ارزیابی کارایی روش های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین لغزش

نوشته: دکترسید محمود فاطمی عقدا*، دکتر جعفر غیومیان** و عقیل اشقلی فراهانی*

Evaluation of statistical methods in landslide hazard analysis

By: Dr. S. M. Fatemi Aghda*, Dr. J. Ghayoumian**, A. Ashghali Farahani*

چکیده

در این تحقیق ارزیابی کارآیی روشهای آماری در پیش‌بینی پتانسیل زمین لغزش با استفاده از اطلاعات ذخیره شده در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) صورت گرفته است. برای این منظور منطقه رودبار که می‌تواند بعنوان الگویی مناسب برای بخشی از منطقه شمالی کشور باشد در نظر قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که لیتولوژی، فاصله از گسل، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، بارندگی و حداکثر شتاب زلزله عوامل اصلی موثر در وقوع ناپایداری در منطقه می‌باشند که جهت ارزیابی هر یک از این عوامل بعنوان یک لایه اطلاعاتی در تحلیل‌ها برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

از تحلیل‌های آماری یک متغیره و چند متغیره جهت ارزیابی پتانسیل خطر زمین لغزش استفاده گردید. در تحلیل‌های رگرسیونی مشخص شد که طبقه‌بندی داده‌ها بصورت رده‌های شیب، بارندگی و ... باعث کاهش دقت پیش‌بینی‌ها می‌گردد. همچنین وزن‌دار نمودن واحدهای نمونه بر حسب بزرگی هر واحد با میزان لغزش یافته هر کدام از آنها باعث افزایش دقت ارزیابی می‌گردد.

بطور کلی از بین تحلیل‌های یک متغیره، روش تراکم سطح نتایج بهتری را ارائه می‌نماید. تحلیل‌های رگرسیونی چند متغیره نشانگر آن است که داده‌های پیوسته نتایج مناسبتری را در مقایسه با داده‌های گسسته ارائه می‌دهند. از طرف دیگر وزن‌دار نمودن نمونه‌ها بر حسب مقادیری نظیر بزرگی سطح واحدهای زمینی و یا درصد لغزش یافته هر واحد می‌تواند نتایج را بهبود بخشد.

واژه های کلیدی : روشهای آماری ، ارزیابی خطر زمین لغزش، پیش بینی ، سیستم اطلاعات جغرافیایی ، ارزیابی چند متغیره ، ارزیابی رگرسیونی، عوامل کنترل کننده زمین لغزش

Abstract:

In this research, evaluation of statistical methods in Predication of landslide hazard has been performed using data Processed by Geographic Information System (GIS) For this purpose, Rudbar area as an appropriate example for north part of the Iran was selected.

Our investigation indicates that lithology distance from faults, vegetation cover, land use, rain fall, and maximum acceleration rate are the main landslide controlling factors in the area. Each of these factors was used as a thematic layer for landslide hazard zonation mapping.

Univariate and multivariate statistical analysis were used for landslide hazard analysis. Regression analysis indicates that classification of each parameter map into a number of relavant calsses such as slope, rainfall, . . . reduces accuracy of prediction. Also weighting of samples based on area of each unit and landslide occurrence increase accurracy.

In general, among univariate statistical analaysis, area density method represents better results. Multivariate analysis indicates

appropriate results for continous data compared to discrete data. On the other hand weighting of samples based on values such as area of ground units or percentage of landslide in each unite improves the results.

Keywords: Statistical methods, landslide hazard analysis, prediction, GIS, multivariate analysis, regression analysis, landslide controlling factors

۱- مقدمه

ناپایداری دامنه‌های طبیعی، یکی از پدیده‌های زمین‌شناسی و ریخت‌زمین‌شناختی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش موثری دارد و زمانی که فعالیت‌های انسانی را تحت تاثیر قرار دهد می‌تواند به پدیده‌ای خطرناک تبدیل شود. یکی از راه‌کارهای کاهش خسارات ناشی از حرکات دامنه‌ای، شناسایی مناطق دارای پتانسیل ناپایداری است. شناسایی پهنه‌های دارای پتانسیل خطر زمین لغزش به روش‌های گوناگونی انجام می‌شود. بسیاری از روش‌های تعیین مناطق دارای خطر لغزش از طریق تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر و ریسک زمین لغزش انجام می‌گیرد. برخی از روشها، براساس شرایط خاص مناطق مورد بررسی، به کار گرفته شده‌اند و جهت استفاده از آنها در دیگر مناطق باید احتیاط نمود. لذا اتخاذ روشی مناسب برای هر منطقه با توجه به شرایط خاص آن ضرورت دارد. از آنجا که این نقشه‌ها، اطلاعات با ارزشی را در مورد خطر و پراکندگی زمین لغزش ارائه می‌دهند که قابل استفاده در برنامه‌ریزی‌های توسعه شهری، روستایی، توسعه شبکه‌های حیاتی و ... می‌باشند لذا دقت و حساسیت در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر لغزش به ویژه در نواحی کوهستانی ضروری است.

در این تحقیق کارایی روش‌های آماری یک متغیره و چند متغیره در ارزیابی و تعیین پتانسیل خطر زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفته است و نیز با استفاده از سیستم GIS در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه رودبار تهیه شده است. منطقه رودبار به دلیل زلزله‌خیز بودن و شرایط خاص زمین‌شناسی، ریخت‌زمین‌شناختی و اقلیمی دارای استعداد بالا در وقوع حرکات دامنه‌ای است به طوری که به سبب زلزله سال ۱۳۶۹ رودبار- منجیل صدها زمین‌لغزش در این منطقه به وقوع پیوست (توکلی و غفوری آشتیانی ۱۳۷۸، قریشی و بربریان ۱۳۷۰، نوگل سادات و همکاران ۱۳۷۷، حائری و ستاری ۱۳۷۵).

۲-روش مطالعه

جهت بررسی کارایی روشهای آماری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، منطقه رودبار با پتانسیل بالای خطر لغزش انتخاب گردید. با بررسی‌های لازم روی اطلاعات موجود از قبیل لرزه‌خیزی، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، کاربری اراضی و پوشش گیاهی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، آمار بارندگی، عکس‌های هوایی با مقیاس‌های ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ و به روز نمودن آنها، این اطلاعات رقومی گردیدند. سپس نقشه‌های هم باران، هم شتاب زلزله و پراکندگی زمین لغزش‌ها در منطقه تهیه شدند. تمام داده‌ها در فرمت‌های برداری و رستری در محیط نرم‌افزار Ilwis ذخیره شده تا در تحلیل‌های آماری از آنها استفاده شود. تحلیل‌های آماری به کمک نرم‌افزارهای Excel و SPSS صورت گرفته است. با مقایسه نتایج تحلیل‌های آماری انجام شده با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه، دقت هر کدام از روش‌ها در تعیین پتانسیل خطر زمین لغزش برآورد گردید.

۳- ویژگیهای لیتولوژیکی عمومی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه حد فاصل بین ′۱۵ °۴۱ تا ′۳۰ °۴۹ طول خاوری و ′۴۵ °۳۶ تا ′۳۶ °۳۷ عرض شمالی در گستره استانهای گیلان و زنجان واقع شده است و یکی از زیر حوزه‌های حوزه بزرگ سفیدرود بشمار می‌آید (جاماب ۱۳۷۰).

از دیدگاه زمین‌شناسی، این منطقه بخشی از بلندی‌های طالش و طارم (البرز باختری) محسوب می‌شود که در آن قدیمی‌ترین سنگ‌های موجود را ردیفی از سنگهای آتشفشانی با ترکیب بازیک تا متوسط دگرگون شده و به شدت دگرسان شده تشکیل می‌دهند. همچنین سنگهای رسوبی مزوزوئیک

و سنوزوئیک شامل ردیف رسوبی دلتایی و دگرگون شده، نهشته‌های آواری، رسوبات کربناتی و نیز توده‌های آذرین در منطقه رخنمون دارند. از دیگر واحدهای زمین‌شناسی می‌توان به نهشته‌های قرمز رنگ آواری نئوژن و مجموعه آبرفت‌های ناهمگن- پلیوسن - کواترنر با سیمان لسی و در بعضی از قسمتها همراه با مارن و جورشدگی ضعیف اشاره نمود. شکل ۲ وضعیت لیتولوژیکی منطقه را نشان می‌دهند (نظری و سلامتی ۱۳۷۷).

۴- بررسی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه

- لیتولوژی

با توجه به تنوع سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه و حساسیت متفاوت واحدهای سنگی به زمین لغزش، لیتولوژی نقش موثری در پراکنش زمین لغزش‌ها در منطقه دارد. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که سنگهای رسوبی شیلی- ماسه‌سنگی و آندزیت‌های پالئوژن دارای بیشترین درصد ناپایداری می‌باشند و واحدهای کرتاسه و ژوراسیک که به طور عمده از سنگ‌های آهکی تشکیل شده‌اند کمتر دچار لغزش گردیده‌اند. درصد لغزش‌های صورت گرفته در هر واحد لیتولوژیکی و نمودار ستونی آنها در جدول ۱ و شکل ۳ آورده شده است.

- فاصله از گسل

تراکم سیستم درزه‌ها، شکستگی‌ها و خردشدگی سنگها نقش موثری در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌ها دارند. بررسی و مطالعه دقیق صورت گرفته در منطقه نشان می‌دهد که فاصله از گسل می‌تواند به عنوان شاخصی از موارد فوق در نظر گرفته شود. نتایج بررسی‌ها در شکل ٤ ارائه شده است.

- پوشش گیاهی و کاربری اراضی

بررسی‌های صورت گرفته در منطقه بیانگر میزان قابل توجه لغزش در مناطق متاثر از تغییر کاربری اراضی می‌باشد. بطوریکه وقوع لغزش در باغات، زمین‌های مزروعی و زیتون کاری نسبت به دیگر مناطق مانند جنگل و مراتع بیشتر می‌باشد. تاثیر این پارامتر در جدول ۲ و شکل ۵ قابل مشاهده می‌باشد.

