

Investigating the effect of the construction of the new Hashtgerd - Taleghan road in Alborz province on the amount of erosion and sediment production using the WARSEM model

Seyed Majid Reza Hosseini Mofrad¹ | Hassan Ahmadi^{*2}  | Ali Akbar Mehrabi² | Baharak Motamedvaziri¹ 

1. Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University Tehran, Tehran, Iran
2. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
E-mail: ahmadi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 4 Feb. 2023
Revised: 15 Jun. 2023
Accepted: 8 Jul. 2023
Published online: 21 Nov. 2023

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

Abstract

The purpose of this research was to investigate the effect of road construction on erosion and sediment production along the new Hashtgerd-Taleghan road in Alborz province. To achieve this objective, sedimentation was calculated along a 26 km-long asphalt road segment and a 9 km-long dirt road segment of the Hashtgerd-Taleghan route, using 17 and 11 samples, respectively, based on Cochran's equation. Statistical relationships were then utilized to estimate the erosion rate and sedimentation across the entire route. Through direct measurement of erosion, it was determined that the total sediments deposited along the route amounted to 17,259.32 tons per year, with 6,241.45 tons per year attributed to the excavation wall and 11,017.87 tons per year to the embankment wall. By employing the WARSEM model, the total sedimentation from both the asphalt and dirt roads was estimated to be 15,172.67 tons per year, equivalent to 52.14 tons per hectare per year. Of this, 9,464.53 tons per year (48.03 tons per hectare per year) were contributed by the excavation wall and the embankment wall of the asphalt road, while the dirt road accounted for 14,570.8 tons per year (22.63 tons per hectare per year) from the excavation wall and the embankment wall. The sensitivity analysis of the WARSEM model on the asphalt road highlighted the significant influence of slope and geological factors on embankment wall sedimentation, with the height factor of the embankment wall identified as a highly important parameter. The sensitivity analysis on the dirt road indicated a relatively similar impact among the scored parameters.

Cite this article: Hosseini Mofrad, S.M.R., Ahmadi, H., Mehrabi, A.A., Motamedvaziri, B. (2023). Investigating the effect of the construction of the new Hashtgerd - Taleghan road in Alborz province on the amount of erosion and sediment production using the WARSEM model. *Journal of Range & Watershed Management*, 76 (3), 237-251. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2023.354414.1694>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

بررسی تأثیر احداث جاده جدید هشتگرد - طالقان استان البرز بر مقدار فرسایش و تولید رسوب با استفاده از مدل WARSEM

سید مجیدرضا حسینی مفرد^۱ | حسن احمدی^{۲*} | علی اکبر مهرابی^۱ | بهارک معتمد وزیری^۱ 

۱. گروه جنگل، مراتع و آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲. گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

رایانامه: ahmadi@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

کلیدواژه‌ها:

استان البرز،

فرسایش،

رسوب،

جاده هشتگرد-طالقان،

WARSEM.

هدف از این پژوهش بررسی اثر جاده‌سازی بر میزان فرسایش و تولید رسوب در جاده جدید هشتگرد - طالقان در استان البرز بود. بدین منظور با توجه به معادله کوکران، از جاده آسفالت هشتگرد-طالقان به طول ۲۶ کیلومتر و جاده خاکی هشتگرد-طالقان به طول ۹ کیلومتر به ترتیب با ۱۷ و ۱۱ نمونه رسوب‌دهی جاده محاسبه شد و در نهایت با استفاده از روابط آماری میزان فرسایش و رسوب‌دهی در کل مسیر برآورد شد. با اندازه‌گیری مستقیم فرسایش، کل رسوبات به‌جامانده در طول مسیر برابر با 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 آسفالت 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 آسفالت و ۵۷۰۸/۱۴ تن در سال، معادل ۶۳/۲۲ تن بر هکتار در سال سهم دیواره خاک‌برداری و دیواره خاک‌ریزی جاده خاکی می‌باشد. حساسیت مدل WARSEM برای پارامترهای استانداردشده برای جاده آسفالت نشان داد که فاکتورهای شیب و زمین‌شناسی عامل مهمی در رسوب از دیواره خاک‌برداری می‌باشد و فاکتور ارتفاع دیواره خاک‌ریزی پارامتر بسیار مهمی در رسوب‌دهی دیواره خاک‌ریزی می‌باشد. حساسیت مدل در جاده خاکی با توجه به این امتیاز پارامترها خیلی به هم نزدیک بود عامل عرض سطح جاده خاکی پارامتر بسیار مهمی در رسوب‌دهی دیواره خاک‌برداری و خاک‌ریزی می‌باشد.

