

Instantaneous Unit Sediment Graph Modeling

H. Noor¹ and S.H.R. Sadeghi^{2*}

Abstract

Soil erosion and sediment yield from watershed are among key limitations to achieve sustainable land use and to maintain the water quality. Development of the sediment graph (SG) is essentially required for accurate estimation of sediment yield from the watershed. However, development of SGs for watersheds is a tedious and time consuming task. Development of the sediment graph models based on easily accessible physical characteristics of a watershed and precipitation data is therefore a viable and convenient tool for designing the efficient soil and water conservation measures. In this regard, driving synthetic SGs using instantaneous unit sediment graph (IUSG) is an applied approach in watersheds where detailed discharge and sediment data are not available. However, the performance of this approach in watershed scale with different governing conditions has rarely been evaluated. The present study formulated IUSG for Kojour watershed comprising an area of some 500 Km². The Watershed located at east of Nowshahr City in Mazandaran Province, northern Iran. The suspended sediment samples were taken from Kojour River during eight storm events in 2008 and corresponding SGs were then developed. The results showed that the IUSG model is unable to predict observed SGs components of peak, time to peak, total sediment yield, and the base time having respective estimation errors of 764, 111, 750 and 101 %.

Keywords: Artificial Sediment Graph, Instantaneous Unit Sediment Graph, Suspended Sediment, Kojour Watershed.

Received: July 28, 2009
Accepted: November 6, 2011

مدل سازی رسوب‌نگار واحد لحظه‌ای

حمزه نور^۱ و سیدحمیدرضا صادقی^{۲*}

چکیده

فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز از جمله عوامل محدود کننده استفاده پایدار از اراضی و منابع آب می‌باشد. در این راستا تهیه رسوب‌نگارها به منظور اندازه‌گیری دقیق مقدار تولید رسوبات معلق در حوضه‌های آبخیز ضروری می‌باشد. لیکن تهیه رسوب‌نگارها در سطح حوضه‌های آبخیز دشوار و هزینه‌بردار است. از این رو مدل سازی تغییرات زمانی رسوب معلق بر اساس خصوصیات زودبافت و موجود فیزیوگرافی و بارش، روشی مناسب در تبیین اقدامات حفاظت آب و خاک محسوب می‌شود. در این راستا تهیه رسوب‌نگارهای مصنوعی در قالب رسوب‌نگارهای واحد لحظه‌ای شیوه کاربردی و قابل استفاده برای حوضه‌های آبخیز فاقد اطلاعات تفصیلی دبی و رسوب تلقی می‌شود. حال آن که ارزیابی عمل کرد آن‌ها در سطح حوضه‌های آبخیز با شرایط مختلف کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. به همین منظور تحقیق حاضر به منظور مدل سازی رسوب‌نگار واحد لحظه‌ای در حوضه آبخیز کجور در شرق شهرستان نوشهر با مساحت حدود ۵۰۰ کیلومتر مربع صورت پذیرفت. در این روش با استفاده از آب‌نگار واحد لحظه‌ای، توزیع غلظت رسوب و رسوب مازاد، رسوب‌نگار مصنوعی رگبارها تهیه گردید. هم‌چنین برای دستیابی به رسوب‌نگار مشاهده‌ای، نمونه‌برداری از جریان رودخانه کجور در زمان وقوع هشت رگبار اتفاق افتاده طی دوره تحقیق در سال ۱۳۸۷ مد نظر قرار گرفت. نتایج مقایسه رسوب‌نگار مصنوعی و مشاهده‌ای بیانگر آن بود که روش مذکور با توجه به متوسط خطای تخمین ۷۶۴، ۱۱۱، ۷۵۰ و ۱۰۱ درصد به ترتیب در برآورد مقادیر اوج، زمان تا اوج، کل رسوب و زمان پایه رسوب‌نگار قادر به شبیه‌سازی هیچ‌یک از مؤلفه‌های رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای حوضه آبخیز مورد مطالعه نبوده است.

کلمات کلیدی: رسوب‌نگار مصنوعی، رسوب‌نگار واحد لحظه‌ای، رسوب معلق، حوضه آبخیز کجور

تاریخ دریافت مقاله: ۶ مرداد ۱۳۸۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۵ آبان ۱۳۹۰

1- Ph.D. Candidate, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.

2 Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran, Email: sadeghi@modares.ac.ir.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

به دست آمد. سپس به منظور تهیه رسوب‌نگار کل، مقدار رسوب مؤثر در عرض‌های آن ضرب شد. (Kumar and Rastogi, 1987) یک مدل مفهومی از رسوب‌نگار واحد لحظه‌ای برای پیش‌بینی نمودار رسوب در حوضه آبخیز کوهستانی Chaukhtia در هندوستان با استفاده از روندیابی رسوب در امتداد یک سری از مخازن خطی را ارائه دادند. (Das and Agarwal, 1990) مدل مفهومی IUSG را برای پیش‌بینی رسوب معلق با استفاده از نمودارهای زمان-مساحت برای یک حوضه آبخیز کوهستانی در هند ارائه کردند. (Sharma et al., 1992) با استفاده از آب‌نگار واحد لحظه‌ای Nash و روندیابی رسوب از مخازن متوالی، IUSG در حوضه آبخیز Luni هندوستان را تهیه نمودند. (Gracia-Sanchez, 1996) روشی برای به دست آوردن رسوب‌نگار بر مبنای تئوری IUH و انتگرال تغییر یافته ارائه داد. (Banasik and Walling, 1996) اقدام به مدل‌سازی IUSG بر اساس IUH و توزیع غلظت رسوب در حوضه آبخیز Dart انگلستان نمودند. (Banasik and Mitchel, 2008) با استفاده از آب‌نگار واحد لحظه‌ای Nash و رابطه بین زمان تأخیر آب‌نگار و زمان تأخیر رسوب‌نگار اقدام به مدل‌سازی IUSG در حوضه آبخیز Vermilion نمودند. (Singh et al., 2008) با استفاده از IUSG بر اساس آب‌نگار واحد لحظه‌ای Nash، روش شماره منحنی و معادلات توانی بین روان‌آب و رسوب مبادرت به تهیه رسوب‌نگار برای سه رگبار در حوضه آبخیز Negwan در هندوستان نمودند. (Sadeghi et al., 2009) از IUSG حاصل از آب‌نگار واحد لحظه‌ای Clark و روابط بین رسوب و بارش مازاد در حوضه آبخیز خانمیرزا در ایران به منظور برآورد تغییرات زمانی رسوب طی شش رگبار به‌طور موفقیت‌آمیز استفاده کردند. از بررسی سوابق تحقیق می‌توان استنباط نمود که برای تهیه رسوب‌نگار اصولاً از روش منحنی IUSG به واسطه قابلیت دسترسی به اطلاعات زودیافت و دقیق‌ترین استفاده صورت گرفته و از طرفی کاربرد آن در کاربری جنگل مورد توجه هیچ‌یک از سوابق پیشین قرار نگرفته است. از این‌رو با توجه به کمبود و یا فقدان بسیاری از اطلاعات مورد نیاز مدل‌سازی تغییرات زمانی رسوب در حوضه‌های آبخیز ایران، این تحقیق در نظر دارد توانایی مدل IUSG در شبیه‌سازی رسوب‌نگارهای اتفاق افتاده در حوضه آبخیز دانشگاه تربیت مدرس بر اساس داده‌های موجود و قابل اعتماد فیزیوگرافی، بارش مازاد و رسوب مؤثر را ارزیابی نماید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز کجور یکی از حوضه‌های البرز مرکزی در ارتفاعات جنگلی کجور در جنوب شرقی شهرستان نوشهر است (شکل ۱). این

