

بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی منطقه رودبار)

سید محمود فاطمی عقدا^۱، جعفر غیومیان^۲، محمد تشنه لب^۲، عقیل اشقلی فراهانی^۱

^۱ گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم، تهران، ایران

^۲ پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور

^۳ دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

(دریافت: ۸۲/۱۰/۱۰؛ پذیرش: ۸۳/۵/۱۴)

چکیده

منطقه رودبار به دلیل تنوع لیتولوژیکی و شرایط محیطی مانند شیب، بارندگی، پتانسیل بالای زلزله و ... منطقه‌ای مستعد لغزش است. جهت بررسی خطر زمین لغزش در منطقه، عوامل موثر در وقوع لغزش با استفاده از اطلاعات موجود و تکمیل اطلاعات توسط برداشت‌های صحرایی و تجزیه و تحلیل آنها مشخص گردید. نتایج حاصله رقمی و در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (Geographic Information System) ذخیره گردیدند. سپس با استفاده از سیستم منطق فازی این اطلاعات تجزیه و تحلیل شده و خطر زمین لغزش برای منطقه محاسبه گردید. نتایج حاصله در سیستم AutoCAD به صورت نقشه پتانسیل خطر زمین لغزش تهیه و ارائه شده است. نقشه‌های تهیه شده شامل نقشه‌های خطر لغزش‌های خاکی و سنگی و نیز نقشه ریزش‌ها و واژگونی‌های سنگی است. نتایج حاصله بیانگر وقوع ۶۸/۳۰ درصد از زمین لغزش‌ها در سطحی برابر با ۴۴/۷۹ درصد در منطقه هستند. همچنین تراکم زمین لغزش‌ها در رده‌های با خطر بالا بسیار بیشتر از مقدار آن در رده‌های خطر پائین است. از ویژگی‌های این روش استفاده از قوانینی است که بر پایه دانش شخص خبره هستند و لذا نتایج بهتری را به دست می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، پهنه بندی، منطق فازی، منطقه رودبار.

مقدمه

ارزیابی ناپایداری‌های دامنه‌ای مانند بسیاری از موضوعات زمین‌شناسی محیطی (Geoenvironment) یکی از پیچیده‌ترین مسائل است که به دلیل تنوع عوامل موثر در وقوع ناپایداری دامنه‌هاست. وجود عدم قطعیت که ناشی از گنگ بودن، ناکامل بودن و مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با پارامترهایی نظیر زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، تکتونیک، پوشش گیاهی، بارندگی، فرسایش، نوسانات درجه حرارت، تاثیر یخبندان و ... در بروز ناپایداری دامنه‌ای، می‌باشند لزوم استفاده از روش‌های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای، منطقی می‌کنند.

این در حالی است که بسیاری از اطلاعات فوق به صورت محاوره‌ای بوده و از نوع اطلاعات غیردقیق می‌باشند. این‌گونه محدودیت‌ها دقیقاً ایده اساسی تئوری فازی می‌باشد. منظور از تئوری فازی، تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کنند که یکی از آنها منطق فازی است.

در سیستم‌های تجربی اطلاعات مهم از دو منبع سرچشمه می‌گیرند. یکی از افراد خبره که دانش و آگاهی آنها را در مورد سیستم با زبان طبیعی بیان می‌کنند و دیگر، مقادیر اندازه‌گیری شده (کمی) و منتج از مدل‌های ریاضی هستند که به طور کلی از قواعد فیزیکی مشتق شده‌اند. در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مدل‌های تجربی که بر پایه دانش افراد خبره قرار دارند بیشتر رایج هستند در اینگونه موارد، نیاز به فرموله کردن دانش آنها به فرمول ریاضی است و در واقع این موضوع اساس آن چیزی است که سیستم‌های فازی در خصوص آن بحث می‌کنند. به طور مثال:

$$R_f = (X_1 \text{ is } A_{i,j_1}) \dots \text{ and } \dots (X_n \text{ is } A_{n,j_n}) \text{ Then } (D \text{ is } S_p) \quad (1)$$

که در آن X_i متغیری است که بیانگر لایه‌های اطلاعات مانند لیتولوژی، پوشش گیاهی، توپوگرافی و ... است. با این فرض که مقادیر این متغیرها در محدوده‌ای مشخص بنام مجموعه مرجع ($U = \{ X_i \}$) قرار دارند (Binaghial و همکاران، ۱۹۹۸).

A_i و J_i نشان دهنده کلاس‌های لایه‌های اطلاعات مانند نوع لیتولوژی، رده شیب، رده فاصله از گسل و ... بوده که در واقع دلالت بر یک مجموعه فازی دارند و بیانگر توصیف زبانی از متغیر X_i بوده و مقدار کمی متغیر زبانی X_i می‌باشد و دقیقاً منعکس کننده تصور ذهنی متخصصین می‌باشد.

در پهنه‌بندی لغزش واژه "بالا" برای لایه اطلاعات شیب دامنه یک مجموعه فازی خواهد بود که عناصر آن مقادیر عددی منتج از توپوگرافی است. در لایه اطلاعات کاربری فعلی از اراضی و

پوشش گیاهی، واژه “مرتع” یا “پوشش گیاهی علفی” یک مجموعه فازی است که مجموعه مرجع آن همه “مقادیر اسمی” ممکن است که مرتبط با کاربری اراضی و پوشش گیاهی هستند.

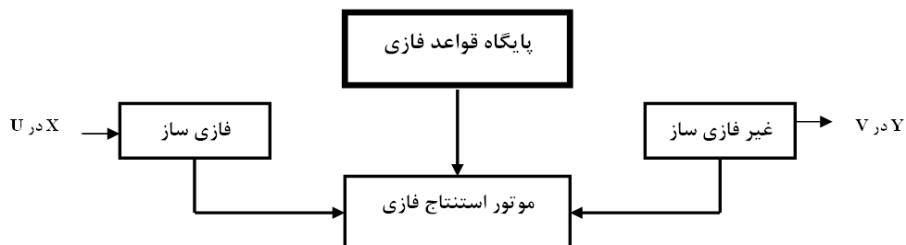
متغیر زبانی D معرف پتانسیل خطر ناپایداری است و S_p مقادیر متغیر زبانی D هستند که نشان دهنده یک رده خطر می‌باشند.

۳- سیستم‌های فازی

سیستم‌های فازی مبتنی بر دانش و قواعد بوده و از مشخصه‌های اصلی آن، توانایی تقسیم‌بندی اطلاعات است. سیستم فازی به جای اعداد با مجموعه‌های فازی سروکار دارد و از آنجا که مجموعه فازی قدرت تبیین بیشتری نسبت به یک عدد دارد استفاده از مجموعه‌های فازی توانایی تعمیم اطلاعات را به ما می‌دهد. بیان اطلاعات در سیستم فازی در اصل تقلیدی از مکانیسم استنتاج تقریبی ذهن انسانهاست (صورتگر، ۱۳۷۸). سیستم‌های فازی متنوعی وجود دارد که در این مقاله از سیستم‌های با فازی‌ساز و غیر فازی‌ساز استفاده شده است (تشنه‌لب و همکاران، ۱۳۷۸)