استناد: حسینی مفرد؛ سید مجیدرضا، احمدی؛ حسن، مهرابی؛ علی اکبر، معتمد وزیری؛ بهارک (۱۴۰۲). بررسی تأثیر احداث جاده جدید هشتگرد - طالقان استان البرز بر مقدار فرسایش و تولید رسوب با استفاده از مدل WARSEM. نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۶(۳)، ۲۲۷-۲۵۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2023.354414.1694>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

راه‌های ارتباطی و جاده‌ها به‌عنوان شاه‌رگ‌های حیاتی یک جامعه محسوب می‌گردند. به‌طوری‌که در صورت عدم توسعه و گسترش آن‌ها، حیات و توسعه اقتصادی و اجتماعی جامعه مختل خواهد شد. ولی از طرف دیگر جاده‌سازی به‌عنوان یکی از عوامل تخریب عرصه‌های منابع طبیعی به شمار می‌آید. به‌گونه‌ای که امروزه این موضوع به‌عنوان یکی از معضلات اساسی حوزه‌های آبخیز مطرح می‌باشد. در جریان احداث جاده سطح وسیعی از عرصه جنگل‌ها و مراتع در طول و حاشیه مسیر آن تخریب شده و حجم بسیاری زیادی خاک و سنگ از محل خود جابه‌جاشده که موجب مضاعف شدن شدت تخریب محیط‌زیست می‌شود و یا به‌طور مستقیم وارد آبراهه‌ها شده و درنهایت به‌صورت رسوب وارد مخازن سدها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها و دریاها گشته و حتی با رسوب‌گذاری در بستر رودخانه‌ها باعث تغییر مورفولوژی آن‌ها و ایجاد فرسایش رودخانه می‌شود (سالویا^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). یکی از بزرگ‌ترین مشکلات ناشی از جاده‌سازی 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 جاده‌ها و کاهش پوشش گیاهی باعث تولید رسوب و انتقال آن به آبراهه‌های پایین دست شده و در نتیجه باعث آلودگی منابع و زیستگاه‌های آبی می‌شود. علاوه بر این جاده‌سازی عاملی در راستای فراهم شدن زمینه برای وقوع سایر رخساره‌های فرسایشی است (هرزوغ و بنویت^۲، ۲۰۱۵؛ کول و لندرس^۳، ۱۹۹۶). میزان تخریب محیط‌زیست و عرصه جنگل‌ها و مراتع در اثر جاده‌سازی بستگی به عوامل گوناگونی از جمله نوع جاده، توپوگرافی منطقه، حساسیت خاک‌ها و سازندهای زمین‌شناسی مسیر جاده دارد. در سال‌های اخیر فعالیت‌های ساخت‌وساز و تعمیر و نگهداری جاده‌های جنگلی بیش‌ازپیش موردتوجه قرار گرفته، زیرا احداث جاده‌ها افزایش نگرانی‌ها در مورد تأثیرات کوتاه‌مدت و بلندمدت بر محیط‌زیست و تخریب را به دنبال دارد (هماناکا^۴ و همکاران، ۲۰۱۹). هدر رفت خاک پدیده‌ای است که در صورت بروز در هر منطقه، حاصلخیزی خاک، دوام و پایداری ابنیه فنی و سازه‌های مختلف، پایداری دیواره‌های خاکی، کیفیت منابع آب سطحی، توازن بوم‌شناختی و منظره طبیعت را به مخاطره می‌اندازد (پارساخو^۵، ۲۰۱۱). منشأ رسوب جاده‌ها می‌تواند از انواع فرسایش سطحی، خندقی و یا حرکات توده‌ای باشد (سئوتلوالی و بکدهل^۶، ۲۰۱۵). در جاده‌های خاکی که معمولاً بدون خاک‌برداری و خاک‌ریزی وسیع ساخته می‌شوند، فرسایش سطحی جاده نسبت به حرکات توده‌ای غالبیت دارد (گوارا و همکاران^۷، ۲۰۱۷). میزان تولید رسوب ناشی از احداث جاده به فرسایش‌پذیری خاک‌ها، وضعیت پوشش دیواره‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی، روسازی جاده، شیب دیواره‌ها، شیب عرضی و طولی جاده، کیفیت زهکشی، طول راه، میزان ترافیک و غیره بستگی دارد (آشاری^۸، ۲۰۱۹).

بررسی اندازه‌گیری رسوب از جاده‌های جنگلی با استفاده از توری رسوب‌گیر در جزایر ورجین نشان داد که حجم مقدار رسوب انتقالی به رودخانه به‌طور متوسط ۱۲ مترمکعب در هر کیلومتر از جاده بوده است (راموس-شارون و مکدونالد^۹، ۲۰۰۷).

بررسی رسوب‌دهی جاده‌ها و مسیرهای روستایی به طول ۱۳ کیلومتر در حوضه آگهه واقع در شرق برزیل نشان داد که سه مدل STJ-EROS، SEDMODL و WEPP توانایی بالایی برای برآورد رسوب دارند (داف^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۰).

