روش جدید پهنه بندی مناطق شیبدار در برابر خطر لغزش زمین
با تکیه بر بررسی های پهنه بندی استان مازندران

نوشته : دکتر سید محسن حائری*
مهندس امیر حسین سمیعی**

A NEW METHOD FOR LANDSLIDE HAZARD MICROZONATION
BASED ON MICROZONATION STUDIES IN MAZANDARAN PROVINCE

By :Dr.S.M.Haeri* and A.H.Samiee**

Abstract

Landslide is a natural hazard which causes sever damages every year in mountainous area of the country including Alborz and Zagros.

Many factors involve in the process of landslide occurance. These factors may be named as lithology, climatology, hydrology, hydrogeology, tectonics and seismology. However, the human being has a main role in the process of landslide occurance by constructing roads and other facilities in mountainous area. The interaction of these factors may or may not end in a landslide of various dimensions.

In this paper the factors affecting the instability of slopes in Mazandaran Province are evaluated and eight of them which could be considerd in the working scale of this research. have been chosen. These factors are slope angle, lithology, fault, road, river, humidity or average rainfall, rainiall intensity and earthquake.

The effect of each factor on the instability of slopes have been classified according to the importance of that factor with respect to the slope instability. A section of the Mazandaran province was considered to examine the proposed method by checking if this method can predict the hazardous zones of landslides. The method then was calibrated according to the results of this examination.

The calibrated method then was used for the whole Mazandaran Province and landslide microzonation maps have been produced in four sheets of 1:250000 scale.

The method then was generalized and was proposed as a new method to be used by researchers, geotechnical engineers and engineering geologists for landslide hazard microzonation.

* Civil Engineering Dept., Sharif University of Technology
** Sakht Azma Consulting Engineer, Tehran.

* گروه ژئوتکنیک دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف
** مهندسین مشاور ساخت آزما

چکیده

پدیدهٔ جنبش دامنه‌ای یا لغزش زمین همانند پدیده‌های زمین‌لرزه، سیل و آتش‌فشان از بلایای طبیعی مهم بشمار می‌رود که هر سال رویداد آن در مناطق کوهستانی و مرتفع کشورمان بویژه در دو ناحیه البرز و زاگرس زیان‌های درخور ملاحظه‌ای را به‌بار می‌آورد.

عوامل گوناگونی از قبیل شرایط توپوگرافی، لیتولوژی، کلیماتولوژی، هیدرولوژی، زمین‌ساختی، لرزه‌ای و فعالیت‌های مختلف عمرانی انسان‌ها در ناپایداری دامنه‌های سنگی و خاکی مؤثر بوده و ممکن است به راه‌های مختلفی با تاثیر رویارو بر یکدیگر موجب تشدید ناپایداری گردند.

در این پژوهش ناپایداری دامنه‌های استان مازندران مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به مقیاس کار، بطور کلی هشت عامل زاویه شیب دامنه‌ها، لیتولوژی یا مصالح تشکیل دهندهٔ دامنه‌ها، عوامل ساختاری، ایجاد ترانشه راه، عمل آبشستگی پنجه دامنه‌ها توسط آبهای جاری، میزان بارندگی، شدت بارندگی و زمین‌لرزه به‌عنوان عوامل موثر در ناپایداری شیب‌ها در این استان معرّفی می‌شوند.

با توجه به مطالعات انجام شده، هر یک از عوامل بالا رده‌بندی و سپس مناطقی به‌عنوان الگو برای پهنه‌بندی برگزیده شدند. عوامل یاد شده به شیوه‌ای در این مناطق با یکدیگر ترکیب شدند که با شناخت آنها بتوان ناپایداری‌های زمین را تشخیص داده و رویدادها را پیش‌بینی نمود. این شیوه ترکیب به‌عنوان روش مناسب جدید در نظر گرفته شده و برای سایر مناطق استان مازندران مورد استفاده قرار گرفت. براین اساس سطح کّل استان مازندران از نظر خطر لغزش زمین پهنه‌بندی شده است. با بهره‌گیری از نتایج بدست آمده روش تدوین شده برای پهنه‌بندی خطر رانش در استان مازندران بصورت الگویی نوین برای سایر نقاط ایران و جهان پیشنهاد گردیده است.

۱ – پیشگفتار

هر ساله رویداد پدیدهٔ جنبش دامنه‌ای یا لغزش زمین در مناطق کوهستانی و مرتفع کشورمان، به‌ویژه در دو ناحیه البرز و زاگرس زیان‌های درخور ملاحظه‌ای را به‌بار می‌آورد. لغزش‌های بزرگ زمین براثر زلزله ۱۳۶۹ منجیل و زیان‌های ناشی از آن یکی از آشکارترین نمونه‌های این پدیده است (حائری و ستاری ۱۳۷۲).

به منظور پیشگیری از خطرهای ناشی از زمین‌لغزش و پهنه‌بندی میزان خطر جنبش‌های دامنه‌ای در سطح کشور، انجام بررسی‌های فراوانی مورد نیاز است. خطر ناپیداری دامنه‌ها در نقاط واقع بر راستای محورهای ارتباطی اصلی و فرعی و مناطق مسکونی کوهستانی از یک سو و طرح‌های توسعه کشاورزی، دامداری و صنعتی در این نواحی از سوی دیگر، کاربرد زمین و استفاده بهینه از مناطق شیبدار را ضروری نموده است. به‌همین لحاظ پهنه‌بندی استان مازندران از نظر خطر ناپایداری دامنه‌ها مد نظر قرار گرفت. در سال ۱۳۷۲ منطقه رودبار در وسعتی معادل ۱۰۰۰ کیلومترمربع توسط Haeri & Samiee (1994) پهنه‌بندی گردید. در منطقه یاد شده که شرایط همانندی با بخش اعظم استان مازندران دارد، از روش‌های گروه کاری ژاپن پیشنهاد شده به‌وسیله کمیته Tc-4 برای پهنه‌بندی استفاده شد. پس از به دقت درآوردن پارامترها و تطبیق آن با شرایط منطقه و لغزش‌هائی که در آن رویداده، به نامناسب بودن این روش‌ها در آن منطقه پی برده شد. حاصل بررسی‌ها بر این موضوع صحه نهاد که پهنه‌بندی هر منطقه بایستی متناسب و مطابق با شرایط خاص آن منطقه صورت گیرد و نمی‌توان روشی را بصورت قالبی کلی و قابل تعمیم به دیگر مناطق درآورد مگر این که مناطق دارای شرایط همانندی باشند. در نتیجه با استفاده از روش‌های یاد شده و بررسی‌های صحرائی انجام شده در منطقه رودبار روش جدیدی تدوین گردید (Haeri & Samiee 1994) که مبانی فکری آن در طرح پهنه‌بندی استان مازندران از دیدگاه لغزش زمین مورد استفاده قرار گرفت. این طرح در سه مرحله انجام گرفت.

مرحلهٔ اول طرح شامل گردآوری، تلفیق داده‌ها و جمع‌آوری بررسی‌های انجام شده بر منطقه، بررسی صحرائی محورهای اصلی و مهم نواحی مسکونی در استان، تهیه شناسنامه لغزش‌های قدیمی و جوان که تا کنون شناسایی شده و یا طی کارهای صحرائی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و گزینش نواحی الگو برای ارزیابی روش‌های متداول پهنه‌بندی لغزش زمین بوده است. در این راستا ابتدا با مراجعه به مراکز ذیربط مدارک بررسی‌هائی که بر روی لغزش‌های قدیمی و جوان منطقه انجام گرفته، جمع‌آوری و تدوین گردید و سپس افزون بر بازدیدهای متعددی که از محورهای اصلی و مهم و نواحی اسکان جمعیت به‌عمل آمد، بسیاری از محورهای درجه ۲ و ۳ نیز مورد بررسی قرار گرفت.

به موازات شناسائی و بررسی جنبش‌های دامنه‌ای در سطح استان طی بررسی‌های صحرائی، سازندهای مختلف منطقه، ساختارهای

زمین‌شناسی، پدیده‌های ژئومورفولوژی و هیدرولوژی و عوامل مؤثر در ناپایداری دامنه‌ها، برای استفاده در پهنه‌بندی استان از لحاظ میزان خطر ناپایداری دامنه‌ها مطالعه و بررسی گردید. سپس براساس پارامترهایی نظیر گوناگونی چینه‌شناسی و ساختار زمین‌شناسی، وجود محورهای اصلی و مهم ارتباطی نظیر هراز و چالوس و نیز شرایط هیدرولوژیکی و کلیماتولوژیکی، منطقه به‌عنوان الگو جهت پهنه‌بندی انتخاب گردید.

نتایج بررسی‌های انجام شده در مرحلهٔ اول طرح بوسیله حائری و همکاران (۱۳۷۴الف) ارائه گردیده است.

طی اجراء مرحله دوم این پژوهش، کلیه عوامل مؤثر در ناپایداری دامنه‌های استان مازندران مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بطور کلی می‌توان ... ناپایدار شدن دامنه‌ها را به دو دسته عوامل ذاتی و محیطی تقسیم نمود. عوامل ذاتی شامل ترکیب، بافت و ساخت مصالح تشکیل دهنده و شکل هندسی دامنه می‌باشند. و از مهمترین عوامل محیطی می‌توان به کندن ترانشه و خاکبرداری، بارگذاری، افت سریع آب، تکتونیک و ایزوستازی، بارندگی و یخبندان، هوازدگی، لرزش‌ها و نکان‌های ناشی از زلزله اشاره نمود.

