

جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو

شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان غربی

کمیته تحقیقات

(طرح تحقیقات کاربردی)

گزارش نهایی

بررسی روش‌های برون‌یابی برآورد بار معلق رودخانه‌ها در آذربایجان غربی

سازمان مجری: دانشگاه ارومیه

پژوهشگر: دکتر مهدی عرفانیان

همکار پژوهشی: مهندس منصور بیاضی

آذرماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به

شادروان دکتر شاهرخ حکیم خانی

روحش شاد، یادش گرامی باد

بسمه تعالی

این پروژه تحقیقاتی با حمایت مالی کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان غربی

تحت قرارداد شماره ۴۰۹۹۹/۱۲۳ مورخ ۱۳۸۸/۸/۲۶ با کد **AGR-87003** به انجام رسیده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده فارسی	۱
فصل اول: مقدمه و سابقه تحقیق	۲
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- مختصری در مورد روش‌های اندازه‌گیری غلظت بار معلق	۳
۱-۲-۱- نمونه بردار تجمعی از تمام عمق (Depth intergrated sampler)	۳
۲-۲-۱- نمونه بردارهای تلمبه ای خودکار (Automatic pumped sampler)	۳
۳-۲-۱- کدورت سنج‌ها (Turbidity meters)	۴
۳-۱- کمیت و کیفیت داده‌ها	۴
۴-۱- روش‌های برآورد بار معلق	۵
۱-۴-۱- روش‌های هیدرولیکی	۶
۱-۱-۴-۱- روش لین و کالینسک	۶
۲-۱-۴-۱- روش اینشتین	۶
۳-۱-۴-۱- روش بروکس	۶
۴-۱-۴-۱- روش چانگ، سایمونز و ریچاردسون	۷
۲-۴-۱- روشهای مبتنی بر غلظت رسوب و دبی جریان	۸
۱-۲-۴-۱- روشهای درون‌یابی	۸
۲-۲-۴-۱- روش‌های برون‌یابی	۹
۵-۱- روش متداول ترسیم سنج رسوب و اشکالات آن	۱۰
۶-۱- روشهای افزایش صحت و دقت برآورد بار معلق	۱۲
۱-۶-۱- ارتقاء کیفیت نمونه‌ها	۱۲
۲-۶-۱- نوع منحنی سنج رسوب	۱۳
۳-۶-۱- روشهای استفاده از آمار جریان	۱۴

- ۷-۱- سابقه تحقیق در جهان و ایران ۱۷
- ۱-۷-۱- سابقه تحقیق در جهان..... ۱۸
- ۲-۷-۱- سابقه تحقیق در ایران..... ۱۹

۲- فصل دوم: مواد و روش ها ۲۱

- ۱-۲- ایستگاه های موجود و نحوه انتخاب ایستگاه های مورد مطالعه..... ۲۱
- ۲-۲- تجزیه تحلیل داده ها و نمونه گیری از آنها..... ۲۵
- ۳-۲- روش های انتخاب شده برای برآورد بار معلق..... ۲۶
- ۱-۳-۲- منحنی سنجه رسوب معمولی (یک خطی)..... ۲۶
- ۲-۳-۲- منحنی سنجه رسوب دو خطی (برازش دو خط رگرسیونی)..... ۲۶
- ۳-۳-۲- روش حد وسط دسته ها..... ۲۶
- ۴-۳-۲- منحنی های سنجه رسوب حاصل از ضرایب اصلاح تبدیل لگاریتمی..... ۲۷
- ۱-۴-۳-۲- ضریب فائو (FAO)..... ۲۷
- ۲-۴-۳-۲- ضریب پارامتری (CF_1)..... ۲۸
- ۳-۴-۳-۲- ضریب اصلاحی غیر پارامتری (CF_2)..... ۲۸
- ۴-۲- معیارهای مقایسه روش ها..... ۲۸

فصل سوم: نتایج ۳۰

- ۱-۳- نتایج..... ۳۰
- ۲-۳- ایستگاه ماکو (حوضه زنگمار - ایستگاه ماکو)..... ۳۰
- ۳-۳- ایستگاه مراکند (حوضه قطورچای - ایستگاه مراکند)..... ۳۳
- ۴-۳- ایستگاه دیزج (حوضه باراندوزچای - ایستگاه دیزج)..... ۳۶
- ۵-۳- ایستگاه ساری قمیش (حوضه زرینه رود - ایستگاه ساری قمیش)..... ۳۸
- ۶-۳- ایستگاه تپیک (حوضه نازلوچای - ایستگاه تپیک)..... ۴۱
- ۷-۳- نتایج روش های ارزیابی..... ۴۴

فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری ۴۵

۴-۱- بحث و نتیجه گیری..... ۴۵

۴-۲- پیشنهادات..... ۴۸

منابع مورد استفاده..... ۴۹

پیوست..... ۵۵

چکیده انگلیسی ۵۹

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
۱-۱- مقایسه تغییرات غلظت رسوب و دبی در رویدادهای مختلف.....	۱۶
۱-۲- موقعیت ایستگاههای مورد مطالعه در سطح استان آذربایجان غربی.....	۲۵
۱-۳- منحنی سنجه رسوب یک خطی حوضه زنگمار- ایستگاه ماکو.....	۳۲
۲-۳- منحنی سنجه رسوب دو خطی حوضه زنگمار- ایستگاه ماکو.....	۳۲
۳-۳- منحنی سنجه رسوب حد وسط دسته ها در حوضه زنگمار- ایستگاه ماکو.....	۳۳
۴-۳- منحنی سنجه رسوب یک خطی حوضه قطورچای- ایستگاه مراکند.....	۳۴
۵-۳- منحنی سنجه رسوب دو خطی حوضه قطورچای- ایستگاه مراکند.....	۳۵
۶-۳- منحنی سنجه رسوب حد وسط دسته ها در حوضه قطورچای- ایستگاه مراکند.....	۳۵
۷-۳- منحنی سنجه رسوب یک خطی حوضه باراندوزچای- ایستگاه دیزج.....	۳۷
۸-۳- منحنی سنجه رسوب دو خطی حوضه باراندوزچای- ایستگاه دیزج.....	۳۷
۹-۳- منحنی سنجه رسوب حد وسط دسته ها در حوضه باراندوزچای- ایستگاه دیزج.....	۳۸
۱۰-۳- منحنی سنجه رسوب یک خطی حوضه زرینه رود- ایستگاه ساری قمیش.....	۳۹
۱۱-۳- منحنی سنجه رسوب دو خطی حوضه زرینه رود- ایستگاه ساری قمیش.....	۴۰
۱۲-۳- منحنی سنجه رسوب حد وسط دسته ها در حوضه زرینه رود- ایستگاه ساری قمیش.....	۴۱
۱۳-۳- منحنی سنجه رسوب یک خطی حوضه نازلوچای- ایستگاه تپیک.....	۴۲
۱۴-۳- منحنی سنجه رسوب دو خطی حوضه نازلوچای- ایستگاه تپیک.....	۴۳
۱۵-۳- منحنی سنجه رسوب حد وسط دسته ها در حوضه نازلوچای- ایستگاه تپیک.....	۴۳

فهرست جداول

عنوان	صفحه
۲-۱- مشخصات ایستگاه های هیدرومتری و رسوبسنجی موجود در استان آذربایجان غربی.....	۲۲
۲-۲- ایستگاه های انتخاب شده برای مطالعه در آذربایجان غربی.....	۲۴
۳-۱- آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب حوضه حوضه زنگمار - ایستگاه ماکو.....	۳۱
۳-۲- آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب حوضه قطورچای - ایستگاه مراکند.....	۳۳
۳-۳- آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب حوضه باراندوز چای - ایستگاه دیزج.....	۳۶
۳-۴- آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب حوضه زرینه رود - ایستگاه ساری قمیش.....	۳۹
۳-۵- آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب حوضه نازلو - ایستگاه تپیک.....	۴۱
۳-۶- نتایج حاصل از روش های ارزیابی به تفکیک ایستگاه ها.....	۴۴

چکیده فارسی

نقش فرسایش و تولید رسوب در کاهش حاصلخیزی و هدر رفت خاک، پر شدن مخازن سدها، گرفتگی و انسداد مجاری آبیاری، آبراهه‌ها و رودخانه‌ها، گل‌آلود کردن آب رودخانه‌ها و کاهش کیفیت آب و آلودگی آبهای مناطق پایین دست مورد توجه متخصصین و کارشناسان بوده‌است. برای جلوگیری و یا کاهش اثرات یاد شده نیاز به برنامه ریزی و اجرای اقدامات حفاظت خاک و کنترل رسوب می‌باشد. لازمه اجرای این برنامه‌ها، کسب اطلاعات از میزان بار رسوبی یا تولید رسوب حوزه‌ها و در نتیجه شناسایی حوضه‌های بحرانی است. از آنجا که بخش عمده تولید رسوب حوزه‌ها را تولید رسوب معلق یا بار معلق تشکیل می‌دهد، لذا میزان بار معلق معرف میزان فرسایش و تولید رسوب خواهد بود. معمولاً از روش‌های برون‌یابی یا روش‌های منحنی سنج رسوب برای برآورد بار معلق رودخانه‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی استفاده می‌شود. هنوز اختلاف نظرهای زیادی در مورد روش یا روش‌های مناسب برآورد بار معلق وجود دارد و رسیدن به اجماع در این زمینه و حتی ارایه روش‌های جدید تحقیقات بیشتری را می‌طلبد. در این تحقیق سعی شده با بررسی کارایی روش‌های مختلف برون‌یابی، روش مناسب برای شرایط استان آذربایجان غربی معرفی شود. آمار و اطلاعات رسوب و دبی متناظر از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی تهیه شده و پنج ایستگاه (ماکو، مراکند، دیزج، ساری قمیش و تپیک) که دارای بیشترین تعداد نمونه رسوب و با بیش از ۴۰ سال آمار رسوب بودند انتخاب شده‌اند. ۲۰ درصد از نمونه‌های رسوب ایستگاه‌های انتخابی به صورت تصادفی نمونه‌گیری شده و برای مرحله اعتبارسنجی روش‌ها کنار گذاشته شد. و برای ۸۰ درصد باقیمانده، معادلات روش‌های برون‌یابی مورد نظر (منحنی سنج یک خطی، دو خطی و حد وسط دسته‌ها، ضرایب فائو، پارامتری و غیرپارامتری) بدست آمده است. سپس مقادیر میانگین قدر مطلق خطا، ریشه دوم میانگین مربع خطا و ضریب کارایی جهت ارزیابی روش‌های برون‌یابی محاسبه شده و در نهایت روش حد واسط دسته‌ها به عنوان روش مناسب برای شرایط استان آذربایجان غربی معرفی گردید.

کلمات کلیدی: رسوب، منحنی سنج رسوب، برون‌یابی، بار معلق، آذربایجان غربی

فصل اول: مقدمه و سابقه تحقیق

۱-۱- مقدمه

از مدت‌ها پیش، رسوبات انتقالی توسط رودخانه‌ها در مناطقی از دنیا که میزان فرسایش و تولید رسوب معلق آنها بالا است به عنوان یک معضل بزرگ شناخته شده‌است. کاهش ظرفیت ذخیره مخازن سدها در اثر رسوبگذاری و رسوبگذاری در آبراهه‌ها، کانال‌ها و شبکه‌های پخش آب می‌تواند مشکلات جدی در توسعه پایدار منابع آب، سیستم‌های آبیاری و تولید برق آبی ایجاد کند. در ضمن رسوبگذاری در رودخانه‌ها و بنادر می‌تواند فعالیت‌های کشتیرانی را محدود سازد (Walling, ۲۰۰۴). در سال‌های اخیر میزان آگاهی از نقش زیاد رسوبات ریزدانه در ذخیره و انتقال عناصر غذایی و مواد آلوده کننده نظیر حشره‌کش‌ها، فلزات سنگین و آلوده کننده‌های آلی (Collins و Walling, ۲۰۰۷؛ Owens و همکاران, ۲۰۰۵ و Kronvang و همکاران, ۲۰۰۳) و تخریب زیستگاه‌های آبی (نظیر رسوبگذاری بر روی گراول‌های محل تخم‌ریزی ماهی‌ها) افزایش یافته (Davies-Colley و Smith, ۲۰۰۱؛ Bruton, ۱۹۸۵ و Heywood و Walling, ۲۰۰۷) و توجه به اهمیت اکولوژیکی و زیست محیطی زیاد رسوبات ریزدانه افزایش یافته است. بنا به دلایل یاد شده اجرای برنامه‌های مدیریت و کنترل رسوب به منظور کاهش میزان رسوب ضروری است. لازمه اجرای این برنامه‌ها، کسب اطلاعات از میزان بار رسوبی یا تولید رسوب حوزه‌ها و در نتیجه شناسایی حوزه‌های بحرانی است. با توجه به این مسئله و به منظور طراحی درست سازه‌های مهندسی از قبیل احداث سدها، پل‌ها، کانال‌های آبیاری و اصلاح و بهسازی مسیر رودخانه‌ها، برآورد صحیح بار رسوبی از اهمیت زیادی برخوردار است. از بار رسوبی اندازه‌گیری شده در انتهای حوزه برای بررسی میزان فرسایش در حوزه بالادست (Walling, ۱۹۹۴) و در نتیجه در ارزیابی مدل‌های فرسایش (De Roo و Jetten, ۱۹۹۹ و Clark, ۱۹۹۹) نیز استفاده می‌شود.

بخش عمده رسوبات حمل شده توسط اکثر رودخانه‌ها را بار معلق تشکیل می‌دهد. برای تعیین مقدار ذرات معلق معمولاً غلظت یا کدورت جریان اندازه‌گیری می‌شود. در کشور ما اندازه‌گیری بار معلق رودخانه‌ها به صورت برنامه‌ای منظم از سال ۱۳۴۳ آغاز شد و تا سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ تعداد ۷۱۵ ایستگاه رسوب سنجی با ۲۴۴۰۰۰ رکورد در سطح کشور گزارش شده‌است (تماب, ۱۳۷۶). داده‌های بدست آمده معمولاً در مطالعات و پژوهشهای مرتبط با مدیریت و مهندسی منابع آب و فرسایش و رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرند. از دیدگاه زیست محیطی، نقش رسوبات معلق در انتقال عناصر غذایی، سموم و سایر آلاینده‌ها اخیراً مورد توجه بیشتری قرار گرفته و ارزش و اهمیت این داده‌ها را دو چندان کرده است.

۱-۲-مختصری در مورد روشهای اندازه گیری غلظت بار معلق

برای اندازه رسوب معلق روشهای مختلفی وجود دارد که خلاصه ای از سه مورد از آنها ارائه می شود.

۱-۲-۱-نمونه بردار تجمعی از تمام عمق^۱:

این نمونه بردار در ایستگاههای رسوب سنجی استفاده می شود. برای تعیین مقادیر ذرات معلق نمونه هایی از مقاطع مختلف رودخانه به روش تجمعی از تام عمق با این نمونه بردار بر می دارند. ساختمان این نمونه بردار طوری است که سرعت در لوله ورودی آن معادل با سرعت محلی جریان است. نمونه تهیه شده به آزمایشگاه ارسال و غلظت جریان را از طریق خشکاندن و یا کاغذی صافی تعیین می کنند. در مرحله نهایی غلظت متوسط به طریق وزنی متناسب با حجم جریان محاسبه می شود. گاهی برای اجتناب از نمونه گیری زیاد، رابطه همبستگی بین غلظت یک نقطه خاص و کل مقطع ایجاد می کنند و در مراحل بعد با اندازه گیری در این نقطه و با استفاده از معادله همبستگی غلظت متوسط کل مقطع تعیین می شود (Vanoni, ۱۹۷۷).

بررسی آمار غلظت رودخانه ها نشان می دهد که معمولاً سهم نمونه های غلظت مربوط به دوره های سیلابی بسیار کم است. تغییرات شدید غلظت رسوب در طول آبنمود (hydrograph) سیلاب ها، نمونه برداری های فشرده را ضروری می سازد. به رغم آنکه این کار می تواند با نمونه بردارهای دستی از این نوع انجام گیرد، بدلیل زحمت بسیار زیاد از یک طرف و مشکلات نمونه برداری در شب و رویدادهای ناگهانی، تجهیزاتی برای ثبت تغییرات رسوب به صورت مداوم ابداع شده است.

۱-۲-۲-نمونه بردارهای تلمبه ای خودکار^۲:

این نوع نمونه بردار از قسمت های پمپ، نازل چرخنده، لوله های رابط، تعدادی بطری، و یک حساسه تشکیل شده و قابل برنامه ریزی برای نمونه برداری از مقاطع زمان و یا طبقات جریان هستند. در برخی از دستگاههای جدید با نصب یک ریز پردازشگر (microprocessor) این نوع نمونه بردار، برای موارد خاص از قبیل نمونه برداری بر اساس احتمال وقوع قابل برنامه ریزی است. بدلیل نمونه برداری از یک نقطه، نتایج بدست آمده از این نمونه بردار بایستی با نمونه برداری چند مقطعی کالیبره شود (Walling, ۱۹۹۴).

^۱ - Depth intergrated sampler

^۲ - Automatic pumped sampler

۱-۲-۳- کدورت سنج ها^۱:

کدورت سنج ها وسایلی هستند که کدورت را از طریق ثبت نور عبور کرده از میان آب گل آلود و یا دشت نور پراکنده شده توسط ذرات رسوب معلق اندازه گیری می کنند. اجزاء اصلی این دستگاهها عبارتند از منبع تولید نور، سنسور اندازه گیری نور، ریزپردازشگر، صفحه نمایش و حافظه. ابتدا دستگاه برای فاصله زمانی مورد نظر تنظیم می شود. با توجه به ظرفیت ذخیره دستگاه بایستی پس از مدتی معین نسبت به تخلیه اطلاعات اقدام شود. در هر دو نوع کدورت سنج باید مقادیر ثبت شده که بر اساس غلظت فرمازین بیان می شوند، با اعداد بدست آمده از طریق اندازه گیری مستقیم کالیبره شوند. زیرا عواملی از قبیل توزیع اندازه ذرات، ماده آلی و کانی شناسی ذرات رسوبی هر رودخانه، این رابطه را تحت تاثیر می گذارند (Walling، ۱۹۹۴).

۱-۳- کمیت و کیفیت داده ها

در بسیاری از ایستگاههای هیدرومتری ایران، دبی جریان با استفاده از لیمنیگراف به صورت مداوم تعیین می شود. در حالیکه معمولاً غلظت جریان را در زمانهای مختلف در طول سال و طبق برنامه ای مشخص با استفاده از نمونه بردارهای تجمعی در چند مقطع از رودخانه اندازه گیری می کنند. همانطور که گفته شد، معمولاً تعداد نمونه در ایستگاهها زیاد نیست. یک محاسبه ساده بر اساس اطلاعات تماب (۱۳۷۶) نشان می دهد که تعداد متوسط برداشتهای انجام شده از ایستگاههای رسوب سنجی کشور در کل دوره آماربرداری، حدود ۳۴۰ مورد است. طبعاً تمام ایستگاهها از این نظر یکسان نیستند و مقادیر کمتر از ۱۰۰ و بیش از ۱۰۰۰ برداشت نیز وجود دارد. بعلاوه بر اساس نتایج ارائه شده توسط شفیع علویجه و همکاران (۱۳۷۵) و رشتچی و همکاران (۱۳۷۵) به ترتیب مشتمل بر محاسبات مربوط به رسوب معلق رودخانه های حوزه دریاچه ارومیه و حوزه مرکزی، می توان گفت که در اکثر موارد تعداد نمونه برداری از غلظت رسوبات معلق در دبی های بالا که بیشترین مقدار رسوب را انتقال می دهند بسیار محدود بوده و از این نظر فاقد کیفیت لازم می باشند.

معرف بودن نمونه های رسوب معلق و کارایی تجهیزات و روش های نمونه برداری و روش های آزمایشگاهی تعیین غلظت رسوب مهمترین عوامل موثر در صحت و دقت برآوردهای بار معلق می باشند (Walling، ۱۹۹۴). اگر فرض کنیم کارایی تجهیزات و روش های نمونه برداری و روش های آزمایشگاهی قابل قبول باشد (که معمولاً چنین نیست)، تغییرات غلظت رسوب و داشتن نمونه های معرف مهم ترین عاملی

^۱ - Turbidity meters

است که روی صحت و دقت روش‌های برآورد بار معلق تاثیر می‌گذارد. به عقیده Hadley و همکاران (۱۹۸۵) مهمترین منبع خطا در برآورد بار معلق از برنامه‌های نامناسب نمونه‌برداری ناشی می‌شود و جایی که یک برنامه نمونه‌برداری فشرده آمار و اطلاعات مفصلی فراهم کند که معرف تغییرات غلظت رسوب گردد، خطاها و عدم قطعیت‌های کمتری وجود خواهد داشت. نمونه‌گیری وقایع سیلابی نقش کلیدی در کارایی روش‌ها دارد، زیرا این وقایع بخش عمده رسوبات معلق را حمل می‌کنند. بررسی‌های به عمل آمده نشان داده‌اند که بخش عمده رسوبات معلق در مدت زمان کوتاهی عبور می‌کند. به عنوان مثال Walling (۱۹۹۴) گزارش کرده‌است که تقریباً تمام بار معلق رودخانه Creedy انگلستان، با حوزه‌ای به مساحت ۲۶۲ کیلومتر مربع، فقط در ۵ درصد زمانی حمل می‌شود. شفیع علویجه (۱۳۷۲) نیز عبور بیش از ۷۵ درصد از رسوب معلق رودخانه زهره در ایستگاه ده ملا را در ۵ درصد زمانی گزارش کرده‌است. به این جهت برای افزایش کیفیت نمونه‌ها تاکید زیادی به نمونه‌برداری از دبی‌های بالا وجود دارد.

۴-۱- روش‌های برآورد بار معلق

بهترین روش برآورد بار معلق برآورد مستقیم می‌باشد. در این روش باید آمار مفصلی از غلظت که معرف تغییرات غلظت در طول دوره زمانی مورد نظر باشد و دبی جریان متناظر در دست باشد. معمولاً دبی جریان آب اغلب با فواصل زمانی روزانه، ساعتی و حتی کوتاه‌تر در ایستگاه‌های اندازه‌گیری موجود است. ولی از آنجائیکه نمونه‌برداری‌های غلظت معمولاً با نمونه‌بردارهای دستی صورت می‌گیرد جمع‌آوری چنین آماری برای غلظت رسوب بعثت هزینه بالا، کمبود نیروی انسانی و مسائل دیگر مشکل می‌باشد. در سالهای اخیر برای حل این مشکل، تکنولوژی اندازه‌گیری مداوم با استفاده از کدورت سنجهای روش‌های هسته‌ای که تغییرات گل‌آلودگی را ثبت می‌کنند و یا نمونه‌برداری پمپی از نوع اتوماتیک در فواصل زمانی کوتاه فراهم شده‌است. ولی متأسفانه این فن‌آوری‌ها هنوز در ایران بکار گرفته نشده‌اند. بنابراین در حال حاضر استفاده از روش مستقیم بخصوص برای شرایط ایران تقریباً منتفی است.

روش‌های برآورد تولید رسوب معلق (بار معلق) رودخانه‌ها را بطور کلی می‌توان به دو دسته روش‌های مبتنی بر قوانین دینامیک و مکانیک سیالات یا روش‌های هیدرولیکی (یا روش‌های فیزیکی) و روش‌های مبتنی بر غلظت و دبی جریان تقسیم کرد. به روش‌های مبتنی بر غلظت و دبی جریان، روش‌های هیدرولوژیک (میر ابوالقاسمی و مرید، ۱۳۷۴) و روش‌های آماری (Cohn، ۱۹۹۵ و عرب‌خداری و همکاران، ۱۳۸۳) نیز می‌گویند.

