Archive of SID

فصلنامه رسوب و سنگ رسوبی
سال دوم – شماره چهارم – بهار ۱۳۸۸ صفحه (۴۵-۵۶)
Journal of Sediment and Sedimentary Rock

محاسبه بار کل رسوب رودخانه فیروزآباد در محل سد هایقر با استفاده از روش های هیدرومتری، هیدرولیکی و تجربی (MPSIAC) در قالب GIS

محمد بهرامی[۱]، علی رحیمی[۲]، عباس کنگی[۳]، محسن کرمی[٤]

۱-عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور شیراز
۲-مهندسین مشاور آسماری
۳-عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود
۲-دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

چکیده :

روشهای مختلفی برای برآورد میزان رسوب دهی حوضه های مختلف اختراع گردیده اند. در این تحقیق از سه روش هیدرومتری، هیدرولیکی و تجربی (MPSIAC) برای برآورد میزان رسوب زایی حوضه آبریز رودخانه فیروزآباد استفاده شده است. در روش هیدرومتری، ضمن اندازه گیری آبدهی رودخانه، نمونه برداری از مواد معلق آن انجام می گیرد. در محل سد هایقر هیچگونه ایستگاه هیدرومتری برای نمونه برداری از رودخانه فیروزآباد وجود ندارد، اما در ایستگاه تنگاب، در فاصله ٦٠ کیلومتری بالا دست آن، اندازه گیری دبی ماهانه و سالانه و نمونه برداری رسوب در یک دوره ۳۰ ساله از این رودخانه انجام گرفته است. در تعیین رابطه بین دبی رودخانه و غلظت مواد رسوبی، دبی رسوبات به عنوان تابعی از دبی جریان با استفاده از معادلات همبستگی سنجیده می شود. با توجه به آمار موجود، میانگین سالانه مواد معلق در ایستگاه تنگاب به دست آمده که با در نظر گرفتن برخی عوامل و پارامترها برای خروجی سد هایقر نیز محاسبه شده است. کنترل سیلاب و سامان دهی رودخانه نیازمند شناخت کامل هندسه رودخانه، هیدرولیک و وضعیت جریان در هر نقطه از آن است. جهت شبیه سازی رودخانه به طور معمول از مدل های ریاضی استفاده می شود. در این تحقیق از بین مدل های ریاضی متداول، از نرم افزار HEC-RAS استفاده شده است، که یکی از رایجترین مدل های رودخانه ای است و می تواند انتقال رسوب را به صورت یک بعدی شبیه سازی نماید. برای انتقال تمام بار رسوب، معادلات مختلفی را افراد مختلف ارائه کرده اند که عملکرد آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته، درجه اعتبارشان تعیین گردیده است. با استفاده از این معادلات و روشهای انتقال رسوب، بار کل در نرم افزار HEC-RAS محاسبه شده است. از روش تجربی MPSIAC نیز برای برآورد میزان رسوب زایی حوضه استفاده شده است. در این روش تاثیر و نقش ۹ عامل مهم و موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب (زمین شناسی سطحی، خاک، آب و هوا، رواناب، ناهمواری، پوشش گیاهی، نحوه استفاده از زمین، فرسایش، و فرسایش رودخانه ای) در حوضه ارزیابی می گردد. در این روش بسته به شدت و ضعف هر عامل امتیازی به آن داده می شود وسرانجام با درنظر گرفتن مجموع امتیازات، میزان رسوب دهی حوضه برآورد می‌گردد.

واژگان کلیدی : رسوب دهی، روش هیدرومتری، روش هیدرولیکی، روش تجربی، سامانه اطلاعات جغرافیایی

Calculating the total load of sediment in Firouzabad River at Haiger dam-site, using hydrometric, hydraulic, and experimental methods in the GIS framework

Abstract

Different methods have been innovated for the estimation of sediment yield in different basins. In this research, three methods (hydrometric, hydraulic and experimental) have been used for this purpose in Firouzabad River basin. In the hydrometric method, in addition to measuring the discharge of the river, sampling of the suspended materials is performed. No hydrometric station exists at Haiqer dam-site, but there is one in Tangab dam-site, some 60 km toward the upstream, and monthly and yearly measuring of discharge and sampling have been performed there in a period of 30 years. To determine the relationship between the river discharge and the

www.SID.ir

Archive of SID

sediment concentration, the sediment discharge is measured as a function of flow discharge using coordinated equations. With regard to existing statistical information, the average of annually suspended materials in Tangab hydrometric station has been determined and, by taking some factors and parameters into consideration, has been calculated for Haiqer dam-site exit. To control flood and fix up the river, we need to know the geometry, hydraulics and flow condition of each point of the river. To simulate a river, we usually use mathematical models. In this research, among the current models, the HEC-RAS software has been used, which is one of the most common river models and can simulate sediment transition unidimensionally. Different equations have been presented for sediment total load transition, whose operations have been analyzed and their validities have been determined. Using these equations and sediment transportation methods, the total load has been calculated in HEC-RAS software. The experimental MPSIAC method has also been used for the estimation of sediment yield in the basin. In this method, the effect of nine factors in soil erosion and sediment production (surface geology, type of soil, climate, running water, topography, vegetation cover, land use methods, erosion and channel erosion) is estimated in the basin. Depending on the intensity and weakness of each factor, a mark (of distinction) is given to it and with taking into account the sum of marks, the rate of sediment yield is estimated.

Keywords: Sedimentary yield, Hydrometric Method, Hydraulic Method, Experimental Method, GIS

۱- مقدمه:

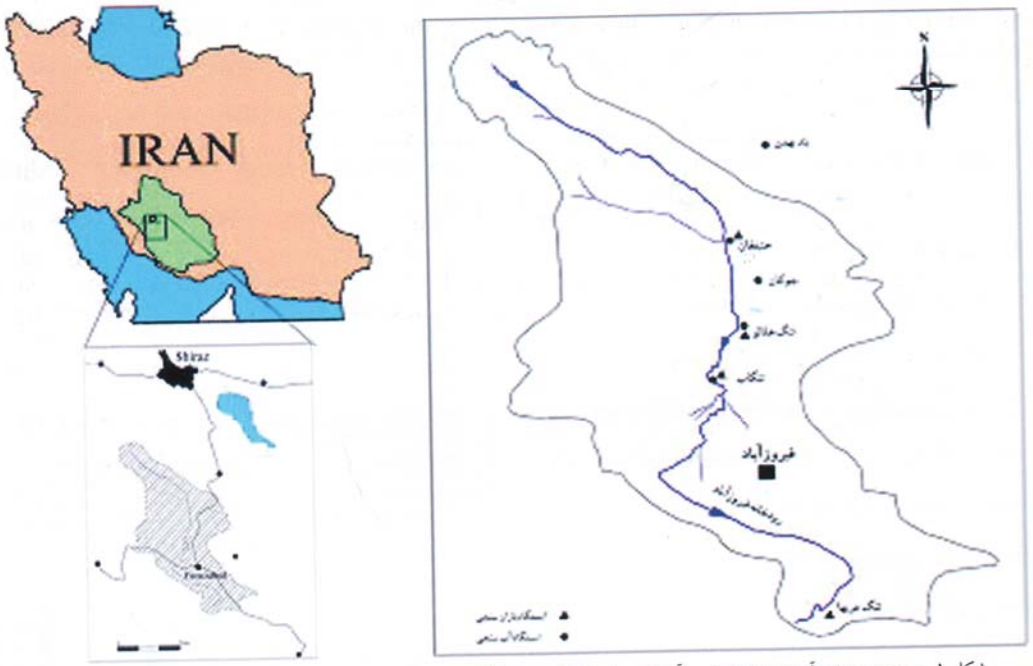
بررسی و تخمین شدت فرسایش و میزان رسوب دهی به منظور اجرای برناهه های حفاظت خاک و تعیین روشهای مبارزه با فرسایش و نیز محاسبه و طراحی دقیق سدها ضرورت دارد. فرسایش خاک امری اجتناب ناپذیر است، اما فعالیت انسان می‌تواند آن را کاهش یا افزایش دهد (رفاهی، ۱۳۸۲). روشهای مختلفی برای برآورد میزان رسوب دهی حوضه های مختلف ابداع شده اند. در این تحقیق از سه روش هیدرومتری، هیدرولیکی و تجربی (MPSIAC) برای برآورد میزان رسوب زایی حوضه آبریز رودخانه فیروزآباد در استان فارس استفاده شده است.

رودخانه فیروزآباد که در سرشاخه بنام حنیفقان نامیده می‌شود از بلندی‌های سمت جنوب حوضه رودخانه قره آغاج (بهرامی و رحیمی، ۱۳۸۷)، با ارتفاع حداکثر ۳۰۹۷ متر از سطح دریا، سرچشمه گرفته، آب چشمه‌های حنیفقان (معروف به چهل چشمه) سبب پرآب شدن آن می‌گردد. این رودخانه پس از طی مسافت حدود ٦٦ کیلومتر از سرچشمه‌ها به محل سد تنگاب و طی حدود ۱۲۳ کیلومتر به محل سد پیشنهادی هایقر (ورودی تنگ عربها) می‌رسد (شکلهای ۱ و ۲). این رودخانه پس از عبور از تنگ عربها (که کوه هایقر را به صورت عرضی قطع کرده است) بنام نهر اعظم نامیده شده، با پیوستن آبهای شور حاصل از گنبدهای نمکی در پائین دست به رودخانه شور موسوم و از منطقه دهرم و احمد آباد گذشته، به رودخانه قره آغاج می‌پیوندد، و از آنجا با نام رودخانه مند مجموعه آبهای حوضه بزرگی را به خلیج فارس می ریزد.

سیلابهای رودخانه فیروزآباد بسیار مهم و دارای حجم قابل توجهی است. مطالعات هیدرولوژی نشان داده است که این رودخانه در محل سد تنگاب دارای آوردی بطور میانگین حدود ۱۱۳ میلیون مترمکعب در سال است (آمار میانگین ۳۰ ساله از ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۰)، که بخشی از آن (حدود ۳۱٪) به مصرف آبیاری دشت بزرگ فیروزآباد (به وسعت ۲٦۰ کیلومترمربع) می رسد و بقیه آب رودخانه همراه با آبهای حوضه میانی از محل تنگ عربها می‌گذرد. بررسی‌های آماری رودخانه نشان داده است که سالانه بطور میانگین حدود ۲۱٦/۵ میلیون مترمکعب آب از محل تنگ عربها عبور می‌کند (مهندسین مشاور آب نیرو، ۱۳۷۲). با احداث سد تنگاب و ذخیره سازی آب رودخانه تا این محل دُر مخزن سد و مصرف آن در دشت فیروزآباد، با احتساب حجم آب سرریز شده از سد تنگاب، حدود ۱٤۹ میلیون متر مکعب و بدون آن حدود ۱٤۱ میلیون مترمکعب آب از محل تنگ عربها (هایقر) خواهد گذشت که با توجه به شورشدن آن در عمل بدون استفاده، از بین می‌رود. هدف از ایجاد سد هایقر بهره گیری از آب رودخانه قبل از شور شدن و انتقال آن به دشتهای خشک مجاور است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- محدوده حوضه آبریز رودخانه فیروزآباد تا محل پیشنهادی سد هایقر

شکل ۲- ورودی رود خانه فیروز آباد به محل سد هایقر (تنگ عربها)

۲- روشهای برآورد رسوب:

روشها یا مدل های مختلفی برای برآورد رسوب ابداع شده اند، که می توان به کمک آنها به درکی از واقعیت، البته نه کل آن، دست یافت. از جمله این روشها، سه روش هیدرومتری (رسوب سنجی)، هیدرولیکی (استفاده از مدل های ریاضی) وتجربی (مدل MPSIAC) برای تخمین میزان رسوب دهی حوضه آبریز سد هایقر استفاده شده است که در زیر بیان می گردد.

