پژوهش های آبخیزداری شماره ۸۸، پاییز ۱۳۸۹
(پژوهش و سازندگی)

کارآیی رسوب نمود واحد لحظه‌ای در پیش بینی گراف رسوب وقایع سیلابی رودخانه قره چای

• جواد وروانی
استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی –واحد اراک (نویسنده مسئول)
تاریخ دریافت: اردیبهشت ماه ۱۳۸۷ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ماه ۱۳۸۸
تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۸۶۲۹۹۲۱
Email: j-varvani@iau-arak.ac.ir

چکیده

گراف رسوب واحد لحظه‌ای (IUSG) یکی از روش‌های موجود برای پیش بینی گراف رسوب وقایع سیلابی بوده که کاربرد آن مستلزم برآورد میزان تامین رسوب لحظه‌ای، پارامترهای ضریب ذخیره (Ks)، ضریب شکل بی بعد (ns)و زمان تا اوج می باشد. بررسی روابط بین پارامترهای مذکور و متغیرهای کمکی مثل ویژگی‌های جریان و بارش امکان کاربرد روش رسوب نمود واحد لحظه‌ای را درحوزه‌های آبخیز فاقد ایستگاه اندازه‌گیری میسر می‌سازد. بدین منظوربرای بررسی رابطه پارامترهای رسوب نمود واحد لحظه‌ای سیلاب‌ها با ویژگی های بارش وجریان، ۵ واقعه سیلابی در محل ایستگاه هیدرومتری و رسوب سنجی پل دوآب(رودخانه قره چای – استان مرکزی) با فواصل زمانی یک ساعته از نظر میزان دبی جریان و غلظت رسوب معلق همزمان مورد پایش قرار گرفت. با توجه به گراف رسوب مشاهده‌ای و هیتوگراف بارش‌های مربوطه و استفاده از روش گشتاورها پارامترهای رسوب نمود واحد لحظه‌ای هر سیلاب استخراج گردید. سپس رابطه آن با مقدار بارش موثرو دبی اوج سیلاب‌ها مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد رابطه نمایی بین ضریب ذخیره سیلاب‌ها و مقدار بارش موثر نسبت به مقادیر دبی اوج جریان از ضریب همبستگی بیشتری بر خوردار است (r^2= ۰/۷۹ در مقابل r^2= ۰/۴۲). بررسی روابط رگرسیونی پارامتر ضریب شکل بی بعد با مقدار بارش موثر نشان می‌دهد که رابطه آنها از نظر آماری ضعیف بوده (با ضریب تبیین ۰/۱۴)و همبستگی کمی با مقدار دبی اوج نشان می دهد(r^2= ۰/۰۱). اما نسبت ضریب شکل بی بعد به زمان تا اوج (ns/Tp) با مقدار بارش موثر و دبی اوج سیلاب‌ها همبستگی بیشتری دارد (r^2= ۰/۴۲ و r^2= ۰/۶۷به ترتیب با مقدار بارش موثرو دبی اوج). نتایج مقایسه کارآیی معادلات بدست آمده این تحقیق در تخمین پارامترهای مدل رسوب نمود واحد لحظه‌ای وبرآورد گراف رسوب چند مورد دیگر از وقایع سیلابی با منحنی‌های سنجه نشان می دهد شاخه صعودی گراف رسوب نسبت به شاخه نزولی با ضریب اطمینان بیشتری برآورد می شود ولی در شاخه نزولی اختلاف زیادی بین برآوردهای مدل رسوب نمود واحد لحظه‌ای و منحنی های سنجه وجود دارد.

کلمات کلیدی: رودخانه قره چای، رسوب معلق، گراف رسوب واحد لحظه‌ای، IUSG، هیدروگراف ، سیلاب ، هیتو گراف

www.SID.ir

Watershed Management Research Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 88 pp: 35-43

Investigation of performance of instantaneous unit sediment graph (IUSG) in predicting flood events sediment graph of flood events of Gharachay River

By: J. Varvani, Assistant Professor of Agriculture and Natural Resources Collage, Islamic Azad University –Arak Branch (Corresponding Author; Tel: +9891886299921)

Instantaneous unit sediment graph (IUSG) is one of the methods for predicting sediment graph of the flood events and its application needs to estimation of storage coefficient (Ks), dimensionless shape factor (ns), time to peak (tp) and instantaneous sediment supply. Investigation of relationships among the mentioned parameters and rainfall and water discharge characteristics could facilitates use of IUSG in ungaged drainage basins. In this research concurrent flow and sediment discharge of five flood events in Poledouab hydrometric station monitored hourly .IUSG parameters calculated using observed sediment graphs and rainfall hyetographs and their relationship investigated with excess rainfall and peak water discharge of flood events. The results show that correlation coefficient (r2) of power regression equation between Ks and rainfall excess is greater than peak flow (0./79 and 0./42).dimensionless shape factor of ns shows statistically weak relationship with rainfall excess and peak flow but its ratio to time to peak of sediment graph (ns/tp) resulted in statistically meaningful relationship with the rainfall excess and peak flow (respectively 0./85 and 0./67 of r2).application of the obtained equations in this research for predicting sediment graph of some flood hydrographs and comparing the results with the sediment rating curve methods show that rising limb of the sediment graph could be predicted more accurately than falling limb of sediment graph.

Keywords: Gharachay River,suspended Suspended sedimentSediment, Instantaneous Unit Sediment Graph, IUSG, Hydrograph, Flood Event, Hyetograph

Archive of SID

مقدمه

رفتار متغیر و پیچیده میزان رسوب معلق در شرایط سیلابی حوزه‌های آبخیزوکمبود داده های مشاهداتی باعث شده است که تاکنون روش دقیقی در زمینه پیش بینی گراف رسوب وقایع سیلابی ارائه نشود. همچنین مفهوم گراف رسوب در هیدرولوژی قدمت چندانی نداشته به طوری‌که در حال حاضر طیف وسیعی از تحقیقات لازم است تا بتوان نتیجه گیری‌های دقیق و اصولی در مورد آن انجام داد(۱، ۲، ۱۵). گراف‌های رسوب که در واقع توزیع زمانی رسوب معلق حمل شده از مقطع عرضی رودخانه بوده اولین بار توسط Johnson (۸) مورد بررسی قرار گرفت و بعد از وی، Williams (۱۶۱۹) تئوری رسوب نمود واحد لحظه‌ای را پیشنهاد داد(۱۹). Rendon و Herrero (۱۴۱۷) تئوری هیدروگراف واحد را برای گراف رسوب تعمیم داد(۱۷). مدل‌های حمل رسوب و گراف رسوب که بیانگر نرخ جریان رسوب به عنوان تابعی از زمان می‌باشند، در کنترل فرسایش خاک طراحی سازه‌های هیدرولیکی, برنامه ریزی منابع آب و بررسی مورفولوژی رودخانه و ارزیابی کیفیت آب اهمیت زیادی می‌توانند داشته باشند(۱، ۲، ۱۳).

