علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هجدهم، شماره دو، تابستان ۹۵

تخمین رسوب‌دهی شبکه جاده جنگلی با استفاده از مدل تحویل رسوب و سامانه اطلاعات مکانی

ذکریا اسداللهی [۱]
صالح یوسفی [۲]
مجید محمدی [۳*]
Majid.mohammady@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/۴/۱۸ تاریخ پذیرش:۹۰/۸/۲

چکیده

زمینه و هدف: جاده‌های جنگلی از مهم‌ترین واحدهای مدیریتی جنگل محسوب می‌شوند که در حمل و نقل چوب و استفاده از سایر خدمات جنگل مانند شکار، توریسم و غیره نقش ویژه‌ای را ایفا می‌کنند. یکی از بزرگ‌ترین مشکلات ناشی از جاده‌سازی در جنگل، به ویژه در صورت عدم رعایت اصول جاده‌سازی، ایجاد و افزایش اشکال مختلف فرسایش در اطراف جاده و بالطبع رسوب‌زایی در اثر از بین بردن پوشش گیاهی، تخریب ساختمان خاک، افزایش سرعت رواناب و ناپایدار کردن شیب دامنه است.

روش بررسی: در این تحقیق، رسوب ناشی از جاده‌های جنگلی موجود در بخشی از جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس، با استفاده از مدل تحویل رسوب و در محیط GIS تخمین زده شد. عوامل موثر بر فرسایش در این مدل شامل زمین‌شناسی، جاده، شیب، بارندگی، پوشش گیاهی و شبکه آب‌راهه می‌باشند.

بحث و نتیجه گیری: فرسایش تولیدی از این شبکه جاده بدون در نظر گرفتن میزان تحویل رسوب در حدود ۱۵۷۶/۴ تن در سال تخمین زده شد. با درنظر گرفتن میزان تحویل رسوب بر اساس فاصله از آب‌راهه، رسوب‌دهی از شبکه جاده در حدود ۱۴۰/۷ تن در سال به دست آمد. نتایج نشان داد سهم رسوب تولیدی جاده‌ها در حدود ۱/۳۳ درصد رسوب خروجی حوضه است، در حالی که این جاده‌ها تنها ۰/۰۱۷ درصد از سطح حوزه آب‌خیز را شامل می شوند.

واژه‌های کلیدی: جاده‌های جنگلی، رسوبدهی، سامانه اطلاعات مکانی، فرسایش، مدل تحویل رسوب.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور
۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور
۳- گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه سمنان، سمنان، ایران*(مسوول مکاتبات).

Archive of SID
www.SID.ir

J.Env. Sci. Tech., Vol 18, No.2, summer 2016

Sediment Yield Estimation Due to Forest Road Network Using SEDMDEL and GIS

Zakaria Asadollahi [1]
Saleh Yosefi [2]
Majid Mohammady [3*]
Majid.mohammady@semnan.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Forest roads are important components of forest management units and involving special roles in wood transporting and the other forest uses such as hunting, tourism, etc. One of the most important problems due to forest roads making is increasing of erosion different forms in around of roads, sediment yield resulting of vegetation destroy, soil structure ruin, run off velocity increasing and unstable of slope.

Method: In this research, sediment due to existence forest roads was estimated in a part of Experimental Forest Station of Tarbiat Modares University using of SEDMODEL and GIS. In this model effective factors consist of geology, road, slope, precipitation, vegetation cover and drainage network.

Discussion and Conclusion: Created erosion resulting of this road network was estimated about 1576.4 ton/year without considering SEDMODEL. This amount was estimated about 140.7 ton/year with considering SEDMODEL on basis distance of waterway. Results showed that the share of roads sediment yield is about 1.33 percent of watershed exit, but roads includes 0.017 percent of watershed areas. Pay attention to covered areas by roads in watershed, the amounts of sediment yield is 78 equal of sediment yield average in watershed area.

Keywords: Forest Roads, Sediment Yield, Geographical Information System (GIS), Erosion, SEDMODEL.

1- Postgraduate of Tarbiat Modares University, Faculty of natural resource and marine science.
2- PhD student of Tarbiat Modares University, Faculty of natural resource and marine science.
3- Department of Rangeland & Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Semnan University, Semnan, Iran*(Corresponding Author).