رسوبات معلق رودخانه نتیجه فرسایش خاک و انتقال مواد به آبراهه‌ها می‌باشند. رسوب انتقال یافته حجم مفید مخازن را کاهش می‌دهد و از قابلیت استفاده از آن برای کاربردهای مختلف می‌کاهد. علاوه بر مقدار کل رسوب منتقل شده توسط رودخانه‌ها، چگونگی تغییرات زمانی رسوب حمل شده توسط آب‌های جاری برای مطالعات مرفولوژی رودخانه‌ها و طراحی سازه‌های کنترل رسوب و مخازن مورد نیاز است (Singh et al., 2008; Sadeghi et al., 2008;). هم‌چنین آگاهی از توزیع مقدار رسوب در طول سیل‌های بزرگ، مهندسان را در طراحی سازه‌ها برای رسوب‌گیری بهتر یاری می‌نماید. تخمین دقیق رسوب تولیدی در هر رگبار مستلزم داشتن تعداد کافی نمونه در هر واقعه و یا رسوب‌نگار^۱ است. با این وجود، در ایستگاه‌های هیدرومتری کشور، نمونه‌برداری رسوب به صورت تصادفی بوده و هیچ‌گونه ارزیابی از الگوی توزیع زمانی رسوب در سیلاب‌ها و وقایع بارندگی صورت نمی‌پذیرد. بنابراین اطلاعات دقیقی در مورد رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز کشور طی رگبارها وجود ندارد و مدیریت حوضه‌های آبخیز و طراحی اغلب سازه‌های حفاظت آب و خاک با دقت کافی انجام نمی‌شود. در این راستا استفاده از مدل‌های واسنجی شده و یا مدل‌سازی عوامل مؤثر در فرسایش و رسوب، منجر به ارزیابی‌های بهتر بار رسوبی و در نتیجه دقت بیشتر در طراحی سازه‌های هیدرولیکی و حفاظت خاک و آب می‌گردد. از این‌رو مدل‌سازی تغییرات زمانی رسوب معلق بر اساس خصوصیات زودیافت و موجود فیزیوگرافی و بارش، روشی مناسب در تبیین اقدامات حفاظت آب و خاک محسوب می‌شود. در این راستا مدل‌های مختلفی به منظور برآورد مقدار فرسایش یا رسوب در مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت و تحت شرایط مختلف ایجاد شده است. از جمله مدل‌های معمول در زمینه برآورد تغییرات زمانی رسوب معلق در طی رگبار، رسوب‌نگار واحد لحظه‌ای^۲ می‌باشد (Singh et al., 2008;). (Gracia-Sanchez, 1996; Kumar and Rastogi, 1987) رسوب‌نگار واحد لحظه‌ای مفهومی مترادف با آب‌نگار واحد لحظه‌ای داشته و به معنای رسوب ایجاد شده از یک رگبار آبی می‌باشد که به صورت یک‌نواخت در سطح حوضه آبخیز باریده و موجب یک واحد رسوب مازاد^۳ (مشابه روان‌آب مستقیم) شده است (Sadeghi et al., 2009; Banasik and Mitchel, 2008;). (Banasik and Walling, 1996; Das and Agarwal, 1990) Williams (1978) برای اولین بار مفهوم IUSG برای ۵ حوضه آبخیز در Texas را پیشنهاد نمود. در این روش منحنی تغییرات رسوب طی زمان از حاصل ضرب عرض‌های IUH و غلظت رسوب

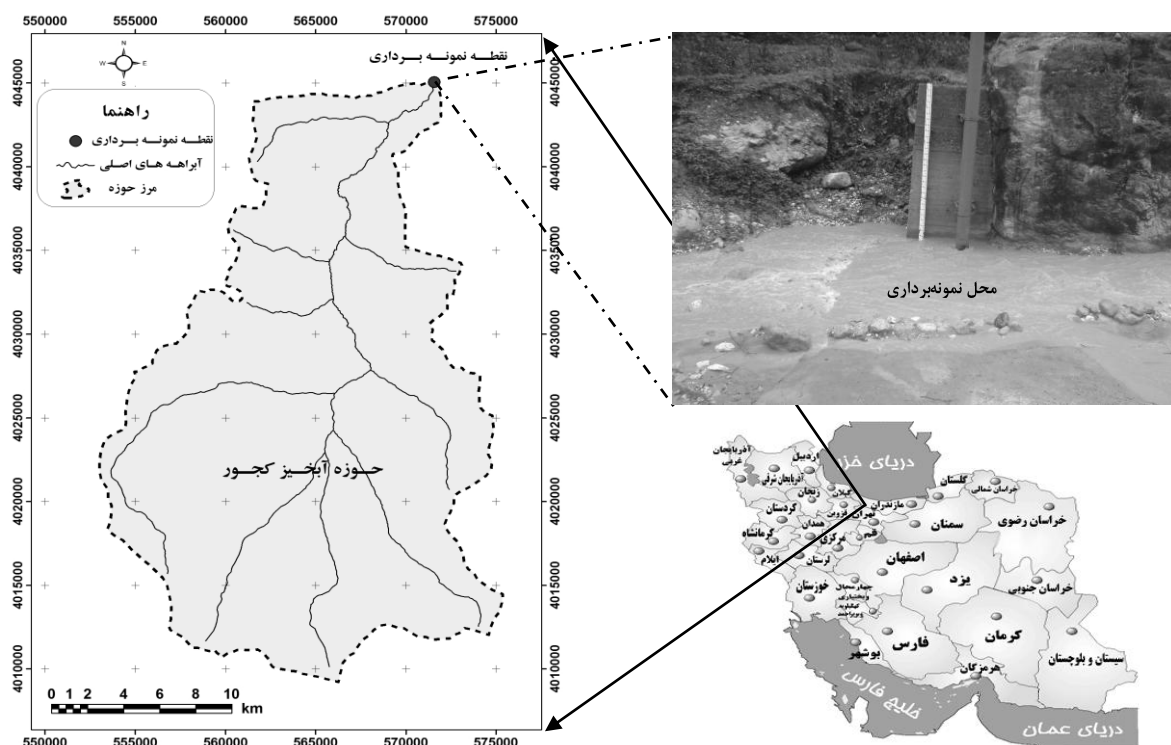
نمونه آب و رسوب را درون بشر ریخته، سپس آن را به مدت ۴۸ ساعت به حالت سکون نگه داشته، بعد از این مدت، به آرامی اقدام به تخلیه آب بالای رسوبات گردید. بعد از خالی کردن آب اضافی، رسوبات موجود در کف ظرف را شسته و درون فویل‌های از قبل تهیه و توزین شده ریخته و در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید (Putjaroon and Pongewn, 1987). با توزین نمونه‌های فویل همراه رسوب و کسر نمودن وزن فویل‌های اولیه، وزن رسوب نمونه برحسب گرم در لیتر محاسبه شد.

