



دانشکده : کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد

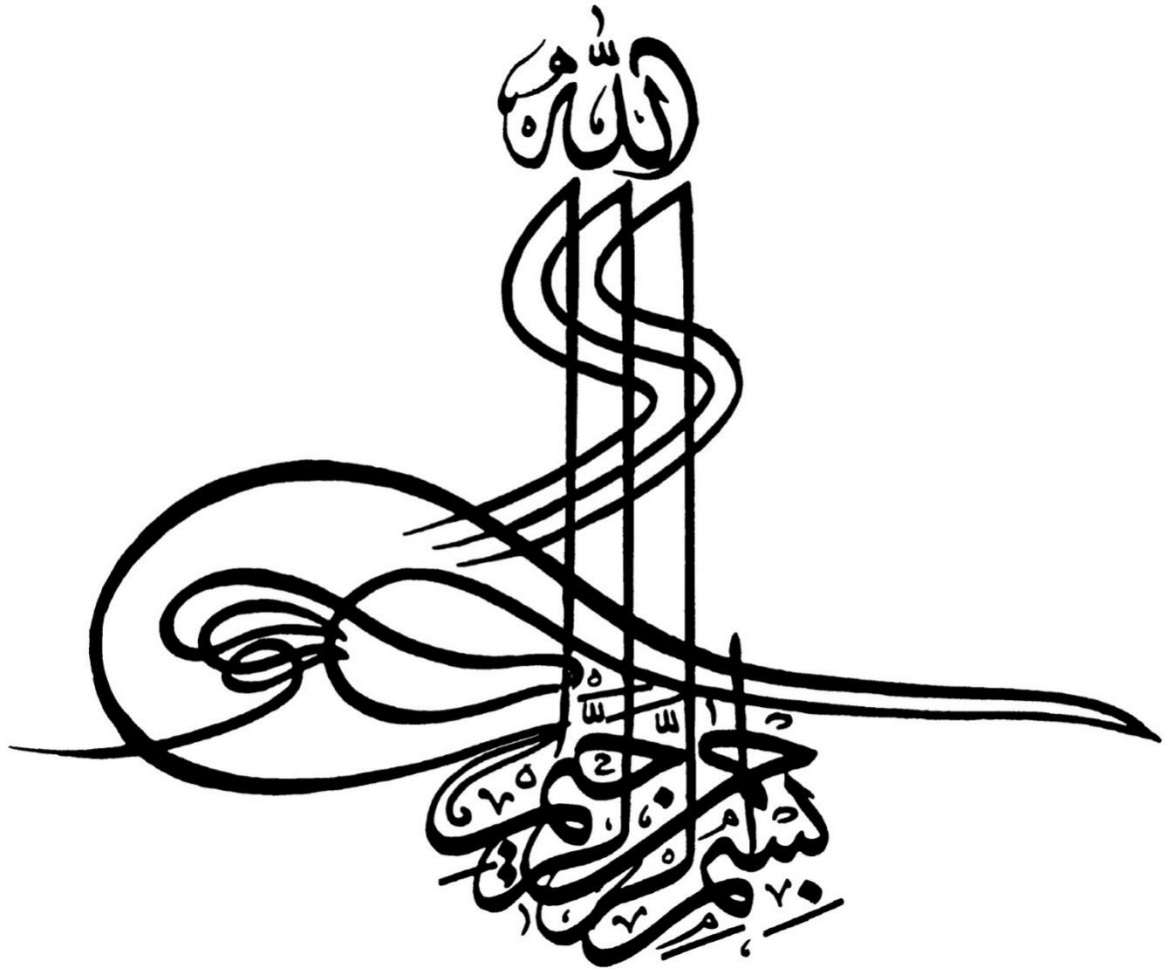
انتخاب مناسب‌ترین روش بر آورد بار معلق، بار بستر در رودخانه بیدواز اسفرا این (بالادست سد بیدواز اسفرا این)

مر ترضی حجی پور

استاد / اساتید راهنما :

دکتر صمد امام‌قلی زاده

بهمن ماه ۱۳۹۴





دانشگاه صنعتی مازندران

دانشکده کشاورزی

گروه آب و خاک

پایان نامه جهت اخذ کارشناسی ارشد در رشته سازه‌های آبی

انتخاب مناسب‌ترین روش برآورد بار معلق، بار بستر در رودخانه بیدواز اسفراین (بالادست سد بیدواز اسفراین)

پژوهش و نگارش:

مرتضی حجتی پور

استاد راهنما:

دکتر صمد امامقلی زاده

استاد مشاور:

دکتر خلیل اژدری

بهمن ۱۳۹۴



دانشگاه علمی کاربردی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

باسمه تعالی

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

پیوست شماره ۲

دانشکده :

گروه :

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای / خانم به شماره دانشجویی:

تحت عنوان:

مورد ارزیابی و با درجه

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

..... مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تشکر و قدردانی

یگانه معبود هستی، با کمال لطف و بخشش و تمام مهربانی و سخاوتش بنده حقیر خویش را در مسیر تکامل نهاد و این مجال را عنایت کرد تا قدم در راه علم نهاد. ستایش از آن اوست، او که معین و مبین است و تمسک بر او پیروزی در هر کار است.

بر خود واجب می‌دانم که در همین مجال اندک از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر صمد امامقلی‌زاده کمال تشکر و سپاس‌گذاری را داشته باشم. بی‌شک حصول نتیجه در رسیدن به این درجه مقدور نمی‌گشت مگر با راهنمایی‌های گران‌سنگ و بی‌دریغ ایشان. کمال تشکر و قدردانی را از استاد مشاورم جناب آقای دکتر خلیل اژدری که با راهنمایی‌های ارزنده خود به ارتقای کیفیت علمی این پایان‌نامه کمک نمودند اعلام می‌دارم. از آقایان دکتر مهدی دلقندی و دکتر سید حسین حسینی که زحمت داوری این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند کمال قدردانی و تشکر را دارم.

جا دارد از همکاران محترم آقایان محمدی، شجاع، سیلاخوری، پیل، عباس‌زاده و محمدی‌پور که حقیر را در کلیه مراحل نمونه‌برداری یاری نمودند، تشکر نمایم و برایشان سعادت و کامیابی را در تمامی مراحل زندگی از خداوند منان آرزومندم.

تعهد نامه

اینجانب مرتضی حجی پور دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه انتخاب مناسب‌ترین روش برآورد بارمعلق، باریستر در رودخانه بیدواز اسفراین (بالادست سد بیدواز اسفراین) تحت راهنمایی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

بررسی میزان رسوبات در رودخانه‌ها یکی از مسائل مهم در مهندسی رودخانه می‌باشد. پیچیدگی پدیده انتقال رسوب باعث توسعه روش‌های متعددی شده است. در این پژوهش مناسب‌ترین روش برآورد بار معلق، بار بستر و بارکل رسوبات در رودخانه بیدواز انتخاب شده است. بدین منظور مقدار بار معلق و بار بستر رودخانه بیدواز در محل ایستگاه هیدرومتری قلعه سفید در مواقع سیلابی اندازه‌گیری گردید. برای نمونه برداری بار معلق از بطری نمونه برداری و برای نمونه برداری بار بستر از نمونه بردار هلی اسمیت استفاده شد. سپس مشخصات هیدرولیکی و هندسی رودخانه بیدواز اندازه‌گیری و محاسبه گردید. نمونه‌ها به آزمایشگاه مکانیک خاک ارسال و نمودار منحنی دانه بندی و میزان غلظت مواد معلق محاسبه و تعیین شد. برای محاسبه مقدار مشاهده‌ای بار معلق، بار بستر و بار کل رسوب از نرم افزار شرکت آب منطقه‌ای استفاده و تعیین شد. از سه روش معتبر برای محاسبه میزان بار معلق (روش‌های لین و کالینسک، اینشتین و چانگ، سایمونز و ریچاردسون) و از چهار روش محاسبه بار بستر (روش‌های شیلدز، میر-پیتر، شولکیچ و کیسی) و هفت روش معتبر برای محاسبه میزان بار کل رسوب (روش‌های دوبویز، میر-پیتر، کلبی ۱۹۵۷، انگلند-هانسون، ایکرز-وایت، اینشتین-برون و روش اصلاح شده‌ی اینشتین) استفاده گردید. برای بررسی از دو روش $RMSE$ و درصد خطای مطلق نسبی استفاده گردید. که براساس نتایج به‌دست آمده از مقادیر مشاهداتی و مقایسه آن با روش‌های محاسباتی، روش چانگ، سایمونز و ریچاردسون با جذر میانگین مربع خطای $RMSE=27/23$ برای محاسبه بار معلق و روش شالکیچ با جذر میانگین مربع خطای $412/16$ برای $RMSE=$ برای محاسبه بار بستر و روش کلبی ۱۹۵۷ با $RMSE=191.62$ و روش انگلند-هانسون با $RMSE=255/56$ برای محاسبه بار کل پیشنهاد گردیده است.

واژه‌های کلیدی: انتقال رسوب، بار بستر، بار معلق، بار کل، رودخانه بیدواز، هلی اسمیت

۱- انتخاب مناسب‌ترین روش برآورد بار معلق در رودخانه بیدواز

۲- مقایسه روش‌های برآورد بار کل رسوب در رودخانه بیدواز

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- مقدمه وهدف.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- انتقال رسوب و اهمیت مطالعه آن در مدیریت و برنامه‌ریزی در مدیریت منابع آب.....	۴
۳-۱- ضرورت تحقیق.....	۵
۴-۱- هدف تحقیق	۵
۵-۱- نحوه نگارش پایان‌نامه.....	۶
۲- فصل دوم.....	۷
۱-۲- مقدمه.....	۸
۲-۲- مروری بر عوامل موثر بر انتقال رسوب.....	۱۰
۱-۲-۲- حوضه آبریز و خصوصیات فیزیوگرافیک آن	۱۰
۲-۲-۲- هواشناسی و هیدرولوژی	۱۱
۳-۲-۲- ریخت شناسی.....	۱۱
۴-۲-۲- دانه‌بندی و لایه‌بندی مواد رسوبی و کناره‌ها	۱۲
۵-۲-۲- هیدرولیک جریان.....	۱۳
۶-۲-۲- زمین‌شناسی	۱۳
۷-۲-۲- کاربری اراضی، پوشش گیاهی و نوع خاک	۱۴
۸-۲-۲- سازه‌های آبی و اقدامات حفاظتی	۱۴
۹-۲-۲- برداشت مصالح.....	۱۵
۳-۲- معیار انتخاب و کاربرد دستگاه‌های نمونه‌برداری رسوب در رودخانه	۱۵
۱-۳-۲- دستگاه‌های نمونه‌برداری بار معلق	۱۵
۲-۳-۲- دستگاه‌های نمونه‌برداری بار کف بستر رودخانه.....	۱۶
۴-۲- تعاریف	۱۹
۵-۲- روش‌های برآورد بار رسوب	۲۰
۱-۵-۲- روش‌های برآورد بار بستر	۲۱

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲-۵-۲- روش‌های برآورد بار معلق	۲۱
۳-۵-۲- روش‌های برآورد بار کل رسوب.....	۲۱
۶-۲- سابقه تحقیق	۲۲
۱-۶-۲- مطالعات انجام شده در خارج از کشور	۲۲
۲-۶-۲- مطالعات انجام شده در کشور	۲۵
۷-۲- جمع‌بندی کلی مرور منابع	۲۸
۳- فصل سوم	۲۹
۱-۳- مقدمه.....	۳۰
۲-۳- ویژگی‌های حوضه.....	۳۱
۱-۲-۳- کلیات	۳۱
۲-۲-۳- راه‌های دسترسی.....	۳۱
۳-۲-۳- فیزیوگرافی حوضه.....	۳۲
۳-۳- مشخصات ایستگاه آب‌سنجی قلعه سفید.....	۳۶
۴-۳- روش کار	۳۷
۱-۴-۳- گردآوری اطلاعات پایه مورد نیاز.....	۳۷
۴-۴-۳- نمونه‌برداری و اندازه‌گیری رسوب در رودخانه بیدواز.....	۳۹
۱-۴-۴-۳- نمونه‌برداری بار معلق.....	۳۹
۲-۴-۴-۳- نمونه‌برداری بار کف بستر.....	۴۰
۵-۴-۳- داده‌ها و اطلاعات برداشت شده رودخانه بیدواز.....	۴۲
۵-۳- روش‌های محاسبه‌ی میزان انتقال رسوب	۴۸
۶-۳۳- روش‌های تعیین بار بستر	۴۹
۱-۶-۳- رابطه کیسی	۴۹
۲-۶-۳- معادله شوکلیچ	۵۰
۳-۶-۳- رابطه شیلدز	۵۱
۴-۶-۳- رابطه میر-پیتر	۵۲

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۷-۳-۳-۷- روش‌های محاسباتی بار معلق.....	۵۲
۱-۷-۳-۱- رابطه لین و کالینسک	۵۲
۲-۷-۳-۲- رابطه اینشتین.....	۵۴
۳-۷-۳-۳- رابطه چانگ، سایمونز و ریچاردسون.....	۵۷
۸-۳-۸-۱- روش‌های محاسباتی بار کل رسوبات	۵۸
۱-۸-۳-۱- رابطه دوبویز (Duboy's Formula).....	۵۸
۲-۸-۳-۲- رابطه میر-پیتر (Meyer-Peter)	۵۹
۳-۸-۳-۳- روش کلبی ۱۹۵۷ (Colby's 1957).....	۵۹
۴-۸-۳-۴- رابطه انگلند هانسن (Engelund-Hansen)	۶۲
۵-۸-۳-۵- رابطه ایکرز-وایت (Ackers-White)	۶۳
۶-۸-۳-۶- رابطه انیشتن-برون (Einstein-Brown)	۶۴
۷-۸-۳-۷- روش اصلاح شده‌ی انیشتن.....	۶۵
۴- فصل چهارم	۷۵
۱-۴-۱- مقدمه	۷۶
۲-۴-۲- محاسبات و نتایج بار معلق رودخانه بیدواز.....	۷۶
۳-۴-۳- محاسبات و نتایج بار بستر رودخانه بیدواز.....	۸۳
۴-۴-۴- محاسبات و نتایج بار کل رسوب رودخانه بیدواز.....	۹۱
۵- فصل پنجم	۹۹
۱-۵-۱- مقدمه	۱۰۰
۲-۵-۲- نتیجه‌گیری	۱۰۰
۱-۲-۵-۱- مناسب‌ترین روش برآورد بار معلق رودخانه بیدواز	۱۰۰
۲-۲-۵-۲- مناسب‌ترین روش برآورد بار بستر رودخانه بیدواز	۱۰۱
۳-۲-۵-۳- مناسب‌ترین روش یا روش‌های برآورد بار کل رسوب رودخانه بیدواز.....	۱۰۲
۳-۵-۳- پیشنهادات	۱۰۲
فهرست منابع.....	۱۰۵

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
شکل (۱-۲) رسوبات انباشته شده (ریز دانه) در ورودی سد اسفراین.....	۸
شکل (۲-۲) رسوبات انباشته شده (درشت دانه) در ورودی سد اسفراین.....	۹
شکل (۳-۲) انسداد تخلیه کننده‌های سد.....	۹
شکل (۴-۲) اثرات مخرب تخلیه رسوبات سدها بر محیط زیست.....	۱۰
شکل (۵-۲) مشخصات فنی نمونه بردار هلی اسمیت.....	۱۸
شکل (۱-۳) موقعیت و راه دسترسی به محدوده مطالعاتی.....	۳۲
شکل (۲-۳) جانمایی آبراهه اصلی و محدوده حوضه آبریز رودخانه بیدواز اسفراین.....	۳۴
شکل (۳-۳) موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه.....	۳۶
شکل (۴-۳) نمای کلی ایستگاه آبسنجی قلعه سفید.....	۳۷
شکل (۵-۳) نمونه برداری بار معلق در زمان وقوع سیلاب.....	۴۰
شکل (۶-۳) نمونه بردار هلی اسمیت مورد استفاده.....	۴۱
شکل (۷-۳) نمونه برداری بار بستر رودخانه بیدواز.....	۴۲
شکل (۸-۳) رسوبگذاری رودخانه در محل ایستگاه قلعه سفید و عدم یکنواختی سطح مقطع جریان آب.....	۴۴
شکل (۹-۳) نمونه نمودار دانه بندی بار بستر اندازه گیری شده رودخانه بیدواز.....	۴۵
شکل (۱۰-۳) نمونه درصد خشک رسوبات بار معلق اندازه گیری شده رودخانه بیدواز.....	۴۶
شکل (۱۱-۳) نمونه فرم تکمیل شده محاسبات بار رسوب مشاهده‌ای.....	۴۶
شکل (۱۲-۳) رابطه بین سرعت سقوط نسبی $\frac{\omega}{U_*}$ و ضریب P_L	۵۳
شکل (۱۳-۳) مقادیر ضریب I_1 بر حسب پارامترهای Z و A	۵۵
شکل (۱۴-۳) مقادیر ضریب I_2 بر حسب پارامترهای Z و A	۵۶
شکل (۱۵-۳) نمودار تغییرات ضریب I_1 بر حسب Z_2 و ζ_a	۵۷
شکل (۱۶-۳) نمودار تغییرات ضریب I_2 بر حسب Z_2 و ζ_a	۵۸

شکل (۳-۱۷) دبی رسوب اندازه‌گیری نشده اصلاح نشده نسبت به مقدار سرعت متوسط در روش کلبی	۱۹۵۷
۶۱.....	
شکل (۳-۱۸) غلظت نسبی ماسه به حالت تعلیق در برابر سرعت متوسط و عمق جریان در روش کلبی	۱۹۵۷
۶۱.....	
شکل (۳-۱۹) ضریب تصحیح در مقابل نسبت در دسترس بودن در روش کلبی ۱۹۵۷	۶۲.....
شکل (۳-۲۰) مقدار X در رابطه با توزیع سرعت اینشتین.....	۶۷.....
شکل (۳-۲۱) محاسبه مقدار ϕ^*	۶۸.....
شکل (۳-۲۲) مقادیر Z' در روش اصلاح شده‌ی اینشتین.....	۷۱.....
شکل (۳-۲۳) تابع J_1 بر حسب E و Z'	۷۲.....
شکل (۳-۲۴) تابع J_2 بر حسب E و Z'	۷۳.....
شکل (۴-۱) نمودار مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار معلق.....	۷۸.....
شکل (۴-۲) مقایسه نتایج مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار معلق.....	۷۸.....
شکل (۴-۳) مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار معلق براساس جدول (۴-۵).....	۸۰.....
شکل (۴-۴) مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار معلق براساس جدول (۴-۶).....	۸۱.....
شکل (۴-۵) نمودار مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی بار بستر.....	۸۵.....
شکل (۴-۶) مقایسه نتایج مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار بستر.....	۸۵.....
شکل (۴-۷) نمودار مقایسه مقادیر جذر میانگین مربع خطا بار بستر.....	۸۶.....
شکل (۴-۸) مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی برای $Q > 1.7m^3/s$	۸۸.....
شکل (۴-۹) مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی برای $Q < 1.7m^3/s$	۸۹.....
شکل (۴-۱۰) مقایسه نمودار خطی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار کل رسوب رودخانه بیدواز.....	۹۲.....
شکل (۴-۱۱) مقایسه نموداری مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار کل رسوب رودخانه بیدواز.....	۹۴.....
شکل (۴-۱۲) نمودار مقادیر RMSE روابط محاسبه بار کل رسوب رودخانه بیدواز.....	۹۵.....
شکل (۴-۱۳) نمودار خطای مطلق نسبی روابط محاسبه بار کل رسوب رودخانه بیدواز.....	۹۶.....

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
جدول (۱-۲) چگونگی تاثیرپذیری بار رسوبی حمل شده از خصوصیات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها.....	۱۲
جدول (۱-۳) خلاصه مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز مورد مطالعه.....	۳۵
جدول (۲-۳) کلیه پارامترهای اندازه‌گیری شده مورد نیاز محاسبات روابط ریاضی رسوب.....	۴۷
جدول (۳-۳) مقادیر مشاهده‌ای بار کف، بار معلق و بار کل رسوب رودخانه بیدواز.....	۴۸
جدول (۱-۴) مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی بار معلق رودخانه بیدواز.....	۷۶
جدول (۲-۴) مقادیر خطای جذر میانگین مربع خطا (RMSE).....	۷۷
جدول (۳-۴) مقادیر خطای مطلق نسبی مقادیر محاسباتی و مشاهده‌ای بار معلق.....	۷۹
جدول (۴-۴) مقادیر RMSE مقادیر محاسباتی و مشاهده‌ای بار معلق (با حذف ردیف یک جدول (۱-۴)).....	۷۹
جدول (۵-۴) مقادیر خطای RMSE و خطای نسبی مطلق برای نمونه‌های با $(Q > 1.7m^3/s), (C_m > 45ppm)$	۸۰
جدول (۶-۴) مقادیر خطای RMSE و خطای مطلق نسبی برای نمونه‌هایی با $(Q < 1.7m^3/s), (C_m < 45ppm)$	۸۱
جدول (۷-۴) مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی بار بستر رودخانه بیدواز.....	۸۴
جدول (۸-۴) مقادیر خطای جذر میانگین مربع خطا بار بستر.....	۸۶
جدول (۹-۴) مقادیر درصد خطای نسبی مقادیر محاسباتی و مشاهده‌ای بار بستر.....	۸۶
جدول (۱۰-۴) مقادیر خطای RMSE و خطای مطلق نسبی برای نمونه‌های $Q > 1.7m^3/s$	۸۷
جدول (۱۱-۴) مقادیر خطای RMSE و خطای مطلق نسبی برای نمونه‌هایی با $Q < 1.7m^3/s$	۸۸
جدول (۱۲-۴) مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی بار کل رسوب رودخانه بیدواز.....	۹۳
جدول (۱۳-۴) مقدار خطای RMSE روشهای محاسباتی بار کل رسوب رودخانه بیدواز.....	۹۵
جدول (۱۳-۴) مقدار خطای مطلق نسبی روش‌های محاسباتی بار کل رسوب رودخانه بیدواز.....	۹۶

فصل اول

مقدمه و هدف

یکی از مسائل و مشکلاتی که در رابطه با بهره‌برداری از منابع آبی اهمیت خاصی پیدا نموده مساله رسوب می‌باشد. فرسایش و انتقال مواد رسوبی از جهات مختلف مورد توجه قرار می‌گیرند که از مهمترین آنها از بین رفتن اراضی حاصلخیز کشاورزی و پر شدن مخازن سدها، بندها و شبکه‌های آبیاری می‌باشند. رسوب^۱ ذرات تکه‌تکه شده‌ای است که بوسیله تجزیه فیزیکی و شیمیایی سنگ‌ها به وجود می‌آیند. دامنه تغییرات اندازه آن‌ها از ذرات کلوئیدی تا قلوه سنگ‌های بزرگ می‌باشد و از نظر شکل ظاهری از کاملاً گرد تا تیز گوشه تغییر می‌کنند. رسوبات در ترکیبات معدنی و وزن مخصوص نیز با هم متفاوتند، اما مواد غالب در آنها کوارتز می‌باشد. به طور معمول سه نوع حرکت برای رسوب وجود دارد (حدادچی و همکاران، ۱۳۸۹):

۱- حرکت ذرات به صورت چرخشی^۲ یا غلتشی^۳

۲- حرکت ذرات به صورت جهشی^۴

۳- حرکت ذرات به صورت معلق^۵

رودخانه یک سیستم پویا است که در آن فرآیندهای هیدرولیکی و انتقال رسوب حاکم است. به عبارت دیگر پاسخ رودخانه به تغییرات سطح مقطع کانال، افزایش و یا کاهش ظرفیت حمل رسوب، فرسایش و رسوب در طول کانال، که به پایداری کناره‌ها و تغییرات مرفولوژی رودخانه می‌باشد. گسترش شهرنشینی به هیدرولوژی حوضه آبریز و ژئومورفولوژی رودخانه‌ها تاثیر سریع گذاشته است.

این توسعه در مناطق حوضه آبریز رودخانه‌ها موجب افزایش چشمگیر در رواناب سطحی و در نتیجه حمل رسوب زیاد می‌گردد (Kiat et al, 2008). زمانی که مقدار سرعت برشی کف کمی از مقدار بحرانی برای

-
- 1- Sediment
 - 2- Rolling
 - 3- Sliding
 - 4- Saltiting
 - 5- Suspended

شروع حرکت تجاوز کند، حرکت ذرات مواد کف به صورت چرخشی یا غلتشی و در تماس پیوسته با کف خواهد بود. با افزایش مقدار سرعت برشی کف ذرات در طول کف با پرش‌های کوچک حرکت می‌کنند که حرکت جهشی نام می‌گیرد. به طور معمول، حمل ذرات به وسیله چرخش، غلتش و جهش حمل بار کف و ذراتی که بصورت معلق در می‌آیند حمل بار معلق نام دارند (حدادچی و همکاران، ۱۳۸۹).

برآورد مقدار رسوب موجود در رودخانه‌ها (آورد رسوب رودخانه‌ها) یکی از عوامل مهم و موثر در تعیین طول عمر مفید سدها، دوره بهره‌برداری از تاسیسات مربوطه و همچنین ظرفیت کانال‌های آبیاری، شبکه‌های آبیاری و تونل‌های آبرسانی و بالاخره شناخت و تنظیم تغییرات بستر و کناره رودخانه‌ها می‌باشد. ورود رسوب و تجمع آن در مخزن سد، باعث کاهش توان ذخیره آب و از دست رفتن ظرفیت تعدیل طغیان مخزن خواهد شد. اگر رسوب در نزدیکی بدنه سد تجمع یابد، امکان مدفون شدن تخلیه‌کننده‌های تحتانی و دریچه‌های آبگیر را سبب شده و همچنین بهره‌برداری آنها را با اشکال مواجه می‌سازد. به علاوه رسوبی که به خروجی‌های مربوط به آبگیر می‌رسد، می‌تواند توربین‌ها و حفاظ دریچه‌های تحتانی مخازن را دچار فرسایش و خوردگی کند. همچنین بار وارده به بدنه سد نیز افزایش می‌یابد. برآوردها نشان می‌دهد که سالانه بین ۰/۵ تا ۱ درصد از مجموع حجم مخازن سدهای دنیا به علت رسوبگذاری از دست می‌رود این میزان در بعضی از کشورها به بیش از یک درصد نیز می‌رسد. از آنجائیکه میزان فرسایش خاک حوزه‌های آبخیز در ایران نسبتاً زیاد است، این امر اهمیت پرداختن به مسائل رسوب را دو چندان می‌کند. در ایران نرخ کاهش حجم مخازن سدها در اثر رسوبگذاری به طور متوسط بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ درصد تخمین زده می‌شود که به طور تقریبی معادل ۱۷۵ میلیون تا ۲۵۰ میلیون متر مکعب در سال است (مسکار و فضل‌اولی، ۱۳۹۱).