توزیع زمانی رسوب رودخانه در مقیاس یک واقعه سیل گراف رسوب نامیده می‌شود و مشابه هیدروگراف جریان ناشی از بارش مازاد می باشد. بنا به گفته دیگر اگر مقادیر مختلف دبی رسوب در طی زمان برای یک واقعه سیل به صورت نمودار ترسیم گردد، گراف رسوب حاصل می شود که شبیه هیدروگراف وقایع سیلابی در یک رودخانه می باشد .اما بر خلاف هیدروگراف، غلظت رسوب نیز می تواند جایگزین دبی رسوب شده و گراف رسوب را بوجود آورد به طوریکه می توان گفت گراف رسوب هم با مقادیر غلظت و هم با مقادیر دبی رسوب ترسیم می گردد(۲، ۱۹).Johnson (۶) شاید اولین کسی باشد که روابط بین هیدروگراف جریان و گراف رسوب وقایع سیلابی را مورد بررسی قرار داد و نتیجه گیری نمود که روابط بین این دوگراف لزوما خطی نبوده و مقدار پیکاوج دو گراف بسته به شرایط مختلف می تواند همزمان و یا با تاخیر زمانی نسبت به یکدیگر روی دهد(۶). در مقایسه با تئوری هیدروگراف واحد، گراف رسوب واحد نیز توسعه پیدا کرده است وروش متداول در بدست آوردن گراف رسوب واحد[1] توسط Rendon- Herrero (۱۴۱۷) پیشنهاد شد که این روش فقط در حوزه حوضه های مجهز به ایستگاه‌های اندازه‌گیری قابل کاربرد می‌باشد(۱۷). شکل استانداردUSG معادل ۱ تن رسوب در یک مدت زمان مشخص بوده که در تمام سطح به طور یکسان پخش شده است و این مقدار معادل یک اینچ بارش موثر در همان سطح است (۱۵). مفهوم IUSG [2] یا رسوب نمود واحد لحظه ای، رسوب تولید شده از بارش لحظه ای است که یک واحد رواناب ایجاد می کند و حاصل هیدروگراف واحد لحظه ای و توزیع غلظت رسوب است. همانگونه که با ضرب مقدار بارش موثر در مختصات هیدروگراف واحد، هیدروگراف سیل بدست می آید، گراف رسوب نیز با ضرب مقدار رسوب تولید شده در مختصات گراف رسوب واحد ترسیم می گردد.در واقع ورودی مدل های پیش بینی گراف رسوب می تواند مقدار رسوب تولید شده و یا مقدار بارش موثر در نظر گرفته شود.

بعد نیز نامیده می شود معادله جدیدی برای گراف واحد رسوب

لحظه‌ای پیشنهاد می‌کنند. در واقع این افراد ضریب روند یابی B را به گونه‌ای در مدل گراف واحد رسوب لحظه ای وارد می‌کنند که برای محاسبه آن بایستی زمان تاخیر گراف رسوب و هیتوگراف بارش را استخراج نمود و این موضوع در معادلات قبلی گراف واحد رسوب لحظه ای وجود نداشته است(۳). Gracia روشی را برای تهیه گراف رسوب مصنوعی براساس تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای و تئوری انتگرال پیشنهاد می کند. این مدل برای مواقعی استفاده می شود که اطلاعات فیزیکی در مورد کانال و نوع خاک و غیره وجود داشته باشد(۷).از منابع مهم داخلی در زمینه رسوب لحظه‌ای می‌توان مطالعه صادقی و همکاران درحوزه آبخیز زرین درخت را نام برد که نتیجه گیری می کند تفکیک داده های اندازه گیری شده رسوب بر حسب موقعیت قرار گیری آنها در هیدروگراف سیل در ترسیم منحنی‌های سنجه رسوب مربوطه موجب افزایش دقت تخمین از حداکثر ۷۸ درصد در حالت کلی به بیش از ۹۰ درصد در هر یک از شاخه‌های بالارونده و پایین رونده هیدروگراف شده و امکان تهیه رسوب نگارها را نیز از این طریق فراهم می‌کند.

بررسی منابع مختلف حاکی از آن است که در زمینه رسوبدهی وقایع سیلابی و مدلسازی آن به خصوص تئوری‌های گراف رسوب واحد لحظه‌ای وگراف رسوب اطلاعات اندکی وجوددارد و بایستی تحقیقات تکمیلی مختلف در زمینه تئوری های موجود انجام پذیرد تا بتوان درک درست و روشنی از وضعیت رسوبدهی در شرایط سیلابی پیدا کرد(۱، ۲، ۷، ۸). در مدل مفهومی گراف رسوب لحظه‌ای سیلاب‌ها ns (پارامتر بدون بعد شکل) و tp (زمان تا اوج گراف رسوب) و همچنین ضریب ذخیره مخزن (Ks) سه پارامتر اصلی هستند که با توجه به گراف‌های مشاهده‌ای رسوب، جریان و هیتو گراف بارش مربوطه می توانند بدست آیند. اما با توجه به اینکه همیشه امکان نمونه برداری رسوب از وقایع سیلابی به خصوص در فواصل زمانی کوتاه که لازمه ترسیم گراف رسوب می باشد، امکان پذیر نیست. بنابر این پارامتر های مذکور می‌تواند با استفاده از متغیر های کمکی سهل الوصول مثل مقدار بارش موثر و یا مقدار دبی پیک جریان که روابط زیادی برای پیش بینی این متغیر ها پیشنهاد شده است و تا حدود زیادی می توانند برآورد صحیح و دقیقی داشته باشند، بدست آید و برای این کار حداقل چند مورد تجزیه و تحلیل رگرسیونی لازم است(۱، ۲، ۷، ۸). هدف از تحقیق حاضردر وحله اول بررسی رابطه پارامترهای رسوب نمود واحد لحظه‌ای سیلاب‌ها با ویژگی‌های جریان و بارش و سپس ارزیابی کارایی مدل IUSG یا رسوب نمود واحد لحظه‌ای سیلاب‌ها در برآورد گراف رسوب چند واقعه سیلابی و مقایسه آن با روش منحنی سنجه رسوب در سر شاخه رودخانه قره چای (استان مرکزی) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

