

کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل SEDMODL در تخمین فرسایش و رسوب

جاده جنگلی (مطالعه موردی: جاده کهیان، شهرستان لردگان)

چکیده:

هدف اصلی از تحقیق حاضر بررسی میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در جاده‌های جنگلی بلوط غرب کشور در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از مدل SEDMODL و همچنین شناسایی مناطق با بیشترین نقش در تولید رسوب و فرسایش خاک به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی است. در این تحقیق از جاده‌های جنگلی منطقه کهیان واقع در شهرستان لردگان به طول ۳۴۹۳ متر به عنوان منطقه مطالعاتی استفاده شد. در این مطالعه، ابتدا نقشه‌های مورد نیاز شامل زمین‌شناسی، جاده، شیب، بارندگی و تراکم زهکشی تهیه و در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 رقومی شد و همچنین طی بازدیدهای میدانی جنس، سن و ترافیک جاده‌های مطالعاتی تعیین شد. با تلفیق نقشه‌های تهیه شده بر اساس سه عامل پایه در مدل، رسوب ناشی از شبکه جاده‌های جنگلی مطالعاتی برآورد شد. همچنین در این تحقیق به منظور اندازه‌گیری میدانی میزان فرسایش و رسوب در قسمت‌های مختلف جاده‌های مطالعاتی، ۴۸ پیکه فرسایشی نصب و در طول یک سال میزان تغییرات آن‌ها اندازه‌گیری شد و میانگین هدر رفت عمودی خاک بر اساس اندازه‌گیری صورت گرفته ۳/۶ میلی‌متر در یک سال برآورد شد. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد میزان فرسایش خاک ناشی از جاده جنگلی مطالعاتی بر اساس مدل SEDMODL در جاده کهیان ۴۹۶ تن در سال در طول جاده است. میزان رسوب‌دهی کل بر اساس مدل SEDMODL در جاده‌های کهیان ۱۰۶ تن در سال است. همچنین تحلیل لکه‌های داغ نتایج نشان داد ۱۴/۵ درصد از جاده‌های جنگلی کهیان دارای تولید فرسایش بسیار زیاد می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خاک، تولید رسوب، جاده‌سازی، دسترسی، زاگرس.

Commented [۱۵]: نظر کلی و خلاصه ایرادات مقاله

مقاله حاضر با هدف تخمین فرسایش و رسوب ناشی از جاده‌های جنگلی با استفاده از مدل SEDMODL و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به بررسی منطقه کهیان در استان چهارمحال و بختیاری پرداخته است. با این حال، مقاله دارای ایرادات علمی، فنی، نگارشی و منطقی متعددی است که در زیر به‌طور خلاصه آورده شده‌اند:

1. ایرادات علمی و فنی
(الف) دقت کم در مدل‌سازی و فرضیات
- تناقض در داده‌های ورودی :
- مقادیر GER (نرخ فرسایش زمین‌شناسی) در جدول ۱ برای سازندهای رسوبات سخت ۳۷ تن/هکتار/سال آورده شده است، اما در نقشه GER (شکل ۳) ۹۱۱۰۰۰ تن/هکتار/سال به کار رفته است .
- فاکتور Tf (تراکم ترافیک) در جدول ۵ برای جاده فرعی عدد ۱ منظور شده، اما در جدول ۳ برای همین کلاس مقدار ۲ تعیین شده است .
- فرضیات غیرواقعی :
- فاکتور Df (تحويل رسوب) برای فاصله‌های بیش از ۶۰ متر از آبراه‌ها مقدار صفر در نظر گرفته شده است، اما در مناطق با پوشش گیاهی ضعیف (مثل جاده کهیان) این فرض نادرست است .
- در محاسبه Af (عمر جاده)، برای جاده ۱۱ ساله از ضریب ۲ استفاده شده است، اما در بخش نتایج عدد ۱۰۶،۴ تن/سال به‌اشتباه ۱۰۶،۴۷ تن/سال گزارش شده است .

...

:Deleted

Commented [۲۵]: عدم اعتبار سنجی میدانی کافی

مثال 48: پیکه فرسایشی در اطراف جاده نصب شده است، اما نحوه انتخاب موقعیت این پیکه‌ها (مثلاً توزیع آنها در شرایط مختلف شیب، پوشش گیاهی و زمین‌شناسی) به‌خوبی توضیح داده نشده است.
نقد: اگر پیکه‌ها در مناطق همگن نسبت به شرایط محیطی قرار گرفته باشند، نمایانگر فرسایش کل جاده نخواهند بود.

...

Commented [۲۶]: تناقض بین نتایج مدل و اندازه‌گیری‌های میدانی

مثال:
در خلاصه و بخش نتایج آمده است:
"میانگین هدر رفت عمودی خاک بر اساس اندازه‌گیری صورت گرفته ۳/۶ میلی‌متر در یک سال برآورد شد."
"میزان فرسایش خاک ناشی از جاده جنگلی مطالعاتی"

...

:Deleted

:Deleted

راه‌های ارتباطی و جاده‌ها به‌عنوان شاه‌رگ‌های حیاتی یک جامعه محسوب می‌شوند به‌طوری‌که در صورت عدم توسعه و گسترش آن‌ها، حیات و توسعه اقتصادی و اجتماعی جامعه مختل خواهد شد (۱۲). سیدل و همکاران (۲۲)، هاوکس و همکاران (۱۱) و یوسفی و همکاران (۳۰) معتقدند که جاده‌سازی به‌عنوان یکی از عوامل تخریب عرصه‌های منابع طبیعی به‌شمار می‌آید به‌گونه‌ای که امروزه این موضوع به یکی از معضلات حوزه‌های آبخیز تبدیل شده است. باربر و همکاران (۳) و همچنین وهاب‌زاده و همکاران (۲۶) اعتقاد دارند که جاده‌سازی‌های غیراصولی با از بین بردن یگانگی طبیعت، فروپاشی چرخه حیات کوهستان و حجم زیاد خاک‌برداری، منجر به نابودی زیستگاه‌های جانوری و گیاهی، کاهش ارزش‌های زیباشناسی و آسیب‌دیدگی مناطق حساس می‌شوند (۱۸). سردا (۷)، گاین و همکاران (۱۰) و کاو و همکاران (۶) بر این باورند که یکی از بزرگ‌ترین مشکلات ناشی از جاده‌سازی، ایجاد و گسترش اشکال مختلف فرسایش از قبیل فرسایش آب‌کندی و توده‌ای در اطراف جاده‌ها است. ریس‌دیک و همکاران (۱۹) و یوسفی و همکاران (۳۰) علت اصلی این امر را از بین بردن پوشش گیاهی، تخریب ساختمان خاک، افزایش سرعت رواناب و ناپایدار کردن شیب دامنه می‌دانند. بوروس و کینگ (۵)، سان و مک‌نالتی (۲۵) و همچنین وارول و همکاران (۲۸) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیده‌اند که در جریان احداث جاده، سطح وسیعی از عرصه جنگل‌ها و مراتع در طول و حاشیه مسیر آن تخریب شده و حجم بسیار زیادی خاک و سنگ از محل خود جابه‌جا شده یا بر روی اراضی مجاور ریخته شده که موجب مضاعف شدن شدت تخریب محیط‌زیست می‌شود و یا به‌طور مستقیم وارد آبراهه‌ها و رودخانه‌ها شده و در نهایت به‌صورت رسوب وارد مخازن سدها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها و دریاها گشته و حتی با رسوب‌گذاری در بستر رودخانه‌ها باعث تغییر مورفولوژی آن‌ها و ایجاد فرسایش رودخانه‌ای می‌شود (۲۴). آکای و همکاران (۱)، پارساخو و همکاران (۱۷) و مؤیدی و همکاران (۱۵) اذعان کرده‌اند که جاده‌سازی عاملی در راستای فراهم شدن زمینه برای وقوع سایر رخساره‌های فرسایشی است. کانروی و همکاران (۸) به این نتیجه رسیده‌اند که میزان تخریب محیط‌زیست و عرصه جنگل‌ها و مراتع در اثر جاده‌سازی، بستگی به عوامل گوناگونی از جمله نوع جاده، توپوگرافی منطقه، حساسیت خاک‌ها و سازندهای زمین‌شناسی مسیر جاده دارد. باربر و همکاران (۳) اعتقاد دارند که در سال‌های اخیر فعالیت‌های ساخت‌وساز و تعمیر و نگهداری جاده‌های جنگلی بیش‌ازپیش مورد توجه قرار گرفته، زیرا احداث جاده‌ها افزایش نگرانی‌ها در مورد تأثیرات کوتاه‌مدت و بلندمدت بر محیط‌زیست و تخریب را به دنبال داشته است. سوتلوعلی و بکدال (۲۱) و سلگی و همکاران (۲۳) معتقدند که در طراحی شبکه جاده نه تنها میزان هزینه‌ها بلکه مدیریت صحیح آب و خاک نیز باید منظور گردد. سوتلوعلی و بکدال (۲۱) در مطالعه‌ای مروری بر مطالعات انجام‌شده بر روی فرسایش جاده‌ای در دنیا پرداخته و بیان نمودند که از بین بردن پوشش گیاهی توسط جاده‌سازی یکی از عوامل مهم تشدید فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز محسوب می‌شود. یورولماز و گومز (۲۹) در مطالعه‌ای به مقایسه مدل‌های WEED، Road Batch Model و ABAG در برآورد فرسایش خاک سطحی در قسمت خاک‌ریزی جاده‌های جنگلی ترکیه پرداختند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که برای مدل‌های WEED و ABAG میزان هدر رفت سالانه خاک ۷/۹۳ و ۱۵/۵ تن در سال در هکتار است.

