



مکانیابی مسیر راه بندین-لایی در جنوب نکا با استفاده از GIS

مریم فتاحی‌بندی^{۱*}، ممد غفوری^۲، غلامرضا لشکری‌پور^۳ و ناصر مافطی‌مقدس^۳

(۱) دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، fattahi.maryam.b@gmail.com

(۲) استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد

(۳) دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد

* عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۹۰/۹/۱۵؛ دریافت اصلاح شده: ۹۱/۲/۴؛ پذیرش: ۹۱/۲/۱۰؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۱/۷/۲۰

پکیده

طراحی مسیر جاده نیاز به یک فرآیند ارزیابی گسترده به منظور شناسایی بهترین راه ممکن، برای عبور جاده دارد. در طراحی شبکه راه مناسب، باید عواملی مانند شیب منطقه، کاربری اراضی و نوع خاک در نظر گرفته شود که از جمله عوامل ناپایداری دامنه‌ها در امتداد مسیر جاده‌ها به خصوص در مناطق جنگلی می‌باشند. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش در شرق استان مازندران، جنوب شهرستان نکا و در محدوده جاده بندین-لایی واقع شده است. در این مقاله زمین لغزشهای رخ داده در محدوده مورد مطالعه که باعث به وجود آمدن مشکلات زیادی در این منطقه شده است، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به بالا بودن تعداد زمین لغزشها در جاده قدیمی بندین-لایی اقدام به شناسایی مسیر جدیدی با ضریب ایمنی بیشتر گردید. بدین منظور، تعدادی از عوامل زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی تأثیر گذار بر ناپایداریهای دامنه‌ای در این منطقه، مطالعه و بررسی شد. همچنین موقعیت جغرافیایی زمین لغزشهای رخ داده در این مسیر و اطراف آن با استفاده از GPS ثبت شده و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اقدام به تهیه لایه‌های رقومی و رستری فاکتورهای موثر در وقوع زمین لغزشهای این منطقه گردید. نتیجه به دست آمده در نقشه‌ای که مناسبترین و کوتاهترین مسیر جاده را بین دو نقطه مورد نظر در منطقه مورد مطالعه مشخص می‌کند، ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، ضریب ایمنی، مازندران، مسیر جدید.

۱- مقدمه

لغزش در دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز شده است. با توجه به اهمیت خطرات و خسارات ناشی از زمین لغزشها، مطالعات مختلفی در سطح کشور صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به ارزیابی عوامل و ارائه راهکار جهت تثبیت زمین لغزش در منطقه پادانای سمیرم (عنایتی‌مقدم و همکاران ۱۳۹۰)، پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در حوزه آبریز بابلرود (فتاحی‌بندی ۱۳۸۶)، مدل‌های منطق فازی و سنجش از دور جهت پهنه بندی خطرزمین لغزش در حوضه

استان مازندران به دلیل داشتن شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی خاص، بارها تحت تأثیر حوادث مخرب طبیعی از جمله زمین لغزش قرار گرفته است. این حوادث خسارات زیادی را به منابع طبیعی، مناطق مسکونی و سازه‌های مختلف وارد نموده است. عوامل طبیعی مانند ویژگی‌های زمین‌شناسی، اقلیمی، توپوگرافی و برخی عوامل انسانی مانند تغییرات کاربری اراضی و ایجاد راه و سازه، باعث افزایش زمین

در محدوده طول جغرافیایی $30^{\circ} 53' 25''$ و $30^{\circ} 39' 53''$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 33' 00''$ و $36^{\circ} 26' 30''$ شمالی واقع شده است (تصویر ۱).

جاده مورد بررسی در زیر حوضه لکشا از حوضه آبخیز نکارود قرار دارد. در قسمت‌های بالا دست حوضه نکارود، بارندگی کم و جریان رودخانه بیشتر ناشی از ذوب برف و دبی چشمه‌ها می‌باشد، اما قسمت‌های میانی حوضه، دارای سیلاب‌های ناشی از بارندگی است. بیشترین بخش این منطقه از پوشش جنگلی متراکم در منطقه‌ای کوهستانی تشکیل شده است.

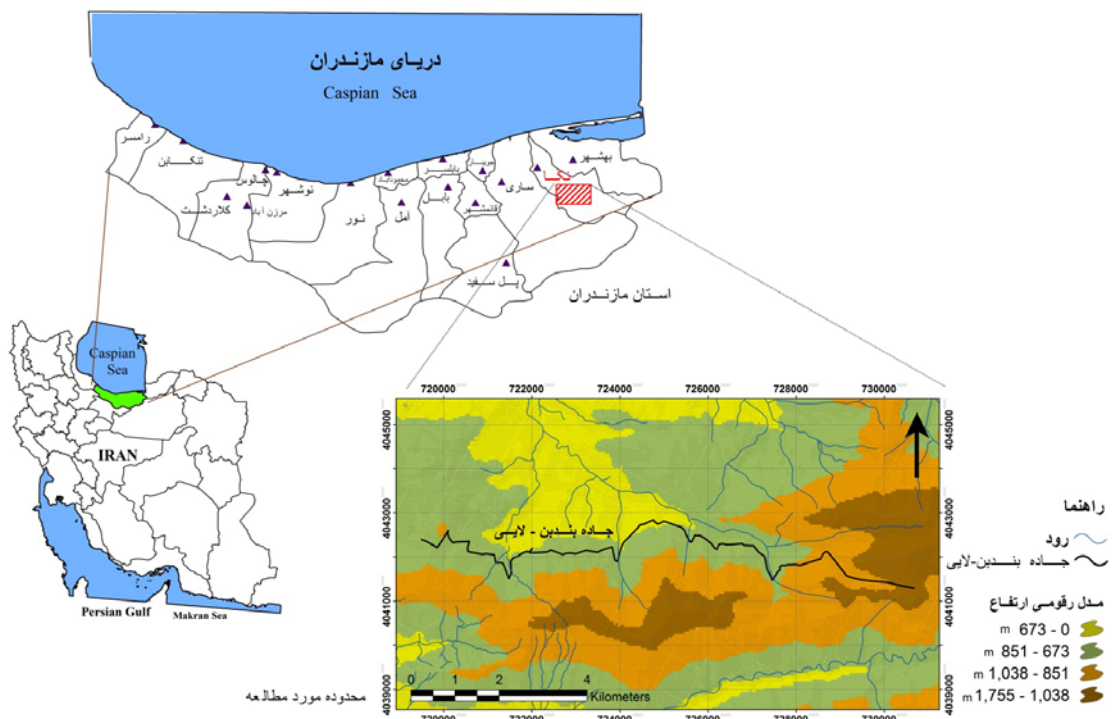
۳- خصوصیات زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه

منطقه مورد بررسی در بخش مرکزی زون ساختمانی البرز واقع شده است. این منطقه از نظر ساختمانی-رسوبی در زون گرگان-رشت (درویش‌زاده ۱۳۸۰) قرار دارد. این زون دارای مناطقی است که حاشیه دریای خزر را در سواحل ایران محدود کرده و در قسمت شمالی گسل البرز قرار دارد. چین‌های منطقه کم ارتفاع و کم شیب می‌باشند. رسوبات نئوژن خزر و کنگلومرای پلیوسن فوقانی، تحت تأثیر کوهزایی آلپی در کرتاسه پایینی-ترشیاری و طی فاز کوهزایی پاسادین در اواخر پلیوسن-اوایل کواترنر چین‌خورده‌اند.

آبخیز لاجیم (متکان و همکاران ۱۳۸۸)، تأثیر کاربری زمین در گسترش ناپایداری‌های دامنه‌ای حوضه‌ی آبریز نکارود (Uromiehy & Safaie 2000)، بررسی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش‌ها، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه اسکل‌آباد خاش (رهنماراد و همکاران ۱۳۸۹) و پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در تقادیس کنگان به روش آنبالاگان (باقری‌مهرورز و همکاران ۱۳۸۸) اشاره نمود. یکی از مهم‌ترین سازه‌های حیاتی که در این استان تحت تأثیر زمین لغزش قرار می‌گیرد راه‌های ارتباطی و جاده‌ها می‌باشند، این راه‌ها پیوند دهنده مناطق جمعیتی در مناطق کوهستانی هستند. مسدود شدن راه‌ها مشکلات اساسی را در رفت و آمد و زندگی مردم ایجاد نموده است. جاده بندین-لایی واقع در شهرستان نکا یکی از مسیرهایی است که تحت تأثیر این پدیده طبیعی قرار گرفته است. در این تحقیق، با توجه به بالا بودن تعداد لغزش‌های رخ داده در این جاده و هزینه بالای تثبیت آنها، اقدام به شناسایی و پیشنهاد مسیری جدید در این منطقه با توجه به عوامل تأثیرگذار بر ناپایداری دامنه‌ها گردید.

۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه

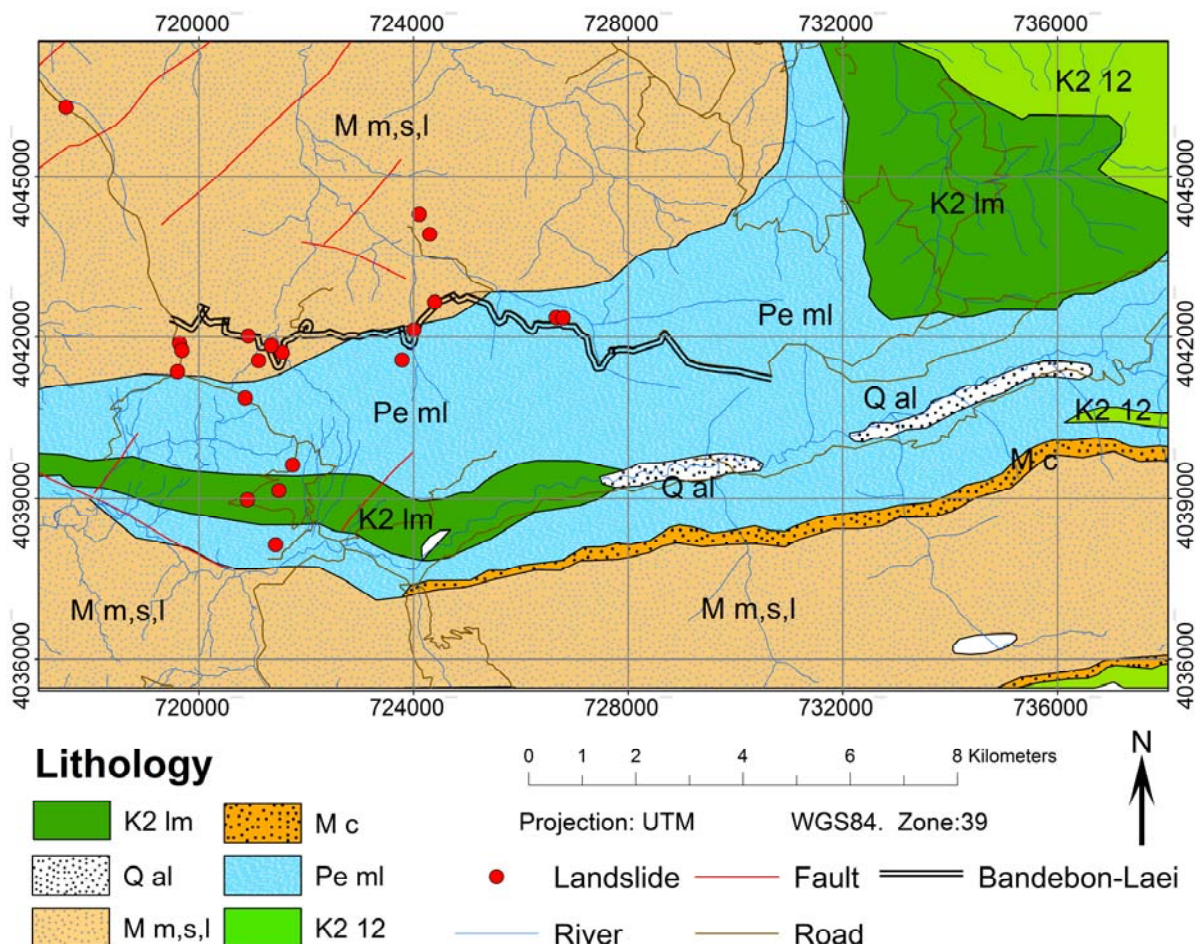
منطقه مورد مطالعه در دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز و در شرق استان مازندران (جنوب شرقی شهر نکا) قرار گرفته است. این منطقه



تصویر ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه، شرق استان مازندران، شهرستان نکا (برگرفته از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش ۱۳۸۴).

کنگلومر (Peml) و (مارن، آهک و مارن‌سیلتی) می‌باشد که دارای گسترش شرقی-غربی در منطقه هستند. تعدادی گسل نیز با روند NE-SW در شمال و غرب منطقه قابل مشاهده می‌باشند (تصویر ۲). مشخصات واحدهای زمین‌شناسی منطقه در جدول ۱ ارائه شده است.

از خصوصیات مهم این زون دگرشیبی، لایه‌های میوسن بر روی سنگ‌های کرتاسه و نبود سنگ‌های انوسن و الیگوسن است (تصویر ۲). بیشترین گسترش لیتولوژیکی در محدوده مورد مطالعه مربوط به واحدهای I, s, Mm (مارن، ماسه‌سنگ مارنی، آهک ماسه‌ای،



تصویر ۲- محدوده‌ی مورد مطالعه بر روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ساری (وحدتی دانشمند و سعیدی ۱۳۶۹).

جدول ۱- مشخصات واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

دوران	دوره	کد	لیتولوژی
سنوزویک	کواترنری	Q al	رسوبات آبرفتی
سنوزویک	میوسن	M c	کنگلومر، ماسه سنگ
سنوزویک	میوسن	Mm,s,l	مارن، ماسه‌سنگ مارنی، سنگ آهک ماسه‌ای، کنگلومر
سنوزویک	پالئوسن	PEml	مارن، سنگ آهک، مارن سیلتی
مزوزویک	کرتاسه بالایی	K2I2	سنگ آهک ضخیم تا توده‌ای
مزوزویک	کرتاسه بالایی	K2Im	سنگ آهک مارنی، مارن، مارن سیلتی

همکاران ۱۳۸۹). از نمونه کارهای علمی و تحقیقاتی انجام شده در این رابطه می‌توان به مطالعات حق‌شناس (۱۳۷۴)، پژم (۱۳۷۵)، بداغی (۱۳۷۶)، جلالی (۱۳۸۱)، کهی میانجی (۱۳۷۷)، نیک‌اندیش (۱۳۷۸)،

۴- روش تمقیق

سابقه استفاده از روش‌های آماری جهت پیش‌بینی خطر ناپایداری شیب در دنیا عموماً از دهه ۱۹۹۰ به بعد می‌باشد (رهنماراد و

آرک جی‌آی‌اس (Arc GIS) تهیه و رقومی شدند که عبارتند از: لایه زمین لغزش‌های مسیر که با GPS در روی زمین ثبت و وارد سیستم جی‌آی‌اس (GIS) گردیدند، لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی و گسل‌ها که از روی نقشه زمین‌شناسی منطقه رقومی شدند، لایه‌های رقومی رودخانه و جاده که از روی نقشه توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ استخراج شدند، لایه رستری شیب و جهت شیب که از روی مدل رقومی ارتفاع دی‌ای‌ام (Digital Elevation Model, DEM) تهیه شدند و در نهایت لایه کاربری اراضی که از روی نقشه منطقه مورد نظر رقومی و وارد سیستم گردید (جدول ۲).

لایه‌ها پس از تهیه، در محیط جی‌آی‌اس (GIS) کلاسبندی شدند. برای لایه‌های رقومی خطی جاده، گسل و رودخانه، نقشه رستری فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل تهیه شد تا هم بتوان کلاسبندی را انجام داد و هم به فرمت رستر برای استفاده در مراحل بعدی تبدیل نمود. بعد از تهیه لایه‌های رستری کلاسبندی آنها با توجه به شرایط منطقه و نمودار فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در هر لایه انجام شد (تصاویر ۳، ۴ و ۵).

در ادامه نقشه شیب و جهت شیب از روی مدل ارتفاع رقومی دی‌ای‌ام (DEM) منطقه تهیه شد و با فرمت رستر مورد بررسی قرار گرفت. نقشه شیب با توجه به اطلاعات موجود در لایه و خصوصیات منطقه در چهار طبقه کلاسبندی شد (تصویر ۶). در نهایت، لایه رقومی زمین‌شناسی با توجه به محتویات و نوع سازندها (تصویر ۲) و لایه رقومی کاربری اراضی با توجه به تنوع و نوع کاربری‌های مختلف کلاسبندی شد (تصویر ۷).

سیارپور (۱۳۷۸)، سفیدگری (۱۳۸۱) (Van Westen & Soeters 1998, Varnez 1984, Wang et al. 2011, Suh et al. 2011, Sarkar & Kanungo 2003, Rossi et al. 2010, Pradhan et al. 2010a, Pradhan et al. 2010b, Yong et al. 2006, Jaiswal et al. 2011, Chow et al. 2009, Lan et al. 2004, Nandi & Shakoor. 2010) اشاره نمود. در این پژوهش برای به دست آوردن مناسب‌ترین مسیر، مراحل زیر انجام شد.

