

در مناطق مختلف می‌باشد.

بررسی قابلیت‌ها و محدودیت‌های مدل‌های برآورد فرسایش خاک جاده‌های جنگلی

واژه‌های کلیدی: جاده جنگلی، مدل، فرسایش و رسوب.

محسن مصطفی^{۱*}، شعبان شتایی جویباری^۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۰۲

مقدمه

جاده‌های جنگلی دروازه‌های ورود به جنگل به منظور هر گونه اقدامی می‌باشند و بدون وجود آنها جنگلداری و مدیریت جنگل غیر قابل تصور است [۲۱]. این جاده‌ها اراضی درون و بیرون از حوضه آبخیز و همچنین دامنه‌های خاص را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۱۵]. همچنین این جاده‌ها عامل اصلی دستکاری و آشفستگی در جنگل محسوب می‌شوند و حدود ۹۰٪ از رسوب تولیدی حوزه‌های آبخیز جنگلی را به وجود می‌آورند [۳۲]. یک جاده جنگلی از تعدادی مولفه‌های منحصر به فرد هیدرولوژیکی ساخته شده است (شکل ۱). این مولفه‌ها عبارتند از ترانشه خاکبرداری^۳ (در صورتی که در دامنه شیب‌دار قرار گرفته باشد)، ترانشه خاک‌ریزی^۴، جوی کناری^۵، در بعضی موارد یک محدوده پوشیده از علف بین جاده و نهر آب به نام حریم^۶ و در نهایت سطح جاده^۷ که می‌تواند تاج‌دار^۸ و یا برون شیب^۹ و یا درون شیب^{۱۰} باشد [۱۷، ۲۴، ۲۵]. طول و شیب جاده فاکتورهای اصلی موثر بر تولید رسوب هستند که تنش برشی و قدرت جریان سطحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و متعاقباً بر مقدار فرسایش مواد سطحی نیز تأثیر می‌گذارد (شیروانی‌های ناپایدار خاکبرداری باعث حمل مواد لوسی به داخل جوی‌های کناری و سطح جاده می‌شود. بافت خاک به طور مستقیم بر فرسایش تأثیر می‌گذارد زیرا فاکتور کلیدی در تعیین چگونگی جدا شدن مواد از سطح می‌باشد. خاک‌هایی که دارای رس و ماسه هستند به آسانی خاک‌هایی که دارای درصد لای و ریزدانه‌ها هستند جدا نمی‌شوند. جوی‌های کناری به عنوان منبع و مخزن رسوب محسوب می‌شود و نگهداری آنها در کاهش فرسایش تأثیر زیادی را دارد [۱۱]. افزایش میزان رسوب در آب رودخانه‌ها خسارت جبران ناپذیری به کیفیت

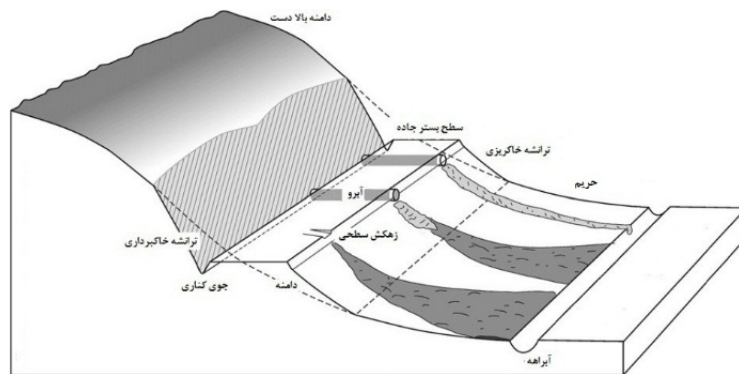
چکیده

جاده‌های جنگلی امکان ورود به جنگل برای دسترسی به نقاط مختلف جنگل، خروج چوب در انجام طرح‌های جنگلداری، عملیات جنگلشناسی، پرورش، حفاظت و همچنین استفاده از سایر کاربردهای جنگل را فراهم می‌نمایند. با احداث این جاده‌ها یک سطح عاری از پوشش گیاهی ایجاد می‌شود که عامل اصلی ایجاد فرسایش و رسوب در مناطق جنگلی می‌باشد. برای برآورد میزان فرسایش و رسوب جاده‌های جنگلی مدل‌های زیادی طراحی و معرفی شده‌اند. این تحقیق به بررسی قابلیت‌ها و محدودیت‌های مدل‌هایی که جهت تخمین فرسایش و رسوب در جاده‌های جنگلی ارائه شده‌اند، پرداخته است، ابتدا مدل‌های موجود به دو دسته فیزیکی و تجربی تفکیک شده و مشخصات هر کدام از مدل‌ها و داده‌های مورد نیاز برای اجرای آنها و مناطقی که می‌توانند استفاده شوند توضیح داده شده است. مدل‌های فیزیکی مورد بررسی شامل مدل‌های WEPP و KINEROS2 و مدل‌های تجربی شامل مدل‌های ROADMOD، STJ-EROS، SEDMODL، SEDMODL2، WARSEM، FORECALT و CULSED می‌باشند. در نهایت توانایی‌ها و محدودیت‌های هر کدام از مدل‌ها مطرح و مورد بحث قرار گرفته شده است. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که تعداد پارمترهای مورد نیاز، مقیاس زمانی و محدوده عملیاتی، مکان پیش‌بینی و نوع پیش‌بینی (فرسایش یا رسوب) مدل‌ها، مهمترین مشخصه‌ها برای قضاوت در مورد مدل‌ها می‌باشد. نتیجه‌گیری کلی نشان داد محدودیت عمده این مدل‌ها شامل مشکلات فراهم شدن تمامی داده‌های مورد نیاز مدل برای اجرا و همچنین غیر قابل استفاده بودن آنها

- 3 - Cut slope
- 4 - Fill slope
- 5- Ditch
- 6- Buffer
- 7- Road Surface
- 8- Crowned
- 9- In sloped
- 10- Out sloped

۱- دانشجوی دکتری علوم جنگل و جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران (نویسنده مسوول: mohsenmstf@gmail.com)

۲- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران



شکل ۱- نمای کلی از یک جاده و مولفه‌های هیدرولوژیک آن [۱۷].

از بخش کشاورزی ایالات متحده آمریکا برای پیش‌بینی فرسایش خاک در شرایط مختلف ارائه شد [۱۴]. این مدل جهت پیش‌بینی فرسایش در زمین‌های با کاربری مختلف مانند جاده‌ها، جنگل‌ها، و مزارع تهیه شده است [۱۶].

مدل WEPP Road: این مدل نسخه‌ای از مدل اصلی است که برای شبیه‌سازی فرسایش در قطعات جاده‌ها تهیه شده است. برای اجرای آن می‌بایست مشخصات یک قطعه جاده وارد شود.

