پژوهش‌های فرسایش محیطی ٦: ۲ (۲۲)، تابستان ۱۳۹۵، ۵۹-۷٤
http://magazine.hormozgan.ac.ir

طراحی شبکه جاده جنگلی براساس عبور جاده از مناطق پایدار به منظور کاهش فرسایش (مطالعه‌ی موردی: سری واستون)

مجید لطفعلیان[۱]، محبوبه عباسپور[۱]، سید عطاءالله حسینی[۲]، آیدین پارساخو[۳]، صبا پیرو[۱]*
[۱] گروه جنگلداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
[۲] گروه جنگلداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران
[۳] گروه جنگلداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۹۴/۰۷/۰۸
اصلاح: ۹۵/۰۷/۰۲
پذیرش: ۹۵/۱۱/۰۳

چکیده

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی و عوامل مهم آسیب جنگل‌ها به شمار می‌رود که اغلب در اثر تغییر کاربری اراضی جنگلی، جاده‌سازی و فقدان پوشش گیاهی به وجود می‌آید. خاک‌های جنگلی به طور طبیعی نفوذپذیر، ولی از سوی دیگر جاده‌های جنگلی نفوذناپذیرند که همین مسئله موجب می‌شود تا آب باران روی سطح جاده جریان پیدا کند و ذرات خاک را شستشو دهد. بدین ترتیب، طراحی و ساخت جاده‌ی جنگلی باید به صورت اصولی انجام گیرد. به همین منظور، در این تحقیق سعی شد تا با استفاده از GIS و AHP و با در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار در مسیریابی جاده‌های جنگلی از جمله شیب و طول دامنه، فرسایش‌پذیری خاک، تراکم آبراهه‌ها، سنگ بستر، پوشش گیاهی، جهت دامنه و ارتفاع از سطح دریا، به طراحی بهینه‌ی شبکه جاده پرداخته شود. پس از تهیه‌ی هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی، با توجه به ضرایب اهمیت به دست آمده از AHP عمل روی هم‌گذاری نقشه‌ها انجام شد و نقشه‌ی توان ـ که نشان دهنده‌ی پایداری زمین نیز می‌باشد ـ برای جاده‌سازی، در چهار طبقه تهیه شد. سپس توسط ضمیمه‌ی PEEGER 1/1 در نرم‌افزار ArcView 3.0، طراحی واریانت‌های مختلف جاده بر روی این نقشه انجام شد. واریانت‌های طراحی شده و شبکه جاده‌ی موجود، با استفاده از آزمون مربع کای مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد شبکه جاده‌های طراحی شده در سطح ۹۵ درصد، از نظر عبور از مناطق پایدار و مساعد برای جاده‌سازی نسبت به شبکه جاده‌ی موجود، عملکرد بهتری داشته‌اند. نتایج این تحقیق می‌تواند در بهینه‌سازی طراحی شبکه جاده‌های جنگلی و کاهش خسارات زیست‌محیطی مؤثر باشد.

واژگان کلیدی: پایداری زمین، تحلیل سلسله مراتبی، مسیر یابی جاده جنگلی، PEGGER

۱ـ مقدمه

فرسایش خاک یک چالش جهانی است و منابع آب و خاک را تهدید می‌کند (Qiang et al, 2008). این پدیده فرایندی طبیعی است که در اثر فعالیت‌های انسانی تشدید می‌شود (Akay et al, 2005). متأسفانه انسان با تخریب

* نویسنده مسئول رایانامه: peyrovsaba@gmail.com

پوشش گیاهی با تبدیل جنگل به زمین زراعی، شهرسازی، همچنین جاده‌سازی غیراصولی و ایجاد تأسیسات ارتباطی، سبب فرسایش خاک می‌گردد.

شبکه جاده‌های جنگلی، نقش اساسی در سازماندهی منطقه، بهره‌برداری، حمل و نقل، تفریح و تفرج و ... دارند (ساریخانی، ۱۳۸۷). اصولاً مدیریت جنگل بدون وجود شبکه جاده‌ی مناسب، مدیریت علمی و اقتصادی محسوب نمی‌شود (عزتی و همکاران، ۱۳۸۷)، ولی از طرف دیگر این صورت از جاده‌سازی، خود یکی از مهمترین عوامل تخریب جنگل و محیط زیست محسوب می‌شود (نکویی‌مهر، ۱۳۸۵)؛ به طوری که جاده‌های جنگلی و مسیرهای چوبکشی نسبت به سایر عوامل بهره‌برداری، بیشترین فرسایش جنگل‌ها را در پی دارد (Ochteriski, 2004). با وجود اهمیت جاده‌های جنگلی در امر مدیریت آن، متوقف کردن طراحی و ساخت جاده امری ناممکن است؛ بنابراین در طراحی جاده لازم است علاوه بر مسائل فنی، مسائل زیست محیطی نیز به دقت مدنظر قرار داده شود. دخالت دادن جنبه‌هایی از زمین‌شناسی مانند فرسایش‌پذیری خاک، سبب افزایش دقت در طراحی شبکه جاده و کاهش خسارت‌های احتمالی می‌شود (شاهسوندبغدادی، ۱۳۹۰). امروزه GIS، امکان لحاظ نمودن کلیه‌ی شاخص‌های تأثیرگذار در طراحی جاده و مدیریت توأم اطلاعات موجود را فراهم کرده‌است (رأفت‌نیا و همکاران، ۱۳۸۵). از سوی دیگر در کنار بهره‌گیری از محیط GIS، استفاده از روش AHP می‌تواند در بهینه‌سازی طراحی شبکه جاده‌های جنگلی تأثیر فراوانی داشته باشد. این امر به به دلیل امکان بهره‌وری از نظر متخصصان در روند تصمیم‌گیری و ارزیابی، همچنین توانایی این روش برای استفاده در مواردی است که امکان کمی نمودن اطلاعات، دشوار باشد.

احمدی (۱۳۸۱) در مسیریابی جاده براساس اصول زیست محیطی با استفاده از GIS، عوامل زمین‌شناسی، فرسایش-پذیری، خاک‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، جریان‌های آبی، گسل و ارتفاع از سطح دریا و نقشه‌ی کاربری اراضی را با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی ارزش‌گذاری و پنج گزینه مسیر را به روش دستی طراحی کرد. سپس برای مقایسه‌ی گزینه مسیر بهینه، از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده نمود. نتایج به دست آمده در این پژوهش با در نظر گرفتن مسائل محیط زیستی، قابلیت استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چند معیاره را در مسیریابی نشان داد (Gumus et al, 2008) ؛ و در مطالعه‌ی خود در سری کاتوک جنگل‌های ترکیه با استفاده از GIS، ۵۹/۰۶۷ کیلومتر جاده را طراحی کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که ۹۰/۲ درصد از طول مسیر از جاهایی که کمترین نقاط منفی را داشته، عبور کرده‌است.

Sibi and Raafatnia (2012) ، عوامل مؤثر در طراحی جاده‌های جنگلی را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بررسی کرد. نتایج نشان داد با استفاده از این تکنیک و با بهره‌گیری از نقشه‌های شیب موجودی در هکتار، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، تیپ جنگل، جهت جغرافیایی و ارتفاع می‌توان منطقه‌ی عبور مناسبی را برای عبور جاده‌ها براساس اصول زیست محیطی و ویژگی‌های فنی جاده‌های جنگلی و کوهستانی انتخاب نمود.