۱-۲- انتقال رسوب و اهمیت مطالعه آن در مدیریت و برنامه‌ریزی در مدیریت منابع آب

هیدرولیک انتقال رسوبات دانشی است که چگونگی حرکت، فرسایش و رسوبگذاری مواد رسوبی در رودخانه‌ها، کانال‌ها و مسیل‌ها را مورد بحث قرار می‌دهد. این علم بر پایه‌ی علمی چون مکانیک سیالات، هیدرولیک، هیدرولیک رودخانه‌ها و رسوب شناسی استوار می‌باشد. از آن‌جا که خسارات وارد توسط رسوبات رودخانه‌ها بسیار گسترده، وسیع و زیان‌آور است، برای جلوگیری و یا به حداقل رساندن خسارات وارد باید سه فرایند فرسایش، انتقال و نهشته شدن مواد رسوبی را مورد مطالعه قرار داد. این فرایندها دارای پیچیدگی خاصی می‌باشند، زیرا عوامل موثر در به وجود آوردن این فرایندها بسیار زیاد می‌باشند. در فرایند فرسایش، ذرات رسوبی در اثر ضربه‌ی قطره‌های باران و یا توسط نیروهای به وجود آمده در اثر حرکت آب از بستر خود جدا می‌شوند. سپس ذرات جدا شده در آستانه‌ی حرکت قرار می‌گیرند و در صورتی که نیروهای وارد شده از سوی جریان آب بیشتر از نیروهای مقاوم باشد، ذره همراه با جریان آب منتقل می‌شود. شرایط شروع آستانه‌ی حرکت ذرات و میزان انتقال آن‌ها، به خصوصیات مواد رسوبی چون اندازه، شکل و چگالی ذره، به خصوصیات جریان، نظیر سرعت و عمق، به خصوصیات سیال نظیر لزوجت و جرم واحد حجم سیال و نیز به خصوصیات شکل کانال یا رودخانه نظیر شعاع هیدرولیکی، شیب و غیره بستگی دارد. چنانچه در مسیر انتقال به هر دلیلی نیروهای وارد شده از طرف جریان آب کاهش یابد، ذرات رسوبی ترسیب خواهد شد. هر یک از فرایندهای سه‌گانه فرسایش، انتقال و رسوبگذاری می‌توانند مشکلاتی را به وجود آورند. به‌طور مثال فرسایش باعث از بین رفتن زمین‌های کشاورزی، تخریب سازه‌های کنار رودخانه‌ها، تخریب پل‌ها و سایر بناهای مجاور رودخانه‌ها و همچنین موجب عمیق‌تر شدن بستر رودخانه‌ها می‌شود.

ذرات رسوبی فرسایش یافته ممکن است پس از فاصله‌ی کوتاهی و یا پس از طی مسافت‌های طولانی نهشته شوند، رسوب‌گذاری ذرات زمانی شدت می‌گیرد که از عوامل به‌وجود آورنده‌ی فرسایش و شروع حرکت ذرات کاسته شود. به‌طور مثال رسوبات رودخانه‌ای در نزدیکی‌های محل ورود رودخانه به دریا به دلیل کاسته

شدن از سرعت جریان نهشته می‌شوند. از مهمترین مشکلاتی که رسوب‌گذاری مواد رسوبی می‌تواند به وجود آورد عبارتند از: ایجاد جزایر در مسیر رودخانه‌ها و پشت سدها و در نتیجه کاسته شدن از ظرفیت ذخیره فعال مخزن و در نهایت از حیز انتفاع افتادن مخزن، رسوبگذاری در مسیل رودخانه‌ها در هنگام سیلابی و در نتیجه وارد کردن خسارات به بناها و مزارع، رسوب‌گذاری در کف رودخانه و در نتیجه کم عمق شدن آن که باعث غیر قابل کشتی‌رانی شدن رودخانه و باتلاقی شدن اراضی مجاور می‌شود.

۱-۳- ضرورت تحقیق

برای تخمین میزان بار معلق، بار بستر و بار کل رسوب روابط متعددی ارائه شده است ولی پیچیدگی پدیده انتقال رسوب باعث توسعه روش‌های متعددی شده که به منظور گزینش مناسب‌ترین روش برآورد بار معلق، باربستر و بار کل رسوب، مشخصات هیدرولیکی و هندسی رودخانه و همزمان با آن بارمعلق و باربستر در رودخانه اندازه‌گیری و تعیین خواهد شد که براساس نتایج بدست آمده از مقادیر مشاهداتی و مقایسه آن با روش‌های محاسباتی بهترین روش محاسباتی پیشنهاد می‌گردد.

۱-۴- هدف تحقیق

با توجه به فقدان مطالعات برآورد بار رسوبی توأم با اندازه‌گیری صحرائی همزمان بارمعلق و باربستر از یک سو و اهمیت مدیریت بهینه سد بیدواز اسفراین واقع در استان خراسان شمالی از سوی دیگر، با اندازه‌گیری مشخصات هیدرولیکی و هندسی رودخانه بیدواز در ایستگاه هیدرومتری قلعه سفید در بالادست سد بیدواز و اندازه‌گیری بارمعلق و باربستر در مواقع سیلابی رودخانه بیدواز، مناسب‌ترین روش محاسباتی تعیین بار رسوبات رودخانه بیدواز پیشنهاد خواهد شد.

۱-۵- نحوه نگارش پایان نامه

فصل اول: به بیان مفاهیم کلی از جمله انتقال رسوب و اهمیت مطالعه آن در مدیریت و برنامه‌ریزی در مدیریت منابع آب و ضرورت تحقیق اختصاص یافته است.

فصل دوم: شامل روش‌های محاسباتی بار معلق، بار بستر و بار کل رسوب و انتخاب روش‌های محاسباتی و در آخر مروری بر مطالعات انجام شده در این زمینه در داخل و خارج کشور می‌باشد.

فصل سوم: در این فصل خصوصیات فیزیکی و هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه، روش اندازه‌گیری بارمعلق و باربستر و در آخر روابط محاسباتی بار معلق، بار بستر و بار کل رسوب مورد بحث قرار گرفته است.

فصل چهارم: در این فصل نتایج به‌دست آمده از مقادیر مشاهداتی و محاسباتی و مقایسه آنان مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند.

فصل پنجم: و در نهایت با توجه به نتایج به‌دست آمده، نتیجه‌گیری کلی از تحقیق ارائه شده و پیشنهاداتی جهت راهبرد تحقیقات آتی ذکر گردیده است.

منابع تحقیق: در این بخش منابع و مآخذی که از آن در انجام این تحقیق استفاده گردیده بیان شده‌اند.

کلیات و سابقه تحقیق

۲-۱- مقدمه

هر ساله هزاران تن مواد جامد از سطح حوضه‌های آبریز، توسط آب شسته شده و از محلی به محل دیگر انتقال می‌یابد. فرسایش و انتقال مواد رسوبی از جهات مختلفی مورد توجه قرار می‌گیرد که از مهم‌ترین آنها از بین رفتن اراضی حاصل‌خیز کشاورزی و پر شدن مخازن سدها و بندها و کانال‌های آبیاری (شکل ۲-۱) (شکل ۲-۲) و انسداد مجرای تخلیه‌کننده‌های سدها (شکل ۲-۳) و اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از تخلیه رسوبات سدها (شکل ۲-۴) می‌باشد. با توجه به اهمیت مسئله رسوب و تاثیرات این فرایند در پهنه اکولوژیکی و آبخیزداری از جهات مختلف این فرآیند را مورد بررسی و مطالعه قرار داده‌اند و سعی بر این داشته‌اند که تا حد امکان مسئله فرسایش و رسوب را تحت کنترل درآورده و از اثرات سوء آن بکاهند و می‌توان گفت که اکثر این مطالعات نیز با موفقیت روبرو بوده‌اند. گرچه اخیراً در ایران پژوهش‌های زیادی در مورد رسوب صورت گرفته است، ولی به دلیل گستردگی و پیچیدگی موضوع و همچنین عواقب سوئی که این فرآیند در بردارد، هنوز هم جای کار و تحقیق برای مسئله رسوب وجود دارد. در این بخش چکیده‌ای از پژوهش‌هایی که در دهه‌های اخیر در این زمینه انجام گردیده، آورده شده است.



شکل (۲-۱) رسوبات انباشته شده (ریز دانه) در ورودی سد اسفراین



شکل (۲-۲) رسوبات انباشته شده (درشت دانه) در ورودی سد اسفراین



شکل (۳-۲) انسداد تخلیه کننده های سد



شکل (۲-۴) اثرات مخرب تخلیه رسوبات سدها بر محیط زیست

۲-۲-۲- مروری بر عوامل موثر بر انتقال رسوب

عوامل مختلفی در جابجایی و انتقال مواد رسوبی رودخانه‌ها تاثیرگذار می‌باشد. شناخت این‌گونه عوامل و نقش هر یک در کمیت و نحوه انتقال رسوب از جمله گام‌های اساسی در تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها قلمداد می‌شود. در زیر به بررسی هر یک از عوامل موثر بطور خلاصه پرداخته می‌شود (نشریه ۵۹۰ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، راهنمای محاسبه بار رسوب معلق و بستر رودخانه).

۲-۲-۲-۱- حوضه آبریز و خصوصیات فیزیوگرافیک آن

رسوب حمل شده در رودخانه‌ها از خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه‌های آبریز نظیر شیب، مساحت، تراکم شبکه آبراهه‌ها، شکل حوضه و نیمرخ طولی رودخانه تاثیرپذیری دارد. در حوضه‌های کوهستانی وقوع پدیده‌های زمین لغزش و کوه ریزش متداول بوده و نرخ فرسایش خاک نیز شدیدتر می‌باشد. نیمرخ طولی رودخانه از جمله شاخص‌های فیزیوگرافیک حوضه‌های آبریز می‌باشد که نقش مهمی در انتقال رسوب ایفا می‌کند. شیب زیاد رودخانه در بالادست توان انتقال را افزایش داده و امکان حمل مواد رسوبی درشت‌دانه فراهم

می‌گردد. در بازه‌های پایین دست با کاهش شیب طولی مواد درشت‌دانه ته‌نشین شده و رسوبات ریزدانه فرصت انتقال پیدا می‌کنند. همچنین مقدار رسوب حمل شده با افزایش مساحت حوضه آبریز افزایش می‌یابد. علت این امر ورود رسوب از شاخه‌ها و شعبات فرعی موجود در مسیر رودخانه است. در مناطق جلگه‌ای بخش عمده‌ای از حوضه آبریز را ناحیه سیلاب‌دشت^۱ تشکیل می‌دهد. در مواقع سیلابی پخش جریان سیل که دارای مواد رسوبی زیادی است فرصت لازم را برای ته‌نشینی رسوبات در سیلاب‌دشت فراهم می‌آورد. به‌عنوان یک قاعده کلی عموماً مواد رسوبی از اراضی بالادست حوضه آبریز شسته شده و در بازه‌های پایین دست از جمله سیلاب‌دشت ترسیب می‌نماید.

۲-۲-۲- هواشناسی و هیدرولوژی

از جمله عوامل هواشناسی موثر در انتقال رسوب شدت و مدت دوام بارندگی می‌باشد. این عوامل در تعیین نرخ فرسایش خاک و انتقال آن به شبکه آبراهه‌ها حایز اهمیت می‌باشد. در موارد عدیده‌ای بارش‌های متمرکز و ناگهانی منجر به وقوع سیلاب‌های بزرگ می‌شود که در اثر فرسایش شدید خاک دارای غلظت رسوب بالایی می‌باشند. به‌علاوه وقوع جریان‌های گلی و جریان‌های واریزه‌ای اغلب حاصل تعامل بارش‌های شدید و فرسایش خاک و لایه‌های رسوبی است که تحلیل رفتار آنها مستلزم انجام بررسی‌های مربوط به بارندگی، رواناب سطحی و سیلاب می‌باشد. در تعیین کمیت انتقال رسوب ثبت دبی روزانه و غلظت مواد معلق به‌عنوان بخشی از داده‌های هیدرولوژیک متداول بوده و از این طریق اثرهای فرسایش خاک در افزایش غلظت مواد رسوبی نیز قابل بررسی است.

۲-۲-۳- ریخت شناسی

خصوصیات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها بر پدیده انتقال رسوب تاثیرگذار می‌باشد. براساس بررسی‌های انجام شده توسط شوم^۲ و جدول (۱-۲) بار رسوبی رودخانه‌ها با شکل آنها ارتباط مستقیم دارد. مطابق جدول در

1- Flood Plain
1- Schumm

رودخانه‌های پیچان‌رودی شدید انتقال رسوب عمدتاً به صورت بار معلق بوده و در نتیجه آن رودخانه دارای عمق زیاد و عرض کم می‌باشد (نسبت W/D کم‌تر از ۷ است که در آن W معرف عرض رودخانه و D عمق جریان در حالت مقطع پر می‌باشد).

در رودخانه‌های مستقیم و شریانی سهم بار بستر قابل توجه بوده و مشخصه‌های هندسی رودخانه بر اساس آن شکل می‌گیرد. در این رودخانه‌ها عرض افزایش زیادی یافته و عمق کاهش پیدا می‌کند (W/D بیش‌تر از ۲۵ می‌باشد). برای رودخانه‌هایی که حالت مختلط حاکم می‌باشد تاثیر توام بار معلق و بار بستر شکل رودخانه را رقم می‌زند (نسبت W/D بین ۷ تا ۲۵ تغییر می‌کند). در پیچان‌رودها همچنین بخشی از بار رسوبی حمل شده حاصل فرسایش در قوس‌ها بوده و برای بررسی جابجایی‌های عرض و طول ناشی از آن تعیین کمیت بار رسوبی به دست آمده از فرسایش قوس‌ها ضروری می‌باشد. تعامل ریخت‌شناسی و انتقال رسوب همچنین منجر به تشکیل تلماسه‌ها و پاد تلماسه‌ها^۱ و همچنین بارها و جزایر رسوبی متعددی می‌باشد که در تعیین بار رسوبی باید مد نظر قرار گیرد.

جدول (۱-۲) چگونگی تاثیرپذیری بار رسوبی حمل شده از خصوصیات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها

نوع رودخانه	شیب	ضریب تغییرات	W/D	درصد رس و سیلت در بستر و کناره‌ها	بار بستر %	بار معلق %	نوع بار رسوبی
پیچان‌رودی شدید	کم	$>2/1$	<7	۹۰-۱۰۰	۰-۲۰	۸۰-۱۰۰	عمدتاً بار معلق
پیچان‌رودی	ملازم	$1/5-2/1$	۷-۲۵	۳۰	۱۵-۳۵	۶۵-۸۵	مختلط
مستقیم و شریانی	نسبتاً تند	$1-1/5$	>25	۰	۳۵-۷۰	۳۰-۶۵	عمدتاً بار بستر

۲-۲-۴- دانه‌بندی و لایه‌بندی مواد رسوبی و کناره‌ها

مقدار رسوب حمل شده با اندازه دانه‌های موجود در بستر و کناره‌ها مرتبط است. نرخ حمل مواد رسوبی ریزدانه به مراتب بیش‌تر از دانه‌های درشت می‌باشد. اندازه مواد رسوبی به تبعیت از شیب رودخانه و شرایط

هیدرولیکی تغییر می‌نماید. در نواحی کوهستانی که رودخانه دارای شیب زیادی است قطعات درشت‌سنگ و لاشه سنگ به همراه دانه‌های خرد شده شن و ماسه منتقل می‌شود. با کاهش شیب رودخانه در مناطق کوهپایه‌ای و آستانه ورود به نواحی جلگه‌ای قطر دانه‌های رسوبی نیز کاهش می‌یابد. در نواحی جلگه‌ای اندازه دانه‌های رسوب کاهش محسوسی یافته و زمینه برای تشکیل تلماسه‌ها فراهم می‌گردد.

۲-۲-۵- هیدرولیک جریان

انتقال مواد رسوبی به صورت بار بستر و بار معلق تابع شرایط هیدرولیکی رودخانه بوده و از این رو بررسی مشخصه‌های هیدرولیک جریان گام مهمی در تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها می‌باشد. هر یک از عوامل هیدرولیکی نظیر سرعت جریان، عمق آب، شیب خط انرژی، تنش برشی و بده جریان، در تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها دخیل می‌باشند.

حیطه تاثیرگذاری هیدرولیک جریان بر نحوه انتقال رسوب گسترده بوده و جریان‌های زیربحرانی و فوق بحرانی هر یک تاثیر خاص خود را در جابجایی مواد رسوبی به‌عهده دارند. در جریان‌های زیربحرانی فرآیند انتقال با تشکیل تلماسه‌ها و بارهای رسوبی همراه است و افزایش اصطکاک ناشی از تلماسه‌ها نرخ حمل رسوب را کاهش می‌دهد. در جریان‌های فوق بحرانی نیز شکل‌گیری پاد تلماسه‌ها بر کاهش شدت حمل مواد رسوبی تاثیرگذار می‌باشد. بیش‌ترین نرخ انتقال رسوب موقعی است که عدد فرود به مرز یک نزدیک شده و حالت بستر صاف پدیدار گردد. علت این امر کاهش اصطکاک بستر و افزایش سرعت جریان می‌باشد که در نتیجه آن بخش عمده‌ای از انرژی آب صرف انتقال مواد رسوبی می‌شود.

۲-۲-۶- زمین‌شناسی

خصوصیات زمین‌شناسی حوضه‌های آبریز عامل موثری در تغذیه رسوبی رودخانه‌ها می‌باشد. وجود سازندهای سخت و مقاوم نرخ فرسایش خاک را کاهش داده و بار رسوبی رودخانه را تقلیل می‌دهد. در صورتی که سطح حوضه آبریز از تشکیلات زمین‌شناسی فرسایش‌پذیر نظیر لایه‌های رس و سیلت پوشیده باشد فرسایش

ناشی از بارندگی تشدید یافته و به تبع آن میزان رسوب حمل شده توسط رودخانه نیز رو به افزایش می‌گذارد. شکل دره و مسیر رودخانه نیز که مسیر انتقال رسوب تلقی می‌شوند تابعی از شرایط زمین‌شناسی بوده و به نوبه خود نحوه انتقال مواد رسوبی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

۲-۲-۷- کاربری اراضی، پوشش گیاهی و نوع خاک

یکی از عوامل موثر در فرسایش خاک و افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها نحوه استفاده از اراضی و تغییر کاربری آنها می‌باشد. توسعه فعالیت‌های کشاورزی، گسترش شهرها، احداث راه‌ها و بسیاری دیگر از اقدامات عمرانی منجر به ناپایداری دانه‌های خاک و انتقال آن به شبکه آبراهه‌ها در حین وقوع بارندگی و برقراری رواناب سطحی می‌گردد. امروزه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، انواع کاربری‌ها در حوضه آبریز مورد بررسی قرار گرفته و نقشه کاربری اراضی تهیه می‌شود. پوشش گیاهی نیز به نوبه خود در تثبیت خاک حوضه موثر بوده و نقش مهمی در حفاظت خاک به‌خصوص در کناره‌ها و اراضی حاشیه رودخانه به‌عهده دارد.

۲-۲-۸- سازه‌های آبی و اقدامات حفاظتی

احداث سازه‌های آبی نظیر سدها، بندها، پل‌ها و سرریزها با تاثیرگذاری برالگوی جریان و خصوصیات هیدرولیکی، فرآیند انتقال رسوب را دستخوش تغییر می‌نماید. از این‌رو در تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها لازم است اثرهای این‌گونه سازه‌ها مورد توجه قرار گیرد. در مخازن سدها رسوب ورودی تله‌اندازی شده و بازه‌های پایین‌دست با کاهش تغذیه رسوبی مواجه می‌شوند.

در سدهای انحرافی نیز بخشی از رسوب حمل شده در بالادست سازه ترسیب نموده و بخشی نیز همراه با آب برداشتی از دسترس جریان رودخانه‌ای خارج می‌شود. پل‌ها از جمله سازه‌هایی می‌باشند که با تغییر الگوی جریان بر فرآیند انتقال رسوب تاثیرگذار بوده و به‌خصوص کاهش مقطع جریان در محدوده سازه موجب افزایش نرخ انتقال رسوب و وقوع فرسایش در اطراف پایه‌های پل می‌گردد. اقدامات حفاظتی و

عملیات ساماندهی نیز به نوبه خود از عوامل تاثیرگذار می‌باشد. آبشکن‌ها نیز از جمله سازه‌های عرضی می‌باشند که به دلیل کاهش مقطع جریان نرخ انتقال رسوب را افزایش می‌دهد.

۲-۲-۹- برداشت مصالح

رودخانه‌ها علاوه بر تامین منابع آب اغلب به‌عنوان منبع تامین مصالح مورد نیاز در طرح‌های مختلف عمرانی نیز تلقی می‌شوند. از این‌رو برداشت مصالح از دیرباز در رودخانه‌ها متداول بوده است. به‌علاوه در ترابری آبی لازم است برای تامین عمق مورد نیاز کشتیرانی بخشی از مصالح رودخانه‌ای لایروبی گردد. در ساماندهی رودخانه‌ها نیز اغلب پاکسازی مسیر از انباشته‌های رسوبی با هدف ایجاد راستای مناسب ضروری می‌باشد. از جمله تبعات به‌دست آمده از برداشت مصالح شکل‌گیری گودال برداشت و تغییر نرخ انتقال رسوب در بالادست و پایین‌دست گودال می‌باشد.

۲-۳- معیار انتخاب و کاربرد دستگاه‌های نمونه‌برداری رسوب در رودخانه

یکی از مراحل مهم در نمونه‌برداری رسوب، انتخاب مناسب‌ترین تجهیزات و امکانات می‌باشد. انتخاب دستگاه‌های اندازه‌گیری با توجه به طیف گسترده آنها، به عوامل مورد سنجش، امکانات موجود شامل کارکنان متخصص و کارآموده، اتومبیل صحرایی، قایق، ادوات و تجهیزات اندازه‌گیری به همراه استفاده از فن‌آوری و دقت مورد نظر وابسته است. شناخت اولیه از محدوده عملکرد و دقت دستگاه‌های اندازه‌گیری در هر رده اعم از بار معلق، بار بستر و مواد بستر می‌تواند کاربر را به مسیر درستی رهنمون سازد. علاوه بر شناخت فیزیکی از هر سامانه اندازه‌گیری، تجربه عملی آشنایی با دستگاه، یک امر مهم تلقی شده و باید قبل از انجام یک پروژه اندازه‌گیری، به‌درستی از صحت عملکرد آن اطمینان حاصل کرد.

۲-۳-۱- دستگاه‌های نمونه‌برداری بار معلق

دستگاه‌های نمونه‌برداری بار معلق، بر اساس دو روش نمونه‌برداری و اندازه‌گیری مستقیم و غیر مستقیم غلظت مواد معلق طراحی و ساخته شده‌اند:

۱- روش مستقیم

این روش، بر مبنای نمونه‌برداری و اندازه‌گیری مستقیم متوسط زمانی غلظت رسوب در حال انتقال در یک نقطه معین (پیوسته-نقطه‌ای) یا در امتداد یک عمق معین (پیوسته-عمقی) می‌باشد. طرز نمونه‌برداری بدین صورت است که نمونه‌بردار در امتداد یک عمق معین به‌صورت عمودی و با سرعت ثابت حرکت کرده و نمونه‌برداری می‌کند. از جمله این نمونه‌بردارها، می‌توان به بطری‌ها و نمونه‌بردارهای تله‌ای و پمپی اشاره کرد.

۲- روش غیر مستقیم

این روش، بر پایه نمونه‌برداری و اندازه‌گیری غیر مستقیم متوسط زمانی غلظت استوار می‌باشد. استفاده از این روش با فرضیات زیر همراه است:

- از نوسان سرعت دانه رسوب و غلظت رسوب در عمق صرف نظر می‌گردد.
 - سرعت دانه‌های رسوب و سیال با یکدیگر مساوی فرض می‌شود.
- متوسط زمانی غلظت رسوبات می‌تواند در یک نقطه (پیوسته-نقطه‌ای) یا در امتداد یک عمق معین (پیوسته-عمقی) اندازه‌گیری شود. نمونه‌بردارهای صوتی و نوری از انواع نمونه‌بردارهای روش غیر مستقیم به حساب می‌آیند.

۲-۳-۲- دستگاه‌های نمونه‌برداری بارکف بستر رودخانه

بطور کلی، اندازه‌گیری و نمونه‌برداری بار کف بستر به دو روش مستقیم و غیر مستقیم انجام می‌گردد.

۱- نمونه‌برداری بار کف به صورت مستقیم

در این روش به کمک دستگاه نمونه‌بردار، مواد رسوبی در حال حرکت در بستر رودخانه، تله اندازی و جمع‌آوری می‌گردد. سپس با انجام عملیات آزمایشگاهی و محاسبات، مقدار بار کف تعیین می‌شود. انواع نمونه‌بردارهای مستقیم به شرح زیر می‌باشد:

الف- نمونه بردار سبدي و جعبه‌اي

در اين نمونه بردارها، با استفاده از کاهش دادن سرعت جريان آب، ذرات رسوب در داخل جعبه يا سبدهاي توري تله اندازي مي گردد، اين نوع نمونه بردار بيشتر براي رودخانه هاي بزرگ با جريان زياد و رسوبات بار کف درشت دانه کاربرد دارد، معروف ترين دستگاه نمونه برداري در اين رده، نمونه بردار نسپر^۱ است که داراي ضريب نمونه برداري حدود ۴۵ درصد مي باشد.

ب- نمونه بردار سيني دار

اين نمونه بردار شامل يك صفحه خم شده شيب دار است که ذرات بار کف ضمن عبور از روي آن به داخل محفظه تعبيه شده در قسمت عقب دستگاه سقوط مي کند. معروف ترين دستگاه هاي نمونه برداري در اين رده، نمونه بردارهاي لوسين بسکي^۲ و پلياکوف^۳ هستند. ضريب اين نمونه بردارها به ترتيب ۳۸ و ۴۶ درصد است. اين نمونه بردارها بيشتر براي رودخانه هاي با بار کف و سرعت کم مناسب هستند.

ج- نمونه بردار اختلاف فشاري

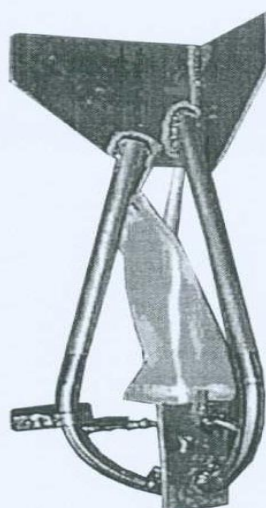
در اين رده از نمونه بردارها، با ايجاد ديواره هاي انحراف جريان در قسمت عقب دهانه نمونه بردار و ايجاد اختلاف فشار، ذرات رسوبي به داخل کيسه نمونه برداري وارد مي گردند. از معروف ترين دستگاه هاي نمونه برداري در اين رده، نمونه بردارهاي گونچارف^۴ و آرنهم^۵ هستند، به تدريج، نمونه بردارهاي اصلاح شده به شکلي ساخته شده اند که داراي ضريب تله گيري بالا، بين ۰/۹ تا ۱/۱ گرديده اند. نمونه بردار هلي اسميت، در واقع نوع اصلاح شده نمونه بردار آرنهم است و يك نمونه بردار شناخته شده و معتبر در اين گروه مي باشد. مشخصات فني نمونه بردار هلي اسميت در شکل (۲-۵) ارائه شده است.