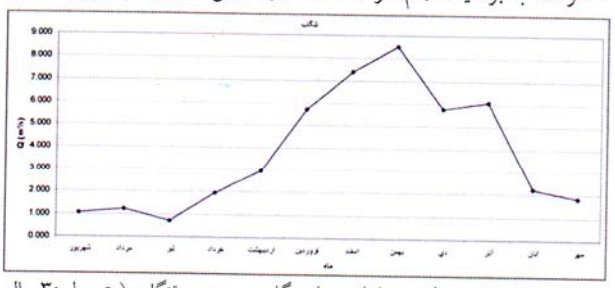
۳- روش هیدرومتری(دبی – اشل):

متأسفانه در محل احداث سد هایقر هیچگونه نمونه برداری از مواد معلق آب انجام نشده و اطلاع دقیقی از کم و کیف رسوبات حمل شده رودخانه در این محل در دست نیست. در حوضه آبریز رودخانه فیروزآباد فقط در ایستگاه تنگاب (شکل ۱) اندازه

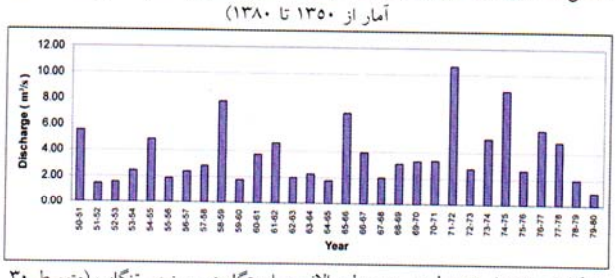
www.SID.ir

Archive of SID

گیری دبی ماهانه و سالانه (شکلهای ۳ و ٤) و نمونه برداری رسوب در یک دوره ۳۰ ساله انجام گرفته که آمارهای آن و نتایج حاصل از آزمایشهای مربوط به بار معلق دردست است. لازم به ذکر است که حدود ۹۰ درصد نمونه گیریها در دبی‌های کمتر از ۵ مترمکعب برثانیه انجام گرفته است (مهندسین مشاور آب نیرو،۱۳۷۲).



شکل۳- نمودار متوسط دبی ماهانه در ایستگاه دبی سنجی تنگاب (متوسط ۳۰ سال آمار از ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۰)



شکل٤- نمودار متوسط دبی متوسط سالانه در ایستگاه دبی سنجی تنگاب (متوسط ۳۰ سال آمار از ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۰)

در مورد میزان رسوبات درشت دانه و متحرک در بستر رودخانه‌ها (بارکف)، اندازه گیریهای سیستماتیک به عمل نیامده است، ولی به کمک روشهای تجربی مقدار آنرا می‌توان تخمین زد، یا با توجه به تجربه در مورد مخازن سدها میزان آن را بصورت درصدی از بار معلق در نظر گرفت. بدیهی است هرچه سازندهای نرم و فرسایش‌پذیر در حوضه گسترده‌تر باشند، به همان اندازه میزان رسوبات همراه آب بیشتراست.

بررسیهای انجام شده بر روی نقشه های زمین شناسی منطقه نشان می دهد که ۲۸٪ زیرحوضه تنگاب (با وسعت ۱۳۵٦ کیلومتر مربع) و۳۵٪ زیرحوضه هایقر (با وسعت ۹۱۷ کیلومتر مربع) از سازندهای نرم وبقیه از سازندهای سخت تشکیل شده اند؛ با توجه به این که آهنگ رسوب زایی سازندهای نرم ۸ برابر سازندهای سخت است، شرایط زیر برقرار خواهد بود:

A_1=۱۳۵٦ (۰,۷۲ + ۰,۲۸ * ۸) = ٤۰۱۳/۷٦

A_2=۹۱۷ (۰,٦۵ + ۰,۳۵ * ۸) = ۳۱٦۳/٦۵

A = ٤۰۱۳/ ۷٦ + ۳۱٦۳ /٦۵ = ۷۱۷۷ /٤۱

سهم رسوب زائی حوضه تنگاب a_1 = ٤۰۱۳/ ۷٦ ÷ ۷۱۷۷ /٤۱ = ۰,۵٦

سهم رسوبزائی حوضه میانی a_2 = ۳۱٦۳/٦۵ ÷ ۷۱۷۷/٤۱ = ۰,٤٤

۳-۱- تجزیه و تحلیل آمار رسوب رودخانه فیروزآباد در ایستگاه تنگاب

آمار اندازه گیری غلظت مواد رسوبی رودخانه فیروزآباد طی دوره آماری ۸۰-۱۳۵۰ در دست است که نمونه برداریهای آن بطور متناوب صورت گرفته، عملاً حدود ۸۳ درصد نمونه‌ها مربوط به دبی کمتر از ۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. حدود ۱۰ درصد از نمونه‌ها مربوط به دبی‌های بین ۵ تا ۲۰ مترمکعب بر ثانیه و بالاخره حدود ۷ درصد بقیه نیز به دبی‌های بیش از ۲۰ مترمکعب بر ثانیه مربوط می‌باشد. بیشترین دبی اندازه گیری شده در زمان نمونه‌برداری به میزان ۲۳٦ مترمکعب بر ثانیه با غلظت رسوب معادل ۵۲۱٤ میلی‌گرم بر لیتر، و بیشترین غلظت مواد رسوبی رودخانه نیز برای دبی ۹۳ مترمکعب بر ثانیه معادل ۹۵۱۳ میلی‌گرم بر لیتر است.

پس از جمع‌آوری، کنترل و تصحیح آمار نمونه برداری رسوب رودخانه فیروزآباد در ایستگاه تنگاب این آمارها مورد تجزیه و تحلیل‌های لازم قرار گرفتند. اطلاعات فوق شامل غلظت مواد معلق رسوبی رودخانه، دبی جریان و وزن مواد رسوبی حمل شده روزانه رودخانه به همراه تاریخ نمونه برداری است.

با توجه به نمونه‌های موجود و حذف تعدادی از نقاط پرت، رابطه همبستگی بین دبی آب برحسب مترمکعب بر ثانیه و وزن مواد رسوبی آب برحسب تن در روز بصورت معادله (I) حاصل گردید:

$$Log\,Qs = ۰/۴۰۶۲(Log\,Qw)^۲ + ۱/۰۷۳۷(Log\,Qw) + ۰/۶۶۰۳ \quad n = ۳۷۱ \quad r = ۰/۹۱ \quad (I)$$