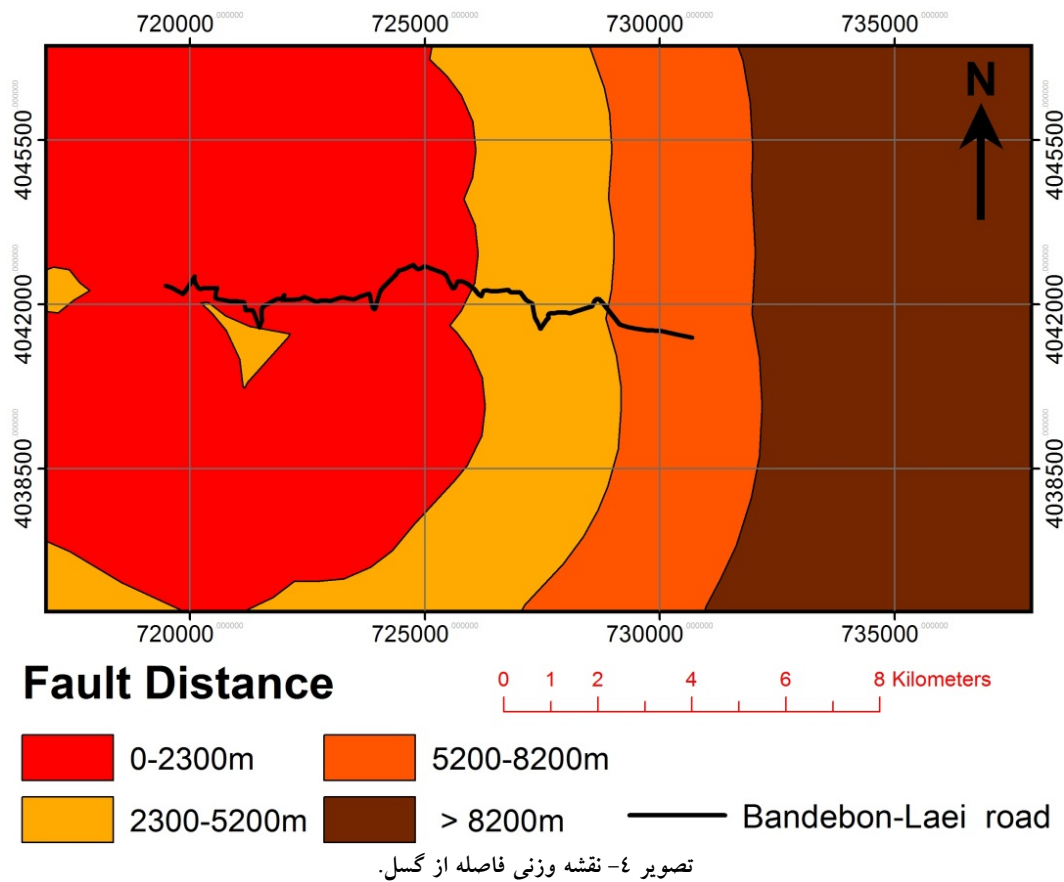
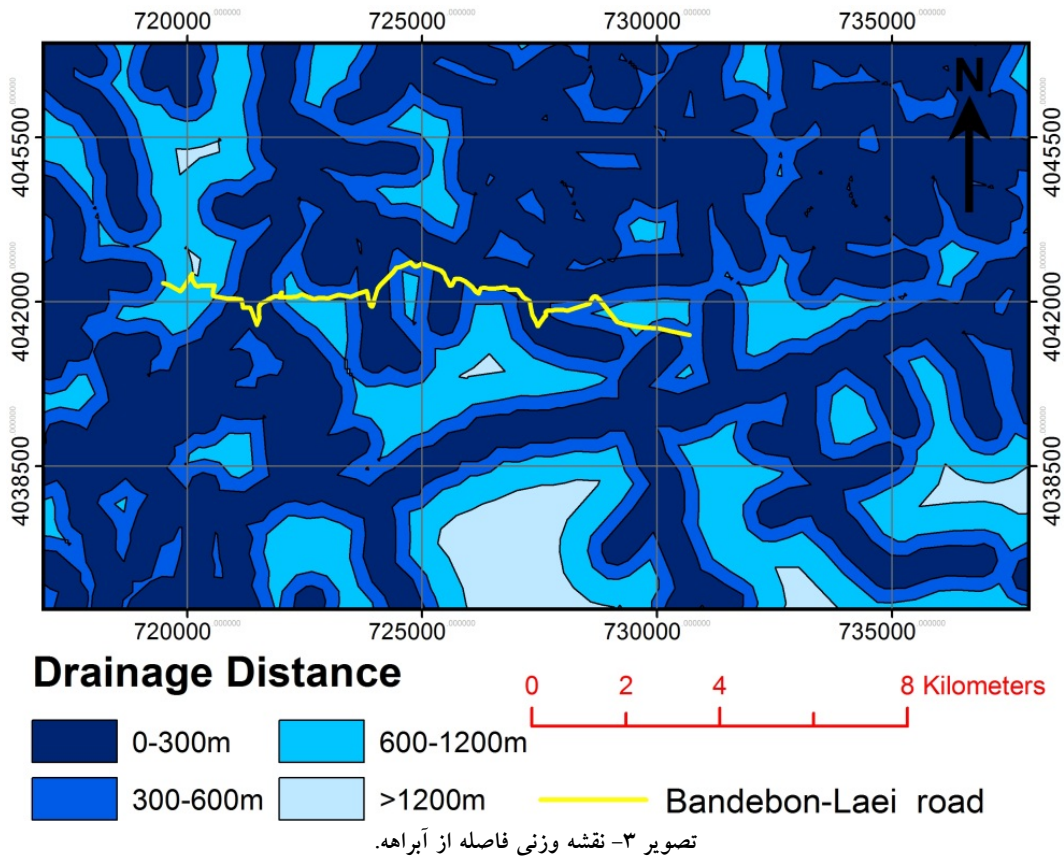
- الف- تهیه نقشه و لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز و کلاسبندی آنها.
- ب- انتخاب روش پهنه‌بندی مناسب و وزن دهی لایه‌ها بر اساس آن
- پ - تلفیق لایه‌های وزن دهی شده و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و طبقه بندی آن.
- ت- معرفی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به نرم‌افزار به عنوان لایه مانع (Cost) و تعیین نقطه شروع مسیر و به دست آوردن دو لایه وزن‌دار فاصله مانع (Cost Distance) و جهت مانع (Cost Direction).
- ث- معرفی دو نقشه اطلاعاتی فاصله از مانع، جهت مانع و نقطه پایان مسیر (هدف) به نرم‌افزار و به دست آوردن مناسب‌ترین مسیر با توجه به پهنه‌بندی انجام شده.

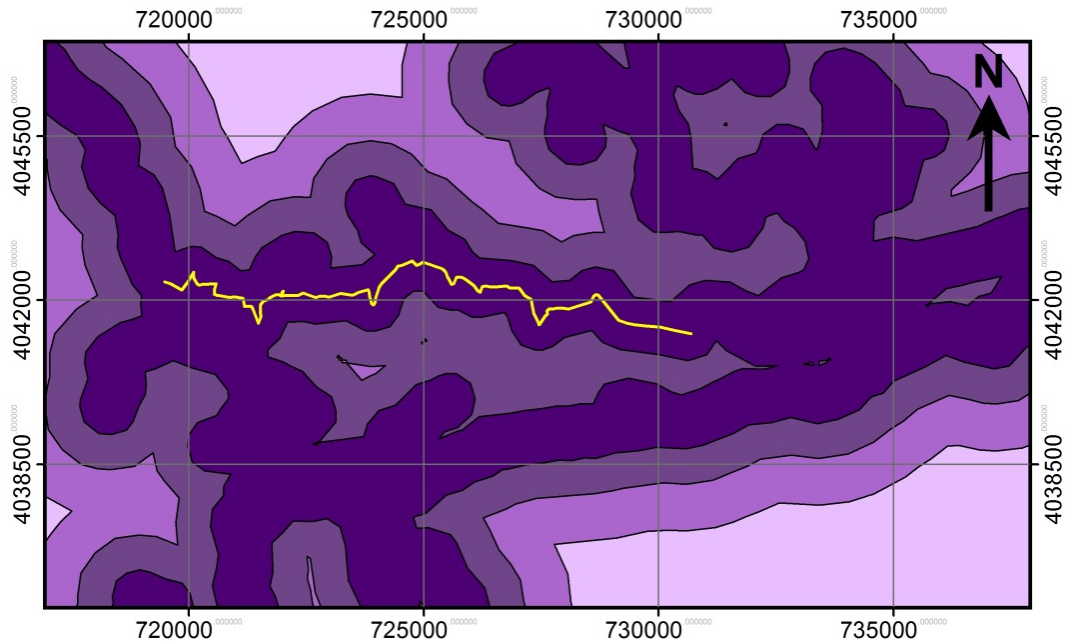
۱-۴- تهیه و کلاسبندی لایه‌های اطلاعاتی

برای مطالعه زمین لغزش‌های مسیر بندین - لایی و شناسایی مسیری با ایمنی و ثبات بالاتر، اقدام به بررسی و شناسایی پارامترهای زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی مختلف حاکم در محدوده مورد مطالعه گردید. به این منظور تحلیل‌ها و محاسبات با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System, GIS) صورت گرفت. در مرحله اول تعدادی از این عوامل در محیط نرم‌افزار

