های طبقات ارتفاعی | درصد |
|-----------|-------|---------------------------|-------------------------------|------|
| ۱۶۰۰-۱۸۰۰ | ۱     | ۱۹۱۳۱                     | ۵۹۰۳۸۹                        | ۳،۲۴ |
| ۱۸۰۰-۲۰۰۰ | ۲     | ۴۶۴۱۱                     | ۱۱۲۴۶۷۲                       | ۴،۱۳ |
| ۲۰۰۰-۲۲۰۰ | ۳     | ۳۰۱۲۵                     | ۱۲۲۸۷۸۴                       | ۲،۴۵ |
| ۲۲۰۰-۲۴۰۰ | ۴     | ۵۷۶۴۶                     | ۱۵۲۹۴۴۳                       | ۳،۷۷ |
| ۲۴۰۰-۲۶۰۰ | ۵     | ۳۴۱۹۸                     | ۱۴۹۲۹۷۲                       | ۲،۲۹ |
| ۲۶۰۰-۲۸۰۰ | ۶     | ۴۳۹۴۶                     | ۱۴۸۱۸۵۱                       | ۲،۹۷ |
| ۲۸۰۰-۳۰۰۰ | ۷     | ۵۲۰۴۱                     | ۱۲۴۳۱۴۲                       | ۴،۱۹ |
| ۳۰۰۰-۳۲۰۰ | ۸     | ۲۸۵۹۲                     | ۹۰۵۱۳۵                        | ۳،۱۶ |
| ۳۲۰۰-۳۴۰۰ | ۹     | ۹۷۶۲                      | ۶۰۸۵۰۳                        | ۱،۶  |
| ۳۴۰۰-۳۶۰۰ | ۱۰    | ۸۲۹۶                      | ۳۹۱۷۳۸                        | ۲،۱۲ |
| ۳۶۰۰-۳۸۰۰ | ۱۱    | ۹۴۰۷                      | ۲۲۹۵۵۶                        | ۴،۱  |
| ۳۸۰۰-۴۰۰۰ | ۱۲    | .                         | ۵۸۶۴۸                         | .    |
| ۴۰۰۰-۴۲۰۰ | ۱۳    | .                         | ۲۸۸۸                          | .    |
|           | مجموع | ۳۳۹۴۲۹                    | ۱۰۸۶۷۷۲۱                      |      |



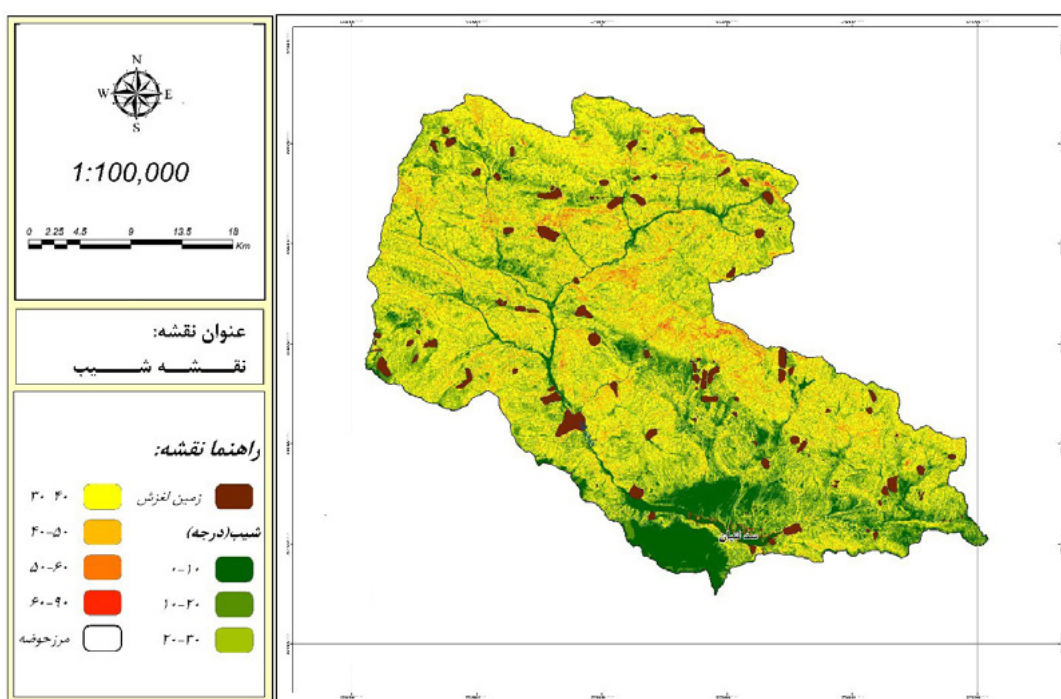
(نقشه شماره ۱۲) نقشه طبقات ارتفاعی و زمین لغزش ها

قرار دادن نقشه زمین لغزش و شیب با روش سوم نمودار (شکل شماره ۲) مراحل طی شده در انتها جدولی را خروجی گرفته است. سپس تعداد پیکسل های لغزیده و پیکسل های کل در هر طبقه مشخص شد و در (جدول شماره ۱۰) طبقه بندی شده و در ۷ کلاس (PS) قرار گرفته است.

اصلی این حرکات است. شیب به ۲ صورت طبیعی و مصنوعی (تغییرات انسانی) تغییر می کند. عامل شیب موجب افزایش نیروی ثقل و باعث به حرکت درآوردن توده لغزشی می شود. نقشه شیب بر اساس زاویه شیب و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۱۳) در ۷ کلاس طبقه بندی شده و سپس با روی هم

(جدول شماره ۱۰) جدول نسبت تعداد پیکسل‌های طبقات شیب و زمین لغزش‌های هر طبقه

| PS    | کلاس  | تعداد پیکسل‌های زمین لغزش | تعداد پیکسل‌های طبقات شیب | درصد   |
|-------|-------|---------------------------|---------------------------|--------|
| ۶۰-۹۰ | ۱     | ۱۶۶۱۹                     | ۶۳۱۸۳۸                    | ۲۰٫۶۳  |
| ۵۰-۶۰ | ۲     | ۵۴۲۱۰                     | ۹۵۵۳۵۸                    | ۵۰٫۶۷۴ |
| ۴۰-۵۰ | ۳     | ۷۹۸۳۶                     | ۲۲۵۴۶۳۹                   | ۳۰٫۵۴۱ |
| ۳۰-۴۰ | ۴     | ۵۴۰۶۰                     | ۲۳۲۵۴۲۰                   | ۲۰٫۳۲۵ |
| ۲۰-۳۰ | ۵     | ۱۵۸۶۷                     | ۸۴۱۴۱۱                    | ۱۰٫۸۸۶ |
| ۱۰-۲۰ | ۶     | ۱۰۳۰                      | ۸۱۵۲۵                     | ۱٫۲۶۳  |
| ۰-۱۰  | ۷     | ۴۹۰                       | ۱۸۷۶۵                     | ۲٫۶۱۱  |
|       | مجموع | ۳۳۹۴۲۹                    | ۱۰۸۶۷۷۲۱                  |        |



(نقشه شماره ۱۳) نقشه طبقات شیب و زمین لغزش‌ها

### جهت شیب

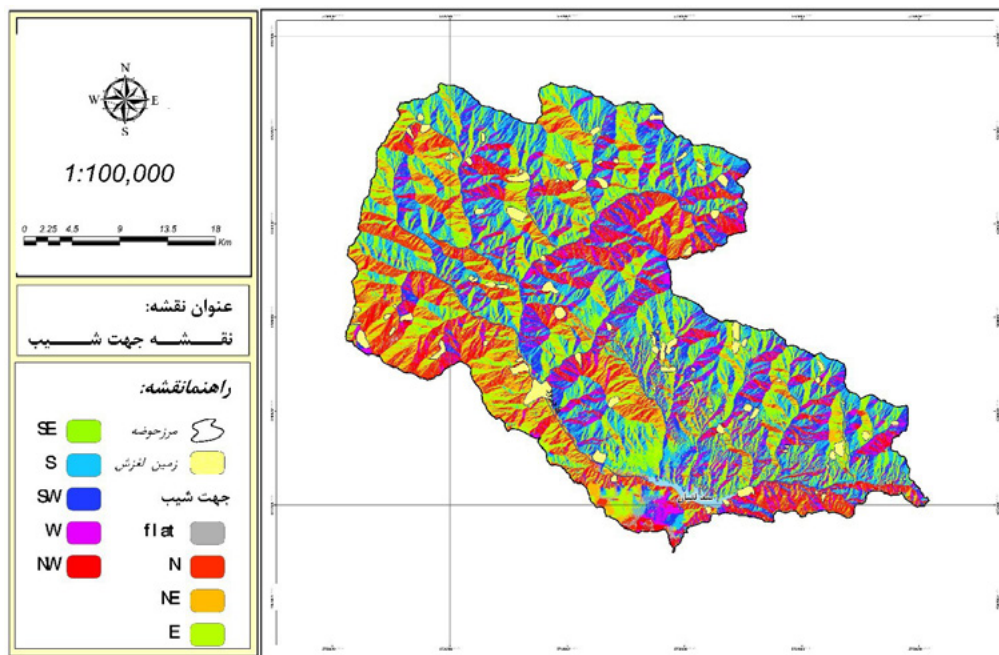
جهت شیب یکی از عواملی است که تأثیر زیادی در وقوع زمین لغزش‌ها دارد. با روی هم قرار دادن نقشه موقعیت زمین لغزش‌ها در حوضه و نقشه‌ی جهت شیب مشخص شد که همبستگی معناداری بین جهت شیب و وقوع حرکات لغزشی وجود دارد. بیشتر زمین لغزش‌ها در جهات شمالی شیب دامنه‌ها و به ترتیب در جهت‌های شمال شرقی، شمال، جنوب و شمال غربی اتفاق افتاده است. احتمال بالای وقوع زمین لغزش‌ها در این جهات شیب‌ها می‌تواند ناشی از این مسئله باشد که این دامنه‌ها در نیمکره شمالی آفتاب‌گیر است و با توجه به کوهستانی بودن منطقه و رقیق بودن هوا در ارتفاعات، خصوصاً در اوایل بهار و اواخر زمستان تابش خورشید باعث ذوب برف‌ها شده که این امر موجب مرطوب شدن خاک‌های جهت‌هایی از شیب می‌شود که رو به

آفتاب است. به عبارت ساده‌تر، آب به تدریج در زمین نفوذ می‌کند و موجب آبرگیری آن می‌شود؛ سپس خاک دامنه سنگین شده و تحت تأثیر نیروی ثقل در روی دامنه به حرکت درمی‌آید. همچنین عامل دیگری برای رخداد زمین لغزش در این جهت‌های دامنه انبساط و انقباض خاک‌ها هنگام روز و شب است که زمینه‌ی ناپایداری و سست شدن خاک این جهت‌های دامنه‌ها را فراهم می‌کند.

نقشه جهت شیب بر اساس جهت و استعداد آن در زمین لغزش (نقشه شماره ۱۴) در ۹ کلاس طبقه‌بندی شده است. سپس با روی هم قرار دادن نقشه زمین لغزش و شیب با روش سوم نمودار (شکل شماره ۲) آورده شده، مراحل طی شده و در انتها جدول خروجی گرفته شده است؛ سپس تعداد پیکسل‌های لغزیده و پیکسل‌های کل در هر طبقه مشخص شد و در (جدول شماره ۱۱) طبقه‌بندی شده و در ۹ کلاس (PA) قرار گرفته است.