سیستم فازی با فازی‌ساز و غیر فازی‌ساز

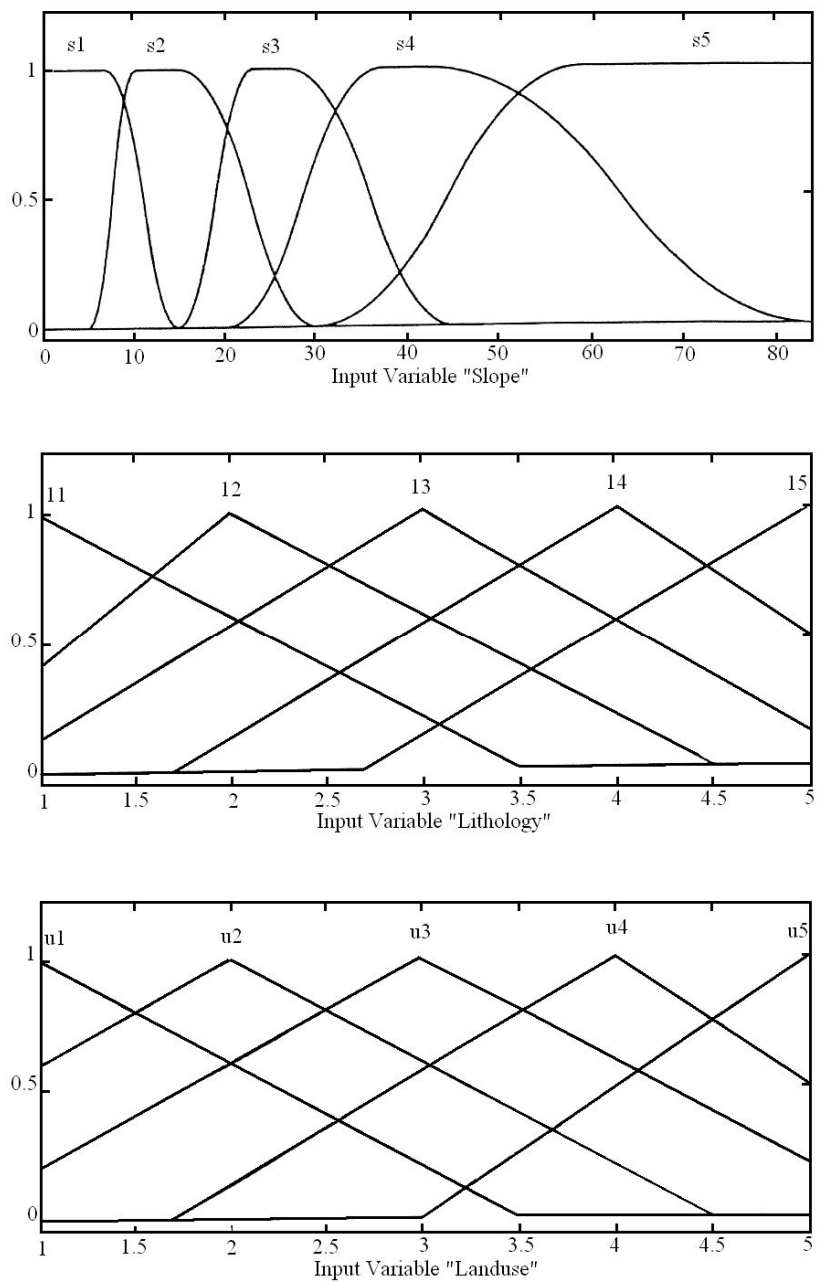
ساختار اصلی این سیستم در شکل ۱ آورده شده است. این سیستم یک مدل زبانی است که اولین بار توسط پروفیسورزاده (۱۹۶۵ و ۱۹۷۳) ارائه گردید. مدل زبانی، رفتار یک سیستم را به وسیله اگر- آنگاه توضیح می‌دهد که گزاره‌های به کار رفته در اگر- آنگاه، جملات مبهم هستند.



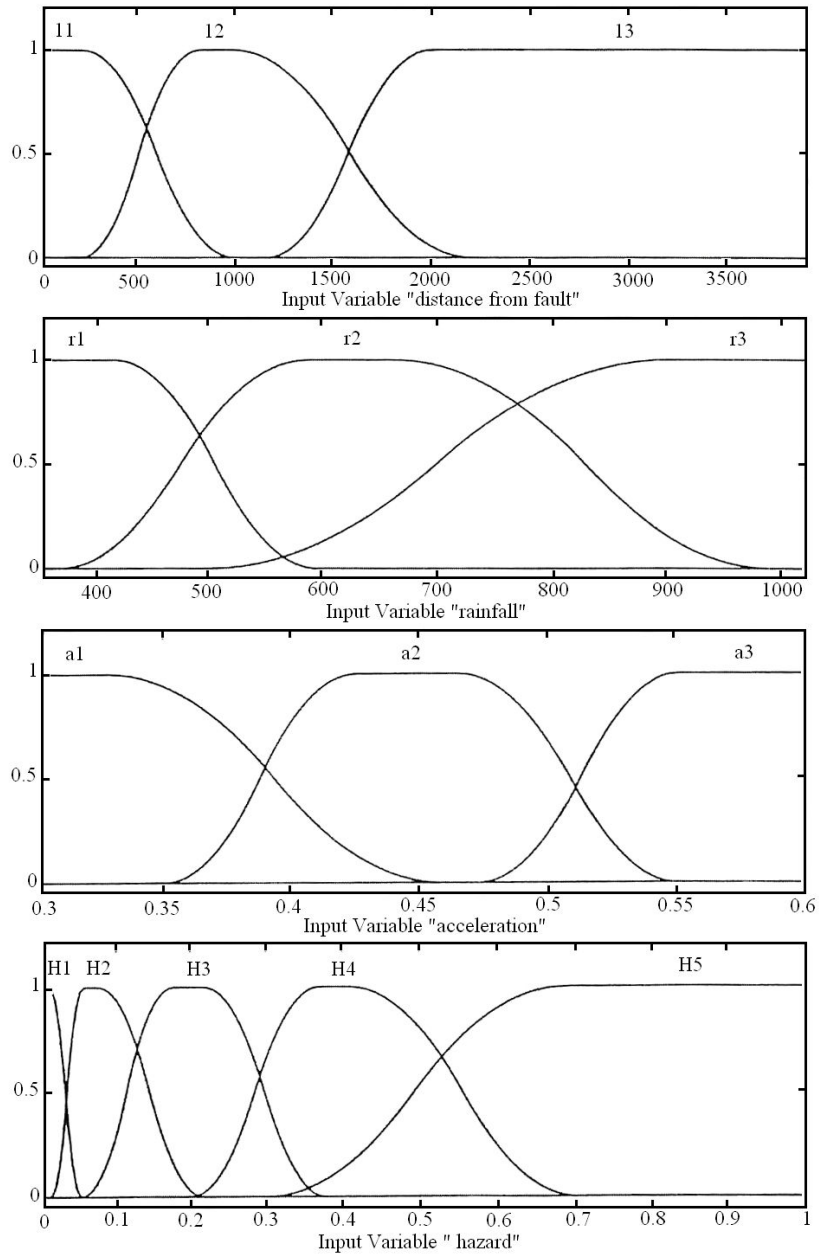
شکل ۱- ساختار اصلی سیستم‌های فازی با فازی‌ساز و غیر فازی‌ساز

پایگاه قواعد فازی، مقرر یا اطلاق فرمان یک سیستم فازی است و شامل قواعد اگر-آنگاه زیر است:
 Ru : اگر $X_1, OA_n^L, \dots, X_n, A_n^L$ است، آنگاه Y, B^L است.