- شیب دامنه

مطالعات صورت گرفته در منطقه نشان داده‌اند که بیشتر زمین‌لغزش‌ها در شیب‌های بین ۵ تا ۳۵ درجه رویداده‌اند جدول ۳ و شکل ٦ رده‌های شیب و سطح لغزش یافته واقع در این رده‌ها را نشان می‌دهند.

- بارندگی و شتاب زلزله

از میانگین سالانه بارش و ماکزیمم شتاب زلزله بعنوان دو عامل مهم در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه رودبار استفاده شده است. میزان متفاوت بارش و نیز زلزله‌خیز بودن منطقه باعث شده است تا این دو عامل در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه حائز اهمیت باشند.

۵-روشهای آماری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

جهت ارزیابی پتانسیل لغزش و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش لازم است سیستمی را جهت کمی نمودن عوامل موثر در وقوع لغزش و تعیین میزان تاثیر آنها در رویداد این پدیده به کار گرفته شود. مدل‌های آماری با بهره‌گیری از تکنیک‌های مختلف آماری ابزاری سودمند برای این منظور می‌باشند. در این تحقیق، از روش‌های آماری یک متغیره و چند متغیره استفاده شده است.

۵-۱- تحلیل آماری یک متغیره

در تحلیل آماری یک متغیره، وقوع زمین لغزش به عنوان متغیر وابسته و هر یک از عوامل محیطی و ذاتی موثر در این پدیده بعنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شوند. اهمیت هر عامل در ارتباط با ناپایداری دامنه‌ها بطور مستقل از دیگر عاملها مورد تحلیل قرار می‌گیرد. تحلیل شرطی، ساده‌ترین نوع تحلیل آماری است که رابطه احتمالاتی بین زمین لغزش‌ها و پارامترهای موثر در وقوع آنها را بیان می‌کند (Carrara et al. 1995).

از فراوانی داده‌ها برای محاسبه احتمال وقوع استفاده می‌شود. براساس تحلیل شرطی، فراوانی زمین لغزش عبارت است از :

$$LF = \frac{\text{سطح لغزش یافته هر واحد}}{\text{سطح کل واحد}} \qquad (1)$$

در رابطه بالا، LF احتمال شرطی وقوع زمین لغزش در واحد مورد نظر بعنوان واحد نمونه در مطالعه خطر زمین‌لغزش می‌باشد. احتمال شرطی کل ناحیه از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$P(L \mid E\ R) = \frac{\text{مجموع مساحت مناطق لغزش یافته}}{\text{مساحت کل منطقه}} \quad (۲)$$

با محاسبه احتمال وقوع خطر توسط دو رابطه بالا، گستره مورد مطالعه به کمک تابعی از این دو مقدار به درجات متفاوت خطر رده‌بندی می‌شود. شماری از پژوهشگران مانند Vanwesten et al. (1993), Yin and yan (1988) به جای استفاده از واحد نمونه در روابط فوق، هر عامل را جداگانه مورد تحلیل قرار داده و سپس با لحاظ نمودن این فرض که هر عامل با عامل‌های دیگر موثر در زمین لغزش همبستگی ضعیفی دارد احتمال نهایی رویداد زمین لغزش را با جمع کردن احتمال رویداد لغزش از همه عاملها محاسبه نموده‌اند. ازمحدودیت اصلی این روش‌می‌توان به استقلال شرطی‌لایه‌های اطلاعات اشاره نمود (Binaghi et al. 1998). اساس این روش بر این فرض استوار است که «زمین لغزش‌های آینده در شرایطی مشابه با شرایط زمین لغزش‌های رخ داده حادث می‌شوند». در صورتی که تعداد عوامل مرتبط با زمین لغزش محدود باشد و اطلاعات کامل از نقش این عوامل در وقوع زمین لغزش وجود داشته باشد، این روش می‌تواند بعنوان ابزاری سودمند در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مورد استفاده قرار گیرد.

برای محاسبه وزن هر عامل که در محیط GIS یک لایه اطلاعات محسوب می‌شوند از دو روش ارزش اطلاعات و تحلیل حساسیت می‌توان استفاده نمود.

الف) روش ارزش اطلاعات

جهت محاسبه ارزش اطلاعات برای هر رده متغیر از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$I_i = L_n \frac{Si / N_i}{S / N} \quad (۳)$$

که Ii: ارزش اطلاعات عامل i ام، S_i تعداد پیکسل لغزش یافته متغیر X_i در لایه اطلاعات i ام، N_i تعداد پیکسل‌های متغیر X_i از عامل i ام، S تعداد پیکسل‌های لغزش یافته در کل منطقه و N تعداد کل پیکسل‌ها در منطقه.

جهت محاسبه خطر زمین لغزش با استفاده از روش ارزش اطلاعات هر نقشه عامل با نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه (شکل ۷) قطع داده شده و تراکم سطحی زمین لغزش در هر رده متغیر محاسبه می‌گردد. سپس از رابطه بالا ارزش اطلاعات برای هر رده متغیر محاسبه شده و نقشه ارزش اطلاعات برای هر عامل تهیه می‌گردد. با تلفیق نقشه‌های ارزش اطلاعات عوامل مختلف و جمع نمودن مقادیر آنها، نقشه ارزش اطلاعات کل تهیه و با طبقه‌بندی این نقشه به تعدادی رده خطر زمین لغزش، نقشه پهنه‌بندی از زمین لغزش تهیه می‌گردد. ارزش اطلاعات نهایی پیکسل i ام (I_i) از رابطه زیر به دست می‌آید؛

$$Ij = \sum_{i=1}^{m} X_{ij} I_i \quad (٤)$$

که m تعداد متغیرها و X_{ij} متغیر i ام در پیکسل j ام می‌باشد.

با استفاده از روش ارزش اطلاعات در محیط Ilwis، در گستره رودبار ارزش اطلاعات لیتولوژی، شیب، بارندگی، فاصله از گسل، پوشش گیاهی، فاصله از آبراهه و شتاب زلزله محاسبه و سپس نقشه پهنه‌بندی با هفت درجه خطر از کوچکتر از ۱۵- تا بزرگتر از ۲ شامل کاملاً پایدار، پایدار، تا حدی پایدار، پایداری متوسط، تا حدی نا پایدار، ناپایدار و بسیار ناپایدار تهیه گردید.

نتایج محاسبات از روش بالا در جدول ٤ ارائه شده است. شکل ۸ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را به روش ارزش اطلاعات در منطقه رودبار نشان می‌دهند. جهت بررسی و تعیین میزان دقت مدل استفاده شده در تعیین پتانسیل خطر زمین لغزش، از رابطه ارائه شده توسط Jade et al. (1993) استفاده گردید.

$$P = \frac{K_s}{S}\left(1 - \frac{K - K_s}{n - s}\right)^{1/3} \quad (۵)$$

$$P = \frac{K_s}{S} \quad (٦)$$

که P احتمال تجربی (دقت روش)، n مساحت کل منطقه، s مساحت لغزش

یافته در کل منطقه، k مساحت رده‌های خطر متوسط به بالا، k_s مساحت لغزش یافته در رده‌های خطر متوسط به بالا است. طبق این روابط مقدار P در گستره رودبار برابر است با: P=۰/۹۲۲

برای K_s در گروه‌های ٦ و ٧ در سطحی معادل ٤٣/٦١ درصد کل منطقه و ۰/۹۷٤ برای K_s در گروه‌های ٥ و ٦ و ٧ معادل ٥٧/٥٢ درصد کل منطقه.

ب) روش تحلیل حساسیت (تراکم سطح)

در این روش، تراکم زمین لغزش از طریق فرمول زیر برای هر نقشه عامل محاسبه و سپس مانند مراحل ذکر شده برای روش ارزش اطلاعات پهنه‌بندی خطر زمین لغزش صورت می گیرد.

$$D = \frac{N_{Pix}(S_{xi})}{N_{Pix}(x_i)} \quad (٧)$$

$$W = 1000(D - \frac{\sum_{j=1}^{M} N_{Pix}(S_{xi})}{\sum_{j=1}^{M} N_{Pix}(x_i)} \quad (٨)$$

که D: تراکم زمین لغزش در متغیر i ام از عامل jام، W وزن متغیر i ام از عامل jام در روش تراکم سطح $N_{Pix}(S_{xi})$ مساحت لغزش یافته در متغیر x_i و $N_{Pix}(S_{xi})$ مساحت متغیر x_i.

برای محاسبه وزن نهایی W_j را برای هفت عامل لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، شیب پوشش گیاهی، بارندگی و حداکثر شتاب افقی زلزله محاسبه و با یکدیگر جمع شده‌اند. نتایج مطالعات در منطقه رودبار در جدول شماره ٥ آمده است.

مقدار دقت روش (P) بر اساس رابطه ٦، ۰/۷۸۳ برای ks در رده‌های ٤ و ٥ معادل ٢٨/٤ درصد کل منطقه و ۰/۹٥٧ برای ks در رده‌های ٣ و ٤ و ٥ در سطحی معادل ٥٥/٥ درصد کل منطقه است. پهنه‌بندی زمین لغزش منطقه رودبار به روش تراکم سطح در شکل ٩ نشان داده شده است.

۲-٥ مدلهای آماری چند متغیره

با توجه به اینکه روشهای آماری چند متغیره، امکان تحلیل همزمان تعدادی متغیر را فراهم می‌نمایند جهت ارزیابی خطر زمین لغزش که به طورذاتی پدیده‌ای چند متغیره است حائز اهمیت می‌باشند. روشهای آماری چند متغیره گوناگونی توسط پژوهشگران مختلف در تحلیل ناپایداری دامنه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است که از مهمترین آنها می‌توان به روشهای رگرسیون چند متغیره، تحلیل ممیزی و رگرسیون لجستیک اشاره نمود. در این تحقیق کارایی‌روش رگرسیون چندمتغیره درپیش‌بینی خطر زمین لغزش موردبررسی قرار گرفته است. درمدل‌های آماری چند متغیره، آماده‌سازی نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها، تهیه نقشه‌های پارامتر، تعیین نوع‌واحدبندی زمینی، تحلیل آماری چند متغیره وتهیه نقشه نهایی پهنه‌بندی‌خطر زمین لغزش، پنج مرحله از پیش‌بینی چند متغیره آماری را تشکیل می‌دهند.

