

## پهنه‌بندی استعداد وقوع زمین لغزش در منطقه رودبار به روش LNSF

رضا امین عطایی<sup>۱</sup>

سحراخوان فومنی<sup>۲</sup>

امیر هوشنگ نظامیوند چگینی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۸/۰۷

\*\*\*\*\*

### چکیده

کشور ایران با توجه به توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، شرایط جغرافیایی و سازندهای متنوع زمین‌شناختی، فعالیت‌های نئوتکتونیک و لرزه‌خیزی، شرایط مساعدی را برای وقوع پدیده زمین لغزش، به طور بالقوه داراست. در نظر گرفتن خصوصیات ژئوتکنیکی خاک می‌تواند در ارزیابی بهتر خطر احتمال وقوع زمین لغزش نقش مؤثری داشته باشد. این پدیده هر ساله به خسارت‌های مالی و جانی، تخریب راه‌ها، خطوط لوله، خطوط انتقال نیرو، تأسیسات معدنی، تونل‌ها، نقاط مسکونی شهری و روستایی و منابع طبیعی در کشور منجر می‌شود. یکی از روش‌های آماری برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده از روش اصلاح شده LNRF موسوم به روش LNSF است. روش LNSF با در نظر گرفتن چهار کرانه برای مقادیر لایه وزنی LSI، منطقه را به پنج پهنه استعداد وقوع زمین لغزش تقسیم می‌کند. در پژوهش حاضر با استفاده از این روش ابتدا مساحت وسیعی از منطقه مورد مطالعه (حدوداً ۱۲۸۰۰ هکتار) جهت ارزیابی استعداد زمین لغزش پهنه‌بندی شد و سپس با در نظر گرفتن خصوصیات ژئوتکنیکی منطقه و با تمرکز بر بحرانی‌ترین پهنه (استعداد زمین لغزش خیلی زیاد) عوامل و شرایط وقوع و راهکارهای جلوگیری از وقوع زمین لغزش بررسی شد. در مرحله وزن‌دهی، بالاترین وزن به دسته هفتم از لایه کاربری اراضی اختصاص داشته که همین دسته در پهنه‌بندی نهایی تقریباً تمامی پهنه استعداد زمین لغزش خیلی زیاد را در مقایسه با سایه دسته‌ها پوشش داده است. نتایج حاکی از آن بود که حدود نیمی از خاک پهنه با خطر زمین لغزش خیلی زیاد، از نوع CL (رس با خاصیت خمیری کم) است، همچنین با تعیین ضریب اطمینان استاتیکی در پهنه مورد اشاره مشخص شد که در صورت رسیدن خاک به درجه اشباع می‌توان انتظار ناپایداری دامنه‌ها در بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه را داشت.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، پهنه بندی، زمین لغزش، GIS، LNSF

\*\*\*\*\*

۱- کارشناس ارشد مکانیک خاک و پی دانشگاه گیلان-گروه عمران reza.a.ataei@mail.com

۲- دکتری فیزیک و حفاظت خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان - گروه علوم خاک (نویسنده مسئول) Sahar\_akhavan@hotmail.com

۳- دانشیار دانشگاه گیلان- دانشکده فنی-گروه عمران chegini@guilan.ac.ir

## مقدمه

سبب کاهش خطرات آن‌ها شود. محققین مختلف جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌ها در مناطق گوناگون بسته به اهمیت و تأثیر پارامترهای مختلف روش‌هایی را ارائه نموده‌اند که غالباً در مقیاس‌های محلی عملکرد مناسبی داشته و توانسته‌اند نقشه‌هایی با دقت و صحت مناسب را با روش‌های تجربی و آماری ارائه نمایند. در مدل‌های آماری از عوامل موثر در وقوع زمین لغزش مانند شیب، جهت، کاربری زمین‌ها به عنوان لایه‌های اطلاعاتی برای پهنه‌بندی استفاده می‌شود. افجه‌ای (۱۹۸۵) به منظور تعیین اهمیت هر کلاس از لایه‌های مختلف در وقوع زمین لغزش، لایه‌های مختلف رده‌بندی و به منظور تعیین نرخ هر کلاس از هم-پوشانی نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها با هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی استفاده کردند. یکی از روش‌های آماری متداول در پهنه‌بندی زمین لغزش، مدل LNRFS است. این مدل در قالب طرحی با عنوان کاربرد نرم افزار GIS در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در دانشگاه ورورکی هند توسط دو استاد گروه زمین شناسی این دانشگاه گوپتا و جوشی (۱۹۹۰) به اجرا درآمد. روش LNSF ساها و همکاران (۲۰۰۵) بر پایه روش LNRFS (گوپتا و جوشی ۱۹۹۰) استوار است که اصلاح شده روش فوق است. LNSF عامل حساسیت زمین لغزش (Landslide Nominal Susceptibility Factor) نامیده می‌شود. یمانی و محمدی (۱۳۸۹) پهنه‌بندی زمین لغزش را با استفاده از مدل‌های کمی در منطقه رودبار انجام دادند و گزارش کردند که مناطق بخش شرقی و شمال غربی حوضه دارای بیشترین پتانسیل زمین لغزش و مناطق شمالی و جنوبی آن خطر کمی را جهت وقوع زمین لغزش داشته و پایدار می‌باشند. رضایی و مرتضوی (۱۳۸۹) مطالعه لغزش دشتگان و تحلیل خطر آن بر روی بزرگراه قزوین رشت را انجام دادند و مهمترین علت زمین لغزش بوجود آمده را به سه دسته عوامل زمین شناختی، شرایط اقلیمی و عوامل مصنوعی نسبت دادند. این مطالعات به همراه داده‌های آزمایشات مکانیک سنگ برای ارائه راهکارهایی برای تثبیت زمین لغزش دشتگان مورد استفاده قرار گرفتند.

زمین لغزش‌ها جزء پدیده‌هایی به شمار می‌روند که در کل به عنوان حرکت توده‌ای معرفی می‌شوند. مطالعه علمی و جامع پدیده زمین لغزش در دنیا به دلایل متعدد، از مهم‌ترین مسائل در پروژه‌های عمده عمرانی، همچون انتخاب مسیر احداث بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی و فرعی کوهستانی، انتخاب محل احداث سدهای خاکی، بتونی و طرح‌هایی همچون توسعه جنگل‌ها و مراتع طبیعی و یا هرگونه توسعه معدنی در گرو مطالعات پایداری شیب‌های طبیعی منطقه است. کشور ایران با توجه به توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، شرایط جغرافیایی و سازندهای متنوع زمین‌شناختی، فعالیت‌های نئوتکتونیک و لرزه‌خیزی، شرایط مساعدی را برای وقوع پدیده زمین لغزش، به طور بالقوه داراست. این پدیده هر ساله به خسارت‌های مالی و جانی، تخریب راه‌ها، خطوط لوله، خطوط انتقال نیرو، تأسیسات معدنی، تونل‌ها، نقاط مسکونی شهری و روستایی و منابع طبیعی در کشور منجر می‌شود (افجه‌ای، ۱۳۸۵). استان گیلان و منطقه رودبار واقع در جنوب این استان، یکی از مستعدترین مناطق کشور نسبت به وقوع زمین لغزش، سنگ ریزش و سایر پدیده‌های مرتبط با لغزش دامنه‌ها می‌باشد. در اثر زمین‌لرزه ویرانگر ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل و رودبار بیش از ۱۰۰ مورد حرکات دامنه‌ای به وقوع پیوسته است و یکی از مرگبارترین آنها مربوط به لغزش روستای فتلک بوده که طی آن ۱۵۰ تا ۱۹۰ تن از اهالی کشته شده و خط لوله رشت - قزوین قطع گردید. لغزش گلدیان، لغزش بزرگ دیگر منطقه است که با این زلزله ایجاد شد؛ همچنین پس از احداث آزادراه رشت-قزوین، با توجه به سرعت بالای حرکت خودروها، ریزش‌های جزئی در طول مسیر نیز می‌تواند بسیار خطرناک باشد، لذا با توجه به خسارات ناشی از بروز لغزش، نیاز به جلوگیری از وقوع این پدیده حس می‌شود. این امر لزوم پهنه‌بندی خطر و شناخت هرچه بیشتر حرکت‌های توده‌ای را ایجاب می‌کند، تا با شناسایی مناطق با خطر بالا، اعمال مدیریت نموده و

**فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۹)**  
 پهنه‌بندی استعداد وقوع زمین‌لغزش در منطقه رودبار ... / ۲۱