که A^L و B^L به ترتیب مجموعه‌های فازی در $U \subset R$ و $V \subset R$ هستند و $x = (x_1, \dots, x_n) \in$
 U و $Y \in V$ برای $m = 1, 2, \dots, m$ به ترتیب متغیرهای ورودی و خروجی سیستم فازی هستند.
 علامت O می‌تواند هر کدام از رابطه‌های منطقی and یا or باشد. اینکه O کدامیک از
 آنهاست بستگی به این دارد که مدل برچه اساس ساخته شده باشد. در مدل استفاده شده
 جهت پهنه‌بندی زمین لغزش از and به عنوان عملگر رابط استفاده شده است که نشان دهنده
 برآورده شدن همه جملات شرطی در قسمت مقدم قواعد است. قواعدی از این نوع با استفاده از
 شش لایه اطلاعاتی شامل لیتولوژی، پوشش گیاهی، فاصله از گسل، شیب، بارندگی و ماکزیمم
 شتاب افقی زلزله در پایگاه قواعد ساخته شده‌اند. هر کدام از این شش لایه اطلاعات یک x در
 رابطه فوق است و هر رده از این شش لایه اطلاعات یک A می‌باشد که بصورت مجموعه‌های
 فازی بیان شده است. B نشان دهنده رده خطر در مجموع مرجع y که خروجی سیستم است
 می‌باشد. شکل ۲ الف و ب نشان دهنده مجموعه‌های فازی شش لایه اطلاعات ورودی و خروجی
 مدل (درجه خطر) می‌باشد.



شکل ۲ الف- توابع عضویت برای متغیرهای ورودی شیب، لیتولوژی و پوشش گیاهی در گستره مورد مطالعه



شکل ۲ ب- توابع عضویت برای متغیرهای ورودی فاصله از گسل، بارش و حداکثر شتاب زلزله و خروجی مدل (رتبه خطر ناپایداری) در گستره مورد مطالعه

موتور استنتاجی فازی

در موتور استنتاج فازی، از اصول منطق فازی برای ترکیب قواعد اگر-آنگاه در پایگاه قواعد فازی به نگاشتی از مجموعه‌های فازی A در U به مجموعه‌های فازی B در V استفاده شده است. در این مطالعه موتور استنتاج حداقل ممدانی مورد استفاده قرار گرفته است. در این مدل شش ورودی و یک خروجی وجود دارد. ورودی‌ها، لایه‌های اطلاعاتی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش، و خروجی میزان خطر نسبی مورد انتظار می‌باشد. شکل ۳ مدل مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. در این مدل استلزام مینیمم برای تفسیر قوانین اگر-آنگاه استفاده شده است و برای رابطه and اپراتور min به کار رفته است. در این مدل از قاعده ترکیبی استنتاج برای محاسبه خروجی استفاده شده است. به این ترتیب که مقدار خروجی برای هر ورودی و برای هر قانون به طور جداگانه محاسبه و سپس با استفاده از عملگر max مجموعه خروجی نهایی به صورت زیر و همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده است محاسبه گردیده است. در این تحقیق براساس تجربه از مجموعه‌های فازی گوسین و مثلثی به ترتیب جهت ورودیها و خروجی استفاده می‌گردد.

$$\mu_{B'}(y) = \max_{L=1}^m \left[x \in_{x \in U}^{SUP} \min(\mu_{A'}(x), \mu_{A'}(x_1), \dots, \mu_{A_n}^L(x_n), \mu_B^L(y)) \right] \quad (3)$$

در رابطه فوق $\max_{L=1}^m$ و $\sup_{x \in U}$ تعویض پذیر هستند.

اگر از فازی ساز منفرد استفاده شود محاسبات بسیار ساده خواهند شد یعنی:

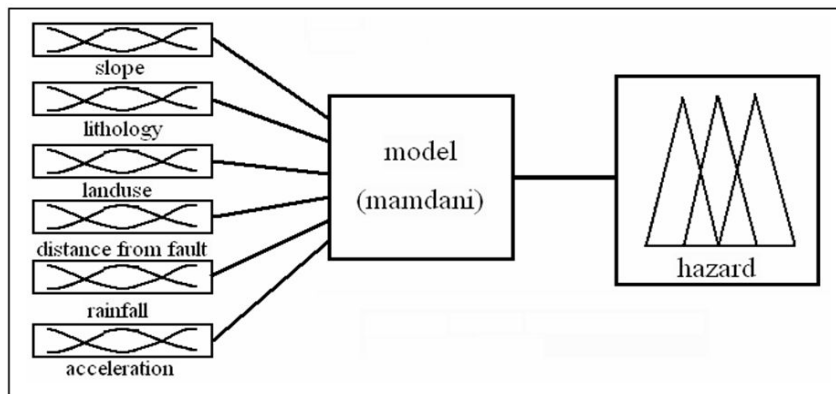
$$\mu_{A'(X)} = \begin{cases} 1, & x = x^* \\ 0 & \end{cases}$$

و موتور استنتاج حداقل ممدانی بصورت زیر استفاده شده است.

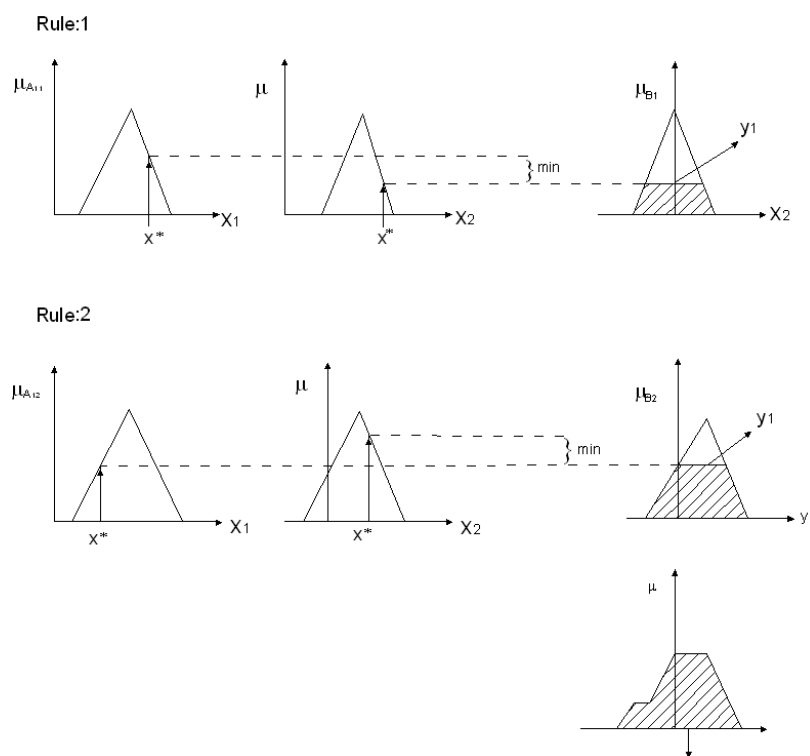
$$\mu_{B'(y)} = \max_{L=1}^m \left[\min(\mu_{A_1}^L(x_1^*), \dots, \mu_{A_n}^L(x_n^*), \mu_B^L(y)) \right] \quad (4)$$

فازی ساز و غیرفازی ساز

برای ساده کردن محاسبات از فازی ساز منفرد در این مدل استفاده شده است. غیرفازی ساز مورد استفاده در این مدل، غیرفازی ساز میانگین مراکز مجموعه‌های فازی خروجی می‌باشد. در این تحقیق از سیستم فازی با غیرفازی ساز میانگین با پایگاه قواعد اگر-آنگاه (رابطه ۱)، موتور استنتاج حداقل ممدانی به دلیل سادگی و کاربردی بودن و فازی ساز منفرد در پیش‌بینی خطر زمین لغزش استفاده شده است.



