پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در مسیر یابی جاده‌های جنگلی
(مطا لعه موردی در سری ۲ شهرستان آمل)

محمد رضا آذر نوش[۱] ، فرزاد شفیع زاده[۲]، نصرت ا.. را فت نیا[۳]

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۸ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۱۸

چکیده

احداث جاده یکی از مهمترین فعالیت‌ها در بهره‌برداری از جنگل می‌باشد که دارای هزینه‌های زیادی در هنگام اجرا کار و بعد از آن است. زمین لغزش یکی از مهمترین عوامل خسارت به جاده‌ها، خصوصا در مناطق کوهستانی است. ازآن‌جا که پیش‌بینی زمان وقوع زمین لغزش بسیار مشکل می‌باشد لذا سریع‌ترین روش پیش‌بینی در مقیاس سری، تعیین پتانسیل زمین لغزش به‌صورت نسبی است. برای این مطالعه، سری ۲ در حوزه آبخیز ۵۱، با مساحتی بالغ بر ۱۷۲۲ هکتار انتخاب گردیده با استفاده از ۱۱ عامل متغیر، در محیط GIS و توسط نرم‌افزار Spatial Analyst ، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تهیه و با کمک نرم‌افزار PEGGER طراحی مسیر انجام گردید. با توجه به مطالعه انجام گرفته، جاده پیشنهادی به طول ۲۱۰۶۱ متر تنها با ۲۴۰۵ متر طول بیشتر ، ازمناطقی با کمترین احتمال بروز خطر لغزش، طراحی گردید .

واژه‌های کلیدی : خطر زمین لغزش، پهنه‌بندی، مسیریابی، Spatial Analyst، PEGGER،GIS

۱- استادیار گروه جنگلداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس Azarnoush 69 @ gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع طبیعی گرایش جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

۳- دانشیار گروه جنگلداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

مقدمه

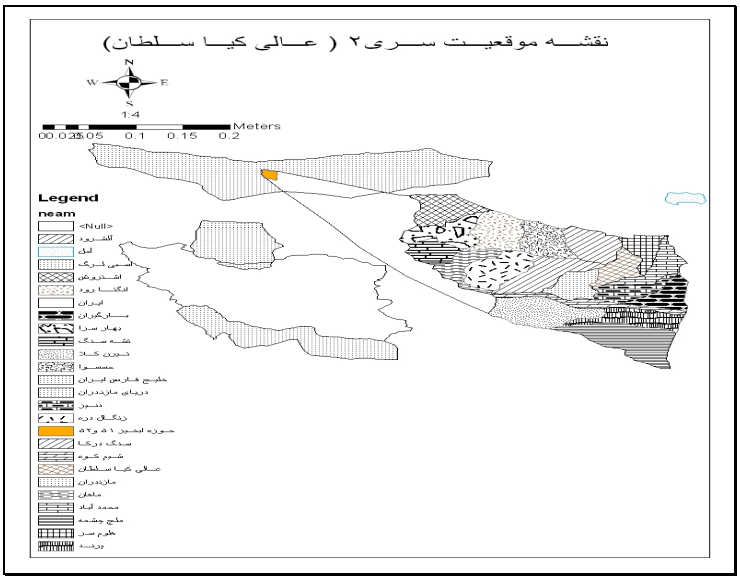
کشورایران باتوپوگرافی عمدتا کوهستانی با شرایط لیتولوژی خاص، شیب‌های تند و فعالیت‌های تکتونیکی، طیف وسیعی از زمین لغزش‌ها را دارد و بخشی از این زمین لغزش‌ها در شمال ایران و در زمین‌های جنگلی در اثر فعالیت‌های مهندسی و بهره‌برداری از جنگل رخ می‌دهد. جاده‌سازی در جنگل یکی از پرهزینه-ترین قسمت در بهره‌برداری می‌باشد و انتخاب مسیر نامناسب، باعث بروز زمین لغزش خواهد شد. عبور جاده از مناطق کم‌خطر ضمن حفظ سرمایه‌گذاری انجام شده، باعث جلوگیری از مسایل زیست محیطی می‌گردد. تحقیقات زیادی درخصوص پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و همچنین در زمینه مسیریابی جاده با استفاده از GIS در جنگل صورت گرفته‌است. افرادی همچون مورا و وارسون[1] (۱۹۹۳) در مناطق پرباران آمریکای مرکزی، آن بالاخان[2] (۱۹۹۲) درمناطق کوهستانی هیمالیا و براب [3](۱۹۷۲) در ایالات متحده مدل‌هایی را ارایه داده‌اند، استانداری کانی گاوا ژاپن[4] به‌روش عددی با ۷ عامل‌های مختلف اقدام به تهیه نقشه خطر زمین لغزش برای مناطق زلزله‌خیز و فعال تکتونیکی نموده‌اند و یا موسسه راه ژاپن [5](۱۹۸۸) با ۱۱ عامل گوناگون برای پیش‌بینی ناپایداری ترانشه‌ها در طول جاده اقدام نمود و در روش استیونسن[6] برای پیش‌بینی زمین لغزش در اراضی رسی براساس پنج عامل عبارتند از، عامل رس، عامل آب، زاویه شیب، ترکیب شیب و کاربری زمین ارایه گردید و روش‌های دیگر عددی همچون راد بروچ و کرودو [7](۱۹۷۱)، روش ماتریس [8](۱۹۹۱)، پاچا اوری و مانوج پنت [9] (۱۹۹۲) نیز از چندین عامل برای پهنه‌بندی استفاده شد در بررسی‌های انجام شده در ۱۵ مدل عددی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، هیچ کدام از این روش‌ها، از جهت دامنه به‌عنوان یک عامل برای برای پهنه‌بندی خطر استفاده نشده است. هوشیار خواه و همکاران در شناسایی مسیر مناسب جاده جنگلی در سری لولت با استفاده از Gis و RS به این نتیجه رسیدند که جاده طراحی شده به طول ۱۷۸۹ متر در مقابل ۲۱۰۰ متر جاده موجود می-تواند میزان پوشش را در میان پارسل‌های عبوری ایجاد نماید و در عین حال سهم بیشتری از نقشه پایداری را به‌خود اختصاص دهد و باعث کاهش اثرات تخریبی جاده بر طبیعت باشد و Rogers در سال ۲۰۰۵، برنامه کامپیوتری Pegger را برای ا رزیابی خودکار طراحی جاده جنگلی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی Gis توسعه داد و با داده DEM دقیق، با صرف زمان کمتر و قابل قبول‌تر نسبت به روش‌های سنتی را فراهم نموده‌است.

