فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی
سال ۸ (۱۳۹۱)، شماره ۲: ۱۵۸-۱۴۷
www.appliedgeology.ir

پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش بر روی جاده تهران-چالوس و بزرگراه در دست احداث

آرش متشرعی*[۱]، جعفر قمی[۱]، اکرم افتخاری[۲]، بهروز پوزش[۳] و مهدی شاهمماری[۴]

۱) استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، arash_mot@yahoo.co.uk
۲) دانشجوی کارشناسی ارشد گروه نقشه‌برداری، دانشکده فنی، دانشگاه تهران
۳) دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود
٤) دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس
*) عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۹۱/۲/۱۷ ؛ دریافت اصلاح شده: ۹۱/٦/۲۵؛ پذیرش: ۹۱/٦/۲٦؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۱/۷/۲۰

چکیده

جاده توریستی چالوس، یکی از مهمترین راه‌های ارتباطی میان استان‌های تهران، البرز و شرق استان مازندران می‌باشد. این جاده یکی از پر ترددترین مسیرهای داخلی کشور است. احداث بزرگراه در حال ساخت تهران- چالوس، بار ترافیکی این مسیر را کاهش خواهد داد. احتمال وقوع زمین لغزش بر روی این جاده‌ها به دلیل عبور از میان رشته کوه‌های البرز افزایش می‌یابد. از این‌رو بررسی خطر زمین لغزش بر روی قسمت‌های مختلف جاده و بزرگراه، از اهمیت بالایی برخوردار است. روند تعیین خطر زمین لغزش جاده و بزرگراه شامل دو مرحله می‌باشد. در مرحله اول، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر روی دامنه‌های کناری جاده چالوس و بزرگراه و در حوزه رودخانه چالوس صورت گرفت. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی عواملی از قبیل توپوگرافی، زمین‌شناسی، گسل‌ها، هیدرولوژی و پوشش گیاهی در نظر گرفته شد. در مرحله دوم، برای تعیین خطر بر روی جاده و بزرگراه، عواملی مانند آزیموت شیب بیشینه، فاصله جاده از خاکریزهای کناری و مساحت مؤثر دامنه‌ها در نظر گرفته شد. جاده و بزرگراه از نظر وقوع زمین لغزش، در ٤ کلاس بسیار خطرناک، خطرناک، خطر متوسط و بی‌خطر طبقه بندی شدند. طبق نتایج بدست آمده، از کل طول جاده در منطقه مورد مطالعه که ٦٦ کیلومتر است، ١٦ درصد دارای خطر بسیار زیاد و ٤٢ درصد، دارای خطر زیاد برای وقوع زمین لغزش می‌باشد. همچنین از ۱۷ کیلومتر طول بزرگراه در حال ساخت، ۱۲ درصد دارای خطر خیلی زیاد و ۳۳ درصد دارای خطر زیاد برای وقوع زمین لغزش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آزیموت، البرز، پوشش گیاهی، توپوگرافی.

۱- مقدمه

طبق تعریف انجمن زمین‌شناسی مهندسی، زمین لغزش جابجایی توده‌ای از مواد به سمت پایین بر روی یک شیب (نصیری ۱۳۸۳) می‌باشد. با توجه به طبقه‌بندی وارنر (Varnes 1978)، زمین‌لغزش ها بر اساس دو پارامتر نوع حرکت مواد و نوع مواد درگیر قابل تقسیم می‌باشند. این طبقه بندی ساده ترین و رایج ترین نوع دسته بندی زمین لغزش‌ها می باشد. حرکت یا ایستایی توده سنگ و یا خاک بر روی دامنه، به میزان شیب دامنه (θ) و ضریب اصطکاک (μ) سطح بستگی

Archive of SID
www.SID.ir

دارد. هرچه شیب دامنه بیشتر باشد امکان ریزش توده سنگ یا خاک نیز بیشتر خواهد بود. هم‌چنین ضریب اصطکاک سطح، خود متاثر از عوامل مختلفی از جمله جنس خاک یا سنگ، میزان پوشش گیاهی، زهکشی و میزان رطوبت سطح می‌باشد. زمین لغزش‌ها نقش مؤثری در تخریب جاده‌های ارتباطی، تخریب مراتع و مناطق مسکونی، فرسایش و ایجاد رسوب در حوزه‌های آبخیز دارند. حوزه رودخانه کرج-چالوس و هم‌چنین جاده چالوس در شمال کشور، نمونه‌ای بارز از وقوع خسارات ناشی از زمین‌لغزه می‌باشند. در مورد پهنه‌بندی لغزش‌ها و حرکات توده‌ای، تحقیقات و بررسی‌های زیادی در سراسر جهان انجام شده است و محققان مختلف با استفاده از انواع روش‌ها، طبقه بندی‌های متعددی را ارائه داده‌اند. لی و مین (Lee & Min 2001) با استفاده از روش رگرسیون خطی، پهنه‌بندی زمین لغزش در کشور کره را انجام دادند. لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در این تحقیق شامل شیب، جهت شیب، ضخامت خاک، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی و پوشش گیاهی می‌باشند. در ایران بیشتر پژوهش‌های مربوط به مدل‌سازی و پهنه بندی خطر زمین لغزش به اوایل دهه هفتاد باز می‌گردد. اسماعیلی و احمدی (Esmaili & Ahmadi 2003). عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش را بررسی و بر اساس هفت پارامتر، پهنه‌بندی خطرهای حاصل از آن را به دو روش رگرسیون چند متغیره و تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy process , AHP) انجام دادند. در نهایت مشخص شد که روش تحلیل سلسله مراتبی نسبت به روش رگرسیون چند متغیره از دقت بیشتری برخوردار است. با پیشرفت فناوری سامانه اطلاعات مکانی، مدل سازی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با دقت و سهولت بیشتری انجام می‌شود. بطوریکه هریک از پارامترهای مؤثر به صورت لایه‌های اطلاعاتی به شکل برداری و رستری وارد محیط جی‌آی‌اس (Geospatial Information System, GIS) می‌شوند. در ادامه و با توجه به قابلیت این نرم افزار در هم‌پوشانی و وزن‌دهی لایه‌ها، نتیجه به صورت یک نقشه خواهد بود که نشان‌دهنده‌ی میزان پتانسیل هر منطقه برای وقوع زمین لغزش می‌باشد. یانگ (Yong et al. 2006) نیز تحقیقات مشابه‌ای در این زمینه انجام داده است. رهنماراد و همکاران (۱۳۸۹) نیز در منطقه اسکل آباد خاش، نقشه ی پراکنش زمین لغزش ها را در محیط (GIS) تهیه نمودند.

۲- موقعیت محدوده مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه، در حوضه‌ی آبریز رودخانه چالوس از شهر چالوس تا کف پیچ هزار چم واقع شده است. این منطقه در عرض جغرافیایی ´۱۲ °۳۶ تا ´۳۶ °۳۶ و طول جغرافیایی ´۱۲ °۵۱ تا ´۲۳ °۵۱ قرار دارد. مساحت حوزه ۱۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. این منطقه شامل جاده چالوس است که از دره رودخانه چالوس عبور می‌کند، طول جاده نیز در حدود ٦٦ کیلومتر می‌باشد. بزرگراه تهران-چالوس (از شهر چالوس به سمت تهران)، به طول ۱۷ کیلومتر نیز در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. موقعیت منطقه مورد مطالعه در (تصویر ۱) نشان داده شده است.

۳- داده‌ها

در این تحقیق، برای بررسی عامل زمین‌شناسی بر روی وقوع زمین لغزش، از نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان نقشه‌برداری) نقشه‌ی گسترشگاه‌های تیپ‌های درختی و درختچه‌ای حوزه آبریز چالوس با مقیاس ۱:۸۰۰۰۰ (یزدیان و شیخ الاسلامی ۱۳۸۹) و نقشه زمین‌شناسی منطقه در دو شیت مرزن آباد و چالوس با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، (سازمان زمین‌شناسی کشور سال ۱۳۸۲) استفاده شد. در ارزیابی این پژوهش، از داده‌های میدانی (مکان‌های وقوع زمین لغزش در منطقه) نیز استفاده گردید.

