

مقایسه کارائی دو مدل WARSEM و WEPP Road در بررسی تأثیر احداث جاده بر مقدار فرسایش و رسوب

سید مجید رضا حسینی مفرد*^۱، حسن احمدی^۲، علی اکبر مهربانی^۳ و بهارک معتمدوزیری^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵

چکیده:

مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز نیاز به شناخت جاده‌های موجود و اثرات آن‌ها بر منابع طبیعی دارد. هدف از این پژوهش بررسی اثر جاده‌سازی بر میزان فرسایش و تولید رسوب در جاده جدید هشتگرد - طالقان در استان البرز بوده است. بدین منظور از جاده آسفالتی به طول ۲۶ کیلومتر و جاده خاکی به طول ۹ کیلومتر به ترتیب ۱۷ و ۱۱ نمونه برداشت و با استفاده از دو مدل WEPP و WARSEM Road رسوبدهی جاده محاسبه و با مقدار واقعی مقایسه شد. نتایج نشان داد با اندازه‌گیری مستقیم فرسایش، کل رسوبات برجای مانده در طول مسیر ۱۷۲۵۹/۳۲ تن در سال به دست آمد که ۶۲۴۱/۴۵ تن در سال مربوط به دیواره خاک‌برداری و ۱۱۰۱۷/۸۷ تن در سال مربوط به دیواره خاک‌ریزی می‌باشد. با استفاده از مدل WARSEM، میزان کل رسوبدهی از جاده آسفالتی و خاکی برابر ۱۵۱۷۲/۶۷ تن در سال، معادل ۵۲/۱۴ تن بر هکتار در سال، برآورد شد که از این مقدار ۹۴۶۴/۵۳ تن در سال، معادل ۴۸/۰۳ تن بر هکتار در سال سهم دیواره خاک‌برداری و دیواره خاک‌ریزی جاده آسفالتی و ۵۷۰۸/۱۴ تن در سال، معادل ۶۳/۲۲ تن بر هکتار در سال سهم دیواره خاک‌برداری و دیواره خاک‌ریزی جاده خاکی می‌باشد. میزان رسوبدهی جاده با استفاده از مدل WEPP Road، برای جاده آسفالتی ۲۸/۲۳ تن بر هکتار و برای جاده خاکی ۴۳/۴۸ تن بر هکتار به دست آمد. با توجه به اندازه‌گیری مستقیم رسوب، مدل WARSEM نسبت به مدل دیگر قابلیت مناسبتری در بررسی رسوبدهی جاده داشته است.

واژه‌های کلیدی: استان البرز، فرسایش، رسوب، WEPP Road، WARSEM

^۱ دانشجوی دکتری مرتع، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامیه، نور، ایران.

^۲ استادیار گروه منابع طبیعی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامیه، نور، ایران، * نویسنده مسئول: kh_mahdavi@yahoo.com.

^۳ استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

^۴ استادیار گروه منابع طبیعی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامیه، نور، ایران.

۱. مقدمه

اکوسیستم های جنگلی با توجه به ماهیت خود از تعادل پایداری برخوردار هستند و فرسایش کم و وجود رسوب اندک در آبهای جاری در آنها از خصوصیات بارز این منطق به شمار می رود. از مهم ترین اقدامات عمرانی در اکوسیستم های جنگلی جاده سازی و احداث جاده می باشد که می تواند نقش قابل ملاحظه ای را در برهم خوردگی تعادل پایدار در این مناطق از خود نشان دهند. تغییر سیمای طبیعی و کاهش پوشش گیاهی دامنه های خاکی و فشردگی خاک سطح جاده و اطراف آن به اختلال در رفتار هیدرولیکی و مشخصات فیزیکی خاک منجر می شود که وقوع رواناب و هدر رفت خاک را در پی دارد و به این دلیل است که جاده های جنگلی مهم ترین منبع تحویل رسوب در شبکه جریان های آبی یک حوزه آبخیز جنگلی به شمار می روند (۱۷). در جریان احداث جاده، سطح وسیعی از عرصه جنگل ها و مراتع در طول و حاشیه مسیر آن تخریب و حجم بسیاری زیادی خاک و سنگ از محل خود جابه جا شده که موجب مضاعف شدن شدت تخریب محیط زیست می شود. یا به طور مستقیم وارد شبکه آبراهه ها در منطقه شده و در نهایت به صورت رسوب وارد مخازن سدها، تالاب ها، دریاچه ها و دریاها می گردد که ممکن است با رسوب گذاری در بستر رودخانه ها تغییرات مورفولوژی رودخانه ها را در پی داشته و منجر به ایجاد فرسایش رودخانه ای گردد (۲۹). یکی از بزرگ ترین مشکلات ناشی از جاده سازی ایجاد و افزایش اشکال مختلف فرسایش در اطراف جاده و رسوب زایی در اثر از بین بردن پوشش گیاهی، افزایش سرعت رواناب و ناپایدار کردن شیب دامنه است. افزایش سرعت رواناب در سطح جاده ها و کاهش پوشش گیاهی باعث تولید رسوب و انتقال آن به آبراهه های پایین دست شده و در نتیجه باعث آلودگی منابع و زیستگاه های آبی می شود. علاوه بر این جاده سازی عاملی در راستای فراهم شدن زمینه برای وقوع سایر رخساره های فرسایشی است (۱۳، ۴). میزان تخریب محیط زیست و عرصه جنگل ها و مراتع در اثر جاده سازی بستگی به عوامل گوناگونی از جمله نوع جاده، توپوگرافی منطقه، حساسیت خاک ها و سازندهای زمین شناسی مسیر جاده دارد. در سال های اخیر فعالیت های ساخت و ساز و تعمیر و نگهداری جاده های جنگلی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است، زیرا احداث جاده ها افزایش نگرانی ها در مورد تأثیرات کوتاه مدت و بلندمدت بر محیط زیست و تخریب را به دنبال دارد (۱۴). فرسایش خاک یکی از مهمترین مشکلات تخریب اراضی در جهان است و اثرات بسیار مهمی بر بقای بشر، محیط زیست و مسائل اقتصادی دارد. در اثر فرسایش آبی ذرات خاک جدا و به مکان دیگری منتقل شده و در نهایت ته نشین می شوند. فرسایش خاک نقش زیادی در هدر رفت منابع آب و خاک دارد (۱۸).

هدر رفت خاک پدیده ای است که در صورت بروز در هر منطقه، حاصلخیزی خاک، دوام و پایداری تأسیسات و سازه های مختلف، پایداری دیواره های خاکی، کیفیت منابع آب سطحی، توازن بوم شناختی و منظره طبیعت را به مخاطره می اندازد (۲۴). منشأ رسوب جاده ها می تواند از انواع فرسایش سطحی، خندقی و یا حرکات توده ای باشد (۳۰). در جاده های خاکی که معمولاً بدون خاک برداری و خاک ریزی وسیع ساخته می شوند، فرسایش سطحی جاده نسبت به حرکات توده ای غالبیت دارد (۱۲). میزان تولید رسوب ناشی از احداث جاده به فرسایش پذیری خاک ها، وضعیت پوشش دیواره های خاک برداری و

خاک‌ریزی، روسازی جاده، شیب دیواره‌ها، شیب عرضی و طولی جاده، کیفیت زهکشی، طول راه، میزان ترافیک و غیره بستگی دارد (۳).

بررسی اندازه‌گیری رسوب از جاده‌های جنگلی با استفاده از توری رسوب‌گیر در جزایر ورجین^۵ توسط راموس شارون و مک دونالد^۶ (۲۰۰۷) نشان داد که حجم مقدار رسوب انتقالی به رودخانه به‌طور متوسط ۱۲ مترمکعب در هر کیلومتر از جاده بوده است (۲۶).

بررسی رسوب‌دهی جاده‌ها و مسیرهای روستایی به طول ۱۳ کیلومتر در حوضه آبریز واقع در شرق برزیل توسط داف^۷ و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که سه مدل SEDMODL، STJ-EROS و WEPP توانایی بالایی برای برآورد رسوب دارند (۷).