مطالعات انجام شده در مورد عوامل مؤثر بر فرسایش‌آبی مسیرهای چوبکشی ــ که در سری‌های پهنه‌ی کلا و ارزفون با مدیریت شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران انجام می‌شود ــ نشان داد که بین مقدار فرسایش‌آبی با عوامل فاصله‌ی پروفیل عرضی از مبدأ، موجودی در هکتار و پوشش‌گیاهی کف جنگل رابطه‌ی خطی معنی‌داری وجود نداشت،

اما مقدار فرسایش‌آبی با عوامل مساحت سطح آبگیر، شیب طولی مسیر و شیب سطح آبگیر در سطح احتمال یک درصد و با عامل طول مسیر در سطح احتمال ۵ درصد، همبستگی مثبت داشت و با تعداد در هکتار درخت در سطح احتمال ۵ درصد همبستگی منفی نشان داد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد مناطقی که دارای تاج پوشش باز که بدون پوشش لاشبرگ و دارای بافت خاک رسی بودند، بیشترین فرسایش‌آبی را داشتند (لطفعلیان و همکاران، ۱۳۸۸).

در مطالعات طراحی شبکه جاده‌ی جنگلی با رعایت مسائل زیست محیطی، فنی و اقتصادی و با استفاده از GIS و AHP در بخش بهاربن جنگل آموزش ـ پژوهشی خیرود نوشهر، پس از طراحی جاده با نرم‌افزار PEEGER نشان داده شد که یکی از ۶ گزینه‌های طراحی شده علاوه بر مطلوبیت زیست محیطی از نظر فنی نیز دارای مطلوبیت است. در نهایت، قابلیت پیاده نمودن آن در عرصه نیز بررسی و تأیید شد (شاهسوندبغدادی، ۱۳۹۰).

مرور بر پژوهش‌های پیشین، ضرورت طراحی جاده‌های جنگلی با استفاده از قابلیت‌های GIS را نشان می‌دهد. هدف این پژوهش، تهیه‌ی نقشه‌ی پایداری زمین در برابر فرسایش خاک به کمک GIS، همچنین طراحی شبکه جاده‌ی جنگلی با هدف کاهش فرسایش در منطقه و ارزیابی شبکه جاده‌ی طراحی شده با شبکه‌ی موجود است.

۲ـ مواد و روش‌ها

۲ـ ۱ـ منطقه‌ی مورد مطالعه

سری واستون با مساحت ۱۴۷۰ هکتار بین طول جغرافیایی"۶ ،۵۲′ ،۵۳۰ تا "۱۰ ،۵۵′ ،۵۳۰ شرقی و عرض جغرافیایی"۲ ،۱۸′ ،۳۶۰ تا "۱۸ ،۱۳′ ،۳۶۰ شمالی واقع شده‌است (شکل ۱). این سری در حوزه‌ی آبخیز شماره‌ی ۷۱ در حدود ۱۸ کیلومتری جنوب شرقی مجتمع چوب و کاغذ مازندران و حدود ۳۲ کیلومتری جنوب تا جنوب شرقی شهرستان ساری، بین حدود ارتفاعی ۳۰۰ تا ۱۰۴۰ متر قرار گرفته‌است. تیپ جنگل راش ـ ممرز و با تعداد در هکتار ۱۵۷ اصله و موجودی در هکتار ۳۸۵ مترمکعب می‌باشد (بی‌نام، ۱۳۸۴).

روش

در این تحقیق به منظور طراحی شبکه جاده‌ی جنگلی با هدف کاهش فرسایش، نقشه‌های شیب و طول دامنه (شاخص LS)، فرسایش‌پذیری خاک (شاخص K)، تراکم آبراهه‌ها، سنگ بستر، پوشش گیاهی، جهت دامنه، ارتفاع از سطح دریا که از جمله شاخص‌های مهم و تأثیرگذار در پایداری زمین به ویژه در برابر فرسایش هستند (Sadeghi et al, 2013)، مورد بررسی قرار گرفتند. بعد از تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی نامبرده در محیط GIS، به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن نسبی هر یک از معیارهای مؤثر در وقوع فرسایش مشخص شد. سپس روی‌هم‌گذاری لایه‌های موضوعی با توجه به وزن‌های به دست آمده، در محیط GIS به اجرا درآمد و نقشه‌ی پایداری در چهار طبقه با پایداری مختلف، بسیار پایدار، پایدار، ناپایدار و بسیار ناپایدار تهیه شد (لطفعلیان و پارساخو، ۱۳۹۰). پس از استخراج خطوط منحنی میزان از نقشه‌ی شبکه‌ی نامنظم مثلثی (TIN)، عملیات طراحی شبکه جاده در محیط Arc View و به کمک ضمیمه‌ی PEEGER در این نرم‌افزار، بر روی نقشه‌ی پایداری نهایی انجام شد و در پایان واریانت‌های طراحی شده از نظر عبور از طبقات مختلف نقشه‌ی پایداری، با شبکه جاده‌ی موجود مقایسه شدند.

نمونه‌برداری خاک

هدف از نمونه‌برداری در این پژوهش، محاسبه‌ی میزان فرسایش‌پذیری خاک یا شاخص K بوده‌است. به منظور برآورد تعداد نمونه‌ی موردنیاز، در محیط GIS شبکه‌ی آماربرداری ۱۰۰*۱۰۰ بر روی نقشه‌ی منطقه انداخته شد و ۲۴ نقطه از شبکه‌ی آماربرداری به صورت تصادفی در منطقه‌ی مورد مطالعه قرار گرفت که مختصات این نقاط به‌صورت UTM در دستگاه موقعیت‌یاب جهانی وارد شد. در روز نمونه‌برداری، نقاط موردنظر به وسیله‌ی GPS در عرصه تعیین، سپس از هر نقطه از عمق (۰-۳۰) خاک، نمونه‌برداری و این نمونه‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل شد.

برآورد شاخص فرسایش‌پذیری خاک

پس از نمونه‌برداری از خاک منطقه، شاخص فرسایش‌پذیری آن (K) براساس رابطه‌ی ویشمایر و همکاران (رابطه‌ی ۱) محاسبه شد (Kefi et al, 2011):

$$K = 2.8\times10^{-7}\times(12-OM)\times M^{1.14} + 4.3\times10^{-3}\times(s-2) + 3.3\times10^{-3}\times(p-3)$$ رابطه‌ی (۱)

در این رابطه، OM درصد موادآلی است که به روش والکی بلاک تعیین شد، S ساختمان خاک است که با توجه به اطلاعات ساختمان پروفیل‌های حفر شده در منطقه و براساس کدهای مربوط به معادله‌ی جهانی فرسایش خاک، تعیین شد (رفاهی، ۱۳۸۵). P شاخص نفوذپذیری خاک است که چون اطلاعات نفوذپذیری هر نمونه در دسترس نبود با استفاده از بافت خاک هر نمونه، گروه هیدرولوژیکی خاک و نفوذپذیری متناسب با آن مشخص شد (مهدوی، ۱۳۸۰). M نیز پارامتر اندازه‌ی ذرات است که با توجه به رابطه‌ی ۲ به دست آمد:

M = (درصد شن ریز + درصد سیلت) × (۱۰۰ - درصد رس) رابطه‌ی (۲)

درصد سیلت و رس از طریق هیدرومتری (تعیین بافت خاک) و برای محاسبه‌ی شن ریز نیز از روش الک تر و سری الک‌های ۰/۲۵، ۰/۱۲۵، ۰/۰۵۳ استفاده شد. در نهایت، با استفاده از مقادیر پارامترهای به دست آمده و قرار دادن هریک از آنها در رابطه‌ی (۱)، برای هر نمونه مقدار K به دست آمد.

تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی

لایه‌ی رقومی هیدرولوژی به روش استرالر در چهار طبقه در نرم‌افزر ArcGIS 10 تهیه شد (مهدوی، ۱۳۸۰). سپس با توجه به اینکه رودخانه‌ها و آبراهه‌های بزرگتر از هر دو طرف رودخانه دارای شیب بیشتری بودند، بافری برای آنها در نظر گرفته شد؛ به صورتی که آبراهه‌های کوچک (درجه‌ی ۱)، متوسط (درجه ۲)، بزرگ (درجه ۳) و رودخانه‌ی دائمی به ترتیب دارای بافر ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متر شدند (محمدی‌سمانی، ۱۳۹۰) (شکل ۲ - الف).

نقشه‌ی فرسایش‌پذیری منطقه براساس نتایج حاصل از فرمول K، برای هر نمونه خاک و با استفاده از مدل درون‌یابی کریجینگ در محیط GIS، در چهار طبقه به صورت زیر تهیه شد: الف) ۰/۰۲۳ > ؛ ب) ۰/۰۳۰-۰/۰۲۳ ؛ ج) ۰/۰۳۶-۰/۰۳۰ ؛ د) < ۰/۰۳۶ (شکل ۲ - ب).

نقشه‌ی توزیع سنگ بستر منطقه نیز با توجه به اطلاعات موجود، در چهار طبقه تهیه شد (شکل ۲ - ی). نقشه‌ی موجودی در هکتار با استفاده از اطلاعات آماربرداری موجود در کتابچه‌ی طرح در سه طبقه، کمتر از ۲۰۰، ۳۵۰-۲۰۰ و بیش از ۳۵۰ متر مکعب تهیه شد (شکل ۲ - ج). برای تهیه‌ی نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع یا DEM منطقه، از نقشه‌ی توپوگرافی رقومی شده با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ استفاده گردید. سپس به کمک مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه، نقشه‌ی ارتفاع از سطح دریا در چهار طبقه‌ی ارتفاعی به صورت زیر تهیه شد: الف) طبقه‌ی صفر تا ۳۰۰ متر؛ ب) طبقه‌ی ۳۰۰ تا ۶۰۰ متر؛ ج) طبقه‌ی ۶۰۰ تا ۹۰۰ متر؛ د) طبقه‌ی ۹۰۰ تا ۱۰۴۰ متر (شکل ۲ - د) (بی‌نام، ۱۳۸۴).

نقشه‌ی جهت جغرافیایی نیز با استفاده از DEM منطقه در پنج طبقه‌ی اصلی شمال، جنوب، شرق، غرب و بدون جهت یا مسطح تهیه شد (شکل ۲ - ه).

برای استخراج پوشش گیاهی منطقه، از شاخص NDVI در نرم‌افزار Idrisi 17 استفاده شد (رابطه‌ی ۳) (Pettorelli et al, 2005):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$ رابطه‌ی (۳)

بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ی سنجش از دور هندوستان (IRS) و سنجنده LISS III مربوط به سال ۲۰۰۹ استفاده شد (شکل ۲ - و).

نقشه‌ی شیب نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاع در چهار طبقه‌ی ۰ تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۵ ، ۲۵ تا ۵۰ و بالای ۵۰ درصد تهیه شد (شکل ۲ - ز) (بی‌نام، ۱۳۸۴).

برای تهیه‌ی نقشه‌ی مربوط به شاخص LS (طول و شیب دامنه)، ابتدا نقشه‌ی شیب و طول دامنه در محیط (GIS) تهیه شد، سپس این دو نقشه در محیط ArcGIS، به کمک رابطه‌ی (۴) و با محاسبات رستری با هم ترکیب شدند و نقشه‌ی LS به دست آمد (Zanjani jam and Rasouli, 2007).

$$LS = \sqrt{\frac{(0.065L) + (0.045S) + (0.0065S^2)}{22.13}}$$ رابطه‌ی (۴)

در این رابطه، L طول شیب و S درجه‌ی شیب است (شکل ۲ - ط).

طول شیب عبارت است از فاصله‌ی افقی از مبدأ جریان بالادست دامنه تا جایی که تندی شیب به مقدار قابل ملاحظه‌ای تغییر یافته باشد، به طوری که عمل رسوب‌گذاری آغاز شود (Najafinejad et al, 2011). با مشخص کردن یال و دره‌های موجود در منطقه از روی خطوط توپوگرافی در محیط GIS، نقشه‌ی طول دامنه‌ی منطقه در سه طبقه تهیه شد:کمتر از ۱۰۰، ۴۰۰-۱۰۰ و بیش از ۴۰۰ متر (شکل ۲ - ح).

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نحوه‌ی ارزش‌گذاری

پس از طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری طبقات داخلی نقشه‌ها، به منظور وزن‌دهی به مشخصه‌ها پرسشنامه‌ای طراحی شد و پس از بیان هدف و تشریح اصول و کلیات این تکنیک، این پرسشنامه به متخصصان آگاه و خبره در زمینه‌ی جاده‌سازی جنگل به مراکز اجرایی، علمی و آموزشی فرستاده شد تا دیدگاه خود را در الویت‌بندی مشخصه‌های

تأثیرگذار در طراحی مسیر، ارائه کنند. دیدگاه حاصل از ارسال پرسشنامه در نرم‌افزار Expert choice تحلیل و بررسی شد و وزن و اولویت هریک از معیارها نسبت به هم به دست آمد (جدول ۱).