از آنجایی که برای تهیه رسوب‌نگار مصنوعی با استفاده از مفهوم IUSG، در اختیار داشتن منحنی زمان-مساحت حوضه آبخیز برای تهیه IUH، غلظت رسوب و رسوب مؤثر ضروری می‌نمود لذا در این تحقیق از تئوری Clark بر اساس منحنی‌های زمان-مساحت و روندیابی جریان از یک مخزن خطی (صادقی و دهقانی، ۱۳۸۵؛ Subramanya, 2000) به منظور تهیه IUH استفاده شد. برای این منظور، طول آبراهه متناسب با تعداد بخش‌های لازم تقسیم شده و با امتداد دادن نقطه مربوطه در روی محور طولی آبراهه، ارتفاع متناظر با آن قرائت و روی نقشه توپوگرافی منتقل شده و نقشه خطوط هم‌زمان تمرکز و بخش‌های مربوطه تهیه گردید (Das and Agarwal, 1990; Subramanya, 2000).

حوضه آبخیز از شمال با دریای خزر و از جنوب با بخش کجور مجاور است. حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه آبخیز به ترتیب ۱۵۰ و ۲۶۵۰ متر از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. اکثر دامنه‌ها در جهت شمال غربی-شمال شرقی قرار گرفته‌اند (رئیس‌ی و همکاران، ۱۳۸۹).

۲-۲- روش تحقیق

به منظور تهیه رسوب‌نگارهای مشاهداتی نیاز به داده‌های دبی آب و غلظت رسوبات معلق در مقیاس رگبار بود. از آنجایی که نمونه‌برداری به منظور تعیین غلظت رسوب در حوضه آبخیز کجور صورت نمی‌گیرد، لذا برای تهیه رسوب‌نگار رگبارها، نمونه‌برداری از آب رودخانه طی رگبارها صورت گرفت. نمونه‌برداری هم‌زمان با وقوع رگبار در فصول پاییز و زمستان ۱۳۸۷ و بهار ۱۳۸۸ بعد از کسب اطلاع از متصدیان محلی و با حضور سریع در حوضه آبخیز از جریان آب رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری به وسیله ظروف پلاستیکی ۲ لیتری (Das, 2000) و به روش انتگراسیون عمقی (Edwards and Glysson, 1999) با فواصل زمانی حداکثر یک ساعت به عمل آمد. هم‌زمان با برداشت هر نمونه رسوب، دبی جریان رودخانه نیز با اندازه‌گیری سرعت آب، قرائت اشل و اندازه‌گیری سطح مقطع به دست آمد. برای اندازه‌گیری غلظت رسوب از روش تخلیه آب استفاده شد (Walling et al., 2001). در این روش ابتدا یک لیتر



شکل ۱ - موقعیت کلی حوضه آبخیز کجور و محل نمونه‌برداری

سپس مساحت مناطق محصور بین دو خط هم‌زمان تمرکز با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 9.2 تعیین و منحنی زمان-مساحت ترسیم شد. در ادامه با استفاده از رابطه (۱)، نمودار زمان-مساحت به‌جریان ورودی به مخزن فرضی در انتهای حوضه آبخیز تبدیل شد (Sadeghi et al., 2009; Subramanya, 2000).

$$I_i = 2.78 \frac{A_i}{\Delta t_c} \quad (1)$$

که در آن I_i دبی ورودی در هر دوره زمانی (مترمکعب بر ثانیه)، A_i مساحت شرکت کننده در انتهای دوره زمانی (کیلومتر مربع) و Δt_c دوره زمانی مبنای IUH (ساعت) می‌باشند. سپس روندیابی جریان مذکور با استفاده از معادله ماسکینگام (رابطه ۲) انجام و عرض‌های IUH به‌دست آمدند (Das and Agarwal, 1990; Subramanya, 2000).

$$Q_2 = \frac{\Delta t_c}{K + 0.5\Delta t_c} I_1 + \frac{K - 0.5\Delta t_c}{K + 0.5\Delta t_c} Q_1 \quad (2)$$

که در آن Δt_c زمان تمرکز هر بخش هم‌زمان تمرکز (ساعت)، I_1 و Q_1 به‌ترتیب جریان ورودی و خروجی اولیه و Q_2 جریان خروجی بعد از زمان Δt_c (متر مکعب بر ثانیه) می‌باشند. پارامتر K ضریب ذخیره حوضه آبخیز (ساعت) بوده و از روش ترسیمی به‌دلیل سهولت استفاده و عمل‌کرد بهتر در مقایسه با سایر شیوه‌ها (صادقی و دهقانی، ۱۳۸۵) به‌دست آمد. در ادامه به‌منظور تهیه عرض‌های IUH (ساعت)، از حاصل‌ضرب عرض‌های IUH تهیه شده به‌روش Clark (U_t) در غلظت رسوب (C_t) و به‌صورت رابطه (۳) استفاده شد (Sadeghi et al., 2009; Banasik and Mitchel, 2008; Banasik and Walling, 1996).

$$S_t = \frac{u_t c_t}{\int_0^\infty u_t c_t dt} \quad (3)$$

مقادیر غلظت رسوب طی رگبارهای مورد بررسی با استفاده از رابطه حاکم بر توزیع زمانی غلظت رسوب و با استفاده از رابطه (۴) (Sadeghi et al., 2009; Banasik and Mitchel, 2008; Banasik and Walling, 1996; Williams, 1978) به‌دست آمد.

$$C_t = \exp(-Zt) \quad (4)$$

پارامتر Z نیز از رابطه (۵) و با کمک عوامل دبی اوج (Q_p)، مقدار اوج بارندگی در واحد زمان (Q_p) و زمان تا اوج حوضه آبخیز (T_p) به ترتیب برحسب مترمکعب بر ثانیه، مترمکعب بر ثانیه و ساعت محاسبه شد (Sadeghi et al., 2009; Williams, 1978).