-
- 1- Nespar
 - 2- Losien Bsky
 - 3- Polyacov
 - 4- Goncharov
 - 5- Arnham

۲- نمونه برداری بار کف بستر به صورت غیر مستقیم

در این روش، از دستگاه‌هایی که بر اساس خاصیت صوت، نور و یا مواد رادیواکتیو کار می‌کنند، استفاده می‌شود، به طور کلی، کاربرد این روش‌ها بیشتر آزمایشگاهی و تحقیقاتی است و تجربه صحرایی آن نیز اندک می‌باشد. یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده مسیریابی شکل بستر می‌باشد، در این روش، پروفیل طولی کف در یک دوره تناوبی برداشت شده و با مقایسه مداوم پروفیل‌ها، سرعت حرکت فرم‌های بستر قابل محاسبه خواهد بود (نشریه ۳۴۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، راهنمای عملیات صحرایی نمونه- برداری مواد رسوبی رودخانه‌ها و مخزن سدها).

نوع	رده نمونه‌بردار	مشخصات فنی دستگاه				
		طول cm	عرض cm	وزن kg	دانه‌روزی cm	جنس
S.BL-84 U Helly - Smith	بار بستر	۹۲/۱	۳۸/۱	۱۴/۴	۷/۳۲x۱/۶۲	آلومینیومی - استیل
		<p>جنس مخزنه نمونه‌بردار</p> <p>تولابیا و مخزنه عملکرد دستگاه</p> <p>توصیحات</p>				
		<p>• قابلیت جمع آوری ذرات با قطر ۱۷۵ میکرومتر.</p> <p>• برای نمونه‌برداری در جریان‌های با سرعت حداکثر ۳ متر بر ثانیه کاربرد دارد.</p> <p>• قابلیت اتصال به کابل برای اتصال به تل تلفریک.</p> <p>• در زمان نمونه‌برداری، باید حداکثر ۶۰٪ حجم کیسه پر گردد.</p> <p>• قطر ساقه کیسه جمع آوری نمونه ۱۷۵ میلی‌متر.</p> <p>• در حالت تخلیه دستگاه نمونه‌بردار باید کمی طرف عقب سنگینی داشته و زاویه حدود ۱۵ درجه با محور افقی داشته باشد.</p> <p>• برای نمونه‌برداری در رودخانه‌های بزرگ و با سرعت بیشتر از نوع سنگین آن استفاده می‌شود که دارای دانه‌روزی به ابعاد ۱۵/۳۲x۱۵/۳۴ سانتی‌متر و وزن حدود ۲۵ تا ۷۵ کیلوگرم می‌باشد.</p> <p>• سطح کیسه نمونه‌بردار حدود ۱۹۰۰ سانتی‌متر مربع.</p> <p>• بررسی‌ها نشان می‌دهد نمونه‌بردار مذکور قادر به جمع‌آوری ذرات با قطر بزرگتر از ۲۸ میلی‌متر نیز می‌باشد.</p> <p>• بررسی‌ها نشان می‌دهد در جریان‌های با سرعت بالای ۲/۵ متر بر ثانیه لازم است از نوع سنگین آن استفاده کرد.</p>				



شکل (۵-۲) مشخصات فنی نمونه‌بردار هلی اسمیت

۲-۴- تعاریف

۱- لایه‌ی بستر

به لایه‌ای از جریان آب اطلاق می‌شود که ضخامت آن چند برابر اندازه‌ی ذرات رسوب (معمولاً دو برابر) بوده و بلافاصله بالای بستر تئوری کانال قرار دارد.

۲- بار بستر

به رسوباتی که درون لایه‌ی بستر به صورت پرش، غلطیدن و یا لغزش روی بستر کانال در حرکت هستند اطلاق می‌شود.

۳- دبی بار بستر

مقدار حجم بار بستر عبوری از یک سطح مقطع مشخص در واحد زمان.

۴- مواد بستر

مخلوط مواد رسوبی است که بستر رودخانه از آن‌ها تشکیل شده است.

۵- دبی مواد بستر

آن قسمت از دبی کل رسوب که مشتمل بر ذراتی است که در بستر رودخانه یافت می‌شوند. دبی مواد بستر در حقیقت برابر با ظرفیت حمل رسوب رودخانه می‌باشد.

۶- بار مواد خیلی ریز یا بار شسته

آن قسمت از دبی کل رسوب که مرکب از اندازه‌ی ذراتی است که ریزتر از اندازه‌ی ذرات مواد بستر می‌باشند. به عبارتی این مواد در بستر کانال به ندرت یافت می‌شوند. معمولاً بار مواد خیلی ریز و یا بار شسته به ذراتی اطلاق می‌شود که اندازه‌ی آنها کمتر از $0/063$ میلی‌متر می‌باشد و همیشه معلق هستند.

۷- بار رسوب

وزن رسوباتی هستند که توسط جریان در حرکت‌اند.

۸- دبی رسوب

حجم کل رسوب عبوری از هر سطح مقطع کانال در واحد زمان

۹- رسوب حمل شده در سال

کل رسوب خارج شده از حوضه آبریز و یا سطح زهکش در هر نقطه‌ای در یک سال مشخص.

۱۰- بار معلق

به وزن رسوباتی اطلاق می‌شود که درون آب و بالاتر از لایه‌ی بستر در حرکت هستند و وزن آن‌ها توسط جریان آب حمل می‌شود و به مدت زمان قابل توجهی به صورت معلق در آب در حرکت باشد.

۱۱- دبی کل رسوب

به مجموع کل بار معلق و بار بستر و یا مجموع کل دبی مواد بستر و دبی مواد شسته، دبی کل رسوب گفته می‌شود.

میزان رسوب ممکن است به صورت حجمی یعنی متر مکعب در واحد زمان (m^3 / sec) و یا به صورت وزنی (kg / sec) بیان شود. از آن‌جا که مقدار رسوب حمل شده در رودخانه‌ها زیاد است بیشتر و به صورت تن در روز (ton / day) ارائه می‌شوند.

واحد اندازه‌گیری غلظت رسوب : میزان غلظت رسوب معمولاً بر حسب وزن در واحد حجم تعیین می‌شود.

۲-۵- روش‌های برآورد بار رسوب

در مطالعات مربوط به رسوب رودخانه‌ای از دو روش محاسباتی و اندازه‌گیری جهت برآورد بار معلق، بار بستر و بار کل رسوب (مجموع بار معلق و بار بستر) استفاده می‌گردد. در روش‌های محاسباتی نیاز به برخی از

داده‌ها از جمله عمق آب، سرعت آب، شیب بستر، عرض مقطع و دانه‌بندی ذرات بستر می‌باشد اندازه‌گیری با استفاده از دستگاه هلی اسمیت و بطری‌های نمونه‌برداری انجام شد.

۲-۵-۱- روش‌های برآورد بار بستر

هنگامی که وضعیت جریان به‌گونه‌ای باشد که معیار آستانه حرکت تامین شود، دانه‌های رسوب در طول بستر رسوبی، شروع به حرکت می‌کنند. چنانچه حرکت دانه‌های رسوب، با غلت خوردن، سرخوردن یا پرش‌های متوالی در طول بستر، همراه باشد، به این نوع حرکت، انتقال بار بستر گویند. بسیاری از فرمول‌های مطرح در بحث انتقال رسوب، عمدتاً به منظور بررسی چگونگی انتقال بار بستر و تخمین میزان باربستر رودخانه‌ها ارائه گردیده است، که می‌توان به رهیافت‌های مبتنی بر تنش برشی (روش‌های شیلدز و کالینسک)، مبتنی بر شیب انرژی (روش میر-پیتر و میر-پیتر و مولر)، مبتنی بر دبی (روش شالکیچ) و مبتنی بر نتایج آزمایشگاهی (روش‌های روتنر و کیسی) اشاره نمود که در این پژوهش از روش‌های شیلدز، میر-پیتر، شالکیچ و کیسی استفاده شده است.

۲-۵-۲- روش‌های برآورد بار معلق

بار معلق به رسوباتی اطلاق می‌شود که واسطه مولفه نیروی به سمت بالای جریان آشفته، در آبراهه به صورت معلق باشند و مدت زمان قابل توجهی نیز به همین صورت باقی بمانند. برای محاسبه بار معلق نیز از روش‌های لین و کالینسک، اینشتین و چانگ، سایمونز و ریچاردسون استفاده شده است.

۲-۵-۳- روش‌های برآورد بار کل رسوب

بر طبق تئوری انتقال، بار کل متشکل از مجموع بار بستر و بار معلق می‌باشد. براساس نوع دانه‌ها و مصالح منتقل شده، بار کل غالباً به‌صورت مجموع بار بستر و بار شسته تعریف می‌شود. بار شسته به دانه‌های ریزی اطلاق می‌شود که اندازه آنها از کوچکترین ذرات متشکله بستر نیز ریزتر است. مقدار بار شسته، عمدتاً به خصوصیات حوزه بالادست بستگی دارد و خصوصیات هیدرولیکی آبراهه تاثیر چندانی در آن ندارد. در نتیجه،

تعیین بار شسته بر مبنای پارامترهای هیدرولیکی رودخانه، بسیار مشکل است. لذا محاسبه بار کل بر مبنای بار شسته با دشواری‌هایی همراه است. از این‌رو به منظور تعیین بار کل آبراهه‌ها رهیافت‌ها و معادلاتی پیشنهاد شده است که تعداد زیادی از این معادلات، بر مبنای بسط معادلات بار بستر ارائه شده‌اند و در برخی موارد، روابط بار بستر مستقیماً با اندک تغییری در محاسبه بار کل به کار می‌روند. روابط و معادلات متعددی برای تخمین میزان بار کل رسوب رودخانه‌ها ارائه گردیده است، که می‌توان به رهیافت‌های دوبوی، میر-پیتر، کلبی ۱۹۵۷، انگلند-هانسون، ایکرز-وایت، اینشتین-برون، روش اصلاح شده اینشتین اشاره نمود که در این پژوهش جهت محاسبه بار کل رسوب استفاده شده است.

۲-۶- سابقه تحقیق

۲-۶-۱- مطالعات انجام شده در خارج از کشور

در سطح بین‌المللی می‌توان به مطالعه برآورد انتقال رسوب رودخانه زرد با استفاده از فرمول‌های انتقال انتخاب شده توسط وو^۱ و همکاران (۲۰۰۸) اشاره نمود که نتایج حاصله نشان می‌دهد که روش یانگ (۱۹۹۶) و روش ووهان و ووهان اصلاح شده توسط وو و لانگ^۲ بهترین نتیجه را می‌دهد و روش راین (۲۰۰۴) برآورد منطقی ارائه می‌دهد. همچنین شی و مک‌اینش^۳ (۲۰۱۲) اقدام به مدل‌سازی انتقال رسوب با استفاده از معادله زیلر-فولرتون و معادله مایر-پیتر-مولر در برآورد توابع جریان‌های رسوبی رودخانه واترمن‌واش ایالت آریزونا در ایالات متحده نمودند که نتایج حاصله نشان می‌دهد معادله زیلر-فولرتون در برنامه هک‌رس^۴ در مدل‌سازی انتقال رسوب برای کانال‌های شنی و ماسه‌ای نامنظم برای مناطق جنوب غربی وقتی که برای محاسبه جریان‌های رسوبی استفاده گردد، نتایج بهتری را می‌دهد.

1- Wu
2- Long
3- Shih and McIntash
4- HEC-RAS

مقایسه‌ای توسط انجمن آلمانی منابع آب و اصلاح اراضی^۱ و وتر^۲ (۱۹۸۸) بر روی داده‌های هفت رودخانه برای ارزیابی دقت ۱۹ فرمول انتقال انجام گرفت. مقایسه‌های انجام شده نشان داد که با در نظر گرفتن تمام داده‌ها، فرمول رگرسیونی پیشنهاد شده توسط کریم^۳ و کریم و کندی^۴ (۱۹۶۶) به‌طور کلی دارای بهترین مطابقت با اندازه‌گیری‌ها است. این امر تا حدی معلول دامنه وسیع داده‌های به‌کار رفته در تحلیل رگرسیونی کریم و کندی می‌باشد. بر طبق نظر این انجمن اگر مقایسه به دامنه اندازه ذرات ماسه محدود شود، فرمول بگنولد و یانگ بهترین مطابقت با نتایج اندازه‌گیری‌ها را ارائه می‌دهد. فرمول‌هایی که بر اساس روش تنش برشی استوار شده‌اند، کمترین قابلیت اعتماد را دارند. این نتایج نشان می‌دهند که اگر چه روش رگرسیونی صرف، بر اساس فرآیندهای فیزیکی انتقال رسوب پایه‌ریزی نشده است، ولی چنانچه داده‌های کافی با شرایط هیدرولیکی و رسوبی مناسب در این روش به‌کار روند، تحلیل رگرسیونی می‌تواند به ارائه فرمول‌های مفیدی منجر شود (حدادچی و همکاران، ۱۳۸۹).

دی و رایس^۵ (۱۹۹۳) مطالعه‌ای بر روی صحت بعضی از معادلات پیش‌بینی بار کف، با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده حمل رسوب با استفاده از اطلاعات پترسون و هاولز^۶ که در سال ۱۹۷۳ جمع‌آوری شده بودند انجام دادند. نتایج برای نسبت ناجوری در فاصله ۰/۵ تا ۲ نشان می‌دهد که معادلات ساده‌ای مانند انگلاند و هانسون و ون راین نرخ حمل رسوب را به‌خوبی و یا حتی بهتر از معادلات پیچیده‌ای مانند وایت و همکاران و کریم و کندی برآورد می‌کنند (حدادچی و همکاران، ۱۳۸۹)

5- German Association for Water Resources and Land Improvement

6- Vetter

7- Karim

8- Karim and Kennedy

1- De Vries

2- Peterson and Howells

وو و یو^۱ (۲۰۰۱) مقایسه‌ای بین ۱۶ معادله به‌نام‌های اینشتین (۱۹۵۰)، لارسن (۱۹۵۸)، کلبی، بیشاب و همکاران (۱۹۶۵)، انگلاند و هانسون (۱۹۶۷)، گراف و همکاران (۱۹۷۷)، مدوک^۲، توفالتی (۱۹۶۹)، شن و هانگ (۱۹۷۲)، ایکرز و وایت (۱۹۷۳)، یانگ (۱۹۸۴)، بروونلی، رانگا راجو، کریم و همکاران و ون‌راین با استفاده از ۱۷ سری از اطلاعات آزمایشگاهی انجام دادند. بر طبق مطالعات‌شان، معادلات یانگ، انگلاند و هانسون و ایکرز و وایت بهترین معادلات هستند در حالی که معادلات اینشتین، بگنولد (۱۹۶۶) و لارسن بدترین‌ها می‌باشند و بقیه معادلات در این بین قرار می‌گیرند (حدادچی و همکاران، ۱۳۸۹).

لارون و هابرساک^۳ در سال ۲۰۰۴ اندازه‌گیری بار بستر بر روی رودخانه دراو واقع در اتریش که دارای کف شنی و شیب حدود ۰/۲ درصد است، را با استفاده از نمونه‌بردار هلی اسمیت انجام دادند، از ۱۳ معادله بررسی شده معادلات زانک، اینشتین، میر-پیتتر، شولکیچ ۱۹۳۴ با درصد نسبت ناجوری بین نیم تا دو ۷۵، ۶۷، ۶۷، ۶۷، ۵۸ بهترین جواب‌ها را دادند (حدادچی و همکاران، ۱۳۸۹).

کرافورد چندین روش را برای محاسبه پارامترهای منحنی سنج رسوب مقایسه کرده و در نهایت نتیجه گرفته است که مدل خطی تغییر یافته (مدل توانی لگاریتمی شده) نسبت به روش‌های غیر خطی ارجحیت دارد (کرافورد، ۱۹۹۱). مطالعاتی توسط موسسه تحقیقات بیابان‌های آمریکا تحت عنوان (آنالیز بار معلق در رودخانه‌ی Truckee میانی) انجام گرفته است. هدف پروژه برآورد بار رسوب در رودخانه Truckee در کالیفرنیا و توصیف مختصات رسوب و تغییرپذیری آن براساس بارکل و تعیین ماکزیمم مقدار رسوب و زمان بوده است. نلسون و بوت با بررسی‌هایی که در حوضه آبریز رودخانه ایساکو انجام داده‌اند، تولید رسوب سالیانه این رودخانه را حدود ۶۴۰۰ تن در سال برآورد نموده و رسوب‌گذاری ویژه را نیز ۴۴ تن بر کیلومتر مربع در سال تخمین زده‌اند (صمدیان فرد و همکاران، ۱۳۸۶).

3- Wu and Yu

4- Maddock

5- Laronne and Habersack

۲-۶-۲- مطالعات انجام شده در کشور

در زمینه برآورد و محاسبه باربستر و بارمعلق مطالعات زیادی در دهه اخیر در ایران صورت پذیرفته است. از جمله می‌توان به مطالعه موردی صمدیان‌فرد و همکاران (۱۳۸۶) در برآورد بارمعلق و باربستر رودخانه اهرچای (بالا دست سد ستارخان) اشاره نمود که براساس نتایج بدست آمده روش میر-پیتر و مولر با جذر میانگین مربع خطای ۷/۷۸۶ برای باربستر و روش چانگ سایمونز و ریچاردسون با جذر میانگین مربع خطای ۸۶۱/۲۶۹ برای بارمعلق پیشنهاد نمودند. همچنین حدادچی و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی معادلات تجربی برآورد دبی باربستر در رودخانه کوهستانی چهل‌چای واقع در استان گلستان با بستر شنی پرداختند. نتایج آنها نشان داد معادله ایکرز و وایت بهترین نتیجه را با $۶۴/۳$ درصد نرخ حمل پیش بینی شده در دامنه نسبت ناجوری بین $۰/۵$ تا ۲ ارائه می‌دهد همچنین معادلات میر-پیتر و مولر با ۴۳ درصد و معادله ون راین با ۳۶ درصد نیز نتایج خوبی برای نرخ حمل را پیش بینی می‌کنند. همچنین برآورد و محاسبه بار رسوب معلق و بار کف به روش مستقیم در ایستگاه رسوب سنجی رودخانه کرخه ایستگاه حمیدیه نشان می‌دهد که متوسط ضریب باربستر (درصد باربستر به بارمعلق) $۹/۸۲$ ٪ می‌باشد یعنی بارمعلق رودخانه کرخه در ایستگاه حمیدیه خیلی بیشتر از باربستر می‌باشد (آخوردزاده، ۱۳۹۱).

سیف و نیک‌سخن (۱۳۸۹) جهت ارائه راهکاری مناسب برای محاسبه پتانسیل حمل رسوب در رودخانه فصلی جاماش در استان هرمزگان با دو رابطه مایر-پیتر-مولر و اینشتین-برون اقدام به بررسی نمودند و نتایج نشان داد که رفتار روابط مورد استفاده تقریباً یکسان بوده و در مجموع روش میر-پیتر-مولر مقادیر بالاتری را نسبت به روش اینشتین-برون برای محاسبات نتیجه‌گیری نمودند. پرتانی و مجدزاده (۱۳۸۵) با بررسی روش‌های برآورد بار معلق رودخانه قزل اوزن و مقایسه آن‌ها، معادله مناسب برای هر ایستگاه بر روی این رودخانه را انتخاب کرده و پس از واسنجی معادلات، یک معادله نهایی برای محاسبه بار معلق رودخانه قزل اوزن با تعیین ضرایب واسنجی ارائه نمودند. حسن زاده (۱۳۷۸) برای رودخانه آجی‌چای (ایستگاه ونیار) دو

معادله تجربی با ضریب همبستگی بسیار بالا جهت محاسبه بار معلق این رودخانه برای فصل‌های پرآبی و کم آبی ارائه نموده است. خوجینی و هاشمی‌نژاد (۱۳۷۷) با بررسی رسوب‌دهی حوضه آبخیز طالقان نتیجه-گیری کرده‌اند که ۸۹ درصد رسوبات حوضه در فصل بهار حمل می‌گردد. لطیفی و حسن‌زاده (۱۳۸۵) با بررسی مقادیر رسوب انتقالی در پنج ایستگاه هیدرومتری روی رودخانه گاماسیاب و سرشاخه‌های اصلی آن، به کمک معادلات انتقال رسوب و با آزمون چند روش به این نتیجه رسیدند که روش تلفیق دبی متوسط روزانه جریان و منحنی سنجه تک‌خطی کم‌ترین میانگین مربعات خطا و بیشترین ضریب تبیین را نسبت به سایر روش‌ها دارا می‌باشد. نخجیری و گلماهی (۱۳۸۲) در مقاله‌ای تحت عنوان سنجش و گزینش مناسب-ترین روش‌های برآورد بار بستر رودخانه‌ها، از طریق مقایسه مقادیر محاسباتی با مقادیر اندازه‌گیری شده پرداختند، و در نهایت روش میر-پیتر و مولر را برای محاسبه بار بستر پیشنهاد نمودند.

محمدزاده و سعیدپناه (۱۳۹۳) اقدام به ارزیابی روش‌های مختلف برآورد بار بستر در مهندسی رودخانه با استفاده از مشخصات رودخانه نیوبرارا واقع در آمریکا و مقایسه روابط روبویز، شیلدز، شالکیچ، میر-پیتر، میر-پیتر-مولر و روتنر نمودند که بر اساس مطالعات انجام شده و بررسی‌های مختلف موارد نتایج زیر را گرفتند:

- کلیه اطلاعاتی که مبنای معادله روبویز را تشکیل می‌دهد از فلوم‌های آزمایشگاهی که محدوده

کوچکی از قطر ذرات را در بر می‌گیرد، بدست آمده است و در اینکه معادله $K = \frac{0.173}{D_{50}^{0.75}}$ را بتوان

در آبراهه‌های طبیعی به کار برد جای تردید دارد.

- محاسبه بار بستر از روش روبویز و شیلدز مقداری بیش از مقدار واقعی را نشان می‌دهد و مقدار میر-پیتر و مولر مقداری بسیار کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد.

- دو روش روتنر و شالکیچ با توجه به نتایج بدست آمده از دقت بیشتری بین روابط بالا برخوردار است.

- روش روتنر زمانی که دانه‌های بسیار ریز بستر شروع به حرکت می‌کنند از دقت خوبی برخوردار نیست (محمدزاده و سعیدپناه، ۱۳۹۳).

قربانی و مجدزاده طباطبائی (۱۳۸۴) جهت تعیین بهترین معادله بار بستر و بار معلق و کالیبراسیون آنها در رودخانه‌های شنی و ماسه‌ای با استفاده از معادلات دوبوی (۱۸۴۹)، شولکیچ (۱۹۳۴) و (۱۹۴۳)، میر-پیتر (۱۹۳۴)، کیسی (۱۹۳۵)، شیلدز (۱۹۳۶)، اینشتین (۱۹۴۲)، کالینسکی (۱۹۴۷)، میر-پیتر-مولر (۱۹۴۸)، فریچینک (۱۹۵۲)، راتنر (۱۹۵۹)، بگنولد (۱۹۶۶)، توفالتی (۱۹۶۹)، بایکر (۱۹۷۱)، ون راین (۱۹۸۴) برای محاسبه بار بستر و روابط اینشتین (۱۹۵۰)، بگنولد (۱۹۶۶)، توفالتی (۱۹۶۹)، بایکر (۱۹۷۱) و ون راین (۱۹۸۴) برای محاسبه بار معلق در چهار ایستگاه با بستر شنی بر روی رودخانه‌های الندیچای، قطورچای، کرج و جاجرود و ایستگاه‌هایی با بستر ماسه‌ای بر روی رودخانه‌های آجی چای، قزل اوزن تلوار اقدام و با مقایسه نتایج این معادلات با مقادیر اندازه‌گیری شده بار بستر و بار معلق، رابطه شوکلایچ (۱۹۴۳) به عنوان بهترین رابطه انتقال بار بستر در رودخانه‌های شنی و ماسه‌ای، رابطه اینشتین (۱۹۵۰) به عنوان بهترین رابطه بار معلق در رودخانه‌های شنی و رابطه ون راین (۱۹۸۴) به عنوان بهترین رابطه بار معلق در رودخانه‌های ماسه‌ای انتخاب نمودند.

صدائی و سلیمانی (۱۳۹۱) جهت محاسبه بار معلق در رودخانه ارمند با استفاده از روش‌های لین و کالینسک و بگنولد در یک دوره آماری سی ساله دبی‌های بار معلق را برآورد نمودند که در نهایت با بررسی نتایج مشخص نمودند که رابطه بگنولد دارای برآورد نزدیک‌تری نسبت به رابطه لین و کالینسک بوده و همچنین رابطه لین و کالینسک دارای نوسانات بسیار زیادی در برآورد خود می‌باشد. از طرفی داده‌های ورودی به مدل و دبی‌های رسوب معلق اندازه‌گیری شده و استفاده از نرم افزار Spss-16 با روش رگرسیون چند متغیره داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار داده که در نهایت با کاربرد روش آماری بر روی دو رابطه مورد نظر

اثبات نمودند که پارامترهای عمق و سرعت بر روی دبی رسوب معلق در رودخانه می‌توانند دارای تاثیر معنی‌داری باشند.

۲-۷- جمع‌بندی کلی مرور منابع

مرور مطالعات پیشین حاکی از آن است که با توجه به این‌که در طول سالیان متمادی شمار زیادی رابطه برای محاسبه میزان رسوبات رودخانه پیشنهاد گردیده است که نتایج حاصل از یک رابطه با رابطه دیگری در یک ایستگاه از یک رودخانه اختلاف فاحشی با هم دارند و انتخاب یکی از روابط برای آن ایستگاه بسیار مشکل می‌باشد. یکی از روش‌هایی که معمولاً استفاده می‌شود تا رابطه‌ی مناسبی برای رودخانه مورد مطالعه شناسایی گردد، مقایسه‌ی داده‌های اندازه‌گیری شده با نتایج حاصل از روابط متعدد می‌باشد. باید دقت شود که داده‌ها از صحت کافی برخوردار باشند در غیر این صورت نتیجه‌گیری اشتباه خواهد بود. همچنین باید توجه داشت که روابط بوجود آمده، حداکثر ظرفیت حمل رودخانه را برآورد می‌کنند در حالی که ممکن است این مقدار رسوب در اختیار رودخانه نباشد و دبی رسوب اندازه‌گیری شده خیلی کمتر از میزان محاسبه شده از روابط موجود باشد. به‌طور مثال در رودخانه‌های کوهستانی، در فصل کم‌آبی سطح بستر آن‌ها از لایه‌ی درشت دانه‌ای پوشیده می‌شود و عملاً مقدار رسوب اندازه‌گیری شده خیلی ناچیز می‌باشد. در حالی که در همین زمان روابط موجود ممکن است میزان حمل رسوب را قابل توجه محاسبه کنند.