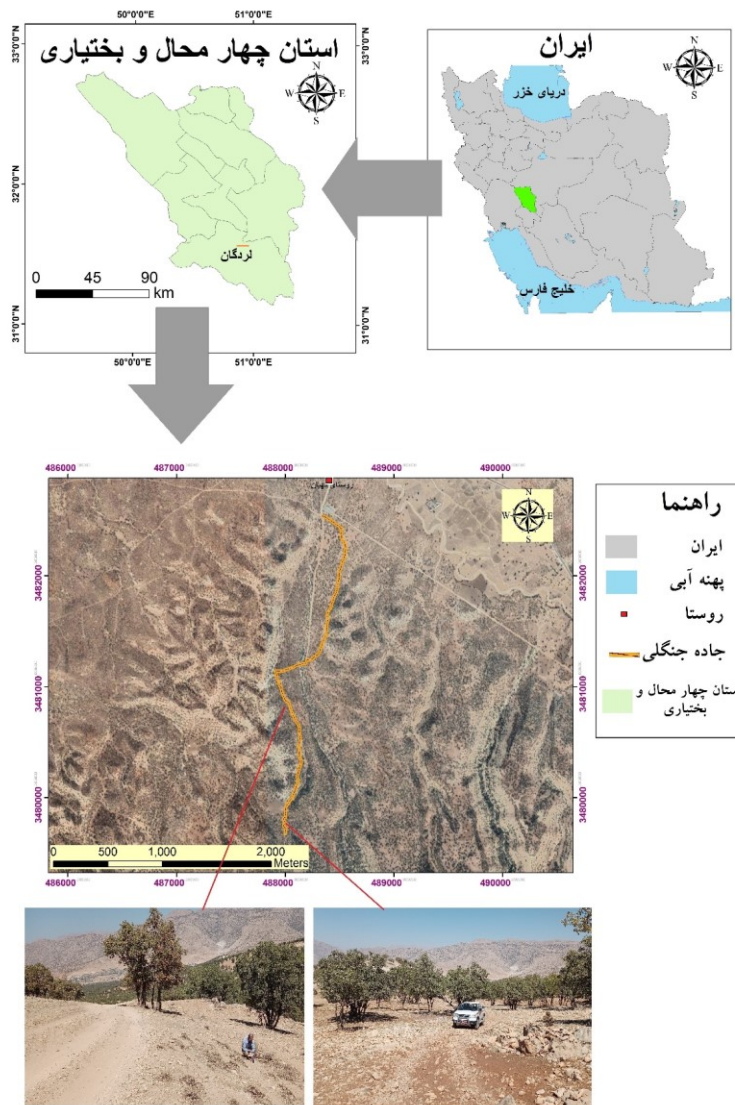
در کشور ایران، اسد الهی و همکاران (۲) در مطالعه‌ای در حوزه آبخیز آموزشی- پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس با استفاده از مدل SEDMODL و سامانه اطلاعات جغرافیایی به بررسی رسوب‌زایی جاده‌های بین زمین‌های کشاورزی پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که میزان فرسایش ناشی از این شبکه جاده بدون در نظر گرفتن نرخ تحویل رسوب در حدود ۴۲۳/۹ تن در سال است. با در نظر گرفتن نرخ تحویل رسوب بر اساس فاصله از آبراهه، رسوب‌دهی از شبکه جاده در حدود ۱۲/۸۵ تن در سال به تفکیک ۸/۸۵ تن مربوط به سطح جاده و آبروهای کنار جاده و ۴ تن مربوط به ترانشه خاک‌برداری است.

در مطالعه حاضر از مدل تحویل رسوب جاده SEDMODL و سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS به منظور تخمین رسوب‌دهی متوسط سالانه شبکه جاده‌ای در یک بازه جاده جنگلی در شهرستان لردگان، واقع در استان چهارمحال و بختیاری استفاده شد. تحقیق حاضر سعی دارد به بخشی از فرسایش و تخریب خاک ناشی از احداث جاده‌های جنگلی در جنگل‌های زاگرس بپردازد. همچنین پژوهش حاضر اولین تحقیق کاربردی در جنگل‌های غرب کشور است که بر اساس مدل SEDMODL مناطق با بیشترین پتانسیل تولید فرسایش و رسوب (لکه‌های داغ) را در جاده‌های جنگلی شهرستان لردگان معرفی می‌کند.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مطالعاتی

استان چهارمحال و بختیاری با مرکزیت شهرکرد با مساحتی حدود ۱۶۳۲۸۳۵ هکتار بین **عرض جغرافیایی ۳۱** درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و نیز **طول جغرافیایی ۴۹** درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی قرار دارد. این منطقه به دلیل تنوع آب‌وهوایی نواحی هم‌جوار و تغییرات بسیار زیاد ارتفاع در قلمرو استان از شرایط اقلیمی متنوع برخوردار است. بلندترین نقطه استان قله زرد کوه با ارتفاع ۴۲۲۱ متر و پست‌ترین نقطه آن در ارمند و کنار رودخانه کارون با ارتفاعی معادل **۸۰۰ متر** از سطح دریا است (۳۰). در تحقیق حاضر یک بازه مطالعاتی از جاده‌های جنگلی خاکی در شهرستان **لردگان** برای مطالعه انتخاب شد. جاده مطالعاتی کهپان از نوع خاکی با سطح **شن‌ریزی شده** به طول ۳/۵ کیلومتر است که به منظور دسترسی به روستاهای منطقه و همچنین تردد **عشایر احداث شده** است. جاده مطالعاتی کهپان در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر لردگان و در قسمت جنوبی روستای کهپان از توابع شهرستان لردگان واقع شده است. این جاده پس از روستای کهپان به سمت جنوب از جاده اصلی و آسفالت **جدا شده** و به مسیر جاده خاکی و آسفالت نشده ادامه می‌یابد. طول بازه مطالعاتی ۳۴۹۳/۳ متر است. این **جاده به صورت** خاکی و بستر طبیعی است که دارای میانگین عرض ۴ متر است و در منطقه‌ای جنگلی و کوهستانی امتداد می‌یابد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی جاده مطالعاتی کهیان

Fig 1. Geographical location of the Kohian Road

۲-۲-مدل SEDMODL

Commented [۴]: عدم در نظر گرفتن تغییرات زمانی در عوامل کلیدی

مثال: عامل ترافیک (TF) بر اساس کلاس جاده تعیین شده است (مثلاً جاده خاکی با ترافیک ۱ تن در سال). اما ترافیک ممکن است در فصول مختلف (مثلاً در دوره‌های فعالیت عشایر) تغییر کند.

نقد: استفاده از میانگین سالانه ترافیک بدون در نظر گرفتن نوسان‌های فصلی می‌تواند میزان فرسایش را کمتر یا بیشتر از حد واقعی برآورد کند

Commented [۵د]: عدم دقت در تعریف متغیرهای مدل

• بدر رابطه ۱ مدل SEDMODL آمده است:
"Total Sediment (t/year)=(TS+CS)*Af"
نقد:

۱. متغیر "Af" (عامل سن جاده) در متن توضیح داده شده است، اما در رابطه بدون توضیح آمده است.
۲. واحد اندازه گیری برخی متغیرها مثل "Lr" و "Wr" در رابطه مشخص نیست.
پیشنهاد: توضیح همه متغیرها در رابطه و ذکر واحد اندازه گیری آنها

:Deleted

:Deleted

:Deleted

:Deleted

:Deleted

Commented [۶د]: عدم توضیح روش کالیبراسیون مدل

مثال: مقاله اشاره می کند که مقادیر عوامل فرسایش از جداول مدل SEDMODL گرفته شده است، اما نحوه کالیبراسیون یا به روز رسانی این جداول برای شرایط محلی (مثل خصوصیات خاک و اقلیم منطقه) را توضیح نداده است.
نقد: این امر می تواند باعث شود مدل به خوبی شرایط محلی را منعکس نکند

Commented [۷د]: تناقض در فاکتور نرخ فرسایش

زمین شناسی (GER)
مثال:

• در جدول ۱ (GER) برای سنگ های رسوبات سخت، مقدار 74 تن/هکتار/سال آورده شده است.
• اما در شکل ۳ نقشه GER و جدول ۶، مقدار GER=37 تن/هکتار/سال به کار رفته است (برای منطقه کهیان).
نتیافت:

اگر زمین شناسی منطقه کهیان شامل "رسوبات سخت" باشد، باید از مقدار 74 تن/هکتار/سال استفاده شود، نه 37. این تناقض می تواند باعث کاهش قابل ملاحظه نتایج فرسایش شود.

نقد:
عدم تطبیق داده های زمین شناسی منطقه با جدول GER مدل، دقت نتایج را کاهش می دهد.

فونت ها بر اساس الگوی رهنما اصلاح
Commented [8د]:
شوند
<https://sanad.iau.ir/Journal/girs/Page/authors>

Commented [۹د]: عدم دقت کافی در منابع داده های

ورودی

مثال: بدر محاسبه عامل نرخ فرسایش زمین شناسی (GER)، مقاله به نقشه های زمین شناسی موجود و بازدیدهای میدانی

رسوب دهی از یک جاده به طور معمول تحت تأثیر سه نوع جریان آب در سطح جاده، ترانشه خاکبرداری و آبراهه های کنار جاده است. درواقع مدل مورد استفاده در این تحقیق (SEDMODL) بر پایه این سه عامل بنا شده است (۱). بنابراین مجموع رسوب دهی به تن در سال از هر بخش جاده بر پایه رابطه ۱ محاسبه می شود.

$$Total\ Sediment\left(\frac{t}{year}\right)=(TS+CS)*Af\quad [1]$$

در رابطه ۱، TS رسوب دهی ناشی از سطح جاده و آبراهه های کنار جاده (ton/year)، CS رسوب دهی ناشی از ترانشه خاکبرداری (ton/year) و Af عامل سن جاده (year) است. بر اساس رابطه ۲، TS نیز متأثر از عوامل Lr طول جاده (m)، W عرض جاده (m)، GER نرخ فرسایش زمین شناسی (ton/ha/year)، Sf عامل جنس سطح جاده، Tf عامل ترافیک، Gf عامل شیب جاده، Pf عامل بارندگی و Df عامل تحویل رسوب است.

$$TS=Lr*Wr*GER*Sf*Tf*Gf*Pf*Df\quad [2]$$

همچنین رسوب دهی ناشی از ترانشه خاکبرداری CS بر اساس رابطه ۳، تابعی از عوامل GER نرخ فرسایش زمین شناسی (ton/ha/year)، CSf عامل پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده، CSh ارتفاع ترانشه خاکبرداری (m)، Lr طول جاده (m) و Df عامل تحویل رسوب است.

$$CS=GER*CSf*CSh*Lr*Df\quad [3]$$

رسوب دهی جاده در طول یک یا دو سال ابتدایی ساخت تا زمانی که ترانشه خاکبرداری و پشته خاکریزی به درستی توسط پوشش گیاهی تثبیت گردد، دارای بیشینه مقدار خود است. در SEDMODL اثر عامل Af سن جاده، در سال اول ساخت ضریب ۱۰ و از دو سال بیشتر ضریب ۲ به خود می گیرد. ارزش مقادیر برای سایر عامل های فرسایش از جداول عرضه شده مدل که بر اساس تحقیقات پیشین محاسبه شده اند، کسب شد (۱ و ۱۶).