از آنجائی که تعداد قابل توجهی از نمونه‌های دوره آماربرداری رسوب در ایستگاه تنگاب در مواقعی که رودخانه دارای دبی پایه بوده صورت گرفته، به منظور افزایش حاشیه ایمنی، منحنی (II) در موقعیت فوقانی و به موازات منحنی (I) طوری ترسیم گردیدکه حدود ۹۵ درصد از نمونه‌های اندازه‌گیری غلظت مواد رسوبی‌را پوشش دهد. پس از انجام تعدیل فوق معادله منحنی (II) بصورت زیر حاصل‌گردید:

$$Log\,Qs = ۰/۴۰۶۲(Log\,Qw)^۲ + ۱/۰۷۳۷(Log\,Qw) + ۱/۲۵ \quad (II)$$

معادلات همبستگی (I) و (II) در شکل ۵ نشان داده شده است. براساس تجارب کارشناسی مقادیر برآورد شده رسوب با معادله (I) به حداقل‌های مشاهده شده نزدیکتر بوده است، حال آنکه

www.SID.ir

Archive of SID

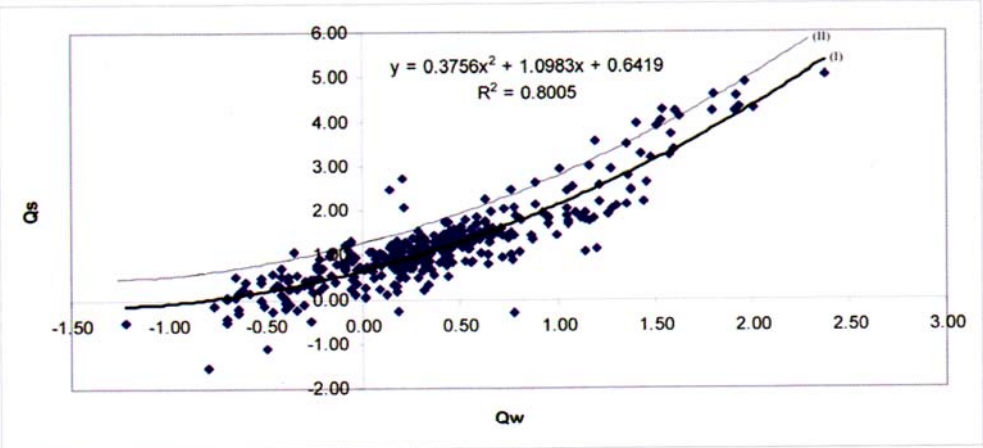
تعدیل فوق مقادیر برآورد شده را به حداکثرهای مشاهده شده نزدیک می‌نماید. حال براساس روش USBR و استفاده از منحنی تداوم جریان آبدهی روزانه رودخانه فیروزآباد در ایستگاه تنگاب که براساس ۳۰ سال آمار آبدهی روزانه رودخانه ترسیم گردیده است (شکل ٦)، یکبار با معادله (I) و بار دیگر با معادله (II)، میانگین وزن رسوبات معلق حمل شده سالانه رودخانه به ترتیب ۱۷۱۷۸۵ و ٦٦٧٨٥٨ تن در سال (معادل رسوب ویژه مواد معلق به ترتیب ۱۲۷ و ٤۹۳ تن در سال بر کیلومترمربع) برآورد گردید که محاسبات کامل آن در جدول ۱ ارائه گردیده است.

در حقیقت مقدار برآورد شده رسوب براساس معادله (I) بیانگر رسوب آب در دوران دبی‌های کم و زمانی است که آب رودخانه تقریباً زلال است و مقدار برآورد شده رسوب براساس معادله(II) نیز خود را به حداکثرهای مشاهده شدهٔ نمونه‌های اندازه‌گیری شده رسوب نزدیک نموده که برای مقاصد طراحی در جهت اطمینان است.

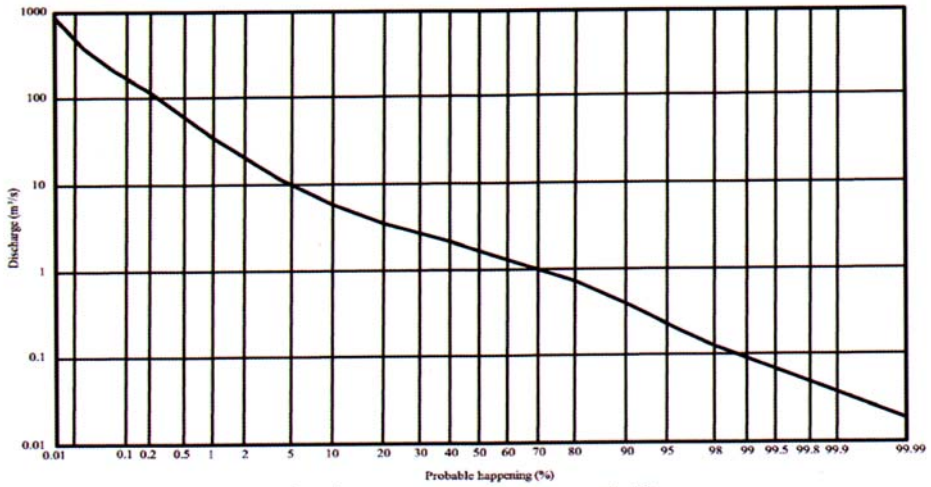
۳-۲- میزان رسوب رودخانه فیروزآباد تا محل تنگ عربها (سدهایقر)

با توجه به میانگین وزن رسوبات معلق حمل شده سالانه در رودخانه فیروزآباد تا ایستگاه تنگاب که از طریق معادلات همبستگی I و II (به ترتیب ۱۷۱۷۸۵ و ٦٦٧٨٥٨ تن در سال) به دست آمدند، مقدار رسوب کل حوضه تا تنگ عربها بدون احداث سد تنگاب به ترتیب ۳۰٦٧٦۰=۰/۰٥٦/ ۱۷۱۷۸۵ و ۱۱۹۲٦۰۰=۰/۰٥٦/ ٦٦٧٨٥٨ تن در سال و با احداث آن نیز به ترتیب ۱۳٤۹۷٥ و ٥۲٤۷٤۲ تن در سال خواهد شد. با توجه به اینکه سد تنگاب ساخته شده، در حال آبگیری است ارقام اخیر برای رسوب زایی حوضه هایقر درست است.

جدول ۱ نحوه محاسبات و نتایج نهایی کاربرد روش مورد بحث را برای تعیین میانگین سالیانه بار رسوب ایستگاه تنگاب نشان می‌دهد.