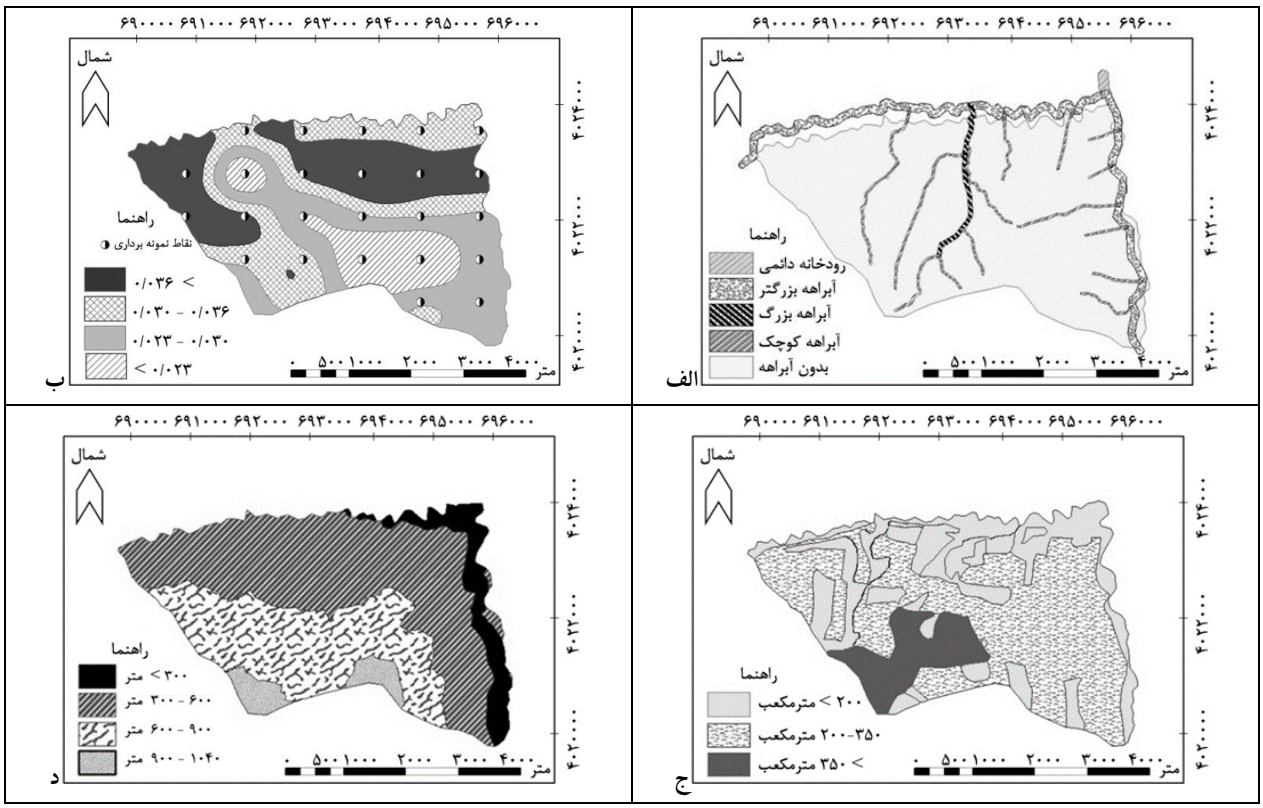
روی‌هم‌گذاری نقشه‌ها و تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی پایداری منطقه

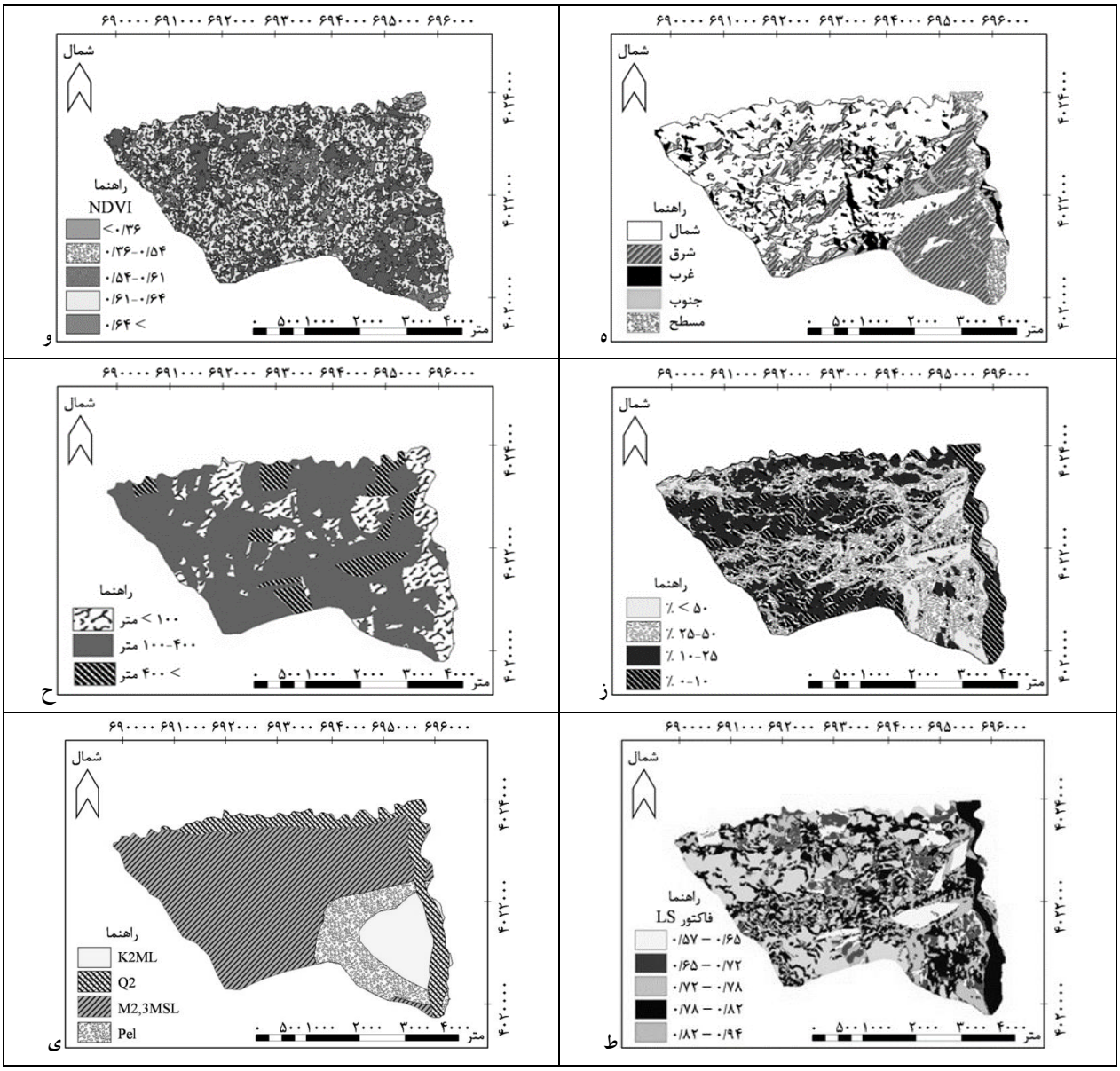
در این مرحله به کمک محاسبات رستری، وزن‌های نسبی حاصل از تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی در لایه‌های اطلاعاتی مربوط ضرب شدند، بدین ترتیب نقشه‌های وزن داده شده در محیط GIS با هم تلفیق و نقشه‌ی نهایی پایداری تهیه شد (لطفعلیان و پارساخو، ۱۳۹۰). پس از تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی پایداری منطقه، طراحی جاده با استفاده از ضمیمه‌ی PEGGER در محیط Arcview3.0 انجام شد. طراحی جاده به گونه‌ای صورت گرفت که تا حد امکان با رعایت درصد شیب مجاز برای جاده‌سازی و با در نظرگرفتن پوشش مناسب، جاده‌ها از مناطقی با قابلیت جاده‌سازی بالا و متوسط -که مسلماً از پایداری بیشتری برخوردار هستند - عبور نماید.