۱-۲-۲- عامل نرخ فرسایش زمین شناسی GER

پتانسیل رسوب دهی از یک بخش جاده وابستگی بالایی به خصوصیات خاک و زمین شناسی دارد (۲۹). میزان فرسایش برای سازندهای متفاوت با استفاده از جدول ۱ و بر اساس استاندارد مدل SEDMODL مشخص شد (۱ و ۱۷).

جدول ۱. نرخ فرسایش زمین شناسی بر اساس سنگ شناسی و سن سازند در مدل SEDMODL (تن/هکتار/سال)

Table 1. Geological erosion rate based on lithology and formation age in SEDMODL (tons/hectare/year)

سنگ شناسی	کواترنری	ترشیاری	موزوئیک	پالئوزوئیک	پرکامبرین
دگرگونی	-	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷
شیست	-	۱۴۸	۱۴۸	۱۴۸	۱۴۸
بازالت	۳۷	۳۷	۷۴	۷۴	۷۴
آندزیت	۳۷	۳۷	۷۴	۷۴	۷۴
خاکستر آتشفشانی	۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴
توف	۱۲۴	۱۲۴	۷۴	۷۴	۷۴

۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	-	گابرو
۷۴	۷۴	۷۴	۴۹	-	گرانیت
۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	-	بیرون زدگی سنگی
۷۴	۷۴	۳۷	۳۷	-	رسوبات سخت
-	-	-	۳۷	۳۷	سنگریزه
-	-	-	۷۴	۷۴	رسوبات نرم
-	-	-	۱۴۸	۱۴۸	رسوبات نرم ریزدانه

۲-۲-۲- عامل جنس سطح جاده Sf

کیفیت مواد مادری سطح جاده تأثیر مستقیمی بر نرخ رسوبدهی دارد. در مدل **مورد استفاده** نرخ فرسایش سطح جاده برای کلاس‌های مختلف در جدول ۲ ارائه شده است (۱ و ۸).

جدول ۲. نرخ فرسایش جنس سطح برای جاده‌های مختلف بر اساس مدل SEDMODL

Table 2. Erosion rate of surface material for different roads based on SEDMODL

نرخ فرسایش	نوع سطح جاده
۰/۰۳	آسفالت
۰/۲۰	شن
۰/۵۰	دارای پستی و بلندی
۰/۵۰	پوشش علفی طبیعی
۱	سطح طبیعی
۲	سطح طبیعی و وجود ریشه‌ها

۲-۲-۳- عامل ترافیک (Tf)

رسوبدهی از سطح جاده به نوع استفاده از آن و وضعیت ترافیک نیز وابسته است. **اسد الهی و همکاران (۲)** در تحقیق خود عامل ترافیک را از عوامل **مؤثر** در تولید رسوب معرفی نمودند. نرخ فرسایش فاکتور ترافیک در جدول ۳ برای کلاس‌های متفاوت جاده ارائه شده است.

جدول ۳. میزان فرسایش عامل ترافیک جاده برای طبقه‌های مختلف بر اساس مدل SEDMODL

Table 3. Erosion rate of road traffic factor for different classes based on SEDMODL

کلاس جاده	توضیحات	نرخ فرسایش
بزرگراه	بزرگراه اصلی	۱۲۰
جاده‌های اصلی	تحت استفاده زیاد در طول سال با ماشین‌های سنگین - مسیرهای ارتباطی اصلی	۱۲۰
جاده‌های شهری	جاده‌های غریض در مناطق مسکونی پرتراکم	۵۰

Commented [۱۰]: ناقض در مقادیر فاکتور جنس سطح

جاده (Sf)

مثال:

در جدول ۵، جنس سطح جاده که بیان "مواد طبیعی" و در جدول ۲ برای این کلاس مقدار $Sf=1$ تعیین شده است. اما در جدول ۶، در محاسبه Ts (رسوب سطح جاده)، مقدار $Sf=1$ به کار رفته است.

متناقض:

اگر جاده خاکی با پستی و بلندی داشته باشد، باید از مقدار $Sf=0.5$ استفاده شود (طبق جدول ۲)، نه ۱. این امر باعث افزایش خطای برآورد فرسایش می‌شود.

Commented [۱۱]: تناقض در مقادیر فاکتور ترافیک (Tf)

مثال:

در جدول ۵ (مشخصات جاده که بیان) مقدار $Tf=1$ آورده شده است (جاده فرعی). اما در جدول ۳ مقادیر Tf برای جاده‌های فرعی، مقدار $Tf=2$ تعیین شده است.

متناقض:

استفاده از مقدار $Tf=1$ در محاسبات مدل (در رابطه ۲) در حالی که جدول ۳ مقدار $Tf=2$ را برای جاده فرعی تعیین کرده است.

منقد:

این تناقض باعث کاهش دقت برآورد رسوب می‌شود، زیرا ترافیک بالاتر فرسایش بیشتری ایجاد می‌کند

:Deleted

:Deleted

:Deleted

جاده‌های اولیه	جاده‌های با ترافیک زیاد تا متوسط در سال که بخش‌های مهم حوزه آبخیز را به هم وصل می‌کند	۱۰
جاده‌های ثانویه	جاده‌های با ترافیک سبک در سال که گاهی به‌عنوان مسیرهای چوب‌کشی و تفرج‌گاهی با ماشین‌های سبک استفاده می‌شوند.	۲
جاده فرعی	جاده‌های فرعی جهت دسترسی سریع‌تر به یک واحد	۱
جاده‌های رهاشده	جاده‌هایی که توسط خاک‌ریزی ماشین‌های سنگین مسدود شده و مدت زیادی استفاده نمی‌شود	۰/۱

۲-۴- عامل شیب جاده (Gf)

نقشه شیب منطقه با استفاده از نقشه مدل رقمی ارتفاعی DEM و در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.4 و ضریب نرخ فرسایش شیب جاده به ترتیب ۰/۲، ۱ و ۲/۵ به سه کلاس شیب کمتر از ۵ تا ۱۰ و بیشتر از ۱۰ درصد اختصاص یافت (۹ و ۱۴).

۲-۵- عامل بارندگی (Pf)

میزان پتانسیل رسوب‌دهی از هر بخش جاده با میانگین بارش سالانه مرتبط است. با توجه به مدل **مورد استفاده**، عامل بارش بر پایه میانگین بارش **سالانه (mm)** در حوضه طبق رابطه ۴ محاسبه می‌شود. در رابطه مزبور Pavr متوسط بارش سالانه است.

$$Pf = (P_{avr}/1542) \cdot 0.8$$

[4]

۲-۶- عامل تحویل رسوب (Df)

مشکل‌ترین بخش پیش‌بینی مدل تخمین درصد رسوب‌دهی از یک بخش جاده به آبراهه است. قسمت‌هایی از جاده که در فاصله بیشتری از آبراهه‌ها قرار دارند معمولاً درصد کمی از رسوب تولیدی را به آبراهه‌ها وارد می‌کنند (۱ و ۱۳). اگرچه بخش زیادی از رسوب تولیدی در جاده‌های جنگلی به‌واسطه پوشش بالا کنترل و به آبراهه‌ها نمی‌رسد. در این مدل نرخ تحویل رسوب برای هر بخش از جاده بر پایه فاصله نقطه میانی جاده از نزدیک‌ترین آبراهه اندازه‌گیری می‌شود (۱). بر اساس مدل برای بخش‌هایی از جاده که رسوب‌دهی مستقیم به آبراهه دارند و آن را قطع می‌کنند، نرخ تحویل رسوب ۱۰۰ درصد، بخش‌هایی از جاده که در فاصله ۳۰ و ۶۰ متر هستند، نرخ تحویل رسوب ۳۵ و ۱۰ درصد و فاصله بیش از ۶۰ متر به دلیل فیلتر شدن رسوبات توسط پوشش گیاهی نرخ تحویل رسوب صفر محاسبه می‌شود.

۲-۷- عامل پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده (CSf)

این عامل به‌عنوان درصدی از پوشش سنگ یا گیاه تخریب نشده و یا **ترمیم‌شده** سطح جاده، ترانسه خاک‌برداری و ترانسه خاک‌ریزی تعریف می‌شود (۲۰). جدول ۴ نرخ عامل پوشش گیاهی **ارائه‌شده** بر اساس درصد پوشش گیاهی و سنگ مناطق اطراف جاده را بیان می‌کند.

جدول ۴. نرخ فرسایش عامل پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده بر اساس مدل SEDMODL

Table 4. Erosion rate of factor of vegetation and stone cover around the road based on SEDMODL

درصد پوشش گیاهی و سنگی	نرخ فرسایش	درصد پوشش گیاهی و سنگی	نرخ فرسایش
۱۰۰	۰/۱۰۲۳	۴۰	۰/۴۴۳۵

Commented [۱۲]: ساده‌سازی بیش از حد متغیرهای مدل
مثال: عامل شیب جاده (Gf) به سه کلاس <5%، 5-10%، >10% تقسیم شده است. در حالی که شیب‌های واقعی ممکن است تغییرات ناگهانی یا پیچیدگی‌های مکانی داشته باشند که با این تقسیم‌بندی منعکس نمی‌شوند.