۴- روش تحقیق

۴-۱- تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

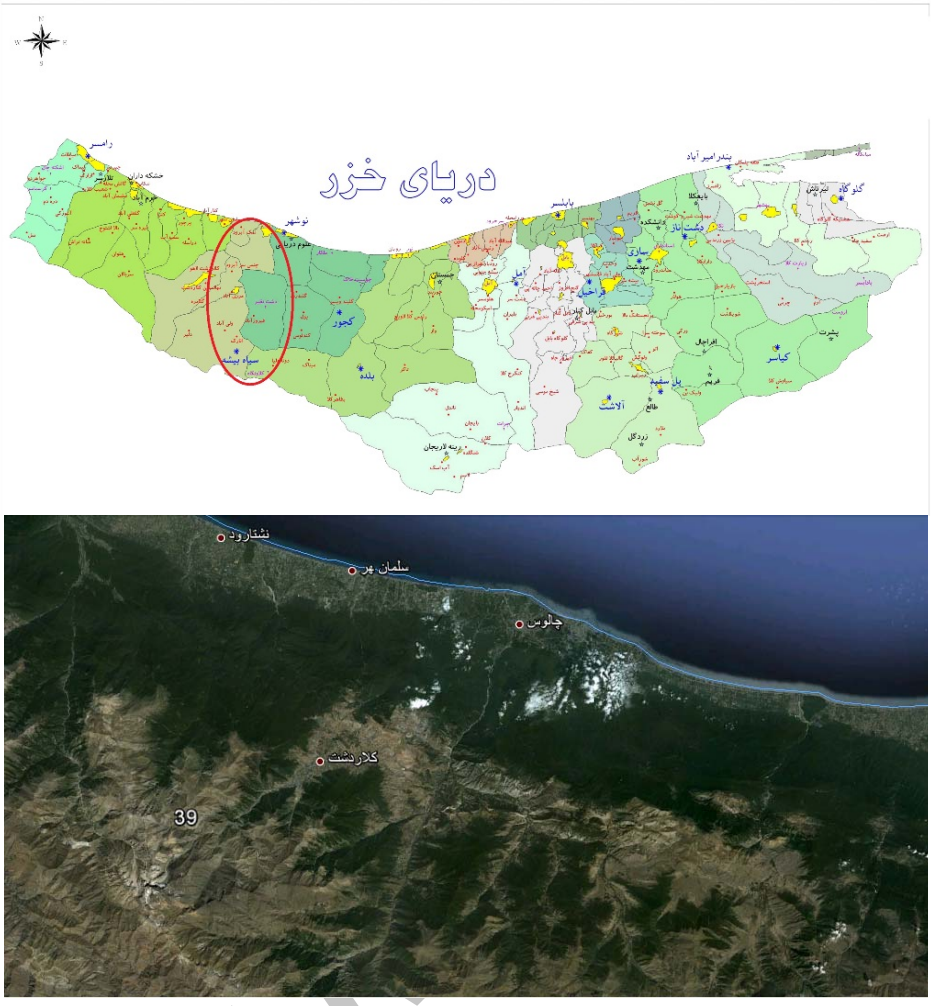
در مرحله اول، باید نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه روخانه چالوس تهیه شود. سپس باید عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش بررسی و نقشه پهنه‌بندی آنها تهیه گردد. در ادامه با روی هم قرار گرفتن این نقشه‌ها و اختصاص وزن مناسب برای هر کدام، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه رودخانه چالوس، تهیه می‌شود. عوامل مؤثر مورد مطالعه در این پژوهش عبارتند از شیب، بافت زهکش، زمین‌شناسی، گسل، پوشش گیاهی و اقلیم که در ادامه تشریح خواهند شد.

۴-۱-۱- شیب

بررسی وضعیت شیب از آن جهت با اهمیت است که مکانیسم بسیاری از جابجایی‌های مربوط به مواد سطحی و فرایندهای حمل، تابع میزان شیب است. در این منطقه با توجه به دامنه ارتفاعی بالا، بخش‌های مرتفع بسیار پرشیب بوده و دارای سیمای فرسایشی شدید و قابل توجهی هستند. برای تهیه نقشه شیب، از مدل ارتفاعی رستری استفاده شده است، سپس با توجه به خطواره‌ها که همان خط الراس‌ها و خط القعرها می‌باشند، منطقه بندی بر روی منحنی‌های میزان انجام شد. میزان متوسط شیب نیز در هر منطقه مشخص شده و منطقه از نظر شیب به ۸ کلاس تقسیم بندی گردید (تصویر ۳). مناطق با شیب بیشتر

Archive of SID
www.SID.ir

دارای پتانسیل بیشتری برای وقوع زمین لغزش می‌باشند. در تصویر ۲، نحوه پهنه‌بندی شیب و تراکم شیب در هر ناحیه، ارائه شده است.



تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی و تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه.

۴-۱-۲- بافت زهکش

زمین‌های با بافت ریز، غیر قابل نفوذ بوده و سبب جاری شدن آب در سطح زمین می‌شوند. آب در زمین درشت بافت مانند شن و ماسه نفوذ کرده و شبکه آبراه‌های درونی را ایجاد می‌کند. با تعیین نوع و طول آبراه‌ها در هر حوزه آبریز، عامل چگالی زهکش محاسبه می‌شود. چگالی زهکش کم، در نواحی مقاوم در برابر فرسایش و لایه‌های زیرین نفوذپذیر با پوشش گیاهی متراکم و برجستگی کم ایجاد می‌شود. چگالی زهکش زیاد نیز در نواحی با لایه‌های غیر قابل نفوذ که دارای پوشش گیاهی پراکنده، ضعیف و برجستگی زیاد هستند، ایجاد می‌شود (خلج ۱۳۸۵). بنابراین هرچه چگالی زهکش بیشتر باشد، امکان ایجاد خطر لغزش نیز بیشتر خواهد بود. برای تعیین میزان چگالی زهکش در منطقه، حوزه‌های آبریز برای رودخانه چالوس، تعداد آبریزها و فاکتور چگالی زهکش برای هر حوزه با توجه به مساحت تعیین می‌شود. با استفاده از رابطه ۱، می‌توان چگالی زهکش را محاسبه نمود.

رابطه (۱)
$$DD = \frac{I1+I2+I3}{BA}$$

در این رابطه، I1,I2,I3 به ترتیب طول زهکش‌های درجه اول، دوم و سوم و BA مساحت حوزه آبریز می‌باشد. در تصویر ٤ نتیجه پهنه‌بندی چگالی زهکش در حوزه رودخانه چالوس، نمایش داده شده است.

۴-۱-۳- زمین‌شناسی

در این پژوهش، از نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در دو شیت چالوس و مرزن آباد استفاده شد. منطقه مورد مطالعه از ابتدای جاده شهر چالوس تا کف پیچ هزار چم در ناحیه البرز مرکزی قرار دارد. این بخش از البرز مرکزی در تمامی محدوده‌ی البرز بیشترین ارتفاع را داشته و به سبب فرسایش و حفر شدگی، نامتقارن ترین بخش در دامنه شمالی و جنوبی دره محسوب می‌گردد. شیب توپوگرافی دامنه شمالی بیشتر از دامنه جنوبی آن است. منطقه مورد مطالعه دارای ارتفاعات بیشتر از ۳۰۰۰ متر می‌باشد. گسل‌ها و راندگی‌هایی که ساختار زمین‌شناسی منطقه را تشکیل داده‌اند، در اثر

www.SID.ir

فعالیت، باعث به وجود آمدن الگوی کوه- دره در چند نوبت شده است. انواع سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی در منطقه رخنمون پیدا کرده و همه ردیف چینه نگاری از سازند چالوس در انباشته‌های کواترنر در منطقه شناسایی شده است. نهشته‌های کواترنر بیشتر در منطقه مرزن آباد تا دشت نظیر، قابل مشاهده است.

بر اساس وجود عوامل فرسایشی، فاکتورهای مهم رطوبت بالا و ارتفاع زیاد سازندها (که میزان مقاومت متفاوتی در برابر فرسایش و جایگاه ساختاری مربوط را دارند)، ریخت‌های بسیار متنوعی ایجاد شده است. نهشته‌های نسبتاً نرم سازند شمشک و رسوبات مارنی- آهکی، پستی و بلندی های منطقه را پدید آورده‌اند. سازند چالوس از مهمترین سازندها در این منطقه است. این سازند شامل توف، بازالت، سنگهای آتشفشانی تفکیک نشده، سنگ آهک ماسه‌ای و سنگ آهک مارنی است. سازند شمشک از دیگر سازندهای مهم منطقه می‌باشد. این سازند به ضخامت ۱۰۷۷ متر، شامل ماسه سنگ رس سنگ و شیل است. همچنین این سازند از چهار بخش ماسه سنگ زیرین، زغالدار زیرین، ماسه سنگ بالایی و بخش زغالدار بالایی تشکیل شده است. لایه زیرین این سازند، با دگر شیبی روی آهک های سیاه رنگ متعلق به سازند دورود را می‌پوشاند و خود با مرز مشخص، زیر سازند دلیچای قرار می‌گیرد. مطالعات زمین‌شناسی از آن جهت دارای اهمیت است که هر لایه زمین‌شناسی میزان خرد شدگی مشخصی دارد و میزان خردشدگی سنگ، به شدت بر روی ریزش آن تاثیر دارد. به طور کلی میزان خرد شدگی لایه به اندازه بلوک آن بستگی دارد. هر چه اندازه بلوک کمتر باشد، میزان هوازدگی در لایه بیشتر بوده، بنابراین میزان خرد شدگی در اثر فشار و تغییرات هوا نیز بیشتر خواهد بود. بر این اساس پارامتری متاثر از اندازه بلوک و هوازدگی برای هر لایه تعریف می‌شود. با تعیین پارامتر و اعمال آن بر نقشه زمین‌شناسی منطقه، نقشه ای حاصل شد که میزان ریزش هر واحد زمین‌شناسی را در دامنه‌های ناپایدار مشخص می‌کند. نتیجه اعمال پارامتر بر روی واحدهای زمین‌شناسی منطقه در تصویر ۵ ارائه شده است.