شکل ۳- نمایش داده‌های ورودی و خروجی مدل ممدانی برای شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۴- روش استنتاج Max- Min

۴- روش مطالعه

جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه رودبار و ارزیابی کارایی روش منطق فازی در تهیه این نقشه‌ها، مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی مطالعات قبلی صورت گرفت. سپس اطلاعات موجود شامل نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، کاربری فعلی از اراضی و پوشش گیاهی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، بارندگی، اطلاعات پایه زلزله با مقیاس‌های ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ تهیه گردیدند. نقشه‌های مذکور جهت استفاده در سیستم GIS رقومی شدند. از آمار بارندگی و زلزله، نقشه‌های همباران و شتاب زلزله تهیه شد. با استفاده از اطلاعات موجود و بررسی عکس‌های هوایی، نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها برای منطقه تهیه شد. تمام داده‌های مذکور در فرمت‌های برداری و سلولی در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی، Ilwis ذخیره گردیدند تا در تحلیل‌های مبتنی بر تئوری مجموعه‌های فازی مورد استفاده قرار گیرند. تحلیل‌های فازی با استفاده از نرم‌افزار Matlab انجام گرفت و سپس نتایج تحلیل‌ها به محیط نرم‌افزار Ilwis منتقل و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تهیه گردید. جهت بالا بردن کیفیت نقشه‌های پهنه‌بندی نقشه‌های حاصله در محیط Ilwis توسط نرم‌افزار Autocad نهایی گردیدند.

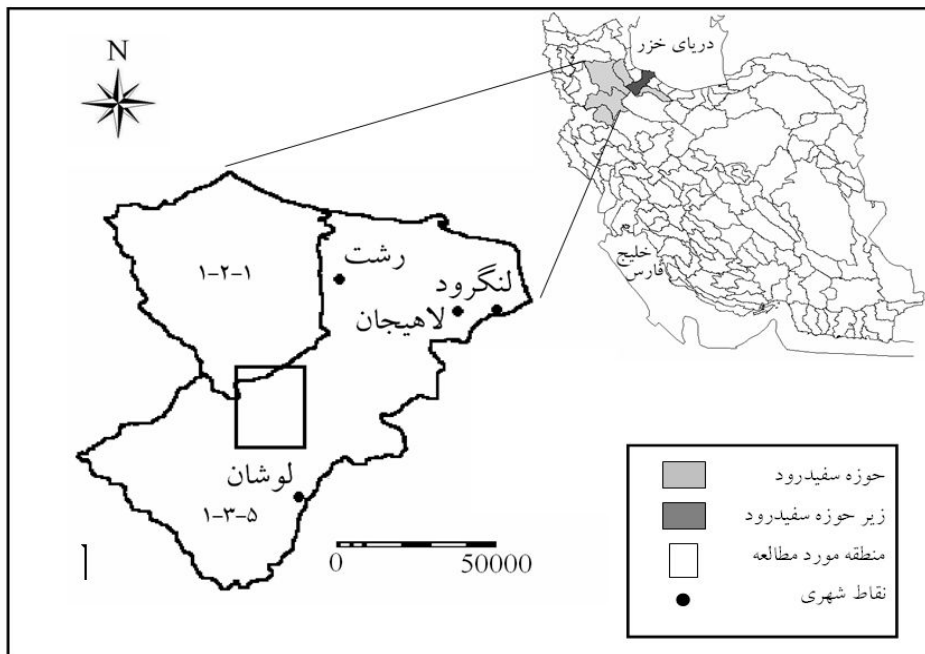
۵- موقعیت جغرافیایی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حد فاصل بین ۱۵-۴۹ تا ۳۰-۴۹ طول شرقی و ۳۶-۴۵ تا ۳۷ عرض شمالی واقع شده است. قسمت عمده محدوده مورد نظر در نیمه جنوبی استان گیلان و بخش کوچکی از آن در حاشیه شمال شرقی استان زنجان قرار گرفته است. مهمترین مرکز جمعیتی محدوده شهر رودبار است که در مسیر جاده قزوین- رشت واقع گردیده است. روستاهای زیادی با جمعیت کم در منطقه وجود دارند. شکل ۵ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را در نقشه تقسیمات حوزه‌های آبریز ایران که توسط مهندسین مشاور جاماب (۱۳۷۸) تهیه شده است را نشان می‌دهد.

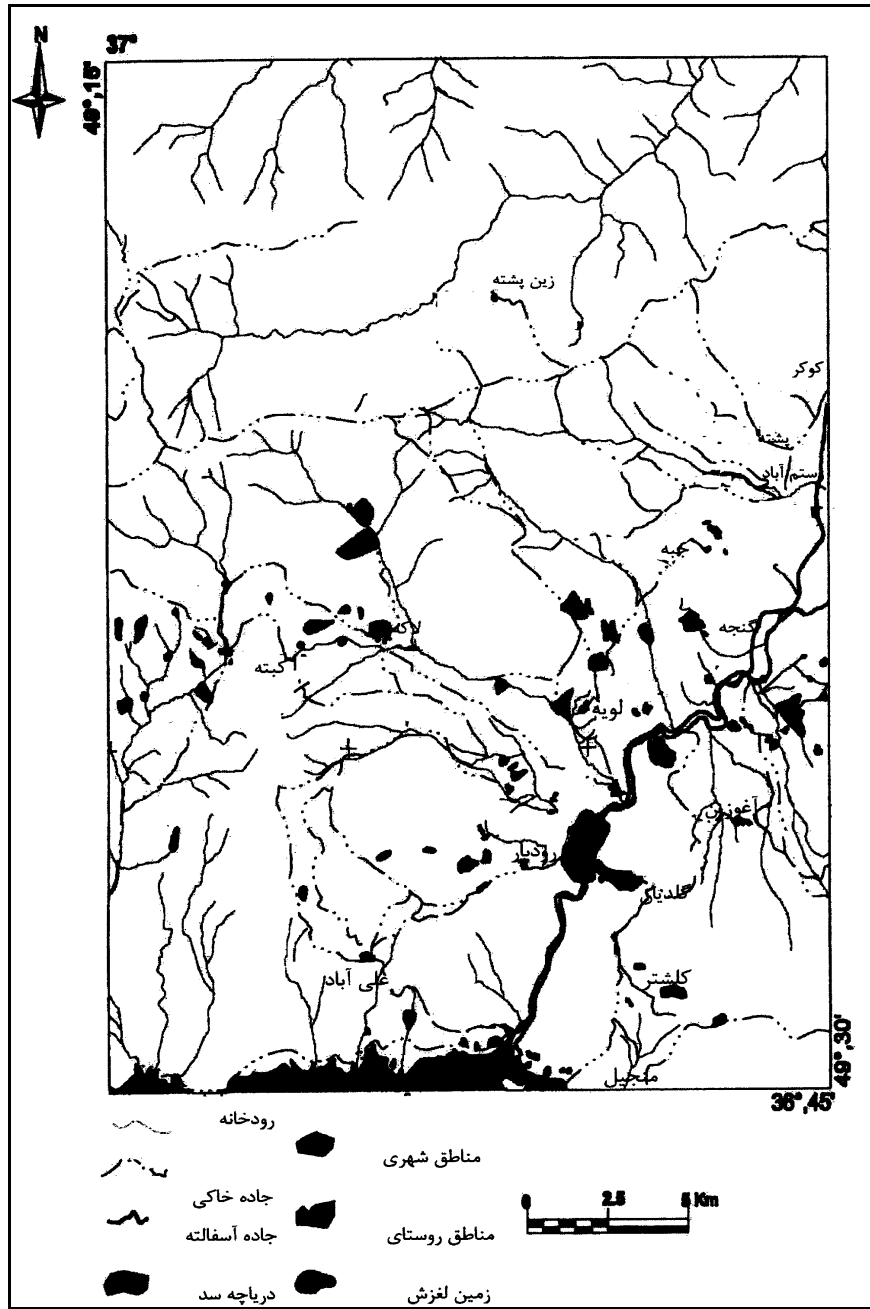
۶- پراکنش زمین لغزش در منطقه رودبار

نقشه پراکنش زمین لغزش در منطقه رودبار شامل کلیه زمین لغزش‌های خاکی و سنگی و ریزشی خفته و فعالی می‌باشد که با استفاده از عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و گزارش‌های موجود (نوگل سادات و همکاران، ۱۳۷۶؛ حافظی مقدس، ۱۳۷۲؛ لیاقت ۱۳۷۱؛ حائری و همکاران ۱۳۷۵؛ شریعت جعفری، ۱۳۷۳) تهیه گردیده است. در بعضی از قسمت‌های

منطقه (قسمت‌های شمالی) از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ قبل از سال ۳۶۹ استفاده شده است و در بقیه مناطق از عکس‌های بعد از زلزله ۶۹ استفاده گردیده است. شکل ۶ نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. تراکم زمین لغزش در کل منطقه برابر با ۱۴٪ می‌باشد.