مدل WEPP road batch: این نسخه فرعی مدل پیش‌بینی فرسایش را برای شبکه جاده در سطح حوضه آبخیز انجام می‌دهد، و کاربر اجازه وارد نمودن مشخصات چند قطعه جاده را دارد. در حالی که مدل WEPP Road این توانایی وجود ندارد و فقط می‌توان مشخصات یک قطعه جاده را وارد نمود [۱۳]. هر دو مدل در محیط ویندوز و اینترنت می‌توانند اجرا شود و اجرای آن برای کسانی که هیچ تجربه قبلی با مدل ندارند نیز آسان است. کاربر می‌تواند داده‌های اقلیم، توپوگرافی، بافت خاک و سال اجرای مدل را وارد کند [۵، ۳۳، ۳۴]. این مدل برای برآورد رسوب در سه بخش اصلی جاده شامل سطح جاده، شیروانی خاکبرداری و حاشیه جاده طراحی شده است. برای اجرای مدل ۱۳ مشخصه اقلیم، بافت خاک، سنگ مادری، مشخصه‌های اصلی جاده (شیب، ابعاد شیب و طول دامنه خاکبرداری، نوع پوشش جاده و شکل جاده)، طول جاده و شیب حریم جمع آوری می‌شود. داده‌های اقلیم شامل حداکثر و حداقل دما، میانگین بارندگی و تعداد روزهای مرطوب می‌باشد و داده‌های بافت خاک (ماسه، سیلت، رس و لوم) در این مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای دامنه‌ها چهار حالت، ۱- خاکبرداری (جوی کناری بدون پوشش گیاهی) ۲- خاک‌برداری دارای پوشش گیاهی) ۳- خاک‌برداری شیاردار ۴- خاکبرداری بدون شیار استفاده می‌شود، برای پارامتر سطح جاده سه حالت، خاکی، شوسه یا آسفالت و برای ترافیک سه کلاس (پایین، سنگین - بدون ترافیک) بکار گرفته می‌شود [۲۰].

اکوسیستم آب و زندگی موجودات آبی وارد می‌سازد [۹]. بنابراین همواره سعی بر این بوده که از میزان فرسایش و رسوب ناشی از این جاده‌ها کاسته شود که یکی از راهکارها استفاده از مدل‌های پیش‌بینی فرسایش و رسوب می‌باشد.

مدل‌های موجود برآورد فرسایش و رسوب جاده
مدل‌های موجود برآورد فرسایش و رسوب جاده به دو دسته فیزیکی و یا تجربی تقسیم بندی می‌گردند.

مدل‌های فیزیکی: بر اساس قوانین فیزیکی استوار می‌باشند و در آنها مکانیسم کنترل فرسایش مورد تأکید بوده و از قوانین بقای جرم و انرژی و معادلات مربوطه برای توسعه آنها استفاده شده است. این مدل‌ها بر اساس پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیکی سطح جاده عمل می‌کنند. این مدل‌ها و همچنین در مناطق مختلف قابل استفاده می‌باشند، برای اجرای آنها از پارامترهایی مانند بارش به صورت داده ورودی استفاده می‌شود و خروجی آن (رواناب) و رسوب می‌باشد [۵، ۱۱، ۱۴]. مدل‌های فیزیکی KINEROS2^۱ و WEPP^۲ نمونه‌هایی از مدل‌های فیزیکی هستند که در این مطالعه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه که به صورت مروری بوده مشخصات مدل‌ها (نوع مدل، داده‌های مورد استفاده، مناطق استفاده از مدل‌ها) و همچنین توانایی، کاربردها و محدودیت‌های آن مورد بررسی قرار گرفته شده است.

مدل WEPP

مدل WEPP یک مدل فیزیکی رایانه‌ای است که در سال ۱۹۸۵ توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا^۳ و سرویس تحقیقات کشاورزی^۴

- 1 - Kinematic Runoff and Erosion Model
- 2 - Water Erosion Prediction Project
- 3 - Soil Conservation service-SCS
- 4 - Agricultural Research Service-ARS

5 - United States Department of Agriculture

توانایی‌های مدل: امکان استفاده در اقلیم‌های متفاوت و قابلیت به کارگیری GIS.

محدودیت‌های مدل: فرض‌های فقدان پوشش گیاهی سطح جاده، پوشش ۵۰ درصدی گیاهی دامنه خاک‌ریزی، سن ۲۰ سال درختان حاشیه جاده و عدم توانایی در برآورد رسوب آبکندهای کوچک، کانال‌های کناری.

KINEROS2 مدل

مدل کینیماتیکی رواناب و فرسایش (KINEROS)، یک مدل دینامیک بر اساس جاری شدن رواناب و فرسایش است که توسط سرویس سازمان کشاورزی ایالات متحده برای کاربرد در مقیاس‌های کوچک محلی طراحی گردید [۳۶]. این مدل در واقع دومین نسخه تولید شده از KINEROS است که شامل مولفه‌های اصلاح شده کیفیت رواناب و فرسایش است. این مدل برای کاربرد در محل‌های با قابلیت نفوذ بالا مناسب است. خروجی مدل شامل زمان تغییر رواناب، رسوب تولید شده و غلظت رسوب در هر فرایند بارندگی-رواناب است. این مدل به طور اختصاصی برای جاده ساخته نشده است. کاربرد آن در مقیاس وسیع به دلیل نبود درک صحیح از تجمع جریان در قطعات جاده محدود شده است [۳۸]. در این مدل حوضه آبخیز به زیر حوضه‌هایی تقسیم شده و هریک از این زیرحوضه‌ها، به صورت سطوح جریان سطحی مشابه، مستطیلی شکل منظم با پارامترهای ورودی یکنواخت، و شبکه کانال‌ها شبیه سازی می‌شوند. جریان جانبی از سطوح جریان سطحی به کانال‌ها انتقال می‌یابد. در این مدل سطوح جریان سطحی، باتوجه به شیب عمومی زمین، کانال‌ها با مقطع ذوزنقه‌ای، همانند آبراهه‌ها با شیب مشخص به سمت خروجی حوضه گسترده شده‌اند [۳۰]. نسخه ضمیمه‌ای از این مدل به نام وجود 'AGWA' وجود دارد که در محیط GIS نیز قابل اجرا می‌باشد. AGWA یک مدل سیستم آنالیز هیدرولوژیکی چند منظوره، برای مطالعه حوضه آبخیز، و یک برنامه جانبی برای سیستم اطلاعات جغرافیایی است، که توسط انجمن سیستم تحقیقاتی جهانی^۲ طراحی شده و قابل نصب روی نرم افزار ArcGIS می‌باشد [۱۸، ۴]. این ابزار برای اجرای مدل‌های هیدرولوژیکی، با همکاری سرویس تحقیقات کشاورزی مرکز جنوب شرقی آمریکا^۳ و نمایندگی حفاظت جهانی^۴ تهیه و توسعه یافته است [۲۳]. ترتیب محاسبات و شبیه سازی از بالادست حوضه به طرف پایین دست می‌باشد، که نیازمند تعیین شرایط مرزی برای قسمت‌های بالادست است [۳۱].