۳ـ نتایج (یافته‌ها)

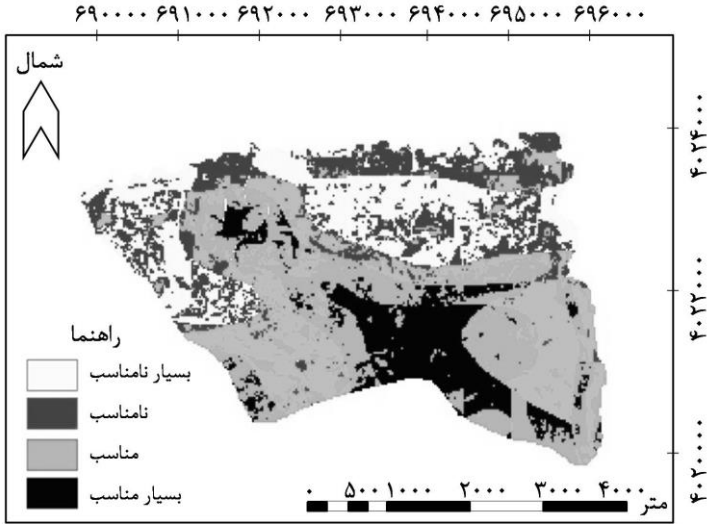
۳ـ۱ـ نقشه‌ی نهایی پایداری

نقشه‌ی نهایی پایداری از منظر فرسایش‌پذیری در چهار طبقه‌ی بسیار پایدار، پایدار، ناپایدار و بسیار ناپایدار تهیه شد که طبقات بسیار پایدار و پایدار دارای ارزش‌های بالا و مناطق مساعد برای جاده‌سازی می‌باشند. این مناطق، مناطقی با فرسایش‌پذیری کم تا متوسط، شیب‌های کمتر از ۲۵ درصد، موجودی در هکتار زیاد، بدون آبراهه یا دارای آبراهه‌های کوچک هستند (همان، ۱۳۹۰) (شکل ۳).



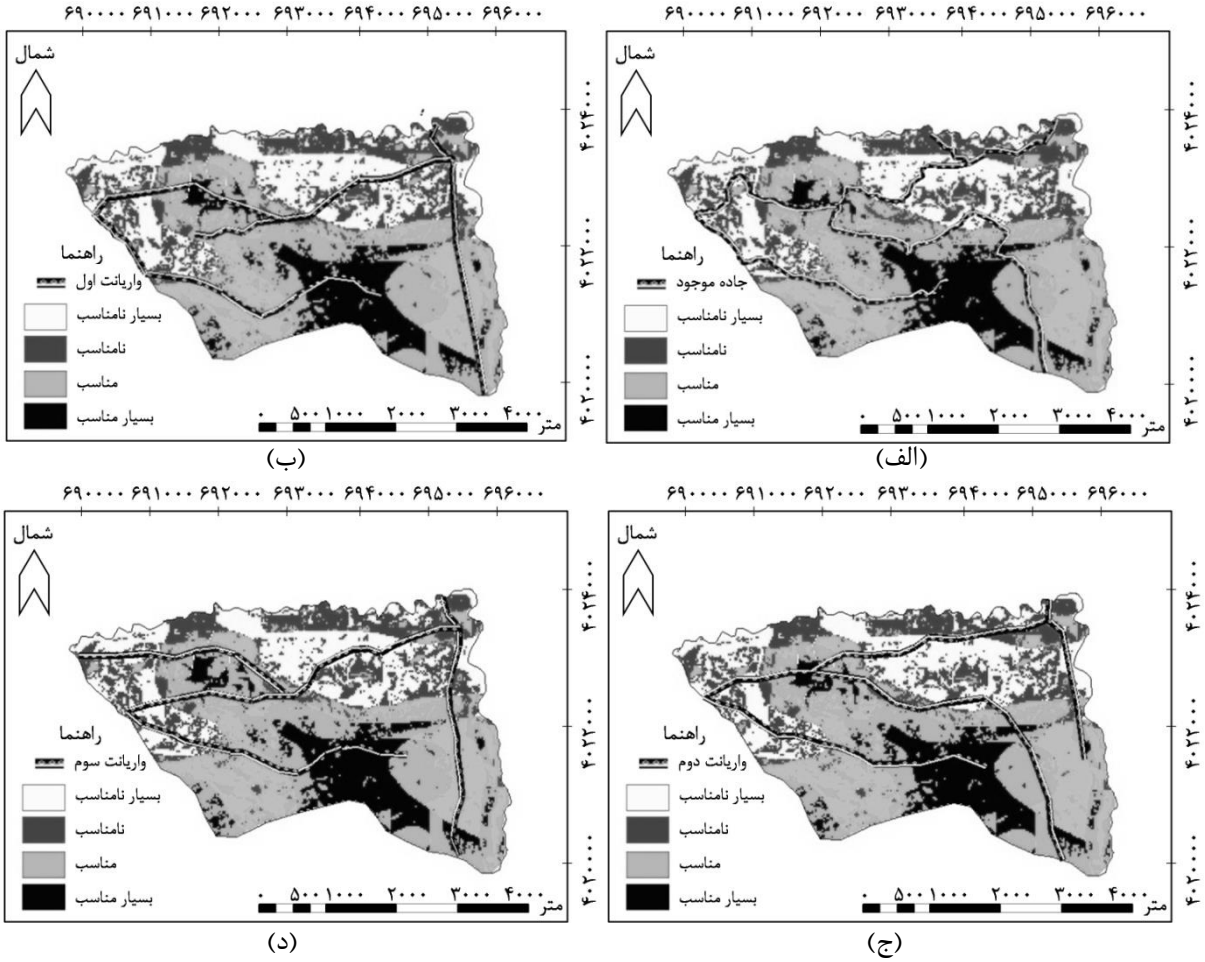


شکل ۲: لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده: الف) هیدرولوژی؛ ب) فرسایش‌پذیری؛ ج) موجودی در هکتار؛ د) طبقات ارتفاعی؛ ه) جهت؛ و) پوشش گیاهی؛ ز) شیب؛ ح) طول دامنه؛ ط) طول و شیب دامنه (LS) و ی) توزیع سنگ بستر



شکل ۳: نقشه‌ی پایداری به دست آمده برای جاده‌سازی

شکل ۴ چگونگی توزیع جاده‌ی موجود و واریانت‌های طراحی شده بر نقشه‌ی پایداری منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۴: توزیع تراکم واریانت‌های طراحی شده و جاده موجود روی نقشه‌ی پایداری منطقه، الف) توزیع تراکم واریانت اول؛ ب) توزیع تراکم واریانت دوم؛ ج) توزیع تراکم واریانت سوم؛ د) توزیع تراکم جاده موجود

۳ـ۲ـ نتایج حاصل از تحلیل سلسله مراتبی

نتایج حاصل از فرایند تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که شیب با ضریب ۰/۳۸۴ دارای بیشترین امتیاز، و ارتفاع از سطح دریا با ضریب ۰/۰۲۵ دارای کمترین امتیاز بوده‌اند. در روند تحلیل سلسله مراتبی برای تأیید قضاوت‌ها، پیشنهاد شده‌است که نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد که نرخ ناسازگاری حاصل از تحلیل سلسله مراتبی انجام شده در این پژوهش، ۰/۰۷ بوده و از این نظر قابل قبول است (جدول ۱).