$$Z = \frac{-\ln(q_p / Q_p)^{0.56}}{T_p} \quad (5)$$

در ادامه برای به‌دست آوردن رسوب‌نگارهای مصنوعی رگبارها از تبدیل IUSG به USG، همانند تبدیل آب‌نگار واحد لحظه‌ای به آب‌نگار واحد از رابطه (۶) استفاده شد (Subramanya, 2000; Sadeghi et al., 2009).

$$(T-h USG)_t = 1/2 [(IUSG)_t + (IUSG)_{t+T}] \quad (6)$$

که در آن $(T-h USG)_t$ عرض‌های رسوب‌نگار واحد T ساعته در زمان t و $(IUSG)_t$ و $(IUSG)_{t+T}$ به‌ترتیب عرض‌های IUSG در زمان t و T ساعت تأخیر می‌باشند. در نهایت برای تهیه رسوب‌نگار مستقیم مشاهداتی از تبدیل T-h USG به رسوب‌نگار مستقیم از رسوب مؤثر استفاده شد. رسوب مؤثر نیز از طریق تحلیل روابط مناسب بین داده‌های غلظت رسوب و بارش مؤثر و با استفاده از آنالیز داده‌های ثبت شده برای منطقه به‌دست آمد (Sadeghi and Singh, 2005; Sadeghi et al., 2009).

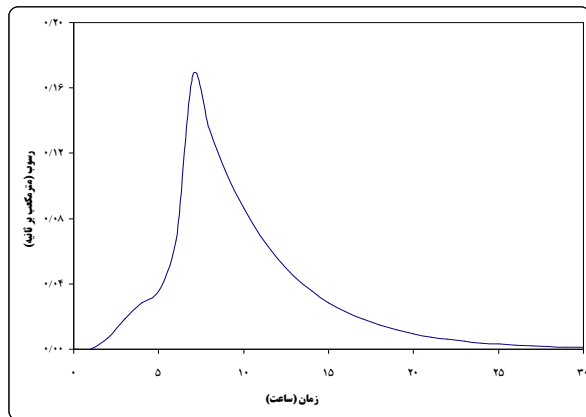
ارزیابی عمل‌کرد IUSG از طریق مقایسه کیفی و کمی رسوب‌نگارهای برآوردی و مشاهداتی صورت پذیرفت. در این ارتباط از معیارهای خطای نسبی برای مؤلفه‌های مهم رسوب‌نگار شامل حجم رسوب، مقدار اوج رسوب، زمان پایه و زمان تا اوج رسوب‌نگار و نیز ضریب کارایی استفاده گردید (Green and Stephenson, 1986; Sadeghi et al., 2009). برای اعتبارسنجی نهایی مدل از معیارهای خطای نسبی کم‌تر از ۴۰ درصد (Liu and Li, 2008; Das, 2000) و ضریب کارایی بیش از ۵۰ درصد و ترجیحاً نزدیک به یک (صادقی و همکاران، ۱۳۸۴) استفاده شد.

۳- نتایج

برای انجام تحقیق حاضر نمونه‌برداری از رسوب ۸ رگبار به‌وقوع پیوسته در طول دوره مورد مطالعه پاییز و زمستان ۱۳۸۷ و بهار ۱۳۸۸ و به‌روش شرح داده شده، صورت پذیرفت. از آنجایی که زمان تمرکز این حوضه آبخیز بر اساس داده‌های بارش و روان‌آب ثبت شده حدود ۵/۵ ساعت بود، لذا حداکثر زمان پیمایش بین دو خط هم‌زمان تمرکز یک ساعت در نظر گرفته و کل حوضه آبخیز مذکور به ۶ قسمت با زمان پیمایش مساوی تقسیم شد. در شکل ۲ مشخصات مناطق هم‌زمان تمرکز حوضه آبخیز کجور ارائه شده است.

سپس با استفاده از رابطه (۱) منحنی زمان-مساحت، در هر پایه زمانی Δt_c (یک ساعت)، به دبی جریان تبدیل شد. پس از محاسبه کلیه ورودی‌های مورد نیاز مدل Clark، آب‌نگار واحد لحظه‌ای حوضه آبخیز جنگلی کجور مطابق شکل ۳ تهیه شد. همچنین با جایگزینی مقادیر دبی اوج سیل و بارش مازاد بر حسب مترمکعب بر

شکل ۴- نسبت بدون بعد غلظت رسوب حوضه آبخیز کجور



شکل ۵- رسوب‌نگار واحد لحظه‌ای حوضه آبخیز کجور

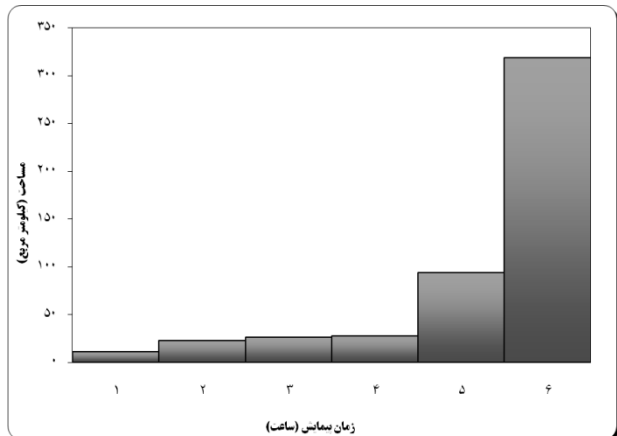
در ادامه با استفاده از رابطه (۶)، مقادیر عرض USG حاصل شده از طریق ضرب در رسوب مازاد، به رسوب‌نگارهای مصنوعی به صورت ارائه شده در شکل ۴ تبدیل شدند. مقدار رسوب مؤثر سیلاب‌ها (ES) بر حسب تن در کیلومتر مربع، به‌عنوان تابعی از متوسط دبی سیل (ER) بر حسب مترمکعب بر ثانیه و بر اساس رابطه (۷) با ضریب تبیین و خطای تخمین به‌ترتیب ۹۸ و ۳۹ درصد مد نظر قرار گرفت. شکل ۶ رسوب‌نگار تخمینی و مشاهداتی را برای وقایع مورد بررسی در حوضه آبخیز کجور نشان می‌دهد.

$$ES^{0.33} = 0.269 (ER) + 1.0044 \quad (7)$$

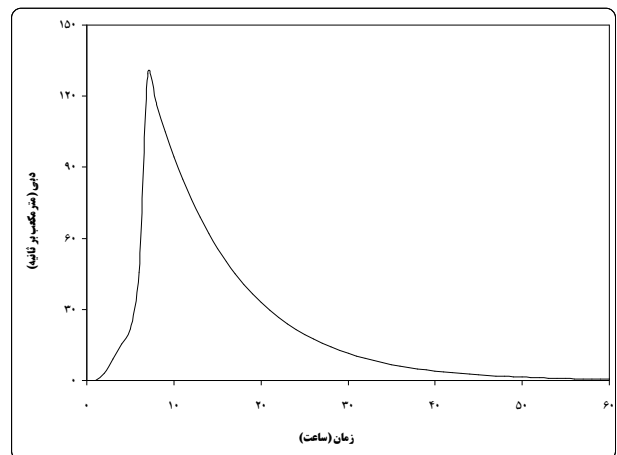
۳-۱- جمع بندی نتایج

بر اساس روش کار ارائه شده، رسوب‌نگار مصنوعی رگبارهای مورد مطالعه در حوضه آبخیز جنگلی کجور برآورد گردید و سپس با رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار گرفتند. در این تحقیق متوسط پارامتر روندیابی رسوب (Z) برابر با ۰/۱۱۶ به‌دست آمد که با یکی از مدل‌های پیشنهادی (Sadeghi (2000) در حوضه آبخیز امامه مطابقت دارد. حداقل و حداکثر پارامتر مذکور مربوط به روزهای ۱۰ و ۸ آبان ۱۳۸۷ و به‌ترتیب ۰/۰۳۱ و ۰/۲۲۵ بوده است (Banasik, 1995, Banasik and Walling (1996) و Sadeghi et al. (2009) مقدار این پارامتر در زمان اوج و شکل رسوب‌نگار واحد لحظه‌ای را مؤثر اعلام کرده‌اند. در این ارتباط اگر مقدار Z مثبت باشد نشان‌دهنده رسوب‌نگاری کشیده با اوج زودرس می‌باشد. کثرت رسوب‌نگارهای زودرس و بعضاً هم‌زمان در حوضه آبخیز کجور، توجیه کننده مقدار مثبت Z و دلالت بر مفهوم‌سازی صحیح در فرآیند مدل‌سازی این پارامتر می‌باشد. همان‌طور که در رسوب‌نگارهای ارائه شده در شکل ۵ مشاهده می‌گردد، در اغلب

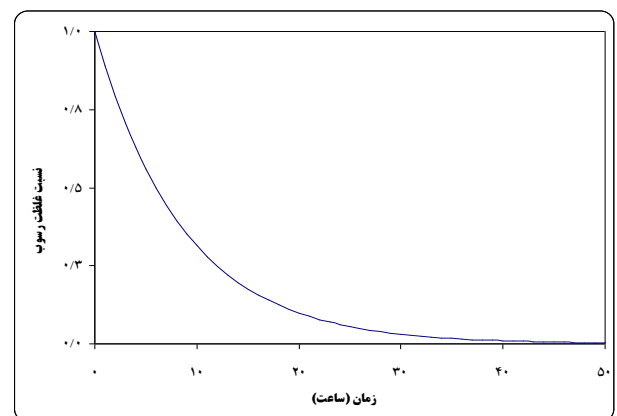
ثانیه در رابطه (۵)، مقدار متوسط پارامتر روندیابی رسوب $0.08 \pm$ بر حسب معکوس ساعت (h^{-1}) به‌دست آمد. سپس با استفاده از روابط (۴) و سپس (۳) به‌ترتیب میزان توزیع بدون بعد غلظت رسوب و عرض‌های رسوب‌نگار واحد لحظه‌ای به‌صورت ارائه شده در شکل‌های ۴ و ۵ برآورد گردید. همچنین نتایج کاربرد معیارهای خطای تخمین و ضریب کارایی برای برآورد مؤلفه‌های مهم رسوب‌نگارها در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۲- بخش‌های هم‌زمان تمرکز حوضه آبخیز کجور