باتوجه به اهمیت رودخانه قره چای در استان مرکزی از جنبه های مختلف اعم از آبخیزداری، مدیریت منابع آب و خاک، عمران، فعالیت‌های زیربنایی، مقوله‌های اقتصادی و اجتماعی و از طرفی باتوجه به اینکه حوزه آبخیز ایستگاه هیدرومتری پل دوآب از سرشاخه های مهم این رودخانه بوده و تأسیسات هیدرومتری و هواشناسی نسبتاً مجهزی در این منطقه قرار دارد، لذا این حوزه آبخیز به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید(شکل ۱). نمونه برداری وقایع سیلابی با فواصل زمانی کوتاه به طوری‌که بتواند شاخه‌های صعودی و نزولی هیدروگراف سیل را شامل شود در محل ایستگاه پل دوآب انجام شد.به طوریکه در زمان بارندگی با افزایش ارتفاع آب در رودخانه قرائت اشل با فواصل زمانی یک ساعته انجام شد. هم زمان با قرائت اشل با استفاده از نمونه بردار رسوب معلق USDH-۴۸ [۴] از سه نقطه با فواصل عرضی تقریباً یکسان(E.W. I)[۵] و به صورت انتگراسیون عمقی نمونه برداری غلظت رسوب معلق صورت گرفت (۵). مقدار غلظت رسوب معلق (گرم در لیتر) نمونه ها در آزمایشگاه تعیین گردید .در هرواقعه سیل وضعیت بارش در حوزه آبخیز توسط ایستگاه سینوپتیک اراک کنترل گردید و هیتوگراف بارش های مربوطه از روی کاغذهای باران نگار استخراج گردید. بعد از تفکیک آب پایه هیدروگراف رواناب مستقیم سیلاب‌ها محاسبه شد. از آنجایی‌که مقدار غلظت رسوب نیز همزمان با دبی جریان نمونه برداری شده بود میزان دبی رسوب لحظه ای و گراف رسوب مستقیم قابل محاسبه بود .برای محاسبه هیدروگراف واحد لحظه‌ای (IUH) و گراف رسوب واحد لحظه‌ای (IUSG) در محیط Exce[۶] اکسل برنامه ای نوشته شد که تا حدودی در روند اجرای کار و محاسبات تسریع و دقت به عمل می‌آورد.

مبنای بیشتر معادلات هیدروگراف و رسوب نمود واحد لحظه‌ای مدل مخازن خطی Nash ناش[۷] می‌باشد که فرم کلی معادله آن به صورت زیر رابطه ۱ می باشد(۱۲):

$$u(t) = \frac{1}{k \cdot \Gamma(N)} \cdot (t/k)^{N-1} \cdot \exp(-t/k) \quad (۱)$$

که در این معادله u(t) مختصات هیدروگراف واحد لحظه ای در زمان بوده (N , hr^{-1}) تعداد مخازن، (N) تابع گاما و K ضریب ذخیره مخزن (hr^{-1}) می‌باشد. بیشتر مدل‌های ارائه شده برای رسوب نمود واحد لحظه‌ای سیلاب‌ها (Williams، ۱۹۷۸؛Sharma و Murthy، ۱۲ Banasik،۱۹۹۶ و Walling، ۱ ۱۹۹۶) نیز تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای سیلاب‌ها را به کار می‌برند. در این تحقیق مدل مفهومی Sharma و Murthy مورد استفاده واقع گردید که در آن مختصات رسوب نمود واحد لحظه ای us(t) برحسب (S-۱) به صورت زیر بدست می‌آید:

$$us(t) = [(ns-1)^{ns/tp}\,\Gamma(ns-1)] * [(t/tp)\exp(-t/tp)]^{ns-1} \quad (۲)$$

در رابطه(۲) ns پارامتر بدون بعد شکل و tp زمان تا اوج گراف رسوب بوده و همچنین ضریب ذخیره مخزن در این معادله از رابطه زیر (۳) بدست می آید :

$$Ks = tp/(ns-1) \quad (۳)$$

براساس روش گشتاورها (Mutreja ۱۹۸۶) و محاسبه گشتاور اول و دوم گراف رسوب و هیتوگراف بارش پارامترهای مذکور برای هرواقعه سیل بدست آمد. با استفاده از آنالیز رگرسیونی روابط آماری بین این پارامترها و مقدار بارش موثر هر سیلاب بدست آمد. از آنجایی که در بدست آوردن گراف رسوب وقایع سیلابی با روش گراف رسوب واحد لحظه‌ای نیاز به مقدار رسوب لحظه‌ای سیلاب‌ها می‌باشد لذا با استفاده از مقادیر مشاهداتی رابطه بین مقدار رسوب (تن در روز) و دبی لحظه ای(متر مکعب بر ثانیه) بدست آمد. به منظور اعتبارسنجی روابط بدست آمده برای پارامترهای رسوب نمود واحد لحظه‌ای ،در چهار مورد از وقایع سیلابی سال‌های ۸۱ و ۸۲ در ایستگاه پل دوآب روابط بدست آمده به کار گرفته شد. به طوری‌که