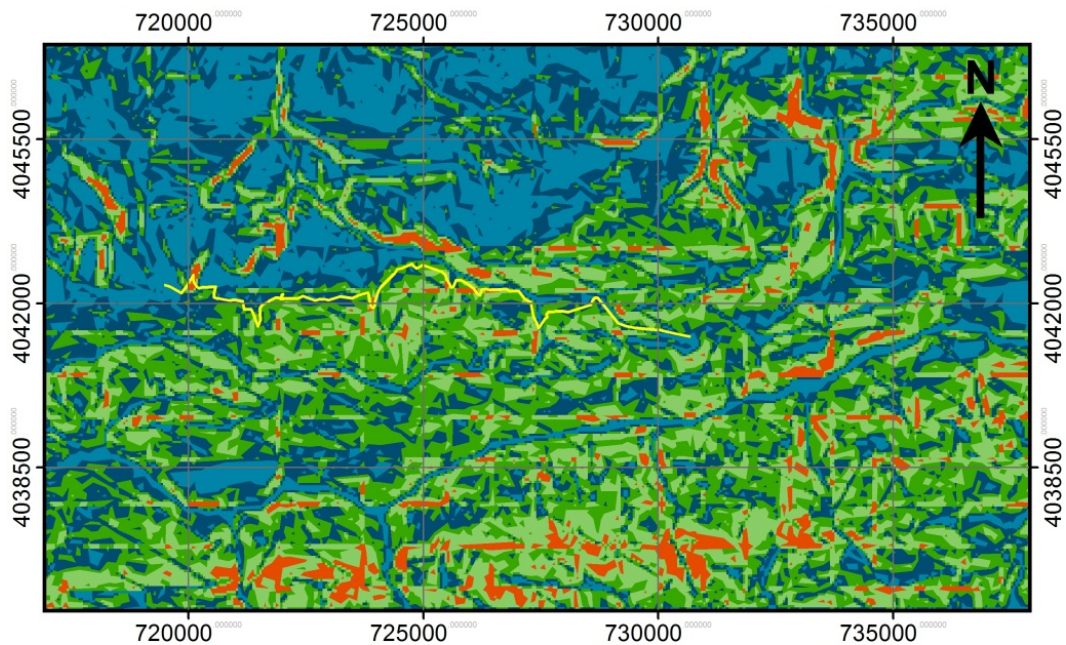
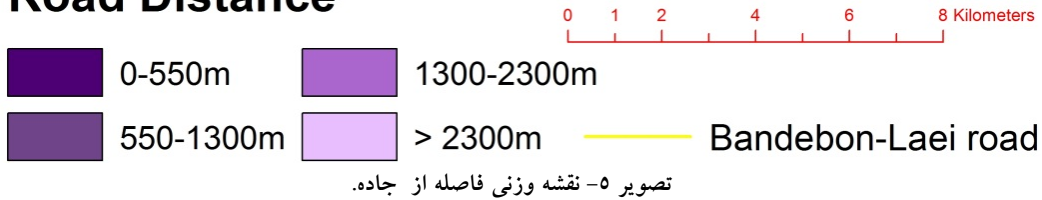
جدول ۲- لایه‌های رقومی مورد استفاده در تحقیق و منبع مورد استفاده برای تهیه این لایه‌های اطلاعاتی.

ردیف	لایه‌های مورد استفاده در تحقیق	منبع	نوع عارضه
۱	نقطه شروع مسیر	برداشت صحرائی با GPS	نقطه ای
۲	نقطه پایان مسیر	برداشت صحرائی با GPS	نقطه ای
۳	زمین لغزش	برداشت صحرائی با GPS	نقطه ای
۴	رودخانه	نقشه رقومی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰	خطی
۵	جاده	نقشه رقومی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰	خطی
۶	گسل	نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰	خطی
۷	زمین‌شناسی	نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰	ناحیه ای
۸	کاربری اراضی	نقشه کاربری اراضی منطقه ۱:۵۰۰۰۰	ناحیه ای
۹	شیب و جهت شیب	مدل ارتفاع رقومی (DEM) ۲۰ متر منطقه	ناحیه‌ای