توانایی‌های مدل: قابل استفاده بودن در حوضه‌های آبخیز کوچک، اراضی کشاورزی و اراضی شهری کاربرد.

محدودیت‌های مدل: پیچیدگی مدل و مشکل بودن به کارگیری

1. The Automated Geospatial Watershed Assessment Tool
2. ESRI
3. USDA-ARS
4. U.S EPA

آن در پروژه‌های اجرایی.

مدل‌های تجربی: این مدل‌ها از روابط بین فاکتورهایی که بر تولید رسوب تأثیر می‌گذارند استفاده می‌کند. مدل‌های تجربی می‌توانند میزان رسوب را در کل حوضه آبخیز پیش‌بینی و همچنین مناطق با فرسایش بالا را مشخص نمایند. این مدل‌ها فاکتورهایی را به کار می‌برند که برای تخمین زدن آسان‌تر هستند. با توجه به این‌که فاکتورها بر اساس محیط متفاوت هستند استفاده از آنها در مکان‌های دیگر مشکل می‌باشد. از معایب کلی مدل-ای تجربی این است که با توجه به فرضیات به‌کار گرفته شده در محاسبه تولید رسوب و ساده سازی شرایط حوضه آبخیز، دقت برآوردی میزان رسوب این مدل‌ها پایین می‌باشد [۵، ۱۱]. مدل‌های تجربی موجود برای شبیه‌سازی فرسایش جاده در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف توسعه یافته‌اند. بعضی از مدل‌ها فرسایش را در یک قطعه جاده شبیه سازی می‌کنند و بر روی فرآیندهای مختلف فرسایش‌پذیری تمرکز دارند در حالی که بعضی دیگر بر کل حوضه آبخیز تمرکز دارند و فرایند فرسایش را در کل شبکه جاده شبیه‌سازی می‌کنند. مدل‌های تجربی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند شامل، ROADMOD، STJ-EROS⁵، SEDMODL، SEDMODEL2، WARSEM، FORECALT، CULSED می‌باشند که به شرح زیر تشریح می‌گردند.

ROADMOD مدل

اندرسون و مک‌دونالد [۲] مدلی را جهت تخمین سالانه تولید رسوب در شبکه جاده در سنت جان، جزایر ویرجینا ایالات متحده طراحی نمودند. پیش فرض‌های استفاده از این مدل عبارتند از: ۱- بیشترین رواناب توسط سطح جاده (ماشین‌رو و شانه‌ها) جاری می‌شود. ۲- رسوب ذخیره شده در نظر گرفته نمی‌شود (رسوبی که وارد تله‌های رسوب نشده است). ۳- فرسایش جوی کناری و دامنه خاک‌بردای در نظر گرفته نمی‌شود. ۴- متوسط شیب‌ها و عرض‌ها در ابتدای قطعات اندازه‌گیری می‌شود. ۵- سطح زهکشی و مسیر رسوب به عنوان یک فاکتور مسیر جریان تخمین زده می‌شوند. ۶- شرایط اقلیمی در دوره مطالعه شبیه سال در نظر گرفته می‌شد این مدل رسوب ناشی از جاده را، با استفاده از روابط تجربی بین میزان فرسایش و شرایط جاده و مجموعه‌ای از الگوریتم‌های شبکه پیش‌بینی می‌کند. طول، متوسط عرض، متوسط و شیب هر قطعه از جاده، نقاط مقصد نوع رویه سطحی جاده (آسفالت، خاکی) و رواناب (برآورد نسبی مقدار جریان از بالادست به داخل هر قطعه جاده) مشخصه‌های مورد استفاده در این مدل می‌باشند. رابطه ۱ چگونگی محاسبه فرسایش را در مدل ROADMOD نشان می‌دهد.

$$E=0057/0+0.0034AS$$

رابطه ۱

E: میزان فرسایش به متر مکعب برای مواد از دست رفته در هر متر طول جاده در سال، A: سطح زهکشی بالادست به متر مربع، S: شیب

5. STJ-EROSION

SEDMODL

برنامه‌ای است، که توسط شرکتی در شهر بیز واقع در ایالت آیداهو آمریکا و با همکاری انجمن ملی بهسازی هوا و رودخانه توسعه پیدا کرد. این مدل قسمت‌هایی از یک جاده با پتانسیل رسوبدهی بالا را در سطح یک حوزه آبخیز مشخص می‌کند [۱، ۱۹]. مدل به تفکیک بخش‌هایی از جاده میزان رسوب را تعیین می‌کند که شامل چهار بخش سطح جاده، دامنه خاک‌برداری، دامنه خاک‌ریزی و جوی کناری می‌باشد. از رسوب تولید شده از دامنه خاک‌ریزی به دلیل ناچیز بودن صرف نظر می‌شود. رسوب تولید شده از جوی کناری و سطح جاده باهم ترکیب می‌شوند. بنابراین در این مدل کل رسوب تولید شده برای سطح جاده و دامنه خاک‌برداری محاسبه می‌شود که در رابطه ۷ نشان داده شده است.

رابطه ۷ (تن/سال) میزان کل رسوب انتقال یافته $Af(TS + CS)$ را نشان می‌دهد. TS کل رسوب تولیدی مربوط به سطح جاده بر حسب تن در یک سال و CS رسوب تولیدی مربوط به ترانشه خاک‌برداری را بر حسب تن در یک سال می‌باشد. Af سن جاده را نشان می‌دهد، با توجه به اینکه بیش‌ترین میزان تولید رسوب جاده مربوط به سال‌های اول و دوم ساخت جاده است و در سال‌های بعد کاهش می‌یابد، این فاکتور نیز استفاده می‌شود، میزان این فاکتور برای جاده‌هایی که سال اول ساخت خود را سپری می‌کنند ۱۰ و برای جاده‌هایی که بیشتر از ۲ سال عمر دارند ۲ می‌باشد.

محاسبه رسوب تولید شده توسط سطح جاده (TS)

رسوب تولید شده از سطح جاده با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

رابطه ۸ $TS = L_f * W_f * GE_f * S_f * T_f * G_{f*} * P_f * D_f$
 L_f طول جاده، W_f عرض جاده، GE_f میزان فرسایش زمین شناسی، S_f فاکتور مربوط به سطح جاده، T_f فاکتور ترافیک، G_{f*} فاکتور شیب، P_f فاکتور بارندگی، D_f فاکتور انتقال رسوب می‌باشد.

محاسبه رسوب تولید شده توسط دامنه خاک‌برداری (CS)

رسوب تولید شده از ترانشه خاک‌برداری با استفاده از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

رابطه ۹ $TS = GE_f * CS_{f*} * CS_{h*} * L_f * D_f$
 GE_f میزان فرسایش زمین شناسی، CS_{f*} فاکتور پوشش ترانشه خاک‌برداری، CS_{h*} ارتفاع ترانشه خاک‌برداری، L_f طول جاده، D_f فاکتور انتقال رسوب می‌باشد [۳، ۱، ۱۹، ۲۲].