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

مدیریت بهینه مناطق جنگلی، نیازمند داشتن شبکه جاده جنگلی با پراکنش مناسب در سطح جنگل است. شبکه جاده، امکان دسترسی به مناطق مختلف جنگل برای انجام بهره‌برداری و فعالیت‌های مدیریتی مانند حفاظت در مقابل آتش‌سوزی، حمله آفات، نشانه‌گذاری و جنگل‌کاری را فراهم می‌سازد (۱)، از این‌رو یکی از مهم‌ترین عوامل هزینه در مدیریت جنگل به‌شمار می‌رود (۲). از لحاظ استانداردهای ساخت، جاده‌های جنگلی با جاده‌های روستایی و بزرگراه‌ها بسیار متفاوتند. معمولا"سطح پایین‌تری از ترافیک را دارا بوده و ماشین آلات عبوری از آن‌ها اغلب بزرگ و سنگین می‌باشد. این جاده‌ها اغلب به صورت فصلی مورد استفاده قرار گرفته و در مناطق احداث این جاده‌ها، اشکال متفاوتی از فرسایش مشاهده می‌شود (۳). در سال‌های اخیر فعالیت‌های ساخت و ساز و تعمیر و نگه‌داری جاده‌های جنگلی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته، زیرا احداث جاده‌ها افزایش نگرانی‌ها در مورد تاثیرات کوتاه مدت و بلند مدت بر محیط زیست و تخریب را به‌دنبال دارد (۴ و ۵). جاده سازی‌های غیر اصولی با از بین بردن نظم طبیعت و فروپاشی چرخه حیات کوهستان و حجم زیاد خاک‌برداری، نابودی زیست‌گاه‌های جانوری و گیاهی، کاهش ارزش‌های زیباشناسی و آسیب دیدگی مناطق حساس را به دنبال دارد (۶). یکی از بزرگ‌ترین مشکلات ناشی از جاده سازی در جنگل ایجاد و افزایش اشکال مختلف فرسایش از قبیل فرسایش آبکندی و توده‌ای در اطراف جاده‌ها می‌باشد. علت اصلی این فرآیند از بین بردن پوشش گیاهی، تخریب ساختمان خاک، افزایش سرعت رواناب و ناپایدار کردن شیب دامنه است (۷، ۸ و ۹). از این‌رو در طراحی جاده‌های جنگلی نه تنها میزان هزینه‌ها بلکه مدیریت صحیح آب و خاک نیز باید منظور گردد. نتایج تحقیقات نشان داده است که جاده‌های جنگلی حجم بالایی از رسوبات مناطق جنگلی را تولید می‌کنند (۱۰ و ۱۱). رسوب‌دهی به کانال‌های آب‌راهه از بخش‌هایی از جاده تاثیرات چشم‌گیری بر کیفیت آب (درجه حرارت و کاهش اکسیژن) و موجودات زنده (تخم‌ریزی ماهی و حشرات ساکن در آب) دارد (۱۲). مدل‌های پیش‌بینی تولید رسوب متعددی همانند FROSAM، SEDMODEL و WEEP در جهت کمک به مدیریت جاده‌ها در تخمین رسوب متوسط سالانه از یک شبکه جاده جنگلی به شبکه آب‌راهه و در نهایت تعیین سهم جاده‌ها در رسوب‌زایی یک حوزه آب‌خیز و نیز شناسایی نقاط حساس جاده به فرسایش توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است. Bilby و همکاران (۱۳) به مطالعه و بررسی تولید رسوب در سطح جاده‌های جنگلی و روند تغییرات آن پرداختند. Akay و همکاران، (۳) در ترکیه به تخمین رسوب‌دهی شبکه جاده جنگلی به شبکه آب‌راهه با استفاده از روش SEDMODEL و سامانه اطلاعات مکانی (GIS) در دو نوع جاده جنگلی با سطوح آسفالته و گراول اشاره کردند. در مطالعه حاضر از مدل تحویل رسوب جاده (SEDMODL) و GIS برای تخمین میزان و درصد رسوب‌دهی متوسط سالانه ناشی از یک شبکه جاده جنگلی در حوزه آب‌خیز و هم‌چنین شناسایی بخش‌هایی با پتانسیل تولید رسوب بالای جاده و تعیین موقعیت آن‌ها استفاده گردید. این روش بر پایه روابط تجربی بین عوامل فرسایش از قبیل نوع استفاده از جاده، مواد مادری منطقه به کار گرفته شده در احداث جاده، وضعیت سطح جاده، شیب طولی جاده، پوشش گیاهی ترانشه خاک‌برداری و میزان فاصله از آب‌راهه استوار است (۳). با توجه به این‌که جنگل‌های شمال کشور دارای اهمیت ویژه‌ای از نظر اقتصادی، تجاری و زیست محیطی هستند، تهیه اطلاعاتی در رابطه با میزان تاثیر جاده‌های جنگلی در رسوب‌دهی خروجی حوزه‌های آب‌خیز شمال کشور و هم‌چنین مدیریت اصولی‌تر این جاده‌ها ضروری می‌باشد. بدیهی است عدم مدیریت اصولی تهدیدی جدی برای اکوسیستم جنگل و حوزه آب‌خیز است. بنابراین شناخت تاثیر جاده بر میزان و کیفیت تولید رسوب می‌تواند کمک بزرگی به مدیریت و بهره برداری بهینه از حوزه آب‌خیز جنگلی نماید. در این تحقیق نیز هدف تخمین رسوب تولیدی جاده‌های موجود در حوزه مورد مطالعه با استفاده از مدل پیش‌بینی رسوب به کمک روش GIS است.