۱-۴-۱- روش های هیدرولیکی

بر اساس روش های هیدرولیکی که عمدتاً توسط متخصصان و صاحب نظران علم هیدرولیک ارائه شده اند، روش های مختلفی طی قرن اخیر برای تخمین بار معلق ارائه شده است که به روش های زیر می توان اشاره کرد:

۱-۴-۱-۱- روش لین و کالینسک:

لین و کالینسک در سال ۱۹۴۱ روشی را به منظور محاسبه بار معلق ارائه دادند.

$$q_{sw} = q C_a P_l \exp\left(\frac{15\omega a}{U.D}\right) \quad (1-1)$$

که در آن، q : دبی جریان آب در واحد عرض آبراهه $(ft^3/(s.ft))$ ، q_{sw} : دبی وزنی مواد معلق در آب در واحد عرض آبراهه $(Lb/s.ft)$ ، C_a : غلظت مواد معلق در فاصله a از بستر آبراهه (ppm)، D : عمق جریان (ft) و a : سطح مبنا می باشد. (امامی، ۱۳۷۹)

۱-۴-۱-۲- روش اینشتین:

اینشتین در سال ۱۹۵۰، رابطه زیر را ارائه داد:

$$q_{rw} = 11/6 U_*' C_a a \left[2/303 \log\left(\frac{30/2D}{\Delta}\right) I_1 + I_2 \right] \quad (2-1)$$

که در آن q_{sw} : دبی وزنی مواد معلق در آب در واحد عرض آبراهه $(Lb/s.ft)$ ، U_*' : سرعت برشی ناشی از ذرات (ft/s) ، C_a : غلظت مواد معلق در فاصله a از بستر آبراهه (ppm)، a : عمق جریان (ft)، I_1 و I_2 ضرایب معادله می باشند. (امامی، ۱۳۷۹)

۱-۴-۱-۳- روش بروکس:

رابطه بروکس از لحاظ فرضیات پایه و شکل کلی تا حدی شبیه به رابطه اینشتین است:

$$q_{sw} = C_{md} q \left[1 + \frac{U_*}{KV_E} \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^{z_1} dy + \frac{u_*}{KV_E} \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^{z_1} \ln y dy \right] \quad (3-1)$$

که در آن، q : دبی جریان آب در واحد عرض آبراهه $(ft^3 / (s.ft))$ ، q_{sw} : دبی وزنی مواد معلق در آب در واحد عرض آبراهه $(Lb / s.ft)$ ، C_{md} : غلظت رسوب در رقوم $y = \frac{1}{2} D$ ، (ppm) ، D : عمق جریان (ft) و V : سرعت جریان می باشد (امامی، ۱۳۷۹).

۴-۱-۴-۱ روش چانگ، سایمونز و ریچاردسون:

چانگ، سایمونز و ریچاردسون در سال ۱۹۶۵ رابطه زیر را ارائه دادند:

$$q_{sw} = \gamma DC_a \left(VI_1 - \frac{2U_*}{k} I_2 \right) \quad (۴-۱)$$

که در آن، q_{sw} : دبی وزنی مواد معلق در آب در واحد عرض آبراهه $(Lb / s.ft)$ ، C_a : غلظت مواد معلق در فاصله a از بستر آبراهه (ppm) ، D : عمق جریان در آبراهه (ft)، V : سرعت حرکت آب (ft/s)، U_* : سرعت برشی (ft/s) و K : ثابت فون کارمن ($k=0.4$) می باشد (امامی، ۱۳۷۹).

ولی متأسفانه با توجه به پیچیدگی پدیده انتقال رسوب و اندرکنش مقدار زیادی از پارامترهای هیدرولیکی و رسوبی، هیچ یک از روشهای ارائه شده تاکنون مقبولیت همگانی نیافته و از دقت کافی برخوردار نمی باشند (حبیبی، ۱۳۷۵). همچنین این روشها تنها قادر به محاسبه نرخ انتقال رسوبات ناشی از فرسایش آبراهه ای و رودخانه ای بوده و توانایی پیش بینی بار رسوبی شسته شده از سطح حوزه آبخیز (Wash Load) را ندارند (Yang، ۱۹۹۶؛ حبیبی، ۱۳۷۵ و Asselman، ۲۰۰۰). بنابراین برای برآورد بار معلق رودخانه ها، روشهای مبتنی بر غلظت رسوب و دبی جریان که ساده و نسبتاً مناسب برای این کار می باشند بکار می روند (Walling و Webb، ۱۹۸۱؛ Thomas، ۱۹۸۵؛ Miller، ۱۹۵۱؛ Walling، ۱۹۹۴ و Quilbe و همکاران، ۲۰۰۶). این روشها بیشتر توسط هیدرولوژیست ها ارایه شده اند (Kazama و همکاران، ۲۰۰۵). از اینرو در نبود آمار مفصلی از غلظت رسوب، باید از روشهای غیر مستقیم برآورد بار معلق که شامل روش های درون یابی^۱ و برون یابی^۲ داده های غلظت رسوب است استفاده کرد (Walling و Webb، ۱۹۸۱؛ Phillips و همکاران، ۱۹۹۹ و Webb و همکاران، ۱۹۹۷). با مرور منابع موجود با تعداد زیادی از روش های درون یابی و برون یابی برای برآورد بار معلق مواجه می شویم که از نظر پیچیدگی و صحت متفاوت از هم می باشند (Salles و همکاران، ۲۰۰۸).

^۱ - Interpolation procedures

^۲ - Extrapolation procedures

۱-۴-۲- روشهای مبتنی بر غلظت رسوب و دبی جریان

اگر اندازه گیری‌های مداومی از غلظت رسوب و دبی جریان در رودخانه‌ای موجود باشد، در این صورت، بار معلق با استفاده از روش مستقیم و با انتگرال گیری از حاصلضرب غلظت و دبی جریان نسبت به زمان بدست می‌آید (Thomas، ۱۹۸۵؛ Crawford، ۱۹۹۱؛ Walling، ۱۹۹۴ و Quilbe و همکاران، ۲۰۰۶). در این روش در واقع بار معلق واقعی محاسبه می‌شود. بنابراین بار معلق واقعی (Q_s) برای فاصله زمانی بین t_1 و t_2 از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Q_s = \int_{t_1}^{t_2} C(t)Q_w(t) \quad (۵-۱)$$

در این رابطه $C(t)$ ؛ غلظت رسوب در زمان t و $Q_w(t)$ ؛ دبی جریان در زمان t می‌باشند. اگر t برحسب ثانیه، C برحسب میلی گرم در لیتر و Q_w برحسب مترمکعب در ثانیه باشند، Q_s برحسب گرم در ثانیه خواهد بود.

در عمل برای محاسبه بار معلق برای فاصله زمانی مورد نظر، اگر غلظت با فاصله‌های ۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه، یک ساعت یا بیشتر (بسته به تغییرات غلظت رسوب در رودخانه) با استفاده از گل آلود سنجها، روشهای هسته‌ای و یا نمونه بردارهای پمپی از نوع اتوماتیک در دسترس باشد از رابطه زیر استفاده می‌شود که در واقع یک نوع درون‌یابی است:

$$Q_s = K \sum_{i=1}^n C_i Q_{wi} \quad (۶-۱)$$

در این رابطه، Q_s بار معلق دوره زمانی مورد نظر، C_i ؛ غلظت رسوب لحظه‌ای اندازه گیری شده برای نمونه i ام، Q_{wi} ؛ دبی متناظر لحظه‌ای جریان برای نمونه i ام، K ؛ ضریب تبدیل واحدها و n ؛ تعداد نمونه‌های غلظت رسوب در دوره زمانی مورد نظر می‌باشند.

۱-۴-۲-۱- روشهای درون‌یابی

در این روشها فرض بر این است که مقادیر غلظت یا دبی رسوب حاصل از نمونه‌های گرفته شده، معرف یک دوره درازمدت (مثلاً روزها و هفته‌ها) می‌باشند. چون قسمت اعظم بار کل رسوب حوزه آبخیز بوسیله چند سیل بزرگ حمل می‌شود که تنها بخش کوچکی از کل دوره زمانی مورد نظر را تشکیل می‌دهد. بنابراین استفاده از برنامه‌های نمونه‌برداری منظم (مثلاً هفتگی)، نمونه‌های معرفی از غلظت رسوب این وقایع سیلابی را نخواهد داد و تعداد نمونه‌هایی که در دبی‌های پایه گرفته می‌شوند زیادتر خواهند بود.

بنابراین استفاده از این روشها می تواند منجر به خطای زیادی شود (Webb و Walling، ۱۹۸۱ و ۱۹۸۸). از اینرو و به علت اینکه در ایران معمولاً نمونه برداری های منظم صورت نمی گیرد از این روش ها به ندرت استفاده می شود. برای آشنایی بیشتر با این روشها می توان به Webb و Walling (۱۹۸۱)، Richards و Quilbe (۱۹۸۷) و همکاران (۲۰۰۶) مراجعه کرد.

۱-۴-۲- روش های برون یابی

با توجه به معایب روش های درون یابی، معمولاً از روشهای برون یابی (روش های منحنی سنج رسوب) برای برآورد بار معلق آبخیزها در ایستگاههای هیدرومتری و رسوب سنجی استفاده می شود (Walling و Webb، ۱۹۸۱ و ۱۹۸۸؛ Jansson، ۱۹۹۶؛ Asselman، ۲۰۰۰ و Horowitz، ۲۰۰۳). این روش ها که عمدتاً بعد از ابداع تکنیکهای پیشرفته نمونه برداری و اندازه گیری غلظت رسوب رودخانه ها و آگاهی از برآورد کم (کمتر از مقدار واقعی) روش متداول و قدیمی برآورد بار معلق (منحنی سنج رسوب معمولی- منحنی تداوم جریان) ارائه شده اند، دارای اختلافات زیادی در برآوردهای خود می باشند.

در روشهای برون یابی که به آنها روش های منحنی سنج رسوب نیز می گویند تعداد محدودی از اندازه گیری های غلظت رسوب با برقراری رابطه ای بین غلظت یا دبی رسوب و دبی جریان متناظر و استفاده از آمار دبی جریان برای دوره های زمانی مورد نظر تعمیم داده می شود. این رابطه معمولاً به صورت یک تابع توانی به شکل زیر است:

$$Q_s = aQ_w^b \quad (7-1)$$

که در آن Q_s ؛ دبی رسوب (بار معلق) بر حسب تن در روز، Q_w ؛ دبی جریان متناظر بر حسب متر مکعب در ثانیه و a و b مقادیر ضرایب رابطه بوده و از آن به عنوان منحنی سنج رسوب^۱ یاد می شود. شایان ذکر است که در این رابطه می توان به جای Q_s ، غلظت رسوب را قرار داد. به این روش ها روش های رگرسیونی نیز می گویند (Quilbe و همکاران، ۲۰۰۶). به طور کلی در روشهای برون یابی، غلظت رسوب در یک دوره زمانی معین اندازه گیری شده و سپس رابطه ای بین غلظت یا دبی جریان متناظر برقرار شده و با استفاده از آمار درازمدت دبی جریان، تولید رسوب معلق در درازمدت برآورد می شود. این روش توسط Straub در سال ۱۹۳۵ پیشنهاد شده و توسط Bauder و Champbell در سال ۱۹۴۰ بیشتر توسعه یافت و سپس توسط Miller (۱۹۵۱) اصلاح شده است. بزرگترین مزیت این روش آن است

^۱ - Sediment Rating Curve

که تنها به یک برنامه اندازه گیری صحرایی محدود نیاز دارد که می تواند با نمونه برداری های دستی صورت گیرد.

ضرایب منحنی سنج رسوب (a و b) معمولاً بوسیله رگرسیون خطی و با استفاده از روش حداقل مربعات خطا بدست می آید. مدل رگرسیون خطی تبدیل لگاریتمی منحنی سنج رسوب را لازم دارد. معمولاً داده های غلظت یا دبی رسوب و دبی جریان متناظر آنها به یک محور مختصات دو لگاریتمی منتقل شده و بهترین خط برازش با استفاده از روش حداقل مربعات از میان این داده ها عبور داده می شود. در این حالت b شیب خط برازش و a فاصله محل تقاطع بهترین خط برازش با محور قائم تا مبدا مختصات است. باید به این نکته توجه کرد که صحت برآورد بار معلق به روش های یاد شده به دامنه داده های دبی جریان مورد استفاده در تعیین منحنی سنج (دبی های متناظر غلظت رسوب) نیز بستگی دارد. در واقع معادله رگرسیونی بدست آمده باید برای درون یابی به کار رود نه برای برون یابی. مثلاً اگر معادله رگرسیونی براساس داده های دبی پایه تعیین شده، نمی توان از آن برای برآورد بار معلق جریان های سیلابی استفاده کرد (Quilbe و همکاران، ۲۰۰۶).

در کشور ما، صحت و دقت اینگونه برآوردها، به ندرت مورد تردید جدی قرار گرفته است. به عنوان مثال پس از گذشت چند سال از احداث سدهای دز و سفید رود، هنگامیکه مشخص شد بدلیل گل انباشتگی سریع، عمر مفید این دو مخزن کمتر از مدت زمان طراحی است، انگشت اتهام به سوی موضوع تخریب آبخیزها در اثر استفاده بیرویه دراز شد. در مقابل، مطابق اطلاعات نگارنده هیچگاه به احتمال وجود اشتباه در رسوبدهی برآورد شده توسط مهندسین مشاور اشاره ای نشده است. برای روشن شدن دلایل این گونه اختلافات، شناسایی روشهای مختلف، اثرات هر یک بر میزان رسوبدهی و معرفی بهترین روش از میان آنها ضروری می باشد.

جدول ۱-۱- مقدار بار معلق برآورد شده بوسیله تماب و جاماب برای چند ایستگاه بر حسب تن در سال

	جاجرود-رودک	قره چای- بند شاه عباسی	امامه- کمر خانی	کرج-سیرا	کارواندر-دامن
جاماب (۱۳۷۷)	۵۱۵۰۰۰	۲۰۸۸۶۶۹	۸۳۰۵	۵۱۰۷۹۸	۴۷۷۴۸۰
تماب	۶۱۹۷۴۵	۳۲۲۹۸۸۷	۱۹۹۸	۵۵۰۳۶۳	۴۹۳۹۸۹۶

۱-۵- روش متداول ترسیم سنج رسوب و اشکالات آن

ساده ترین روش ترسیم منحنی سنج رسوب، ترسیم یک خط رگرسیون از میان ابر نقاط است که معمولاً به روش حداقل مربعات صورت می گیرد و می توان به نام روش یک خطی نام گذاری کرد. گاهی پراکنش ابر نقاط به نوعی است که عبور دادن بیش از یک خط ضرورت می یابد. در این ارتباط ممکن است پا را

فرا تر گذشته و داده های اولیه را به چند دسته تقسیم کرد و برای هر یک منحنی جداگانه ای ترسیم نمود. مثلاً Linsley و همکاران (۱۹۸۲) ترسیم منحنی های جداگانه برای نمونه های مربوط به رگبارها و ذوب برف را توصیه کرده اند.

Walling و Webb (۱۹۸۱) در بررسی های خود روی آمار رسوب معلق رودخانه Creedy در انگلستان تاثیر داده های غلظت در دبی های بالا را بر بهبود کیفیت منحنی سنج رسوب و برآورد صحیح تر رسوبدهی معلق اثبات کردند، در مقایسه، ترسیم چند منحنی جداگانه اثر کمتری نشان داد. Walling و Webb (۱۹۸۸) و Walling (۱۹۹۴) پیشنهاد کردند که از روشهایی استفاده شود که ارزش بیشتری به دبی های بالا بدهد. این مسئله با توجه به رشد تصاعدی غلظت جریان و نقش آن در انتقال رسوب منطقی به نظر می رسد.

پراکندگی نقاط حول خط رگرسیون در منحنی سنج رسوب واقعیتی است که به طور وضوح سبب ایجاد تقریب در برآورد رسوبدهی معلق می شود. Fergusom (۱۹۸۶) و Koch و Smillie (۱۹۸۶) تبدیل لگاریتمی را عامل اصلی تخمین کمتر از مقدار واقعی معرفی کرده اند.

اثر پراکندگی داده ها و خطای تبدیل لگاریتمی را می توان این گونه بیان کرد که رابطه بین دبی جریان و رسوب به صورت خطی نیست ولی می توان آن را به صورت زیر به مدل خطی تبدیل کرد.
معادله اولیه:

$$\text{Log}Y = a + b \log X \quad (۸-۱)$$

$$\text{Log}Y = Y', \log X = X' \quad (۹-۱)$$

اگر معادله (۸-۱) را با علائم جایگزین بنویسیم از نظر ظاهری نیز به معادله خطی ساده تبدیل خواهد شد:

$$Y' = a + bX' \quad (۱۰-۱)$$

پس از آنتی لگاریتم گرفتن:

$$Y = 10^a X^b \quad (۱۱-۱)$$

می توان به طریق مستقیم نیز معادله توانی بر داده ها برازش داد.

$$Y = a' X^{b'} + \varepsilon \quad (۱۲-۱)$$

همانطور که مشاهده می شود باقیمانده (ε) که معرف خطای مدل است حالت جمعی دارد. ولی در مدل (۱۱-۱) که از تغییر شکل مدلی دیگر بوجود آمده است، خطا اثر ضربی دارد و در واقع به صورت زیر است.

$$Y = 10^a X^b \xi \quad (13-1)$$

زیرا در مدل اولیه (رابطه ۸-۱) خطا حالت جمعی داشته است.

$$\text{Log} Y = a + b \log X + \log \xi \quad (14-1)$$

Hann (۱۹۷۷) و Jansson (۱۹۹۶) به دو نکته مهم در مورد اختلاف مدل خطی و مدل تبدیل شده به خطی اشاره کرده اند. اول اینکه بر آورد کننده های a و b طوری بدست می آیند که $\sum (Y_i' - \bar{Y}_i')^2$ حداقل شود و نه $\sum (Y_i - \bar{Y}_i)^2$.

ثانیا عبارت خطا در معادله (۱۲-۱) اثر جمعی دارد ولی در معادله (۱۳-۱) که متناظر با آن است اثر ضربی ملاحظه می شود. در حالت تبدیل لگاریتمی، تمام فرضها در مورد آزمون فرض و حدود اعتماد برای $\log \xi$ معتبر می باشد. $\bar{Y}_i$ به معنی مقدار برآورد شده بر اساس داده های اصلی و $\bar{Y}_i'$ معدل مقدار برآورد شده برای اساس لگاریتم داده های اصلی هستند.

می توان اختلاف مدلها این گونه را شرح داد که در مدل توانی، منحنی از میانگین حسابی عبور می کند و در حالت تبدیل لگاریتمی منحنی از میانگین هندسی می گذرد. مثلا اگر فرض شود دو رسوبدهی ۱۰۰ و ۱۰۰۰ برای یک دبی معین رخ داده باشد، میانگین حسابی آنها ۵۵۰ و میانگین هندسی آنها معادل ۳۱۶ می شود که بیانگر موضوع فوق است. با توجه به اینکه میانگین هندسی همیشه از میانگین حسابی کوچکتر است می توان انتظار داشت که نوعی اریب در معادله لگاریتمی وجود داشته باشد. بنابراین هر چه پراکندگی بیشتر باشد انتظار اریبی بیشتر می شود. توجه به این نکته ضروری است که برخی نرم افزارهای محاسباتی نظیر Excel معادله توانی را از طریق تغییر شکل معادله لگاریتمی بدست می آورند.

۱-۶- روشهای افزایش صحت و دقت برآورد بار معلق

به طور کلی سه روش برای افزایش صحت و دقت برآورد رسوبدهی معلق وجود دارد.

۱-۶-۱- ارتقاء کیفیت نمونه ها:

Walling و Webb (۱۹۸۱) مقدار بار معلق واقعی محاسبه شده بر اساس آمار مفصل کدورت سنج را با حدود ۱۰۰ برآورد دیگر که از طریق اندازه گیری دستی و نمونه گیری از جامعه اولی بدست آمده بود مورد مقایسه قرار داد و نتیجه گرفتند که تغییرات این برآوردها بسیار وسیع بوده و بطور کلی تا ۶۰٪ کمتر از واقعیت می باشند. بطور کلی برآوردهای بدست آمده به طریق تقسیم سری داده ها بر حسب فصل و

مراحل صعودی و نزولی آبنمود و استفاده از نمونه های بیشتر در دبی بالا نتایج دقیقتری در مقایسه با الگوی نمونه گیری منظم (هفتگی) نشان دادند.

Dickinson (۱۹۸۱) در مطالعه روی رودخانه Big Otter تاثیر چهار استراتژی نمونه گیری را بر دقت و صحت برآوردهای رسوب معلق مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که هر چه تعداد نمونه ها بویژه از سیلهای بزرگ بیشتر شوند دقت و صحت برآورد ها افزایش می یابد.

Yaksich و Verhoff (۱۹۸۳) در مطالعه خود در دو رودخانه Sandusky و Maumee در آمریکا تاثیر استراتژی های مختلف نمونه برداری را بر دقت و صحت برآورد مواد انتقالی رودخانه بررسی کردند. روش ۴ نمونه در ماه به ترتیب باعث ۶۱ و ۴۰ درصد خطا در برآورد بار معلق این دو رودخانه شده است. در مقابل روش ۴ نمونه از سیلاب این خطا را در رودخانه Maumee به ۱۳ درصد تقلیل داد. این دو نتیجه گرفتند که استراتژی نمونه گیری بر پایه دسته بندی جریان و با تاکید بر فشردگی نمونه گیری در کلاس دبی های بالا بهترین برآورد رسوب را می دهد.

Young و همکاران (۱۹۸۸) و Richards و Halloway (۱۹۸۷) به این نتیجه رسیدند که نمونه گیری بر اساس دسته بندی جریان با تعداد نمونه برابر برآوردهای دقیقتری نسبت به نمونه گیری بدون دسته بندی جریان می دهد.

بعلاوه برنامه نمونه گیری کم (کمتر از ۵۰ نمونه در سال) معمولاً برآوردهایی با خطای زیاد را در پی خواهد داشت.

Thomas و Lewis (۱۹۹۵) روشهای مختلف نمونه گیری مشتمل بر روش SALT که نوعی نمونه گیری بر حسب احتمال متناسب با اندازه است، نمونه گیری بر حسب مقاطع زمانی و نمونه گیری بر حسب طبقات جریان برای غلبه بر اریبی تشریح کرده اند. براساس اطلاعات نگارندگان تا کنون در ایران تحقیقی در این رابطه به انجام نرسیده است.

۱-۶-۲- نوع منحنی سنج رسوب:

نوع منحنی سنج رسوب نیز در صحت و دقت برآوردها اثر دارد و به منظور برآورد بهتر رسوبدهی معلق روشهای اصلاحی ارائه شده است. از جمله Jansson (۱۹۹۶) براساس داده های اندازه گیری مداوم غلظت رودخانه Reventazon واقع در کاستاریکا روشی را پیشنهاد کرده است که در آن دبی های جریان با یک نمو معین به تعدادی دسته تقسیم شده و برای دبی متوسط هر دسته، دبی رسوب متوسط اندازه گیری شده همان دسته تعیین می شود و در آخر منحنی سنج رسوب با استفاده از آنها بدست می آید. وی

مشاهده کرد که میزان برآورد شده به کمک این روش، با مقدار مشاهده شده بسیار نزدیک است؛ در حالیکه روش یک خطی برآورد کمتری داشت. Verhoff و همکاران (۱۹۸۰) روش دسته بندی دبی جریان و رسوب که شباهت زیادی با روش پیشنهادی Jansson (۱۹۹۶) دارد را معرفی کرده اند. در روشی دیگر که توسط Jones و همکاران (۱۹۸۱) در یکی از نشریات FAO تشریح شده است، ابتدا بهترین خط با معادله $Q_s = aQ_w^b$ را به روش حداقل مربعات به مقادیر لگاریتمی (نه مقادیر واقعی) برازش می دهند. ولی از معادله فوق که از نقاط میانگین $\log Q_s$ و میانگین $\log Q_w$ عبور می کند، استفاده نمی شود و به جای آن معادله خطی موازی که از میانگین Q_s و Q_w اندازه گیری متناظر با آن می گذرد به کار می رود.

برای اصلاح اثر تبدیل لگاریتمی Thomas (۱۹۸۵) به نقل از Miller ضریب اصلاحی پارامترهای را پیشنهاد کرده است که متکی به اشتباه استاندارد بین مقادیر مشاهده ای و مقادیر برآورده شده به روش یک خطی است.

Koch و Smillie (۱۹۸۶) با رد توزیع نرمال خطاهای باقیمانده، ضریب اصلاحی غیر پارامتری را برای حذف اریبی داده ها توصیه کرده اند که به اختلاف بین مقادیر مشاهده ای و محاسبه شده بر اساس منحنی سنجه یک خطی متکی است.