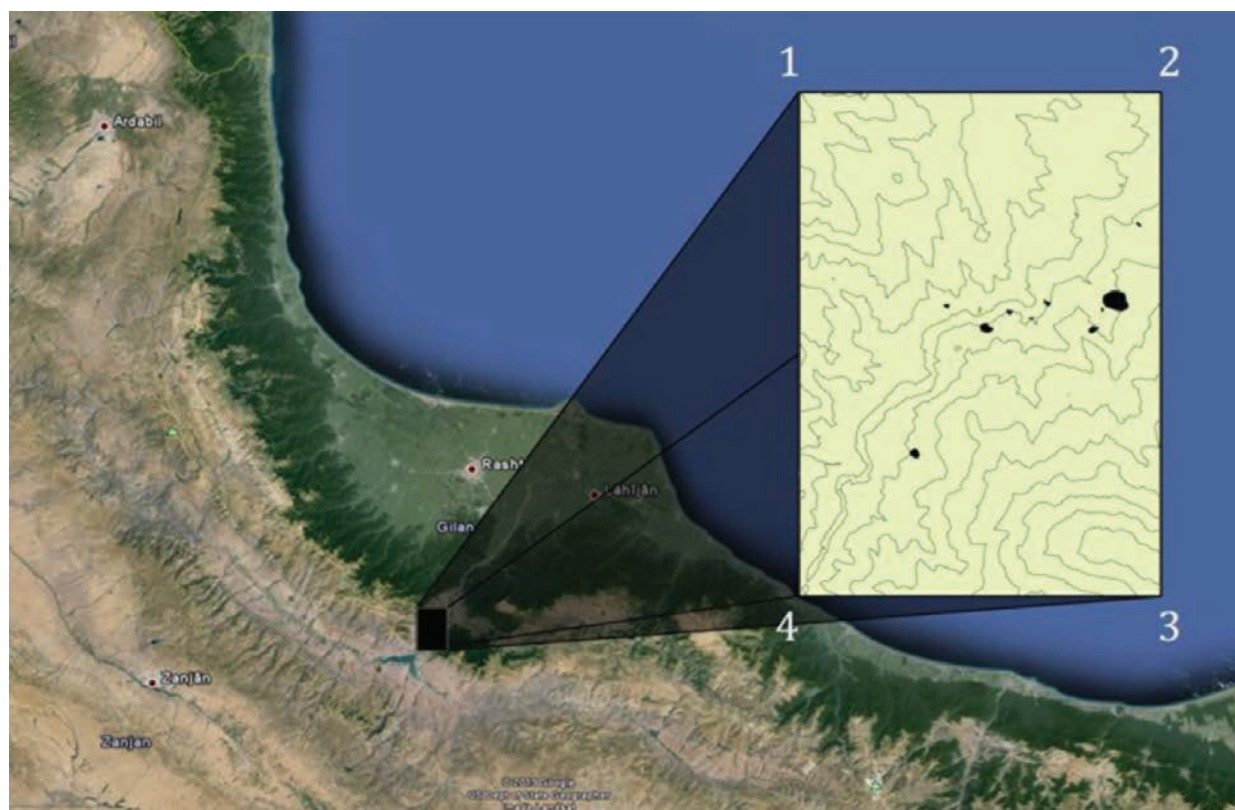
از روش نسبت تکرار (FR) و شاخص میزان استعداد وقوع زمین لغزش (LNSF) نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش را تهیه کردند. فاکتورهای مؤثر مورد بررسی شامل ارتفاع، جهت شیب، درجه شیب، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، زمین‌شناسی، بافت خاک و بارندگی بود. نقشه‌های حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش ROC (نسبت انحنای) تهیه شدند. صحت بدست آمده برای FR و LNSF به ترتیب ۷۹/۲ درصد و ۷۴ درصد بود. کایاستا و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پهنه‌بندی زمین لغزش بر اساس داده‌های رقوم موجود در توپوگرافی، زمین‌شناسی انجام دادند. نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از نتایج روش‌های فیزیکی و آماری معتبر نشان می‌دهد که سطح حساسیت پیش‌بینی خوبی نسبت به وقوع زمین لغزش‌های گذشته داشته است و از این رو نقشه برای برنامه‌ریزی آینده قابل‌اعتماد است. از آنجا که پهنه‌بندی احتمال وقوع زمین لغزش با استفاده از روش آماری LNSF در ایران تاکنون انجام نگرفته، در پژوهش حاضر با هدف پهنه‌بندی استعداد زمین لغزش در منطقه رودبار، پهنه‌بندی ژئوتکنیکی در پهنه استعداد لغزش خیلی زیاد و همچنین تعیین ضریب اطمینان استاتیکی در پهنه استعداد لغزش خیلی زیاد انجام می‌شود.

**مواد و روش‌ها**

**منطقه مورد مطالعه**

منطقه مورد مطالعه در جنوب استان گیلان قرار دارد (نگاره ۱). مساحت این حوضه ۱۲۸۱۴/۲ هکتار و در حد فاصل موقعیت جغرافیایی ۷۰° ۴۰ تا ۸۳° ۴۰ طول شرقی و ۶۶° ۳۵ تا ۶۱° ۳۶ عرض شمالی قرار دارد و شهر رودبار به همراه ۲۰ روستا از جمله گنجه، کلشتر، دشتگان، گلورز، جوبن، فتلک را در بر می‌گیرد. این منطقه از جنوب به شهر منجیل و از شمال به شهر رستم‌آباد منتهی شده و رودخانه سپیدرود و آزادراه رشت - قزوین از منتهی‌الیه شمال شرقی آن عبور می‌کند. منطقه در موقعیت کوهستانی

اکرامی راد و همکاران (۱۳۸۹) زمین لغزش دشتگان رودبار را مورد بررسی قرار دادند. تحلیل‌ها حاکی از آن است که تراوش آب در بخش ریزدانه در رس و ایجاد ترانشه در پای شیب به صورت توأمان علل اصلی زمین لغزش در دشتگان رودبار است. همچنین اکرامی راد و حیدرپور (۱۳۹۰) با توجه به اطلاعات ژئوتکنیکی آنالیزهای پایداری و برگشتی مقاطع با استفاده از نرم‌افزار Geo-slope انجام دادند و گزارش کردند که عامل اصلی زمین لغزش نفوذ آب در خاک و کاهش شدید پارامترهای مقاومتی بخش ریزدانه خاک است. هرچند عواملی همچون گسل‌ها و شکستگی‌ها و لیتولوژی سست منطقه از دیگر عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش دشتگان می‌باشد. پرادان و همکاران (۲۰۱۰)، بیان کردند پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش، یکی از مسائل مهم در مالزی است. در میان سه حوزه مورد مطالعه، نتایج بررسی روند دقت مشابه را نشان داد. به طور کلی نتایج نقشه پهنه‌بندی و داده‌های موجود در محل زمین لغزش رضایت‌بخش بود. ادھیکاری (۲۰۱۱)، آنالیز حساسیت زمین لغزش را به روش آماری در نپال غربی انجام داد. نپال یکی از کشورهای مستعد زمین لغزش در جهان است. توپوگرافی بالا، شیب تند، زمین‌شناسی پیچیده و پوشش گیاهی ناهمگون آن را مستعد زمین لغزش کرده است. ادھیکاری برای ارزیابی هر فاکتور مؤثر در حساسیت زمین لغزش، هر یک را بطور جداگانه با نقشه زمین لغزش مربوط به منطقه همپوشانی داد، سپس وزن هر کلاس تخمین زده شد و با استفاده از آن شاخص حساسیت زمین لغزش (LSI) تعیین شد، مقادیر LSI به پنج کلاس حساسیت با استفاده از انحراف میانگین استاندارد تقسیم‌بندی شد. اثر هر پارامتر با استفاده از منحنی‌های نسبت آنالیز شد. نتایج نشان داد که اثر پارامترهای حساسیت خاص هر منطقه‌ای است. اثر لیتولوژی در برخی مناطق متفاوت بود اما شیب، لیتولوژی و پوشش اراضی اثر یکسانی بر سایر مناطق داشت. همچنین همه پارامترهای ورودی بجز پوشش اراضی در خروجی آنالیز حساسیت تغییر کردند. تی و لات (۲۰۱۳)، با استفاده



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه

مختصات منطقه بر اساس UTM :

1- N = 356696.379 E = 4083804.218, 2-N = 366147.800 E = 4083804.218, 3-N = 366147.800 E = 4070245.929,  
 4-N = 356696.379 E = 4070245.929)

قرار گرفته است و آب و هوای آن تحت تأثیر هوای خشک نیمه‌خشک ناحیه مرکزی ایران قرار دارد. از نظر آب و هوایی این منطقه دارای آب و هوای مدیترانه‌ای می‌باشد و رویش درختان زیتون در این منطقه گواه همین موضوع است.