نقد: این ساده‌سازی می‌تواند منجر به دست‌پنندی اشتباه بخش‌های جاده با شیب‌های حساس شود و میزان فرسایش را تحت‌الشعاع قرار دهد.

Commented [۱۲]: نام نرم‌افزار "ArcGIS10.4" به جای "ArcGIS 10.4" (حروف کوچک و بزرگ و فاصله‌گذاری).

Deleted: RC

Commented [۱۴]: تناقض در نحوه محاسبه فاکتور تحویل رسوب (Df)
مثال:

در متن مدل SEDMODL آمده است:
"برای بخش‌هایی از جاده که در فاصله بیش از ۶۰ متر از آبراهه هستند، Df=0 در نظر گرفته می‌شود."
اما در منطقه کهپان، پوشش گیاهی ضعیف (مثلاً در شیب‌های تند) می‌تواند باعث شود رسوب‌های فاصله‌های بیش از ۶۰ متر نیز وارد آبراهه شوند.

متناقض:
فرض ثابت Df=0 برای فاصله‌های بیش از ۶۰ متر بدون در نظر گرفتن پوشش گیاهی منطقه، غیرواقعی است و می‌تواند رسوب‌دهی را کمتر از حد واقعی برآورد کند.

Commented [۱۵]: فرضیات غیرواقعی در مدل SEDMODL
مثال: عامل تحویل رسوب (Df) فرض می‌کند که فاصله بیش از ۶۰ متر از آبراهه‌ها باعث صفر شدن رسوب‌دهی می‌شود (به دلیل فیلتر شدن توسط پوشش گیاهی). اما اگر پوشش گیاهی در این مناطق ضعیف باشد، این فرض معتبر نیست.
نقد: این فرضیه می‌تواند میزان رسوب‌دهی را کمتر از حد واقعی برآورد کند

۰/۵۲۲۲	۳۰	۰/۱۵۰۰	۹۰
۰/۶۱۵۵	۲۰	۰/۲۰۰۳	۸۰
۰/۷۷۰۰	۱۰	۰/۲۵۴۰	۷۰
۱/۰۰۰۰	۰	۰/۳۱۱۶	۶۰
-	-	۰/۳۷۴۲	۵۰

۲-۲-۸ - عامل ارتفاع ترانشه خاک‌برداری (CSh)

با بالا رفتن ارتفاع ترانشه خاک‌برداری میزان رسوب‌دهی از این مناطق از طریق خزش و شستشوی ورقه‌ای خاک به درون کانال‌های آبراهه کناری افزایش می‌یابد (۵). اندازه‌گیری این عامل امری بسیار مشکل و در بعضی مناطق **غیرممکن** است (۲۳). بر این اساس می‌توان از نقشه شیب که در کلاس‌های متفاوت **طبقه‌بندی‌شده** است، استفاده نمود (۴). نقشه شیب به ۴ کلاس ۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۶۰ و بیشتر از ۶۰ درصد طبقه‌بندی شد. نرخ فرسایش برای هر کدام از کلاس‌ها به ترتیب ۰/۷۵، ۱/۵، ۳ و ۷/۵ به **ترتیب** اختصاص داده شد.

۲-۲-۹ - برآورد رسوب‌دهی ناشی از سطح جاده و آبراهه‌های کناری

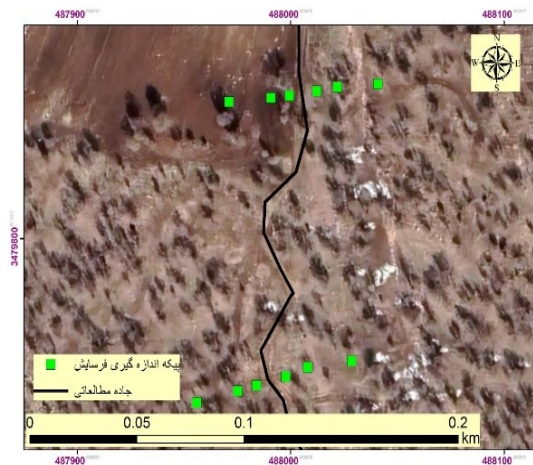
رسوب‌دهی ناشی از سطح جاده و آبراهه‌های کناری (TS) با توجه به رابطه ۲ به پارامترهای مختلف مانند مشخصات مورفومتری جاده (عرض، طول، شیب)، جنس جاده، بارش و **زمین‌شناسی** منطقه وابسته است.

۲-۲-۱۰ - برآورد رسوب‌دهی ناشی از ترانشه خاک‌برداری

رسوب‌دهی ناشی از ترانشه **خاک‌برداری** (CS) با توجه به رابطه ۳ به پارامترهای **زمین‌شناسی**، پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده، طول جاده و عامل تحویل رسوب وابسته است.

۲-۳ - اندازه‌گیری میدانی فرسایش و رسوب جاده‌های جنگلی

به‌منظور اندازه‌گیری میدانی فرسایش و رسوب در جاده جنگلی مطالعاتی اقدام به اجرا و نصب پیکه‌های فرسایشی چوبی در اطراف جاده شد. بدین ترتیب در جاده کهیان ۴۸ پیکه فرسایش نصب شد (شکل ۲). پیکه‌های **اندازه‌گیری به‌صورت** سکشن‌های عمود بر جاده در شرایط مختلف **زمین‌شناسی**، پوشش گیاهی و شیب هر یک از جاده‌های مطالعاتی و در دو جهت جاده به فواصل ۵ متر، ۱۵ متر و ۲۵ متر از جاده نصب شدند. سپس با استفاده از یک متر لیزری با دقت ۰/۰۲ میلی‌متر ارتفاع هر پیکه **اندازه‌گیری** شد. ارتفاع هر پیکه **به‌صورت** ۵ تکرار **اندازه‌گیری** و میانگین این ۵ تکرار **به‌عنوان** ارتفاع پیکه در هر مرحله تعیین شد.



شکل ۲. اندازه گیری میدانی فرسایش و رسوب به کمک پیکه های فرسایشی در جاده جنگلی کهیان
Fig 2. Field measurement of erosion and sedimentation using markers in the forest road area of Kohian

۳- نتایج

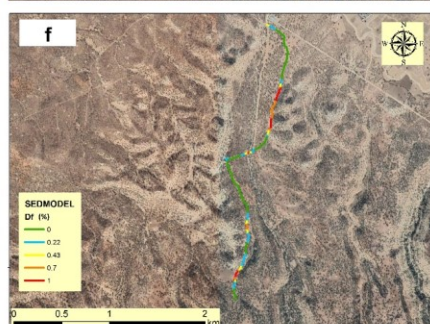
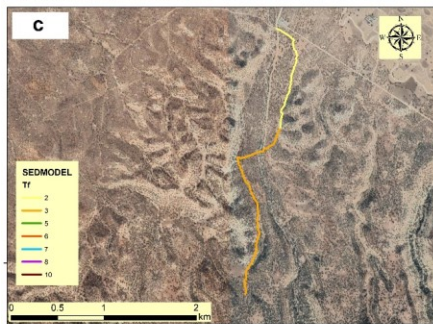
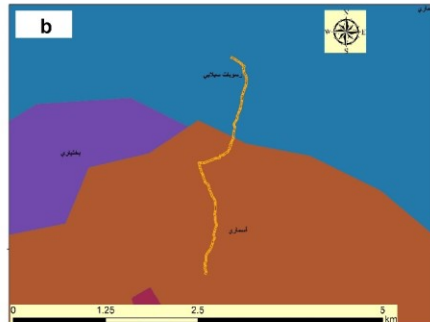
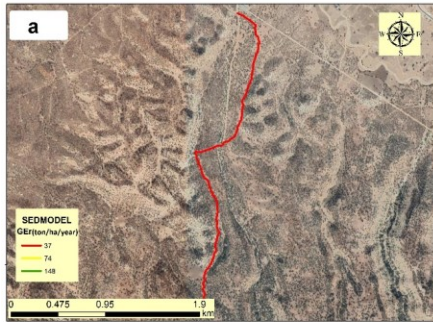
۳-۱- SEDMODL

در این تحقیق نقشه های **مورد نیاز شامل زمین شناسی**، جاده، شیب، بارندگی و شبکه آبراهه با استفاده از نقشه های پایه توپوگرافی، **زمین شناسی**، تصاویر ماهواره ای و همچنین **بازدیدهای میدانی** مربوط به سازمان های مربوطه تهیه و در محیط GIS رقومی شد. در مرحله بعد طی بازدیدهای میدانی **انجام شده** عامل های جنس سطح جاده، ترافیک، ارتفاع ترانشه **خاک برداری** استخراج شد (جدول ۵). لایه رقومی آبراهه ها از نقشه توپوگرافی موجود در منطقه استخراج و با بازدیدهای میدانی خطاهای احتمالی رفع شد. همچنین نقشه شیب منطقه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی **تهیه شده** از لایه توپوگرافی تعیین شد. **به منظور** تهیه نقشه بارش از میانگین سالانه ایستگاه های مجاور جاده جنگلی استفاده شد و لایه هم بارش سالانه برای منطقه تهیه شد. **به این ترتیب** عامل نرخ فرسایش **زمین شناسی** GEr، عامل ترافیک Tf، عامل شیب جاده Gf، عامل بارش Pf، عامل تحویل رسوب Df، عامل پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده CSf و عامل ارتفاع ترانشه **خاک برداری** Chf برای جاده مطالعاتی کهیان **به صورت** برداری و رقومی تعیین گردید (شکل ۳).

