



تعیین سهم جاده‌ها در تولید رسوب حوزه آبخیز با استفاده از مدل تحویل رسوب و GIS

ذکریا اسداللهی^۱ علی نیازی^۲ صالح یوسفی^۳ زهرا اسداللهی^۴ مجید محمدی^{۵*}

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور،
 - ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد
 - ۳- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس
 - ۴- دانشجوی دکتری محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
 - ۵- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور
- Email: Mohammady_wme@yahoo.com

چکیده

در جریان احداث شبکه‌های جاده، سطح وسیعی از عرصه جنگل‌ها و مراتع در طول و حاشیه مسیر آن تخریب می‌شود. در نتیجه این فرآیند حجم بسیاری زیادی خاک و سنگ از محل خود جا به جا و بر روی اراضی مجاور ریخته شده که موجب مضاعف شدن شدت تخریب محیط زیست می‌شود. یکی از بزرگترین مشکلات ناشی از جاده‌سازی ایجاد و افزایش اشکال مختلف فرسایش در اطراف جاده و رسوب‌زایی در اثر از بین بردن پوشش گیاهی، افزایش سرعت رواناب و ناپایدار کردن شیب دامنه است. در این تحقیق، رسوب ناشی از شبکه جاده‌های موجود در کاربری-های متفاوت حوزه آبخیز کجور با استفاده از مدل تحویل رسوب و در محیط GIS تخمین زده شد. نتایج نشان داد که فرسایش تولیدی از این شبکه جاده بدون در نظر گرفتن میزان تحویل رسوب در حدود ۱۱۶۸۲/۲۳ تن در سال می‌باشد. با در نظر گرفتن میزان تحویل رسوب، رسوبدهی از شبکه جاده‌ها به طور میانگین در حدود ۵۸۹/۵ تن در سال به تفکیک ۴۲۳/۰۷ تن برابر ۷۱/۸ درصد مربوط به سطح جاده و آبروهای کنار جاده و ۱۶۵/۹۸ تن برابر ۲۸/۱۷ درصد مربوط به ترانشه خاک‌برداری تخمین زده شد. با در نظر گرفتن رسوب خروجی سالانه در حدود ۱۰۵۶۰ تن رسوب نقش شبکه جاده‌ها را می‌توان در حدود ۵/۵۷ درصد رسوب خروجی حوضه دانست در حالی که این جاده‌ها تنها ۰/۳۱ درصد از سطح حوضه را شامل می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز کجور، سامانه اطلاعات مکانی، شبکه جاده، رسوبدهی، مدل تحویل رسوب

Determination of roads quota in watershed sediment yield using SEDMODEL and GIS

Zakaria Asadollahi¹, Ali Niazi², Saleh Yosefi³, Zahra Asadollahi⁴ and Majid Mohammady^{5*}

1- Postgraduate of Tarbiat Modares University, Faculty of natural resources and marine science,

2- Postgraduate of Shahrekord University,

3- PhD student of Tarbiat Modares University, Faculty of natural resources and marine science,

4- PhD student of Gorgan University of agricultural and natural resources

5- PhD student of Tarbiat Modares University, Faculty of natural resources and marine science, Mazandaran,

Nour. Email: Mohammady_wme@yahoo.com

Abstract

During the construction of road networks large area of forests and rangelands will be destroyed in the road path and its margins. This process causes massive amount of soil and rock move from its site and on adjacent lands will be accumulated, that causes increasing environmental degradation. One of the most important problems due to forest roads making is increasing of different erosion forms in around of roads, sediment yield resulting of vegetation destroy, soil structure ruin, run off velocity increasing and slope instability. In this research, sediment due to existence roads of different land use was estimated in a part of Kojour (Experimental Forest of Tarbiat Modares University) using of SEDMODEL and GIS. The results show that without considering sediment delivery ratio, erosion in this road network is about 11682.23 ton/year. With attention to sediment delivery ratio based on distance from road, sediment yield from these roads is 423/07 (71/8 %) and 165/98 (28/17 %) ton due to road surface, lateral ditch and cut slope respectively. Meanwhile with attention to sediment output that is 10560 ton, percent of sediment due to road network is about 5/57 %, whereas area of this road is about 0/31 percent of total area

Key words: Kojour watershed, GIS, Road network, Sediment yield, Erosion. SEDMODEL