مرحله انجام شده در تحقیق حاضر عبارت است از: مرحله مقدماتی: شامل جمع‌آوری و مطالعه تحقیقات صورت گرفته و اطلاعات موجود در خصوص منطقه رودبار.

مرحله ساخت و رقوم سازی لایه‌های اطلاعاتی: در این مرحله از عکس‌های هوایی ۱:۲۵۰۰۰ استان گیلان، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰۰ حوضه آبخیز رودبار به همراه مدل رقوم ارتفاع (DEM) ۳۰ متری منطقه، نقشه زمین‌شناسی

مرحله صحرایی یا میدانی: در این مرحله مشاهدات میدانی جهت راستی سنجی وقوع زمین لغزش‌ها در نقاط از پیش شناسایی شده، نمونه‌برداری خاک از ترانشه‌ها و مرز گسلیده دامنه‌های لغزشی، و نیز علامت‌گذاری و مساحی به کمک دستگاه GPS صورت گرفته است.

مرحله آزمایشگاهی: تعداد ۱۵ نمونه خاک کلوخه‌ای به وسیله اوگر از عمق زیر سطحی و غیر هوازده خاک (به طور متوسط ۱۵-۲۰ سانتی متر) از محل تپه شدگی زمین

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( SID )  
پهنه‌بندی استعداد وقوع زمین‌لغزش در منطقه رودبار ... / ۲۳

گوپتا و جوشی (۱۹۹۰) عدد حاصل از کسر فوق را به یکی از سه بازه تعریف شده با دو شرط مرزی ۰,۶۷ و ۱,۳۳ اختصاص داده و در کل وزن‌های ۰, ۱ و ۲ را برای بازه‌ها در نظر گرفتند. در خاتمه با جمع جبری نقشه‌های وزنی حاصل از گروه‌بندی فوق نقشه پهنه‌بندی استعداد زمین لغزش منطقه مطالعاتی تهیه می‌گردید. اما این دسته‌بندی مجدد عدد LNRf و تخصیص وزنی اعداد صحیح از ۰ تا ۲ موجب ساده‌سازی پردازش‌ها و در نتیجه کاهش اهمیت نسبی طبقات مختلف موضوعی می‌شد. ساها و همکاران (۲۰۰۵) برای اصلاح این نقیصه پیشنهاد دادند عدد LNRf به صورت وزنی مستقیماً به دسته موضوعی مربوطه اختصاص یابد. طبق تعریف، لایه‌ی وزنی LSI با جمع جبری تمامی دسته‌های موضوعی که مستقیماً و زنادار شده‌اند بدست می‌آید. ساها و همکاران پیشنهاد دادند با در نظر گرفتن چهار کرانه برای مقادیر لایه وزنی LSI، منطقه به پنج پهنه استعداد وقوع زمین لغزش تقسیم شوند: استعداد خیلی کم، استعداد کم، استعداد متوسط، استعداد زیاد، استعداد خیلی زیاد چهار کرانه عبارت‌اند از:

$$\mu p - 1.5\sigma p \quad | \quad \mu p - 0.5\sigma p \quad | \quad \mu p + 0.5\sigma p \quad | \quad \mu p + 1.5\sigma p$$

که؛

$\mu p$  = میانگین فراوانی مقادیر،  $\sigma p$  = خطای استاندارد و  $m$  = عددی مثبت و غیر صفر است.

ملاک قضاوت برای انتخاب بهترین مقدار  $m$ ، قرار گرفتن بیشترین درصد از پیکسل‌های زمین لغزش‌های موجود در پهنه "استعداد خیلی زیاد" در مقایسه با درصد سطح اشغالشان است. برای این منظور پس از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مختلف با  $m$  های متفاوت نموداری تحت عنوان منحنی نرخ موفقیت تشکیل می‌شود. در این نمودار، درصد تجمعی پیکسل‌های پنج پهنه در محور افقی (شروع از پهنه استعداد خیلی زیاد با عدد صفر و خاتمه در پهنه استعداد خیلی کم با عدد صد) و درصد تجمعی پیکسل‌های زمین لغزش‌های موجود در محور قائم (شروع از صفر و خاتمه در ۱۰۰) قرار دارند. برای مقایسه این نمودارها می‌توان در

لغزش‌های موجود تهیه شد. نمونه‌ها ضمن حفظ رطوبت اولیه با کیسه‌های نایلونی به آزمایشگاه (مکانیک خاک دانشگاه گیلان) منتقل شدند.

این نمونه‌ها متعلق به ۸ زمین لغزش از مجموع ۱۰ مورد لغزش شناسایی شده بوده و برای ۲ لغزش باقی‌مانده از اطلاعات ۵ گمانه حفاری‌شده توسط آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری در مناطق دشتگان و گلورز استفاده شده است. آزمایش‌های سری ال‌ک، هیدرومتری و حدود آتربرگ، و برش مستقیم جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک مناطق لغزشی در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه گیلان صورت پذیرفت که از خصوصیات به دست آمده جهت پهنه‌بندی نوع خاک در پهنه استعداد لغزش خیلی زیاد و هم چنین تعیین ضریب اطمینان استاتیکی در آن پهنه استفاده شد.

مرحله تکمیلی: توصیف و تحلیل داده‌های ساختاری به وسیله نرم‌افزارهای ArcGIS و CurveExpert، رقمی‌سازی مساحت لغزش یافته و تهیه لایه‌های اطلاعاتی ۹ عامل وقوع زمین لغزش (جهت و زاویه شیب دامنه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارندگی، تغییرات نسبی ارتفاع و فاصله از شبکه راه‌ها و آبراهه‌ها و گسل‌ها) به همراه مناطق غیر لغزشی، وزن‌دهی و برهم نهی لایه‌های اطلاعاتی عامل با استفاده از روش LNSF و تهیه ۲۶ نقشه پهنه‌بندی و انتخاب بهترین از میان آنها توسط منحنی نرخ موفقیت، انتخاب مستعدترین پهنه وقوع زمین لغزش (VHS) و راستی‌آزمایی نهایی آن توسط برهم نهی با مناطق غیرلغزشی و در نهایت پهنه‌بندی ژئوتکنیکی پهنه استعداد زمین لغزش خیلی زیاد و تعیین ضریب اطمینان استاتیکی در این پهنه آخرین مرحله از تحقیق را تشکیل داده است.

روش LNSF: این روش، اصلاح شده روش LNRf است. در این روش LNRf با استفاده از سطح لغزش‌های رخ داده در یک دسته موضوعی بر میانگین لغزش‌های رخ داده در کل دسته‌ها، عدد وزنی هر عامل بدست می‌آید:

رابطه ۱

$$LNRf = \frac{Npix(S_i)}{(\sum_{i=1}^n Npix(S_i)) / n}$$

جدول ۱: نتایج آزمایش‌های دانه‌بندی و حدود آتبرگ

ردیف	نمونه	نوع خاک	ریزدانه	C <sub>c</sub>	C <sub>u</sub>	LL	PI
1	1A	SMg	29.3%	0.17	75.59	25.6%	8.3%
2	1B	SMg	25.4%	0.48	74.12	n/a	n/a
3	2A	SM	41.1%	0.43	21.11	27.7%	14.7%
4	2B	SM	43.9%	0.26	35.12	28.3%	15.9%
5	3A	GP-GM	8.2%	0.09	165.67	n/a	n/a
6	3B	GP-GM	11.9%	0.26	107.89	n/a	n/a
7	4A	SM	20.2%	1.51	4.27	n/a	n/a
8	4B	SM	19.5%	1.10	6.70	n/a	n/a
9	5A	CL	65.5%	1.50	6.00	38.0%	22.0%
10	5B	CL	58.9%	1.26	7.16	34.7%	19.7%
11	5C	CL	59.1%	1.22	7.39	37.1%	21.6%
12	6A	CL	51.5%	0.51	17.49	31.6%	16.7%
13	7A	SP-SM	6.2%	0.44	22.75	n/a	n/a
14	7B	SM	43.5%	1.23	7.29	27.2%	15.0%
15	8A	CL	57.5%	1.29	7.00	22.5%	13.6%

نگاره ۲) از ترانشه‌ها و مرز گسلیده دامنه‌های لغزشی، در جدول ۱ آورده شده است.



