

دقت روش زمان-مساحت در تهیه رسوب‌نگار در حوزه آبخیز کجور

محمدباقر رئیسی^۱، سید حمیدرضا صادقی^{۲*} و حمزه نور^۱

تاریخ دریافت: ۸۸/۱/۲۹ - تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۱/۲۹

چکیده

تولید رسوب بازتاب کاملی از تعامل بین اجزای مختلف حوزه آبخیز است، بنابراین می‌تواند برای درک وضعیت حاکم بر آن مورد استفاده قرار گیرد. تخمین فرسایش و رسوب با مدل‌های برآورد سالانه در بسیاری از موارد نمی‌تواند مبنای درستی برای طراحی سازه‌های هیدرولیکی و آبخیزداری محسوب شود، از این رو تخمین بار رسوب معلّق ناشی از وقایع بارندگی‌های منفرد ضروری است. بررسی تغییرات زمانی رسوبات معلّق در قالب رسوب‌نگارها به‌عنوان یک ابزار مهمّ در مدیریت منابع آب و خاک حوزه آبخیز محسوب می‌شود. حال آنکه تهیه آنها در شرایط واقعی مشکل و هزینه‌بر بوده و شیوه‌های کاربردی تهیه رسوب‌نگارهای مصنوعی نیز کمتر مورد توجه قرار گرفته است، از این رو تحقیق حاضر با هدف تعیین دقت روش ساده زمان-مساحت در تهیه رسوب‌نگار در حوزه آبخیز جنگلی دانشگاه تربیت مدرس به مساحت ۱۳۲۶۳ هکتار انجام شد. سپس مدل زمان-مساحت پس از تعیین ورودی‌های ضروری شامل منحنی همزمان تمرکز و متغیرهای مورد نیاز رابطه جهانی فرسایش خاک و روندیابی فرسایش ایجاد شده در هر منطقه و با لحاظ نحوه توزیع باران در سطح آبخیز اجرا و کارایی آن در شبیه‌سازی مؤلفه‌های مختلف هشت رسوب‌نگار مشاهده‌ای طی پاییز ۱۳۸۷ ارزیابی شد. تحلیل نتایج حاصل از بکارگیری مدل زمان-مساحت بیانگر عدم دقت روش مذکور در برآورد ناشی از رسوب رگبار در منطقه مورد مطالعه بوده است.

واژه‌های کلیدی: تولید رسوب، حوزه آبخیز جنگلی، رسوب‌نگار، روندیابی رسوب، مدل زمان-مساحت.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، * نویسنده مسئول: sadeghi@modares.ac.ir

مقدمه

فرسایش خاک^۱، از خطراتی است که حاصلخیزی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در دهه‌های اخیر افزایش سریع جمعیت و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی سبب افزایش فرسایش و تخریب خاک شده است، به‌طوری‌که حدود ۱۲۵ میلیون هکتار از ۱۶۵ میلیون هکتار وسعت کشور در معرض فرسایش آبی قرار گرفته است. رواناب و جریان سطحی در رودخانه‌ها با فرسایش خاک و حمل مواد رسوبی همراه است. این مواد در هر کجا که موقعیت ایجاد کند ته‌نشین می‌شوند. اطلاع از چگونگی فرسایش و توانایی حمل رسوب^۲ در آبراهه‌های مختلف حوزه آبخیز از جمله مواردی است که باید در مطالعه و اجرای طرح‌های آبخیزداری در نظر گرفته شود. تخمین فرسایش و رسوب از طریق مدل‌های برآورد سالانه در بسیاری از موارد نمی‌تواند ارزیابی درستی در طراحی سازه‌های هیدرولیکی و آبخیزداری یا برای مدیران و برنامه‌ریزان باشد، بنابراین تخمین بار رسوب معلق ناشی از واقعه بارندگی‌های منفرد ضرورت می‌یابد (۲۱). اصولاً برای برآورد مقدار رسوبات معلق، از منحنی‌های سنج رسوب^۳ تهیه شده با استفاده از داده‌های دبی و غلظت رسوب متناظر آنها و به‌صورت معادلات توانی (۲۱) استفاده می‌شود و این درحالی است که رفتارهای متفاوت میزان بار معلق حمل‌شده در شاخه‌های بالا و پایین رونده یک آب‌نگار، هرگونه استفاده از فرمول‌های سنتی انتقال رسوب مبتنی بر منحنی‌های سنج رسوب را مورد تردید قرار می‌دهد (۱۴، ۱۵ و ۱۸). بنابراین باید از روش‌های نشان‌دهنده توزیع زمانی رسوب در طی رگبار یا به‌عبارت مختصر رسوب‌نگار^۴ استفاده شود. از طرفی برآورد دقیق رسوب تولیدی در هر رگبار مستلزم داشتن تعداد کافی نمونه در طول هر واقعه و یا منحنی کامل رسوب است، درحالی‌که در بسیاری از اوقات تنها چند نمونه رسوب طی دوره‌های بلندمدت برداشت و مقدار رسوب برآورد گردیده که طبعاً خطاهای زیادی را به‌همراه داشته است.

از این‌رو دستیابی به شیوه‌های مناسب برای ارزیابی تغییرات زمانی رسوب معلق طی وقایع مهم هیدرولوژی بسیار حائز اهمیت است. مدل‌های مفهومی محدودی برای پیش‌بینی منحنی‌های رسوب بار معلق ناشی از وقوع رگبار گزارش شده است. مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه تهیه رسوب‌نگارها نشان داده است که شروع مطالعات رسوب‌نگار به دهه ۱۹۷۰ باز می‌گردد. رندون هررو (۱۹۷۴) روش سری منحنی برای برآورد تغییرات زمانی بار شسته‌شده طی رگبار در حوزه‌های آبخیز را پیشنهاد کرد. این مدل توانست میزان بار شسته حوزه آبخیز بیکسلر ران^۵ در پنسیلوانیا^۶ را با خطای کمتر از رابطه جهانی فرسایش خاک^۷ و منحنی سنج رسوب برآورد کند (۱۲). سپس ویلیامز (۱۹۸۹) در بررسی روابط بین غلظت رسوب و دبی برای وقایع هیدرولوژیکی، به ارائه روشی مبتنی بر مقایسه نسبت‌های غلظت رسوب معلق به دبی روی شاخه بالارونده و پایین‌رونده آب‌نگار پرداخت (۲۴). همچنین کوتیاری و همکاران (۱۹۹۴) حوزه آبخیز کارسو^۸ در هند را به چندین بخش براساس نمودارهای زمان-مساحت^۹ تقسیم کرد و از رابطه جهانی فرسایش خاک برای محاسبه فرسایش در هر بخش زمان-مساحت استفاده کردند و رسوب انتقال‌یافته به خروجی حوزه آبخیز را با مفهوم نسبت تحویل رسوب^{۱۰} با دقت مناسب محاسبه کردند (۷). تهیه رسوب‌نگار براساس روش زمان-مساحت و با استفاده از شبکه‌های مربعی و روش سامانه اطلاعات جغرافیایی^{۱۱} توسط کوتیاری و جان (۱۹۹۷) و کوتیاری و همکاران (۲۰۰۲) برای ۳ حوزه آبخیز در هند با موفقیت استفاده شد (۵ و ۶). همچنین صادقی و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی عوامل مؤثر در رسوب‌نگار با تهیه باران‌نگار، آب‌نگار و رسوب‌نگار برای حوزه آبخیز جنگلی میه^{۱۲} در ژاپن مشاهده کردند که نحوه توزیع زمانی رسوب معلق به‌شدت متأثر از خصوصیات بارش