مطالعات انجام‌شده در سراسر دنیا، جاده‌ها به‌ویژه جاده‌های جنگلی را به‌عنوان منبع اصلی پتانسیل تولید رسوب در محیط‌های طبیعی و جنگلی معرفی می‌کنند (۲۳). رسوب از سطح جاده‌ها، خاک‌ریزها، شیب‌های بریده‌شده و خاک‌برداری از دامنه‌های شیب‌دار از طریق فرآیندهایی مانند، جریان آب سطحی، فرسایش خندقی، رانش و غیره فرسایش و رسوب‌گذاری تولید می‌شود. تولید رسوب در طول فرآیند جاده‌سازی و بلافاصله پس از ساخت جاده به بیشترین مقدار خود می‌رسد؛ اما باید توجه کرد که تولید رسوب در طول یک جاده ممکن است پس از ساخت جاده و در صورتی که هیچ استفاده‌ای از آن نمی‌شود هم اتفاق بیفتد (۲۳). در پژوهشی پارساخو (۲۰۱۱) به‌منظور طبقه‌بندی و تعیین درجه خطرهای فرسایش آبی و پیش‌بینی میزان رسوب از جاده جنگلی، از ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی و تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی و SEDMODEL استفاده می‌شود (۲۴). بررسی قابلیت‌ها و محدودیت‌های مدل‌های برآورد فرسایش خاک جاده‌های جنگلی توسط مصطفی و جویباری^۸ (۲۰۱۴) نشان داد که 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 (۲۱). نظر به اهمیت فرسایش جاده‌ای در حوزه‌های آبخیز، فهم فرآیندهای فرسایش جاده و تحویل رسوب و هم‌چنین کمی کردن سهم رسوب حاصل از آن ضروری است (۲۶). در این مسیر می‌توان از سه روش آزمایش‌های ردیابی رسوب، اندازه‌گیری رسوبات نهشته شده در جاده‌سازی یا درون مسیل و مدل‌ها بهره‌گرفت (۱۰). در این بین، مناسب‌ترین روش کمی سازی این نوع فرسایش استفاده از مدل‌هاست (۸). با استفاده از مدل، علاوه بر برآورد مقدار فرسایش و رسوب، می‌توان مؤثرترین عوامل را شناسایی کرده و از آن‌ها در تصمیم‌گیری هوشمندانه در مورد برنامه‌های حفاظتی در نقاط

^۵ Verjin

^۶ Ramos-Scharrón and MacDonald

^۷ Duff

^۸ Mustafa and Joybari

مختلف استفاده نمود (۳۳). مدل WARSEM^۹، مدلی است که به طور ویژه برای برآورد تولید رسوب جاده ای معرفی شده است. این مدل در خارج و داخل ایران در مطالعات و پژوهش های متعددی مورد استفاده قرار گرفته و نتایج رضایت بخشی نیز از خود ارائه داده است. (۲۵، ۱۵، ۱۰، ۶). فورسیت^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۶) در جنگل های استرالیا و در شرایط بارندگی طبیعی، مقدار کل رسوب تولیدی توسط جاده شن ریزی شده را طی یک دوره دوساله، ۵/۷ تن در کیلومتر مربع و برای جاده بدون شن ریزی ۳/۹ تن در کیلومتر مربع برآورد کردند (۹). ریج اسدیجک^{۱۱} و همکاران (۲۰۰۷) مقدار رسوب به دست آمده از جاده های روستایی، راه های مالرو و مناطق مسکونی حوزه آبخیز کنتو اندونزی را به ترتیب ۱/۹، ۲/۵ و ۲/۴ کیلوگرم در مترمربع در سال به دست آوردند (۲۷). از آنجایی که جاده سازی غیراصولی یکی از منابع اصلی تولید رسوب و فرسایش در حوزه های آبخیز است، شناسایی و تشخیص بخش هایی از جاده که در تحویل رسوب به شبکه آبراهه مؤثر هستند، یک اصل ضروری در مدیریت بهینه مشکلات رسوب زایی در آنها است؛ از این رو هدف از این مطالعه، برآورد رسوب و فرسایش بخش های مختلف جاده هشتگرد- طالقان و تعیین میزان نهایی آورد رسوب جاده ای، هم چنین شناسایی بخش های با پتانسیل بالای تولید رسوب، توسط مدل WARSEM است.

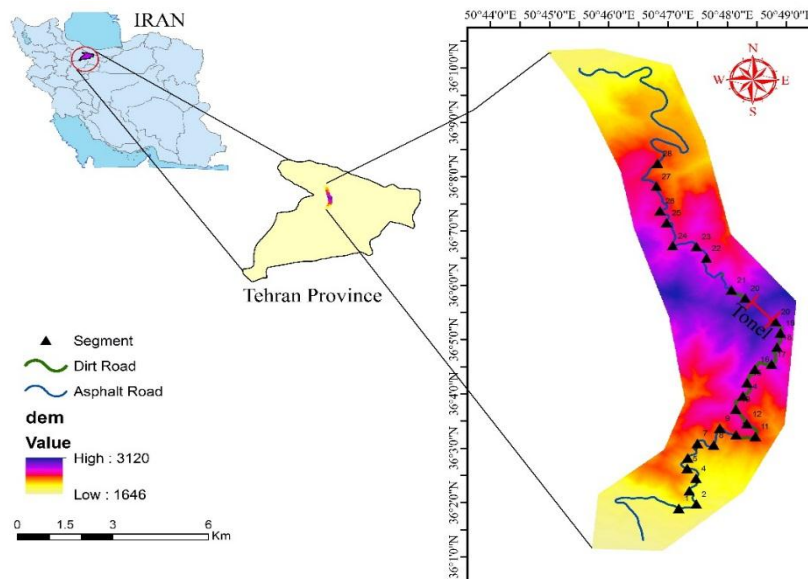
۲. مواد و روش ها

در این پژوهش جاده کوهستانی واقع در حدفاصل بین هشتگرد و طالقان جهت مطالعه انتخاب شد. مسیر جاده مورد بررسی شامل ۵ حوضه کوشک زر، فشند، ولیان، ورکش، زیدشت است. این جاده در حد فاصل طول جغرافیایی "۳۴° ۴۶' ۳۴" و شرقی "۱۷° ۱' ۳۶" و عرض جغرافیایی "۵۹° ۹' ۳۹" و شمالی "۲۸° ۴۵' ۵۰" و نقاط ارتفاعی حداکثر ۲۹۱۶ متر تا حداقل ۱۹۶۱ متر از سطح دریا واقع شده است این جاده به طول ۳۵ کیلومتر می باشد که ۲۶ کیلومتر آن به صورت آسفالت و ۹ کیلومتر آن به صورت جاده خاکی می باشد (شکل ۱). جهت عمومی شیب در جاده هشتگرد- طالقان، شمالی و شمال غربی می باشد. میانگین شیب حدود ۴۰٪ است، هم چنین در بعضی از نقاط پرتگاه های پراکنده دیده می شود (شکل ۲).

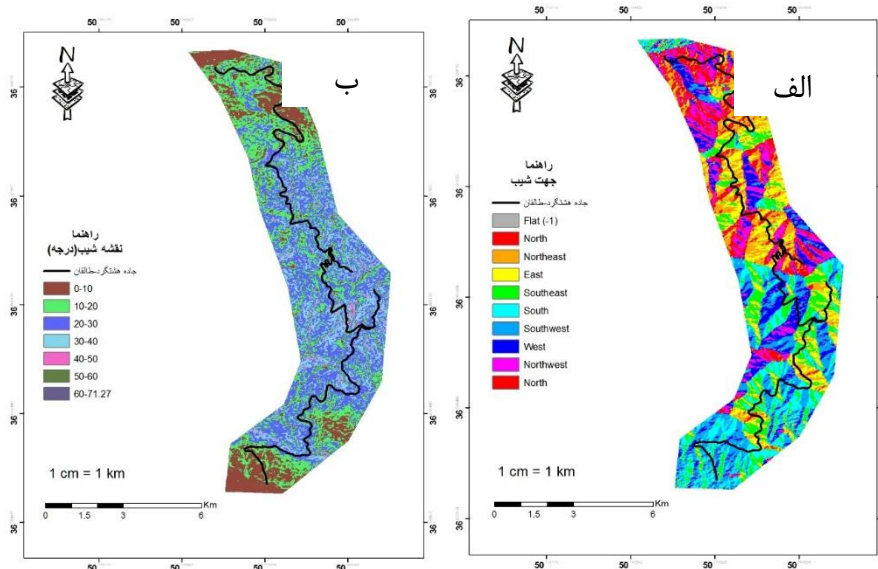
^۹ Washington Road Surface Erosion Model