جدول ۵. مشخصات جاده مطالعاتی کهنیان

Table 5. Characteristics of Kohian study road

نام جاده	شهرستان	طول جاده (متر)	میانگین عرض جاده (متر)	ترافیک (میانگین تردد در ساعت)	سن جاده (سال)	نوع مواد سطحی جاده	نوع جاده (بر اساس مدل)
کهنیان	لردگان	۳۴۹۳/۳۲	۴	۱	۱۱	مواد طبیعی	سطح طبیعی



شکل ۳. نقشه عامل نرخ فرسایش زمین‌شناسی GER (a)، سازندهای زمین‌شناسی منطقه (b)، عامل ترافیک Tf (c)، عامل شیب جاده Gf (d)، عامل بارش Pf (e)، عامل تحویل رسوب Df (f)، عامل پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده CSf (g) و عامل ارتفاع ترانشه خاک‌برداری Chf (h) برای جاده مطالعاتی کهیان

Fig 3. Geological erosion rate factor map GER(a), geological formations of the study area (b), traffic factor Tf (c), road slope factor Gf (d), precipitation factor Pf (e), sediment delivery factor Df (f), the vegetation and stone cover factor around the road CSf (g) and the excavation trench height factor Chf (h) for the Kohian study road

بر اساس عامل‌های تهیه‌شده مربوط به مدل که به صورت رقومی و در جاده مطالعاتی تهیه شد در نهایت رسوب‌دهی سطح جاده و رسوب‌دهی ترانشه خاک‌برداری به تکنیک بازه مطالعاتی تعیین و استخراج شد (جدول ۶). همچنین بر اساس مدل SEDMODL از مجموع رسوب‌دهی ناشی از سطح جاده و آبراه‌های کناری (TS) و رسوب‌دهی ناشی از ترانشه خاک‌برداری (CS) که این مقدار در مقدار عامل سن جاده (Af) (ضرب شده و رسوب‌دهی کل جاده مطالعاتی تعیین گردید (جدول ۶). نتایج اندازه‌گیری پیکه‌های فرسایشی نشان داد میانگین فرسایش خاک در اطراف جاده مطالعاتی کهیان ۳/۶ میلی‌متر در سال است. همان‌طور که نتایج این تحقیق نشان داد مدل SEDMODL توانمندی بالایی در شناسایی مناطق حساس به فرسایش و برآورد نرخ رسوب‌دهی ناشی از جاده‌های جنگلی دارد.

جدول ۶. برآورد رسوب‌دهی کل مدل تحویل رسوب SEDMODL در جاده کهیان

Table 6. Total sedimentation estimation of SEDMODL sediment delivery model on Kohian road

جاده	طول جاده	Af	TS (ton/year)	CS (ton/year)	Total Sediment (ton/year)
کهیان	۳۴۹۳	۲	۴۴/۷	۸/۴۴	۱۰۶/۴

۳-۲- تحلیل آماری

به منظور مطالعه و بررسی نقش و میزان تأثیر پارامترهای اندازه‌گیری شده و ورودی به مدل بر میزان فرسایش، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده و نتایج آن در جدول (۷) ارائه شده است. همان‌گونه که نتایج آزمون آماری همبستگی نشان می‌دهد قوی‌ترین همبستگی معنی‌داری بین میزان فرسایش کل جاده با عامل زمین‌شناسی، عرض جاده و عامل بارش وجود دارد.

جدول ۷. نتایج تحلیل همبستگی پیرسون بین عوامل مختلف و میزان فرسایش جاده جنگلی

Table 7. Pearson correlation analysis results between different factors and forest road erosion rate

	Total_E	GER	CSh	CSf	Pf	Gf	Tf	Sf	W	Lr
Pearson Correlation	1	.882**	.250**	.079	.393**	.269**	.328**	.247**	.493**	-.080
Sig.		.000	.000	.064	.000	.000	.000	.000	.000	.062
N	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370

** . Correlation is significant at the 0.01 level
* . Correlation is significant at the 0.05 level

Formatted: Font: 10 pt, Bold, Complex Script Font: 10 pt, Bold

Formatted: Font: Bold, Complex Script Font: Bold

Formatted: Font: 10 pt, Bold, Complex Script Font: 10 pt, Bold

Formatted: Font: Bold, Complex Script Font: Bold

Formatted: Font: Bold, Complex Script Font: Bold

Commented [۱۶]: تناقض در نحوه محاسبه فاکتور سن

جاده (Af)

مثال:

در جدول ۵، سن جاده کهیان ۱۱ سال ذکر شده است.
در متن مدل SEDMODL آمده است:
"در SEDMODL اثر عامل Af سن جاده، در سال اول ساخت ضریب ۱۰ و از دو سال بیشتر ضریب ۲ به خود می‌گیرد."

متناقض:

برای جاده‌ای با سن ۱۱ سال، باید از ضریب ۲ استفاده شود، اما در جدول ۶ در محاسبه رسوب کل (Total Sediment)، مقدار Af=2 به کار رفته است. این موضوع درست است، اما در متن اصلی مقاله (در بخش ۳-۱) اشتباه نوشته شده:

"رسوب‌دهی کل جاده کهیان بر اساس مدل SEDMODL 47/106 تن در سال است."

اما در جدول ۶ عدد 106.4 آمده است، که نشان‌دهنده اشتباه در نقل عدد است.

4

Commented [۱۷]: عدم اشاره به محدودیت‌های روش‌های آماری

آمار

مثال: در تحلیل همبستگی پیرسون، مقاله فقط به ضریب همبستگی اشاره کرده است، اما اثرات همخطی (Multicollinearity) بین متغیرها (مثل همبستگی بین شیب و زمین‌شناسی) را بررسی نکرده است.
نقد: این امر می‌تواند منجر به تفسیر اشتباه اهمیت نسبی متغیرها شود

Deleted: ۱

۱

۱

۱

Formatted: Right

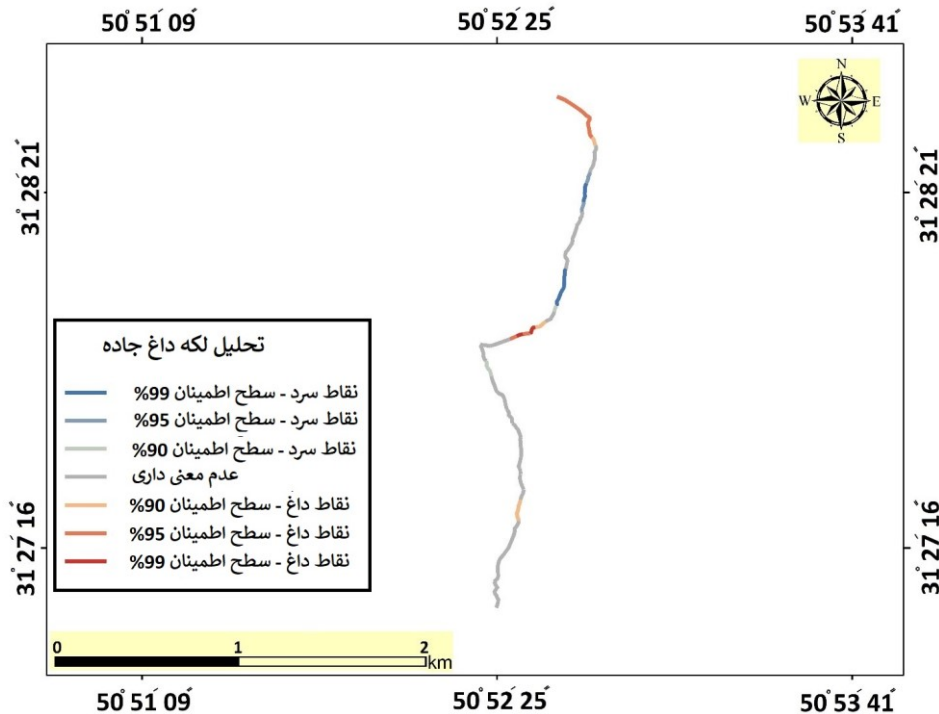
Commented [۱۸]:

نقد: در جدول ۷ ضریب همبستگی بین Total_E و GER برابر ۰.۸۸۲ است، اما اگر GER با سایر متغیرها (مثل Pf یا Gf) همخطی داشته باشد، ممکن است اهمیت نسبی متغیرها اشتباه تفسیر شود.
تناقض در نتایج همبستگی آماری
در جدول ۷، همبستگی بین Total_E و GER برابر 0.882 آورده شده است (سطح معنی‌داری ۰.۰۱).

۳-۳- شناسایی مناطق با خطر زیاد فرسایش و رسوب جاده‌ای

نخستین مرحله در تحلیل فضایی، شناسایی ساختار پراکندگی و لکه داغ (Hotspot) داده‌ها است. در این قسمت از تحقیق از روش تحلیل آماری Hotspot analysis در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 استفاده شد. این ابزار برای نقاطی که دارای یک ویژگی عددی باشند (مثل میزان فرسایش و یا رسوب‌دهی خاک) یا وزن عوارض بکار گرفته می‌شود. نتیجه آن به‌صورت یک نقشه خواهد بود که بیانگر لکه‌های داغ و سرد است که دارای ویژگی‌های آماری قابل توجهی باشند. تحلیل‌ها بر اساس آماره Getis ord GI ایجاد می‌شود. در این تحقیق برای شناسایی مناطق با میزان فرسایش زیاد (نقاط داغ فرسایشی جاده‌ها) از این آنالیز استفاده شد (شکل ۴). همچنین نتایج این بخش از تحقیق نشان داد با درجه اطمینان بالای ۹۵ درصد برای جاده کهیان ۱۴/۵ درصد معادل ۵۰۹ متر از طول جاده بیانگر مناطق با تولید فرسایش بسیار زیاد و به‌عنوان لکه داغ مشخص می‌شود. بر اساس نقشه‌های تولیدی (شکل ۳ و ۴) در این بخش از کار مشخص شد در مناطق با شیب زیاد و حساس از نظر زمین‌شناسی میزان فرسایش خاک بیشتر است و این قسمت‌ها بیشترین نقش را در تولید رسوب منطقه دارند.