مطالعات انجام‌شده در سراسر دنیا، جاده‌ها به‌ویژه جاده‌های جنگلی را به‌عنوان منبع اصلی پتانسیل تولید رسوب در محیط‌های طبیعی و جنگلی معرفی می‌کنند (اورندورف^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۷). رسوب از سطح جاده‌ها، خاک‌ریزها، شیب‌های بریده‌شده و خاک‌برداری از دامنه‌های

¹ Salvia

² Herzog and Benoit

³ Cole and Landres

⁴ Hama naka

⁵ Parsakhoo

⁶ Seutloali Beckedahl

⁷ Guerra

⁸ Ashari

⁹ Ramos-Scharrón and MacDonald

¹⁰ Duff

¹¹ Orndorff

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 (اورندوف و همکاران، ۲۰۱۷). 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 کردند (پارساخو، ۲۰۱۱). بررسی قابلیت‌ها و محدودیت‌های مدل‌های برآورد فرسایش خاک جاده‌های جنگلی 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 (مصطفی و جویباری^۱، ۲۰۱۷). نظر به اهمیت فرسایش جاده‌ای در حوضه‌ها، فهم فرآیندهای فرسایش جاده و تحویل رسوب و همچنین کمی کردن سهم رسوب حاصل از آن ضروری است (راموس-شارون و مکدونالد، ۲۰۰۷). در این مسیر می‌توان از سه روش آزمایش‌های ردیابی رسوب، اندازه‌گیری رسوبات نهشته شده در جاده یا درون مسیل و مدل‌ها بهره گرفت (فو^۲ و همکاران، ۲۰۱۰). در این بین، مناسب‌ترین روش کمی‌سازی این نوع فرسایش استفاده از مدل‌هاست (الیوت و همکاران ۲۰۰۹). 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 مختلف استفاده کرد (ویشمایر و اسمیت^۳، ۱۹۷۸). مدل WARSEM، مدلی است که به‌طور ویژه برای برآورد تولید رسوب جاده‌ای معرفی شده است. این مدل در خارج و داخل ایران در مطالعات و پژوهش‌ها مورداستفاده قرار گرفته و نتایج رضایت‌بخشی داده است (فو و همکاران، ۲۰۱۰؛ حسینی^۴ و همکاران، ۲۰۱۳؛ پارساخو و همکاران^۵، ۲۰۰۹؛ دوب^۶ و همکاران، ۲۰۰۴). در جنگل‌های استرالیا و در شرایط بارندگی طبیعی، مقدار کل رسوب تولیدی توسط جاده‌شن‌ریزی شده را طی یک دوره دوساله، ۵/۷ تن در کیلومترمربع و برای جاده بدون شن‌ریزی ۳/۹ تن در کیلومترمربع برآورد کردند (فورسیت^۷ و همکاران، ۲۰۰۶). مقدار رسوب به‌دست‌آمده از جاده‌های روستایی، راه‌های 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 (ریجسدیجک^۸ و همکاران، ۲۰۰۷). از آنجایی که جاده‌سازی غیراصولی یکی از منابع اصلی تولید رسوب و فرسایش در حوضه‌ها است، شناسایی و تشخیص بخش‌هایی از جاده که در تحویل رسوب به شبکه آبراهه مؤثر هستند، یک اصل ضروری در مدیریت بهینه مشکلات رسوب‌زایی در حوضه است؛ از این رو هدف از این مطالعه، برآورد رسوب و فرسایش بخش‌های مختلف جاده هشتگرد-طالقان و تعیین میزان نهایی آورد رسوب جاده‌ای، همچنین شناسایی بخش‌های با پتانسیل بالای تولید رسوب، توسط مدل WARSEM است.

۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش جاده کوهستانی واقع در حدفاصل بین هشتگرد و طالقان جهت مطالعه انتخاب گردید. این محدوده شامل ۵ حوضه کوشک زر، فشند، ولیان، ورشک، زیدشت است. این جاده در حدفاصل طول جغرافیایی "۳۴' ۴۶' ۳۶° 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