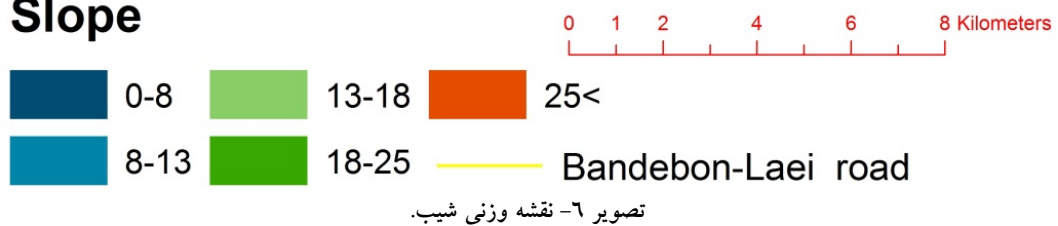


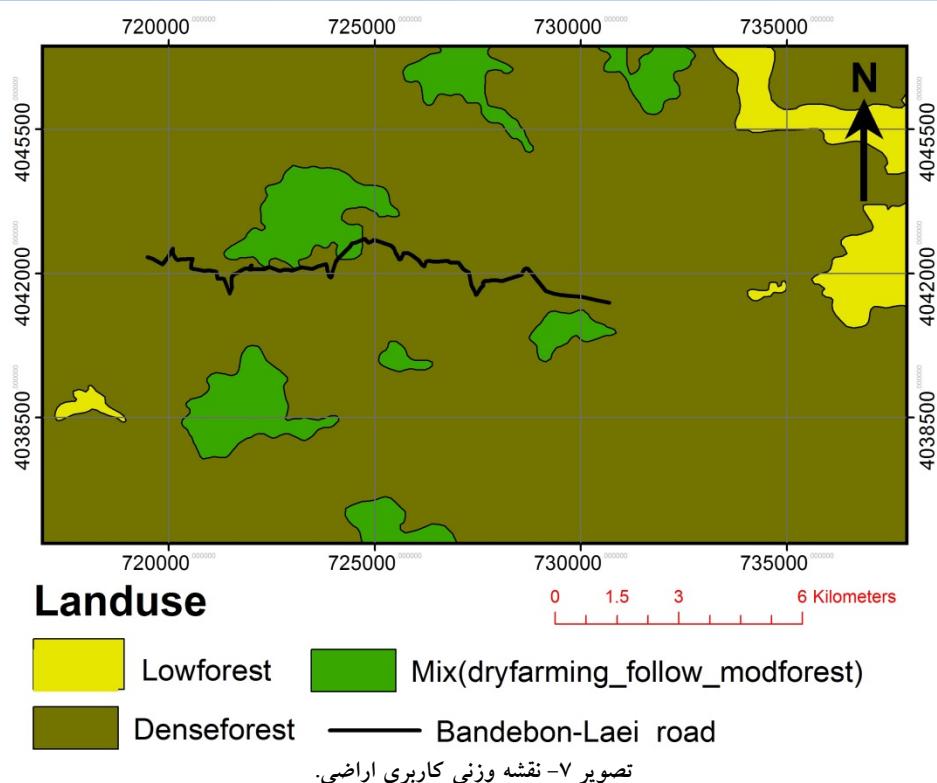


Road Distance



Slope





۱۴-۲- انتخاب روش پهنه‌بندی مناسب و وزندهی لایه‌ها بر اساس آن

در این پژوهش، لایه‌های اطلاعاتی فوق با توجه به شرایط زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی منطقه انتخاب و وارد سیستم جی‌آی‌اس (GIS) شدند. در مرحله بعد، هدف ایجاد لایه‌ای به عنوان لایه مانع (Cost) می‌باشد که بتوان با استفاده از آن و معرفی آن به نرم افزار، مناسب‌ترین مسیری را که لایه مانع کمترین وزن را در آن دارد (به عبارتی پایدارترین و مناسب‌ترین شرایط) مشخص و در نهایت رسم نمود. در ادامه باید با انتخاب یک روش پهنه‌بندی مناسب، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه را تهیه و به عنوان لایه مانع در ادامه کار مکانیابی مسیر جدید مورد استفاده قرار داد. در این تحقیق برای انجام پهنه‌بندی، از روش دو متغیره تراکم سطح استفاده گردید. در پهنه‌بندی با استفاده از روش آماری دو متغیره، علاوه بر لایه‌های اطلاعاتی حوزه مورد مطالعه، نقشه پراکنش زمین لغزش منطقه نیز نیاز است که قبلاً باید با هر کدام از نقشه‌های پایه حوزه قطع داده شود تا مساحت و تراکم زمین لغزش در هر واحد نقشه به دست آید. در این روش، وقوع زمین لغزش به عنوان متغیر وابسته و هریک از عوامل محیطی مؤثر به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند (Van Westen (1998). در ادامه با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲، وزن کلاسهای هر نقشه (لایه اطلاعاتی) محاسبه شد (جدول ۳).

$$\text{Darea} = A/B * 1000 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{Warea} = \text{Darea} - (C/D * 1000) \quad \text{رابطه (۲)}$$

A = مساحت لغزش‌های هر واحد

B = مساحت هر واحد

C = مساحت کل لغزش در حوزه

D = مساحت کل حوزه

Darea = تراکم سطح

Warea = وزن تراکم سطح

با توجه به رابطه ۱، برای محاسبه وزن تراکم سطح در ابتدا تراکم زمین لغزش‌ها در هر کلاس به دست می‌آید. برای به دست آوردن وزن اولیه (Darea)، نتیجه حاصل از رابطه ۱ در عدد ۱۰۰۰ ضرب می‌شود. در رابطه ۲ وزن نهایی هر کلاس از هر لایه (Warea) تراکم کل زمین لغزش‌ها، از نسبت کل زمین لغزش‌های منطقه به کل مساحت منطقه به دست آمده و نتیجه در عدد ۱۰۰۰ ضرب می‌شود. این مقدار از وزن اولیه (Darea) که در رابطه ۱ محاسبه شده بود کم می‌گردد. در نهایت برای تهیه نقشه پهنه‌بندی، نقشه‌های ساخته شده بر اساس وزن به دست آمده تلفیق شده و از جمع جبری وزن‌های واحدهای همپوشانی شده، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست می‌آید.

فتاحی‌بندی و همکاران: مکانیابی مسیر راه بندین-لایی در جنوب نکا با استفاده از GIS

جدول ۳- اطلاعات و وزنهای مربوط به پارامترهای مورد استفاده در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش تراکم سطح.

وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	تراکم زمین لغزش در هر طبقه	مساحت هر طبقه (km ²)	تعداد زمین لغزش در هر طبقه	طبقه بندی لیتولوژی
-۴۶/۵	۰/۰۳۲۰	۳۱/۳	۱	K ² ^lm
۶/۱	۰/۰۸۴۶	۱۳۰/۱	۱۱	M^m,s,l
۲۳/۹	۰/۱۰۲۴	۷۸/۱	۸	Pe^ml
-۷۸/۵	۰	۱۵	۰	...
وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	تراکم زمین لغزش در هر طبقه	مساحت هر طبقه (km ²)	تعداد زمین لغزش در هر طبقه	طبقه بندی فاصله از آبراهه (m)
۴/۶	۰/۰۸۳۱	۱۳۲/۴	۱۱	۰-۳۰۰
۱۲/۹	۰/۰۹۱۴	۶۵/۷	۶	۳۰۰-۶۰۰
-۱۵/۹	۰/۰۶۲۶	۴۸	۳	۶۰۰-۱۲۰۰
-۷۸/۵	۰	۸/۹	۰	>۱۲۰۰
وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	تراکم زمین لغزش در هر طبقه	مساحت هر طبقه (km ²)	تعداد زمین لغزش در هر طبقه	طبقه بندی فاصله از گسل (m)
۹۲/۳	۰/۱۷۰۸	۹۹/۵	۱۷	۲۳۰۰-۰
-۹/۶	۰/۰۶۸۹	۴۳/۵	۳	۲۳۰۰-۵۲۰۰
-۷۸/۵	۰	۳۷/۷	۰	۵۲۰۰-۸۲۰۰
-۷۸/۵	۰	۷۴/۱	۰	> ۸۲۰۰
وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	تراکم زمین لغزش در هر طبقه	مساحت هر طبقه (km ²)	تعداد زمین لغزش در هر طبقه	طبقه بندی فاصله از جاده (m)
۱۰۹/۳	۰/۱۸۷۸	۱۰۶/۵	۲۰	۵۵۰-۰
-۷۸/۵	۰	۷۶/۴	۰	۵۵۰-۱۳۰۰
-۷۸/۵	۰	۴۰/۵	۰	۱۳۰۰-۲۳۰۰
-۷۸/۵	۰	۳۱/۴	۰	>۲۳۰۰
وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	تراکم زمین لغزش در هر طبقه	مساحت هر طبقه (km ²)	تعداد زمین لغزش در هر طبقه	طبقه بندی شیب (درجه)
۵۵/۶	۰/۱۳۴۰	۵۲/۲	۷	۰-۸
۶۵	۰/۱۴۳۵	۶۹/۷	۱۰	۸-۱۳
-۶۴/۴	۰/۰۱۴۱	۷۱/۱	۱	۱۳-۱۸
-۳۸/۶	۰/۰۳۹۹	۵۰/۱	۲	۱۸-۲۵
-۷۸/۵	۰	۱۱/۸	۰	>۲۵
وزن هر طبقه در روش تراکم سطح	تراکم زمین لغزش در هر طبقه	مساحت هر طبقه (km ²)	تعداد زمین لغزش در هر طبقه	طبقه بندی کاربری زمین
-۲۰/۸	۰/۰۵۷۷	۲۵۵/۲	۱۳	جنگل متراکم
۲۹۸/۳	۰/۳۷۶۷	۱۸/۶	۷	جنگل تنک-کشاورزی
-۷۸/۵	۰	۱۰/۷	۰

لایه های اطلاعاتی فاصله از جاده ، فاصله از گسل و همچنین فاصله از آبراهه مشاهده می شود که بیشترین تراکم زمین لغزشها در کلاسه های نزدیکترین فواصل به این ساختارهای خطی رخ داده اند که این حالت نشان دهنده تاثیر گذار بودن عوامل فوق بر رخدادهای

با بررسی اطلاعات به دست آمده در جدول ۳ مشاهده می شود که در لایه اطلاعاتی لیتولوژی، واحدهای مارنی Pe ml و Mmsl به ترتیب مستعدترین سازندهای منطقه از لحاظ وقوع زمین لغزش هستند که مسیر مورد مطالعه نیز از میان این دو سازند عبور می کند. در مورد

کم طبقه بندی شد (تصویر ۸). این لایه در ادامه به عنوان لایه مانع (Cost) مورد استفاده قرار گرفت.