شکل ۵- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۶- نقشه پراکنش زمین لغزش ها در گستره مورد مطالعه

۷- عوامل موثر در وقوع زمین لغزشها در منطقه رودبار

زمین شناسی

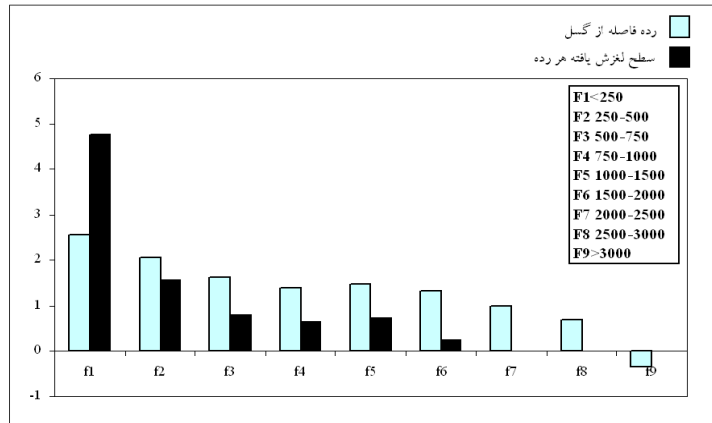
با توجه به تنوع ترکیب واحدهای زمین شناسی در منطقه و حساسیت متفاوت واحدهای سنگی به زمین لغزش، عامل لیتولوژی نقش موثری در پراکنش زمین لغزشها در منطقه دارند. جهت بررسی نقش لیتولوژی در وقوع لغزشها در منطقه، میزان لغزشهای صورت گرفته در هرواحد لیتولوژیکی مشخص گردید. برای این منظور از نقشه زمین شناسی تهیه شده توسط نظری و همکاران (۱۳۷۷) استفاده شد. نتایج بررسیها در جدول شماره ۱ آورده شده است. همانگونه که از جدول شماره ۱ ملاحظه می شود حداکثر میزان لغزش صورت گرفته در واحدهای زمین شناسی نزدیک به ۱۲٪ درصد سطحی منطقه می باشد. بررسیهای صورت گرفته نشان می دهد که به طور کلی سنگهای رسوبی شیلی- ماسه سنگی و آندزیت های پالئوژن دارای بیشترین درصد ناپایداری می باشند و واحدهای سنگی کرتاسه و ژوراسیک که عمدتاً از سنگهای آهکی تشکیل شده اند دارای درصد کمتری از لغزش هستند. با توجه به نقش واحدهای سنگ شناسی در ناپایداری شیبها، این واحدها جهت تحلیل در پنج گروه طبقه بندی شدند (اشقلی فراهانی، ۱۳۸۰).

فاصله از گسل

از آنجا که تراکم سیستم درزه ها، شکستگی ها و خردشدگی ها نقش موثری در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه ها دارند و گسله ها می توانند خردشدگی را بوجود آورند، نقشه گسله های منطقه تهیه گردید و سپس مساحت رده های فاصله از گسل و سطح گسیخته شده هر رده مشخص گردید. شکل شماره ۷ نمایش ستونی مساحت زمین لغزشها در رده های فاصله از گسل را برای منطقه نشان می دهد. همانطور که در شکل مشاهده می شود با افزایش فاصله از گسل سطح گسیخته شده کاهش می یابد. با توجه به نقش فاصله از گسل در ناپایداری شیبها، جهت تحلیل این فواصل در سه گروه طبقه بندی شدند.

جدول شماره ۱- مساحت واحدهای زمین‌شناسی و میزان لغزش هر واحد

درصد لغزیده	سطح لغزیده Km ²	مساحت Km ²	علامت در نقشه	لیتولوژی
۱۱/۸۶	۰/۰۶	۰/۵۲	E3v	اندزیت میکرولیتیک تا پورفیریک
۱۱/۲۰	۰/۲۰	۱/۸۲	Qtr	رسوبات آب شیرین (تراورتن)
۶/۰۰	۰/۴۹	۸/۱۳	Jl2-3	سنگ آهک خاکستری روشن
۵/۱۷	۰/۸۳	۱۶/۰۹	Qc	زمین کشاورزی
۴/۱۴	۰/۵۹	۱۴/۴۱	Qt 1	رسوبات تخریبی اخیر
۳/۷۹	۰/۰۷	۱/۹۳	E3tb	ولکانیک‌های برشی اسیدی
۲/۴۵	۰/۵۷	۲۳/۲۵	TRjshssh	سنگهای اسلیتی و فیلیتی (شمشک)
۲/۳۴	۱/۶۸	۷۱/۸۹	E3tv	ولکانیک‌های بازیک تا حد واسط
۲/۳۲	۰/۴۲	۱۸/۳۷	Emote	سنگهای متاسوماتیک کمی دگرگون شده
۲/۰۹	۲/۴۱	۱۱۵/۴۴	E3tsh	ماسه سنگ سیلتی
۱/۴۸	۰/۳۸	۲۶/۰۳	E3t	اندزیت
۱/۲۹	۰/۱۵	۱۱/۶۹	Qt2	رسوبات تخریبی اخیر
۱/۱۴	۰/۱۷	۱۴/۶۰	K 1-1	سنگهای آهکی آلیتی
۱/۰۱	۰/۳۴	۲۴/۱۸	TRJlcs	کنگلومرای پلی میکتیک
۰/۴۱	۰/۰۳	۸/۳۰	Ng1	لایه‌های قرمز رنگ گچی
۰/۳۸	۰/۰۵	۱۲/۷۲	PLQc	آبرفت پلی ژنیک
۰/۲۲	۰/۱۹	۸۲/۷۵	TRJsl	رخساره‌های دگرگونی گرافیت‌دار
۰/۲۱	۰/۱۳	۶۳/۲۴	PL 2-3	سنگ آهکهای سازند رونه
۰/۰۶	۰/۰۲	۲۶/۷۰	Dv	سنگهای آتشفشانی بازیک
۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۳۷	Qal	آبرفت رودخانه‌ای
۰/۰۰	۰/۰۰	۱۸/۲۸	Eo-ssh	شیل قهوه‌ای و ماسه سنگ آرکوزی
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۲	Plc	کنگلومرای خوب دانه‌بندی شده پلی ژنیک و ماسه سنگ درشت دانه
۰/۰۰	۰/۰۰	۳/۹۷	K 1-2	سنگ آهک آواری
۰/۰۰	۰/۰۰	۳/۰۷	K1-c	سنگ آهک تخریبی قرمز رنگ
۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۸۰	K2pa-cs	کنگلومرای پسروده
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۲	G1	گرانیتونید
۰/۰۰	۰/۰۰	۹/۷۲	Ng2	سیلت آهکی
۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۰۹	Qf1	بادزن گراولی پیر
۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۴۶	Ng2m	سیلت آهکی ژیبس دار
۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۲۶	Qf2	بادزن گراولی جوان
۰/۰۰	۰/۰۰	۳/۲۰	Jmv	ولکانیکها و ساب ولکانیک‌های دگرگون شده
۰/۰۰	۰/۰۰	۳/۶۷	J3K1-1	سنگ آهک خاکستری
۰/۰۰	۰/۰۰	۷/۷۴	PsD	ماسه سنگ (سازند درود)
۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۵	K2sh	شیل‌های خاکستری
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۹	E-os	ماسه سنگ شیلی
۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۷۰	Pls	سنگ‌های تقسیم نشده پرمین