شکل ٥ – رابطه بین دبی لحظه ای و رسوب حمل شده در رودخانه فیروز آباد (ایستگاه تنگاب)



شکل ٦- منحنی تداوم جریان رودخانه در ایستگاه تنگاب

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- محاسبه وزن مواد معلق ریزدانه رودخانه فیروزآباد در محل سد تنگاب

(A=1356 km^2)

۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
حدود دسته‌های احتمال (٪)	فواصل دسته‌ها (٪)	حد وسط دسته‌های احتمال (٪)	دبی با احتمال وقوع حد وسط دسته‌ها (m^3/sec)	(۲×٤) دبی روزانه (m^3/sec)	رسوب بازاء منحنی (I) (ton/day)	(۲×٦) جمع رسوب روزانه بازاء منحنی (I) (ton/day)	رسوب بازاء منحنی (II) (ton/day)	(۲×۸) جمع رسوب روزانه بازاء منحنی (II) (ton/day)
-۰/۰٦ ۰/۰۱	۰/۰٥	۰/۰۳٥	۲٦٥	۰/۱۳۲٥	٤٤٤۰۱۱/۸	۲۲۲/۰۱	۱۷۲٦۲۱۳/۳	۸٦۳/۱۱
۰/۰٦-۰/۱	۰/۰٤	۰/۰۸	۱۹۱	۰/۰۷٦٤	۱٦۷۰۸۹/۹	٦٦/۸٤	٦٤۹٦۰٦/۱۳	۲٥۹/۸٤
۰/۱-۰/۲	۰/۱	۰/۱٥	۱٤۲	۰/۱٤۲	۷۱۲٦٤/۰٦	۷۱/۲٦	۲۷۷۰٥۷/۹۳	۲۷۷/۰٦
۰/۲-۰/٥	۰/۳	۰/۳٥	۹۰/۸	۰/۲۷۲٤	۲۰۸۹۸/۱۷	٦۲/۷	۸۱۲٤۷/۱۸	۲٤۳/۷٤
۰/٥-۱	۰/٥	۰/۷٥	٤٥	۰/۲۲٥	۳٥۱۱/۹۲	۱۷/٥٦	۱۳٦٥۳/٥۱	٦۸/۲۷
۱-۲	۱	۱/٥	۲٤/٦	۰/۲٤٦	۸۷۰/۲۱	۸/۷	۳۳۸۳/۱٦	۳۳/۸۳
۲-٥	۳	۳/٥	۱۳	۰/۳۹	۲۲۹/۲۹	٦/۸۸	۸۹۱/٤۲	۲٦/۷٤
٥-۱۰	٥	۷/٥	۷/۹	۰/۳۹٥	۸۹/٤۱	٤/٤۷	۳٤۷/٥۹	۱۷/۳۸
۱۰-۲۰	۱۰	۱٥	٤/٥	۰/٤٥	۳٤/۲۷	۳/٤۳	۱۳۳/۲٥	۱۳/۳۳
۲۰-٤۰	۲۰	۳۰	۲/۸	۰/٥٦	۱٦/٦٦	۳/۳۳	٦٤/۷٦	۱۲/۹٥
٤۰-٦۰	۲۰	٥۰	۱/۹	۰/۳۸	۹/۸	۱/۹٦	۳۸/۰۹	۷/۹۲
٦۰-۸۰	۲۰	۷۰	۱/۲	۰/۲٤	٥/٦	۱/۱۲	۲۱/۷٦	٤/۳٥
۸۰-۹۰	۱۰	۸٥	۰/٥٦	۰/۰٥٦	۲/٦	۰/۲٦	۱۰/۱۳	۱/۰۱
۹۰-۹٥	٥	۹۲/٥	۰/۲۸	۰/۰۱٤	۱/٥٥	۰/۰۷۸	٦/۰۳	۰/۳
۹٥-۹۹	٤	۹۷	۰/۱٦	۰/۰۰٦٤	۱/۱٦	۰/۰٤٦	٤/٥	۰/۱۸
۹۹-۹۹/۸	۰/۸	۹۹/٤	۰/۰٦۲	۰/۰۰۰٤۹٦	۰/۹۰٤	۰/۰۰۷۲۳	۳/٥۱	۰/۰۲۸۱
-۹۹/۹۹ ۹۹/۸	۰/۲	۹۹/۸٥	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰۰٥٦	۰/۹۳۹	۰/۰۰۱۸۸	۳/٦٥	۰/۰۰۷۳
جمع روزانه	۱۰۰	-		۳/٥۹	-	٤۷۰/٦٤	-	۱۸۲۹/۷٥
میانگین سالانه جمع روزانه ×۳٦٥ (ton/yr)					۱۷۱۷۸٤/٥		٦٦۷۸٥۷/۷	
رسوب ویژه (ton/ km^2)					۱۲٦/٦۸		٤۹۲/٥۲	

www.SID.ir

Archive of SID

٤- روش هیدرولیکی(استفاده از مدلهای ریاضی):

فرایند تغییرات جریان و حرکت آب و رسوب به‌طور همزمان در رودخانه‌ها، پدیده‌ای بسیار پیچیده است (شفاعی بجستان، ١٣٨٢). از آنجا که خسارات وارده از سوی رودخانه ها و رسوبات رودخانه‌ای به طبیعت، کشاورزی و سازه‌های آبی ساخته شده برروی رودخانه‌ها یا کناره های آنها بسیار گسترده و زیان‌آور است، شناخت دقیق آن از اهداف مهم مهندسان هیدرولیک می‌باشد (Olsen et al., 2000; Lund, 2002; Zhang and Singh, 2006; Gao and Pasternack, 2007). اجرای طرح‌های مدیریتی جهت کنترل سیلاب و ساماندهی رودخانه، نیازمند شناخت کامل هندسه رودخانه، هیدرولیک و وضعیت جریان در هر نقطه از آن است. جهت شبیه سازی رودخانه به طور معمول از مدل های فیزیکی و ریاضی استفاده می شود، اما با توجه به طول زیاد رودخانه، شناخت مدل فیزیکی، اقتصادی و عملی نیست و بیشتر مدل های ریاضی به کار گرفته می شوند.

در این تحقیق، از بین مدل های ریاضی متداول، نرم افزار HEC-RAS استفاده شده است. این مدل از رایج‌ترین مدلهای رودخانه‌ای است که می‌تواند جریان متغیر تدریجی را با هر نوع مقطع عرضی در حالتهای دائمی و غیردائمی و همچنین انتقال رسوب را به‌صورت یک‌بعدی شبیه‌سازی نماید.