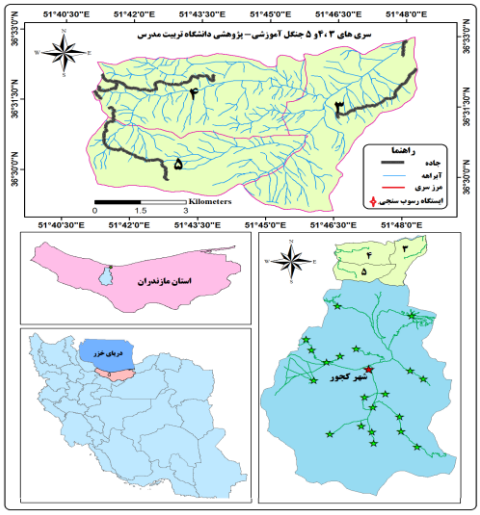
Archive of SID

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

شبکه جاده مورد مطالعه، جاده‌های چوب‌کشی و جنگلی موجود در سری سه، چهار و پنج جنگل آموزشی- پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس به طول ۱۶/۱ کیلومتر موجود در ارتفاعات جنگلی کجور در جنوب شرقی شهرستان نوشهر است (شکل ۱). جنگل مورد مطالعه قسمتی از حوزه آب‌خیز کجور یکی از حوضه‌های شماره ۴۶ البرز مرکزی و مجهز به امکانات فلوم و لیمنوگراف اندازه‌گیری دبی آب می‌باشد. از طرفی نمونه‌برداری از رسوب خروجی حوضه مذکور جهت برآورد میزان دقیق رسوب خروجی سالانه به صورت روزانه انجام می‌پذیرد. این منطقه در حد واسط طول‌های جغرافیایی ″۰۵ ′۴۱ °۵۱ تا ″۱۲ ′۴۸ °۵۱ شرقی و عرض‌های ″۱۴ ′۲۹ °۳۶ تا ″۱۸ ′۳۳ °۳۶ شمالی واقع شده است.



شکل۱- موقعیت شبکه جاده مورد مطالعه در ایران

Fig. 1- Location of the road network in Iran

۲- تهیه و پردازش نقشه‌ها

اولین مرحله در این تحقیق تهیه نقشه‌های مورد نیاز شامل زمین‌شناسی، جاده، شیب، بارندگی، پوشش گیاهی و شبکه آب‌راهه است. نقشه‌ها از سازمان‌های مربوطه تهیه، اصلاح و در محیط نرم افزار ARC GIS 10 رقومی شدند. در مرحله بعد بازدید میدانی انجام شده و عوامل جنس سطح جاده، ترافیک، میزان تحویل رسوب و ارتفاع ترانشه خاک‌برداری مورد بررسی قرار گرفت. جاده‌ها بر اساس هر یک از عوامل برش داده شده، سپس با توجه به استاندارد مدل مورد استفاده وزن‌دهی گردیدند و تعیین پتانسیل رسوب‌دهی انجام شد. لایه اطلاعاتی آب‌راهه‌ها از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ استخراج و با نقشه شبکه آب‌راهه تهیه شده توسط Arc Hydro Extension در ARC GIS 10 مورد مقایسه قرار گرفت و خطاهای مورد نظر رفع گردید، به‌صورتی که در بازدید میدانی حداکثر انطباق با شرایط محیطی کسب شد (شکل۲). هم‌چنین نقشه شیب با استفاده از DEM (مدل رقومی ارتفاع) ۱۰ متر (شکل ۳) و نقشه زمین‌شناسی از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ شیت‌های بلده و نوشهر استخراج گردید (شکل۴). اطلاعات جاده‌ها نیز برای حداکثر دقت توسط بازدید میدانی با دستگاه GPS برداشت و لایه رقومی آن در نرم افزار ARC GIS 10 تهیه گردید (شکل۵). جاده‌های موجود در مرز مطالعاتی در ۵ قسمت شناسایی شده و در شکل ۵ با کلاس‌های ۱ تا ۵ نمایش داده شدند. برای تهیه نقشه بارش متوسط سالانه، ابتدا رابطه گرادیان بارش با برقراری ارتباط بین ارتفاع و بارش میانگین سالانه ۳ ایستگاه نور، نوشهر و بلده محاسبه گردید. سپس با استفاده از

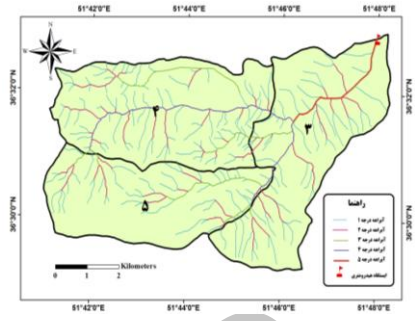
Archive of SID

www.SID.ir

نقشه DEM ۱۰ متر و اعمال آن در رابطه (۱)، نقشه هم باران میانگین سالانه حوزه استخراج گردید (شکل ۶).

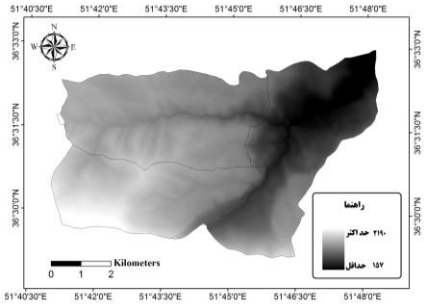
رابطه (۱) $Y = ۰/۲۳۸ X + ۸/۹۲۸ \quad R^2 = ۰/۷۲$

در این رابطه X ارتفاع و Y میزان بارش محاسبه شده است.