Deleted: متر از



شکل ۴. نقشه آنالیز لکه داغ میزان فرسایش خاک جاده جنگلی کهیان

Fig 4. Hot spot analysis map of the soil erosion rate in Kohian forest road

۴- بحث و نتیجه‌گیری

Commented [۱۹]: عدم مقایسه با سایر مدل‌ها یا داده‌های مستقل

مثال: مقاله از مدل SEDMODL برای برآورد فرسایش استفاده کرده است، اما نتایج را با داده‌های میدانی یا مدل‌های دیگر (مثل WEPP یا ABAG) مقایسه نکرده است. نقد: بدون اعتبارسنجی مستقل، دقت مدل و قابلیت تعمیم یافته نتایج مورد تردید قرار می‌گیرد

تحقیق حاضر به منظور بررسی و تخمین میزان فرسایش و رسوب جاده جنگلی کهیان در استان چهارمحال و بختیاری و همچنین شناسایی مهم ترین عوامل مؤثر بر این پدیده مخرب زیست محیطی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت. بر اساس عامل های تهیه شده مربوط به مدل که به صورت رقمی و در جاده مطالعاتی تهیه شد در نهایت رسوب دهی کل جاده کهیان بر اساس مدل $SEDMODL$ ۴۷/۱۰۶

تن در سال است. همچنین نتایج اندازه گیری ۴۸ پیکه فرسایشی نشان داد میانگین [هدررفت](#) عمودی خاک در اطراف جاده مطالعاتی کهیان ۳/۶ میلی متر در سال است. نتایج آزمون آماری همبستگی پیرسون در تحقیق حاضر نشان می دهد قوی ترین همبستگی معنی داری در سطح اطمینان ۹۹٪ بین میزان فرسایش کل جاده با عامل زمین شناسی، عرض جاده و عامل بارش وجود دارد (جدول ۷). همان طور که ذکر شد با احداث جاده پوشش گیاهی و خاک مناطق اطراف جاده نیز بر اثر خاک برداری و خاک ریزی دچار تغییر می شوند. برای جبران این تغییرات و بازگشت به شرایط اولیه، اکوسیستم نیاز به زمان دارد. بدیهی است که هر چه عمر این تغییرات ایجاد شده بیشتر باشد اکوسیستم به حالت پایدار نزدیک تر شده و مقدار فرسایش و تخریب خاک آن نیز کمتر است (۲۶ و ۳۰).

همان طور که نتایج این تحقیق نشان داد مدل $SEDMODL$ توانمندی بالایی در شناسایی مناطق حساس به فرسایش و برآورد نرخ رسوب دهی ناشی از جاده های جنگلی دارد. نتایج مطالعه حاضر با یافته های آکای و همکاران (۱) که بیان نمودند مدل $SEDMODL$ قابلیت بالایی در برآورد میزان فرسایش و رسوب جاده های جنگلی دارد همخوانی دارد. همچنین یافته های تحقیق حاضر با نتایج اسد الهی و همکاران (۲) که بیان نمودند جاده های خاکی و جنگلی به دلیل عدم وجود پوشش گیاهی و حفاظت خاک دارای نقش قابل توجهی در تولید رسوب حوزه های آبخیز دارند در یک راستا است. به عبارت دیگر می توان بیان نمود که جاده های جنگلی درصد کمی از مساحت حوزه آبخیز را در برمی گیرند اما مقدار رسوب تولید آن ها به مراتب بیشتر است (۵ و ۱۹). این نسبت اهمیت توجه به رعایت اصول صحیح در جاده سازی، طراحی شبکه مناسب مانند حفاظت از دامنه خاک برداری با استفاده از شبکه های توری و [بوته کاری](#)، کمینه کردن طول جاده ها و مدیریت صحیح جاده ها به منظور به حداقل رساندن فرسایش خاک و رسوب در این مناطق را نمایان می سازد. پارساخو و همکاران (۱۷) بیشترین میزان آسیب پذیری جاده در تخریب دامنه ها را مربوط به مناطق با شیب زیاد و پوشش گیاهی تخریب شده می داند. همچنین سکوت و همکاران (۲۰) بیان نمودند که شرایط زمین شناسی و سازندهای حساس به فرسایش بیشترین نقش را در تولید رسوب جاده های جنگلی دارند که با یافته های تحقیق حاضر همخوانی دارد.

فرسایش خاک و تولید رسوب در جاده های خاکی و جنگلی امری مهم است که بر روی محیط زیست و مدیریت منابع طبیعی اکوسیستم های جنگلی تأثیر می گذارد (۱ و ۱۲). احداث جاده ها منجر به تغییرات در پروفیل شیب تپه ها، حذف پوشش گیاهی و تشکیل شیب های تند می شود که مستعد فرسایش شدید هستند (۱۵ و ۲۴). از سویی دیگر کاهش تراکم پوشش گیاهی در اطراف جاده ها باعث افزایش آسیب پذیری خاک در برابر فرسایش می شود (۱۴ و ۱۸). بر اساس نتایج به دست آمده و همچنین مشاهدات میدانی در منطقه مطالعاتی مشخص گردید که شیب های تند در جاده ها می توانند فرسایش را تشدید کنند و سبب تخریب خاک و جاده شوند که در طول زمان نیازمند هزینه های فراوانی جهت بهسازی و بازسازی جاده می شود. جاده ها می توانند طول شیب مؤثر را افزایش داده و رواناب را به سمت مناطق آسیب پذیر جابجا کنند و فرسایش در منطقه تشدید شود (۱ و ۲۰).

بر اساس نتایج به دست آمده و همچنین اندازه گیری های صورت گرفته مشخص گردید که با توجه به جهت شیب عمومی منطقه و جاده مطالعاتی به سمت روستای کهیان، میزان فرسایش و رسوب در بازه نزدیک به روستا شدید بوده و اراضی کشاورزی، جاده اصلی آسفالت و

Commented [۲۰۵]: تناقض در مقایسه نتایج با مطالعات

دیگر

مثال:

در بخش بحث، نتایج با مطالعات آکای و همکاران (۲۰۰۸) و اسدالهی و همکاران (۲۰۱۳) مقایسه شده است.

اما در متن، نتایج مدل $SEDMODL$ برای جاده کهیان (۱۰۶ تن/سال) با مطالعه اسدالهی (۱۲,۸۵ تن/سال) اختلاف چشمگیری دارد.

متناقض:

این تفاوت می تواند ناشی از تفاوت در شرایط منطقه (مثل شیب، زمین شناسی) باشد، اما مقاله دلیل اختلاف را توضیح نداده است

Deleted: هدر رفت

Deleted: بوته کاری

همچنین ابنیه روستا در معرض تهدید بوده و نیازمند اقدامات حفاظتی به منظور جلوگیری و کاهش خسارات ناشی از فرسایش خاک در آن منطقه است. همچنین به منظور کاهش میزان فرسایش خاک در مناطق جنگلی لازم است در طراحی جاده‌ها، به شیب‌ها، زاویه‌های تلاقی و مکان‌های تخلیه رواناب توجه ویژه کرد. استفاده از روش‌های مکانیکی کنترل فرسایش خاک مانند تراس‌ها، گریزآب‌ها و سدهای کوچک رسوب‌گیر می‌تواند از تولید رسوب و فرسایش تشدیدشونده جلوگیری کند. به طور کلی، مدیریت مناسب جاده‌ها و اجرای راهکارهای کنترلی می‌تواند به حفظ محیط زیست و کاهش فرسایش خاک و تولید رسوب کمک کند.

Deleted: به منظور

Deleted: می‌باشد

Deleted: تشدید شونده

منابع مورد استفاده

- Akay AE, Erdas O, Reis M, Yuksel A. 2008. Estimating sediment yield from a forest road network by using a sediment prediction model and GIS techniques. *Build Environ*. 43:687–695.
- Asadolahi Z, Nizai A, Yousefi S, Asadolahi Z, Mohammady M. 2013. Determination of roads quota in watershed sediment yield using SEDMODEL and GIS. *Environmental Erosion Researches*. 13: 3-26. (In Persian).
- Barber CP, Cochrane M a., Souza CM, Laurance WF. 2014. Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biol Conserv* [Internet]. 177:203–209. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2014.07.004>
- Benda L, James C, Miller D, Andras K. 2019. Road Erosion and Delivery Index (READI): A model for evaluating unpaved road erosion and stream sediment delivery. *JAWRA J Am Water Resour Assoc*. 55:459–484.
- Burroughs ER, King JG. 1989. Reduction of soil erosion on forest roads. *Gen Tech Rep - US Dep Agric For Serv*. 264.
- Cao L, Elliot W, Long JW. 2021. Spatial simulation of forest road effects on hydrology and soil erosion after a wildfire. *Hydrol Process*. 35:e14139.
- Cerdà A. 2007. Soil water erosion on road embankments in eastern Spain. *Sci Total Environ*. 378:151–155.
- Conroy WJ, Dubé K V., Koler TE. 2004. Comparison of methods to evaluate surface erosion from logging roads using watershed analyses. In: *Watershed Manag Oper Manag* 2000. Vol. 105. [place unknown]; p. 1–10.
- Elliot WJ, Foltz RB, Robichaud PR. 2009. Recent findings related to measuring and modeling forest road erosion. In: *18th World IMACS Congr MODSIM 2009 - Int Congr Model Simul Interfacing Model Simul with Math Comput Sci Proc*. [place unknown]; p. 4078–4084.
- Gayan A, Pourghasemi HR, Saha S, Keesstra S, Bai S. 2019. Gully erosion susceptibility assessment and management of hazard-prone areas in India using different machine learning algorithms. *Sci Total Environ*. 668:124–138.
- Hawks BS, Aust WM, Bolding MC, Barrett SM, Schilling E, Fielding JAH. 2022. Linkages between Forestry Best Management Practices and erosion in the southeastern U.S. *J Environ Manage*. 305:114411.
- Jahangirian Sh, Salehi A. 2014. The effect of topography factors on land use/cover changes of Yasouj forest park during 1965 – 2011. *RS & GIS for Natural Resources*. 2 (6): 89-106. (In Persian).
- Kavian A, Safari A, Parsakhoo A. 2016. Assessment of forest roads sediment yield using WARSEM, SEDMODL and direct measurement through rainfall simulation. *J Range Watershed Manag*. 69:167–186.
- Kramer BW. 2001. Forest road contracting, construction, and maintenance for small forest woodland owners.
- Moayedi H, Mehrabi M, Mosallanezhad M, Rashid ASA, Pradhan B. 2019. Modification of landslide susceptibility mapping using optimized PSO-ANN technique. *Eng Comput*. 35:967–984.
- Naghdi R, Dalir P, Gholami V, Pourghasemi HR. 2017. Modeling of sediment generation from forest roads employing SEDMODL and its calibration for Hyrcanian forests in northern Iran. *Environ Earth Sci*. 76:1–12.
- Parsakhoo A, Lotfalian M, Kavian A, Hosseini SA. 2014. Prediction of the soil erosion in a forest and sediment yield from road network through GIS and SEDMODL. *Int J Sediment Res*. 29:118–125.
- Reid LM, Dunne T. 1984. Sediment production from forest road surfaces. *Water Resour Res*. 20:1753–1761.
- Rafiiyan A, Mirrazi A, Abdolalipour N, Golabi A. 2013. Ecotourism site selection of Kiamaky wildlife refuge using multicriteria decision making. *RS & GIS for Natural Resources*. 5 (5): 95-108. (In Persian).
- Rijsdijk A, Sampurno Bruijnzeel L a., Sutoto CK. 2007. Runoff and sediment yield from rural roads, trails and