شکل ۷- نمایش ستونی مساحت زمین لغزشها در رده های فاصله از گسل برای منطقه رودبار

پوشش گیاهی و کاربری فعلی از اراضی

در بررسی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه از نقشه کاربری فعلی از اراضی و پوشش گیاهی منطقه که توسط وزارت کشاورزی (۱۳۷۲) تهیه گردیده استفاده شده است. همانطور که در جدول شماره ۲ مشاهده می شود مناطق متأثر از فعالیت های انسانی مثل باغات، زمین های مزروعی و زیتونکاری بیش از سایر مناطق دچار زمین لغزش شده اند. این موضوع تاثیر پوشش گیاهی و نوع استفاده از زمین را بر پایداری دامنه ها به خوبی نشان می دهد. چهارده کاربری فعلی اراضی جهت تحلیل در پنج گروه طبقه بندی شدند.

جدول شماره ۲: پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه (وزارت کشاورزی ۱۳۷۲)

پوشش گیاهی و کاربری اراضی	علامت در نقشه	مساحت Km ²	سطح لغزش یافته Km ²	درصد لغزش یافته
زمین زراعی آبی	I ₁	۲/۰۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
باغ	O	۲۲/۸۱	۰/۲۱۱	۰/۹۳
مخلوط زراعت و باغ	Io	۵/۴۷	۰/۲۷۸	۵/۱۱
زراعت دیم	DF	۸۷/۰۵	۲/۳۱۹	۲/۶۷
زیتون	OL	۷۱/۴۳	۱/۹۰۵	۲/۶۸
مرتع با تراکم زیاد	R ₁	۶۶/۷۰	۰/۷۳۲	۱/۱۰
مرتع با تراکم متوسط	R ₂	۵۱/۷۴	۰/۴۰۷	۰/۷۹
مخلوط مرتع و دیم	RD	۵۳/۰	۱/۲۱۴	۲/۳۰
جنگل خیلی متراکم	F ₁	۲۱۲/۰۹	۰/۹۸۱	۰/۴۶
جنگل با تراکم متوسط	F ₂	۳/۳۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
مخلوط جنگل و باغ	F ₀	۹/۴۰	۰/۲۷۰	۲/۸۸
زمین بایر	B	۵/۱۷	۰/۸۹	۱/۷۳
مسکونی	V	۱/۵۰	۰/۲۸۱	۱۸/۸۲
زمین زراعی	I ₂	۲۰/۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

شیب دامنه

بررسی‌های صورت گرفته در منطقه نشان می‌دهد که زمین لغزش‌های منطقه بیشتر در شیب‌های بین ۵ تا ۳۵ درجه به وقوع پیوسته‌اند. همچنین رده‌های شیب و سطح لغزش یافته رده‌های شیب دارای توزیع فراوانی تقریباً نرمال می‌باشند. نتایج بررسی‌ها در جدول ۳ ارائه شده است به طور کلی عامل شیب از عوامل تعیین کننده در شناسایی مناطق پرخطر لغزش در منطقه می‌باشد. در تحلیل، عامل شیب با توجه به تاثیر آن در ناپایداری دامنه‌ها در منطقه به پنج گروه طبقه‌بندی گردید.

جدول شماره ۳- رده‌های شیب در 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	۲/۰۳۴	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	۰/۶۳
S ₁₂	۵۵-۶۰	۰/۸۴	۰/۰۰۹	۱/۰۵
S ₁₃	> ۶۰	۰/۸۰	۰/۰۱۰	۱/۲۵

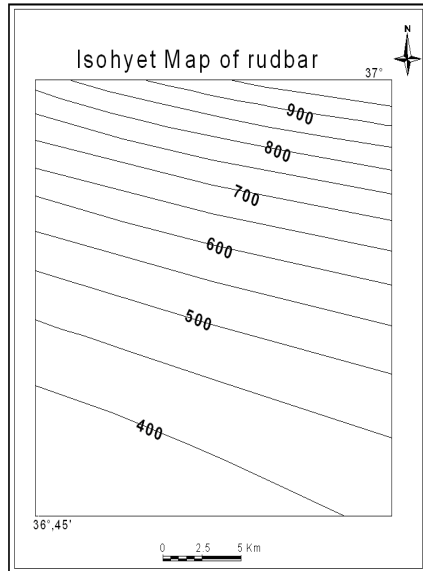
بارندگی

با توجه به اهمیت نقش بارندگی در وقوع زمین لغزشها از میانگین سالانه بارش در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه استفاده شده است. از آنجا که وضعیت بارش در کل منطقه مورد بررسی یکسان نمی‌باشد و رابطه ارتفاع و بارش در نیمه شمالی منطقه متفاوت از نیمه جنوبی آن است از دو رابطه زیر جهت برآورد میانگین بارش سالانه استفاده شده است.

(۱) برای بخش شمالی منطقه $P = ۱۵۹/۳۰ - ۰/۵۱۴ Z$

(۲) برای بخش جنوبی منطقه $P = ۳۶۲/۴ + ۰/۴۸ Z$

که در آن P میانگین بارش سالانه بر حسب میلی‌متر و Z ارتفاع بر حسب متر است. جهت تهیه نقشه همباران (شکل ۸) از میانگین بارش سالانه ۳۸ ایستگاه باران سنجی و باران سنج‌های ذخیره‌ای استفاده شده است. رده‌های بارندگی در جدول شماره ۳ جهت تحلیل در سه گروه طبقه‌بندی شدند.

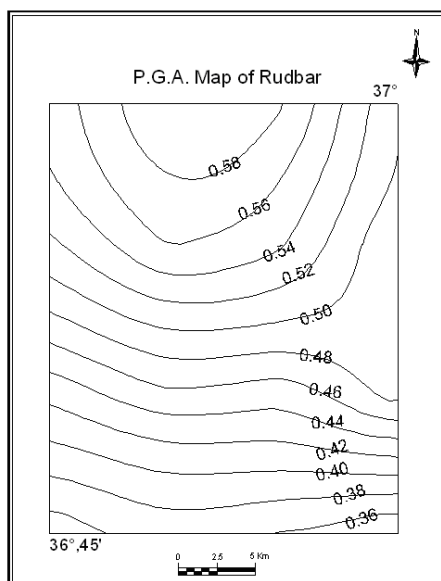


شکل ۸- نقشه همباران منطقه مورد مطالعه

شتاب زلزله

آمار داده‌های لرزه‌ای دستگاهی و تاریخی در منطقه نشان می‌دهند که این ناحیه از توان لرزه‌خیزی بالایی برخوردار است و در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای ایران (توکلی و همکاران، ۱۳۷۸) در پهنه‌های خطر بالا تا خیلی بالا قرار می‌گیرد.