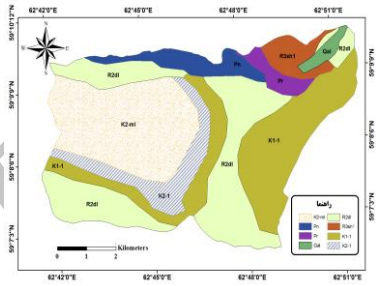
شکل ۲- نقشه شبکه آب‌راهه

Fig 2- Map of drainage network



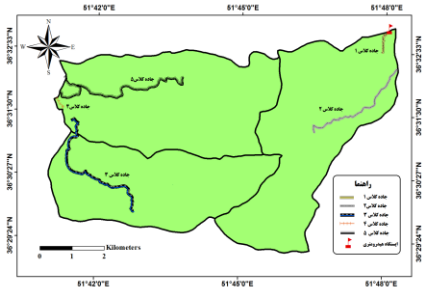
شکل ۳- نقشه DEM

Fig 3- Map of DEM



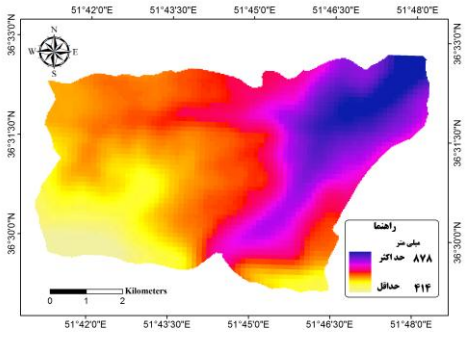
شکل ۴- نقشه زمین شناسی منطقه

Fig 4- Map of geology



شکل ۵- نقشه شبکه جاده‌ها

Fig 5- Map of road network



شکل ۶- نقشه بارش متوسط سالانه

Fig 6- Map of annual precipitation

۳- روش کار

رسوب‌دهی از یک جاده به طور معمول تحت تاثیر سه نوع جریان آب در سطح جاده، ترانشه خاک برداری و آب‌راهه‌های کنار جاده می‌باشد. در واقع مدل مورد استفاده در این تحقیق (SEDMODEL) بر پایه این سه عامل بنا شده است.

بنابراین مجموع رسوب‌دهی به تن در سال از هر بخش جاده بر پایه رابطه (۲) محاسبه می‌شود (۳).

رابطه (۲) $\text{Total Sediment (t/year)} = (TS+CS)\times A_f$

در رابطه بالا TS رسوب‌دهی ناشی از سطح جاده و آب‌راهه‌های کنار جاده، CS رسوب‌دهی ناشی از ترانشه خاک

Archive of SID

www.SID.ir

برداری و A_f عامل سن جاده است. بر اساس رابطه (۳)، TS نیز متاثر از عوامل طول جاده (L_r)، عرض جاده (W)، میزان فرسایش زمین شناسی (GE_r)، جنس سطح جاده (S_f)، ترافیک (T_f)، شیب جاده (G_f)، بارندگی (P_f) و عامل تحویل رسوب (D_f) می‌باشد.

رابطه (۳)

$$TS = L_r W_r GE_r S_f T_f G_f P_f D_f$$

هم‌چنین رسوب‌دهی ناشی از ترانشه خاک برداری CS بر اساس رابطه (۴)، تابعی از عوامل میزان فرسایش زمین شناسی (GE_r)، پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده (CS_f)، ارتفاع ترانشه خاک برداری (CS_h)، طول جاده (L_r) و عامل تحویل رسوب (D_f) می‌باشد.

رابطه(۴)

$$CS = GE_r CS_f CS_h L_r D_f$$

رسوب‌دهی جاده در طول یک یا دو سال ابتدایی ساخت تا زمانی که ترانشه خاک‌برداری و پشته خاک‌ریزی به درستی توسط پوشش گیاهی تثبیت گردد، حداکثر میزان را داراست. در SEDMODL اثر عامل سن جاده (A_f)، در سال اول ساخت ضریب ۱۰ و از دو سال بی‌شتر ضریب ۲ به خود می‌گیرد (۳). ارزش مقادیر برای سایر عوامل فرسایش از جداول عرضه شده مدل که بر اساس تحقیقات پیشین محاسبه شده‌اند، کسب گردید.

۳-۱ عامل میزان فرسایش زمین شناسی (GEr)

پتانسیل رسوب‌دهی از یک بخش جاده وابستگی بالایی به خصوصیات خاک و زمین شناسی دارد (۱۳). میزان فرسایش برای سازندهای متفاوت با استفاده از جدول (۱) و بر اساس استاندارد مدل مورد استفاده، مشخص گردید (۱۳، ۱۱ و ۳).

جدول ۱- میزان فرسایش زمین شناسی بر اساس سنگ شناسی و سن سازند (تن/ هکتار/ سال)

Table 1- Geologic erosion rates based on lithology and geologic age (in t/ha/year)

سن سازندهای زمین شناسی					سنگ شناسی
پرکامبرین	پالئوزویک	مزوزوئیک	ترشیاری	کواترنری	
۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	-	دگرگونی
۱۴۸	۱۴۸	۱۴۸	۱۴۸	-	شیست
۷۴	۷۴	۷۴	۳۷	۳۷	بازالت
۷۴	۷۴	۷۴	۳۷	۳۷	آندزیت
۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴	خاکستر آتشفشانی
۷۴	۷۴	۷۴	۱۲۴	۱۲۴	توف
۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	-	گابرو
۷۴	۷۴	۷۴	۴۹	-	گرانیت
۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	-	سنگ‌های بیرون زده
۷۴	۷۴	۳۷	۳۷	-	رسوبات سخت
-	-	-	۳۷	۳۷	سنگ‌ریزه
-	-	-	۷۴	۷۴	رسوبات نرم
-	-	-	۱۴۸	۱۴۸	رسوبات نرم ریزدانه

Archive of SID

www.SID.ir

بر اساس نقشه سازندهای زمین شناسی، وضعیت جاده‌های منطقه از نظر خصوصیات زمین شناسی بررسی شد که نتایج آن در جدول ۲ ارایه گردیده است. ضریب فرسایش در این جدول بر حسب تن در هکتار در سال است.

جدول ۲- خصوصیات جاده‌های منطقه از نظر زمین‌شناسی

Table 2- Geological characteristic of roads

کلاس جاده	سازند	خصوصیات	سن جاده		ضریب فرسایش
			دوره	دوران	
۱	R_2^{dl}	سنگ آهک ضخیم- سنگ دولومیتی (معادل سازند الیکا)	مزوزوییک	تریاس	۳۷
	Qa_1	آبرفت‌های رودخانه ای عهد حاضر	سنوزوییک	کواترنری	۱۴۸
۲	K_1^1	سنگ آهک آربیتولین دار- شیل آهکی- سازند تیز کوه	مزوزوییک	کرتاسه	۳۷
۳	K_1^1	سنگ آهک آربیتولین‌دار- شیل آهکی- سازند تیز کوه	مزوزوییک	کرتاسه	۳۷
	K_2^{ml}	سنگ آهک- مارن- مارن سیلت‌دار	مزوزوییک	کرتاسه	۳۷
	R_2^{dl}	سنگ آهک ضخیم- سنگ دولومیتی (معادل سازند الیکا)	مزوزوییک	تریاس	۳۷
	K_2^1	سنگ آهک رس مانند، سنگ آهک مارنی، سنگ آهک بستری ضخیم	مزوزوئیک	کرتاسه	۳۷
۴	K_2^{ml}	سنگ آهک- مارن- مارن سیلت‌دار	مزوزوییک	کرتاسه	۳۷
۵	K_2^{ml}	سنگ آهک- مارن- مارن سیلت‌دار	مزوزوییک	کرتاسه	۳۷
	R_2^{dl}	سنگ آهک ضخیم- سنگ دولومیتی (معادل سازند الیکا)	مزوزوییک	تریاس	۳۷

۳-۲- عامل جنس سطح جاده (Sf)

کیفیت مواد مادری سطح جاده تاثیر مستقیمی بر مقدار رسوب‌دهی دارد. در مدل مورد استفاده میزان فرسایش سطح جاده برای کلاس‌های مختلف در جدول (۳) ارایه شده است (۱۴ و ۱۵).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- میزان فرسایش جنس سطح برای جاده‌های مختلف

Table 3- Erosion rate for various road

نوع سطح جاده	میزان فرسایش
آسفالت	۰/۰۳
گراول	۰/۲۰
دارای پستی و بلندی	۰/۵۰
پوشش علفی طبیعی	۰/۵۰
سطح طبیعی	۱/۰۰
سطح طبیعی و وجود ریشه‌ها	۲/۰۰

۳-۳- عامل ترافیک (Tf)

رسوب‌دهی از سطح جاده به نوع استفاده از آن و وضعیت ترافیک نیز وابسته است (۱۳). Reid و Dunne، (۱۱) در تحقیق خود عامل ترافیک را از عوامل موثر در تولید رسوب معرفی نمودند. میزان فرسایش عامل ترافیک در جدول ۴ برای کلاس‌های متفاوت جاده ارایه شده است.

جدول ۴- میزان فرسایش عامل ترافیک جاده برای کلاس‌های مختلف

Table 4- Erosion rate of road traffic factors for various road classes

کلاس جاده	توضیحات	میزان فرسایش
بزرگ راه	بزرگ راه اصلی	۱۲۰
جاده‌های اصلی	تحت استفاده زیاد در طول سال با ماشین‌های سنگین- مسیرهای ارتباطی اصلی	۱۲۰
جاده‌های شهری	جاده‌های عریض در مناطق مسکونی پر تراکم	۵۰
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 رها شده	جاده‌هایی که توسط خاک‌ریزی ماشین‌های سنگین مسدود شده و مدت زیادی استفاده نمی‌شوند.	۰/۱

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۴- عامل شیب جاده (Gf)

نقشه شیب منطقه با استفاده از نقشه DEM و در محیط نرم‌افزار ARC GIS 10 تهیه و ضریب میزان فرسایش شیب جاده به ترتیب ۰/۲، ۱ و ۲/۵ به سه کلاس شیب کم‌تر از ۵، ۵ تا ۱۰و بی‌شتر از ۱۰ درصد اختصاص یافت (۱۶).

۳-۵- 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 در حوضه طبق رابطه (۴) محاسبه می‌شود (۱۷). در رابطه مزبور P_{avr} متوسط بارش سالانه است.

$$P_f = \left(\frac{Pavr}{1542}\right)^{0.8}$$ رابطه (۴)

۳-۶- عامل تحویل رسوب (Df)

مشکل‌ترین بخش پیش‌بینی مدل، تخمین درصد رسوب‌دهی از یک بخش جاده به آب‌راهه است (۱۷). قسمت‌هایی از جاده که در فاصله بی‌شتری از آب‌راهه‌ها قرار دارند، معمولاً درصد کمی از رسوب تولیدی را به آب‌راهه‌ها وارد می‌کنند؛ اگرچه بخش زیادی از رسوب تولیدی در جاده‌های جنگلی به واسطه پوشش بالا کنترل و به آب‌راهه‌ها نمی‌رسد (۱۸). در این مدل میزان تحویل رسوب برای هر بخش از جاده بر پایه فاصله نقطه میانی جاده از نزدیک‌ترین آب‌راهه اندازه‌گیری می‌شود (۱۹). بر اساس مدل برای بخش‌هایی از جاده که رسوب‌دهی مستقیم به آب‌راهه دارند و آن را قطع می‌کنند، میزان تحویل رسوب ۱۰۰ درصد، بخش‌هایی از جاده که در فاصله ۳۰ و ۶۰ متر هستند، میزان تحویل رسوب ۳۵ و ۱۰ درصد و فاصله بیش از ۶۰ متر به دلیل فیلتر شدن رسوبات توسط پوشش گیاهی، میزان تحویل رسوب صفر محاسبه می‌گردد.

۳-۷- عامل پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده (CSf)

این عامل به عنوان درصدی از پوشش سنگ یا گیاه تخریب نشده و یا ترمیم شده سطح جاده، ترانشه خاک‌برداری و ترانشه خاک‌ریزی تعریف می‌شود (۱۹) جدول (۵) میزان عامل پوشش گیاهی ارایه شده بر اساس درصد پوشش گیاهی و سنگ مناطق اطراف جاده را بیان می‌کند (۳).

جدول ۵- میزان فرسایش عامل پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده

Table 5- Erosion rate of vegetation and rock cover

درصد پوشش گیاهی و سنگی	میزان فرسایش	درصد پوشش گیاهی و سنگی	میزان فرسایش
۱۰۰	۰/۱۰۲۳	۴۰	۰/۴۴۳۵
۹۰	۰/۱۵۰۰	۳۰	۰/۵۲۲۲
۸۰	۰/۲۰۰۳	۲۰	۰/۶۱۵۵
۷۰	۰/۲۵۴۰	۱۰	۰/۷۷۰۰
۶۰	۰/۳۱۱۶	۰	۱/۰۰۰۰
۵۰	۰/۳۷۴۲	-	-

۳-۸- 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 (۱۹). اندازه‌گیری این عامل امری بسیار مشکل و در بعضی مناطق غیر ممکن می‌باشد. بر این اساس می‌توان از نقشه شیب که در کلاس‌های متفاوت طبقه‌بندی شده است، استفاده نمود. نقشه شیب به ۴ کلاس ۱۵-۰، ۳۰-۱۵، ۶۰-۳۰ و بی‌شتر از ۶۰ درصد طبقه‌بندی گردید. میزان فرسایش برای هرکدام از کلاس‌ها به

Archive of SID

www.SID.ir

ترتیب ۰/۷۵، ۱/۵، ۳ و ۷/۵ متر به‌ترتیب اختصاص داده شد (۱۸ و ۳).

نتایج

همانطور که بیان شد خصوصیات جاده‌های منطقه بررسی شده و بر اساس استاندارد مدل مورد استفاده، ضریب مربوط به هر عامل محاسبه گردید. در نهایت بر اساس روابط ۱ تا ۳ میزان نهایی فرسایش و همچنین رسوب رسیده به آب‌راهه تخمین زده شد. در ادامه مقادیر محاسبه شده برای عوامل مورد نظر آورده شده است. در جدول ۶ خصوصیات جاده‌های منطقه از نظر وضعیت ترافیک، جنس سطح جاده، شیب و همچنین وضعیت تولید رسوب نشان داده شده است. با توجه به نتایج، تخمین تولید رسوب و میانگین رسوب‌دهی به آب‌راهه از یک متر مربع از هر بخش جاده با استفاده از SEDMODEL در کلاس‌های ۱، ۲، ۳، ۵ و ۴ به ترتیب کاهش می‌یابد. برای محاسبه تحویل رسوب عامل فاصله از آب‌راهه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول (۶)- برخی از خصوصیات محاسبه شده جاده‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

Table 7- Specification summary for road sections located in the case study

کلاس	ترافیک	جنس سطح جاده	طول (m)	عرض (m)	میانگین شیب درصد	تولید رسوب (تن در سال)	تولید رسوب (کیلو گرم بر متر مربع)	رسوب‌دهی (تن در سال)	رسوب‌دهی (کیلو گرم بر متر مربع)
۱	۲	سطح طبیعی	۶۸۰	۵/۵	۱۱	۲۳۰	۶۱/۴	۳۵/۲	۹/۴۱
۲	۲	سطح طبیعی	۳۹۷۲	۵/۵	۴۷	۴۸۱	۲۲	۳۸/۶	۱/۷۶
۳	۲	سطح طبیعی	۵۰۲۳	۵/۵	۴۴	۴۷۰	۱۷	۳۲/۵	۱/۱۷
۴	۲	سطح طبیعی	۴۲۱	۵/۵	۲۵	۳۲	۱۳	۱/۴۰	۰/۶۲
۵	۲	سطح طبیعی	۶۰۰۶	۵/۵	۱۶	۳۷۷	۱۱/۴	۳۳/۴	۱/۰۱

جدول (۷)- میزان تحویل رسوب در قطعات بریده شده جاده بر اساس فاصله از آب‌راهه

Table 7- Sediment delivery ratio in the number of road segments based on distance to drainage

کلاس	طول m	تعداد	کم‌تر از ۱ متر (تحویل ۱۰۰ ٪)	طول m	٪	۱-۳۰ متر (تحویل ۳۵ ٪)	طول m	٪	۳۰-۶۰ متر (تحویل ۱۰ ٪)	طول m	٪	(بیش‌تر از ۶۰ متر) (تحویل صفر)	طول m	٪
۱	۶۸۰	۸	۱	۱۷	۲/۴	۱	۷۵	۱۱	۲	۲۱۸	۳۲	۴	۳۶۹	۵۴
۲	۳۹۷۲	۱۱	۱	۱۹	۰/۵	۲	۶۱۳	۱۵	۲	۸۴۳	۲۱	۶	۲۴۹۵	۶۳
۳	۵۰۲۳	۱۲	۲	۲۰	۰/۵	۳	۷۰۵	۱۴	۳	۸۴۳	۱۷	۴	۳۴۵۴	۶۹
۴	۴۲۱	۳	-	-	-	۱	۳۵	۸	۱	۶۱	۱۵	۱	۳۲۵	۷۷
۵	۶۰۰۶	۲۰	۴	۳۹	۰/۷	۵	۱۰۲۹	۱۷	۵	۹۰۸	۱۵	۶	۴۰۳۴	۶۷

www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بررسی نشان داد که سن سازندها و وضعیت سنگ‌شناسی موجود در منطقه شامل دو قسمت مزوزوییک/دگرگونی و سنوزوییک/رسوبات نرم ریزدانه است. وجود رسوبات نرم آبرفت‌های رودخانه‌ای عهد حاضر و بالا بودن میزان فرسایش آن را می‌توان از دلایل بالا بودن رسوب‌دهی جاده کلاس ۱ دانست. جنس سطح جاده در همه کلاس‌ها از نوع سطح طبیعی بوده و عامل ترافیک نیز در کلاس جاده‌های ثانویه قرار گرفت و ضرایب مورد نظر اختصاص یافت. هم‌چنین با توجه به نتایج میانگین شیب (جدول ۵) در کلاس‌های متفاوت جاده می‌توان گفت با افزایش میزان شیب رسوب‌زایی نیز افزایش می‌یابد. البته کلاس ۱ شرایط متفاوتی داشته و با وجود شیب کم فرسایش زیادی دارد که می‌توان این شرایط را به تاثیر زیاد عوامل زمین‌شناسی و پوشش کناری در این قسمت نسبت داد. این نتایج با یافته‌های Luce و Black، (۱۳) مطابق است. پس از تعیین نقشه رستری عامل بارش حداقل و حداکثر این عامل ۰/۴۳ و ۰/۶۳ محاسبه و به کلاس‌های جاده مقادیر متفاوت اختصاص داده شد. از جدول (۷) می‌توان نتیجه گرفت که حدود ۶۶ درصد جاده‌های موجود فاقد رسوب‌دهی و ۲۴ درصد از جاده‌ها در رسوب خروجی از حوزه نقش دارند. بر پایه بازدیدهای میدانی از ۱۶/۱ کیلومتر جاده‌های منطقه درصد تخریب پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده‌های مورد بررسی بین ۲۰ تا ۸۰ درصد تخمین زده شد. در کلاس ۱ به علت قرار گرفتن در مخروط افکنه حداکثر تخریب و رسوب‌دهی از این عامل را داشتیم. Luce و Black، (۱۳) و Akay و همکاران، (۳) نیز نقش کاهش پوشش در افزایش رسوب‌دهی را بسیار موثر بیان کردند. در کلاس ۲ نیز به واسطه عملیات جاده‌سازی جدید تخریب بالا ولی در سایر کلاس‌ها مقادیر کم‌تر از ۲۵ درصد لحاظ گردید. برای بررسی عامل ارتفاع ترانشه نیز نقشه رستری شیب بر اساس کلاس‌های ارایه شده طبقه‌بندی و ضرایب مورد نظر اعمال گردید. مقادیر این عامل از ۰/۷۵ تا ۳ متر متغیر بود. برای بررسی صحت این عامل با بازدیدهای میدانی حداقل در ۱۰۰ نقطه کارایی بالای این روش تایید گردید. نتایج نهایی نشان داد که فرسایش تولیدی از این شبکه جاده بدون در نظر گرفتن میزان تحویل رسوب در حدود ۱۵۷۶/۴ تن در سال می‌باشد. با در نظر گرفتن میزان تحویل رسوب بر اساس فاصله از آب‌راهه، رسوب‌دهی از شبکه جاده به طور میانگین در حدود ۱۴۰/۷ تن در سال به تفکیک ۱۳۵ تن مربوط به سطح جاده و آبروهای کنار جاده و ۵/۷ تن مربوط به ترانشه خاک‌برداری تخمین زده شد. از طرفی با درنظر گرفتن رسوب خروجی ۰/۵ گرم بر لیتر در محل ایستگاه هیدرومتری حوزه آب‌خیز کجور، سالانه در حدود ۱۰۵۶۰ تن رسوب خارج می‌گردد که نقش جاده‌های جنگلی را می‌توان در حدود ۱/۳۳ درصد رسوب خروجی حوزه دانست در حالی که این جاده‌ها تنها ۰/۰۱۷ درصد از سطح حوزه آب‌خیز را شامل می‌شوند یعنی می‌توان گفت که با توجه به درصد مساحتی از حوزه آب‌خیز که این جاده‌ها در بر می‌گیرند میزان رسوب تولیدی آن‌ها به صورت نسبی ۷۸ برابر متوسط تولید رسوب در سطح حوزه است. این نسبت، اهمیت توجه به رعایت اصول صحیح در جاده‌سازی، طراحی شبکه مناسب و حداقل کردن طول جاده‌ها و مدیریت صحیح جاده‌ها برای به حداقل رساندن فرسایش و رسوب در این مناطق را نمایان می‌سازد. یکی از روش‌های مدیریت صحیح مناطق جنگلی ایجاد بانک اطلاعاتی در محیط GIS، بررسی عوامل موثر در حساسیت جاده و اولویت‌بندی مناطق حساس به فرسایش است. با شناسایی مناطق حساس امکان بهینه‌سازی مسیرهای احداث جاده و جلوگیری از تحریک منطقه فراهم می‌شود.