^{۱۰} Forsyth

^{۱۱} Rijswijk

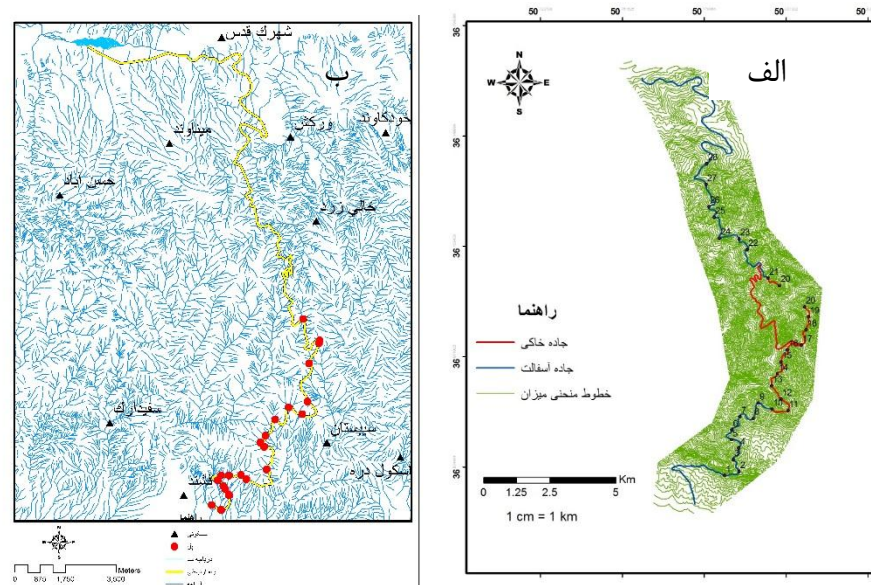


شکل ۱- نقشه محدوده مورد مطالعه (جاده هشتگرد-طالقان)



شکل ۲ - نقشه جهت شیب (الف) و شیب (ب) منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش و با توجه به بازدید میدانی میزان فرسایش در هر یک از قسمت‌های جاده (آسفالت و خاکی) از طریق اندازه‌گیری ۲۸ نمونه برآورد شد و سپس نتیجه به دست آمده به کل جاده تعمیم داده شد. به طور متوسط در هر ۵۰۰ متر دیواره خاک‌برداری و خاک‌ریزی که از نظر فاکتورهای شیب دیواره، نوع و جهت شیب سطحی جاده، ارتفاع دیواره، نوع پوشش سطحی و گیاهی، درصد پوشش سنگی و غیره تغییر می‌کند یا اینکه در محل تقاطع به جاده دیگر و یا به یک زهکشی می‌رسند، نمونه‌برداری انجام شد؛ بنابراین هر ۵۰۰ متر جاده به عنوان یک نمونه و یک بخش جاده انتخاب شد. در هر یک از قسمت‌های جاده (آسفالت و خاکی) از سیستم نمونه‌گیری سیستماتیک جهت تعیین محل نمونه‌ها استفاده شد (شکل ۳).



شکل ۳- الف) واحدهای همگن ب) پل های احداثی در منطقه مورد مطالعه

با اندازه گیری طول هر کدام از بخش های جاده آسفالت و خاکی، با توجه به معادله کوکران رابطه (۱) برای جاده آسفالت تعداد ۱۷ نمونه و برای جاده خاکی تعداد ۱۱ نمونه با خطای بیست درصد اندازه گیری شدند.

$$n = \frac{NZ^2s^2}{Nd^2 + z^2s^2} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه n تعداد نمونه مناسب و N حجم جامعه که در اینجا کل نمونه های ۵۰۰ متری مورد نظر است.

Z : مقدار Z در ضریب اطمینان مورد نظر که در اینجا برابر ۱/۹۶ است. چراکه ضریب اطمینان ۹۵ درصد مدنظر می باشد.

d : مقدار خطایی که در اندازه گیری مورد نظر قابل قبول است؛ که در اینجا معادل ۲۰ درصد مقدار متوسط فرسایش در منطقه در نظر گرفته شده است.

S^2 : واریانس برآورد فرسایش در نمونه ها

در رابطه ی (۱)، دلیل انتخاب $d=0/15$ این بوده است که مطالعات انجام شده در زمینه ی خطای مجاز مدل ها نشان می دهد که اگر نرخ متوسط فرسایش بین ۶-۶۰ تن در هکتار در سال باشد، حداکثر $\pm 25\%$ خطا قابل قبول است و در حالتی که نرخ متوسط فرسایش بیش از ۱۰۰ تن در هکتار در سال باشد، حداکثر در $\pm 50\%$ خطا برآوردهای مدل به مقادیر مشاهداتی نزدیک می باشد. با توجه به این نتایج، در جهت تعیین مقدار مناسب d و همچنین افزایش دقت محاسبات، سه حد $0/0$ ، $0/15$ و $0/20$ مورد بررسی قرار گرفتند که تعداد نمونه محاسبه شده در $0/10$ خیلی زیاد و در $0/20$ خیلی کم به دست آمد. به همین دلیل $0/15$ به عنوان حد بهینه انتخاب شد. بعد از بررسی های اولیه مشاهده شد که عمیق ترین نوع فرسایشی که در دیواره ها رخ داده است به صورت لغزش می باشد. بنابراین در هر گروه از جاده ها ارتفاع خاک برداری، عمق لغزش و طول لغزش ها از طریق اندازه گیری مستقیم به دست

آمد. مقدار حداکثر فرسایش در هر گروه از حاصل ضرب این سه متغیر به دست می‌آید. از طرفی در نقاط صخره‌ای میزان فرسایش صفر فرض شده است که این هم به‌عنوان حداقل در نظر گرفته شد. نتیجه محاسبات برحسب مترمکعب به دست می‌آید که با فرض $\rho_b = 1/6 \text{ g/cm}^3$ می‌توان مقادیر را به واحد تن تبدیل کرد.

پارامترهای موردنظر در این پژوهش شامل میانگین فرسایش، کل فرسایش و ضریب اطمینان برای بررسی دقت برآوردها می‌باشند که معادلات برآورد به‌صورت روابط ۲ الی ۴ می‌باشند. این پارامترها با استفاده از نرم‌افزار spss محاسبه گردید.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$T = \frac{N \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$SE = N \sqrt{\frac{N-n}{N} \left(\frac{S_x}{\sqrt{n}} \right)} \quad \text{رابطه ۴}$$

در این روابط: A: میانگین فرسایش (تن بر هکتار)، Xi: مقدار فرسایش اندازه‌گیری شده در هر نمونه (تن بر هکتار)، T: مجموع فرسایش در هر گروه از جاده‌ها (تن بر هکتار)، SE: خطای استاندارد برآورد SX، T: جذر واریانس جامعه می‌باشد.

۲-۱- برآورد مقدار واقعی رسوب به روش مستقیم

ای برداشت میزان رسوب واقعی سطح جاده، در انتهای هر قسمت مقدار رسوب برحسب گرم در مترمربع (مساحت هر قسمت) محاسبه شد. بررسی دیواره‌های خاک‌برداری در جاده نشان می‌دهد بخشی از رسوبات که از دیواره‌ها فرسایش می‌یابد به شکل واریزه‌های منشوری شکل با سطح مقطع مثلث قائم‌الزاویه، در پای دیواره‌ها باقی می‌ماند. با اندازه‌گیری حجم این واریزه‌ها می‌توان میزان فرسایش در هر دیواره را تخمین زد. البته ذکر این نکته ضروری می‌باشد که این‌ها رسوبات برجای مانده در محل می‌باشند، این در حالی است که بخشی از رسوبات فرسایش یافته ممکن است توسط رواناب به پایین دست انتقال یابند که با استفاده از مدل‌های رسوب و فرسایش ناشی از احداث جاده‌ها می‌توان میزان دقیق رسوب و فرسایش کل را در هر حوزه آبخیز محاسبه نمود. از نشانه‌های فرسایشی که در دیواره خاک‌برداری و هم در دیواره خاک‌ریزی مشاهده می‌شوند شامل فرسایش شیاری، خندقی و حرکت‌های توده‌ای مخصوصاً ریزش سنگ می‌باشد.