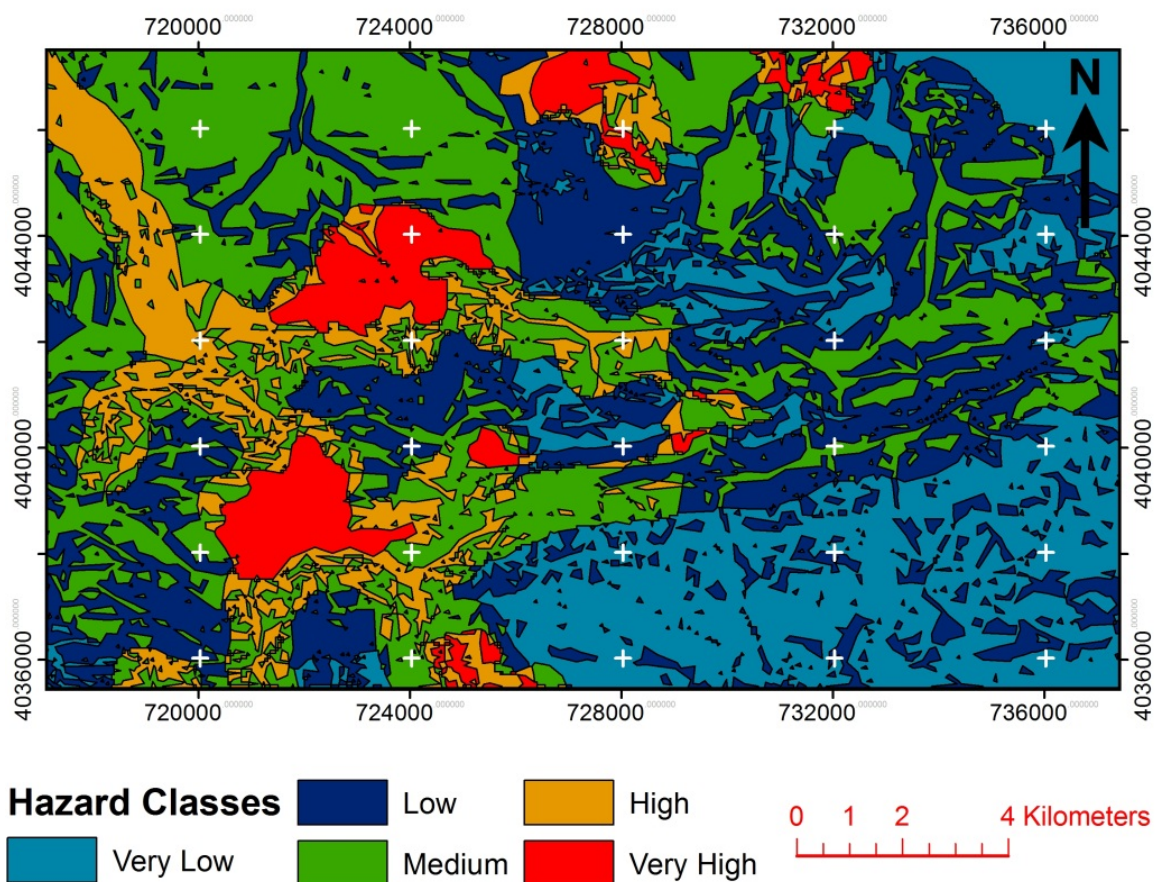
۴-۴- معرفی لایه مانع (Cost) و نقطه شروع مسیر و به دست آوردن دو لایه اطلاعاتی دیگر

در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در لایه رستری بیشترین امتیاز به بدترین شرایط تعلق دارد (یعنی همان ویژگی که این نقشه را به عنوان لایه مانع برای ادامه کار مناسب می‌سازد). در مرحله بعد برای تکمیل اطلاعات مورد نیاز به منظور پیدا کردن کوتاه‌ترین و مناسب‌ترین مسیر، با معرفی این لایه به عنوان لایه مانع (Cost) به نرم افزار و همچنین تعیین نقطه شروع مسیر، با استفاده از امکانات GIS دو لایه رستری وزن دار دیگر به نام فاصله از مانع (Cost Weighted Distance) و جهت مانع (Cost Weighted Direction) به دست آمد. دو لایه فاصله از مانع و جهت مانع دارای ویژگی‌هایی هستند که به ترتیب در پیدا کردن کوتاه‌ترین فاصله و مناسب‌ترین جهت با توجه به موانع موجود (کلاسه‌های بالای خطر در نقشه پهنه‌بندی) برای یافتن مسیر مناسب کمک می‌کنند (تصویر ۱۰ و ۱۱).

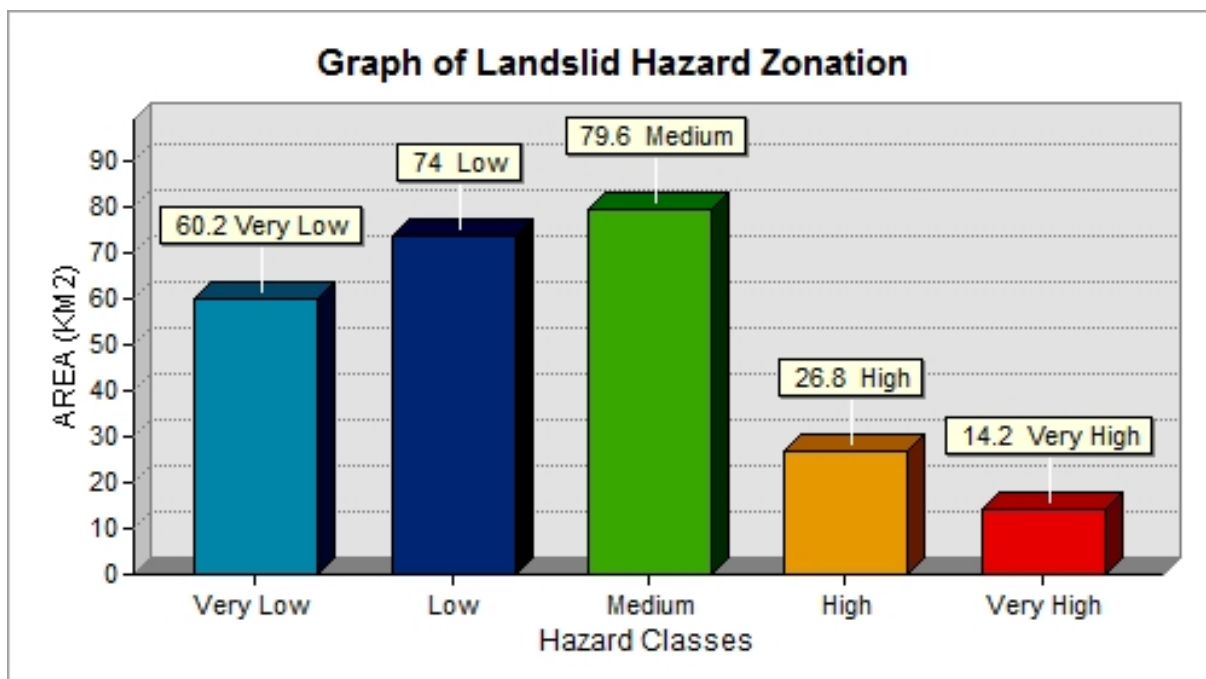
لغزشی منطقه می‌باشد همچنین موثرترین شیب در رخدادهای لغزشی منطقه کلاس شیب ۸-۱۳ درجه تعیین شد و در لایه اطلاعاتی کاربری زمین بیشترین تراکم زمین لغزش‌ها مربوط به نواحی تغییر کاربری یافته از پوشش جنگلی به زمین‌های کشاورزی و جنگل‌های تنک شده می‌باشد.

۴-۳- تلفیق لایه‌های وزن دهی شده و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و طبقه‌بندی آن

در ادامه بر اساس توضیحات ارائه شده در مورد روش تراکم سطح در بخش قبل و با استفاده از رابطه ۲، تمام لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده (به جز لایه اطلاعاتی جهت شیب که با مشخص شدن تأثیر کم آن در رخدادهای لغزشی منطقه در مراحل اولیه کار تحقیق حذف شد) در این مطالعه طبق جدول ۳ امتیاز دهی شدند. سپس اطلاعات به دست آمده در سیستم جی‌آی‌اس (GIS) با هم ترکیب شده و نقشه وزنی تجمعی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمد. در نهایت با توجه به درصد فراوانی تجمعی پیکسل‌ها، نقشه پهنه‌بندی نهایی در پنج کلاس خطر خیلی بالا، خطر بالا، خطر متوسط، خطر کم و خطر خیلی