از طرفی اکثر مطالعات در رودخانه‌هایی با شرایط ژئومورفولوژی و حوضه‌های آبریز متفاوت صورت گرفته است و اینکه گسترش شهرنشینی بر مناطق حوضه آبریز موجب افزایش رواناب سطحی و به تبع آن افزایش حمل رسوب شده است لذا در این تحقیق سعی در انتخاب دقیق‌تر روابط موجود جهت محاسبات بار بستر، بار معلق و بار کل رسوب در رودخانه بیدواز واقع در استان خراسان شمالی شده است.

مواد و روش‌ها

تعیین مقدار رسوب حمل شده توسط رودخانه‌ها از جنبه‌های مختلف دارای اهمیت است. در طرح‌های مهندسی با هدف بهره‌برداری از منابع آب رودخانه نظیر تاسیسات تنظیم و انحراف جریان، سدهای مخزنی و ایستگاه‌های پمپاژ، بار رسوبی رودخانه از جمله عوامل مهم و تاثیرگذار در تعیین مشخصه‌های هندسی سازه و عمر مفید آنها تلقی می‌شود. در ساماندهی رودخانه‌ها که به منظور مهار فرسایش و رسوب‌گذاری و یا تثبیت بستر و دفع سیلاب انجام می‌گیرد آگاهی از میزان رسوب حمل شده توسط رودخانه و تاثیرپذیری آن از اقدامات حفاظتی، ضروری می‌باشد. از طرفی رودخانه‌ها منبع مناسبی برای تامین مصالح مورد نیاز طرح‌های عمرانی قلمداد شده و برداشت شن و ماسه از دیرباز در این عرصه متداول بوده است. به لحاظ اهمیت و نقش پدیده انتقال رسوب در عرصه‌های مختلف مهندسی تعیین کمیت بار رسوبی از دیرباز مورد توجه متخصصین مسائل رودخانه‌ای قرار گرفته است. براساس بررسی‌های انجام شده تا کنون بیش از سی معادله انتقال رسوب توسط محققین مختلف ارائه گردیده لیکن به لحاظ پیچیدگی‌های حاکم بر فرآیند انتقال، امکان معرفی یک معادله واحد جهانی برای تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها میسر نبوده است. امروزه با توسعه امکانات نرم‌افزاری و بهره‌گیری از فناوری‌های جدید، انجام سنجش‌های میدانی، بررسی‌های دقیق آزمایشگاهی و پردازش سریع اطلاعات، شناخت هر چه بهتر فرآیند انتقال رسوب فراهم گردیده و با تکیه بر تجارب ارزنده دهه‌های اخیر زمینه لازم برای معرفی روش‌های مناسب محاسبه بار رسوبی محقق شده است (نشریه ۵۹۰، سال ۱۳۹۱، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، راهنمای محاسبه بار رسوب معلق و بستر رودخانه).

در این فصل ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، مسیر مطالعه و انجام تحقیق جهت اخذ نتایج بیان خواهد شد. ابتدا ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه (حوضه آبریز رودخانه بیدواز) به تفصیل ارائه می‌گردد، سپس

چگونگی جمع‌آوری آمار و اطلاعات پایه و در ادامه روابط محاسبه بار معلق و بار بستر و در پایان روابط تعیین بار کل رسوب ارائه می‌گردد.

۳-۲- ویژگی‌های حوضه

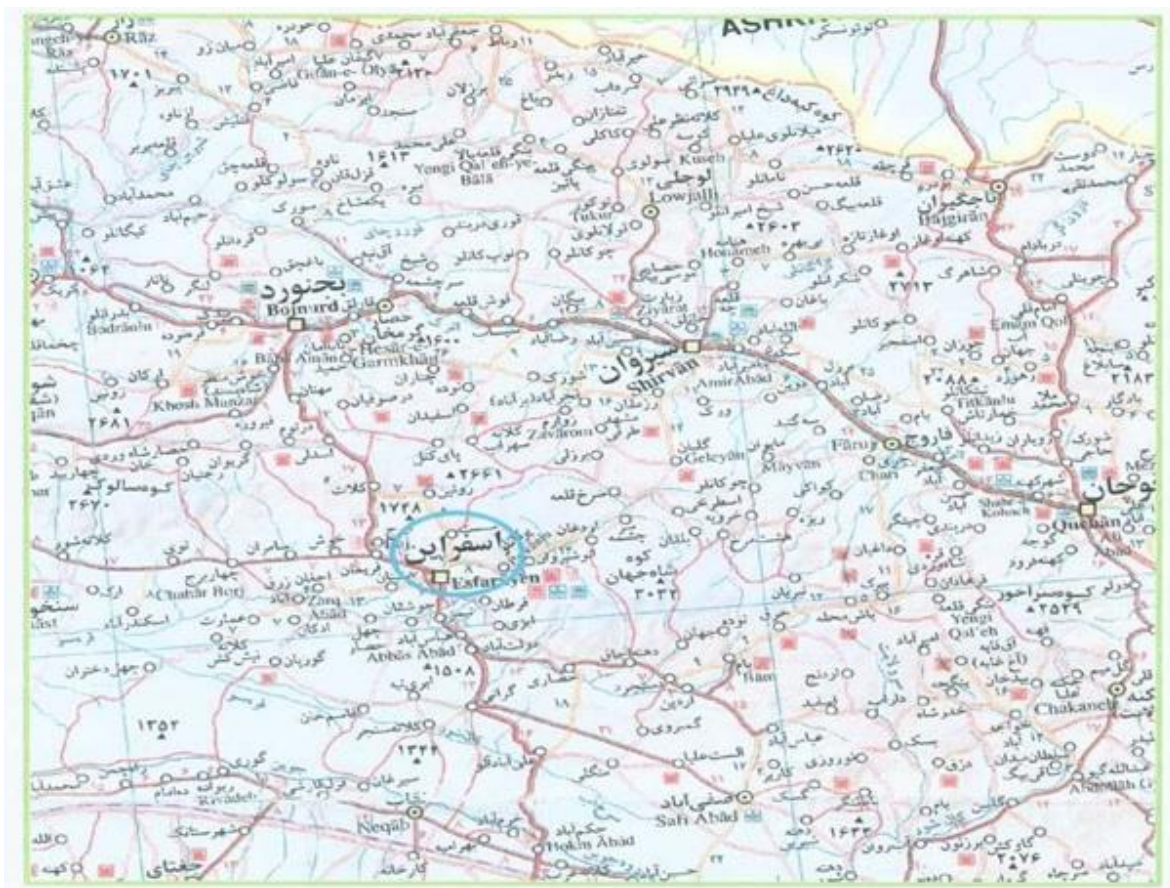
۳-۲-۱- کلیات

رودخانه بیدواز به طول حدود ۴۲ کیلومتر (۳۲ کیلومتر در بالادست و ۱۰ کیلومتر پایین دست شهر اسفراین) از ارتفاعات شمال غربی سرچشمه می‌گیرد و تا ضلع جنوب شرقی دشت اسفراین ادامه می‌یابد. حوضه بالادست این رودخانه در بالادست شهر اسفراین در حد فاصل طول‌های شرقی $57^{\circ}24'$ تا $57^{\circ}56'$ و عرض‌های شمالی $37^{\circ}1'$ تا $37^{\circ}14'$ قرار گرفته است. ارتفاع متوسط حوضه $2013/24$ متر از سطح دریا و ارتفاع بلندترین نقطه این حوضه ۳۰۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. و مساحت آن در پایین دست شهر اسفراین $644/93$ کیلومتر مربع می‌باشد.

۳-۲-۲- راه‌های دسترسی

به‌منظور دستیابی به محل ایستگاه آب‌سنجی قلعه سفید در محور ارتباطی بجنورد-اسفراین بعد از طی ۶۰ کیلومتر به شهر اسفراین و بعد از طی ۲۰ کیلومتر در راه روستایی اردغان به محل سد بیدواز و ۵ کیلومتر بالادست دست به محل ایستگاه آب‌سنجی قلعه سفید می‌رسیم.

شکل (۳-۱) راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱): موقعیت و راه دسترسی به محدوده مطالعاتی (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)

۳-۲-۳- فیزیوگرافی حوضه

مطالعات فیزیوگرافی در شناخت، برنامه‌ریزی و مدیریت حوضه‌های آبریز نقش اساسی دارد چرا که دیگر مطالعات از جمله فرسایش و رسوب، هیدرولوژی، هواشناسی و ... بطور کامل به آن وابسته است. اکثر پارامترهایی که در شناخت فیزیوگرافی هر حوضه نشان دهنده وضعیت کلی حوضه می‌باشد که بر حجم رواناب و سیلاب تولیدی تاثیر بسزا دارد. خصوصیات فیزیوگرافی حوضه بالادست ایستگاه قلعه سفید و خروجی حوضه در جدول (۳-۱) ارائه شده است. مهم‌ترین خصوصیات فیزیوگرافی حوضه شامل مساحت، شکل، وضعیت ارتفاعی، شیب و طول آبراهه اصلی است که در مطالعات مختلف منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و به‌صورت خلاصه به شرح ذیل تعریف می‌گردد:

۱- مساحت و محیط حوضه

دبی سیلاب‌ها و حجم رواناب حوضه بطور مستقیم به مساحت حوضه بستگی دارد، به این صورت که هر چه مساحت حوضه آبریز بیشتر باشد هیدروگراف سیل حوضه پهن‌تر و دارای قاعده وسیع‌تر خواهد بود به عبارت دیگر هر چه مساحت حوضه آبریز بزرگ‌تر باشد زمانی که سیلاب لازم دارد تا از یک ایستگاه اندازه‌گیری معین عبور کند طولانی‌تر خواهد بود. با توجه به این که حوضه رودخانه بیدواز بیشتر از ۱۰۰ و کمتر از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد در دسته حوضه‌های متوسط طبقه‌بندی می‌گردد که مساحت و محیط حوضه در جدول (۱-۳) مشخص گردیده است.

۲- طول حوضه و آبراهه اصلی

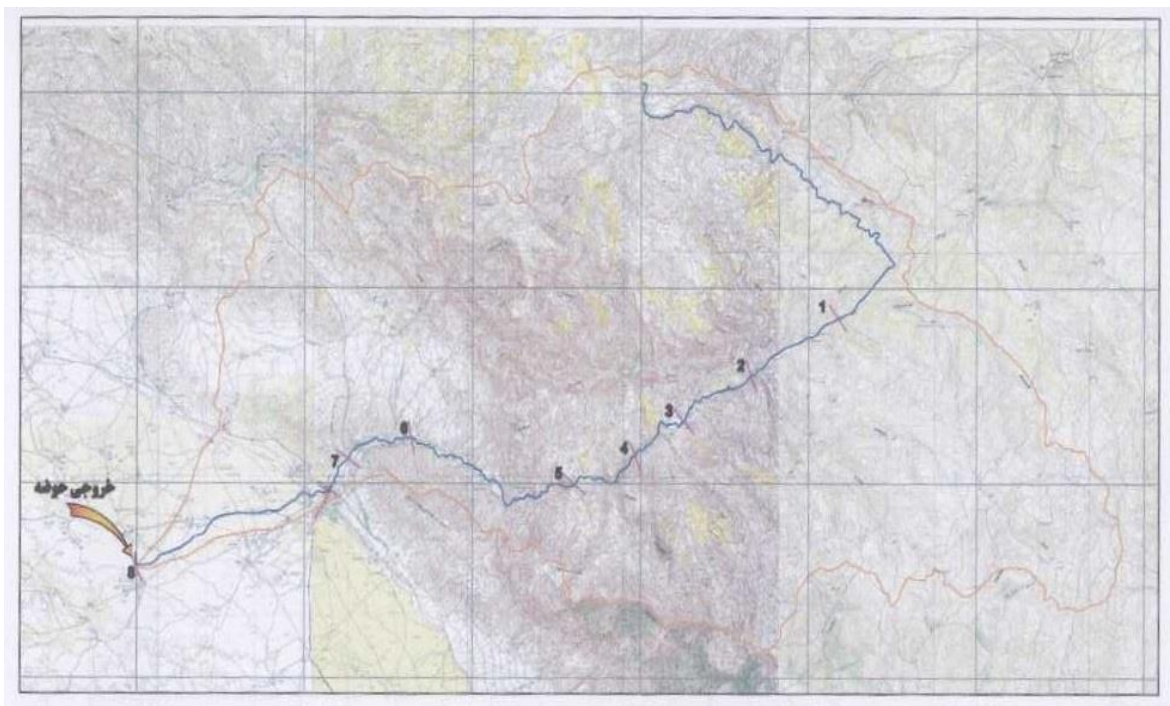
اگر تمام رودخانه‌های موجود در یک حوضه آبریز را روی نقشه مربوطه رسم کنیم، شبکه آبراهه‌های حوضه حاصل می‌گردد. یکی از این آبراهه‌ها که معمولاً طولانی‌ترین آنها نیز می‌باشد، آبراهه اصلی نامیده می‌شود (جدول ۱-۳) و در شکل (۲-۳) جانمایی آبراهه اصلی رودخانه بیدواز مشخص شده است که مقطع ۴ محل سد بیدواز می‌باشد.

۳- حداکثر اختلاف ارتفاع (برجستگی)

اختلاف ارتفاع بلندترین و کوتاه‌ترین نقطه حوضه را برجستگی گویند. با توجه به این که بیشترین ارتفاع برای دو حوضه ۳۰۰۰ متر می‌باشد و کمترین ارتفاع حوضه مورد مطالعه در جدول (۱-۳) ذکر شده است.

۴- ارتفاع متوسط

برحسب تعریف، ارتفاع میانه حوضه راقومی است که ۵۰٪ مساحت اراضی حوضه، ارتفاعی بالاتر از آن و ۵۰٪ مساحت حوضه، ارتفاعی پایین‌تر از آن داشته باشد. بر این اساس ارتفاع متوسط حوضه از رسم منحنی هیپسومترى حوضه، قابل برآورد است (جدول ۱-۳).



شکل (۲-۳) جانمایی آبراهه اصلی و محدوده حوضه آبریز رودخانه بیدواز اسفراین

۵- شیب متوسط حوضه

شیب حوضه یکی از عوامل مهم در تعیین زمان تمرکز و متعاقباً هیدروگراف سیل می‌باشد و جهت برآورد آن با توجه به عدم یکنواختی شیب حوضه از روش میانگین وزنی استفاده شده است (جدول ۱-۳).

۶- ضریب شکل یا ضریب فرم حوضه

نسبت مساحت حوضه به مجذور طول حوضه را ضریب فرم حوضه گویند. اگر ضریب فرم از واحد تجاوز کند در این صورت میزان احتمال سیلابی و طغیانی بودن زیادتر است و برعکس هر چه از واحد کمتر باشد طغیان و سیلاب کمتر خواهد بود (جدول ۱-۳).

۷- ضریب گراویلیوس یا فشردگی

نسبت محیط حوضه به محیط دایره فرضی که مساحت آن برابر مساحت حوضه باشد را ضریب فشردگی نامند. این ضریب مبین میزان انحراف شکل حوضه از وضعیت دایروی می‌باشد و معمولا عددی بین ۱ و ۲/۵ است (جدول ۱-۳).

۸- طول و عرض مستطیل معادل حوضه

این مستطیل نشان دهنده حوضه آبریزی است که محیط آن به شکل مستطیل بوده و سطح این مستطیل برابر سطح حوضه اصلی و دارای ضریب گراویلیوس باشد (جدول ۱-۳)

جدول (۱-۳) خلاصه مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز مورد مطالعه

خروجی حوضه	حوضه بالادست ایستگاه قلعه سفید	مشخصات فیزیوگرافی
۶۴۴/۹۳	۴۳۴	مساحت (km ²)
۱۴۳/۴۸	۱۰۳/۲	محیط (km)
۲۲/۰۹	۲۲/۸۴	شیب متوسط (‰)
۶۴/۶۲۸	۳۸/۷۲	طول آبراهه اصلی (km)
۳۰۰۰		حداکثر
۱۱۸۸	۱۵۲۰	حداقل
۱۸۱۲	۱۴۸۰	برجستگی
۲۰۱۳/۲۴	۲۲۰۲/۲۲	متوسط
۰/۱۵۴۴	۰/۲۸۹۵	ضریب فرم
۱/۵۹۳	۱/۳۹۷	ضریب گراویلیوس
۶۱/۸۲	۴۱/۵۱	طول (km)
۱۰/۴۳	۱۰/۴۵	عرض (km)
		مستطیل معادل

۳-۳- مشخصات ایستگاه آب‌سنجی قلعه سفید

ایستگاه هیدرومتری قلعه سفید به مختصات (۵۶۱۲۷۸-۴۱۰۶۲۴۵) utm در فاصله حدود ۳/۸۵ کیلومتری بالادست سد بیدواز در ارتفاع ۱۵۲۰ متری در سال ۱۳۸۲ در پایین دست روستای قلعه سفید بر روی رودخانه بیدواز به عرض مقطع ۱۵ متر احداث شده است. مشخصات کلی رودخانه بیدواز در محل ایستگاه آب‌سنجی به شرح ذیل برآورد شده است:

۱- متوسط آبدهی رودخانه ۰/۹۴ متر مکعب بر ثانیه

۲- مقدار دبی ۲۵ ساله رودخانه بیدواز در محل ایستگاه حدود ۱۷۲/۵ مترمکعب بر ثانیه

۳- حجم آب سالیانه ۲۹/۷۶ میلیون متر مکعب

۴- مساحت حوضه آبریز آن ۴۳۴ کیلومتر مربع

در شکل (۳-۳) موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه و شکل (۴-۳) نمای کلی ایستگاه مشخص شده است.



شکل (۳-۳) موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه



شکل (۳-۴) نمای کلی ایستگاه آبسنجی قلعه سفید

۳-۴- روش کار

در مطالعات مربوط به رسوب رودخانه‌ای از دو روش محاسباتی و اندازه‌گیری جهت برآورد بار رسوبی رودخانه‌ها استفاده می‌گردد. در روش‌های محاسباتی و اندازه‌گیری نیاز به داده‌هایی شامل دبی جریان، شیب بستر رودخانه، عمق جریان، عرض مقطع رودخانه، منحنی دانه‌بندی مواد بستر می‌باشد که در ادامه به تفصیل بحث خواهد شد.

۳-۴-۱- گردآوری اطلاعات پایه مورد نیاز

در تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها لازم است اطلاعات پایه موجود جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. بارندگی از جمله پارامترهای هواشناسی است که برای محاسبه شاخص‌های فرسایش خاک نظیر مدت تداوم رگبارها و شدت بارندگی کاربرد دارد. داده‌های هیدرولوژیکی نظیر دبی جریان، سیلاب‌ها، نمودار آبدی روزانه و منحنی تداوم جریان از جمله عوامل موثر در تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها تلقی می‌شوند. از این‌رو

جمع‌آوری این‌گونه اطلاعات پایه اعم از هواشناسی و هیدرولوژی در بررسی رسوب رودخانه‌ها متداول می‌باشد. مشخصات هندسی رودخانه نیز از جمله داده‌های مورد نیاز بوده و در این خصوص جمع‌آوری اطلاعات مربوط به نقشه‌برداری مسیر رودخانه، مقاطع عرضی و نیمرخ طولی، پهنه سیلاب‌دشت و مجرای اصلی، مشخصات پل‌ها و تاسیسات مختلف سازه‌ای که تاثیرگذار در فرآیند انتقال رسوب می‌باشند، قابل ذکر است. کاربری اراضی و پوشش گیاهی نقش عمده‌ای در پدیده فرسایش خاک و تغذیه رسوبی رودخانه بر عهده دارد. در زیر فهرست اطلاعات پایه ارائه شده است.

الف- اطلاعات هواشناسی

- شدت، مدت و کمیت رگبارها

- متوسط بارش سالانه حوضه آبریز

اطلاعات فوق عموماً" برای تعیین نرخ فرسایش خاک استفاده می‌شود.

ب- داده‌های هیدرولوژیکی

- دبی پایه جریان روزانه

- سیلاب‌ها شامل دبی حداکثر و هیدروگراف سیلاب‌های مشاهده شده و دوره برگشتی

- منحنی دوام جریان

اطلاعات هیدرولوژیک در تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها نقش عمده‌ای دارد.

ج- مشخصات هندسی رودخانه

- تهیه مقاطع عرضی رودخانه (مجرای اصلی و سیلاب‌دشت)

- نیمرخ طولی

- شیب رودخانه

- مشخصات سازه‌های عرضی نظیر پل‌ها، سدها و بندها

د- کاربری اراضی و پوشش گیاهی

- نقشه‌های کاربری اراضی حوضه آبریز (عموماً" با مقیاس $\frac{1}{25000}$)

- نقشه‌های پوشش گیاهی حوضه آبریز (عموماً" با مقیاس $\frac{1}{25000}$)

ه- اطلاعات مربوط به نوع خاک و خصوصیات مکانیکی

- دانه‌بندی مواد رسوبی بستر

- چگالی دانه‌ها

- سرعت ترسیب دانه‌ها

۳-۴-۲- نمونه‌برداری و اندازه‌گیری رسوب در رودخانه بیدواز

۳-۴-۲-۱- نمونه‌برداری بار معلق

به‌طور کلی نمونه‌برداری بار معلق به دو صورت انتگراسیون عمقی و نقطه‌ای قائم مقطع جریان، در مواضع متعددی از عرض بستر انجام می‌شود، با توجه به کاربرد دستگاه‌ها و روش‌های مختلف، دقت و صحت اندازه‌گیری‌ها متفاوت هستند، به هر حال، هدف، برآورد بار معلق حمل شده در مقطع رودخانه است. باید این نکته را یادآوری نمود که آگاهی از تغییرات غلظت مواد معلق در یک امتداد قائم مقطع در مطالعات رودخانه‌ای، موضوعی مهم تلقی می‌گردد. در بخش تعیین بار معلق، اندازه‌گیری غلظت مواد معلق عبوری، به عنوان گام اساسی تلقی می‌شود. انتخاب مقطع مناسب رودخانه برای عملیات نمونه‌برداری رسوب، یکی از اولویت‌های مهم در نمونه‌برداری بوده و به طور عملی، غالباً همان محل‌هایی که برای ایستگاه‌های هیدرومتری در نظر گرفته می‌شود، برای اندازه‌گیری بار معلق از متداول‌ترین روش یعنی بطری نمونه‌برداری و در عرض ایستگاه هیدرومتری به فواصل معین از ساحل راست انجام گرفت. به منظور نمونه‌برداری مطمئن و مناسب بار معلق نکات ذیل مورد توجه قرار گرفته است:

الف) با عنایت به اینکه میزان رسوب معلق تابع سرعت و درجه آشفتگی جریان است، لذا نمونه‌برداری در طول زمان کافی انجام گرفته است.

ب) در طرز نمونه‌برداری دقت شده تا از رسوب کف در امان بماند (شکل ۳-۵).



شکل (۳-۵) نمونه‌برداری بار معلق در زمان وقوع سیلاب

۳-۲-۴-۲- نمونه‌برداری بار کف بستر

اندازه‌گیری بار کف بستر توسط نمونه‌بردار، یکی از روش‌های مستقیم اندازه‌گیری بوده که با تعیین میزان رسوبات عمودی در واحد زمان در یک بخش از بستر رودخانه و گسترش آن برای کل عرض رودخانه محاسبه می‌گردد. از نظر تئوری، با استفاده از نمونه‌بردار به سادگی می‌توان بار بستر را محاسبه کرد. ولی به دلیل وجود عوامل محدود کننده از قبیل شکل، نوع و ترکیب مواد بستر، ضریب نمونه‌برداری، تغییرات زیاد بار بستر در زمان، ماهیت دوره‌ای بودن پدیده، زمان نمونه‌برداری، تغییرات محسوس مقدار نمونه، ابهامات و پیچیدگی‌های زیادی در محاسبه بار بستر وجود دارد. به طوری که عملاً یک الگو و دستورالعمل خاص برای انتخاب موقعیت ایستگاه‌ها، زمان نمونه‌برداری و چگونگی محاسبه بار بستر ارائه نشده است.

برای نمونه‌برداری باربستر به کمک دستگاه نمونه‌بردار، مواد رسوبی در حال حرکت در بستر رودخانه، تله‌اندازی و جمع‌آوری می‌گردد. سپس با انجام عملیات آزمایشگاهی و محاسبات، مقدار بار کف تعیین می‌شود. در این روش که به سادگی نمونه‌برداری بار معلق نمی‌باشد از نمونه‌بردار هلی‌اسمیت که جزو معتبرترین نوع نمونه‌برداری باربستر می‌باشد استفاده شده است (شکل ۳-۶). در نمونه‌بردار هلی‌اسمیت، سطح مقطع آن به تدریج از دهانه ورودی به سمت داخل افزایش می‌یابد و همین عامل باعث مکش در مدخل نمونه‌بردار می‌شود. وزن تقریبی هلی‌اسمیت مورد استفاده جهت تماس با کف رودخانه و همچنین مقاومت در برابر جریان‌های سیلابی در حدود ۱۵ کیلوگرم می‌باشد. نحوه کاربرد نمونه‌بردار هلی‌اسمیت بدین ترتیب است که از روی پل تلفریک موجود در ایستگاه در هر نوبت باربستر در مقاطع مختلف و در فواصل زمانی مناسب و در سه تکرار اندازه‌گیری شده و میانگین کل آنها به عنوان شاهد استفاده گردید (شکل ۳-۷).



شکل (۳-۶) نمونه‌بردار هلی‌اسمیت مورد استفاده



شکل (۷-۳) نمونه برداری بار بستر رودخانه بیدواز

۳-۴-۳- داده‌ها و اطلاعات برداشت شده رودخانه بیدواز

برای برآورد بار رسوب معلق و بستر و بار کل رسوب رودخانه بیدواز اسفراین از اندازه‌گیری‌های موجود در بانک اطلاعاتی شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی در سال‌های ۹۰ و ۹۱ و اندازه‌گیری‌های انجام شده

طی سال‌های ۹۳ و ۹۴ در مواقع سیلابی استفاده شده است. دبی جریان و شیب کف رودخانه از مستندات ایستگاه هیدرومتری قلعه سفید شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی تعیین و استفاده شده است. جهت تهیه و تعیین منحنی دانه‌بندی مواد بار بستر و بار معلق و درصد مواد معلق و وزن مخصوص ظاهری، نمونه‌ها به آزمایشگاه مکانیک خاک خراسان شمالی ارسال و نتایج استفاده شده است شکل (۳-۹) و شکل (۳-۱۰). شیب کف رودخانه با توجه به نقشه‌برداری شهریور سال ۱۳۹۳ دو درصد در نظر گرفته شد. قطر معادل D_{50} برابر نمودارهای دانه‌بندی نمونه‌های برداشت شده در سال ۱۳۹۴ برابر ۱۵ میلی‌متر و برای سایر سال‌ها ۱۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد (به علت عدم وجود نمودار دانه بندی در بانک اطلاعاتی شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی). کلیه داده‌های برداشت شده مورد نیاز محاسبات در جدول (۳-۲) ارائه شده است. مقدار ضریب مانینگ در محل ایستگاه آبسنجی قلعه سفید برابر با توجه به مطالعات تعیین حد حریم و بستر شرکت مهندسی مشاور کاوش پی برابر ۰/۰۳۵ در محاسبات استفاده گردید.