با توجه به مقیاس طرح، بطور کلی هشت عامل زاویه شیب دامنه‌ها، لیتولوژی یا جنس مصالح تشکیل دهنده دامنه‌ها، عوامل ساختاری، وجود ترانشه راه، وقوع آبشستگی پنجه دامنه‌ها توسط آبهای جاری، میزان بارندگی، شدت بارندگی و زلزله به‌عنوان عوامل مؤثر در ناپایداری شیبها در استان مازندران در نظر گرفته شد. ضمن این بررسی‌ها، هر کدام از عوامل متناسباً به تعدادی رده از نظر میزان تأثیر در خطر نسبی زمین‌لغزه تقسیم‌بندی شد. شیوه این تقسیم‌بندی‌ها به‌صورت کامل بوسیلهٔ حائری و همکاران (۱۳۷۴ب) ارائه گردیده است.

در مرحلهٔ سوم کار عوامل مؤثر برناپایداری بصورت انفرادی و بصورت ترکیبی با استفاده از روشهای مختلف در منطقه الگو پیاده شده و با توجه با مناطق بررسی شده لغزشی، کالیبره گردیده و سرانجام روشی دو برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بدست آمد که در کل استان مازندران مورد استفاده قرار گرفت و نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شد.

۲- عوامل مؤثر بر ناپایداری دامنه‌ها و رده‌بندی هر یک از عوامل

۲-۱- لیتولوژی

به‌منظور ارزیابی و رده‌بندی عامل لیتولوژی در منطقه مورد بررسی، بازدیدهای متعددی از منطقه بعمل آمد. طی این بازدیدها، رفتار مصالح در مقابل عوامل لغزش مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس ابتدا توزیع و رفتار مهندسی مهمترین سازندها، واحدهای سنگ چینه‌ای و رسوبات استان بدون در نظر گرفتن ترتیب و ردیف چینه‌شناسی و زمانی بررسی گردید. در این بررسی‌ها ویژگی‌های مهندسی سنگهائی که از اهمیت قابل ملاحظه‌ای در هر سازند برخوردار بودند مورد دقت قرار گرفته و از تکرار ارائه این ویژگی‌ها در سازندهای دیگر خودداری شد. به عنوان مثال دولومیت و آهک در سازند لار و شیل در سازند شمشک مورد بررسی قرار گرفت. سپس براساس رفتار مکانیکی سنگ یکپارچه و توده سنگ و شیوه جایگیری طبقات سنگی و خاکی مختلف تشکیل دهنده دامنه‌های با ویژگی‌های مهندسی متفاوت، کلیه مصالح منطقه از لحاظ ایستادگی در برابر عوامل لغزش به ده رده طبقه‌بندی شدند. در این رده‌بندی مقاوم‌ترین مصالح در رده ۱ و ضعیف‌ترین آن در رده ۱۰ جای می‌گیرد. نتیجه این بررسی‌ها به‌وسیله حائری و همکاران (۱۳۷۴ب) ارائه و چکیده این بررسی‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

از آنجا که در باب چگونگی رفتار دامنه‌ها در مقابل برهم زننده تعادل، ویژگی‌های رفتاری یک لایه سنگی و یا خاکی به تنهائی تعیین کننده نیست بلکه ویژگی‌های مجموعه لایه‌های سنگی و خاکی مختلف با مقاومتهای متفاوت که در کنار یکدیگر قرار گرفته و یک واحد سنگ چینه‌ای و یا رسوبی را تشکیل داده‌اند تعیین کننده می‌باشد. واحدهای سنگ‌چینه‌ای و یا رسوبی سازندهای مختلف که دارای ویژگی‌های رفتاری مشترک می‌باشند نیز در یک رده قرار گرفته‌اند.

۲-۲- زاویه شیب

زاویه شیب از عوامل اصلی آمادگی گسیختن دامنه‌ها بشمار می‌رود و به دو صورت طبیعی و مصنوعی تغییر می‌نماید. عوامل اصلی موثر در افزایش زاویه شیب دامنه‌ها عبارتند از:

الف- برخاستگی و فرونشست زمین به‌سبب فعالیت‌های تکتونیکی

ب - فرسایش

ج- خاکریزی، خاکبرداری و ایجاد ترانشه جهت احداث راه و تاسیسات

افزایش زاویه شیب وضعیت تعادل مواد سازنده دامنه را بر هم زده و موجب بالا رفتن تنش‌های برشی در مواد دامنه می‌شود.

در تحلیل و ارزیابی عامل زاویه شیب در استان مازندران از نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده شد و منطقه مورد مطالعه از لحاظ زاویه شیب دامنه‌ها، به شش رده طبقه‌بندی شد و تعداد و درصد لغزش‌های- قدیمی و جوان در هر رده شیب مشخص گردید (جدول ۲).

طبقه	توصیف سنگ‌ها
I	سنگ آهک توده‌ای- سنگ آهک ضخیم لایه- دولومیت توده‌ای- سنگ آهک دولومیتی ضخیم‌لایه- ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ کوارتزیتی ضخیم لایه با سیمان سیلیسی و درزه‌های کم- کنگلومرا با سیمان سیلیسی- مرمریت توده‌ای-مرمر ضخیم با درزه‌های کم- کوارتزیت
II	سنگ آهک با لایه‌بندی متوسط- ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متوسط و سیمان آهکی- سنگ آهک دولومیتی با لایه‌بندی متوسط- سنگ آهک ماسه‌ای با لایه‌بندی متوسط- دولومیت - کوارتزیت- سنگ‌های آذرین
III	سنگ آهک مارنی با لایه‌بندی متوسط- سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی نازک لایه- ماسه‌سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متوسط
IV	بازالت و آندزیت با درزه‌های انقباضی و هوازده- ماسه‌سنگ نازک لایه تا متوسط لایه دارای درزه- توف آهکی- ماسه‌سنگ و کنگلومرا با سیمان ضعیف- سنگ آهک ماسه‌ای نازک لایه با درزه- شیست و سنگهای دگرگونی درزه‌دار و لایه‌بندی شده- سنگ‌های آذرین بیرونی با ایستادگی متوسط
V	توف آندزیتی- توف آهکی هوازده- شیل آهکی
VI	مارن ذغال‌دار- شیل آهکی هوازده- متناوب شیل و ماسه‌سنگ، متناوب شیل و لای سنگ- مارن گچ‌دار
VII	مارن- توف‌هوازده- گل سنگ- ماسه‌سنگ توفی تکتونیزه و هوازده- ذغال- شیل
VIII	شیل و مارن هوازده
IX	آبرفت‌های قدیمی مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های قدیمی- رسوبات پرکننده دره‌ها مشتمل بر مارن و گچ
X	آبرفت‌های جوان مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های جوان- خاک‌های ترجا- خاک‌های حاصل فرسایش سنگ بستر که بر اثر نیروی ثقل و عوامل جوی از ارتفاعات بر روی شیب حمل شده و برروی هم انباشته شده‌اند.
	تهشته‌های سیلابی و یخچالی- مصالح لغزشی رانش‌های قدیمی.

جدول ۱- رده بندی سنگها از نظر ایستادگی در برابر لغزش

طبقه	زاویه شیب (درجه)	مساحت هر رده Km^2	درصد نسبت مساحت هر رده نسبت به مساحت کل	شمار جنبشهای دامنه‌ای	درصد جنبشهای دامنه‌ای نسبت به کل جنبشهای دامنه‌ای	تراکم جنبش‌های دامنه‌ای در هر کیلومتر مربع
I	<۵	۱۷۷۱۲	۳۸/۶	۰	۰	۰
II	۶-۱۵	۸۵۲۵	۱۸/۵	۲۸	۱۵/۲	۰/۰۰۳
III	۱۶-۲۵	۱۱۳۱۸	۲۴/۶	۷۰	۳۸	۰/۰۰۶
IV	۲۶-۳۵	۷۰۶۳	۱۵/۴	۵۷	۳۱	۰/۰۰۸
V	۳۶-۴۵	۱۲۱۰	۲/۷	۱۱	۵/۹۷	۰/۰۰۹
VI	>۴۵	۴۰	۰/۰۸	۱۸	۹/۷۸	۰/۴۵

جدول ۲- رده‌های شیب، وسعت اشغال شده توسط رده‌های شیب و شمار جنبش‌های دامنه‌ای در هر رده شیب

درصد مساحت اشغال شده توسط هر رده شیب و درصد سطح گسیخته شده هر رده بصورت نمودار در شکل ۱ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۲ و شکل ۱ بیشترین شمار راندش‌های استان در شیبی بین ۱۶ تا ۲۵ درجه بوقوع پیوسته که ۳۸ درصد کل لغزش‌های استان را در بر می‌گیرد و در رده مربوط به شیب کمتر از ۵ درجه، که ۳۸/۶ درصد وسعت استان را در بر گرفته و دارای بیشترین مساحت اشغال شده در بین رده‌های مختلف شیب می‌باشد پتاسیل لغزش صفر بوده است. باید متذکر گردید که در این بررسی‌ها لغزش‌های جریانی ناشی از روانگرائی خاکها در نظر گرفته نشده است و بایستی در آن مورد بررسی‌هائی ویژه صورت پذیرد. همچنین ۰/۰۸ درصد وسعت استان دارای شیبی بیش از ۴۵ درجه است که کمترین مساحت اشغال شده در بین شش رده شیب می‌باشد.