5- Bixler Run

6- Pennsylvania

7- Universal Soil Loss Equation, USLE

8- Karso

9- Time-Area Method, TAM

10- Sediment Delivery Ratio

11- Geographic Information System, GIS

12- Mie

1- Soil Erosion

2- Sediment

3- Sediment Rating Curve

4- Sediment Graph, SG

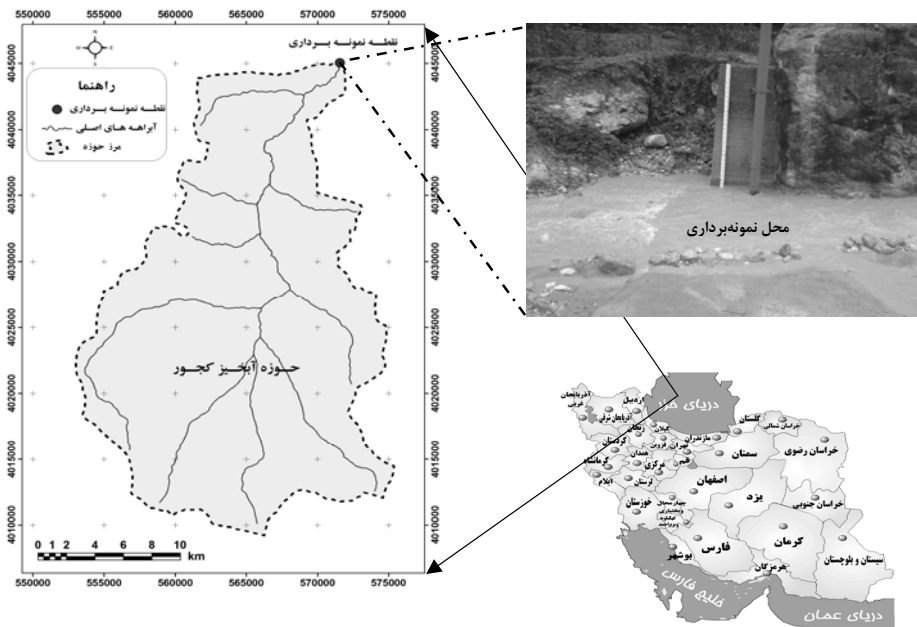
مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه با مساحت حدود پنجاه هزار هکتار در جنوب شرقی شهرستان نوشهر در استان مازندران واقع شده است. این حوزه آبخیز از شمال با دریای خزر و از جنوب با بخش کجور مجاور است (۱۹). شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز کجور در البرز مرکزی و شمال ایران را نشان می‌دهد. این حوزه آبخیز عمدتاً از دو قسمت پرشیب جنگلی در پایین‌دست و یک منطقه نسبتاً کم شیب مرتفع در بخش جنوبی تشکیل شده است. همچنین از آنجایی که عمده نزولات به‌وقوع پیوسته در دوره مطالعاتی بخش پایین‌دست آن را شامل می‌شده است، لذا در تحقیق حاضر نیز عمدتاً بخش مذکور با مشخصات ارائه شده مورد بررسی قرار گرفته است. حداقل و حداکثر ارتفاع حوزه آبخیز به‌ترتیب ۱۵۰ و ۲۶۵۰ متر از سطح آب‌های آزاد است. محیط، شیب متوسط، طول بزرگ‌ترین آبراهه و زمان تمرکز حوزه آبخیز مورد مطالعه به‌ترتیب ۵۸/۶ کیلومتر، ۴۵ درصد، ۲۰ کیلومتر و ۵/۵ ساعت برآورد شده است. میانگین بارندگی سالیانه ایستگاه نوشهر طی سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۸۶، ۱۲۸۷/۸ میلی‌متر است. گرادیان بارندگی در حوزه آبخیز مورد مطالعه به‌صورت نوسانی و در مجموع منفی بوده و در بخش ارتفاعات و در منطقه کجور به حدود ۲۴۰ میلی‌متر تقلیل می‌یابد. در حدود ۹۰ درصد از سطح حوزه آبخیز مورد نظر به دوره دوم زمین‌شناسی تعلق دارد. مناطق پست آبخیز اغلب از طبقات ضخیم آهکی با شیب زیاد و عمق کم خاک با پوشش جنگلی ضعیف و نفوذپذیری خوب و پایداری متوسط برخوردار است. خاک زیر واحدهای اراضی تکامل نیافته راندزین تا راندزین شسته شده و خاک قهوه‌ای جنگلی با pH قلیایی و خاک قهوه‌ای شسته شده تا پسدوگلی می‌باشد (۹).

مؤثر و نیز مؤلفه‌های مختلف آبنگار بوده است (۱۵). در ایران نیز صادقی و توفیقی (۲۰۰۳) کارآیی ضعیف مدل زمان-مساحت با استفاده از مدل USLE و مفهوم نسبت تحویل رسوب در مورد حوزه آبخیز زرین‌درخت در استان چهارمحال و بختیاری را گزارش کردند (۱۷). همچنین تلوری و همکاران (۲۰۰۷) تغییرات زمانی رسوب معلق در مقیاس رگبار در حوزه آبخیز گاران در استان کردستان با استفاده از پارامترهای رسوب‌دهی در یک ساعت قبل، شدت بارندگی در یک ساعت قبل و شدت بارندگی در دو ساعت قبل را شبیه‌سازی نمودند. آنها یک مدل خطی گسسته برای شبیه‌سازی تغییرات زمانی بار رسوب معلق در پایه رگبار برای حوزه آبخیز گاران در استان کردستان تهیه کردند (۲۱).

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده این‌گونه به‌نظر می‌رسد که اطلاعات مربوط به رسوب‌نگارها بسیار محدود و بیشتر به‌صورت کیفی است و محدودیت‌های بسیاری در تهیه آنها وجود دارد. از طرفی علیرغم اهمیت رسوب‌نگارها، برداشت نمونه رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری به‌صورت تصادفی است و هیچ‌گونه ارزیابی از الگوی توزیع زمانی رسوب طی وقایع بارندگی صورت نمی‌پذیرد. از سوی دیگر برداشت نمونه‌های رسوب در رگبارها مستلزم صرف انرژی و هزینه زیاد می‌باشد که انجام آن را غیرممکن می‌سازد. لذا دستیابی به روش مناسب و مبتنی بر داده‌های زودیافت در زمینه تهیه رسوب‌نگار مصنوعی و خصوصاً در کشورهای در حال توسعه ضروری است. از این‌رو با توجه به اهمیت تهیه رسوب‌نگار، تحقیق حاضر نیز سعی در بررسی توزیع زمانی رسوب و بررسی کارآیی مدل زمان-مساحت به‌عنوان یکی از روش‌های ساده تهیه رسوب‌نگارهای مصنوعی تلقی شده (۸ و ۱۷) و مبتنی بر اطلاعات زودیافت و قابل تهیه در اغلب حوزه‌های آبخیز در کشورهای در حال توسعه مانند ایران در تعیین توزیع رسوب در حوزه آبخیز جنگلی کجور دارد تا بتواند در مسئله کنترل آلودگی آب، تبیین استراتژی‌های مناسب کنترل رسوب و طراحی مؤثر و دقیق سازه‌های هیدرولیکی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی و محل نمونه‌برداری در حوزه آبخیز کجور

برداشت برای تعیین غلظت رسوب معلق به آزمایشگاه منتقل شدند. تعیین غلظت رسوب معلق به روش تخلیه آب^۱ و با ثابت‌گذاری نمونه و تخلیه آب رویی (۲۳) صورت گرفت. سپس رسوبات موجود درون فویل‌های از قبل تهیه و توزین شده ریخته و در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد (۱۷). پس از تعیین میزان دبی جریان و غلظت رسوب برای هر نمونه، جریان پایه رسوب‌نگار مشابه با تفکیک آب پایه در آب‌نگارهای سیل (۲۱) تفکیک شد. با توجه به نمونه‌های برداشت شده رسوب در فواصل زمانی مشخص و رسم غلظت رسوب در مقابل زمان، رسوب‌نگار ناشی از هر رگبار به دست آمد. در مرحله بعد، مدل زمان-مساحت برای تهیه رسوب‌نگار مصنوعی حاصل از هر رگبار استفاده شد. برای این منظور ابتدا حوزه آبخیز مورد مطالعه براساس خطوط هم‌زمان تمرکز براساس تقسیم مساوی طول آبراهه (۲۰) به سطوح مختلف تقسیم شد. به منظور تفکیک آبخیز به زیربخش‌های کوچک‌تر به روش زمان-مساحت، طولانی‌ترین مسیر جریان آب در حوزه آبخیز انتخاب و نیم‌رخ طولی آن از روی نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ ترسیم شد. در ادامه مسافت

تحقیق حاضر در دو مرحله نمونه‌برداری و ارزیابی مدل زمان-مساحت انجام شد. نمونه‌برداری هم‌زمان با وقوع هشت رگبار منفرد در پاییز ۱۳۸۷ و در محل ایستگاه هیدرومتری (شکل ۱) به فواصل زمانی حداکثر یک ساعت و به وسیله بطری ۲ لیتری به دلیل افزایش دقت نمونه‌برداری و اطمینان از برداشت تمامی ستون آب (۱) و به روش انتگراسیون عمقی (۲ و ۳) صورت گرفت. نمونه‌برداری رسوب از مراحل ابتدایی شروع رگبار، تغییر افزایشی در تراز آب و اطمینان از مشارکت بخش‌های مختلف حوزه آبخیز در تولید روان‌آب حاصل از رگبار اتفاق افتاده آغاز و تا اتمام رگبار و رسیدن ارتفاع جریان رودخانه به ارتفاع اولیه قبل از شروع رگبار ادامه یافت. از طرفی امکان لحاظ زمان تمرکز و یا تأخیر حوزه آبخیز برای آغاز نمونه‌برداری به سبب عدم پوشش کامل منطقه توسط توده باران‌زا امکان‌پذیر نبود. هم‌زمان با برداشت نمونه‌های رسوب، مقدار دبی نیز از طریق اندازه‌گیری سرعت جریان و قرائت تراز آب از روی اشل محاسبه شد. سرعت جریان رودخانه نیز با استفاده از مولینه (مدل MDS-Surfloat-LCD SEBA) و سپس به منظور تسریع در مراحل اندازه‌گیری و در شرایط سیلابی و عدم امکان استفاده از مولینه، با کمک از جسم شناور واسنجی‌شده (۱۹) انجام شد. نمونه‌ها بعد از

1- Decantation

در این رابطه، λ : طول شیب زمین بر حسب متر و m : توانی وابسته به شیب زمین که مقدار آن برای شیب‌های مساوی و بیش از ۱۰ درصد ۰/۶، ۵ تا ۱۰ درصد ۰/۵، شیب‌های ۳ تا ۵ درصد ۰/۴، شیب‌های ۱ تا ۳ درصد ۰/۳ و برای شیب‌های کمتر از ۱ درصد ۰/۲ است (۱۰) و (۱۱). عامل شیب در هر بخش زمان-مساحت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و محاسبه متوسط وزنی شیب (S) در هر بخش و با استفاده از رابطه (۳) به دست آمد.

$$S = 0.065 + 0.045S + 0.065S^2 \quad (3)$$

عامل پوشش گیاهی نیز با استفاده از نقشه پوشش گیاهی تهیه شده در طرح جنگلداری کجور (۹)، تصویر ماهواره‌ای IRS 2006 و پیمایش صحرایی و با کمک جداول ارائه شده در این زمینه (۱۱) به صورت وزنی در هر بخش به دست آمد. عامل مدیریت زمین با توجه به مدیریت موجود در منطقه و با توجه به این که هیچ گونه اقدامات حفاظتی در آبخیز مورد مطالعه صورت نپذیرفته در کل ثابت و برابر با یک (۱۱ و ۱۶) در نظر گرفته شد. برای روندیابی خاک فرسایش یافته در هر بخش زمان-مساحت به خروجی حوزه آبخیز، از مفهوم نسبت تحویل رسوب ارائه شده توسط هادلی و همکاران (۱۹۸۵) استفاده شد. در مدل حاضر نسبت تحویل رسوب مساوی با شیب بخش دهنده^۲ به شیب بخش گیرنده^۳ مجاور در نظر گرفته شد. در مواردی که شیب بخش دهنده بیش از شیب بخش گیرنده بود، نسبت تحویل رسوب برابر با یک فرض گردید (۵، ۷ و ۸). همچنین برای محاسبه رسوبدهی حوزه آبخیز فرض بر آن است که یک رگبار منفرد به مدت T ساعت روی حوزه آبخیز اتفاق افتاده است. بازه T به قدر کافی کوچک در نظر گرفته شده تا فرض ثابت بودن شدت بارندگی صحیح باشد. تقسیم‌بندی حوزه به n بخش زمان-مساحت نشان می‌دهد که زمان پیمایش برای هر بخش زمان-مساحت، T ساعت است. فرسایش سطحی در هر بخش زمان-مساحت با استفاده از مدل USLE محاسبه شد. سپس توزیع زمانی آن با استفاده از زمان تأخیر رسیدن رسوب هر بخش به خروجی و نقش تجمعی آنها در

روی محور افقی به n بخش مساوی و متناسب با سه تا پنج برابر نسبت زمان تمرکز به زمان تأخیر آبخیز براساس زمان پیمایش تقسیم شد. سپس محل‌های برخورد در امتداد محور عمودی امتداد داده شد تا منحنی نیم‌رخ طولی آبراهه اصلی را قطع کند. در ادامه ارتفاع زیربخش‌های اندازه‌گیری شده به نقشه توپوگرافی منتقل و بخش‌های مختلف زمان-مساحت حاصل شد (۱ و ۲). سپس مساحت مناطق محصور بین دو خط هم‌زمان تمرکز به کمک نرم‌افزار ILWIS 3.2 تعیین و منحنی زمان-مساحت نیز ترسیم شد. فرسایش سطحی در هر بخش زمان-مساحت نیز با استفاده از مدل USLE (۶) محاسبه شد. رابطه (۱) برای برآورد فرسایش خاک در هر قسمت هم‌زمان تمرکز استفاده شد.

$$A=R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

که در آن R: فرساینده‌گی^۱ (تن متر بر هکتار ساعت)، K: عامل فرسایش‌پذیری خاک (تن در هکتار در سال به ازای واحد فرساینده‌گی)، L: عامل طول شیب، S: عامل شیب، C: عامل پوشش گیاهی و P: عامل مدیریت اراضی یا اقدامات حفاظت خاک است. برای محاسبه عامل R از داده‌های بارش ایستگاه کجور و نوشهر و با توجه به سطح پوشش باران در هر یک از آنها استفاده شد. عامل K با استفاده از مطالعات خاک منطقه و با کمک سه متغیر اصلی درصد مواد آلی، درصد سیلت و شن خیلی ریز و درصد شن نمونه‌های حاصل از هر منطقه هم‌زمان تمرکز و به کمک نمودار فرسایش‌پذیری خاک (۱۰) استفاده شد. برای دستیابی به عامل طول شیب، با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ و نرم‌افزار ArcGIS، در هر بخش زمان-مساحت خطی از خط‌القعر جریان به طرف خط‌الرأس و به صورت تقریباً عمود بر خطوط تراز رسم کرده و در قسمت‌های مختلف هر بخش زمان-مساحت، این عمل ۳۰ تا ۶۰ بار و بسته به پیچیدگی توپوگرافی صورت گرفت. سپس میانگین طول شیب‌ها برای هر بخش به دست آمد و با استفاده از رابطه (۲) عامل طول شیب برای هر بخش محاسبه شد:

$$L = (\lambda/22/1)^m \quad (2)$$

خاک به صورت مندرج در جدول ۱ برآورد گردید. نهایتاً کلیه رسوب‌نگارهای مصنوعی حاصل از کاربرد مدل TAM براساس روش کار ارائه شده تهیه و به همراه رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای در شکل ۳ ارائه شده است. همچنین نتایج مربوط به مقایسه رسوب‌نگارهای حاصل از روش زمان-مساحت با رسوب‌نگارهای متناظر مشاهده‌ای آنها از لحاظ مقادیر اوج، زمان تا اوج و زمان پایه رسوب‌نگار و مبنی بر آماره‌های خطای نسبی و میزان انحراف در جداول ۲ و ۳ خلاصه شده است.

نتایج حاصل از کاربرد مدل زمان-مساحت برای برآورد میزان رسوب‌دهی در مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای نشان می‌دهند که در برخی از رگبارها مدل توانسته به خوبی زمان تا اوج و زمان پایه رسوب‌نگار را برآورد کند در حالیکه در هیچ‌کدام از رگبارها مدل نتوانسته تخمین مناسبی از مقدار اوج رسوب یا مقدار کل رسوب رگبار ارائه نماید. همچنین نتایج نشان می‌دهند که علیرغم درصد خطای بسیار بالای برآوردی توسط مدل TAM الگوی کلی رسوب‌نگارهای تخمینی با رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای مشابه بوده است. این امر می‌تواند نشان‌دهنده صحت نسبی روندیابی مدل و عدم دقت کامل روش USLE در برآورد فرسایش حاصل در هر یک از واحدهای همزمان تمرکز باشد.

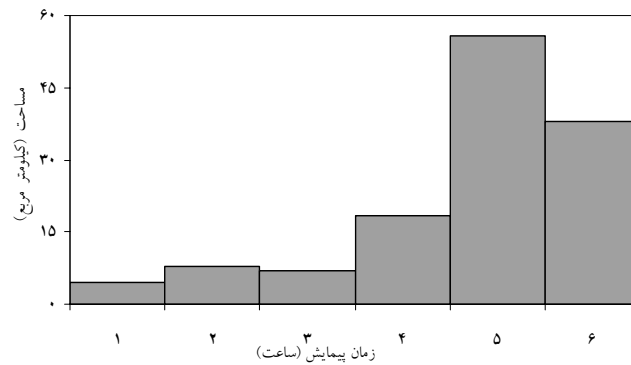
تولید رسوب تهیه شد. زمان تأخیر هر بخش از طریق جمع زمان تمرکز تعداد قطعات واقع در پایین دست قطعه مورد نظر محاسبه شد. رسوب‌دهی کل هر رگبار منفرد مورد مطالعه نیز با استفاده از فرمول زیر (رابطه ۴) محاسبه شد (۷ و ۸):

$$V_s = SDR_1 E_1 + SDR_1 SDR_2 E_2 + \dots + SDR_1 \dots SDR_n E_n$$

که در آن V_s : رسوب‌دهی کل حوزه آبخیز (تن)، SDR_i : نسبت تحویل رسوب برای هر بخش و E_i : فرسایش سطحی در هر بخش زمان-مساحت (تن) است. در نهایت رسوب‌نگارهای تخمینی یا برآوردی با استفاده از رسوب‌نگارهای مثلثی حاصل از مشارکت هر پهنه همزمان تمرکز و ایجاد تأخیر مناسب (زمان پایه منحنی همزمان تمرکز) در رسیدن رسوب آنها به خروجی و جمع آنها با یکدیگر تهیه گردید. از طرفی برای تعیین اعتبار مدل علاوه بر مقدار کل رسوب تولیدی محاسبه شده از شیوه فوق‌الذکر، سایر اجزای مهم رسوب‌نگار شامل زمان تا اوج، مقدار اوج و زمان پایه رسوب‌نگارها نیز مورد مقایسه کیفی و کمی قرار گرفت. برای ارزیابی کیفی نتایج، از مقایسه شکل عمومی رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای و تخمینی از قبیل شکل، هم-زمانی نقاط اوج و تساوی زمان پایه استفاده شد (۲۲). برای بررسی کمی عمل‌کرد مدل زمان-مساحت در شبیه‌سازی رسوب‌نگار نیز از مقادیر خطای نسبی^۱ و میزان انحراف مؤلفه‌های اصلی رسوب‌نگارهای به دست آمده شامل رسوب اوج، زمان پایه، زمان رسیدن به اوج و مقدار کل رسوب استفاده شد (۱۸). تعیین اعتبار مدل‌ها بر مبنای خطای نسبی کمتر از ۴۰ درصد و مقدار انحراف نزدیک به یک مدنظر قرار گرفت (۱۸).

نتایج

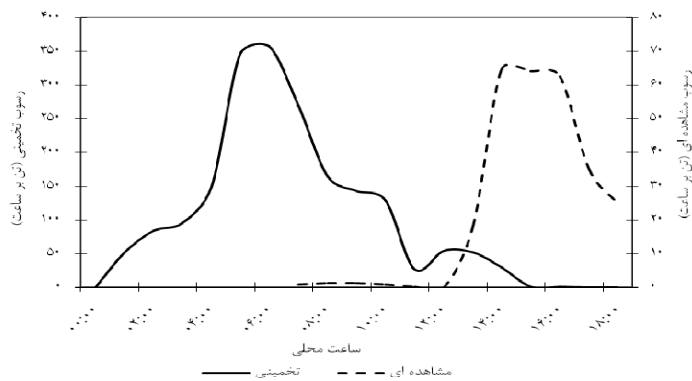
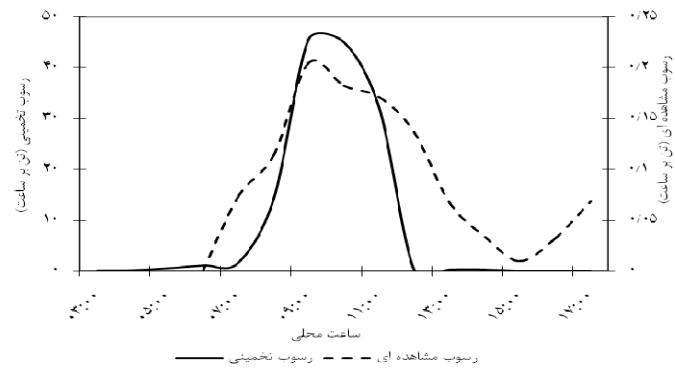
با توجه به زمان تمرکز حوزه آبخیز کجور برابر با ۵/۵ ساعت و طول بلندترین آبراهه ۲۰ کیلومتر و نیز رعایت معیار حاکم بر آن، سطح حوزه آبخیز به ۶ قسمت با زمان تمرکزهای یک ساعته تقسیم گردید. در شکل ۲ نمودار زمان-مساحت حوزه آبخیز کجور ارائه شده است. سپس در هر قسمت متغیرهای معادله جهانی فرسایش



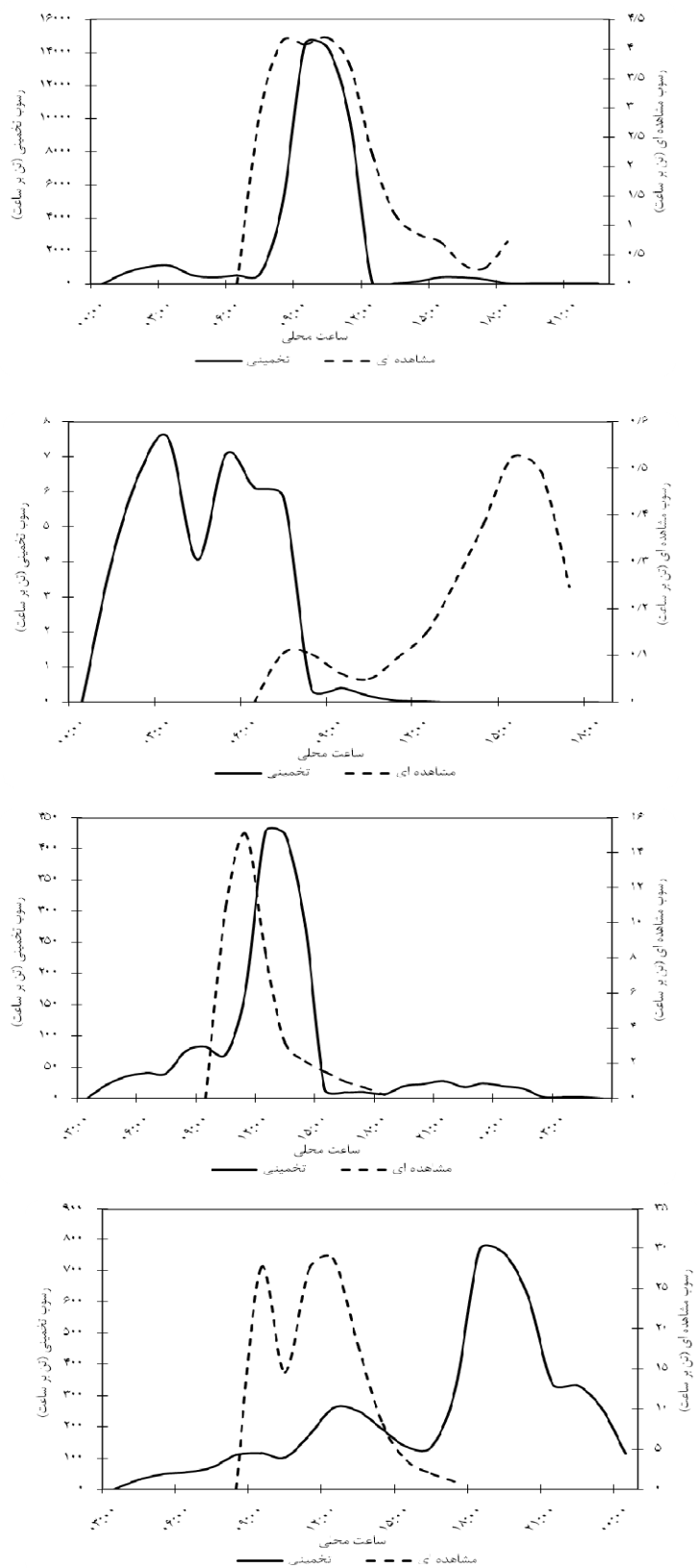
شکل ۲- نمودار زمان- مساحت حوزه آبخیز کجور

جدول ۱- نتایج محاسبه متغیرهای مورد نیاز برای مدل TAM در حوزه آبخیز کجور

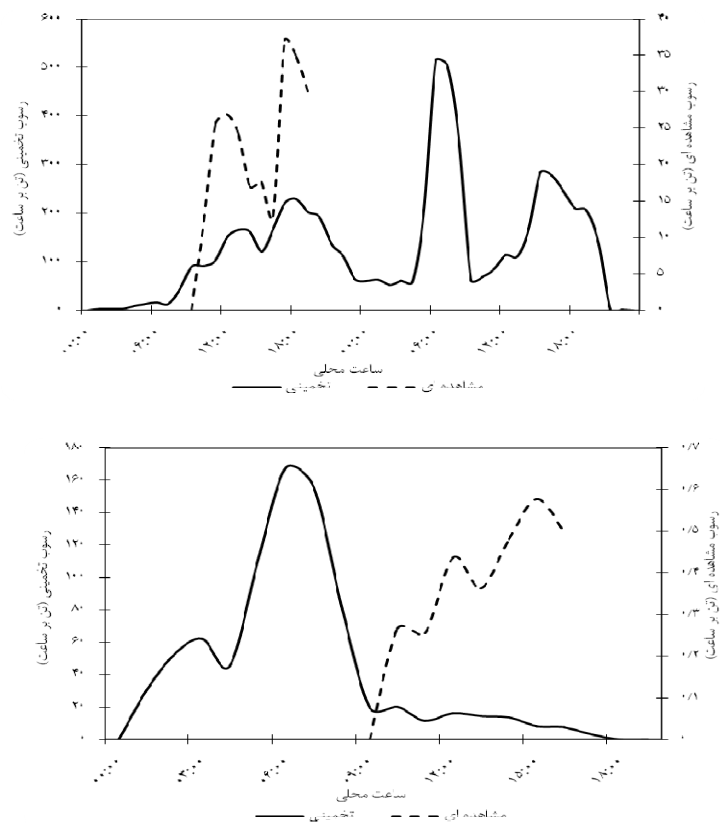
SDR	عوامل USLE					شیب (درصد)	مساحت (هکتار)	ارتفاع (متر)	واحد
	P	C	S	L	K				
۱	۱	۰/۰۵۳	۲۲/۲۰	۶/۸۲	۰/۰۲۷	۵۵/۰۰	(هکتار)	۶۰۰	A _۱
۱	۱	۰/۰۴۴	۲۲/۲۸	۵/۰۳	۰/۰۲۷	۵۵/۱۰	۷۸۰	۹۰۰	A _۲
۰/۹۶	۱	۰/۰۴	۲۰/۶۹	۳/۹۶	۰/۰۲۷	۵۲/۹۷	۶۹۰	۱۱۰۰	A _۳
۰/۶۲	۱	۰/۰۳	۸/۶۸	۵/۳۸	۰/۰۲۸	۳۳/۱۱	۱۸۵۰	۱۳۰۰	A _۴
۱	۱	۰/۱۱۲	۱۲/۵۵	۵/۹۰	۰/۰۳۱	۴۰/۵۰	۵۶۳۰	۱۶۵۰	A _۵
۱	۱	۰/۱۴۵	۲۱/۱۷	۵/۸۸	۰/۰۳۶	۵۳/۶۲	۳۸۴۳	۲۷۰۰	A _۶



شکل ۳- رسوب نگارهای مشاهده‌ای و تخمینی مدل زمان- مساحت رگبارهای مورد مطالعه



ادامه شکل ۳- رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای و تخمینی مدل زمان-مساحت رگبارهای مورد مطالعه



ادامه شکل ۳- رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای و تخمینی مدل زمان- مساحت رگبارهای مورد مطالعه

جدول ۲- مقایسه مقادیر و زمان تا اوج رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای و تخمینی رگبارهای مطالعاتی در حوزه آبخیز کجور

تاریخ رگبار	مشاهده‌ای		تخمینی		خطای نسبی (درصد)		انحراف
	زمان تا اوج (ساعت)	مقدار اوج رسوب‌نگار (تن بر ساعت)	زمان تا اوج (ساعت)	مقدار اوج رسوب‌نگار (تن بر ساعت)	مشاهده‌ای	تخمینی	
۱۳۸۷/۰۷/۱۱	۳	۶	۱۰۰	۱۰۰	۰/۵۰	۰/۲۰	۲۲۶۸۵
۱۳۸۷/۰۷/۱۹	۷	۶	۱۴	۱۴	۱/۱۶	۰/۱۷	۴۶۶
۱۳۸۷/۰۸/۰۶	۳	۹	۲۰۰	۲۰۰	۰/۳۳	۰/۰۰	۳۷۴۵۳۱
۱۳۸۷/۰۸/۰۸	۸	۴	۵۰	۵۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۱۳۵۰
۱۳۸۷/۰۸/۱۰	۳	۹	۲۰۰	۲۰۰	۰/۳۳	۰/۰۳	۲۷۲۵
۱۳۸۷/۰۸/۱۸	۴	۱۵	۲۷۵	۲۷۵	۰/۲۶	۰/۰۳	۲۵۶۹
۱۳۸۷/۰۹/۱۲	۸	۳۱	۲۸۵	۲۸۵	۰/۲۵	۰/۰۷	۱۲۸۶
۱۳۸۷/۰۹/۲۶	۶	۶	۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۹۴۷۳
میانگین	۵/۲۵	۱۰/۷۵	۱۴۰	۱۴۰	۰/۷۳	۰/۰۴	۵۰۹۹۸
انحراف معیار	۲/۲۵	۸/۸۴	۱۱۴	۱۱۴	۰/۶۱	۰/۰۵	۱۲۰۳۳۶
ضریب تغییرات (درصد)	۴۲/۸۹	۸۲/۲۶	۱۰۷/۷۰	۱۰۷/۷۰	۸۴/۵۲	۱۱۷/۴۷	۲۳۵

جدول ۳- مقایسه زمان پایه و مقدار کل رسوب رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای و تخمینی رگبارهای مطالعاتی در آبخیز کجور

تاریخ رگبار	زمان پایه رسوب‌نگار (ساعت)			مقدار کل رسوب (تن)		
	مشاهده‌ای	تخمینی	خطای نسبی (درصد)	مشاهده‌ای	تخمینی	خطای نسبی (درصد)
۱۳۸۷/۰۷/۱۱	۱۱/۰۰	۱۴	۲۷/۲۷	۰/۷۸	۱۶۰/۷۸	۱۹۶۵۳
۱۳۸۷/۰۷/۱۹	۱۱/۰۰	۱۸	۶۳/۶۳	۰/۶۱	۲۳۲۲/۹۹	۸۰۰
۱۳۸۷/۰۸/۰۶	۱۱/۰۰	۲۰	۸۱/۸۱	۰/۵۵	۵۷۴۷۳/۶۰	۲۲۹۸۹
۱۳۸۷/۰۸/۰۸	۱۱/۰۰	۱۳	۱۸/۱۸	۰/۸۴	۴۸/۰۷	۹۹۰۰
۱۳۸۷/۰۸/۱۰	۸/۴۵	۲۶	۲۰۷/۶۹	۰/۳۲	۲۱۱۵/۵۳	۱۰۵۲۸
۱۳۸۷/۰۸/۱۸	۹/۱۵	۲۴	۱۶۲/۲۹	۰/۳۸	۶۱۰۲/۶۵	۴۳۱۵
۱۳۸۷/۰۹/۱۲	۸/۱۵	۴۵	۴۵۲/۱۴	۰/۱۸	۷۰۰۰/۰۰	۴۴۹۹
۱۳۸۷/۰۹/۲۶	۷/۰۰	۱۸	۱۵۷/۱۴	۰/۳۸	۹۲۷/۱۷	۴۲۱۲۶۴
میانگین	۹/۵۹	۲۲/۲۵	۱۴۶/۲۷	۰/۵۰	۳۰۵۲/۶۲	۶۱۷۱۳
انحراف معیار	۱/۶۱	۱۰/۲۰	۱۴۱/۰۴	۰/۲۳	۲۸۱۴/۹۱	۱۴۵۴۶۸
ضریب تغییرات (درصد)	۱۶/۸۱	۴۵/۸۸	۹۶/۹۲	۴۵/۴۷	۱۳۰/۲۶	۲۳۵
۱۵۸/۰۷						

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از کاربرد مدل زمان-مساحت برای برآورد میزان رسوبدهی در مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای نشان می‌دهند که در برخی از رگبارها مدل توانسته به خوبی زمان تا اوج و زمان پایه رسوب‌نگار را برآورد کند در حالی که در هیچ‌کدام از رگبارها مدل نتوانسته تخمین مناسبی از مقدار اوج رسوب یا مقدار کل رسوب رگبار ارائه نماید. از این رو عدم روندیابی صحیح یا عدم پوشش کامل منطقه با توده باران‌زا و حتی عدم توزیع یکنواخت بارش در سطح حوزه آبخیز به دلیل واقع شدن در منطقه‌ای با تغییرات بارش شدید با افزایش ارتفاع و طبعاً مشارکت بخشی حوزه آبخیز در تولید رسوب دلیلی بر این عدم تطابق است. یکی دیگر از دلایل تفاوت زیاد بین مقادیر کل رسوبدهی حوزه آبخیز و تخمینی مدل را می‌توان به عدم ثبت کامل رسوب‌نگار در هنگام وقوع بارندگی به دلیل مواجهه با اتمام روز و عدم امکان نمونه‌برداری یا آغاز سیلاب‌های اتفاق افتاده در حوزه آبخیز در طول شب نسبت داد. صادقی و توفیقی (۲۰۰۳) در تحقیق خود با مقایسه رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای و تخمینی رویدادهای بارندگی حاصل از روش زمان-مساحت بیان داشته‌اند که مدل زمان-مساحت قادر به بیان الگوی تغییرات زمانی رسوب بوده ولی مقدار رسوب را چندین برابر بیشتر برآورد کرده است. همچنین تلوری و همکاران (۲۰۰۷) نیز در حوزه

آبخیز گاران به نتایجی مشابه دست یافته است. در حالی که کوتیاری و جان (۱۹۹۷) و نیز کوتیاری و همکاران (۲۰۰۲) به کارگیری این روش را موفق ارزیابی کردند (۵ و ۶). دلیل این امر را می‌توان به طور واضح به اختلافات حاکم بر سامانه‌های آبخیز در مناطق مورد مطالعه نسبت داد. از طرفی توجه به این نکته ضروری است که در مدل زمان-مساحت میزان فرسایش خاک با استفاده از معادله جهانی فرسایش خاک تخمین زده شده که کارایی آن در سطح حوزه‌های آبخیز ایران و نیز زیست‌بوم‌های جنگلی تأیید نشده است (۱۶). حال آن‌که تنوع شرایط حاکم بر منطقه مورد مطالعه و تأثیرپذیری فرسایش و تولید رسوب از فرآیندهای مختلف و با شدت‌های گوناگون توسط محققان پیشین در داخل کشور (۱۸ و ۱۹) و نیز سایر زیست‌بوم‌های جنگلی در خارج کشور (۱۵) مورد تأیید قرار گرفته است. از سوی دیگر مدل USLE یک مدل تخمین فرسایش خاک با متغیرهای گوناگون است. بنابراین عدم دقت لازم در برآورد هر یک از این متغیرها می‌تواند عاملی برای ایجاد خطا و عدم تطابق نتایج با مقادیر واقعی باشد. برای مثال پوشش لاشبرگ ضخیم و رطوبت موجود در لایه‌های خاک و همچنین ماده آلی سطحی زیاد در مقایسه با خاک‌های زراعی منشائی برای ایجاد خطا در برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک (۴) در زیست‌بوم مورد بررسی بوده است. اگرچه در این راستا دقت لازم با

لحاظ نشده است. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان بیان کرد که مدل TAM علیرغم سهولت استفاده قادر به شبیه‌سازی رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای در حوزه آبخیز جنگلی کجور نبوده است. علاوه بر آن دستیابی به نتایج قابل اعتماد طی فرآیند استفاده از مدل زمان-مساحت با توجه به داده‌های ورودی زودیاقت منوط بر تأمین اطلاعات ورودی دقیق و صحت‌سنجی اولیه مدل تخمین فرسایش خاک در پهنه‌های هم‌زمان تمرکز و سپس روندیابی آن به خروجی حوزه آبخیز است. اگرچه تداوم مطالعات مشابه با تعداد بیشتر رگبار در حوزه آبخیز مورد بررسی، اصلاح شیوه مذکور با دخالت شاخص‌های مختلف ارزیابی نسبت تحویل رسوب و حتی در سایر حوزه‌های آبخیز کشور تأکید می‌شود.

حداقل برداشت یک نمونه از هر پهنه هم‌زمان تمرکز صورت پذیرفته است. از این رو کوتیاری و جان (۱۹۹۷) به کارگیری مدل زمان-مساحت در قطعات با خصوصیات فرسایش خاک مشابه و شرایط نسبتاً همگن هیدرولوژیک به ابعاد ۵۰۰ در ۵۰۰ متر مربع و سپس محاسبه فرسایش هر قطعه را به‌طور جداگانه پیشنهاد کردند. یکی از موارد قابل توجه در تحقیق حاضر بر خلاف تحقیقات صادقی و توفیقی (۲۰۰۳) و تلوری و همکاران، (۲۰۰۷) وقوع رسوب‌نگار تخمینی قبل از رسوب‌نگار مشاهده‌ای است که این امر می‌تواند به دلیل جنگلی بودن حوزه آبخیز مورد مطالعه و نقش جنگل در ایجاد تأخیر در خروج روان‌آب از منطقه باشد. در حالیکه در مدل زمان-مساحت برای این مسئله نیز موردی

منابع

1. Das, G., 2000. Hydrology and Soil Conservation Engineering. Prentice-Hall of India, 489 p.
2. Edwards, T.K. & G.D. Glysson, 1999. Field Methods for Measurement of fluvial Sediment. USGS Open-file Report, 97 p.
3. Hadley, R.F., R. Lai, C.A. Onstad, D.E. Walling & A. Yair, 1985. Recent Developments in Erosion and Sediment Yield Studies. Report UNESCO (IHP), Paris, France.
4. Kitahara, H., Y. Okura, T. Sammori & A. Kawanami, 2000. Application of Universal Soil Loss equation (USLE) to Mountainous forests in Japan. Journal Forest Research, 5:231-236.
5. Kothyari, U.C. & S.K. Jain, 1997. Sediment Yield Estimation using GIS. Hydrological Sciences Journal, 42 (6): 833- 843.
6. Kothyari, U.C., A.K. Tiwari & R. Singh, 1994. Prediction of Sediment Yield. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 120 (6): 11- 20.
7. Kothyari, U.C., A.K. Tiwari & R. Singh, 1996. Temporal Variation of Sediment Yield, Journal of Hydrologic Engineering, 1(4): 169-176.
8. Kothyari, U.C., M. Jain & K. Ranga Raju, 2002. Estimation of Temporal Variation of Sediment Yield using GIS. Hydrological Sciences Journal, 47 (5): 693-706.
9. Nowshahr, Natural Resources General Office, 2002. Kojur Silviculture Project, Aghozchal Parcel 3, Watershed 46, Jihad-e-Agriculture, Forest, Range and Watershed Management Organization of Iran, 379 p.
10. Refahi H.GH., 2006. Water Erosion and Conservation. University of Tehran Press, 5th Edition 671 p. (In Persian)
11. Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool & D.C. Yoder, 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703, 384 p.
12. Rendon-Herrero O., 1974. Estimation of Washload Produced on Certain Small Watershed. Journal of Hydraulic Division Proceedings, American Society of Civil Engineers, 98 (5): 835-848.
13. Rovira, A. & R. Batalla, 2006. Temporal Distribution of Suspended Sediment Transport in a Mediterranean Basin: The Lower Tordera (NE SPAIN), Geomorphology, 79: 58-71.
14. Sadeghi, S.H.R. & B. Tofighi, 2003. Applicability of Tim- Area Model in Development of Sediment Rating Curve. Bulletin of Khazar Agriculture Sciences and Natural Resources. 1(1): 54-66. (In Persian)
15. Sadeghi, S.H.R., 2005. Development of Sediment Ratio Curve Equations for Rising and Falling Limbs of Hydrograph Using Regression Concept. Journal of Iran-Water Resources Research. 1: 101-103. (In Persian)
16. Sadeghi, S.H.R., B. Tofighi, & M. Mahdavi, 2006. Sediment Estimation Modeling in Zarrinderakht Watershed. Journal of Iranian Natural Resources. 58 (4): 759-767. (In Persian)
17. Sadeghi S.H.R., T. Mizuyama, S. Miyata, T. Gomi, K. Kosugi, S. Mizugaki & Y. Onda, 2007. Is MUSLE apt to small steeply reforested watershed. Journal of Forest Research, 12: 270-277.
18. Sadeghi, S.H.R., T. Mizuyama, S. Miyata, T. Gomi, K. Kosugi, T. Fukushima, S. Mizugaki & Y. Onda, 2008. Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed, Geoderma, 144: 198-211.
19. Saeidi, P., 2008. Investigation of Relationship between Sedimentgraph and Hydrograph Components in Educational Forest Watershed of Tarbiat Modares University, MSc Thesis in Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University, 69 p. (In Persian)
20. Subramanya K., 2000. Engineering Hydrology, 2nd edition, New Delhi, India, 391 p.
21. Telvari, A., N. Birodian & E. Manoochahri, 2007. Model Development of Sediment Time Variability in Garan Watershed, Kordestan Province. Journal of Pajouhesh & Sazandegi. 75: 64-70. (In Persian)

22. Tofighi, B., 2002. Development of Temporal Variation of Yield in Zarrinderakht Watershed in Chaharmahal and Bakhtiari Province, MSc Thesis in Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University, 91 p. (In Persian)
23. Walling, D.E., A.L. Collins, H.A. Sickingabula & G.J.L. Leeks, 2001. Integrated Assessment of Catchment Suspended Sediment Budgets: A Zambian Example. *Land Degradation and Development*, 12: 387-415.
24. Williams J.R., 1978. A Sediment Graph Model based on an Instantaneous Unit Sediment Graph. *Journal of Water Resources Research*, 14 (4): 659-664.

Accuracy of Time- Area Method in Sedimentgraph Development in Kojour Watershed

S.H.R. Sadeghi^{1*}, M.B. Raeisi² & H. Noor²

Received: 18 April 2009, Accepted: 18 February 2010

Abstract

Sediment yield mirrors the resultants of interaction among many different watershed components. It therefore can be studied for better understanding the governing situations on a watershed system. Annual based estimation of soil erosion and sediment yield cannot be supposed as a proper basis for designing hydraulic and watershed management structures. Estimation of suspended sediment load on storm basis is therefore necessary. Studying temporal variation of suspended sediment is an important tool for soil and water resources management of a watershed. However, the development of sedimentgraph under real conditions is very time and money consuming task and derivation of synthetic sedimentgraph has also been rarely considered. The present study was thus conducted in Tarbiat Modares University Forest Watershed [it needs address] with an area of 13263 ha to analyze accuracy of Time-Area Method (TAM) in sedimentgraph development. The TAM was then applied to the study watershed after providing necessary input data viz. isochrone area curve, input variables of the USLE and soil erosion routing with considering areal distribution of rainfall. The applicability of the TAM was then assessed for eight storm events occurred during October to December 2008. The results of analyses of application the TAM verified inapplicability of the model in simulating study sedimentgraphs.

Key words: Forest Watershed, Sedimentgraph, Sediment Routing, Sediment Yield, Time-Area Method.

1- Associate Professor, College of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University

*: Corresponding author: sadeghi@modares.ac.ir

2- Former M.Sc. Students, College of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University