نگاره ۲: نقاط نمونه برداری

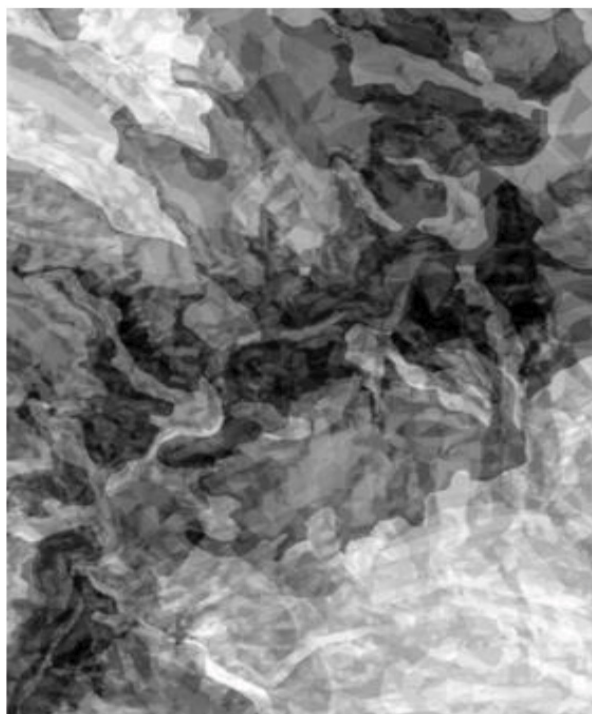
۱۰٪ ابتدایی از محور افقی، منحنی را قطع داده و محور قائم را قرائت نمود؛ عدد بالاتر نشان‌دهنده موفقیت بیشتر است. همین طور این روند را می‌توان برای شاخص ۲۰٪ نیز ادامه داد. در نهایت ساها و همکاران، یکی از مزیت‌های روش ارائه شده خود را دقیق‌تر و کوچک‌تر بودن پهنه استعداد لغزش خیلی بالا در مقایسه با روش‌هایی مانند روش ارزش اطلاعاتی ذکر نمودند، زیرا امکان واسنجی عوامل و اقدامات ثانویه در یک منطقه محدودتر، سهل‌تر است. با توجه به این امور و محدودیت در امکان نمونه‌برداری خاک از تمامی محدوده مورد مطالعه، برای نزدیکی هرچه بیشتر نقاط نمونه‌برداری با پهنه استعداد لغزش خیلی بالا، در تحقیق پیش رو از روش LNSF برای پهنه‌بندی استعداد زمین لغزش استفاده شده است. در این تحقیق از نرم‌افزار CurveExpert (V1,4) برای برآزش منحنی و ArcGIS (v10.1) برای پهنه‌بندی زمین لغزش استفاده شد.

آزمایش‌های برش مستقیم: برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌ها، آزمایش برش مستقیم با درصد رطوبت اولیه بر روی آنها انجام گرفته و خلاصه نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

یافته‌های پژوهش  
 آزمایش‌های دانه‌بندی و حدود آتبرگ: خلاصه نتایج آزمایش‌های دانه‌بندی و حدود آتبرگ برای ۱۵ نقطه نمونه‌برداری شده

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( SID )  
پهنه‌بندی استعداد وقوع زمین‌لغزش در منطقه رودبار ... / ۲۵

با بررسی اولیه جدول ۳ مشاهده می‌شود که بالاترین وزن میان کلیه عوامل در دسته هفتم از واحد کاربری اراضی قرار دارد. این دسته شامل اراضی بایر، فاقد پوشش گیاهی یا پوشش کم است که می‌تواند با اشغال ۵۵,۷۹٪ از مساحت کل منطقه نقش تعیین کننده‌ای در نقشه نهایی پهنه‌بندی ایفا نماید. همچنین با برهم نهی وزن‌های مابقی دسته‌های موضوعی این نقش می‌تواند تعدیل یا تشدید شود. حال با جمع جبری وزن‌های تمامی دسته‌های موضوعی لایه LSI تشکیل می‌شود که نتیجه در نگاره ۳ ارائه شده است. در این شکل رنگ‌های تیره‌تر نشان دهنده مقادیر وزنی بالاتر هستند.



نگاره ۳: لایه وزنی LSI

در لایه ذکر شده بیشترین وزن برابر ۲۷/۹۷۹۶۳۰ و کمترین وزن برابر ۱/۴۷۳۳۲۱۰ بدست آمده است. با تقسیم بازه اعداد فوق در ۱۰۰ خوشه و تشکیل نمودار توزیع فراوانی داده‌های وزنی در برابر تراکم، از منحنی برازش شده میانگین و خطای استاندارد را مطابق نگاره ۴ محاسبه می‌نماییم.

جدول ۲: نتایج آزمایش‌های برش مستقیم

ردیف	نمونه	C	Φ
1	1A	9.68	31
2	1B	8.3	25
3	2A	11.89	26
4	2B	9.96	30
5	3A	1.94	41
6	3B	1.66	44
7	4A	0.83	38
8	4B	0.55	40
9	5A	19.36	20
10	5B	22.95	16
11	5C	26.55	14
12	6A	23.23	25
13	7A	3.04	35
14	7B	8.02	33
15	8A	21.29	23

وزن دهی لایه‌های اطلاعاتی: با استفاده از رابطه وزن دسته‌های موضوعی لایه‌های اطلاعاتی ساخته شده محاسبه و مستقیماً به آنها اختصاص داده می‌شود. به عنوان مثال وزن‌های محاسبه شده کاربری اراضی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- وزن‌های محاسبه شده بر اساس روش LNSF

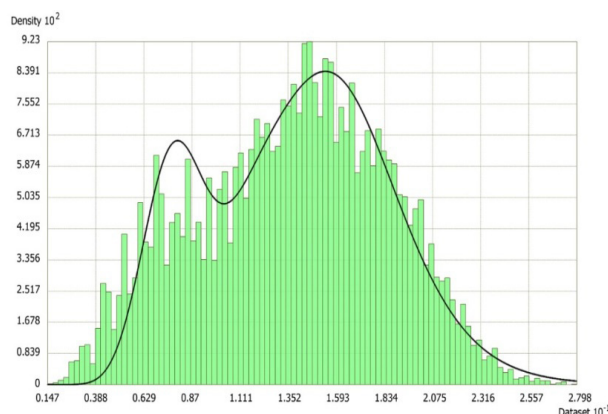
لایه اطلاعاتی	پیکسل ناحیه	پیکسل زمین لغزش	وزن LNSF
کاربری اراضی			
Class 1	661438	0	0
Class 2	132931	0	0
Class 3	536361	0	0
Class 4	196115	1398	0.489569
Class 5	691554	2737	0.958477
Class 6	47603	0	0
Class 7	2859678	15854	5.551954

VHS نشانه پهنه "استعداد خیلی زیاد"، HS نشانه پهنه "استعداد زیاد"، MS نشانه پهنه "استعداد متوسط" LS نشانه پهنه "استعداد کم" و VLS نشانه پهنه "استعداد خیلی کم" هستند. گفتنی است که در مقادیر پایین تر از ۰/۲ و بالاتر از ۱/۴۵ برای m، با توجه به نزدیک شدن کران پهنه ها به مقادیر کمینه و بیشینه LSI مساحت ها بسیار کوچک شده و امکان تشکیل معادله برای درون یابی وجود ندارد.

در مرحله بعد برای انتخاب بهترین مقدار m و به تبع آن بهترین نقشه پهنه بندی، از منحنی های نرخ موفقیت بهره می بریم. بدین منظور پس از محاسبه درصدهای تجمعی هر ستون به عنوان داده های ورودی، از نرم افزار CurveExpert و در آن برای درون یابی از مدل رشد MMF برای رسم منحنی ها استفاده می نماییم. معادله کلی مدل MMF به صورت رابطه ۲ است:

$$y = ab + cx^a / b + x^a \quad \text{رابطه ۲}$$

در ادامه منحنی نرخ موفقیت برای m در دو مقدار ۰/۲ و ۰/۲۵ و ضرایب a، b، c، d برای هر یک به همراه ضریب همبستگی و خطای استاندارد ذکر شده است (نگاره ۳). با استفاده از معادلات بدست آمده مقادیر y را برای x های ۱۰ و ۲۰ محاسبه نموده و مقایسه می نماییم. نتایج کلی در نگاره ۴ ارائه شده است. چنانچه مشخص است، در ازاء  $m = 1/25$  بالاترین نرخ موفقیت با ۱۸۰/۳۶۰۱ واحد بدست آمده و پهنه بندی انجام شده با این مقدار به عنوان پهنه بندی نهایی



نگاره ۴: نمودار توزیع فراوانی داده های وزنی در برابر تراکم با استفاده از اطلاعات بدست آمده، چهار کرانه را برای تقسیم لایه LSI به پنج پهنه به صورت زیر تعیین می نماییم:  
 I. ۶/۸۸۹۴۰۲m  
 II. ۱۱/۵۱۹۳۳m  
 III. ۱۶/۱۴۹۲۵۸m  
 IV. ۲۰/۷۷۹۱۸۷m