- settlements in the upper Konto catchment, East Java, Indonesia. *Geomorphology*. 87:28–37.
20. Sekot W, Holzleitner F, Stathis D, Kirkenidis C, Sapountzis M, Lafavor MC, Skaugset AE, Meadows MW. 2021. Estimating sediment yield from a forest road network using SEDMODEL and GIS technique (case study Arasbaran forests). 9:235–249.
 21. Seutloali KE, Beckedahl HR. 2015. A review of road-related soil erosion: An assessment of causes. *Earth Sci Res J*. 19:73–80.
 22. Sidle RC, Ziegler AD, Negishi JN, Rahim A, Siew R, Turkelboom F. 2006. Erosion processes in steep terrain — Truths , myths , and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. 224:199–225.
 23. Solgi A, Naghdi R, Zenner EK, Hemmati V, Behjou FK, Masumian A. 2021. Evaluating the effectiveness of mulching for reducing soil erosion in cut slope and fill slope of forest roads in hyrcanian forests. *Croat J For Eng*. 42:259–268.
 24. Soori S, Baharvand S, Farhadinejad T. 2012. Landslide hazard zonation using Fuzzy logic (A case study: ChamSangar watershed). *RS & GIS for Natural Resources*. 5 (4): 47-60. (In Persian).
 25. Sun G, McNulty SG. 1998. Modeling soil erosion and transport on forest landscape. In: *Win Solut risky Probl Proc Conf 29*, Reno, 1998 (International Eros Control Assoc. Reno: Miscellaneous Publication; p. 189–198.
 26. Vahabzadeh G, Safari A, Farhoudi MH, Abdollahi HR, Fathizad H, Khosravi GR. 2015. Assessment of Erosion Value and Sediment Delivery Ratio in the Unsealed and Forest Roads. *JWSS-Isfahan Univ Technol*. 18:295–313.
 27. Varol T, Ertuğrul M, Özel HB, Emir T, Çetin M. 2019. The effects of rill erosion on unpaved forest road. *Appl Ecol Environ Res*. 17:825–839.
 28. Yorulmaz G, Gumus S. 2022. Comparison of Wepp:Road Batch Model and ABAG Model Results for Estimating the Amount of Top Soil Erosion in Forest Road Fill Slopes. *Eur J For Eng*. 8:26–34.
 29. Yousefi S, Moradi H, Boll J, Schönbrodt-Stitt S. 2016. Effects of road construction on soil degradation and nutrient transport in Caspian Hyrcanian mixed forests. *Geoderma*. 284:103–112.
 30. Yousefi S, Pourghasemi HR, Emami SN, Pouyan S, Eskandari S, Tiefenbacher JP. 2020. A machine learning framework for multi-hazards modeling and mapping in a mountainous area. *Sci Rep*. 10:1–14.

Geographic information system and SEDMODL application to estimation of sediment and erosion in forest roads (case study: Kohian Road, Lordegan County)

Abstract

The main aim of the present study is to investigate the amount of soil erosion and sediment production in the oak forest roads in the western part of the Iran in Chaharmahal and Bakhtiari province using the SEDMODL model and also to identify areas with the highest role in sediment production and soil erosion using the Geographical Information system. In present study, Kohian forest roads located in Lordegan county with a length of 3493 meters was used as a study area. In this study, first, the required maps including geology, road networks, slope, rainfall and drainage density were prepared and digitized in the ArcGIS 10.8 software, and also during field visits, the type, age, and traffic of the study roads were determined. By combining the maps prepared based on three basic factors in the model, the sediment caused by the study forest road network was calculated. Also, in this study, in order to measure the amount of erosion and sediment in the field, 48 erosion markers were installed in different parts of the study roads, and during one year, using a laser measurement their changes were measured.

The average vertical soil loss was estimated to be 3.6 mm in one year based on the measurements. According to the results, the erosion rate based on the SEDMODL on the Kohian road is 496 tons per year along the study road. Also, the amount of total sedimentation based on the SEDMODL in the forest road of Kohian is 106 tons per year. In addition, the analysis of hot spots showed that 14.5% of Kohian forest roads have very high erosion production.

Keywords: Soil erosion, sediment production, road construction, access, Zagros.

چکیده مبسوط:

کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل SEDMODL در تخمین فرسایش و رسوب
جاده جنگلی (مطالعه موردی: جاده کهیان، شهرستان لردگان)

طرح مسئله:

راه‌های ارتباطی و جاده‌ها به‌عنوان شاه‌رگ‌های حیاتی یک جامعه محسوب می‌شوند به‌طوری‌که در صورت عدم توسعه و گسترش آن‌ها، حیات و توسعه اقتصادی و اجتماعی جامعه مختل خواهد شد. جاده‌سازی به‌عنوان یکی از عوامل تخریب عرصه‌های منابع طبیعی به شمار می‌آید به

گونه‌ای که امروزه این موضوع به یکی از معضلات حوزه‌های آبخیز تبدیل شده است. جاده‌سازی‌های غیراصولی با از بین بردن یگانگی طبیعت، فروپاشی چرخه حیات کوهستان و حجم زیاد خاک‌برداری، منجر به نابودی زیستگاه‌های جانوری و گیاهی، کاهش ارزش‌های زیباشناسی و آسیب‌دیدگی مناطق حساس می‌شوند. یکی از بزرگ‌ترین مشکلات ناشی از جاده‌سازی، ایجاد و گسترش اشکال مختلف فرسایش از قبیل فرسایش آبکندی و توده‌ای در اطراف جاده‌ها است. علت اصلی این امر را از بین بردن پوشش گیاهی، تخریب ساختمان خاک، افزایش سرعت رواناب و ناپایدار کردن شیب دامنه است. در جریان احداث جاده، سطح وسیعی از عرصه جنگل‌ها و مراتع در طول و حاشیه مسیر آن تخریب‌شده و حجم بسیار زیادی خاک و سنگ از محل خود جابه‌جا شده یا بر روی اراضی مجاور ریخته شده که موجب مضاعف شدن شدت تخریب محیط‌زیست می‌شود و یا به‌طور مستقیم وارد آبراهه‌ها و رودخانه‌ها شده و در نهایت به‌صورت رسوب وارد مخازن سدها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها و دریاها گشته و حتی با رسوب‌گذاری در بستر رودخانه‌ها باعث تغییر مورفولوژی آن‌ها و ایجاد فرسایش رودخانه‌ای می‌شود.

هدف:

هدف اصلی از تحقیق حاضر بررسی میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در جاده‌های جنگلی بلوط غرب کشور در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از مدل **SEDMODL** و همچنین شناسایی مناطق با بیشترین نقش در تولید رسوب و فرسایش خاک به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی است.

روش تحقیق:

در این تحقیق از جاده‌های جنگلی منطقه کهیان واقع در شهرستان لردگان به طول ۳۴۹۳ متر به‌عنوان منطقه مطالعاتی استفاده شد. در این مطالعه، ابتدا نقشه‌های موردنیاز شامل زمین‌شناسی، جاده، شیب، بارندگی و تراکم زهکشی تهیه و در محیط نرم‌افزار **ArcGIS 10.8** رقومی شد و همچنین طی بازدیدهای میدانی جنس، سن و ترافیک جاده‌های مطالعاتی تعیین شد. با تلفیق نقشه‌های تهیه‌شده بر اساس سه عامل پایه در مدل **SEDMODL**، رسوب ناشی از شبکه جاده‌های جنگلی مطالعاتی برآورد شد. همچنین در این تحقیق به‌منظور اندازه‌گیری میدانی میزان تغییرات عمودی خاک سطحی در قسمت‌های مختلف جاده‌های مطالعاتی، ۴۸ پیکه فرسایشی نصب و در طول یک سال میزان تغییرات آن‌ها با استفاده از متر لیزری دقیق اندازه‌گیری شد. نخستین مرحله در تحلیل فضایی، شناسایی ساختار پراکندگی و لکه داغ (**Hotspot**) داده‌ها است. در این قسمت از تحقیق از روش تحلیل آماری **Hotspot analysis** در نرم‌افزار **ArcGIS 10.8** استفاده شد. این ابزار برای نقاطی که دارای یک ویژگی عددی باشند (مثل میزان فرسایش و یا رسوب‌دهی خاک) یا وزن عوارض بکار گرفته می‌شود. نتیجه آن به‌صورت یک نقشه خواهد بود که بیانگر لکه‌های داغ و سرد است که دارای ویژگی‌های آماری قابل‌توجهی باشند. تحلیل‌ها بر اساس آماره **Getis ord GI** ایجاد می‌شود. در این تحقیق برای شناسایی مناطق با میزان فرسایش زیاد (نقاط داغ فرسایشی جاده‌ها) از این آنالیز استفاده شد.