۱- مقدمه

راه‌های ارتباطی و جاده‌ها به عنوان شاه‌رگ‌های حیاتی یک جامعه محسوب می‌گردند. به طوری که در صورت عدم توسعه و گسترش آن‌ها، حیات و توسعه اقتصادی و اجتماعی جامعه مختل خواهد شد. ولی از طرف دیگر جاده‌سازی به عنوان یکی از عوامل تخریب عرصه‌های منابع طبیعی به‌شمار می‌آید. به گونه‌ای که امروزه این موضوع به عنوان یکی از معضلات اساسی حوضه‌های 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 جا به جا شده که موجب مضاعف شدن شدت تخریب محیط زیست می‌شود و یا به طور مستقیم وارد آبراهه‌ها شده و در نهایت به صورت 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. علاوه بر این جاده‌سازی عاملی در راستای فراهم شدن زمینه برای وقوع سایر رخساره‌های فرسایشی است (William, 1998؛ Cole & Landres, 1996). میزان تخریب محیط زیست و عرصه جنگل‌ها و مراتع در اثر جاده‌سازی بستگی به عوامل گوناگونی از جمله نوع جاده، توپوگرافی منطقه، حساسیت خاک‌ها و سازندهای زمین شناسی مسیر جاده دارد. در سال‌های اخیر فعالیت‌های ساخت و ساز و تعمیر و نگهداری جاده‌های جنگلی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته، زیرا احداث جاده‌ها افزایش نگرانی‌ها در مورد تأثیرات کوتاه مدت و بلند مدت بر محیط زیست و تخریب را به دنبال دارد (William, 1998). جاده‌سازی‌های غیر اصولی با از بین بردن نظم طبیعت و فروپاشی چرخه حیات کوهستان و حجم زیاد خاک‌برداری، نابودی زیستگاه‌های جانوری و گیاهی، کاهش ارزش‌های زیباشناسی و آسیب دیدگی مناطق حساس را به دنبال دارد. یکی از بزرگترین مشکلات ناشی از جاده‌سازی در جنگل‌ها و عرصه‌های طبیعی ایجاد و افزایش اشکال مختلف فرسایش از قبیل فرسایش آب‌کندی و توده‌ای در اطراف جاده‌ها می‌باشد. علت اصلی این فرآیند از بین بردن پوشش گیاهی، تخریب ساختمان خاک، افزایش سرعت رواناب و ناپایدار کردن شیب دامنه می‌باشد (Megahan, 1974؛ Carl & Grace, 2002؛ Li & Li, 2006). از این رو در طراحی شبکه جاده نه تنها میزان هزینه‌ها بلکه مدیریت صحیح آب و خاک نیز باید منظور گردد. نتایج تحقیقات نشان داده است که در عرصه‌های طبیعی جنگلی جاده‌های جنگلی موجود در آن حجم بالایی از رسوبات را تولید می‌کنند (Binkley & Brown, 1993؛ Reid & Dunne, 1984). انتقال رسوب به آبراهه از بخش‌هایی از جاده تأثیرات چشم‌گیری بر کیفیت آب و موجودات زنده دارد (Akay et al., 2008). از جمله مطالعاتی که در زمینه رسوب ناشی از جاده‌ها صورت گرفته می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

بیلی و همکاران (۱۹۸۹) به مطالعه و بررسی تولید رسوب در سطح جاده‌های جنگلی و روند تغییرات آن پرداختند. مک دونالد و همکاران (۲۰۰۱) به مطالعه رواناب و فرسایش جاده در ایسلند پرداخته و به این نتیجه رسیدند که میزان تولید رسوب در پلات‌های سطح جاده تابع میزان و شدت بارندگی و همچنین میزان رواناب تولید شده بود. رپ و همکاران (۲۰۰۱) اثر چوب‌کشی بر پوشش گیاهی و سطح آب زیرزمینی در امریکا را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که میزان تولید رسوب در مناطق بهره‌برداری شده نسبت به مناطق شاهد اختلاف معنی‌داری دارد به طوری که این میزان بیش‌تر از مناطق کنترل می‌باشد و این میزان در مناطق کنترلی ۱ سانتی‌متر در سال و در مناطق برداشت ۲ سانتی‌متر در سال می‌باشد. حتی در مناطق نزدیک رودخانه تا ۴ سانتی‌متر در سال نیز مشاهده شده است.

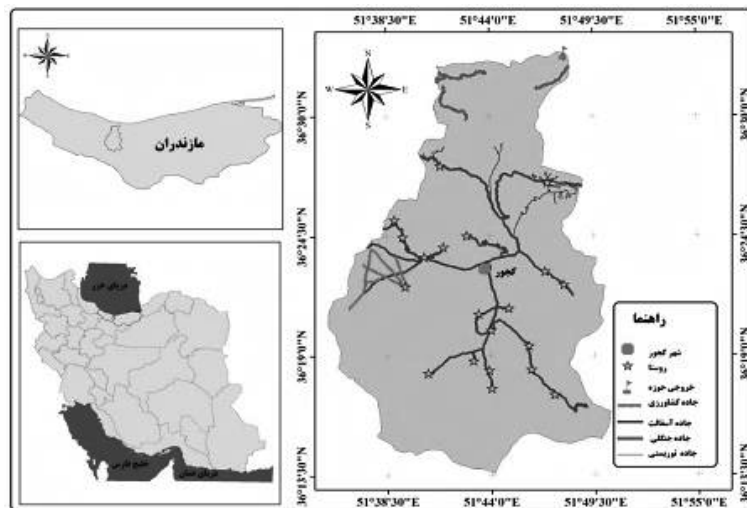
راموس-اسکاروم و مک دونالد (۲۰۰۵) به ارزیابی و اندازه‌گیری رسوب حاصل از جاده‌های شن‌ریزی نشده در ایسلند پرداخته و بیان نمودند جاده‌ها قادر به افزایش میزان تولید رسوب در مناطق کوهستانی به میزان ۴ برابر مناطق

کنترل است. آکی و همکاران (۲۰۰۸) در ترکیه تخمین رسوبدهی شبکه جاده جنگلی به شبکه آبراهه با استفاده از روش SEDMODEL و سامانه اطلاعات مکانی^۱ در دو نوع جاده با سطوح آسفالت و گراول را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به اینکه حوزه‌های آبخیز در شمال کشور دارای اهمیت ویژه‌ای از نظر اقتصادی و تجاری هستند، تهیه اطلاعاتی در رابطه با مقدار تاثیر جاده‌ها در رسوبدهی خروجی آن‌ها و همچنین مدیریت اصولی تر این جاده‌ها ضروری می‌باشد. عدم مدیریت اصولی تهدیدی جدی برای اکوسیستم جنگل و حوزه آبخیز است. بنابراین شناخت تاثیر جاده بر مقدار و کیفیت تولید رسوب می‌تواند کمک بزرگی جهت مدیریت و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها باشد. بنابراین در مطالعه حاضر از مدل تحویل رسوب جاده (SEDMODL) و GIS برای تخمین رسوبدهی متوسط سالانه ناشی از شبکه‌های جاده در کاربری‌های مختلف حوزه آبخیز و همچنین شناسایی بخش‌های تولیدکننده بالای رسوب استفاده گردید. این روش بر پایه روابط تجربی بین فاکتورهای فرسایش شامل نوع استفاده از جاده، مواد مادری منطقه به کار گرفته شده در احداث جاده، وضعیت سطح جاده، شیب طولی جاده، پوشش گیاهی ترانشه خاک‌برداری و میزان فاصله از آبراهه استوار است (Akay et al., 2008).