واحدزمینی به عنوان واحدنمونه برای بررسی وضعیت ناپایداری هرمنطقه، بخشی ازسطح زمینی است که در بردارنده شرایط متفاوتی از واحدهای مجاورخود می‌باشد و مرزمشخصی برای آن قابل تعریف است. هرواحد زمینی نشان دهنده یک درجه خطر در نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌باشد.

با توجه به تعداد لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده و نیز طبقه‌بندی هر پارامتر (رده‌ها)، تعداد واحدهای زمینی همگن متفاوت خواهد بود.

الف) آماده‌سازی داده‌ها

آماده‌سازی داده‌ها جهت تحلیل چند متغیره شامل مشخص نمودن نوع داده‌ها برای مثال کمی یا کیفی بودن داده‌ها،کمی نمودن داده‌های کیفی، گسسته یا پیوسته بودن داده‌های کمی و رده‌بندی داده‌ها است. در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه رودبار، پارامترهای درجه شیب، فاصله از گسل، میزان بارندگی و شتاب زلزله دارای بعد متریک بوده و شامل مقادیر پیوسته هستند و لیتولوژی و پوشش گیاهی جزء پارامترهای کیفی محسوب می‌شوند. لازم به توضیح است که زمانی که متغیرهای کمی پیوسته، رده‌بندی شوند در واقع آنها را به متغیرهای غیرکمی تبدیل نموده‌ایم. محققین مختلف از جمله Chung et al. (1995), Carrara et al. (1995) و Jade et al. (1993) جهت کمی

نمودن متغیرهای کیفی، آنها را به متغیرهای تصنعی یا معرف تبدیل نموده‌اند.

ب) داده‌های گسسته در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

شش متغیر مستقل شیب، لیتولوژی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، فاصله از گسل، متوسط بارندگی سالیانه و شتاب زلزله ومتغیر وابسته رخداد زمین لغزش درتجزیه و تحلیل ناپایداری منطقه مورد استفاده قرارگرفته‌اند. متغیرهای کمی شیب، فاصله از گسل، بارندگی و شتاب زمین به رده‌هایی طبقه‌بندی شده وپارامترهای کیفی لیتولوژی وپوشش گیاهی وکاربری اراضی براساس ملاحظات و نظرات کارشناسی رده‌بندی گردیده‌اند. ازقطع دادن شش نقشه پارامتر ۸۲۹ واحدزمینی همگن ایجاد شده است. با قطع دادن نقشه واحدهای‌زمینی با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها، واحدهای لغزش‌یافته و پایدارمشخص گردیده‌اند.واحدهای زمینی که دارای تراکم بیشتر از۲٪ زمین لغزش باشند را به عنوان واحدهای‌لغزش یافته و واحدهای باکمتر از۲٪ تراکم‌زمینی لغزش به عنوان واحدهای زمینی‌پایدار در نظرگرفته شده‌اند. برای واحدهای‌لغزش یافته کد(۱) و برای واحدهای پایدار کد(۰) صفر منظور شده است.

همچنین وجود متغیری از هر پارامتر در یک واحد زمینی با کد (۱) و عدم وجود آن با کد (۰) مشخص شده است. از جمع ۲۵ متغیراز شش عامل یاد شده در تشکیل ماتریس متغیرها استفاده شده است. این متغیرها از نوع تصنعی بوده و بعنوان متغیرهای مستقل در تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

طبقه‌بندی هر یک از لایه‌های اطلاعاتی با توجه به تحلیلهای انجام شده در خصوص نقش هر یک از عوامل در ناپایداری (بخش ٤ مقاله) ونظرات کارشناسی صورت گرفته است.

داده‌های گسسته مورد استفاده در این مطالعه در جدول های ٦ تا ١١ آورده شده‌اند.

ج) داده‌های پیوسته در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه رودبار

از میان شش پارامتر موثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه، پارامترهای لیتولوژی و پوشش گیاهی غیرکمی می‌باشند،که جهت تبدیل این پارامترهای کیفی به پارامترهای کمی بر اساس متغیرهای ترتیبی کد یک تا پنج برای هر رده پارامتر در نظر گرفته شده است و از قطع دادن شش نقشه پارامتر کمی ۷۲٤٥۳ واحد زمینی همگن به دست آمده است.

۱-۲-۵- رگرسیون چند متغیره

مدل کلی پیش‌بینی رگرسیون چند متغیره را به این صورت می‌توان نوشت:

$$L = do + d_1 z_1 + d_2 z_2 + ... + d_s z_s + \varepsilon \quad (۹)$$

که ضرایب d_0، d_1، d_2 و ..... d_s پارامترهای مجهول و z_1، z_2، ..... z_s متغیرهای مستقل می‌باشند و ε خطای متغیر وابسته L با انتظار $E(\varepsilon) = 0$ می‌باشد. این مدل شامل رگرسیون خطی معمولی و رگرسیون خطی وزن دار می‌باشد. در هر دو روش داده‌های گسسته و پیوسته مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین در این مدل، زمین لغزش به عنوان متغیر تصادفی وابسته به پارامترهای مستقل موثر در این پدیده می‌باشد.

الف) رگرسیون خطی با داده‌های گسسته

این روش با استفاده از ۱۱۳ نمونه در منطقه رودبار و به روش گام به گام مورد استفاده قرار گرفته است. این ۱۱۳ نمونه در واقع معرف واحدهای زمینی همگن از شش پارامتر لیتولوژی (L)، شیب (S) پوشش گیاهی (U)، بارندگی (R)، فاصله از گسل (F) و بیشینه شتاب افقی زلزله (A) می‌باشند.

واحدهای زمینی انتخاب شده همگی دارای بیش از ٤۰۰۰ پیکسل با ابعاد ۲۰×۲۰ متر می‌باشند. در بهترین مدل مطابق جدول ۱۲ تنها متغیر رده دوم شتاب (A_2)، رده دوم شیب (S_2)، رده دوم پوشش گیاهی، رده سوم و چهارم فاصله از گسل (F_3 ,F_4) در معادله رگرسیون وارد شده‌اند. ضریب همبستگی (R) معادله در این حالت ۰/۵۸ می‌باشد. در این معادله بهترین رگرسورها به ترتیب A_2، S_2، U_2، F_4 و F_3 می‌باشند.

متغیر با ضریب مثبت در معادله رگرسیون باعث افزایش ناپایداری و بالعکس متغیر با ضریب منفی باعث کاهش ناپایداری می‌شود. در صورتیکه داده‌ها را بر حسب تعداد پیکسل‌های آنها که بیانگر بزرگی آنهاست وزن‌دار

نمائیم می‌توانیم به نتایج بهتری برسیم. انجام این عملیات بر روی داده‌های فوق باعث افزایش ضریب همبستگی معادله ۵ از ۰/۵۸ به ۰/۷۱ می‌شود. جدول ۱۳ و نقشه پهنه‌بندی تهیه شده با استفاده از این مدل جهت منطقه مورد نظر (شکل شماره ۱۰) نتایج مطالعات را نشان می‌دهند. ارزش رگرسیونی برای واحد زمینی در گستره رودبار در بازه ۰/۳۶۰۲ تا ۰/۸۷۲۲ قرار می‌گیرد. دقت روش $P^{`}$ با استفاده از رابطه شماره ٦ و با در نظر گرفتن رده‌های ۵ و ٦ و ۷ برابر با ۰/۳۹۲ در سطحی معادل ۳٤/۳۹ درصد از کل منطقه می‌باشد.

ب) رگرسیون خطی با داده‌های پیوسته:

رگرسیون گام به گام با ۲۰۷ واحد زمینی در منطقه رودبار که هر کدام بیش از ٦۰ پیکسل با ابعاد ۲۰×۲۰ متر دارند نشان می‌دهد که بهترین رگرسور بارش و بعد از آن به ترتیب شتاب زلزله، لیتولوژی، فاصله از گسل و پوشش گیاهی در درجات بعدی اهمیت قرار دارند (جدول ١٤). ضریب همبستگی معادله (R) در سطح معنی‌داری ۹۵٪ برابر با ۵۵٪ می‌باشد.

نتایج حاصل از پهنه‌بندی به روش بالا در جدول ۱۵ آورده شده است. براساس رابطه شماره ٦، ٤٦/٦٨ درصد از لغزش‌ها در درجات خطر ٦ تا ۹ و در سطحی برابر با ۳۲/۸۷ درصد از کل منطقه قرار می‌گیرند. ارزش رگرسیونی واحدهای همگن در بازه ٦٥٤١/- ۳/۲۷٥٦- قرار می‌گیرند. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه به روش رگرسیون خطی با داده‌های پیوسته در شکل ۱۱ آورده شده است.

٦- بحث

جهت مقایسه روشهای مورد استفاده ابتدا دقت هر روش با استفاده از رابطه (٦) محاسبه و مقادیر به دست آمده از این رابطه به درصد سطح در برگیرنده رده‌هایی از خطر که در رابطه (٦) وارد شده‌اند، تقسیم گردید. به این ترتیب عدد به دست آمده (P) مبنای مقایسه روشها قرار گرفته است (جدول ١٦).