SEDMODEL2

مدل مفهومی - تجربی برای پیش‌بینی رسوبدهی قطعات مختلف جاده می‌باشد. این مدل با اجرا در محیط GIS پیش‌بینی سریع و آسان رسوب تولید شده تحت سناریوهای مختلف مدیریتی را

جاده. این معادله در قطعات جداگانه جاده‌ها قابل استفاده می‌باشد. توانایی‌های مدل: امکان استفاده از GIS، قابل استفاده بودن در مناطق برف‌گیر.

محدودیت‌های مدل: عدم استفاده از رسوب ذخیره شده در برآورد رسوب تولیدی، قادر نبودن به برآورد رسوب تولیدی جوی کناری و دامنه خاک‌برداری.

STJ-EROS مدل

مدل STJ-EROS توسط راموس و مک دونالد [۲۷] طراحی شد. این برنامه به منظور پیش‌بینی میزان رسوب تولیدی از منابع مختلف در حوزه آبخیز بر اساس ROADMOD طراحی شده است و همچنین امکان استفاده از داده‌های تولیدی در محیط GIS را دارا می‌باشد. اهداف اصلی مطالعه بر روی این مدل شامل گسترش مدل بیان رسوب در محیط GIS، استفاده از مدل برای کمی کردن رسوب تولید شده از جاده‌های خاکی و مسیرهای پیاده‌روی و مقایسه رسوب پیش‌بینی شده با داده‌های زمینی موجود می‌باشد. رابطه‌های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب رسوب کل تولید شده توسط جاده‌ها در حوزه آبخیز، رسوب تولید شده توسط سطح جاده و رسوب تولید شده توسط دامنه خاک‌برداری را به ترتیب نشان می‌دهند:

$$E = R_s + C_s \quad \text{رابطه ۲}$$

E : کل رسوب تولید شده توسط سطح جاده و دامنه خاک‌برداری (کیلوگرم). R_s : رسوب تولید شده توسط سطح جاده (کیلوگرم). C_s : رسوب تولید شده توسط دامنه خاک‌برداری (کیلوگرم).

$$R_s = a + b * S^m * S_f * W * L * R \quad \text{رابطه ۳}$$

R_s : رسوب تولید شده توسط سطح جاده (کیلوگرم). a, b, m : اعداد ثابت. S : شیب جاده (درجه). R : بارش سالیانه (سانتیمتر). L : طول جاده (متر). W : عرض جاده (متر). S_f : ضریب تعدیل شده برای مقدار سیلنتی عبوری از تله‌های رسوب‌گیر.

$$C_s = (p_c / (1 - p_c)) * R_s \quad \text{رابطه ۴}$$

نسبت رسوبات تولید شده از دامنه خاک‌برداری به کل رسوب تولید شده می‌باشد که مقدار ۰،۰۹ در معادله وارد می‌شود.

برای برآورد رسوب تولید شده از جاده‌های تسطیح شده و تسطیح نشده به ترتیب رابطه‌های ۵ و ۶ پیشنهاد شده است. در این مدل فرض بر این است که ۹۱٪ از رسوب توسط سطح جاده و ۹٪ آن توسط دامنه خاک‌برداری شده تولید می‌شود.

$$SG = [-0.432 + 4.73 * S^{1.25} * R] * L * W * 1.204 \quad \text{رابطه ۵}$$

$$SUG = [-0.432 + 1.88 * S^{1.25} * R] * L * W * 1.136 \quad \text{رابطه ۶}$$

رسوب تولید شده توسط جاده‌های تسطیح شده. رسوب تولید شده توسط جاده‌های تسطیح نشده. SUG, SG

توانایی‌های مدل: محاسبه دقیق میزان رسوب بر اساس مشاهدات صحرائی، قابلیت به کارگیری GIS.

محدودیت‌های مدل: عدم توانایی رسوب وارده شده به داخل آبراهه‌ها.

شده توسط دامنه خاک برداری هر قطعه از جاده که به داخل آبراهه‌ها وارد می‌شود. A_g : فاکتور سن جاده (بدون واحد).

رسوب تولید شده توسط جوی کناری و سطح جاده از طریق رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود.

$$R_S = G * S_f * T * L * W * S * E_f * SDR_{R-S} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

G : فاکتور فرسایش زمین شناسی، (بدون واحد). S_f : فاکتور سطح جاده، (بدون واحد). T : فاکتور ترافیک، (بدون واحد).

L : طول جاده (متر). W : عرض جوی کناری و سطح جاده (متر). S : فاکتور شیب جاده (بدون واحد). E_f : مقدار فرسایش بر اساس

$$R_S = G * C_f * L * H * E_f * SDR_{R-S} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

فاکتور بارندگی (تن/هکتار/سال). SDR_{R-S} : فاکتور رسوبدهی C_f : فاکتور پوشش دامنه خاک برداری (بدون واحد). H : ارتفاع

دامنه خاک برداری (متر)

$$E_f = a + R^b \quad \text{رابطه ۱۴}$$

a, b : اعداد تجربی. R : میانگین بارندگی سالیانه (میلی‌متر) [۱۰]. توانایی‌های مدل: امکان محاسبه رسوب سالیانه سطح جاده و کانال‌های زهکشی به روش استاندارد، امکان به کارگیری در مقیاس‌های مختلف (شبکه جاده از جاده‌ها، حوزه آبخیز، سری و پارسل) وجود دارد، استفاده از GIS امکان‌پذیر می‌باشد. محدودیت مدل: نیاز به تجربه علمی و اجرایی کاربر دارد.

مدل FORECALT

جهت تسهیل در طراحی طراحی مناسب جاده و کاهش پتانسیل فرسایش خاک، برنامه برآورد کننده فرسایش جاده جنگلی^۲ (FORECALT) با استفاده از مدل WEPP در محیط نرم افزار ArcGIS 9.1 طراحی شده است. برنامه FORECALT از نقشه رقومی زمین^۳، نقشه‌های برداری شبکه جاده و یک سری از ابراهای تعریف شده برای جاده به عنوان پارامترها و مدل WEPP را جهت ترکیب نمودن تمام مسیرهای جاده به عنوان شبکه به کار می‌برد. مدل قادر به شبیه‌سازی میزان فرسایش در دامنه خاک برداری، سطح جاده و زهکش‌های جاده می‌باشد. استفاده از این مدل در جاده‌های درون شیب و برون شیب امکان‌پذیر می‌باشد. نتایج فرسایش و رواناب برای هر قطعه از جاده در محیط GIS قابل نمایش می‌باشد. مقدار فرسایش در جاده‌های برون شیب به صورت نقشه‌های گرافیکی نشان داده می‌شود و در جاده‌های درون شیب برای نقاط خروجی منتخب، محاسبه می‌شود [۵]. این مدل در چهار مرحله میزان فرسایش و رواناب را برای شبکه جاده شبیه‌سازی می‌کند. در مرحله مرحله اول، تجزیه و تحلیل شبکه جاده، نقشه رقومی ارتفاع و لایه آبراهه‌ها انجام می‌گیرد، سپس اطلاعات لازم آنها استخراج و ذخیره می‌شود. مرحله دوم تقسیم‌بندی جاده‌ها صورت می‌گیرد، که طی این مرحله شبکه جاده به قطعات معمولاً ۵۰ متری