جهت به‌دست آوردن مقدار بار بستر و بار معلق و بار کل رسوب نمونه‌های مشاهده‌ای از نرم افزار محاسباتی بانک اطلاعاتی شرکت آب منطقه‌ای مشابه نمونه تکمیل شده شکل (۳-۱۱) استفاده گردید که مقادیر مشاهداتی بار بستر، بار معلق، بار کل رسوب و نسبت بار کف به بار کل در جدول (۳-۳) ارائه شده است. جهت محاسبات بار بستر از روابط ریاضی، نیاز به مقدار عرض رودخانه می‌باشد که با استفاده از عرض واقعی، مقادیر بدست آمده اختلاف بسیار فاحشی با مقادیر مشاهده‌ای داشت که با بررسی‌های بعمل آمده و بازدید مجدد میدانی ملاحظه می‌گردد که ایستگاه آبسنجی در پایین دست دو قوس شدید رودخانه واقع شده است که این امر موجب رسوب‌گذاری بسیار زیاد ساحل چپ بستر رودخانه در محل ایستگاه شده است که این امر باعث عدم یکنواختی جریان آب به نحوی که بیشترین عمق و سرعت جریان در ساحل راست مقطع در مجاورت دیوار ساحلی بوجود می‌آید (شکل ۳-۸) که با فاصله گرفتن از ساحل راست سطح مقطع به صورت مثلثی تغییر شکل می‌دهد به نحوی که تقریباً در ربع آخر سطح مقطع عملاً فاقد سرعت لازم و رسوب‌زایی

می باشد که نتایج نمونه برداری های مشاهده ای نیز گواه این امر می باشد (شکل ۳-۱۲). لذا برای انجام محاسبات با استفاده از فایل های محاسبات مشاهده ای عرض مقطع برای هر نمونه مطابق جدول (۳-۲) فرض شده است.



شکل (۳-۸) رسوب گذاری رودخانه در محل ایستگاه قلعه سفید و عدم یکنواختی سطح مقطع جریان آب بعد از محاسبه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار معلق، بار بستر و بار کل رسوب جهت مقایسه از دو روش زیر می توان استفاده کرد:

الف- جذر میانگین مربع خطا^۱ (RMSE): تفاوت مقدار پیش بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می باشد که یک ابزار خوبی برای مقایسه خطاهای پیش بینی توسط یک مجموعه داده است که رابطه آن به شرح زیر می باشد:

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n-1}} \quad (۳-۱)$$

که در آن:

P_i مقدار محاسباتی

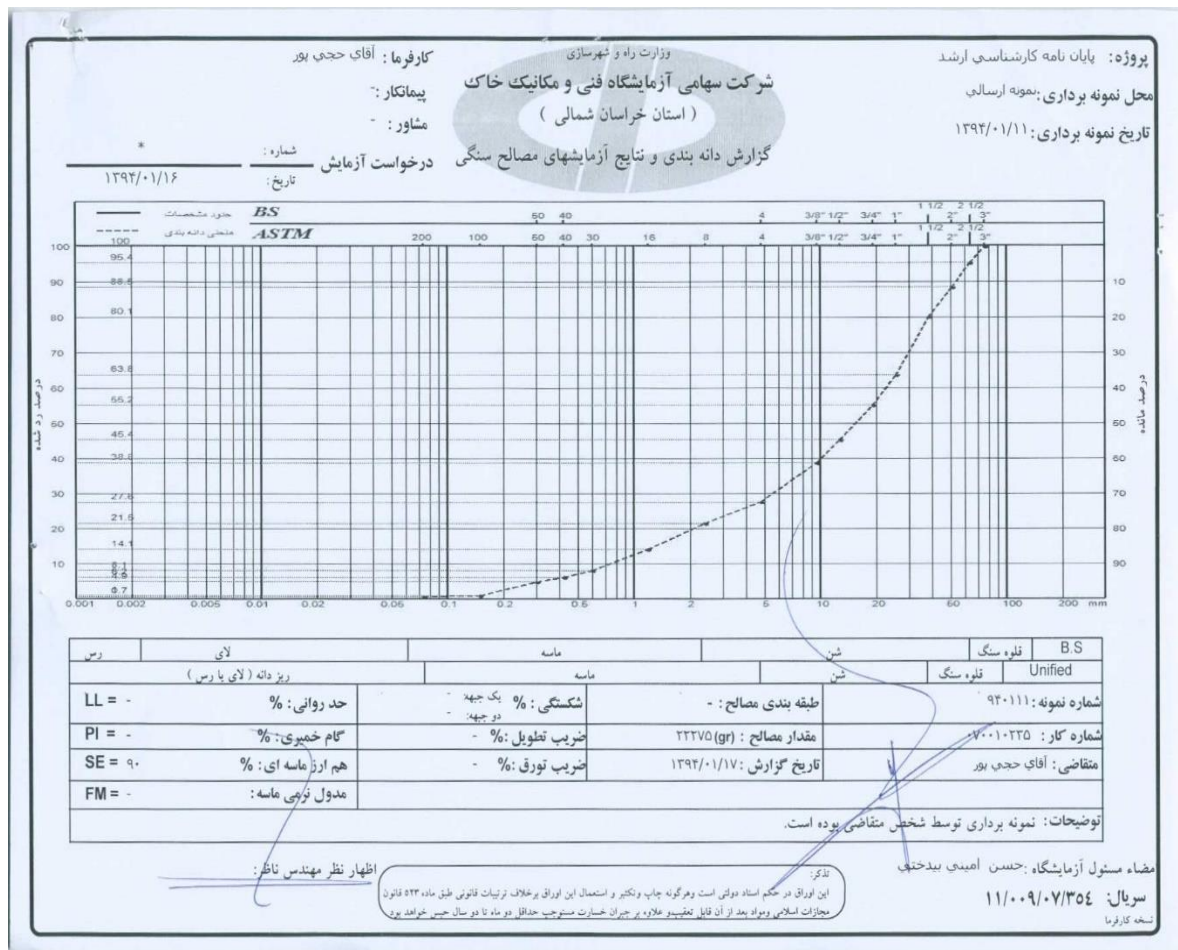
O_i مقدار مشاهداتی

n تعداد داده‌ها می‌باشد.

ب- خطای مطلق نسبی: نسبت خطای مطلق به مقدار میانگین یا مقدار واقعی را خطای مطلق نسبی گویند.

$$\rho_x = \left| \frac{X - x}{X} \right| \quad (2-3)$$

که در آن X مقدار مشاهده‌ای و x مقدار محاسباتی می‌باشد.



شکل (۳-۹) نمونه نمودار دانه‌بندی بار بستر اندازه‌گیری شده رودخانه بیدواز



وزارت راه و شهر سازی
آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان خراسان شمالی

پروژه: آزمایشات درخواستی آقای مرتضی حجی پور
تاریخ آزمایش: ۹۴/۱/۲۴

شماره کار: ۰۷۰۰۱۰۲۳۵
متقاضی: آقای مرتضی حجی پور

مشخصات نمونه آب (اعلام متقاضی)	شماره نمونه آزمایشگاهی	درصد خشک رسوبات	وزن مخصوص (گرم بر سانتی متر مکعب)
تاریخ ۹۴/۱/۲۴	۱۰۵۲۵۱	۰/۳۳	۱/۰۰۲
نمونه B تاریخ ۹۴/۱/۱۱	۱۰۵۲۵۲	۲/۱۰	۱/۰۰۶
نمونه A تاریخ ۹۴/۱/۱۱	۱۰۵۲۵۳	۱/۷۹	۱/۰۰۴

توضیح: ۱- آزمایش مطابق روش اعلامی متقاضی انجام شده است. ۲- نمونه ها توسط متقاضی تهیه و به آزمایشگاه ارسال شده است.

کارشناس مسئول:

کارشناس مسئول مقاوم مصالح

شکل (۱۰-۳) نمونه درصد خشک رسوبات بار معلق اندازه گیری شده رودخانه بیدواز

File Edit View Goto Query Application Window Help

شماره صفحه

وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران
دفتر مطالعات ماده منابع آب

فرم ثبت نمونه برداری و محاسبه رسوب بارکف

کد فرم 410-460

شرکت آب منطقه ای استان 29
خراسان شمالی -29

سال آبی: 94-1393
کد ایستگاه: 47-062
عرض دهانه نمونه بردار (cm): 7.62
درجه حرارت (c): 15.0
عمق (متر): 10.10
میانگین غلظت مواد معلق (میشگرم در لیتر): 195.600
استانگاد: قنچه سفید
دبی: M³/sec
میانگین عمق (cm): 48.0
ساعت شروع: 11:30:00
تاریخ نمونه برداری: 94/1/11

بارکف مقطع
میانگین وزن نمونه اصلی
یا تصحیح شده فرو نظرمان
(قرچ در ثانیه)

نمونه شماره 1
عقب آب فاصله از مبدأ
شماره مقطع

نمونه شماره 2
وزن (قرچ) مدت (ثانیه) ضرب تصحیح

نمونه شماره 3
وزن (قرچ) مدت (ثانیه) ضرب تصحیح

ردیف	بارکف	میانگین وزن نمونه اصلی یا تصحیح شده فرو نظرمان (قرچ در ثانیه)	نمونه شماره 1 (وزن/قرچ * مدت/ثانیه * ضرب تصحیح)	نمونه شماره 2 (وزن/قرچ * مدت/ثانیه * ضرب تصحیح)	نمونه شماره 3 (وزن/قرچ * مدت/ثانیه * ضرب تصحیح)
1	2.865-70	136.48	1.51	27,115.0	300
2	3.322-36	66.05	1.51	13,123.0	300
3	1.820-34	0.00	1.00	0.0	300
4	0.00	0.00	1.00	0.0	300
5					
6					
7					
8					
9					
10					

قرم بر ثانیه: 8.008-40
میل در روز: 691.926

نسبت بار کف به کل بار رسوب (درصد): 81.57
بار کل رسوب (میل در روز): 848.250
بار معلق (میل در روز): 156.324

نمونه برداری: 1-دبی 2-قرچ 3-قرچ

ملاحظات:

توجه: فیلد شماره صفحه را وارد نمایید. جهت محاسبه مقدار بارکف، فیلدهای دبی و متوسط غلظت مواد معلق می بایست تکمیل گردند

شکل (۱۱-۳) نمونه فرم تکمیل شده محاسبات بار رسوب مشاهده ای

جدول (۳-۲) کلیه پارامترهای اندازه‌گیری شده مورد نیاز محاسبات روابط ریاضی رسوب

ردیف	تاریخ	ساعت نمونه برداری	دبی m^3 / s	عرض کف واقعی B(m)	عرض کف فرضی b(m)	عمق هیدرولیکی نرمال D(m)	قطر متوسط ذرات D_{50} (mm)	شیب کف m/m	سرعت متوسط m/s	غلظت متوسط مواد معلق ppm	شعاع هیدرولیکی R(m)
1	1394/01/11	9.30	9.25	11	8.5	0.475	15	0.02	2.292	195.6	0.427
2	1394/01/04	9.30	4.99	9.5	7	0.368	15	0.02	1.94	34.4	0.333
3	1393/12/02	9	1.63	6.7	5	0.229	12	0.02	1.425	45	0.21
4	1393/02/04*1	18.45	1.34	6.5	4	0.235	12	0.02	1.428	10	0.21
5	1393/02/04*2	14.45	1.77	7.3	5	0.241	12	0.02	1.471	22	0.22
6	1393/02/04*3	8.3	2.99	8.8	6.8	0.273	12	0.02	1.613	193	0.252
7	1392/01/10	19.3	0.92	5	4.3	0.177	12	0.02	1.209	96	0.164
8	1391/03/08	10	1.662	7	5	0.231	12	0.02	1.436	153	0.212
9	1391/02/11	10	2.44	7	6	0.261	12	0.02	1.56	93	0.24
10	1391/01/30	10	3.202	9	7.5	0.267	12	0.02	1.6	267	0.249
11	1391/01/08	10	0.411	5	2.5	0.153	12	0.02	1.072	44	0.137

جدول (۳-۳) مقادیر مشاهداتی بار کف، بار معلق و بار کل رسوب رودخانه بیدواز

ردیف	تاریخ	باربستر (ton/day)	بارمعلق (ton/day)	بارکل (ton/day)	نسبت بار کف به رسوب (درصد)	نسبت بار کف به بار کل (درصد)
1	1394/01/11	691.93	156.42	848.35	81.56	442.35
2	1394/01/04	130.441	14.83	145.27	89.79	879.58
3	1393/12/02	0.508	6.33	6.84	7.43	8.03
4	1393/02/04	0.257	1.16	1.42	18.14	22.16
5	1393/02/04	39.97	3.36	43.33	92.25	1189.58
6	1393/02/04	46.64	49.86	96.50	48.33	93.54
7	1392/01/10	0.318	7.63	7.95	4.00	4.17
8	1391/03/08	0.794	21.97	22.76	3.49	3.61
9	1391/02/11	5.715	19.6	25.32	22.58	29.16
10	1391/01/30	45.627	73.86	119.49	38.19	61.77
11	1391/01/08	1.276	1.56	2.84	44.99	81.79

۳-۵- روابط محاسبه‌ی میزان انتقال رسوب

مواد رسوبی که همراه جریان آب در حرکت هستند ممکن است درون جریان به صورت معلق باشند و یا این که مواد رسوبی به صورت لغزش و یا غلطیدن بر روی بستر رودخانه حرکت کنند و یا همزمان به دو صورت فوق انتقال یابند. میزان حرکت بار معلق و یا بار بستر به روابط هیدولیکی کانال، در دسترس بودن مصالح رسوبی و نیز خصوصیات رسوب بستگی دارد، یا به عبارتی هر چه شرایط جریان، مثلاً مقدار دبی، افزایش یابد مقدار بار رسوبی که به صورت معلق یا بستر منتقل می‌شوند نیز افزایش می‌یابد. از این رو می‌توان روابطی برای پیش‌بینی بار رسوبی معلق و بار بستر تابعی از شرایط جریان و مشخصات رسوب به‌دست آورد.

از آن جا که قوانین حاکم بر حرکت مواد رسوبی در هر یک از حالت‌های بار بستر و یا بار معلق متفاوت می‌باشد؛ بنابراین روش‌های تعیین میزان مواد رسوبی نیز به دو دسته تقسیم و ارائه خواهد شد. بار کل رسوب نیز در قسمت جداگانه ارائه شده است.

۳-۶- روابط تعیین بار بستر

تاکنون روابط و معادلات متعددی برای تخمین میزان بار بستر رودخانه‌ها ارائه گردیده است، که می‌توان به رهیافت‌های مبتنی بر تنش برشی (روش شیلدز)، مبتنی بر شیب انرژی (روش میر-پیتر)، مبتنی بر دبی (روش شالکیچ) و مبتنی بر نتایج آزمایشگاهی (روش کیسی) اشاره نمود که به شرح زیر در این پژوهش جهت محاسبه بار بستر استفاده شده است.

۳-۶-۱- رابطه کیسی

در این روش بر مبنای داده‌های آزمایشگاهی استوار می‌باشد. کیسی دو رابطه، یکی برای رودخانه با مواد بستر ماسه‌ای یکنواخت و دیگری برای رودخانه با مواد بستر ماسه‌ای غیر یکنواخت ارائه داده است. برای رودخانه با مواد بستر ماسه‌ای یکنواخت رابطه‌ی کیسی به صورت زیر است:

$$q_b = 0.367 S_f^{\frac{9}{8}} (q - q_c) \quad (3-3)$$

در رابطه‌ی بالا q_c و q و q_b و بر حسب $m^3 / sec / m$ باشد و مقدار q_c برابر است با:

$$q_c = 6.5 \times 10^{-6} \frac{D_{50}^{1/8}}{S_f^{1/2}} \quad (4-3)$$

که در آن:

D_{50} اندازه متوسط ذرات بر حسب میلی‌متر

q_b دبی بار بستر

q دبی جریان رودخانه

S_f شیب بستر رودخانه

برای رودخانه با مواد بستر ماسه‌ای غیر یکنواخت، رابطه به صورت زیر است:

$$q_b = \frac{1}{3} S_f (q - q_c) \quad (5-3)$$

$$q_c = 5/6 \times 10^{-6} \times \frac{D_m^{0.75}}{S_f^{1/25}}$$

که در آن D_m اندازه‌ی میانه ذرات رسوبی می‌باشد (برحسب میلی‌متر) و از رابطه زیر به دست می‌آید (شفاعی بجستان، ۱۳۹۲):

$$D_m = \frac{\sum P_i D_i}{100} \quad (6-3)$$

که در آن: D_i اندازه‌ی رسوبی برحسب فوت و P_i درصدی از ذرات رسوبی به اندازه‌ی D_i می‌باشد.

۳-۶-۲- رابطه‌ی شاکلیج

در این روش شاکلیج، به جای استفاده از تنش برشی بحرانی از دبی بحرانی بهره می‌جوید. در حقیقت دبی بحرانی دبی‌ای است که تحت آن مواد بستر در آستانه‌ی حرکت قرار دارند. در حقیقت دبی این روش بر مبنای اطلاعات آزمایشگاهی به دست آمده است و بیشتر برای رودخانه‌های شنی مناسب می‌باشد. میزان بار بستر طبق این روش برابر است با:

الف- در سیستم انگلیسی

$$q_b = \sum_{i=1}^n P_i \frac{25/30}{\sqrt{D_i}} S^{\frac{3}{2}} (q - q_{ci}) \quad (7-3)$$

در این رابطه: D_i اندازه ذرات رسوبی برحسب فوت و P_i درصدی از ذرات رسوبی به اندازه‌ی D_i

می‌باشد و q عبارت است از دبی جریان در واحد عرض رودخانه بر حسب $ft^3 / Sec / ft$ و q_{ci}

بار بستر حسب $lb / sec / ft$ و مقدار q_{ci} برابر است با:

$$q_{ci} = 0.0638 \frac{D_i}{S^3} \quad (8-3)$$

S شیب بستر رودخانه

میزان بار بستر برای یک رودخانه به عرض B بر حسب تن بر روز برابر است با:

$$q_b = 43.2B \sum_{i=1}^n P_i \frac{25.3}{\sqrt{D_i}} S^{\frac{3}{2}} (q - q_{ci}) \quad (9-3)$$

ب- در سیستم متریک (S.I):

$$q_b = \sum_{i=1}^n P_i \frac{2194}{\sqrt{D_i}} S^{\frac{3}{2}} (q - q_{ci}) \quad (10-3)$$

در این رابطه، q بر حسب $m^3 / \text{sec} / m$ ، D_i بر حسب متر و q_b بر حسب $N / \text{sec} / m$ و P_{ci} عبارت است از درصدی از ذرات رسوبی بستر که دارای اندازه‌ی D_i می‌باشد.

$$q_{ci} = \frac{0.0194D_i}{S^{\frac{3}{2}}} \quad (11-3)$$

روش شالکیچ اساساً بر مبنای اطلاعات آزمایشگاهی در یک فلوم کوچک می‌باشد. اندازه‌ی متوسط ذرات رسوبی به کار رفته بین $0/3$ تا 5 میلی‌متر بوده است. مقایسه‌هایی که با مواد رسوبی رودخانه‌های طبیعی به عمل آمده است، نشان می‌دهد که این رابطه برای رودخانه‌های با بار بستر شنی مناسب است و نباید برای رودخانه‌های با بستر ماسه‌ای که مقدار زیادی بار معلق حمل می‌کنند، به کار برده شود (شفاعی بجستان، ۱۳۹۲).

۳-۶-۳- رابطه شیلدز

رابطه‌ی شیلدز بر اساس داده‌های آزمایشگاهی در دو فلوم به عرض 40 و 80 سانتی‌متر بوجود آمده است. پنج نوع اندازه‌ی مختلف مواد رسوبی با اندازه‌های $1/7$ الی $2/5$ میلی‌متر و دامنه‌ی انحراف معیار ذرات بین $1/06$ الی $4/2$ به کار گرفته شده است. رابطه‌ی شیلدز به صورت زیر می‌باشد:

$$q_b = 10q_s \frac{(\tau_0 - \tau_c)}{(\gamma_s / \gamma - 1)\gamma D_{50}} \quad (12-3)$$

در این رابطه: γ_s و γ وزن واحد حجم آب و وزن مخصوص حقیقی مصالح رودخانه‌ای، q دبی جریان در واحد عرض کانال، τ_0 و τ_c به ترتیب تنش برشی بستر و تنش برشی بحرانی و k_f شیب خط انرژی می‌باشد. توجه شود از آن جا که رابطه‌ی فوق از نظر ابعادی، بی‌بعد می‌باشد، بنابراین از هر نوع سیستم آحادی می‌توان استفاده کرد. در رابطه بالا q_b به صورت حجمی محاسبه می‌شود. مقدار تنش برشی

بحرانی است که از دیاگرام شیلدز به دست خواهد آمد (شفاعی بجستان، ۱۳۹۲).

۳-۶-۴- رابطه میر-پیتر

این رابطه به صورت رابطه‌ی زیر می‌باشد:

$$q_b = \left[39.25q^{\frac{2}{3}}S_f - 9.95D_{50} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (۱۳-۳)$$

که D_{50} اندازه متوسط ذرات بستر بر حسب فوت، q دبی در واحد عرض بر حسب $ft^3 / sec / ft$ و q_b بار بستر بر حسب $lb / sec / ft$ می‌باشد.

در سیستم متریک رابطه میر-پیتر به صورت زیر می‌باشد:

$$q_b = \left[250q^{\frac{2}{3}}S_f - 42.5D_{50} \right]^{1.5} \quad (۱۴-۳)$$

روابط (۱۳-۳) و (۱۴-۳) بر مبنای داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده است. پنج نوع مواد رسوبی به اندازه‌ی متوسط $3/1$ میلی‌متر الی $28/6$ میلی‌متر در آزمایش به کار رفته است. از آن جا که در بوجود آمدن این روابط از مواد رسوبی درشت دانه استفاده شده است و با توجه به این که در این نوع خاک‌ها، فرم بستر تشکیل نمی‌شود. بنابراین کل تنش برشی بستر به ذره منتقل می‌گردد. از این رو رابطه‌ی میر-پیتر برای رودخانه‌های با بستر شنی مناسب می‌باشد (شفاعی بجستان، ۱۳۹۲).

۳-۷- روابط محاسباتی بار معلق

۳-۷-۱- رابطه لین و کالینسک

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

$$q_{sw} = qC_a P_L \exp\left(\frac{15\omega a}{U_* D}\right) \quad (۱۵-۳)$$

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 ($lb / (s \cdot ft)$)

C_a : غلظت مواد معلق در فاصله a از بستر آبراهه (ppm)

ω : سرعت سقوط متناظر با قطر d_{50} (ft / s)

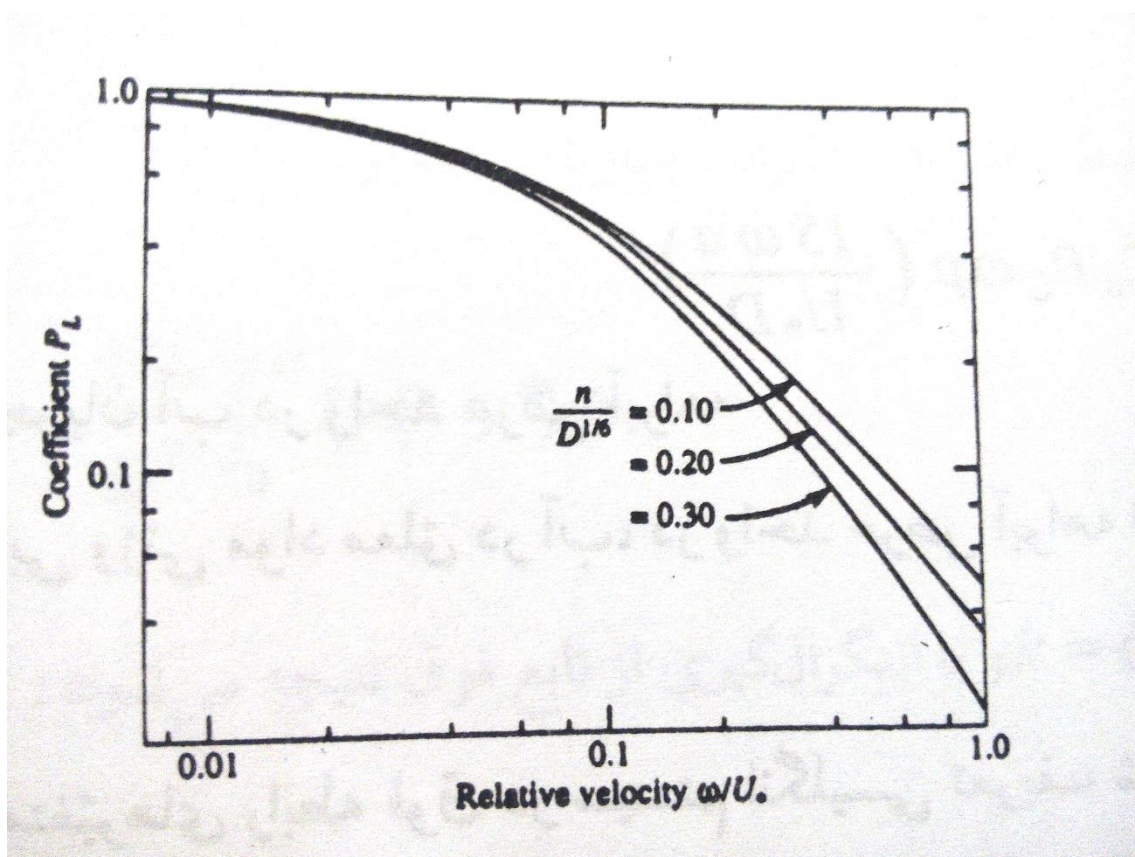
D : عمق جریان (ft)

a : سطح مبنا (ft)

مقدار P_L را نیز می‌توان با توجه به نسبت‌های $\frac{\omega}{U_*}$ و $\frac{n}{D^{1/6}}$ از شکل (۳-۱۲) محاسبه نمود. در

محاسبه $\frac{n}{D^{1/6}}$ ، n ضریب مانینگ دیواره‌های آبراهه و D عمق جریان در آبراهه بر حسب in می‌-

باشد (امامی، ۱۳۷۹).



شکل (۳-۱۲) رابطه بین سرعت سقوط نسبی $\frac{\omega}{U_*}$ و ضریب P_L (Lane & Kalinske, 1941) (امامی، ۱۳۷۹).