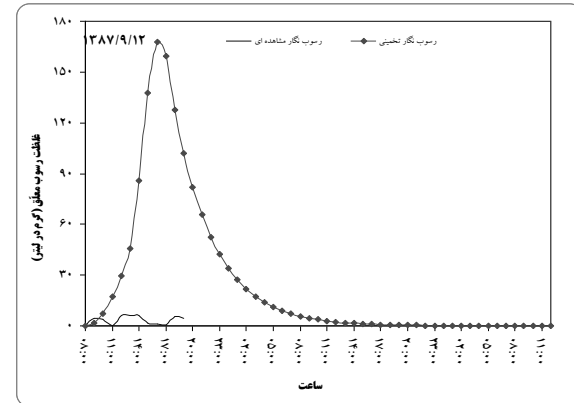
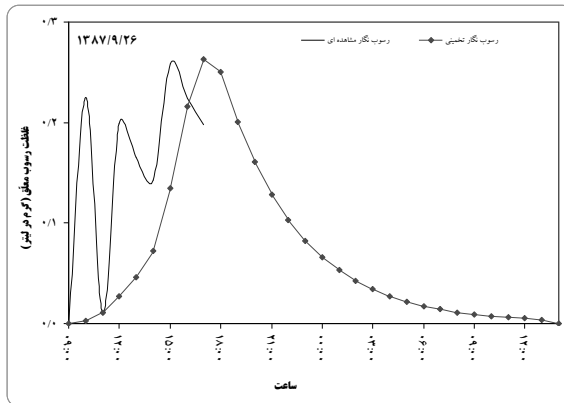
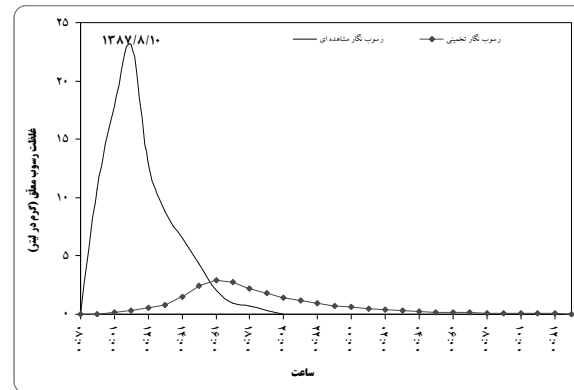
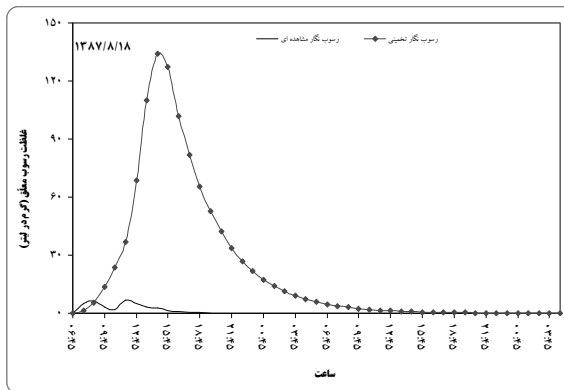
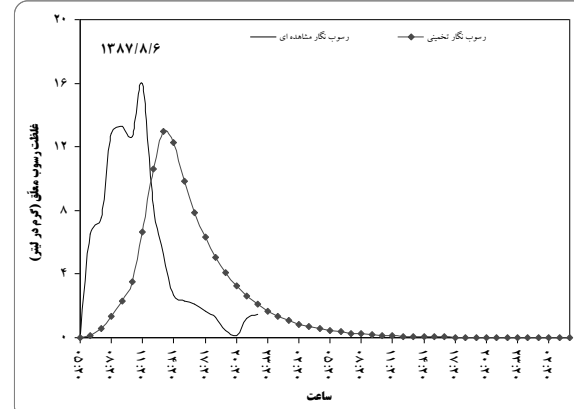
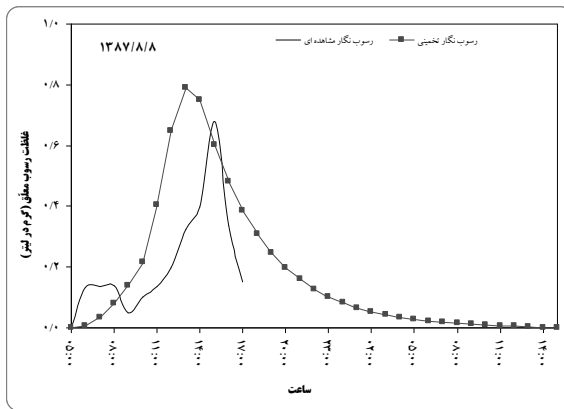
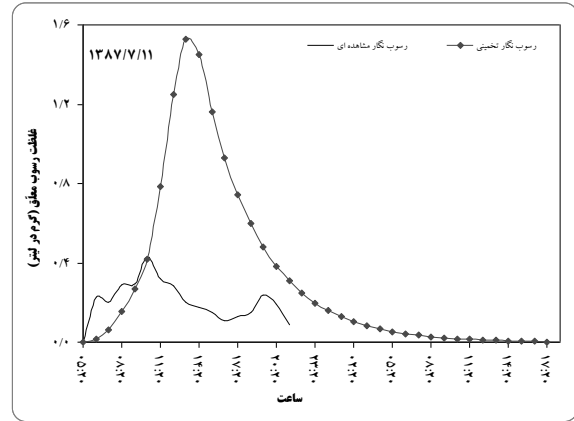
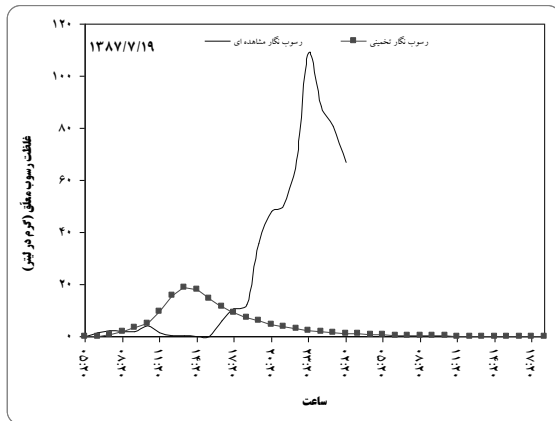


شکل ۳- آبنگار واحد لحظه‌ای تهیه شده به روش کلارک در حوضه آبخیز کجور



زمانی رسوب معلق حوضه آبخیز کجور نبوده است.

موارد رسوب‌نگار برآوردی قادر به ارائه شکل صحیحی از تغییرات



شکل ۶ رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای و تخمینی حاصل از کاربرد روش IUSG

ردیف	تاریخ رگبار	مقدار کل رسوب (تن)			زمان پایه رسوب‌نگار (ساعت)		
		مشاهده‌ای	تخمینی	خطای تخمین (درصد)	مشاهده‌ای	تخمینی	خطای تخمین (درصد)
۱	۱۳۸۷/۰۷/۱۱	۰/۸۱	۲/۲۹	۱۸۲	۱۱/۰۰	۲۱۸	
۲	۱۳۸۷/۰۷/۱۹	۲۵۸/۰۰	۳۱/۵۲	۸۷	۱۱/۰۰	۳۳۶	
۳	۱۳۸۷/۰۸/۰۶	۲۴/۸۹	۳۴/۲۰	۳۷	۱۱/۰۰	۳۱۸	
۴	۱۳۸۷/۰۸/۰۸	۰/۴۹	۰/۸۴	۷۱	۱۱/۰۰	۲۰۰	
۵	۱۳۸۷/۰۸/۱۰	۱۹/۹۰	۴/۲۴	۷۸	۸/۴۵	۳۶۱	
۶	۱۳۸۷/۰۸/۱۸	۱۳۸/۲۰	۲۸۶۶/۷۸	۱۹۷۴	۹/۱۵	۵۱۲	
۷	۱۳۸۷/۰۹/۱۲	۱۵۲/۲	۳۴۸۱/۰۸	۲۱۸۷	۸/۱۵	۵۹۹	
۸	۱۳۸۷/۰۹/۲۶	۰/۲۲	۰/۱۶	۲۷	۷/۰۰	۳۰۰	

جدول ۱- مقایسه مؤلفه‌های مختلف رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای و تخمینی رگبارهای مورد مطالعه

ردیف	تاریخ رگبار	زمان تا اوج (ساعت)			اوج غلظت رسوب معلق (گرم در لیتر)		
		مشاهده‌ای	تخمینی	خطای تخمین (درصد)	مشاهده‌ای	تخمینی	خطای تخمین (درصد)
۱	۱۳۸۷/۰۷/۱۱	۳/۰	۹	۲۰۰	۰/۵۵	۱/۵۳	
۲	۱۳۸۷/۰۷/۱۹	۹/۰	۹	۰	۱۰۸/۰۰	۱۹/۲۰	
۳	۱۳۸۷/۰۸/۰۶	۵/۵	۹	۶۳	۱۶/۰۰	۱۲/۹۵	
۴	۱۳۸۷/۰۸/۰۸	۹/۰	۹	۰	۰/۶۸	۰/۷۹	
۵	۱۳۸۷/۰۸/۱۰	۷/۵	۹	۲۰	۲۳/۱۰	۲/۹۳	
۶	۱۳۸۷/۰۸/۱۸	۳/۰	۹	۲۰۰	۶/۹۶	۱۳۴/۱۷	
۷	۱۳۸۷/۰۹/۱۲	۲/۸	۹	۲۲۱	۶/۷۵	۱۶۷/۳۴	
۸	۱۳۸۷/۰۹/۲۶	۲/۰	۹	۳۵۰	۰/۲۶	۰/۲۵	

ادامه جدول ۱- مقایسه مؤلفه‌های مختلف رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای و تخمینی رگبارهای مورد مطالعه

مطالعه و طبقاً ضریب ذخیره بالای حوضه آبخیز (متوسط ۱۰/۵ ساعت) باعث طولانی شدن شاخه خشکیدگی آب‌نگار واحد لحظه‌ای گردیده است. علاوه بر این عدم امکان نمونه‌برداری تا زمان اتمام کامل رسوب سیلاب نیز در این زمینه نقش مؤثری داشته است.

همان‌طور که در نتایج ارائه شده در جدول ۱ مشاهده می‌شود رسوب‌نگار تخمینی رگبارهای ۱۹ مهر و ۸ آبان ۱۳۸۷ دارای زمان تا اوج برابری با مقادیر مشاهداتی می‌باشند، در حالی که در سایر رگبارها بیش تخمینی مدل در این زمینه مشهود بوده است و با یافته‌های (Sadeghi et al. 2009) و همکاران مبنی بر کم تخمینی کامل مدل در زمان تا اوج رسوب‌نگار مغایرت دارد. همچنین در رگبارهای ۱۱ مهر، ۸ و ۱۸ آبان و ۱۲ آذر ۱۳۸۷، رسوب‌نگارهای

در این راستا (Williams 1978) قابلیت روش مذکور را تنها در شبیه‌سازی رسوب معلق حاصل از فرسایش دامنه‌ها عنوان کرده است. به عبارتی این روش در صورت وجود شرایط یک‌نواخت در منطقه توانایی شبیه‌سازی شکل مناسب رسوب‌نگار را دارا می‌باشد و نوسانات ایجاد شده در رسوب‌نگار ناشی از لغزش، فرسایش کناری شدید و برداشت رسوبات کانالی در خود را نشان نمی‌دهد. علاوه بر این به دلیل تک اوج بودن IUH، قطعاً رسوب‌نگارهای حاصله از این روش نیز یک اوج خواهند داشت که خود دلیلی بر عدم یکسانی شکل رسوب‌نگارهای برآوردی و تخمینی می‌باشد. مقایسه کیفی رسوب‌نگارهای مشاهداتی و تخمینی بیان‌گر زمان پایه بزرگ‌تر در رسوب‌نگارهای تخمینی بوده و دلیل این امر تبعیت IUSG مشتق شده از IUH با زمان پایه طولانی می‌باشد. جنگلی بودن منطقه مورد

۴- نتیجه گیری

تحقیق حاضر با هدف تهیه منحنی تغییرات زمانی رسوب در پایه رگبار یا رسوب‌نگار در حوضه آبخیز جنگلی دانشگاه تربیت مدرس (کجور) صورت پذیرفت. از مقایسه رسوب‌نگارهای شبیه‌سازی شده به‌وسیله مفهوم IUSG با رسوب‌نگارهای متناظر مشاهده‌ای آن‌ها می‌توان جمع‌بندی نمود که کارایی مدل مذکور در شبیه‌سازی هیچ یک از مؤلفه‌های رسوب‌نگارها مناسب نبوده و لذا استفاده از آن در حوضه آبخیز مورد مطالعه و یا حوضه‌های آبخیز مشابه با پیچیدگی‌های هیدرولوژیکی و رفتار متغیر و ناپایدار پیشنهاد نمی‌شود. اگرچه ارائه جمع‌بندی‌های نهایی مستلزم انجام مطالعات گسترده‌تر، تحلیل‌های مقیاسی مناسب و تداوم تحقیق بیشتر می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج حاصل از تحقیق فعلی و کاربرد مدل IUSG در حوضه آبخیز مذکور، ارزیابی عمل‌کرد سایر شیوه‌های تهیه آب‌نگار واحد لحظه‌ای بر اساس منحنی‌های مختلف زمان-مساحت و نیز ضریب ذخیره برای شبیه‌سازی رسوب‌نگارهای مشاهده‌ای منطقه مورد مطالعه، ارزیابی کارایی سایر شیوه‌های تخمین نسبت غلظت رسوب، ضریب روندیابی رسوب و نیز رسوب مازاد در دقت مدل IUSG و افزایش دوره نمونه‌برداری و جمع‌آوری باران‌نگار، آب‌نگار و رسوب‌نگار، به منظور ارتقای کیفی فرآیند مدل‌سازی بارش، روان‌آب و رسوب، برای تحقیقات پیشنهاد می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Sediment Graph
- 2-Instantaneous Unit Sediment Graph, IUSG
- 3-Sediment Mobilized
- 4-Instantaneous Unit Hydrograph, IUH

۶- مراجع

- رئیس، م.ب، صادقی، س.ح.ر، نور، ح، (۱۳۸۹)، دقت روش زمان - مساحت در تهیه رسوب‌نگار در حوزه آبخیز کجور. مرتع: ۴ (۲)، ۳۳۳-۳۲۰.
- صادقی، س.ح.ر، دهقانی، م.، (۱۳۸۵)، دقت روش‌های تخمین ضریب ذخیره آب‌نمود واحد لحظه‌ای در بازسازی آب‌نمود واحد سیل، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۳(۳)، صص ۱۵۲-۱۵۹.
- صادقی، س.ح.ر، مرادی، ح.ر، مزین، م.، وفاخواه، م.، (۱۳۸۴)، کارایی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدل‌سازی بارش-رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کسلیان)، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۲(۳)، صص ۸۱-۹۰.