¹ Mustafa and Joybari

² Fu

³ Wischmeier and Smith

⁴ Hosseini

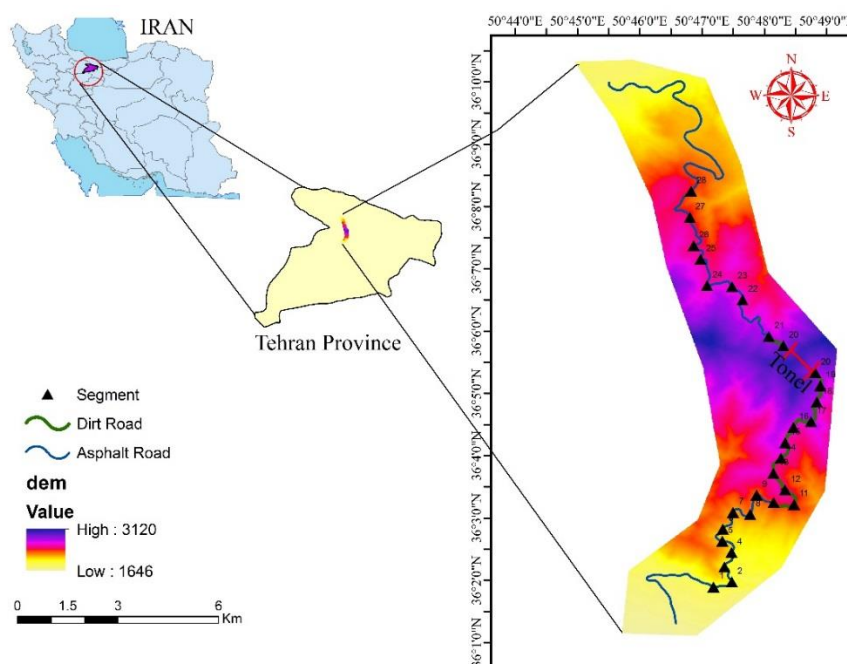
⁵ Parsakhoo

⁶ Dube

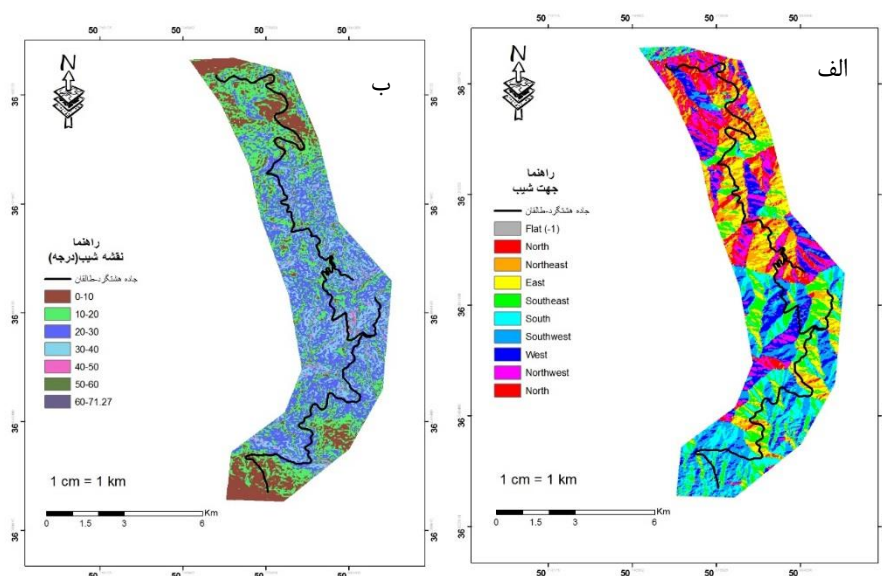
⁷ Forsyth

⁸ Rijdsdijk

جاده به طول ۳۵ کیلومتر می‌باشد که ۲۶ کیلومتر آن به‌صورت آسفالت‌ه و ۹ کیلومتر آن به‌صورت جاده خاکی می‌باشد (شکل ۱). جهت عمومی شیب در جاده هشتگرد-طالقان، شمالی و شمال غربی می‌باشد. میانگین شیب حدود ۴۰٪ است، حداقل شیب منطقه ۵ درجه و حداکثر آن ۷۰ درجه می‌باشد، گاه در بعضی از نقاط میزان شیب از این مقدار بیشتر بوده و پرتگاه‌های پراکنده دیده می‌شود (شکل ۲).

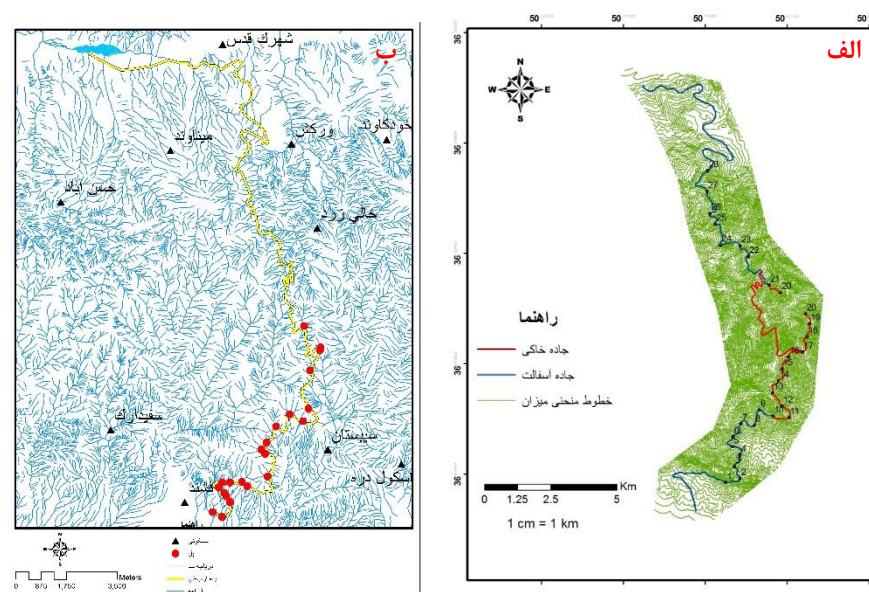


شکل ۱. نقشه محدوده مورد مطالعه (جاده هشتگرد-طالقان)



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 تعدادی نمونه برآورد گردید و سپس نتیجه به دست آمده به کل جاده تعمیم داده شد. جهت تعیین اندازه نمونه‌ها و با توجه به بازدهی میدانی به طور متوسط در هر ۵۰۰ متر شرایط دیواره خاک‌برداری و خاک‌ریزی از نظر یکی از فاکتورهای حداقل شیب دیواره، نوع و جهت شیب سطحی جاده، ارتفاع دیواره، نوع پوشش سطحی و گیاهی، درصد پوشش سنگی و غیره در نتیجه میزان فرسایش تغییر می‌کند. یا اینکه در محل تقاطع به جاده‌ی دیگر و یا به یک زهکشی می‌رسند؛ 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 گردید (شکل ۳).