براساس آمار داده‌های لرزه‌ای دستگاهی و استفاده از مدل چشمه‌های نقطه‌ای در روابط میرایی، خطوط حداکثر شتاب افقی برای منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. شکل ۹ نقشه حداکثر شتاب افقی حاصل از بزرگترین زلزله رویداده در منطقه را نشان می‌دهد (زلزله خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل - رودبار). بزرگای این زلزله بر حسب امواج درونی برابر با $7/3$ بزرگا توسط موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران ثبت شده است. نقشه حداکثر شتاب افقی منطقه در سه رده طبقه‌بندی و در تحلیل مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۹- نقشه بیشینه شتاب زلزله در منطقه مورد مطالعه

۸- استفاده از مدل ممدانی برای پیش‌بینی خطر زمین لغزش در منطقه رودبار

در پیش‌بینی خطر زمین لغزش در منطقه رودبار با این مدل از داده‌های حقیقی (مقادیر پیوسته و طبقه‌بندی نشده) در شش لایه اطلاعات استفاده شده است. به این ترتیب که برای ۷۲۴۵۳ واحد زمینی مقادیر عددی در قالب شش ستون به مدل داده شده است. دو پایگاه قواعد با دانش خیره ایجاد شده است. در یک پایگاه، قواعدی که شرایط مناسب برای رخداد زمین لغزش‌های خاکی و سنگی را فراهم کنند آورده شده است و در پایگاه دیگر شرایط لازم برای رخداد ریزشها و واژگونی‌های سنگی مورد نظر قرار گرفته است. نتایج حاصله از این مدل در جداول ۴ و ۵ آورده شده است.

به منظور تعیین میزان دقت مدل در پیش‌بینی مناطق پرخطر، Jade و همکاران، ۱۹۹۳، روابط ۵ و ۶ را پیشنهاد نموده‌اند:

$$P = \frac{K_s}{S} \left(1 - \frac{K - K_s}{n - s}\right)^{1/3} \quad (5)$$

$$P = \frac{K_s}{S} \quad (6)$$

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.

جدول شماره ۴- پهنه‌بندی زمین لغزش با مدل مینیمم ممدانی رودبار

ترکم زمین لغزش	سطح لغزش یافته Km ²	درصد مساحت	مساحت Km ²	شاخص رتبه‌بندی خطر	رده خطر
۰/۰۰۳۵	۰/۲۴۲	۱۱/۳۵	۶۹/۴۸	< ۰/۰۲۵	۱
۰/۰۰۲۸	۰/۰۳۱	۱/۸۳	۱۱/۲۱	۰/۰۲۵-۰/۰۵	۲
۰/۰۰۴۸	۰/۱۳۷	۴/۶۴	۲۸/۳۷	۰/۰۵-۰/۰۷۵	۳
۰/۰۰۴۲	۰/۱۶۴	۶/۳۸	۳۹/۰۵	۰/۰۷۵-۰/۱۰	۴
۰/۰۱۲۷	۲/۰۲۰	۲۶/۰۱	۱۵۹/۱۸	۰/۱۰-۰/۲۰	۵
۰/۰۱۲۵	۱/۹۶۰	۲۵/۵۵	۱۵۶/۳۷	۰/۲۰-۰/۳۰	۶
۰/۰۲۱۰	۱/۶۸۸	۱۳/۱۷	۸۰/۵۹	۰/۳۰-۰/۴۰	۷
۰/۰۲۴۶	۱/۴۵۲	۹/۶۳	۵۸/۹۴	۰/۴۰-۰/۵۰	۸
۰/۰۱۴۱	۰/۴۳۴	۰/۵۰	۳/۰۸	۰/۵۰-۰/۶۰	۹
۰/۰۰۹۶	۰/۰۵۵	۰/۹۴	۵/۷۳	> ۰/۶۰	۱۰

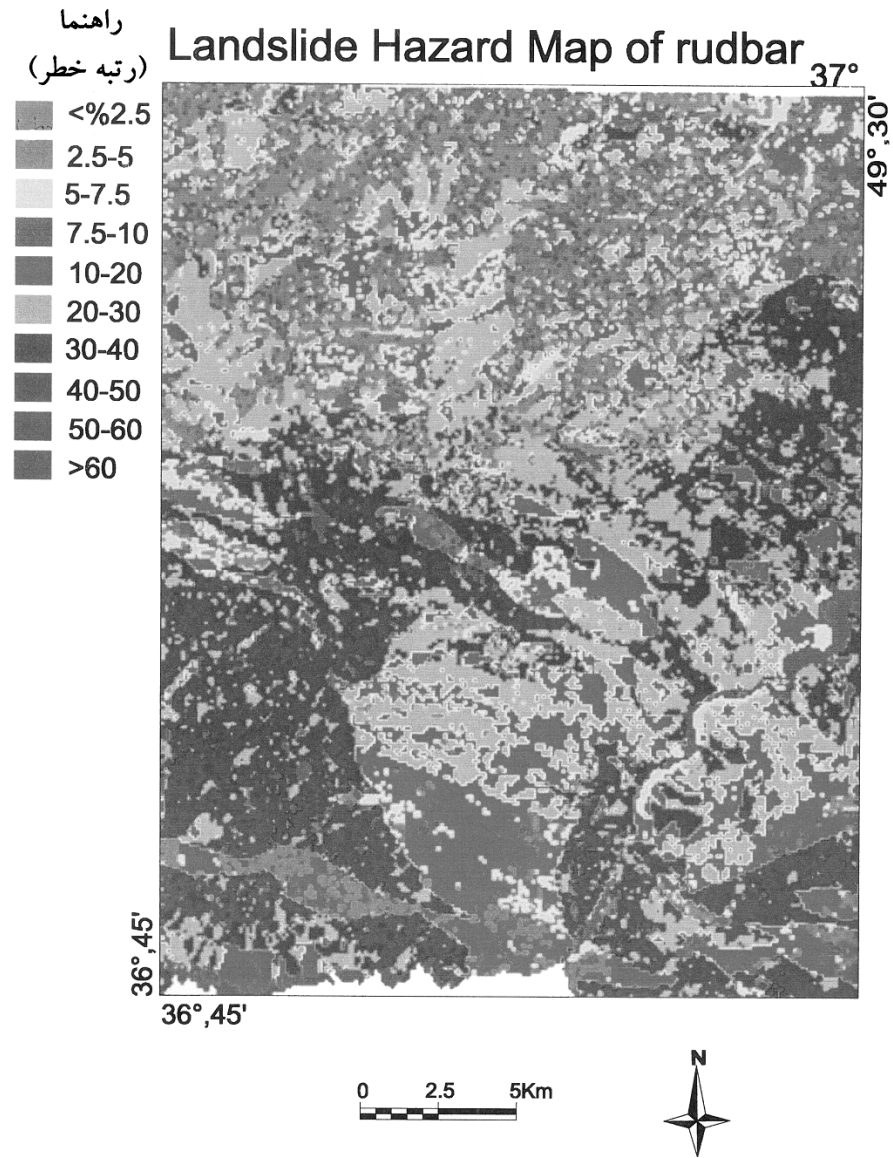
جدول ۵- پهنه‌بندی برای ریزشها و واژگونی‌های سنگی با مدل مینیمم ممدانی در منطقه رودبار

درصد مساحت	مساحت رده خطر Km ²	شاخص رتبه‌بندی خطر	رده خطر
۴۷/۸۴	۲۹۲/۷۸	< ۰/۱۰	۱
۱۰/۳۸	۶۳/۵۶	۰/۱۰-۰/۱۷	۲
۳/۸۲	۲۳/۳۴	۰/۱۷-۰/۲۵	۳
۸/۲۱	۵۰/۲۶	۰/۲۵-۰/۳۲	۴
۱۵/۰۳	۹۲/۰۳	۰/۳۳-۰/۴۰	۵
۱۰/۷۸	۶۵/۹۵	۰/۴۰-۰/۵۰	۶
۳/۹۳	۲۴/۰۸	> ۰/۵۰	۷