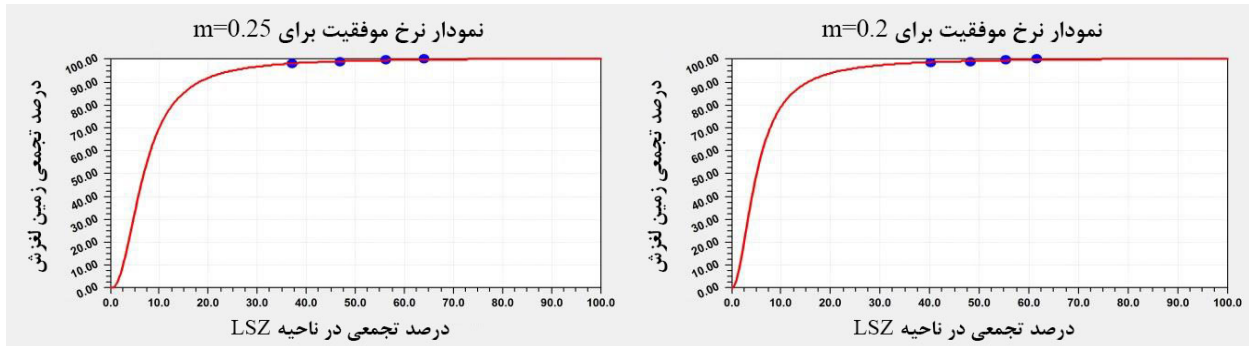
برهم نهی لایه ها: m عددی مثبت و غیر صفر است که ملاک قضاوت برای انتخاب بهترین مقدار آن، قرار گرفتن بیشترین درصد از پیکسل های زمین لغزش های موجود در پهنه "استعداد خیلی زیاد" در مقایسه با درصد سطح اشغالشان است. بنابراین پهنه بندی های مختلفی را با m های متفاوت انجام داده و با برهم نهی لایه زمین لغزش های موجود با پهنه بندی ها پیکسل های قرار گرفته در هر پهنه را می سنجمیم. نتایج دو مقدار m در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: برهم نهی لایه زمین لغزش های موجود و پهنه بندی ها

m = 0.25				m = 0.2			
پیکسل	لایه	پیکسل	لایه	پیکسل	لایه	پیکسل	لایه
19624	زمین لغزش های موجود	1903068	VHS	19739	زمین لغزش های موجود	2061913	VHS
133		505332	HS	19		405218	HS
228		474006	MS	227		365757	MS
4		394422	LS	4		320445	LS
0		1848852	VLS	0		1972347	VLS

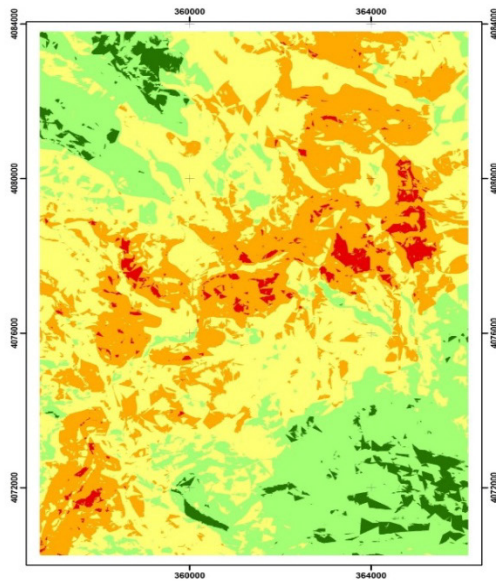
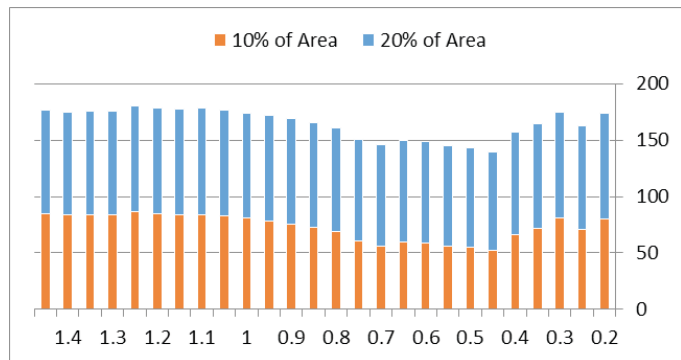


فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)  
پهنه‌بندی استعداد وقوع زمین‌لغزش در منطقه رودبار ... / ۲۷

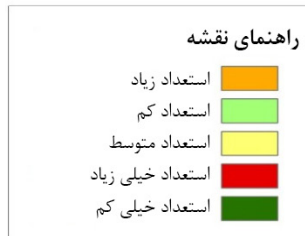


نگاره ۵: منحنی نرخ موفقیت برای  $m$

نگاره ۶: مقایسه ۱۰٪ و ۲۰٪ از ناحیه



پهنه بندی  
استعداد وقوع  
زمین لغزش



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 39N  
Projection: Transverse Mercator  
Datum: WGS 1984  
False Easting: 500,000.0000  
False Northing: 0.0000  
Central Meridian: 51.0000  
Scale Factor: 0.9996  
Latitude Of Origin: 0.0000  
Units: Meter

0 0.45 0.9 1.8 2.7 3.6 Kilometers 1:70,000

نگاره ۷: پهنه‌بندی استعداد زمین لغزش

هکتار (رنگ سبز)، استعداد زمین لغزش خیلی کم: ۴۹۱/۴۱۷۵ هکتار (رنگ سبز پررنگ).  
اعتبارسنجی: جهت اعتبارسنجی پهنه استعداد خیلی زیاد را با پهنه مناطق غیرلغزشی قطع داده و درصد پیکسل‌های مشترک را می‌سنجیم، نتیجه برابر ۰/۷۲۸٪ و رضایت‌بخش است. بنابراین می‌توان به صحت آن اطمینان کرده و

استعداد زمین لغزش انتخاب می‌شود (نگاره ۷).  
در پهنه‌بندی انجام شده، مساحت هر پهنه به قرار زیر است: استعداد زمین لغزش خیلی زیاد: ۲۸۲/۶۸۲۵ هکتار (رنگ قرمز)، استعداد زمین لغزش زیاد: ۳۳۸۶/۶۸۵ هکتار (رنگ نارنجی)، استعداد زمین لغزش متوسط: ۵۴۱۷/۶۰۲۵ هکتار (رنگ زرد) استعداد زمین لغزش کم: ۳۲۳۵/۸۱۲۵

جدول ۵: درصد مساحت مناطق با استعداد زمین لغزش خیلی زیاد

> 45°	36 – 45°	26 – 35°	16 – 25°	< 15°	درجه شیب				
0.08%	1.86%	12.42%	68.39%	17.24%					
Flat	SW	SE	NW	NE	W	E	S	N	جهت
0%	11.74%	3.13%	32.44%	1.75%	38.58%	4.93%	3.55%	3.88%	
> 120 m	91 – 120 m	61 – 90 m	31 – 60 m	< 30 m	تغییرات ارتفاع				
1.03%	17.12%	77.5%	4.27%	0.08%					
> 701 mm/year	601 - 700 mm/year	501 - 600 mm/year	401 - 500 mm/year	301 - 400 mm/year	201 - 300 mm/year	< 200 mm/year	بارندگی		
0%	0%	0%	0.8%	60.14%	37.79%	1.26%			
> 2001 m	1001 – 2000 m	501 – 1000 m	251 – 500 m	< 250 m	فاصله از گسل‌ها				
0.79%	16.24%	25.06%	4.45%	53.46%					
> 2001 m	1001 – 2000 m	501 – 1000 m	251 – 500 m	< 250 m	فاصله از راه‌ها				
0	0.54%	2.86%	39.34%	57.25%					
> 2001 m	1001 – 2000 m	501 – 1000 m	251 – 500 m	< 250 m	فاصله از آبراهه‌ها				
0.23%	3.3%	24.26%	44.92%	27.28%					
Class 7	Class 6	Class 5	Class 4	Class 3	Class 2	Class 1	کاربری		
99.99%	0%	0%	0.01%	0%	0%	0%			
Class 6	Class 5	Class 4	Class 3	Class 2	Class 1	زمین‌شناسی			
0.01%	3.62%	55.66%	0.03%	0.03%	40.64%				

مدت زمان تابش نور خورشید و یا شرایط محلی است. نتیجه پهنه‌بندی انجام شده مطابق جدول شماره ۵ جهت غرب را بسیار مستعد لغزش نشان می‌دهد. نتایج فوق با گزارش قهرمانی و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت داشت. آنها پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه النگدره را به وسیله روش LNRFB بررسی کرده و نشان دادند که در بخش‌های جنوبی حوضه احتمال وقوع زمین لغزش بالاتر است. با توجه به شیب بیشتر در این ناحیه، نتیجه بدست آمده تطابق مناسبی با شرایط منطقه دارد و در بخش‌های شمالی حوضه که دارای شیب کمتری هستند احتمال وقوع هم کاهش یافته است.