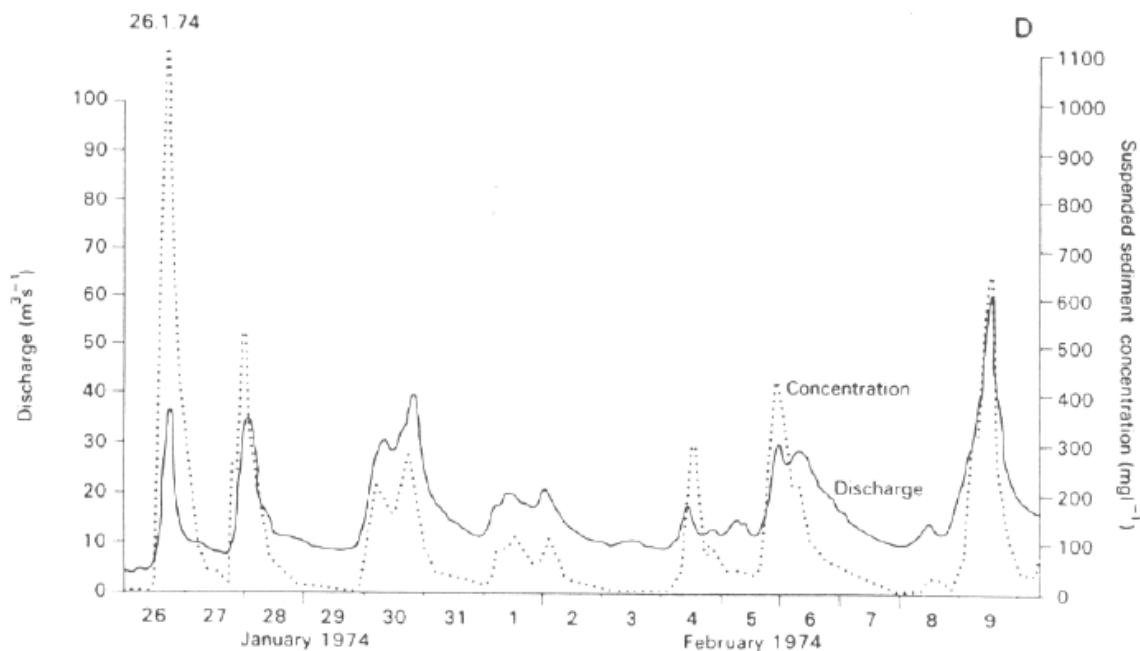
۱-۶-۳- روشهای استفاده از آمار جریان:

در ارتباط با روشهای استفاده از دبی جریان نیز چند شیوه وجود دارد. روش استفاده از منحنی تداوم جریان در برآورد رسوبدهی معلق سالانه توسط USBR در سال ۱۹۵۱ پیشنهاد شده است (Vanoni, ۱۹۷۷). در این روش با استفاده از آمار روزانه دبی جریان، منحنی تداوم جریان تهیه شده و سپس محور احتمال (درصد زمان برابر یا بیشتر) به تعدادی دسته تقسیم شده و دبی متناظر حد وسط هر یک از این دسته ها و درصد احتمال آنها برای برآورد رسوبدهی معلق به کار می روند. این روش، روش متداول استفاده از جریان است و در تمام (شفیعی علویجه و همکاران، ۱۳۷۵) مورد استفاده قرار می گیرد. بعلاوه در کتب درسی نیز به عنوان ساده ترین و عملی ترین روش برآورد رسوبدهی معلق در پروژه های کوچک آبی تشریح شده است (علیزاده، ۱۳۶۷).

افرادی نیز به طور مستقیم از آمار دبی روزانه استفاده می کنند. به طوریکه مقدار دبی هر روز را در معادله سنجه رسوب قرار داده و میزان رسوب معلق آن روز را بدست می آورند. میزان رسوبدهی معلق هر ماه، سال و میانگین دوره براساس آمار روزانه قابل محاسبه می باشد. به طور معمول دبی متوسط روزانه

از میانگین دو قرائت صبح و عصر اشل بدست می آید در حالیکه گاهی دامنه این تغییرات آنقدر زیاد است که این دبی، نماینده مناسبی برای محدوده دبی های آبنمود آن روز نیست. سرخوش (۱۳۷۵) و نکویی مهر و رئیسین (۱۳۸۰) نمونه هایی از آبنمودهای چند رودخانه کشور را در نوشته های خود منعکس کرده اند که حاکی از اختلاف حدود ۵ تا بیش از ۴۰ برابر بین دبی های پایه و اوج می باشد. نظر به اینکه معادله سنجه رسوب براساس دبی و غلظت لحظه ای تهیه می شود، استفاده از دبی متوسط روزانه به جای دبی لحظه ای، بویژه در روزهای سیلابی میتواند خطاهایی ایجاد کند.

از طرف دیگر مقدار بار معلق رودخانه ها، در روزهای مختلف سال، و حتی در زمانهای کوتاهتر ثابت می باشد. مثلاً Hasain و Thayyen (۱۹۹۹) مقدار رسوب معلق آبراهه Dokraini را برای ۶ ماه اندازه گیری کرده و اختلافی بیش از ۵ برابر در دبی های متوسط روزانه یکسان را نشان داده اند. اصولاً مقدار این تغییرات در زمان هایی که جریان رودخانه حالت عادی دارد، ناچیز است. ولی در مواقعی که جریان رودخانه حالت طغیانی دارد، بار رسوبی نسبت به بده رودخانه، به طور ناگهانی افزایش یافته و در نتیجه مقدار بار معلق تا چندین برابر حالت عادی آن می شود (شکل ۱-۱). همچنین اختلاف غلظت در شاخه صعودی و نزولی آب نمود و اختلاف غلظت در آب نمودهای مختلف هر رودخانه در یک دبی معین، واقعیتی است که باید مورد توجه قرار گیرد. این اختلاف به تغییرات الگوی بارش رویدادهای مختلف در سطح حوزه در ترکیب با اختلاف از نظر خاک، کاربری و شیب مربوط است. مثلاً ممکن است هسته بارش در یک رگبار روی جنگل قرار گیرد و در رگبار بعدی بر دامنه های شخم خورده منطبق باشد. حتی در اثر بارش مداوم، احتمال وقوع چندین لغزش و افزایش شدید غلظت رسوب وجود دارد (Jansson, ۱۹۹۶). به عبارت دیگر غلظت رسوب به عوامل دیگری به غیر از بده های متناظر بستگی دارد و منحنی سنجه تا حدی انعکاس دهنده پویایی حوزه است (Lewis و Thomas, ۱۹۹۵).



شکل ۱-۱- مقایسه تغییرات غلظت رسوب و دبی در رویدادهای مختلف (Walling, 1994)

از آنجا که عمده رسوبات در دوره های سیلابی انتقال می یابد؛ ضرورت دارد که به این مساله توجه دقیقی تری مبذول شود.

مثلاً صحت نیاکی و مطهری (۱۳۷۴) بار معلق ورودی به سد پیشین را با تقسیم هیدروگراف سیلها به بازه های زمانی مساوی و تعیین غلظت با استفاده از منحنی سنج رسوب تعیین کردند. بدلیل فقدان اطلاع از مقدار واقعی رسوب امکان ارزیابی روش بوجود نیامد. عرب خدری و عبداللهی (۱۳۸۰) با فرض شکل مثلثی متقارن برای آبنمود سیلاب، اثر میزان تغییرات جریان در طول یک شبانه روز، اثر بزرگی جریان، اثر زمان پایه آبنمود سیلاب، اثر افزایش تغییرات جریان با ثابت ماندن دبی متوسط روزانه، اثر عدم انطباق شروع سیل با شروع روز و اثر نمای معادله منحنی سنج رسوب بر تغییر در مقدار بار رسوبی برآوردی نسبت به روش استفاده از دبی روزانه را به صورت جداگانه بررسی و مقایسه کردند. نتیجه کلی این تحقیق نشان میدهد که استفاده از آبنمود سیلاب ها، بخصوص در رودخانه هایی که شدت تغییرات جریان در آنها زیاد است، می تواند تا حدود ۳ برابر، مقدار بار معلق برآورد شده را افزایش دهد.

در بسیاری از موارد آمار جریان روزانه ناقص می باشد. در چنین حالتی امکان برآورد دبی ماهانه براساس آمار ایستگاههای مجاور وجود دارد و می تواند به عنوان مبنای محاسبه رسوب به کار رود. جاماب (۱۳۶۸) روشی برای محاسبه رسوب معلق ماهانه معرفی کرده است که در آن ابتدا براساس آمار روزانه موجود در

۵ سال خیلی خشک تا خیلی مرطوب میزان رسوب معلق روزانه محاسبه شده و سپس دبی متوسط و رسوبدهی معلق ماهانه برای ۶۰ ماه (۱۲ ماه در ۵ سال) براساس داده های فوق بدست می آید. در مرحله بعد منحنی سنجه جدیدی بین دبی و رسوب ماهانه تهیه شده و با استفاده از آن رسوبدهی ماهانه برای کل دوره آماری محاسبه می شود.

از مطالعات انجام شده در ایران به منظور بررسی اثر روشهای آماری در برآورد رسوبدهی معلق و افزایش صحت و دقت آن می توان به تحقیق میر ابوالقاسمی و مرید (۱۳۷۴) در کرخه اشاره کرد. این دو بدلیل عدم اطلاع از رسوب واقعی، نتایج را با رسوب سنجی سد دز مقایسه کرده و روشهای حد وسط دسته ها، برازش چشمی با توجه به خطوط هم غلظت و FAO را مناسبتر تشخیص دادند. عرب خدري و همکاران (۱۳۷۷) پس از مقایسه رسوبدهی ۸ رودخانه به ۹ روش مختلف به این نتیجه رسیدند که استفاده از منحنی تداوم جریان به جای دبی متوسط روزانه سبب برآورد کمتر رسوبدهی در حدود ۱۵٪ می شود. آنها تخمین کمتر رسوبدهی در روش منحنی تداوم جریان را به تاثیر عمل متوسط گیری مربوط دانسته اند. رستمی و اردشیر (۱۳۸۰) نیز در کاری مشابه برای ۸ ایستگاه حوزه سفید رود نتیجه ای مشابه بدست آوردند. چنین خطایی در تعیین دبی متوسط ۲۴ ساعته روزهای سیلابی نیز قابل تصور است.

به رغم وجود دلایل نظری و تجاری در مورد ضعف و قوت برخی از روشهای آماری برآورد رسوبدهی، مقایسه بین آنها میتواند مبنایی برای انتخاب روشهای مناسبتر در شرایط فقدان داده های کافی بدست دهد. به علاوه با اطلاع از میزان اختلافات موجود میتوان تا حدی نسبت به اصلاح برآوردهای موجود اقدام نمود. از طرف دیگر در تحقیقات انجام شده مرتبط با اثر نمونه گیری بر اصلاح برآورد رسوبدهی، توجه کمتری به اثر متقابل آنها با روشهای آماری برآورد رسوبدهی مبذول شده است.

به این ترتیب به منظور مقایسه کیفیت داده های اولیه و همچنین بررسی اثر متقابل آنها در ارتباط با روشهای مختلف استفاده از منحنی سنجه رسوب و دبی جریان، اجرای یک طرح تحقیقاتی ضرورت یافت که در ادامه ملاحظه می شود.

۱-۷- سابقه تحقیق در جهان و ایران

تعدادی از محققین با مقایسه نتایج روش های مختلف برون یابی با بار معلق واقعی، صحت و دقت روش های یاد شده را بررسی کرده اند. مطالعاتی نیز وجود دارند که مسئله خطای ناشی از تبدیل لگاریتمی و نیز اثر کاربرد ضرایب اصلاحی در برآوردهای روشهای منحنی سنجه رسوب را بررسی کرده اند. بعضی از این منابع تأثیر این ضرایب را در برآورد بهتر و دقیق تر بار معلق تأیید کرده ولی بعضی با کاربرد این

ضرایب، نتایج مطلوبی بدست نیاورده‌اند. در زیر مروری بر نتایج تحقیقات انجام شده در مورد ضرایب اصلاح تبدیل لگاریتمی و سایر روش‌های برون‌یابی انجام شده‌است.

۱-۷-۱- سابقه تحقیق در جهان

Ferguson (۱۹۸۶ و ۱۹۸۷) با مقایسه منحنی سنجه اصلاح شده با ضریب پارامتری، منحنی سنجه یک خطی و تعدادی از روش‌های درون‌یابی با بار واقعی به این نتیجه رسید که منحنی سنجه اصلاح شده برآوردهای بهتری می‌دهد. Hansen و Bray (۱۹۸۷) نتایج خوبی با ضریب غیرپارامتری (با ده درصد خطا) بدست آوردند. آنها مشاهده کردند که هر دو ضریب اصلاحی موقعی که پراکنش نقاط در اطراف بهترین خط پردازش کاهش می‌یابد و اشتباه استاندارد برآورد و ضریب همبستگی به ترتیب به صفر و یک نزدیک می‌شوند، برابر با یک می‌شوند. در ضمن آنها اظهار کردند که این دو ضریب هنگامی که باقیمانده‌ها در اطراف خط برازش از توزیع نرمال تبعیت کند برابر خواهند بود. در پی گزارشهای Ferguson (۱۹۸۶) و Koch و Smillie (۱۹۸۶)، که علت اصلی برآورد کمتر روشهای منحنی سنجه رسوب را خطای ناشی از تبدیل لگاریتمی بیان کرده بودند، Walling و Webb (۱۹۸۸) با تحلیل و بررسی آمار مفصلی از سه رودخانه در انگلستان گزارش کردند که کاربرد ضرایب اصلاحی خطاهای ناشی از تبدیل لگاریتمی (CF_1 و CF_2) تأثیر کمتری در اصلاح برآوردهای تولید رسوب حاصل از کاربرد منحنی‌های سنجه رسوب دارند. چون این ضرایب تنها یکی از علل خطا را نشان می‌دهند در حالی که سایر عوامل مهمتر از آنها هستند. محققینی نظیر Quilbe و همکاران (۲۰۰۶)، Asselman (۲۰۰۰)، Cox و همکاران (۲۰۰۸) و Phillips و همکاران (۱۹۹۹) کارایی این ضرایب را مورد تأیید قرار ندادند. در مطالعات انجام شده در ایران (عرب‌خدری، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳؛ وروانی و همکاران، ۱۳۸۴ و ذرتی‌پور، ۱۳۸۶) به غیر از میرابوالقاسمی و مرید (۱۳۷۴) نتایج مطلوبی از کاربرد ضرایب اصلاح تبدیل لگاریتمی گزارش نشده‌است. میرابوالقاسمی و مرید (۱۳۷۴) یکی از روش‌های مناسب را ضریب فائو اعلام کرده‌اند.

Phillips و همکاران (۱۹۹۹) و Webb و همکاران (۱۹۹۷) ارزیابی و مقایسه وسیعی را بر روی روش‌های برآورد (روش‌های درون‌یابی و برون‌یابی) بار معلق برای برنامه LOIS (مطالعه رابطه بین اقیانوس‌ها و خشکی‌ها) با استفاده از آمار دایمی غلظت رسوب در چند حوزه در انگلیس انجام دادند. نتایج نشان داد که هیچ‌یک از روش‌ها برآوردهای قابل اعتمادی ندارند. در این دو مطالعه روش‌های برون‌یابی صحت بیشتری داشتند. Asselman (۲۰۰۰) با مقایسه دو روش برون‌یابی (منحنی سنجه معمولی و ضریب اصلاحی پارامتری) و روش رگرسیون غیر خطی در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری واقع بر روی

رودخانه Rhine با بار واقعی نشان دادند که روش رگرسیون غیر خطی صحت بیشتری دارد. Cox و همکاران (۲۰۰۸) در دو حوزه در انگلیس با مقایسه نتایج سه روش برون‌یابی (منحنی سنجه معمولی و ضرایب اصلاحی پارامتری و غیرپارامتری) و مدل خطی تعمیم‌یافته با بارهای واقعی نتیجه‌گیری کردند که روش مدل خطی تعمیم‌یافته کارایی بیشتری دارد. Horowitz (۲۰۰۳) با استفاده از داده‌های رسوب روزانه دراز مدت در تعدادی از حوزه‌های بزرگ (با مساحت بیش از یک میلیون کیلومتر مربع)، متوسط (بین هزار تا یک میلیون کیلومتر مربع) و کوچک (کمتر از هزار کیلومتر مربع) واقع در امریکا و اروپا نشان داد که روش منحنی سنجه رسوب غلظت‌های کم را زیاد و غلظت‌های زیاد را کمتر برآورد می‌کند.

۱-۷-۲- سابقه تحقیق در ایران

در ایران نیز مطالعاتی به منظور بررسی روش‌های برون‌یابی در برآورد رسوبدهی معلق و صحت و دقت آن انجام گرفته‌است. میرابوالقاسمی و مرید (۱۳۷۴) بدلیل عدم اطلاع از رسوب واقعی، نتایج برآوردهای روش‌های مختلف برون‌یابی را با رسوب‌سنجی سد دز مقایسه کرده و روش‌های حد وسط دسته‌ها، برازش چشمی با توجه به خطوط هم غلظت و فائو را مناسبتر تشخیص دادند. عرب‌خدری و همکاران (۱۳۷۷) پس از مقایسه بار معلق ۸ رودخانه به ۹ روش مختلف به این نتیجه رسیدند که استفاده از منحنی تداوم جریان به جای دبی متوسط روزانه سبب برآورد کمتر بار معلق در حدود ۱۵ درصد می‌شود. آنها تخمین کمتر بار معلق در روش منحنی تداوم جریان را به تاثیر عمل متوسط‌گیری مربوط دانسته‌اند. رستمی و اردشیر (۱۳۸۰) نیز در کاری مشابه برای ۸ ایستگاه حوزه سفید رود نتیجه‌ای مشابه بدست آوردند. چنین خطایی در تعیین دبی متوسط ۲۴ ساعته روزهای سیلابی نیز قابل تصور است. عرب‌خدری و همکاران (۱۳۸۲) با ارزیابی ۱۸ روش برون‌یابی در ایستگاه قزاقلی (روی گرگانرود) نشان دادند که روش حد وسط دسته‌ها مشروط به آنکه برای داده‌های با کیفیت خوب مورد استفاده قرار گیرد، نتایج کاملاً مطلوبی بدست می‌دهد. سایر منحنی‌های سنجه به غیر از موارد استثنایی نتیجه رضایت بخشی نداشتند و با این همه ضریب اصلاحی پارامتری در برخی از شرایط بویژه با داده‌های با کیفیت ضعیف‌تر جواب‌های قابل قبولی بدست داد. در ضمن براساس این تحقیق، از نظر شیوه استفاده از جریان، روش روزانه و سپس ماهانه برتری خود را نسبت به منحنی تداوم جریان نشان دادند. عرب‌خدری و همکاران (۱۳۸۳) اقدام به ارزیابی ۱۸ روش برون‌یابی در ۱۷ ایستگاه هیدرومتری کشور کردند. آنها ابتدا با توجه به وجود آمار مناسب در یکی از ایستگاه‌ها (قزاقلی)، مقدار تقریبی بار معلق را برآورد کرده و با مقایسه نتایج روش‌های برون‌یابی با مقدار یاد شده، روش منحنی سنجه حد وسط دسته‌ها - دبی روزانه را مناسب تشخیص دادند. آنها در ادامه برای ۱۶ ایستگاه

باقیمانده، با مبنا قرار دادن روش یاد شده، بار معلق برآورد شده به ۱۷ روش دیگر را با روش مبنا مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که چهار منحنی سنجه شامل ضرایب اصلاحی فائو، غیر پارامتری، پارامتری و یک خطی کمترین صحت را دارند و منحنی تداوم جریان، بار معلق را ۱۴ درصد کمتر برآورد کرد. وروانی و همکاران (۱۳۸۴) طی تحقیقی به منظور بررسی اثر ضرایب اصلاح تبدیل لگاریتمی در ۵ ایستگاه منتخب در کشور و انتخاب اندازه‌های مختلف نمونه نتیجه‌گیری کردند که استفاده از ضرایب یاد شده و اندازه‌های مختلف نمونه، صحت و دقت برآوردهای بار معلق را افزایش نمی‌دهند. ذرتی‌پور (۱۳۸۶) نیز با بررسی ۸ روش برون‌یابی نشان داد که روش حد وسط دسته‌ها صحت و دقت بالاتری در ایستگاه گلینک واقع بر روی طالقان‌رود دارد.

مرور منابع یاد شده ما را به این نتیجه می‌رساند که هنوز اختلاف نظرهای زیادی در مورد روش یا روش‌های مناسب برآورد بار معلق وجود دارد و رسیدن به اجماع در این زمینه و حتی ارایه روش‌های جدید تحقیقات بیشتری را می‌طلبد.

فصل دوم: مواد و روش ها

۲-۱- ایستگاه های موجود و نحوه انتخاب ایستگاه های مورد مطالعه

در این تحقیق با توجه به اینکه انتخاب مناسبترین روش برون یابی برآورد بار معلق بستگی به عواملی نظیر تعداد نمونه (Phillips و همکاران، ۱۹۹۹ و عرب خدیری و همکاران، ۱۳۸۲)، اندازه مساحت حوضه ها (Walling، ۱۹۹۴ و Horowitz، ۲۰۰۳) و طول دوره آماری (Littlewood و همکاران، ۱۹۹۸ و Day، ۱۹۸۸) دارد، در انتخاب ایستگاه ها، عوامل یاد شده مد نظر قرار گرفته است. آمار رسوب (نمونه های دبی رسوب و دبی جریان متناظر) ایستگاه های هیدرومتری و رسوبسنجی موجود در استان (جدول ۱-۲) بررسی شده و چهار ایستگاهی که دارای بیشترین تعداد نمونه، بیش از ۳۰ سال آمار رسوب و تنوع مساحت در استان بودند انتخاب شدند. داده های غلظت رسوب را می توان به بار معلق یا دبی رسوب تبدیل کرد. اگر C غلظت رسوب اندازه گیری شده برحسب میلی گرم در لیتر و Q_w دبی جریان برحسب مترمکعب در ثانیه باشد، دبی رسوب یا بار معلق (Q_s) برحسب تن در روز از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Q_s = 0.0864 C * Q_w \quad (2-1)$$

در مواردی که غلظت به دبی رسوب تبدیل نشده بود این کار با استفاده از معادله (۲-۱) انجام شد.

جدول ۱-۲ - مشخصات ایستگاه های هیدرومتری و رسوبسنجی موجود در استان آذربایجان غربی

ردیف	حوزه - ایستگاه	کد	عرض جغرافیایی ثانیه-دقیقه-درجه	طول جغرافیایی ثانیه-دقیقه-درجه	دوره نمونه برداری		تعداد سال آماری	تعداد نمونه
					از سال	تا سال		
۱	بازرگان - ساریسو	۱۹-۰۰۷	۳۹-۲۵-۰۰	۴۴-۲۶-۰۰	۱۳۶۳	۱۳۸۸	۲۵	۲۷۶
۲	قلعه جوق - بارون چای	۱۹-۰۱۱	۳۹-۱۷-۰۰	۴۴-۲۸-۰۰	۱۳۶۱	۱۳۸۸	۲۷	۳۲۴
۳	ماکو - زنگمار	۱۹-۰۱۳	۳۹-۱۸-۰۰	۴۴-۳۲-۰۰	۱۳۴۳	۱۳۸۸	۴۵	۱۷۷۴
۴	پلدشت - زنگمار	۱۹-۰۱۵	۳۹-۲۱-۰۰	۴۵-۰۵-۰۰	۱۳۶۰	۱۳۸۸	۲۸	۲۱۸
۵	میله مرزی - قطورچای	۱۹-۰۱۷	۳۸-۳۰-۰۰	۴۴-۱۹-۰۰	۱۳۴۷	۱۳۸۸	۴۱	۳۵۲
۶	ترس آباد - قطورچای	۱۹-۰۲۱	۳۸-۲۴-۰۰	۴۴-۲۰-۰۰	۱۳۶۵	۱۳۸۸	۲۳	۲۵۰
۷	پل یزدکان - قطورچای	۱۹-۰۲۷	۳۸-۲۹-۰۰	۴۴-۴۷-۰۰	۱۳۴۸	۱۳۸۸	۴۰	۷۰۴
۸	موسی قلی - غازان چای	۱۹-۰۳۱	۳۸-۳۲-۰۰	۴۵-۰۲-۰۰	۱۳۵۳	۱۳۸۸	۳۵	۲۹۷
۹	مظفرآباد - زلبیر	۱۹-۰۳۹	۳۸-۴۶-۰۰	۴۵-۱۶-۰۰	۱۳۴۸	۱۳۸۸	۲۸	۲۶۴
۱۰	مراکند - آق چای	۱۹-۰۴۳	۳۸-۵۱-۰۰	۴۴-۱۵-۰۰	۱۳۷۸	۱۳۸۸	۱۰	۱۰۱
۱۱	مراکند - قطورچای	۱۹-۰۴۵	۳۸-۵۲-۰۰	۴۵-۱۷-۰۰	۱۳۴۳	۱۳۸۸	۴۵	۱۰۲۵
۱۲	بدوی - قره سو	۱۹-۰۷۵	۳۹-۲۱-۰۰	۴۴-۱۴-۰۰	۱۳۶۰	۱۳۸۷	۲۸	۲۹۱
۱۳	بدلان - الد چای	۱۹-۰۸۱	۳۸-۳۶-۰۰	۴۴-۴۲-۰۰	۱۳۵۳	۱۳۸۸	۳۵	۶۵۶
۱۴	قورول علیا - آق چای	۱۹-۰۸۳	۳۸-۵۱-۰۰	۴۴-۴۹-۰۰	۱۳۴۸	۱۳۸۸	۴۰	۵۹۳
۱۵	ملهندان - قره چای	۱۹-۰۸۷	۳۸-۴۱-۰۰	۴۵-۰۶-۰۰	۱۳۶۸	۱۳۸۸	۲۰	۲۷۰
۱۶	امامقلی - بارون چای	۱۹-۱۵۳	۳۹-۰۸-۰۰	۴۴-۳۲-۰۰	۱۳۸۰	۱۳۸۸	۸	۷۷
۱۷	باشکند - آق سو	۱۹-۹۱۴	۳۹-۲۱-۰۰	۴۴-۲۱-۰۰	۱۳۷۳	۱۳۸۸	۱۵	۱۶۶
۱۸	مزرعه - بارون چای	۱۹-۹۶۳	۳۹-۱۰-۰۰	۴۴-۲۵-۰۰	۱۳۸۱	۱۳۸۸	۷	۱۹۲
۱۹	دریکه - لاوین چای	۲۱-۰۰۱	۳۶-۴۴-۰۰	۴۵-۱۰-۰۰	۱۳۴۶	۱۳۸۸	۴۲	۵۶۱
۲۰	زنگ آباد - آواجارچای	۲۱-۰۰۳	۳۶-۴۵-۰۰	۴۵-۱۶-۰۰	۱۳۴۶	۱۳۸۸	۴۲	۵۶۱
۲۱	کرژال - ذاب کوچک	۲۱-۰۰۵	۳۶-۱۹-۰۰	۴۵-۲۷-۰۰	۱۳۴۲	۱۳۸۸	۴۶	۴۴۰
۲۲	بریسو - ذاب کوچک	۲۱-۰۰۷	۳۶-۰۹-۰۰	۴۵-۳۳-۰۰	۱۳۴۷	۱۳۸۸	۴۱	۴۸۵
۲۳	سیلوه - لاوین چای	۲۱-۹۲۵	۳۶-۴۷-۰۰	۴۵-۰۵-۰۰	۱۳۷۲	۱۳۸۸	۱۶	۲۱۹
۲۴	گردشيطان - بادین آباد	۲۱-۹۲۷	۳۶-۲۳-۰۰	۴۵-۱۴-۰۰	۱۳۷۴	۱۳۸۸	۱۴	۱۴۹
۲۵	قبیلو - سقرچای	۳۳-۰۰۷	۳۶-۱۱-۰۰	۴۶-۱۰-۰۰	۱۳۵۰	۱۳۸۸	۳۸	۳۵۸
۲۶	دره پنبه دان - سقرچای	۳۳-۰۱۱	۳۶-۱۷-۰۰	۴۶-۲۲-۰۰	۱۳۵۰	۱۳۸۸	۳۸	۲۲۷
۲۷	پل آنیان - جیغاتوچای	۳۳-۰۱۵	۳۶-۱۲-۰۰	۴۶-۲۶-۰۰	۱۳۵۰	۱۳۸۸	۳۸	۵۰۱
۲۸	صفاخانه - ساروق چای	۳۳-۰۲۱	۳۶-۲۴-۰۰	۳۶-۴۲-۰۰	۱۳۷۴	۱۳۸۸	۱۴۳	۲۲۴
۲۹	قوش خانه - چهارطاق	۳۳-۰۲۲	۳۶-۳۳-۰۰	۴۷-۱۷-۰۰	۱۳۸۰	۱۳۸۸	۸	۶۱
۳۰	ساری قمیش - زرینه رود	۳۳-۰۲۳	۳۶-۲۹-۰۰	۴۶-۲۹-۰۰	۱۳۴۳	۱۳۸۸	۴۵	۷۶۹
۳۱	چوپلوچه - آجرلو	۳۳-۰۲۷	۳۶-۵۳-۰۰	۴۶-۲۵-۰۰	۱۳۴۷	۱۳۸۵	۳۸	۴۱۰
۳۲	داشبند - سیمینه رود	۳۳-۰۳۵	۳۶-۳۹-۰۰	۴۶-۱۰-۰۰	۱۳۴۳	۱۳۸۸	۴۵	۴۶۸
۳۳	گزل گنبد - سیمینه رود	۳۳-۰۳۶	۳۶-۲۶-۰۰	۴۵-۵۶-۰۰	۱۳۷۳	۱۳۸۸	۱۵	۹۵

ادامه جدول ۱-۲

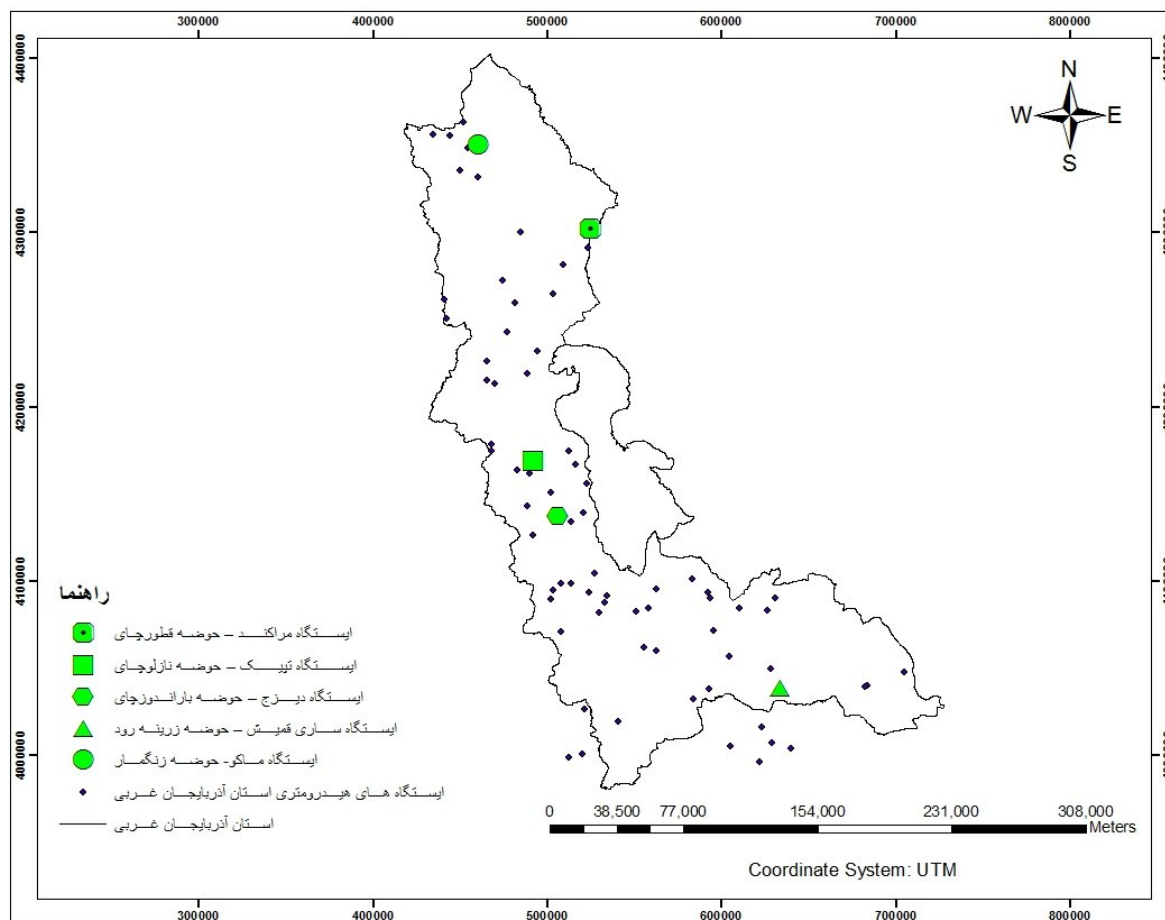
ردیف	حوزه - ایستگاه	کد	عرض جغرافیایی ثانیه - دقیقه - درجه	طول جغرافیایی ثانیه - دقیقه - درجه	دوره نمونه برداری		تعداد سال آماري	تعداد نمونه
					از سال	تا سال		
۳۴	میان دو آب - سیمینه رود	۳۳-۰۳۷	۳۶-۵۷-۰۰	۴۶-۰۳-۰۰	۱۳۸۰	۱۳۸۸	۸	۶۲
۳۵	تازه کند	۳۳-۰۳۹	۳۶-۵۹-۰۰	۴۶-۰۲-۰۰	۱۳۵۳	۱۳۸۶	۳۳	۱۷۵
۳۶	کاوالان - سیمینه رود	۳۳-۰۵۵	۳۶-۲۴-۰۰	۴۶-۰۲-۰۰	۱۳۵۳	۱۳۸۶	۳۳	۱۷۵
۳۷	شاخه چپ آلاسقل - ساروق چای	۳۳-۹۱۲	۳۶-۲۹-۰۰	۴۷-۰۳-۰۰	۱۳۶۹	۱۳۸۸	۲۱	۲۱۰
۳۸	شاخه راست آلاسقل - ساروق چای	۳۳-۹۱۶	۳۶-۲۹-۰۰	۴۷-۰۲-۰۰	۱۳۶۹	۱۳۸۸	۲۱	۲۱۶
۳۹	نظام آباد - زرینه رود	۳۳-۹۱۷	۳۷-۰۳-۰۰	۴۵-۵۶-۰۰	۱۳۶۶	۱۳۸۸	۲۴	۲۶۱
۴۰	سنته - خرخره چای	۳۳-۹۱۹	۳۶-۱۰-۰۰	۴۶-۳۳-۰۰	۱۳۶۵	۱۳۸۸	۲۳	۲۶۱
۴۱	محمود آباد - قوره چای	۳۳-۹۲۱	۳۶-۳۵-۰۰	۴۶-۲۶-۰۰	۱۳۷۱	۱۳۸۸	۱۷	۱۷۲
۴۲	جان آقا - آجرلو	۳۳-۹۲۳	۳۶-۵۷-۰۰	۴۶-۲۸-۰۰	۱۳۶۹	۱۳۸۸	۱۹	۲۰۷
۴۳	چالخماز - قوره چای	۳۳-۹۲۵	۳۶-۵۴-۰۰	۴۶-۱۴-۰۰	۱۳۷۱	۱۳۸۸	۱۷	۹۱
۴۴	پل قشلاق - جیغاتو چای	۳۳-۹۷۳	۳۶-۰۶-۰۰	۴۶-۲۱-۰۰	۱۳۶۶	۱۳۸۸	۲۲	۲۵۷
۴۵	پل بوکان - سیمینه رود	۳۳-۹۸۵	۳۶-۴۷-۰۰	۴۶-۰۴-۰۰	۱۳۸۱	۱۳۸۸	۷	۷۴
۴۶	گوتر - مهاباد چای	۳۴-۰۰۳	۳۶-۴۲-۰۰	۴۵-۳۷-۰۰	۱۳۴۸	۱۳۸۸	۴۰	۵۵۲
۴۷	بیطاس - مهاباد چای	۳۴-۰۰۵	۳۶-۴۱-۰۰	۴۵-۴۲-۰۰	۱۳۴۳	۱۳۸۸	۴۵	۵۲۸
۴۸	گرد یعقوب - مهاباد چای	۳۴-۰۰۹	۳۷-۰۰-۰۰	۴۵-۴۲-۰۰	۱۳۸۱	۱۳۸۸	۷	۸۹
۴۹	پی قلعه - گادار چای	۳۴-۰۱۱	۳۷-۰۰-۰۰	۴۵-۰۲-۰۰	۱۳۵۰	۱۳۸۸	۳۸	۴۵۱
۵۰	اشنویه - گادار چای	۳۴-۰۱۳	۳۷-۰۲-۰۰	۴۵-۰۵-۰۰	۱۳۴۶	۱۳۸۸	۴۲	۳۷۵
۵۱	چپر آباد - کانیرش	۳۴-۰۱۵	۳۶-۰۸-۰۰	۴۵-۰۸-۰۰	۱۳۵۰	۱۳۸۰	۳۸	۴۱۹
۵۲	بالقچی - بالخلو چای	۳۴-۰۱۷	۳۶-۵۶-۰۰	۴۵-۲۲-۰۰	۱۳۵۷	۱۳۸۸	۳۱	۲۳۰
۵۳	نقده - گادار چای	۳۴-۰۱۹	۳۶-۵۸-۰۰	۴۵-۲۳-۰۰	۱۳۴۷	۱۳۸۸	۴۱	۴۹۶
۵۴	پل بهراملو - گادار چای	۳۴-۰۲۱	۳۶-۵۴-۰۰	۴۵-۳۹-۰۰	۱۳۸۰	۱۳۸۸	۸	۵۹
۵۵	پیه جیک	۳۴-۰۲۹	۳۶-۵۹-۰۰	۴۵-۱۶-۰۰	۱۳۵۹	۱۳۸۶	۲۷	۶
۵۶	دورود - شیخان چای	۳۴-۰۴۲	۳۶-۵۷-۰۰	۴۵-۰۱-۰۰	۱۳۶۷	۱۳۸۸	۲۱	۲۳۳
۵۷	صوفیان	۳۴-۰۳۹	۳۶-۵۵-۰۰	۴۵-۰۹-۰۰	۱۳۶۷	۱۳۸۸	۱۸	
۵۸	اشنویه - نهر نلیوان	۳۴-۱۱۳	۳۷-۰۲-۰۰	۴۵-۰۵-۰۰	۱۳۷۴	۱۳۷۶	۲	۱۹
۵۹	محمد شاه - بایرام بلاغی	۳۴-۹۱۲	۳۶-۵۳-۰۰	۴۵-۳۴-۰۰	۱۳۶۷	۱۳۸۸	۲۱	۱۵۳
۶۰	اسلام آباد - چشم دول	۳۴-۹۱۵	۳۷-۰۵-۰۰	۴۵-۱۸-۰۰	۱۳۷۴	۱۳۸۰	۶	۵۹
۶۱	بازید آباد - بالخلو چای	۳۴-۹۱۸	۳۶-۵۳-۰۰	۴۵-۲۰-۰۰	۱۳۶۸	۱۳۸۸	۲۰	۱۶۷
۶۲	قاسملو - بالانچ	۳۵-۰۰۱	۳۷-۲۱-۰۰	۴۵-۰۹-۰۰	۱۳۵۲	۱۳۸۸	۳۶	۳۷۱
۶۳	بی بکران - باراندوز چای	۳۵-۰۰۳	۳۷-۱۷-۰۰	۴۴-۵۴-۰۰	۱۳۵۱	۱۳۸۸	۳۷	۴۵۷

ادامه جدول ۲-۱

ردیف	حوزه - ایستگاه	کد	عرض جغرافیایی ثانیه-دقیقه-درجه	طول جغرافیایی ثانیه-دقیقه-درجه	دوره نمونه برداری		تعداد سال آماري	تعداد نمونه
					از سال	تا سال		
۶۴	دیزج - باراندوزچای	۳۵-۰۰۵	۳۷-۲۳-۰۰	۴۵-۰۴-۰۰	۱۳۴۳	۱۳۸۸	۴۵	۷۷۳
۶۵	بابارود - باراندوزچای	۳۵-۰۰۷	۳۷-۲۴-۰۰	۴۵-۱۴-۰۰	۱۳۷۴	۱۳۸۸	۱۴	۹۵
۶۶	میرآباد - شهرچای	۳۵-۰۰۹	۳۷-۲۶-۰۰	۴۴-۵۲-۰۰	۱۳۵۱	۱۳۸۸	۳۷	۴۳۴
۶۷	بند ارومیه - شهرچای	۳۵-۰۱۱	۳۷-۳۰-۰۰	۴۵-۰۱-۰۰	۱۳۴۳	۱۳۸۸	۴۵	۷۱۵
۶۸	محل سد	۳۵-۰۱۲			۱۳۸۱	۱۳۸۴	۳	۵۲۳
۶۹	کشتیان - شهرچای	۳۵-۰۱۳	۳۷-۳۳-۰۰	۴۵-۱۵-۰۰	۱۳۸۰	۱۳۸۸	۸	۳۸
۷۰	مارمیشو - مارمیشو	۳۵-۰۲۱	۳۷-۳۵-۰۰	۴۴-۳۸-۰۰	۱۳۸۰	۱۳۸۸	۸	۸۵
۷۱	مرزسرو - پردوک	۳۵-۰۲۷	۳۷-۴۳-۰۰	۴۴-۳۸-۰۰	۱۳۴۶	۱۳۸۸	۴۲	۵۳۲
۷۲	تپیک - نازلوچای	۳۵-۰۳۱	۳۷-۴۰-۰۰	۴۴-۵۴-۰۰	۱۳۴۳	۱۳۸۸	۴۵	۶۹۲
۷۳	آباجالوسفلی - نازلوچای	۳۵-۰۳۳	۳۷-۴۳-۰۰	۴۵-۰۸-۰۰	۱۳۸۰	۱۳۸۸	۸	۵۱
۷۴	پل ازبک - روضه چای	۳۵-۰۳۷	۳۷-۳۹-۰۰	۴۵-۱۱-۰۰	۱۳۶۵	۱۳۸۸	۲۳	۲۵۱
۷۵	کلهور - روضه چای	۳۵-۰۳۹	۳۷-۳۶-۰۰	۴۴-۵۳-۰۰	۱۳۴۷	۱۳۸۸	۴۱	۵۲۵
۷۶	کریم آباد - ارزین چای	۳۵-۰۴۵	۳۷-۳۷-۰۰	۴۴-۴۸-۰۰	۱۳۵۸	۱۳۸۸	۳۰	۳۳۸
۷۷	چهریق علیا - زولاچای	۳۶-۰۰۱	۳۸-۰۵-۰۰	۴۴-۳۶-۰۰	۱۳۴۶	۱۳۸۸	۴۲	۶۱۱
۷۸	نظرآباد - دریک چای	۳۶-۰۰۳	۳۸-۱۱-۰۰	۴۴-۳۶-۰۰	۱۳۵۱	۱۳۸۸	۳۷	۴۸۲
۷۹	اوربان - دیرعلی چای	۳۶-۰۰۵	۳۸-۲۰-۰۰	۴۴-۴۴-۰۰	۱۳۴۸	۱۳۸۸	۴۰	۳۶۳
۸۰	تمر - خرخره چای	۳۶-۰۰۹	۳۸-۰۷-۰۰	۴۴-۵۲-۰۰	۱۳۵۱	۱۳۷۷	۲۶	۸۴
۸۱	یالقورآغاج - زولاچای	۳۶-۰۱۱	۳۸-۱۴-۰۰	۴۴-۵۶-۰۰	۱۳۸۲	۱۳۸۸	۶	۳۰
۸۲	اجواج - زولاچای	۳۶-۰۱۳	۳۸-۰۴-۰۰	۴۴-۳۹-۰۰	۱۳۸۰	۱۳۸۸	۸	۱۰۵

جدول ۳-۳- ایستگاه‌های انتخاب شده برای مطالعه در آذربایجان غربی

ردیف	حوزه - ایستگاه	کد	طول جغرافیایی دقیقه-درجه	عرض جغرافیایی دقیقه-درجه	دوره نمونه برداری		تعداد سال آماري	تعداد نمونه
					از سال	تا سال		
۱	دیزج - باراندوزچای	۳۵-۰۰۵	۳۷-۲۳	۴۵-۰۴	۱۳۴۳	۱۳۸۸	۴۵	۷۷۳
۲	ساری قمیش-زربنه رود	۳۳-۰۲۳	۳۶-۲۹	۴۶-۲۹	۱۳۴۳	۱۳۸۸	۴۵	۷۶۹
۳	مراکند - قطورچای	۱۹-۰۴۵	۳۸-۵۲	۴۵-۱۷	۱۳۴۳	۱۳۸۸	۴۵	۱۰۲۵
۴	ماکو - زنگمار	۱۹-۰۱۳	۳۹-۱۸	۴۴-۳۲	۱۳۴۳	۱۳۸۸	۴۵	۱۷۷۴
۵	تپیک - نازلوچای	۳۵-۰۳۱	۳۷-۴۰	۴۴-۵۴	۱۳۴۳	۱۳۸۸	۴۵	۶۹۲



شکل ۲-۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان آذربایجان غربی

۲-۲- تجزیه تحلیل داده ها و نمونه گیری از آنها

نمونه های رسوب ایستگاه های انتخابی از نظر وجود داده های مشکوک و یا داده های تکراری، مورد بررسی قرار گرفت و داده های مشکوک یا تکراری از سری آماری اولیه حذف گردید. در ضمن نمونه هایی که دبی رسوب آنها صفر بود حذف شدند. تصادفی بودن آمار دبی جریان روزانه نیز بر اساس روش ران تست در نرم افزار SPSS مورد آزمون قرار گرفت و بر همین اساس آمار دبی جریان روزانه ایستگاه های انتخابی تصادفی (فاقد روند) هستند. ۲۰ درصد از جامعه آماری نمونه های رسوب اصلاح شده ایستگاه های انتخابی و با نرم افزار SPSS و به صورت تصادفی نمونه گیری شده و برای ارزیابی روش های برون یابی کنار گذاشته شد. از ۸۰ درصد باقیمانده داده های رسوب برای بدست آوردن معادلات روش های برون یابی انتخابی استفاده شد. معمولاً در مطالعات هیدرولوژی حدود دوسوم داده ها برای

واسنجی و یک سوم داده ها برای اعتبارسنجی در نظر می گیرند، ولی در این تحقیق از آنجا که تعداد داده های نمونه برداری شده برای رسوب کم بوده بنابراین از ۸۰ درصد داده ها برای واسنجی و ۲۰ درصد داده ها برای اعتبارسنجی استفاده شد.

۲-۸-۱ روش های انتخاب شده برای برآورد بار معلق

روش های برون یابی معروف از نظر انواع منحنی سنج رسوب که در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفتند عبارتند از:

۲-۸-۱-۱ منحنی سنج رسوب معمولی (یک خطی)

در این روش معمولاً داده های غلظت یا دبی رسوب و دبی جریان متناظر آنها به یک محور مختصات دو لگاریتمی منتقل شده و بهترین خط برازش با استفاده از روش حداقل مربعات خطا از میان این نقاط عبور داده می شود. این روش قدیمی ترین روش بوده و روشهای بعدی برای اصلاح آن ارائه شده اند. در این مورد تنها یک معادله به صورت $Q_s = aQ_w^b$ وجود خواهد دارد.

۲-۸-۱-۲ منحنی سنج رسوب دو خطی (برازش دو خط رگرسیونی)

اگر شرایط داده ها و پراکنش نقاط در منحنی سنج رسوب اجازه دهد می توان به جای یک خط رگرسیونی، دو خط رگرسیونی را از بین ابر نقاط داده ها برازش داد. بنابراین در این حالت بیش از یک معادله توانی برای منحنی سنج رسوب بدست می آید. در این روش ابتدا منحنی تجمعی داده های دبی رسوب نسبت به مقادیر دبی جریان در یک دستگاه مختصات جفت لگاریتمی ترسیم میشود، سپس مقدار دبی جریان در نقطه تغییر شیب ناگهانی و زیاد منحنی تجمعی بعنوان مبنا یا حدس اولیه برای تفکیک سری داده ها (ابر نقاط) استفاده میشود. برای دستیابی به مقدار دبی جریان بهینه تفکیک کننده داده ها، به صورت آزمون و خطا مقادیر مختلف دبی جریان در اطراف مقدار اولیه نیز مورد آزمون قرار گرفته و در نهایت بهترین جواب (دبی جریان) برای تفکیک بهینه سری اولیه داده ها مشخص میشود. در مرحله بعد، باید برای هر سری از داده ها یک خط رگرسیونی را (با بالاترین مقدار ضریب همبستگی) طوری برازش داد که دو خط رگرسیونی در مقدار بهینه دبی جریان (مبنای نهایی تفکیک داده ها) به هم برسند.

۲-۸-۳ روش حد وسط دسته ها

در این روش که برای اولین بار توسط Jansson (۱۹۹۶) پیشنهاد شده است، دبی های جریان با یک نمو معین به تعدادی دسته تقسیم شده و برای دبی متوسط هر دسته، بار معلق متوسط اندازه گیری شده

همان دسته تعیین می‌شود و منحنی سنجه رسوب با استفاده از آنها بدست می‌آید. Iadanza و Napolitano (۲۰۰۶) نیز این روش را به کار برده است.

۲-۸-۴- منحنی‌های سنجه رسوب حاصل از ضرایب اصلاح تبدیل لگاریتمی

معمولاً برای تعیین ضرایب منحنی سنجه رسوب (a و b) از مدل رگرسیون خطی یا رگرسیون تبدیل لگاریتمی استفاده می‌شود. ولی چون تعیین ضرایب a و b با استفاده از این مدل مستلزم تبدیل لگاریتمی است، لذا این تبدیل خطای منفی در برآورد بار معلق ایجاد می‌کند به طوری که مقدار رسوب برآوردی از این رابطه در واقع میانگین هندسی کلیه نمونه‌های واقع در یک دبی جریان مشخصی را می‌دهد که این مقدار کمتر از مقدار واقعی یعنی میانگین حسابی خواهد بود (برای مطالعه بیشتر در این زمینه به Ferguson (۱۹۸۶) و Koch و Smillie (۱۹۸۶) مراجعه شود). گفتنی است که برای اصلاح این خطا محققین مختلف ضرایب اصلاحی ارائه کرده‌اند که مهمترین آنها به شرح زیر هستند:

۲-۸-۴-۱- ضریب فائو (FAO)

این ضریب توسط Jones و همکاران (۱۹۸۱) پیشنهاد شده است. از آنجا که برای برآورد ضرایب منحنی سنجه رسوب بجای اعداد حقیقی از لگاریتم اعداد استفاده می‌شود پراکنش داده‌ها حول خط بهترین برازش متقارن نبوده و فاصله حد اطمینان بالایی با خطوط رگرسیون بیشتر از حد اطمینان زیرین است. این مسئله باعث می‌شود دبی رسوب معلق برآوردی برای دبی جریان آب به مقادیر حداقل مشاهده‌ای نزدیکتر باشد. از طرفی با جایگذاری متوسط دبی جریان مشاهده شده در طول دوره آماری ($\bar{Q}_w$) در رابطه منحنی سنجه رسوب، متوسط بار معلق مشاهده شده در طول این دوره ($\bar{Q}_s$) بدست نخواهد آمد. این حالت بخصوص در نواحی خشک و نیمه خشک که پراکندگی داده‌ها زیاد است بیشتر به چشم می‌خورد. بر این اساس به جای ضریب a در منحنی سنجه رسوب از ضریب a' استفاده می‌شود که به ضریب فائو معروف بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$a' = \frac{\bar{Q}_s}{\bar{Q}_w} \quad (۲-۲)$$

که در آن، a' : ضریب فائو، $\bar{Q}_s$: متوسط بار معلق مشاهده شده در طول دوره آماری، $\bar{Q}_w$: متوسط دبی جریان مشاهده شده در طول دوره آماری و b: توان رابطه منحنی سنجه رسوب معمولی است.

۲-۴-۸-۲- ضریب پارامتری (CF_۱)^۱

Fergusson (۱۹۸۶) علت عمده برآورد کمتر روشهای منحنی سنج رسوب را خطای تبدیل لگاریتمی بیان کرده و با فرض توزیع نرمال نمونه‌های رسوب اندازه‌گیری شده، ضریب اصلاحی برای حذف این خطای آماری پیشنهاد کرده‌است که به ضریب پارامتری (CF_۱) معروف است. مقدار این ضریب برابر است با:

$$CF_1 = e^{2/65 S^2} = 1.1513 S^2 \quad (3-2)$$

در این رابطه S اشتباه استاندارد برآورد منحنی سنج رسوب در لگاریتم پایه ۱۰ و برابر است با:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\log c_i - \hat{\log} c_i)^2}{n-2} = \frac{\sum_{i=1}^n (\log Q_{si} - \hat{\log} Q_{si})^2}{n-2} \quad (4-2)$$

که در آن، n: تعداد نمونه‌های غلظت رسوب، $\hat{\log} c_i$: مقدار برآورد غلظت c_i است و $\hat{\log} Q_{si}$: مقدار برآورد نمونه دبی رسوب مشاهده‌ای Q_{si} است.

۲-۴-۸-۳- ضریب اصلاحی غیر پارامتری (CF_۲)^۲

Koch و Smillie (۱۹۸۶) با رد فرض توزیع نرمال نمونه‌های رسوب اندازه‌گیری شده، ضریب اصلاحی غیر پارامتری را که توسط Duan (۱۹۸۳) ارائه شده‌بود برای حذف خطای آماری ناشی از تبدیل لگاریتمی منحنی سنج رسوب به شرح زیر پیشنهاد کرده‌اند:

$$CF_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\varepsilon_i} \quad (5-2)$$

که در آن، n: تعداد نمونه‌های غلظت رسوب است و ε_i : از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\varepsilon_i = \log c_i - \hat{\log} c_i = \log Q_{si} - \hat{\log} Q_{si} \quad (6-2)$$

۲-۹- معیارهای مقایسه روش‌ها

کارایی روش‌های انتخابی با استفاده از ۲۰ درصد دیگر داده‌های رسوب ارزیابی شده و مناسب‌ترین روش یا روش‌ها معرفی شدند. در این مرحله بار معلق روزانه برای ۲۰ درصد داده‌هایی که به طور تصادفی

^۱ - Parametric factor coefficient

^۲ - Nonparametric factor coefficient

انتخاب و کنار گذاشته شده بود به روش های یاد شده برآورد شده و سپس با بکار گیری معیارهای میانگین قدر مطلق خطاها^۱ (MAE) ، ریشه دوم میانگین مربع خطا^۲ (RMSE) و ضریب کارایی روش-ها^۳ (ME) کارایی روش های انتخابی بررسی شد. RMSE قابلیت انطباق مقادیر بالای رسوب را اندازه گیری می کند در حالی که MAE دورنمای متعادل تری از قابلیت انطباق رسوب های متوسط دارد. RMSE که به اختصار جذر میانگین مربعات خطا نامیده می شود بیانگر میزان اختلاف مقادیر تخمینی با اطلاعات اندازه گیری شده می باشد هر چه مقدار این پارامتر کمتر باشد نشان دهنده دقت بالای مدل در تخمین مقادیر مورد نظر است و مقادیر تخمینی مطابقت بیشتری بر اطلاعات اندازه گیری شده دارند. RMSE برابر با صفر، مترادف با انطباق صد درصدی اطلاعات تخمینی بر اندازه گیری شده است. ضریب کارایی (NSE) توسط Nash و Sutcliffe (۱۹۷۰) ارایه شده است:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{si} - \hat{Q}_{si}|}{n} \quad (۷-۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - \hat{Q}_{si})^2}{n}} \quad (۸-۲)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (Q_{si} - \hat{Q}_{si})^2}{\sum_{i=1}^m (Q_{si} - \bar{Q}_{si})^2} \quad (۹-۲)$$

که در آنها،

n؛ تعداد داده ها (تعداد بارهای معلق مشاهده ای یا اندازه گیری شده)،

$\hat{Q}_{si}$ ؛ مقدار برآوردی بار معلق برای داده iام،

Q_{si} ؛ مقدار مشاهده ای بار معلق برای داده iام،

$\bar{Q}_{si}$ ؛ میانگین مقادیر اندازه گیری شده بارهای معلق.

هر چه ضریب NS به یک نزدیکتر باشد کارایی روش بهتر خواهد بود. عدد صفر برای ضریب یاد شده به این معنی است که روش مورد استفاده، برآوردی بهتر از میانگین مشاهدات ندارد.

¹ - Mean Absolute Error

² - Root Mean Squared Error

³ - Model efficiency

فصل سوم: نتایج

۳-۱- نتایج

با توجه به اینکه انتخاب مناسبترین روش برون یابی برآورد بار معلق بستگی به عواملی نظیر تعداد نمونه (Phillips و همکاران، ۱۹۹۹ و عرب خدیری و همکاران، ۱۳۸۲)، اندازه مساحت حوضه‌ها (Walling، ۱۹۹۴ و Horowitz، ۲۰۰۳) و طول دوره آماری (Littlewood و همکاران، ۱۹۹۸ و Day، ۱۹۸۸) دارد. بنابراین با توجه به جدول (۱-۲)، ایستگاه‌های ماکو (حوضه زنگمار)، مراکند (حوضه قطورچای)، دیزج (حوضه باراندوز چای)، ساری قمیش (حوضه زرینه رود) و تپیک (حوضه نازلوچای) که بیشترین تعداد نمونه را در استان داشته و طول دوره آماری در آنها بیش از ۴۰ سال است و ضمناً تنوع مساحت (از ۶۱۸ تا ۹۱۰۰ کیلومتر مربع) نیز بوده لذا پنج ایستگاه یاد شده به علت داشتن شرایط لازم انتخاب شدند. همان طور که گفته شد نمونه‌های رسوب پنج ایستگاه یاد شده از نظر وجود نمونه‌های پرت و غیر معمول و تکراری بودن آنها بررسی شده و نسبت به اصلاح یا حذف نمونه‌های پرت و غیر معمول و حذف نمونه‌های تکراری اقدام شد. در ضمن نمونه‌هایی که دبی رسوب آنها صفر بود حذف شدند. در زیر نتایج تحقیق به تفکیک ایستگاه‌های انتخابی طبق بند ۵ روش تحقیق برای ۸۰ درصد داده‌ها ارایه شده است.

۳-۲- ایستگاه ماکو (حوضه زنگمار - ایستگاه ماکو)

آماره‌های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب ایستگاه ماکو برای ۶۰۲ نمونه در دوره آماری ۴۵ سال (۱۳۸۸-۱۳۴۳) در جدول (۱-۳) مشاهده می‌شود. مثلاً طبق این جدول میانگین‌های دبی رسوب و دبی جریان به ترتیب ۶۵۸/۶۹ تن در روز و ۹/۶ مترمکعب در ثانیه، حداقل و حداکثر دبی رسوب به ترتیب برابر با ۰/۲۰۷ و ۲۳۱۳۳/۱۲ تن در روز و حداقل و حداکثر دبی جریان به ترتیب مساوی با ۰/۳۱۸ و ۹۴/۹ مترمکعب در ثانیه می‌باشند.

جدول ۳-۱- آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب حوضه زنگمار - ایستگاه ماکو

دبی رسوب (تن در روز)	دبی جریان (مترمکعب در ثانیه)	
۶۵۸/۶۹	۹/۶	میانگین
۳۵/۹	۵/۳	میانه
۲۶۳۹/۵۹	۱۲/۲۶	انحراف معیار
۵۲/۴۱	۱۱/۲۶	کشیدگی
۷/۰۲	۲/۹	چولگی
۰/۲۰۷	۰/۳۱۸	حداقل
۲۳۱۳۳/۱۲	۹۴/۹	حداکثر

رابطه منحنی سنجه رسوب یک خطی در ایستگاه یاد شده برای ۸۰ درصد نمونه های رسوب به صورت زیر بدست آمد:

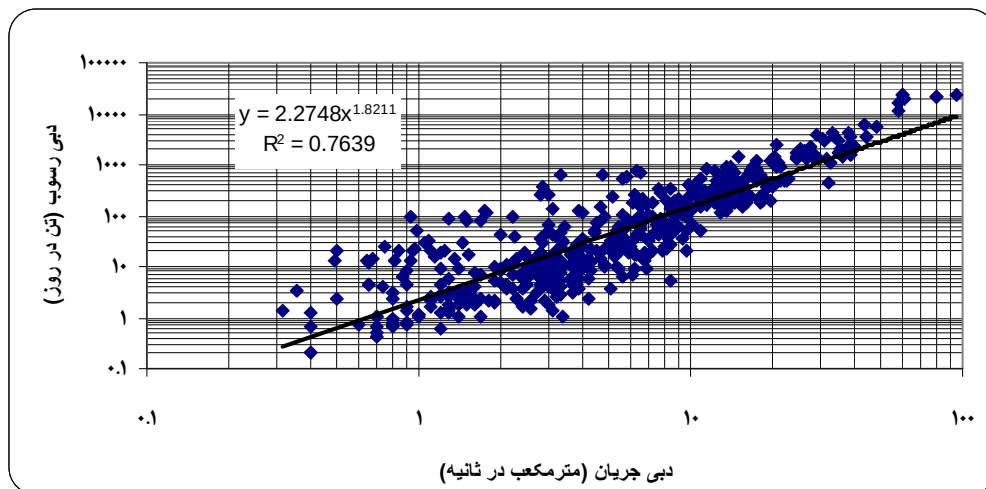
$$Q_s = 2/2748 Q_w^{1/8211} \quad (1-3)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله یاد شده برابر با ۰/۷۶۳۹ است. منحنی سنجه رسوب برای ایستگاه ماکو در شکل (۱-۳) مشاهده می شود. همانطوری که گفته شد اگر شرایط نقاط و پراکنش داده ها اجازه بدهد می توان به جای یک خط چند خط از بین نقاط برازش داد اما پراکنش نقاط در منحنی سنجه رسوب برای ایستگاه ماکو (شکل ۱-۳) نشانگر این است که نمی توان دو خط رگرسیونی با ضریب همبستگی بالا را از بین نقاط برازش داد. همانطور که در شکل دیده میشود برای دبی های جریان کوچکتر از ۳/۷ مترمکعب ضریب تعیین ۰/۱۵ خیلی پایین می باشد. در روش دوخطی، انتخاب بهینه دبی جریان برای تفکیک داده ها براساس مفهوم تغییر شیب منحنی تجمعی دبی رسوب نسبت به دبی جریان میباشد (به بخش ۲-۸- مراجعه شود). منحنی های تجمعی دبی رسوب نسبت به دبی جریان برای انتخاب مقدار دبی جریان برای تفکیک داده ها قبل از برازش دو خط رگرسیونی برای ایستگاهها در پیوست گزارش ارائه شده است. معادلات دو خط رگرسیونی برازش یافته برای دو سری از نقاط تفکیک شده به صورت زیر هستند:

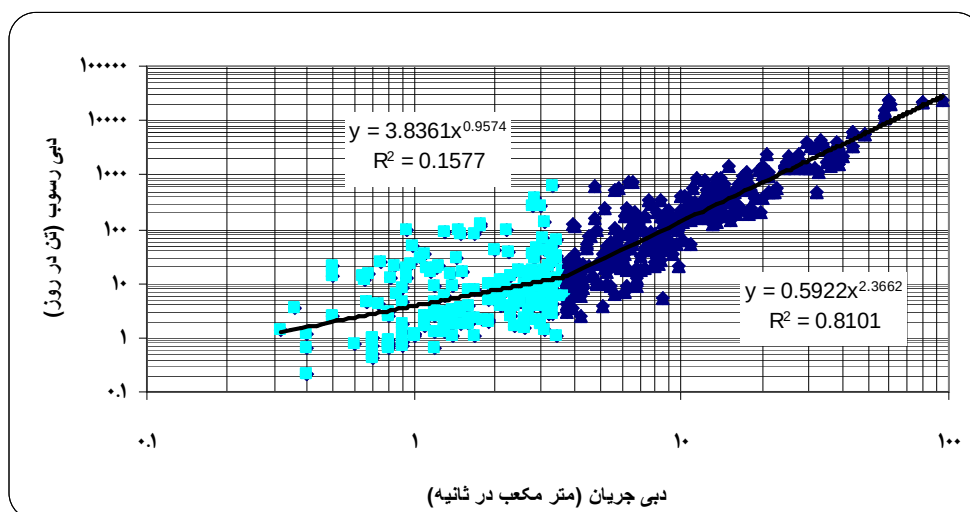
$$Q_s = 0/5992 Q_w^{0/9574} \quad Q_w > 3/7 \quad (2-3)$$

$$Q_s = 3/8361 Q_w^{2/3662} \quad Q_w > 3/7 \quad (3-3)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله های (۲-۳) و (۳-۳) به ترتیب برابر با ۰/۸۱۰۱ و ۰/۱۵۷۷ می باشند.



شکل ۳-۱- منحنی سنج رسوب یک خطی حوضه زنگمار - ایستگاه ماکو

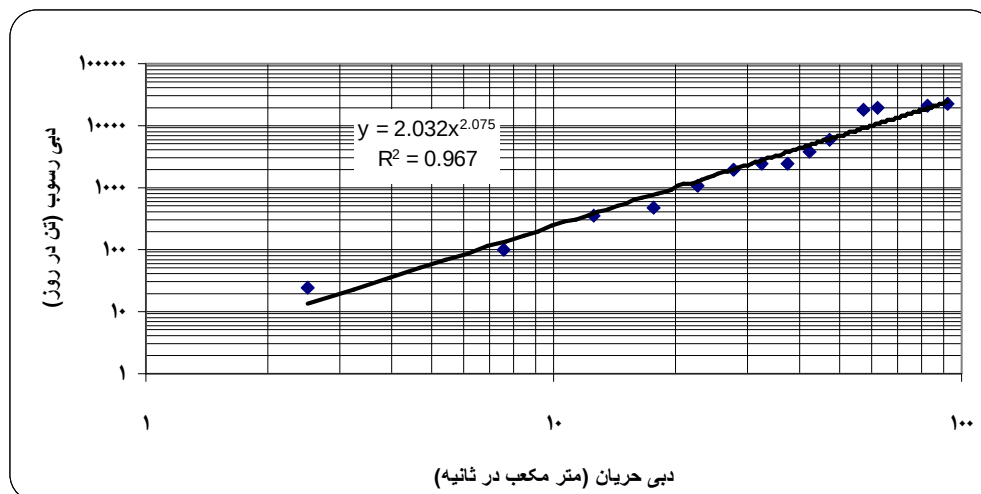


شکل ۳-۲- منحنی سنج رسوب دو خطی حوضه زنگمار - ایستگاه ماکو

همان طور که گفته شد در روش منحنی سنج حد وسط دسته ها، مناسبترین تعداد دسته (تعداد نقاط در منحنی) مابین ۱۵ تا ۲۵ است. با انتخاب فاصله دسته برابر با ۵ متر مکعب بر ثانیه، ۱۴ نقطه بدست آمد که در شکل (۳-۳) مشاهده می شود. معادله خط عبوری از بین ۲۱ نقطه یاد شده در زیر مشاهده می شود:

$$Q_s = 2/0.32 Q_w^{2/0.75} \quad (4-3)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله یاد شده برابر با ۰/۹۶۷ است.



شکل ۳-۳- منحنی سنج رسوب حد وسط دسته ها در حوضه زنگمار - ایستگاه ماکو

ضرایب فائو، پارامتری (CF_1) و غیر پارامتری (CF_1) برای ایستگاه ماکو به ترتیب برابر با ۱۰/۷۰، ۱/۹۵ و ۲/۲۳ بدست آمدند.

۳-۳- ایستگاه مراکند (حوضه قطور چای - ایستگاه مراکند)

جدول (۲-۳)، آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب ایستگاه مراکند برای ۵۰۸ نمونه در دوره آماری ۴۵ سال (۱۳۸۸-۱۳۴۳) را نشان می دهد. مثلاً طبق این جدول میانگین های دبی رسوب و دبی جریان به ترتیب ۱۱۱۶/۱۹ تن در روز و ۹/۶۹ مترمکعب در ثانیه، حداقل و حداکثر دبی رسوب به ترتیب برابر با ۰/۰۵۶ و ۴۷۴۳۶/۳۶ تن در روز و حداقل و حداکثر دبی جریان به ترتیب مساوی با ۰/۰۱۷ و ۷۷/۲ مترمکعب در ثانیه می باشند.

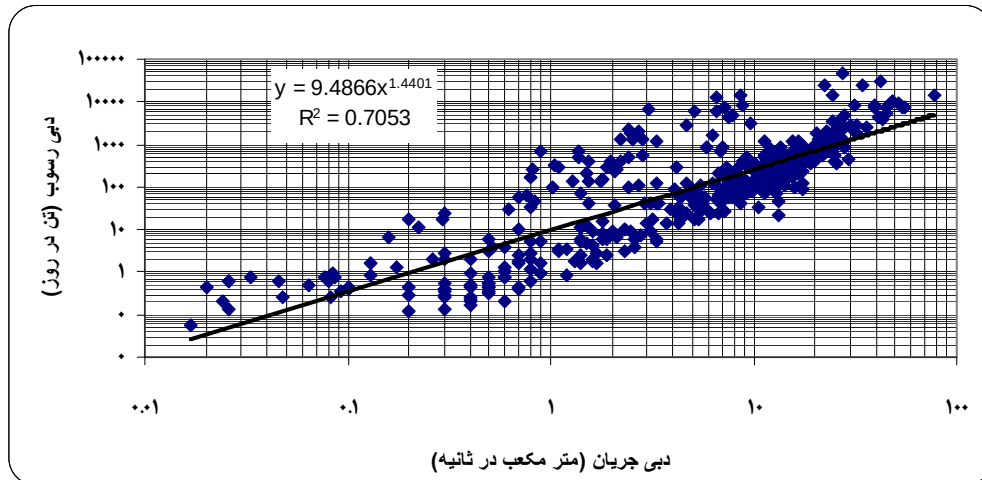
جدول ۲-۳- آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب حوضه قطور چای - ایستگاه مراکند

	دبی رسوب (تن در روز)	دبی جریان (مترمکعب در ثانیه)
میانگین	۱۱۱۶/۱۹	۹/۶۹
میانه	۱۲۱/۷	۶/۶۱
انحراف معیار	۳۸۴۲/۸۲	۱۰/۹۲
کشیدگی	۶۸/۵۵	۵/۶۵
چولگی	۷/۳۳	۱/۹۷
حداقل	۰/۰۵۶	۰/۰۱۷
حداکثر	۴۷۴۳۶/۳۶	۷۷/۲

منحنی سنجه رسوب برای ایستگاه مراکند برای ۸۰ درصد نمونه‌های رسوب در شکل (۳-۴) مشاهده می‌شود. رابطه منحنی سنجه رسوب یک خطی در ایستگاه یاد شده به صورت زیر بدست آمد:

$$Q_s = 9/4866 Q_w^{1/4401} \quad (5-3)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله یاد شده برابر با ۰/۷۰۵۳ است.



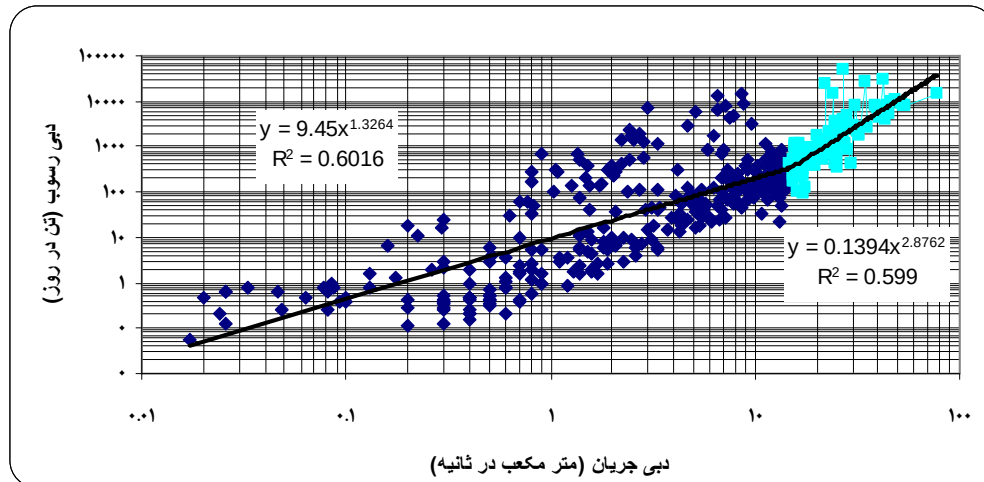
شکل ۳-۴- منحنی سنجه رسوب یک خطی حوضه قطور چای - ایستگاه مراکند

وضعیت پراکنش نقاط در منحنی سنجه رسوب برای ایستگاه مراکند (شکل ۳-۴) بیانگر این است که می‌توان تقریباً دو خط از بین نقاط رد داد. لذا برای دبی‌های جریان کوچکتر ۱۶ مترمکعب یک خط و برای دبی‌های بزرگتر یک خط دیگر رد شد (شکل ۳-۵). معادلات رگرسیونی دو خط به صورت زیر هستند:

$$Q_s = 0/1394 Q_w^{2/8762} \quad Q_w > 16 \quad (6-3)$$

$$Q_s = 9/45 Q_w^{1/3264} \quad Q_w \leq 16 \quad (7-3)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله‌های (۳-۶) و (۳-۷) به ترتیب برابر با ۰/۵۹۹ و ۰/۶۰۱۶ می‌باشند.

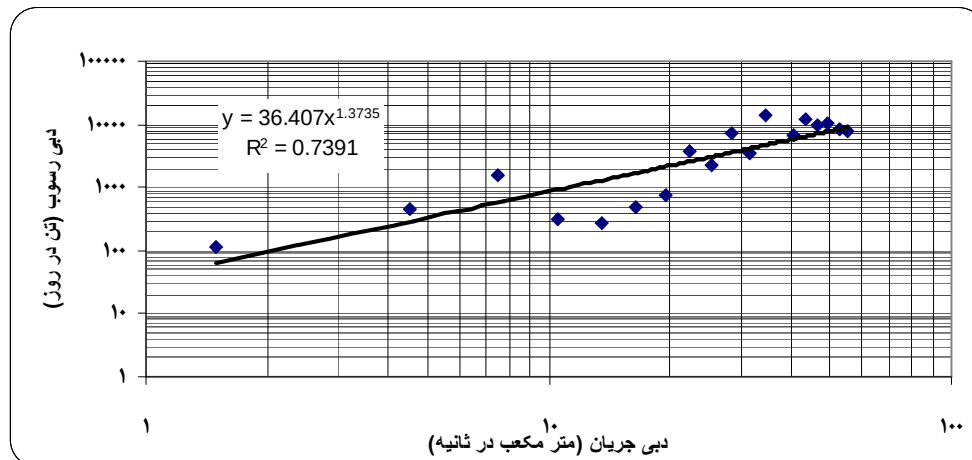


شکل ۳-۵- منحنی سنج رسوب دو خطی حوضه قطور چای - ایستگاه مراکند

با انتخاب فاصله دسته برابر با ۳ متر مکعب بر ثانیه، ۱۹ نقطه بدست آمد که در شکل (۳-۶) مشاهده می شود. معادله خط عبوری از بین نقاط یاد شده برای ایستگاه مراکند در زیر مشاهده می شود:

$$Q_s = 36 / 40.7 Q_w^{1/3.735} \quad (3-8)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله یاد شده برابر با ۰/۷۳۹۱ است.



شکل ۳-۶- منحنی سنج رسوب حد وسط دسته ها در حوضه قطور چای - ایستگاه مراکند

ضرایب فائو، پارامتری (CF_1) و غیر پارامتری (CF_2) برای ایستگاه مراکند به ترتیب برابر با ۴/۸۷، ۳/۵۸ و ۴/۸۷ بدست آمدند.

۳-۴- ایستگاه دیزج (حوضه باراندوز چای - ایستگاه دیزج)

آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب ایستگاه دیزج برای ۵۲۰ نمونه در دوره آماری ۴۵ سال (۱۳۸۸-۱۳۴۳) در جدول (۳-۴) آورده شده است. به طور مثال براساس این جدول میانگین های دبی رسوب و دبی جریان به ترتیب ۶۵/۱۸ تن در روز و ۱۰/۴۸ مترمکعب در ثانیه، حداقل و حداکثر دبی رسوب به ترتیب برابر با ۰/۰۳۵ و ۱۹۹۸/۶ تن در روز و حداقل و حداکثر دبی جریان به ترتیب مساوی با ۰/۰۹۲ و ۶۰/۱ مترمکعب در ثانیه می باشند.

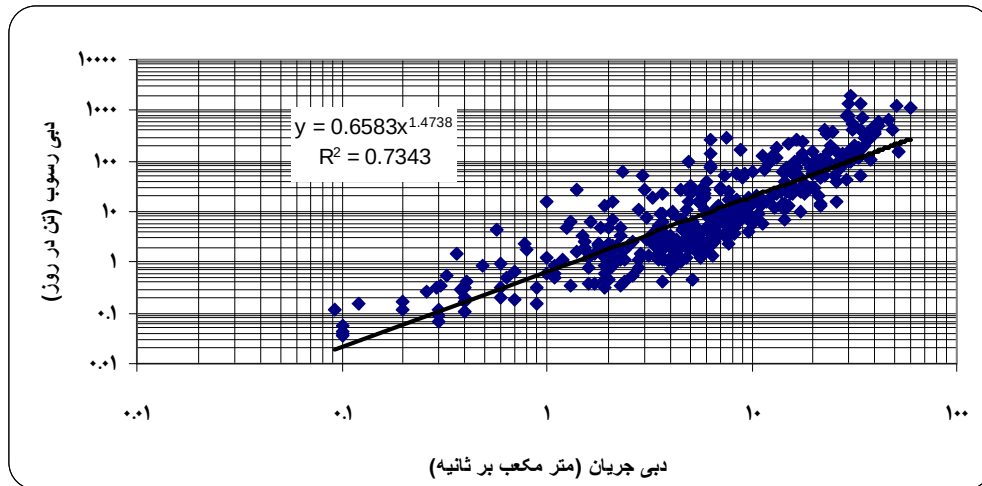
جدول ۳-۳- آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب حوضه باراندوز چای- ایستگاه دیزج

	دبی رسوب (تن در روز)	دبی جریان (مترمکعب در ثانیه)
میانگین	۶۵/۱۸	۱۰/۴۸
میانه	۶/۹	۶/۱۷
انحراف معیار	۱۹۰/۰۷	۱۰/۷۴
کشیدگی	۴۰/۵۲	۲/۴۵
چولگی	۵/۶۷	۱/۶۲
حداقل	۰/۰۳۵	۰/۰۹۲
حداکثر	۱۹۹۸/۶	۶۰/۱

شکل (۳-۷) منحنی سنج رسوب برای ۸۰ درصد نمونه های رسوب را در ایستگاه دیزج نشان می دهد. رابطه منحنی سنج رسوب یک خطی در ایستگاه یاد شده به صورت زیر بدست آمد:

$$Q_s = ۰/۶۵۸۳ Q_w^{۱/۰.۴۷۳۸} \quad (۳-۹)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله یاد شده برابر با ۰/۷۳۴۳ است.



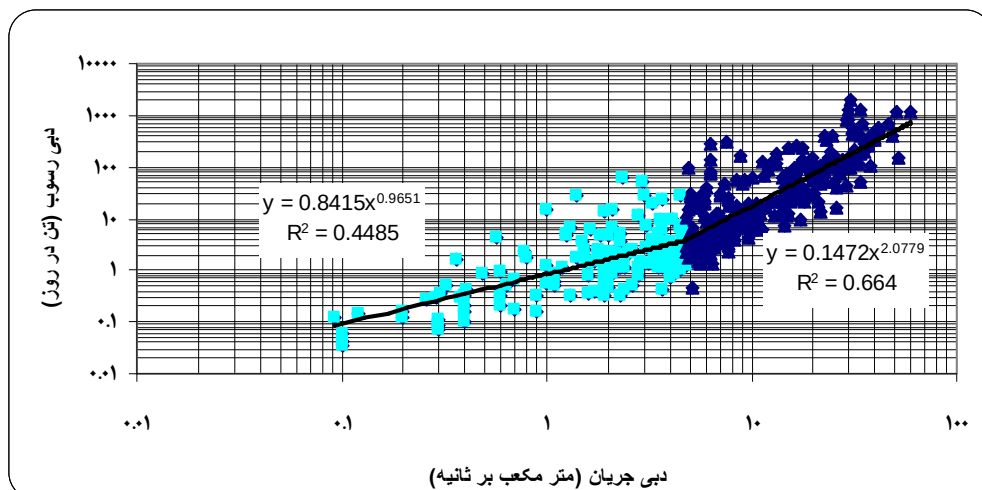
شکل ۳-۷- منحنی سنج رسوب یک خطی حوضه باراندوز چای- ایستگاه دیزج

با توجه به وضعیت پراکنش نقاط در منحنی سنج رسوب ایستگاه دیزج (شکل ۳-۷) می توان دو خط از بین نقاط رد داد. با تجزیه و تحلیل آماری به این نتیجه رسیدیم که می توان برای دبی های جریان کوچکتر از ۴/۹ مترمکعب یک خط و برای دبی های بزرگتر یک خط دیگر عبور داد (شکل ۳-۸). لذا معادلات رگرسیونی دو خط به صورت زیر بدست آمد:

$$Q_s = 0.1472 Q_w^{2.0779} \quad Q_w > 4/9 \quad (10-3)$$

$$Q_s = 0.8415 Q_w^{0.9651} \quad Q_w \leq 4/9 \quad (11-3)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله های (۱۰-۳) و (۱۱-۳) به ترتیب برابر با ۰/۶۶۴ و ۰/۴۴۸۵ می باشند.



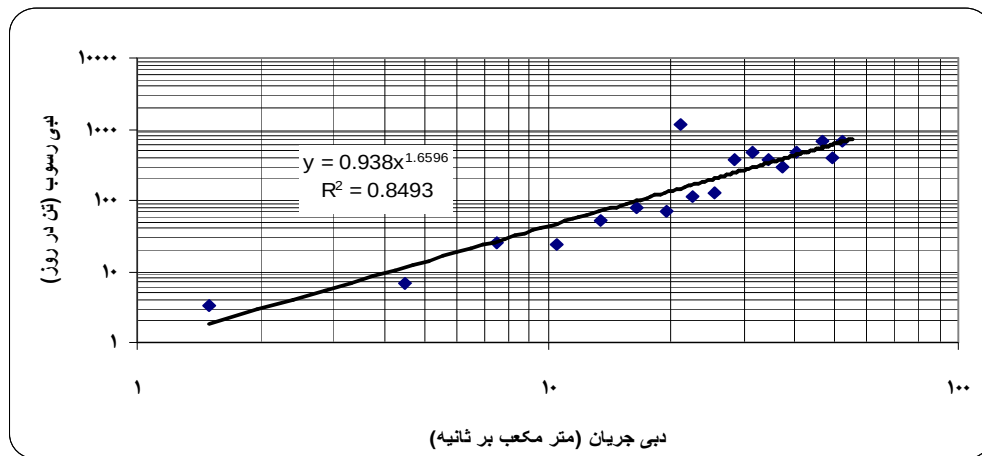
شکل ۳-۸- منحنی سنج رسوب دوخطی حوضه باراندوز چای- ایستگاه دیزج

به منظور بدست آوردن معادله منحنی سنجه حد وسط دسته ها برای ایستگاه دیزج، فاصله دسته ها، ۳ متر مکعب بر ثانیه انتخاب شد و بدینوسیله ۱۸ نقطه بدست آمد. منحنی سنجه یاد شده در شکل (۳-۹) مشاهده می شود. معادله خط عبوری از بین نقاط یاد شده در زیر مشاهده می شود:

$$Q_s = 0.938 Q_w^{1/6596} \quad (3-12)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله یاد شده برابر با ۰/۸۴۹۳ است.

ضرایب فائو، پارامتری (CF_1) و غیر پارامتری (CF_2) برای ایستگاه دیزج به ترتیب برابر با ۲/۱۳، ۱/۸۵ و ۲/۰۳ بدست آمدند.



شکل ۳-۹- منحنی سنجه رسوب حد وسط دسته ها حوضه باراندوز چای - ایستگاه دیزج

۳-۵- ایستگاه ساری قمیش (حوضه زرینه رود - ایستگاه ساری قمیش)

آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب ایستگاه ساری قمیش برای ۶۴۱ نمونه در دوره آماری ۴۵ سال (۱۳۸۸-۱۳۴۳) در جدول (۳-۴) مشاهده می شود. به طور مثال براساس این جدول میانگین های دبی رسوب و دبی جریان به ترتیب ۵۰۸۳/۴۹ تن در روز و ۱۳۹/۹۶ مترمکعب در ثانیه، حداکثر دبی رسوب به ترتیب برابر با ۰/۲۰۷ و ۱۶۲۴۷۹/۵۲ تن در روز و حداقل و حداکثر دبی جریان به ترتیب مساوی با ۰/۸ و ۸۱۰ مترمکعب در ثانیه می باشند.

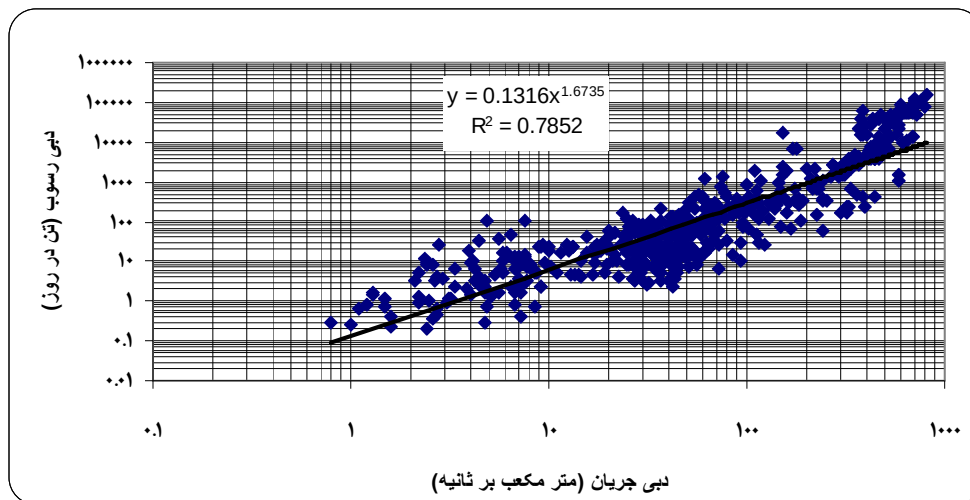
جدول ۳-۴- آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب حوضه زرينه رود - ایستگاه ساری قمیش

دبی رسوب (تن در روز)	دبی جریان (مترمکعب در ثانیه)	
۵۰۸۳/۴۹	۱۳۹/۹۶	میانگین
۵۳/۶۷	۲/۲۰	میانه
۵۲/۲۳	۴۷	انحراف معیار
۲۹/۲۹	۱/۶۵	کشیدگی
۴/۹۲	۱/۶۴	چولگی
۰/۲۰۷	۰/۸	حداقل
۱۶۲۴۷۹/۵۲	۸۱۰	حداکثر

رابطه منحنی سنجه رسوب یک خطی در ایستگاه ساری قمیش برای ۸۰ درصد نمونه های رسوب به صورت زیر بدست آمد:

$$Q_s = 0.1316 Q_w^{1.6735} \quad (3-13)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله یاد شده برابر با ۰/۷۸۵۲ است. منحنی سنجه رسوب برای ایستگاه یاد شده در شکل (۱۰) مشاهده می شود.



شکل ۳-۱۰- منحنی سنجه رسوب یک خطی حوضه زرينه رود- ایستگاه ساری قمیش

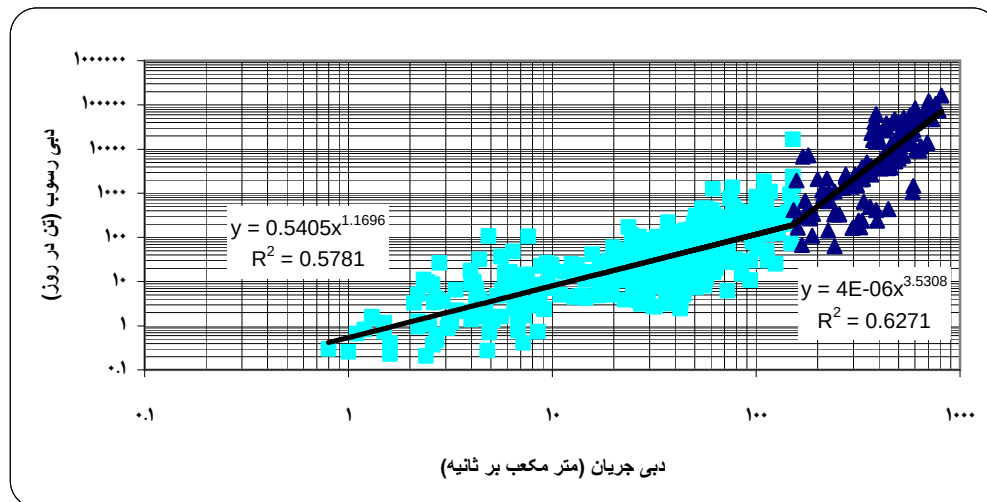
پراکنش نقاط در منحنی سنجه رسوب برای ایستگاه ساری قمیش (شکل ۳-۱۰) نشانگر این است که می توان دو خط از بین نقاط رد داد. لذا برای دبی های جریان کوچکتر از ۱۵۰/۱ مترمکعب بر ثانیه یک و

برای دبی های بزرگتری خط دیگری رد شد (شکل ۳-۱۱). معادلات رگرسیونی دو خط به صورت زیر بدست آمدند:

$$Q_s = 0.000004 Q_w^{3.5308} \quad Q_w > 150/1 \quad (3-14)$$

$$Q_s = 0.5405 Q_w^{1.1696} \quad Q_w < 150/1 \quad (3-15)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله های (۳-۱۴) و (۳-۱۵) به ترتیب برابر با ۰/۶۲۷۱ و ۰/۵۷۸۱ می باشند.

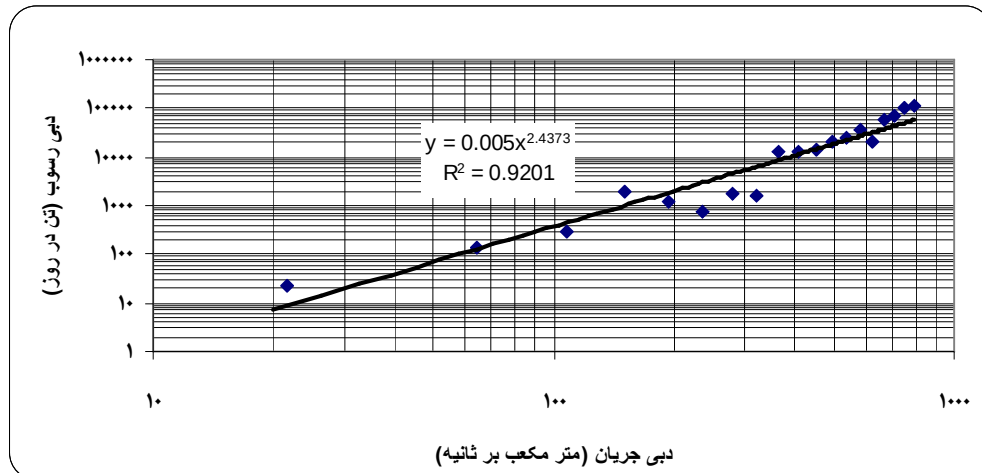


شکل ۳-۱۱- منحنی سنج رسوب دو خطی حوضه زرينه رود- ایستگاه ساری قمیش

به منظور بدست آوردن معادله منحنی سنج حد وسط دسته ها برای ایستگاه ساری قمیش، فاصله دسته ها، ۴۳ متر مکعب بر ثانیه انتخاب شد و بدینوسیله ۱۹ نقطه بدست آمد. منحنی سنج یاد شده در شکل (۳-۱۲) مشاهده می شود. معادله خط عبوری از بین نقاط یاد شده در زیر مشاهده می شود:

$$Q_s = 55/08 Q_w^{1/6426} \quad (3-16)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله یاد شده برابر با ۰/۹۲۸۴ است.



شکل ۳-۱۲- منحنی سنج رسوب حد وسط دسته ها حوضه زرينه رود- ايستگاه ساري قميش

ضرايب فائو، پارامتری (CF_1) و غير پارامتری (CF_2) برای ایستگاه ساری قمش به ترتیب برابر با $1/30$ ، $2/61$ و $2/55$ بدست آمدند.

۳-۶- ایستگاه تپیک (حوضه نازلوچای - ایستگاه تپیک)

آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب ایستگاه تپیک برای 503 نمونه در دوره آماری 45 سال ($1388-1343$) در جدول (۳-۵) مشاهده می شود. به طور مثال براساس این جدول میانگین های دبی رسوب و دبی جریان به ترتیب $859/97$ تن در روز و $21/50$ مترمکعب در ثانیه، حداقل و حداکثر دبی رسوب به ترتیب برابر با $0/057$ و $46797/98$ تن در روز و حداقل و حداکثر دبی جریان به ترتیب مساوی با $0/2$ و 250 مترمکعب در ثانیه می باشند.

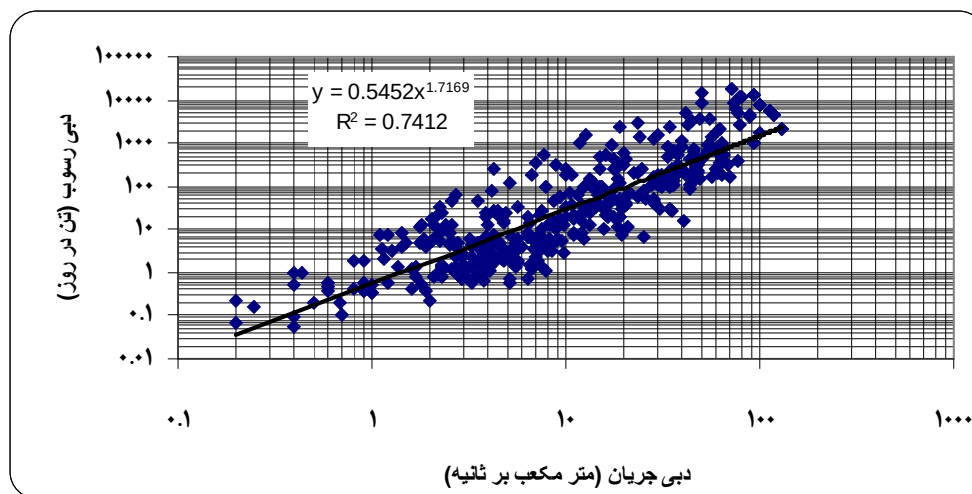
جدول ۳-۵- آماره های توصیفی دبی جریان و دبی رسوب حوضه نازلوچای - ایستگاه تپیک

دبی رسوب (تن در روز)	دبی جریان (مترمکعب در ثانیه)	
۸۵۹/۹۷	۲۱/۵۰	میانگین
۲۰/۷۲	۹/۲۰	میانه
۳۶۸/۹	۲۸/۶۸	انحراف معیار
۸۰/۱۵	۱۱/۸۴	کشیدگی
۸/۰۹	۲/۷۴	چولگی
۰/۰۵۷	۰/۲	حداقل
۴۶۷۹۷/۹۸	۲۵۰	حداکثر

رابطه منحنی سنج رسوب یک خطی در ایستگاه تپیک برای ۸۰ درصد نمونه‌های رسوب به صورت زیر بدست آمد:

$$Q_s = 0.5452 Q_w^{1/7169} \quad (17-3)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله یاد شده برابر با ۰/۷۴۱۲ است. منحنی سنج رسوب برای ایستگاه یاد شده در شکل (۱۳-۳) مشاهده می شود.



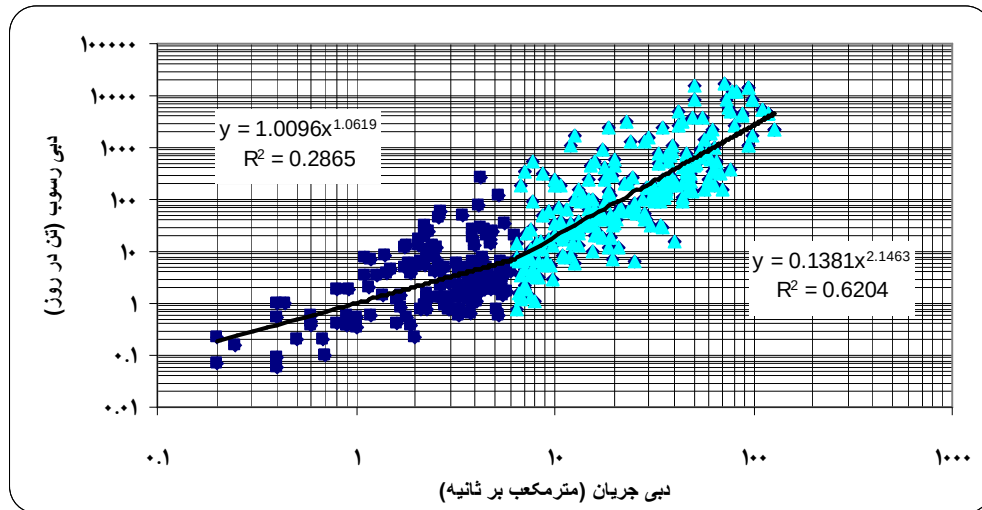
شکل ۱۳-۳- منحنی سنج رسوب یک خطی حوضه نازلوچای- ایستگاه تپیک

پراکنش نقاط در منحنی سنج رسوب برای ایستگاه تپیک (شکل ۱۳-۳) نشانگر این است که می توان دو خط از بین نقاط رد داد. لذا برای دبی های جریان کوچکتر از ۶ مترمکعب یک و برای دبی های بزرگتری خط دیگری رد شد (شکل ۱۴-۳). معادلات رگرسیونی دو خط به صورت زیر بدست آمدند:

$$Q_s = 1/0096 Q_w^{1.0619} \quad Q_w > 6 \quad (18-3)$$

$$Q_s = 0.138 Q_w^{2.1463} \quad Q_w \leq 6 \quad (19-3)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله های (۱۴-۳) و (۱۵-۳) به ترتیب برابر با ۰/۲۸ و ۰/۶۲ می باشند.

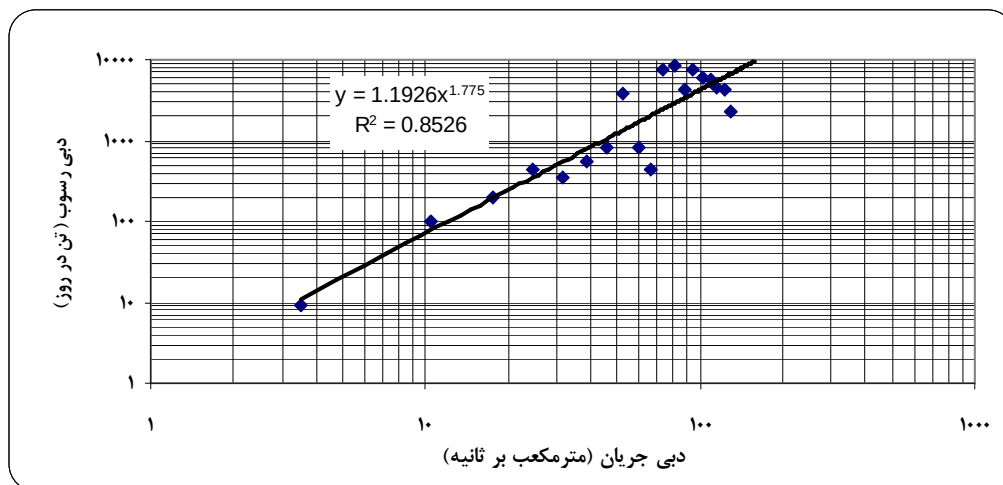


شکل ۳-۱۴- منحنی سنجه رسوب دو خطی حوضه نازلوچای- ایستگاه تپیک

به منظور بدست آوردن معادله منحنی سنجه حد وسط دسته ها برای ایستگاه تپیک، فاصله دسته ها، ۷ متر مکعب بر ثانیه انتخاب شد و بدینوسیله ۱۹ نقطه بدست آمد. منحنی سنجه یاد شده در شکل (۳-۱۵) مشاهده می شود. معادله خط عبوری از بین نقاط یاد شده در زیر مشاهده می شود:

$$Q_s = 1.1926Q_w^{1/775} \quad (۳-۲۰)$$

ضریب تعیین (R^2) معادله یاد شده برابر با ۰/۸۵۲۶ است.



شکل ۳-۱۵- منحنی سنجه رسوب حد وسط دسته ها حوضه نازلوچای- ایستگاه تپیک

ضرایب فائو، پارامتری (CF_1) و غیر پارامتری (CF_2) برای ایستگاه تپیک به ترتیب برابر با ۳/۳۸، ۲/۵۸ و ۲/۷۹ بدست آمدند.

۳-۷- نتایج روش‌های ارزیابی

در این مرحله کارایی روش‌ها با استفاده از ۲۰ درصد داده‌ها و با استفاده از روش‌های میانگین قدر مطلق خطاها (MAE)، ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب کارایی روش‌ها (NSE) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از انواع روش‌ها و به تفکیک ایستگاه‌ها در جدول ۳-۶ ارائه شده است.

جدول ۳-۶- نتایج حاصل از روش‌های ارزیابی به تفکیک ایستگاه‌ها

ایستگاه	منحنی سنجه روش ارزیابی	یک خطی	دو خطی	حد وسط دسته‌ها	ضریب فائو	ضریب پارامتری	ضریب غیر پارامتری
ماکو	MAE	۵۰۹/۵۳	۲۹۶/۵۳	۳۱۱/۱۶	۷۳۷/۷	۳۹۳/۵	۳۷۶/۲۶
	RMSE	۲۳۶۹/۸	۱۲۷۵/۱۶	۱۱۷۹/۴۴	۲۱۶۴/۰۹	۱۵۳۱/۸۵	۱۳۲۸/۵۵
	NSE	۰/۴۷	۰/۸۴	۰/۸۷	۰/۵۶	۰/۷۸	۰/۸۳
مراکند	MAE	۱۱۷۷/۵۷	۱۳۲۷/۴۴	۱۴۱۱/۶۷	۱۷۰۱/۵۵	۱۵۰۶/۴۳	۱۲۹۲/۲۳
	RMSE	۴۵۳۲/۶۴	۴۶۴۵/۲۲	۴۴۵۶/۹	۴۵۵۰/۳	۴۴۸۲/۹۱	۴۶۲۸/۸۸
	NSE	-۰/۰۴	-۰/۰۹	-۰/۰۰۱	-۰/۴۴	-۰/۰۱۳۶	-۰/۰۸
دیزج	MAE	۷۳/۹۷۷	۵۸/۰۱۴	۶۲/۱۱	۷۰/۷۳	۶۵/۳۹	۶۵/۲۷
	RMSE	۱۹۸/۱۳	۱۵۴/۷۶	۱۳۴/۹۸	۱۳۱/۸۸	۱۶۳/۳	۱۵۷/۰۹
	NSE	۰/۲۲	۰/۵۲	۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۴۷	۰/۵۱
ساری قمیش	MAE	۵۴۱۸/۶	۳۹۹۴/۷	۳۶۳۴/۵	۵۵۵۲/۷	۴۶۵۶/۶	۶۰۸۲/۵
	RMSE	۱۸۶۴۱/۹	۱۱۰۰۰/۶	۱۰۹۱۲/۵	۱۲۴۳۴/۹	۱۵۷۰۷/۶	۲۰۱۲۳/۸
	NSE	۰/۰۹۶	۰/۶۳۶	۰/۶۹	۰/۵۹۷	۰/۳۵۸	-۰/۰۵۳
تپیک	MAE	۹۱/۱۱	۱۱۵/۶۶	۲۶۵/۷۹	۷۶۹/۳۵	۲۳۵/۲۳	۱۲۹/۵۲
	RMSE	۲۰۸/۶	۲۸۳/۰۲	۵۸۹/۴۲	۱۶۴۱/۰۷	۵۰۹/۳۴	۳۴۰/۸۸
	NSE	۰/۶۸	۰/۴۱	-۱/۵۷	-۱/۸۹	-۰/۹۲	۰/۱۴

فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری

۴-۱- بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از جدول ۳-۶ مبنی بر کاربرد شش روش منحنی سنج رسوب یک خطی، دو خطی، حد وسط دسته ها و ضرایب اصلاحی (ضریب فائو، ضریب پارامتری و ضریب غیرپارامتری) در منطقه مورد مطالعه نشان دهنده عملکرد متنوع هر یک از روش ها با استفاده از انواع معیارهای مقایسه روش ها و در ایستگاه های مختلف بود. به نحوی که در برخی ایستگاه ها روابط برتر حاصل از یک نوع منحنی سنج دارای خطای کمتری بوده و این در حالی است که این روش در برخی ایستگاه ها به خوبی قادر به توصیف روابط میان داده های دبی و غلظت رسوب معلق نبوده است. از مقایسه نتایج بخش های مختلف عملکرد مختلف این روش ها نیز به خوبی مشاهده گردید به طوری که در ایستگاه های مختلف استفاده از روش حد واسط دسته ها منجر به بهبود روابط حاصل از طریق کاهش خطای حاصل از تخمین و افزایش ضریب کارایی شده و با یافته های عرب خدری و همکاران (۱۳۷۷)، فیض نیا و همکاران (۱۳۸۶) در حوزه آبخیز گرگان، بابایی و همکاران (۱۳۸۸) در دو حوزه آبخیز گرگان رود و قره سو در استان گلستان و صادقی و همکاران (۱۳۸۹) در حوزه آبخیز معرف خامسان مبنی بر توانایی بالای روش حد وسط دسته ها در تهیه منحنی های سنج رسوب همخوانی دارد و این در حالی است که نتایج حاصل از کاربرد این روش در مورد ایستگاه دیزج و تپیک متفاوت بوده و از نظر آماری دارای خطای بیشتری نسبت به ضریب فائو و یک خطی می باشد که با یافته های محققان مذکور تناقض دارد. علت این امر این است که با توجه به اینکه در این روش از داده های متوسط دبی و غلظت استفاده شده بنابراین نشانگر تغییرات غیرواقعی بوده و معادله سنج بدست آمده از لحاظ منطقی دارای عدم یقین های مربوط به خود می باشد. در این مناطق از آنجایی که شرایط جریان مرتباً تغییر میکند ابر نقاط دارای پراکنش زیادی بوده و طبعاً منحنی های سنج بصورت بسیار پراکنده در اطراف خط برازش داده شده رگرسیونی پراکنده اند. به طوری که روش مذکور قادر به توصیف مکانی و مناسب انتقال رسوب نبوده و تاثیر متقابل عوامل زمانی و مکانی بر شدت این مشکل افزوده است. نتایج برای ایستگاه دیزج و تپیک نشان دهنده عدم تاثیر استفاده از روش حد واسط دسته ها در بهبود روابط سنج داشت.

در روش حد واسط دسته ها، بدلیل کاهش اثر نقاط پایین، برآورد رسوب دهی در دبی های بالا بهبود می یابد همچنین در این روش، پراکنش نقاط کاهش یافته و خطای ناشی از تبدیل لگاریتمی به حداقل

میرسد در حالی که در مدل یک خطی و دو خطی هیچگونه دسته‌بندی در داده‌ها صورت نمی‌گیرد و با توجه به فراوانی داده‌های دبی پایه تاثیر این داده‌ها بر مقادیر ضرایب منحنی سنج رسوب بیشتر شده و تاثیر جریانات سیلابی کمتر نمایان می‌شود. با توجه به اینکه بیشترین مقدار دبی رسوب در دبی‌های بالا و مواقع سیلابی انتقال پیدا می‌کند، متأسفانه سهم دفعات اندازه‌گیری در دبی‌های بالا و در زمان‌های سیلابی کم می‌باشد.

اعمال ضراب اصلاحی نظیر فائو، پارامتری و غیر پارامتری نتایج متفاوتی داشته است. چون این ضرایب به روش منحنی سنج رسوب یک خطی اعمال می‌شوند هر نوع خطایی که در این روش وجود داشته باشد به طور مستقیم به برآوردهای ناشی از اعمال این روش منتقل می‌شود. ضریب اصلاحی فائو ($\bar{a}$) بیشتر تحت تاثیر دبی‌های سیلابی بوده و داده‌های بزرگ و استثنایی تاثیر تعیین کننده ای بر آن دارند علت آن نیز تغییرات کم دبی جریان آب نسبت به تغییرات بار معلق رودخانه است که باعث می‌شود مقدار $\bar{Q}_s$ بصورت قابل ملاحظه ای نسبت به $\bar{Q}_w$ افزایش یابد. از اینرو در صورت وجود داده‌های بزرگ و استثنایی، این ضریب بسیار بزرگ و غیر واقعی خواهد بود. میرابوالقاسمی و مرید (۱۳۷۴) به این مسئله توجه کرده و حذف داده‌های بزرگ و استثنایی را پیشنهاد کرده‌اند که نتایج این روش فاقد صحت و دقت لازم است. ضریب پارامتری تابعی از اشتباه استاندارد برآورد می‌باشد. در این روش فرض بر این است که خطاهای باقیمانده از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند بنابراین هرگاه اشتباه استاندارد کوچک (پراکنش داده‌ها کم) باشد این ضریب کوچک و برعکس هرگاه اشتباه استاندارد بزرگ باشد (تعداد نمونه‌ها کم یا پراکنش داده‌ها زیاد) باشد ضریب بزرگتر خواهد بود. در صورت اختلاف قابل توجه میزان رسوب برآورد شده به روش یک خطی با مقادیر مشاهده شده بویژه در داده‌های بزرگ، این ضریب بیشتر میشود. صحت و دقت برآورد های این روش در برخی شرایط خاص بویژه در صورت نبودن داده‌های اضافی از سیلاب‌ها بیشتر از روش حدواسط بوده است. در مورد ضریب غیرپارامتری فرض بر این است که خطاهای باقیمانده از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. در این روش طرز محاسبه ضریب (معادله) طوری است که ارزش بیشتری به دبی‌های بالا می‌دهد از اینرو در غالب موارد این ضریب بزرگتر از ضریب پارامتری است. مانند ضریب فائو، داده‌های بزرگ و استثنایی اثر تعیین کننده ای بر آن دارند و در صورت وجود این داده‌ها، ضریب غیر پارامتری بزرگ و غیرواقعی خواهد بود.

با بالا رفتن دبی لحظه‌ای رودخانه، مقدار خطای هر روش در برآورد بار معلق افزایش می‌یابد. مقادیر ریشه دوم میانگین مربعات خطای برآوردی در کلیه روش‌های استفاده شده در این مطالعه با روند تغییرات

رسوب معلق عبوری از ایستگاه رابطه مستقیم دارد و لیکن این روند در روش‌های متفاوت دارای شدت‌های متفاوتی می‌باشند به کلام دیگر هر چه رسوب معلق عبوری در ایستگاه بالاتر باشد، روش‌های استفاده شده با تقریب بیشتر و خطای بالاتری به دست می‌آیند، که این موضوع به حساسیت بالای ضریب معادله سنجه در دبی‌های بالا و حساسیت پایین آن در دبی‌های پایین صحنه می‌گذارد. مشخص گردید که روند تغییرات دبی لحظه‌ای رودخانه با خطای برآوردی در روش‌های مختلف متفاوت می‌باشد، به گونه ای که در کلیه روش‌های هیدرولوژیکی رابطه‌ای مستقیم به وجود آمده است.

اگر مبنای مقایسه روش‌ها را میانگین قدر مطلق خطا (MAE) در نظر بگیریم عملکرد متنوعی از روش‌ها را خواهیم داشت بطوری که در دو ایستگاه ماکو و دیزج روش دوطبقی خطای کمتری داشته و به عنوان روش مناسب معرفی می‌شود و در مورد ایستگاه‌های مراکند و تپیک روش یک خطی و در مورد ایستگاه ساری قمیش روش حدواسط دسته‌ها خطای کمتری داشته و این در حالی است که اگر مبنای مقایسه روش‌ها را ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب کارایی (ME) در نظر بگیریم هیچکدام از روش‌های مذکور دارای شرایط مساعد اولیه نبوده و خطایی بیشتر از روش‌های حد واسط دسته‌ها یا ضریب فائو دارند بنابراین در این تحقیق می‌توان از روش میانگین قدر مطلق خطا (MAE) برای ارزیابی روش‌ها چشم‌پوشی کرد و دلیل آن را می‌توان به کیفیت داده‌ها نسبت داد که نمی‌تواند دورنمای متعادل-تری از قابلیت انطباق رسوب‌های متوسط را بیان کند. در مجموع می‌توان اظهار داشت که بر اساس نتایج بدست آمده دقت مدل‌های حاصل از روش حد وسط دسته‌ها علیرغم تغییر رفتاری آن از کارایی نسبی برتری در مقایسه با سایر روش‌های منحنی‌های سنجه رسوب مورد مطالعه در این تحقیق برخوردار بوده است. اگر چه این نتیجه در شرایطی اتفاق افتاده که امکان تهیه مدل با هر شش روش امکان‌پذیر بوده است.

۴-۲- پیشنهادات

۱- با توجه به عبور بخش زیادی از رسوبات رودخانه در مواقع سیلابی و عدم نمونه برداری بموقع در این زمان‌ها در ایستگاه‌های نمونه برداری و تاثیر بسیار زیاد این نمونه‌ها در برآورد صحیح رسوب عبوری از رودخانه توصیه می‌شود وزارت نیرو برنامه‌هایی را جهت آماربرداری از این پدیده تا حد ممکن با فواصل زمانی کوتاه اتخاذ یا از نمونه بردارهای اتوماتیک و گل‌آلودگی‌سنجها در مسیر رودخانه‌های اصلی و مهم کشور استفاده کند تا بتوان تغییرات دقیق رسوب-دبی رودخانه را حداقل در زمان کوتاهی در دسترس داشته و در نهایت مقدار صحیح رسوب عبوری برآورد گردد و در مطالعات پایه مورد استفاده قرار گیرد.

۲- از آنجا که در مطالعات پیشین توسط افراد مختلف جهت برآورد تولید رسوب استفاده از دبی‌های روزانه مناسب تشخیص داده شده بنابراین توصیه می‌شود جهت برآورد تولید رسوب منطقه مورد مطالعه از روش حد واسط-روزانه استفاده شود.

۳- توصیه می‌شود جهت برآورد دقیق‌تر بار معلق وزارت نیرو برنامه‌هایی را برای نمونه‌برداری با فواصل کوتاه مدت در مواقع سیلابی اتخاذ کند.

منابع مورد استفاده

- ۱- امامی، الف.، ۱۳۷۹. انتقال رسوب (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- ۲- بابائی، ا.، نجفی نژاد ع.، بهره مند ع.، و سلاجقه ع. ۱۳۸۸. ارزیابی کارایی روش حد وسط دسته ها به منظور تهیه بهترین منحنی سنج رسوب معلق. همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، گرگان، ۲ تا ۳ اردیبهشت ۱۳۸۸، ۴ص.
- ۳- تماب (مرکز تحقیقات منابع آب)، ۱۳۷۶. بانک اطلاعات رسوب. بولتن وضعیت منابع آب کشور، شماره ۱۵، صفحه ۱۷۵ تا ۱۹۰.
- ۴- جاماب (شرکت جامع آب کشور)، ۱۳۶۸. طرح جامع آب کشور، حوزه آبریز دریاچه ارومیه. وزارت نیرو.
- ۵- جاماب (شرکت جامع آب کشور)، ۱۳۷۷. طرح جامع آب کشور، حوزه های آبریز دریاچه ارومیه، دریاچه نمک و هامون جازموریان. وزارت نیرو.
- ۶- حبیبی، م.، ۱۳۷۵. کاربرد روشهای محاسبه بار معلق در رودخانه های منتخب کشور، مجموعه مقالات اولین سمینار ملی فرسایش و رسوب، ۲۴ تا ۲۷ اردیبهشت ۱۳۷۴، شهرستان نور، صفحات ۱۴۳ تا ۱۶۰.
- ۷- ذرتی پور، ا.، ۱۳۸۶. مقایسه روشهای هیدرولوژیکی (آماري) برآورد بار معلق رودخانه ها (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج.
- ۸- رزمجو، پ.، ۱۳۷۹. بررسی کارایی روش پسیاک در برآورد فرسایش و رسوب در سه حوزه آبخیز سدهای کرج، لار و لتیان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۶۰ صفحه.
- ۹- رستمی، م. و ع. اردشیر، ۱۳۸۰. ارایه روش به منظور بهبود برآورد رسوب معلق رودخانه ها. سومین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، دانشکده فنی دانشگاه تهران، صفحه ۱ تا ۸.
- ۱۰- رشتچی، ژ.، ر. شفیعی علویجه، م. ملکی و ا. شاه آبادی، ۱۳۷۵. نتایج برآورد میانگین دراز مدت رسوب معلق رودخانه های حوزه آبریز مرکزی، مرکز تحقیقات منابع آب (تماب)، معاونت مطالعات آبهای سطحی.
- ۱۱- سرخوش، ا. ۱۳۷۵. بررسی کارایی مدل MUSLE در برآورد رسوب و مقایسه آن با مدل MPSIAC. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج. ۱۶۴ص.
- ۱۲- شفیعی علویجه، ر.، ژ. رشتچی، م. ملکی و ا. شاه آبادی، ۱۳۷۵. نتایج برآورد میانگین دراز مدت

- رسوب معلق رودخانه‌های حوزه آبریز دریاچه ارومیه، مرکز تحقیقات منابع آب (تماب)، معاونت مطالعات آبهای سطحی.
- ۱۳- صادقی، ح.، فضل‌ی، س. و خالدی درویشان، ع. ۱۳۸۹. ارزیابی کارایی منحنی سنج رسوب در حوزه آبخیز معرف خامسان. مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، ص
- ۱۴- صحت‌نیاکی، ا. و ع. مطهری، ۱۳۷۵. بار رسوبی ورودی به سد پیشین. مجموعه مقالات سمینار ملی فرسایش و رسوب، نور، ۱۳۷۴، انتشارات معاونت آبخیزداری، ص ۳۸۴-۳۵۹.
- ۱۵- عرب‌خدری، م و ح. عبدالهی، ۱۳۸۰. اثر بکارگیری آبنمود سیلاب‌ها در برآورد بار معلق. مجموعه مقالات همایش مدیریت اراضی - فرسایش خاک و توسعه پایدار، اراک، ص ۲۱۸-۲۰۵.
- ۱۶- عرب‌خدری، م.، ش. حکیم‌خانی و ج. وروانی، ۱۳۸۳. اعتبار روش‌های برون‌یابی در برآورد میانگین رسوبدهی معلق سالانه (۱۷ ایستگاه هیدرومتری کشور). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۱، شماره ۳، ص ۱۲۳ تا ۱۳۱.
- ۱۷- عرب‌خدری، م.، ش. حکیم‌خانی و ع. ولی‌خوجینی، ۱۳۷۷. ضرورت تجدید نظر در روش متداول برآورد رسوبدهی معلق رودخانه‌ها. مجموعه مقالات پنجمین سمینار مهندسی رودخانه، انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز، ص. ۴۲۹ تا ۴۳۸.
- ۱۸- عرب‌خدری، م.، ش. حکیم‌خانی و د. نیک‌کامی، ۱۳۸۲. مقایسه چند روش آماری برآورد بارمعلق در یک حوضه با رژیم برفی - بارانی. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران.
- ۱۹- عرب‌خدری، م.، ع. ولی‌خوجینی، ع. تلوری، ا. ح. چرخابی و ش. حکیم‌خانی، ۱۳۸۲. برآورد رسوبدهی و تهیه نقشه تولید رسوب برای ایران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران.
- ۲۰- علیزاده‌امین. ۱۳۶۷. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات بنیاد فرهنگی رضوی. ۵۱۹ صفحه.
- ۲۱- فیض‌نیا، س.، احمدی، ح.، قدوسی، ج.، و دستورانی، ج. ۱۳۸۶. بررسی مقدار - فراوانی دبی مؤثر بار معلق در زیر حوزه‌های حوزه آبخیز گرگان. مجله منابع طبیعی ایران، ۶۰(۳): ۷۷۹-۸۰۹.
- ۲۲- میرابوالقاسمی، ه. و س. مرید، ۱۳۷۴. بررسی روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بارمعلق رودخانه‌ها. آب و توسعه، شماره ۱۰، صفحه ۵۴ تا ۶۷.
- ۲۳- نکوئی مهر. م. رئیس‌یان. ر. ۱۳۸۰. بررسی کارایی هیدروگراف‌های واحد مصنوعی در تعیین سیلاب-

های حوزه‌های آبخیز استان چهارمحال بختیاری. مجموعه مقالات همایش شناخت معضلات آبخیزداری و ارائه راه‌حل‌های مناسب در حوزه‌های کارون و زاینده رود، شهرکرد. مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان چهارمحال بختیاری. ص ۱۴۷-۱۵۷.

۲۴- وروانی، ج.، ع. ا. داوودی‌راد و م. عرب‌خدری، ۱۳۸۴. بررسی روش‌های تصحیح تبدیل لگاریتمی در مدل‌های رگرسیونی و برآورد بار رسوبی چند رودخانه منتخب. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

- 25- Asselman, N. E. M., 1995. The impact of climate change on suspended sediment transport in the river Rhine. *Studies in Environmental Science* 6: 937-942.
- 26- Asselman, N. E. M., 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology* 234: 228-248.
- 27- Bruton, M.N. and Cambray, J.A. 1985. Age and growth of a colonizing minnow, *Barbus anoplus*, in a man-made lake in South Africa. *Environ. Biol. Fish.* 12(2):131-141.
- 28- Clark, K. B., 1999. An Estimate of Sediment Yield for Two Small Watersheds in a Geographic Information System. M.Sc.Thesis., Geography, University of New Mexico.
- 29- Cohn, T. A., 1995. Recent advances in statistical methods for the estimation of sediment and nutrient transport in rivers. *Rev. Geophys.Suppl.* 1117-1123.
- 30- Collins, A. L., D. E. Walling and G. J. L. Leeks, 2005. Storage of finegrained sediment and associated contaminants within the channels of lowland permeable catchments in the UK. In: Walling, D.E., Horowitz, A.J. (Eds.), *Sediment Budgets*. 1. International Association of Hydrological Sciences Publication No. 291. IAHS Press, Wallingford, UK, pp. 259-268.
- 31- Cooper, D. M. and C. D. Watts, 2002. A comparison of river load estimation techniques: application to dissolved organic carbon. *Environmetrics* 13: 733-750.
- 32- Cox, N. J., J. Warburton, A. Armstrong and V. J. Holliday, 2008. Fitting concentration and load rating curves with generalized linear models. *Earth Surface Processes and Landforms* 33: 25-39.
- 33- Crawford, C. G., 1991. Estimation of suspended-sediment rating curves and mean suspended-sediment loads. *Journal of Hydrology* 129: 331-348.
- 34- Day, T. J., 1988. Evaluation of long term suspended sediment records for selected Canadian rivers. In: *Sediment Budgets (Proc. Of Porto Symp. Dec. 1988)*, IAHS Publ., No. 174, Pp.189-195.

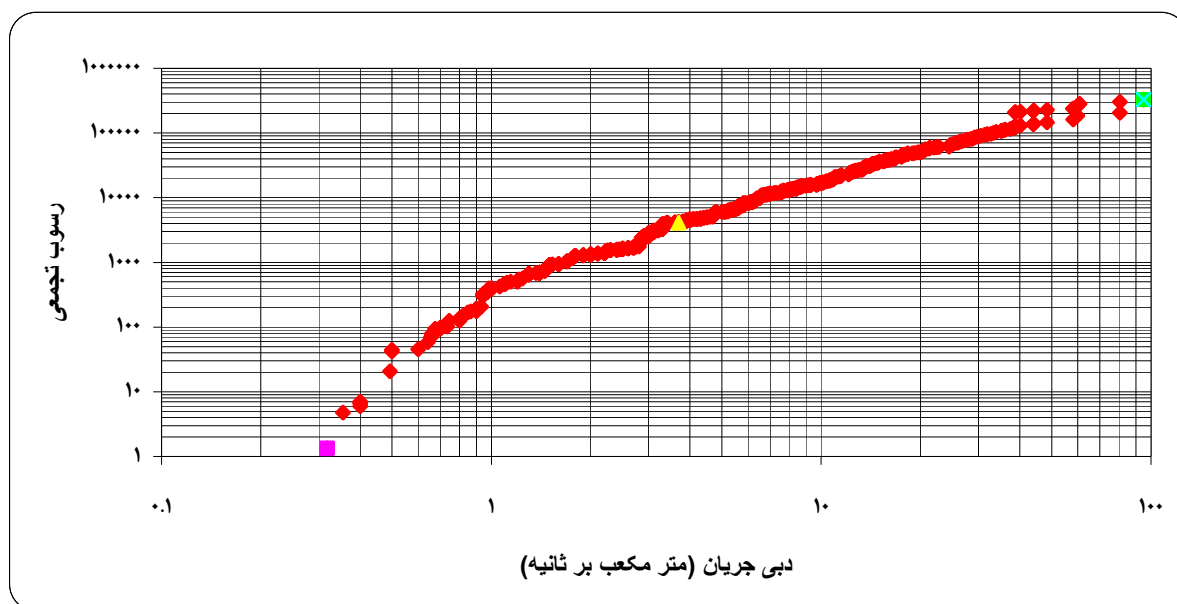
- 35- De Roo, A. P. J. and V. G. Jetten, 1999. Calibrating and validating the LISEM model for two data sets from the Netherlands and South Africa. *Catena* 37: 477-493.
- 36- Dickinson, W. T., 1981. Accuracy and precision of suspended sediment loads. In: *Erosion and Sediment Transport Measurements* (Proc. of Florence Symp. June 1981), IAHS. Publ., No. 133, pp. 195-202.
- 37- Duan, N. 1983. Smearing estimate: a nonparametric retransformation method. *Journal of the American Statistical Society* 78: 605–610.
- 38- FAO, 1981. Arid zone hydrology. Irrigation and drainage paper 37, FAO, Rome.
- 39- Ferguson, R. I., 1987. Accuracy and precision of methods for estimating river loads. *Earth Surface Processes and Landforms* 12: 95-104.
- 40- Ferguson, R.I., 1986. River loads underestimated by rating curves, *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 1, pp. 74-76.
- 41- Gilroy, E. J., R.M. Hirsch and T.A. Cohn, 1990. Mean square error of regression-based constituent transport estimates. *Water Resources Research* 26: 2069-2077.
- 42- Hadley, R.F., R. Lal, C.A. Onstad, D.E. Walling, & A. Yair, 1985. Recent developments in erosion and sediment yield studies, UNESCO, Paris, 127p.
- 43- Hann. C.T. 1997. Statistical methods in hydrology, The Iowa State University Press. 378p.
- 44- Hansen, D. and D. Bray, 1987. Generation of annual suspended sediment loads for the Kennebecasis using sediment rating curves. In: *Proc. 8th Canadian Hydrotech. Conf, Can. Soc. Civ. Engrs* (Quebec, May 1987).
- 45- Hasnain, S. I., R. J. Thayyen, Discharge and suspended-sediment concentration of meltwaters, draining from the Dokriani glacier, Garhwal Himalaya, India, *Journal of Geophysical Research* (1999) Volume: 218, Issue: 3-4, Publisher: Elsevier, etc., Pages: 191-198
- 46- Heywood, M. J. T. and D. E. Walling, 2007. The sedimentation of salmonid spawning gravels in the Hampshire Avon catchment, UK: implications for the dissolved oxygen content of intragravel water and embryo survival. *Hydrological Processes* 21: 770–788.
- 47- Horowitz, A. J., 2003. An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations. *Hydrological Processes* 17 :3387–3409.
- 48- Iadanza, C. And F. Napolitano, 2006. Sediment transport time series in the Tiber River. *Physics and Chemistry of the Earth* 31: 1212–1227.
- 49- Jansson M., 1985. A comparison of detransformed logarithmic regressions and power function regressions. *Geografiska Annaler A* 67:

- 61–70.
- 50- Jansson, M.B., 1996. Estimating a sediment rating curves of the Reventazon river at Palomo using logged mean loads within discharge classes, *Journal of Hydrology*, Vol. 183, No. 4, pp. 227-241.
 - 51- Jones, K. R., O. Berney, D. P. Carr and E. C. Barrett, 1981, *Arid zone hydrology for agricultural development*, FAO Irrigation and drainage paper, No. 37, 271 p.
 - 52- Kazama, S., K. Suzuki and M. Sawamoto, 2005. Estimation of rating-curve parameters for sedimentation using a physical model. *Hydrological Processes* 19: 3863–3871.
 - 53- Koch, R.W., and G. M. Smillie, Comment on “River loads underestimated by rating curves” by R.I. Ferguson, *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 13, pp. 2121-2122, 1986.
 - 54- Kronvang, B., A. Laubel, S. E. Larsen and N. Friberg, 2003. Pesticides and heavy metals in Danish streambed sediment. *Hydrobiologia* 494: 93–101.
 - 55- Littlewood, I. G., C. D. Watts and J. M. Custance, 1998. Systematic application of United Kingdom river flow and quality databases for estimating annual river mass loads (1975–1994). *Science of the Total Environment* 210–211: 21–40.
 - 56- Miller, C. R., 1951. Analysis of flow duration sediment rating curve method of computing sediment yield, report, 55 pp., U.S. Bur. Of Reclam., Washington, D.C.
 - 57- Nash, J. E. and J. V. Sutcliffe (1970), River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10 (3), 282–290.
 - 58- Owens, P. N., R. J. Batalla, , A. J. Collins, B. Gomez, D. M. Hicks, A. J. Horowitz, , G. M. Kondolf, M. Marden, , M. J. Page and D. H. Peacock, , E. L. Petticrew, W. Salomons, N. A. Trustrum, 2005. Fine-grained sediment in river systems: environmental significance and management issues. *River Research and Applications* 21: 693–717.
 - 59- Phillips, J. M., B. W. Webb, D. E. Walling and G. J. L. Leeks, 1999. Estimating the suspended sediment loads of rivers in the LOIS study area using infrequent samples. *Hydrological Processes* 13: 1035–1050.
 - 60- Preston, S. D., V. J. Bierman and S. E. Silliman, 1989. An evaluation of methods for the estimation of tributary mass loads. *Water Resources Research* 25: 1379–1389.
 - 61- Quilbe, R., A. N. Rousseau, M. Duchemin, A. Poulin, G. Gangbazo and J. P. Villeneuve, 2006. Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams: Application to the Beaurivage

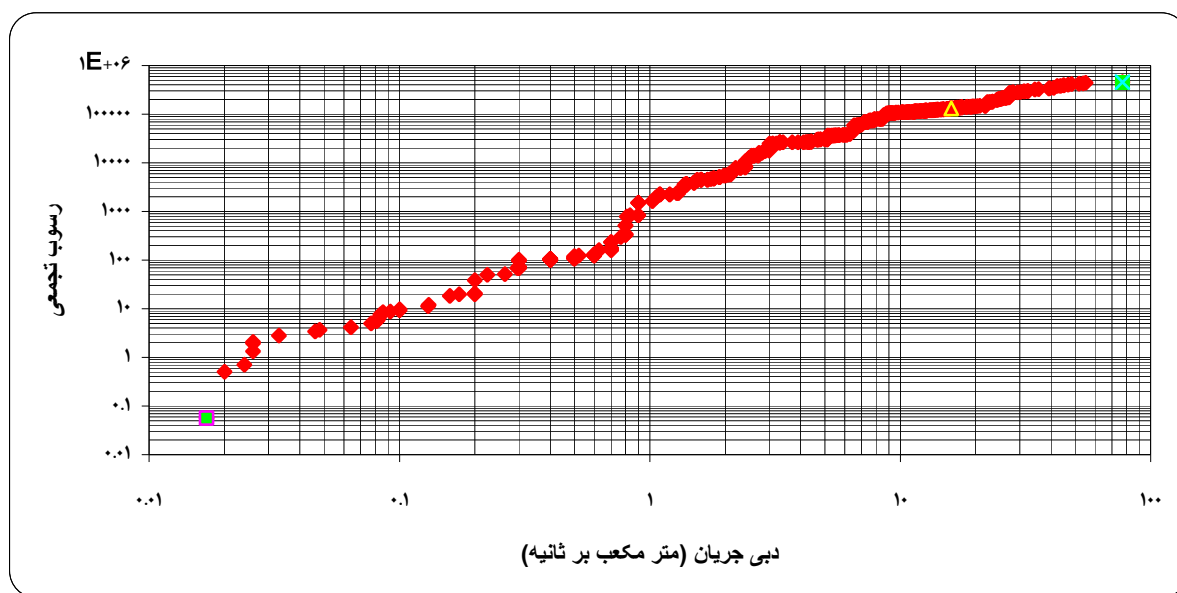
- River (Que'bec, Canada). *Journal of Hydrology* 326: 295–310.
- 62- Richards, R. P., and J. Holloway, 1987. Mont carolo studies of sampling strategies for estimating tributary loads. *Water Resources Research.*, vol. 23(10), P. 1939- 148.
 - 63- Salles, C., M. G. Tournoud and Y. Chu, 2008. Estimating nutrient and sediment flood loads in a small Mediterranean river. *Hydrological Processes* 22: 242–253.
 - 64- Simons, D.B., and Senturk, F., 1992. *Sediment transport technology*, water resource publ.
 - 65- Stubblefield, A. P., J. E. Reuter, R. A. Dahlgren and C. R. Goldman, 2007. Use of turbidometry to characterize suspended sediment and phosphorus fluxes in the Lake Tahoe basin, California, USA. *Hydrological Processes* 21: 281–291.
 - 66- Syvitski, J. P. M., , M. D. Morehead, D. B. Bahr and T. Mulder, 2000. Estimating fluvial sediment transport: the rating parameters. *Water Resources Research* 36: 2747–2760.
 - 67- Smith, D.G. and R. j. Davies-colley, 2001. If visual water clarity is the issue, then WHY not measure it? *Water Resources Research* 37: 1085–1101.
 - 68- Thomas, R. B. and J. Lewis, 1995. An evaluation of flow-stratified sampling for estimating suspended sediment loads. *Journal of Hydrology* 170: 27–45.
 - 69- Thomas, R. B, 1985. Estimating total suspended sediment yield with probability sampling. *Water Resources* 21(9): 1381-1388
 - 70- Vanoni, V. A. (ed.), 1977. *Sedimentation engineering*. A. S. C.E., 745P.
 - 71- Verhoff, F. H., S. M. Yaksich and D. A. Melfi, 1980. River nutrient and chemical transport estimation. *Journal of Environmental Engineering* 106: 591–608.
 - 72- Walling, D. E., 2004. Using environmental radionuclides to trace sediment mobilisation and delivery in river basins as an aid to catchment management. *Proceedings of the Ninth International Symposium on River Sedimentation*, P. 121-135, October 18 – 21, 2004, Yichang, China.
 - 73- Walling, D.E., 1994. Measuring sediment yield from river basins, in: R. Lal (Edd), *Soil erosion Research Methods*. Soil and Water conservation Society publ., 2nd eddition, pp. 39-83.
 - 74- Walling, D.E., and B.W. Webb, 1981. The reliability of suspended sediment load data, In: *Erosion and Sediment transport (Proc. of Florence Symp. June 1981)*, IAHS. Publ., No. 133, pp. 177 - 194.
 - 75- Walling, D.E., and B.W. Webb, 1988. The reliability of rating curve estimates of suspended sediment yield: Some further comments. In:

- Sediment Budgets (Proc. Of Porto Symp. Dec. 1988) IAHS Publ., No. 174, Pp. 337 - 350.
- 76- Webb, B. W., J.M. Phillips, D.E. Walling, I.G. Littlewood, C.D. Watts, G.J.L. Leeks, 1997. Load estimation methodologies for British rivers and their relevance to the LOIS RACS(R) programme. *The Science of the Total Environment* 194/195: 379-389.
 - 77- Yaksich, S. M. and F. H. Verhoff, 1983. Sampling Strategy for River Pollutant Transport. *Journal of Environmental Engineering* 109: 219-231.
 - 78- Yang, C. T., 1996. *Sediment Transport: Theory and Practice*. McGraw-Hill: New York, 396p.
 - 79- Yang, G., Z. Chen, F. Yu, Z. Wang, Y. Zhao and Z. Wang, 2007. Sediment rating parameters and their implications: Yangtze River, China . *Geomorphology* 85: 166–175.
 - 80- Young, T. C., J. V. DePinto and T. M. Heidtke 1988. Factors Affecting the Efficiency of Some Estimators of Fluvial Total Phosphorus Load. *Water Resources Research* 24: 1535-1540.

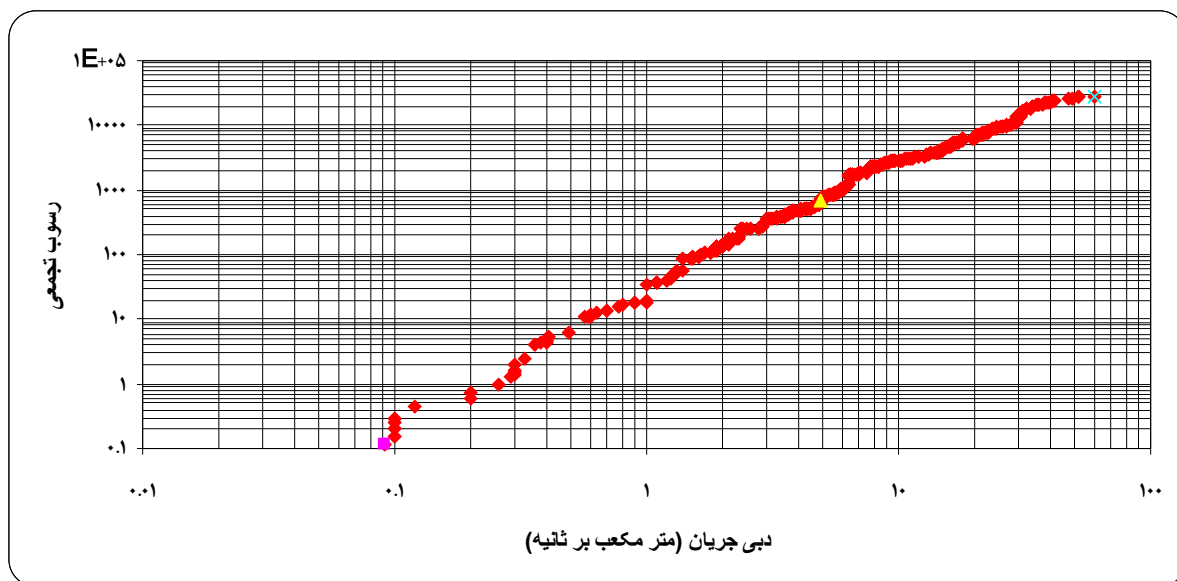
پیوست



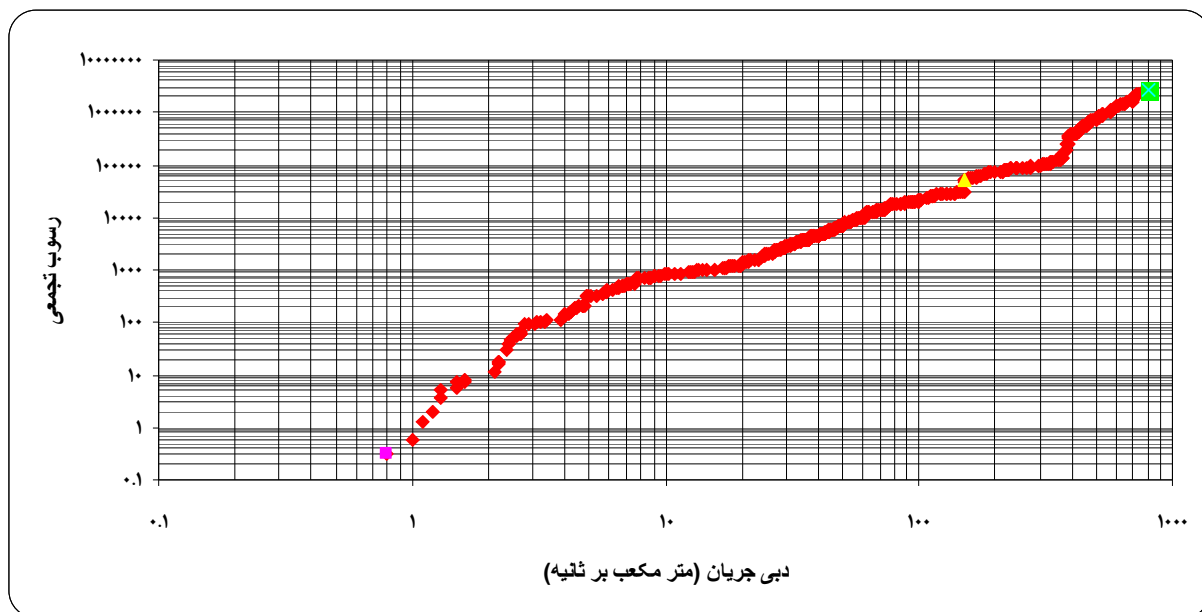
شکل ۱- منحنی تجمعی دبی رسوب نسبت به دبی جریان ایستگاه ماکوحوضه زنگمار



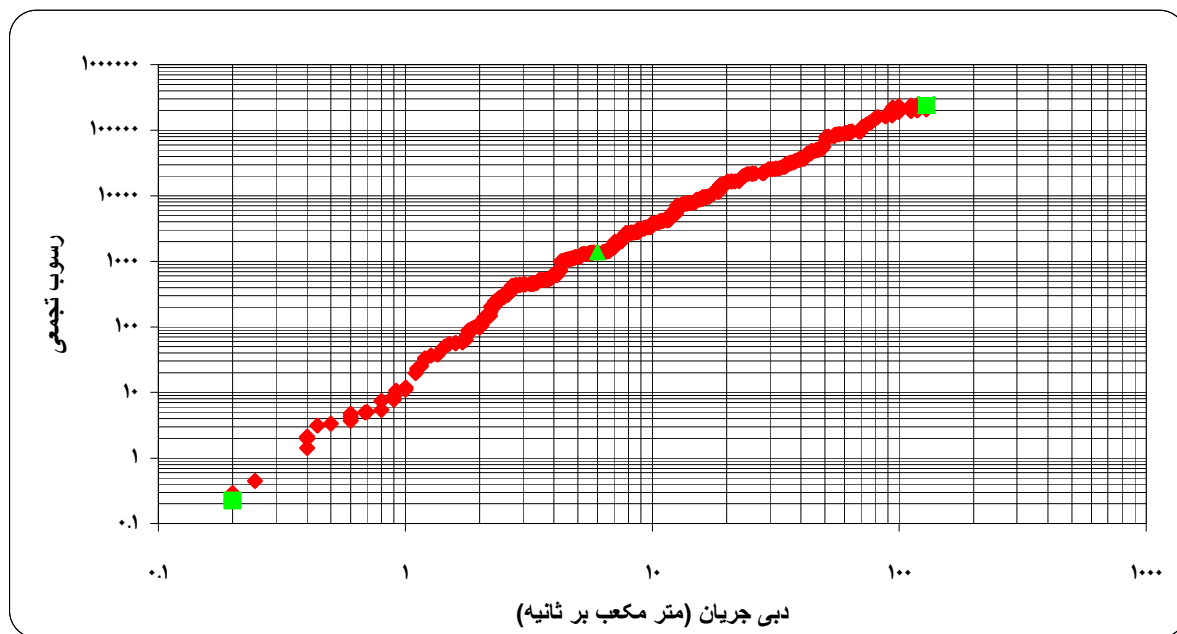
شکل ۲- منحنی تجمعی دبی رسوب نسبت به دبی جریان ایستگاه مراکندحوضه قطورچای



شکل ۳- منحنی تجمعی دبی رسوب نسبت به دبی جریان ایستگاه دیزج حوضه باراندوزچای



شکل ۴- منحنی تجمعی دبی رسوب نسبت به دبی جریان ایستگاه ساری قمیش حوضه زرينه رود



شکل ۵- منحنی تجمعی دبی رسوب نسبت به دبی جریان ایستگاه تپیک حوضه نازلوچای

The evaluation of extrapolation methods for the estimation of river suspended loads in the West Azerbaijan Province

Abstract

The role of water erosion and sediment yield in land degradation, has been important for soil erosion researchers. Filling dams reservoirs, the reduction of water carrying capacity of rivers, waterways and irrigation channels, decrease in downstream water quality and pollution, are critical problems made by soil erosion and sediment yield. To prevent and to mitigate these problems/effects, planning and the implementation of soil erosion and conservation measures are inevitable. To achieve this goal and also to identify critical sub-basins, the magnitude of sediment yield of each sub-basin must be estimated firstly. Since sediment yield of a specific basin are estimated mostly based on river suspended load, then this method can be considered as the representative of water erosion and soil loss. The extrapolation methods (known as the rating-curves methods) are widely used to estimate suspended load at the gauging stations, with a good and long-term flow and sediment discharges data. Since there is not a worldwide/common method among different types of the rating curve-based methods, in this research, some of extrapolation methods (one linear regression, two linear regressions, intermediate categories, FAO method, parametric and nonparametric coefficients methods) have been evaluated for suspended load estimation in five rivers located in the West Azerbaijan Province. Based on an extensive data exploration of all gauging stations of the West Azerbaijan Regional Water Company, finally five stations (Mako, Marakand, Dizej, Sari ghamish and Tapik) having more than 30-year data. At first step, the 20 percentages of the initial samples were selected based on a random sampling method in order to validate all developed equations using the rest of data (the 80 percentages). In other words, in the calibration and validation steps, the 80 and 20 percentages of initial samples data have been applied, respectively. The values of mean absolute error (MAE), the root mean-square-error (RMSE) and the efficiency coefficient (NSE) were calculated for each method in both calibration and validation steps. Results show that intermediate categories method is the most suitable method for the estimation of suspended loads at least in similar rivers of West Azerbaijan Province.

Keywords: Sediment, Rating curve, extrapolation, suspended load, the West Azerbaijan

Islamic Republic of Iran
Ministry of Energy

Company: West Azarbaijan Regional Water Corporation

Deputy of Research and Technical Affairs

(Applied Research Plan)

Final Report on:

*The evaluation of extrapolation methods for the estimation of
river suspended loads in the West Azerbaijan Province*

Organization: Urmia University

Researcher: Mahdi Erfanian

Co-Researcher: Mansour Bayazi

December 2011