شکل ۳. الف) واحدهای همگن ب) پل‌های احداثی در منطقه مورد مطالعه

با اندازه‌گیری طول هر کدام از بخش‌های 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 اندازه‌گیری شدند.

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

در این رابطه:

n : تعداد نمونه مناسب

N : حجم جامعه که در اینجا کل نمونه‌های ۵۰۰ متری مورد نظر است.

Z : مقدار Z به دست آمده برای اطمینان ۹۵٪ از جدول Z برابر با ۱/۹۶ می‌باشد.

d : مقدار خطایی که در اندازه‌گیری 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 نمونه‌ها

در رابطه‌ی (۱)، دلیل انتخاب $d = 0/15$ این است که مطالعات انجام‌شده در زمینه‌ی خطای مجاز مدل‌ها نشان می‌دهد که اگر نرخ متوسط فرسایش بین ۶۰-۶ 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 می‌باشد (ارقامی و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به این نتایج، در جهت تعیین مقدار مناسب d و همچنین افزایش دقت محاسبات، سه حد $0/15$ ، $0/10$ و $0/20$ مورد بررسی قرار گرفتند که تعداد نمونه محاسبه‌شده 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 بررسی‌های اولیه مشاهده شد که عمیق‌ترین نوع فرسایشی که در دیواره‌ها رخ داده است به صورت لغزش می‌باشد. بنابراین در هر گروه از جاده‌ها ارتفاع خاک‌برداری، عمق لغزش و طول لغزش‌ها از طریق اندازه‌گیری 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 به عنوان حداقل در نظر گرفته شد. نتیجه محاسبات برحسب مترمکعب به دست می‌آید که با فرض $\rho_b = 1.6 \text{ g/cm}^3$ (ارقامی و همکاران، ۱۳۸۷) 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 به صورت روابط ۲ الی ۴ می‌باشند (ارقامی و همکاران، ۱۳۸۷). این پارامترها با استفاده از نرم‌افزار spss محاسبه گردید.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

رابطه ۲

$$T = \frac{N \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

رابطه ۳

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

رابطه ۴

در این روابط:

A: میانگین فرسایش (ton/ha)

Xi: مقدار فرسایش اندازه‌گیری شده در هر نمونه (ton/ha)

T: مجموع فرسایش در هر گروه از جاده‌ها (ton/ha)

SE: خطای استاندارد برآورد T

Sx: جذر واریانس جامعه

۱-۲. برآورد مقدار واقعی رسوب به روش مستقیم

برای 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 به‌جامانده در محل می‌باشند، این در حالی است که بخشی از رسوبات فرسایش یافته ممکن است توسط رواناب به پایین‌دست انتقال یابند که با استفاده از مدل‌های رسوب و فرسایش ناشی از احداث جاده‌ها می‌توان میزان دقیق رسوب و فرسایش کل را در هر حوضه 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 مدل

مدل WARSEM 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 می‌توان در حوضه‌های آبخیز با مقیاس بزرگ و همچنین جهت اعمال بهترین شیوه‌های تصمیم‌گیری در مدیریت آبخیز به کار برد [۲۱]. میانگین رسوب سالانه که توسط هر قطعه جاده تولید و وارد آبراهه‌ها می‌شود از طریق رابطه (۵) به دست می‌آید [۲۲]:

$$E = (RS + CS) * Ag \quad \text{رابطه ۵}$$

E : کل رسوب انتقال یافته به داخل آبراهه‌ها توسط هر قطعه از جاده‌ها (تن در سال).

RS : رسوب تولید شده توسط جوی کناری و سطح هر جاده که به داخل آبراهه‌ها وارد می‌شود.

CS : رسوب تولید شده توسط دامنه خاک‌برداری هر قطعه از جاده که به داخل آبراهه‌ها وارد می‌شود.

Ag : فاکتور سن جاده (بدون واحد) که میزان رسوب کل را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

برای محاسبه RS از رابطه (۶) استفاده می‌گردد:

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

برای محاسبه CS از رابطه (۷) استفاده می‌گردد:

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

که در آن:

G : فاکتور زمین‌شناسی

S_f : فاکتور سطح جاده

T : فاکتور ترافیک

L : طول بخش مورد نظر بر حسب متر

W : عرض و سطح کناره‌ی 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 خاک‌برداری