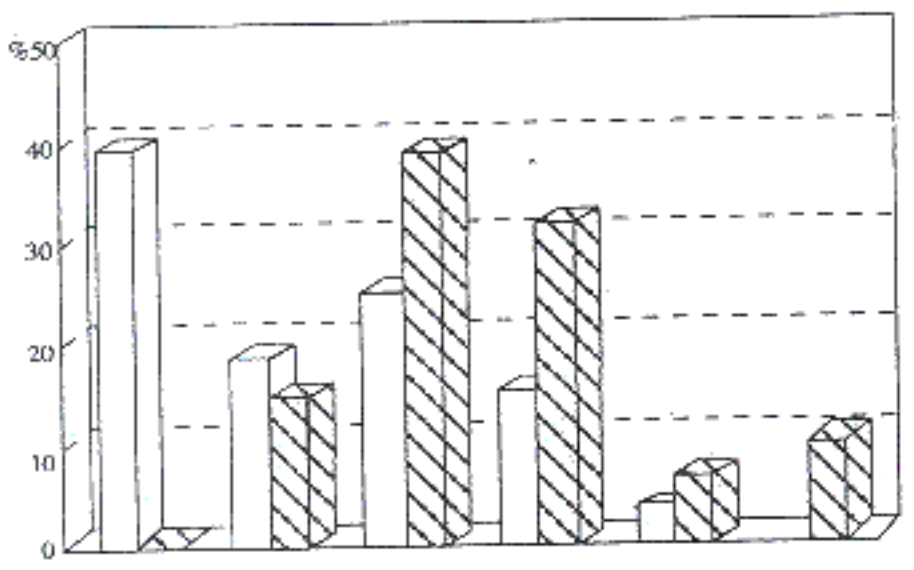
چگونگی توزیع جهت جنبش دامنه‌های گسیخته شده در سطح استان، از نظر آماری نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه این بررسی‌ها بصورت نمودار در شکل ۲ نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل پیداست جهت حرکت لغزش‌ها بیشتر به سمت شمال (در محدوده N05E و N05W)، جنوب (در محدوده S05E تا S05W) و خاور (در محدوده N85E تا S85E) می‌باشد.

صرفنظر از رده شیب کمتر از ۵ درجه، رده شیب بین ۱۶ تا ۲۵ درجه بیشترین مساحت را در بین رده‌های شیب به خود اختصاص داده و بیشترین شمار لغزش نیز در این رده شیب رویداده است. با توجه به نمودار ۱ و ستون آخر جدول ۲ چنین نتیجه می‌شود که:

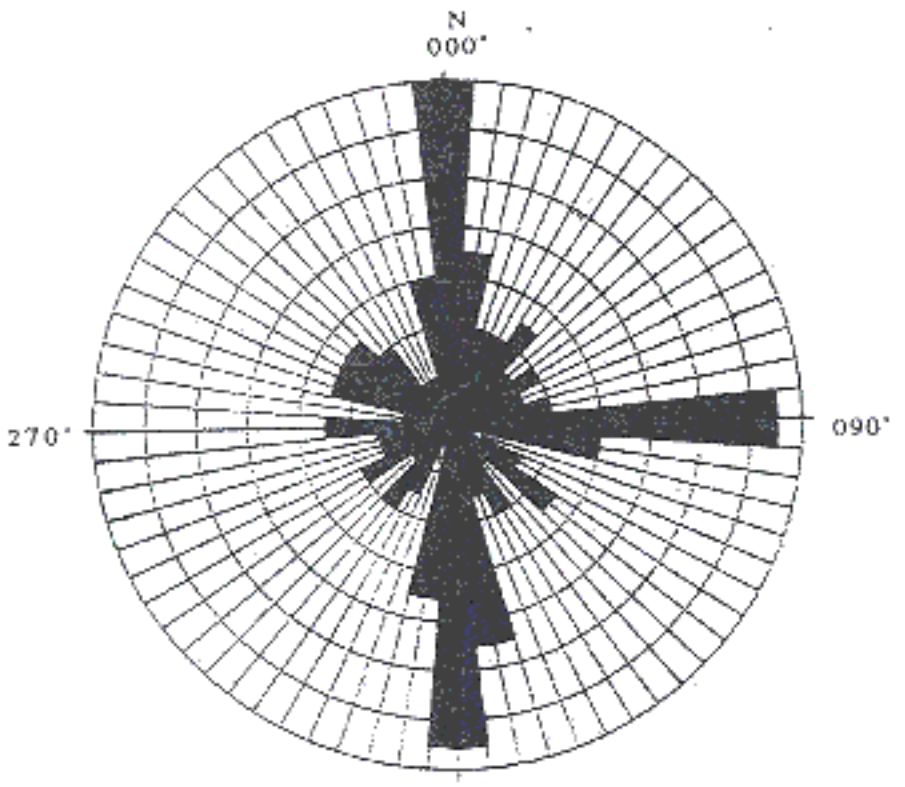
نخست- پخش لغزش‌ها با پخش وسعتهای اشغال شده توسط رده‌های شیب بیشتر از ۵ درجه تقریباً رابطه مستقیم دارد.

دوم- تراکم جنبش‌های دامنه‌ای در هر کیلومتر مربع، با افزایش زاویه شیب روندی افزاینده دارد.

بر پایه ارزیابی و بررسی‌های یاد شده، چگونگی تاثیر زاویه شیب در افزایش آمادگی ناپایداری دامنه‌های استان مطابق جدول ۳ ارائه شده است.



شکل ۱- نمودار آماری وسعت شیب‌ها و شمار لغزش‌های موجود در استان مازندران



شکل ۲- نمودار چگونگی پخش جهت لغزش‌های استان مازندران

اندازهٔ زاویه شیب (درجه)	<۵	۶-۱۵	۱۶-۲۵	۲۶-۳۵	۳۶-۴۵	>۴۵
تاثیر در ناپایداری دامنه‌ها	بدون تاثیر	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
ضریب P_I [1]	۰	۱	۲	۳	۴	۵

[1] Inclination Potential =

جدول ۳- شیوه تاثیر زاویه شیب در افزایش ناپایداری دامنه‌های استان مازندران

۲-۳- عوامل ساختاری و طول گسل

ساختارهای زمین‌شناسی شامل لایه‌بندی، ردیف چینه‌شناسی، تغییرات عمده در سنگ‌شناسی و سطوح ردهبندی، درزه‌ها، گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها عوامل ایجاد ناهماهنگی و ناپیوستگی در توده‌های سنگی و خاکی بوده و یکی از عوامل مهم و موثر در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌های می‌باشد. از این‌رو با توجه به لغزش‌های گذشته عوامل ساختاری مهم در ناپایداری دامنه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

گستره مورد بررسی همانند سایر نقاط ایران زیر تاثیر زمین‌ساخت (تکتونیک) فشاری بین دو صفحه عربستان در جنوب باختری و توران در شمال خاوری می‌باشد که آثار گسلش و جابجا شدن در توده‌های سنگی به فراوانی مشاهده می‌شود. اغلب گسل‌ها از نوع فشاری و راندگی بوده و به موازات روند ساختاری عمومی البرز کشیده شده‌اند.

درصد قابل ملاحظه‌ای از لغزش بر نزدیکی گسل‌ها روی داده‌اند که حاکی از اهمیت این ساختار زمین‌شناسی در افزایش ناپایداری دامنه‌ها می‌باشد. تاثیر گسل‌ها در ناپایداری دامنه‌ها را می‌توان به چند عامل زیر نسبت داد.

۱- رویداد زمین‌لرزه‌های دیرینه در راستای گسله‌های کاری که در نزدیکی آنها زلزله دارای شدت و شتاب بالائی بوده است.

۲- تأثیر گسل‌ها در خردشدگی سنگ‌های پیرامون بویژه آنکه گسل‌ها بیشتر از نوع فشاری بوده و پهنه خرد شده وسیعی دارند. در دامنه‌های تند شیب و پرتگاه‌ها این خردشدگی‌ها باعث پیدایش پدیده‌های سنگ ریزش و واژگونی و در دامنه‌های با شیب متوسط سبب لغزش‌های چرخشی سنگی گردیده است.

۳- نفوذ آب بیشتر در درون این مناطق خرد شده که باعث بالا رفتن سطح آب زیر زمینی و فشار آب منفذی می‌شود. این مسئله به خوبی با وجود چشمه‌های متعدد و نهز تراکم پوشش گیاهی متفاوت در راستای گسل‌ها مشخص می‌گردد.

۴- قرار گرفتن سنگ‌های با نفوذ پذیری و مقاومت متفاوت در کنار یکدیگر در اثر گسلش.

۵- سطوح گسلی خود می‌توانند در صورت داشتن جهت مناسب نسبت به شیب دامنه تشکیل سطوح لغزش دهند.

میزان و شدت تاثیر گسلش در خرد کردن سنگها یکسان نبوده و بستگی به نوع گسلش (واژگون، راندگی، نرمال، راستالغز)، بزرگی گسل‌ها و میزان جابجا شدگی آنها، نوع مواد سازنده (سنگهای با رفتار شکننده یا سنگهای شکل‌پذیر) دامنه دارد. بررسی دقیق این مسئله نیاز به بررسی‌هائی گسترده دارد که از حوصله این نوشتار خارج است.