۲-۲- برآورد رسوب با استفاده از مدل‌های منتخب

۲-۲-۱- مدل WARSEM

اینابین مدل بر اساس 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 خاک‌برداری برای پیش‌بینی میزان رسوب تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل

WARSEM را می توان در حوزه های آبخیز با مقیاس بزرگ و همچنین جهت اعمال بهترین شیوه های تصمیم گیری در مدیریت حوزه آبخیز به کار برد (۲۲). میانگین رسوب سالیانه که توسط هر قطعه جاده تولید و وارد آبراهه ها می شود از طریق رابطه (۵) به دست می آید (۳۱):

$$E = (R_S + C_S) * A_g \quad \text{رابطه ۵}$$

E: کل رسوب انتقال یافته به داخل آبراهه ها توسط هر قطعه از جاده ها (تن در سال).

R_S: رسوب تولید شده توسط جوی کناری و سطح هر جاده که به داخل آبراهه ها وارد می شود.

C_S: رسوب تولید شده توسط دامنه خاک برداری هر قطعه از جاده که به داخل آبراهه ها وارد می شود.

A_g: فاکتور سن جاده (بدون واحد) که میزان رسوب کل را تحت تأثیر قرار می دهد.

برای محاسبه R_S از رابطه (۶) استفاده می گردد:

$$R_S = G \times S_f \times T \times L \times W \times S \times R \times SDR_{R-S} \quad \text{رابطه ۶}$$

برای محاسبه C_S از رابطه (۷) استفاده می گردد:

$$C_S = G \times C_f \times L \times H \times R \times SDR_{R-S} \quad \text{رابطه ۷}$$

که در آن G: فاکتور زمین شناسی، S_f: فاکتور سطح جاده، T: فاکتور ترافیک، L: طول بخش مورد نظر بر حسب متر، W: عرض و سطح کناره ی بخش بر حسب متر، S: فاکتور شیب جاده، SDR_{R-S}: فاکتور تجربی تحویل رسوب از سطح هر بخش از جاده، C_f: فاکتور پوشش بخش خاک برداری، H: ارتفاع خاک برداری بر حسب متر و R: متوسط بارندگی سالانه بر حسب میلی متر می باشد.

۲-۲-۲ مدل WEPP Road

این مدل نسخه ای از مدل اصلی است که برای شبیه سازی فرسایش در قطعات جاده ها تهیه شده است و در محیط ویندوز و اینترنت قابلیت اجرا را دارد. کاربر می تواند داده های اقلیم، توپوگرافی، بافت خاک و سال اجرای مدل را وارد کند. این مدل برای برآورد رسوب در بخش جاده طراحی شده است. برای اجرای مدل، مشخصه اقلیم، بافت خاک، سنگ مادری، مشخصه های اصلی جاده (شیب، طول، عرض، نوع پوشش و شکل جاده) طول و شیب دامنه خاک ریزی، طول و شیب حریم جمع آوری رسوب نیاز می باشد.

۳. نتایج

با اندازه گیری مستقیم فرسایش، کل رسوبات بر جای مانده در طول مسیر برابر با ۱۷۲۵۹/۳۷ تن در سال (۵۹/۳۱ تن بر هکتار) به دست آمد که ۱۰۳۱۲/۳۹ تن در سال (۳۵/۴۴ تن بر هکتار) مربوط به حرکت توده ای دیواره خاک برداری و ۶۹۳۰/۳۵ تن در سال (۲۳/۸۷ تن بر هکتار) مربوط به واریزه ها در طول مسیر جاده و ۱۶/۵ تن در سال مربوط به شیارها در دیواره خاک برداری و خاک ریزی می باشد.

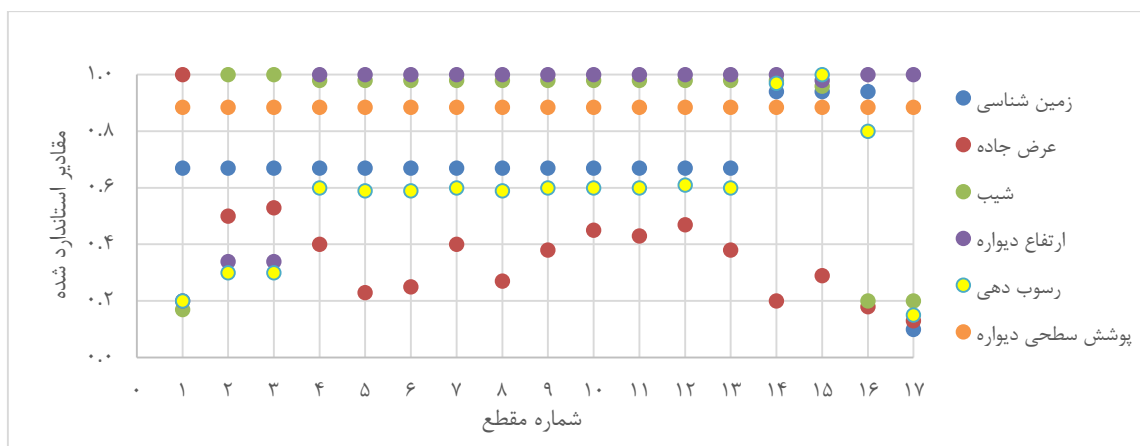
۳-۱- میزان رسوب جاده آسفالتی:

۳-۱-۱- محاسبات WARSEM

برای نمونه‌های برداشت‌شده از محل در جدول (۱) ارائه شده است. براساس برآورد مدل WARSEM کل رسوب سالانه تولیدشده از ۲۶ کیلومتر جاده آسفالتی مورد مطالعه، بالغ بر ۹۴۶۴/۵۳ تن است. با لحاظ خطای استاندارد، مقدار رسوب تولیدشده از حداقل ۸۷۴۶/۷۶ تا حداکثر ۱۰۱۸۲/۳۰ تن در سال برآورد می‌شود که حاکی از خطایی در حدود ۲۰ درصد است. اگر مقدار تولید رسوب به ۱۹۷ هکتار مساحت کل جاده آسفالتی (سطح دیواره خاک‌برداری، جاده و شانه، دیواره خاک‌ریزی) تقسیم شود، رسوب‌دهی ویژه معادل ۴۸/۰۳ تن بر هکتار در سال می‌باشد. این نتیجه در مقایسه با نتایج پژوهشی در ۲۲۶۰ متر از جاده‌های جنگلی داراب‌کلا با همین مدل که میزان تولید رسوب حدود ۷۷ تن بر هکتار در سال به دست آمد، منطقی به نظر می‌رسد (۱۵).