۴-۱-۴- گسل‌ها

منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر سه گسل اصلی البرز، خزر و کندوان می‌باشد. فعالیت گسل های مزبور در طول زمان، تاثیر بسیار زیادی در میزان خردشدن سنگ‌ها و ریزشی بودن دامنه‌ها دارند. گسل‌های فرعی و پنهان منطقه نیز در ریزش دامنه‌ها تاثیر دارند. گسل‌های منطقه از نقشه زمین‌شناسی استخراج شده است و به صورت عارضه برداری در سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد تحلیل قرار گرفته است. به هر گسل بر اساس میزان تاثیر بر روی ناپایداری دامنه‌ها ضریبی داده شد که مشخص کننده‌ی میزان تاثیر آن در وقوع زمین لغزش می‌باشد. از آنجایی‌که گسل‌های فعال تاثیر بیشتری بر ناپایداری دامنه‌ها دارند، ضریب بالاتری برای آن‌ها در نظر گرفته شد.

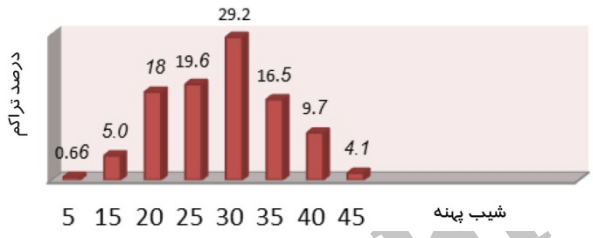
این ضرایب در جدول ۱ مشخص شده است. در ادامه، با توجه به طول و نوع گسل، برای هر ناحیه فاکتور شکست محاسبه شده است (رابطه ۲).

$$\text{فاکتور شکست} = \frac{\Sigma(\text{ضریب تاثیر} \times \text{طول گسل})}{\text{مساحت ناحیه}} \qquad \text{رابطه ۲}$$

جدول ۱- انواع گسل‌ها و ضریب تاثیر آنها بر وقوع زمین لغزش.

نوع گسل	ضریب تاثیر
فعّال	۲
غیر فعّال	۱/۵
فرعی	۱/۸
پنهان	۰/۸

با توجه به اندازه فاکتور شکست، منطقه در پنج کلاس طبقه‌بندی گردید. در تصویر ٦ نتایج این طبقه‌بندی نشان داده شده است.



تصویر ۲- نمودار میزان تراکم شیب منطقه.

۴-۱- ۵- عامل پوشش گیاهی

پوشش گیاهی دارای اثرات هیدرومکانیکی مثبت و منفی در پایداری دامنه‌ها می‌باشد. اثرات مثبت آن شامل: مسطح نمودن خاک به وسیله تبدیل تنش برشی در خاک به مقاومت کششی توسط ریشه‌ها، کاهش رطوبت خاک به وسیله تبخیر و تعرق توسط ریشه و شاخ و برگ و ایجاد شمع مهار توسط ساقه‌ها است. مهمترین اثر منفی پوشش درختی بر پایداری دامنه به وزن ظاهری درختان و خطر واژگونی یا ریشه کنی آنها در بادها و جریانات شدید مربوط می‌گردد. در منطقه مورد مطالعه، پوشش گیاهی دارای اثرات مثبت بیشتری بر پایداری دامنه‌ها می‌باشد. وجود پوشش گیاهی از نظر تراکم و تاج پوشش قابل بررسی می‌باشد. گیاهانی که دارای تراکم و تاج بالاتری باشند، اثرات مثبت بیشتری در پایداری دامنه‌ها خواهند داشت. پوشش گیاهی در مناطق مرتفع، از نوع مرتع و زمین‌های کشاورزی است و در اطراف رودخانه چالوس و همچنین نواحی نزدیک دریای خزر پوشش گیاهی با تراکم زیاد وجود

Archive of SID
www.SID.ir

دارد. برای تاثیر تراکم و تاج پوشش گیاهی، فاکتوری متاثر از هر دو عامل در نظر گرفته شد که در محاسبات و وزن دهی نیز مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین مناطق با تراکم و تاج پوشش بالاتر، به دلیل کمک به حفظ پایداری دامنه‌ها، تاثیر بیشتری در حفظ خاک دارند. هم‌چنین امکان وقوع ریزش در مناطقی با پوشش گیاهی ضعیف که شیب زیادی نیز دارند، محتمل‌تر است. نقشه پهنه‌بندی تاثیر پوشش گیاهی بر زمین لغزش در تصویر ۸ آورده شده است.

۴-۱-۶- عامل اقلیم و هیدرولوژی

تغییرات آب و هوایی و میزان بارش‌های باران و برف، از دیگر عوامل مؤثر بر زمین لغزش می‌باشد. برای بدست آوردن اطلاعاتی در خصوص آب و هوای منطقه، از اطلاعات دو ایستگاه هواشناسی نوشهر و سیاه بیشه استفاده شد. ایستگاه سیاه بیشه با توجه به قرار گیری در ارتفاع ۱۸۵۵ متری از سطح دریا، به طور متوسط ۷۵ روز در سال یخبندان می‌باشد. اختلاف دمای شب و روز در این ایستگاه به‌طور متوسط ٤/٤ درجه می‌باشد. وجود یخبندان و اختلاف دمای شب و روز ضمن شکست در سنگ‌ها باعث ریزش خاک و سنگریزه بر روی شیب‌های ناپایدار شده و شرایط را برای وقوع زمین لغزش مساعد می‌نماید. ایستگاه نوشهر با ارتفاع ۲۱- متر از سطح دریا، دارای متوسط بارش ۱۲۵۲ میلیمتر در سال می‌باشد. این میزان بارش در سال باعث افزایش رطوبت خاک شده و در نتیجه باعث ریزش خاک مخصوصا در دره‌های پر شیب می‌شود. با توجه به تاثیر ارتفاع بر روی بارش و دما و هم‌چنین آمار ۱۰ ساله موجود در دو ایستگاه مذکور، می‌توان رابطه خطی میان ارتفاع و بارش، تعداد روزهای یخبندان و اختلاف دمای شب و روز را به صورت معادلات رگرسیون بیان کرد. جهت رسم نقشه های هم بارش، هم دما و تعداد روزهای یخ بندان از معادلات رگرسیون زیر (رابطه ۳ و٤ و ٥) استفاده شده است (مهدوی۱۳۸۵، Chow 2009).