مجموعاً می‌توان بیان داشت که عامل گسل به‌عنوان یکی از عوامل افزایش ناپایداری دامنه‌ها بشمار می‌رود و شاید به‌توان اذعان داشت که این عامل در رویداد حدود ۲۵ درصد زمین‌لغزه‌های استان مازندران موثر بوده است. از نمونه‌های آشکار این لغزش‌ها می‌توان لغزش‌های گلندورد، آلاشت، وانا، شاهندشت، قلاین، دوآب، دیوکلان و وری را نام برد.

با توجه به مقیاس طرح و نیز اهمیت چند جانبه اشاره شده، گسل‌ها در ناپایداری دامنه‌ها، در این بررسی‌ها، تنها درازای گسل‌های موجود در واحدهای شبکه‌ای به‌عنوان فاکتور مؤثر در ناپایداری در نظر گرفته و ردهبندی شده‌اند. در نظر گرفتن سایر عوامل ساختاری مستلزم کار در مقیاس بزرگتر می‌باشد. شیوه تقسیم‌بندی تأثیر طول گسلش در ناپایداری دامنه‌ها در جدول ۴ آورده شده است.

با توجه به این که تأثیر گسل‌های اصلی و فرعی بر خرد کردن سنگهای ناحیه و میزان لغزندگی زمین متفاوت می‌باشد در پهنه‌بندی استان مازندران از لحاظ خطر زمین‌لغزه، ضریب‌های متفاوتی برای گسل‌های اصلی و فرعی در نظر گرفته شد.

۲-۴- عامل راه و رودخانه

۲-۴-۱- عامل رودخانه

آبهای جاری یکی از عوامل افزایش آمادگی لغزش در دامنه‌ها بشمار می‌رود. بر اثر جریان آب رودها، حفر و فرسایش در دره‌ها صورت می‌گیرد

طول گسل (متر)	<۳۵۰	۳۵۰-۱۰۵۰	۱۰۵۰-۱۷۵۰	۱۷۵۰-۲۴۵۰	>۲۴۵۰
چگونگی تاثیر در ناپایداری	کم	نسبتاً کم	متوسط	نسبتاً زیاد	زیاد
ضریب P ≠ [1]	۱	۲	۳	٤	۵

(1) Fault Potential =

جدول ۴- شیوه تاثیرطول گسل در افزایش ناپایداری دامنه‌ها در یک واحد شبکه بابعاد ۲/۵ کیلومتر

که نخست باعث شسته شدن و حمل مواد پای شیبها در دره‌ها شده و عامل نگهدارنده را از پای دامنه‌ها بر می‌دارد و دوم موجب افزایش زاویه شیب دامنه‌ها می‌گردد. رودخانه در مسیر خود دره‌هایی حفر می‌کند که معمولاً شکل آن به جنس زمین نیز بستگی دارد. بطور کلی میزان حفر بستر رودخانه به عوامل ذیل بستگی دارد:

۱- دبی رودخانه- با افزایش دبی رودخانه توان ویرانگری و فرسایش آن بیشتر می‌شود.

۲- شیب زمین- هر چه شیب زمین بیشتر باشد توان فرسایشی رودخانه شدیدتر می‌گردد.

۳- نوع سنگ بستر- قدرت تخریب و حفر رودخانه، در سنگ بستر نرم بیشتر از سنگ بستر سخت می‌باشد.

۴- تکتونیک و ایزوستازی- برخاستگی هر پهنه باعث می‌شود که سطح اساس رودخانه نسبت به حالت تعادل نخستین خود پائین‌تر رفته و حفر بیشتری در ارتفاعات صورت گیرد.

براثر تغییر فشار آب در دو کنار رودخانه پیچاب یا مئاندر ایجاد می‌شود. در این حال فشار در قسمت کوژ آن بیش از قسمت کاو آن است. در قسمت کوژ رودخانه سراشیبی نسبتاً تندی ایجاد می‌شود در حالی که در قسمت کاو آن رسوبات آبرفتی گذاشته می‌شود و به این ترتیب دو طرف رودخانه دو وضع کاملاً متفاوت پیدا می‌کند. این فرآیند اگر در دشت بوقوع بپیوندد به دلیل شیب بسیار کم زمین از دیدگاه بررسی لغزش‌ها چندان اهمیتی ندارد. اما در صورتی‌که شیب زمین تند بوده و مسیر جریان آب دارای پیچ و خم باشد در قسمت کوژ باعث حفر و فرسایش زمین شده و عامل نگهدارنده را از پای شیب بر می‌دارد. در این حالت آمادگی لغزش در دامنه‌ها افزایش می‌یابد.

بطور کلی پهنه مورد بررسی در اواخر کواترنر نوسان‌هایی شدیدی داشته و ارتفاع قله‌های آن بتدریج افزایش یافته است. در همین حال رودخانه متناسب با هر مرحله برخاستن قله بستر خود را بیشتر حفر کرده است. اثر مراحل مختلف حفر، به‌صورت یادگانه‌هائی در کنار رودخانه‌ها باقیمانده است.

بررسی آماری زمین لغزش‌های منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد که از پای تعداد ۳۵ دامنه که دچار گسیختگی شده‌اند رودخانه عبور می‌نماید. کنش آبشستگی پای دامنه‌ها توسط رودخانه‌های منطقه و بویژه در محل مئاندر آنها موجب برداشت عامل نگهدارنده و استعداد گسیختگی در حدود ۲۰ درصد لغزش‌ها در سطح استان گردیده است. با توجه به مقیاس طرح، امکان در نظر گرفتن بود و نبود مئاندر و کوژ و کاو آن در پهنه‌بندی میسر نمی‌باشد. از این رو طول رودخانه در واحد مربع شکل شبکه به‌عنوان عاملی در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌ها منظور گردید.

۲-۴-۲- عامل راه

احداث راه در مناطق کوهستانی معمولاً از شرایط ریخت‌شناسی و توپوگرافی منطقه تبعیت می‌نماید. مناسب‌ترین مسیرهای پیش‌بینی شده برای راهسازی بیشتر در خط‌القعر و بر امتداد رودخانه‌ها در نظر گرفته و در این مسیر به‌طور معمول جاده در ترازی حدود چند متر بالاتر از رودخانه ساخته می‌شود. در فواصلی در طول این مسیرها برای احداث جاده، و کوتاهتر شدن فاصله و تعریض جاده، عملیات کوهبری، احداث ترانشه، تونل و پل اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین در قطعاتی از مسیر که اقدام به کوهبری و احداث ترانشه می‌گردد عامل نگهدارنده از پای دامنه‌های برداشته شده و وضعیت تعادلی تنش در شیب‌های مشرف به جاده به هم می‌خورد و در نتیجه استعداد انواع جنبش‌های دامنه‌ای از لغزش، سنگ ریزش و سنگ لغزش و واژگونی سنگ افزایش می‌یابد. در طول فواصلی از راههای درجه یک کوهستانی، برای تثبیت دامنه‌ها پس از احداث ترانشه و کوهبری اقدام به احداث دیوار حائل می‌گردد که این امر مستلزم صرف هزینه است. با احداث دیوارهای نگهدارنده (گابیون)، زهکش و غیره، پتانسیل ناپایداری در بسیاری موارد کاهش یافته است و در برخی موارد هم بدلیل طرح و اجرائی نادرست چندان موثر واقع نشده است.

در محورهای درجه ۲ و ۳ که معمولاً راه ارتباطی بین شهرهای کوچک، دهستان‌ها و روستاها بوده و از اهمیت کمتری برخوردار هستند پس از حفر ترانشه و کوهبری، به دلیل هزینه سنگین، بندرت اقدام به احداث دیوار حائل یا روش‌های دیگر پایدار نمودن شیب‌ها می‌شود. به منظور افزایش ضریب ایمنی شیب‌های مشرف به راهها، تعیین نقاط ناپایدار، ارائه روش‌های تثبیت آن و کاهش هزینه‌های راهسازی و نگهداری آن، مطالعات زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی مسیرهای پیش‌بینی شده ضروری می‌باشد.

طی بازدیدهای صحرایی از محورهای استان، راههای اصلی و فرعی مورد بررسی قرار گرفت حائری و همکاران(۱۳۷۴ الف). نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که احداث ترانشه راه، از جمله عواملی بوده که در رخدادن حدود ۲۵ درصد زمین‌لغزه استان نقش مهمی در افزایش استعداد گسیختگی دامنه‌ها داشته است. وقوع انواع حرکات دامنه‌ای براثر احداث ترانشه راه در طول محورهای اصلی هراز، فیروزکوه- ساری- گیاسر، بلده، آزادشهر و شاهرود مؤید این موضوع می‌باشد. همچنین در امتداد

محورهای فرعی استان براثر احداث ترانشه و کوهبری، لغزش‌هائی حادث گردیده است. بدلیل مقیاس طرح، نمی‌توان بخش‌هائی از راه را که ترانشه زده شده در رابطه پهنه‌بندی دخالت داد. در نتیجه طول راه در هر ناحیه به‌عنوان عامل در افزایش استعداد ناپایداری منظور گردیده است.

بطور کلی ساز و کار تاثیر عوامل رودخانه و راه در ناپایداری دامنه‌ها همانند یکدیگر بوده و به همین دلیل میزان تاثیر هر دو عامل در یک ناحیه بطور یکجا در نظر گرفته می‌شود. میزان تاثیر عوامل رودخانه و راه در افزایش گسیختگی دامنه‌ها در هر ناحیه به پنج کلاس رده‌بندی شده در جدول ۵ آمده است.