جدول ۱- برآورد مقدار کل، میانگین ضریب اطمینان در هر دیواره جاده آسفالتی

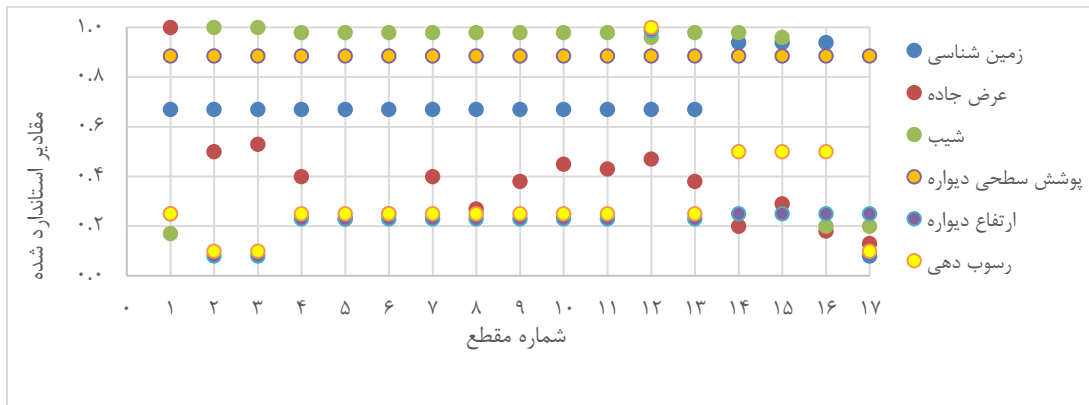
| رسوب | کل رسوب (تن در سال) | رسوب ویژه (تن بر هکتار در سال) | میانگین رسوب قطعه (تن در سال) | خطای استاندارد برآورد (تن در سال) |
|-------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| سطح و شانه جاده | ۹۹۸/۲۱ | ۵/۰۶ | ۵۸/۷۱ | ۵۱/۶۵ |
| دیواره خاک‌برداری | ۳۹۵۹/۰۷ | ۲۰/۰۹ | ۲۳۲/۷۸ | ۱۷۱/۶۱ |
| دیواره خاک‌ریزی | ۴۵۰۷/۲۵ | ۲۲/۸۸ | ۲۶۵/۱۳ | ۲۷۴/۵۷ |
| کل رسوب | ۹۴۶۴/۵۳ | ۴۸/۰۳ | ۵۵۶/۷۳ | ۳۳۸/۵۷ |



شکل ۴- حساسیت مدل WARSEM به عوامل متغیر اندازه‌گیری شده در دیواره خاک‌برداری

همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود در مقطع شماره ۱ گرچه اغلب متغیرها عوامل امتیاز زیادی برای رسوب‌دهی دارند، اما به دلیل شیب خیلی کم این مقطع رسوب‌دهی آن خیلی اندکی است و این نشان‌دهنده نقش شیب در رسوب‌دهی می‌باشد. در مقطع‌های شماره ۱۴ و ۱۵ به دلیل بالا بودن امتیاز عوامل زمین‌شناسی، ارتفاع دیواره شیب، میزان رسوب‌دهی نیز بالا می‌باشد. در مقطع شماره ۱۷ با توجه به پایین بودن امتیاز شیب و زمین‌شناسی، کمترین رسوب‌دهی وجود دارد بنابراین عامل زمین‌شناسی نیز بیشترین تأثیر را در رسوب‌دهی منطقه دارد. طبق نتایج میزان تولید رسوب بستگی به میزان ترافیک، وضعیت پوشش دامنه خاک‌برداری، روسازی جاده، شیب دامنه خاک‌برداری

و شیب طولی جاده، نوع زهکشی و غیره بستگی دارد (۱۱).



شکل ۵- حساسیت مدل WARSEM به عوامل متغیر اندازه گیری شده در دیواره خاکریزی

با توجه به شکل (۵) مشخص می شود که ارتفاع دیواره خاکریزی رابطه مستقیمی با رسوب دهی دارد. به طوری که در مقاطعی که ارتفاع دیواره بالاترین امتیاز را دارد بیشترین مقدار رسوب تولیدی مشاهده می شود و بالعکس. در شماره مقطع های ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ عامل زمین شناسی به همراه ارتفاع دیواره بیشترین تأثیر را در رسوب دهی منطقه دارد.

۳-۱-۲- محاسبات مدل WEPP Road

رسوب به دست آمده از این مدل برای جاده آسفالت به شرح جدول زیر می باشد:

جدول ۲- مقدار رسوب تولیدی بر اساس مدل WEPP Road از جاده آسفالت

| آسفالت | | |
|--|------------------|-------------------|
| شماره قطعه | فرسایش جاده (تن) | رسوب انتقالی (تن) |
| شماره قطعه | فرسایش جاده (تن) | رسوب انتقالی (تن) |
| ۱ | ۱۸۶/۴۷ | ۱۸۶/۴۷ |
| ۲ | ۳۰۳/۴۲ | ۳۰۹/۹۱ |
| ۳ | ۲۸۹/۶۷ | ۲۸۹/۶۷ |
| ۴ | ۲۸۰/۱۶ | ۳۰۲/۴۹ |
| ۵ | ۲۸۱/۶۸ | ۳۱۸/۳۰ |
| ۶ | ۳۳۸/۴۴ | ۳۷۱/۳۹ |
| ۷ | ۳۹۴/۸۴ | ۳۸۲/۴۶ |
| ۸ | ۴۱۷/۹۳ | ۴۱۷/۹۳ |
| ۹ | ۴۳۴/۴۹ | ۴۳۴/۴۹ |
| ۱۰ | ۳۵۲/۵۱ | ۳۷۳/۲۳ |
| ۱۱ | ۳۷۶/۷۸ | ۳۷۶/۷۸ |
| ۱۲ | ۳۶۰/۰۸ | ۳۶۲/۰۴ |
| ۱۳ | ۴۳۷/۰۰ | ۴۳۷/۰۱ |
| ۱۴ | ۲۴۷/۹۱ | ۲۴۷/۹۱ |
| ۱۵ | ۲۵۳/۲۰ | ۲۶۸/۴۹ |
| ۱۶ | ۲۰۱/۶۷ | ۲۱۷/۵۹ |
| رسوب (تن بر هکتار) | ۲۷/۲۱ | ۲۸/۲۲ |
| خطای استاندارد برآورد کل (تن بر هکتار) | ۷/۲۹ | ۷/۱۹ |

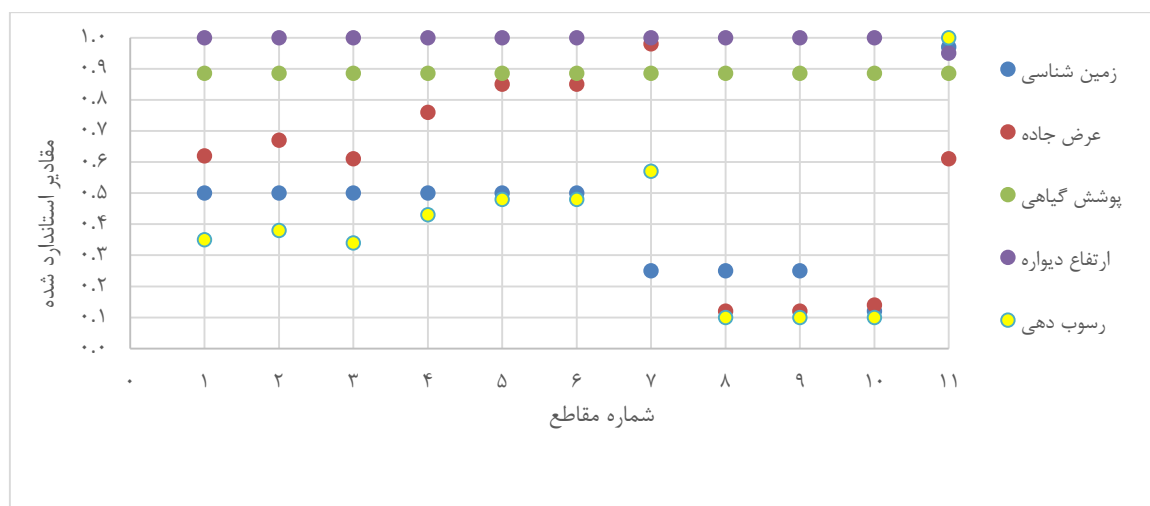
۳-۲- میزان رسوبدهی جاده خاکی

۳-۲-۱- محاسبات WARSEM

برای نمونه‌های برداشت‌شده از محل در جدول (۳) ارائه شده است. رسوب کل سالانه تولیدشده از ۹ کیلومتر جاده خاکی مورد مطالعه، ۱۴ تن است. خطای استاندارد و سطح اطمینان، مقدار رسوب تولیدشده از حداقل ۲ تا حداکثر ۳ تن در سال برآورد می‌شود که حاکی از خطایی در حدود ۲۰ درصد است. اگر مقدار تولید رسوب به ۹۵ هکتار مساحت کل جاده خاکی (سطح دیواره خاک‌برداری، جاده و شانه، دیواره خاک‌ریزی) تقسیم شود، رسوبدهی ویژه معادل ۲ تن بر هکتار در سال می‌باشد. در بررسی ۱۲۰۰۰ متر از جاده آسفالت‌ه حوضه وردآورد با همین مدل میزان تولید رسوب حدود ۷ تن بر هکتار در سال به دست آمد (۱). افزایش رسوبدهی جاده خاکی نسبت به جاده آسفالت‌ه ناشی از افزایش طول جاده خاکی و رسوبدهی سطح و کناره‌ی این جاده‌ها می‌باشد سطح و شانه جاده خاکی رسوب بیشتری نسبت به دیواره خاک‌برداری و خاک‌ریزی تولید می‌کند.