Archive of SID

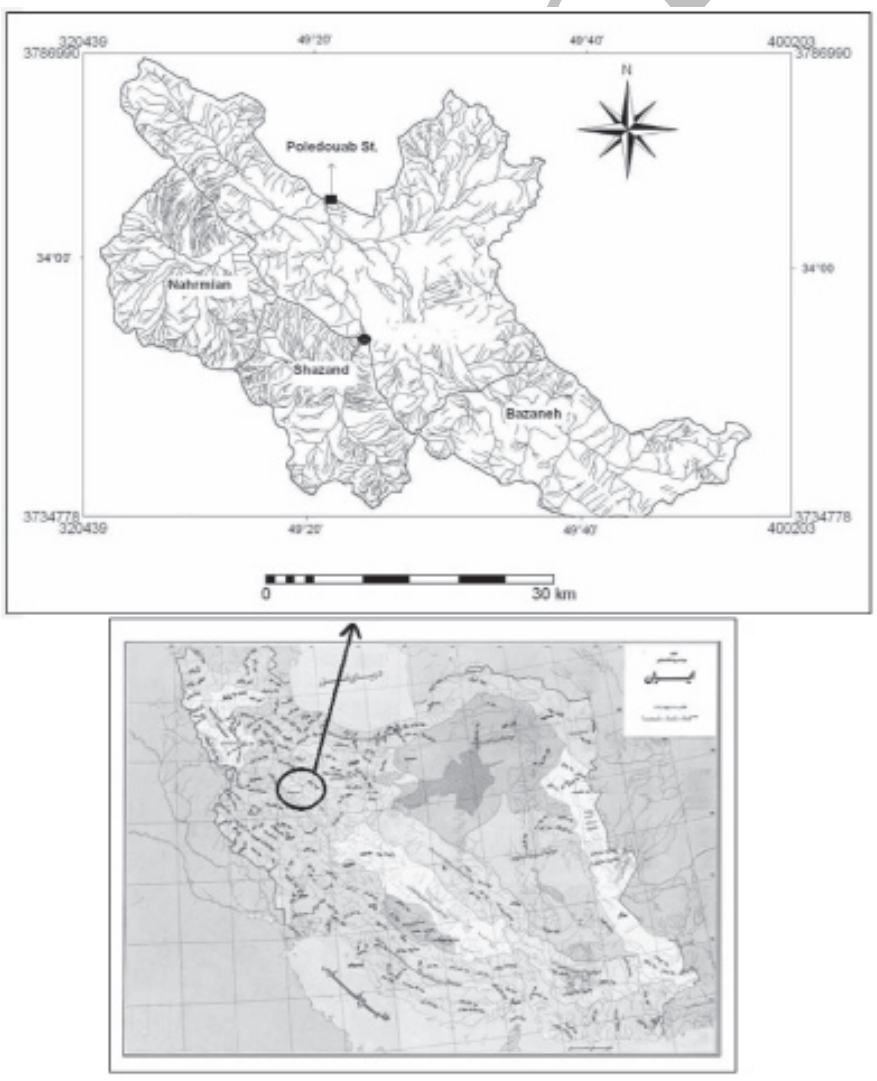
www.SID.ir

ابتدا پارامترهای گراف رسوب واحد لحظه‌ای برای هر واقعه سیل با توجه به دبی پیکاوج سیلاب بدست آمد و سپس گراف رسوب با استفاده از روش گراف رسوب واحد لحظه‌ای ترسیم گردید. منحنی سنجه رسوب در ایستگاه مورد مطالعه با استفاده از داده های دبی جریان و رسوب معلق همزمان چندین ساله اندازه گیری شده به دو شکل یک خطی و حد وسط دسته‌ها ترسیم شد. با توجه به اینکه در روش منحنی سنجه رسوب حد وسط دسته‌ها، دبی‌های جریان به تعدادی دسته تقسیم شده و برای هر دسته میانگین دبی رسوب محاسبه می شود لذا پراکنش آن نسبت به روش یک خطی کمتر است. بعداز بدست آوردن معادلات منحنی های سنجه مذکور مقادیر رسوب هیدروگراف سیلاب‌های مورد مطالعه محاسبه شد و گراف رسوب هر واقعه ترسیم گردید. در نهایت با تطبیق گراف‌های بدست آمده از روش گراف رسوب واحد لحظه‌ای و منحنی های سنجه کارایی روش گراف رسوب واحد لحظه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت.

مشاهدات و نتایج

مقادیر پارامترهای رسوب نمود واحد لحظه ای وقایع سیلابی ثبت شده در سال ۸۳ برای رودخانه قره چای در محل ایستگاه پل دوآب در جدول ۱ نشان داده شده است. در جدول ۲ بهترین رابطه آماری بین متغیرهای موجود به همراه ضریب تبیین معادلات نشان داده شده است. لازم به ذکر است که معادله ردیف ۱۱ جدول مذکور نشان دهنده رابطه بین مقدار تامین رسوب لحظه‌ای (Qs) بر حسب تن در روز با مقدار دبی لحظه‌ای (Qw) بر حسب متر مکعب در ثانیه می‌باشد.

مقادیر میانگین مجذور مربعات خطا[۸] به عنوان شاخص صحت برآوردهای روش گراف رسوب واحد لحظه‌ای و ضریب تغییرات برآورد به عنوان شاخص دقت برآورد روش برای چهار مورد سیلاب انتخابی ایستگاه پل دوآب در جدول ۳ آورده شده است. مقادیر این جدول در سه حالت شاخه صعودی، شاخه نزولی و کل گراف رسوب تنظیم شده است .همچنین



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز پل دو آب و شبکه زهکشی منطقه

اشـکال ۲ تـا ۵ گراف رسـوب برآورد شـده بـا روش گراف رسـوب واحد لحظه‌ای و منحنی‌های سـنجه رسـوب یک خطی و حدو سـط دسته‌ها را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

پارامترهای گراف واحد رسوب لحظه‌ای سیلاب‌ها

مقدار پارامتر ضریب ذخیره (Ks) در سـیلاب‌های ثبت شـده متغیر از ۰/۹۸ تا ۳۹/۷ سـاعت بوده که بیشترین مقدار آن مربوط به سیلاب مورخه ۱۳۸۳/۲/۱۵ بـا زمان تا اوج ۱۰ سـاعت و دبی پیکاوج ۵۴/۲ متر مکعب بر ثانیه و مقـدار بارش مازاد ۵۶/۲ میلیمتر متغیر بوده اسـت.کمترین مقدار ضریب ذخیره (۰/۹۸ سـاعت) مربوط به دبی پیک اوج سـیلاب ۱۰/۸ متر مکعـب بر ثانیه با مقدار زمان تا اوج ۵ سـاعت و بارش مازاد ۸/۲۰ میلیمتر بوده است.با توجه به روابط ارائه شده می‌توان نتیجه گیری نمود که ضریب ذخیـره بیـش از همه با مقدار بارش موثر سـیلاب‌ها رابطه دارد و تغییرات آن هماهنگ با مقدار بارش مازاد سـیلاب‌های ثبت شده می‌باشد. از طرف دیگر رابطه نمایی بدسـت آمده بین ضریب ذخیره سیلاب‌ها و مقدار بارش موثر نسـبت به مقادیر دبی پیکاوج جریان از ضریب همبسـتگی بیشـتری بـر خوردار اسـت (۰/۷۹ در مقابل ۰/۴۲). از نظـر مفهومی در روش گراف رسـوب واحد لحظه ای ضریب ذخیره، نسبت رسوب ذخیره شده به رسوب خروجـی از مخزن بوده و افزایـش مقدار آن می توانـد بیانگر ذخیره زیاد رسـوب در طی یک واقع سیل باشد. این نتیجه گیری از روابط تجربی ارائه شده (Nash، ۱۹۷۵۰) برای ضریب ذخیره نیز می تواند استنتاج گردد زیرا در روابط تجربی مقادیر شـیب آبراهه رابطه معکـوس و طول آبراهه رابطه مسـتقیم با مقدار ضریب ذخیره داشـته است. روابط بدسـت آمده مقادیر ضریـب ذخیره و مقدار بارش موثر در این تحقیق با روابط نمایی پیشـنهاد شـده توسـط Sharma و Murthy مارتی مطابقت داردو افزایش مقدار ضریب ذخیـره با افزایش مقدار بارش موثر می تواند بیانگر کاهش شـدت بارندگی و توان فرسـایندگی باران باشـد که عامل مهمی در حمل رسوبات چه در سطح دامنه و یا در داخل آبراهه به حساب می‌آید.