مقایسه دو روش مختلف یک متغیره نشان می‌دهد که روش تراکم سطح برای منطقه رودبار از روش ارزش اطلاعاتی مناسب‌تر است. در روش تراکم سطح حدود ۷۸٪ از زمین لغزش‌ها در دو رده خطر بالا در سطحی برابر با ۲۸/٤۰ درصد از کل منطقه قرار می‌گیرند. در حالیکه در روش ارزش اطلاعات حدود ۹۲٪ از زمین لغزشها در دو رده خطر بالا در سطحی برابر با ٤۳/٦۱ درصد از کل منطقه واقع می‌شوند. بعبارتی تراکم زمین لغزش در رده‌های خطر متوسط به بالا در روش تراکم سطح بیشتر از روش ارزش اطلاعات است.

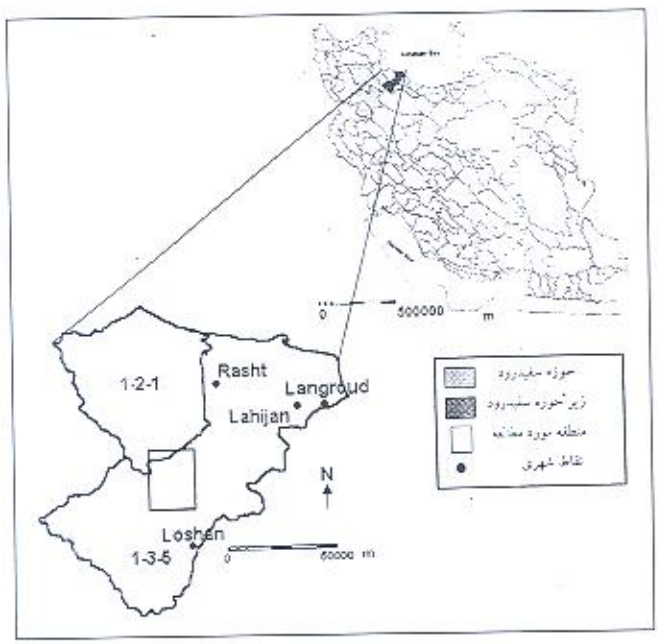
مقایسه نتایج مدل رگرسیون خطی با استفاده از داده‌های پیوسته و گسسته، نشان دهنده برتری استفاده از داده‌های پیوسته در محاسبات است زیرا اولاً روند افزایش میزان رخداد زمین لغزش با افزایش رتبه خطر در حالت داده‌های پیوسته منظم‌تر است و ثانیاً تراکم زمین لغزش در حالت داده‌های پیوسته در رده‌های خطر متوسط به بالا بیشتر است بطوریکه نسبت تراکم زمین لغزش در رده‌های خطر متوسط به بالا در حالت پیوسته به حالت گسسته ۱/۲۵ می‌باشد.

۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش کارایی روشهای آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین لغزش مورد ارزیابی قرار گرفته است. بررسیها نشان می‌دهد که در منطقه رودبار تنوع لیتولوژی، آب و هوایی و ریخت شناسی از عوامل مستعد کننده رویداد زمین لغزش در منطقه می‌باشند. جایگاه زمین ساختی و لرزه‌خیزی این منطقه باعث تشدید ناپایداری می‌گردد. در تحلیلهای آماری مشخص گردید که از روش‌های آماری یک متغیره، روش تراکم سطح نتایج بهتری را نشان می‌دهد. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تحلیل‌های رگرسیونی چند متغیره نشانگر این است که دراین تحلیل‌ها استفاده از داده‌های پیوسته نتایج مناسبتری را در مقایسه با داده‌های گسسته ارائه می‌دهند زیرا (۱) روند افزایش میزان رخداد زمین لغزش با افزایش رتبه خطر در حالت استفاده از داده‌های پیوسته منظم‌تر است و (۲) تراکم زمین لغزش در زمانی که از داده‌های پیوسته استفاده می‌شود در رده‌های خطر متوسط به بالا بیشتر است بطوریکه نسبت تراکم زمین لغزش در رده‌های خطر متوسط به بالا در حالت استفاده از داده‌های پیوسته به حالت استفاده از

داده‌های گسسته برابر با ۱/۲۵ می‌باشد.

از طرف دیگر وزن‌دار نمودن نمونه‌ها بر حسب مقادیری نظیر بزرگی سطح واحدهای زمینی و یا درصد لغزش یافته هر واحد می‌توانند نتایج را بهبود بخشد.

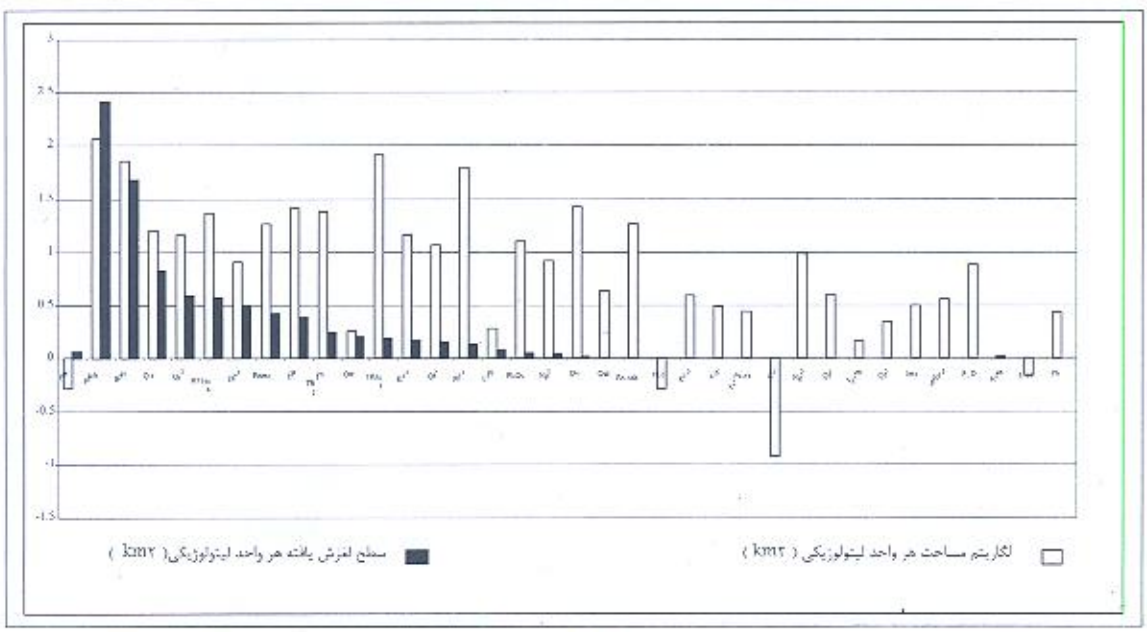


شکل۱- موقعیت حوزه بزرگ سفید رود، زیر حوزه سفید رود با شماره (۵-۳-۱-) و موقعیت منطقه مورد مطالعه (جاماب ۱۳۷۰)

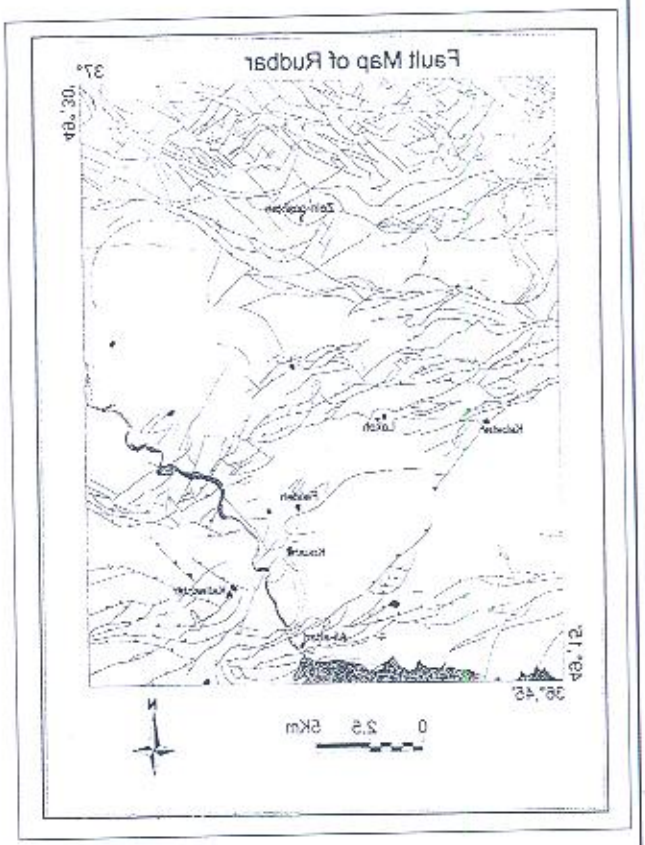
شکل۲- نقشه سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه (نظری و سلامتی ۱۳۷۷)