[1] -Mora & Varson
[2] - Anbalagan
[3] - Brabb
[4] -Kanagawa Prefectur
[5] -Japan way Institue
[6] -Stevenson
[7] -Radbruch & Crowther
[8] -Matris
[9] - Pachauri & Manojpant

مواد و روش‌ها

مواد:

سری ۲ (عالی کیا سلطان)واقع در حوزه آبخیز ۵۱ ،جنوب شهرستان آمل با مساحتی بالغ بر ۱۷۲۲ هکتار، حداقل ارتفاع از سطح دریا ۲۵۰ متر و حداکثر آن ۹۵۰ متر، شیب حداقل صفر و حداکثر بیش از ۱۰۰٪ و میانگین عمومی شیب ۲۷٪ می‌باشد و سطحی معادل ۵۹/۳۷٪ در شیب ۳۰-۱۰درصد واقع گردیده‌است. متوسط دمای سالیانه حدود ۱۵/۷ درجه سانتی‌گراد و متوسط باران سالیانه نیز حدود ۸۲۷/٤ میلی‌متر است ضمنا تبخیر سالیانه نیز بالغ بر ۷۹۸ میلی‌متر می‌باشد اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه (Embergeh) و با مراجعه به کلیماگرام اصلاح شده آمبرژه ، از نوع مرطوب به‌دست آمده‌است.



از دیدگاه زمین‌شناسی در سری ۲ رسوبات دوره پالئوژن شامل رسوبات سست قاره‌ای گنگلومرا، مارن سیلت‌دار، مارن، ماسه سنگ، گچ، سنگ آهک ماسه‌ای از زمان‌های پلیوسن(PIQ)، میوسن $(M^{m.s})$، پالئوسن $(\mathrm{pe}^{\mathrm{m}})$ با پایداری و نفوذپذیری کم می‌باشد و نفوذ آب و عدم زهکش مناسب، باعث وقوع زمین لغزشی‌های بزرگ و قطع مسیر ارتباطی گردد. رسوبات دوره کرتاسه ($k2^{\mathrm{hom}}$) با سنگ‌آهک مارنی، مارن سیلت‌دار، با پایداری و نفوذپذیری کم می‌باشد که قبلا جاده‌ای در داخل آن‌ها احداث شده که غالبا از زمین‌های کم شیب عبور کرده و مشکل چندانی نداشته‌است. رسوبات دوره ژوراسیک(TRe3js): شامل شیل، شیل زغالی، ماسه سنگ، کنگلومرا با نفوذپذیری خیلی ضعیف و در مناطق پرشیب ناپایدار است در این مناطق از تراکم مسیر جاده جلوگیری شود. عبور یک شاخه مسیر ارتباطی با احتیاط کامل مشکل چندانی ندارد ولی هزینه نگهداری آن بسیار بالا است. رسوبات دوره تریاس(TRe^{2}) با لیتولوژی سنگ آهک، آهک دولومیتی ضخیم لایه، که پایداری و نفوپذیری آن‌ها خوب است.

رسوبات عهدحاضر(Qal) شامل دیواره پرشیب و ناپایدار اطراف رودخانه اصلی می‌باشد، به علت فرسایش کناری شدید از نظر زمین‌شناسی کاملا ناپایدار بوده و به‌علت زیرشویی دامنه توسط رودخانه شاهد زمین لغزش فراوان می-باشیم.