طول رودخانه و راه در هر واحد شبکه (متر)	<۷۰۰	۷۰۰-۲۱۰۰	۲۱۰۱-۳۵۰۰	۳۵۰۱-۴۹۰۰	>۴۹۰۰
میزان تاثیر در ناپایداری	کم	نسبتاً کم	متوسط	نسبتاً زیاد	زیاد
ضریب P_R [1]	۱	۲	۳	٤	۵

[1] River and Road Potential =

جدول ۵- ضریب اثر طول رودخانه و راه در ناپایداری دامنه‌ها در هر واحد شبکه به ابعاد ۲/۵ کیلومتر

۲-۵- عامل بارندگی

در مناطق پر بارش جهان، بارندگی یکی از عوامل اصلی زمین‌لغزه به‌شمار می‌رود. میزان تأثیر بارندگی در ناپایداری دامنه‌ها به شرایط اقلیمی منطقه، توپوگرافی، ساختارهای زمین‌شناسی و نفوذی پذیری مواد سازنده دامنه بستگی دارد. پارامترهای مختلف مربوط به ریزش‌های جوی شامل شدت ریزش، مدت ریزش، ارتفاع ریزش در هر ریزش جوی و جمع ریزش‌های ماهیانه و سالیانه و حداکثر و حداقل آنها، میانگین و انحراف معیار آنها از عواملی هستند که تأثیر آنها در ناپایداری دامنه‌ها، مورد مطالعه و دقت نظر قرار دارد.

بطور کلی بارندگی بر روی شیب به سه جزء جریان سطحی، تبخیر و نفوذ تقسیم می‌شود. در دامنه‌هائی که از موادی با نفوذ پذیری بالا تشکیل شده‌اند جریان سطحی کمتر مؤثر بوده و نفوذ در افزایش استعداد لغزندگی مؤثرتر است. نفوذ آب باران به درون خلل و فرج توده‌های خاکی و ناپیوستگی‌های توده سنگی ممکن است:

الف- موجب کاهش سیمان شدگی و ضریب چسبندگی مصالح گردد.

ب- باعث بالا آمدن سطح آب زیرزمینی یا افزایش فشار آب حفره‌ای و در نتیجه کاهش تنش مؤثر بین دانه‌های خاک شود.

ج- موجب افزایش وزن مواد سازنده دامنه شده و در نتیجه تنش برشی افزایش یابد.

د- در دمای پائین‌تر از صفر درز و شکاف سنگهای سازنده دامنه‌ها یخ زده و فشارهای جانبی به درزه‌ها و ترکها وارد آورد که به‌عنوان عاملی در افزایش تنش‌ها و خرد شدن و هوازدگی سنگها بحساب آید.

ه- نفوذ آب باران به درون گسل‌ها باعث ازدیاد فشار هیدرواستاتیکی در درون آنها شود.

افزون بر تأثیری که نفوذ آب باران در افزایش ناپایداری دامنه‌ها دارد، بارندگی باعث پر آب شدن رودها شده و توان ویرانگری و فرسایش آنها را افزایش می‌دهد. همچنین در صورتی که آب باران با گاز CO_2 ترکیب شود اسید کربنیک بوجود می‌آید که باعث انحلال سنگهای کربناته شده و حفره‌هایی را در این گونه سنگها بوجود می‌آورد که در کاهش مقاومت دامنه‌ها مؤثر است.

با توجه به مواردی که در بالا به آنها اشاره شد تأثیر عامل بارندگی در رویداد زمین‌لغزه‌ها در منطقه مورد بررسی به دو ضریب زیر خلاصه

شده و مورد استفاده قرار گرفته است:

الف– میزان بارندگی به عنوان عاملی در افزایش استعداد و لغزش در دامنه‌ها

ب – شدت بارندگی به‌عنوان عامل ایجاد لغزش‌ها

۲-۵-۱- ارزیابی شیوه تأثیر میزان و شدت بارندگی در ناپایداری دامنه‌های استان مازندران

حوضه آبریز کرانه دریای مازندران زیر تأثیر دو سیستم باران‌زا می‌باشد. سیستم اول در جهت عمومی باختر به خاور باعث بارندگی‌ها در فلات ایران است و خاستگاه رطوبتی آن اقیانوس اطلس، دریای مدیترانه می‌باشد. سیستم دوم در جهت جنوب باختر به شمال می‌باشد که خاستگاه رطوبتی آن دریای سرخ و سودان می‌باشد.

نقشه همباران حوزه آبریز ساحلی که براساس میانگین ریزش‌های جوی ماهانه و سالانه ایستگاههای منطقه مورد مطالعه تهیه و در گزارش حائری و همکاران (۱۳۷۴ب) آورده شده است.

به‌منظور ارزیابی چگونگی تاثیر مقدار بارندگی در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌های استان مازندران آمار بارندگی ۱۷ سال (۱۹۸۷-۱۹۷۱) مربوط به ۶۲ ایستگاه در سراسر استان جمع‌آوری و مراحلی به‌شرح زیر انجام شد:

الف– میانگین بارندگی ماهانه ایستگاههای یاد شده محاسبه گردید.

ب– با توجه به شرایط عمومی بارندگی استان مازندران و شرایط اقلیمی ایران جدول رده‌بندی اندازه میانگین بارندگی ماهانه تهیه شد (جدول ۶).

ج– با استفاده از نتایج جدول ۶ اندازه انباشتی ۶۲ ایستگاه منطقه محاسبه گردید. چگونگی تأثیر اندازه‌های انباشتن میانگین بارندگیهای ماهانه و ناپایداری دامنه‌ها در جدول ۷ آمده است.

د– با توجه به اندازه‌های مندرج در جدول ۷ و ضریب P_H میزان تاثیر رطوبت در ناپایداری دامنه‌ها برای کلیه ایستگاههای یاد شده بدست آمد.

۲-۵-۲- شدت بارندگی به‌عنوان عاملی در ایجاد جنبشهای دامنه‌ای در منطقه مورد بررسی

درباره شیوه تأثیر شدت بارندگی در وقوع گسیختگی دامنه‌های استان مازندران، آمار بارندگی روزانه ۳۵ ایستگاه حوضه آبریز کرانه‌ای گردآوری و تجزیه و تحلیل شد. ایستگاههای بالا از دیدگاه آمار به دو گروه تقسیم گردیدند:

الف– ایستگاههائی که دارای آمار ۱۰ سال و یا بیشتر از آن می‌باشند.

ب– ایستگاههائی که آمار کمتر از ۱۰ سال دارند.

به منظور بدست آوردن میزان حداکثر ریزش‌های جوی ایستگاههای گروه الف، دوره بازگشت های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله ایستگاههای یاد شده محاسبه گردید که در آن از توزیع‌های آماری حدّی گامبل، پیرسون تیپ III و پیرسون لگاریتمی تیپ III استفاده گردید و بهترین توزیع برای هر سری آمار براساس روش تغییرات انتخاب گردیده و در برازش از نظریهٔ ویبول (Weinbull) بهره گرفته شده است.

برای بدست آوردن حداکثر ریزش جوی ایستگاههای گروه ب، از میانگین بارندگی این ایستگاهها استفاده شد، سپس با توجه به جدول ۸ ضریب تاثیر شدت بارندگی ایستگاههای استان مازندران در ایجاد ناپایداری دامنه‌ها بدست آمد.

۲-۶- عامل زمین‌لرزه

بطور کلی عامل زمین‌لرزه تأثیر بسزائی در ناپایداری دامنه‌ها دارد. در زمینه این پیوند با زمین‌لرزه منجیل نگاه کنید به حائری و ستاری (۱۳۷۲).

به‌منظور بررسی تاثیر پارامتر زلزله در پهنه‌بندی لغزش زمین در منطقه مورد مطالعه از نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله به مقیاس ۱:۱۰۰۰،۰۰۰، تهیه شده توسط طرح کالبدی ملی ایران استفاده گردید که در آن کشور ایران به شش پهنه با خطر نسبی پائین، و نسبتاً پائین، متوسط، نسبتاً بالا و بسیار بالا تقسیم شده است (طرح کالبدی ملی کشور ۱۳۷۴). با استفاده از نقشه یاد شده، نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در محدوده استان مازندران تهیه گردید. براساس این نقشه منطقه مورد بررسی به چهار پهنه با خطر نسبتاً پائین، متوسط، نسبتاً بالا و بالا تفکیک شد. جدول ۹ چگونگی تاثیر خطر زلزله در ناپایداری دامنه‌ها را نشان می‌دهد.