انجام می‌دهد. در این مدل یک رابطه برای محاسبه رسوب تولیدی سالیانه از سطح جاده و همچنین یک رابطه برای پیش‌بینی رسوب تولید شده توسط دامنه خاک برداری استفاده می‌شود. رابطه به دست آمده براساس مطالعات انجام گرفته در آیداهو، ارگون، واشنگتن، کارولینای شمالی و ورجینیای غربی و همچنین مدل فرسایش سطحی آنالیزحوضه آبخیز اداره منابع طبیعی واشنگتن و مدل فرسایش خاک WEPP نوشته شده است. رسوب تولید شده سطحی برای هر قطعه جاده از طریق رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود [۳۵].

$$SPR = G * R_S * T * A * S_S * R \quad \text{رابطه ۱۰}$$

SPR : رسوب تولید شده توسط سطح جاده (تن در سال)، G : فاکتور زمین‌شناسی، مقدار آن با توجه به جنس مواد مادری و درجه هوازگی بین ۱ تا ۵ می‌باشد. R_S : فاکتور سطح جاده، که مقدار آن برای جاده‌های آسفالت ۰.۳، ۰.۰، و برای جاده‌های خاکی و شیار دارد ۲ می‌باشد.

T : فاکتور ترافیک، مقدار آن با توجه به میانگین تعداد کامیون و خودروهای شخصی عبوری در روز و همچنین عرض جاده بین ۱ تا ۲۰ می‌باشد. A : مساحت هر قطعه از جاده مورد مطالعه بر حسب هکتار. S_S : شیب هر قطعه از جاده مورد مطالعه به درصد. R : فاکتور بارندگی.

توانایی‌های مدل‌های SEDMODEL و SEDMODEL2 ساده بودن، قابل استفاده در پروژه‌های اجرایی، امکان استفاده از GIS. محدودیت‌های مدل SEDMODEL و SEDMODEL2 عدم قطعیت در نتایج به دست آمده.

مدل WARSEM

مدل فرسایش سطح جاده واشنگتن (WARSEM)، یک مدل تجربی است که برای تخمین درازمدت رسوب ناشی از جاده‌ها که به شبکه آبراهه‌ها وارد می‌شود طراحی شده است. این مدل توسط اداره منابع طبیعی ایالت واشنگتن پیشنهاد شده است [۱۰]. مدل WARSEM براساس داده‌های برنامه Access طراحی شده است و همچنین این مدل توانایی تلفیق با داده‌های مدل SEDMODEL در محیط GIS را دارد. در این مدل، سه بخش جوی کناری، سطح جاده و دامنه خاک برداری برای پیش‌بینی میزان رسوب تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل WARSEM را می‌توان در حوضه‌های آبخیز با مقیاس بزرگ و همچنین جهت اعمال بهترین شیوه‌های تصمیم‌گیری در مدیریت آبخیز به کار برد [۱۷]. میانگین رسوب سالیانه که توسط هر قطعه جاده تولید و وارد آبراهه‌ها می‌شود از طریق رابطه ۱۱ به دست می‌آید [۱۱].

$$E = (R_S + C_S) * A_g \quad \text{رابطه ۱۱}$$

E : کل رسوب انتقال یافته به داخل آبراهه‌ها توسط هر قطعه از جاده‌ها (تن در سال). R_S : رسوب تولید شده توسط جوی کناری و سطح هر جاده که به داخل آبراهه‌ها وارد می‌شود. C_S : رسوب تولید

2. Forest Road Erosion Calculation Tool

3. Digital Elevation Model

1 - Washington Road Surface Erosion Model

تقسیم می‌شود و مشخصات این قطعات از جمله شیب جاده و دامنه خاک‌برداری محاسبه و به صورت یک لایه WEPP در محیط GIS ذخیره می‌شود. در مرحله سوم، کاربر می‌تواند به صورت دستی اطلاعات خروجی‌ها را وارد و اطلاعات توصیفی محاسبه شده را اصلاح نماید. در مرحله چهارم، میزان فرسایش و رواناب واقعی با مدل WEPP محاسبه می‌شود. کاربر سناریوی‌های لازم و شیب جاده را برای هر کدام از انواع جاده‌ها جهت اجرای مدل انتخاب می‌نماید. نتایج برای هر نوع جاده در لایه‌های خروجی ذخیره می‌شود. همچنین امکان تکرار تقسیم‌بندی و محاسبات WEPP نیز وجود دارد. خروجی مدل شامل جداول حاوی اطلاعات میزان فرسایش و رواناب و همچنین نقشه‌های GIS آنها در نقاط خروجی برای جاده‌های درون شیب و در طول جاده‌های برون شیب است می‌باشد [5]. شکل ۲ مشخصات جاده که وارد مدل WEPP می‌شود را نشان می‌دهد.

توانایی‌های مدل: این برنامه توانایی محاسبه فرسایش و رواناب برای کل شبکه جاده‌های جنگلی را دارد. و از سوی دیگر به علت تلفیق آن با GIS امکان نشان دادن نتایج به صورت اطلاعات توصیفی و نقشه وجود دارد و همچنین امکان تکرارپذیر اجرای مدل و اصلاح نمودن اطلاعات به کاربر داده می‌شود.

محدودیت‌های مدل: چون مطالعه زیاد روی این مدل انجام نشده است هنوز نمی‌توان در مورد کارایی آن به خوبی قضاوت نمود و لازم است که از آن در مطالعات دیگری استفاده شود.

مدل 'CULSED'

این مدل در دانشگاه واشنگتن توسط Damian (۲۰۰۱) طراحی شد. همانند مدل‌های CULSED، SEDMODL، این مدل نیز بر اساس بر اساس روش استاندارد ۱۹۹۷ به اطلاعات توپوگرافی و مکانی مانند لایه جاده‌ها و آبراهه‌ها و نقشه DEM وابسته بود. اما از تفاوت‌های این مدل در مقایسه با مدل‌های مذکور محاسبه رسوبدهی جوی کناری قطعات جداگانه جاده و همچنین کل شبکه جاده می‌باشد و در اصل نیز برای کاهش رسوب ناشی از جوی‌های کناری طراحی شده [۱۱]. این مدل به صورت ضمیمه برای GIS طراحی شده است. مدل CULSED نیاز به لایه‌های شبکه جاده، آبراهه‌ها، موقعیت جوی‌های کناری و نقشه رقومی ارتفاع دارد. مدل میزان رسوب موجود در هر کدام جوی‌ها را محاسبه نموده و بر روی صفحه کامپیوتر نمایش می‌دهد. کاربر امکان اضافه نمودن و اصلاح آبراهه‌های متقاطع عرضی را دارد و به صورت دینامیک می‌تواند تأثیر رسوب ناشی از شبکه جاده را بر شبکه آبراهه‌ها را ارزیابی کند [۲۹].