٤- ١- مبانی انتقال رسوب

هیچ کدام از معادلات انتقال رسوب به درستی قادر به شبیه‌سازی فرسایش و رسوب‌گذاری در کلیه رودخانه‌ها و یا حتی بازه‌های مختلف یک رودخانه نیستند و باید برای هر رودخانه‌ای به فراخور خصوصیات هیدرولیکی جریان و رژیم رسوبی آن و با داشتن مجموعه‌ای از داده‌های صحرایی، در صورت امکان مناسب‌ترین معادله را انتخاب نمود (Van Rijn, 1989). پارامتری که تعیین کننده نوع انتقال ذرات رسوبی می‌باشد، پارامتر تعلیق نام دارد. این پارامتر تاثیر نیروی برشی بستر و مشخصات ذره رسوبی را در پدیده تعلیق رسوب اعمال کرده و به‌صورت زیر نشان داده می‌شود (Van Rijn, 1989):

$$S_i = \frac{U_*}{\omega_s} \quad (٣)$$

که در آن:

U_*، سرعت برشی جریان و ω_s، سرعت سقوط ذره رسوبی می‌باشند.

هر اندازه مقدار پارامتر فوق بزرگتر باشد، احتمال وقوع حالت تعلیق بیشتر است. محدوده $٠/٥ < S_i < ١$ آستانه تعلیق بوده و اگر $S_i > ٢٠٠$ باشد، تعلیق هموژن رخ می دهد.

٤- ٢- توابع انتقال بار کل رسوب

برای انتقال بار کل رسوب و یا بار بستر معادلات مختلفی از طرف افراد مختلف ارائه شده اند (بهرامی و رحیمی، ١٣٨٨). نتایج به دست آمده از این معادلات با توجه به فرضهای اعمال شده در روابط انتقال رسوب و محدوده کاربرد آنها دارای تفاوتهای معنی‌داری هستند. از این‌رو، آگاهی از میزان انطباق نتایج حاصله با مقدار واقعی انتقال رسوب در شرایط طبیعی از دیدگاه مهندسی حائز اهمیت است. یانگ (١٩٩٦) در یک بررسی فراگیر، عملکرد معادلات انتقال را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و درجه اعتبار آنها را تعیین نمود. انجمن مهندسین عمران آمریکا (ASCE) نیز در یک بررسی مقایسه‌ای روابط انتقال رسوب را بر اساس میزان انطباق با نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری میدانی و آزمایشگاهی مطابق جدول ٢، رتبه‌بندی کرد. رتبه ١ جدول متعلق به معادله‌ای است که بهترین انطباق را با مقدار واقعی رسوب داراست. مطابق این بررسی رابطه یانگ دارای رتبه ١ بوده و بر سایر روابط از نظر دقت و ارزیابی در شرایط مشابه، برتری دارد (Yang, 1996).

جدول٢- رتبه‌بندی روابط انتقال رسوب بر اساس بررسیهای *ASCE*

نام رابطه	نوع رابطه	رتبه رابطه
Yang (1996)	بار کل	١
Ackers and White (1973)	بار کل	٢
Laursen-Copeland (USACE, 1990)	بار کل	٣
Engelund-Hansen (1976)	بار کل	٤

www.SID.ir

Archive of SID

انتخاب معادله مناسب با توجه به وضعیت دانه‌بندی و شرایط رودخانه از جمله ضروریات مطالعه رسوب در کارهای مهندسی است. روابط اعمال شده از سوی یانگ یکی از ابزارهای مناسب برای انتخاب معادله است. تجربه‌های بدست آمده از کاربرد معادلات انتقال رسوب نشان می‌دهد که رابطه یانگ برای بسترهای با ترکیب شن و ماسه ای و روابط لارسن- کوپلند، ایکرز - وایت و انگلوند- هانسن برای بسترهای ماسه ای مناسب‌تر هستند (Thorn & Bathurst, 1987).

برای محاسبه بار رسوبی در هر یک از توابع انتقال رسوب، علاوه بر استفاده از میانگین بارش ۲۵ ساله منطقه و آبدهی متوسط ماهانه وسالانه در طول ۳۰ سال در ایستگاه تنگاب، سرعت متوسط آب، دبی رودخانه، سطح مقطع جریان رودخانه، سرعت جریان و دمای آب اندازه گیری گردید (با استفاده از دمای آب و به کارگیری فرمول پیشنهادی Julien (1995)، لزجت کینماتیکی آب محاسبه شد). برای تعیین درصد قطر اندازه ذرات در هریک ازگروههای دانه بندی بار بستر رودخانه، در محل اندازه گیری آبدهی، نمونه برداری از بستر رودخانه صورت گرفت. نمونه‌ها پس از آماده سازی به روش خشک و مرطوب (Tucker, 1989 ; Lewis & McConchie, 1994) دانه سنجی و با استفاده از منحنی مربوطه، اندازه موثر ذرات به دست آمد. سایر پارامترهای صحرایی مورد نیاز برای ورود به نرم افزار HEC-RAS نیز تعیین گردیدند (جدول۳). با استفاده از روشهای انتقال رسوب (Simon & Senturk, 1992 ; Julien, 1995 ; Yang, 1996) و بر اساس توابع مختلف بار کل در نرم افزار HEC-RAS محاسبه گردید جدول٤).

جدول ۳- پارامتر های صحرایی مورد نیاز برای ورود به نرم افزار **HEC-RAS**

ردیف	پارامتر	واحد	علامت اختصاری	مقدار
۱	ضریب زبری بستر	-	n_b	۰/۰٤
۲	ضریب زبری کناره های کانال	-	n_w	۰/۰۷
۳	اندازه میانه ذرات	mm	D_m	٦/۹
٤	اندازه ذره ای که ۹۰ درصد ذرات کوچکتر از آن می باشند	mm	D_{90}	۲۲/٦
٥	عمق متوسط کانال	m	d	۲
٦	شیب خط انرژی (شیب مسیل اصلی)	%	s	۰/۳

جدول ٤- برآورد نهایی بار رسوبی در هر یک از توابع مدل شده در نرم افزار HEC-RAS

	روش	نوع بار	رسوب (تن در سال)
۱	Yang	بار کل	۲۰۹٤۲۳
۲	Ackers & White	بار کل	۲۱۷۳۲۱
۳	Laursen-Copeland	بار کل	۳۲۱۷٥۳
٤	Engelund & Hansen	بار کل	۲٥٥٦۲٤

٥- روش تجربی MPSIAC:

این روش در سال ۱۹٦۸ میلادی از سوی کمیته مدیریت آب در آمریکا برای محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه خشک غرب ایالات متحده آمریکا ارائه شده است (رفاهی، ۱۳۸۲). در ایران این روش برای اولین بار در سال ۱۳٥۲ در حوضه آبخیز سد دز استفاده شد. سپس با توجه به دقت نسبتاً خوب آن در مقایسه با سایر روشها و مدلهای تجربی در برخی از حوضه های آبخیز کشور مورد استفاده قرار گرفت (بهرامی و رحیمی، ۱۳۸۷).

