

بررسی مناسب ترین معادله سنجه رسوب در اقلیم های خشک (جنوب غربی ایران) و مرطوب (شمال ایران)

چکیده

بر آورد صحیح رسوبدهی حوضه های آبخیز از جنبه های مختلف اعم از مدیریت منابع آب و خاک، عمران، فعالیت های زیربنایی، مقوله های اقتصادی و اجتماعی همیشه مدنظر برنامه ریزان می باشد. نکته قابل توجه در این میان تفاوت رفتاری رودخانه در حوضه های آبخیز مناطق خشک و مرطوب می باشد. توجه محققین به اقلیم منطقه مطالعاتی در استفاده از روش های مناسب جهت آنالیز نتایج حاصل از روش های مختلف در ایجاد تصمیم گیری های بهتر مفید خواهد بود. هدف از تحقیق حاضر بررسی منحنی های سنجه رسوب در ۱۲ ایستگاه در مناطق خشک و مرطوب به دو روش یک خطی و حد واسط دسته ها و بررسی ضرایب اصلاحی (شامل فائو^۱، کیو ام ال ای^۲، اسمیرینگ^۳، ام وی یو ام^۴ و بتا^۵) جهت رفع اریب این منحنی ها می باشد. سپس با استفاده از آماره های ام ای^۶، پی^۷ و آر ام اس ای^۸ هر کدام از ضرایب اصلاحی صحت سنجی شد. نتایج تحقیق حاضر مناسب بودن روش حد واسط دسته ها برای ایستگاه های مناطق خشک و نیمه خشک و ایستگاه های مناطق مرطوب و نیمه مرطوب را نشان داد. بهترین ضریب اصلاحی در ایستگاه های مناطق خشک و نیمه خشک و مرطوب و نیمه مرطوب نیز ضریب اصلاحی ام وی یو ام می باشد به عنوان مثال شاخص ریشه خطای استاندارد در ایستگاه سد گرگان در منطقه نیمه مرطوب در مورد ضریب اصلاحی ام وی یو ام، ۶۳/۸۷ بوده است و در مورد ایستگاه تیر در منطقه نیمه خشک این مقدار ۶۵/۱۲ بوده که نسبت به سایر ضرایب اصلاحی ریشه خطای استاندارد کمتری داشته است.

واژگان کلیدی: منحنی سنجه رسوب، ضریب اصلاحی، اقلیم

مقدمه

رسوبات معلق یکی از مهمترین فاکتورهای تصمیم گیری جهت سلامت اکوسیستم آبی و تعیین عمر مفید سدها می باشد. کمبود داده های بلند مدت اندازه گیری شده از رسوب و تحقیقات ناکافی در این زمینه دسترسی به داده های قابل اطمینان را محدود ساخته و بنابراین مجبور به استفاده از روش های تخمینی هستیم. موضوع کیفیت و کمیت آب برای

۱. FAO

۲. QMLE

۳. Smearing

۴. MVUE

۵. β

۶. ME

۷. P

۸. RMSE

جانداران موجود در آن و همچنین برای نگهداشت و حفاظت از منابع آب ضروری می باشد (سولر^۱ و همکاران ۲۰۰۷، ۱۰). علیرغم اهمیت رسوب معلق، اطلاعات دقیق و صحیح از این پدیده، بسیار کم می باشد. معمولاً برای تعیین میزان رسوب معلق، از روش های آماری استفاده می شود. تحقیقات گوناگونی در زمینه ارزیابی انواع منحنی سنجه رسوب، فاکتورهای اصلاح اریب و ارتباط ضرایب سنجه با خصوصیات حوضه آبخیز انجام شده است. کوهن^۲ (۱۹۹۵، ۶۰۵) با ارزیابی فاکتورهای اصلاحی نتیجه گرفت در صورتی که شرایط زیر تماماً مهیا باشند، سه روش کیو ام ال ای، اسمیرینگ و ام وی یو ام نتایج تقریباً مشابهی ارائه می دهند. ۱- مدل رگرسیون خطی صحیح باشد. ۲- تعداد نمونه ها برای واسنجی معادله رگرسیونی حداقل ۳۰ مشاهده باشد. ۳- مدل فقط در مورد درونیابی مقادیر بکار رود. لویز^۳ (۱۹۹۶، ۲۲۹) دریافت در صورتی که تخمین گر ام وی یو ام ناریب باشد مقادیر ریشه خطای استاندارد مشابهی با "مدل های تغییر شکل نیافته"^۴ دارد. اندری و هاست^۵ (۲۰۰۵، ۹۵) نیز با ارزیابی این فاکتورهای اصلاحی دریافتند در مورد نمونه های با تعداد کم که اکثراً از جریان پایه برداشت شده اند این فاکتورها پاسخگوی خوبی هستند. اما بلانکو^۶ و همکاران (۲۰۱۰، ۱۸۱) دریافتند که منحنی های سنجه کارایی قابل قبولی در برآورد رسوبدهی مخصوصاً در مورد وقایع سیلابی ندارند. لدویگ^۷ (۲۰۰۶، ۷۲) برآوردگر کیو ام ال ای را مناسب تر از ضریب اسمیرینگ عنوان کرده است. آشیت^۸ و اولون (۲۰۰۷، ۱۸۷) با بررسی روابط رگرسیونی بین مقادیر لحظه ای و روزانه دبی آب و غلظت رسوب در یکی از حوضه های نیمه خشک الجزایر نتیجه گرفتند که تغییرات غلظت رسوب معلق در مقیاس سالانه بیشتر از مقیاس فصلی بوده است. زاریس و همکاران (۲۰۰۷، ۹۷) با بررسی ۳۰ نمونه دبی رسوب در بالادست یکی از سدهای یونان با بکارگیری منحنی سنجه یک خطی و دو خطی، نتیجه گرفتند که در حالت اول برآورد کمتر از حد واقعی در دبی های بالا بوجود می آید. اما در حالت دوم مقادیر بدست آمده خیلی نزدیک تر به مقادیری اند که از نمونه برداری ها بدست آمده اند. خانچول^۹ و همکاران (۲۰۰۹، ۲۵۷) کلاس بندی مقادیر دبی بر اساس فصل وقوع سیلاب را مناسب ترسیم منحنی سنجه رسوب برای برآورد رسوب وقایع سیلابی فاقد رسوبگراف یا فاقد نمونه برداری می دانند. هیو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۱، ۳۴) با آنالیز زمانی و مکانی منحنی سنجه در رودخانه یانگزه دریافتند فعالیت های انسانی یک اثر قابل توجهی بر پارامترهای منحنی سنجه داشته است که شدت اثرات آن در ارتباط با مقیاس مقطع رودخانه است. گنجی نوروزی و همکاران (۱۳۸۷، ۹۰) جهت برآورد دبی رسوب ورودی به سد اکباتان همدان از روش های متوسط دسته ها و تعدیل ضریب فائو استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که روش متوسط دسته ها با ضریب تعدیل فائو نتایج مطلوب تری را در برآورد دبی رسوب به همراه دارد. در تحقیقات اعظمی و همکاران (۱۳۸۴، ۱۸۵) و ذرتی پور و همکاران (۱۳۸۷، ۸۰۹) نیز روش حد وسط دسته ها به عنوان مناسب ترین روش انتخاب شد. وروانی و همکاران (۱۳۸۷، ۱۵۰) به منظور اصلاح روش های برآورد بار رسوبی رودخانه ها، به ارزیابی مقادیر برآوردی ده نوع منحنی سنجه رسوب با مقادیر واقعی دوره های مختلف آماری در پنج ایستگاه هیدرومتری منتخب از مناطق اقلیمی مختلف کشور با شاخص های مختلف صحت و دقت پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که کاربرد ضریب حداقل واریانس ناریب (ام وی یو ام) باعث افزایش صحت و دقت منحنی های سنجه گردیده؛ بطوری که نسبت بار رسوبی برآوردی به بار واقعی بطور متوسط در ایستگاه های مورد مطالعه یک و بیست و یک صدم می باشد که در مقایسه با سایر روش ها مقدار قابل قبولی است. همانطور که نتایج سوابق تحقیق نشان می دهد توصیه اکثر محققان علاوه بر نمونه برداری صحیح از غلظت رسوب، این است که معادلات سنجه رسوب بایستی به کمک فاکتورهای اصلاحی تصحیح شوند تا اختلاف