ضریب شکل بدون بعد (ns) در سیلاب‌های ثبت شده متغیر از ۱/۲۵ در دبی پیک اوج ۵۴/۲ متر مکعب بر ثانیه و مقدار بارش موثر ۵۶/۲۰ میلیمتر تـا ۳/۵۵ در دبی پیـکاوج ۹۰/۷ متر مکعب بر ثانیـه و مقدار بارش۴۰/۱۶ میلیمتر متغیر بوده است. بررسی روابط رگرسیونی این پارامترضریب شکل بدون بعد با مقدار بارش موثر نشـان می‌دهد کـه رابطه آنها از نظر آماری ضعیف بوده (با ضریب تبیین ۰/۱۴) همچنین همبستگی کمی با مقدار دبی پیکاوج نشـان می دهد(R^2=۰/۰۱). از آنجاییکه در معادله مفهومی رسوب نمود واحد لحظه‌ای سـیلاب‌ها داشتن مقدار این پارامتر ضروری است ،لذا رابطه نسبت(ns/tp)که یک پارامتر ترکیبی از ضریب شکل بی بعد و زمان تا اوج گراف رسوب می‌باشد، با مقدار بارش موثر و دبی پیک اوج سیلاب‌ها مـورد آزمـون قرار گرفت که نتایج آن نشـان دهنده همبسـتگی زیاد این پارامتر با متغیر های ذکر شـده می باشـد(۰/۸۵ و ۰/۶۷ به ترتیب با مقدار بارش موثرو دبی پیک اوج).

زمان تا اوج گراف های رسـوب مشـاهده ای (tp) همبسـتگی بالایی بـا مقادیر بـارش موثرو دبی پیکاوج جریان ناز خود نشـان می دهد و این همبستگی از قابلیت اعتماد بیشتری نسبت به سایر پارامترها برخوردار است دارد. بـه طوری‌که مقدار ضریب تبیین در رابطه مقدار زمان تا اوج و بارش موثـر در حدود ۰/۶۱ و در رابطه زمان تا اوج و مقدار دبی پیکاوج در حدود ۰/۸۴ می‌باشـد. روابـط مذکور نیز تطابق خوبی بـا یافته‌های Sharma و Murthy در چند حوزه آبخیز معرف درکشور هندوستان دارد.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای رسوب نمود واحد لحظه ای سیلاب‌ها برای رودخانه قره چای در محل ایستگاه پل دوآب

پارامترهای گراف رسوب واحد لحظه ای		تاریخ وقوع سیلاب				
		۸۳/۱/۱۶	۸۳/۱/۲۲	۸۳/۲/۱	۸۳/۲/۴	۸۳/۲/۱۵
ضریب ذخیره (ساعت)	ks	۲/۰۹	۲/۳	۰/۹۸	۱۴/۷۲	۳۹/۷
زمان تا اوج (ساعت)	tp	۴	۲	۵	۳۷/۵۰	۱۰
ضریب شکل بی بعد	ns	۲/۹۱	۱/۶۲	۶/۰۸	۳/۵۵	۱/۲۵
پارامتر ترکیبی	۱-ns	۱/۹۱	۰/۶۲۳	۵/۰۸۳	۲/۵۵	۰/۲۵
تابع گاما	T(ns-۱)	۰/۹۶	۱/۴۲	۲۶/۹۸	۱/۳۶	۳/۶۲
پارامتر ترکیبی	ns/tp	۰/۷۳	۰/۸۱۲	۱/۲۲	۰/۰۹	۰/۱۳
رسوب (تن)	VS	۹۲۷/۰۰	۵/۹۱	۱۳۲۹/۲۶	۲۶۶۲۵/۳۴	۳۳۱۰/۱۷
دبی اوج جریان (s/m۳)	Qp	۱۸/۵۵	۲/۱	۱۰/۸	۹۰/۷	۵۳/۲
بارش مازاد(میلیمتر)	ER	۱۷/۴۰	۷/۲۰	۸/۲۰	۴۰/۱۶	۵۶/۲۰

www.SID.ir
Archive of SID

کارآیی روش گراف رسوب واحد لحظه‌ای در پیش بینی گراف رسوب وقایع سیلابی

مقدار شاخص میانگین مجذور مربعات خطا برای شاخه صعودی گراف متغیر از ۰/۶۶ تا ۲/۸ می باشد. همچنین مقدار شاخص مذکور برای شاخه نزولی سیلاب‌ها بین ۱/۰۴تا ۹/۴ تغیر می کند و برای کل گراف سیلاب‌های مورد بررسی تغییرات RMSE از ۱/۰۲ تا ۷/۹۵ می باشد .ضریب تغییرات برآورد در شاخه صعودی متغیر از ۳۳ تا ۶۶ درصد، در شاخه نزولی سیلاب‌ها متغیر از ۱۳/۳۴ تا ۵۰ درصد و در حالت کل گراف متغیر از ۱۸ تا ۶۶ درصد می‌باشد. از نظر نوع منحنی سنجه تفاوت چندانی بین مقادیر مذکور برای منحنی سنجه یک خطی و حد وسط دیده نمی‌شود.

در بررسی‌های اولیه به نظر می رسد روش گراف رسوب واحد لحظه‌ای توانایی لازم در پیش بینی گراف رسوب وقایع سیلابی را نداشته باشد به طوری‌که اختلاف زیادی بین گراف رسوب پیش بینی شده با روش گراف رسوب واحد لحظه ای و منحنی‌های سنجه یک خطی و حد وسط دیده می‌شود. اما آنچه مسلم است پیش بینی گراف رسوب با روش منحنی سنجه همیشه با خطای زیادی همراه بوده است لذا وجود این اختلاف در برآورد روش گراف رسوب واحد لحظه‌ای و منحنی سنجه طبیعی به نظر می‌رسد. چرا که منحنی‌های سنجه رسوب با داده‌های مشاهداتی از جریان آب پایه ترسیم می‌شود و کاربرد آن برای برآورد رسوب وقایع سیلابی نسبت به مقادیر مشاهداتی معمولاً خطای قابل توجهی دارد (۱، ۲). اما با فرض ثابت بودن روش مبنا می‌توان گفت که روش گراف رسوب واحد لحظه‌ای شاخه صعودی گراف رسوب را نسبت به شاخه نزولی و حالت کل گراف با خطای کمتری پیش بینی می‌کند. همچنین این نتیجه گیری مطابق با نتایج Sharma و Murthy (۱۲۱۴) می‌باشد که بیان می دارند پیش‌بینی شاخه نزولی گراف رسوب با روش گراف رسوب واحد لحظه‌ای نسبت به گراف‌های مشاهداتی خطای زیادی در بر دارد.

در استفاده از روش گراف رسوب واحد لحظه ای برآورد دقیق پارامترهای ضریب ذخیره، ضریب شکل بی بعد و زمان تا اوج گراف‌های رسوب اهمیت ویژه‌ای دارد. علاوه بر آن تخمین مقدار رسوب ورودی به سیستم از موارد دیگری است که باید با دقت بیشتری برآورد شود. با توجه به محدودیت داده های مشاهداتی روابط ارائه شده بین پارامترهای مذکور و خصوصیات بارش و جریان حاکی ازآن است که مقدار بارش موثر سیلاب‌ها و دبی پیکاوج جریان دو متغیر مستقلی هستند که در تخمین مقدار پارامترهای اصلی رسوب نمود واحد لحظه ای می توانند مورد استفاده قرار گیرند. توسعه این روابط در مرحله اول نیازمند داده‌های مشاهداتی بیشتری می‌باشد که بتوان با استدلال و ضریب اطمینان بالاتری این روابط را معرفی نمود. همچنین در صورت وجود داده‌های کافی از چندین حوضه با ویژگی‌های مختلف این امکان را میسر می‌سازد تا متغیر های مستقل دیگری علاوه بر خصوصیات بارش و جریان در معادلات رگرسیونی وارد نموده و موضوع به صورت چند متغیره مورد بررسی قرار گیرد.

در بین تحقیقات اندک موجود در زمینه گراف رسوب واحد لحظه ای Banasik و Walling ضمن تهیه این گراف‌ها برای یک حوزه آبخیز کوچک به بررسی روابط بین گراف رسوب و هیدروگراف جریان پرداخته و بیان می دارد که بین زمان تاخیر هیدروگراف سیل و گراف رسوب رابطه معنی داری وجود دارد. نتایج تحقیق افراد نامبرده و نتایج حاصل از تحقیق حاضر این نکته را آشکار می سازد که در راستای رسیدن به هدف پیش بینی گراف رسوب با دقت و صحت بیشتر و با توجه به اینکه همیشه امکان ثبت و نمونه برداری مقدارررسوب در زمان وقایع سیلابی وجود ندارد، استفاده از

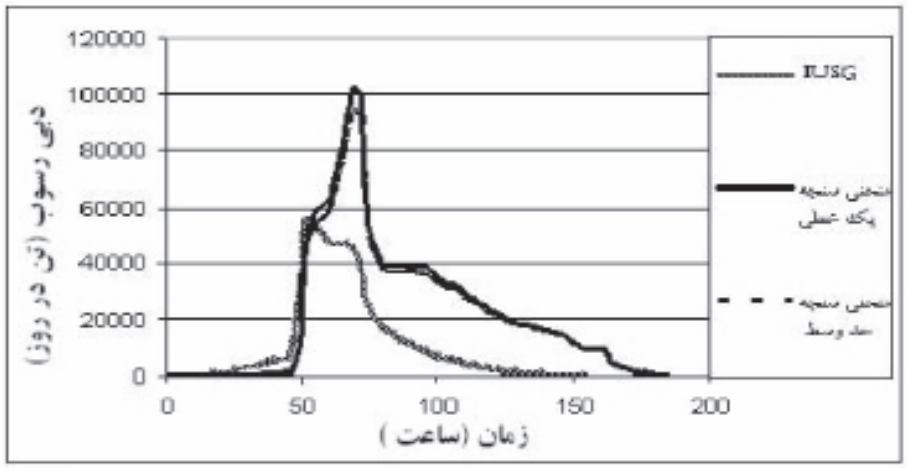
جدول ۲- معادلات مختلف بین پارامترهای رسوب نمود لحظه ای سیلابها و مقادیر بارش*

ردیف	معادله	ضریب تبیین(R^2)
۱	$Ks = ۰/۰۷ER^{۱/۴۶}$	۰/۷۹
۲	$tp = ۰/۴۳ER^{۰/۹۴}$	۰/۶۱
۳	$ns = ۵/۳۸ER^{-۰/۲۴}$	۰/۱۴
۴	$ns/tp= ۱۲/۳۸ER^{-۱/۱۸}$	۰/۸۵
۵	$Ks = ۰/۷۶Qp^{۰/۶۶}$	۰/۴۲
۶	$tp = ۰/۹۳Qp^{۰/۶۹}$	۰/۸۴
۷	$ns = ۲/۳۹Qp^{۰/۰۳}$	۰/۰۱
۸	$ns/tp= ۲/۶۰Qp^{-۰/۶۶}$	۰/۶۷
۹	$Vs = ۰/۴۳ER^{۰/۹۴}$	۰/۶۱
۱۰	$Vs = ۰/۴۳Qp^{۰/۹۴}$	۰/۶۱
۱۱	$Qs=۴۳/۵۹Qw^{۱/۱۵}$	۰/۷۱

*:توضیحات پارامتر معادلات همانند جدول ۱ می باشد.

Archive of SID

متغیرهای کمکی مثل پارامترهـای هیتوگراف بارش و هیدروگراف جریان در بدسـت آوردن روابط آماری برای تخمین پارامترهای رسوب نمود واحد لحظه‌ای سـیلاب‌ها گزینه بسیار مناسبی می باشد. این روابط در حوزه‌های فاقد ایستگاه اندازه گیری به خوبی می تواند به کار گرفته شود و در برآورد گراف رسوب وقایع سیلابی مورد استفاده قرار گیرد. Rendon-Herreo رنـدون هررو روش USG یا گراف واحد رسـوب را برای پیش بینی گراف رسـوب وقایع سـیلابی توصیه می‌کند. در این روش با فرض اینکه در زمان یکسـان بودن شکل گراف رسوب و هیدروگراف جریان امکان کاربرد تئوری هیدروگراف واحد به گراف رسـوب وجود دارد، اقدام به برآورد گراف رسوب با اسـتفاده از گراف واحد رسوب (USG) می شود .از مسائلی که در اینجا مهمترین محدودیت این فرضیه روش وجود دارد این است که همیشه این فرض وجود نداشـته و در بیشـتر مواقع شـکل هیدروگراف جریان و گراف

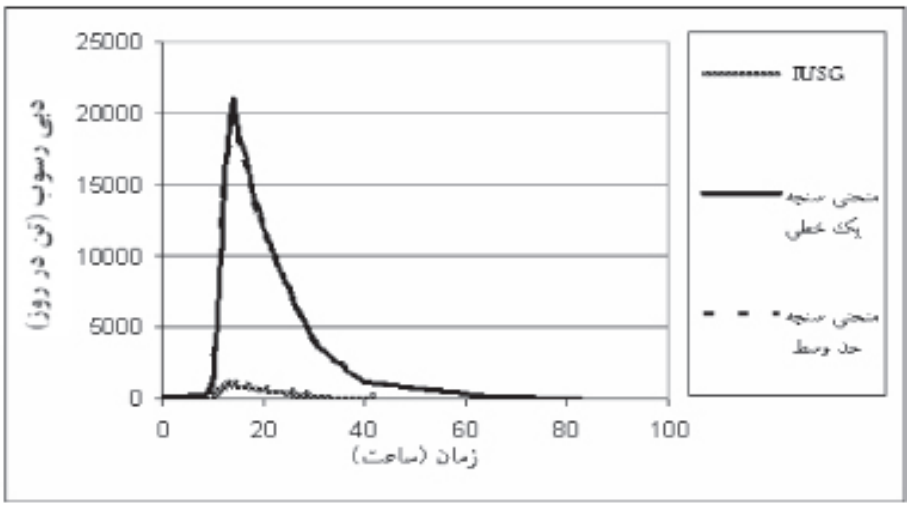


شکل ۲ - گراف رسوب پیش بینی شده با استفاده از روش رسوبنمود واحد لحظه‌ای و منحنی‌های سنجه در سیلاب مورخه ۱۳۸۲/۱/۲۷ در ایستگاه پل دوآب -رودخانه قره چای

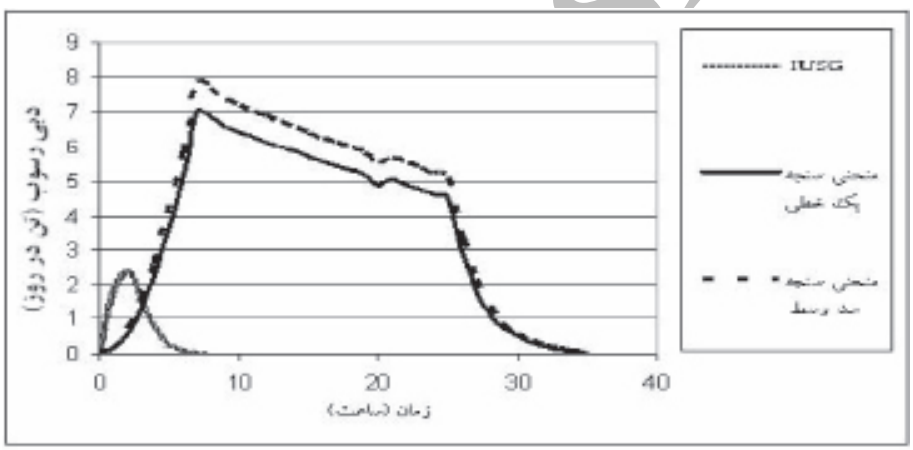
جدول ۳ - مقادیر شاخص صحت و دقت روش رسوبنمود واحد لحظه‌ای در پیش بینی گراف رسوب

تاریخ سیلاب - نوع روش		روش گراف رسوب واحد لحظه‌ای			
		مقایسه با منحنی سنجه یک خطی		مقایسه با منحنی سنجه حد وسط	
		میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE)	ضریب تغییرات (٪)	میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE)	ضریب تغییرات (٪)
۱۳۸۲/۱/۲۷	شاخه صعودی	۰/۹۸	۶۰/۷۷	۰/۹۶	۶۱/۲۴
	شاخه نزولی	۱/۰۴	۴۳/۰۶	۱/۰۲	۴۴/۷۲
	کل	۱/۰۲	۴۹/۶۹	۱/۰۰	۵۰/۸۰
۱۳۸۲/۱/۶	شاخه صعودی	۰/۸۴	۳۳/۶۵	۰/۸۴	۳۱/۶۳
	شاخه نزولی	۱/۴۵	۱۳/۳۳	۱/۴۵	۱۴/۴۱
	کل	۱/۴۰	۱۸/۵۷	۱/۴۰	۱۹/۲۶
۱۳۸۱/۱۲/۲۲	شاخه صعودی	۰/۶۶	۶۵/۳۴	۰/۶۴	۶۸/۹۳
	شاخه نزولی	۹/۲۶	۴۹/۹۱	۹/۳۱	۴۹/۷۰
	کل	۷/۹۵	۶۶/۳۲	۸/۰۰	۶۶/۲۲
۱۳۸۱/۱۲/۱۶	شاخه صعودی	۲/۸	۷۳/۰	۲/۸	۷۲/۸
	شاخه نزولی	۹/۴	۱۷/۹	۹/۵	۱۷/۹
	کل	۵/۸	۶۶/۳	۵/۸	۶۶/۲

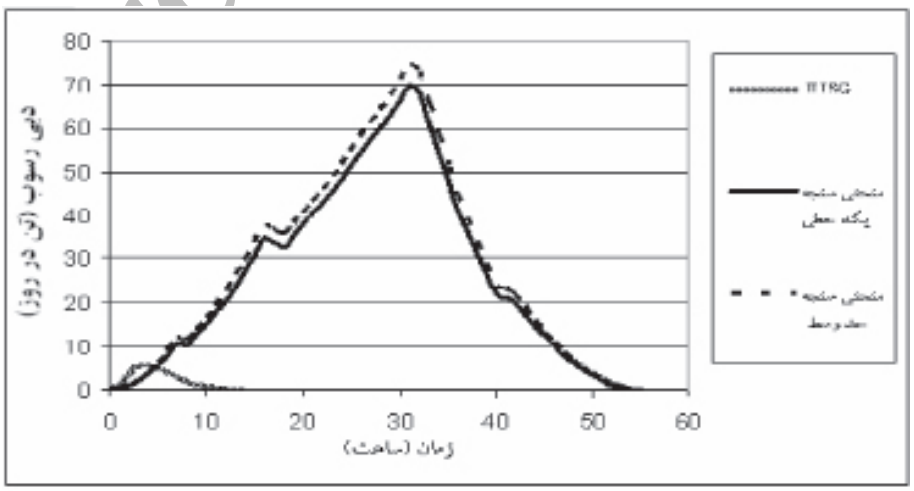
www.SID.ir



شکل ۳- گراف رسوب پیش بینی شده با استفاده از روش رسوبنمود واحد لحظه ای و منحنی های سنجه در سیلاب مورخه ۱۳۸۲/۱/۶ در ایستگاه پل دوآب -رودخانه قره چای



شکل ۴- گراف رسوب پیش بینی شده با استفاده از روش رسوبنمود واحد لحظه ای و منحنی های سنجه در سیلاب مورخه ۱۳۸۱/۱۲/۲۲ در ایستگاه پل دوآب -رودخانه قره چای



شکل ۵- گراف رسوب پیش بینی شده با استفاده از روش رسوبنمود واحد لحظه ای و منحنی های سنجه در سیلاب مورخه ۱۳۸۱/۱۲/۱۶ در ایستگاه پل دوآب -رودخانه قره چای

رسوب با هم دیگر اختلاف دارند عدم تقارن گراف رسوب و گراف جریان در بیشتر رویدادهای سیلابی است. علاوه بر مشکل مذکور کاربرد گراف رسوب واحد در حوزه هایی که فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری هستند میسر نیست و روابط تجربی نیز بین پارامترهای گراف واحد رسوب و دیگر متغیرها ارائه نشده است که کاربرد آنها را با مشکل مواجه می‌سازد.

از یافته‌های این تحقیق چنین بر می آید که روش گراف رسوب واحد لحظه‌ای که یک مدل مفهومی در برآورد گراف رسوب سیل می‌باشد به عنوان یک گزینه مناسب می‌تواند در برآورد گراف رسوب وقایع سیلابی مورد استفاده واقع شود. توسعه روابط ارائه شده همراه با جمع‌آوری داده‌های مشاهداتی بیشتر، زمینه استفاده از این روش را در آینده میسر می‌سازد.

سپاسگزاری

از همکاران محترم مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی و امور آب استان مرکزی تقدیر و تشکر ویژه می‌شود.

پاورقی‌ها

1- USG:Unit Sediment Graph

2- Instantaneous Unit Sediment Graph

3- Dimensionless Sediment Concentration Distribution (DSCD),c (t)= exp (-B.t)

4- :United State, Depth integrating ,Hand held –year of device manufacture

5- Equal width increment

6- Excel

7- Nash

8-Root Mean Square Error (RMSE)

منابع مورد استفاده

۱- عرب خدری م.، حکیم خانی، ش. نیک کامی، د. (۱۳۸۲)، مقایسه چند روش آماری برآورد بار معلق یک حوضه با رژیم برفی و بارانی، وزارت جهاد کشاورزی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی،۱۲۰ صفحه

۲- صادقی، س. ح.ر.، توفیقی، ب. مهدوی. م. (۱۳۸۴) تهیه مدل تخمین رسوب لحظه ای در حوزه آبخیز زرین درخت، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸،شماره ۴:ص۷۵۹- ۷۶۸

۳- عرب خدری م.، حکیم خانی، ش. نیک کامی، د. (۱۳۸۲)، مقایسه چند روش آماری برآورد بار معلق یک حوزه با رژیم برفی و بارانی، وزارت جهاد کشاورزی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی،۱۲۰ صفحه.

4- Banasik K., Walling D.E., (1996) Predicting sediment graphs for a small agricultural catchments. *Nordic Hydrology,* 27 (4): 275-294

5- Chen, V.J. and Kuo, C.Y., (1986) A study on synthetic sediment graphs for ungaged watersheds. *Journal of Hydrology,* 84: 35-54.

6- Edwards, K.Thomas and Douglas Glysson, G. (1988) *Field methods for measuring of fluvial sediment.* US Geological Survey open file report.405,Pp

7- Das, G. (1990) Development of a conceptual sediment graph model.*Transactions of the ASAE,* v 33, n 1:p 100-104

8- Gracia, S.J. (1996) Generation of synthetic sediment graphs. *Hydrological Processes,* 10:p1181-1191

9- Johnson, J.W. (1943) Distribution graphs of suspended matter concentration. *Trans.Amer.Soc.Civil Eng*., 108(2199):p 941-964

10- Kothyari ,U. Jain, C. Manoj, K. Ranga, Rau Kittur, G. (2002) Estimation of temporal variation of sediment yield using GIS. *Journal of Hydrology*, 45(5):p136-145

11- Kothyari, U.C., Tiwari, A.K. and Singh, R., (1997) Estimation of temporal variation of sediment yield from small catchments through the kinematics method. *Journal of Hydrology*, 203:p 39-57.

12- Mutreja KN, (1986) *Applied Hydrology,* Mc Graw –Hill Public,

13- Nash J.E., (1957) The form of the instantaneous unit hydrograph. *Hydrol. Sci. Bull.,* 3: p. 114-121.

14- Raghuwanshi N. S.,1994, Instantaneous unit sediment graph, *Journal of Hydraulic Engineering,* Vol. 120, No. 4, April 1994,:p. 495-503

15- Sharma K.D.and Murthy, J.S.R. (1996) A conceptual sediment transport model for arid regions, *Journal of Arid Environment,* 33:p281-290

16- Singh, V.P. (1992) *Elementary hydrology,* Eastern Economy Edition, New Delhi, India, pp 973.

17- Singh P.K, P.K.Mishra, Chaube, U.C. (2008a) sediment graph model based on SCS-CN method, *Journal of Hydrology*, 244:p349-255.

18- Rendon-Herrero, O. (1978) *Unit sediment graph,* Water Resources Research. 14(5):p 889-901.

19- Walling D. E. and Webb, B.W. (1992) *Material transport by the world rivers perspectives,* IAHS publ.164:p 313-329

20- Williams J.R., (1978) *A sediment graph model based on the instantaneous unit sediment graph,* Water Resources Research, 14(4): p659-664.

Archive of SID

www.SID.ir