(جدول شماره ۱۱) جدول نسبت تعداد پیکسل های طبقات جهت شیب و زمین لغزش های هر طبقه

| PS | کلاس  | تعداد پیکسل های زمین لغزش | تعداد پیکسل های طبقات جهت شیب | درصد |
|----|-------|---------------------------|-------------------------------|------|
| NE | ۱     | ۳۵۳۲۲                     | ۸۰۳۷۶۰                        | ۴,۳۹ |
| N  | ۲     | ۲۹۷۱۰                     | ۷۳۵۳۵۳                        | ۴,۰۴ |
| W  | ۳     | ۲۵۶۰۹                     | ۶۹۰۵۴۲                        | ۳,۷۱ |
| NW | ۴     | ۲۱۵۹۳                     | ۶۱۴۵۱۰                        | ۳,۵۱ |
| E  | ۵     | ۲۶۶۲۴                     | ۸۴۸۶۸۵                        | ۳,۱۴ |
| SW | ۶     | ۲۹۸۵۶                     | ۹۸۰۲۸۱                        | ۳,۰۵ |
| F  | ۷     | ۳۶۹۳                      | ۱۶۷۰۹۳                        | ۲,۲۱ |
| SE | ۸     | ۲۳۷۱۳                     | ۱۰۷۹۸۷۶                       | ۲,۲  |
| S  | ۹     | ۲۵۹۹۲                     | ۱۱۸۸۸۵۶                       | ۲,۱۹ |
|    | مجموع | ۳۳۹۴۲۹                    | ۱۰۸۶۷۷۲۱                      |      |



(نقشه شماره ۱۴) نقشه طبقات جهت شیب و زمین لغزش ها

### گام دوم: مشخص کردن نقش هر پارامتر

در ادامه نقش هر پارامتر در وقوع لغزش ها در حوضه ی سد لتیان مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. برای این کار ابتدا میزان همبستگی هر یک از متغیرها و مشخص کردن مؤثرترین و کم اثرترین عامل را توسط همبستگی آماری در محیط SPSS مشخص شده است. در این تحلیل از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده است.

برای تحلیل و ایجاد جدول فراوانی از تعداد پیکسل های هر یک از متغیرها در طبقات مشخص شده، با تعداد پیکسل های زمین لغزش در هر طبقه استفاده شده و سپس آزمون همبستگی پیرسون گرفته شده است.

با توجه به خروجی SPSS ضریب همبستگی پیرسون برای همه متغیرها یک است، مقدار عدد معنی داری (sig) مشاهده شده برای همه متغیرها کوچک تر از ۰,۰۱ و در واقع ( $sig < 0.01$ ) است که از سطح معنی داری استاندارد ( $\alpha = 5\%$ ) کمتر است. از این رو میان هر یک از این ۲ متغیرها در سطح اطمینان ۹۹ درصد رابطه معنی داری وجود دارد. با توجه به اینکه ضریب همبستگی بین هر یک از ۲ متغیر وابسته و متغیرهای مستقل دارای علامت مثبت است. بنابراین می توان گفت: جهت تغییرات هر یک از این ۲ متغیرها با یکدیگر هم جهت و از نوع مثبت بوده؛ یعنی افزایش میزان دار بودن متغیر مستقل منجر به افزایش متغیر وابسته می شود. (جدول های شماره ۱۲-۲۲)

(جدول ۱۲) ضریب همبستگی پوشش گیاهی با زمین لغزش

|            |                     |          |           |
|------------|---------------------|----------|-----------|
| پوشش گیاهی | Pearson Correlation | ۱        | زمین لغزش |
|            | Sig. (۲-tailed)     |          | ۱,۰۰۰**   |
|            | N                   | ۱۰۸۶۶۱۵۴ | ۱۰۸۶۶۱۵۴  |
| زمین لغزش  | Pearson Correlation | ۱,۰۰۰**  | ۱         |
|            | Sig. (۲-tailed)     | ۰,۰۰۰    |           |
|            | N                   | ۱۰۸۶۶۱۵۴ | ۱۰۸۶۶۱۵۴  |

(جدول ۱۳) ضریب همبستگی فاصله از دریاچه سد با زمین لغزش

|                    |                     |          |           |
|--------------------|---------------------|----------|-----------|
| فاصله از دریاچه سد | Pearson Correlation | ۱        | زمین لغزش |
|                    | Sig. (۲-tailed)     |          | ۱,۰۰۰**   |
|                    | N                   | ۱۰۴۸۱۸۳۶ | ۱۰۴۸۱۸۳۶  |
| زمین لغزش          | Pearson Correlation | ۱,۰۰۰**  | ۱         |
|                    | Sig. (۲-tailed)     | ۰,۰۰۰    |           |
|                    | N                   | ۱۰۴۸۱۸۳۶ | ۱۰۴۸۱۸۳۶  |

(جدول ۱۴) ضریب همبستگی کاربری ارضی با زمین لغزش

|             |                     |         |           |
|-------------|---------------------|---------|-----------|
| کاربری ارضی | Pearson Correlation | ۱       | زمین لغزش |
|             | Sig. (۲-tailed)     |         | 0.997**   |
|             | N                   | ۳۳۹۴۲۹  | ۳۳۹۴۲۹    |
| زمین لغزش   | Pearson Correlation | 0.997** | ۱         |
|             | Sig. (۲-tailed)     | ۰,۰۰۰   |           |
|             | N                   | ۳۳۹۴۲۹  | ۳۳۹۴۲۹    |

(جدول ۱۵) ضریب همبستگی فاصله از رودخانه با زمین لغزش

|                  |                     |         |           |
|------------------|---------------------|---------|-----------|
| فاصله از رودخانه | Pearson Correlation | ۱       | زمین لغزش |
|                  | Sig. (۲-tailed)     |         | ۰,۹۹۳**   |
|                  | N                   | ۷۱۰۸۹۳۸ | ۷۱۰۸۹۳۸   |
| زمین لغزش        | Pearson Correlation | ۰,۹۹۳** | ۱         |
|                  | Sig. (۲-tailed)     | ۰,۰۰۰   |           |
|                  | N                   | ۷۱۰۸۹۳۸ | ۷۱۰۸۹۳۸   |

(جدول ۱۶) ضریب همبستگی لیتولوژی با زمین لغزش

|           |                     |          |           |
|-----------|---------------------|----------|-----------|
| لیتولوژی  | Pearson Correlation | ۱        | زمین لغزش |
|           | Sig. (۲-tailed)     |          | ۰,۹۹۰**   |
|           | N                   | ۱۰۸۶۷۷۱۳ | ۱۰۸۶۷۷۱۳  |
| زمین لغزش | Pearson Correlation | ۰,۹۹۰**  | ۱         |
|           | Sig. (۲-tailed)     | ۰,۰۰۰    |           |
|           | N                   | ۱۰۸۶۷۷۱۳ | ۱۰۸۶۷۷۱۳  |



(جدول ۱۷) ضریب همبستگی فاصله از گسل با زمین لغزش

|              |                     | فاصله از گسل         | زمین لغزش            |
|--------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| فاصله از گسل | Pearson Correlation | ۱                    | ۰,۹۸۳ <sup>***</sup> |
|              | Sig. (۲-tailed)     |                      | ۰,۰۰۰                |
|              | N                   | ۷۱۰۸۹۳۸              | ۷۱۰۸۹۳۸              |
| زمین لغزش    | Pearson Correlation | ۰,۹۸۳ <sup>***</sup> | ۱                    |
|              | Sig. (۲-tailed)     | ۰,۰۰۰                |                      |
|              | N                   | ۷۱۰۸۹۳۸              | ۷۱۰۸۹۳۸              |

(جدول ۱۸) ضریب همبستگی بارش با زمین لغزش

|           |                     | بارش                | زمین لغزش           |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| بارش      | Pearson Correlation | ۱                   | ۰,۹۴۶ <sup>**</sup> |
|           | Sig. (۲-tailed)     |                     | ۰,۰۰۰               |
|           | N                   | ۱۰۸۶۷۷۲۱            | ۱۰۸۶۷۷۲۱            |
| زمین لغزش | Pearson Correlation | ۰,۹۴۶ <sup>**</sup> | ۱                   |
|           | Sig. (۲-tailed)     | ۰,۰۰۰               |                     |
|           | N                   | ۱۰۸۶۷۷۲۱            | ۱۰۸۶۷۷۲۱            |

(جدول ۱۹) ضریب همبستگی فاصله از جاده با زمین لغزش

|               |                     | فاصله از جاده       | زمین لغزش           |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| فاصله از جاده | Pearson Correlation | ۱                   | ۰,۸۰۱ <sup>**</sup> |
|               | Sig. (۲-tailed)     |                     | ۰,۰۰۰               |
|               | N                   | ۷۱۰۸۹۳۸             | ۷۱۰۸۹۳۸             |
| زمین لغزش     | Pearson Correlation | ۰,۸۰۱ <sup>**</sup> | ۱                   |
|               | Sig. (۲-tailed)     | ۰,۰۰۰               |                     |
|               | N                   | ۷۱۰۸۹۳۸             | ۷۱۰۸۹۳۸             |

(جدول ۲۰) ضریب همبستگی ارتفاع با زمین لغزش

|           |                     | ارتفاع              | زمین لغزش           |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| ارتفاع    | Pearson Correlation | ۱                   | ۰,۸۰۰ <sup>**</sup> |
|           | Sig. (۲-tailed)     |                     | ۰,۰۰۰               |
|           | N                   | ۱۰۸۸۷۷۲۱            | ۱۰۸۸۷۷۲۱            |
| زمین لغزش | Pearson Correlation | ۰,۸۰۰ <sup>**</sup> | ۱                   |
|           | Sig. (۲-tailed)     | ۰,۰۰۰               |                     |
|           | N                   | ۱۰۸۸۷۷۲۱            | ۱۰۸۸۷۷۲۱            |

(جدول ۲۱) ضریب همبستگی شیب با زمین لغزش

|           |                     | شیب                 | زمین لغزش           |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| شیب       | Pearson Correlation | ۱                   | ۰,۷۸۰ <sup>**</sup> |
|           | Sig. (۲-tailed)     |                     | ۰,۰۰۰               |
|           | N                   | ۷۱۰۸۹۵۶             | ۷۱۰۸۹۵۶             |
| زمین لغزش | Pearson Correlation | ۰,۷۸۰ <sup>**</sup> | ۱                   |
|           | Sig. (۲-tailed)     | ۰,۰۰۰               |                     |
|           | N                   | ۷۱۰۸۹۵۶             | ۷۱۰۸۹۵۶             |

(جدول ۲۲) ضریب همبستگی جهت شیب با زمین لغزش

|           | جهت شیب             | زمین لغزش |
|-----------|---------------------|-----------|
| جهت شیب   | Pearson Correlation | ۰,۷۵۳**   |
|           | Sig. (۲-tailed)     | ۰,۰۰۰     |
|           | N                   | ۱۰۳۳۵۸۳۲  |
| زمین لغزش | Pearson Correlation | ۰,۷۵۳**   |
|           | Sig. (۲-tailed)     | ۰,۰۰۰     |
|           | N                   | ۱۰۳۳۵۸۳۲  |

## روش آماری ۲ متغیره ارزش اطلاعات:

این روش توسط Yin & Yan در سال ۱۹۸۸ ابداع شد. در این روش با توجه به رابطه متغیرهای مؤثر در رخداد زمین لغزش با پراکندگی زمین لغزشها اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌شود. بر این اساس وزن و سهم هر یک از پارامترها در رخداد زمین لغزش بر اساس رابطه زیر به دست می‌آید. [۱۱]

$$L_n W_i = L_n \left[ \frac{Densclass}{Densmap} \right] = L_n \left[ \frac{\frac{Npic(S_i X_i)}{Npic(X_i)}}{\sum \frac{Npic(S_i X_i)}{\sum Npic(X_i)}} \right]$$

Wi: وزن مربوط به طبقه مشخص از یک متغیر  
Densclass: تراکم زمین لغزش در طبقه مشخص از یک پارامتر