۳-۷-۲- رابطه اینشتین

اینشتین در سال ۱۹۵۰، رابطه زیر را ارائه داد:

$$q_{sw} = 11/6 U_*' C_a a \left[2/303 \log \left(\frac{30/2D}{\Delta} \right) I_1 + I_2 \right] \quad (۱۶-۳)$$

که در آن:

q_{sw} : دبی وزنی مواد وزنی معلق در واحد عرض آبراهه ($Lb / (s.ft)$)

U_*' : سرعت برشی ناشی از ذرات (ft / s)

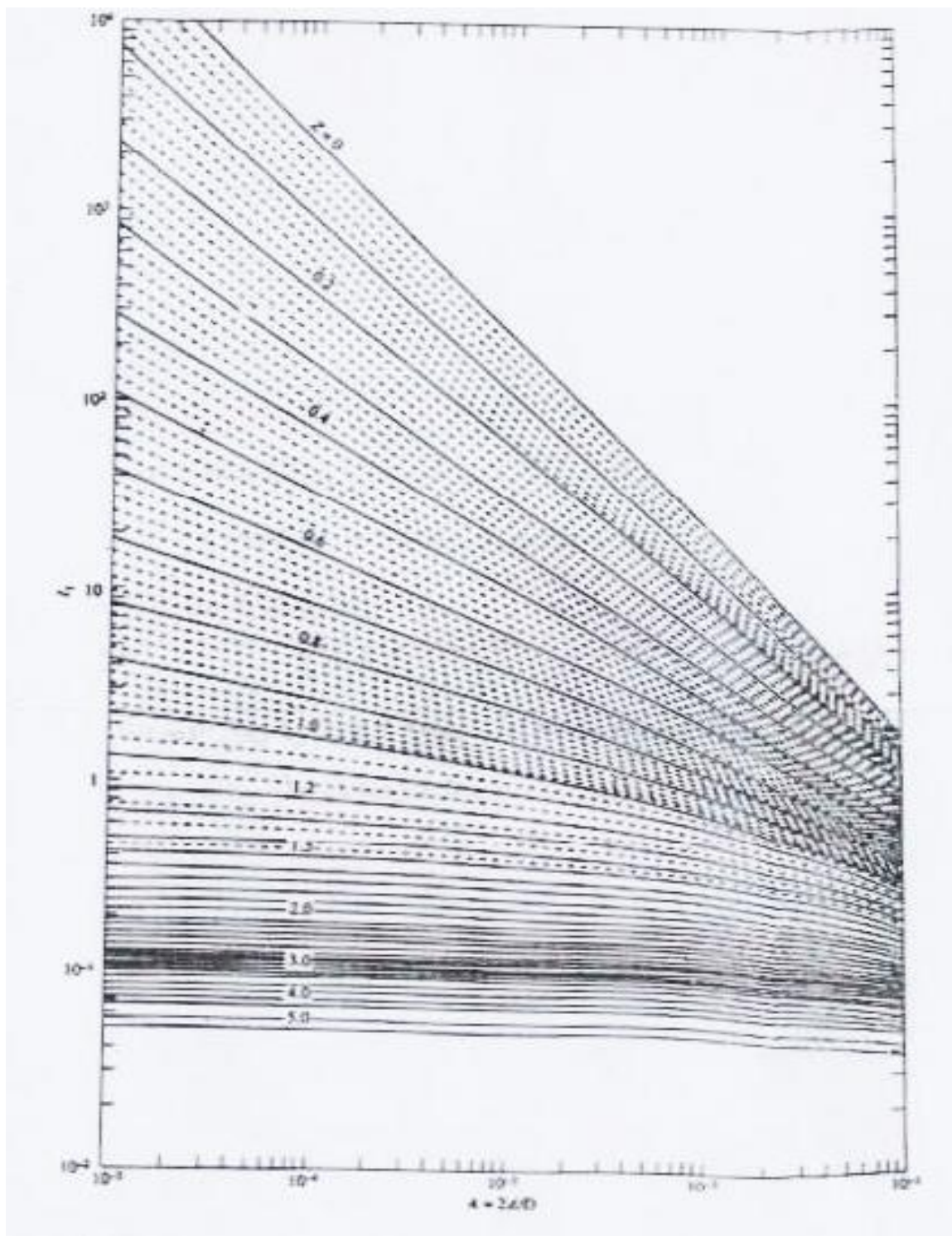
C_a : غلظت مواد معلق در فاصله a از بستر آبراهه (ppm)

a : سطح مبنا می باشد (ft)

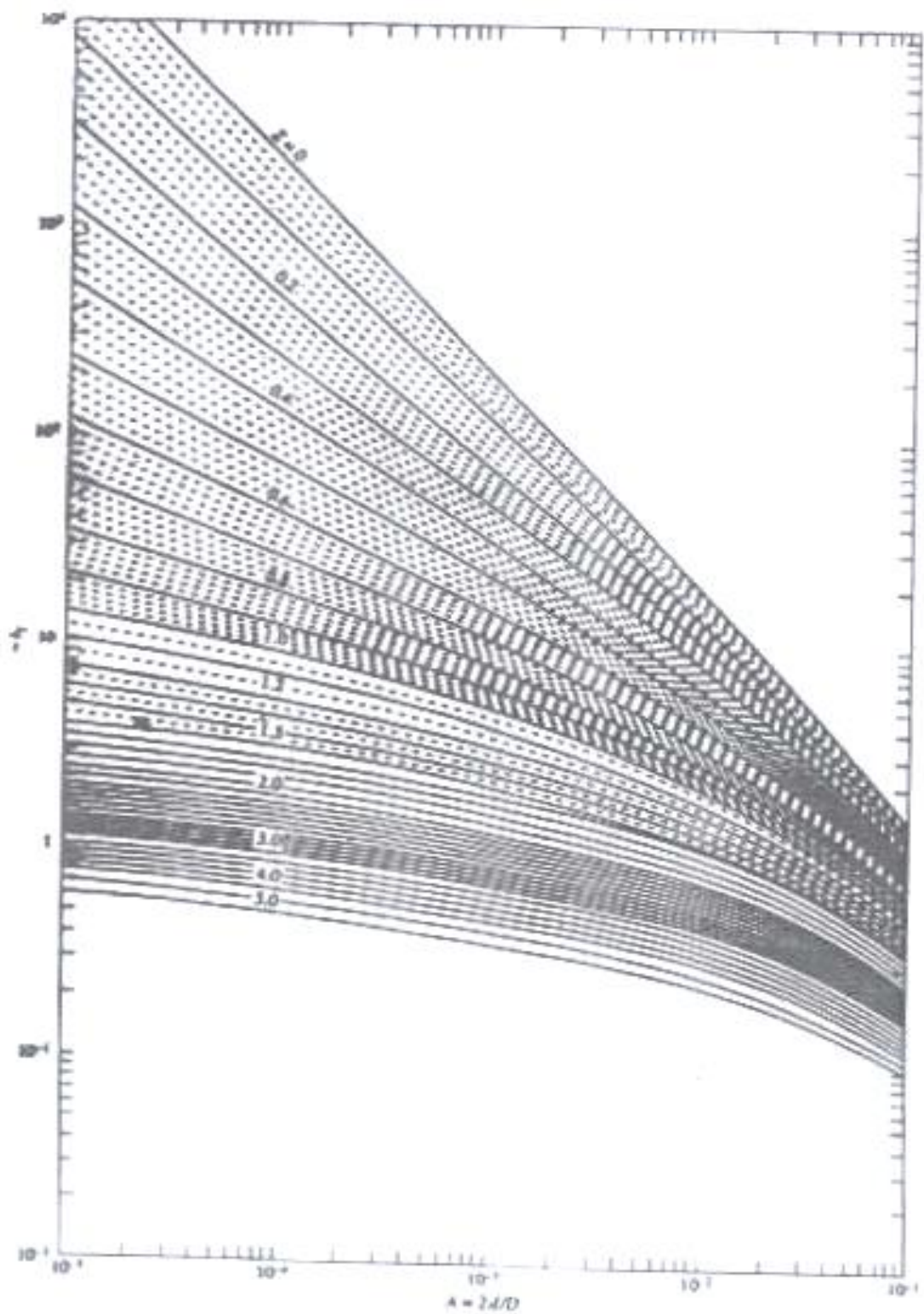
D : عمق جریان (ft)

Δ, I_1, I_2 : ضرایب مربوطه می باشد که مقادیر I_1 و I_2 بر حسب مقادیر مختلف Z و A از شکل های

(۱۳-۳) و (۱۴-۳) بدست می آید و مقدار $\Delta = \frac{d_{65}}{x}$ که x ضریب تصحیح می باشد (امامی، ۱۳۷۹).



شکل (۳-۱۳) مقادیر ضریب I_1 بر حسب پارامترهای Z و A (Einstein, 1950) (امامی، ۱۳۷۹).



شکل (۳-۱۴) مقادیر ضریب I_2 برحسب پارامترهای A و Z (Einstein, 1950)

۳-۷-۳- رابطه چانگ، سایمونز و ریچاردسون

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

$$q_{sw} = \gamma DC_a \left(VI_1 - \frac{2U_*}{k} I_2 \right) \quad (17-3)$$

که در آن:

q_{sw} : دبی وزنی مواد معلق در واحد عرض آبراهه ($Lb / (s.ft)$)

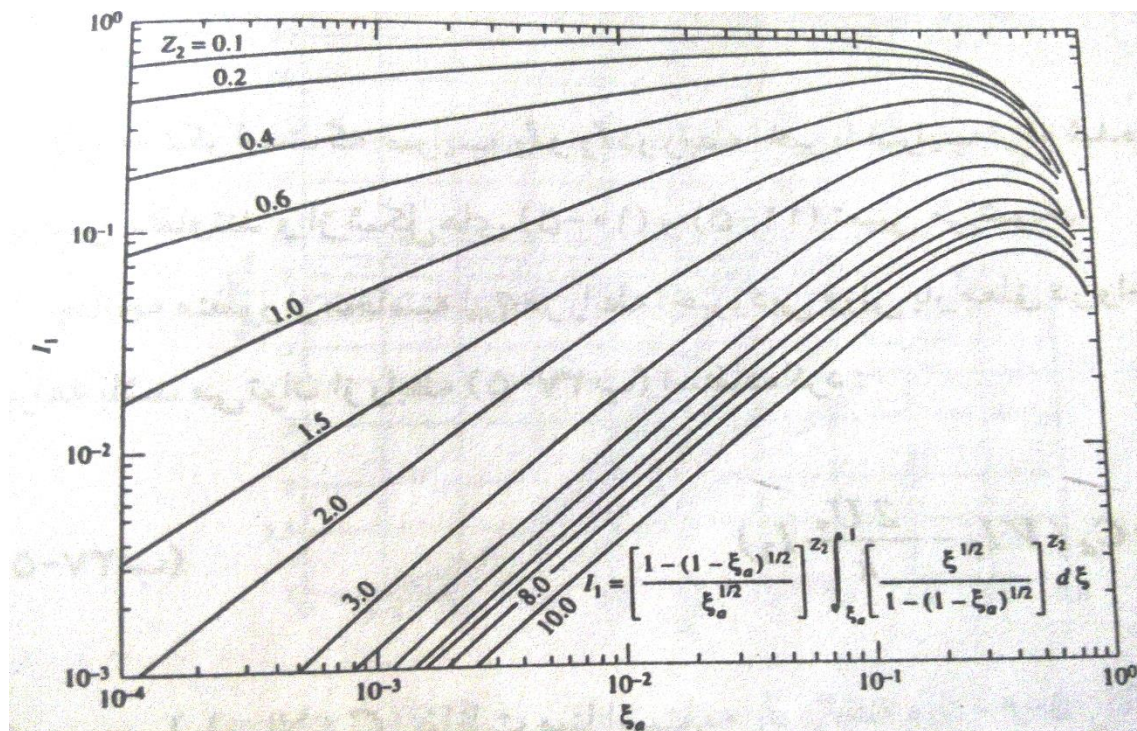
C_{md} : غلظت رسوب در رقوم $y = \frac{1}{2}D$ (ppm)

U_* : سرعت برشی ناشی از ذرات (ft / s)

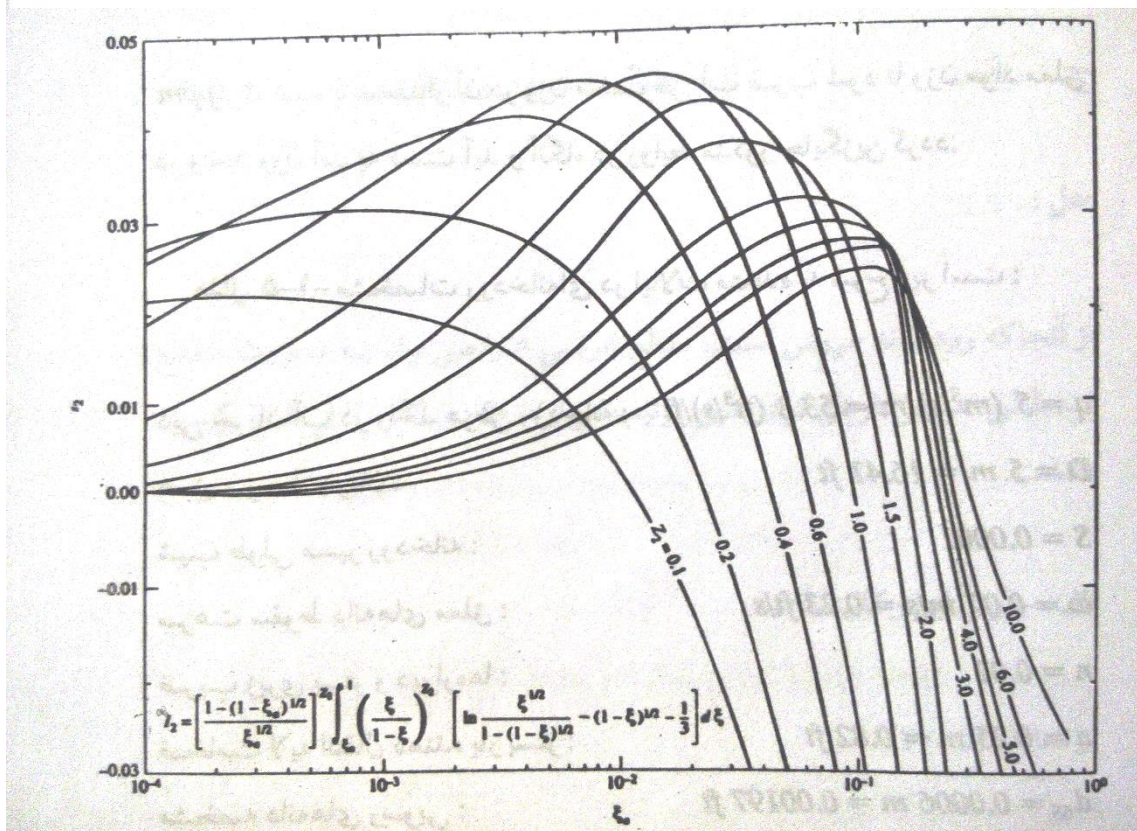
K : ثابت فون کارمن ($K = 0.4$)

I_1, I_2 : ضرایب مربوطه می‌باشد که مقادیر I_1 و I_2 بر حسب مقادیر مختلف Z و ζ_a از شکل‌های

(۱۵-۳) و (۱۶-۳) بدست می‌آید (امامی، ۱۳۷۹).



شکل (۱۵-۳) نمودار تغییرات ضریب I_1 بر حسب Z_2 و ζ_a (Chang, 1965) (امامی، ۱۳۷۹)



شکل (۳-۱۶) نمودار تغییرات ضریب I_2 برحسب Z_2 و ξ_a (Chang, 1965) (امامی، ۱۳۷۹)

۳-۸- روابط محاسباتی بارکل رسوبات

۳-۸-۱- رابطه دوبویز (Duboy's Formula)

فرمول دوبویز به طور گسترده‌ای به عنوان یکی از اولین تلاش‌ها برای توسعه پیش‌بینی انتقال رسوب می‌باشد. رابطه دوبویز:

$$q_s = \psi_D \tau_0 (\tau_0 - \tau_c) \quad (۳-۱۸)$$

که در آن:

q_s : مقدار انتقال مواد بستر در واحد عرض کانال برحسب ($lb / s / ft$)

ψ_D : پارامتری که تابع اندازه ذرات می‌باشد بر حسب ($ft^3 / lb / s$)

τ_0 : تنش برشی کف (lb / ft^2)

τ_c : تنش برشی بحرانی (lb / ft^2)

۳-۸-۲- رابطه میر-پیتر (Meyer-Peter)

رابطه میر-پیتر بر پایه داده‌های فلوم با اندازه مواد بستر در دامنه ۲۸-۳ میلیمتر توسعه داده شد. از جمله در رسوبات درشت‌دانه تولید شده، فرم بستر قابل قبول نمی‌باشد. بنابراین، این فرمول برای انتقال رسوبات درشت دانه با شکل زبری ناچیز مناسب می‌باشد. فرمول میر-پیتر :

$$q_s = (39.25q^{\frac{2}{3}}S_0 - 9.95d_{50})^{\frac{3}{2}} \quad (19-3)$$

که در آن:

q_s : مقدار انتقال مواد بستر در واحد عرض کانال برحسب $(lb / s / ft)$

q : دبی جریان در واحد عرض آب‌راهه $(ft^3 / s / ft)$

S_0 : شیب کانال تعادل

d_{50} : اندازه میانه ذرات (ft)

۳-۸-۳- روش کلبی (Colby's 1957)

روش کلبی ۱۹۵۷ بر اساس برخی از اندازه‌گیری‌هایی که از توسعه روش انیشتن اصلاح شده بدست آمده ارائه شده است. اما بر خلاف آن انتقال رسوب با تقسیم‌بندی اندازه‌ها قابل محاسبه نمی‌باشد. در عوض دبی کل بار بستر که به عنوان مثال مجموع دبی‌های مواد بستر اندازه‌گیری شده و اندازه‌گیری نشده فراهم می‌کند.

داده‌های ذیل برای کاربرد روش کلبی ۱۹۵۷ مورد نیاز است:

d : عمق متوسط جریان

b : عرض متوسط کانال

l : لزوجت سینماتیکی آب

C_m : غلظت اندازه‌گیری شده مواد معلق

محاسبه بار کل رسوب با این روش به شرح ذیل می‌باشد:

۱- محاسبه دبی رسوب اصلاح نشده q'_u ($tons/day/ft$) به عنوان تابعی از سرعت متوسط با استفاده از شکل (۳-۱۷)

۲- تعیین غلظت نسبی مواد معلق ماسه‌ای C_r (ppm) با استفاده از شکل (۳-۱۸)

۳- مجاسبه نسبت در دسترس بودن با تقسیم غلظت اندازه‌گیری شده دبی مواد معلق بستر

$$C_m(ppm) \text{ به غلظت اندازه‌گیری شده مواد معلق ماسه‌ای } C_r(ppm)$$

۴- استفاده از خط میانگین شکل (۳-۱۹) و نسبت در دسترس بودن برای تعیین ضریب تصحیح C ضرب

در دبی رسوب اصلاح نشده q'_u ($tons/day/ft$) برای تعیین دبی رسوبات اندازه‌گیری نشده

$$q_u(tons/day/ft)$$

۵- دبی کل مواد بستر q_s مجموع دبی رسوبات اندازه‌گیری شده و اندازه‌گیری نشده می‌باشد

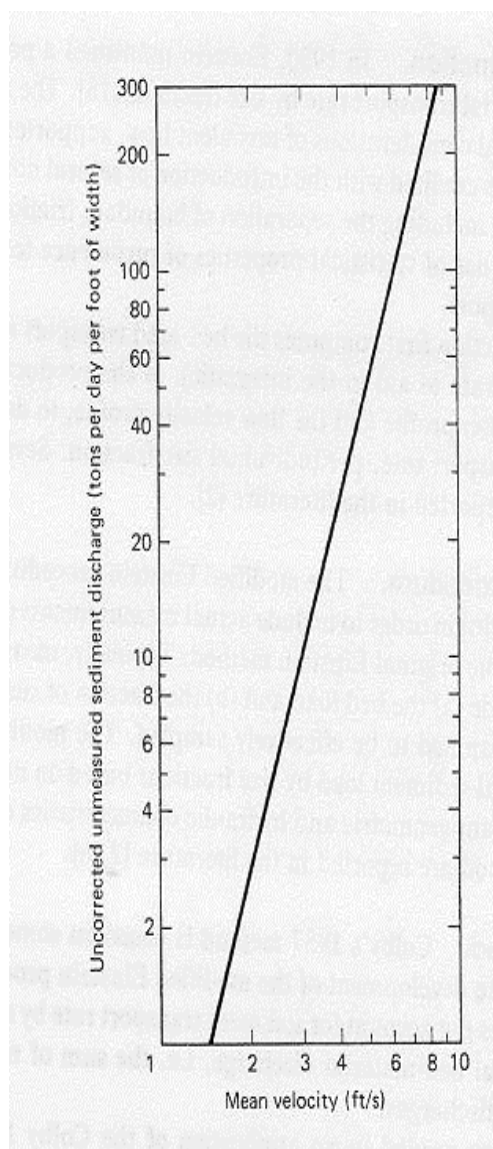
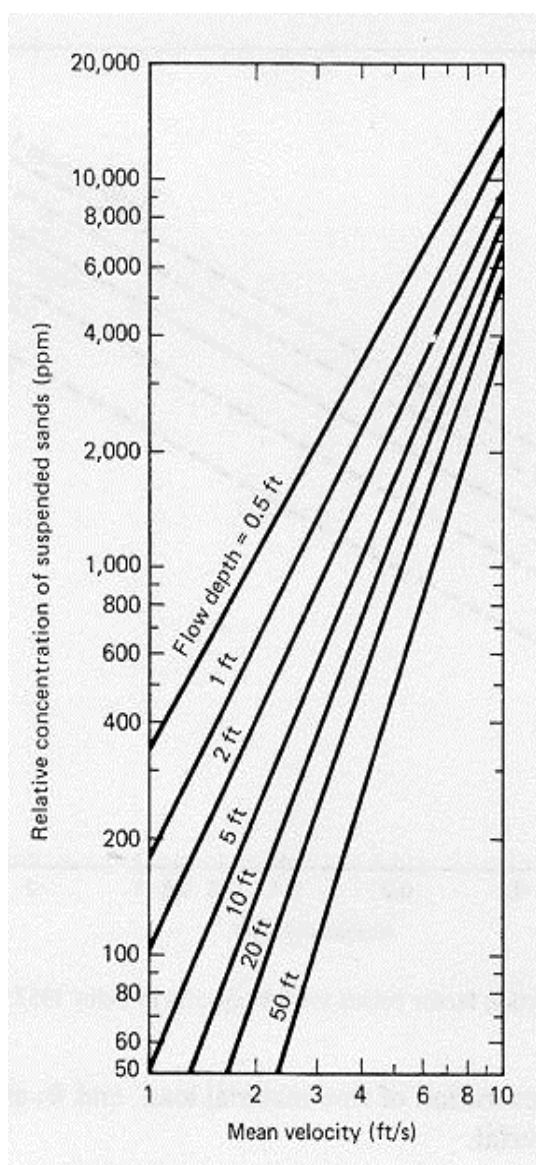
$$q_s = 0.0027C_m q + q_u \quad (۳-۲۰)$$

که:

$$q_s: \text{دبی مواد بستر } (tons/day/ft)$$

$$q: \text{دبی آب } (ft^3/s/ft)$$

$$C_m: \text{غلظت اندازه‌گیری شده مواد معلق (میلی‌گرم بر لیتر)}$$

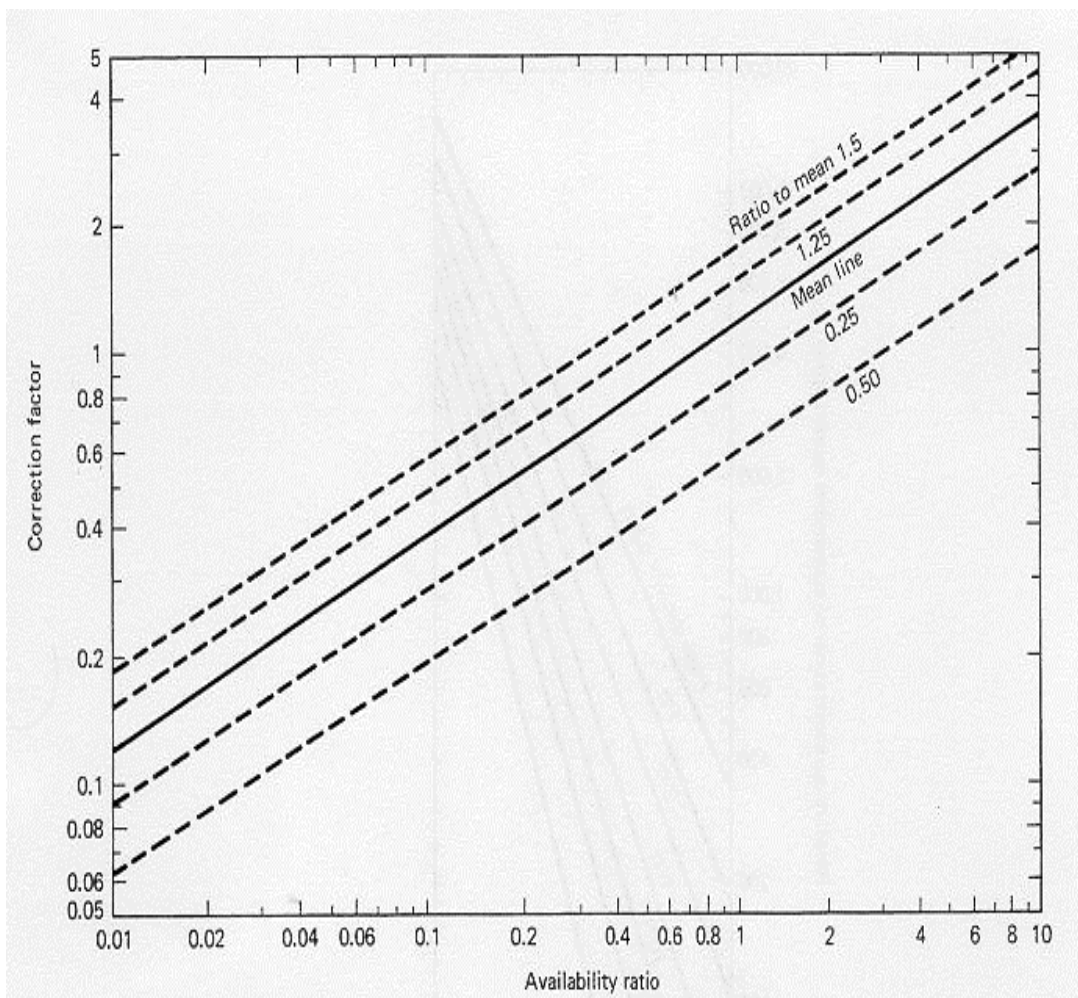


شکل (۳-۱۸) غلظت نسبی ماسه به حالت تعلیق در برابر

سرعت متوسط و عمق جریان در روش کلبی ۱۹۵۷

شکل (۳-۱۷) دبی رسوب اندازه‌گیری نشده اصلاح نشده

نسبت به مقدار سرعت متوسط در روش کلبی ۱۹۵۷



شکل (۳-۱۹) ضریب تصحیح در مقابل نسبت در دسترس بودن در روش کلی ۱۹۵۷

۳-۸-۴-رابطه انگلند هانسن (Engelund-Hansen)

انگلند-هانسن (۱۹۶۷) یک روشی برای پیش بینی روابط بین مراحل تخلیه و حمل و نقل رسوبات در رودخانه‌های آبرفتی توسعه دادند. آنها پارامتر θ (عکس مقدار ψ انیشتن) به نمایندگی از نسبت نیروهای محرک (رانش افقی و نیروی بالابرنده) و نیروی تثبیت کننده (وزن غوطه‌وری ذرات) معرفی نمودند. در این روش پارامتر بدون بعد فرم برشی بستر τ_0 به دو قسمت تقسیم شده است:

τ' بخش موثر که به‌طور مستقیم به کشش سطحی ذرات عمل می‌کند.

τ'' بخش باقیمانده رانش مربوط به فرم بستر

این تقسیم‌بندی مشابه مقادیر R' , R'' در روش انیشتن بارباروسا می‌باشد.

فرمول انگلند-هانسن:

$$\begin{aligned} S_s &= Y_s / Y_w \\ \theta &= DS_0 / [(S_s - 1)d_{50}] \\ f &= (2gS_0D) / V^2 \\ q_s &= 0.1(1/f)\theta^{5/2}Y_w [(S_s - 1)gd_{50}^3]^{1/2} \\ Q_s &= Bq_s \end{aligned} \quad (21-3)$$

که در آن:

D : عمق هیدرولیکی (متر)

B : عرض کانال (متر)

V : سرعت متوسط (متر بر ثانیه)

S_0 : شیب کف (متر بر متر)

d_{50} : قطر میانه (میلی‌متر)

S_s : بدون بعد

Y_s : وزن واحد خشک رسوب (کیلوگرم بر متر مکعب)

۳-۸-۵- رابطه ایکرز-وایت (Ackers-White)

براساس تئوری توان جریان باگنولد، ایکرز و وایت در سال ۱۹۷۳، تحلیلی را به منظور بیان تحرک و نرخ انتقال دانه‌های رسوب بر حسب پارامترهای بی بعد، ارائه دادند. این دو محقق ثابت کردند که تنها بخشی از تنش برشی اعمال شده روی کف آبراهه، در حرکت دانه‌های رسوب دخالت دارد. در صورتیکه، در مورد مواد ریزدانه، حرکت غالب دانه‌ها در اثر تنش برشی‌ای است که بر کف آبراهه اعمال می‌شود (امامی، ۱۳۷۹).

روابط محاسباتی:

$$Q = VDB$$

$$d_{gr} = d_{50} \left[g(S_s - 1) / V^2 \right]^{1/3}$$

$$u_* = (gDS)^{1/2}$$

$$n = 1 - 0.56 \log(d_{gr})$$

$$A = \left[0.23 / d_{gr}^{1/2} \right] + 0.14$$

$$F_{gr} = \left\{ u_*^n / \left[g d_{50} (S_s - 1)^{1/2} \right] \right\} \left\{ V / \left[32^{1/2} \log(\alpha D / d_{50}) \right] \right\}^{1-n} \quad (22-3)$$

$$m = (6.83 / d_{gr}) + 1.67$$

$$C = 10^{2.79 \log(d_{gr}) - 0.98 [\log(d_{gr})]^2 - 3.46}$$

$$G_{gr} = C \left[(F_{gr} / A) - 1 \right]^m$$

$$X = G_{gr} S_s d_{50} / \left[D(u_* / V)^n \right]$$

$$G = Y_w QX$$

که در آن:

D : عمق هیدرولیکی (متر)

B : عرض کانال (متر)

V : سرعت متوسط (متر بر ثانیه)

S_0 : شیب کف (متر بر متر)

d_{50} : قطر میانه (میلیمتر)

α : ضریب ثابت معادلات جریان‌های آشفته (عموماً برابر با ۱۰)

n : شاخص انتقال

۳-۸-۶- رابطه انیشتن-برون (Einstein-Brown)

فرمول انیشتن-برون بر پایه داده فلوم توسط گیلبرت (۱۹۱۴) و میر-پیتر-مولر (۱۹۳۶) با رسوبات دانه-

بندی شده می‌باشد. داده‌های گیلبرت از یک فلوم کوچک با رسوب رودخانه‌ای با میانگین سایز ۰/۳ تا

۷ میلی متر بدست آمده است. دیگر داده‌ها استفاده شده از یک فلوم به عرض ۲ متر با ۲۸/۶ میلی متر شن و یک فلوم کوچک تر با ۵/۲۱ میلی متر شن، باریت و زغال سنگ بدست آمد. وزن مخصوص باریت و زغال سنگ به ترتیب ۴/۲ و ۱/۲۵ بود.

$$\begin{aligned}
 Y_w &= f(T) \\
 V &= f(T) \\
 Y_s &= f(t) \\
 T_* &= (RS) / [(S_s - 1)d_s] \\
 \varphi &= f(T) \\
 A &= [gd_s^3(S_s - 1)]^{1/2} \quad (23-3) \\
 B &= 36V^2 / A^2 \\
 F_1 &= [(2/3) + B]^{1/2} - B^{1/2} \\
 g_s &= \varphi F_1 A Y_s \\
 G_s &= g_s W
 \end{aligned}$$

که در آن:

R : شعاع هیدرولیکی (متر)

W : عرض کانال (متر)

S : شیب کف (متر بر متر)

S_s : بدون بعد

Y_s : واحد وزن خشک رسوب (کیلوگرم بر متر مکعب)

۳-۸-۷- روش اصلاح شده‌ی انیشتن

روش اصلاح شده‌ی انیشتن^۱ برای محاسبه‌ی میزان بار کل رسوب رودخانه‌ها توسط کلبی و همبری^۲ از انجمن نقشه‌برداری زمین‌شناسی در لینکولن نبراسکا کشور آمریکا پیشنهاد گردیده است. این روش پس

1- Modified Einstein Method
2- Colby and Hembree(1955)

از چندین سال تحقیقات مشترک سازمان احیای اراضی آمریکا و انجمن نقشه‌برداری زمین‌شناسی آمریکا روی رودخانه‌های عریض، کم عمق و با بستر ماسه‌ای نبرسکا ارایه شده است.

روش اصلاح شده‌ی انیشتن همانطور که از عنوان آن مشخص است، نوع تغییر یافته‌های از روش انیشتن می‌باشد. در روش انیشتن، میزان بار مواد بستر رودخانه را می‌توان برای هر مقطعی از رودخانه برای دبی‌های مختلف محاسبه کرد. در صورتی که روش اصلاح شده، میزان کل رسوب (شامل مواد بستر و بار شسته) را محاسبه می‌کند.

مراحل محاسبه‌ی بار کل رسوب به روش اصلاح شده‌ی انیشتن

مرحله اول: داده‌های مورد نیاز

- دبی جریان (Q)
- عرض رودخانه در مقطع مورد نظر (B)
- سرعت متوسط جریان در آن مقطع (V)
- عمق متوسط جریان (d)
- عمق متوسط در قائم نمونه‌برداری (d_s)، در اکثر مقدار d و d_s نزدیک به هم بوده و می‌توان آن‌ها را برابر گرفت.
- درجه حرارت
- سطح مقطع جریان (A)
- نوع نمونه‌بردار مورد استفاده برای تهیه نمونه‌های بار معلق
- غلظت متوسط رسوب (وزنی) اندازه‌گیری شده بر حسب $(C_m) ppm$
- توزیع دانه‌بندی رسوب معلق اندازه‌گیری شده
- توزیع دانه‌بندی مواد بستر
- $D_{35} D_{65}$ نمونه مواد بستر

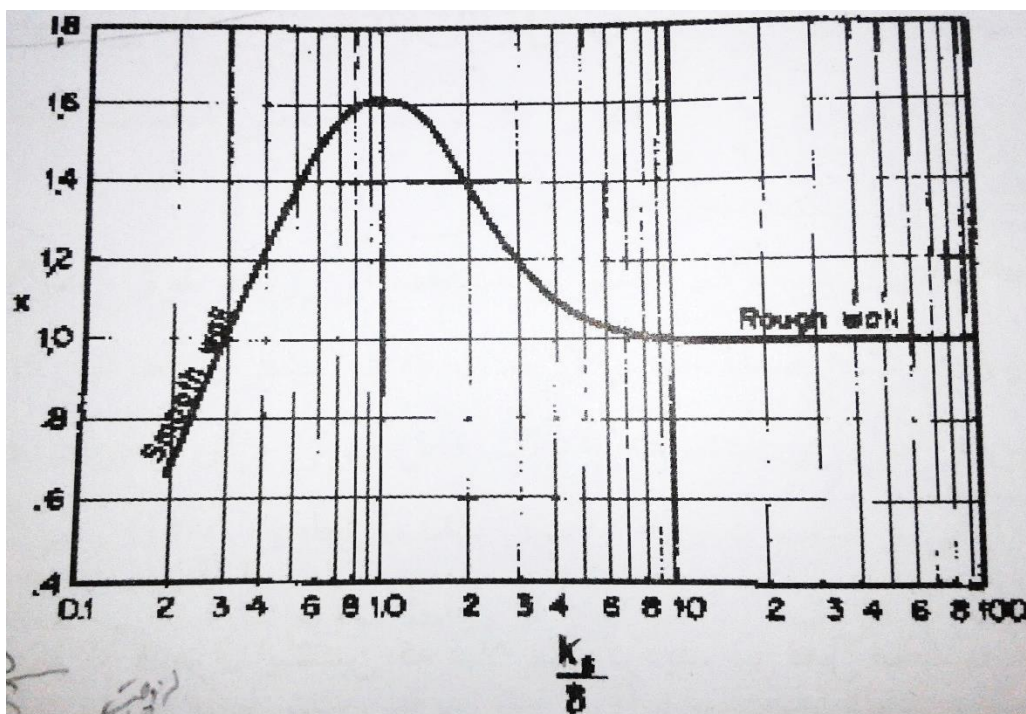
مرحله دوم: محاسبه‌ی $P_m R'$

برای محاسبه SR' از رابطه توزیع لگاریتمی اینشتین استفاده می‌شود:

$$\sqrt{R'S} = \frac{V}{18.014 \log \{12.277 x d / D_{65}\}} \quad (24-3)$$

در این رابطه X ضریب تصحیح در حالتی است که بستر رودخانه کاملاً زیر نباشد. مقدار X از

شکل (۲۰-۳) برحسب $\frac{D_{65}}{\delta}$ تعیین می‌شود.



شکل (۲۰-۳) مقدار X در رابطه با توزیع سرعت اینشتین (Einstein 1950) (شفاعی بجستان ۱۳۹۲).

مقدار δ ضخامت زیر لایه ورق‌های می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\delta = 11.6 \frac{V}{\sqrt{gR'S}} \quad (25-3)$$

در این رابطه V لزوجت سینماتیک می‌باشد.

مرحله سوم: محاسبه‌ی بار بستر برای هر محدوده ذرات بستر

برای این مرحله گام‌هایی به شرح زیر انجام می‌شود:

۱- D_i متوسط هندسی هر محدوده ذرات و i_b درصد موجود از این اندازه در نمونه، از جدول دانه بندی مواد بستر انتخاب می شود.

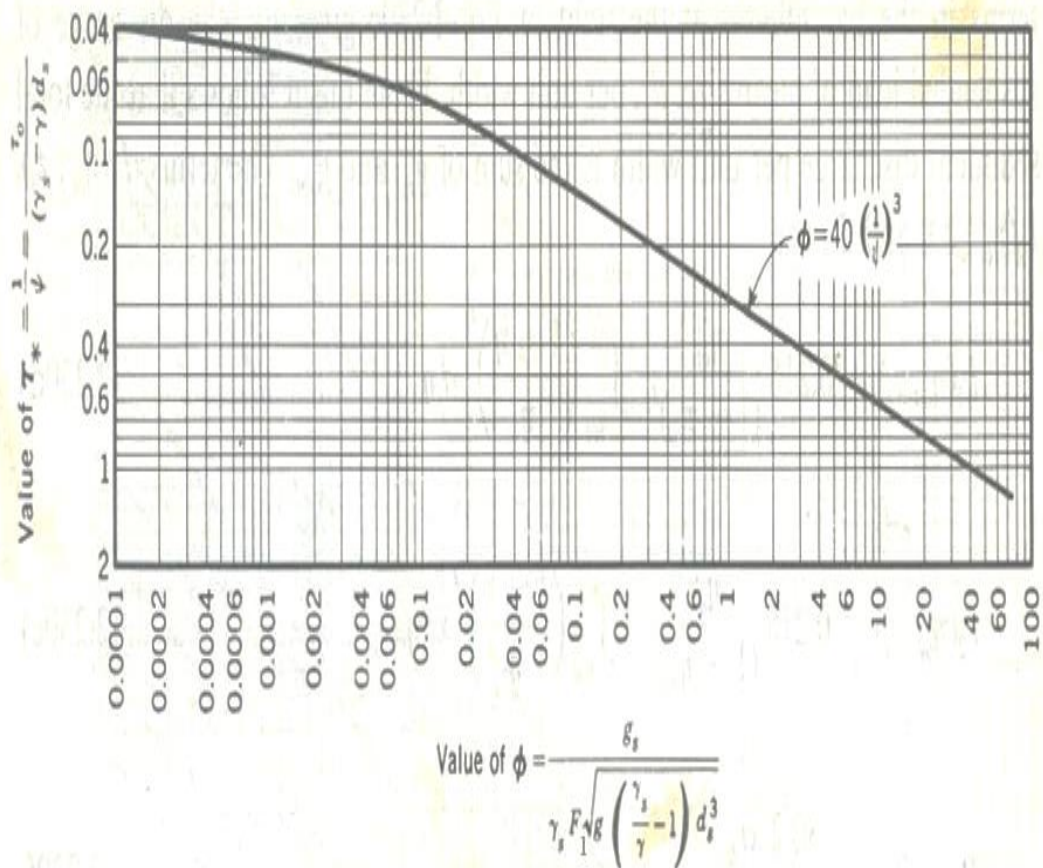
۲- متغیر شدت برشی ψ از روابط زیر محاسبه می شود:

$$\psi = 1.65 \frac{D_{35}}{SR'}$$

$$\psi = 0.66 \frac{D_i}{SR'} \quad (۲۶-۳)$$

انتخاب بیشترین مقدار ψ بدست آمده از روابط بالا

۳- مقدار متغیر شدت انتقال رسوب ϕ_* از شکل (۳-۲۱)، محور افقی ϕ_* ، به دست می آید و نصف این مقدار در محاسبات استفاده می شود.



شکل (۳-۲۱) محاسبه مقدار ϕ_*

۴- مقدار بار بستر در واحد عرض روخانه برای هر محدوده i_b

$$i_b q_b = 0.3363 D_i^{1.5} i_b \left(\frac{\phi_*}{2} \right) \quad (27-3)$$

که در آن D_i متوسط هندسی در هر محدوده ذرات بر حسب میلی متر و i_b درصد موجود از این اندازه در نمونه به صورت اعشاری و ϕ_* مقدار شدت انتقال رسوب می‌باشد.

۵- مقدار بار بستر در عرض رودخانه برای محدوده‌ی i_b از رابطه:

$$i_b Q_b = 86.4 W i_b q_b \quad (28-3)$$

بر حسب (ton/day)

مرحله چهارم: محاسبه‌ی مقدار بار معلق اندازه‌گیری شده برای هر محدوده اندازه ذرات (Q'_{si})

مقدار بار معلق برای هر محدوده‌ی اندازه‌ی ذرات موجود در بار معلق حسب تن بر روز برابر است با:

$$Q'_{si} = \left[(1-E) - 2/3 \frac{E' \log E'}{P_m - 1} \right] i_s Q_{sm} \quad (29-3)$$

$$Q_{sm} = 0.0864 C_m Q$$

مرحله پنجم: ضریب توزیع غلظت Z'

مقدار ضریب بار معلق برای هر محدوده‌ی ذرات به روش کلی و هوپل^۱ قابل محاسبه است:

۱- یک اندازه ذره D_1 به‌عنوان مبنا از جدول توزیع دانه‌بندی مواد انتخاب می‌شود.

۲- مقدار $E = 2D_i / d$ محاسبه می‌شود.

۳- نسبت $\frac{Q'_s}{i_b Q_b}$ محاسبه شود.

۴- با داشتن E و $\frac{Q'_s}{i_b Q_b}$ (A و B) مقدار تقریبی Z' از شکل (۳-۲۲) به‌دست می‌آید.

۵- با داشتن E' و Z' (از مرحله ۴)، مقدار $10J'_1 + J'_2$ از شکل (۳-۲۲) به‌دست می‌آید سپس با

استفاده از رابطه‌ی زیر:

$$P_m J'_1 + J'_2 \approx P_m \left[\frac{10J'_1 + J'_2}{10} \right] \quad (30-3)$$

۶- با استفاده از نتایج گام ۵، موقعیت نقطه D روی شکل (۳-۲۲) مشخص می‌شود.

۷- موقعیت نقطه‌ای نظیر E، مربوط به $10J'_1 + J'_2$ روی شکل (۳-۲۲) مشخص و فاصله D-E محاسبه می‌شود. از نقطه A به همان فاصله نقطه F رسم می‌شود تا خط F روی شکل مشخص می‌گردد.

۸- یک عمودی از نقطه F رسم می‌شود تا خط E' را در نقطه‌ای نظیر G قطع کند. در نتیجه مقدار Z'_1 جدیدی به دست می‌آید.

۹- در صورتی که Z'_1 با مقدار Z'_1 حاصل از مرحله ۴ اختلاف زیاد داشته باشد مرحله‌های ۵ الی ۸ تکرار می‌گردد تا اینکه Z'_1 به طور دقیق‌تری به دست آید.

۱۰- مقدار Z'_1 برای سایر اندازه ذرات را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$\frac{Z'_1}{Z_1} = \left(\frac{\omega_i}{\omega_1}\right)^{0.7} \quad (۳-۳۱)$$

که در آن ω_1 و ω_i به ترتیب سرعت سقوط ذره‌ی مبنا و ذرات به اندازه D_i می‌باشد.

مرحله ششم: محاسبه‌ی بار کل

مقدار کل بار رسوب برای هر محدوده‌ی اندازه‌ی ذرات از روابط زیر محاسبه می‌گردد.

برای رسوبات ریزدانه:

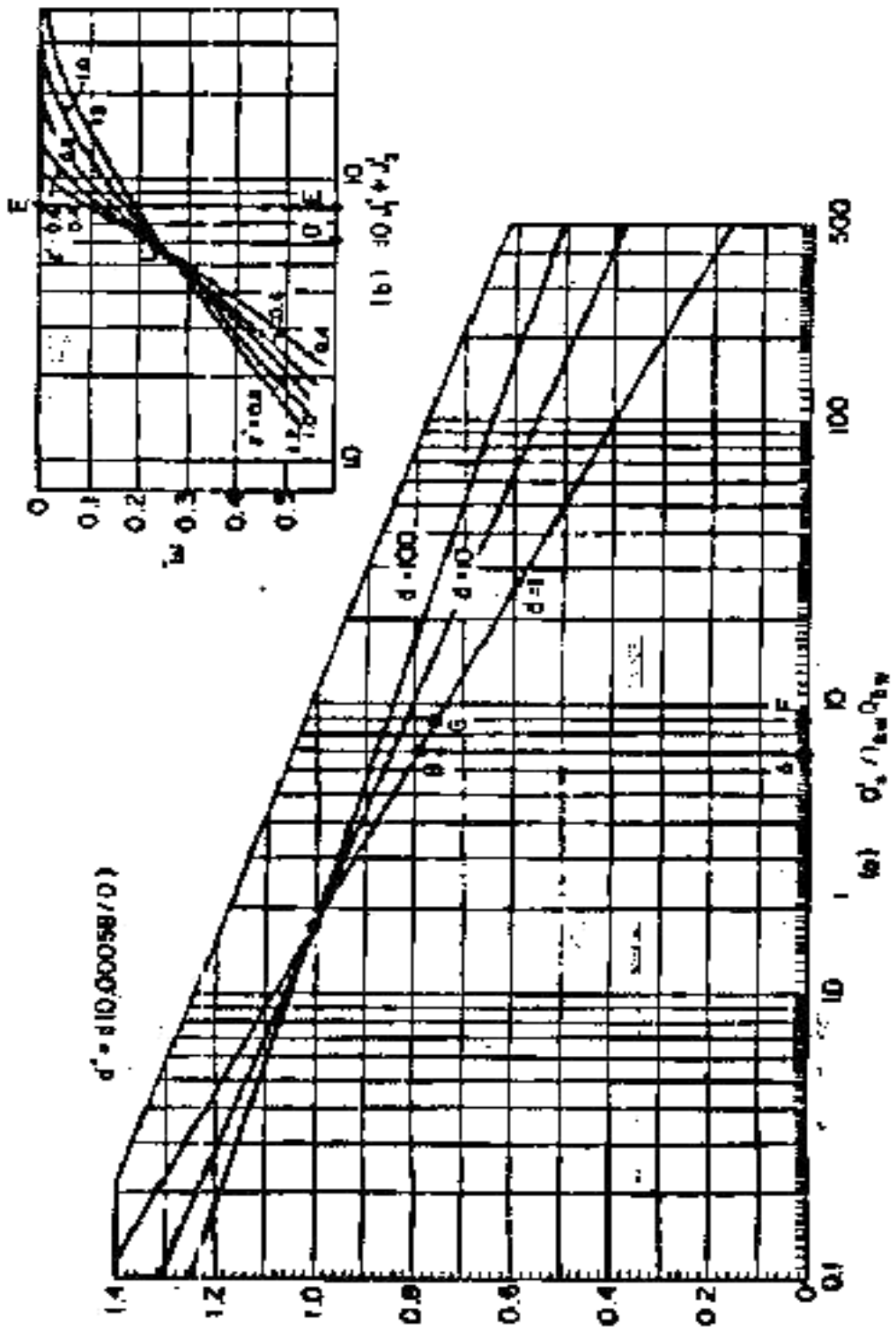
$$i_t Q_t = Q'_{si} \left(\frac{P_m J_1 + J_2}{P_m J'_1 + J'_2} \right) \quad (۳-۳۲)$$

برای رسوبات درشت دانه:

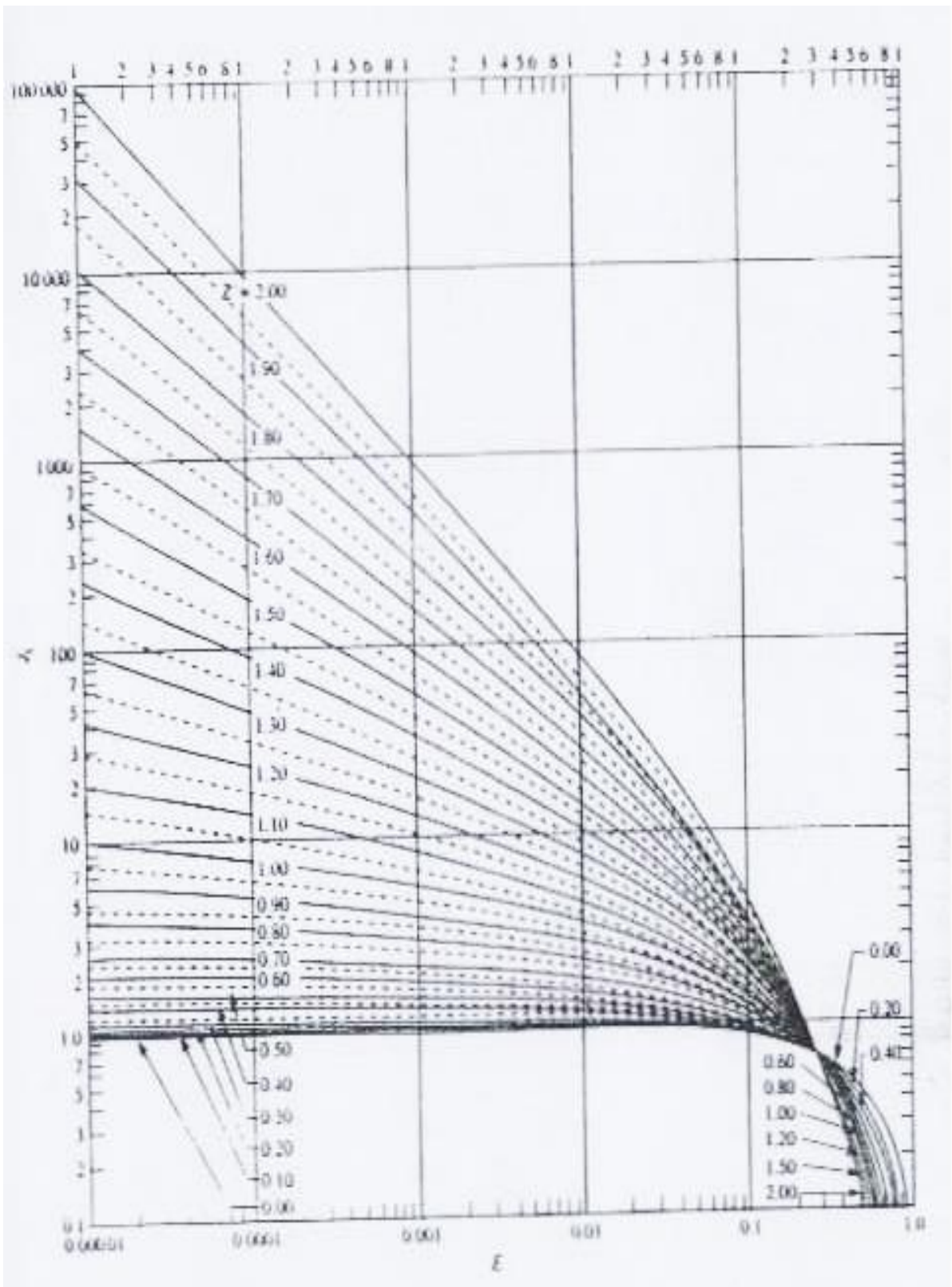
$$i_t Q_t = i_b Q_b (P_m I_1 + I_2 + 1) \quad (۳-۳۳)$$

مقادیر $I_1, I_2, J_1, J_2, J'_1, J'_2$ از شکل‌های (۳-۲۳) و (۳-۲۴) محاسبه می‌شوند (شفاعی بجستان،

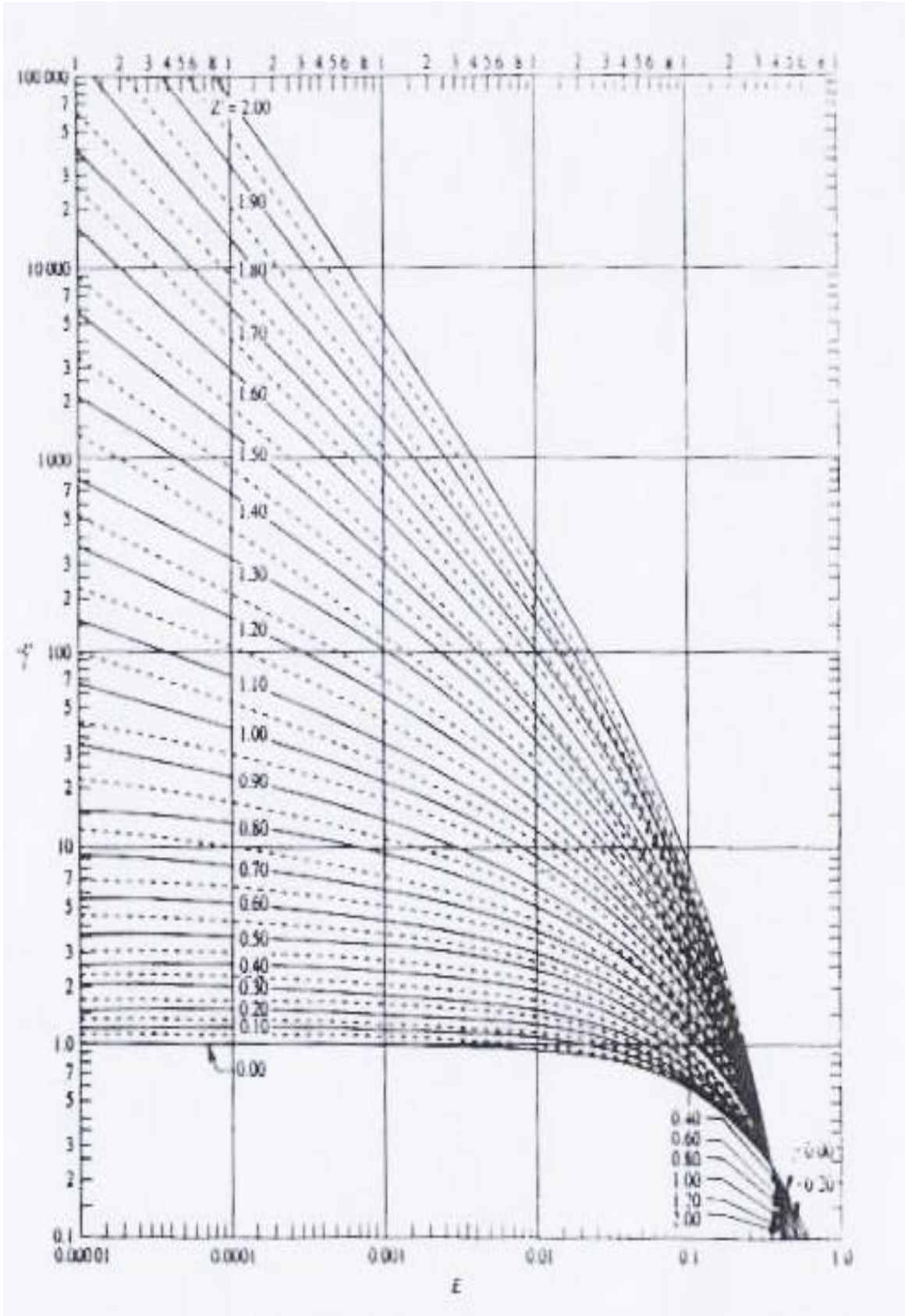
۱۳۹۲).