جدول ۱: وزن نهایی و اولویت معیارها نسبت به همدیگر

معیار	شیب	فرسایش‌پذیری خاک	سنگ بستر	معیار موجودی در هکتار	پوشش گیاهی	جهت	آبراهه	ارتفاع از سطح دریا
وزن	۰/۳۸۴	۰/۲۱۳	۰/۱۳۵	۰/۰۷۳	۰/۰۶۴	۰/۰۶۱	۰/۰۴۴	۰/۰۲۵

وضعیت عبور واریانت‌های مختلف جاده از طبقات مختلف نقشه‌ی پایداری منطقه

در مسیریابی سعی شد تا جاده‌ها از مناطقی با قابلیت جاده‌سازی بالا و متوسط -که مسلماً از پایداری بیشتری برخوردار هستند - عبور نمایند. ۶۳/۴ درصد از واریانت اول، از مناطق پایدار و بسیار پایدار عبور کرده‌است که در مقایسه با جاده‌ی موجود و سایر واریانت‌ها، از نظر عبور اراضی پایدار از شرایط بهتری برخوردار است (جدول ۲).

جدول ۲: درصد عبور واریانت‌های مختلف از طبقات پایداری متفاوت

طبقات مختلف	جاده موجود (٪)	واریانت اول (٪)	واریانت دوم (٪)	واریانت سوم (٪)
بسیارناپایدار	۱۸/۹	۱۴/۸	۱۶/۷	۱۶/۷
ناپایدار	۲۳/۵	۲۱/۸	۲۴/۱	۲۵/۳
پایدار	۴۸/۲	۵۲/۵	۴۷	۴۷/۵
بسیارپایدار	۹/۲	۱۰/۹	۱۲/۲	۱۰/۴

مقایسه‌ی شبکه جاده‌ی موجود و واریانت‌های طراحی شده با روش درصد پوشش

در این تحقیق سعی بر این بود تا جاده‌ها با طول تقریباً یکسان طراحی شوند. بنابراین، تراکم طولی واریانت‌ها بسیار به هم نزدیک است. نتایج این ارزیابی نشان داد که واریانت دوم، بهترین درصد پوشش و در واقع قابلیت پوشش ۷۰/۸۷ درصد از منطقه را دارا می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۳: مشخصات فنی شبکه جاده‌ها

مشخصات فنی	جاده موجود	واریانت اول	واریانت دوم	واریانت سوم
تراکم طولی (متر بر هکتار)	۱۰/۶۴	۱۰/۵۱	۱۰/۷۴	۱۰/۵۰
تراکم فاصله‌ای (متر)	۹۳۹/۸۴	۹۵۱/۴۷	۹۳۱/۰۹	۹۵۲/۳۸
مرز چوبکشی (متر)	۴۶۹/۹	۴۷۵/۷۳	۴۶۵/۵۴	۴۷۶/۱۹
درصد حوزه چوبگیر	۷۶/۵	۷۷/۴	۸۲/۷	۸۱/۳
درصد پوشش مشترک	۱۴/۳	۱۶/۷	۱۱/۸	۱۴/۸
درصد شبکه‌بندی	۶۲/۲۵	۶۰/۶۹	۷۰/ ۸۷	۶۰/۸۸

مقایسه‌ی آماری بین شبکه جاده‌ی موجود و واریانت‌های طراحی شده

مقایسه‌ی آماری بین شبکه جاده‌ی موجود و هر کدام از واریانت‌های طراحی شده، با استفاده از آزمون مربع کای با انتخاب ۶۰ نقطه به صورت تصادفی در امتداد مسیرها صورت گرفت. وضعیت هر یک از نقاط، از نظر حضور در منطقه‌ی پایدار یا ناپایدار بررسی شد که نتایج حاصل از آن در جدول ۴ ذکر شده‌است. سپس این نتایج با استفاده از آزمون مربع کای، در محیط SPSS ۱۹ تجزیه و تحلیل شد. نتایج این آزمون نشان داد هر سه واریانت طراحی شده از لحاظ عبور از مناطق پایدارتر، از نظر آماری بهتر از شبکه جاده‌ی موجود بوده‌است و مطابق این آزمون در سطح ۹۵ درصد، مقایسه‌ی واریانت‌ها با شبکه جاده‌ی موجود دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. در واقع، هر سه واریانت طراحی شده از نظر عبور از مناطق پایدار و مساعد برای جاده‌سازی، عملکرد بهتری نسبت به شبکه جاده‌ی موجود داشتند (جدول ۵).

جدول۴: شرایط نقاط انتخابی بر روی نقشه‌ی پایداری منطقه

وضعیت منطقه	جاده موجود	واریانت اول	واریانت دوم	واریانت سوم
ناپایدار	۳۵	۱۹	۲۰	۲۲
پایدار	۲۵	۴۱	۴۰	۳۸

۵: نتایج آزمون کای اسکور[1] بین جاده موجود و واریانت‌های طراحی شده

وضعیت	درجه آزادی	معنی‌داری
واریانت اول	۱	۰/۰۰۳
واریانت دوم	۱	۰/۰۰۶
واریانت سوم	۱	۰/۰۱۷

[1] Chi-Square

۴ـ بحث و نتیجه‌گیری

نتایج وزن‌دهی مشخصه‌ها در این تحقیق نشان داد که از بین عوامل تأثیرگذار در جاده‌سازی، شیب بیشترین وزن را داشته‌است. در همین راستا در تحقیقات دیگری از جمله تحقیقات محمدی‌سمانی (۱۳۹۰) و شاهسوندبغدادی (۱۳۹۰)، شیب با وزن نسبی بیشتر، پراهمیت‌ترین لایه در طراحی جاده نشان داده شده‌است. شیب، شاخص بسیار مهمی در طراحی جاده‌ی جنگلی است. از لحاظ تئوری با افزایش میزان شیب دامنه، پتانسیل ناپایداری افزایش می‌یابد (لطفعلیان و پارساخو، ۱۳۹۰). شیب زیاد باعث تسریع جریان آب می‌شود و به همان نسبت میزان فرسایش‌آبی و هدررفت خاک افزایش می‌یابد. بعد از شاخص شیب دامنه، شاخص K یا فرسایش‌پذیری خاک با وزن ۰/۲۱۳ دومین شاخص مؤثر نشان داده شد. در معادله‌ی فرسایش‌پذیری خاک (معادله‌ی ۱)، متغیرهای نرخ نفوذ، ساختمان خاک، درصد ماده آلی و درصد ذرات تشکیل دهنده‌ی خاک، شامل شن، سیلت و رس گنجانده شده و بدین‌ترتیب آن را به رابطه‌ای نسبتاً جامع تبدیل کرده‌است؛ نسبتاً به آن دلیل که متغیرهای شیب، پوشش گیاهی و برخی از مشخصات فیزیوگرافی زمین در آن دیده نشده‌است. شاخص K برای جنگل‌های سری واستون بین ۰/۰۱۶ تا ۰/۰۴۲ (تن در هکتار در ساعت در مگاژول در میلی‌متر) برآورد شد که مقدار آن در مقایسه با نتایج مطالعات سایر محققین در مناطق غیر جنگلی که بین ۰/۱۵ تا ۰/۳۴ (تن در هکتار در ساعت در مگاژول در میلی‌متر) برآورد شده، بسیار کمتر است (Lu et al, 2004 & Sharma et al, 2011). مسئله‌ی فرسایش در زمین‌های پوشیده از درخت به وخامت زمین‌های زراعی نیست؛ زیرا به دلیل وجود تاج پوشش درختان، معمولاً پوشش این اراضی خوب و در مواردی بسیار کامل است. علاوه بر این، وجود لایه‌ای از لاشبرگ و شاخه‌های نازک بر سطح زمین پوشش مطلوبی برای خاک به وجود می‌آورد که به خوبی از خاک محافظت می‌کند (قدیری، ۱۳۸۹).