۳- پهنه‌بندی خطر نسبی لغزش لایه‌های زمین

۳-۱- مراحل پهنه‌بندی

جهت پهنه‌بندی استان مازندران در برابر لغزش روشی مناسب با شرایط طبیعی و عوامل مصنوعی در این استان با توجه به مراحل زیر تدوین و مورد استفاده قرار گرفت:

میانگین بارندگی ماهانه (میلی‌متر در ماه)	۰-۴۹	۵۰-۹۹	۱۰۰-۱۴۹	۱۵۰-۱۹۹	۲۰۰<
ضریب بارندگی ماهانه	۰	۰/۵	۱	۱/۵	۲

جدول ۶- ردەبندی ضریب میانگین بارندگی ماهانه

ضریب تجمعی میانگین بارندگی ماهانه	۰-۳	۳/۵-۶	۶/۵-۹	۹/۵-۱۲	۱۲<
تأثیر در ناپایداری	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
ضریب P_{pi} [1]	۱	۲	۳	٤	۵

[1] Humidity Potential =

جدول ۷- چگونگی تاثیر میزان‌های انباشتی میانگین بارندگی ماهانه بر ناپایداری دامنه‌ها

بیشینهٔ بارندگی N> ۱۰ - دورهٔ بازگشت صد ساله	بیشینهٔ بارندگی N< ۱۰ - میانگین	چگونگی تاثیر بر ناپایداری دامنه‌ها	ضریب T_p [1]
<۶۰mm	<۳۰mm	خیلی کم	۱
۶۱-۱۲۰	۳۰-۵۵	کم	۲
۱۲۱-۱۸۰	۵۶-۸۰	متوسط	۳
۱۸۱-۲٤۰	۸۱-۱۰۵	زیاد	٤
>۲٤۰	>۱۰۵	خیلی زیاد	۵

[1] Precipitation Triggering Potential =

جدول ۸- تاثیر شدت بارندگی بر ایجاد رانش زمین

خطر نسبی هر پهنه	ضریب T_E [1]
خطر نسبی پائین	۱
خطر نسبی نسبتاً پائین	۲
خطر نسبی متوسط	۳
خطر نسبی نسبتاً بالا	۴
خطر نسبی بالا	۵
خطر نسبی بسیار بالا	۶

[1] Earthquake Triggering Factor =

جدول ۹- چگونگی تاثیر خطر نسبی زمین‌لرزه در ایجاد رانش

۱- طی بررسیهای صحرائی گسترده از محورهای ارتباطی اصلی و فرعی و مناطق اسکان جمعیت در منطقه مورد مطالعه، تعداد ۲۱۶ زمین‌لغزه قدیمی و جوان و عوامل رویداد آنها شناسائی شد و شناسنامه‌ای مشتمل بررسی‌های فیلی و زمین‌لغزه‌های بررسی شده بر آنها ارائه گردید (حائری و همکاران ۱۳۷۴ الف). نتایج این مرحله از کار به‌عنوان شناخت عوامل مؤثر در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌های منطقه و کالیبره کردن روش پهنه‌بندی آن مورد استفاده قرار گرفت.

۲- با توجه به شرایط خاص منطقه، عوامل مؤثر در ناپایداری دامنه‌ها شامل لیتولوژی، شیب دامنه‌ها، راه و رودخانه، گسل، میزان و شدت بارندگی و زلزله بررسی گردید. هر یک از این عوامل با توجه به درجه

خطر نسبی خود تأثیر متفاوتی بر روی ناپایداری دامنه‌ها اعمال می‌نمایند. به همین لحاظ هر یک از عوامل به رده‌های مختلف طبقه‌بندی شدند تا با ترکیب مناسب آنها با یکدیگر بتوان به نتایج صحیح دست یافت. عامل لیتولوژی به ده رده، عامل زمین‌لرزه به شش رده و بقیه عوامل به پنج رده طبقه‌بندی شدند. در رابطه با عامل زمین‌لرزه تنها چهار از شش پهنه با درجات خطر نسبی مختلف در استان مازندران وجود دارد و پهنه‌های با خطر نسبی بسیار پائین و بسیار بالا از نظر لرزه‌خیزی در این استان وجود ندارد. حاصل این ارزیابی‌ها به اختصار در قسمتهای قبلی مقاله و بطور مفصل در حائری و همکاران (۱۳۷۴الف وب، ۱۳۷۵) آورده شده است.

۳- منطقه مورد مطالعه به واحدهای مربع شکل به ابعاد ۲/۵×۲/۵ کیلومتر و با مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰ شبکه‌بندی گردید و با استفاده از جدول‌های طبقه‌بندی یاد شده، رده هر یک از عوامل در هر واحد تعیین گردید.

۴- با توجه به درجه تاثیر هر عامل در ناپایداری دامنه‌ها، ضرائب مناسبی برای آن عامل در ناپایداری شیب در نظر گرفته شد.

۵- به منظور دست یافتن به بهترین ضرایب، عوامل ناپایداری دامنه‌ها در منطقه آمل و ساری در دو حالت استاتیکی و دینامیکی در ضریبهای مختلفی ضرب گردیده و نتایج کار با لغزش‌های قدیمی و جوان، کوچک و بزرگ این مناطق کالیبره گردید تا مناسبترین ضرایب بدست آید. در حالت استاتیکی عوامل لیتولوژی، شیب، راه و رودخانه، گسل، میزان بارندگی و شدت بارندگی در نظر گرفته شده و در حالت دینامیکی عامل شدت زمین‌لرزه به آن اضافه گردید.

۳-۲- روش پیشنهادی جهت پهنه‌بندی

با توجه به عوامل مؤثر در ناپایداری، شرایط مورد بررسی و مراحل یاد شده، می‌توان رابطه کلی زیر را برای مناطق مختلف ایران و دنیا پیشنهاد نمود:

$$H_{Ls} = (C_L P_L)(C_I P_I)(C_F P_F)(C_R P_R)(C_H P_H)(C_P T_P + C_E T_E) \quad (۱)$$

H_{Ls} میزان خطر ناپایداری دامنه‌ها

P_L استعداد عامل لیتولوژی

P_I استعداد عامل زاویه شیب

P_F استعداد عامل گسل

P_R استعداد عامل راه رودخانه

P_H استعداد عامل میزان بارندگی و رطوبت منطقه

T_P تاثیر عامل شدت بارندگی

T_E استعداد عامل زمین‌لرزه

ضرائب c بیانگر اهمیت هر یک از عوامل در مجموعه پارامترهای مؤثر بر ناپایداری می‌باشد. مقادیر بدست آمده برای استان مازندران با توجه به مطالعات انجام شده بر روی مناطق الگو در جدول ۱۰ آمده است.

ضریب	C_L	C_I	C_F	C_R	C_H	C_P	C_E
مقدار	۰/۷۵	۱	۰/۳۳	۰/۷۵	۱	۱	۲

جدول ۱۰- مقادیر مربوط به ضرایب نسبی (C) در استان مازندران

در اعمال ضریب c در هر یک از عوامل هفتگانه مؤثر در ناپایداری دامنه‌ها، موارد زیر در نظر گرفته شده است:

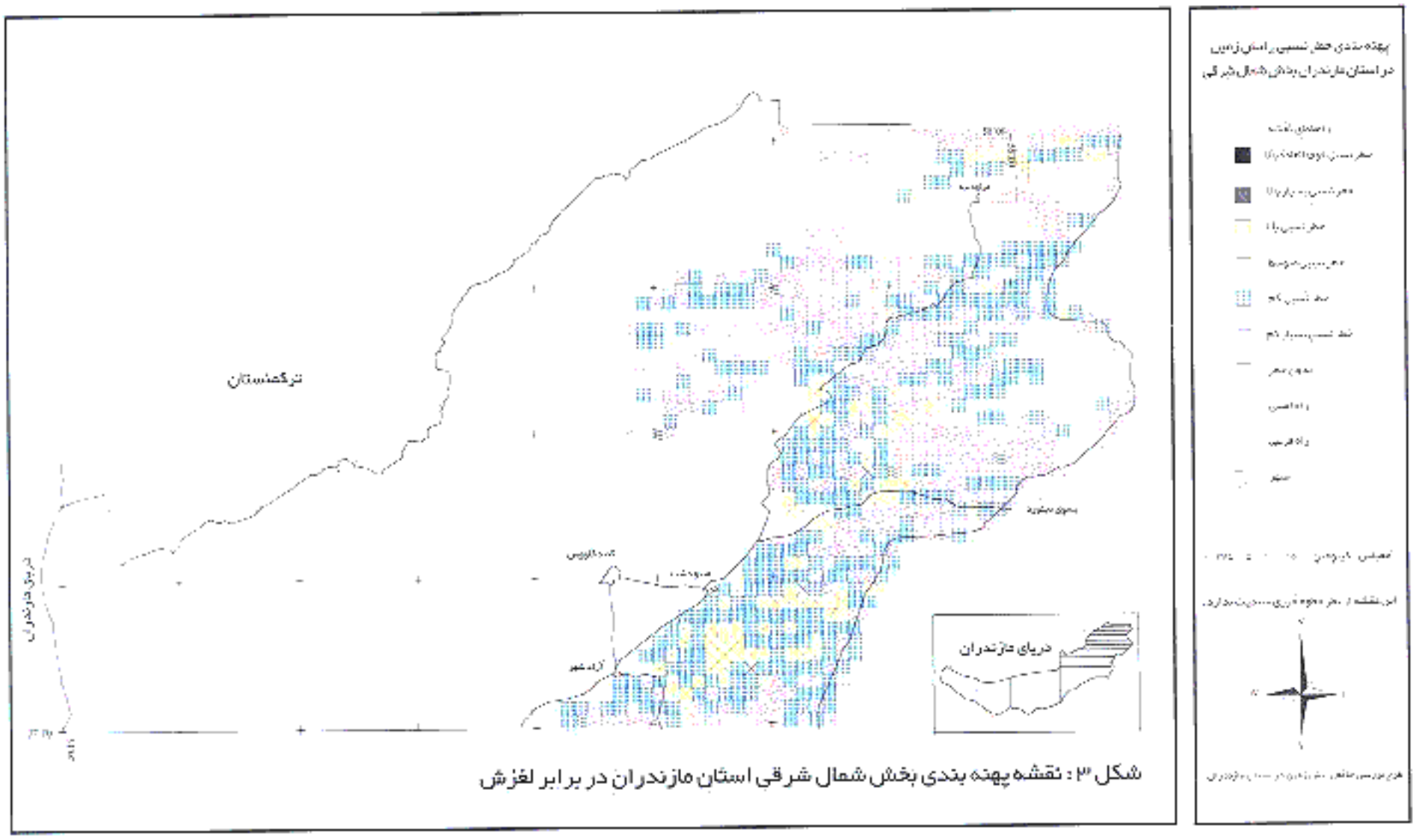
۱- مقدار ضریب لیتولوژی (C_L) در هر یک از رده‌های دهگانه تعیین شده در هر واحد شبکه به کار رفته است.