تصمیم درست در مکان‌یابی محلی نصب زهکش‌های عرضی جهت کاهش تأثیر منفی جاده‌ها بر شبکه آبراهه‌ها ضروری می‌باشد. وقتی که جاده جدیدی ساخته می‌شود و یا جاده‌های موجود بازسازی

1. CULvert Locator for SEDiment

می‌شوند تعداد و محل نصب زهکش‌های عرضی باید جهت کاهش رسوب مد نظر قرار گیرد. اگر فاصله آبرو عرضی تعبیه شده تا آبراهه زیاد باشد، مقدار زیادی از رسوب قبل از وارد شدن به آبراهه در کف جنگل پخش می‌شود (شکل ۴ الف). در مقابل اگر آبرو تعبیه شده به آبراهه عرضی خیلی نزدیک باشد، مقدار زیادی رسوب وارد آبراهه شده و باعث مسدود شدن آن می‌شود (شکل ۴ ب). نصب آبروها به صورت متعادل در طول جاده باعث می‌شود که قسمتی از رسوب از طریق جوی کناری حمل و بخش دیگر نیز به محل‌های مشخص حمل شود [۸].

توانایی‌های مدل: امکان استفاده از در برنامه‌ریزی آبراهه فنی جاده، کاهش هزینه‌های ساخت آبراهه فنی و کاهش اثرات مخرب رسوب ناشی از جاده بر جنگل.

محدودیت‌های مدل: در نظر گرفتن سطح جاده به عنوان عامل اصلی تولید رسوب در جاده‌های جنگلی.

نتایج و بحث

مدل‌های ارائه شده در جاده‌های جنگلی در دو دسته فیزیکی و تجربی قرار می‌گیرند، که هر کدام از مدل‌ها دارای توانایی‌ها و محدودیت‌های مربوط به خود می‌باشند. توانایی‌های کلی مدل‌های فیزیکی گستردگی دامنه کاربرد آنها در مناطق مختلف می‌باشد و از محدودیت‌های این مدل‌ها می‌توان به نیاز آنها به جمع‌آوری داده‌های وسیع اشاره نمود. از محدودیت‌های مدل فیزیکی WEPP که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت این است، که نیاز به مشخصات اقلیمی دقیق هر منطقه را دارد که تهیه آن نیاز به انجام مطالعات وسیع را دارد، همچنین در این مدل فرض بر این است که جاده‌ها فاقد پوشش گیاهی می‌باشد و دامنه خاکریزی دارای ۵۰٪ پوشش گیاهی است و درختان حاشیه جاده دارای ۲۰ سال سن هستند، در حالی که همه جاده‌ها به طور کامل دارای این مشخصات نمی‌باشند، همچنین مدل توانایی استفاده از تمام مشخصات سطح جاده مانند آبکننده‌های کوچک، کانال‌های کناری را ندارد با وجود آنکه این قسمت‌ها نیز جزئی از جاده می‌باشد و در تولید رسوب نیز نقش دارند [۳، ۱۱]. از توانایی‌های مدل WEPP امکان اجرای آن در اقلیم، بافت خاک، وضعیت توپوگرافی مختلف، و در محیط GIS می‌باشد و همچنین امکان استفاده از داده‌های تولیدی در محیط GIS را نیز دارد و به صورت مستقیم در محیط اینترنت نیز می‌توان آن را اجرا نمود [۳، ۱۱]. از توانایی‌های مدل فیزیکی KINEROS2 امکان اجرای آن در محیط GIS، شناسایی منابع تولید رسوب در جاده‌های جنگلی و برآورد رسوب تولید شده دامنه خاک‌برداری جاده‌های درون شیب می‌باشد [۱۷، ۲۷]. حجم بالا و پیچیده بودن داده‌های مورد نیاز و قادر نبودن به محاسبه رسوب تولید شده قطعات جداگانه شبکه جاده از محدودیت‌های این مدل به شمار می‌رود [۳۸]. مدل KINEROS2 در حوضه‌های آبخیز کوچک، اراضی کشاورزی و اراضی شهری کاربرد دارد و برای تخمین میزان فرسایش در این نواحی طراحی

جدول ۱ - جزئیات مقایسه مدل‌ها

نام مدل	نوع مدل	تعداد پارامترهای مورد نیاز	مقیاس زمانی	محدوده عملیاتی	مکان پیش‌بینی	نوع پیش‌بینی
WEEP	فیزیکی	زیاد	متوسط	قطعات جاده	سطح جاده، زهکش	فرسایش و رسوب
KINEROS ₂ ROADMOD	فیزیکی تجربی	زیاد متوسط	زمان حال متوسط	حوزه آبخیز کوچک شبکه جاده	سطح جاده سطح جاده	فرسایش و رسوب
STJ-EROS	تجربی	متوسط	متوسط	شبکه جاده	سطح جاده، دامنه	فرسایش و رسوب
SEDMODL	تجربی	متوسط	متوسط	قطعات جاده	خاک‌برداری سطح جاده دامنه	فرسایش و رسوب
SEDMODEL ₂	تجربی	متوسط	متوسط	قطعات جاده	خاک‌برداری سطح جاده دامنه	فرسایش و رسوب
WARSEM	تجربی	متوسط	متوسط	شبکه جاده	سطح جاده، زهکش	فرسایش و رسوب
FORECALT	تجربی	متوسط	متوسط	قطعات جاده	سطح جاده، دامنه خاک‌برداری، زهکش	فرسایش و رسوب
CULSED	تجربی	متوسط	زمان حال	قطعات جاده، شبکه جاده	سطح جاده، زهکش	رسوب

همچنین معادله‌های ساده نتیجه تغییر در داده‌های ورودی را به طور واضح برای کاربر مشخص می‌کند. این مدل برای حوضه‌هایی که داده‌های زیادی از قبل ندارند مفید و همچنین استفاده از آن برای مدیرانی که تجربه زیاد و یا منابع کافی جهت استفاده از مدل‌های جامع‌تر را ندارند مناسب است [۸]. این مدل مقطعی از جاده را که دارای حساسیت بالایی به فرسایش رسوب هستند مشخص می‌نماید [۱۷]. همچنین این مدل به خوبی قابل تلفیق با GIS می‌باشد به طوری می‌توان بیشتر اطلاعات مورد نیاز آن در محیط GIS قابل تهیه می‌باشد. اما این مدل از یک سری از داده‌ها استفاده می‌نماید که از نقشه‌های موجود استخراج می‌شوند، و خطاهای موجود در این نقشه‌ها سبب عدم قطعیت در نتایج به دست آمده از پیش‌بینی مدل می‌شود [۲۱]. SEDMODEL₂ میزان رسوب در اراضی جنگلی را که در گذشته تولید شده است محاسبه نموده و این به مدیران منابع جهت ارزیابی میزان تأثیر جاده‌ها در کل رسوب تولید شده در حوضه آبخیز کمک می‌کند [۳۵].