**تغییرات نسبی ارتفاع:** نتایج بدست آمده در جدول شماره ۵ حاکی از آن است که در تغییرات ارتفاع نسبتاً کم، درصد مناطق مستعد لغزش نیز کم بوده و با افزایش تغییرات ارتفاع در بازه ۶۱ تا ۹۰ متر، استعداد لغزش بالاترین درصد را به خود اختصاص داده و پس از آن در بازه‌های بالاتر مجدداً کاهش می‌یابد. **بارندگی:** بارندگی باعث بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و

مشخصاتش را واسنجی نمود. با توجه به جدول ۵ تأثیر عوامل مختلف مؤثر در پهنه استعداد زمین لغزش خیلی زیاد مورد بررسی قرار گرفت. درجه شیب: شیب یکی از مهم‌ترین عوامل وقوع زمین لغزش است. معمولاً انتظار می‌رود استعداد زمین لغزش در شیب‌های کم، پایین بوده و با افزایش آن سیر صعودی داشته باشد و مجدداً در شیب‌های بالا نزول نماید. نتایج حاصل از پهنه‌بندی در جدول شماره ۵ این امر را تأیید می‌نماید. نتایج فوق با گزارش اکرامی راد و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت داشت. آنها با بررسی زمین لغزش دشتگان رودبار، شیب را یکی از عوامل اساسی در زمین لغزش رودبار بیان کردند. تحلیل‌های آنها حاکی از آن است که تراوش آب در بخش ریزدانه در رس و ایجاد ترانشه در پای شیب به صورت توأمان علل اصلی زمین لغزش در دشتگان رودبار است. **جهت شیب:** چنانچه بیان گردید، استعداد زمین لغزش در جهات مختلف می‌تواند متفاوت باشد و از مهم‌ترین دلایل آن

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۲۹)  
پهنه‌بندی استعداد وقوع زمین‌لغزش در منطقه رودبار ... / ۲۹

این عامل در استعداد لغزش منطقه است. نتایج فوق با گزارش حاتمی فرد و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت داشت. نتایج آنها نشان داد که در بین عوامل مؤثر، زیرمعیارهای فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه به عنوان مهم‌ترین عوامل زمین لغزش در منطقه مطالعاتی شناسایی شده‌اند.

کاربری اراضی: نتایج پهنه‌بندی مطابق جدول شماره ۵ به صورت قابل توجهی نشان می‌دهد که تقریباً تمامی منطقه مستعد زمین لغزش خیلی زیاد در دسته شماره ۷ قرار گرفته است. این دسته چنانچه ذکر شد شامل اراضی بایر، فاقد پوشش گیاهی یا پوشش کم است که ذاتاً، شرایط را برای فرسایش خاک و وقوع زمین لغزش مهیا می‌سازند. نتایج دایموند و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد اطراف خطوط زهکشی و نیز مناطقی که تخریب جنگل وجود داشته وقوع حرکات توده‌ای افزایش یافته است.

زمین‌شناسی: نتایج پهنه‌بندی مطابق جدول شماره ۵ همچنین نشان می‌دهد که دسته‌های ۴ و ۱ اکثریت مطلق مناطق مستعد زمین لغزش خیلی زیاد را تشکیل داده‌اند. در این بین دسته ۴ که شامل لایه‌های آبرفتی است بالاترین درصد از مساحت منطقه مستعد زمین لغزش خیلی زیاد را به خود اختصاص داده است. نتایج مرادی و همکاران (۱۳۹۰) نیز مؤید این مطلب است که از مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش لیتولوژی و زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از جریان سطحی، شیب، بارندگی، پوشش گیاهی و لرزه‌خیزی است. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی شده، این نقشه همپوشانی خوبی با زمین لغزش‌های شناسایی شده در منطقه دارد.

پهنه‌بندی نوع خاک (بافت خاک): با محدود کردن پهنه مورد مطالعه به پهنه استعداد زمین لغزش خیلی بالا، امکان پهنه‌بندی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک با دقت بالاتری به جهت نزدیکی هرچه بیشتر نقاط نمونه‌برداری به کرانه‌ها

کاهش تنش مؤثر در شیب‌ها می‌گردد. عموماً با افزایش میزان بارندگی احتمال لغزش افزایش می‌یابد و این سیر صعودی در نیمی از جدول شماره ۵ قابل مشاهده است، اما در نیمی دیگر با بارش سالانه بیش از ۴۰۰ میلی‌متر استعداد لغزشی مشاهده نمی‌شود که می‌تواند به دلیل افزایش ارتفاع و کاهش رخنمون لغزش در آنها باشد.

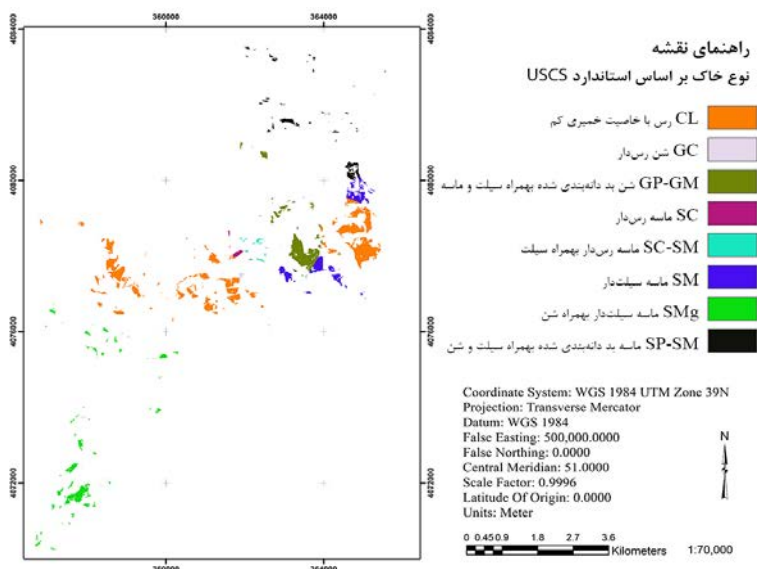
فاصله از گسل‌ها: مطابق انتظار، نقش عامل فاصله از گسل‌ها با توجه به پر گسل بودن منطقه رودبار بسیار پررنگ است؛ به طوری که بیش از نیمی از مناطق مستعد لغزش خیلی زیاد در فاصله کمتر از ۲۵۰ متری قرار گرفته‌اند (جدول شماره ۵) همچنین نتایج لان و همکاران (۲۰۰۴) مؤید این مطلب است که نقشه پهنه‌بندی لغزش، کارایی قابل‌قبولی دارد و لیتولوژی، زاویه شیب و فاصله از گسل از مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها می‌باشد.

فاصله از راه‌ها: راه‌ها که از عوامل انسانی مؤثر در وقوع زمین لغزش هستند، با تغییر توپوگرافی منطقه و کاهش فشار در پاشنه‌ی شیب باعث تولید تنش‌های کششی می‌گردند. بنابراین انتظار می‌رود با کاهش فاصله از راه‌ها استعداد زمین لغزش افزایش یابد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی در جدول شماره ۵ این امر را تأیید می‌نماید. نتایج رنجبر و افتخاری (۱۳۹۱) نیز مؤید این نکته است که احداث جاده یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در ایجاد و بروز زمین لغزش است. احداث جاده با از بین بردن تکیه‌گاه در شیب، دامنه را نسبت به حرکات دامنه‌ای حساس کرده و در صورت مساعد بودن شرایط زمین‌شناسی وقوع زمین لغزش حتمی است.

فاصله از آبراهه‌ها: جریان‌های سطحی نیز تأثیر ناخوشایندی بر پایداری شیب‌ها دارند، این تأثیر ناشی از فرسایش شیب‌ها یا افزایش درجه‌ی اشباع لایه‌های زیرین می‌باشد. نتایج پهنه‌بندی مطابق جدول شماره ۵ نشانگر نقش بارز فاصله از

جدول ۶: درصد مساحت مناطق با استعداد زمین لغزش خیلی زیاد در مقایسه با طبقه‌بندی خاک

GC	SC-SM	SC	SP-SM	SMg	SM	GP-GM	CL	خاک
0.52%	1.06%	1.14%	6.46%	12.5%	12.68%	15.96%	49.68%	VHS



نگاره ۸: پهنه‌بندی نوع خاک در پهنه استعداد زمین لغزش خیلی زیاد

از آزمایش‌های برش مستقیم اقدام به تعیین ضریب اطمینان استاتیکی در پهنه استعداد زمین لغزش خیلی بالا می‌شود. ضریب اطمینان طبق تعریف برابر است با:

رابطه ۳

$$F_s = \frac{C + (\gamma - m\gamma_w) z \cos \beta \cos \beta \tan \phi}{\gamma z \sin \beta \cos \beta}$$

بنابراین ضریب اطمینان نسبت ظرفیت (مقاومت برشی) خاک به تقاضای برش (تنش برشی ایجاد شده) در روی سطح شکست (گسیختگی) می‌باشد. معیارهای پذیرش ضریب اطمینان عواملی همچون موارد زیر را مدنظر قرار می‌دهند: عدم قطعیت در دقت ارائه مکانیزم شکست واقعی توسط تحلیل پایداری مربوطه، عدم قطعیت در دقت دستیابی به پارامترهای اولیه (مقاومت برشی، شرایط آب زیرزمین و غیره)، مدت و احتمال مواجه شدن با انواع بارگذاری خارجی و عواقب بالقوه ایجاد ناپایداری.