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شبکه جاده‌ای مورد مطالعه، جاده‌های موجود در حوزه آبخیز کجور (حوزه آبخیز آموزشی- پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس) به طول ۱۷۳/۶ کیلومتر در جنوب شرقی شهرستان نوشهر است (شکل ۱). حوزه آبخیز کجور یکی از حوضه‌های شماره ۴۶ البرز مرکزی و مجهز به امکانات فلوم و لیمنوگراف اندازه‌گیری دبی آب است. همچنین نمونه‌برداری از رسوب خروجی حوضه مذکور جهت برآورد میزان دقیق رسوب خروجی سالانه به صورت روزانه انجام می‌پذیرد. این منطقه در بین طول‌های جغرافیایی ۲۰°۳۵' ۵۱° تا ۳۰°۵۱' ۵۱° شرقی و عرض‌های ۳۰°۱۳' ۳۶° تا ۵۰°۳۲' ۳۶° شمالی واقع شده است.



شکل ۱- موقعیت شبکه جاده‌های مورد مطالعه در حوزه آبخیز کجور، استان مازندران و کشور

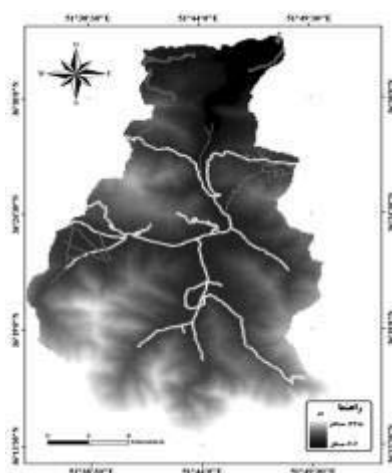
^۱ .Geographic Information System

۲-۲- تهیه و پردازش نقشه‌ها

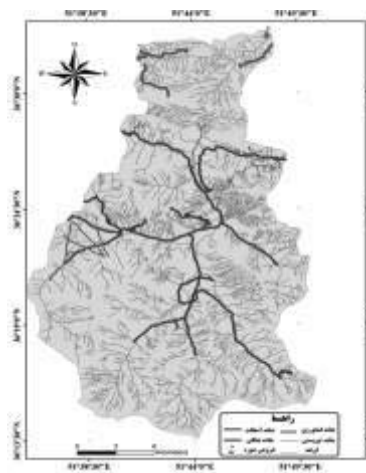
نقشه‌های مورد نیاز شامل زمین‌شناسی، جاده، شیب، بارندگی، کاربری اراضی و شبکه آبراهه از سازمان‌های مربوطه تهیه، اصلاح و در محیط نرم افزار Arc GIS 10 رقومی گردید. مرحله بعد بازدید میدانی انجام شده و فاکتورهای جنس سطح جاده، ترافیک، میزان تحویل رسوب و ارتفاع ترانشه خاک‌برداری مورد بررسی قرار گرفت. جاده‌ها بر اساس هر یک از لایه‌های تهیه شده و روی هم‌گذاری آن‌ها تهیه سپس با توجه به استاندارد مدل مورد استفاده وزن-دهی و تعیین پتانسیل رسوب‌دهی انجام شد. لایه اطلاعاتی آبراهه‌ها از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ استخراج و با نقشه شبکه آبراهه تهیه شده توسط Arc Hydro Extension در Arc GIS 10 مورد مقایسه قرار گرفت و خطاهای احتمالی رفع گردید، به‌صورتی که در بازدید میدانی حداکثر انطباق با شرایط محیطی کسب شد (شکل ۲). همچنین نقشه شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاع^۱ (DEM) ۱۰ متر (شکل ۳) و نقشه زمین‌شناسی از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ شیت‌های بلده و نوشهر استخراج گردید (شکل ۴). اطلاعات جاده‌ها نیز برای حداکثر دقت توسط بازدید میدانی با دستگاه GPS^۲ برداشت و لایه رقومی آن در نرم افزار Arc GIS 10 تهیه گردید (شکل ۵). جاده‌های موجود بر اساس نوع جاده و کاربری به ۴ نوع آسفالت، جنگلی، کشاورزی و توریستی تقسیم و با کلاس‌های ۱ تا ۴ نمایش داده شده‌اند. برای تهیه نقشه بارش متوسط سالانه، ابتدا رابطه گرادیان بارش با برقراری ارتباط بین ارتفاع و بارش میانگین سالانه ۳ ایستگاه نور، نوشهر و بلده محاسبه گردید. سپس با استفاده از نقشه DEM و اعمال آن در رابطه (۱) نقشه هم‌باران میانگین سالانه حوزه استخراج گردید (شکل ۶).

$$Y = -0.238 X + 8.928 \quad R^2 = -0.72 \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه X ارتفاع و Y میزان بارش محاسبه شده است. اشکال ۷ و ۸ نیز نمایی از جاده‌های موجود در حوزه را نشان می‌دهند.