در مدل WARSEM امکان محاسبه رسوب سالیانه سطح جاده و کانال‌های زهکشی روش استاندارد وجود دارد و امکان استفاده آن در مقیاس‌های مختلف (شبکه جاده از جاده‌ها، حوزه آبخیز، سری و پارسل) وجود دارد. این مدل به صورت یک مدل تحت GIS می‌باشد. همچنین این مدل می‌تواند در حوزه‌های با مقیاس بزرگ و پرشیب بکار رود و با استفاده از این مدل می‌توان اثرات بکارگیری روش‌های مختلف مدیریت جاده را مشخص کرده و به ساخت و بهبود تصمیمات مدیریتی کمک کرد [۱۰]. جدول ۱ مقایسه مدل‌های

شده است. همچنین با توجه به پیچیده بودن مدل امکان استفاده از آن در کارهای اجرایی و مدیریت زمین مشکل بوده و بیشتر برای موارد تحقیقاتی مفید می‌باشد [۲۹]. از سوی دیگر مدل‌های تجربی از ساختار ساده‌تری نسبت به مدل‌های فیزیکی برخوردار هستند و داده‌های مورد نیاز برای به کارگیری آنها کمتر از داده‌های فیزیکی می‌باشد، اما به کارگیری آنها در مناطق مختلف مشکل بوده و محدود به مناطق مشخص می‌باشد. چون مدل‌های تجربی برای مناطق خاص با شرایط اقلیمی، توپوگرافی و سنگ‌شناسی خاص ارائه شده‌اند [۱۷].

در مدل تجربی ROADMOD مقدار رسوب برآورد شده بر اساس رسوب جاده‌هایی است که سطح رویی آنها تخریب شده است و این باعث محدودیت آن در شرایط مختلف می‌شود و در این مدل رسوب ترانشه‌ها و جوی کناری در نظر گرفته نشده است که یکی از ایرادات بزرگ مدل می‌باشد. همچنین مدل فرسایش STJ-EROS همانند ROADMOD مقدار رسوب راه یافته را به داخل دریا محاسبه می‌نماید و توانایی برآورد رسوب وارد شده به شبکه آبراهه‌ها را ندارند. هر دوی این مدل‌ها، برای برآورد رسوب در جاده‌های مناطق برف گیر مناسب می‌باشند و توانایی استفاده از داده‌های تهیه شده در محیط GIS را دارند و همچنین در مقایسه‌ای که بین این دو مدل انجام گرفته است مشخص شده است که مدل STJ-EROS به دلیل اینکه بر اساس مشاهدات دقیق صحرائی طراحی شده است میزان رسوب تولیدشده توسط جاده را دقیق‌تر برآورد می‌نماید [۲۷]. درک مدل SEDMODEL ساده است و

مورد بررسی در این مطالعه را نشان می‌دهد.

به طور کلی این تحقیق به بررسی قابلیت‌ها و محدودیت‌ها پرداخته شده است، بنابراین می‌بایست انتخاب مدل و اجرای آن در پروژه‌های اجرایی و تحقیقاتی با آگاهی و شناخت کامل جزییات و نیازمندی‌های مدل صورت بگیرد. انتخاب یک مدل بستگی به شرایط زمانی، مکانی منطقه مورد مطالعه و هدف مطالعه دارد، مدل‌های ساختار ساده برای مطالعات اجرایی و مدیریتی مناسب و مدل‌های با ساختار پیچیده برای درک فرایندهای تولید رسوب و پروژه‌های تحقیقاتی مناسب می‌باشند. در مطالعات آینده مواردی که باید در ارائه مدل‌های فرسایش و رسوب جاده قرار گیرد شامل شناسایی فرایندهای رسوب راه یافته از جاده‌ها به داخل رودخانه‌ها، مطالعات اثرات جاده‌ها بر فرایندهای هیدرولوژیکی در مقیاس‌های وسیع و فراتر از یک قطعه جاده، مسیریابی جریان رسوب تولید شده توسط جاده‌های جنگلی و تاثیر آن عامل زیستی و غیرزیستی داخل جنگل می‌باشد.

منابع

Christchurch, New Zealand: Modsim, International Congress on Modelling and Simulation: Land, Water, & Environmental Management: Integrating Systems for Sustainability, 1273-1279.

7. Damian, F. 2001. Improving Cross Drain Culvert Spacing with GIS Interactive Design. The International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium. 201-206pp. U.S.A.

8. Damian, F. 2003. Cross-drain placement to reduce sediment Delivery from roads to streams. MS Thesis, University of Washington, Seattle, 207 pp.

9. Demir, M. and Hasdemir, H. 2005. Functional planning criterion of forest road network systems according to recent forestry development and suggestion in Turkey. American Journal of Environmental Sciences, 1: 1. 22-8, DOI: 10.3844/ajessp.2005.22.28

10. Dube', K., Megahan W. and Mccalmon M. 2004. Washington Road Surface Erosion Model (WARSEM) Manual. Department of Natural Resources, State of Washington. 189pp.

11. Duff, M.J. 2010. Evaluation of road erosion prediction models applied to unpaved roads in a small tropical watershed in Eastern Brazil. Thesis submitted to the faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Biological Systems Engineering. 138pp.

12. Elliot, W.J. 2013. Erosion processes and prediction with WEPP technology in forests in the northwestern U.S. Transactions of the ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 56(2): 563-579.

13. Elliot, W.J., Foltz R.B. and Luce C.H. 1999. Modeling low-volume road erosion. Presented at the Seventh International Conference on Low-Volume Roads, May 23-26, 1999, Baton Rouge, LA.

14. Faiznia, S. 2010. Applied Sedimentology with Emphasis on soil Erosion and Sediment Production. Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources. 356pp.

15. FAO. 1989. Watershed management field manual - road design and construction in sensitive watersheds. 61pp.

1. Akay, A.E. Erdas, O., Reis, M. and Yuksel, A. 2008. Estimating sediment yield from a forest road network by using a sediment prediction model and GIS techniques. Building and Environment, 43: 687-695.

2. Anderson D. and MacDonald, L. 1998. Modeling road surface sediment production using a vector geographic information system. Earth Surface Processes and Land for Pms, 23: 95-107.

3. Brooks E.S. Boll J., Elliot W.J. and Dechert. T. 2006 Global positioning system/GISbased approach for modeling erosion from large road networks. Journal of Hydrologic Engineering, 11: 418-426, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2006\)11:5\(418\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2006)11:5(418))

4. Burns I.S, Scott S, Levick L, Hernandez, M., Goodrich D.C., Semmens D.J. and Kepner W.G. 2004. A GIS-based hydrologic modeling tool," Documentation and user manual version 1.4. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-1446.