تاج پوشش جنگلی ضمن حفاظت خاک، مقدار قابل توجهی از نزولات آسمانی را در خود نگه می‌دارد که بخشی از آن تبخیر شده و بقیه به زمین می‌رسد. بخش زیادی از آب نفوذی، صرف احتیاجات آبی پوشش جنگلی می‌شود و بخش قابل توجهی نیز از راه تبخیر سطحی خاک و تعرق به هوا باز می‌گردد. بقیه‌ی آب نفوذی نیز به سفره‌ی موقتی یا دائمی می‌پیوندد؛ بنابراین، مقدار هرزآب در جنگل کاهش می‌یابد (رفاهی، ۱۳۸۵). از طرفی دیگر به دلیل وجود ماده آلی بیشتر در خاک جنگل، حجم رواناب کاهش می‌یابد که نتیجه‌ی آن کاهش شدت فرسایش در مقایسه با سایر کاربری‌ها است. در همین زمینه، در این تحقیق مشخص شد که میانگین نرخ فرسایش در جنگل مورد مطالعه برابر با ۰/۰۳۱ بوده‌است. جاده‌سازی در جنگل از فعالیت‌هایی است که حتی اگر اصولی و فنی انجام شود، فرسایش خاک را به دنبال دارد؛ زیرا جاده‌ها اغلب عمود بر جهت شیب دامنه ساخته می‌شوند و به سبب قطع جریان‌های سطحی و زیر سطحی، سامان خروج آب را تغییر می‌دهند. بنابراین با وجود آگاهی از خواص فیزیکی خاک، قابلیت نفوذ و ثبات ساختمانی آن می‌توان به طراحی جاده در محل مناسب پرداخت. (Akay et al, 2005 و شاهسوندبغدادی، ۱۳۹۰) این فرضیه را به اثبات رساندند که AHP و GIS در طراحی جاده براساس اصول زیست محیطی، قابلیت‌های زیادی دارند و با وجود حجم زیاد اطلاعات و مسائل زیست محیطی تأثیرگذار متعدد، می‌توان از قابلیت‌های آنها در راستای بهبود طراحی شبکه جاده‌های جنگلی استفاده کرد.

با توجه به نتایج به دست آمده از طراحی مسیرها بر نقشه‌ی پایداری به دست آمده‌ی ناشی از قابلیت‌های AHP و GIS دیده شد که از بین جاده‌ی موجود و سه واریانت طراحی شده، جاده‌ی موجود درصد عبور بیشتری (۱۸/۹ درصد) نسبت به مناطق بسیار ناپایدار داشته‌است. واریانت اول طراحی شده نسبت به سایر واریانت‌ها و جاده‌ی موجود، با عبور ۵۲/۵ درصد از مناطق پایدار و ۱۰/۹ درصد از مناطق بسیار پایدار، در مجموع با ۶۳/۴ درصد از مناطق مناسب برای جاده‌سازی بیشتر عبور داشته‌است. واریانت دوم نیز با عبور ۴۷ درصد جاده از مناطق پایدار و ۱۲/۲ درصد از مناطق بسیار پایدار، در مجموع ۵۹/۲ درصد از مناطق مناسب برای جاده‌سازی عبور داشت. واریانت سوم نیز با عبور ۴۷/۵ درصد جاده از مناطق پایدار و ۱۰/۴ درصد از مناطق بسیار پایدار، در مجموع ۵۷/۹ درصد از مناطق مناسب برای جاده‌سازی عبور داشت. در نهایت، واریانت دوم با داشتن بیشترین درصد پوشش، ۷۰/۸۷ درصد از منطقه را تحت‌پوشش قرار داد و به عنوان بهترین واریانت انتخاب شد.

پیشنهادها

با استفاده از فناوری‌های نوین به همراه تهیه‌ی نقشه‌های موضوعی، با فراهم آمدن دید سه بعدی از منطقه و با در نظرگرفتن اصول زیست محیطی و شرایط منطقه، می‌توان بالاترین و بیشترین دقت را ارمغان آورد؛ به گونه‌ای که هم به اهداف جاده‌سازی دست یافت و هم اینکه کمترین خطر را به آینده‌ی جنگل وارد کرد.

سپاس‌گزاری

تحقیق حاضر با راهنمایی‌های جناب آقای دکتر سیاوش کلبی و خانم دکتر مریم رضایی‌پاشا انجام شده‌است. بدین وسیله نهایت سپاس و تشکر خود را از سروران گرامی اعلام می‌دارم.

منابع

۱. قدیری، ح.، ۱۳۸۹. حفاظت خاک، انتشارات دانشگاه شهید چمران (ترجمه به فارسی)، ۴۷۰ ص.

۲. عزتی، س.؛ نجفی، ا.؛ و ا.کرمی، ۱۳۸۷. تلفیق GIS و تکنیک‌های زیست محیطی در مسیریابی مقدماتی جاده‌های جنگلی، کنگره‌ی دانشگاه آزاد قزوین، ۱۰ ص.

۳. لطفعلیان، م.؛ شیروانی، ز .؛ و ح.، نقوی، ۱۳۸۸. بررسی عوامل مؤثر در فرسایش آبی مسیرهای چوبکشی، *مجله‌ی جنگل ایران*، دوره‌ی ۱، شماره‌ی ۲، ۱۱۵- ۱۲۴.

۴. لطفعلیان، م.؛ و آ. پارساخو، ۱۳۹۰. برنامه‌ریزی شبکه جاده‌های جنگلی، نشر آییژ، ۱۶۸ ص.

۵. مهدوی، م.، ۱۳۸۰. هیدرولوژی کاربردی، نشر دانشگاه تهران، ۴۰۰ ص.

۶. محمدی‌سمانی، ک.، ۱۳۹۰. بررسی شبکه جاده جنگلی موجود و پیشنهاد شبکه‌ای با توزیع بهینه در جنگل‌های گیلان (سری ۱ ناو اسالم)، رساله‌ی دکتری تخصصی (PhD) ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۲۳ ص.