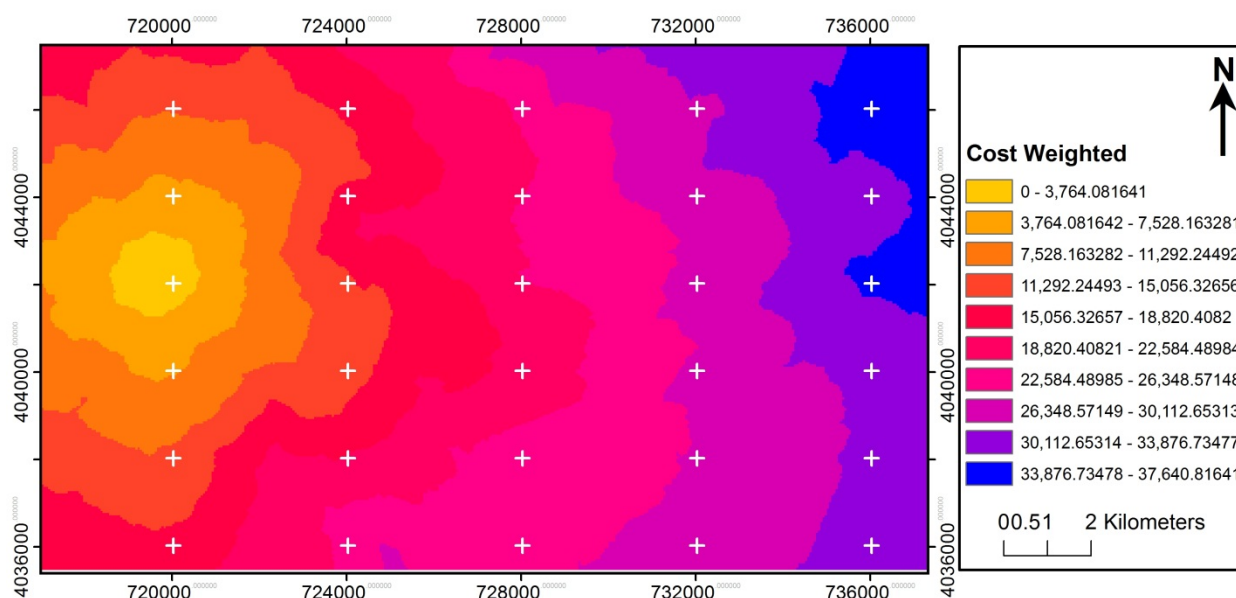
تصویر ۸- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش تراکم سطح.



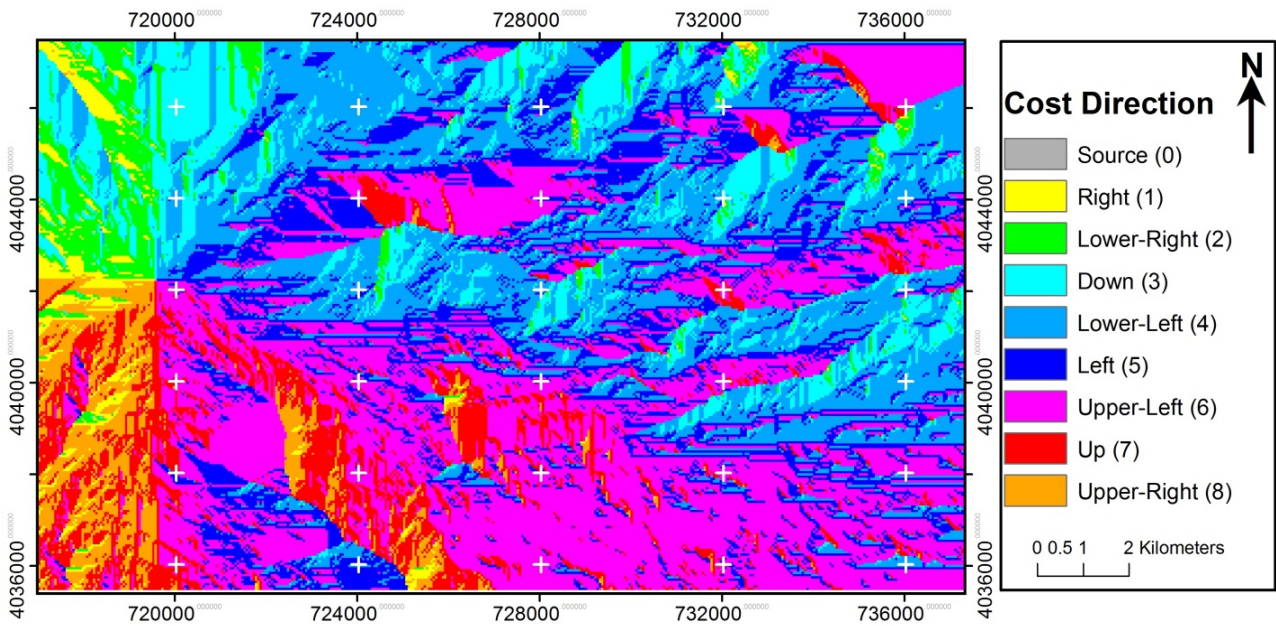
تصویر ۹- مساحت هر یک از کلاسهای خطر در نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش.

جدول ۴- مساحت و درصد مساحت هر یک از کلاسهای خطر.

درصد مساحت	مساحت (km ²)	کلاسهای خطر
۲۳/۶	۶۰/۲	خیلی کم
۹/۱	۷۴	کم
۳۱/۳	۷۹/۶	متوسط
۱۰/۵	۲۶/۸	زیاد
۵/۶	۱۴/۲	خیلی زیاد



تصویر ۱۰- لایه رستری فاصله از مانع (Cost Weighted Distance).

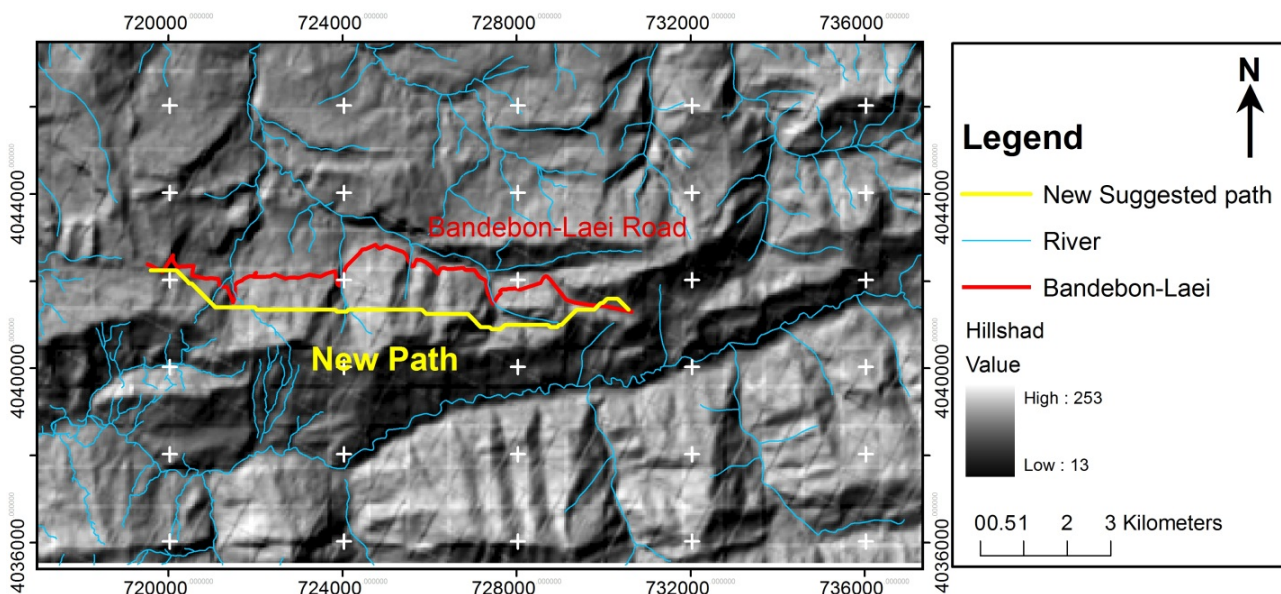


تصویر ۱۱- لایه رستری جهت نسبت به مانع (Cost Weighted Direction).

به وزن و ارزش لایه مانع می‌باشند، فاصله و جهت مناسب بین دو نقطه شروع و پایان مسیر به وسیله نرم افزار تشخیص داده شد. همچنین لایه رقمی کوتاه‌ترین و مناسب‌ترین مسیر با توجه به شرایط تعریف شده به دست آمد (تصویر ۱۲). در این روش فاصله مستقیم نیست و موانع موجود در مسیر بیکسکال تا منبع در نظر گرفته می‌شوند.

۴-۵- تعیین مسیر جدید با استفاده از اطلاعات به دست آمده

در نهایت با تعیین نقطه پایان مسیر یا هدف و معرفی دو لایه وزندار فاصله از مانع (Cost Weighted Distance) و جهت مانع (Cost Weighted Direction) به نرم افزار آرک جی‌ای اس (Arc GIS) که در واقع مشخص کننده فاصله‌ها و جهت‌های وزن دهی شده با توجه



تصویر ۱۲- موقعیت مسیر لغزشی فعلی و مسیر پیشنهاد شده جدید.

پژم، م.، ۱۳۷۵، "پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌های در حوضه آبخیز الموت رود"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۹۰ ص.

جلالی، ن.، ۱۳۸۱، "ارزیابی روش‌های متداول پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌های و معرفی روش سازگار در اقلیم نیمه مرطوب حوضه آبخیز طالقان"، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، شماره ثبت ۸۳۳۶۰، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

حق‌شناس، ا.، ۱۳۷۴، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در طالقان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۳ ص.