لیتولوژی	علامت در نقشه	مساحت Km^2	سطح لغزیده Km^2	درصد لغزیده
آندزیت میکرولیتیک تا پورفیریک	E3v	۱۵۲/۰	۰/۰۶	۱۱/۸۶
رسوبات آب شیرین (تراورتن)	Qtr	۱/۸۱	۰/۲۰	۱۱/۲۰
سنگ آهک خاکستری روشن	Jl2-3	۸/۱	۰/۰۶۹	۶/۰۰
زمین کشاورزی	Qc	۱۴۱/۰۳	۰/۸۳	۵/۷۷
رسوبات تخریبی اخیر	Qt 1	۱۶/۳۶	۰/۵۹	۴/۱۴
ولکانیک‌های برشی اسیدی	E3tb	۰/۹۲	۰/۰۷	۳/۷۹
سنگهای اسلیتی وفیلیتی (شمشک)	TRjshssh	۴۳/۱۴	۰/۵۷	۳/۴۵
ولکانیک‌های بازیک تا حد واسط	E3tv	۷۱/۶۳	۱/۶۸	۲/۳۴
سنگهای متاسوماتیک کمی دگرگون شده	Eomt	۱۸/۲۰	۰/۴۲	۲/۳۲
ماسه سنگ سیلتی	E3tsh	۱۱۵/۰۲	۲/۴۱	۲/۰۹
آندزیت	E3t	۲۵/۱۲	۰/۳۸	۱/۴۸
رسوبات تخریبی اخیر	Qt2	۱۱/۴۵	۰/۱۵	۱/۳۹
سنگهای آهکی آلبین	K 1-1	۲۲/۵۵	۰/۲۲	۱/۱۴
کنگلومرای پلی میکتیک	TRJlcs	۲۴/۰۹	۰/۲۴	۱/۰۱
لایه‌های قرمز رنگ کهپی	Ng1	۸/۲۷	۰/۰۳	۰/۴۱
آبرفت پلی ژنتیک	PLQe	۱۲/۶۷	۰/۰۵	۰/۳۸
رخساره‌های دگرگونی گرافیت‌دار	TRJsl	۸۲/۲۵	۰/۱۹	۰/۲۳
سنگ آهکهای سازند روته	PL 2-3	۶۲/۰۱	۰/۱۴	۰/۲۱
سنگهای آتشفشانی بازیک	Dv	۲۶۶/۰	۰/۰۲	۰/۰۶
آبرفت رودخانه‌ای	Qal	۱/۲۵	۰/۰۰	۰/۰۰
شیل،ماسه‌ای و ماسه سنگ آرگوزی	Eo-ssh	۱۸/۲۱	۰/۰۰	۰/۰۰
آبرفت پلی ژنتیک	Plc	۰/۵۲	۰/۰۰	۰/۰۰
سنگ آهک آواری	K 1-2	۲/۹۶	۰/۰۰	۰/۰۰
سنگ آهک تخریبی قرمز رنگ	K1-c	۳/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰
کنگلومرای پسرونده	K2pa-cs	۲/۷۹	۰/۰۰	۰/۰۰
گرانیتوئید	G1	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۰۰
سیلت آهکی	Ng2	۹/۶۸	۰/۰۰	۰/۰۰
نادزن گرانولی بیز	Qf1	۴/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰
سیلت آهکی زیپس دار	Ng2m	۱/۲۵	۰/۰۰	۰/۰۰
نادزن گرانولی جوان	Qf2	۲/۲۵	۰/۰۰	۰/۰۰
ولکانیکها و سنگ ولکانیک‌های دگرگون شده	Jmv	۲/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۰
سنگ آهک خاکستری	J3K1-1	۲/۶۶	۰/۰۰	۰/۰۰
ماسه سنگ (سازند دروه)	PsD	۷/۷۱	۰/۰۰	۰/۰۰
شیل‌های خاکستری	K2sh	۱/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰
ماسه سنگ شیلی	E-us	۰/۱۶۹	۰/۰۰	۰/۰۰
سنگ‌های تفتنیه شده پرمین	Pls	۷/۱۶۹	۰/۰۰	۰/۰۰

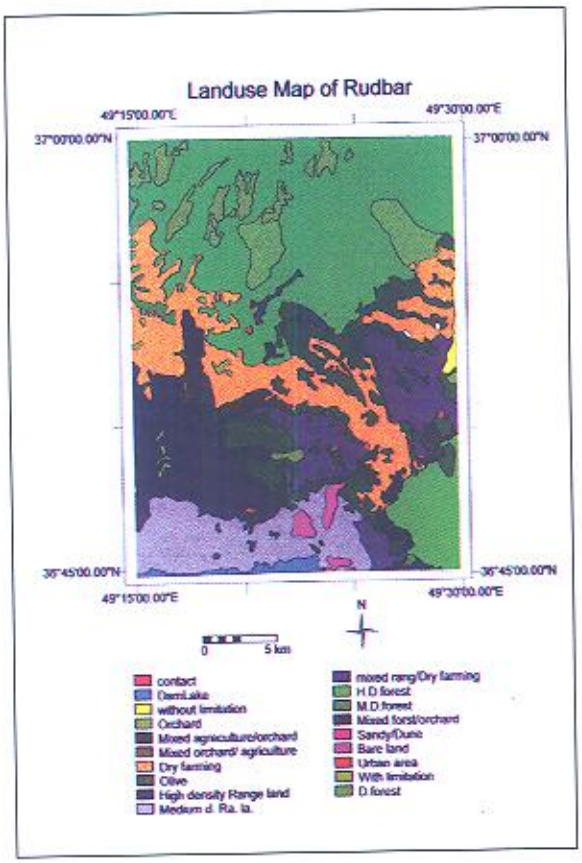
جدول ۱- مساحت واحدهای زمین شناسی و میزان لغزنده هر واحد



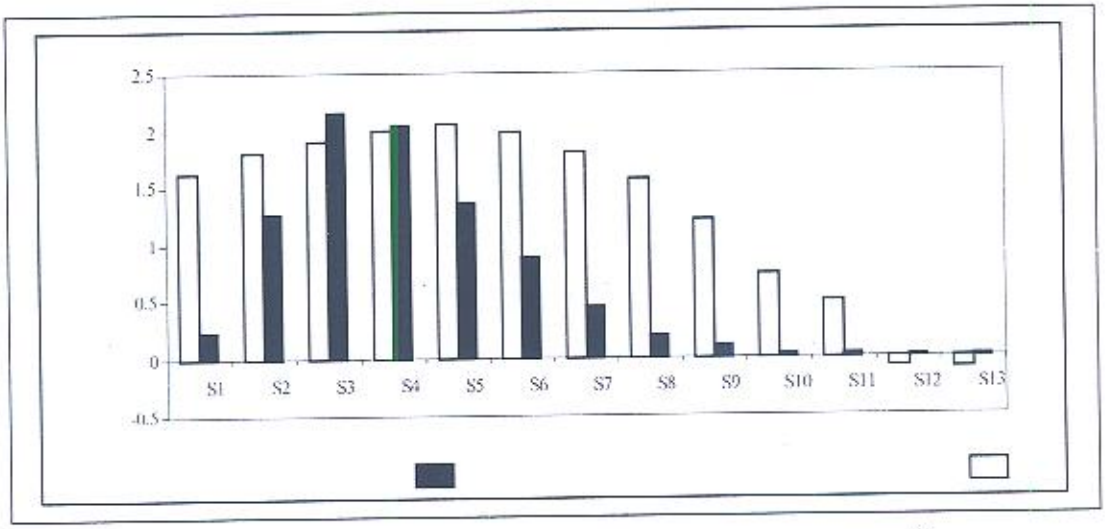
شکل ۳- نمایش ستونی مساحت واحدهای لیتولوژیکی و سطح زمین لغزشها در هر واحد در منطقه مورد مطالعه



شکل ٤- نقشه گسلهای منطقه مورد مطالعه



شکل ٥- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه



الگاریتم مساحت هر رده شیب ((km2)

سطح گسیخته شده هر واحد (km2)

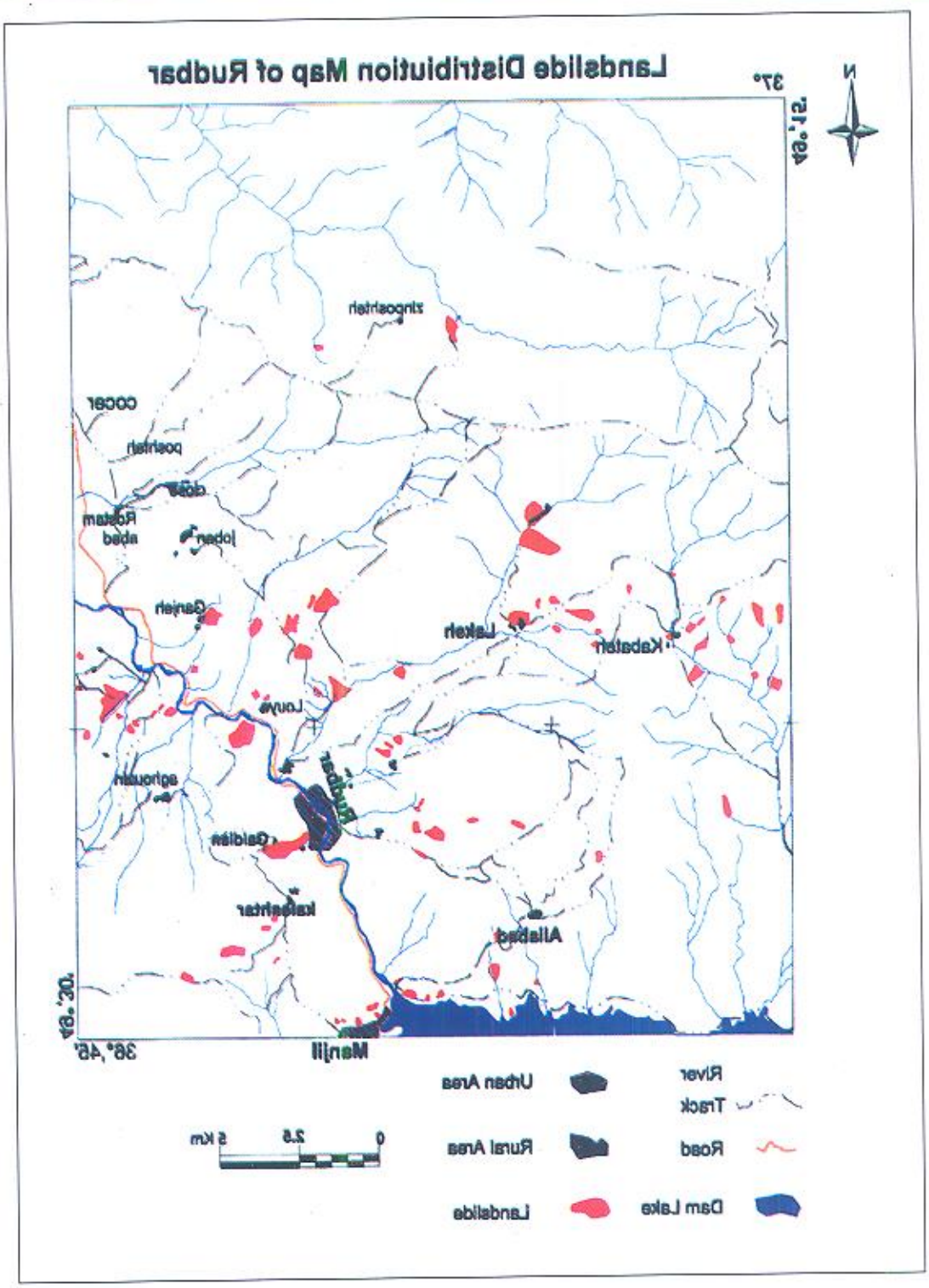
شکل ٦- رده های شیب و سطح گسیخته هر رده در منطقه مورد مطالعه