روش تحقیق :

با استفاده از بازدید صحرایی و همچنین با کمک ناظر عالی مستقر در سری فوق برای پهنه-بندی خطر زمین‌لغزش، از ۱۱ عامل متغیر مانند لیتولوژی، شیب، اختلاف ارتفاع، کاربری زمین، تراکم‌جاده، فاصله از گسل، طول گسل، فعالیت انسانی، اقلیم منطقه، شرایط آب زیر زمینی و جهت دامنه انتخاب گردید از ویژگی این مطالعه انتخاب جهت دامنه به‌عنوان یک عامل می‌باشد که در هیچ یک از روش‌های عددی ذکر شده انتخاب نگردید در صورتی که این عامل در جهت‌های مختلف علاوه بر رطوبت متفاوت، نوع گونه‌ها نیز متفاوت بوده که در جاده‌سازی در جنگل برای بهره‌برداری بسیار حایز اهمیت می‌باشد. بعد از وزن‌دهی مناسب نقشه‌های کلاسه شده حاصل از ۱۱ عامل مختلف انتخاب شده را در محیط GIS توسط نرم‌افزار Spatial Analyst با یگدیگر تلفیق ونقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تهیه گردید. در ترکیب نقشه‌ها در سامانه GIS از فرمول ابداعی زیر استفاده میگردد .

۱) I<10% --- (∑عوامل ۱۰ گانه)*(عامل شیب) /۲

۲) I.>10% --- (∑ عوامل ۱۰ گانه) + (عامل شیب) /۲

بعد از تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، با استفاده نقشه DEM و از نرم‌افزار Pegger جاده جدید طراحی گردید

نتایج :

زمین‌شناسی بیشترین میزان رسوبات تشکیل‌دهنده این سری شامل رسوبات کرتاسه بالایی($k2^{\hom}$) با کد حساسیت ۲، از نظر پتانسیل زمین لغزش با حساسیت کم، مجموعا حدود نزدیک به ٤٨ درصد را به خود اختصاص می‌دهد و رسوباتی که از نظر حساسیت به زمین لغزش در رده متوسط تا خیلی زیاد شامل رسوبات ژوراسیک(TRe3js) تا رسوبات مارنی، مارن سیلت‌دار، گنکلومرا و ماسه سنگ‌های سخت‌نشده دوران سوم شامل PIQ ، $M^{m.s}$ ، pe^{m} و با رسوبات آبرفتی (Qal) در حاشیه رودخانه‌ها به بیش از ٤٥ درصد را به خود اختصاص می‌دهند. و برای وزن دهی هر یک از رسوبات در میزان زمین لغزش از جدول ارایه شده از معاونت آبخیزداری استفاده و در تصویر (۱) ارایه گردید.

شیب: نتایج وضعیت شیب منطقه طبق روش لوفلر، نشان‌دهنده این است وضعیت شیب متوسط سری در بین ۱۰ – ۳۰ ٪ واقع شده و کمترین میزان شیب مربوط به کلاسه ۵۰٪ < I و کلاسه شیب ۱۰- ۰ ٪ تا ۱۵ درصد سطح اراضی سری می‌باشد و نقشه وزن‌دهی هر یک از طبقات شیب در زمین لغزش در تصویر (۲) ارایه گردید.

اختلاف ارتفاع: طبق طبقه‌بندی آن با لاخان، ۹۷/۱۲ ٪ سری در طبق ارتفاعی h> ۳۰۰ قرار دارد که وزن هریک از این عوامل در ایجاد لغزش در تصویر (۳) ارایه گردید.

کاربری اراضی: طبق طبقه‌بندی آن بالاخان به دو آیتم جنگل انبوه و نیمه‌انبوه می‌باشد که نزدیک به ۸۲ ٪ در طیف جنگل انبوه قرار دارد که وزن هریک از این عوامل در زمین لغزش در تصویر (٤) ارایه گردید.

تراکم جاده: جاده بهره‌برداری فقط از پارسل‌های ۱۲، ۱۳، ١٤ و ۱۷ عبور نکرده و در بقیه پارسل-ها ضمن عبور باعث ایجاد ۱۵ مورد خزش و ۲ زمین لغزش گردیده که در آینده نزدیک در اثر فعالیت حرکات توده‌ای بیشتر مسیر جاده قطع می‌گردد. طبق طبقه‌بندی از روش پائو چوری بیشترین تراکم جاده در محدوده کم تا متوسط قرار دارد و وزن هریک از عوامل فوق در ایجاد زمین لغزش در تصویر (۵) ارایه شده‌است.

فاصله از گسل: فاصله هر سازه یا ابنیه فنی تا گسل نسبت معکوس دارد که هرچه فاصله کمتر، اثر فعالیت گسل بیشتر می‌شود که نقش گسل خزر در سری ۲ به روش پاچوری طبقه‌بندی گردید که ۳۹ ٪ پارسل‌ها با فاصله بیش از ۸ کیلومتر، بیش از ۳۸ ٪ پارسل‌ها در فاصله ٦ –۸ کلیومتر و ۲۳ ٪ پارسل‌ها در محدوده ٤– ٦ کیلومتری از گسل خزر قراردارد و وزن عوامل فوق در ایجاد زمین لغزش در تصویر (٦) ارایه شده‌است.