جدول ۳- برآورد مقدار کل، میانگین ضریب اطمینان در هر دیواره جاده خاکی بر اساس مدل WARSEM

| رسوب | کل رسوب (تن در سال) | رسوب ویژه (تن بر هکتار در سال) | میانگین رسوب قطعه (تن در سال) | خطای استاندارد برآورد کل (تن در سال) |
|-------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|
| سطح و شانه جاده | ۲۱۲۴/۱۶ | ۲۵/۴۸ | ۲۲۰/۱۰ | ۱۰۵/۳۳ |
| دیواره خاک‌برداری | ۱۴۹۸/۸۶ | ۱۵/۷۸ | ۱۳۶/۲۶ | ۳۶/۷۸ |
| دیواره خاک‌ریزی | ۲۰۸۵/۳۸ | ۲۱/۹۵ | ۱۸۹/۵۸ | ۱۱۰/۳۹ |
| کل رسوب | ۵۷۰۸/۱۴ | ۶۳/۲۲ | ۵۴۵/۹۵ | ۲۱۰/۱۸ |



شکل ۶- حساسیت مدل WARSEM به عوامل متغیر اندازه‌گیری شده در دیواره خاک‌برداری

۳-۲-۱- محاسبات WARSEM

رسوب به دست آمده از مدل برای جاده خاکی به شرح جدول زیر می‌باشد:

جدول ۴- مقدار رسوب تولیدی براساس مدل WEPP Road از جاده آسفالتی و خاکی

| خاکی | | |
|--|------------------|-------------------|
| شماره قطعه | فرسایش جاده (تن) | رسوب انتقالی (تن) |
| ۱ | ۲۵۱/۷۵ | ۲۵۳/۷۵ |
| ۲ | ۲۹۱/۷۴ | ۳۱۰/۳۴ |
| ۳ | ۳۴۸/۵۸ | ۳۵۵/۰۰ |
| ۴ | ۵۴۶/۵۳ | ۵۴۹/۷۱ |
| ۵ | ۴۶۷/۵۵ | ۴۷۴/۶۵ |
| ۶ | ۴۵۵/۸۷ | ۴۶۷/۹۷ |
| ۷ | ۴۸۷/۸۹ | ۵۰۴/۲۶ |
| ۸ | ۴۰۹/۸ | ۴۱۰/۹۶ |
| ۹ | ۲۴۸/۹۵ | ۲۶۹/۸۳ |
| ۱۰ | ۲۲۵/۶۲ | ۲۴۸/۲۷ |
| ۱۱ | ۲۵۹/۵۵ | ۲۵۷/۳۶ |
| - | - | - |
| - | - | - |
| - | - | - |
| - | - | - |
| - | - | - |
| - | - | - |
| رسوب (تن بر هکتار) | ۴۲/۴۹ | ۴۳/۶۳ |
| خطای استاندارد برآورد کل (تن بر هکتار) | ۱۳/۴۰ | ۱۳/۲۰ |

۴- بحث و نتیجه گیری

امروزه جاده‌های جنگلی به‌عنوان مهم‌ترین امکانات دسترسی جهت بهره‌برداری و اقدامات حفاظتی از مناطق جنگلی به شمار می‌روند. با توجه به وسعت اقدامات صورت گرفته در رابطه با احداث این شبکه جاده‌ها در اقصی نقاط ایران، در طی سنوات اخیر نقش آن‌ها به‌عنوان منابع تولید کننده رواناب و رسوب به قدر کافی مورد بررسی و ارزیابی قرار نگرفته است. همچنین به علت هزینه‌های قابل توجهی که این جاده‌های احداث شده در ارتباط با طراحی در مکان، احداث؛ نگهداری و نیز اثرات منفی که بر محیط زیست و حیات وحش دارند حساسیت زیادی از نظر اقتصادی زیست محیطی در افکار عمومی جامعه در این ارتباط بوجود آمده است. عمل جاده سازی قطعاً با کیفیت و کمیت متفاوتی همراه با تخریب پوشش گیاهی و کاهش ظرفیت جذب آب در خاک‌های عرصه‌های جنگلی همراه است که در نتیجه این عمل در اکثر موارد مقدار قابل ملاحظه‌ای از بادش در روی ترانشه خاکبرداری ریزش نموده و به سرعت به شکل رواناب سطحی بر روی ترانشه‌های آن حرکت نموده و منجر به وقوع انواع فرسایش آبی می‌شود (۱۷).

در دیواره خاک‌برداری و خاک‌ریزی با یکسان بودن پارامترهای زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، ارتفاع دیواره، عرض جاده نقش مهمی در تعیین مقدار رسوب دیواره دارد (شکل ۵ و ۶). عرض جاده متناسب

با فشار ترافیکی تعیین شده و در مقدار فرسایش مؤثر است به طوری که طبق تحقیقی که توسط فورسیت و همکاران (۲۰۰۶) انجام شد مقدار رسوب تولیدی در جاده‌ای با ترافیک زیاد برابر با ۵/۷ تن در کیلومتر مربع و در جاده‌ای با فشار ترافیکی کم برابر ۳/۹ تن در کیلومتر برآورد شده است (۹)؛ بنابراین در قسمت‌هایی از جاده که عرض زیاد می‌باشد تولید رسوب هم بیشتر خواهد بود.

در طی تحقیق دیگری که توسط آکای^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۸) در ترکیه صورت گرفته است تخمین رسوب‌دهی شبکه جاده جنگلی به شبکه آبراهه با استفاده از روش SEDMODEL در دو نوع جاده با سطوح آسفالت و گراول مورد بررسی قرار گرفته و نوع روسازی جاده جنگلی، شیب طولی جاده، میزان ترافیک و همچنین میزان پوشش گیاهی و سنگی دیواره خاک‌برداری مهم‌ترین عوامل مؤثر در تولید رسوب عنوان شده است (۲). در صورت ثابت بودن زمین‌شناسی، بارندگی، ترافیک و فاکتور سطح جاده، مشاهده گردید که فاکتور شیب به میزان قابل ملاحظه‌ای بر میزان رسوب تولیدی بسیار مؤثر می‌باشد (۱۵).

لازم به توضیح است که سن جاده طالقان-هشتگرد حدود ۱۵ سال می‌باشد که رسوبات نهشته شده در حاشیه جاده‌ها، پای دیواره‌ها توسط سازمان راه و شهرسازی جمع‌آوری می‌شود. این در حالی است که قبل از احداث جاده، رسوب برآوردی توسط سازمان حفاظت آب‌و خاک برابر با ۵ تن در هکتار در سال تخمین زده شده است که بعد از احداث جاده، کل رسوب برآوردی توسط مدل از جاده هشتگرد طالقان (جاده آسفالت+ خاکی) برابر با ۱۱۱/۲۵ تن بر هکتار در سال برآورد شد که نشان از تأثیر فاکتورهای محیطی و اقلیمی بر مقدار رسوب تولیدی می‌باشد.