H : ارتفاع خاک‌برداری بر حسب متر

R : متوسط بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر

۳. یافته‌های پژوهش

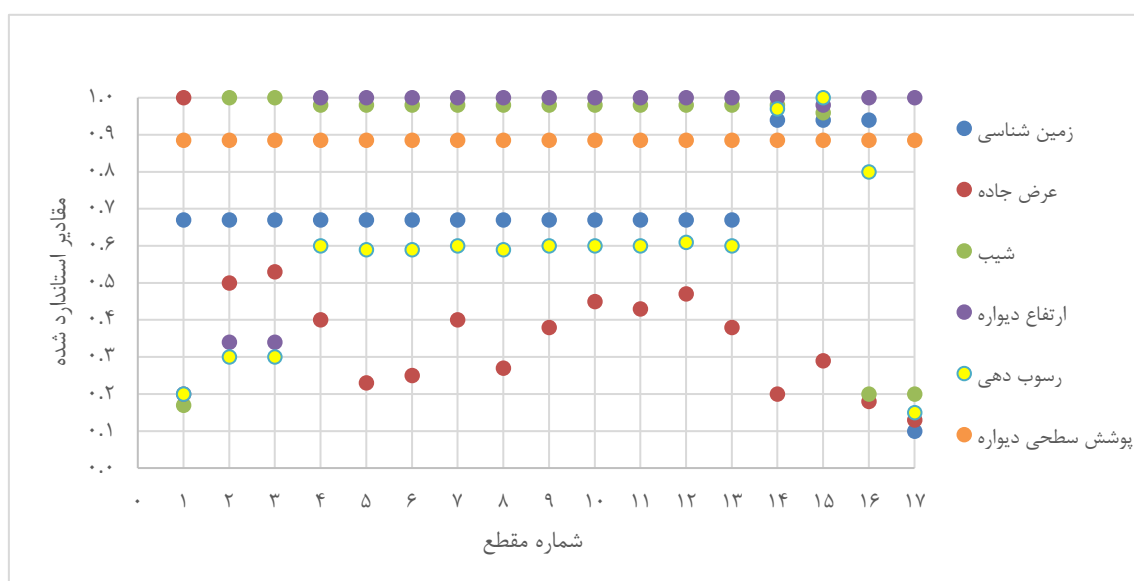
با اندازه‌گیری مستقیم فرسایش، کل رسوبات به‌جامانده در طول مسیر برابر با $۱۷۲۵۹/۳۷$ تن در سال ($۵۹/۳۱$ تن بر هکتار) به دست آمد که $۱۰۳۱۲/۳۹$ تن در سال ($۳۵/۴۴$ تن بر هکتار) مربوط به حرکت توده ای دیواره خاک‌برداری و $۶۹۳۰/۳۵$ تن در سال ($۲۳/۸۷$ تن بر هکتار) مربوط به واریزه‌ها در طول مسیر جاده و $۱۶/۵$ تن در سال مربوط به شیارها در دیواره خاک‌برداری و خاکریزی می‌باشد.

۳-۱. میزان رسوب جاده آسفالتی

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 (حسینی و همکاران، ۲۰۱۳).

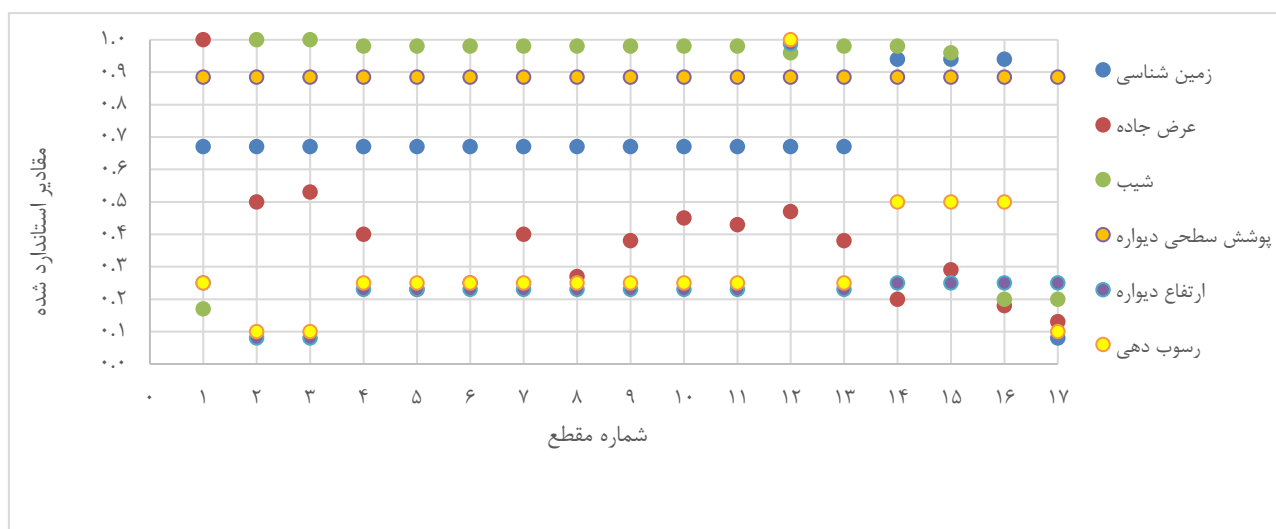
جدول ۱. برآورد مقدار کل، میانگین ضریب اطمینان در هر دیواره جاده آسفالتی

رسوب	کل رسوب (ton/year)	رسوب ویژه (ton/ha.year)	میانگین رسوب قطعه (ton/year)	خطای استاندارد برآورد کل (ton/year)
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 و شیب، میزان رسوبدهی نیز بالا می‌باشد. در مقطع شماره ۱۷ با توجه به پایین بودن امتیاز شیب و زمین‌شناسی، کمترین رسوبدهی وجود دارد پس 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 (گراس^۱، ۲۰۰۲).