۲- مقدار ضریب مربوط به زاویه شیب (C_I)، گسل (C_F)، راه و رودخانه (C_R)، میزان رطوبت (C_H)، و شدت بارندگی (C_P) در هر یک از رده‌های پنجگانه تعیین شده در هر واحد به‌کار رفته است.

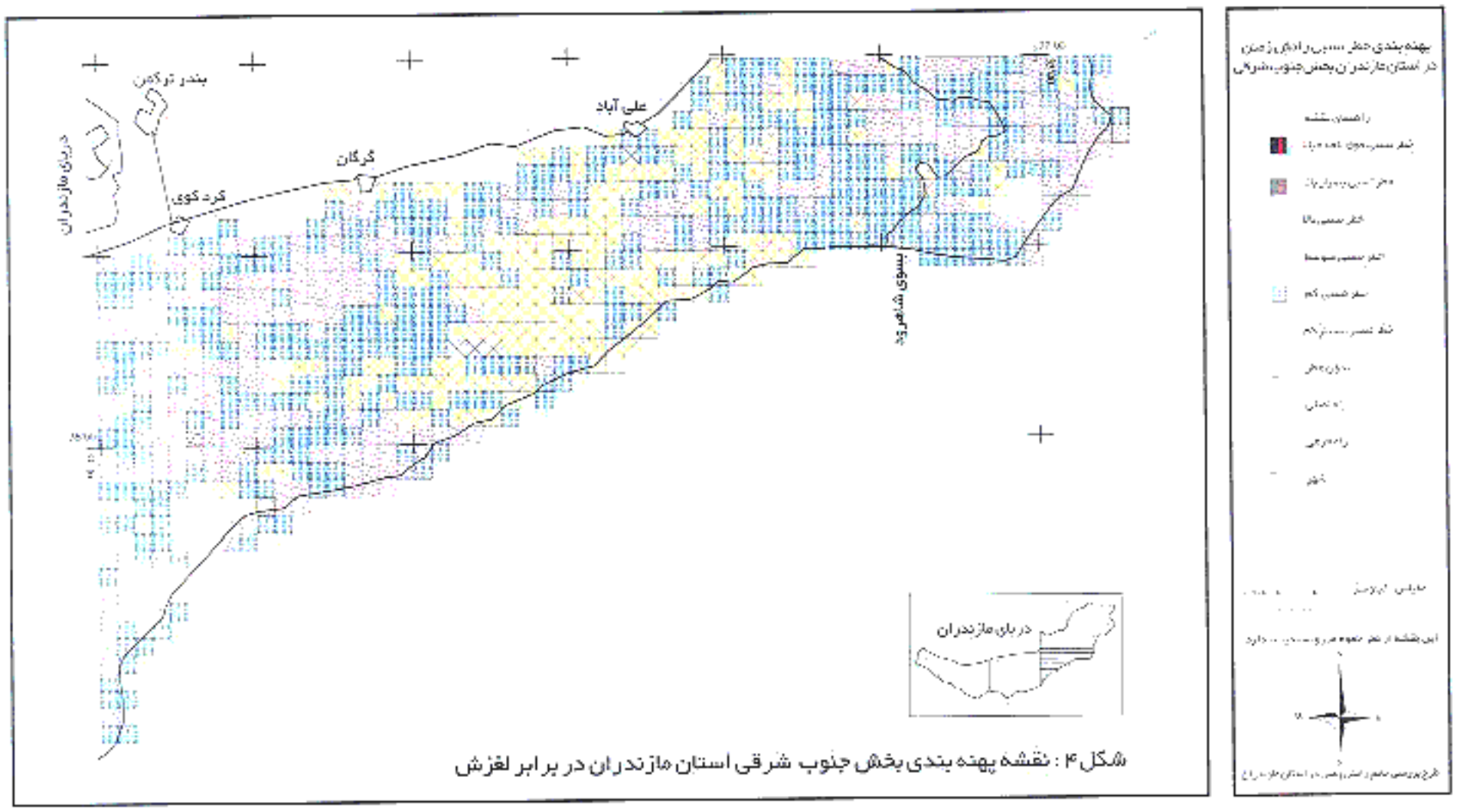
۳- مقدار ضریب زلزله(C_E) در هر یک از رده‌های ششگانه تعیین شده در هر واحد بکار رفته است. همانگونه که قبلاً اشاره شد پهنه‌های با خطر نسبی یک و شش در سطح استان مازندران وجود ندارد.

در پهنه‌بندی انجام شده، ناپایداری زمین ناشی از روانگرایی در شیبهای بسیار کم در نظر گرفته نشده است هر چند ممکن است در پهنه‌های با شیب کمتر از ۵ درجه نیز این پدیده موجب ناپایداری زمین گردد. ولی مطالعه این مورد خارج از موضوع این تحقیق بوده و بایستی در پژوهش‌های جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

با کاربرد پارامترهای بالا بر روی نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، نقشه‌های پهنه‌بندی با مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰ در سطح استان تهیه شد. با توجه به ارقام حاصل از ترکیب عوامل در پهنه‌بندی منطقه مورد بررسی، ۷ درجه خطر نسبی مطابق جدول ۱۱ در نظر گرفته شد. این نقشه‌ها در شکل‌های ۳ تا ۶ نشان داده شده است. تفکیک اعداد جدول ۱۱ به هفت رده، با استفاده از کالیبره کردن این اعداد با لغزش‌های موجود در دو ناحیه کالیبراسیون و با توجه به تراکم اعداد حاصله صورت پذیرفته است.