طبق مطالعات ژئوتکنیک و پایدارسازی لغزش دشتگان، ضخامت لایه خاکی در نقاط مختلف متغیر می‌باشد به طوری که ضخامت آبرفت در محل گمانه BH30 حدود یک متر بوده و در محل گمانه BH30 به ۱۰ متر می‌رسد. بنابراین عمق نرمال سطح گسیختگی‌ها (z) با بررسی‌های صحرائی سایر زمین لغزش‌ها برابر ۵ متر فرض می‌شود.

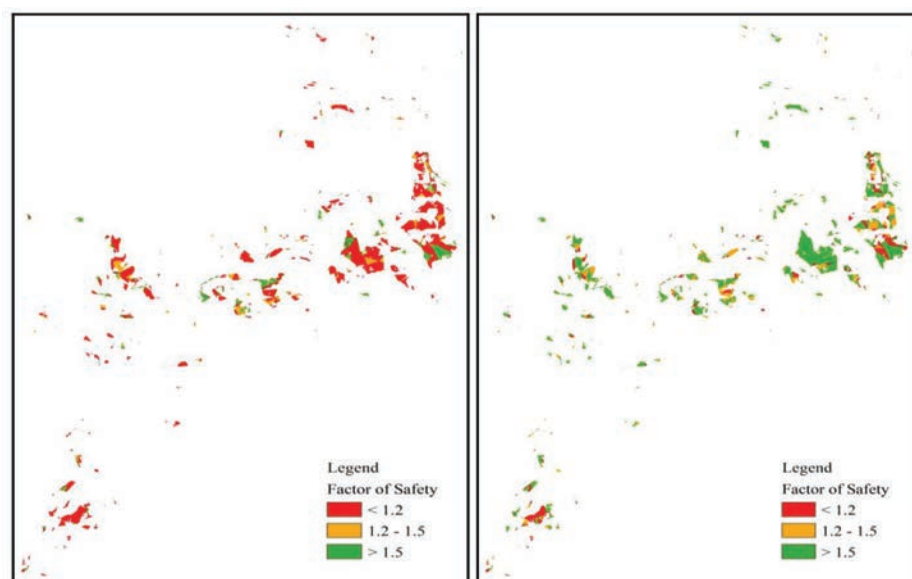
وجود دارد. لذا با استفاده از نتایج آزمایش دانه‌بندی، به روش پلی‌گون تی‌سن، اقدام به پهنه‌بندی بر اساس مختصات نقاط نمونه‌برداری در پهنه استعداد زمین لغزش خیلی زیاد نموده و درصد سهم انواع خاک‌ها را در این پهنه می‌سنجیم. نتایج در جدول ۶ و نگاره ۸ ارائه شده است.

بنابر نتایج، خاک نوع CL حدوداً نیمی از پهنه استعداد زمین لغزش خیلی زیاد را پوشش داده است. بافت رسی، یکی از مؤثرترین بافت‌های خاک در بروز زمین لغزش است؛ زیرا لایه‌های رس در افق‌های زیرین، به صورت یک لایه نفوذناپذیر عمل کرده و با جذب بیشتر رطوبت و نفوذ کم آن، باعث سنگین شدن لایه‌های بالایی خاک شده و در نتیجه، خاک در طول شیب به حرکت در می‌آید. چنانچه لایه‌های رسی زیر لایه‌هایی چسبیده‌تر قرار گیرند، هر قدر ضخامت رس بیشتری در معرض فشار باشد، احتمال ناپایداری بیشتر است.

معماریان (۱۳۷۴) وجود لایه رسی در دامنه‌ها را در هر شرایطی عامل ناپایداری دانسته است. همچنین هرچه میزان رس‌های غیراشباع مانند مونت موریلونیت و ایلیت زیادتر باشد سازند حساس‌تر به حرکات توده‌ای است.

تعیین ضریب اطمینان استاتیکی: در آخرین مرحله از تحقیق، با استفاده از رابطه ۳ و پارامترهای مقاومت برشی حاصل

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( SID )  
 پهنه‌بندی استعداد وقوع زمین‌لغزش در منطقه رودبار ... / ۳۱



نگاره ۹: ضریب اطمینان استاتیکی در حالت خشک (راست) و اشباع کامل (چپ)

همچنین مقدار وزن واحد حجم مواد تشکیل‌دهنده‌ی زمین (۷) با استفاده از مطالعات ژئوتکنیک و پایدارسازی لغزش دشتگان، برابر  $17 \text{ kN/m}^2$  در تمام منطقه ثابت در نظر گرفته می‌شود. جهت تعیین زاویه شیب دامنه نسبت به افق ( $\beta$ ) از لایه اطلاعاتی درجه شیب منطقه که از  $5^\circ$  تا  $65^\circ$  در بازه‌های با اختلاف  $5^\circ$  طبقه‌بندی مجدد شده است استفاده می‌شود. از آنجا که سطح آب زیرزمینی در منطقه و گمانه‌های اکتشافی مشاهده نگردیده، مقدار  $m$  به جهت انجام تحلیل در حالت خشک برابر صفر ( $0$ ) در نظر گرفته می‌شود. (نگاره ۹ سمت راست). اما در شرایط بارندگی، نفوذ آب‌های سطحی به داخل سطح لغزش، درزه و ترک‌ها و گسل‌های منطقه موجب کاهش و افت پارامترهای مقاومت درزه‌ها نسبت به شرایط رطوبت طبیعی توده می‌شوند، لذا مقدار  $m$  در حالت اشباع کامل برابر یک ( $1$ ) به عنوان بحرانی‌ترین حالت در نظر گرفته می‌شود (نگاره شماره ۹ سمت چپ). از آنجا که

ضرایب اطمینان حداقل مورد استفاده در طراحی شیب‌ها برای شرایط بارگذاری عادی درازمدت در مراجع معتبر بین  $1/2$  تا  $1/5$  است، این کرانه‌ها برای مرزبندی پهنه مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نهایی محاسبه ضرایب اطمینان در دو حالت خشک و اشباع مطابق جدول ۷ است. همانطور که مشاهده می‌شود ضریب اطمینان پهنه استعداد زمین لغزش خیلی بالا در حالت خشک در مساحت  $65/48$  درصدی بیشتر از  $1/5$  بوده درحالی‌که این ضریب برای حالت اشباع در مساحت  $71/55$  درصدی کمتر از  $1/2$  محاسبه شده است (جدول ۷). نتایج نشان داد که پایداری دامنه‌ها با ضریب اطمینان قابل قبول در حالت خشک وجود دارد و در صورت رسیدن خاک به درجه اشباع می‌توان انتظار ناپایداری دامنه‌ها در بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه را داشت. نتایج فوق با گزارش مطالعات ژئوتکنیک و پایدارسازی

جدول ۷: ضریب اطمینان پهنه استعداد زمین لغزش خیلی بالا در دو حالت خشک و اشباع

اشباع		خشک		Fs
درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	
71.55	202.25	14.86	42.005	$1.2 >$
11.92	33.7	19.66	55.5675	$1.5 - 1.2$
16.53	46.7325	65.48	185.11	$1.5 <$

باتوجه به نقشه پهنه‌بندی تهیه شده، این نقشه همپوشانی خوبی با زمین لغزش‌های شناسایی شده در منطقه دارد، تهیه این پهنه‌بندی کمک شایانی را به سیاست‌گذاری‌های دولت خواهد کرد، از جمله اداره راه در تعیین مسیر مناسب جهت احداث راه‌های جدید.

### نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج نشان داد که می‌توان با استفاده از روش LNSF ابتدا مساحت وسیعی را (در این تحقیق ۱۲۸۱۴/۲ هکتار) از جهت استعداد زمین لغزش پهنه‌بندی نمود و سپس با تمرکز بر بحرانی‌ترین پهنه (استعداد زمین لغزش خیلی زیاد) عوامل و شرایط وقوع و یا راهکارهای جلوگیری از وقوع زمین لغزش را بررسی نمود. استفاده از نمودارهای نرخ موفقیت کمک می‌کند که بهترین نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش از لحاظ قرارگیری بیشترین درصد از پیکسل‌های زمین لغزش‌های موجود در پهنه "استعداد خیلی زیاد" در مقایسه با درصد سطح اشغالشان انتخاب شود. پس از انتخاب پهنه‌بندی نهایی از میان ۲۶ نقشه پهنه‌بندی با استفاده از نمودارهای نرخ موفقیت، مساحت پهنه استعداد زمین لغزش خیلی زیاد برابر ۲۸۲/۶۸۲۵ هکتار که ۲/۲٪ از کل منطقه مورد مطالعه است، بدست آمد. در مرحله وزن‌دهی به عوامل، بالاترین وزن به دسته هفتم از لایه کاربری اراضی اختصاص داشته که همین دسته در پهنه‌بندی نهایی تقریباً تمامی منطقه مستعد زمین لغزش خیلی زیاد را در مقایسه با سایه دسته‌ها پوشش داده است. بنابراین ارتباطی مستقیم بین سنگینی وزن‌ها در دسته‌های موضوعی و درصد سطح اشغال آنها در پهنه‌بندی نهایی وجود دارد. با پهنه‌بندی نتایج آزمایش‌های دانه‌بندی به روش پلی‌گون تی‌سن مشخص شد که خاک نوع CL حدوداً نیمی از پهنه استعداد زمین لغزش خیلی زیاد را پوشش داده است. با تعیین ضریب اطمینان استاتیکی در پهنه استعداد زمین لغزش خیلی زیاد مشخص شد که در صورت رسیدن خاک به درجه اشباع می‌توان انتظار ناپایداری دامنه‌ها را در بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه را داشت.

لغزش دشتگان رودبار از مهندسان مشاور دریا خاک پی (۱۳۸۵) مطابقت داشت، آنها پایداری توده را بر اساس تحلیل دوبعدی مقاطع تهیه شده از توپوگرافی منطقه به روش تعادل حدی در دو حالت استاتیکی و شبه استاتیکی بررسی کردند. ضریب اطمینان استاتیکی و شبه استاتیکی به روش دواپر بیشاپ اصلاح شده به ترتیب در بازه ۱/۲۳ تا ۱/۵ و ۰/۹۳ تا ۱/۱۴ و به روش بلوک سنگی به ترتیب در بازه ۱/۲۳ تا ۱/۸۸ و ۰/۹۱ تا ۱/۳۶ قرار داشت. نتایج ضریب اطمینان پایداری در حالت استاتیکی و شبه استاتیکی مقاطع مورد تحلیل بدست آمده از دو روش بیشاپ و بلوک سنگی نشان می‌دهد که در برخی از مقاطع این ضریب از حد مجاز پایین‌تر می‌باشد اگرچه نتایج تحلیل‌های سه بعدی آنها به دلیل در نظر گرفتن اثرات فرم تراشه‌ها و سه بعدی بودن گوه‌ها نشان از پایداری توده با ضریب اطمینان قابل قبول دارد. همچنین نتایج فوق با گزارش لان و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت داشت. آنها نیز پس از تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش با در نظر گرفتن لیتولوژی، زاویه شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل به عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌ها با ضریب اطمینان نمودند. تحقیقات آنها نشان داد که نقشه پهنه‌بندی خطر کارایی قابل قبولی دارد و لیتولوژی، زاویه شیب و فاصله از گسل از مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها می‌باشد.

پراکنش زمین لغزش‌های کشور دارای تمرکز بالایی در جنوب استان گیلان است. پس از بررسی شرایط منطقه می‌توان مهمترین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش را زمین شناسی، فاصله از آزادراه و کاربری اراضی دانست. پس از انجام وزن‌دهی با استفاده از روش LNSF و آماده سازی لایه‌های ارزش‌گذاری شده در سیستم GIS، همپوشانی نهایی انجام و نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش محدوده مورد مطالعه تهیه گردید. با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه مورد مطالعه به پنج قسمت تقسیم شد: ۲/۲۱ درصد حساسیت خیلی بالا، ۲۶/۴۳ درصد حساسیت بالا، ۴۲/۲۸ درصد حساسیت متوسط، ۲۵/۲۵ درصد حساسیت کم و ۳/۸۳ درصد حساسیت خیلی کم.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( SID )  
پهنه‌بندی استعداد وقوع زمین‌لغزش در منطقه رودبار ... / ۳۳

of the causes of large landslide occurrence in Dashtgan Roudbar area. First Regional Civil Engineering Conference. P. 121-125.

13. Gupta RP, Joshi BC. 2011. Landslide hazard zonation using the GIS approach – a case study from the Ramganga Catchment, Himalayas. Eng Geol 28:119-131.

14. Kayastha, M. Dhital, and F. De Smedt. 2013. Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal. Computers & Geosciences, vol. 52, pp. 398-408.

15. Lan, H., C. Zhou, L. Wang, H. Zhang, and R. Li. 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China,” Engineering geology, vol. 76, no. 1, pp. 109-128.

16. M. Adhikari, 2011. Bivariate Statistical Analysis of Landslide Susceptibility in Western Nepal.

17. Memarian, h. 1995. Geology of Engineering and Geotechnics, Tehran: Tehran University Press.

18. Pradhan, B., S. Lee, and M. F. Buchroithner. 2010. A GIS-based back-propagation neural network model and its cross-application and validation for landslide susceptibility analyses. Computers, Environment and Urban Systems, vol. 34, no. 3, pp. 216-235.

19. Rezaei, F. Mortazavi, M. 2010. Study of slipping the dashtegan and its risk analysis on the Qazvin-Rasht highway.” Journal of Basic Sciences, Islamic Azad University, 2010, No. 20.

20. Saha, Ashis K., et al. 2005. An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation—with a case study in the Himalayas.” Landslides 2.1: 61-69.

21. Tay, L., and H. Lateh, 2013. Landslide Hazard Mapping Using Probabilistic Approaches: A Case Study of Penang Island, Malaysia,” Caspian Journal of Applied Sciences Research, vol. 2, pp. 140-144.

22. Yamani, m. Mohammadi, A. 2010. Landslide zonation in the Tubakab watershed using quantitative models”. Journal of Geography and Development, No. 19. P. 98-83.

## منابع و مآخذ

1. افجه‌ای نصرآبادی، ح. ۱۳۸۵. پهنه‌بندی خطر و بررسی عوامل مؤثر زمین لغزش در سری دو جنگل شصت کلاته. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
2. اکرامی راد، ع.، اسلامی، ا. و رازقی، ج. ۱۳۸۹. زمین لغزش بزرگ دشتگان رودبار (مسیر آزادراه رشت-قزوین) بررسی علل و چگونگی پایداری آن. دوره ۲۸، شماره ۱، ص ۱۱۹-۱۲۷.
3. اکرامی راد، ع و حیدرپور، ب. ۱۳۹۰. بررسی علل وقوع زمین لغزش بزرگ در منطقه‌ی دشتگان رودبار». اولین همایش منطقه‌ای مهندسی عمران. ص ۱۲۱-۱۲۵.
4. بهنیا، ک.، و اعرابی، ن. ۱۳۹۱. آزمایش‌های مکانیک خاک (بر اساس ASTM ۲۰۱۲). انتشارات نگارنده دانش.
5. رضایی، ف. مرتضوی، م. ۱۳۸۹. مطالعه لغزش دشتگان و تحلیل خطر آن بر روی بزرگراه قزوین- رشت. مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی» سال ۲۰، شماره ۷۷.
6. معماریان، ح. ۱۳۷۴. زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
7. یمانی، م. محمدی، ا. ۱۳۸۹. پهنه بندی زمین لغزش در حوضه ی آبخیز توتکابن با استفاده از مدل‌های کمی. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۹. ص ۹۸-۸۳.
8. Afjaji Nasrabadi, h. 2006. “Danger zoning and investigating the factors affecting landslide in the Shast Calteh Forest Series.” Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
9. Behnia, K. and Arabi, N. 2012. Soil Mechanics Experiments (according to ASTM .Publishing House of Knowledge.
10. Bonham-Carter, G. 1994. Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS: Pergamon.
11. Ekrami Rad, A, Islami, A. and Razaghi, C. 2010. Large landslide of Rashtgan Rudbar (Route of Freeway of Rasht-Qazvin). Study of the causes and how to stabilize it. Volume 28, Issue 1, pp. 119-127.
12. Ekrami Rad, A. and Heidarpur, B. 2011. Investigation