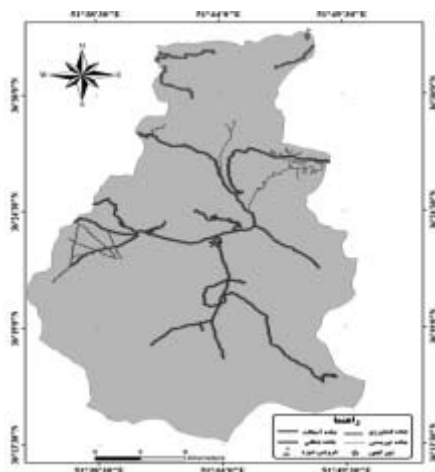
شکل ۳- نقشه DEM



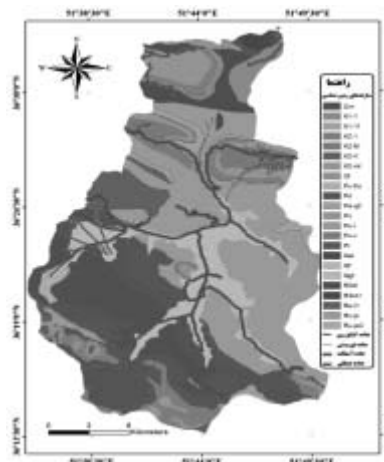
شکل ۴- نقشه شبکه آبراهه

^۱. Digital Elevation Model (DEM)

^۲. Global Positioning System



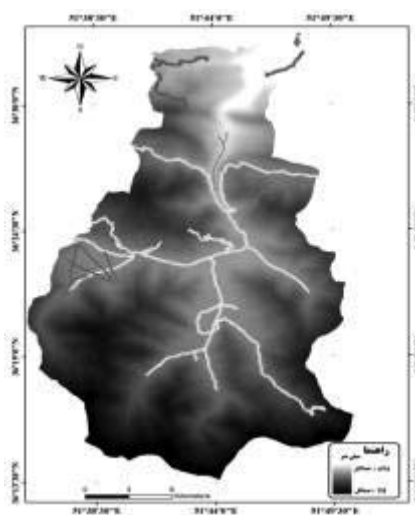
شکل ۵- نقشه شبکه جاده‌ها



شکل ۴- نقشه زمین شناسی منطقه



شکل ۷- نمایی از اشکال فرسایشی ناشی از جاده



شکل ۶- نقشه بارش متوسط سالانه منطقه



شکل ۸- نمایی از فاصله جاده تا آبراهه اصلی در حوزه آبخیز کجور

۳-۲ روش کار

رسوبدهی از یک جاده به طور معمول تحت تاثیر سه نوع جریان آب در سطح جاده، ترانسه خاک برداری و آبراهه- های کنار جاده می‌باشد. در واقع مدل مورد استفاده در این تحقیق (SEDMODEL) بر پایه این سه فاکتور بنا شده

است. بنابراین مجموع رسوب‌دهی به تن در سال از هر بخش جاده بر پایه رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Akay *et al.*, 2005).

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

در رابطه بالا TS رسوب‌دهی ناشی از سطح جاده و آبراهه‌های کنار جاده، CS رسوب‌دهی ناشی از ترانشه خاک‌برداری و A_f فاکتور سن جاده است. بر اساس رابطه (۳)، TS نیز متأثر از عوامل طول جاده (L_r)، عرض جاده (W)، میزان فرسایش زمین‌شناسی (GE_r)، جنس سطح جاده (S_f)، ترافیک (T_f)، شیب جاده (G_f)، بارندگی (P_f) و فاکتور تحویل رسوب (D_f) می‌باشد.

$$\text{TS} = L_r * W_r * GE_r * S_f * T_f * G_f * P_f * D_f \quad \text{رابطه (۳)}$$

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

$$\text{CS} = GE_r * CS_f * CS_h * L_r * D_f \quad \text{رابطه (۴)}$$

رسوب‌دهی جاده در طول یک یا دو سال ابتدایی ساخت تا زمانی که ترانشه خاک‌برداری و پشته خاک‌ریزی به درستی توسط پوشش گیاهی تثبیت گردد، حداکثر مقدار را داراست. در SEDMODL اثر فاکتور سن جاده (A_f)، در سال اول ساخت ضریب ۱۰ و از دو سال بیشتر ضریب ۲ به خود می‌گیرد (Akay *et al.*, 2008). ارزش مقادیر برای سایر فاکتورهای فرسایش از جداول عرضه شده مدل که بر اساس تحقیقات پیشین محاسبه شده‌اند، کسب گردید.

۲-۳-۱ فاکتور میزان فرسایش زمین‌شناسی (GE_r)

پتانسیل رسوب‌دهی از یک بخش جاده وابستگی بالایی به خصوصیات خاک و زمین‌شناسی دارد (Luce & Black, 1999). میزان فرسایش برای سازندهای متفاوت با استفاده از جدول ۱ و بر اساس استاندارد مدل مورد استفاده، مشخص گردید (Akay & Sessions, 2005; Reid & Dunne, 1984; Bilby *et al.*, 1989).

جدول ۱- میزان فرسایش زمین‌شناسی بر اساس سنگ‌شناسی و سن سازند (تن/هکتار/سال)

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

بر اساس نقشه سازندهای زمین شناسی، وضعیت کلاسهای جادههای حوزه آبخیز از نظر خصوصیات زمین شناسی بررسی شد که نتایج حاصله از سازندهای مورد بررسی در شبکه جاده جنگلی به عنوان نمونه در جدول ۲ ارائه گردیده است. ضریب فرسایش در این جدول بر حسب تن در هکتار در سال است.