۷. نکویی‌مهر، م.؛ عبدالهی، خ.؛ رأفت‌نیا، ن.؛ رییسیان، ر.؛ جهانبازی گوجانی، ح.؛ و س. م. طالبی، ۱۳۸۵. تأثیر جاده سازی بر تخریب جنگل‌های منطقه‌ی بازیافت، *مجله‌ی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، دوره‌ی چهاردهم، شماره‌ی سوم، ۲۲۸-۲۴۳.

۸. زنجانی‌جم، م.؛ و م. رسولی، ۱۳۸۶. ارزیابی خطرپذیری فرسایش خاک با استفاده از مدل USLE در محیط GIS (مطالعه‌ی موردی: بخشی از حوزه‌ی آبخیز زنجانرود)، همایش ژئوماتیک، ۸ ص.

۹. شاهسوندبغدادی، ن.؛ پیر باوقار، م.؛ و ه. سبحانی، ۱۳۹۰. طراحی شبکه جاده‌ی جنگلی با رعایت مسائل زیست محیطی، فنی و اقتصادی با استفاده از GIS و AHP (مطالعه‌ی موردی: بخش بهاربن جنگل خیرود)، *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، دوره‌ی نوزدهم، شماره‌ی سوم پیاپی ۴۵ ، ۳۸۰ - ۳۹۵ .

۱۰. ساریخانی، ن.، ۱۳۸۷. بهره‌برداری جنگل، نشر دانشگاه تهران، ۷۲۸ ص.

۱۱. رفاهی، ح.، ۱۳۸۵. فرسایش‌آبی و کنترل آن، نشر دانشگاه تهران، ۶۷۱ ص.

۱۲. رأفت نیا، ن.؛ شتایی جویباری، ش.؛ و ا. عبدی، ۱۳۸۵. تعیین روش مناسب پیش‌بینی مقدماتی مسیر جاده‌های جنگلی و کوهستانی با استفاده از GIS، *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، دوره‌ی چهاردهم، شماره‌ی سوم (پیاپی بیست و پنجم)، ۲۴۴ - ۲۵۷.

۱۳. بی‌نام، ۱۳۸۴. برنامه عملیاتی جنگل، صنعت چوب و کاغذ مازندران، ۲۰۵ ص.

14. Akay, A. E., & j., Session, 2005. Apply the decision support system, TRACER, to forest. Road design Society of American forestry, *Journal of Applied Forestry*, 20, 180 - 191.

15. Agheli kohne sharghi, L., & H., Sadeghi, 2005. Estimated economic effects of soil erosion in Iran, *Journal of Economic Research*, 15, 87 - 100.

16. Celik, I., 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey, *Soil & Tillage Research*, 83 (2), 270 – 277.

17. Gumus, S. H.; Acar, H.; & D., Tuksoy, 2007. Functional forest road network planning by consideration of environmental impac assessment for woo harvesting. Environmental Monitoring and Assessment, 142 (1-3), 109 - 116.

18. Hasmadi, M. I.; Pakhriazad, H. Z.; & Mohamad, F. S., 2010. Geographic information system - allocation model for forest path: A case study in Ayer Hitam forest reserve, Malaysia, *American Journal of applied sciences*, 7 (3), 376 - 380.

19. Kefi, M.; Yoshino, K.; Setiawan, Y.; Zayani. Kh; & M.; Boufaroua, 2011. Assessment of the effects of vegetation on soil erosion risk by water: a case of study of the Batta watershed in Tunisia, *Environmental Earth Sciences*, 64, 707 – 719.

20. Lu, D.; Li, G.; Valladares, GS; & M.; Batistella, 2004. Mappping soil erosion risk in Rondoia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS, *Land Degradation & Development*, 15, 499 – 512.

21. Najafinejad, A.; Mardian, M.; Varvani, J.; & V. B.; Sheikh, 2011. Evaluation and comparison of representative hill slope and raster based hill slope methods for computation of topography factor in USLE, *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 1 (1), 99 -114.

22. Ochteriski, J. 2004. Best Management practices during a timber harvest .Forest land best management practices, Cornell Cooperative Extension, 1 pp.

23. Pettorelli, N.; Vik, J. O.; Mysterud, A.; Gaillard, J. M.; Tucker, C. J.; & N. C.; Stenseth, 2005. Using the satellite – derived NDVI to assess ecological responses to environmental change, *Trends in ecology and evolution*, 20 (9), 503 – 510.

24. Qiang Deng, Z.; de Lima Joao. L. M. P.; & H.; Shin Jung, 2008. Sediment transport rate - based model for rainfall - induced soil erosion, Catena, 76, 54 - 62.

25. Sadeghi1, M.; Loftalian, M.; & S. A.; Hosseini, 2012. Forest roads and environmental Damages, *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 1 (3), 31 - 40.

26. Sharma, A.; Tiwari, K. N.; & P. B. S.; Bhadoria, 2011. Effect of land - use land cover change on soil erosion potential in an agricultural watershed. Environmental Monitoring and Assessment, 173, 789 - 801.

27. Siegrista, S.; Schauba, D.; Pfiffnerb, L.; & P.; Mäderb, 1988. Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long - term field study on loess in Switzerland, Agriculture, *Ecosystems and Enviroment*, 69, 253 - 264.

28. Sibi, a.; & N. A.; raafatnia, (2012). consideration of effective factors in design of forest roads using geographic information system (gis), *journal of renewable natural resources research*, volume 3, number 1 (serial number 7); page (s) 1 to 12.

Quarterly journal of Environmental Erosion Research Vol. 6: 2 (22), 2016 summer, 59-74
http://magazine.hormozgan.ac.ir

Forest Road Design in Stable Location to Minimize Erosion, (A Case Study in Vaston District)

Lotfalian, M.[1], Abaspour, M.[1], Hosseini, A.[2], Parsakho, A.[3], Peyrov, S.[1*]

[1] *Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural*
[2] *Forestry Department, Faculty of Natural Resources, University of Tehran*
[3] *Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural*

Article History:
Received:
30.9.2015
Revised:
24.9.2015
Accepted:
13.10.2016

Keywords:
Analytical Hierarchy Process, Forest Road Routing, Land Stability, PEGGER

abstract

Soil erosion is of the most important environmental challenges and factors of forest damage, which is, occur because of the land use change, road construction and lack of vegetation cover. Forest soil is naturally penetrable but forest roads are not. This issue causes the flows runoff on road surface and washes soil particles. Thus, forest roads must be planned and constructed accurately. So, this study attempts to use the ability of GIS and AHP to plan optimal forest road with considering effective factors on land stability including slope length and steepness (LS factor), soil erodibility (K factor), hydrographic networks, geology, vegetation cover, aspects and elevation maps. After providing each of thematic layer and determining their priority by Analytical Hierarchy Process, the overlay process was conducted and stability map was prepared in four classes. The road network was planned using by PEGGER (an extension of ArcView 3.0 software) on stability map. The planned variants and existence road network was compared using Chi-square test. Results showed that the planned road network is better than existence road network at probability level of 95%, because it passed more from stable and suitable area. The results of this research can be effective to optimize the design of forest road network and can reduce the environmental damage.

*** Correspondinng Author:** peyrovsaba@gmail.com