طول گسل: میزان انرژی آزادشده از یک گسل علاوه بر نوع گسل به میزان طول آن نیز بستگی دارد که برای مشخص‌کردن اثر طول گسل از روش حایری استفاده گردیده‌است که در سری ۲، بیشتر در طبقات کم قرار دارد. وزن عوامل فوق در ایجاد زمین لغزش در تصویر (۷) ارایه شده‌است.

فعالیت انسانی: اثر فعالیت انسانی از روش LHEFC[1] طبقه‌بندی گردیده است که نزدیک به ۸۰ ٪ سری در طبقات متوسط تا فوق العاده زیاد قرار گرفته است و وزن عوامل فوق در ایجاد زمین لغزش در تصویر (۸) ارایه شده است .

اقلیم: باتوجه مطالعه به روش آمبرژه اقلیم منطقه از نوع مرطوب بوده و در طبقه‌بندیLHEFC دارای بیشترین امتیاز برای پتانسیل زمین لغزش می‌باشد و وزن عامل فوق در ایجاد زمین لغزش در تصویر (۹) ارایه شده‌است.

آب زیرزمینی: وضعیت آب زیرزمینی از طبقه-بندی آن با لاخان استفاده گردید که دراین حالت نزدیک به ۸۵ ٪ سطح سری در محدوده نم‌دار قرار دارد و وزن عامل فوق در ایجاد زمین لغزش در تصویر (۱۰) ارایه شده‌است.

جهت دامنه: جهت شمالی تا غرب بیشترین رطوبت دارد که حدود ٦۰ ٪ دامنه سری در این جهت قرار دارد و حدود ١٤ ٪ دامنه سری در جنوب شرقی که کمترین رطوبت را دارد، قرار دارد و وزن عامل فوق در ایجاد زمین لغزش در تصویر (۱۱) ارایه شده‌است.

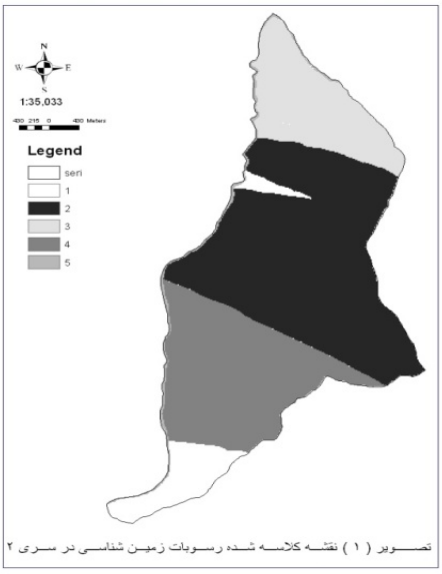
[1] -(Land slide Hazard Evaluation Factorys of Civil)

جدول ۱- نقش عوامل ۱۱ گانه در ناپایداری دامنه در سری۲ شهرستان آمل

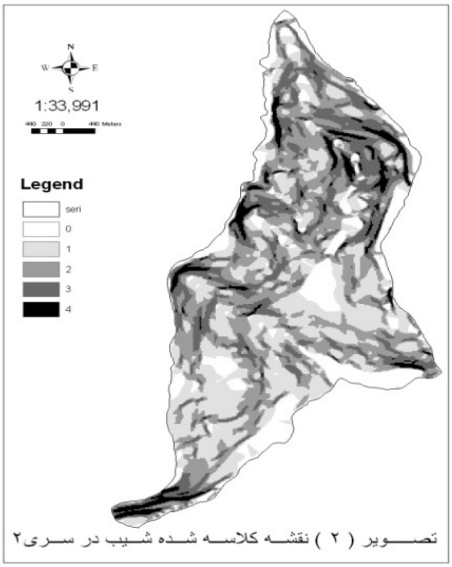
عامل	روش طبقه بندی	طبقات	کد وزن	درصد
زمین شناسی	جدول طبقه‌بندی سنگ ها از معاونت آبخیزداری	Pem،PIO	۳	۱۵/٦۰
		K2Lm	۲	٤۷/۵۲
		TR3js	٤	۲۷/٤۵
		TRe2	۱	۷/۲۸
		Qal	۵	۲/۱۵
شیب	لوفلر	٪ ۱۰-۰	۰	۱٤/۹۸
		٪ ۲۰ – ۱۰	۱	۲۵/٤۵
		٪ ۳۰ – ۲۰	۲	۳۰/۵
		٪ ۵۰ – ۳۰	۳	۲۰/۲
		٪ ۵۰<	٤	٤/۸۵
اختلاف ارتفاع	آن با لاخان	300>	۰/٦	۲/۸۸
		H>300	۱	۹۷/۱۲
کاربری زمین	آن بالا خان	جنگل انبوه	۰/۸	۸۱/۹٦
		جنگل نیمه انبوه	۱/۲	۱۸/۰٤
تراکم جاده	پائو چوری	بدون تراکم	۰	۱۷/۲۹
		تراکم کم	۱	۳۵/۳۲
		تراکم متوسط	۲	۳٦/۲۲
		تراکم زیاد	۳	۱۱/۱۷
فاصله از گسل حزر	پائوچوری	۲ – ۰ Km	٤	۰
		٤ -۲	۳	۰
		٦ – ٤	۲	۲۲/٦۸
		۸ – ٦	۱	۳۸/۲۳
		۸ <	۰	/۰۹ ۳۹
طول گسل	حائری	کم	۱	٦٤/۱
		نسبتا کم	۲	۷/۱
		متوسط	۳	۲٤/۷۸
		نسبتا زیاد	٤	٤/۱۲
		زیاد	۵	۰

ادامه جدول ۲- نقش عوامل ۱۱ گانه در ناپایداری دامنه در سری۲

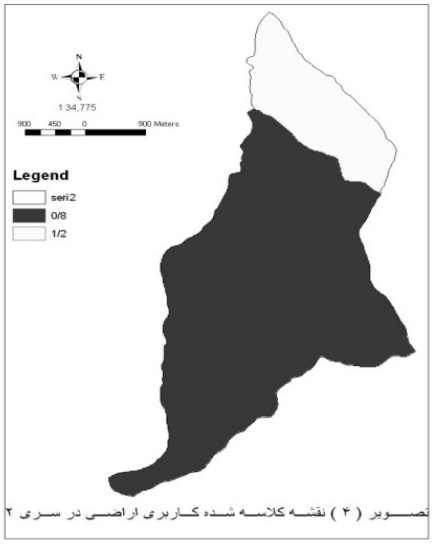
عامل	روش طبقه بندی	طبقات	کد وزن	درصد
اقلیم	LHEFC	خشک	۰	
		نیمه خشک	۰/۵	۰
		نیمه مرطوب	۱	۰
		مرطوب	۲	۱۰۰
شرایط آب زیرزمینی	آن با لاخان	در حال جریان آب	۱	۷/۵۵
		در حال اشباع	۰/۸	۰
		مرطوب	۰/۵	۷/۵۱
		نم دار	۰/۲	۸٤/۹٤
		خشک	۰	۰
جهت دامنه	مخدوم	مسطح	۱	۷/۹
		شمالی	۹	۱۹/۳۵
		شمال غربی	۸	۱۹/۳۵
		غرب	۷	۲۱/۵
		جنوب غربی	٦	۹/۳۹
		جنوب	۵	۰/۳۸
		شمال شرقی	٤	۱/۸۲
		شرق	۳	٦
		جنوب شرقی	۲	۱٤/۳
فعالیت انسانی	LHEFC	بدون فعالیت	۰	۱٤/٤۷
		فغالیت کم	۰/۲۵	٦/۱۱
		فعالیت متوسط	۰/۵	۳۸/٤٤
		فعالیت زیاد	۱	۲۷/٤٤
		فعالیت فوق العاده زیاد	۲	۱۳/۵٤



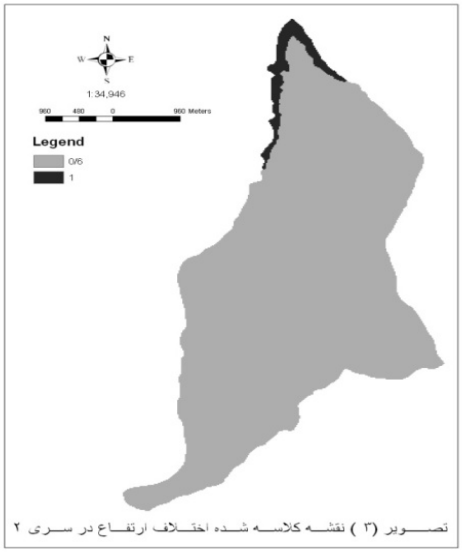
تصـــویر (۱) نقشـه کلاسـه شـده رسـوبات زمیـن شناسـی در سـری ۲



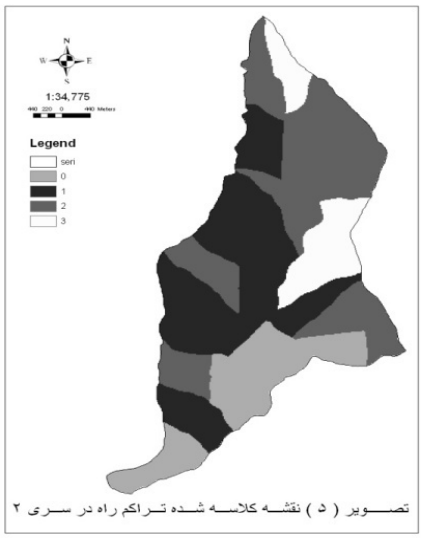
تصـــویر (۲) نقشـه کلاسـه شـده شـیب در سـری۲



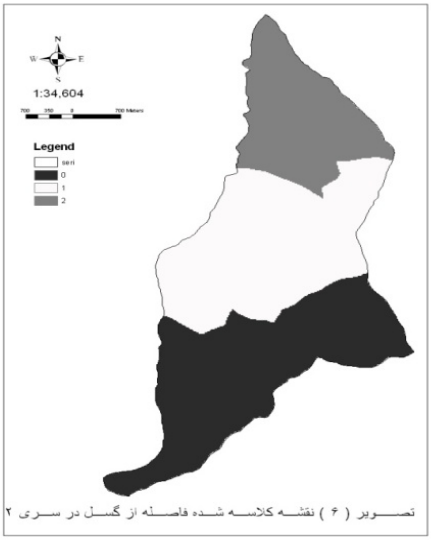
تصـــویر (۴) نقشـه کلاسـه شـده کـاربری اراضـی در سـری ۲



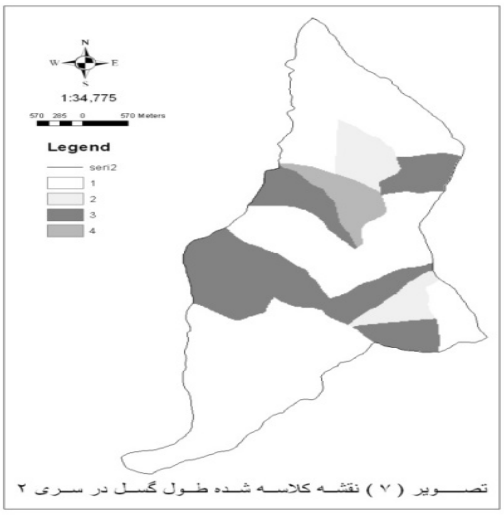
تصـــویر (۳) نقشـه کلاسـه شـده اختـلاف ارتفـاع در سـری ۲



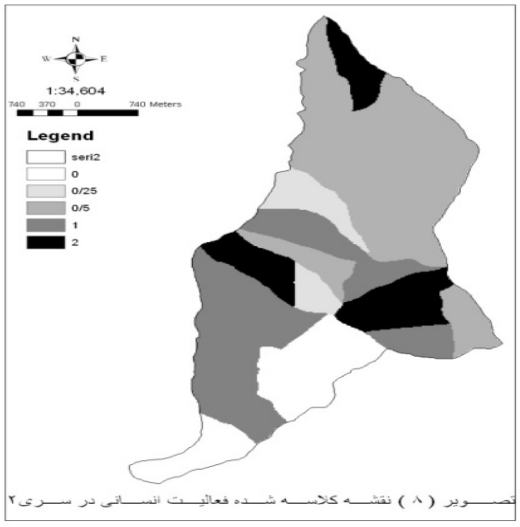
تصـــویر (۵) نقشـه کلاسـه شـده تـراکم راه در سـری ۲



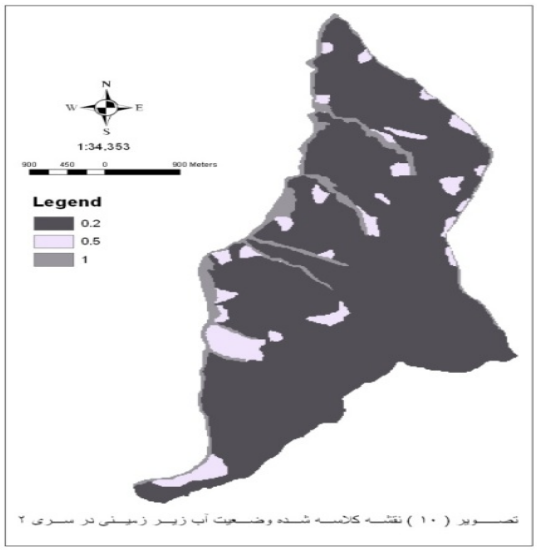
تصـــویر (۶) نقشـه کلاسـه شـده فاصـله از گسـل در سـری ۲



تصـــویر (۷) نقشـه کلاسـه شـده طـول گسـل در سـری ۲

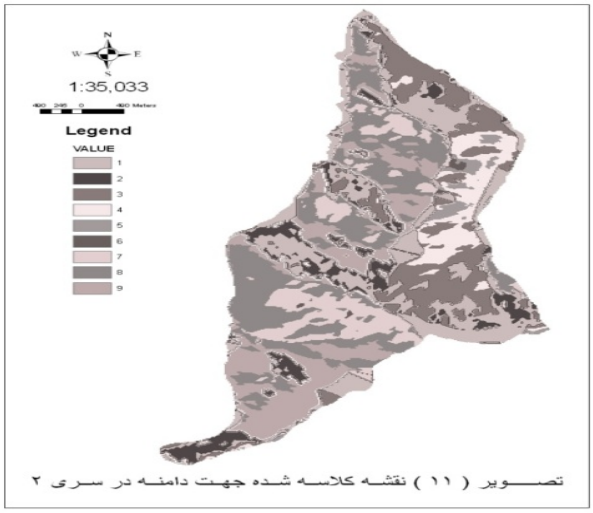


تصـــویر (۸) نقشـه کلاسـه شـده فعالیـت انسـانی در سـری۲



تصـــویر (۱۰) نقشـه کلاسـه شـده وضـعیت آب زیـر زمینـی در سـری ۲

تصـــویر (۹) نقشـه کلاسـه شـده نـوع اقلیـم در سـری ۲



تصـــویر (۱۱) نقشـه کلاسـه شـده جهـت دامنـه در سـری ۲

بعد از تهیه نقشه‌های کلاسه‌شده از ۱۱عامل‌های مختلف، در محیط GIS توسط نرم‌افزار Spatial Analyst با یگدیگر توسط فرمول ابداعی اشاره شده، تلفیق و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

تهیه می‌گـرد کـه نتـایج حاصـل از پهنـه‌بنـدی خطرزمین لغزش در جدول ارایه گردید .

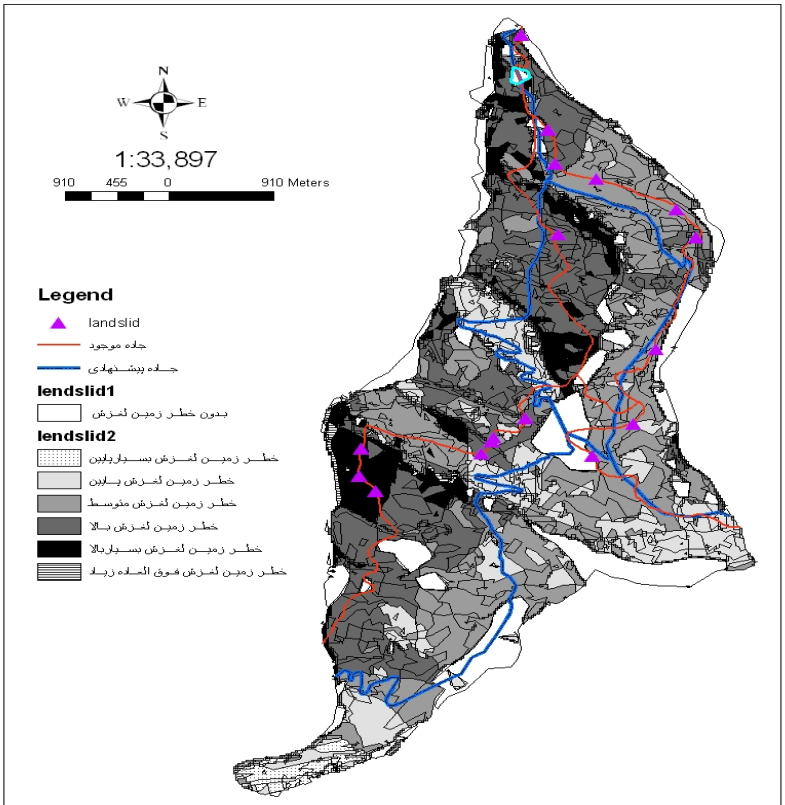
جدول ۲- نتایج پهنه‌بندی خطر لغزش به روش چند متغیره

ردیف	کلاسه زمین لغزش	مساحت (ha)	درصد	مفهوم کاربری LHEFC
۱	بدون لغزش	۲٤۷/۷۵	۱٤/۳۹	کاملا مطمئن برای جاده سازی
۲	خطر بسیار کم	۲٦/٦۳	۱/٦	کاملا مطمئن برای جاده سازی
۳	خطر کم	۲٦۰/٤٤	۱۵/۱۲	مطمئن برای جاده سازی
٤	خطر متوسط	۵٦۹/۳۹	۳۳/۱۲	مستعد ناپایداری
۵	خطر زیاد	٤۷۷/۲۳	۲۷/٦۵	برای اجرای جاده اطمینان کمی است باید استانداردهای لازم را در نظر گرفت
٦	خطر بسیار زیاد	۱۳۲	۷/٦۲	محل نامطمئن است
۷	خطر فوق العاده زیاد	۸/۵٦	۰/۵	جاده سازی ممنوع است

با استفاده از نقشه پهنه خطر زمین لغزش و نقشه DEM منطقه با استفاده از نرم‌افزار PEGGER جـاده جدید در سری۲ طراحی گردید

جدول ۳- مشخصات جاده موجود و جاده پیشنهادی در سری۲

نوع جاده	طول جاده (متر)	(RD)	(RS)
جاده موجود	۱۸٦۵٦	۱۰/۸۳	۹۲۳
جاده پیشنهادی در روش چند متغیره	۲۱۰٦۱	۱۲/۲۳	۸۱۸



تصویر (۱۲) نقشه پهنه خطر زمین لغزش و جاده پیشنهادی در سری ۲

بحث، نتیجه‌گیری

با بررسی از ۱۵ روش عددی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، از جهت دامنه به‌عنوان یک عامل استفاده نشده در صورتی در جهت‌های مختلف، رطوبت نیز متغیر بوده و نوع گونه‌ها نیز متفاوت می باشد که این عامل در جاده سازی در جنگل برای بهره‌برداری حایز اهمیت می‌باشد که با استفاده از این آیتم در پهنه‌بندی، مسیر جاده پیشنهادی از دامنه غربی به سمت دامنه شرقی که پتانسیل زمین لغزش کمتری دارد، تمایل پیدا کرده است.

در روش پهنه‌بندی با استفاده از ۱۱ عامل متغیر برای پتانسیل خطرزمین لغزش، در طراحی جاده جنگلی از روش سنتی گام پر گار برتری بالایی دارد زیرا در روش گام پر گار بیشتر تکیه بر تغییرات شیب می‌باشد و از عامل زمین-شناسی، آب زیر زمینی و ... در حین اجرای جاده‌سازی با تغییرمسیر، طراحی دوباره انجام می‌دهند ولی در این روش با استفاده از نرم افزار GIS با کمترین زمان و با بیشترین دقت بهترین مسیر را انتخاب می‌شود.

بر اساس مطالعات انجام شده توسط kai و همکاران (۱۹۹۶) مسیریابی جاده بر اساس متوسط موجودی، شیب عرصه، (نه بر اساس خطر زمین لغزش) تراکم مناسب جاده جنگلی برای شیب زیاد ۶۰-۳۰ درصد، شیب متوسط ۳۰-۱۰ درصد و شیب کم (کمتر از ۱۰٪) به ترتیب ۳۳- ۱۳، ۲۰- ۱۱ و ۱۵-۹ متر در هکتار به‌دست آمده است. و ساریخانی (۱۳۸۰) تراکم مناسب جاده برای جنگل‌های شمال ایران ۲۰-

۱۵ متر در هکتار جاده اصلی، ۲۵-۲۰ متر در هکتار جاده فرعی را پیشنهاد نمود. از آن‌جا که حدود ٦۰ درصد سری ۲ در شیب بین ۳۰-۱۰ درصد واقع گردیده‌است و بر اساس نقشه ظرفیت میزان موجودی بین ۲۰۰ تا ۳۵۰ متر مکعب در هکتار بوده و باتوجه به کوهستانی بودن منطقه و همچنین برای جلوگیری از فرسایش و تخریب خاک در اثر جاده‌سازی نتایج حاصل از این طراحی بیشتر به نتایج انجام شده توسط Kai و همکاران (۱۹۹٦) نزدیک‌تر بوده و تطابق بیشتری دارد.

منابع

۱-امیری، م، ج، ۱۳۷۹، طراحی مسیر شبکه جاده جنگلی با استفاده از تـوان اکولوژیـک در منطقه انجیل بن رشت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جنگل‌داری – دانشگده منـابع طبیعـی دانـشگاه تربیت مدرس تهران

۲-حـائری، س و همکـاران، روش‌هـای جدیدپهنه بندی مناطق شیب دار در برابر خطر زمین لغزش باتکیه بر بررسی‌هـای پهنـه‌بنـدی استان مازندران، مجله علوم زمین شماره ۲۳-۲٤

۳-سلیمانپور، م، ۱۳۸۹، بررسی شبکه‌بندی موجود و طراحی مناسب‌ترین شبکه جاده‌هـای جنگلی با استفاده از GIS در طرح جنگل داری سری یک کلاردشت، پایان نامه کارشناسی‌ارشد دانشکده جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

٤-سـنجری، س، ۱۳۸۸، Gis راهنمـای کاربردی Arc Gis 9.2 ،انتشارات عابد

۵-شـریعت جعفـری، م، ۱۳۷٦، شـناخت زمین لغزش‌ها (مبنای و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)، انتشارت نشر سازه

٦-عبدی، ا ، ۱۳۸٤، بررسـی شـبکه جـاده مناسب با توجه به اهداف مدیریت جنگل‌هـای زاگرس با استفاده از GIS و RS (منطقه سرخ آباد خرم آباد لرستان) پایان نامه کارشناسی ارشد جنگل‌داری و فناوری چوپ، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۷-علیزاده، ا م، ۱۳۸٦، هوا و اقلیم شناسی، دانشگاه مشهد

۸-کتابچه طرح تجدید نظر سری دو (عالی کیا سلطان)، ۱۳۸۱، اداره کل منابع طبیعی استان مازندران

۹-مقیمی، ا، ۱۳۸۵، ژئومورفولوژی شهری، انتشارات دانشگاه تهران

۱۰- مخـدوم، م، ۱۳۷۸، شـالوده آمـایش سرزمین، انتشارات دانشگاه تهران

۱۱- معاونت آبخیزداری ومراتع کشور، ۱۳۸۱، دستورالعمل اجرایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش دو متغیره

12-Murthy,A.R.2003.Selection of ieast cost paths for extraction of forest produce using Remote Sensing and GIS .map India conference

13-Musa,M.k.A and Mohamed .A.N.2000. Alignment Locating of forest Road Network By best-path modelin method . Malaysian cen-er of Remote Sensing

14-Roger, H.2001. Forest road planning in Unitsd Kingdom.FAO