در روش MPSIAC تاثیر و نقش ۹ عامل مهم و موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبریز ارزیابی می گردد. در این روش بسته به شدت و ضعف هر عامل، عددی به آن داده می شود. سرانجام با در نظر گرفتن مجموع اعداد بدست آمده برای عوامل مختلف میزان رسوب دهی حوضه بر آورد می گردد (جدول ٥).

٥-۱- برآورد تولید رسوب

پس از تعیین امتیاز ۹ عامل در نظر گرفته شده در مدل MPSIAC و بدست آوردن مجموع امتیازات آنها به منظور تعیین میزان رسوب زایی در هر یک از واحدهای هیدرولوژیک و قرار دادن آن در رابطه زیر میزان رسوب دهی ویژه تولیدی برآورد می گردد:

(٤)

$$Q_S = 38.77 EXP(0.035R)$$

که در آن،

www.SID.ir

Archive of SID

Q_s، مقدار رسوب ویژه تولیدی ($m^3 / km^2.Year$)، و

R، درجه رسوب دهی (جمع امتیازات ارزیابی شده عوامل نه گانه) می باشد.

در روش محاسبه امتیاز عوامل ۹ گانه در مدل MPSIAC نواقصی از جمله در نظر گرفتن رابطه خطی بین میزان شیب و امتیاز داده شده به آن در تولید رسوب دیده می شود. علاوه بر آن استفاده از رابطه فوق برای محاسبه میزان رسوب در اغلب موارد میزان رسوب را بیش از میزان مشاهده شده برآورد می کند. از این رو ضروری بود که جهت اصلاح رابطه فوق اقداماتی صورت پذیرد.

جانسون و گمبهارت (۱۹۸۲) بر اساس تجزیه و تحلیل و مقایسه رسوبدهی مشاهده ای و درجه رسوب دهی یعنی R در حوضه های مختلف دارای آمار، ضرائب رابطه ٤ را اصلاح نموده و معادله زیر را ارائه دادند:

(۵)

$$Q_S = 18.6EXP(0.036R)$$

جهت محاسبه رسوب کل تولیدی حوضه، عدد مربوط به رسوب ویژه تولیدی (Q_s) در مساحت حوضه آبریز سد هایقر ضرب می گردد. با توجه به اینکه مقدار رسوب ویژه معمولا برحسب تن در هکتار بیان می شود لذابرای تبدیل مقدار آن از متر مکعب در کیلومتر مربع به تن در هکتار با احتساب وزن مخصوص ۱/۳٦ گرم بر سانتیمتر مکعب مقدار رسوب دهی ویژه به تن در هکتار بدست می آید که نتایج آن در جدول ٦ ارائه شده است.

جدول ۵- امتیاز بندی هر یک از پارامتر های مدل PSIAC در حوضه آبریز سد هایقر

عامل فرسایشی	رابطه	امتیاز	توضیحات
زمین شناسی سطحی	$X_1=Y_1$	۵/۹	۳۱ درصد فرسایش خیلی کم و کم با امتیاز ۱ ۱۹ درصد فرسایش متوسط با امتیاز ۵ ۱۳ درصد فرسایش زیاد با امتیاز ۷/۵ ۳۷ درصد فرسایش زیاد با امتیاز ۱۰ X=(0.31*1)+(0.19*5)+(0.13*7.5)+(0.37*10)=5.9
خاک	$X_2 = 16.67\ K$	۵	بافت متوسط – دارای لایه های آهکی، دارای قطعات تخته سنگی بطور پراکنده
آب و هوا	$X_3=0.2P_2$	۵/۸	$P_2=28.8$ (میزان بارندگی ٦ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال بر حسب میلیمتر)
رواناب	$X_4=0.2(0.03R+50Qp)$ $=0.006R+10Qp$	۲/۳	R=101.6 (ارتفاع رواناب سالیانه) Qp= 0.171 (دبی ویژه حداکثر سیل با دوره بازگشت ۲ سال)
ناهمواری (شیب)	$X_5=0.33\ S$	٦/٦	S=20 (شیب متوسط حوضه)
پوشش گیاهی	$X_6=0.2\ pb$	٦	Pb = 30 (درصد اراضی سخت و فاقد پوشش)
نحوه استفاده از زمین	$X_7=20 - 0.2\ pc$	۷	Pc = 65 (درصد تاج پوشش گیاهی)
فرسایش	-	۱۲	وجود انواع فرسایش؛ در حدود ۳۰ درصد از اراضی دارای فرسایش متوسط
فرسایش رودخانه ای	-	۱۵	فرسایش کنار رود خانه ای به طور دائم یا با تناوب، با عمق متوسط تا زیاد
مجموع امتیازات		٦۵/۵	کلاس رسوبدهی و فرسایش: III (متوسط)

www.SID.ir

Archive of SID

۵-۲- نسبت تحویل رسوب (SDR[1])

مواد فرسایش یافته از طریق سیستم زهکشی و رودخانه ها در نهایت به خروجی حوضه منتقل می گردند. البته باید در نظر داشت که تمام مواد فرسایش یافته به خروجی حوضه منتقل نمی گردند بلکه بخشی از آنها در داخل خود حوضه ته نشین شده، به خروجی حوضه نمی رسند. محققین زیادی در مورد تحویل رسوب معادلات مختلفی ارائه داده اند که ازآن جمله فرمولهای تجربی زیر می باشند (Tajbakhsh & Meamarian., 2003) :

(٦)

$$SDR=43.4(A)^{-0.1753}$$

(٧)

$$SDR=46.7(A)^{-0.207}$$

که در آن،

SDR، نسبت تحویل رسوب (٪)، و A، مساحت حوضه ($mile^2$) می باشند.