شکل ۵. حساسیت مدل WARSEM به عوامل متغیر اندازه‌گیری شده در دیواره خاک‌ریزی

با توجه به شکل (۵) مشخص می‌شود که ارتفاع دیواره خاک‌ریزی رابطه مستقیمی با رسوبدهی دارد. به‌طوری‌که در مقاطعی که ارتفاع دیواره بالاترین امتیاز را دارد بیشترین مقدار رسوب تولیدی مشاهده می‌شود و بالعکس. در شماره مقطع‌های ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ عامل زمین‌شناسی به همراه ارتفاع دیواره بیشترین تأثیر را در رسوبدهی منطقه دارد.

۲-۳. میزان رسوبدهی جاده خاکی

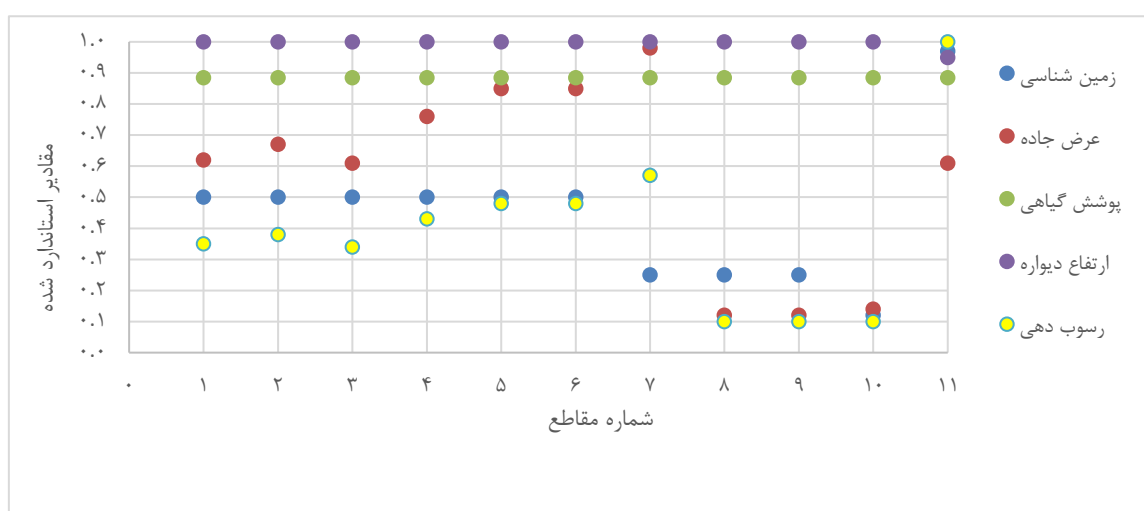
محاسبات WARSEM برای نمونه‌های برداشت‌شده از محل در جدول (۲) ارائه شده است. رسوب کل سالانه تولیدشده از ۹ کیلومتر جاده خاکی مورد مطالعه، ۱۴ تن است. خطای استاندارد و سطح اطمینان، مقدار رسوب تولیدشده از حداقل ۲ تا حداکثر ۳ تن در سال برآورد می‌شود که خاکی از خطایی در حدود ۲۰ درصد است. اگر مقدار تولید رسوب 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 آسفalte حوضه وردآورد با همین مدل میزان تولید رسوب حدود ۷ تن بر تن در سال به دست آمد (ایبات^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). افزایش رسوبدهی جاده خاکی نسبت به جاده آسفalte 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.

¹ Grace

² Abayat

جدول ۲. برآورد مقدار کل، میانگین ضریب اطمینان در هر دیواره جاده خاکی

رسوب	کل رسوب (ton/year)	رسوب ویژه (ton/ha.year)	میانگین رسوب قطعه (ton/year)	خطای استاندارد برآورد کل (ton/year)
سطح و شانه جاده	۲۱۳۴/۱۶	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

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در دیواره خاکبرداری و خاکریزی با برابر 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 به‌طوری‌که طبق تحقیقی مقدار رسوب تولیدی در جاده‌ای با ترافیک زیاد برابر با ۵/۷ تن در کیلومترمربع و در جاده‌ای با فشار ترافیکی کم برابر ۳/۹ تن در کیلومتر برآورد شد (فورسیت و همکاران، ۲۰۰۶)؛ بنابراین در قسمت‌هایی از جاده که عرض زیاد بود تولید رسوب هم بیشتر بود. در ترکیه 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 گرفت 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 شد (آکای^۱ و همکاران، ۲۰۰۸). در صورت ثابت بودن زمین‌شناسی، بارندگی، ترافیک و فاکتور سطح جاده، مشاهده شد که فاکتور شیب به میزان زیادی بر روی میزان رسوب تولیدی بسیار مؤثر می‌باشد (حسینی و همکاران، ۲۰۱۳).