Densmap: تراکم زمین لغزش در کل محدوده  
Npix(Si): تعداد سلول‌ها یا مساحت زمین لغزش‌های رخ داده در هر طبقه از پارامتر

Npix(Ni): تعداد سلول‌ها یا مساحت کل هر طبقه از پارامتر  
پس از تهیه نقشه‌های وزنی مربوط به پارامترهای مؤثر در رخداد زمین لغزش همه آن‌ها با هم جمع می‌شود و یک نقشه وزنی تجمعی به دست می‌آید. وزن‌های به دست آمده (جدول شماره ۲۳) به هر طبقه اعمال شد و نقشه وزن دهی هر عامل برای هر ۲ مدل به طور جداگانه تهیه شده است. (نقشه‌های شماره ۱۵-۲۵)

## گام سوم: وزن دهی

هر نقشه فاکتور (برای مثال شیب، زمین‌شناسی و یا کاربری ارضی) به صورت جداگانه با نقشه پراکنش زمین لغزشها ترکیب شده و زیرگروه‌های مربوطه بر اساس تراکم زمین لغزشها امتیازدهی می‌شوند. [۱۱]

## روش آماری ۲ متغیره تراکم سطح

در این روش از طریق روابط زیر برای هر نقشه عامل یا پارامتر تراکم زمین لغزش محاسبه می‌شود و سپس نقشه‌های وزنی مربوط به پارامترهای مؤثر در رخداد زمین لغزش تهیه می‌شود. بعد همه آن‌ها با هم جمع شده و یک نقشه وزنی تجمعی به دست آمده است. هر چه عدد وزن‌ها منفی‌تر باشد، نشان‌دهنده تأثیر کمتر پارامتر مربوطه در رخداد زمین لغزش و عدد مثبت‌تر نشان‌دهنده بیشترین تأثیر است. [۱۱]

$$D_{area} = \frac{Npix(SX_i)}{Npix(X_i)}$$

Darea: تراکم زمین لغزش در هر رده از پارامتر  
Npix(SX<sub>i</sub>): تعداد پیکسل‌های زمین لغزش در هر رده از هر پارامتر مشخص  
Npix(X<sub>i</sub>): تعداد کل پیکسل‌ها در هر رده از پارامتر مشخص

$$W_{area} = 1000 \left[ D_{area} - \frac{\sum Npix(SX_i)}{\sum Npix(X_i)} \right]$$

W<sub>area</sub>: وزن متغیر هر رده از هر پارامتر [۱۱]

(جدول شماره ۲۳) وزن روش‌های ۲ متغیره تراکم سطح و ارزش اطلاعات

| پوشش گیاهی<br>PV | P                      | کلاس | روش تراکم سطح |         | روش ارزش اطلاعات |
|------------------|------------------------|------|---------------|---------|------------------|
|                  |                        |      |               |         |                  |
|                  | درختکاری شده           | ۱    | ۰,۰۹۴         | ۶۳,۱۶   | ۳,۰۲۵            |
|                  | مراتع با تاج پوشش خوب  | ۲    | ۰,۰۴۷         | ۱۶,۱۳۵  | ۱,۵۱۷            |
|                  | چمن                    | ۳    | ۰,۰۴۷         | ۱۶,۱۱۱  | ۱,۵۱۷            |
|                  | مرتع با تاج پوشش متوسط | ۴    | ۰,۰۳          | -۱,۱۰۸  | ۰,۹۶۴            |
|                  | اراضی باغی             | ۵    | ۰,۰۲۷         | -۳,۹۶۹  | ۰,۸۷۳            |
|                  | دریاچه سد              | ۶    | ۰,۰۲۵         | -۵,۸۳۵  | ۰,۸۱۳            |
|                  | جنگل مصنوعی            | ۷    | ۰,۰۰۹         | -۲۲,۱۳۱ | ۰,۲۹۰            |
|                  | محدوده شهری            | ۸    | ۰             | -۳۱,۱۸۷ | ۰                |
|                  | مرتع با تاج پوشش فقیر  | ۹    | ۰             | -۳۱,۱۸۷ | ۰                |

(جدول شماره ۲۳) وزن روش های ۲ متغیر تراکم سطح و ارزش اطلاعات

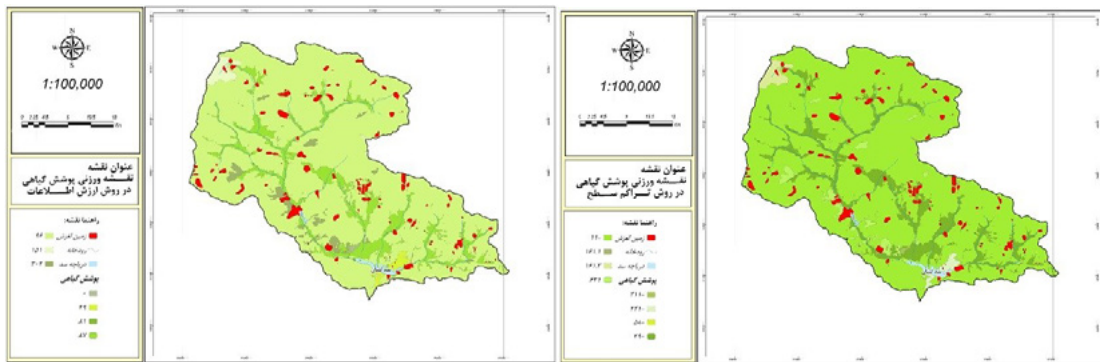
|                         | P                          | کلاس  | روش تراکم سطح |         | روش ارزش اطلاعات |
|-------------------------|----------------------------|-------|---------------|---------|------------------|
|                         |                            |       |               |         |                  |
| فاصله از سد<br>PL       | ۰-۲۰۰                      | ۱     | ۰,۰۴۳         | ۱۱,۸۰۲  | ۱,۳۷۸            |
|                         | ۲۰۰-۴۰۰                    | ۲     | ۰,۰۰۱         | -۲۹,۹۱۴ | ۰,۰۴۱            |
|                         | ۴۰۰-۶۰۰                    | ۳     | ۰,۰۰۷         | -۲۴,۲۳۱ | ۰,۲۲۳            |
|                         | ۶۰۰-۸۰۰                    | ۴     | ۰,۰۳۶         | ۴,۴۰۱   | ۱,۱۴۱            |
|                         | ۸۰۰-۱۰۰۰                   | ۵     | ۰,۰۲۳         | -۷,۷۷۸  | ۰,۷۵۱            |
|                         | ۱۰۰۰-۱۲۰۰                  | ۶     | ۰,۰۲۶         | -۵,۴۴۹  | ۰,۸۲۵            |
|                         | ۱۲۰۰-۱۴۰۰                  | ۷     | ۰,۰۲۳         | -۷,۹۷۰  | ۰,۷۴۴            |
|                         | ۱۴۰۰-۱۶۰۰                  | ۸     | ۰,۰۴۳         | ۱۲,۱۲۵  | ۱,۳۸۹            |
|                         | ۱۶۰۰-۲۶۹۶۶                 | ۹     | ۰,۰۳۳         | ۲,۱۱۲   | ۱,۰۶۸            |
| کاربری ارضی<br>PU       | زراعت آبی                  | ۱     | ۰,۰۴۶         | ۱۴,۵۱۸  | ۱,۴۶۶            |
|                         | دامنه                      | ۲     | ۰,۰۳۴         | ۲,۴۳۷   | ۱,۰۷۸            |
|                         | مسکونی                     | ۳     | ۰,۰۱۲         | -۱۹,۱۷۳ | ۰,۳۸۵            |
|                         | زراعی                      | ۴     | ۰,۰۱۰         | -۲۱,۶۵۴ | ۰,۳۰۶            |
|                         | دیم کاری                   | ۵     | .             | -۳۱,۱۸۴ | .                |
|                         | جنگل کاری                  | ۶     | .             | -۳۱,۱۸۴ | .                |
| فاصله از رودخانه<br>PRi | ۰-۲۰۰                      | ۱     | ۰,۰۴          | ۸,۶۷۸   | ۱,۲۷۹            |
|                         | ۲۰۰-۴۰۰                    | ۲     | ۰,۰۴۶         | ۱۴,۷۹۱  | ۱,۴۷۴            |
|                         | ۴۰۰-۶۰۰                    | ۳     | ۰,۰۴۲         | ۱۱,۱۸۴  | ۱,۳۵۹            |
|                         | ۶۰۰-۸۰۰                    | ۴     | ۰,۰۳۵         | ۳,۸۶۲   | ۱,۱۲۴            |
|                         | ۸۰۰-۱۰۰۰                   | ۵     | ۰,۰۳۱         | -۰,۴۹۴  | ۰,۹۸۴            |
|                         | ۱۰۰۰-۱۲۰۰                  | ۶     | ۰,۰۲۶         | -۵,۰۸۳  | ۰,۸۳۷            |
|                         | ۱۲۰۰-۱۴۰۰                  | ۷     | ۰,۰۲۱         | -۹,۷۱۲  | ۰,۶۸۹            |
|                         | ۱۴۰۰-۵۷۳۰                  | ۸     | ۰,۰۲۶         | -۴,۹۸۸  | ۰,۸۴۰            |
|                         | سازند قم                   | ۱     | ۰,۰۸۵         | ۵۳,۴۵   | ۲,۷۱۴            |
|                         | سازند روته                 | ۲     | ۰,۰۷۳         | ۴۲,۰۰۳  | ۲,۳۴۷            |
|                         | سازند قرمز فوقانی          | ۳     | ۰,۰۶۹         | ۳۷,۹۸۵  | ۲,۲۱۸            |
|                         | سازند آبناک                | ۴     | ۰,۰۰۶         | ۲۸,۴۷۵  | ۱,۹۱۳            |
|                         | سازند جبرود                | ۵     | ۰,۰۵۷         | ۲۵,۹۹۵  | ۱,۸۳۴            |
|                         | سازند کند                  | ۶     | ۰,۰۴۶         | ۱۵,۲۴۶  | ۱,۴۸۹            |
|                         | سازند سلطانیه              | ۷     | ۰,۰۴۳         | ۱۲,۲۴۱  | ۱,۳۹۳            |
|                         | آبرفت (آبرفت تهران)        | ۸     | ۰,۰۳۲         | ۱,۲۲    | ۱,۰۳۹            |
| سازند کرج               | ۹                          | ۰,۰۳۲ | ۱,۰۴۸         | ۱,۰۳۴   |                  |
| سازند شمشک              | ۱۰                         | ۰,۰۳۲ | ۱,۰۴۵         | ۱,۰۳۴   |                  |
| لیتولوژی<br>PLi         | سازند لار                  | ۱۱    | ۰,۰۰۳         | -۱,۴۱۱  | ۰,۹۵۵            |
|                         | سازند بایندر               | ۱۲    | ۰,۰۲۵         | -۶,۱۰۳  | ۰,۸۰۴            |
|                         | گرانیت                     | ۱۳    | ۰,۰۰۲         | -۱۰,۷۲۱ | ۰,۶۵۶            |
|                         | سازند قاجان                | ۱۴    | ۰,۰۱۳         | -۱۸,۱۶۱ | ۰,۴۱۸            |
|                         | سازند زبارت                | ۱۵    | ۰,۰۰۹         | -۲۲,۰۲۵ | ۰,۲۹۸            |
|                         | بازالت                     | ۱۶    | ۰,۰۰۸         | -۲۳,۵۷۱ | ۰,۲۴۴            |
|                         | سازند زاگون                | ۱۷    | ۰,۰۰۵         | -۲۵,۹۸۵ | ۰,۱۶۷            |
|                         | سیل با ترکیب بازی تا متوسط | ۱۸    | ۰,۰۰۴         | -۲۷,۰۹۶ | ۰,۱۳۱            |
|                         | سازند میلا                 | ۱۹    | ۰,۰۰۲         | -۲۹,۰۸۳ | ۰,۰۶۷            |
|                         | سازند هزار دره             | ۲۰    | ۰,۰۰۲         | -۲۹,۱۲۵ | ۰,۰۶۶            |
|                         | سازند لالون                | ۲۱    | .             | -۳۱,۱۸۷ | .                |
|                         | سازند قرمز تحتانی          | ۲۲    | .             | -۳۱,۱۸۷ | .                |