جدول ۲- خصوصیات شبکه جاده جنگلی منطقه از نظر زمین شناسی

کلاس جاده	سازند	خصوصیات	سن جاده دوره	ضریب فرسایش
	R ₂ ^{dl}	سنگ آهک ضخیم- سنگ دولومیتی (معادل سازند الیکا)	مزوزوئیک	۳۷
	Qa ₁	آبرفت های رودخانه ای عهد حاضر	سنوزوئیک	۱۴۸
۳	K ₁ ¹	سنگ آهک آریبتولین دار- شیل آهکی- سازند تیز کوه	مزوزوئیک	۳۷
	K ₁ ¹	سنگ آهک آریبتولین دار- شیل آهکی- سازند تیز کوه	مزوزوئیک	۳۷
۳	K ₂ ^{ml}	سنگ آهک- مارن- مارن سیلت دار	مزوزوئیک	۳۷
	R ₂ ^{dl}	سنگ آهک ضخیم- سنگ دولومیتی (معادل سازند الیکا)	مزوزوئیک	۳۷
۳	K ₂ ¹	سنگ آهک رس مانده، سنگ آهک مارنی، سنگ آهک بستری ضخیم	مزوزوئیک	۳۷
	K ₂ ^{ml}	سنگ آهک- مارن- مارن سیلت دار	مزوزوئیک	۳۷
۳	K ₂ ^{ml}	سنگ آهک- مارن- مارن سیلت دار	مزوزوئیک	۳۷
	R ₂ ^{dl}	سنگ آهک ضخیم- سنگ دولومیتی (معادل سازند الیکا)	مزوزوئیک	۳۷

۲-۳-۲ فاکتور جنس سطح جاده (Sf)

کیفیت مواد مادری سطح جاده تاثیر مستقیمی بر میزان رسوبدهی دارد. در مدل مورد استفاده میزان فرسایش سطح جاده برای کلاسهای مختلف در جدول ۳ ارائه شده است (Foltz & Burrough, 1990; Swift, 1984).

جدول ۳- میزان فرسایش جنس سطح برای جادههای مختلف

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

۲-۳-۳ فاکتور ترافیک (Tf)

رسوب‌دهی از سطح جاده به نوع استفاده از آن و وضعیت ترافیک نیز وابسته است. بیلبی و همکاران (۱۹۸۹) و رویید و دیون (۱۹۸۴) در تحقیق خود فاکتور ترافیک را از عوامل موثر در تولید رسوب معرفی نمودند. میزان فرسایش فاکتور ترافیک در جدول ۴ برای کلاس‌های متفاوت جاده ارائه شده است.

جدول ۴- میزان فرسایش فاکتور ترافیک جاده برای کلاس‌های مختلف

میزان فرسایش	توضیحات	کلاس جاده
۱۲۰	بزرگ راه اصلی	بزرگ راه
۱۲۰	تحت استفاده زیاد در طول سال با ماشین‌های سنگین- مسیرهای ارتباطی اصلی	جاده‌های اصلی
۵۰	جاده‌های عریض در مناطق مسکونی پر تراکم	جاده‌های شهری
۱۰	جاده‌های با ترافیک زیاد تا متوسط در سال که بخش‌های مهم حوزه را به هم وصل می‌کند	جاده‌های اولیه
۲	جاده‌های با ترافیک سبک در سال که گاهی به‌عنوان مسیرهای چوب‌کشی و تفرج‌گاهی با ماشین‌های سبک استفاده می‌شوند.	جاده‌های ثانویه
۱	جاده‌های فرعی جهت دسترسی سریعتر به یک واحد	جاده فرعی
۰/۱	جاده‌هایی که توسط خاکریزی ماشین‌های سنگین مسدود شده و مدت زیادی استفاده نمی‌شود	جاده‌های رها شده

۲-۳-۴ فاکتور شیب جاده (Gf)

نقشه شیب منطقه با استفاده از DEM و در محیط Arc GIS 10 تهیه و ضریب میزان فرسایش شیب جاده به - ترتیب ۰/۲، ۱ و ۲/۵ به سه کلاس شیب کمتر از ۵، ۵ تا ۱۰ و بیشتر از ۱۰ درصد اختصاص یافت (Kramer, 2001).

۲-۳-۵ فاکتور بارندگی (Pf)

میزان پتانسیل رسوب‌دهی از هر بخش جاده با میانگین بارش سالانه مرتبط است. با توجه به مدل مورد استفاده، فاکتور بارش بر پایه میانگین بارش سالانه در حوضه طبق رابطه (۵) محاسبه می‌شود (WFPB, 1997). در رابطه مزبور P_{avr} متوسط بارش سالانه است.

$$P_f = (P_{avr}/1542)^{0.8}$$

رابطه (۵)

۲-۳-۶ فاکتور تحویل رسوب (Df)

پیش‌بینی‌ترین بخش پیش‌بینی مدل تخمین درصد رسوب‌دهی از یک بخش جاده به آبراهه است (WFPB, 1997). قسمت‌هایی از جاده که در فاصله بیشتری از آبراهه‌ها قرار دارند معمولاً درصد کمی از رسوب تولیدی را به آبراهه‌ها وارد می‌کنند. اگرچه بخش زیادی از رسوب تولیدی در جاده‌های جنگلی به واسطه پوشش بالا کنترل و به آبراهه‌ها نمی‌رسد (Ouyang & Bartholic, 1997). در این مدل میزان تحویل رسوب برای هر بخش از جاده بر پایه فاصله نقطه میانی جاده از نزدیک‌ترین آبراهه اندازه‌گیری می‌شود (WDNR, 1995). بر اساس راهنمای مدل (Akay et al., 2008) برای بخش‌هایی از جاده که رسوب‌دهی مستقیم به آبراهه دارند و آن را قطع می‌کنند، میزان تحویل رسوب ۱۰۰ درصد، بخش‌هایی از جاده که در فاصله ۳۰ و ۶۰ متر هستند، میزان تحویل رسوب ۳۵ و ۱۰ درصد و فاصله بیش از ۶۰ متر به دلیل فیلتر شدن رسوبات توسط پوشش گیاهی میزان تحویل رسوب صفر محاسبه می‌گردد.

۲-۳-۷ فاکتور پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده (CSf)

این فاکتور به عنوان درصدی از پوشش سنگ یا گیاه تخریب نشده و یا ترمیم شده سطح جاده، ترانسه خاک‌برداری و ترانسه خاک‌ریزی تعریف می‌شود (WDNR, 1995). جدول ۵ میزان فاکتور پوشش گیاهی ارائه شده بر اساس درصد پوشش گیاهی و سنگ مناطق اطراف جاده را بیان می‌کند (Akay et al., 2008).

۲-۳-۸ فاکتور ارتفاع ترانسه خاک‌برداری (CSh)

با بالا رفتن ارتفاع ترانشه خاک برداری میزان رسوبدهی از این مناطق از طریق خزش و شستشوی ورقه‌ای خاک به درون کانال‌های آبراهه کناری افزایش می‌یابد (WDNR, 1995). اندازه‌گیری این فاکتور امری بسیار مشکل بوده و برای این کار می‌توان از نقشه شیب که در کلاس‌های متفاوت طبقه‌بندی شده است، استفاده نمود. نقشه شیب به ۴ کلاس ۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۶۰ و بیشتر از ۶۰ درصد طبقه‌بندی و میزان فرسایش برای هر کدام از کلاس‌ها به ترتیب ۰/۷۵، ۱/۵، ۳ و ۷/۵ متر به ترتیب اختصاص داده شد (Ouyang & Bartholic, 1997; Akay et al., 2008).

۳- نتایج

همانطور که بیان شد خصوصیات جاده‌های منطقه بررسی شده و بر اساس استاندارد مدل مورد استفاده، ضریب مربوط به هر فاکتور محاسبه گردید. در نهایت بر اساس روابط ۱ تا ۳ میزان نهایی فرسایش و همچنین رسوب رسیده به آبراهه تخمین زده شد. در ادامه مقادیر محاسبه شده برای فاکتورهای مورد نظر ارائه شده است. در جدول ۶ خصوصیات جاده‌های منطقه از نظر وضعیت ترافیک، جنس سطح جاده، شیب و همچنین وضعیت تولید رسوب نشان داده شده است. جنس سطح جاده در کلاس‌های مختلف شامل آسفالت، دارای پستی و بلندی، سطح طبیعی و در شبکه جاده توریستی شامل هر سه نوع آسفالت-طبیعی و دارای پستی و بلندی بوده و عامل ترافیک نیز در شبکه جاده‌های حوزه با مشاهده وضعیت رفت و آمد وسایل نقلیه در ایام متفاوت سال مورد نظر قرار گرفت و ضرایب مورد نظر اختصاص یافت. همچنین با توجه به نتایج میانگین شیب (جدول ۶) در کلاس‌های متفاوت جاده می‌توان گفت با افزایش میزان شیب رسوب‌زایی نیز افزایش می‌یابد. پس از تعیین نقشه رستری فاکتور بارش حداقل و حداکثر این فاکتور ۰/۴۳ و ۰/۶۳ محاسبه شد. در مرحله بعد میزان تحویل رسوب بر اساس فاصله جاده تا آبراهه تخمین زده شد. جدول ۷ نتایج کسب شده برای میزان تحویل رسوب در ۴ کلاس جاده مورد بررسی را نشان می‌دهد. از جدول ۷ می‌توان نتیجه گرفت که از ۱۷۳/۶ کیلومتر حدود ۶۵ درصد جاده‌های موجود در فاصله بیشتر از ۶۰ متری آبراهه‌ها قرار دارند و میزان تحویل رسوب آن‌ها صفر و فاقد رسوبدهی و ۳۵ درصد از جاده‌ها در رسوب خروجی از حوزه نقش دارند.

بر پایه بازدیدهای میدانی درصد تخریب پوشش گیاهی و سنگی اطراف جاده‌های موجود در آبخیز کجور بین ۲۰ تا ۸۰ درصد تخمین زده شد. میزان فرسایش فاکتور پوشش گیاهی و سنگی (CSf) در شبکه جاده آسفالتی بین ۰/۲۵-۰/۷۷، شبکه جاده کشاورزی ۰/۳۷۴، شبکه جاده جنگلی بین ۰/۲۰-۰/۷۷ و شبکه جاده توریستی بین ۰/۲۵۴-۰/۳۷۴ مورد محاسبه قرار گرفت. برای بررسی فاکتور ارتفاع ترانشه نیز نقشه رستری شیب بر اساس کلاس‌های ارائه شده طبقه‌بندی و ضرایب مورد نظر اعمال گردید. مقادیر این عامل از ۰/۷۵ تا ۳ متر متغیر بود. برای بررسی صحت این عامل با بازدیدهای میدانی حداقل در ۱۰۰ نقطه کارایی بالای این روش تایید گردید. نتایج نهایی نشان داد که فرسایش تولیدی از این شبکه جاده بدون در نظر گرفتن میزان تحویل رسوب در حدود ۱۱۶۸۲/۲۳ تن در سال می‌باشد. با در نظر گرفتن میزان تحویل رسوب بر اساس فاصله از آبراهه، رسوب‌دهی از شبکه جاده‌ها به طور میانگین در حدود ۵۸۹/۵ تن در سال به تفکیک ۴۲۳/۰۷ تن برابر ۷۱/۸ درصد مربوط به سطح جاده و آبروهای کنار جاده و ۱۶۵/۹۸ تن برابر ۲۸/۱۷ درصد مربوط به ترانشه خاک برداری تخمین زده شد. از طرفی با در نظر گرفتن رسوب خروجی ۰/۵ گرم بر لیتر در محل ایستگاه هیدرومتری حوزه آبخیز کجور، سالانه در حدود ۱۰۵۶۰ تن رسوب خارج می‌گردد که نقش شبکه جاده‌ها را می‌توان در حدود ۵/۵۷ درصد رسوب خروجی حوزه دانست در حالی که با توجه به مساحت ۵۰۱۳۰ هکتاری حوزه آبخیز کجور این جاده‌ها تنها ۰/۳۱ درصد از سطح حوضه را شامل می‌شوند.