5. Çalışkan, E. 2012. Evaluation of Sediment Erosion Prediction Models to Forest Road in Mountain Area. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 2(11):567-580.

6. Cochrane T.A, Egli, M. Phillips C, and Acharya, G. 2007. Development of a forest road erosion calculation GIS tool for forest road planning and design.

Agriculture & Natural Resources Faculty of Natural Resources. 70pp.

26. Ramos-Scharrón C.E., and MacDonald L.H. 2007a Development and application of a GIS-based sediment budget model. *Journal of Environmental Management*, 84: 157-172.

27. Ramos-Scharrón, C.E. and MacDonald, L.H. (2007b). Measurement and prediction of natural and anthropogenic sediment sources. *St. John, U.S. Virgin Islands. Catena*, (71): 250-266.

28. Sangjun I. Lee S.H. and Lee, H. 2006. Modeling Runoff and Soil Erosion from an in sloping Forest Road. Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: "Working Globally – Sharing Forest Engineering Challenges and Technologies around the World" .265-271. Idaho.

29. Schiess, P, Krogstad, F. and Damian, F. 2004. Locating ditch relief culverts to Reduce sediment delivery to streams -an interactive design tool. Paper presented at the Joint Conference of IUFRO 3.06 Forest Operations under Mountainous Conditions and the 12th International Mountain Logging Conference, 1-15pp. Vancouver.

30. Semmens, D. J. Goodrich. D.C. Unkrich C.L., Smith R.E. 2004. KINEROS 2 modeling framework. Agricultural Research Service, ARS-77, U.S. Department. 30PP.

31. Semmens, D. J. Goodrich, D.C. Unkrich C.L. Smith R.E. Woolhiser D.A. and Miller S.N. 2008. KINEROS2 and the AGWA modeling framework. Chapter 5: In *Hydrological Modelling in Arid and Semi-Arid Areas* (H. Wheeler, S. Sorooshian, and K.D. Sharma, Eds.). Cambridge University Press, London. 49-69pp.

32. Swift, L.W. 1984. Soil losses from roadbeds and cut and fill slopes in the southern Application mountains. *Southern Journal of Applied Forestry*, 8: 209-215.

33. Tysdal, L. M. Elliot W.J. Luce C.H. and Black, T.A. 1999. Modeling erosion from in sloping low-volume roads with WEPP Watershed Model. *Transportation Research Record*, 2(1652): 250-256.

34. USDA. 2009. WEPP Forest Road Erosion

16. Flanagan D. C. and Nearing M.A. 1995. Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. NSERL Report No.10. USDA-Agricultural Research Service, National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana.

17. Fu B., Newham T.H. and Ramos-Scharrón C.E. (2010). A review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads. *Environmental Modelling and Software*, 25: 1-14, Doi:10.1016/j.envsoft.2009.07.013.

18. Hernandez M., Kepner W.G., Semmens D.J., Ebert D.W Goodrich D.C. and Miller S.N. 2003. Integration a landscape/hydrologic analysis for watershed assessment. The First Interagency Conference on Research in the Watersheds, 1-6pp. Benson, AZ.

19. Hosseini, S.A., Omidvar, E., Naghavi, H. and Parsakhoo, A. 2012. Estimation of Sediment Yield from Forest Roads Using SEDMODL, *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 19(1): 23-41.

20. Jeffrey, C. John C. and Christiansen D. (2006). Watershed Analysis on the Olympic Experimental State Forest. Washington State Department of Natural Resources Olympic Region, 163pp.

21. Lotfalaian, M. and Parsakhoo, A. 2012. Forest Road Network Planning. Aeiz press. 155pp. (In Persian).

22. Luce, C.H. and Black T.A. 1999. Sediment production from forest roads in western Oregon. *Water Resources Research*; 35(8):2561–70.

23. Miller S. N. Semmens D.J., Miller R.C. Hernandez M. Goodrich D.C. Miller W.P. Kepner W.G. and Ebert, W.D. 2002. GIS-based hydrologic modeling: the automated geospatial watershed assessment tool. Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, Las Vegas, NV. Las Vegas, NV, USA, p. 12.

24. Parakhoo, A. 2013. Forest Road Designing, Noruzi press, 152p.

25. Rahbari Sisakht, S. 2012. Measuring Sediment Yield from Forest Roads (Case Study Khirood Forests, Noshahr, MSc Thesis, Tehran University, College of

37. Ziegler, A. D. Giambelluca T.W. and Sutherland R.A. 2002. Improved method for modeling sediment transport on unpaved roads using KINEROS2 and dynamic erodibility. *Hydrological Processes*, 16: 3079–3089.
38. Ziegler, A.D. Giambelluca, T.W. and Sutherland R.A. (2001). Erosion prediction on unpaved mountain roads in northern Thailand: validation of dynamic erodibility modelling using KINEROS2. *Hydrological Processes*, 15: 337–358.
- Predictor, FSWEPP. Moscow Idaho: Rocky Mountain Research Station and San Dimas Technology and Development Center. 110 United States Department of Agriculture: Forest Service. Available at: <http://forest.moscowfsl.wsu.edu/fswepp/>. Accessed 10 May 2013
35. Welsh, M.J. 2008. Sediment Production And Delivery From Forest Roads And Off-Highway Vehicle Trails In The Upper South Platte River Watershed. Colorado. MSc, Thesis Colorado State University. 227PP.
36. Woolhiser, D.A. Smith R.E. and Goodrich D.A. 1990. KINEROS, a Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual. ARS- 77, US Department of Agriculture, Agricultural Research Service; 25(5): 519–534.

*Abstract***Investigation of abilities and limitations of estimation model of forest roads erosion soil**M. Mostafa¹ and Sh. Shataee Jouibary²

Received: 2015/12/16 Accepted: 2016/02/21

The forest roads supply accesses to various points in forest in order to timber transportation in forest plans, Silviculture operations, Training and other using of forest. Road construction made a surface without vegetation cover that lead to creation of erosion and sediment in forest area. In order to estimating of erosion and sediment in forest roads, a lot of models has been designed and introduced. This paper investigated of abilities and limitations of estimation model of forest roads erosion soil that has been designed. First the models have been divided in two physical and empirical, then Characteristics data and usable area for each models has been explained. The physical models were explained include WWEP, KINEROS2 and empirical model include ROADMOD, STJ-ERO, SEDMODL, SEDMODL2, WARSEM, FORECALT and CULSED. Eventually ability and limitation of each model was presented and discussed. Result of this paper showed that number of parameters required, temporal scale, operational area, estimation spatial and type of estimation (erosion and sediment) are the important Characteristics to judging about models. The overall conclusion of this research showed the most fundamental limitations this models include assembling total practicable data unusable for various regions.

Keywords: *Forest road, model, Erosion and Sediment .*

1. PhD Student of Forest Engineering, Gorgan, Iran (Corresponding author: mohsenmstf@gmail.com)

2. Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran