



انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران

سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران



۲۳ الی ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷ - دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی عمران

بررسی وضعیت انتقال رسوب معلق و تغییرات زمانی آن در رودخانه گرگانرود

امین محمدی، عضو هیات علمی گروه منابع طبیعی مجتمع آموزش عالی گنبد، دانشگاه علوم کشاورزی و
منابع طبیعی گرگان

ابوالفضل مساعدی، عضو هیات علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
سینا علاقمند، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه دانشگاه USM مالزی

پست الکترونیکی: amobaran@gmail.com

چکیده

حوضه آبخیز گرگانرود با مساحت ۱۰۱۹۸ کیلومتر مربع در شمال شرقی کشور قرار داشته و از مهمترین حوزه های آبریز دریای خزر می باشد. رودخانه گرگانرود به عنوان زهکش اصلی این حوزه به دلیل عبور از سازندهای سست دوران چهارم سالانه مقادیر قابل ملاحظه ای رسوب را وارد دریای خزر می کند. در تحقیق حاضر به منظور تعیین میزان رسوب ورودی از طریق رودخانه گرگانرود به دریای خزر و بررسی تغییرات زمانی آن از معادله انتقال رسوب استفاده گردید. این معادله براساس این اصل که دبی رسوب انتقالی تابعی از دبی رودخانه می باشد استوار است ولی یکی از معایب استفاده از آن، خطای زیاد مقادیر برآوردی می باشد. به این منظور داده های موجود (مقادیر رسوب اندازه گیری شده) براساس زمان اندازه گیری و وضعیت هیدروگراف تقسیم بندی شده و مدل های مختلف مورد آزمون قرار گرفتند. مدلی که با توجه به تعداد داده ها بیشترین ضریب همبستگی و کمترین مجموع مربعات خطا را داشته باشد می تواند به عنوان مدل بهینه انتخاب شود. بر این اساس از بین مدل های مورد آزمون مدلی که در آن تقسیم بندی داده ها براساس زمان اندازه گیری دبی رسوب صورت گرفته بود به عنوان مدل بهینه انتخاب گردید. آنگاه با استفاده از آمار دبی روزانه ایستگاه در طول دوره آماری و به کمک نرم افزار *Technical Hydrology* اقدام به تعیین مقادیر دبی رسوب روزانه در طول دوره آماری گردید. پس از آن به بررسی نحوه تغییرات ماهیانه، فصلی، سالیانه و دوره ای رسوب انتقالی پرداخته شد.

کلید واژه ها: رسوب معلق، معادله انتقال رسوب، بهینه سازی، حوزه آبخیز گرگانرود

مقدمه

با وجود مطالعات و تحقیقات زیادی که در دهه‌های اخیر در مورد فرسایش خاک و حمل رسوب و سرانجام ته‌نشست آنها به عمل آمده، هنوز راهی طولانی برای فهم کامل این پدیده‌ها باقی است. هر ساله بالغ بر ۲۰ میلیارد تن رسوب توسط رودخانه‌های جهان انتقال یافته و در آبهای ساکن ته‌نشین می‌گردد [۹، ۱۵]. متأسفانه به دلیل شرایط آب و هوایی، هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی و فشار بیش از حد به اراضی حوزه‌های آبخیز، رودخانه‌های کشور ما در مقایسه با رودخانه‌های جهان رسوب بالاتری را حمل می‌کنند [۲]. حجم زیاد رسوبات علاوه بر اینکه ما را به تفکر برای ارایه راه‌حلهایی جهت کاهش فرسایش ویژه رهنمون می‌کند، شناخت وضعیت رسوبدهی حوزه و برآورد دقیق‌تر میزان رسوب خروجی را ضروری می‌سازد. به‌منظور برآورد رسوب انتقالی در رودخانه‌ها از معادله انتقال رسوب $Q_s = aQ_w^b$ استفاده می‌گردد که به منحنی سنجه رسوب یک خطی معروف است [۵، ۷، ۴، ۱۶]. در عین حال برآورد رسوب از طریق این معادله همواره با مقداری خطا همراه می‌باشد [۳، ۱۲، ۱۱]. با توجه به اینکه بیشترین میزان حمل رسوب در زمان‌های سیلابی رخ می‌دهد اندازه‌گیری رسوب در مواقع سیلابی ضروری می‌باشد [۸، ۱۳]. متأسفانه سهم نمونه‌های غلظت رسوب مربوط به دوره‌های سیلابی بسیار کم است و تمرکز نمونه‌برداری‌ها در این دوره سبب بهبود برآوردها خواهد گردید [۱۰، ۶]. هدف از تحقیق حاضر تعیین رابطه بهینه جهت برآورد دقیق‌تر میزان رسوب ورودی به دریای خزر از طریق رودخانه گرگانرود و بررسی تغییرات زمانی آن می‌باشد.

مواد و روشها

حوضه آبخیز گرگانرود با مساحت ۱۰۱۹۸ کیلو متر مربع یکی از حوضه‌های شمال شرق کشور بوده و بخش وسیعی از آن در استان گلستان واقع می‌باشد. این حوضه از جنوب مشرف به سلسله جبال البرز شرقی، از شرق به کوه‌های آلاداغ و گلی داغ، از شمال به حوضه آبخیز اترک و از غرب به دریای خزر و حوضه آبخیز قره سو محدود می‌شود. این حوضه در محدوده طول جغرافیایی ۱۰' ۵۴° تا ۲۶' ۵۶° شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵' ۳۶° تا ۱۵' ۳۸° شمالی واقع شده‌است. طول



انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران

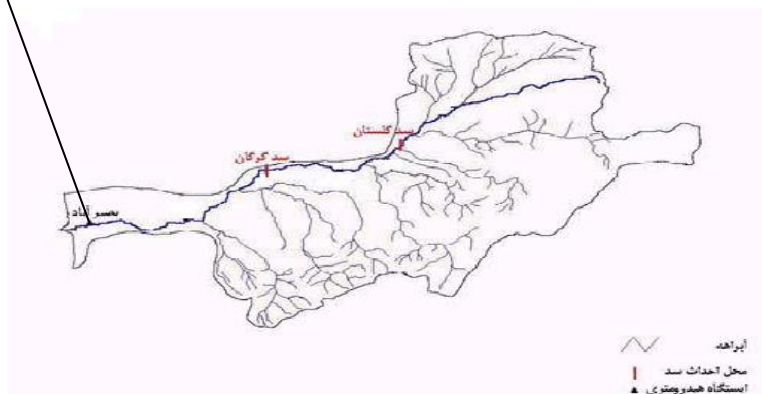
سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران



۲۳ الی ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷ - دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی عمران

رودخانه اصلی این حوزه بنام گرگانرود بالغ بر ۲۵۰ کیلومتر می باشد که در امتداد عمومی شرقی- غربی گسترش یافته و از جنوب شرقی دریای خزر به این دریا می پیوندد [۱].

در تحقیق حاضر به منظور بررسی وضعیت رسوب انتقالی رودخانه گرگانرود از آمار متناظر دبی آب و دبی رسوب ایستگاه هیدرومتری بصیر آباد که آخرین ایستگاه هیدرومتری رودخانه گرگانرود و محل اتصال آن به دریای خزر می باشد استفاده گردید. بدین منظور آمار دبی متوسط روزانه ایستگاه در طی یک دوره ۲۰ ساله و آمار متناظر دبی آب و دبی رسوب معلق در طی سالهای آبی ۶۴-۶۵ الی ۸۴-۸۵ از امور اب استان گلستان اخذ گردید. میانگین دبی عبوری از ایستگاه بصیر آباد در طی دوره آماری مورد نظر حدود ۱۴/۵۹ متر مکعب در ثانیه بوده و بیشترین مقدار دبی ثبت شده روزانه در دوره مورد نظر ۲۵۹ متر مکعب در ثانیه گزارش شده است. همچنین بیشترین مقدار میانگین دبی جریان رودخانه گرگانرود در ماه فروردین و معادل ۴۰ متر مکعب در ثانیه و کمترین مقدار آن در مرداد ماه و معادل ۱/۴۳ متر مکعب در ثانیه می باشد. در شکل ۱ ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد و موقعیت آن در حوضه آبخیز گرگانرود نشان داده شده است.



شکل ۱- ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد و موقعیت آن در حوضه آبخیز گرگانرود



به منظور بررسی وضعیت رسوب انتقالی و نحوه تغییرات زمانی آن در خروجی حوزه آبخیز گرگانرود از معادله انتقال

رسوب $Q_s = aQ_w^b$ استفاده گردید که به منحنی سنجه رسوب یک خطی معروف است. a و b ضرایب ثابت معادله می‌باشند. قبل از آنکه هر گونه اقدامی جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها صورت گیرد، لازم است از کیفیت و همگنی داده‌ها اطمینان حاصل شود. بدین منظور اقدام به انجام تست همگنی داده‌ها به کمک نرم افزار *Technical Hydrology* و به روش اسمیرنوف-کلموگراف گردید. با توجه به خطای معادله انتقال رسوب ابتدا اقدام به بهینه کردن معادله فوق از طریق دخالت دادن عوامل مؤثر در انتقال رسوب از قبیل زمان اندازه‌گیری و وضعیت جریان رودخانه گردید. بدین منظور داده‌ها از نظر زمان اندازه‌گیری به داده‌های ماههای پرآب و داده‌های ماههای کم آب تقسیم شدند. براین اساس ماههایی که میانگین دبی ماهانه آنها بیشتر از میانگین دبی سالانه و یا مساوی آن بود به عنوان ماههای پرآب در نظر گرفته شده و ماههایی که میانگین دبی ماهانه آنها کمتر از میانگین دبی سالانه بود به عنوان ماههای کم آب در نظر گرفته شد.

جهت تفکیک داده‌های دبی جریان بر اساس مراحل هیدروگراف، به کمک نرم افزار *Technical Hydrology* هیدروگراف‌های جریان (براساس دبی متوسط روزانه) برای تمامی داده‌های موجود رسم شد. آنگاه جداولی تهیه گردید که در آن برای هر سیلاب زمان شروع سیل و مقدار دبی آن، زمان وقوع اوج سیلاب و مقدار آن و زمان خاتمه سیلاب و مقدار آن برای کل دوره آماری بر اساس تمامی هیدروگراف‌های جریان مشخص گردید. با توجه به تعریف سیل از نظر هیدرولوژیکی که عبارت از افزایش ناگهانی جریان تا یک نقطه اوج و کاهش سریع آن می‌باشد، لذا از لحظه افزایش سریع جریان تا زمان کاهش سریع آن، جریان به عنوان یک سیل در نظر گرفته شده است. همچنین بین خاتمه هر سیل تا شروع سیل بعدی جریان در رودخانه به عنوان جریان پایه در نظر گرفته شده است. سپس رابطه رگرسیونی بین ۳۰۷ داده متناظر دبی آب و دبی رسوب معلق بر اساس مدل‌های مورد مطالعه برقرار گردید. به منظور انتخاب بهترین مدل از شاخص مجموع مربعات خطا استفاده شد. بر اساس شاخص مجموع مربعات خطا هر چه مقادیر برآورد شده از مدل‌های انتخابی به مقادیر مشاهده‌ای نزدیکتر باشند، مجموع مربعات خطا کاهش یافته در نتیجه میانگین توان دوم خطا که از تقسیم مجموع مربعات خطا به درجه آزادی بدست می‌آید کمتر می‌شود. پس از تشکیل جدول تجزیه واریانس، تعداد داده‌ها، مقادیر مجموع مربعات خطا، میانگین مربعات خطا، ضریب همبستگی، مقادیر a و b برای هر حالت از مدل تعیین گردید. پس از تعیین پارامترهای a و b برای حالات مختلف و با توجه به مدل بهینه در هر ایستگاه، مقادیر دبی رسوب برای زمانهایی که نمونه



انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران

سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران



۲۳ الی ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷ - دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی عمران

بررداری صورت نگرفته بود تعیین گردید. ضمناً جهت نیل به اهداف فوق از نرم افزارهای *Excel*، *Minitab* و *Technical Hydrology* استفاده گردیده است.

نتایج

نتایج حاصل از تست همگنی داده‌ها نشان داد که داده‌های دبی متوسط روزانه در ایستگاه بصیر آباد همگن می‌باشد. جهت انتخاب مدل بهینه رابطه رگرسیونی بین ۳۰۷ داده متناظر دبی آب و دبی رسوب بر اساس مدل‌های شرح داده شده برقرار گردید که در این میان مدلی که در آن تقسیم‌بندی داده‌ها براساس زمان اندازه‌گیری دبی جریان (ماه‌های پرآب و کم آب) صورت گرفته بود، دارای کمترین مقدار مجموع مربعات خطا و یا به عبارتی دارای کمترین میانگین مربعات خطا بوده و به عنوان مدل بهینه انتخاب گردید، بنابراین مدل بهینه انتقال رسوب شامل دو معادله زیر خواهد بود:

$$(۱) \text{ معادله } QS=12/595 QW1/559 \text{ که در برآورد رسوب ماه‌های پرآب استفاده می‌شود.}$$

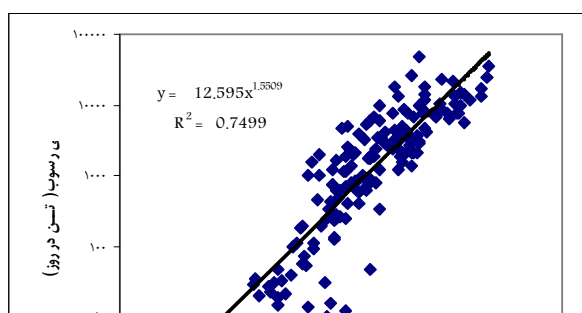
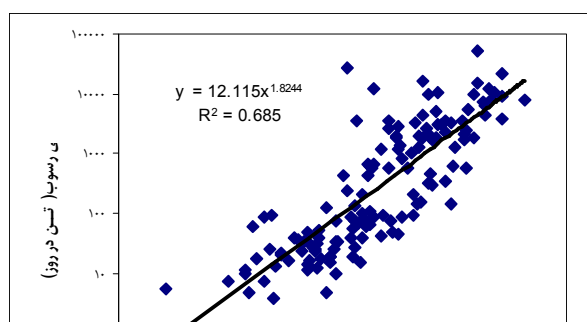
$$(۲) \text{ معادله } QS=12/115 QW1/8244 \text{ که در برآورد رسوب ماه‌های کم آب استفاده می‌شود.}$$

جدول (۱) خلاصه انواع پارامترهایی که در مدل‌های مورد بررسی در ایستگاه بصیرآباد به دست آمده‌اند را نشان می‌دهد.

جدول ۱- خلاصه انواع پارامترهای بدست آمده از مدل‌های مورد بررسی در ایستگاه بصیرآباد

مدل	نحوه تجزیه داده‌ها بر اساس		تعداد داده‌ها	میانگین مربعات خطا	ضریب همبستگی	a	b
	وضعیت هیدروگراف	زمان اندازه‌گیری					
A	تمام مراحل	تمام زمان‌ها	۳۰۷	۰/۲۸	۰/۸۵	۱۴/۷۹	۱/۵۶
B	B	تمام زمان‌ها	۲۱۰	۰/۲۶۹	۰/۸۴	۱۱/۷۵	۱/۷
	F		۵۲				
	R		۴۵				
C	تمام مراحل	ماه‌های پرآب	۱۶۸	۰/۲۶۴	۰/۸۷	۱۲/۵۹	۱/۵۵
		ماه‌های کم آب	۱۳۹				

همچنین مدلی که در آن تقسیم‌بندی داده‌ها صورت نگرفته است (مدل متداول در برآورد رسوب) بیشترین میزان خطا در برآورد رسوب معلق را دارا می‌باشد که با نتایج محمدی استاد کلایه [۱۰] مطابقت دارد. در جدول (۲) مقادیر متوسط ماهانه برآورد شده با استفاده از دو مدل بهینه و مدل متداول برآورد رسوب نشان داده شده است. شکل‌های (۲) و (۳) منحنی‌های سنجه رسوب مدل بهینه در ایستگاه بصیرآباد را نشان می‌دهند.





انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران

سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران



۲۳ الی ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷ - دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی عمران

شکل ۲- منحنی سنجه رسوب مدل بهینه در ماههای پرآب شکل ۳- منحنی سنجه رسوب مدل بهینه در ماههای کم آب

براساس مدل به کار گرفته شده متوسط دبی روزانه رسوب در این ایستگاه در طی دوره آماری مورد نظر، ۱۳۲۰ تن در روز می باشد، در حالی که بیشترین مقدار دبی رسوب روزانه برآورد شده به حدود ۷۰۰۰۰ تن در روز می رسد. همچنین در طی یک سیلاب با زمان تداوم یک هفته در سال آبی ۶۹-۶۸ بالغ بر ۴۰ درصد از رسوب سالانه رودخانه حمل گردید که این امر ضرورت اندازه گیری رسوب در مواقع سیلابی را مشخص می سازد.

جدول ۲- مقادیر مقادیر متوسط ماهانه برآورد شده از دو مدل بهینه و مدل متداول برداشت رسوب

ماه	مدل بهینه (تن در روز)	مدل متداول برآورد رسوب (تن در روز)
مهر	۳۶۸/۸	۷۳۳/۳
آبان	۶۲۲	۱۴۲۳/۷
آذر	۹۷۲/۷	۲۰۶۷/۳
دی	۱۲۴۷/۴	۱۲۰۶/۲
بهمن	۱۵۵۱/۸	۱۵۰۸/۶
اسفند	۲۳۵۹/۶	۲۳۲۱/۷
فروردین	۵۰۷۲/۹	۵۰۷۹/۳
اردیبهشت	۳۲۱۱/۹	۳۲۱۵/۶
خرداد	۱۲۱/۴	۱۷۴/۸
تیر	۱۸۵/۳	۴۲۷/۷
مرداد	۵۷/۷	۱۱۴/۵
شهریور	۷۰/۹	۱۳۷/۴



با توجه به جدول (۲) ملاحظه می‌گردد که بیشترین میزان متوسط حمل رسوب ماهانه مربوط به فروردین ماه (۵۰۷۲/۹ تن در روز) و کمترین مقدار متوسط رسوب ماهانه مربوط به مرداد ماه (۵۷/۷ تن در روز) می‌باشد. بالغ بر ۷۷ درصد رسوب رودخانه در چهار ماه بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت حمل می‌گردد، که دلیل این امر را می‌توان با هم زمانی ماههای فوق الذکر با زمان ذوب برف و رگبارهای بهاری دانست. با توجه به اینکه بیشترین مقدار دبی رسوب در دبی‌های بالا و مواقع سیلابی انتقال پیدا می‌کند، متاسفانه سهم دفعات اندازه‌گیری در دبی‌های بالا و در زمانهای سیلابی کم می‌باشد به طوری که بررسی داده‌های ایستگاه قزاقلی نشان داد بالغ بر ۸۴ درصد نمونه‌های اندازه‌گیری شده در این ایستگاه در حالت جریان پایه برداشت شده‌اند که این امر لزوم توجه بیشتر به اندازه‌گیری از جریانات سیلابی را مشخص می‌سازد. با توجه به خطای زیاد مدل یک خطی نسبت به سایر روش‌های مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد در شرح خدمات برآورد رسوب رودخانه‌ها بازنگری به عمل آید و از روش‌هایی که خطای کمتری در برآورد رسوب دارند استفاده شود.

مراجع

- ۱- بی‌نام. ۱۳۸۲. فرهنگ جغرافیایی رودهای ایران. جلد دوم. حوزه آبخیز دریای خزر. انتشارات سازمان جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، ۳۴۳ صفحه.
- ۲- رفاهی، ح. ۱۳۸۲. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران. ۶۷۱ صفحه.
- ۳- اعظمی، ا.ع، نجفی نژاد و م. عرب خدری. ۱۳۸۴. ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیکی در برآورد بار معلق رسوب جریان پایه و سیلابی در حوضه سد ایلام. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، ص ۴۸۶-۴۸۹.
- ۴- پرهمت، ج. و م. دومیری گنجی. ۱۳۸۴. تحلیل روابط آورد رسوب در ایستگاههای هیدرومتری حوضه هندیدجان- جراحی. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، ص ۲۵۴-۲۶۰.
- ۵- تلوری، ع. ا. ۱۳۸۱. رابطه رسوبدهی معلق با برخی از ویژگی‌های آبخیز در سرشاخه‌های کرخه و دز در استان لرستان. فصل نامه پژوهش و سازندگی. جلد ۱۵، شماره ۵۶ و ۵۷، ص ۵۶-۶۱.
- ۶- حیدر نژاد، م.، س.ح. گلماهی، ا. مساعدی و م.خ. ضیاء تبار احمدی. ۱۳۸۵. اصلاح معادله سنجهرسوب و برآورد بار معلق در ایستگاه تله‌زننگ. مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران. تهران. ایران.
- ۷- صادقی، س.ح. ر. ۱۳۸۴. تهیه معادلات سنجهرسوب در شاخه‌های بالارونده و پایین‌رونده آبنگار با استفاده از مفهوم رگرسیون. مجله تحقیقات منابع آب. شماره ۱، ص ۱۰۱-۱۰۳.
- ۸- عرب خدری، م. ۱۳۸۰. کارگاه آموزشی روشهای افزایش دقت برآورد بار معلق رودخانه‌ها. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت اراضی- فرسایش خاک و توسعه پایدار. ص ۷۱۱-۷۲۷.



انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران

سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران



۲۳ الی ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷ - دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی عمران

۹- عرب خدری، م. ۱۳۸۴. بررسی رسوبدهی معلق حوزه‌های آبخیز ایران. مجله تحقیقات منابع آب. شماره ۲، ص

۱۰۱-۱۰۳

- ۱۰- محمدی استاد کلابه، ا. ۱۳۸۱. بهینه‌سازی روابط دبی آب و دبی رسوب معلق در ایستگاههای هیدرومتری رودخانه گرگانرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۸۳ صفحه.
- ۱۱- محمدی استاد کلابه، ا.، ا. مساعدی و ع. حشمت‌پور. ۱۳۸۶. تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی رودخانه گرگانرود. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. جلد چهاردهم، شماره چهارم، مهر و آبان ۱۳۸۶. ص ۲۳۲-۲۴۰.
- ۱۲- میرباقری، س. ا. و ط. رجایی. ۱۳۸۵. بهبود پیش‌بینی و تخمین بار معلق رودخانه‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران. تهران. ایران.
- ۱۳- میرزایی. م. ۱۳۸۱. مقایسه روشهای آماری برآورد بار معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردی گرگانرود)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۳۰ صفحه.

14- Asselman, N.E.M. 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology*, 234, 228-248.

15- Palmieri, A., Shah, F., Dinar, A., 2001. Economic of reservoir sedimentation and sustainable management of dams. *Journal of environmental management*. 61, 149-163.

16- Pavanelli, D., Bigi, A., 2004. Indirect Methods to estimate suspended sediment concentration: Reliability and Relationship of Turbidity and settle able Solids. *Bios stems Engineering*.