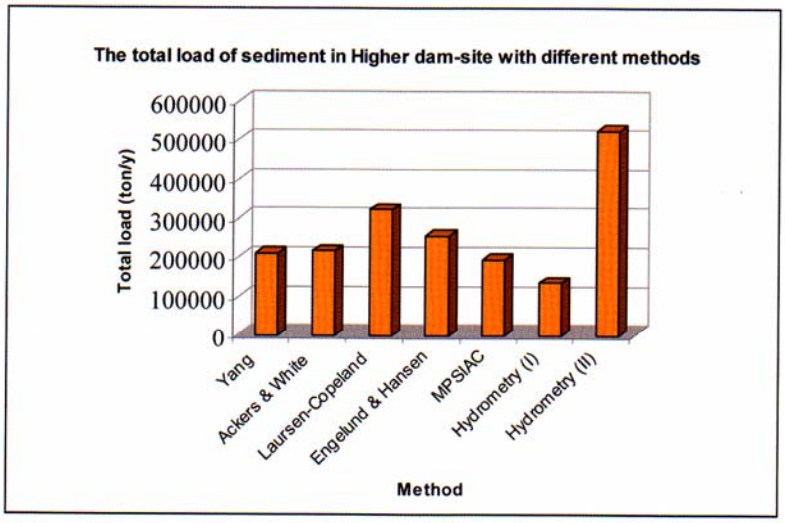
رابطه ٦ برای واحدهای هیدرولوژیکی با مساحت کمتر از ۱۰ مایل مربع و رابطه ۷ برای واحدهایی با مساحت بزرگتر از ۱۰ مایل مربع ارائه شده است. این نتایج برای حوضه آبریز **سد هایقر** در جدول ٦ ارائه شده است.

جدول٦- تعیین میزان تولید رسوب سالیانه در حوضه آبریز سد هایقر به روش MPSIAC

ردیف	پارامتر	مقدار(حوضه آبریز سد هایقر)
۱	$Q_S\ (m^3/Km^2.Year)$	۱۹٦/٦
۲	$Q_S\ (Ton/Hec)$	۲/٦۷
۳	$Area(Hec)$	۷۲۷۰۰
٤	رسوب کل تولیدی(تن)	۱۹٤۳۸۰/۵
۵	$Area(mile^2)$	۲۸۰/٦۹
٦	$SDR(\%)$	۱٤/۵
۷	$Erosion(Ton/Hec)$	۱٦/۵۵
۸	رسوب کل در خروجی حوضه(تن)	۲۸۲٦۰/۸

٦- نتیجه گیری:

با توجه به اهمیتی که هر کدام از روشهای برآورد رسوب دارا هستند، مقایسه ای کلی از میزان رسوب دهی حوضه آبریز سد هایقر در شکل٦ ارائه شده است. میانگین نتایج حاصل از این روشها می تواند در تعیین عمر مفید سد در دست احداث هایقر کمک شایان توجهی به دست دهد. رقم میانگین رسوب دهی حوضه آبریز سد هایقر با توجه به روشهای اعمال شده معادل ۲٦۵٤٦۰ تن در سال به دست می آید.



شکل٦- مقایسه میزان رسوب دهی هر یک از روشهای برآورد رسوب در حوضه آبریز سد هایقر

[1] - Sediment Delivery Ratio

www.SID.ir

Archive of SID

۷- منابع:

بهرامی، محمد و رحیمی، علی (۱۳۸۷)، بر آورد حجم رسوب ناشی از فرسایش در حوضه آبریز رودخانه کردشیخ به روشهای تجربی با استفاده از سامانه ی اطلاعات جغرافیایی. *فصلنامه زمین شناسی کاربردی، سال ٤ (۱۳۸۷)، شماره ی ۲: ۸۹-۸۲*

بهرامی، محمد و رحیمی، علی (۱۳۸۸)، محاسبه میزان انتقال بار کل رسوب رودخانه قره آغاج در مقطع کوار با استفاده از روشهای هیدرولیک رسوب. *فصلنامه زمین شناسی کاربردی، سال ٤ (۱۳۸۷).*

رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۲)، فرسایش آبی و کنترل آن. *انتشارات دانشگاه تهران. چاپ چهارم، ٦٧٤ صفحه.*

شفاهی بجستان، محمود (۱۳۸٤)، هیدرولیک رسوب. *انتشارات دانشگاه شهید چمران، چاپ سوم، ٤٧٠ صفحه.*

مهندسین مشاور آب نیرو (۱۳۷۲)، *گزارش مطالعات هیدرولوژی سد هایقر.*

References:

Ackers, P. & White, W. R. (1973), Sediment Transport; A New Approach and Analysis. *Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol.99.*

Engelund, F. and E. Hansen (1976), "A Monograph on sediment transport in alluvial streams". *Nordic Hydrology 7, pp. 293-306.*

Gao, P. and Pasternack, G. B. (2007), Dynamics of suspended sediment transport at field-scale drain channels in irrigation-dominated watersheds. *Hydrological Processes 21, 2081-2092.*

Jhonson, C. W. and Gembhart, A. C. (1982), Predicting sediment yield from Sugerbrush Rang lands. *USDA – SEA – ARM Western series. No. 26.*

Julien, P. (1995), Erosion and Sedimentation. *Edited by Cambridge University Press, 2nd Edition.*

Lewis, D.W., & McConchie, D.M.(1994), Analytical Sedimentology, *Chapman and Hall, New York, 197p.*

Lund, J. R. (2002), Floodplain planning with Risk – Based optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE., Vol. 128, No. 3, pp. 202-207.*

Olsen, J. R., Beling, P. A. and Lambert, J. H. (2000), Dynamic model for flood planning management, *Journal of water Resoures Planning and Management, 126(3), pp.167-175.*

Simons, D. B. & Senturk, F. (1992), Sediment Transport Technology: Water and sediment dynamics, *Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, 919 p.*

Tajbakhsh, S. M. & Meamarian, H. (2003), The sediment yield potential estimation of Fariabad and kordian watersheds using MPSIAC model in the GIS framework. *Map Asia Conference, 2003.*

Thorn, C. R., J. C. Bathurst R. D. and Hey, R. D. (1987), Sediment Transport in Gravel-bed Rivers, Wiley, New York. *Sediment transport in gravel-bed river. John Wiley and Sons.*

Tucker, M. (1989), Techniques in Sedimentology. Oxford: *Black Well Scientific Pub., P. 63-85 and 191- 228.*

U.S. Army Corps of Engineers (1990), Waimea River Sedimentation Study Kauai, Hawaii.*Technical Report HL-90-3. Vicksburg, Mississippi.*

Van Rijn, L. (1989), Hand Book sediment transport by current waves. *Delt Hydraulics, Delt, The Netherlands.*

Yang, C.T. (1996), Sediment Transport: Theory and Practice, *McGraw-Hill Companies, Inc., 396 p.*

Zhang, L. and V. P. Singh (2006), Trivariate Flood Frequency Analysis Using the Copula Method. *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE.*

www.SID.ir