درویش‌زاده، ع.، ۱۳۸۰، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات امیرکبیر، ۹۰۲ ص.

رهنماریاد، ج.، یادگارزائی م. ح. و کنگی، ع.، ۱۳۸۹، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه اسکل آباد خاش با استفاده از روش آماری دو متغیره و سیستم اطلاعات جغرافیایی"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۶ (۴): ۲۷۷-۲۵۷.

سفیدگری، ر.، ۱۳۸۱، "ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (مطالعه موردی حوضه دماوند)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۵۹ ص.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، ۱۳۸۴، "نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۵۰۰۰۰"، شیت سوچلما، برگ شماره 6762NW، شیت بهشهر، برگ شماره 6763SW، شیت نکا، برگ شماره 6663SE، شیت سادات محله، برگ شماره 6662NE.

سیاریور، م.، ۱۳۷۸، "پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش در جنوب خلخال-استان اردبیل"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۹۳ ص.

عنایتی‌مقدم، ع.، قاضی‌فرد، ا.، صفایی، ه. و شیرانی، ک.، ۱۳۹۰، "ارزیابی عوامل و ارائه‌ی راهکار جهت تثبیت زمین‌لغزش در منطقه پادانا سیمیر"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۷ (۱): ۵۲-۴۱.

فتاحی‌بندی، م.، ۱۳۸۶، "پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در حوزه آبریز بابلرود"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ۲۰۳ ص.

کهی‌میانجی، ی.، ۱۳۷۷، "تحلیل چند متغیره آماری احتمال وقوع زمین‌لغزش با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه طالقان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۰۴ ص.

متکان، ع. ا.، سمیعا، ج.، پورعلی، س. ح. و صفایی، م.، ۱۳۸۸، "مدل‌های منطبق‌فازی و سنجش از دور جهت پهنه‌بندی خطرزمین‌لغزش در حوضه آبخیز لاجیم"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۵ (۴): ۳۲۵-۳۱۸.

نیک‌اندیش، ن.، ۱۳۷۸، "بررسی نقش عوامل هیدرواقلم در وقوع حرکات توده‌ای با توجه به نقش رسوب‌زائی آنها در حوضه کارون"،

با توجه به تصویر ۹ و داده‌های ارائه شده در جدول ۴، مشاهده شد که ۵/۶ درصد از مساحت منطقه در پهنه خطر خیلی زیاد و ۱۰/۵ درصد از منطقه در پهنه خطر زیاد قرار گرفته است. با بررسی لایه‌ها و پارامترهای مورد استفاده در پهنه‌بندی مشاهده شد که این دو پهنه با خطر بالا در اطراف جاده‌ها و مناطق جنگلی تخریب شده و در حال کشاورزی متمرکز شده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج به دست آمده از این تحقیق مشخص شده است که منطقه مورد مطالعه به طور کلی از نظر ذاتی مستعد وقوع زمین‌لغزش می‌باشد ولی آنچه باعث تحریک بیشتر ناپایداریهای دامنه‌ای در طی سال‌های گذشته شده است تغییرات وسیع کاربری زمین‌های جنگلی و احداث جاده بدون در نظر گرفتن خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. مسیر مورد مطالعه از سنگهای مارنی عبور می‌کند. این نوع سنگها به دلیل دارا بودن کانی‌های رسی و زهکشی ضعیف آب (با توجه به بالا بودن بارش در منطقه) باعث بالا رفتن فشار آب منفذی و ناپایداری دامنه‌ها می‌گردد. بیشترین تراکم زمین‌لغزش در واحدهای مارنی PE ml و Mmsl مشاهده شده که این دو واحد سنگی از مستعدترین سازندهای لغزشی در استان مازندران به شمار می‌آیند. علاوه بر موارد ذکر شده نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که وجود گسل، آبراهه و جاده نقش مثبت در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه داشته‌اند. شیب موثر در وقوع اکثر زمین‌لغزش‌ها بین ۸ تا ۱۳ درجه می‌باشد. بررسی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نشان می‌دهد که ۵/۶ درصد از مساحت منطقه در پهنه خطر خیلی زیاد و ۱۰/۵ درصد از منطقه در پهنه خطر زیاد قرار گرفته است. بیشترین مساحت از منطقه را پهنه خطر متوسط (۳۱/۳ درصد) تشکیل می‌دهد و در نهایت پهنه‌های خطر کم و خیلی کم به ترتیب ۲۹/۱ و ۲۳/۶ درصد منطقه را پوشش می‌دهند. پهنه‌هایی با خطر زیاد و خیلی زیاد در اطراف مناطق جنگلی تخریب شده و با کاربری فعلی کشاورزی و جاده‌های منطقه متمرکز شده‌اند.

مراجع

باقری‌مهروزی، ا.، ارومیه‌ای، ع. و نیکودل، م. ر.، ۱۳۸۸، "پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در تاقدیس کنگان به روش آنالوگان"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۵ (۳): ۲۱۲-۲۰۶.

بداغی، ب.، ۱۳۷۶، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخشی از حوضه شاهرود"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۵۸ ص.

- Uromeihy, A. & Safaie, M., 2000, "Effect of landuse on the development of slop instability in the neka-rood Watershed, Iran", *J. Nepal Geological Soc.*, Vol. 22: 421-428.
- Wang, W. D., Guo, J., Fang, L. G. & Chang, X. S., 2011, "A subjective and objective integrated weighting method for landslides susceptibility mapping based on GIS", *Environmental Earth Sciences*, Vol. 65 (6): 1705-1714.
- Yong, Li., Xiaoyi, F. & Genwei, C., 2006, "Landslide and rock fall distribution by reservoir of stepped hydropower station in the Jinsha River", *Journal of Natural Sciences, Wuhan University Journals Press*, Vol. 11 (4): 801-805.
- رساله دکتری هیدرواقلیم، دانشگاه اصفهان، ۱۸۱ ص.
- وحدتی دانشمند ف. و سعیدی ع.، ۱۳۶۹، "قشه زمین‌شناسی ساری، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Backhaus, E. & Rahnama-Rad, J., 1991, "Tektonik der Messeler Scholle, Verwittebarkeit des Olschiefers und hydrogische Einflüsse auf die Rutschgefährdung ihrer Gesteinsformationen, insbesondere der mitteleozanen Messeler Schiefer", *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, Vol. 139:1-69.
- Chow, V. T., Maidment, D. R. & Mays, L. W., 2009, "Applied Hydrology", *cGraw-Hill*, NY, 554 pp.
- Jaiswal, P., van Westen, C. J. & Jetten, V., 2011, "Quantitative assessment of landslide hazard along transportation lines using historical records", *Landslides*, doi: 10.1007/s10346-011-0252-1.
- Lan, H. X., Zhou, C. H., Wang, L. J., Zhang, H. Y. & Li, R. H., 2004, "Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed", *Engineering Geology in China*, Vol. 76 (1-2): 109-128.
- Nandi, A. & Shakoor, A., 2010, "A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses", *Engineering Geology*, Vol. 110: 11-20.
- Rossi, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., Mondini, A. C. & Peruccacci, S., 2010, "Optimal landslide susceptibility zonation based on multiple forecasts", *Geomorphology*, Vol. 114 (3): 129-142.
- Pradhan, B. & Lee, S., 2010a, "Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling", *Environmental Modelling and Software*, Vol. 25 (6): 747-759.
- Pradhan, B. & Lee, S., 2010b, "Regional landslide susceptibility analysis using backpropagation neural network model at Cameron Highland, Malaysia", *Landslides*, Vol. 7 (1): 13-30.
- Sarkar, S. & Kanungo, D. P., 2003, "Landslides in relation to terrain parameters, A remote Sensing and GIS approach", *Proceeding of Map India 2002*, 5 pp.
- Suh, J., Choi, Y., Roh, T. D., Lee, H. J. & Park, H. D., 2011, "National-scale assessment of landslide susceptibility to rank the vulnerability to failure of rock-cut slopes along expressways in Korea", *Environmental Earth Sciences*, Vol. 63 (3), 619-632.
- Van Westen, C. J., 1998, "GISSIZ: Geographic information systems in slope instability zonation, Case study of the Kakany area, Nepal", Vol. I, II, *Netherlands, Ensched*, 63 pp.
- Van Westen, C. J. & Soeters, R., 1998, "Landslidehazard mapping", *The Kakani Area (Nepal) 1, GISSIZ, Version 2, (ITC), Netherlands, Ensched*
- Varnez, D. J., 1984, "Landslide hazard zonation—A review of principles and practice: United Nations Educational", *Scientific and Cultural Organization, Paris*, 63 pp.