1. soler
2. Cohn
3. Lewis
4. unfiguration models
5. Endreny, Th. and Hassett, J
6. Blanco
7. Ladewig
8. Achite
9. Khanchoul
۱۰. Hu

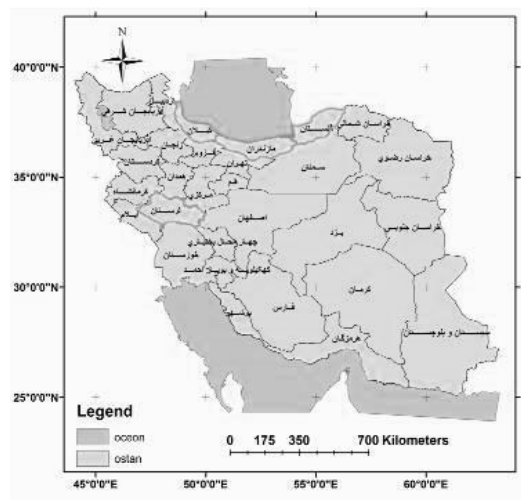
مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای مخصوصاً در دبی‌های بالا کاهش یابد و رابطه بین دبی و رسوب بخوبی به نمایش درآید. بدلیل اینکه بیشتر سطح ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک به حساب می‌آید و از رژیم بارندگی نامنظمی برخوردارند، لذا بارش‌های سیل‌آسا با مقادیر متفاوت رسوبدهی رودخانه‌ها بچشم می‌خورد. لذا ارزیابی انواع معادلات سنجه و فاکتورهای اصلاح اریب در این شرایط می‌تواند منجر به ارائه رابطه بهتر دبی جریان- غلظت رسوب معلق شود و وضعیت رسوبدهی این رودخانه‌ها را بهتر به نمایش بگذارد. هدف از تحقیق حاضر بررسی منحنی‌های سنجه رسوب در ۱۲ ایستگاه در مناطق خشک و مرطوب به دو روش یک خطی و حد واسط دسته‌ها و بررسی ضرایب اصلاحی جهت رفع اریب این منحنی‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به دبی و رسوبات ۱۲ ایستگاه هیدرومتری (۶ ایستگاه در مناطق مرطوب و ۶ ایستگاه در مناطق خشک که وضعیت اقلیمی آنها بر اساس شاخص اقلیمی دو مارتن تعیین شد)، اقدام به رسم منحنی‌های سنجه رسوب برای هریستگاه گردید. در این تحقیق با استفاده از ۵ فاکتور اصلاحی شامل: فائو، کیو ام ال‌ای، اسمیرینگ، ام وی یو ام و بتا جهت تصحیح ضریب a معادلات منحنی‌های سنجه رسوب استفاده شد که در زیر هر یک از فاکتورهای اصلاحی توضیح داده شده است. سپس اقدام به بررسی تعیین بهترین روش اصلاحی و بهترین معادله برای هر یک از ایستگاه‌های مناطق خشک و مرطوب گردید به این منظور از شاخص صحت، ام‌ای، آرام اس‌ای و پی استفاده شد که در ادامه توضیح داده می‌شود. در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داده شده است. با توجه به جدول ۶ ایستگاه چول هول، آفرینه، پل دختر، کاکارضا، تیر و چمزمان در جنوب‌غربی ایران واقع شده و دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشد. ۶ ایستگاه آبشار، تمر، قزاقلی، سد گرگان، شیرگاه و پل زغال در مناطق شمال کشور واقع شده و جز مناطق مرطوب و نیمه مرطوب کشور می‌باشند. دوره آماری مورد استفاده در تمامی ایستگاه‌ها از سال ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۸۴ به مدت ۲۰ سال بوده است. در شکل ۱ نیز منطقه بر روی نقشه ایران نمایش داده شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مطالعاتی

نام ایستگاه	دوره آماری	نوع اقلیم	متوسط بارش سالیانه (میلیمتر)
چول هول	۶۴-۸۴	خشک و نیمه خشک	۳۰۶
آفرینه	۶۴-۸۴	خشک و نیمه خشک	۴۹۷
پل دختر	۶۴-۸۴	خشک و نیمه خشک	۴۰۸
کاکارضا	۶۴-۸۴	خشک و نیمه خشک	۵۳۱
تیر	۶۴-۸۴	خشک و نیمه خشک	۵۰۹
چمزمان	۶۴-۸۴	خشک و نیمه خشک	۵۰۵
آبشار	۶۴-۸۴	مرطوب و نیمه مرطوب	۷۲۱
تمر	۶۴-۸۴	مرطوب و نیمه مرطوب	۷۱۱
قزاقلی	۶۴-۸۴	مرطوب و نیمه مرطوب	۵۵۵
سد گرگان	۶۴-۸۴	مرطوب و نیمه مرطوب	۶۸۶
شیرگاه	۶۴-۸۴	مرطوب و نیمه مرطوب	۸۱۹
پل زغال	۶۴-۸۴	مرطوب و نیمه مرطوب	۶۱۵