برآوردی دارای مقدار اوج بیش‌تری نسبت به مقادیر مشاهداتی بوده در حالی‌که در سایر رگبارها این مقدار را کم‌تر از حد مشاهده‌ای برآورد نموده است که با یافته‌های (Sadeghi et al. (2009 مغایرت داشته حال آن‌که Williams (1978) عدم روند یک‌سان IUSG در تخمین اوج رسوب‌نگارهای مختلف را گزارش کرده است. کم‌ترین خطای مدل در تخمین مهم‌ترین مؤلفه‌های رسوب‌نگار، مربوط به زمان تا اوج رسوب‌نگار با متوسط خطای تخمین ۱۱۱ درصد و حداقل و حداکثر به‌ترتیب صفر و ۳۵۰ درصد مربوط به رگبارهای ۱۷ مهر و ۸ آبان و ۲۶ آذر ۱۳۸۷ می‌باشد. روش IUSG در حوضه آبخیز کجور در هیچ‌یک از وقایع بارش قادر به برآورد اوج غلظت رسوب معلق و زمان پایه رسوب‌نگار با در نظر گرفتن سطح ۴۰ درصد برای خطای تخمین نبود به‌طوری‌که متوسط خطا به‌ترتیب ۷۶۴ و ۱۰۱ درصد به‌دست آمده است. بررسی مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی رسوب‌دهی رگبارها نشان‌دهنده آن است که تنها در ۶ و آبان و ۲۶ آذر ۱۳۸۷ مدل قادر به برآورد صحیح کل رسوب انتقال یافته با خطای به‌ترتیب ۳۷ و ۲۷ درصد بوده است. حال آن‌که متوسط خطای مدل در برآورد این مؤلفه برای سایر رگبارها و با تأکید بر عمل‌کرد بسیار نامناسب آن برای رگبارهای ۱۸ آبان و ۱۲ آذر ۱۳۸۷ در حدود ۷۵۰ درصد برآورد شده است. همچنین دقت در مقادیر ضریب کارایی نشان‌دهنده عدم کارایی روش مذکور در تهیه منحنی تغییرات زمانی رسوب است. ضریب کارایی منفی این رسوب‌نگارها و مطابق با یافته‌های (Mishra et al. (2006 و (Sadeghi et al. (2009 دلالت بر برتری میانگین مقادیر مشاهداتی به‌جای تخمین‌های مدل دارد.

تغییرپذیری شرایط از جمله پوشش توده‌های باران‌زا در منطقه، رطوبت پیشین خاک و موجودیت رسوب را می‌توان از عوامل تأثیرگذار در تغییر پاسخ‌های هیدرولوژیک حوضه آبخیز مذکور عنوان کرد. همچنین تغییرات ارتفاعی شدید منطقه و گردادیان متغیر و در مجموع منفی بارش به‌همراه عدم بارش‌های فراگیر در حوضه آبخیز مذکور باعث عدم مشارکت تمامی مناطق در تولید روان‌آب و رسوب گردیده است. در این‌صورت شرط وجود بارش یک‌نواخت در سطح حوضه آبخیز برای رسوب‌نگار واحد لحظه‌ای تأمین نمی‌شود که می‌تواند به‌عنوان یکی دیگر از عوامل ناکارآمدی روش مذکور در حوضه آبخیز مطالعاتی باشد. حساسیت روش مذکور به داده‌های بارش به‌منظور برآورد مقدار و زمان تداوم بارش مازاد و نبود آمار بارندگی در پایه‌های زمانی کوتاه در منطقه مورد مطالعه از دیگر دلایل عدم کارایی IUSG در این مطالعه محسوب می‌شود.

- Putjaroon, W. and Pongewn, K. (1987), Amount of Runoff and Soil Losses from Various Landuse Sampling Plots in Province, Thailand, *Proceeding of Forest Hydrology and Watershed Management, August 1987*, IAHS-AISH, Publication, pp.167-198.
- Sadeghi, S.H.R. (2000), *Some Aspects of Spatial and Temporal Distribution and Development of Prediction Model of Watershed Sediment Yield*, Ph.D. Dissertation, G.B. Pant University of Agriculture and Technology, India, 243p.
- Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S. and Onda, Y. (2008), Development, Evaluation and Interpretation of Sediment Rating Curves for a Japanese Small Mountainous Reforested Watershed, *Geoderma*, 144, pp. 198-211.
- Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T., Singh, J.K. and Tofighi, B., (2009), Applicability of Instantaneous Unit Sediment Graph Model in an Iranian Large Watershed, *Journal of Ecological Economics and Statistics*, 13, pp. 30-45.
- Sadeghi, S.H.R. and Singh, J.K. (2005), Development of a Synthetic Sediment Graph using Hydrological Data, *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)*, 7, pp. 69-77.
- Sharma, K.D., Dhi, R.P. and Murthy, J.S.R. (1992), Modelling Suspended Sediment Flow in Arid Upland Basins, *Hydrological Sciences Journal*, 37(5), pp. 481-49.
- Singh, P.K., Bhunya, P.K., Mishra, S.K. and Chaube, U.C. (2008), A Sediment Graph Model Based on SCS-CN Method, *Journal of Hydrology*, 349, pp. 244-255.
- Subramanya, K. (2000), *Engineering Hydrology*, 2nd edition, New Delhi, India, 391p.
- Walling, D.E., Collins, A.L., Sickingabula, H.A. and Leeks, G.J.L. (2001), Integrated Assessment of Catchment Suspended Sediment Budgets: A Zambian Example, *Land Degradation and Development*, 12, pp. 387-415.
- Williams, J.R. (1978), A Sediment Graph Model based on an Instantaneous Unit Hydrograph, *Journal of Water Resources Research*, 14(4), pp. 659-664.
- Banasik, K. (1995), A conceptual Model of Instantaneous Unit Sedimentgraph. *Sediment and Water Quality in River Catchment*, pp. 97-105.
- Banasik, K. and Mitchell, J.K. (2008), Conceptual Model of Sedimentgraph from Flood Events in a Small Agricultural Watershed, *Land Reclamation*, 39, pp. 49-57.
- Banasik, K. and Walling, D.E. (1996), Predicting Sedimentgraphs for a Small Agricultural Catchment, *Nordic Hydrology*, 27(4), pp. 275-284.
- Das, G. (2000), *Hydrology and Soil Conservation Engineering*, Prentice-Hall of India, 489p.
- Das, G. and Agrawal, A. (1990), Development of Conceptual Sedimentgraph Model, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, ASAE*, 33(1), pp. 100-104.
- Edwards, T.K. and Glysson, G.D. (1999), Field Methods for Measurement of fluvial Sediment, *USGS Open-file Report 1-97 p. Available at: <http://water.usgs.gov/osw/techniques/Edwards-TWRI.pdf1999>*
- Gracia-Sanchez, J. (1996), Generation of Synthetic Sediment Graphs, *Hydrological Processes*, 10, pp. 1181-1191.
- Green, I.R.A. and Steohenson, D. (1986), Criteria for Comparison of Single Event Models, *Hydrological Sciences Journal*, 31, pp. 395-411.
- Kothyari, U.C., Jain, M. and Ranga Raju, K. (2002), Estimation of Temporal Variation of Sediment Yield using GIS, *Hydrological Sciences Journal*, 47(5), pp. 693-706.
- Kumar, S. and Rastogi, R.A. (1987), A Conceptual Catchment Model for Estimating of Suspended Sediment Flow, *Journal of Hydrology*, 95, pp. 155-163.
- Liu, X. and Li, J. (2008), Application of SCS Model in Estimation of Runoff from Small Watershed in Loess Plateau of China, *Chinese Geographical Sciences*, 18(3), pp. 235-241.
- Mishra, S.K., Tyagi, J.V., Singh, V.P. and Singh, R. (2006), SCS-CN based Modeling of Sediment Yield, *Journal of Hydrology*, 324, pp. 301-322.