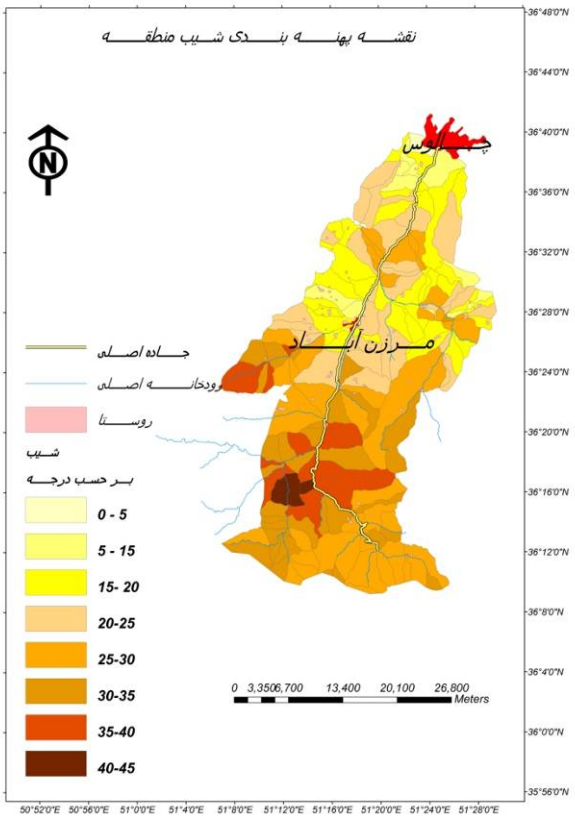
رابطه (۳) ارتفاع و بارش $R=-0.3891\times H+1244$

رابطه (٤) ارتفاع و تعداد روزهای یخبندان $I=0.0373\times H+5.784$

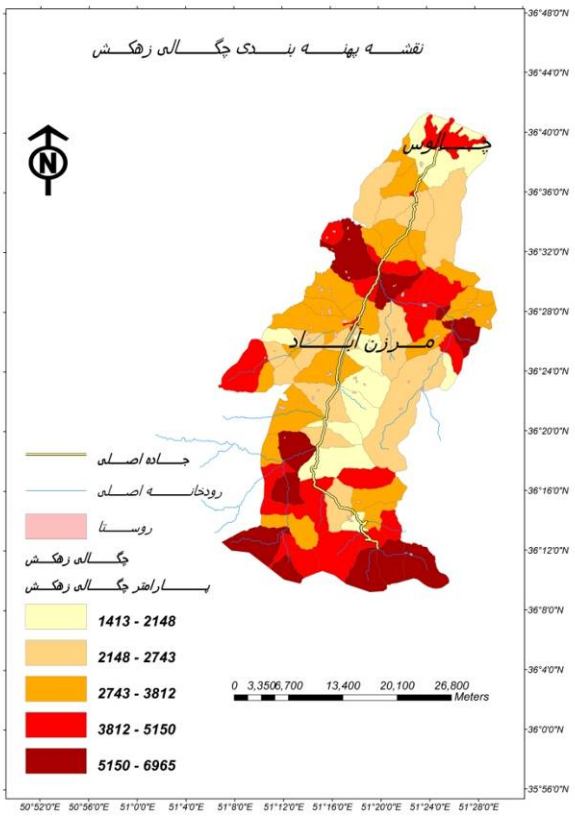
رابطه (٥) ارتفاع و اختلاف دمای شب و روز $D=0.0011\times H+6.89$

نقشه تهیه شده (تصویر۹) بر اساس این سه عامل و با توجه به محاسبات رستری، میزان تاثیر فاکتور آب و هوا (رابطه ٦) بر ریزش را در مناطق مختلف نشان می‌دهد.

رابطه (٦) فاکتور آب و هوا= (تعداد روزهای یخبندان + اختلاف دمای شب و روز + ۲ × بارش)

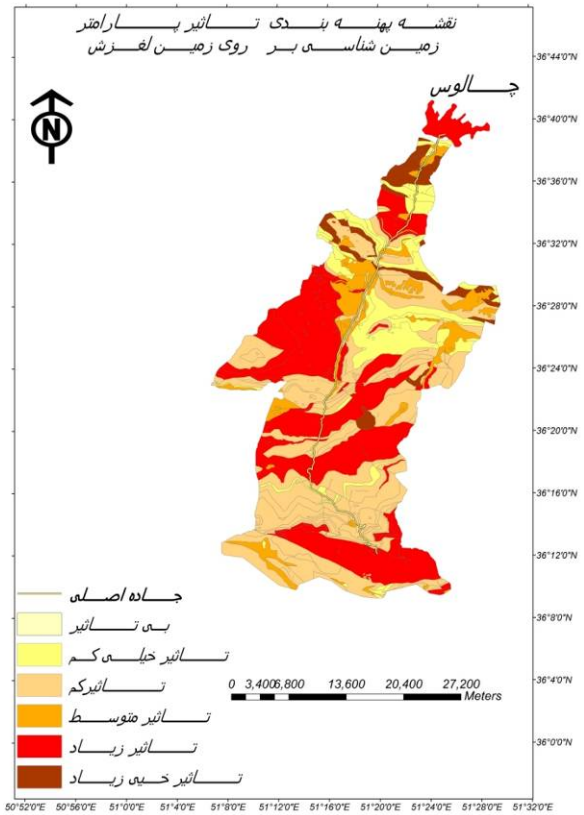


تصویر ۳- نقشه پهنه بندی شیب.

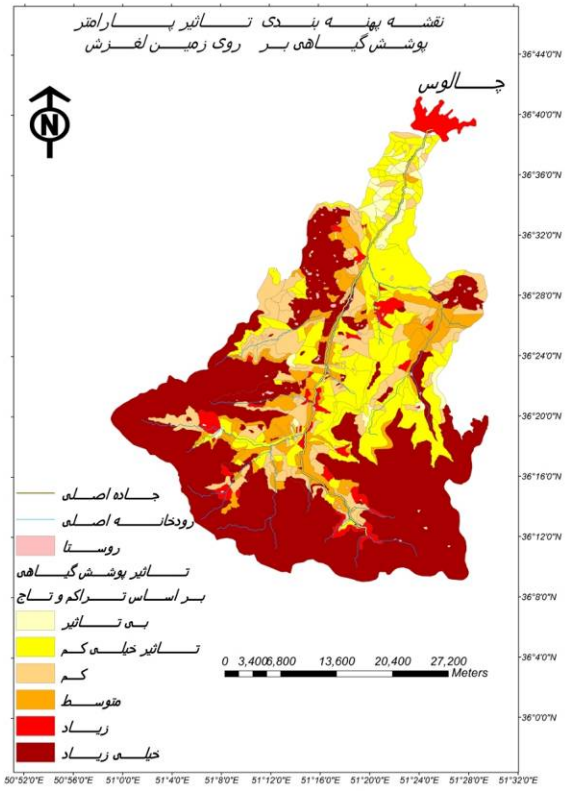


تصویر ٤- نقشه پهنه‌بندی چگالی زهکش.

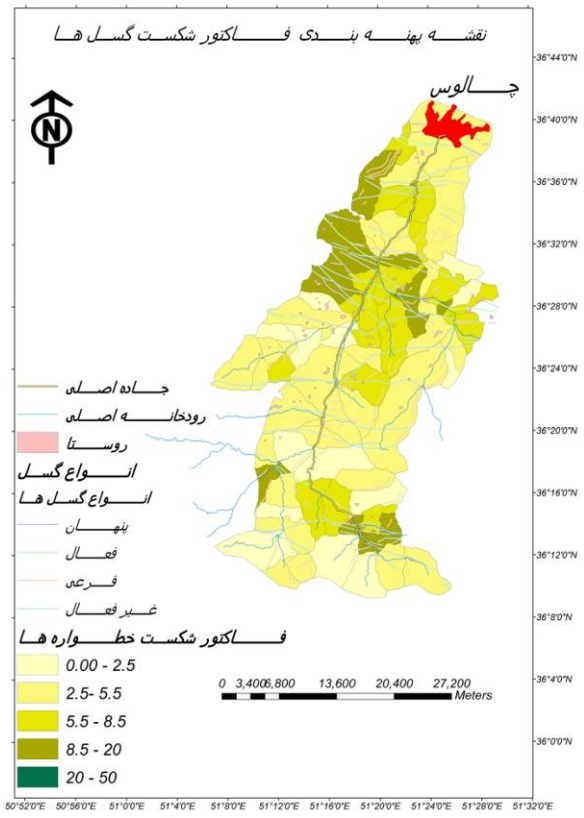
www.SID.ir



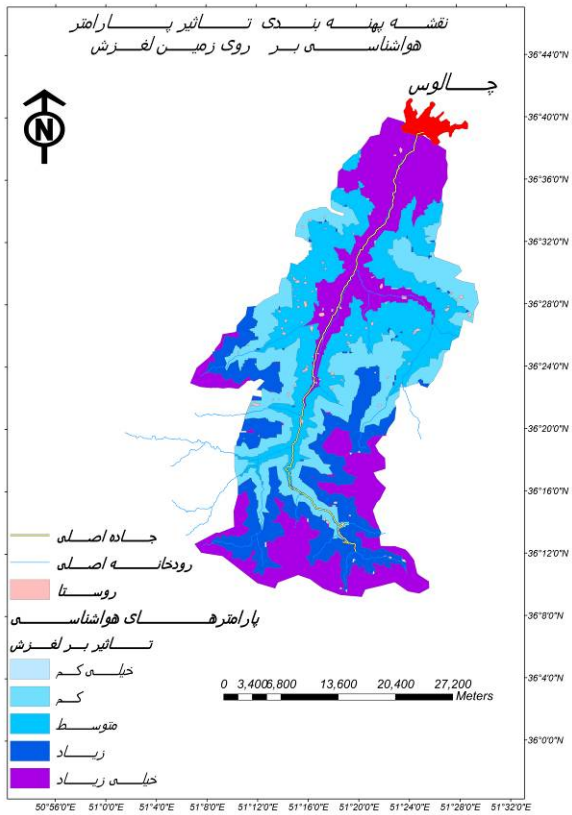
تصویر ۵- نقشه پهنه بندی پارامتر زمین‌شناسی.



تصویر ۸- پهنه‌بندی پوشش گیاهی بر اساس فاکتور تراکم و تاج پوشش گیاهی.



تصویر ٦- نقشه پهنه بندی فاکتور شکست خطواره‌ها.



تصویر ۹- نقشه پهنه‌بندی پارامترهای هواشناسی.

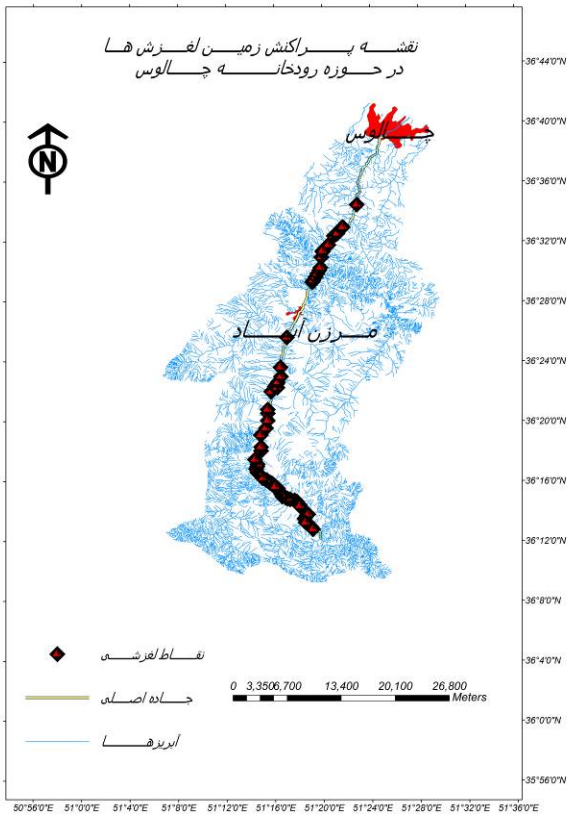
www.SID.ir

۴-۲- نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها

برای تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در منطقه و اطراف جاده چالوس، ابتدا بر روی تصاویر ماهواره‌ای، ماهواره GeoEye مناطق لغزشی به طور تقریبی مشخص گردید. مکان دقیق نقاط و پهنه‌های لغزشی با بازدیدهای میدانی و پرسش از مردم بومی مشخص شده است. نقاط و پهنه‌های ریزشی تعیین شده توسط جی‌پی‌اس (GPS) در تصویر ۱۰ آورده شده است. در تصویر ۱۱ نیز تعدادی از زمین‌لغزش-های منطقه شده است. پراکنش زمین لغزش‌ها، داده‌های ثابت می‌باشند و متغیرهای مستقل شامل شیب، بافت زهکش، زمین‌شناسی، گسل و دیگر عوامل مؤثر بر ناپایداری شیب، نسبت به این داده‌ها تعیین می-شوند. بنابراین خطا در این داده‌ها موجب اشکال در تحلیل آماری می-شود. از این رو پس از تحلیل آماری و بازدید صحرایی از محدوده‌های لغزشی، نقشه پراکنش زمین لغزش تهیه شد.

۴-۲-۱- نحوه وزن‌دهی

برای وزن‌دهی پارامترهای مؤثر بر زمین لغزش و تهیه نقشه خطر، روش‌های متعددی از جمله روش سلسله مراتبی روش دو متغیره آنالیز ارزش اطلاعاتی، روش دو متغیره آنالیز سطح، روش چند متغیره



تصویر ۱۰- نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه.

تصویر ۱۱- عکس‌هایی از زمین‌لغزش‌های منطقه.

آنالیز رگرسیون خطی و روش چند متغیره به وسیله آنالیز ممیزی ارائه شده است. از این میان روش سلسله مراتبی به دلیل سادگی محاسبات، عمومیت بیشتری دارد. روش‌های وزن‌دهی بیان شده همگی برای تحلیل‌های رستری مورد استفاده قرار می‌گیرند. تحلیل به کار رفته در این مطالعه از نوع برداری می‌باشد، بنابراین ابتدا هریک از پارامترها به صورت جداگانه به ۵ کلاس طبقه بندی شده، سپس با نظر کارشناسی به هر پارامتر وزنی داده شد. وزن پارامترها بر اساس میزان تاثیر آن پارامتر بر وقوع زمین لغزش می‌باشد. لایه‌های نقشه پارامترها بر اساس وزن خود با یکدیگر جمع می‌شوند. وزن هر یک از پارامترها بر اساس نظر کارشناسی در جدول ۲ آورده شده است. پس از وزن دهی پارامترها و انجام عملیات در محیط نرم افزار ARC GIS، نتایج به صورت تصویر ۱۲ بدست آمد.

۴-۳- بررسی خطر زمین لغزش بر روی جاده چالوس

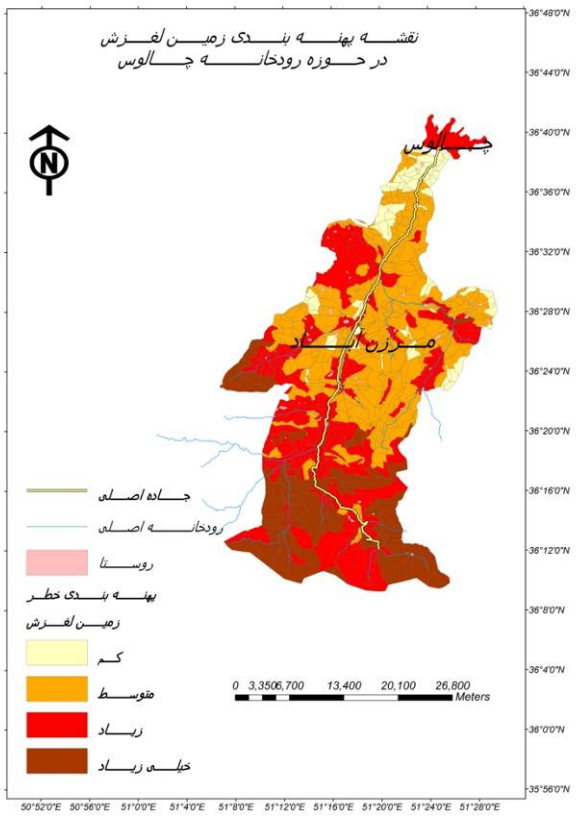
با توجه به اهمیت جاده چالوس در حوزه رودخانه چالوس و ترافیک بالای خودرو در این مسیر، بررسی خطر زمین لغزش بر روی آن، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

جدول ۲- جدول وزن دهی پارامترهای مؤثر بر زمین لغزش.

پارامتر	وزن
شیب	۳
چگالی زهکش	۱
زمین‌شناسی	۱
گسل ها و خطواره‌ها	۱/۵
پوشش گیاهی	۲
آب و هوا	۰/۸

Archive of SID

www.SID.ir



تصویر ۱۲- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه.

میزان پتانسیل خطر لغزش دامنه‌های کناری جاده، جهت دامنه‌ها، مساحت مؤثر دامنه‌ها بر روی قطعات جاده و فاصله جاده از خاکریز-های کنار جاده، از عوامل مؤثر در خطر جاده می‌باشند. این عوامل به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت فاکتوری متاثر از تمام این عوامل ارائه گردید. جهت تعیین میزان خطر پذیری جاده و بزرگراه، جاده و بزرگراه به قطعات ۲/۵ کیلومتری تقسیم بندی شده و میزان خطر هر قطعه به طور جداگانه محاسبه شده است.

۴-۳-۱- خطر لغزش دامنه‌های کناری جاده

خطر لغزش دامنه‌های کناری جاده، مهمترین عامل در خطر لغزش جاده، می‌باشد. با توجه به عوامل مؤثر بر روی خطر زمین لغزش که در قسمت‌های قبلی بیان شد، از نقشه پتانسیل خطر تهیه شده (تصویر ۱۲)، برای بررسی خطر زمین لغزش بر روی جاده چالوس استفاده شده است.

۴-۳-۲- جهت شیب دامنه‌ها

میان توزیع فراوانی ناپایداری دامنه و جهت شیب، ارتباط معناداری برقرار است. به نحوی که تراکم ناپایداری‌های دامنه‌ای در دامنه‌های شمالی افزایش و در دامنه‌های جنوبی کاهش می‌یابد (معماریان و سیارپور ۱۳۸۵).

با استفاده از نقشه ارتفاعی رقومی منطقه (DTM)، نقشه رستری جهت شیب ترسیم شده است. سپس برای پهنه‌های شیب که با توجه به خطالقعرها و خطالراس‌ها بدست آمده، میزان متوسط جهت شیب محاسبه شده است. به هر پهنه عددی بین ۰ تا ۳۶۰ اختصاص داده شده است. این عدد بیانگر جهت (آزیموت) شیب حوزه می‌باشد. برای نمایش بهتر جهت شیب هر پهنه، برداری تعریف شده است که جهت آن بر اساس جهت شیب حوزه و بزرگی آن بر اساس میزان خطر لغزش حوزه مشخص می‌گردد. این بردارها و هم‌چنین پهنه‌بندی جهت شیب منطقه در تصویر ۱٤ آورده شده است. برای تعیین میزان تاثیر جهت شیب دامنه بر روی جاده، باید زاویه میان قطعات جاده و دامنه-های مؤثر بر آن محاسبه شود. بدین منظور، ابتدا آزیموت قطعات جاده که به طول ۲/۵ کیلومتر جدا شده است، تعیین می‌شود. سپس زاویه میان دامنه‌های کناری جاده و قطعات جاده مشخص می‌شود. اگر آزیموت جاده را با Az و آزیموت حوزه‌ها را با α نمایش دهیم، زاویه بین جاده و حوزه آبریز کنار جاده (θ) از رابطه ۷ بدست می‌آید.

$$\theta = ۱۸۰ \pm (\alpha - Az) \qquad \text{رابطه (۷)}$$

در رابطه بالا از علامت مثبت برای حوزه‌های سمت راست جاده و از علامت منفی برای حوزه‌های سمت چپ جاده استفاده می‌شود. بیشترین تاثیر حوزه بر جاده زمانی است که زاویه θ برابر ۹۰ درجه باشد. در این صورت خطر حوزه برای جاده بیشینه خواهد بود. زیرا در زاویه ۹۰ درجه، بیشترین نیرو از سمت دامنه بر روی جاده اعمال می-شود و دامنه ناپایداری زیادی نسبت به جاده دارد. پس از محاسبه این زاویه، مقادیر بدست آمده برای θ در ۵ کلاس تقسیم بندی شده و به هر کلاس، وزن متناسب با آن اختصاص داده شد. در جدول شماره ٤ کلاس‌ها و وزن آن‌ها آورده شده است.

جدول ٤- زاویه θ و وزن مربوط به کلاس زاویه.

زاویه θ	وزن کلاس زاویه θ
۸۰-۱۰۰	۵
(۷۰-۸۰) -(۱۰۰-۱۱۰)	٤
(۵۵-۷۰) -(۱۱۰-۱۲۵)	۳
(٤۰-۵۵) -(۱۲۵-۱٤۰)	۲
(۱۰-٤۰) -(۱٤۰-۱۷۰)	۱
(۰-۱۰) - (۱۷۰-۱۸۰)	۰

Archive of SID
www.SID.ir

۴-۳-۳- مساحت مؤثر دامنه‌ها

هر قطعه جاده، متاثر از پهنه‌های طرفین راست و چپ جاده می‌باشد. تمامی قطعات طرفین جاده که جهتی رو به آن دارند، بر روی خطر زمین لغزش جاده تاثیر می‌گذارند. از آنجایی که پهنه‌هایی وجود دارند که بر روی چندین قطعه جاده تاثیر می‌گذارند، لازم است الگوریتمی وجود داشته باشد که پهنه‌های مؤثر بر هر قطعه جاده را مشخص نموده و میزان مساحت مؤثر هر پهنه بر روی هر قطعه جاده را محاسبه کند. الگوریتم بر اساس جهت حوزه و فاصله تا هر قطعه جاده عمل می‌کند، به طوریکه حوزه‌هایی که جهتی رو به جاده دارند را مشخص کرده و با توجه به طولی از جاده که در حوزه قرار می‌گیرد، مساحت مؤثر را محاسبه می‌کند.

۴-۳-۴- فاصله جاده از پای دامنه‌های کناری

جاده چالوس در مسیر مورد بررسی از شهر چالوس در شمال و حوالی روستای ولی آباد در جنوب، در بعضی از قسمت‌ها کاملا از دره چالوس عبور می‌کند و در بعضی دیگر، از روی خود دامنه‌ها عبور می‌کند. در قسمت‌هایی که از خود دره و از کنار رودخانه چالوس عبور می‌کند، در قسمتی از مسیر از سمت چپ رودخانه و در قسمتی دیگر از سمت راست رودخانه عبور می‌کند. برای آن قسمت جاده که از خود دره‌ی چالوس عبور می‌کند، می‌توان گفت دامنه‌های موجود بر شرق و غرب بر روی جاده تاثیر گذاشته و ایجاد خطر می‌کنند. به طوریکه هر چه فاصله جاده از دو طرف کناری آن کمتر باشد، تاثیر دامنه‌ها بیشتر بوده و امکان ریزش سنگ و خاک بر روی جاده نیز بیشتر خواهد بود. در قسمت‌هایی که جاده دقیقا از خود دامنه‌ها عبور می‌کند و از دره فاصله دارد، فقط پهنه‌های سمتی که جاده از آن عبور می‌کند، بر روی آن تاثیر گذاشته و ایجاد خطر می‌کنند. پهنه‌های طرف دیگر به دلیل فاصله زیاد تا جاده و وجود دره در وسط، تاثیری بر خطر ریزش جاده نخواهند داشت.

۴-۴- تعیین میزان خطر ریزش بر روی بزرگراه تهران- چالوس

در این پژوهش، میزان خطر زمین لغزش بر روی قسمتی از بزرگراه تهران - چالوس که در حال احداث می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفت. حدود ۱۷ کیلومتر از این بزرگراه از شهر چالوس به سمت جنوب ساخته شده است. برای تعیین خطر زمین لغزش بر روی بزرگراه، با استفاده از نقشه جهت شیب، میزان زاویه بین جهت شیب و جهت آزیموت محاسبه می‌شود. با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و الگوریتم بیان شده در قسمت قبل، مساحت مؤثر دامنه‌ها بر روی قطعات بزرگراه مشخص می‌شود.

۵- بحث

۵-۱- نتایج پهنه‌بندی خطر زمین لغزش دامنه‌ها

با اعمال وزن مناسب (جدول ۲) بر روی هر یک از عوامل مؤثر، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌دامنه‌ها بدست آمد. سپس منطقه به چهار ناحیه، پرخطر، خطرناک، خطر متوسط و کم خطر پهنه‌بندی گردید. با توجه به جدول ۳، ٦٠ درصد از منطقه دارای پتانسیل بالایی برای خطر زمین لغزش می‌باشد که نشان‌دهنده پتانسیل بالای منطقه برای وقوع زمین لغزش است. هم‌چنین مناطق جنوبی در حد فاصل پل اوشن تا کف پیچ هزار چم، دارای خطر لغزش بسیار بالا می‌باشند که با توجه به شرایط منطقه کاملا منطقی است.

با تطابق نقشه پراکنش لغزش‌های منطقه (تصویر ۱۰) و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (تصویر ۱۲)، مشاهده شد که این نقشه با زمین لغزش‌های رخ داده تا حد زیادی تطابق داشته و بیشتر زمین لغزش‌ها در مناطقی که پتانسیل بالایی برای لغزش دارند، اتفاق افتاده است. طبق مشاهدات انجام شده، در ۵۲ نقطه، از زمین‌لغزش‌های ثبت شده، تعداد ۱۵ نقطه در منطقه با پتانسیل زیاد، ۲۳ نقطه در مناطق با پتانسیل خیلی زیاد و ١٤ نقطه نیز در منطقه با پتانسیل متوسط وقوع لغزش واقع شده‌اند. بر این اساس، ۲۹ درصد از لغزش‌های ثبت شده در مناطقی با پتانسیل زیاد و ٤٥ درصد در مناطقی با پتانسیل خیلی زیاد به وقوع پیوسته‌اند.

۵-۲- نتایج پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر روی جاده چالوس

بر اساس موارد ذکر شده، فاکتوری متاثر از عوامل مؤثر در نظر گرفته شده که میزان خطر لغزش زمین بر روی قطعات جاده را محاسبه می‌کند. رابطه ۸ با استفاده از زمین لغزش‌های رخ داده در سطح منطقه و هم‌چنین سعی و خطا بدست آمده است. استفاده از این رابطه باعث ایجاد تطابق بیشتر بین زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته و پارامترهای مؤثر در وقوع زمین لغزش خواهد شد.