شکل ۱ منطقه مطالعاتی بر روی نقشه ایران
(منطقه مطالعاتی پررنگ تر نشان داده شده است)

منحنی سنجه رسوب: بخش اعظمی از داده‌های غلظت رسوب معلق از نمونه برداری‌های دستی در فواصل زمانی مختلف تهیه می‌شوند (هروویتز^۱، ۲۰۰۳، ۳). اما در صورت فقدان داده‌های واقعی، هیدرولوژیست‌ها از منحنی‌های سنجه برای پیش‌بینی و برآورد غلظت رسوب معلق استفاده می‌کنند (هروویتز، ۲۰۰۲؛ ۳، اسمیت^۲ همکاران، ۲۰۰۵، ۱۱۷۵). منحنی سنجه نشان‌دهنده رابطه‌ای متوسط بین دبی و غلظت رسوب معلق است که با استفاده از یک مدل تابع نمایی به صورت زیر بدست می‌آید (سیویتزکی^۳ و همکاران، ۲۰۰۰، ۲۷۴۷؛ ایانداز^۴ و ناپولیتونو^۵، ۲۰۰۶، هیو و همکاران، ۲۰۱۱).

$$Q_s = aQ_w^b \quad \text{(رابطه ۱)}$$

Q_s غلظت رسوب بر حسب میلی گرم در لیتر یا تن در روز؛ Q_w دبی جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه؛ و a و b ضرایب ثابت معادله هستند. در مختصات لگاریتمی مقدار a فاصله قائم محل تقاطع خط بهترین برازش با محور قائم تا مبدأ مختصات است و مقدار نمای b برابر با شیب خط بهترین برازش است (ایانداز و ناپولیتونو، ۲۰۰۶، ۱۲۱۲، هیو و همکاران، ۲۰۰۹، ۳۴). بدلیل اینکه ضرایب منحنی سنجه از آنالیز رگرسیونی بدست می‌آیند و معنای فیزیکی واقعی ندارند، منحنی سنجه را می‌توان یک مدل جعبه سیاه عنوان کرد. اما با این حال این دو ضریب را به قدرت فرساینده‌گی و ظرفیت انتقال رودخانه ارتباط می‌دهند (ایانداز و ناپولیتونو، ۲۰۰۶، ۱۲۱۲، هیو و همکاران، ۲۰۰۹، ۳۴). مایمایکو^۶ (۱۹۸۲، ۳۶۹) بر این نکته اشاره دارد که شرایط محیطی از جمله خصوصیات حوضه آبخیز، شرایط هیدرولیکی رودخانه و نوع رسوبات بر ضرایب معادله سنجه رسوب اثرگذارند نحوه این ارتباط را می‌توان با همبستگی رگرسیونی بین مقادیر عددی خصوصیات حوضه و مقادیر a و b معادله سنجه رسوب شناسائی کرد.

انواع منحنی سنجه رسوب: در روش منحنی سنجه یک خطی بدون توجه به نحوه پراکنش نقاط، بهترین خط برازش، با استفاده از روش حداقل مربعات، از بین ابر نقاط داده‌ها عبور داده می‌شود. (صادقی و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۹۸). در روش منحنی سنجه چندخطی (یا خطی شکسته)، با توجه به وضعیت پراکنش نقاط که در ارتباط مستقیم با خصوصیات داده‌هاست، بیش از یک خط از بین ابر نقاط داده‌ها برازش داده می‌شود. مثلاً طبق نظر والینگ و ویب^۷ (۱۹۸۸، ۱۸۶۹) و خانچول و همکاران (۲۰۰۹، ۲۵۷)، جهت بررسی اثرات فصول بر انتقال رسوب، داده‌های غلظت- دبی مطابق با فصل تقسیم‌بندی

1. Horowitz
2. Smith
3. Syvitski
4. Iadanza
5. napolinito
6. Mimikou
۷. Walling, D. E. and Weeb

می‌شوند. روش سوم به منحنی سنجه حدوسط دسته‌ها^۱ معروف است (جانسون^۲، ۱۹۹۶، ۲۲۷). در این روش با توجه به وضعیت پراکنش نقاط، دبی‌های جریان به تعدادی دسته تقسیم می‌شوند و برای دبی متوسط هر دسته، متوسط رسوب همان دسته نیز بدست می‌آید و منحنی سنجه رسوب برای آنها ترسیم می‌شود.

اریب در منحنی سنجه رسوب: منحنی‌های سنجه در اغلب موارد از داده‌های "تغییر شکل یافته لگاریتمی"^۳ بدست می‌آیند (ایانداز و ناپولیتونو، ۲۰۰۶، ۱۲۱۲). برای تغییر حالت داده‌ها از حالت لگاریتمی به حالت طبیعی، نوعی اریب به مدل رگرسیون خطی وارد می‌شود که بیشتر به صورت اریب منفی است (لادویگ، ۲۰۰۶، ۷۲). حال آنکه در حالت غیرلگاریتمی و حسابی، خط رگرسیون اصلاح شده، بالاتر بوده و شیب تندتری دارد (ایانداز و ناپولیتونو، ۲۰۰۶، ۱۲۱۲). در واقع اریب باعث شده تا باقیمانده‌ها (اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای با مقادیر محاسباتی) توزیع نرمالی نداشته باشد و مقدار آن بیشتر از صفر شود (کائو^۴ و همکاران، ۲۰۰۵، ۶۵۳). این اریب در بیشتر موارد منجر به "برآورد کمتر از حد واقعی"^۵ مقدار رسوب انتقالی دوره‌های طولانی مدت می‌شود. (اسلمان^۶، ۱۹۹۹، ۱۴۳۷).

فاکتورهای اصلاح اریب: برای دستیابی به برآوردهای ناریب و یا حداقل خطا در داده‌های تغییر شکل یافته لگاریتمی، چندین فاکتورهای اصلاحی^۷ در معادله سنجه رسوب پیشنهاد شده است. فاکتور اصلاحی به شکل زیر در معادله منحنی سنجه رسوب اثرگذار است.

$$Q_s = CF \cdot a Q_w^b \quad \text{رابطه ۲}$$

همان پارامترهای رابطه هستند و CF ضریب اصلاحی است.