(جدول شماره ۲۳) وزن روش های ۲ متغیر تراکم سطح و ارزش اطلاعات

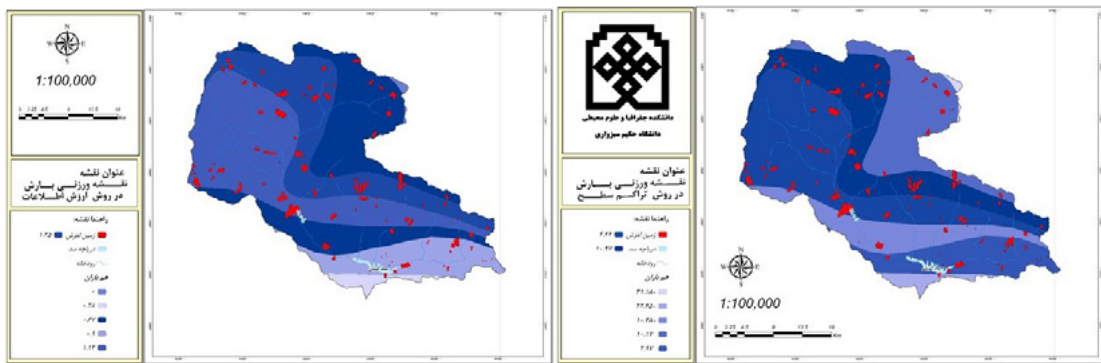
|                    | P                    | کلاس  | روش تراکم سطح |         | روش ارزش اطلاعات |
|--------------------|----------------------|-------|---------------|---------|------------------|
| فاصله از گسل<br>PF | -۲۰۰                 | ۱     | ۰,۰۴          | ۸,۳۴۱   | ۱,۲۶۷            |
|                    | ۲۰۰-۴۰۰              | ۲     | ۰,۰۴۵         | ۱۳۷,۴۲  | ۱,۴۱۱            |
|                    | ۴۰۰-۶۰۰              | ۳     | ۰,۰۴۳         | ۱۲,۲۸۳  | ۱,۳۹۴            |
|                    | ۶۰۰-۸۰۰              | ۴     | ۰,۰۳۵         | ۴,۲۷۶   | ۱,۱۳۷            |
|                    | ۸۰۰-۱۰۰۰             | ۵     | ۰,۰۳۱         | -۰,۱۶۵  | ۰,۹۹۵            |
|                    | ۱۰۰۰-۱۲۰۰            | ۶     | ۰,۰۲          | ۱۰,۷۲۳  | ۰,۶۵۶            |
|                    | ۱۲۰۰-۱۴۰۰            | ۷     | ۰,۰۲۴         | -۶,۸۸۹  | ۰,۷۷۹            |
|                    | ۱۴۰۰-۱۶۸۴۵           | ۸     | ۰,۰۲۵         | -۶,۱۷۲  | ۰,۸۰۲            |
| بارش<br>PRa        | ۷۰۰-۷۵۰              | ۱     | ۰             | -۳۱,۱۸۷ | ۰                |
|                    | ۶۵۰-۷۰۰              | ۲     | ۰,۰۲۱         | -۱۰,۱۷۲ | ۰,۶۷۴            |
|                    | ۶۰۰-۵۶۰              | ۳     | ۰,۰۴۲         | ۱۰,۹۷۶  | ۱,۳۵۲            |
|                    | ۵۵۰-۶۰۰              | ۴     | ۰,۰۳۵         | ۴,۲۲    | ۱,۱۳۵            |
|                    | ۵۰۰-۵۵۰              | ۵     | ۰,۰۲۱         | -۱۰,۲۸۱ | ۰,۶۷             |
|                    | ۴۵۰-۵۰۰              | ۶     | ۰,۰۲۸         | -۲,۹۷۳  | ۰,۹۰۵            |
|                    | ۴۰۰-۴۵۰              | ۷     | ۰,۰۰۹         | -۲۲,۲۵۸ | ۰,۵۸۶            |
|                    | فاصله از جاده<br>PRo | -۲۰۰  | ۱             | ۰,۰۳۳   | ۱,۹۹             |
| ۲۰۰-۴۰۰            |                      | ۲     | ۰,۰۳۵         | ۴,۰۴۱   | ۱,۱۳             |
| ۴۰۰-۶۰۰            |                      | ۳     | ۰,۰۳۶         | ۴,۶۹۸   | ۱,۱۵۱            |
| ۶۰۰-۸۰۰            |                      | ۴     | ۰,۰۳۷         | ۶,۲۳    | ۱,۲              |
| ۸۰۰-۱۰۰۰           |                      | ۵     | ۰,۰۴۴         | ۱۲,۴۱   | ۱,۳۹۸            |
| ۱۰۰۰-۱۲۰۰          |                      | ۶     | ۰,۰۴۱         | ۹,۸۰۹   | ۱,۳۱۵            |
| ۱۲۰۰-۱۴۰۰          |                      | ۷     | ۰,۰۲۵         | -۶,۵۸۹  | ۰,۷۸۹            |
| ۱۴۰۰-۵۰۵۰          |                      | ۸     | ۰,۰۱۹         | -۱۱,۸۳۶ | ۰,۶۲             |
| ۱۶۰۰-۱۸۰۰          |                      | ۱     | ۰,۰۳۲         | ۱,۲۱۷   | ۱,۰۳۹            |
| ۱۸۰۰-۲۰۰۰          |                      | ۲     | ۰,۰۴۱         | ۱۰,۰۷۹  | ۱,۳۲۳            |
| ۲۰۰۰-۲۲۰۰          |                      | ۳     | ۰,۰۲۵         | ۶,۶۷۱   | ۰,۷۸۶            |
| ۲۲۰۰-۲۴۰۰          |                      | ۴     | ۰,۰۳۸         | ۶,۵۰۴   | ۱,۲۰۹            |
| ۲۴۰۰-۲۶۰۰          |                      | ۵     | ۰,۰۲۳         | -۸,۲۸۱  | ۰,۷۳۴            |
| ۲۶۰۰-۲۸۰۰          |                      | ۶     | ۰,۰۳          | -۱,۵۳۱  | ۰,۹۵۱            |
| ۲۸۰۰-۳۰۰۰          |                      | ۷     | ۰,۰۴۲         | ۱۰,۶۷۶  | ۱,۳۴۲            |
| ۳۰۰۰-۳۲۰۰          |                      | ۸     | ۰,۰۳۲         | ۰,۴۰۲   | ۱,۰۱۳            |
| ۳۲۰۰-۳۴۰۰          | ۹                    | ۰,۰۱۶ | -۱۵,۱۴۴       | ۰,۵۱۴   |                  |
| ۳۴۰۰-۳۶۰۰          | ۱۰                   | ۰,۰۲۱ | -۱,۰۰۱۰       | ۰,۶۷۹   |                  |
| ۳۶۰۰-۳۸۰۰          | ۱۱                   | ۰,۰۴۱ | ۹,۷۹۲         | ۱,۳۱۴   |                  |
| ۳۸۰۰-۴۰۰۰          | ۱۲                   | ۰     | -۳۱,۱۸۷       | ۰       |                  |
| ۴۰۰۰-۴۲۰۰          | ۱۳                   | ۰     | -۳۱,۱۸۷       | ۰       |                  |
| شیب<br>PS          | ۶۰-۹۰                | ۱     | ۰,۰۲۶         | -۴,۸۸۴  | ۰,۸۴۳            |
|                    | ۵۰-۶۰                | ۲     | ۰,۰۵۷         | ۲۵,۵۵۶  | ۱,۸۱۹            |
|                    | ۴۰-۵۰                | ۳     | ۰,۰۳۵         | ۴,۲۲۳   | ۱,۱۳۵            |
|                    | ۳۰-۴۰                | ۴     | ۰,۰۲۳         | -۷,۹۴۰  | ۰,۷۴۵            |
|                    | ۲۰-۳۰                | ۵     | ۰,۰۱۹         | -۱۲,۳۲۹ | ۰,۶۰۵            |
|                    | ۱۰-۲۰                | ۶     | ۰,۰۱۳         | -۱۸,۵۵۳ | ۰,۴۰۵            |
|                    | ۰-۱۰                 | ۷     | ۰,۰۲۶         | -۵,۰۷۵  | ۰,۸۳۷            |

(جدول شماره ۲۳) وزن روش های ۲ متغیر تراکم سطح و ارزش اطلاعات

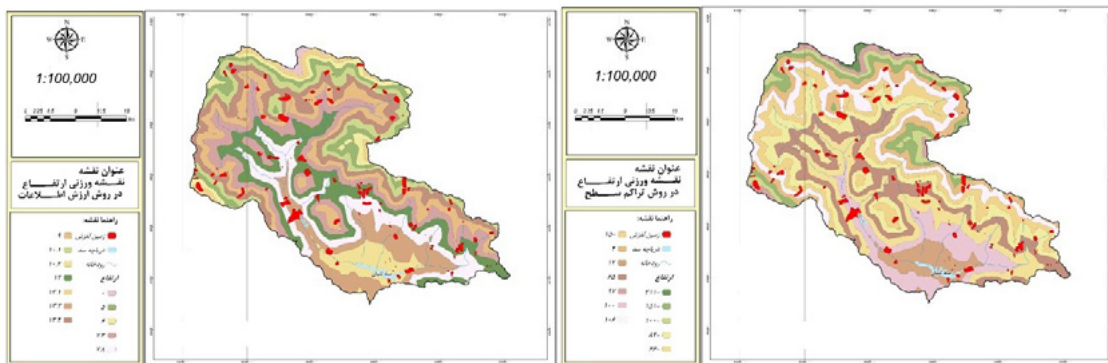
|               | P  | کلاس | روش تراکم سطح |        | روش ارزش اطلاعات |
|---------------|----|------|---------------|--------|------------------|
|               |    |      |               |        |                  |
| جهت شیب<br>PA | NE | ۱    | ۰.۰۴۴         | ۱۲.۷۵۹ | ۱.۴۱۳            |
|               | N  | ۲    | ۰.۰۴          | ۹.۲۱۵  | ۱.۲۹۹            |
|               | W  | ۳    | ۰.۰۳۷         | ۵.۸۹۸  | ۱.۱۹۲            |
|               | NW | ۴    | ۰.۰۳۵         | ۳.۹۵۲  | ۱.۱۳۰            |
|               | E  | ۵    | ۰.۰۳۱         | ۰.۱۸۴  | ۱.۰۰۹            |
|               | SW | ۶    | ۰.۰۳          | -۰.۷۳  | ۰.۹۷۹            |
|               | F  | ۷    | ۰.۰۲۲         | -۹.۰۸۶ | ۰.۷۱۱            |
|               | SE | ۸    | ۰.۰۲۲         | -۹.۲۲۸ | ۰.۷۰۶            |
|               | S  | ۹    | ۰.۰۲۲         | -۹.۳۲۴ | ۰.۷۰۱            |