میزان فرسایش ناشی از احداث جاده به عوامل اقلیمی، ویژگی‌های زمین‌شناسی و شرایط جاده‌ای بستگی دارد (۶). با توجه به این که هیچ‌گونه عامل حفاظتی در حین جاده‌سازی و بعد از آن صورت نگرفته، فرسایش چند برابر شده است. بررسی دیواره‌های خاک‌برداری در جاده آسفالت و جاده خاکی نشان می‌دهد که رسوبات فرسایش یافته از دیواره‌ها، به شکل واریزه در پای دیواره باقی‌مانده‌اند و یا خاک‌های استفاده شده از دیواره خاک‌برداری برای تثبیت دیواره خاک‌ریزی، رسوبات به صورت واریزه از دیواره خاک‌ریزی به سمت زهکش‌ها و آبراهه‌ها تجمع پیدا کرده‌اند و توسط رواناب به مناطق پایین دست انتقال یافته‌اند. علاوه بر این، حرکات توده‌ای شکل که چه به صورت ریزش سنگ و یا لغزش در قسمت‌های مختلف جاده کاملاً مشهود است و علت این امر هم دیواره خاک‌برداری در طول مسیر در اغلب مکان‌ها از نوع صخره‌ای است که در آن احتمالاً فرسایش بیشتر از نوع سطحی، ریزش سنگ و یا برون‌زد سنگی خواهد بود. در بررسی رسوب تولیدی جاده کوهستانی حوضه بالادست وردآورد به طول ۱۲ کیلومتر مشخص شد که سه عامل ارتفاع دیواره، پوشش سطحی و فرسایش‌پذیری سازند زمین‌شناسی منطقه، مؤثرترین عوامل در تولید رسوب در این جاده می‌باشند (۱). در این تحقیق نیز مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار در تولید رسوب برای جاده آسفالت عبارت از زمین‌شناسی، شیب، پوشش گیاهی، ارتفاع دیواره خاک‌ریزی و برای جاده خاکی، عرض جاده می‌باشد.

^{۱۲} Akay

در مورد عوامل اقلیمی هم می توان عنوان کرد که نوع بارش و شدت آن بر میزان رسوبدهی منطقه تأثیر دارد به طوری که بارش منطقه ۵۰۰ میلی متر در سال و در ارتفاعات بالا تا ۸۰۰ میلی متر هم می رسد و برف های باریده شده تا اردیبهشت ماه هم در ارتفاعات بالا دیده می شوند.

در طی تحقیقی که توسط صفامنش^{۱۳} و همکاران (۲۰۰۶) صورت گرفته است فاکتور مؤثر بر تعیین فرسایش در حوزه آبخیز زرگه عوامل اقلیمی تعیین شده است (۲۸). رواناب به عنوان یک فاکتور مستقل در مدل سازی فرسایش رگبار نقش داشته و غلظت رسوب با توان رواناب افزایش می یابد (۵). در طی تحقیقی که توسط راموشارونو مک دونالد^{۱۴} (۲۰۰۷) ارزیابی و اندازه گیری رسوب حاصل از جاده های شن ریزی نشده در ایسلند نشان داد جاده سازی سبب افزایش میزان تولید رسوب در مناطق کوهستانی به میزان ۴ برابر می شود (۲۶). بررسی هدر رفت خاک و رواناب در بخش های مختلف جاده جنگلی با استفاده از شبیه ساز باران توسط پارسا خو (۲۰۱۱) نشان داد که بخش های شیروانی خاک برداری و سطح جاده به ترتیب مهم ترین منابع تولید رسوب و رواناب می باشند (۲۴).

مقدار رسوب تولید شده با استفاده از محاسبات مدل WEPP Road برای جاده آسفالت ۲۸/۲۲ تن بر هکتار در سال به دست آمد و برای جاده خاکی مقدار رسوب برابر با ۴۳/۶۳ تن بر هکتار به دست آمد و مهم ترین فاکتورها شامل داده های اقلیمی، نوع طراحی جاده، طول و عرض جاده می باشد. مک دونالد^{۱۵} و همکاران (۲۰۰۱) در ایسلند به مطالعه رواناب و فرسایش جاده پرداخته و به این نتیجه رسیدند که میزان تولید رسوب در پلات های سطح جاده تابع میزان و شدت بارندگی می باشد (۱۹). نتایج بدست آمده از تحقیقات واد و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد از بین مدل های برآورد رسوب (USLE-Forest, RUSLE2, WEPP Road) مدل WEPP Road کمترین میزان رضایت بخشی را داشته است (۳۲).



^{۱۳} Safamanesh

^{۱۴} Ramos-Scharrón and MacDonald

^{۱۵} MacDonald



شکل ۷- نمونه‌هایی از تصاویر منطقه مورد مطالعه

احداث جاده، یکی از عوامل مؤثر در تشدید فرسایش و تولید رسوب است. همان‌طور که نتایج این مطالعه نشان داد از توانمندی‌های مدل‌ها شناسایی نقاط حساس به فرسایش است. در جاده خاکی، بیشترین رسوب (به دلیل بالا بودن ارتفاع دیواره خاک‌برداری) مربوط به مقطع شماره ۷ و کم‌ترین رسوب مربوط به مقطع‌های ۱ و ۲ به دلیل کم بودن شیب می‌باشد. مشابه نتایج این تحقیق عامل افزایش شیب و ارتفاع ترانشه‌های خاک‌برداری را همراه با کاهش پوشش طبیعی ترانشه‌ها، عامل تفاوت میزان فرسایش در بخش‌های مختلف جاده دانسته‌اند (20, 2, 25). از این‌رو با توجه به نتایج این تحقیق و سایر تحقیقات مشابه، لازم است در نواحی بالادست جاده‌ها که به دلیل بیشتر بودن شیب، پتانسیل فرسایش بالایی نسبت به قسمت‌های پایین دست دارند، همچنین در واحدهای پایین دست که به دلیل نزدیک بودن به آبراهه و داشتن شاخص انتقال رسوب، از جمله نقاط حساس به فرسایش محسوب می‌شوند، اقدامات کنترلی به منظور کاهش فرسایش در واحد سطح جاده صورت گیرد. از این‌رو با توجه به نتایج این تحقیق و سایر تحقیقات مشابه، لازم است در نواحی بالادست جاده‌ها که به دلیل بیشتر بودن شیب، پتانسیل فرسایش بالایی نسبت به قسمت‌های پایین دست دارند، همچنین در واحدهای پایین دست که به دلیل نزدیک بودن به آبراهه و داشتن شاخص انتقال رسوب، از جمله نقاط حساس به فرسایش محسوب می‌شوند، اقدامات کنترلی به منظور کاهش فرسایش در واحد سطح جاده صورت گیرد.

با توجه به اندازه گیری مستقیم رسوب، مدل WARSEM نسبت به دو مدل دیگر توانایی خوبی در برآورد رسوب‌دهی جاده داشته است با توجه به فاکتورهای اندازه‌گیری شده در WARSEM، به منظور برآورد رسوب جاده و میزان تأثیر آن‌ها مشخص شد که آنچه در قالب عملیات مدیریتی می‌توان انجام داد شامل: طراحی و عبور جاده از سازندهای زمین‌شناسی مقاوم به فرسایش، ارتقا کیفیت روسازی جاده، کاهش ترافیک، کاهش سطح تحویل‌دهنده رسوب از طریق ساخت جاده‌های با شیب خارجی و کاهش عرض قطعات جاده می‌باشد.