فاکتور فائو: روش فائو (جانسون و همکاران، ۱۹۹۶، ۲۲۷) برای تعدیل داده‌ها و نزدیک کردن مقادیر محاسباتی به مقادیر مشاهده‌ای برای مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح شده است. در این روش ضریب α بعنوان فاکتور اصلاحی، به صورت زیر جایگزین ضریب a در رابطه بالا می‌شود.

$$Q_s = \alpha Q_w^b \quad \text{رابطه ۳}$$

\bar{Q}_s میانگین غلظت رسوب نمونه‌های مشاهده‌ای (تن در روز)، و \bar{Q}_w میانگین دبی جریان نمونه‌های مشاهده‌ای (مترمکعب بر ثانیه) است.

فاکتور اصلاحی کیو ام ال ای^۸: روش تخمین گر شبه‌بیشینه درست‌نمایی یا کیو ام ال ای، برای اصلاح اثر تبدیل لگاریتمی با فرض توزیع نرمال خطاهای باقیمانده بکار گرفته شده است و بیشتر در مورد اریب منفی ذاتی منحنی سنجه بکار برده می‌شود. این روش که به نام روش پارامتری CF_1 نیز گزارش شده؛ از یک ضریب تصحیح بر اساس مجذور خطای استاندارد باقیمانده رگرسیون استفاده می‌کند و معادله آن به شکل زیر است (فرگوسن^۹، ۱۹۸۷، ۹۵).

$$CF_{QMLE} = e^{(2.561S^2)} \quad \text{رابطه ۴}$$

e تابع نمائی پایه لگاریتم طبیعی (برابر ۲/۷۱۸) و S^2 خطای استاندارد (مجذور میانگین) معادله رگرسیون در لگاریتم با مبنای ۱۰ می‌باشد.

۱. logged mean loads within discharge classes

۲. Jansson

۳. Log-transformed

۴. Kao

۵. Underestimation

۶. Asselman

۷. Correction Factor

۸. Quasi-Maximum Likelihood Estimator

۹. Ferguson

بررسی مناسب ترین معادله سنجه رسوب در اقلیم های خشک و مرطوب ... / ۱۲۱

فاکتور اصلاحی اسمیرینگ: روش اسمیرینگ (دونا، ۱۹۸۳، ۶۰۵) که به ضریب اصلاحی غیرپارامتری CF_2 نیز معروف است با رد توزیع نرمال باقیمانده خطاها (ϵ_i)، برای حذف آریبی داده‌ها ارائه شده است و شکل کلی معادله آن به صورت زیر است.

$$CF_{Smearing} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\epsilon_i} \quad \text{رابطه (۵)}$$

فاکتور اصلاحی ام وی یو ام: روش ام وی یو ام^۲ یا برآوردگر نارایب با حداقل واریانس (کوهن و همکاران، ۱۹۸۹)، برای برآزش خطی داده‌های لگاریتمی ارائه شده است. در این روش برای هر یک از مقادیر دبی- رسوب مشاهده‌ای، یک ضریب اصلاحی محاسبه شده و میانگین آنها بعنوان CF معادله ام وی یو ام تعیین می‌شود.

$$CF_{MVUE} = \frac{\sum_{i=1}^n g_{m_i}}{n} \quad \text{رابطه (۶)}$$

g_m تابع فینی که در حقیقت نقش ضریب اصلاحی نمونه i را دارد. m درجه آزادی معادله رگرسیونی $(n-1)$ ، فاکتور اصلاحی بتا: ضریب بتا توسط کائو و همکاران (۲۰۰۵) در تصحیح منحنی‌های سنجه رسوب رودخانه‌های تایوان بکار گرفته شد. این ضریب از تقسیم مجموع باقیمانده‌ها بر مجموع مقادیر برآوردی مدل رگرسیونی بدست می‌آید و می‌تواند مثبت یا منفی باشد. این روش می‌تواند در مورد پیش‌بینی رسوب دبی‌های بالا، خطای مقادیر برآوردی را کاهش می‌دهد. روابط این فاکتور اصلاحی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$CF\beta = 1 + \beta \quad \text{رابطه (۷)}$$

بحث

معادلات سنجه رسوب: در جدول ۲ معادلات سنجه رسوب و میزان همبستگی آنها در هر یک از ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک مشاهده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود منحنی‌های سنجه رسوب به دو صورت یک خطی و حد واسط دسته‌ها محاسبه شده‌اند. با توجه به جدول میزان همبستگی بین داده‌های دبی و رسوب در حالت حد واسط دسته‌ها بهتر می‌باشد به طوری که در تمامی ایستگاه‌ها در حالت دو خطی میزان همبستگی‌ها بالای ۹۰٪ می‌باشد.

جدول ۲- معادلات سنجه رسوب سالانه در هر یک از ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک

نام ایستگاه	معادله سنجه	RP ²	منحنی سنجه یک خطی	معادله سنجه	RP ²	منحنی سنجه حد واسط دسته‌ها	RP ²
چول هول	$y = 2.117xP^{2.185}$	۷۳٪	منحنی سنجه حد واسط دسته‌ها	$y = 2.771xP^{3.139}$	۹۴٪		
آفرینه	$y = 0.035xP^{۹.۲}$	۸۴٪	معادله سنجه	$y = 0.073xP^{2.681}$	۹۵٪		
پل دختر	$y = 0.025xP^{۰.۴.۲}$	۸۶٪	منحنی سنجه حد واسط دسته‌ها	$y = 0.035xP^{2.771}$	۹۶٪		
کااکا رضا	$y = 1.124xP^{1.876}$	۸۳٪	معادله سنجه	$y = 1.176xP^{2.217}$	۹۶٪		
تیر	$y = 2.225xP^{1.684}$	۸۱٪	منحنی سنجه حد واسط دسته‌ها	$y = 5.142xP^{1.956}$	۹۱٪		
چمزمان	$y = 3.699xP^{1.497}$	۷۸٪	معادله سنجه	$y = 5.057xP^{1.763}$	۹۲٪		

جدول ۳ معادلات سنجه رسوب سالانه در هر یک از ایستگاه‌های مناطق مرطوب و نیمه مرطوب را نمایش می‌دهد. با توجه به جدول منحنی‌های سنجه رسوب به دو صورت یک خطی و حد واسط دسته‌ها محاسبه شده‌اند. میزان همبستگی بین داده‌های دبی و رسوب در تمامی ایستگاه‌ها در حالت حد واسط دسته‌ها بیشتر می‌باشد.