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

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

جدول ۶- برخی از خصوصیات محاسبه شده جاده‌های موجود در حوزه آبخیز آموزشی - پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس

کلاس	ترافیک ک	جنس سطح جاده	طول (km)	عرض (m)	میانگین ضریب فرسایش در شیب سطح جاده	میانگین ضریب فرسایش در ترانشه خاک برداری	تولید رسوب سطح جاده (تن در سال)	تولید رسوب ترانشه خاک برداری (تن در سال)	تولید رسوب کل (تن در سال)	تولید رسوب کل (کیلوگرم بر متر مربع)
آسفالته	۱۲	آسفالت	۱۰۴/۹۳	۱۱/۶	۱/۵۵	۱/۱۵	۲۷۱۸/۴۸	۴۷۹/۴۳	۶۳۹۵/۸۳	۵/۲
کشاورز	۱	دارای پستی و بلندی	۱۷/۴۶	۴	۱/۱۱	۰/۸۲	۱۵۷/۸۷	۵۴/۱۱	۴۲۳/۹۶	۶/۰۷
جنگلی	۲	طبیعی	۱۶/۱۰	۵/۵	۲	۱/۴۸	۷۵۴/۴۷	۳۳/۷۵	۱۵۷۶/۴۴	۱۷/۶
توریس	۶/۶	آسفالت، گراول، طبیعی	۳۵/۱۳	۵/۵	۱/۹	۱/۳۵	۱۸۵۴	۷۲/۶۴	۳۲۲۲	۱۶/۷

ادامه جدول ۶- برخی از خصوصیات محاسبه شده جاده‌های

کلاس	ترافیک	جنس سطح جاده	طول (km)	عرض (m)	میانگین ضریب فرسایش شیب	رسوبدهی سطح جاده (تن در سال)	رسوبدهی ترانشه خاک برداری (تن در سال)	رسوبدهی کل (تن در سال)	رسوبدهی کل (کیلوگرم بر متر مربع)
آسفالت	۱۲	آسفالت	۱۰۴/۹۳	۱۱/۶	۱/۵۵	۲۲۶/۲۵	۳۹/۲۱	۲۶۵/۴۶	۲/۲
کشاورزی	۱	دارای پستی و بلندی	۱۷/۴۶	۴	۰/۸۲	۴/۳۲	۲/۱۰	۱۲/۸۵	۰/۱۸
جنگلی	۲	طبیعی	۱۶/۱۰	۵/۵	۲	۶۷/۵۹	۲/۷۸	۱۴۰/۷۴	۱/۶
توریستی	۶/۶	آسفالت، گراو ل، طبیعی	۳۵/۱۳	۵/۵	۱/۹	۱۲۵	۷/۵۷	۱۷۰	۰/۹

جدول ۷ - نتایج کسب شده برای میزان تحویل رسوب در قطعات بریده شده جاده بر اساس فاصله از آبراهه

کلاس	طول (km)	تعداد	کمتر از ۱ متر (تحویل ۱۰۰٪)	طول (m)	٪	۱-۳۰ متر (تحویل ۳۵٪)	طول (m)	٪	۳۰-۶۰ متر (تحویل ۱۰٪)	طول (m)	٪	بیشتر از ۶۰ متر (تحویل صفر)	طول (m)	٪
آسفالت	۹۳/۱۰۴	۸۷۲	۱۲۶ قطعه	۷۸۱/۷	۱۵	۲۶۳ قطعه	۱۹۰/۳۹	۳۰	۲۹۱ قطعه	۱۷۸/۳	۳۳	۱۹۲ قطعه	۶۶۲/۹۲	۲۲
کشاورزی	۴۶/۱۷	۶۲	۱۱ قطعه	۴۴/۵	۱۸	۱۳ قطعه	۱۵۴/۸	۲۱	۱۳ قطعه	۱۳۰/۴	۲۱	۲۵ قطعه	۱۴۵/۶۲	۴۰
جنگلی	۱۰/۱۶	۵۴	۸ قطعه	۹۵	۱۵	۱۲ قطعه	۷/۲۴۵۵	۲۲	۱۳ قطعه	۲۸۷/۴	۲۴	۲۱ قطعه	۱۰۶۷۸/۳	۳۹
توریستی	۱۳/۳۵	۱۷۰	۳۱ قطعه	۳۰/۳	۱۸	۴۱ قطعه	۷۱۷/۴	۲۴	۴۰ قطعه	۶۴۸/۵	۲۴	۵۷ قطعه	۲۰۹/۲۹	۳۴