Refrenc:

- 1- Abayat, S. Arab Khodri, M. and Ahmadi A. 2014. Estimation of road sediment production by combining statistical sampling methods with WARSEM model
- 2- 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(5): 687-695.
- 3- Ashari, A. 2019. Understanding geomorphological hazard in Watumalang Area post Bisma volcanic era. Denudational or multihazard? In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 271 (1), 012006. IOP Publishing.
- 4- Cole, D. N., and Landres, P. B. 1996. Threats to wilderness ecosystems: impacts and research needs. *Ecological applications*, 6(1), 168-184.
- 5- Bagarello, V., Di-Stefano, C., Ferro, V., Kinnell, P.I.A., Pampalone, V., Porto, P., and Todisco, F. 2011. Predicting soil loss on moderate slopes using an empirical model for sediment concentration, *Journal of Hydrology* 400: 267-273.
- 6- Dube, K., Megahan, W. and McCalmon, M., 2004. Washington road surface erosion model. State of Washington Department of Natural Resources.
- 7- Duff, M. J., Heatwole, C. D., and Caiado, M. A. C. 2010. Rural roads and trails as a source of sediment: Preliminary results from the Alegre watershed in Eastern Brazil. In: *Proceedings of the 21st Century Watershed Technology Conference: Improving Water Quality and Environment*, Earth University, Costa Rica, 21-24 February 2010. St. Joseph, MI: ASABE.
- 8- Elliot, W. J., Foltz, R. B., and Robichaud, P. R. 2009. Recent findings related to measuring and modeling forest road erosion. In: *Anderssen, RS; Braddock, RD; Newham, LTH, eds. 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on modelling and simulation; July 13-17, 2009; Cairns, Australia. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand; and International Association for Mathematics and Computers in Simulation: 4078-4084.*
- 9- Forsyth, A.R., Bubb, K.A. and Cox, M.E. 2006. Runoff, sediment loss and water quality from forest roads in a southeast Queensland coastal plain Pinus plantation, *Forest Ecology and Management*, 221: 194-206.
- 10- Fu, B., Newham, L. T., and Ramos-Scharron, C. E. 2010. A review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads. *Environmental Modelling & Software*, 25(1), 1-14.
- 11- Grace, J., 2002. Control of sediment export from the forest road prism. *Transactions of the ASAE* 45, 1127-1132.
- 12- Guerra, A. J. T., Fullen, M. A., Jorge, M. D. C. O., Bezerra, J. F. R., and Shokr, M. S. 2017. Slope processes, mass movement and soil erosion: a review. *Pedosphere*, 27(1), 27-41.
- 13- Hamanaka, A., Sasaoka, T., Shimada, H., and Matsumoto, S. 2019. Experimental study on soil erosion under different soil composition using rainfall simulator. *Plant, Soil and Environment*, 65(4), 181-188.
- 14- Herzog, A., and Benoit, K. 2015. The unkindest cuts: speaker selection and expressed government dissent during economic crisis. *The Journal of Politics*, 77(4), 1157-1175.
- 15- Hosseini, S.A.A., Omidre, A., Tagvi, H. and Parsakhoo, A. 2013. Estimation of the amount of sediment obtained from forest roads with the help of SEDMODL. *Wood and forest science and technology researches*. 19 (1): 41-23.
- 16- Javadi, M.R., Rojhan, A., Ghafarkhani, M.R. 2022. Assessments of Land Cover Percentage of road cut slope on Production of Runoff and Sediment (A Case

Study: Mikhsaz Watershed Mngement). 3rd International and 6th national conference on Conservation of Natural Resources & Environment, Ardabil, Iran. 1-7pp.

17- Javadi, M.R., Ghafarkhani, M.R., Rojhan, A. 2021. Investigation of vegetation percentage in excavated trenches on forest road on runoff and production sediment (Case study: tylen Rud Watershed). 10th International conference on rainwater catchment systems, university of Kordistan, Sanandaj, Iran. 201-212pp.

18- Javadi, M.R., Rojhan, A., Ghafarkhani, M.R. 2021. Investigation of changes in suspended sediment load, phosphorus and organic matter of river flow. 10th International conference on rainwater catchment systems, university of Kordistan, Sanandaj, Iran. 1-7pp.

19- MacDonald, L. H., Sampson R. W. and Anderson, D. M. 2001. Runoff and road erosion at the plot and road segment scales, ST John, Us Virgin Islands. Earth Surface Process Landforms. No: 26. 251-272

20- Mena, M., Lopez, J., Almagro, M., Boix-Fayos, C., and Albaladejo, J. 2008. Effect of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of South-East Spain, Soil and Tillage Research, 99 (1), 119-129.

21- Mustafa, M. and Joybari, Sh. 2014. Investigating the capabilities and limitations of forest road soil erosion estimation models, Watershed Promotion and Development Journal, 3 (11).

22- Noorani, S.N. 2004, evaluation of four methods to choose the best SDR estimation method, (case study: Taleghan watershed), master's thesis, Tehran Azad University, Science and Research Branch, 129 p.

23- Orndorff, A., Hochmuth, G., and Ogram, A. 2017. Evaluating the Effects of Sedimentation from Forest Roads: A Review. University of Florida.

24- Parsakhoo, A. 2011. Investigating the amount of soil waste and runoff in different parts of the forest building using simulators. Ph.D. Thesis. Department of Forest Engineering. Sari Faculty of Natural Resources. 169 p.

25- Parsakhoo, A., hosseini, S.A., lotfalian, M., and jalilvand, H., 2009. Soil loss and displacement by heavy equipment in forest road subgrading projects. International Journal of Sediment Research -227, 24 235.

26- Ramos-Scharrón, C. E., and MacDonald, L. H. 2007. Measurement and prediction of natural and anthropogenic sediment sources, St. John, US Virgin Islands. Catena, 71(2), 250-266.

27- Rijdsijk, A., Bruijnzeel, L. S., and Sutoto, C. K. 2007. Runoff and sediment yield from rural roads, trails and settlements in the upper Konto catchment, East Java, Indonesia. Geomorphology, 87(1-2), 28-37.

28- Safamanesh, R.A., W.N., Sulaiman, and M.F., Ramli, 2006. Erosion risk assessment using an empirical model of pacific south west inter Agency committee method for zarge watershed, Journal of Spatial Hydrology, 6.

29- Salvia, R., Simone, R., Salvati, L., and Quaranta, G. 2018. Soil Conservation Practices and Stakeholder's Participation in Research Projects—Empirical Evidence from Southern Italy. Agriculture, 8(6), 85.

30- Seutloali, K. E., and Beckedahl, H. R. 2015. A review of road-related soil erosion: an assessment of causes, evaluation techniques and available control measures. Earth Sciences Research Journal, 19(1), 73-80.

31- Shirzadi, H. 2018. Landslide potential in Sanandaj-Marivan new road using AHP model. Master's thesis. University of Tehran. 117 p.

32- Wade, C. R., Bolding, M. C., Aust, W. M., Lakel III, W. A., & Schilling, E. B. 2012. Comparing sediment trap data with the USLE-Forest, RUSLE2, and WEPP-Road

erosion models for evaluation of bladed skid trail BMPs. Transactions of the ASABE, 55(2), 403-414.

33- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture. Handbook No. 537.

Comparing the efficiency of WARSEM and WEPP Road models in investigating the effect of road construction on the amount of erosion and sedimentation

Seyedmajidreza Hoseeni*^۱, Hasan Ahmadi^۲, Aliakbar Mehrabi^۳, Baharak Motamed vaziri^۴

Abstract

Proper management of watersheds requires knowledge of existing roads and their effects on natural resources. The purpose of this research was to investigate the effect of road construction on the amount of erosion and sediment production on the new Hashtgerd - Taleghan road in Alborz province. For this purpose, 17 samples were taken from a 26-kilometer asphalt road and 11 samples were taken from a 9-kilometer dirt road and road sedimentation was calculated using the WARSEM and WEPP Road models and compared with the actual value. The results showed by direct measurement of erosion, the total sediments remaining along the route were equal to 17259.32 tons per year, of which 6241.45 tons per year are related to the excavation wall and 11017.87 tons per year are related to the embankment wall. Using the WARSEM model, the total amount of sedimentation from asphalt and dirt roads was estimated as 15172.67 tons per year, equivalent to 52.14 tons per hectare per year, of which 9464.53 tons per year, equivalent to 48.03 tons per hectare per year, the contribution of the excavation wall and the embankment wall of the asphalt road is 5708.14 tons per year, which is equivalent to 63.22 tons per hectare per year, the contribution of the excavation wall and the embankment wall of the dirt road. The road sedimentation rate using the WEPP Road model was obtained as 28.23 tons per hectare for the asphalt road and 43.48 tons per hectare for the dirt road. Considering the direct sediment measurement, the WARSEM model has shown good capability in assessing road sedimentation compared to the other model.

Keywords: Erosion, Hashtgerd-Taleqan Road, Sediment, WEPP Road ,WARSEM

^۱ PhD Graduated, Dept. Natural Resource, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Iran,

^۲ Assistant Prof., Dept. Natural Resource, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Iran.*
Corresponding author:kh_mahdavi@yahoo.com

^۳ Assistant Prof., Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

^۴ Assistant Prof., Dept. Natural Resource, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Iran,