۱. Duan

۲. Minimum Variance Unbiased Estimator

همان‌طورکه در نتایج بالا نشان داده شده در هر دو اقلیم مرطوب و نیمه مرطوب، خشک و نیمه خشک روش منحنی سنجه رسوب حد واسط دسته‌ها بهتر می‌باشد. در جدول ۴ مقادیر صحت سنجه منحنی شاخص‌های ارزیابی پی (صحت)، ME ، MSE ، سنجه رسوب یک‌خطی و حد واسط دسته‌ها در ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک نشان داده شده است. هر سه پارامتر صحت، میانگین خطای استاندارد و حداکثر خطا در تمامی ایستگاه‌ها در روش حد واسط دسته‌ها بهتر می‌باشد. تنها در مورد ایستگاه آفرینه شاخص صحت به روش یک خطی بهتر می‌باشد (هر چه مقدار MSE ، ME کمتر باشد و مقدار P به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد دقت بالاتر خواهد بود).

جدول ۳- معادلات سنجه رسوب سالانه در هر یک از ایستگاه‌های مناطق مرطوب و نیمه مرطوب

نام ایستگاه	منحنی سنجه یک خطی		منحنی سنجه حد واسط دسته‌ها	
	معادله سنجه	RP^2	معادله سنجه	RP^2
آبشار	$y = 2.224xP^{1.951}$	٪۶۱	$y = 2.779xP^{2.159}$	٪۹۳
تمر	$y = 36.98xP^{1.928}$	٪۷۰	$y = 96.03xP^{2.733}$	٪۷۵
قزاقلی	$y = 43.42xP^{1.579}$	٪۶۵	$y = 2816. xP^{0.860}$	٪۸۴
سد گرگان	$y = 22.84xP^{1.429}$	٪۶۲	$y = 0.108xP^{4.225}$	٪۸۷
شیرگاه	$y = 2.821xP^{2.332}$	٪۶۳	$y = 0.108xP^{4.225}$	٪۸۷
پل زغال	$y = 0.701xP^{2.320}$	٪۶۴	$y = 0.226xP^{3.114}$	٪۹۲

جدول ۴- مقادیر صحت سنجه منحنی رسوب یک‌خطی و حد واسط دسته‌ها در ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک

نام ایستگاه	اعتبار سنجه منحنی یک خطی			اعتبار سنجه منحنی حد واسط دسته		
	پی	ام‌ای	آر ام اس‌ای	پی	ام‌ای	آر ام اس‌ای
چول هول	۳/۹۳	-۵/۱۱	۶۸۲۷/۷۳	۱/۳۱	-۰/۹۲	۳۸۳۳/۹۳
آفرینه	۰/۵	-۰/۵۱	۳۷۰۲/۴۳	۱/۵۸	-۰/۰۷	۳۱۱۲/۰۵
پل دختر	۲/۳۳	-۳/۲۵	۵۰۴۱/۱۲	۱/۲۸	۰/۶۹	۱۳۰۱/۸۵
کاکا رضا	۷/۵	-۰/۳۴	۶۹۳۳/۰۲	۴/۶۹	۰/۷۸	۳۸۳۱/۷
تیر	۱۲/۱	۰/۱۶	۸۹۰/۲۷	۳/۵	۰/۶۸	۵۷۵/۶۷
چم‌زمان	۲۷/۲۸	-۲۱/۸	۶۴۴۷/۳۸	۱۴/۰۳	-۶/۹	۴۳۹۶/۴۵

در جدول ۵ مقادیر صحت سنجه منحنی شاخص‌های ارزیابی پی (صحت)، آر ام اس‌ای، ام‌ای سنجه رسوب یک‌خطی و حد واسط دسته‌ها در ایستگاه‌های مناطق مرطوب و نیمه مرطوب نمایش داده شده است. هر سه پارامتر صحت، میانگین خطای استاندارد و حداکثر خطا در تمامی ایستگاه‌ها به روش منحنی رسوب حد واسط دسته‌ها بهتر می‌باشد.

جدول ۵- مقادیر صحت سنجه منحنی رسوب یک‌خطی و حد واسط دسته‌ها در ایستگاه‌های مناطق مرطوب و نیمه مرطوب

نام ایستگاه	اعتبار سنجه منحنی یک خطی			اعتبار سنجه منحنی حد واسط دسته‌ها		
	پی	ام‌ای	آر ام اس‌ای	پی	ام‌ای	آر ام اس‌ای
آبشار	۱/۴۷	۰/۲۷	۳۳۵۳/۳۵	۰/۸۲	۰/۲۹	۳۳۰۴/۶۱
تمر	۸/۶۳	-۸/۵	۱۰۵۸/۸۱	۰/۴۱	-۱/۲۳	۳۳۳/۸
قزاقلی	۰/۲۳	-۱/۱۴	۱۶۲۰/۵۲	۱/۳	-۰/۳۲	۱۲۸۱/۸
سد گرگان	۵/۶	-۰/۱۶	۳۳۱۳/۷	۴/۵۲	-۰/۰۳	۳۰۸۴/۶۴
شیرگاه	۳/۱۶	۰/۴۵	۵۴۳۱/۷۳	۱/۳۲	۰/۵۲	۴۴۹۱/۷۸
پل زغال	۹/۱	-۱/۴۱	۸۷۴۵/۵۴	۲/۱۱	-۰/۲	۱۵۴۵/۶۵

بررسی مناسب ترین معادله سنجه رسوب در اقلیم های خشک و مرطوب ... / ۱۲۳

نتایج فوق نشان از بهتر بودن روابط منحنی سنجه رسوب با استفاده از حد واسط دسته‌ها در دو اقلیم خشک و مرطوب می‌باشد.

ضرایب اصلاحی: همانطور که در بخش مواد و روش‌ها نیز مطرح شد در این تحقیق از ۵ ضریب اصلاحی کیو ام ال ای، اسمیرینگ، فائو، ام وی یو ام و بتا جهت بهبود رابطه منحنی سنجه رسوب و رفع خطای اریبی استفاده شد که نتایج آن در جداول زیر عو ۷ مربوط به هر دو منطقه خشک و مرطوب آمده است. جدول ۶ ضرایب اصلاحی منحنی سنجه رسوب حد واسط دسته‌ها را در ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک نشان می‌دهد. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که هر یک از روشهای اصلاحی ضرایب متفاوتی را برای معادله سنجه رسوب برآورد می‌کند. نکته قابل توجه آنکه ضرایب محاسباتی برای معادله منحنی سنجه رسوب در تمامی ایستگاه‌ها دارای دامنه نوسانات زیادی می‌باشد. به طور مثال ضریب اصلاحی برآورد شده با استفاده از فرمول فائو در حالت منحنی سنجه رسوب یک خطی در ایستگاه پل دختر ۰/۰۰۶ بوده در حالی که فرمول ام وی یو ام این ضریب را ۹/۸ برآورد نموده است.