رابطه (۸)

در این رابطه n تعداد پهنه‌های مؤثر بر روی هر قطعه جاده می‌باشد. با محاسبه این فاکتور برای هر قطعه و جمع کردن آن به ازای همه پهنه‌های مؤثر بر روی هر قطعه، میزان خطر برای قطعه جاده تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که برای قطعه جاده‌هایی که در یک طرف جاده قرار دارند، فاصله جاده از طرف مقابل بی‌نهایت (۱۰۰۰۰۰ متر) قرار داده شده تا اثر آن پهنه‌ها حذف شود. در زیر یک نمونه از جدول تهیه شده برای هر قطعه از جاده نشان داده شده است (جدول ۵).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- عوامل مؤثر بر هر قطعه جاده و میزان خطر لغزش.

شماره قطعه جاده	شماره پهنه‌های مؤثر	سمت قرارگیری پهنه	مساحت پهنه (کیلومتر مربع)	کلاس خطر لغزش	کلاس زاویه θ	فاصله پهنه از جاده (متر)	میزان خطر ایجاد شده توسط هر پهنه	کل خطر ایجاد شده روی جاده
۱۰	۳۵	چپ	۰/۷۵۹	کم	۳	۲۰	۰/۱۱٤	۲/۲۷۰۷۵
	۳٦	راست	۰/۳۱٦	زیاد	۱	۱۰۰۰۰۰	۰	
	۱۰۳	چپ	۳/۱۷۹	متوسط	۳	۲۰	۰/۹۵۳۷	
	۱۰٤	راست	۲/۹۲۵	متوسط	۱	۱۰۰۰۰۰	۰	
	۱۰۷	چپ	۲/۲۸۷	متوسط	٤	۲۰	۰/۹۱٤۸	
	۱۰۸	چپ	۲/۸۸٤	متوسط	۱	۲۰	۰/۲۸۸٤	
۱۹	۱٦٤	چپ	۱/۳۹۵	زیاد	۵	۱۵	۱/۳۹۵۵	٤/۷۳۹۲۹
	۱۳۱	چپ	۱/۰۱٤	متوسط	۵	۱۵	۰/٦۷٦	
	۱۵۳	راست	۰/۳۷۵	خیلی زیاد	۲	۱۵	۰/۲۰۰۳	
	۱٦۵	راست	۲/۷۱	زیاد	۲	۱۵	۱/۰۸٤	
	۱٤۷	چپ	۱/۲۹۷	خیلی زیاد	٤	۱۵	۱/۳۸۳۵	

بر این اساس، به ازای هر قطعه جاده، تمام پارامترهایی که در جدول ۵ آمده است، محاسبه شده و میزان خطر زمین لغزش بر روی تمامی قطعات جاده تعیین می‌شود. کل طول جاده ٦۵۸۷۹ متر می‌باشد که به ۲٦ قطعه با طول ۲۵۰۰ متر تقسیم شده و میزان خطر هر قطعه از جاده مشخص شده است. اعداد بدست آمده برای خطر زمین لغزش جاده در ۵ کلاس، طبقه‌بندی شده است.

نحوه‌ی کلاس‌بندی در جدول ۷ آمده است. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش جاده نیز، در تصویر ۱۵ نشان داده شده است. بر طبق نتایج و نقشه تهیه شده، ۱۵ درصد از طول جاده، دارای خطر کم، ۲۷ درصد آن دارای خطر متوسط، ٤۲ درصد دارای خطر زیاد و ۱٦ درصد دارای خطر بسیار زیاد است. نتایج نشان داد که بیش از ٦۰ درصد جاده دارای خطر بالایی برای وقوع زمین لغزش می‌باشد.

۵-۳- ارزیابی نتایج بدست آمده بر روی جاده چالوس

برای ارزیابی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در قسمت‌های مختلف جاده چالوس، از تعدادی نقاط ریزشی بر روی جاده که توسط جی‌پی‌اس (GPS) مختصات آن‌ها برداشت شده است، استفاده گردید. موقعیت نقاط برداشت شده در تصویر ۱٦ آورده شده است. از تعداد ۷۲ نقطه برداشت شده، ۳۹ نقطه بر روی جاده با خطر زیاد، ۲۵ نقطه بر روی جاده با خطر بسیار زیاد و ۸ نقطه نیز بر روی جاده با خطر متوسط قرار دارد.

۵-۴- نتایج پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر روی بزرگراه تهران-چالوس

بر اساس عوامل ذکر شده، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر روی قسمت‌های مختلف بزرگراه انجام شد. بدین منظور بزرگراه را به ۸ قسمت به طول دو کیلومتر تقسیم‌بندی کرده و خطر زمین لغزش بر روی نواحی آن محاسبه گردید. جدول ٦ اطلاعات آماری خطر زمین لغزش بزرگراه را نمایش می‌دهد. تصویر ۱۷ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر روی بزرگراه تهران-چالوس را نشان می‌دهد. طبق نتایج بدست آمده، ۱۲ درصد از طول بزرگراه دارای خطر بسیار زیاد و ۳۳ درصد دارای خطر زیاد برای وقوع زمین لغزش می‌باشد. هم‌چنین ۳۳ درصد طول بزرگراه دارای خطر متوسط و ۲۰ درصد طول آن تقریبا بی‌خطر است. نتایج پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر روی جاده و بزرگراه در تصویر ۱۳، نشان داده شده است.

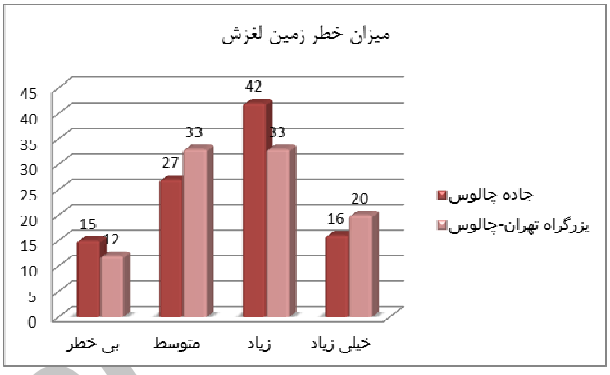
جدول ٦- اطلاعات آماری مناطق دارای خطر زمین لغزش.

میزان خطر زمین لغزش	مساحت (کیلومتر مربع)	تراکم مساحت (درصد)
بسیار زیاد	۱۷۹/٦۳	۲۱
زیاد	۳۹۳/۵۲	٤۰
متوسط	۲۸٤/٦۹	۳۱/۱
کم	۵۹/۷٦	٦/۵

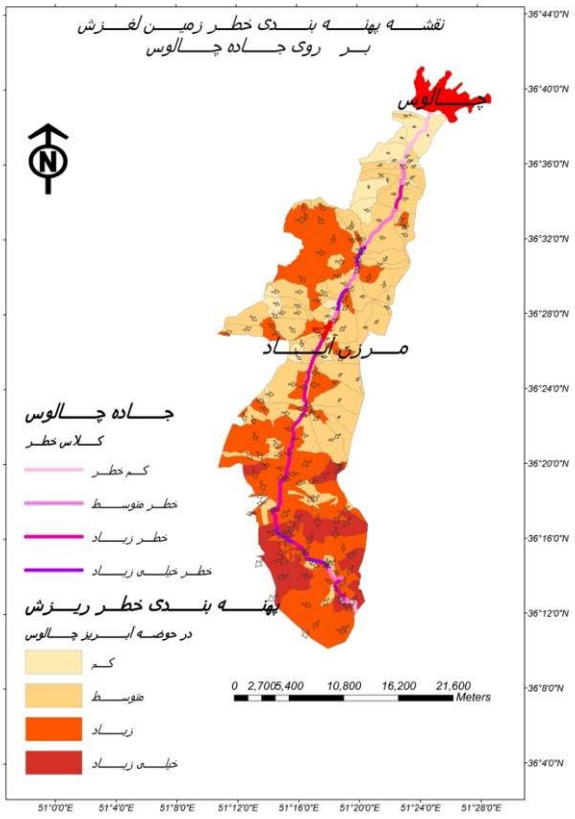
Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۷- نحوه طبقه‌بندی خطر زمین لغزش جاده.