۴- نتیجه‌گیری

نتایج بررسی نشان داد که سن سازندها و وضعیت سنگ‌شناسی موجود در منطقه شامل دو قسمت مزوزوئیک/دگرگونی و سنوزوئیک/رسوبات نرم ریزدانه است. وجود رسوبات نرم آبرفت‌های رودخانه‌ای عهد حاضر و بالا بودن میزان فرسایش آن را می‌توان از دلایل بالا بودن رسوب‌دهی جاده جنگلی دانست. با افزایش میزان شیب رسوب‌زایی نیز افزایش می‌یابد که این تفاوت را می‌توان در ضرایب کسب شده جاده‌های جنگلی و توریستی که در ارتفاعات و دامنه‌های پرشیب احداث می‌گردند با شبکه جاده کشاورزی که در منطقه کم شیب قرار دارد مشاهده نمود. ضرایب به دست آمده برای پوشش‌های مختلف نشان داد کاهش پوشش گیاهی نقش زیادی در افزایش رسوب‌دهی دارد. لوپس و بلک (۱۹۹۹) و آکی و همکاران (۲۰۰۸) نیز نقش کاهش پوشش در افزایش رسوب‌دهی را بسیار موثر بیان کردند. در کلاس جاده جنگلی بالا بودن میزان $0/77$ به واسطه عملیات جاده‌سازی جدید و تخریب بالا ولی در سایر کلاس‌ها مقادیر کمتر از ۲۵ درصد لحاظ گردید. با توجه به رسوب تخمین زده شده برای شبکه جاده‌های حوزه و مقایسه آن با رسوب خروجی حوزه نقش شبکه جاده‌ها را می‌توان در حدود $5/57$ درصد رسوب خروجی حوزه دانست در حالی که با توجه به مساحت 50130 هکتاری حوزه آبخیز کجور این جاده‌ها تنها $0/31$ درصد از سطح حوزه را شامل می‌شوند یعنی می‌توان گفت که با توجه به درصد مساحتی از حوزه آبخیز که این جاده‌ها در بر می‌گیرند مقدار رسوب تولیدی آن‌ها به مراتب بیشتر از سطح حوزه است. این نسبت، اهمیت توجه به رعایت اصول صحیح در جاده‌سازی، طراحی شبکه مناسب مانند حفاظت از دامنه‌های خاک‌برداری مانند استفاده از شبکه‌های توری و بوته‌کاری، حداقل کردن طول جاده‌ها و مدیریت صحیح جاده‌ها برای به حداقل رساندن فرسایش و رسوب در این مناطق را نمایان می‌سازد. یکی از روش‌های مدیریت صحیح مناطق جنگلی بررسی فاکتورهای موثر در حساسیت جاده و اولویت‌بندی مناطق حساس به فرسایش است. بدون شک زمانی که مناطق حساس مشخص باشد امکان بهینه‌سازی مسیرهای احداث جاده و جلوگیری از تحریک منطقه و در نتیجه تخریب‌های زیست‌محیطی مانند افزایش فرسایش فراهم می‌شود.

۵- مراجع

- 1- Akay, A. E., O. Erdas, M. Reis and A. Yuksel, 2008. Estimating sediment yield from a forest road network by using a sediment prediction model and GIS techniques. *Journal of Building and Environment*, No: 43, 687-695.
- 2- Akay, A. E., K. Boston and J. Sessions, 2005. The evaluation of computer-aided road design systems. *International Journal of Forest Engineering*, No: 16, 73-79.
- 3- Akay, A. E and J. Sessions, 2005. Applying the decision support system, TRACER, to forest road design. *Western Journal of Applied Forestry*, No: 3, 184-91.
- 4- Bilby, R. E., K. Sullivan and S. H. Duncan, 1989. The generation and fate of road surface sediment in forested watersheds in southwestern Washington. *Journal of Forest Science*, 35(2): 453-68.
- 5- Binkley, D and T. C. Brown, 1993. Forest practices as nonpoint sources of pollution in North America. *Water Resources Bulletin*, 29(5): 729-40.
- 6- Carl, S. C and C. Li, 2006. Impact of planting grass on terrene roads to avoid soil erosion. *Landscape and Urban Planning*, No: 78, 205-216.
- 7- Cole, D. N and P. B. Landres, 1996. Threats to wilderness ecosystems: impacts and research needs. *Journal of Applied Ecology*, No: 6, 168-84.
- 8- Demir, M and M. Hasdemir, 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.
- 9- Foltz, R. B and E. R. Burroughs, 1990. Sediment production from forest roads with wheel ruts. In: Proceedings of a symposium on watershed planning and analysis, July 9-11, 1989, Durango CO, ASCE, 266-75.
- 10- Grace, J. M., 2002. Control of sediment export from the forest road prism. ASAE Annual Meeting, No: 45, 1-6.
- 11- Kramer, B. W., 2001. Forest road contracting, construction, and maintenance for small forest woodland owners, Oregon State University. Forest Research Laboratory, Research Contribution 35, 79p.
- 12- Luce, C. H and T. A. Black., 1999. Sediment production from forest roads in western Oregon. *Water Resource Research*, 35(8): 2561-2570.
- 13- MacDonald, L. H., R. W. Sampson and D. M. Anderson, 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.
- 14- Megahan, W. F., 1974. Erosion over time: a model. US Department of Agriculture Forest Service. Intermountain Res Stn, Ogden, Utah Res Paper INT-156, 14p.
- 15- Ouyang, D and J. Bartholic, 1997. Reducing sediment delivery ratio in Saginaw Bay Watershed. In: The 22nd national association of environmental professionals conference proceedings, Orlando, FL, 659-71.
- 16- Rapp, J., T. Shear and D. Robison, 2001. Soil, groundwater, and floristic of a southeastern United States blackwater swamp 8 years after clearcutting with helicopter and skidder extraction of the timber. *Forest Ecology and Management*, No: 149, 241-252.
- 17- Reid, L. M and T. Dunne, 1984. Sediment production from forest road surfaces. *Water Resource Research*, 20(11): 1753-1761.
- 18- Ramos-Scharrón, C. E and L. H. MacDonald, 2005. Measurement and prediction of sediment production from unpaved roads, St John, US Virgin Islands. *Earth Surface Processes and Landforms*, No: 30, 1283-1304.
- 19- Swift, L. W., 1984. Gravel and grass surfacing reduces soil loss from mountain roads. *Journal of Forestry Science*, No: 30: 657-70.
- 20- WDNR., 1995. Standard methodology for conducting watershed analysis, Version 3.0. Washington Forest Practices Board.
- 21- WFPB., 1997. Washington Forest Practices Board Manual: standard methodology for conducting watershed analysis, Version 4.0.
- 22- Williams, T., 1998. The unkindest cuts. *Audubon* (January-February), 24-31.