منابع

1. Demir, M., Hasdemir M., 2005. Functional planning criterion of forest road network systems according to recent forestry development and suggestion in Turkey, Am J Environ Sci, Vol. 24,8–22.

۲. مجنونیان، ب و همکاران، ۱۳۸۶، طراحی و ارزیابی فنی شبکه جاده جنگلی از لحاظ قابلیت دسترسی با

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده از GIS مطالعه موردی: بخش نمخانه، مجله منابع طبیعی، جلد ۷، شماره ۶۰، صص ۹۱۹-۹۰۷.

3. Akay, A.E., Erdas, O., Reis M, Yuksel, A., 2008. Estimating sediment yield from a forest road network by using a sediment prediction model and GIS techniques, Journal of Building and Environment, Vol.43, 687–695.
4. Cole, DN., Landres, PB., 1996. Threats to wilderness ecosystems: impacts and research needs, Ecol Appl, Vol. 6, 84-168.
5. Williams T., 1998. The unkindest cuts. Audubon (January–February), 24–31.

۶. مجنونیان، ب و همکاران، ۱۳۸۴، طراحی زهکش‌های عرضی جاده‌های جنگلی در سری سیاه‌بیل حوزه آب‌خیز اسالم، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۵۸: صص۳۵۰-۳۳۹.

7. Grace, J.M., 2002. Control of sediment export from the forest road prism. ASAE Annu Meeting, Vol. 45, 1-6.
8. Megahan, W.F., 1974. Erosion over time: a model. US Department of Agriculture Forest Service, Intermountain Res Stn, Ogden, Utah Res Paper INT-156. 14p.
9. Carl, S.C., Li, C., 2006. Impact of planting grass on terrene roads to avoid soil erosion, Landscape and Urban Planning, Vol. 78, 205-216.
10. Binkley, D., Brown, T.C., 1993. Forest practices as nonpoint sources of pollution in North America, Water Res Bull, Vol. 29, 729–740.
11. Reid, L.M., Dunne T., 1984, Sediment production from forest road surfaces, Water Resource Res, Vol. 20, 1753–1761.
12. Akay, A.E., Boston, K., Sessions, J., 2005. The evaluation of computer-aided road design systems, International Journal of Forest Engineering, Vol. 16, 73-79.
13. Bilby, R.E., Sullivan, K., Duncan, S.H., 1989. The generation and fate of road surface sediment in forested watersheds in southwestern Washington. Forest Sci, Vol. 35, 453–468.
14. Swift, L.W., 1984. Gravel and grass surfacing reduces soil loss from mountain roads, Forestry Sci, Vol. 30, 657–670.
15. Foltz, R. B., Burroughs, E.R., 1990. Sediment production from forest roads with wheel ruts. In: Proceedings of a symposium on watershed planning and analysis, July 9–11, 1989, Durango CO, ASCE, 266–275.
16. Kramer, B.W., 2001. Forest road contracting, construction, and maintenance for small forest woodland owners, Oregon State University, Forest Research Laboratory, Research Contribution 35, 79pp.
17. WFPB, 1997. Washington Forest Practices Board Manual: standard methodology for conducting watershed analysis, Version 4.
18. Ouyang, D., Bartholic, J., 1997. Reducing sediment delivery ratio in Saginaw Bay Watershed. In: The 22nd national association of environmental professionals conference proceedings, Orlando, FL, p. 659–671
19. WDNR, 1995. Standard methodology for conducting watershed analysis, Version 3.0. Washington Forest Practices Board.

Archive of SID

www.SID.ir