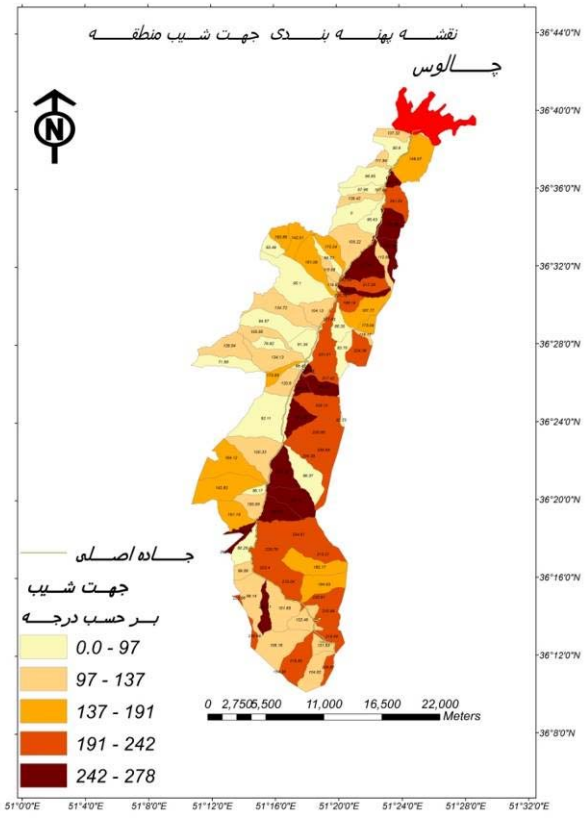
میزان خطر	کلاس خطر
۰/۰۰ -۰/۷۵	کم خطر
۰/۷۵-۲/۳۲	خطر متوسط
۲/۳۲-۵/٤۷	خطر زیاد
۵/٤۷-۹/٦٤	خطر خیلی زیاد



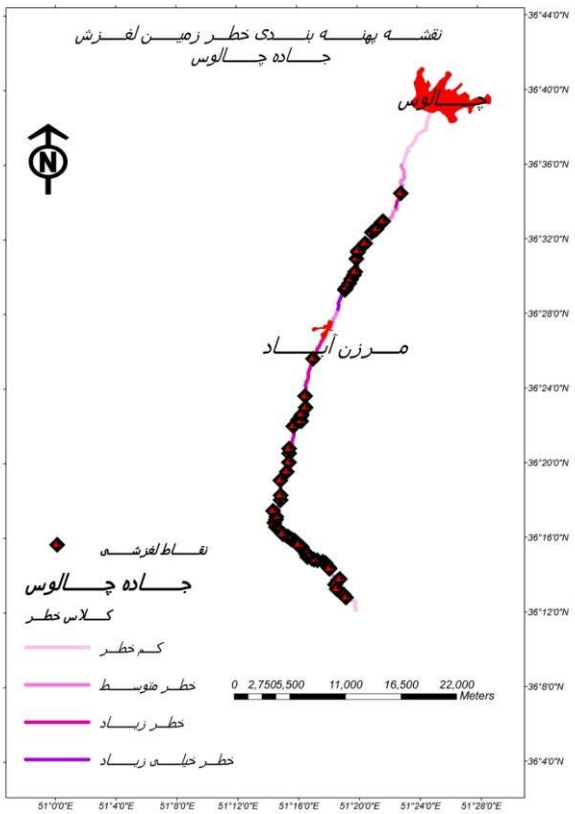
تصویر ۱۳- نمودار میزان خطر زمین لغزش در جاده و بزرگراه (درصد).



تصویر ۱۵- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر روی جاده.

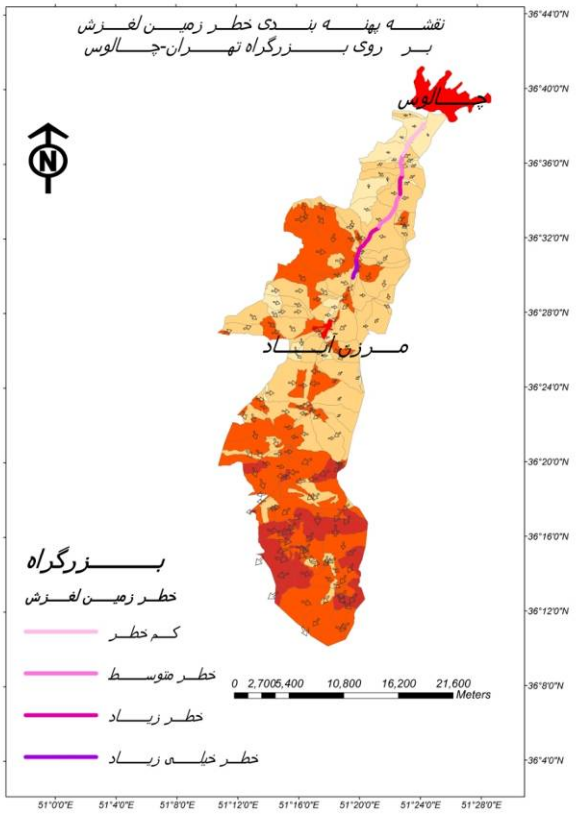


تصویر ١٤- نقشه جهت شیب منطقه.



تصویر ١٦- نقشه خطر لغزش در جاده و نقاط ریزشی بر آن.

www.SID.ir



تصویر ۱۷- نقشه خطر لغزش بر روی بزرگراه تهران چالوس.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر روی دامنه‌های کناری جاده چالوس در حوزه رودخانه چالوس، عواملی از قبیل توپوگرافی، زمین‌شناسی، گسل‌ها، هیدرولوژی و پوشش گیاهی بررسی شد. همچنین برای تعیین خطر بر روی جاده و بزرگراه، عواملی مانند آزیموت شیب بیشینه، فاصله جاده از خاکریزهای کناری و مساحت مؤثر دامنه‌ها در نظر گرفته شدند. در این پهنه‌بندی، جاده و بزرگراه در ٤ کلاس بسیار خطرناک، خطرناک، خطر متوسط و بی‌خطر طبقه‌بندی شدند. همچنین طبق نتایج بدست آمده از نظر وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه، ١٦ درصد طول جاده و ١٧ کیلومتر طول بزرگراه (در حال ساخت می‌باشد) دارای خطر بسیار زیاد و ٤٢ درصد طول جاده، و ٣٣ درصد طول بزرگراه دارای خطر زیاد می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این پروژه در راستای طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس صورت گرفته است، لذا نویسندگان لازم می‌دانند که از ریاست محترم واحد، جناب آقای دکتر سید مرتضی سام‌دلیری و معاونت محترم پژوهشی آن واحد تشکر و قدردانی نمایند.

مراجع

خلج، م.، ۱۳۸۵، "لرزه زمین ساخت"، *انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ دوم، تهران، ۲۳۷ ص.*

رهنماراد، ج.، یادگارزایی، م.، ح.، کنگی، ع.، ۱۳۸۹، "پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه‌ی اسکل‌آباد خاش با استفاده از روش آماری دو متغیره و سیستم اطلاعات جغرافیایی"، *فصلنامه زمین شناسی کاربردی، سال ششم شماره چهارم: ۲۷۷-۲۵۷.*

سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۲، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن آباد و چالوس".

معماریان، ح. و سیارپور، م.، ۱۳۸۵، "نقش پارامتر شیب دامنه در بروز خطا در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش"، *نشریه دانشکده فنی، دانشگاه تهران، دوره ٤٠ (١): ١١٠-١٠٥.*

مهدوی، م.، ۱۳۸۵، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، انتشارات آستان قدس رضوی، ٦٣٠ ص.

نصیری، ش.، ۱۳۸۳، "نگرشی بر زمین لغزش‌های ایران (بررسی موردی ناپایداری شیب‌ها در جاده هراز)"، *پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور.*

یزدیان، ف.، و شیخ الاسلامی، ع.، ۱۳۸۹، "تعیین گسترشگاه تیپهای درختی و درختچه ای ناحیه رویشی البرز مرکزی (مطالعه موردی حوزه آبریز چالوس)"، *فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، سال ٥ (٢): ٤٨-٣٥.*

Chow, V., Maidment, D., R. & Mays, L., W., 2009, "Applied Hydrology", *McGraw-Hill, NY, 554 pp.*

Esmaili, A. & Ahmadi, H., 2003, "Using GIS & RS in mass movements hazard zonation - a case study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran", *Map India Conference 2003, Disaster Management, 5 p.*

Lee, S. & Min, K., 2001, "Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea", *Environmental Geology, Vol. 40: 1095-1113.*

Shaw, G. & Wheeler, D., 1985, "Statistical techniques in Geograpical Analysis", *John Wiley & Sons Press, 364 pp.*

Varnes, D. J. 1978, "Slope movement types and processes", *In: Schuster, R. L. & Krizek, R. J. (Eds.), Landslides: Analysis and Control Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., Special Report 176: 11-33.*

Yong, X. & Genwei, J., 2006, "Landslides 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.*

www.SID.ir