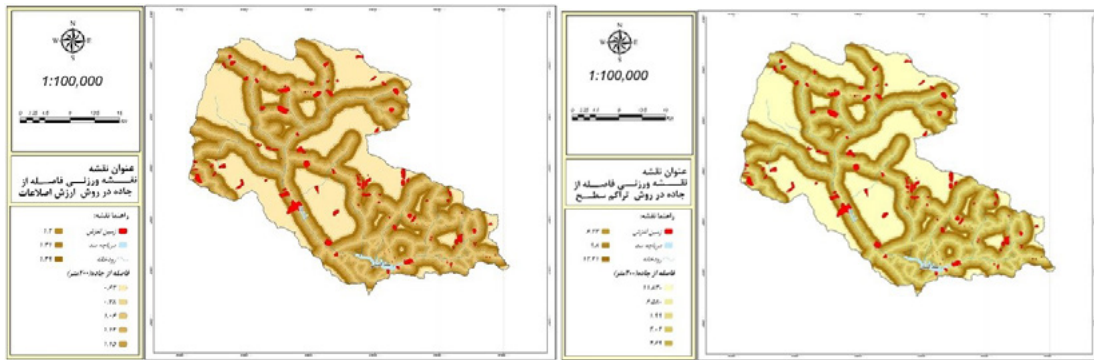
(نقشه شماره ۱۵) نقشه وزن دهی پوشش گیاه



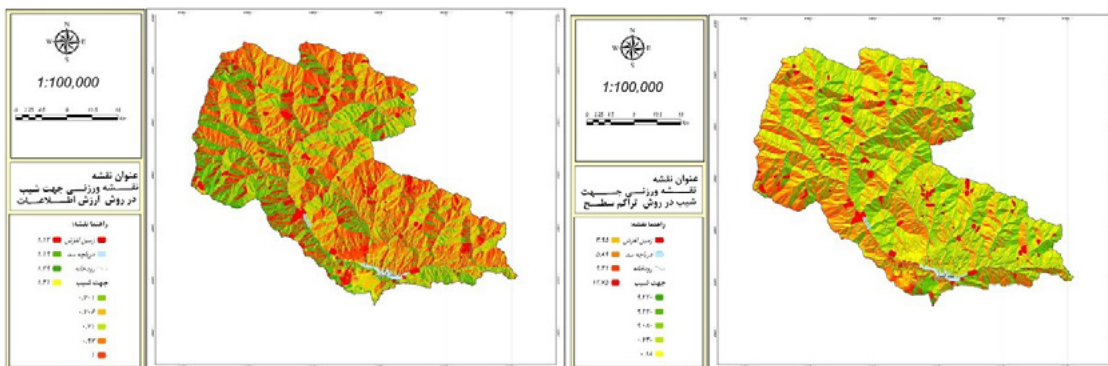
(نقشه شماره ۱۶) نقشه وزن دهی بارش



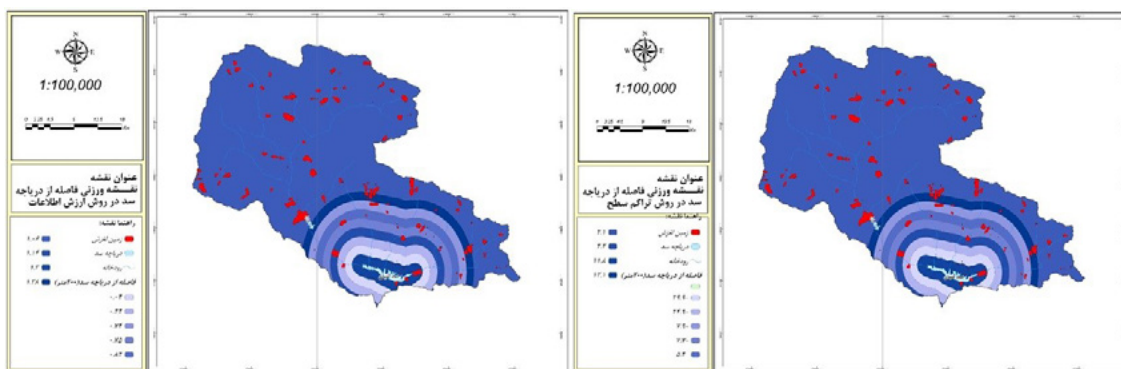
(نقشه شماره ۱۷) نقشه وزن دهی ارتفاع



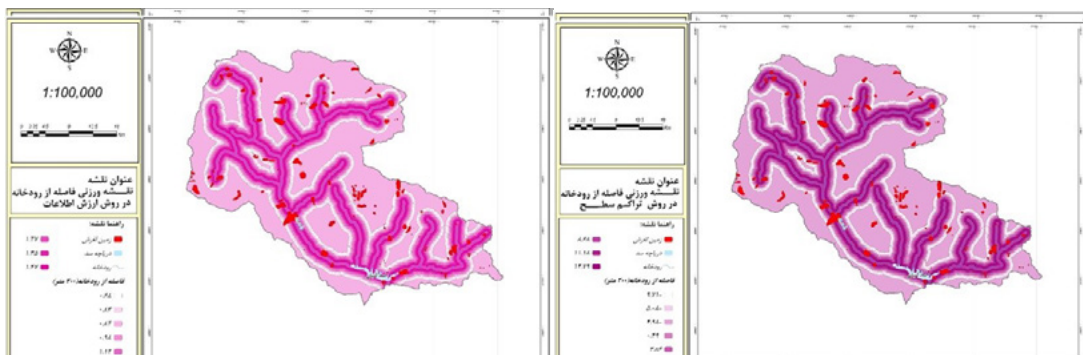
نقشه شماره ۱۸) نقشه وزن دهی فاصله از جاده



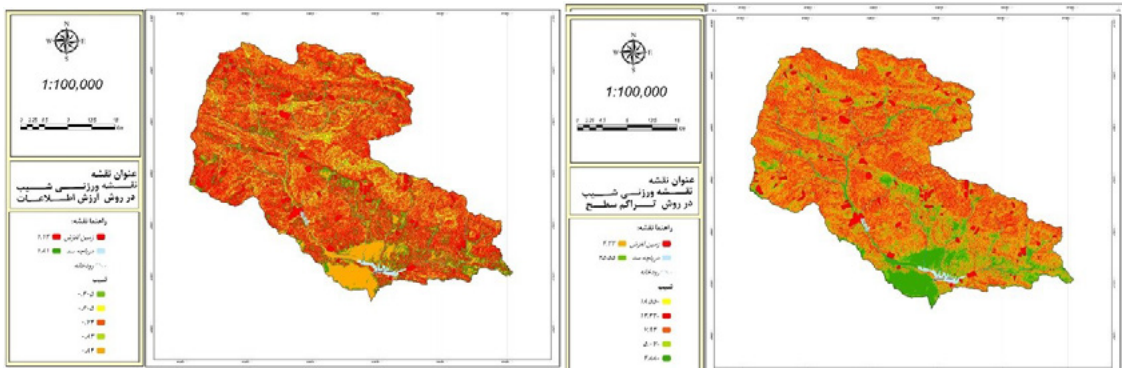
نقشه شماره ۱۹) نقشه وزن دهی جهت شیب



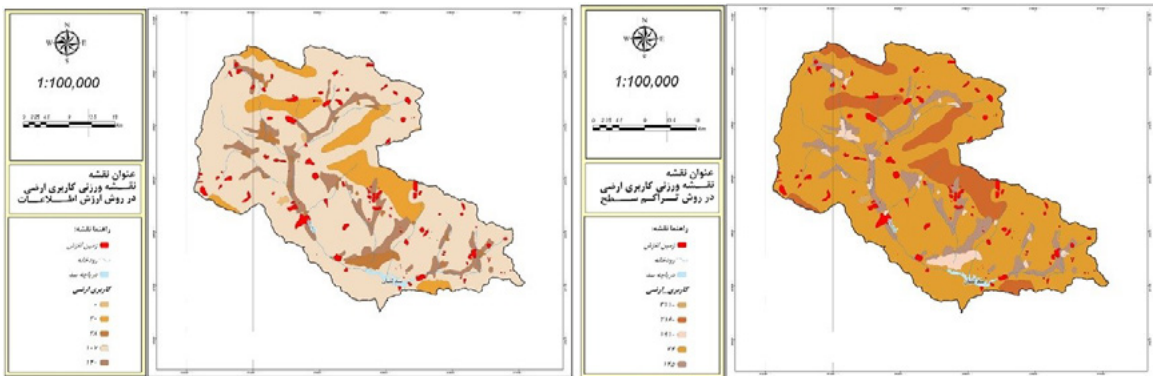
نقشه شماره ۲۰) نقشه وزن دهی فاصله دریاچه سد



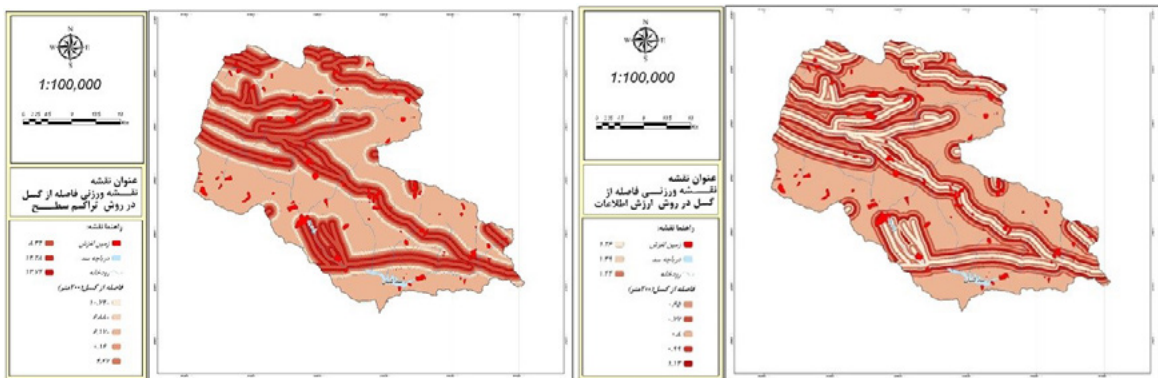
نقشه شماره ۲۱) نقشه وزن دهی فاصله از رودخانه