پوشش گیاهی و کاربری اراضی	علامت در نقشه	مساحت Km^2	سطح لغزش یافته Km^2	درصد لغزش یافته
زمین زراعی آبی	I_1	۲/۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
باغ	O	۲۲/۷۳	۰/۲۱۱	۰/۹۳
مخلوط زراعت و باغ	Io	۵/۴۵	۰/۲۷۸	۵/۱۱
زراعت دیم	DF	۸۶/۷۳	۲/۳۱۹	۲/۶۷
زیتون	OL	۷۱/۱۷	۱/۹۰۵	۲/۶۸
مرتع با تراکم زیاد	R_1	۶۶/۶۵	۰/۷۳۲	۱/۱۰
مرتع با تراکم متوسط	R_2	۵۱/۵۵	۰/۴۰۷	۰/۷۹
مخلوط مرتع و دیم	RD	۵۲/۸۰	۱/۲۱۴	۲/۳۰
جنگل خیلی متراکم	F_1	۲۱۱/۳۰	۰/۹۸۱	۰/۴۶
جنگل با تراکم متوسط	F_2	۳/۳۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
مخلوط جنگل و باغ	Fo	۹/۳۷	۰/۲۷۰	۲/۸۸
زمین بایر	B	۵/۱۵	۰/۸۹	۱/۷۳
مسکونی	V	۱/۴۹	۰/۲۸۱	۱۸/۸۲
زمین زراعی	I_2	۱۹/۹۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

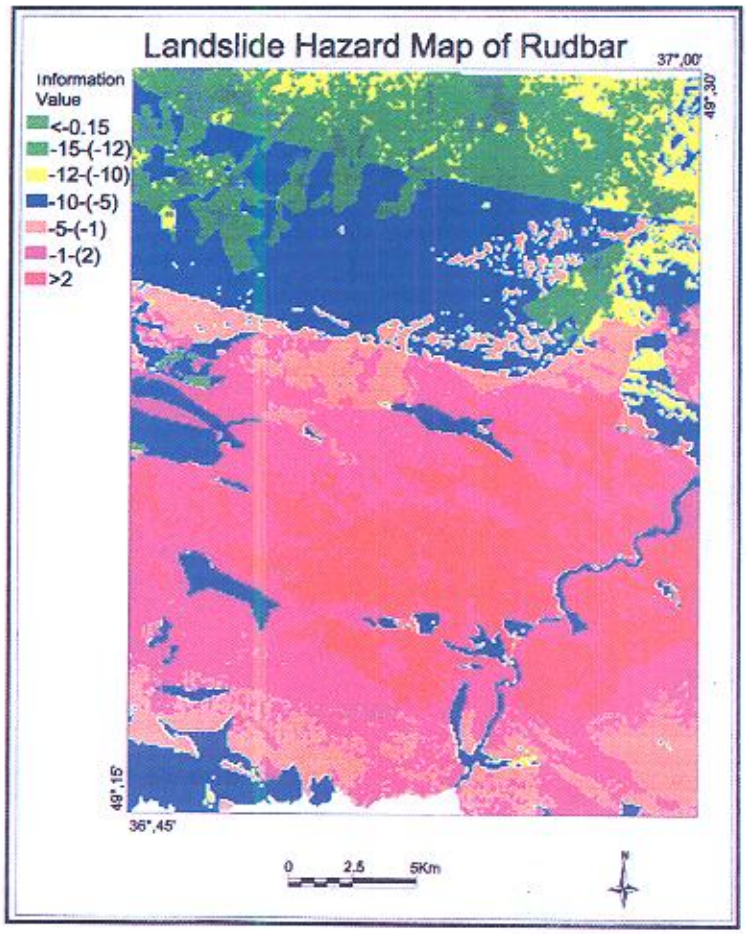
جدول ۲- پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

رده	شیب (درجه)	مساحت Km^2	سطح لغزنده Km^2	درصد لغزش یافته
S_1	۰-۵	۴۱/۱۹	۰/۲۳۴	۰/۵۷
S_2	۵-۱۰	۶۲/۸۴	۱/۲۶۳	۲/۰۱
S_3	۱۰-۱۵	۷۸/۶۳	۲/۱۵۳	۲/۷۴
S_4	۱۵-۲۰	۹۷/۹۸	۲/۰۲۴	۲/۷۶
S_5	۲۰-۲۵	۱۱۰/۹۶	۱/۳۵۱	۱/۲۲
S_6	۲۵-۳۰	۹۵/۷۵	۰/۸۷۲	۰/۹۱
S_7	۳۰-۳۵	۶۲/۷۶	۰/۴۴۴	۰/۷۱
S_8	۳۵-۴۰	۳۵/۸۱	۰/۱۸۳	۰/۵۱
S_9	۴۰-۴۵	۱۶/۰۱	۰/۰۹۰	۰/۵۶
S_{10}	۴۵-۵۰	۵/۳۶	۰/۰۲۸	۰/۵۲
S_{11}	۵۰-۵۵	۳/۰۱	۰/۰۱۹	۰/۶۲
S_{12}	۵۵-۶۰	۰/۸۴	۰/۰۰۹	۱/۰۵
S_{13}	۶۰ <	۰/۸۰	۰/۰۱۰	۱/۲۵

جدول ۳- رده های شیب در منطقه مورد مطالعه



شکل ۷- نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در گستره مورد مطالعه



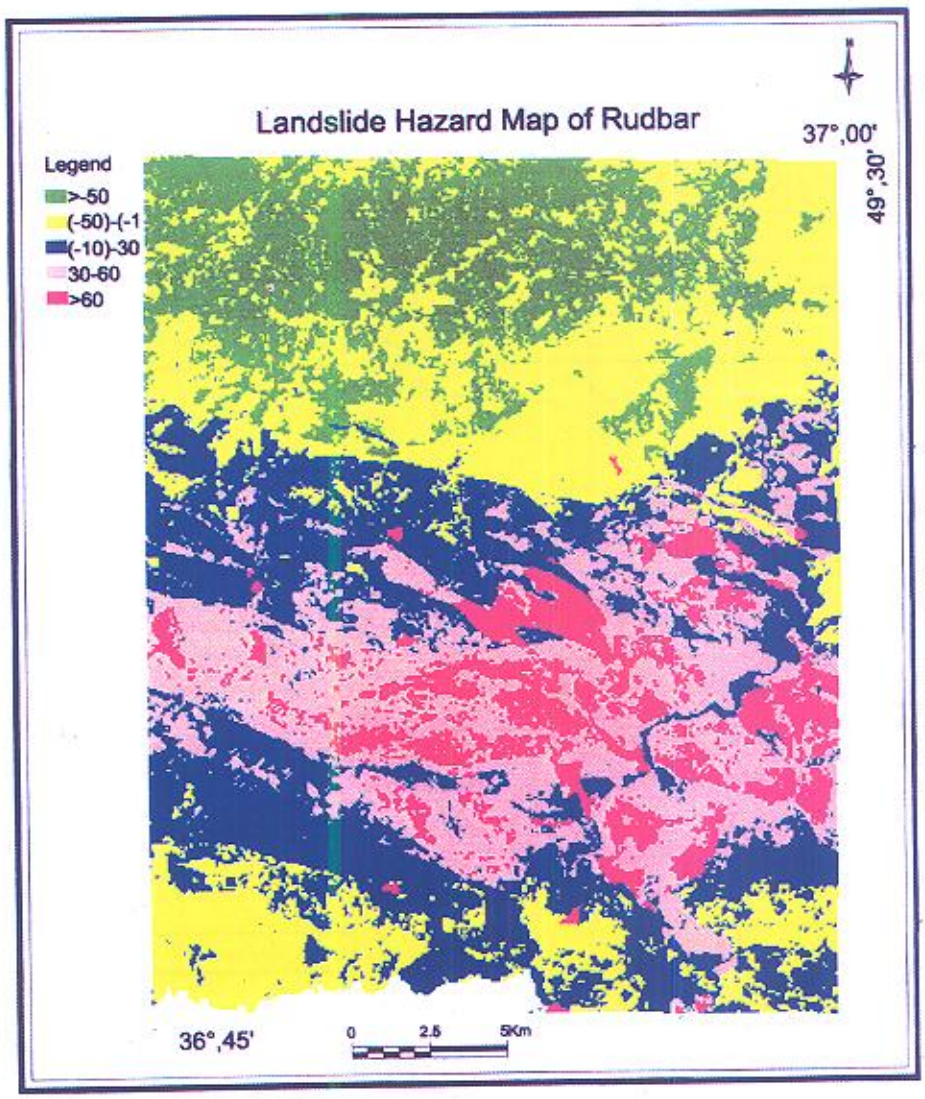
شکل ۸- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش اطلاعات در گستره رودبار