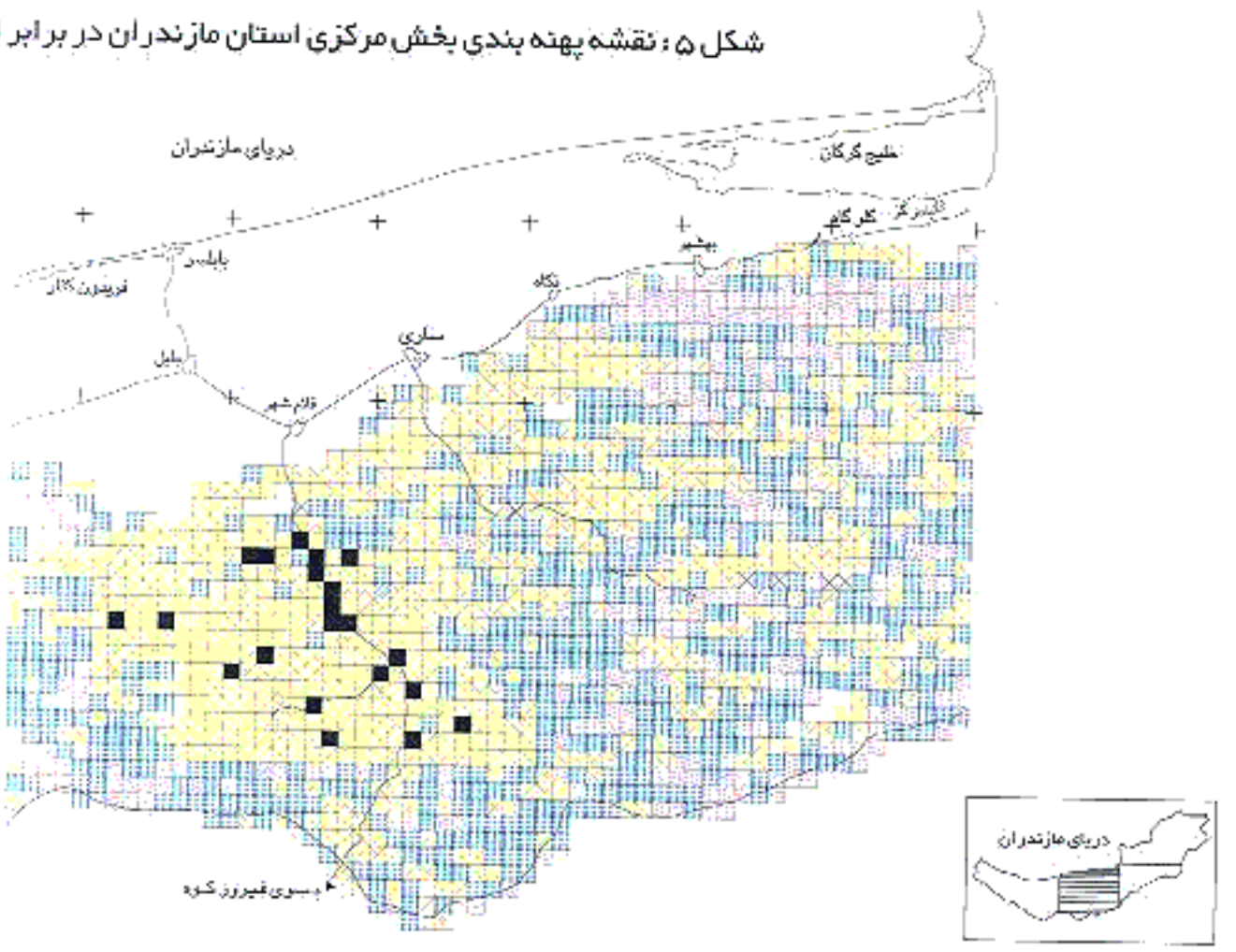


شکل ۳ : نقشه پهنه بندی بخش شمال شرقی استان مازندران در برابر لغزش

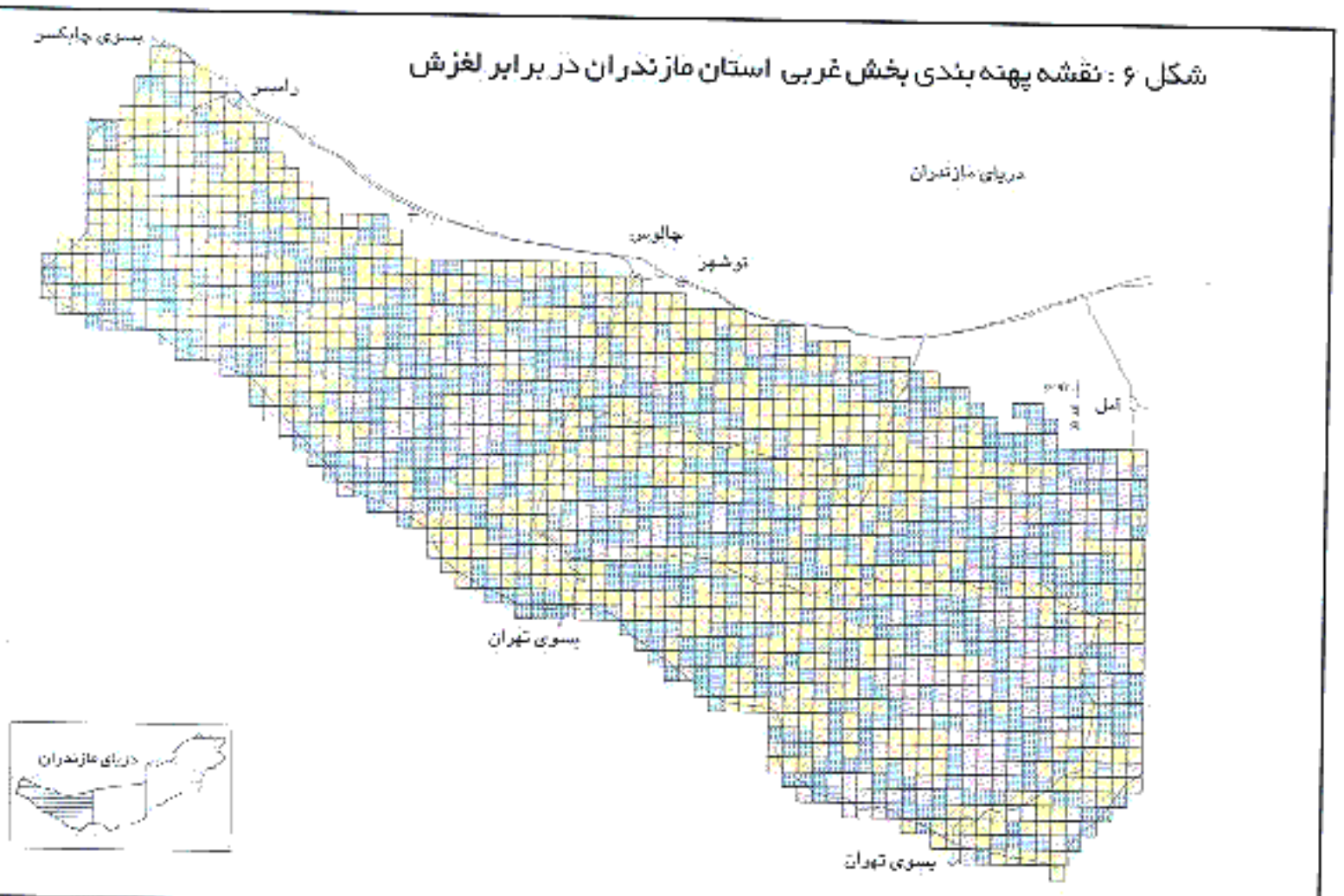


شکل ۴ : نقشه پهنه بندی بخش جنوب شرقی استان مازندران در برابر لغزش

شکل ۵ : نقشه پهنه بندی بخش مرکزی استان مازندران در برابر لغزش



شکل ۶ : نقشه پهنه بندی بخش غربی استان مازندران در برابر لغزش



اعداد بدست آمده از رابطهٔ (۱)	۰	۱-۳۰	۳۱-۱۲۰	۱۲۱-۴۸۰	۴۸۱-۱۷۵۰	۱۷۵۱-۷۵۰۰	>۷۵۰۰
رده	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
میزان خطر	بدون خطر	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	فوق‌العاده زیاد

جدول ۱۱- طبقه‌بندی میزان خطر نسبی ناپایداری دامنه‌ها با استفاده از رابطه ۱

۴- نتیجه گیری

هر ساله پدیده جنبش‌های دامنه‌ای در مناطق کوهستانی کشور زیان‌ها و آسیب‌های زیر خور توجهی را به مناطق مسکونی، راههای ارتباطی و شریان‌های حیاتی وارد می‌سازد و ضروری است تا مطالعات ویژه‌ای درباره باز شناخت مسئله و راههای جلوگیری از این خسارات انجام شود. مطالعات مربوط به بررسی جامع خطر زمین‌لغزه در استان مازندران و پهنه‌بندی دامنه‌های این استان در برابر خطر زمین‌لغزش، در راستای هدف کاهش خطرات ناشی از این بلای طبیعی می‌باشد. طی این مطالعات لغزش‌های گذشته مورد بررسی قرار گرفته و عوامل مؤثر بر رویداد این لغزش‌ها ارزیابی گردید. عواملی که نقش تعیین کننده در بروز آنها داشتند به دو گروه افزایش دهنده پتانسیل لغزش و شروع کننده لغزش تقسیم‌بندی شدند. در گروه نخست عواملی همچون لیتولوژی یا جنس مواد و زاویه شیب دامنه، وجود راه و رودخانه در پای دامنه، وجود گسل و میانگین بارندگی یا میزان رطوبت ناحیه مورد توجه قرار گرفت و در گروه دوم شدت بارندگی و زمین‌لرزه دو عاملی بودند که به‌عنوان عوامل اصلی شروع لغزش منظور شدند. این عوامل به گونه‌ای با یکدیگر ترکیب شدند تا بتوانند بهترین پاسخ را برای لغزش‌های موجود در مناطق الگو داشته باشند. در راستای این کار روشی نو برای پهنه‌بندی مناطق شیبدار در برابر خطر لغزش زمین تدوین گردید و این روش جهت استفاده پژوهندگان و کاربران در سایر مناطق کشور و نیز مناطق همانند در دنیا پیشنهاد شد. وجه تمایز این روش با روش‌های همانند علاوه بر در نظر گرفتن عوامل متعدد مؤثر بر رویداد لغزش کاربرد ضرایب اهمیتی برای هر یک از این عوامل می‌باشد تا بدین ترتیب وزن عوامل مختلف یکسان منظور نگردد.

سپاسگزاری

پژوهش‌های که منجر به نوشتن این مقاله شد در دانشگاه صنعتی شریف و با پشتیبانی مالی زیر کمیتهٔ زلزله و لغزش لایه‌های زمین وابسته به کمیته ملی کاهش بلایای طبیعی کشور انجام شد. بدین وسیله نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

همچنین ضروری است از مرکز تحقیقات مهندسی زلزله و مرکز تحقیقات ژئوتکنیک دانشگاه صنعتی شریف، که امکاناتی را در اختیار این پژوهش قرار دادند قدردانی شود.

کتاب‌نگاری

حائری، سیدمحسن و ستاری محمدحسین، ۱۳۷۲- لغزش‌های بزرگ رویداده براثر زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل- نشریه شماره ۱ مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران.

حائری، سیدمحسن و همکاران، ۱۳۷۴- طرح بررسی جامع رانش زمین در استان مازندران جلد اول گزارش مرحله اول.

حائری، سیدمحسن و همکاران، ۱۳۷۴- طرح بررسی جامع رانش زمین در استان مازندران جلد دوم گزارش مرحله دوم.

طرح کالبدی ملی کشور، ۱۳۷۴- مطالعات لرزه‌خیزی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ گزارش چاپ نشده، وزارت مسکن و شهرسازی.

حائری، سید محسن و همکاری، ۱۳۷۵- طرح بررسی جامع رانش زمین در استان مازندران جلد سوم گزارش مرحله نهائی.

References

Haeri, S.M. and Samiee, A.H.,1994, "Some Methods of Landslide Microzonation" 10 ECEE, Vienna.

Japan working Group for TC-4 Commitee,(1993)," Seismic Zoning on Geotechnical Hazard", 13 th ICSMFE, New Delhi.