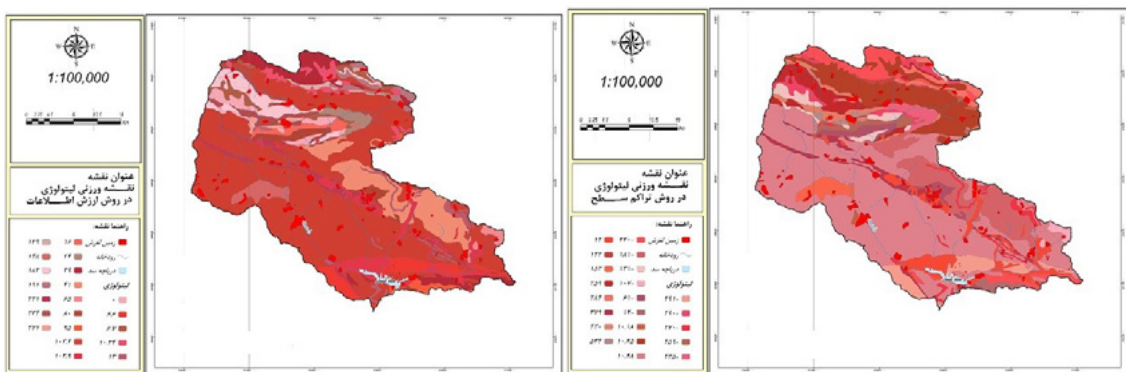
(نقشه شماره ۲۲) نقشه وزن دهی شیب



(نقشه شماره ۲۳) نقشه وزن دهی کاربری ارضی



(نقشه شماره ۲۴) نقشه وزن دهی فاصله از گسل

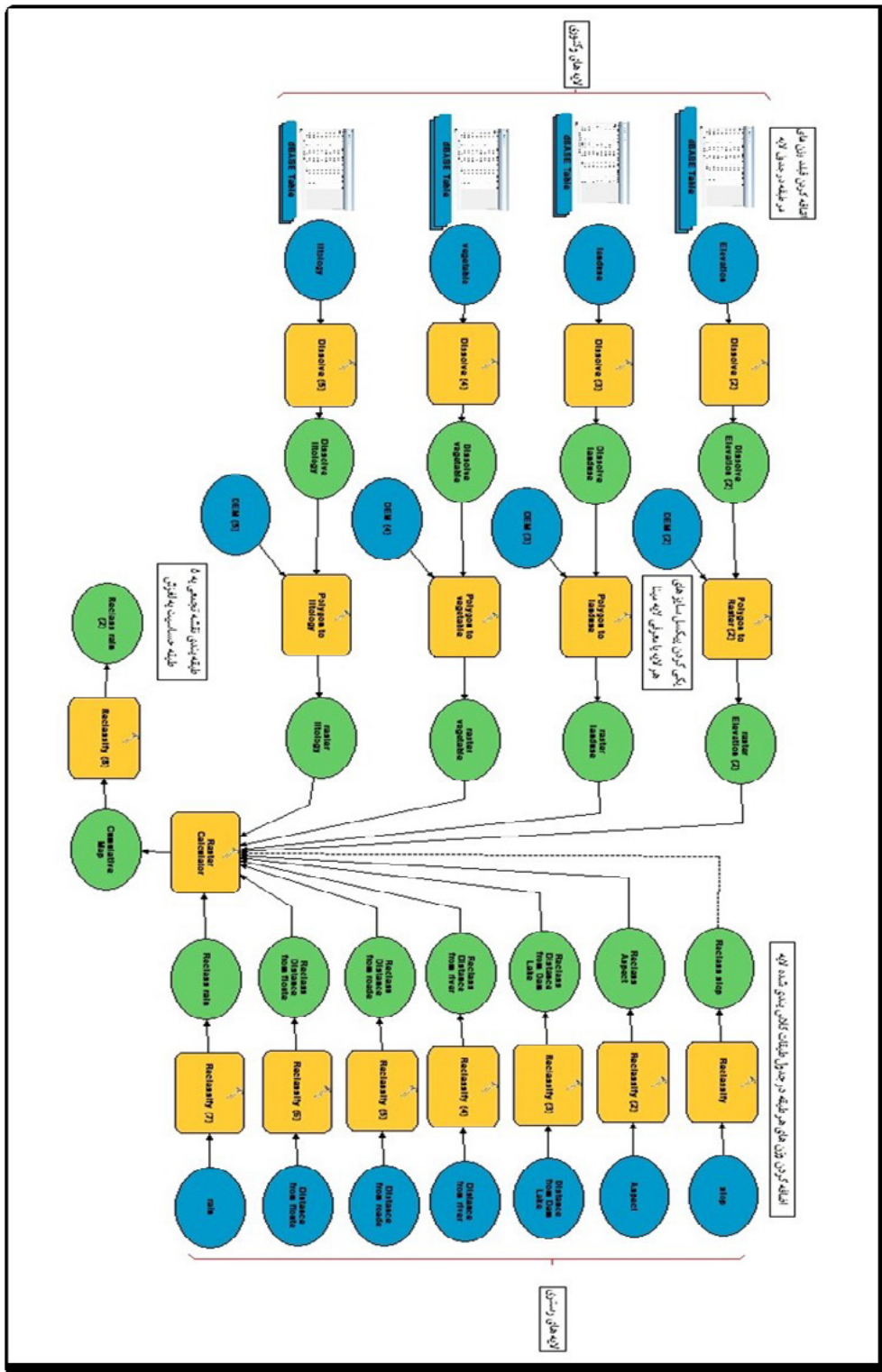


(نقشه شماره ۲۵) نقشه وزن دهی لیتولوژی

گام چهارم: جمع جبری لایه‌ها و محاسبه نقشه نهایی  
 برای اعمال وزن برون‌گروهی ابتدا باید برای تمام لایه‌ها وزن  
 درون‌گروهی را وارد و سپس هر لایه را در وزن برون‌گروهی ضرب  
 کرد. [۱۹]

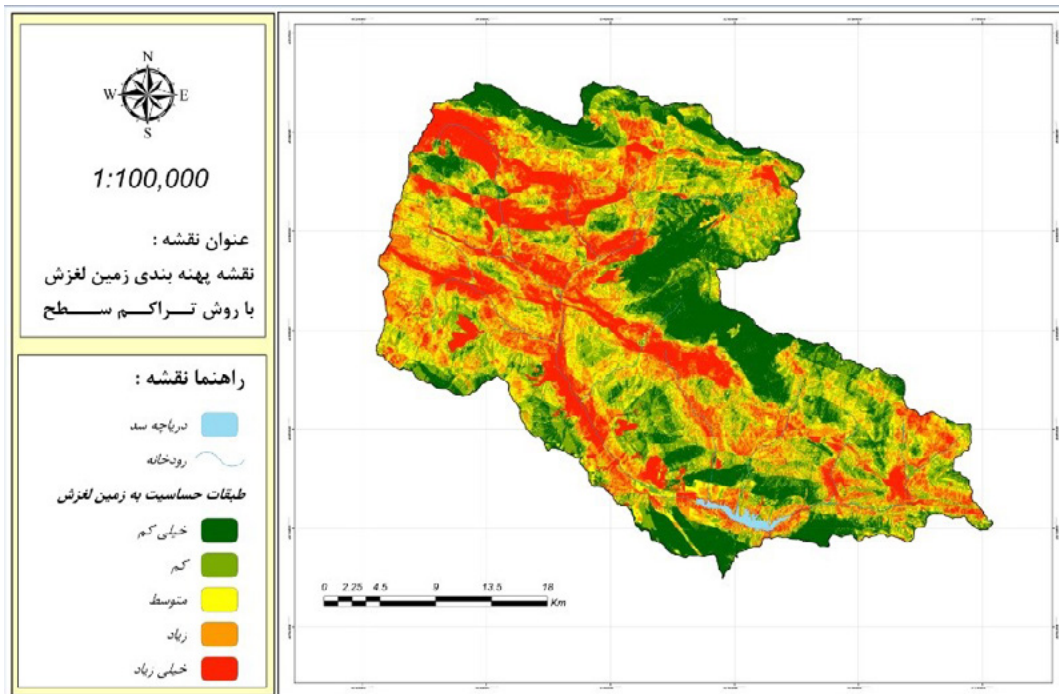
برای اعمال وزن‌ها از محیط ArcMap استفاده شده و وزن  
 داده‌ها با روش نمودار (شکل شماره ۳) اجرا شده است. در انتها

خروجی نقشه پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش تهیه شده  
 است. در نهایت لایه رستری به دست آمده لایه‌ای است که بر اساس  
 وزن‌های اعمال شده پهنه‌بندی شده است. (نقشه شماره ۲۳ و  
 ۲۴)

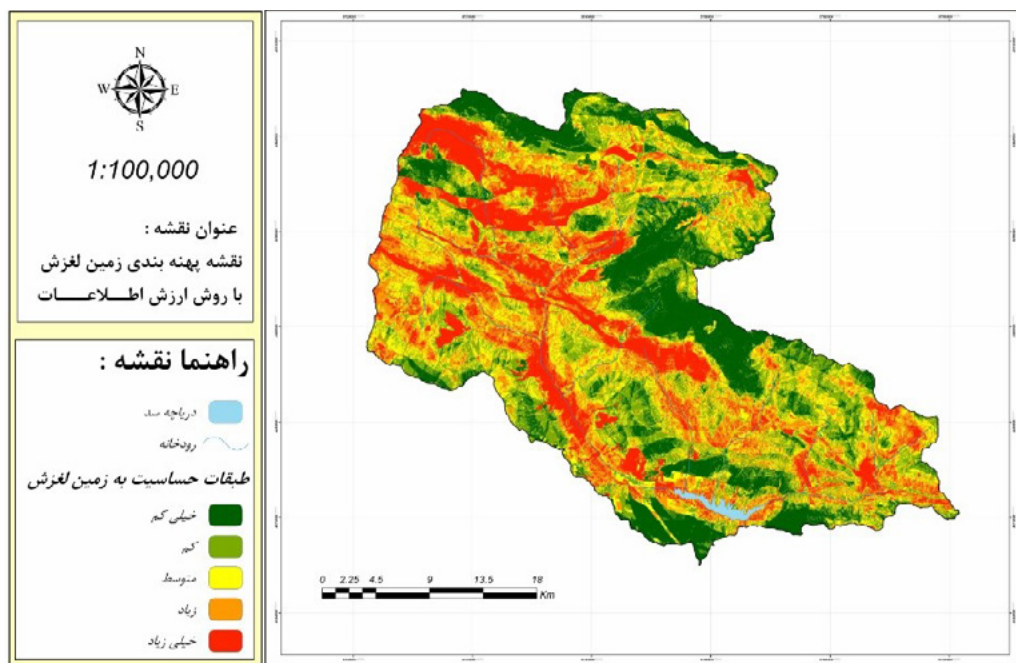


(شکل شماره ۳) نمودار نحوه اعمال وزن‌ها در لایه‌ها





(نقشه شماره ۲۳) نقشه پهنه بندی با روش تراکم سطح



(نقشه شماره ۲۴) نقشه پهنه بندی با روش ارزش اطلاعات

نسبت تراکمی برای تعیین مجموع کیفیت که توسط رابطه زیر محاسبه شده است:

$$D_r = \frac{\sum S_i}{\sum A_i}$$

### گام پنجم: ارزیابی و مقایسه روش های آماری

به منظور مقایسه بین پهنه های خطر (طبقات هر عامل) در هر روش و شاخص های مجموع کیفیت QS و دقت P برای مقایسه روش ها نسبت به همدیگر از شاخص های نسبت تراکمی  $D_r$  استفاده شده است. شاخص مجموع کیفیت QS و دقت P مدل مناسب منطبق با منطقه مورد بررسی است و شاخص نسبت تراکم  $D_r$  دقت تفکیک بین پهنه های خطر در هر روش از مدل های پهنه بندی را معرفی می کند. [۱۳]

هرچه تفکیک بین رده های خطر توسط شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش از دقت یا بیشترین مطلوبیت برخوردار است. مقدار مجموع کیفیت QS نشان دهنده درستی یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش بینی خطر زمین لغزش در منطقه است که توسط رابطه زیر محاسبه شده است: [۱۴]

$$Q_s = \sum (D_r - 1)^2 * S$$

معمولاً مقدار این شاخص برای روش های مختلف در گستره صفر و ۷ قرار می گیرد. اگرچه از نظر تئوری، حدی برای آن وجود ندارد. در ارزیابی روش ها هرچه مقدار مجموع کیفیت QS بیشتر باشد، روش از درستی یا مطلوبیت بیشتری در تفکیک برخوردار است. (جدول شماره ۲۴)

دقت روش هم توسط دقت روش P محاسبه شده که از مساحت سطح لغزش یافته در پهنه های خطر زیاد و خیلی زیاد به مساحت آن پهنه ها توسط رابطه زیر محاسبه شده است: [۱۴]

$$P = K_s / S$$

همان گونه که در جدول زیر مشخص شده، مقدار شاخص مجموع کیفیت QS که بیانگر مقایسه و ارزیابی روش ها نسبت به یکدیگر است. روش ارزش اطلاعات با ۷,۶۳ بیشترین مطلوبیت را نسبت به روش دیگر کسب کرده است یا به عبارت دیگر مطلوبیت بهتری دارد و کمترین مقدار را روش تراکم سطح با ۷,۴ کسب کرده است. دقت (P) در پیش بینی خطر برای پهنه های خطر زیاد و خیلی زیاد در روش های محاسبه شده نشان می دهد، روش تراکم سطح ۰,۶۳۵ دقت بیشتری نسبت به روش دیگر دارد. (جدول شماره ۲۴)

## نتیجه گیری

زمین لغزش ها در هرسال خسارات جانی و مالی فراوانی را برجای می گذارند. به منظور جلوگیری از این خسارات و خطرات

ناشی از زمین لغزش ها ابتدا باید علل وقوع آن را شناخت و برای رسیدن به این شناخت احتیاج به بررسی کامل وضعیت منطقه و عوامل مؤثر در زمین لغزش منطقه است. [۱۵]

بررسی، شناسایی، تحلیل و ارزیابی خطر وقوع زمین لغزش و پهنه بندی نواحی حساس و مستعد به لغزش یکی از اهداف اصلی محققان علوم زمین است. ارزیابی و پهنه بندی حساسیت به زمین لغزش، ارزش و کاربرد بسیاری برای برنامه ریزان محیطی برای انجام اقدامات پیشگیرانه به منظور کاهش اثرات و خسارات دارد. شناخت نواحی مستعد لغزش ها یکی از گام های اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه ریزی های توسعه ای و عمرانی است. اگرچه زمین لغزش ها تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی متعددی رخ می دهند که ارزیابی تأثیر هر یک از این عوامل نقش بسزایی در پیش بینی احتمال وقوع حرکت های توده ای و پهنه بندی خطر آن ها دارد.