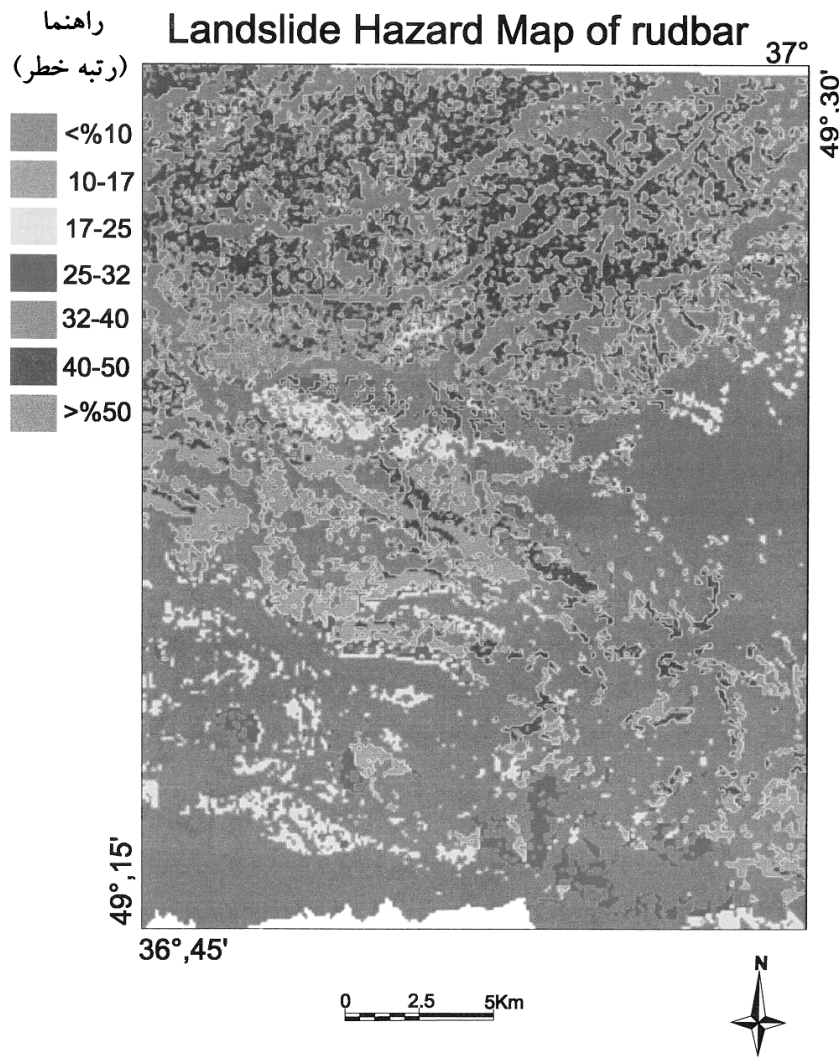
با توجه به جدول ۴ و روابط ۵ و ۶، میزان دقت مدل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ۴۴/۳۵ درصد از زمین‌لغزشها در رده‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰ قرار گرفته‌اند که سطحی برابر با ۲۴/۲۴ درصد از کل منطقه را پوشش می‌دهند و اگر رده ۶ را نیز به آنها اضافه کنیم ۶۸/۳۰ درصد از زمین‌لغزشها در سطحی برابر با ۴۹/۷۹ درصد از کل منطقه واقع می‌شوند که بیانگر کارایی خوب و مناسب مدل است. همچنین از نتایج آورده شده در جدول ۴ مشخص می‌شود که تراکم زمین‌لغزشها در رده‌های با خطر بالا، بسیار بیشتر از مقدار آن در رده‌های خطر پائین است. برای مثال تراکم زمین‌لغزش در رده هشتم خطر ۷ برابر تراکم آن در رده اول می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای زمین‌لغزش‌های خاکی و سنگی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همچنین شکل ۱۱ نشان دهنده پهنه‌بندی منطقه برای ریزشها و واژگونی‌های سنگی است.

۹- نتیجه‌گیری

مطالعات صورت گرفته در منطقه رودبار، نشان می‌دهد که تنوع لیتولوژی، شرایط آب و هوایی و مرفولوژی منطقه، از مهمترین عوامل مستعد کننده شرایط وقوع حرکات دامنه‌ای در این منطقه هستند و همچنین جایگاه زمین ساختی و لرزه‌خیزی منطقه از عوامل تشدید کننده این پدیده می‌باشند. وقوع بیش از ۶۰ زمین‌لغزش از انواع مختلف که بعضی دارای ابعاد بسیار بزرگ و با پیامدهای ویرانگر بوده‌اند نشان از پتانسیل بالای وقوع حرکات دامنه‌ای دارند. انتخاب مدل پهنه‌بندی با استفاده از سیستم‌های فازی جهت ارزیابی وضعیت ناپایداری شیب در منطقه با توجه به اینکه این سیستم‌ها از قوانین مبتنی بر دانش شخص خیره استفاده می‌کنند صورت گرفته است. نتایج به دست آمده از این مطالعات، و ارزیابی دقت مدل با استفاده از روش Jade و همکان نشان دهنده دقت بالای محاسبات در این مدل است و می‌توان از این مدل در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استان گیلان و مناطق همجوار که از ویژگی‌های مشابه برخوردار هستند استفاده کرد.



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از سیستم خبره فازی با داده‌های پیوسته درگستره مورد مطالعه



شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش‌ها و واژگونی‌های سنگی با استفاده از سیستم خبره فازی با داده‌های پیوسته در گستره مورد مطالعه

References

- Binaghi E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani, F., & Rampini, A., 1998, Slope instability zonation: A Comparison between certainty factor and Fuzzy Dempster- Shafer.

Ilwis Application Guide, 1997, Ilwis 2-1 for windows, ITC, Enschede, Nether Lands.

Jade S &, Sarkar, S, 1993, Statistical models for Slope instability classification, Engineering Geology, 36, pp. 91-98.

16- Zadeh L.A, 1965, Fuzzy Sets, information and Control, vol. 8, PP. 338-352.

Zadeh L.A, 1973, Outline of new approach to analysis of complex systems and decision processes, IEEE Trans. On systems man and cybernetic, SMC- 1, PP. 28-44.

اشقلى فراهانى، ع.، ۱۳۸۰، ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقه رودبار با اشتغال از تئوری فازی، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت معلم.

تشنه لب، م.، صفاپور، ن.، افیونی، د.، ۱۳۷۸، سیستم‌های فازی و کنترل فازی (ترجمه)، انتشارات دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی.

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

جاماب (۱۳۷۰)، طرح جامع آب کشور، حوزه‌های آبریز سفیدرود- مرداب انزلی، شرکت مهندسی مشاور جاماب وابسته به وزارت نیرو.

حافظی مقدس، ناصر، ۱۳۷۲، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در مناطق زلزله‌خیز (مطالعه موردی زمین لغزش‌های تحریک شده در زلزله خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل). پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

حائری، محسن و ستاری، م.ج. (۱۳۷۵)، زمین‌لغزه‌های ناشی از زلزله با نگرشی 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.

شریعت جعفری، محسن، ۱۳۷۳، بررسی و مطالعه تحلیلی و نوین زمین لغزش‌های بزرگ فعال شده در منطقه لاکه بر اثر زلزله خرداد ماه ۱۳۶۹ گیلان، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

صورتگر ابوالفضل، ۱۳۷۸، مدل‌سازی و شناسایی فازی و کاربرد آن در توربین گازی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

لیاقت، سیروس، ۱۳۷۱؛ مطالعه پایداری زمین لغزش‌های ناشی از زلزله ۳۱ خرداد، ۱۳۶۹ گیلان، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.

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

نوگل سادات، علی‌اکبر؛ فاطمی عقدا، سیدمحمود؛ نوری‌زاده، محمد ۱۳۷۷، نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش استان گیلان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، کمیته ملی کاهش اثرات بلایای طبیعی، وزارت کشور.

وزارت کشاورزی، ۱۳۷۲، نقشه کاربری و پوشش گیاهی اراضی منطقه رشت، معاونت طرح و برنامه، اداره کل آمار و اطلاعات.