رده خطر	ارزش اطلاعات I_j	مساحت رده Km^2	درصد مساحت	سطح لغزیده Km^2	تراکم زمین لغزش	توصیف
۱	>-۱۵	۱۴/۹۹	۲/۴۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	کاملاً پایدار
۲	(-۱۵)-(-۱۲)	۴۶/۴۶	۱۰/۵۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	پایدار
۳	(-۱۲)-(-۱۰)	۳۳/۶۳	۵/۵۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	تا حدی پایدار
۴	(-۱۰)-(-۵)	۱۴۶/۹۱	۲۴/۰۱	۰/۲۲۲	۰/۰۰۱۵	پایداری متوسط
۵	(-۵)-(-۱)	۸۵/۰۹	۱۳/۹۱	۰/۴۵۴	۰/۰۰۵۴	تا حدی ناپایدار
۶	(-۱)-۲	۱۵۹/۷۸	۲۶/۱۱	۲/۸۸۲	۰/۰۱۸۱	نا پایدار
۷	>۲	۱۰۷/۱۳	۱۷/۵۰	۵/۱۳	۰/۰۴۸۱	بسیار ناپایدار

جدول ٤- نتایج پهنه بندی به روش ارزش اطلاعات

رده خطر	تراکم سطح (W)	مساحت رده Km^2	درصد مساحت	سطح لغزیده Km^2	تراکم زمین لغزش
۱	‹ -۵۰	۹۳/۶۷	۱۵/۳۱	۰/۱۰۷	۰/۰۰۱۲
۲	(-۱۰) - (-۵۰)	۱۷۸/۷۴	۲۹/۲۱	۰/۲۶۵	۰/۰۰۱۵
۳	-۳۰ (-۱۰)	۱۶۵/۸۲	۲۷/۱۰	۱/۵۱۶	۰/۰۰۹۲
۴	۳۰-۶۰	۱۲۱/۵۲	۱۹/۸۶	۳/۷۵۲	۰/۰۳۱۱
۵	› ۶۰	۵۲/۲۵	۸/۵۴	۳/۰۴۳	۰/۰۵۸۶

جدول ۵- نتایج روش تراکم سطح در منطقه رودبار (۲۵ /۲۶ ‹W ‹ ۷۸/۸۵-)



شکل ۹- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش تراکم سطح در گستره مورد مطالعه

نام متغیر	علامت معرف لیتولوژی در نقشه زمین‌شناسی
L_1	Qal, QF_2,QF_2, Qt_2, Qt_1, PLCQ,QC
L_2	Ng_1, Ng_2, Ng_2 m
L_3	Eomt, Eos, K_2sh, Kc_1, Eossh, Plc; K_2Pacs, TRJ_1 cs, E_3tsh, PsD
L_4	E_3t, E_3tv, E_3V, E_3tb, Jmv, TRJSL, TRJSSH. PLs,DV
L_5	G_1, K_1-2, K_{1-1}, Qtr, J_3K_{1-1}, JL 2-3, PL2-3

جدول ٦- رده های متغیر لیتولوژی

نام متغیر	نوع پوشش گیاهی یا کاربری اراضی
U_1	U (مناطق مسکونی)، Io (مخلوط زراعت و باغ، I_1,I_2 (زراعت آبی)
U_2	O (مجتمع‌های درختی و باغات) OL (زیتونکاری) Fo (مخلوط جنگل و باغ)
U_3	B (فاقد پوشش گیاهی یا پوشش کم)
U_4	DF (زراعت دیم)، RD (مخلوط مرتع و دیم)، R_1 (مرتع متراکم) R_2 (مرتع نیمه متراکم)
U_5	F_1 (جنگل متراکم) F_2 (جنگل نیمه متراکم و بیشه‌زار)

جدول ۷- رده های متغیر پوشش گیاهی و کاربری اراضی

نام متغیر	فاصله از گسل (متر)
F_1	۰-۲۵۰
F_2	۲۵۰-۷۵۰
F_3	۷۵۰-۱۵۰۰
F_4	> ۱۵۰۰

جدول ۸- رده های فاصله از گسل

نام متغیر	شیب دامنه (درجه)
S_1	۰-۱۰
S_2	۱۰-۲۰
S_3	۲۰-۳۰
S_4	۳۰-۴۵
S_5	> ۴۵

جدول ۹- رده های شیب

نام متغیر	میانگین سالانه (میلیمتر)
R_1	< ۵۰۰
R_2	۵۰۰-۷۵۰
R_3	> ۷۵۰

جدول ۱۰- رده های بارندگی

نام متغیر	شتاب زلزله (درصد g)
R_1	۰/۴۳
R_2	۰/۴۳-۰/۵۰
R_3	> ۰/۵

جدول ۱۱ - رده های شتاب زلزله

متغیر	ضرایب رگرسیون	ضرایب استاندارد شده	معنی داری
S_2	۰/۲۷۹	۰/۳۱۸	۰/۰۰۰
A_2	۰/۳۶۱	۰/۴۲۳	۰/۰۰۰
U_2	-۰/۲۸۲	-۰/۲۵۰	۰/۰۰۳
F_4	-۰/۳۹۱	-۰/۲۰۰	۰/۰۱۹
F_3	۰/۲۰۱	۰/۱۷۰	۰/۰۴۳
عدد ثابت	۰/۰۳۱۳۱	---	---

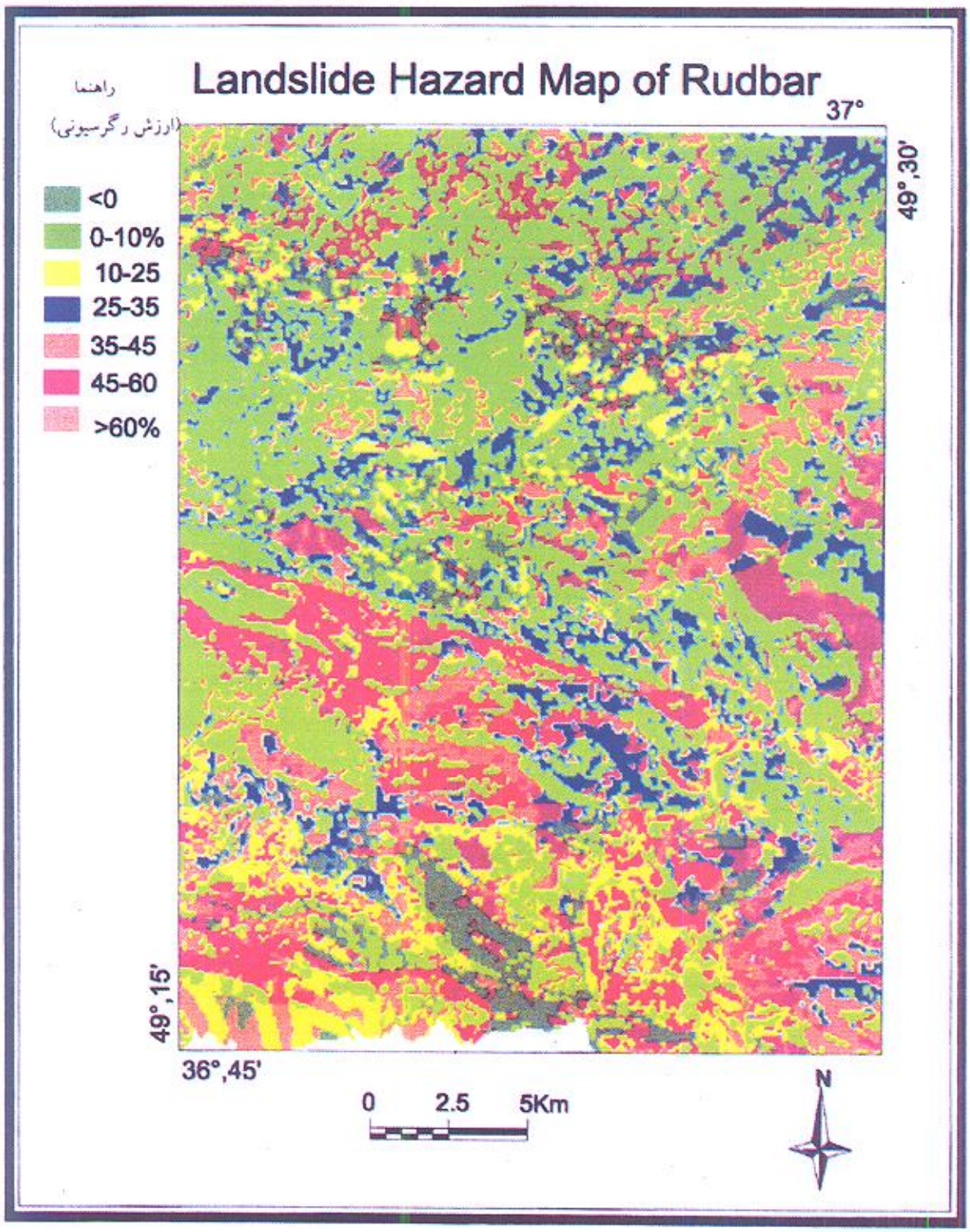
جدول ۱۲- مدل رگرسیون خطی با داده های گسسته

رده خطر	ارزش رگرسیونی	مساحت رده Km^2	درصد مساحت	سطح لغزیده Km^2	تراکم زمین لغزش
۱	۰/۰	۴۲/۵۵	۶/۹۵	۰/۶۲۴	۰/۰۱۴۸
۲	۰ -۰/۰۵	۲۲۷/۴۴	۳۷/۱۷	۲/۹۴۳	۰/۰۱۳۰
۳	۰/۰۵-۰/۲۵	۵۰/۷۳	۸/۲۹	۰/۵۵۸	۰/۰۱۱۱
۴	۰/۲۵-۰/۳۵	۸۰	۱۳/۲۰	۱/۱۵۱	۰/۰۱۴۳
۵	۰/۳۵-۰/۴۵	۹۶/۴۸	۱۵/۷۵	۱/۰۰۸	۰/۰۱۰۵
۶	۰/۴۵-۰/۶۰	۴۶/۴۸	۷/۶۰	۱/۳۲۶	۰/۰۲۸۷
۷	۰/۶<	۶۷/۵۲	۱۱/۰۴	۱/۰۷۳	۰/۰۱۶۰