منطقه مورد مطالعه به دلیل موقعیت جغرافیایی و ویژگی های طبیعی و زمین شناختی که دارد، یکی از مناطق مستعد کشور نسبت به وقوع زمین لغزش است. با توجه به اینکه سد لتیان یکی از مهم ترین منابع تأمین کننده آب کلان شهر تهران است، وقوع حرکات دامنه ای در این حوضه، این منبع مهم را با خطر جدی مواجه کرده است.

یکی از راه های شناخت مناطق مستعد زمین لغزش و جلوگیری از احتمال ایجاد آن و به دست آوردن بهترین کارایی جهت بهره برداری مناطق، پهنه بندی این مناطق با روش های گوناگون است [۱۶]: از جمله روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش استفاده از مدل های آماری است؛ معمولاً در بررسی ها از روش آماری مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق از روش آماری ۲ متغیره ارزش اطلاعات و تراکم سطح استفاده شده است.

جهت ارزیابی توانایی هر یک از مدل های پهنه بندی خطر زمین لغزش از شاخص مجموع کیفیت و دقت روش ها استفاده شده است. (جدول شماره ۲۴) نتایج به دست آمده نشان می دهد،

(جدول شماره ۲۴). جدول شاخص های مجموع کیفیت و دقت

| دقت روش P | مجموع کیفیت Qs | نسبت تراکم لغزش Dr | مساحت هر رده Ai (Km) | مساحت لغزش Si (km,) | حساسیت رده خطر | روش پهنه بندی خطر لغزش |
|-----------|----------------|--------------------|----------------------|---------------------|----------------|------------------------|
| ۰,۰۶۳۵    | ۷,۴            | ۰,۱۴               | ۸۲۱۸۳,۳              | ۳۶۷,۷               | خیلی کم        | پهنه بندی تراکم سطح    |
|           |                | ۰,۳۹               | ۱۸۵۶۲,۰۵             | ۲۲۸۴,۱              | کم             |                        |
|           |                | ۰,۸۵               | ۲۳۲۹۹۶,۱             | ۶۲۴۹,۴              | متوسط          |                        |
|           |                | ۱,۴۹               | ۱۵۶۴۶۵,۸             | ۷۳۳۴,۹              | زیاد           |                        |
|           |                | ۳,۵۹               | ۵۳۱۷۹,۵              | ۵۹۷۹,۹              | خیلی زیاد      |                        |
| ۰,۰۶۳۲    | ۷,۶۳           | ۰,۱۳               | ۸۵۵۶۲,۱              | ۳۵۸,۱               | خیلی کم        | پهنه بندی ارزش اطلاعات |
|           |                | ۰,۳۷               | ۱۷۸۸۱۹,۲             | ۲۱۱۷,۳              | کم             |                        |
|           |                | ۰,۸۹               | ۲۳۳۹۱۱,۴             | ۶۳۲۱,۹              | متوسط          |                        |
|           |                | ۱,۵۱               | ۱۵۷۹۹۲,۷             | ۷۳۹۱,۲              | زیاد           |                        |
|           |                | ۳,۰۵               | ۵۳۸۳۹۷,۴             | ۶۰۱۵,۸۶             | خیلی زیاد      |                        |

با توجه به شاخص مجموع کیفیت به ترتیب روش ارزش اطلاعات و سپس تراکم سطح برای حوضه لتیان کارا تر هستند. روش ارزش اطلاعات با شاخص کیفیت ۷,۶۳ و دقت روش ۰,۰۶۳۵ روشی مناسب و کارآمد است که در بیشتر شرایط برای حوضه لتیان مطلوب است.

با انطباق نقشه‌های به دست آمده با نقشه زمین لغزش‌ها مشخص شد، روش ارزش اطلاعات به دلیل داشتن انطباق بیشتر با پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد و همچنین توانایی تفکیک طبقات خطر کارایی بهتری نسبت به روش دیگر دارد. همچنین با توجه به نقشه تراکم زمین لغزش‌ها و وزن عوامل به دست آمده به این نتیجه رسیدیم که در بین ۱۱ عامل بررسی شده، عامل لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و دریاچه سد و کاربری ارضی از مؤثرترین عوامل در ایجاد زمین لغزش‌ها هستند.

از نظر لیتولوژی بیشترین زمین لغزش‌ها به ترتیب در سازند کرج، شمشک، قاجان و قرمز فوقانی اتفاق افتاده است؛ زیرا این سه سازند به ترتیبی که گفته شد، بیشترین وسعت را در منطقه دارند. همچنین این سازندها عموماً شامل مارن، ماسه سنگ، کنگلومرا، آهک، گچ، شیل‌های رسی پ خاکسترهای آتش فشانیه هستند که در اغلب مناطق مرحله فرسایشی شدید و نسبتاً شدید را گذرانده‌اند. این مواد عموماً منفصل و در بعضی از موارد ریزدانه‌اند و در صورت وجود آب حالت الاستیته گرفته و مستعد زمین لغزش هستند. [۱۷، ۱۸]

با توجه به وجود ۱۰ زمین لغزش در اطراف دریاچه که حدود ۴ زمین لغزش آن نسبتاً بزرگ است، عامل این پدیده علاوه بر وضعیت لیتولوژی و تکتونیک می‌توان تغییرات تراز آب دریاچه و فشار آب منفذی هم باشد. به طور کلی عامل زمین لغزش در اطراف دریاچه تغییرات سریع سطح آب دریاچه است؛ به طوری که با کاهش سطح آب دریاچه، سطح ایستابی در توده‌های سنگ و خاک به دلیل نفوذپذیری کم نسبت به سطح آب دریاچه با سرعت بسیار کمتری پایین می‌آید و در نتیجه آن توده سنگ و خاک به حالت اشباع

باقی می‌ماند که همین امر موجب افزایش وزن توده سنگ و خاک شده و باعث لغزش آن به پایین می‌شود.

عامل فاصله از دریاچه سد یکی از عوامل مهم در زمین لغزش حوضه است؛ به صورتی که هر چه به مخزن سد نزدیک‌تر باشیم، میزان تأثیرگذاری آن بیشتر است. همچنین لیتولوژی‌های سست اطراف دریاچه هم در افزایش زمین لغزش بی‌تأثیر نیست؛ وجود لایه‌های توف هوازده و شیب توپوگرافی نسبتاً زیاد بر شدت این پدیده در اطراف سد می‌افزاید. (شکل شماره ۴)

معمولاً شیب‌ها پس از یک لغزش اولیه به یک پایداری مرزی می‌رسند و اگر شکل و ترکیب این شیب‌ها تغییر یابد، موجب ایجاد لغزش‌های بعدی می‌شود. فعالیت‌های انسانی با ساخت وسازهایی مسکونی و کشاورزی در بالادست دامنه، ایجاد سازه در پایین دست و تغییر سطح اتکای دامنه با گودبرداری سبب نامقاوم شدن دامنه بعد از ایجاد سازه می‌شود که در نتیجه این بارگذاری وزن توده افزایش یافته و نیروی محرک افزایش می‌یابد که با کوچک‌ترین تحریک موجب ایجاد لغزش‌های جدید می‌شود. با توجه نتایج به دست آمده از نقشه‌های پهنه‌بندی حدود ۷۰ درصد مناطق با کاربری کشاورزی آبی در مناطق با خطر زمین لغزش زیاد و خیلی زیاد قرار دارند و همچنین حدود ۳۰ درصد مناطق با کاربری شهری هم در همین پهنه قرار می‌گیرند. در کل بیشتر مناطق با کاربری‌هایی مانند کشاورزی (دیم و آبی) و مسکونی در بازه پهنه‌بندی خطر زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند. همچنین با بررسی ضریب همبستگی تمام عامل‌های زمین لغزش، عامل کاربری با به دست آوردن ۰,۹۹۷ درصد سطح اطمینان بعد از پوشش گیاهی و فاصله از دریاچه سد قرار گرفته و در بین ۱۱ عامل یکی از مهم‌ترین عوامل محسوب می‌شود. در ضمن با بازدید میدانی مشخص شد یکی از عوامل مهم در ایجاد این مخاطره ساخت وسازهایی بدون اصول و در مناطق پرخطر است. به علت بیلاقی بودن حوضه بیشتر دامنه‌های در دسترس حتی با شیب زیاد، حریم رودخانه و در بعضی از موارد بستر رودخانه با کاربری‌های شهری اشغال شده که



(شکل شماره ۴) زمین لغزش در روستا سبوی بزرگ؛ شمال دریاچه سد



(شکل شماره ۵) ساخت و ساز غیراصولی و کاربری (هتل سازی) نایم در بستر رودخانه در جاده روستای رودک



(شکل شماره ۶) ۲ زمین لغزش کنار رودخانه در جاده گلوکان به حاجی آباد

موقعیت این زمین لغزش‌های ثبت شده را با هر دو نقشه پهنه‌بندی تطابق داده شد. از بین نقشه‌های پهنه‌بندی بیشترین هم‌پوشانی در طبقات حساسیت خیلی زیاد و زیاد را نقشه پهنه‌بندی با روش ارزش اطلاعات به دست آورد. در این نقشه ۷۰ درصد زمین لغزش‌های در پهنه حساسیت خیلی زیاد و ۲۰ درصد آن در پهنه حساسیت زیاد قرار دارند. (نقشه شماره ۲۵)

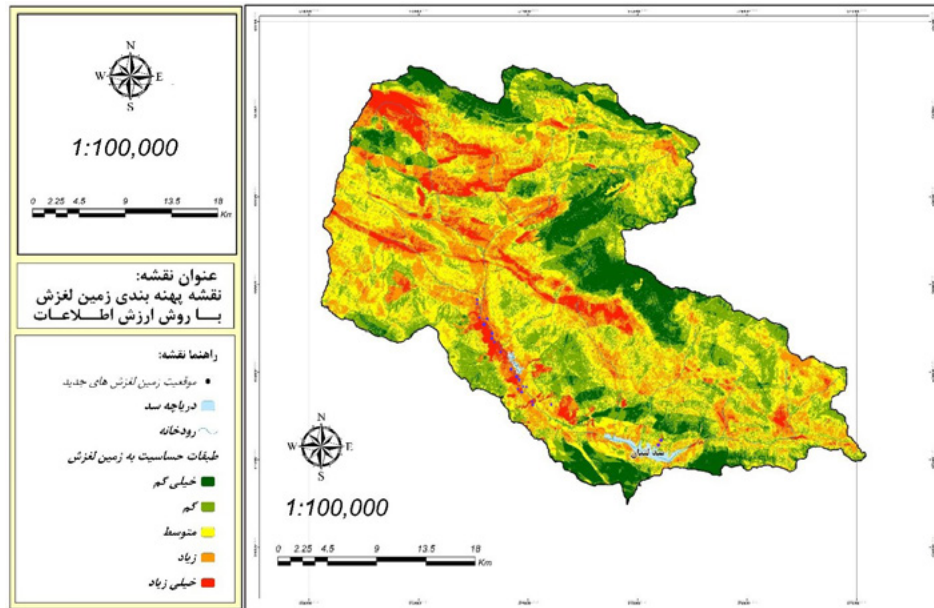
همچنین با بررسی‌های انجام شده در بازدید میدانی موقعیت مناطقی با وسعت زیاد مشخص شد که فرسایش‌های شدید شیاری در دامنه‌هایی با رسوبات دانه‌درشت منفصل وجود داشت، این مناطق به واسطه شرایطی که داشتند، مستعد زمین لغزش‌اند. (شکل شماره ۷ و ۸) با تطبیق این مناطق با پهنه‌های خطر در هر ۲ نقشه پهنه‌بندی، این مناطق مستعد کاملاً در پهنه حساسیت خیلی زیاد و نقشه پهنه‌بندی با روش ارزش اطلاعات قرار گرفته‌اند.