جدول ۶- ضرایب اصلاحی منحنی سنجه رسوب حد واسط دسته‌ها در ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک

منحنی سنجه حد واسط دسته‌ها					
نام ایستگاه	فائو	کیو ام ال ای	اسمیرینگ	بتا	ام وی یو ام
چول هول	۰/۰۰۷	۴/۴	۵/۸	۱	۰/۱۱
آفرینه	۰/۰۰۸	۸/۴۷	۹/۴	۱	۰/۴
پل دختر	۰/۰۰۶	۱۳/۷	۰/۰۱	۰/۹۹	۹/۸
کاکا رضا	۰/۰۰۳	۲/۵	۱/۷	۰/۹۹	۰/۸
تیر	۰/۰۰۹	۱/۸۵	۰/۲۱	۰/۹۹	۰/۰۲۶
چمزمان	۰/۰۰۹	۱۴/۹	۰/۱۲	۰/۹۹	۴/۱

جدول ۷ ضرایب اصلاحی منحنی سنجه رسوب حد واسط دسته‌ها را در ایستگاه‌های مناطق مرطوب و نیمه مرطوب نمایش می‌دهد. هر یک از فرمول‌ها ضرایب متفاوتی را برای هر ایستگاه برآورد کرده‌اند. با کمی دقت در جدول ۷ می‌توان دریافت که دامنه وسیع تغییرات ضرایب اصلاحی را نشان می‌دهد. بیشترین دامنه تغییرات در ایستگاه قزاقلی مشاهده می‌شود به طوری که فرمول فائو در منحنی سنجه رسوب ضریب ۰/۰۰۷ را برآورد نموده در حالی که فرمول کیو ام ال ای ضریب ۱۰/۹ را برآورد نموده است.

جدول ۷- ضرایب اصلاحی منحنی سنجه حد واسط دسته‌ها در ایستگاه‌های مناطق مرطوب و نیمه مرطوب

منحنی سنجه حد واسط دسته‌ها					
نام ایستگاه	فائو	کیو ام ال ای	اسمیرینگ	بتا	ام وی یو ام
آبشار	۰/۰۱۲	۱/۵	۰/۹	۱	۲/۲
تمر	۰/۰۰۵	۶/۲۳	۸/۹۴	۱	۱/۳۴
قزاقلی	۰/۰۰۷	۱۰/۹	۰/۳۹	۰/۹۹	۰/۴۸
سد گرگان	۰/۰۱	۸/۴۹	۸/۶۶	۰/۹۹	۰/۴۱
شیرگاه	۰/۰۸	۱/۵۶	۲/۲۴	۱	۰/۰۱
پل زغال	۰/۰۶	۱/۰۱	۰/۰۷	۱	۶/۹۲

اعتبار سنجی ضرایب اصلاحی برای هر ایستگاه: برای انتخاب معادله بهینه، مقدار شاخص صحت پی، ام ای و آر ام اس ای برای هر ایستگاه و هر ضریب اصلاحی پیشنهادی محاسبه شد و نتایج آن در جداول ۸ تا ۱۱ آورده شده است. در

جدول ۸ شاخص صحت پی و ام ای در ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک برای هر یک از ضرایب اصلاحی پیشنهادی و برای حالت منحنی سنج رسوب حد واسط دسته‌ها آورده شده است. هر دو آماره پی و ام ای به ضریب اصلاحی ام وی یو ام را بعنوان بهترین ضریب اصلاحی در تمامی ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک نشان می‌دهد (در مورد آماره ام ای هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است و آماره P هر چه به یک نزدیک‌تر باشد بهتر می‌باشد).

جدول ۸- آماره صحت پی و ام ای در ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک

نام ایستگاه	ام ای				پی			
	فائو	کیو ام ال ای	اسمیرینگ	ام وی یو ام	فائو	کیو ام ال ای	اسمیرینگ	ام وی یو ام
چول هول	-۱/۰۵	-۱/۰۵	-۱/۴۵	-۰/۸۱	۰/۰۱	۳/۱	۳/۵	۰/۵۸
آفرینه	-۳۷/۶۶	-۲۱/۸	-۲۶/۱۱	-۰/۸۲	۰/۰۷	۱/۳	۱/۸	۱/۲
پل دختر	-۰/۰۹	-۲۱/۴۷	-۶/۴۷	-۰/۱۴	۰/۰۱	۴/۱	۶/۳	۱/۵
کا کا رضا	-۱/۰۳	-۲/۴۹	۰/۹۸	-۰/۷۴	۰/۰۸	۸/۵	۵/۷	۰/۱۵
تیر	-۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۱	۴/۸	۶/۰۴	۱/۰۵
چمزمان	-۰/۰۳	-۰/۰۲	-۰/۰۴	-۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۷	۰/۳۴	۱/۱

در جدول ۹ شاخص صحت پی و ام ای در ایستگاه‌های مناطق مرطوب و نیمه مرطوب برای هر یک از ضرایب اصلاحی پیشنهادی و برای حالت منحنی سنج رسوب حد واسط دسته‌ها نشان داده شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود در تمامی ایستگاه‌ها شاخص صحت ام ای مربوط به ضریب اصلاحی ام وی یو ام بهتر بوده است. آماره صحت پی بهترین ضریب اصلاحی را مربوط به دو ضریب ام وی یو ام و اسمیرینگ می‌باشد.

جدول ۹- شاخص صحت پی و ام ای در ایستگاه‌های مناطق مرطوب و نیمه مرطوب

نام ایستگاه	ام ای				پی			
	فائو	کیو ام ال ای	اسمیرینگ	ام وی یو ام	فائو	کیو ام ال ای	اسمیرینگ	ام وی یو ام
آبشار	-۰/۰۱	۰/۵۵	۰/۴۳	۰/۲۹	۰/۰۲	۱/۸	۱/۳۲	۰/۸۲
تمر	-۱/۲۵	-۱/۲	-۱/۲	-۱/۲	۰/۰۳	۰/۶۳	۰/۹۱	۰/۱۳
قزاقلی	-۱/۱	-۱/۰۸	-۱/۱۵	-۱/۱	۰/۰۷	۳	۱/۲۳	۰/۰۲
سد گرگان	-۰/۲۳	-۰/۰۱	-۰/۲۳	-۰/۲۳	۰/۰۲	۶/۳۱	۰/۲۸	۰/۲۳
شیرگاه	-۱/۰۸	-۱/۰۵	-۱/۰۸	-۱/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۱۲
پل زغال	-۵/۷۱	-۵/۷۱	-۵/۳۷	-۲/۶۸	۰/۰۳	۲/۵	۰/۱۷	۰/۰۱