نتایج و بحث:

بر اساس عامل‌های تهیه‌شده مربوط به مدل که به‌صورت رقومی و در جاده مطالعاتی تهیه شد در نهایت رسوب‌دهی کل جاده کهیان بر اساس مدل **SEDMODL** ۱۰۶/۴۷ تن در سال است. همچنین نتایج اندازه‌گیری ۴۸ پیکه فرسایشی نشان داد میانگین هدر رفت عمودی خاک در اطراف جاده مطالعاتی کهیان ۳/۶ میلی‌متر در سال است. نتایج آزمون آماری همبستگی پرسون در تحقیق حاضر نشان می‌دهد قوی‌ترین همبستگی معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪ بین میزان فرسایش کل جاده با عامل زمین‌شناسی، عرض جاده و عامل بارش وجود دارد. همان‌طور که ذکر شد با احداث جاده پوشش گیاهی و خاک مناطق اطراف جاده نیز بر اثر خاک‌برداری و خاک‌ریزی دچار تغییر می‌شوند. برای جبران این تغییرات و بازگشت به شرایط اولیه، اکوسیستم نیاز به زمان دارد. بدیهی است که هر چه عمر این تغییرات ایجادشده بیشتر باشد اکوسیستم به حالت پایدار نزدیک‌تر شده و مقدار فرسایش و تخریب خاک آن نیز کمتر است.

این نسبت اهمیت توجه به رعایت اصول صحیح در جاده‌سازی، طراحی شبکه مناسب مانند حفاظت از دامنه خاک‌برداری با استفاده از شبکه‌های توری و بوته کاری، کمینه کردن طول جاده‌ها و مدیریت صحیح جاده‌ها به‌منظور به حداقل رساندن فرسایش خاک و رسوب در این مناطق را نمایان می‌سازد. احداث جاده‌ها منجر به تغییرات در پروفیل شیب تپه‌ها، حذف پوشش گیاهی و تشکیل شیب‌های تند می‌شود که مستعد فرسایش شدید هستند. از سویی دیگر کاهش تراکم پوشش گیاهی در اطراف جاده‌ها باعث افزایش آسیب‌پذیری خاک در برابر فرسایش می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده و همچنین مشاهدات میدانی در منطقه مطالعاتی مشخص گردید که شیب‌های تند در جاده‌ها می‌توانند فرسایش را تشدید کنند و سبب تخریب خاک و جاده شوند که در طول زمان نیازمند هزینه‌های فراوانی جهت بهسازی و بازسازی جاده می‌شود. جاده‌ها می‌توانند طول شیب مؤثر را افزایش داده و رواناب را به سمت مناطق آسیب‌پذیر جابجا کنند و فرسایش در منطقه تشدید شود.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده و همچنین اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در جاده جنگلی مطالعاتی مشخص گردید که پوشش گیاهی می‌تواند نقش بسیار مهمی در کنترل فرسایش خاک بخصوص در قسمت خاک‌برداری شده جاده ایفا کند. احیای و حفظ پوشش گیاهی در اطراف جاده‌ها می‌تواند از فرسایش خاک و توسعه آن به‌صورت انواع فرسایش تشدید شونده جلوگیری کند. همچنین به‌منظور کاهش میزان فرسایش خاک در مناطق جنگلی لازم است در طراحی جاده‌ها، به شیب‌ها، زاویه‌های تلاقی و مکان‌های تخلیه رواناب توجه ویژه کرد. استفاده از روش‌های مکانیکی کنترل فرسایش خاک مانند تراس‌ها، گریزآب‌ها و سدهای کوچک رسوب‌گیر می‌تواند از تولید رسوب و فرسایش تشدید شونده جلوگیری کند. به طور کلی، مدیریت مناسب جاده‌ها و اجرای راهکارهای کنترلی می‌تواند به حفظ محیط زیست و کاهش فرسایش خاک و تولید رسوب کمک کند.

نتیجه‌گیری:

فرسایش خاک و تولید رسوب در جاده‌های خاکی و جنگلی امری مهم است که بر روی محیط‌زیست و مدیریت منابع طبیعی اکوسیستم‌های جنگلی تأثیر می‌گذارد. نتایج این تحقیق نشان داد مدل SEDMODL توانمندی بالایی در شناسایی مناطق حساس به فرسایش و برآورد نرخ رسوب‌دهی ناشی از جاده‌های جنگلی دارد. اگرچه جاده‌های جنگلی درصد کمی از مساحت حوزه آبخیز را در برمی‌گیرند اما مقدار رسوب تولید آن‌ها به‌مراتب بیشتر و نقش مهمی در تخریب اکوسیستم‌های جنگلی دارد. استفاده از روش‌های مکانیکی کنترل فرسایش خاک مانند تراس‌ها، گریزآب‌ها و سدهای کوچک رسوب‌گیر می‌تواند از تولید رسوب و فرسایش تشدید شونده جلوگیری کند. به طور کلی، مدیریت مناسب جاده‌ها و اجرای راهکارهای کنترلی می‌تواند به حفظ محیط زیست و کاهش فرسایش خاک و تولید رسوب کمک کند.

واژگان کلیدی: فرسایش خاک، تولید رسوب، جاده‌سازی، دسترسی، زاگرس.

Geographic information system and SEDMODL application to estimation of sediment and erosion in forest roads (Case study: Kohian Road, Lordegan County)

Statement of the Problem:

Communication ways and roads are considered vital arteries of society; if they are not developed, the life and economic and social development of the community will be disrupted. Road construction is one factor contributing to the destruction of natural resource areas, and this issue has become a significant problem for watersheds. Irregular road construction disrupts the unity of nature, leads to the collapse of the life cycle of mountains, and results in large volumes of soil removal, which destroys animal and plant habitats, reduces aesthetic values, and damages sensitive areas. One of the biggest problems caused by road construction is the creation and spread of various forms of erosion, such as runoff and mass erosion around the roads. The main reasons for this include the destruction of vegetation, the degradation of soil structure, increased runoff speed, and

slope destabilization. During road construction, large areas of forests and pastures along and beside the road are destroyed, and significant amounts of soil and stones are moved from their original locations or dumped onto adjacent lands, exacerbating environmental destruction. This sediment can enter waterways and rivers directly, ultimately reaching the reservoirs of dams, wetlands, lakes, and seas, where it can change their morphology and contribute to river erosion.

Purpose:

The main purpose of this research is to investigate the amount of soil erosion and sediment production in oak forest roads in Chaharmahal and Bakhtiari Province in the western part of the country, using the SEDMODL model. Additionally, it aims to identify the areas that play the greatest role in sediment production and soil erosion with the help of Geographic Information System (GIS).

Methodology:

In the present study, the 3,493-meter-long forest roads of the Kohian region, located in Lordegan city, were used as the study area. First, the required maps, including geology, road, slope, rainfall, and drainage density, were prepared and digitized using ArcGIS 10.8 software. The type, age, and traffic of the study roads were also determined during field visits. By combining the maps prepared based on the three basic factors in the SEDMODL model, the sediment produced by the study forest road network was estimated. Additionally, to measure the vertical changes in surface soil along different parts of the study roads, 48 erosion benchmarks were installed, and their changes were measured over one year using high-accuracy laser measurements. The first step in spatial analysis is to identify the structure of data dispersion and hotspots. For this part of the study, the Hotspot Analysis statistical method was used in ArcGIS 10.8 software. This tool is employed for points that have a numerical characteristic (such as the rate of soil erosion or sedimentation) or the weight of complications. The result is a map that shows hot and cold spots with significant statistical characteristics. Analyses are based on Getis-Ord GI statistics. In this study, this analysis was used to identify areas with high erosion rates (hot spots of road erosion) along the study roads.

Results and discussion:

Based on the prepared factors related to the model and the study road, the sedimentation for the entire Kohian road, according to the SEDMODL model, is estimated to be 106.47 tons per year. Additionally, the results from measuring the 48 erosion benchmarks showed that the average vertical loss of soil around the Kohian study road is 3.6 mm per year. The results of the Pearson correlation test in this research indicate that there is a strong significant correlation at the 99% confidence level between the total amount of road erosion and the geological factor, road width, and precipitation. As mentioned, the construction of the road alters the vegetation and soil in the surrounding areas due to excavation and embankment. To compensate for these changes and return to initial conditions, the ecosystem requires time. It is evident that the longer these changes persist, the closer the ecosystem will be to a stable state, resulting in reduced soil erosion and destruction.

This ratio highlights the importance of adhering to proper principles in road construction, such as designing a suitable network that includes protecting the excavation area with netting and bushwork, minimizing the length of roads, and managing roads effectively to minimize soil erosion and sedimentation in these areas. The construction of roads leads to changes in the slope profile of hills, the removal of vegetation, and the formation of steep slopes that are prone to severe erosion. Furthermore, reducing the density of vegetation around the roads increases the vulnerability of the soil to erosion. Based on the results obtained and field observations in the study area, it was determined that steep slopes on roads can intensify erosion and cause soil and road destruction, which over time necessitates significant expenses for road improvement and reconstruction. Roads can also increase the length of the effective slope and direct runoff toward vulnerable areas, thereby intensifying erosion in those regions.

Based on the results obtained and the measurements made on the study forest road, it was determined that vegetation plays a very important role in controlling soil erosion, especially in the excavated areas of the road. The revival and preservation of vegetation around roads can prevent soil erosion and its development into intensified erosion. Additionally, to reduce the amount of soil erosion in forest areas, it is essential to pay special attention to slopes, intersection angles, and runoff discharge points in the design of roads. The use of mechanical methods for soil erosion control, such as terraces, evacuation systems, and small dams that capture sediment, can help prevent sediment production and escalating erosion. Overall, proper management of roads and the implementation of control strategies can contribute to environmental preservation and reduce soil erosion and sediment production.

Conclusion:

Soil erosion and sediment production on dirt and forest roads is an important issue that affects the environment and the management of natural resources in forest ecosystems. The results of this research show that the SEDMODL model has a

high capability for identifying areas sensitive to erosion and estimating the sedimentation rate caused by forest roads. Although forest roads cover a small percentage of the watershed area, the amount of sediment produced by them is significantly higher and plays an important role in the destruction of forest ecosystems. The use of mechanical methods for soil erosion control, such as terraces, evacuation systems, and small dams that capture sediment, can help prevent sediment production and escalating erosion. In general, proper management of roads and the implementation of control strategies can contribute to environmental preservation and reduce soil erosion and sediment production.

Keywords: Soil erosion, sediment production, road construction, access, Zagros.