با این تغییرات سریع در حوضه بدون شک عامل کاربری مهم‌ترین عامل محسوب می‌شود. (شکل شماره ۵)

به دلیل کوهستانی بودن منطقه در بیشتر موارد جاده به موازات مسیر رودخانه اصلی حرکت کرده است. وجود ۲ عامل تأثیرگذار به موازات هم و با کمترین فاصله باعث شده عامل فاصله از رودخانه و جاده یکی از عوامل مهم تلقی شود و اینکه بیشترین زمین لغزش‌های حوضه در طبقات اول تا سوم این عوامل قرار گیرند. [۱۹] (شکل شماره ۶)

از نظر پوشش گیاهی هم بیشترین لغزش‌ها در مرتع با تاج پوشش متوسط اتفاق افتاده که حدود ۸۰ درصد وسعت منطقه را پوشش می‌دهد و این پوشش گیاهی در دامنه‌های با شیب بیشتر از ۳۰ درجه است.، تلفیق ۲ عامل شیب و پوشش گیاهی با هم میزان تأثیرگذاری بیشتری بر زمین لغزش‌ها دارد.

با بازدید میدانی انجام شده از حوضه بعد از پهنه‌بندی و ثبت موقعیت زمین لغزش‌های جدیدی در حوضه اتفاق افتاده است.



(نقشه شماره ۲۵) نقشه پهنه بندی با روش ارزش اطلاعات به همراه موقعیت زمین لغزش های ثبت شده در حوضه



(شکل شماره ۷) زمین لغزش و فرسایش شیاری در جنب اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان شمیرانات



(شکل شماره ۸) فرسایش شیاری در روستای رودک

۱۲۵

شماره ۲۱

بهار و تابستان  
۱۴۰۱

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



مجله سازی و پهنه بندی زمین لغزش های حوضه تیان با استفاده  
از مقایسه آماری ۲ متغیره / ابو القاسم امیر احمدی

در مجموع می توان نتیجه گرفت، روش ارزش اطلاعات به دلیل داشتن انطباق بیشتر پهنه های زمین لغزش با پهنه های خطر زیاد و خیلی زیاد و همچنین توانایی تفکیک طبقات خطر مناسب ترین و کارآمدترین روش در بیشتر شرایط نسبت به روش های تراکم سطح برای حوضه لتیان است.

در بررسی میدانی مشخص شد بیشترین مناطق خطر در پهنه هایی قرار دارند که عوامل لیتولوژی، فاصله از سد، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و کاربری ارضی در کنار هم قرار گرفته اند. حوضه آبخیز لتیان دارای پتانسیل بالای زمین لغزش است. زمین لغزش های متعدد این حوضه بدون هیچ تردیدی حاصل سوء مدیریت است و در حالت کلی کنترل زمین لغزش در حال وقوع اغلب امکان پذیر نبوده و در صورت امکان بسیار پرهزینه است؛ اما می توان از وقوع آن در مناطق مستعد پیشگیری کرد که برای پیشگیری از وقوع زمین لغزش ها و بروز خسارات مالی و جانی در منطقه پیشنهاد می شود:

- بانک اطلاعاتی از زمین لغزش های منطقه برای اشراف کامل به مناطق حساس و نظارت بر اجرای هرگونه عملیات عمرانی و تغییر کاربری اراضی با توجه به طبقات خطر زمین لغزش ها تهیه شود. پروژه های توسعه به اراضی با حساسیت پایین اختصاص یابد و مناطق با حساسیت بالا به کاربری های کم خطری مانند فضاهای سبز و باز اختصاص داده شوند؛ همچنین قوانین سخت گیرانه برای جلوگیری از تغییرات کاربری نامناسب تصویب و اجرا شوند.
- به علت آنکه بیشتر جاده ها به دلیل شرایط توپوگرافی منطقه در موازات رودخانه ایجاد شده، در صورت ضرورت داشتن ساخت مسیرهای ارتباطی جدید تدابیر لازم برای پایدارسازی دامنه های سست و ایجاد زهکشی مناسب در این دامنه ها باید اتخاذ شود. همچنین برای ساخت جاده و سازه بر روی سازندهای مستعد زمین لغزش باید حتماً باید مطالعات دقیق انجام شود و مسیریابی و پایدارسازی دقیق و مناسب با اصول صحیح مهندسی انجام شود.
- پوشش گیاهی احیا شده و در کنار استفاده از گیاهان بومی بهترین گیاه بومی شناسایی و اصلاح شود.
- به علت آنکه بیشتر لغزش ها در شیب های بالای ۳۰ درجه اتفاق می افتد، می توان با ترانس بندی دامنه های پرشیب کوهستانی تأثیر این عامل را کاهش داد و از بروز این حرکات پیشگیری کرده و همچنین در مناطقی با رسوبات منفصل با استفاده از دیوارهای حائل و گابیون ها از ریزش و لغزش جلوگیری کرد. ایجاد زهکشی مناسب در سازندهایی که نفوذپذیر هستند، ایجاد دیواره های حفاظی مناسب در پایین دامنه و حدفاصل جاده و دامنه برای جلوگیری از ریزش ها و ایجاد بریدگی های شیب بر روی دامنه به موازات جاده و حفر کانال های پهن در کنار جاده در بخش پایین دامنه های شیب دار از دیگر پیشنهادها به حساب می آیند.
- با توجه به این موضوع که بخش عمده حوضه آبخیز لتیان دارای شرایط مساعدی برای زمین لغزش است، باید هرگونه

عملیات عمرانی و تغییر کاربری اراضی با مطالعه دقیق انجام پذیرد. برای جلوگیری از توسعه بی رویه در مناطق حساس نسبت به زمین لغزش می توان پروژه های توسعه را اختصاص به اراضی با حساسیت پایین داد و مناطق با حساسیت بالا را به کاربری های کم خطر به فضاهای سبز و فضای باز اختصاص داد.

- ایجاد زهکشی مناسب در سازندهایی که نفوذپذیر هستند؛ چرا که به علت وجود عواملی چون جاده این آب های نفوذ یافته تخلیه نمی شوند. ایجاد دیواره های حفاظی مناسب در پایین دامنه و حدفاصل جاده و دامنه برای جلوگیری از ریزش ها هم اقدامی مناسب است و در ضمن می توان بریدگی های شیب بر روی دامنه به موازات جاده ایجاد و کانال های پهن در کنار جاده در بخش پایین دامنه های شیب دار حفر کرد.
- آموزش از ارکان اصلی جهت کاهش خطر زمین لغزش ها است؛ زیرا هر چقدر فرهنگ عمومی افراد در این زمینه بالا رود، با قوانین و خطرات و عواملی که مسبب ایجاد زمین لغزش هاست، بیشتر آشنا می شوند و می توانند بهتر از مدیران از محیطی که در آن زندگی می کنند، محافظت کرده و در ترویج این آموزش هم مؤثر باشند.

#### منابع:

۱. شایان، سیاوش (۱۳۸۵). مدل به عنوان تکنیکی در ژئومورفولوژی، فصل نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۰.
۲. کرم، امیر؛ محمودی، فرج اله (۱۳۸۴). مدل سازی کمی و پهنه بندی زمین لغزش در زاگرس چین خورده؛ حوضه آبریز خون در استان چهارمحال بختیاری، پژوهش های جغرافیایی.
3. Guzzetti, F; Reichenbach, P; Cardinali, M; Galli, M; & F. Ardizzone, 2005. Landslide hazard assessment in the Staffora basin, Northern Italian Apennines, *Geomorphology*, 72, 272 -299 .
4. Sidle, R. C, & H. Sochiai, (2006). Landslides; processes, prediction, and land use, *American Geophysical union*.
5. Ercanoglu, M; Gokceoglu, C; & T. W. Van Asch, 2004. Landslide susceptibility zoning north of Yenice (Nw Turkey) by multivariate statistical techniques, *Natural Hazards*, 32, 1 - 23.
6. Aleotti, P, & R. Chowdhury, (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 58, 21 - 44.
7. Guzzetti, F; Carrara, A; Cardinali, M; & P. Reichenbach, 1999. Landslide hazard evaluation: a review of Current techniques and their application in a multi - scale study, *Central Italy, Geomorphology*, 1)31- 4), 181 - 216.
8. Kanungo, D. P; Arora, M. K; Sarkar, S; & R. P.

Gupta, 2009. Landslide susceptibility zonation (LSZ) mapping - A review, *J South Asia Disaster studies*, 2, 81 - 105.

9. Van Westen, C. J, 1994. GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia. In: Price MF, Heywood DI, Mountain environments and geographic systems, Taylor and Francis publishers, pp135 - 165.

۱۰. قاسمی، نگار (۱۳۹۵). بررسی اثر مدل‌های چرخش عمومی هوا AOGCM بر چگونگی تخصیص منابع آب (مطالعه موردی: حوضه لتیان)، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱۱. میر صانعی، رضا؛ مهدویفر، محمدرضا (۱۳۸۵). روش‌ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، کارگروه زلزله و لغزش لایه‌های زمین، پژوهشکده سوانح طبیعی.

۱۲. خواجه شاه‌کویی، علیرضا؛ داوودی، محمود و حسامی، مهدی (۱۳۹۳). مدل‌سازی فضایی و تصمیم‌گیری چند متغیره، دانشگاه گلستان.

۱۳. عطایور، هادی (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در دامنه شمالی مخزن سد لتیان با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی، تراکم سطح، شاخص هم‌پوشانی و ارزش اطلاعاتی. نشریه زمین‌شناسی مهندسی، شماره ۳.

۱۴. شیرانی، کورش؛ سیف، عبدالله (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری منطقه پیش‌کوه، شهرستان فریدون‌شهر. نشریه علوم زمین، شماره ۸.

۱۵. قنوتی، عزت‌اله (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر لغزش در حوضه جاجرود با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۷.

۱۶. کمک پناهی، علی؛ حافظی مقدس، ناصر (۱۳۷۳). روش‌های پهنه‌بندی خطر لغزش، اولین کارگاه تخصصی بررسی راهبردهای کاهش خسارات زمین‌لغزش در کشور.

۱۷. سعیدی، آزاده (۱۳۹۲). تأثیر فعالیت‌های جاده‌سازی بر مورفولوژی دامنه‌ها به منظور جلوگیری از مخاطرات محیطی (دره رودخانه‌ی جاجرود از لشکرک تا فشم)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا.

۱۸. مهر پویا، پوران (۱۳۷۹). بررسی اجمالی ژئودینامیک دامنه دره جاجرود، تهران؛ دانشگاه آزاد واحد تهران مرکز.

۱۹. فتاحی اردکانی، محمدعلی؛ مدیریت آبخیزداری استان تهران؛ مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری (۱۳۸۲). ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز سد لتیان، مجله زمین‌شناسی مهندسی.