جدول ۱۰- شاخص آر ام اس ای در ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک

نام ایستگاه	فائو	کیو ام ال ای	اسمیرینگ	بتا	ام وی یو ام
چول هول	۳۶۰۵/۹۶	۳۷۲۲/۲۳	۴۳۲۶/۰۹	۳۸۹۵/۰۴	۳۵۳۶/۴۵
آفرینه	۱۷۱۲۹/۲	۴۱۶۷۶/۷	۴۳۲۶۳/۸	۴۳۶۸۳/۹	۴۰۶۵/۹
پل دختر	۱۹۰۶۳۳	۲۲۴۶	۲۵۳۱۳	۲۷۴۹۳	۲۰۶۶
کا کا رضا	۱۱۵۷/۲	۱۵۳۲/۷۸	۱۱۱۹/۲۶	۱۴۵۵/۵۱	۱۰۹۳/۳۸
تیر	۹۹۷/۷۱	۹۵۴/۱۲	۸۲۵/۰۷	۶۷۶/۹۳	۵۴۴/۳۸
چمزمان	۹۵/۶۲	۹۵/۶۳	۹۵/۳۴	۹۵/۴۵	۶۵/۱۲

در جدول ۱۰ آماره ریشه خطای استاندارد در ایستگاه های مناطق خشک و نیمه خشک نمایش داده شده است. با توجه به جدول ۱۰ ضریب اصلاحی ام وی یو ام کمترین مقدار و در نتیجه بهترین ضریب اصلاحی می باشد. بیشترین ریشه خطای استاندارد ضریب اصلاحی ام وی یو ام مربوط به ایستگاه کاکارضا به میزان ۱۰۹۳/۳۸ تن در هکتار و کمترین آن مربوط به ایستگاه چمزمان به میزان ۶۵/۱۲ تن در هکتار می باشد.

در جدول ۱۱ آماره ریشه خطای استاندارد در ایستگاه های مناطق مرطوب و نیمه مرطوب نمایش داده شده است. کمترین مقادیر آماره ریشه خطای استاندارد مربوط به ضرایب اصلاحی ام وی یو ام می باشد و در نتیجه بهترین ضریب اصلاحی در ایستگاه های مرطوب و نیمه مرطوب مربوط به ضریب ام وی یو ام می باشد. بیشترین مقدار آماره ریشه خطای استاندارد ام وی یو ام مربوط به ایستگاه پل زغال به مقدار ۹۴۰۱/۵۳ تن در هکتار می باشد. کمترین مقدار آماره ریشه خطای استاندارد ام وی یو ام مربوط به ایستگاه سد گرگان به مقدار ۶۳/۸۷ تن در هکتار می باشد.

جدول ۱۱- شاخص آر ام اس ای در ایستگاه های مناطق مرطوب و نیمه مرطوب

نام ایستگاه	فائو	کیو ام ال ای	اسمیرینگ	بتا	ام وی یو ام
آبشار	۳۹۶۲/۳۳	۲۶۳۵/۹۲	۲۹۳۸/۹۵	۳۳۰۴/۶۱	۲۶۰۵/۴۸
تمر	۳۳۴/۸	۳۳۳/۸۳	۳۳۳/۸۳	۳۳۳/۲۴	۳۳۱/۰۳
قزاقلی	۶۲۶۱/۸	۶۲۴۰/۶۲	۹۱۳۲/۹۸	۶۲۷۱/۸	۵۸۹۴/۹۹
سد گرگان	۸۵۱/۲۴	۳۴۰۰/۹۶	۳۴۰۴/۲۴	۳۴۰۳/۵۶	۶۳/۸۷
شیرگاه	۹۳۹۷/۵۲	۹۳۹۲/۵۳	۹۵۶۰/۱۳	۸۳۹۷/۷۶	۳۴۰۱/۵۳
پل زغال	۳۸۶۷/۰۹	۵۰۸۵/۲۳	۶۶۹۰/۰۹	۴۸۶۷/۰۳	۱۰۶۹/۷۰

نتیجه گیری

با توجه به هدف مقاله حاضر که بررسی و مقایسه منحنی سنجه رسوب در مناطق خشک و نیمه خشک در مقایسه با مناطق مرطوب و نیمه مرطوب می باشد دو نتیجه کلی زیر حاصل شد: ۱- با توجه به منحنی های سنجه رسوب رسم شده در دو منطقه اقلیمی خشک و نیمه خشک، مرطوب و نیمه مرطوب و با در نظر گرفتن ضرایب همبستگی آنها، منحنی سنجه رسوب حد واسط دسته ها در هر دو منطقه اقلیمی خشک و نیمه خشک، مرطوب و نیمه مرطوب همبستگی بهتری را نشان می دهد. در نتیجه منحنی های سنجه رسوب حد واسط دسته ها بدون در نظر گرفتن اقلیم منطقه برای تمامی ایستگاه های مناطق خشک و نیمه خشک و مرطوب و نیمه مرطوب پیشنهاد می شود. ۲- بعد از محاسبه ۵ ضریب اصلاحی رفع اریبی معادلات منحنی های سنجه رسوب شامل فائو، کیو ام ال ای، اسمیرینگ، ام وی یو ام و بتا برای هر یک از ایستگاه ها و در حالت منحنی سنجه رسوب حد واسط دسته ها، ضریب اصلاحی ام وی یو ام برای اصلاح معادله منحنی سنجه رسوب مناطق خشک و نیمه خشک و مرطوب و نیمه مرطوب در تمامی ایستگاه ها بهترین شاخص صحت را دارا بود. بنابراین پیشنهاد می شود از ضریب اصلاحی ام وی یو ام برای رفع اریب منحنی سنجه رسوب در مناطق خشک و نیمه خشک و مناطق مرطوب و نیمه مرطوب استفاده نمود. بنابراین منحنی سنجه رسوب حد واسط دسته ها و ضریب اصلاحی ام وی یو ام بدون در نظر گرفتن نوع اقلیم بهترین پاسخ را در بررسی های منحنی های سنجه رسوب می باشد.