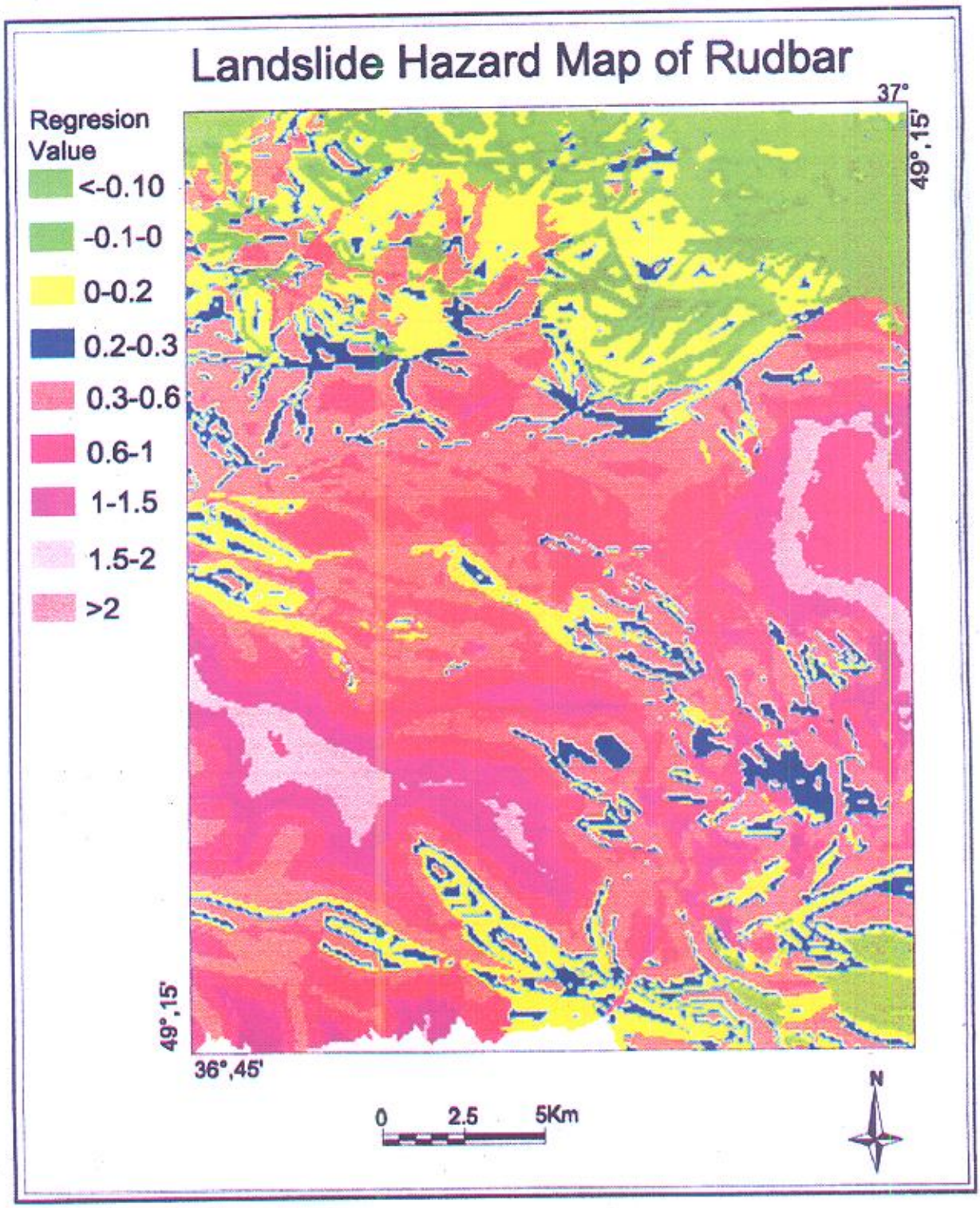
جدول ۱۳- نتایج پهنه بندی زمین لغزش با مدل رگرسیونی خطی با داده های گسسته

متغیر	ضرایب رگرسیون	ضرایب استاندارد شده	معنی داری
R بارندگی	-۰/۰۰۱۵	-۰/۵۵۰	۰/۰۰۰
A شتاب	۳/۲۵۶	۰/۴۵۷	۰/۰۰۱
F فاصله از گسل	۰/۰۰۰۶۸۹	۰/۲۴۰	۰/۰۰۰
L لیتولوژی	-۰/۱۸۰	-۰/۲۵۴	۰/۰۰۰
U پوشش گیاهی	۰/۰۸۵۲	-۰/۱۵۹	۰/۰۲۲
ثابت	۰/۳۳۶۰	---	---

جدول ۱۴- مدل رگرسیون خطی با داده های پیوسته



شکل ۱۰- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش رگرسیون با داده های گسسته در گستره مورد مطالعه



شکل ۱۱- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش رگرسیون با داده های پیوسته در گستره مورد مطالعه

رده خطر	ارزش رگرسیونی	مساحت رده Km^2	درصد مساحت	سطح لغزیده Km^2	تراکم زمین لغزش
۱	<-۰/۱	۴۹/۱۴	۸/۰۳	۰/۰۴۲	۰/۰۰۱
۲	(-۰/۱ -۰	۳۰/۲۶	۴/۹۴	۰/۰۴۴	۰/۰۰۱
۳	۰-۰/۲	۸۶/۰۷	۱۴/۰۶	۱/۰۳۷	۰/۰۱۲
۴	۰/۲-۰/۳	۶۲/۴۶	۱۰/۲۱	۰/۸۴۶	۰/۰۱۴
۵	۰/۳-۰/۶	۱۸۲/۹۰	۲۹/۸۹	۲/۶۵۳	۰/۰۱۵
۶	۰/۶-۱	۱۱۲/۹۶	۱۸/۴۶	۲/۱۸۰	۰/۰۱۹
۷	۱-۱/۵	۵۰/۰۸	۸/۱۸	۱/۴۴۳	۰/۰۲۹
۸	۱/۵-۲	۲۲/۲۵	۳/۶۳	۰/۴۰۳	۰/۰۱۸
۹	>۲	۱۵/۸۸	۲/۶۰	۰/۰۳۴	۰/۰۰۲

جدول ۱۵- پهنه بندی زمین لغزش با مدل رگرسیونی با داده های پیوسته

روش آماری مورد استفاده		P	D_{max}*
یک متغیره	ارزش اطلاعات	۲/۱۲	۰/۰۴۸
	تراکم سطح	۲/۷۵	۰/۰۵۹
چند متغیره	رگرسیون با داده‌های گسسته	۱/۱۴	۰/۰۲۹
	رگرسیون با داده‌های گسسته وزن‌دار	۱/۴۲	۰/۰۲۹
	رگرسیون با داده‌های پیوسته	۱/۳۸	۰/۰۲۰

جدول ۱۶- مقادیر P محاسبه شده برای روشهای مختلف آماری

* Dmax حداکثر تراکم زمین لغزش در رده های پیش بینی خطر می باشد.

کتابنگاری

توکلی، ب. و غفوری آشتیانی، م. ۱۳۷۸- نقشه خطر لرزه‌ای ایران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، چاپ سازمان نقشه‌برداری کشور.

جاماب، ۱۳۷۰- طرح جامع آب کشور، منابع آبهای زیرزمینی حوزه‌های آبریز تالش- مرداب انزلی- سفید رود- شماره ۱-۴۰، شرکت مهندسین مشاور جاماب وابسته به وزارت نیرو.

حائری، س. م. و ستاری، م.ج. ۱۳۷۵- زمین‌لغزه‌های ناشی از زلزله با نگرش بر لغزشهای بزرگ ناشی از زلزله ۱۳۶۹ منجیل، طرح بسیج توان فنی کشور در بازسازی مناطق زلزله زده، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی (مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران).

قریشی، م. و بربریان، م. ۱۳۷۰- گزارش ابتدایی بازدید بررسی زمین لرزه ویرانگر ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ رودبار- طارم، فصلنامه علوم زمین، سال اول شماره ۱، سازمان زمین شناسی کشور.

نظری، ح. و سلامتی، ر. ۱۳۷۷- گزارش زمین‌شناسی نقشه رودبار (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰)، سازمان زمین شناسی کشور.

نوگل سادات، ع. ، فاطمی عقدا، م. و توری‌زاده، م. ۱۳۷۷- نقشه راتش استان گیلان (۱/۲۵۰/۰۰۰)، کمیته تخصصی زلزله و لغزش لایه‌های زمین، کمیته ملی کاهش اثرات بلایای طبیعی، وزارت کشور.

References

Binaghi, E., et al., 1998, Slope instability zonation : A comparison between certainty factor and fuzzy dempster – shafer approaches, Natural hazard. 17, pp. 77-97.

Carrara, A., et al.,1995, GIS Technology in Mapping landslide hazard, Geographical information systems in assessing natural hazards, Kluwer Academic Publishers, Netherlends, pp. 135-175.

Chung, C.F. et al., 1995, Multivariat regression analysis for landslide hazard zonation, Geographical information system in assessing Natural hazards, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 107-133.

Fatemi Aghda, S.M,et al. (1992), Evaluation of effective factors causing ground failures during 1990 Manjil Iran earthquake, proc. Of the Symp. On prediction versus performance in Geotechnical Engineering, Banngkok, Thailand, A.A Balkeme, 1994, pp.327-339.

Jade, S., et al., 1993, Statistical models for slope instability classification, Engineering Geology, 36, pp. 91-98.

Van Westen, C.J., et al., 1993, GISSIZ: Training a pakage for Geographic in formation system in slope instability zonation, part ... :Excercises, ITC, publication number 15

Yin, K.L., & yan, T.Z., 1988, Statistical predicton model for slope instability. of meta mophosed rocks, Proc. STh Int. Symp. on Landslide, lausnne. Switzerland, 2, pp. 1269-1272, in Binaghi.

* دانشگاه تربیت معلم ، گروه زمین‌شناسی ، تهران

** پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران

* Tarbiat Moalem University , Geology Department , Tehran

** Soil Consrvation and Watershed Management Research Center., Tehran