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

¹ Akay

آب و خاک برابر با ۵ تن در هکتار در سال بوده است که بعد از احداث جاده کل رسوب برآوردی توسط مدل از جاده هشتگرد طالقان (جاده آسفالت+ خاکی) برابر با ۱۱۱/۲۵ تن در سال در هکتار 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 (دوب^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). با توجه به این که هیچ‌گونه عامل حفاظتی در عین 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 به‌صورت واریزه از دیواره خاک‌ریزی به سمت زهکش‌ها و آبراهه‌ها تجمع پیدا کرده‌اند و توسط رواناب به مناطق پایین‌دست انتقال می‌یابند. علاوه بر این حرکات توده‌ای شکل که چه به‌صورت ریزش سنگ و یا لغزش در قسمت‌های مختلف جاده کاملاً مشهود است و علت این امر هم دیواره خاک‌برداری در طول مسیر در اغلب جاها 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 (ابیات^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). در این تحقیق نیز مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار در تولید رسوب برای جاده آسفالت عبارت‌اند از: زمین‌شناسی، شیب، پوشش گیاهی، ارتفاع دیواره خاک‌ریزی و برای جاده خاکی عرض جاده می‌باشد. در مورد عوامل اقلیمی هم می‌توان عنوان کرد که نوع بارش و شدت آن بر میزان رسوب‌دهی منطقه تأثیر دارد به‌طوری‌که بارش منطقه ۵۰۰ میلی‌متر در سال و در ارتفاعات بالا تا ۸۰۰ میلی‌متر هم می‌رسد و برف‌های باریده شده تا اردیبهشت‌ماه هم در ارتفاعات بالا هم دیده می‌شوند. فاکتور مؤثر بر تعیین فرسایش در حوضه آبخیز زرگه عوامل اقلیمی می‌باشد (صفامنش^۳ و همکاران، ۲۰۰۶). رواناب به‌عنوان یک فاکتور مستقل در مدل‌سازی فرسایش رگبار نقش داشته و غلظت رسوب با توان رواناب افزایش می‌یابد (باقرلو^۴ و همکاران، ۲۰۱۱). ارزیابی و اندازه‌گیری رسوب حاصل از جاده‌های شن‌ریزی نشده در ایسلند نشان داد جاده‌سازی سبب افزایش میزان تولید رسوب در مناطق کوهستانی به میزان ۴ برابر می‌شود (راموس-شارون و مکدونالد^۵، ۲۰۰۷). بررسی هدر رفت خاک و رواناب در بخش‌های مختلف جاده جنگلی با استفاده از شبیه‌ساز باران نشان داد که بخش‌های شیروانی خاک‌برداری و سطح جاده به ترتیب مهم‌ترین منابع تولید رسوب و رواناب می‌باشد (پارساخو، ۲۰۱۱).

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 مقطع شماره ۷ بیشترین رسوب به دلیل بالا بودن ارتفاع دیواره خاک‌برداری و کم‌ترین رسوب مربوط به مقطع‌های ۱ و ۲ می‌باشد که دلیل آن 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 (پارساخو^۶ و همکاران، ۲۰۰۹؛ آکای^۷ و همکاران، ۲۰۰۸؛ منا^۸ و همکاران، ۲۰۰۸). از این‌رو با توجه به نتایج این تحقیق و سایر تحقیقات مشابه، لازم است در نواحی بالادست جاده‌ها که به دلیل نزدیک بودن به آبراهه و داشتن شاخص انتقال رسوب، از جمله نقاط حساس به فرسایش محسوب می‌شوند، اقدامات کنترلی به‌منظور کاهش فرسایش در واحد سطح جاده صورت گیرد.

¹ Dube

² Abayat

³ Safamanesh

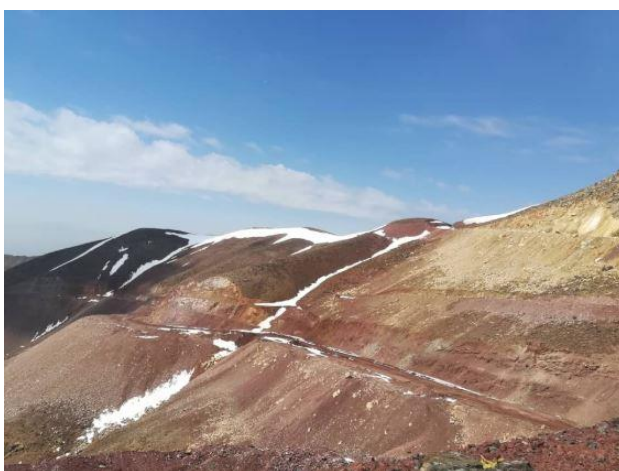
⁴ Bagarello

⁵ Ramos-Scharrón and MacDonald

⁶ Parsakhoo

⁷ Akay

⁸ Mena



شکل ۷. نمونه‌هایی از تصاویر منطقه مورد مطالعه

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.

References

- Abayat, S. Arab Khodri, M. and Ahmadi A. (2014). Estimation of road sediment production by combining statistical sampling methods with WARSEM model.
- 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.
- 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.*

- 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.
- Cole, D. N., and Landres, P. B. (1996). *Threats to wilderness ecosystems: impacts and research needs*. Ecological applications, 6(1), 168-184.
- Dube, K., Megahan, W. and McCalmon, M., (2004). *Washington road surface erosion model*. State of Washington Department of Natural Resources.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Grace, J., (2002). *Control of sediment export from the forest road prism*. Transactions of the ASAE 45, 1127-1132.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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).
- 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.
- Parsakhoo, A. (2011). *Investigating the amount of soil wastage 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.
- 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.
- Orndorff, A., Hochmuth, G., and Ogram, A. (2017). *Evaluating the Effects of Sedimentation from Forest Roads: A Review*. University of Florida.
- 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.
- Rijsdijk, 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.

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