به دلیل رفتارهای متفاوت جریان و رسوب در رودخانه های مناطق خشک و مرطوب، به طور قطع نتایج حاصل از آنالیز منحنی های سنجه رسوب در این مناطق تحت شرایط اقلیمی متفاوت خواهد بود. بنابراین تصمیم گیری و اجرای پروژه های مختلف در حفظ و حراست از حوضه های آبخیز مناطق خشک و نیمه خشک مستلزم مطالعات دقیق بوده و با در نظر گرفتن رفتارهای متفاوت این رودخانه ها نسبت به مناطق مرطوب می باشد. جهت تمایز رفتارهای منحنی سنجه

رسوب در اقالیم مختلف نیاز به تحقیق و مطالعات گسترده، با داشتن تعداد زیادتر ایستگاهها و بررسی روابط آماری بیشتر امکان پذیر می باشد که نیاز به انجام یک طرح جامع و ملی و مشارکت کارشناسان و اساتید مجرب در این زمینه دارد.

منابع و مآخذ

- ۱- اعظمی، ایاد. نجفی نژاد، علی. عرب خدری، محمود. (۱۳۸۴)، ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیکی در برآورد بار معلق رسوبی جریان پایه و سیلابی در حوزه سدایلام. سومین همایش ملی فرسایش و رسوب.
- ۲- ذرتی پور، اعظم، مهدوی، محمد، خلیقی سیگارودی، شهرام، سلاجقه، عیسی. و شمس المعالی، نگار، (۱۳۸۷)، بررسی تأثیر طبقه بندی رسوب بر بهبود روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردی حوزه آبخیز طالقان)، نشریه منابع طبیعی ایران.
- ۳- گنجی نوروزی، زهرا. سامانی، جمال. ولی، محمد. مرید، سعید. (۱۳۸۷)، بررسی عدم قطعیت حجم رسوب مخازن سدها، مجله تحقیقات منابع آب ایران.
- ۴- وروانی، جواد، نجفی نژاد، علی. میرمعینی کرهرودی، آمنه. (۱۳۸۷)، اصلاح منحنی سنج رسوب با استفاده از روش حداقل واریانس ناریب، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی.
- 5- Achite, M. and Ouillon, S, (2007), Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973–1995), Journal of Hydrology.
- 6- Asselman, N. E. M, (1999), Suspended sediment dynamics in a large drainage basin: The River Rhine. Hydrol. Process.
- 7- Blanco, M. L. R., Castro, M. M. T, Palleiro, L, and Castro, M. T. T, (2010), Temporal changes in suspended sediment transport in an Atlantic catchment, NW Spain. Geomorphology.
- 8- Cohn, T. A., Delong, L. L, Gilroy, E. J., Hirsch, R. M. and Wells, D. K, (1989), Estimating constituent loads. Water Resources Research.
- 9- Cohn, T. A, (1995), Recent advances in statistical methods for the estimation of sediment and nutrient transport in rivers. Reviews in Geophysics, Supplement.
- 10- Duan, N, (1983), smearing estimate, a nonparametric retransformation method., Journal of American Statistical Association.
- 11- Endreny, Th. and Hasset, J, (2005), Robustness of pollutant loading estimators for sample size reduction in a suburban watershed. Intl. J. River Basin Management (IAHR & INBO).
- 12- Ferguson, R., (1987), Accuracy and precision of methods for estimating river loads. Earth Surface Processes and Land Forms.
- 13- Horowitz, A, (2002), The use of rating (transport) curves to predict suspended sediment concentration: A matter of temporal resolution. Peachtree Business Center. Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop.
- 14- Horowitz, a. J, (2003), An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations. Hydrol. Process.
- 15- Hu, B., Wang, H., Yang, Z., and Sun, X, (2011), Temporal and spatial variations of sediment rating curves in the Changjiang (Yangtze River) basin and their implications. Quaternary International.
- 16- Iadanza, C. and Napolitano, F, (2006), Sediment transport time series in the Tiber River. Physics and Chemistry of the Earth.
- 17- Jansson M. B, (1996), Estimating a sediment rating curve of the Reventaz6n River at Palomo using logged mean loads within discharge classes. Journal of Hydrology.
- 18- Jones, K. R., Berney, O., Carr, D. P. and Barret, E. C, (1981), Arid zone hydrology for agricultural development. Irrigation and Drainage.
- 19- Kao, Sh., Lee, T. and Milliman, J. D, (2005), Calculating highly fluctuated suspended sediment fluxes from mountainous rivers in Taiwan. TAO.
- 20- Khanchoul, K., Altschul, R. and Assassi, F, (2009), Estimating suspended sediment yield, sedimentation controls and impacts in the Mellah Catchment of Northern Algeria. Arabian Journal of Geosciences.
- 21- Lewis, J, (1996), Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation. Water Resources Research.
- 22- Ladewig, M. D, (2006), Sediment transport rates in the lower Muskegon River and tributaries. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (Natural Resources and Environment) in the University of Michigan.
- 23- Mimikou, M, (1982), An investigation of suspended sediment rating curves in western and northern Greece. Hydrological Sciences - Journal - des Sciences Hydrologiques.

- 24- Pandey, A., Chowdary, V. M., Mal, B. C. and Billib, M, (2007), Runoff and sediment yield modeling from a small agricultural watershed in India using the WEPP model. *Journal of Hydrology, HYDROL.*
- 25- Pandey, A., Chowdary, V. M. and Mal, B. C., (2009), Sediment yield modelling of an agricultural watershed using MUSLE, remote sensing and GIS. *Paddy Water Environ.*
- 26- Preston, S. V., Bierman, J. and Silliman, S. E, (1989), An evaluation of methods for the Estimation of tributary mass loads. *Water Resources Research.*
- 27- 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.*
- 28- Sadeghi, S. H. R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S. and Onda, Y, (2008), b, Determinant factors of sediment graphs and rating loops in a reforested watershed. *Journal of Hydrology*
- 29- Smith, C. J., Croke, B. F. W. and Newham, L. T. H, (2005), Predicting suspended sediment loads at a catchment scale: A comparison between models. *A centre for resource and environmental studies, The Australian National University.*
- 30- Soler, M., Latron, J. and Gallart, F, (2007), Relationships between suspended sediment concentrations and discharge in two small research basins in a mountainous, Mediterranean area (Vallecebre, Eastern Pyrenees). *Geomorphology.*
- 31- Syvitski, J. P., Morehead, M. D., Bahr, D. B. and Mulder, T, (2000), Estimating fluvial sediment transport: The rating parameters. *Water resources research.*
- 32- Walling DE, (1977), Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin. *Water Resources Researc.*
- 33- Walling, D. E. and Weeb, B. W, (1988), The reliability of rating curve estimates of suspended sediment yield: some further comments. *IAHS Publ.*
- 34- Warrick, J. A. and Rubin, D. M, (2007), Suspended-sediment rating curve response to urbanization and wildfire, Santa Ana River, California. *Journal of geophysical research, vol.*