شکل (۳-۲۲) مقادیر Z' در روش اصلاح شده‌ی اینشتین



شکل (۳-۲۳) تابع J_1 بر حسب E و Z'



شکل (۳-۲۴) تابع J_2 بر حسب E و Z'

نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

پس از انجام مراحل مختلف تحقیق که در فصل سوم به آن پرداخته شد، در این فصل نتایج تحقیق به صورت جداول و اشکال و نمودارها به تفکیک بار معلق، بار بستر و بار کل رسوب ارائه گردیده است. همچنین با استفاده از روش‌های مختلف برآورد دبی بار معلق، بار بستر و بار کل رسوب رودخانه بیدواز پرداخته شد و با نتایج اندازه‌گیری صحرایی مورد تأیید قرار گرفت و بهترین روابط انتقال رسوب معرفی گردیدند.

۴-۲- محاسبات و نتایج بار معلق رودخانه بیدواز

به منظور انتخاب و گزینش مناسب‌ترین روش یا روش‌های برآورد بار معلق در رودخانه بیدواز، براساس مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای رودخانه از جمله دبی، سرعت، مشخصات دانه‌بندی مواد بستر، میزان غلظت مواد معلق، شیب کف، شعاع هیدرولیکی، سرعت سقوط متناظر با قطر D_{50} ، ضریب مانینگ مقطع، میزان بار معلق با استفاده از روش‌های لین و کالینسک، اینشتین و چانگ سایمونز و ریچاردسون محاسبه گردید، که نتایج محاسبات هر یک از روش‌ها در تاریخ‌های اندازه‌گیری شده، در جدول (۴-۱) ارائه شده است.

جدول (۱-۴) مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی بار معلق رودخانه بیدواز

ردیف	تاریخ	دبی در واحد عرض	غلظت متوسط مواد معلق ppm	D(m)	مشاهداتی (ton/day)	لین وکالینسک (ton/day)	چانگ سایمونز و ریچاردسون (ton/day)	انیشتن (ton/day)
1	1394/01/11	1.09	195.6	0.475	156.42	786.4	133.5	405.46
2	1394/01/04	0.71	34.4	0.368	14.83	442.5	74	11.5
3	1393/12/02	0.33	45	0.229	6.33	165.8	24.8	9.7
4	ساعت ۱۸،۴۵-1393/02/04	0.34	10	0.235	1.16	135.4	25.54	9.8
5	ساعت ۱۴،۴۵-1393/02/04	0.35	22	0.241	3.36	176.6	27.8	10.3
6	ساعت ۸،۳۰-1393/02/04	0.44	193	0.273	49.86	285.4	37.9	10.8
7	1392/01/10	0.21	96	0.177	7.63	106.1	13.77	7.1
8	1391/03/08	0.33	153	0.231	21.97	168.4	25.4	9.8
9	1391/02/11	0.41	93	0.261	19.6	236.4	33.88	11.2
10	1391/01/30	0.43	267	0.267	73.86	307.5	36.47	10.7
11	1391/01/08	0.16	44	0.153	1.56	32.4	9.35	0.2

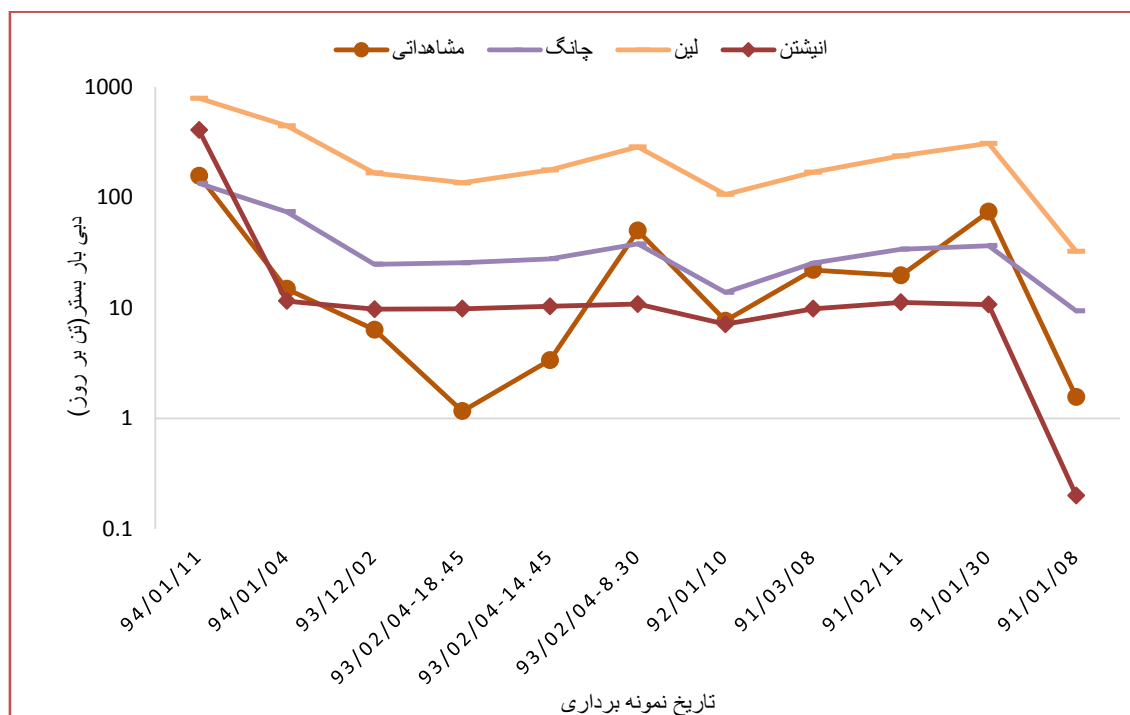
با بررسی و مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی مشاهده می‌گردد که دامنه تغییرات مقدار بار معلق مشاهداتی دارای نوسان زیاد (از ۱/۱۶-۱۵۶/۴۲ تن بر روز) بوده و بیشتر تابع غلظت مواد معلق سیلاب و دبی جریان بوده است. همچنین با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده در روند یک سیلاب مورخ ۱۳۹۳/۰۲/۰۴ در سه زمان مختلف نشان می‌دهد مقادیر بار معلق روند نزولی داشته به نحوی که در ساعات اولیه وقوع سیلاب دارای بیشترین مقدار بار معلق (ردیف ۶ جدول (۱-۴)) و با گذشت زمان با وجود دبی‌های تقریباً یکسان مقدار بار معلق روند کاهشی داشته است (ردیف ۵ و ۴ جدول (۱-۴)). همانطور که مشاهده می‌گردد مقادیر اندازه‌گیری بار معلق با مقدار بیش از ۲۰ تن بر روز به مقادیر محاسباتی به روش چانگ نزدیک می‌باشد و در مقادیر کمتر از این مقدار به مقادیر محاسباتی به روش اینشتین نزدیک می‌باشد که در ادامه مقدار جذر میانگین مربع خطاها برای نتیجه‌گیری مطابق جدول (۲-۴) محاسبه گردید.

جدول (۲-۴) مقادیر خطای جذر میانگین مربع خطا (RMSE)

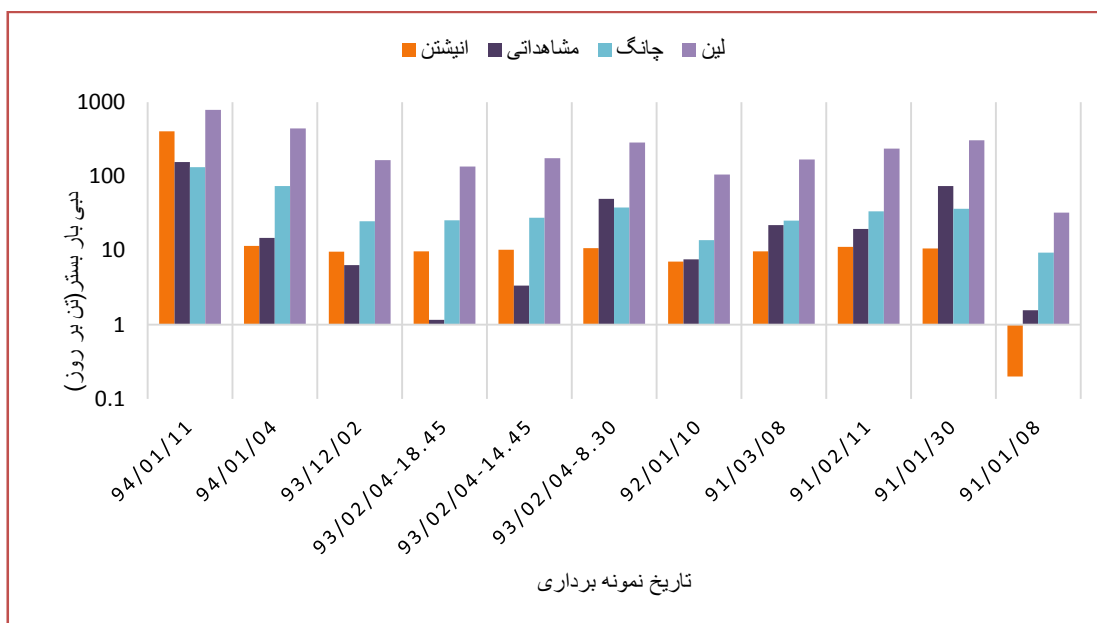
روش های محاسباتی بار معلق	لین و کالینسک	اینشتین	چانگ سایمونز و ریچاردسون
جذر میانگین مربعات خطاها (ton/day)	290.24	82.4	27.23

همانطور که در جدول (۲-۴) ملاحظه می‌گردد که روش چانگ-سایمونز و ریچاردسون و اینشتین به ترتیب با ۲۷/۷۳ و ۸۲/۴ دارای کمترین مقدار خطا را دارا می‌باشند.

در شکل (۱-۴) و بررسی نمودارها ملاحظه می‌گردد که در نمودار مربوط به روش چانگ در برخی از مقادیر مشاهداتی تطابق خوبی دارد (ردیف‌های ۱، ۶، ۸، ۹ و ۱۰) و روش اینشتین نیز در برخی دیگر از مقادیر مشاهداتی تطابق خوبی از خود نشان می‌دهد (ردیف‌های ۲، ۳، ۵ و ۷).



شکل (۱-۴) نمودار مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی بار معلق



شکل (۲-۴) مقایسه نتایج مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار معلق

جهت مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و محاسباتی بار معلق مقدار خطاها به روش خطای مطلق نسبی محاسبه و در جدول (۳-۴) ارائه گردید.

جدول (۳-۴) مقادیر خطای مطلق نسبی مقادیر محاسباتی و مشاهداتی بار معلق

روش های محاسباتی بار معلق	لین و کالینسک	اینشتین	چانگ سایمونز و ریچاردسون
مقدار خطای مطلق نسبی (ton/day)	25.8	1.4	3.9

ملاحظه می‌گردد روش اینشتین و چانگ-سایمونز و ریچاردسون به ترتیب با مقادیر $1/4$ و $3/9$ تن بر روز دارای کمترین مقدار خطای مطلق نسبی می‌باشند. با توجه به مقدار جذر میانگین مربع خطاهای کل داده‌ها و نتایج حاصل از مقدار خطای مطلق نسبی روش چانگ-سایمونز و ریچاردسون تقریباً دارای کمترین مقدار خطا در برآورد بار معلق رودخانه بیدواز می‌باشد. در ادامه جهت تحلیل بیشتر داده‌ها و نتیجه‌گیری اقدام به حذف یک یا چند ردیف داده و محاسبات مقدار خطاها به دو روش برای هر کدام از سناریوها تکرار گردید که به عنوان نمونه ملاحظه می‌گردد با حذف ردیف اول جدول (۱-۴) مقدار جذر میانگین مربع خطاها نیز تغییر می‌نماید به نحوی که رابطه اینشتین و چانگ-سایمونز و ریچاردسون با مقادیر $25/6$ و $27/7$ دارای کمترین مقدار خطا می‌باشند جدول (۴-۴). با عنایت به این‌که در محاسبه روابط بار معلق مقادیر دبی و میزان غلظت مواد

معلق تاثیر مستقیم و موثری دارند لذا جهت مقایسه بهتر مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی، مجدداً برای محاسبه مقدار خطاها نمونه‌ها به دو دسته برای دبی‌های بالای ۱/۷ مترمکعب بر ثانیه و غلظت بالای ۴۵ ppm و مقادیر پایین‌تر از این مقادیر تقسیم‌بندی شدند.

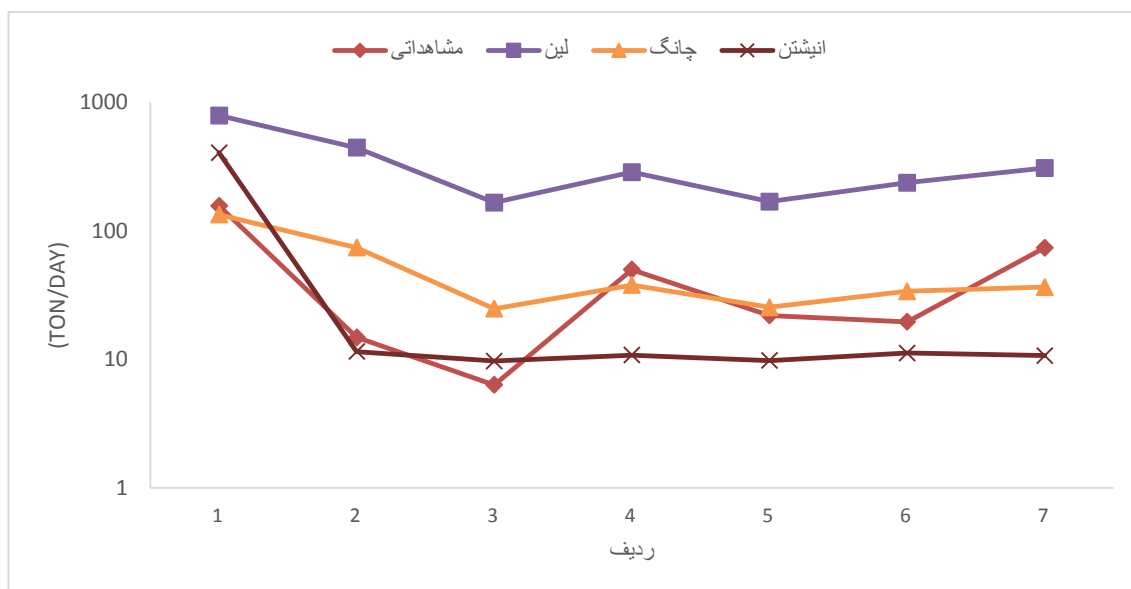
جدول (۴-۴) مقادیر RMSE محاسباتی و مشاهداتی بار معلق با حذف ردیف یک جدول (۴-۱)

چانگ سایمونز و ریچاردسون	اینشتین	لین و کالینسک	روش های محاسباتی بار معلق
27.7	25.6	222.5	جذر میانگین مربعات خطاها

جدول (۴-۵) مقادیر خطای RMSE و خطای نسبی مطلق برای نمونه‌های با $(C_m > 45 ppm)$, $(Q > 1.7 m^3/s)$

ردیف	تاریخ	دبی در واحد عرض	غلظت متوسط مواد معلق ppm	D(m)	مشاهداتی (ton/day)	لین و کالینسک (ton/day)	چانگ سایمونز و ریچاردسون (ton/day)	اینشتین (ton/day)
1	1394/01/11	1.09	195.6	0.475	156.42	786.4	133.5	405.46
2	1394/01/04	0.71	34.4	0.368	14.83	442.5	74	11.5
3	1393/12/02	0.33	45	0.229	6.33	165.8	24.8	9.7
4	1393/02/04 ساعت ۸،۳۰	0.44	193	0.273	49.86	285.4	37.9	10.8
5	1391/03/08	0.33	153	0.231	21.97	168.4	25.4	9.8
6	1391/02/11	0.41	93	0.261	19.6	236.4	33.88	11.2
7	1391/01/30	0.43	267	0.267	73.86	307.5	36.47	10.7
					RMSE			
					خطای مطلق نسبی			
						12	1.2	0.7

مطابق جدول (۴-۵) داده‌ها به ازای $(C_m > 45 ppm)$, $(Q > 1.7 m^3/s)$ تقسیم بندی و مقادیر خطاها ارائه شده است که روش چانگ-سایمونز و ریچاردسون در مقادیر زیاد حمل رسوب رودخانه دارای تطابق بهتری نسبت به روش اینشتین داشته که نتیجه محاسبات مقدار خطاها نیز (جذر میانگین مربع خطا برابر ۳۱/۹ و خطای مطلق نسبی برابر ۱/۲) و همچنین مقایسه نمودارهای شکل (۴-۳) نشان می‌دهد.

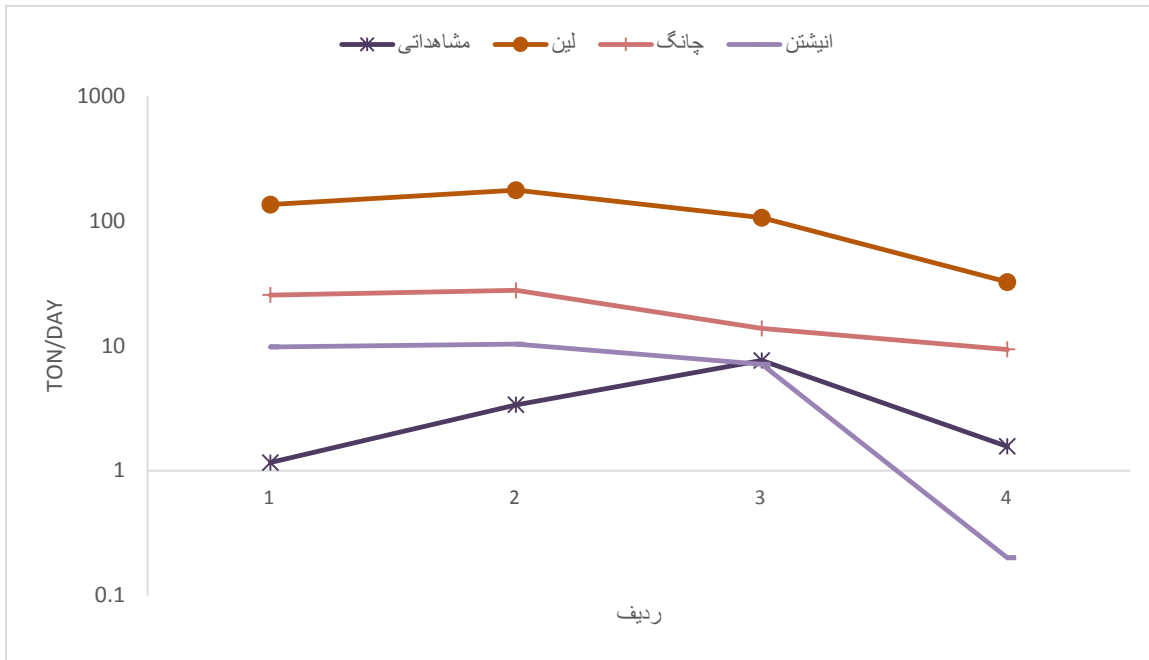


شکل (۳-۴) مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار معلق براساس جدول (۴-۵)

در ادامه مطابق جدول (۴-۶) به ازای $(Q < 1.7m^3/s), (C_m < 45ppm)$ محاسبات مجدداً انجام گردید که در مقادیر کم رسوبات مشاهداتی مقدار محاسباتی به روش اینشتین تطابق بهتری داشته است به نحوی که با مقدار جذر میانگین مربع خطا $6/5$ و خطای مطلق نسبی $2/6$ دارای کمترین مقدار خطاها می باشد.

جدول (۴-۶) مقادیر خطای RMSE و خطای مطلق نسبی برای نمونه‌هایی با $(Q < 1.7m^3/s), (C_m < 45ppm)$

ردیف	تاریخ	دبی در واحد عرض	غلظت متوسط مواد معلق ppm	D(m)	مشاهداتی (ton/day)	لین و کالینسک (ton/day)	چانگ سایمونز و ریچاردسون (ton/day)	آنیشتن (ton/day)
1	1393/02/04- ساعت ۱۸,۴۵	0.34	10	0.235	1.16	135.4	25.54	9.8
2	1393/02/04- ساعت ۱۴,۴۵	0.35	22	0.241	3.36	176.6	27.8	10.3
3	1392/01/10	0.21	96	0.177	7.63	106.1	13.77	7.1
4	1391/01/08	0.16	44	0.153	1.56	32.4	9.35	0.2
RMSE								
خطای مطلق نسبی								
6.5	20.7	139.9						
2.6	8.5	49.99						



شکل (۴-۴) مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار معلق براساس جدول (۴-۶)

با عنایت به موارد فوق الذکر و بررسی جداول و منحنی‌ها به نظر می‌رسد که در دبی‌های کمتر از ۱/۷ متر مکعب با توجه به شرایط جریان رودخانه بیدواز رابطه اینشتین و در دبی‌های بیش از ۱/۷ متر مکعب با تغییر شرایط جریان رابطه چانگ-سایمونز و ریچاردسون نتایج بهتری ارائه می‌دهند. در مقایسه با تحقیقات سایر محققان می‌توان به مطالعه موردی صدائی و سلیمانی (۱۳۹۱) اشاره نمود که با مقایسه دو رابطه بگنولد و لین-کالینسک در برآورد بار معلق رودخانه ارمند مورد بررسی قرار دادند و آنها در نهایت با بررسی صورت گرفته مشخص نمودند که فرمول بگنولد دارای برآورد نزدیک‌تری نسبت به فرمول لین-کالینسک داشته و رابطه لین-کالینسک دارای نوسانات شدید می‌باشد. همچنین صمدیان فرد و همکاران (۱۳۸۶) جهت برآورد بار معلق رودخانه اهرچای بالادست سد ستارخان با استفاده از روش‌های لین-کالینسک، اینشتین، بروکس و چانگ، سایمونز و ریچاردسون مورد بررسی قرار داده که با مقایسه مقادیر مشاهداتی بار معلق و نتایج محاسباتی رابطه چانگ، سایمونز و ریچاردسون را برای محاسبه و برآورد بار معلق رودخانه اهرچای در مواقع سیلابی و عادی نتیجه‌گیری نمودند.

پرتانی و مجدزاده (۱۳۸۵) نیز با بررسی روش‌های برآورد بار معلق در رودخانه قزل‌اوزن، رابطه چانگ را برای تخمین بار معلق این رودخانه توصیه نمودند. قربانی و همکاران در سال ۱۳۸۴ اقدام به بررسی روابط برآورد بار معلق در رودخانه‌های شنی و ماسه بر روی چهار ایستگاه با بستر ماسه‌ای رودخانه‌های آجی‌چای، قزل‌اوزن، تلوار و چهار ایستگاه با بستر شنی بر روی رودخانه‌های الندچای، قطورچای، کرج و جاجرود با استفاده از روابط بارمعلق اینشتین (۱۹۵۰)، بگنولد (۱۹۶۶)، توفالتی (۱۹۶۹)، بایکر (۱۹۷۱) و ون‌راین (۱۹۸۴) نمودند که در نهایت با مقایسه نتایج این معادلات با مقادیر اندازه‌گیری شده، رابطه اینشتین (۱۹۵۰) به عنوان بهترین رابطه بار معلق در رودخانه‌های شنی و رابطه ون‌راین (۱۹۸۴) به عنوان بهترین رابطه بارمعلق در رودخانه‌های ماسه‌ای انتخاب نمودند.

با مقایسه نتایج سایر محققان با این تحقیق نشان می‌دهد که روابط موجود در برآورد بار معلق در رودخانه‌های مختلف نتایج متفاوتی داشته بنابراین نمی‌توان رابطه مشخصی برای کلیه رودخانه‌ها تعیین و پیشنهاد نمود و برای هر رودخانه نیاز به بررسی‌های میدانی و اندازه‌گیری مستقیم بار معلق می‌باشد. که در نهایت با توجه به اینکه در مطالعات منابع آب و همچنین بهره‌برداری از تاسیسات آبی مقادیر دبی کم رسوبات معمولاً تاثیر قابل ملاحظه نداشته که می‌توان صرف نظر نمود و همچنین با بررسی‌های میدانی انجام شده بر روی رودخانه با بستر شنی بیدواز بیشترین میزان حمل رسوبات رودخانه در مواقع سیلابی اتفاق می‌افتد لذا با عنایت به موارد فوق‌الذکر و بررسی نمودارها و میزان خطاهای بدست آمده رابطه مناسب برای برآورد بارمعلق رودخانه بیدواز رابطه چانگ، سایمونز و ریچاردسون معرفی می‌گردد.

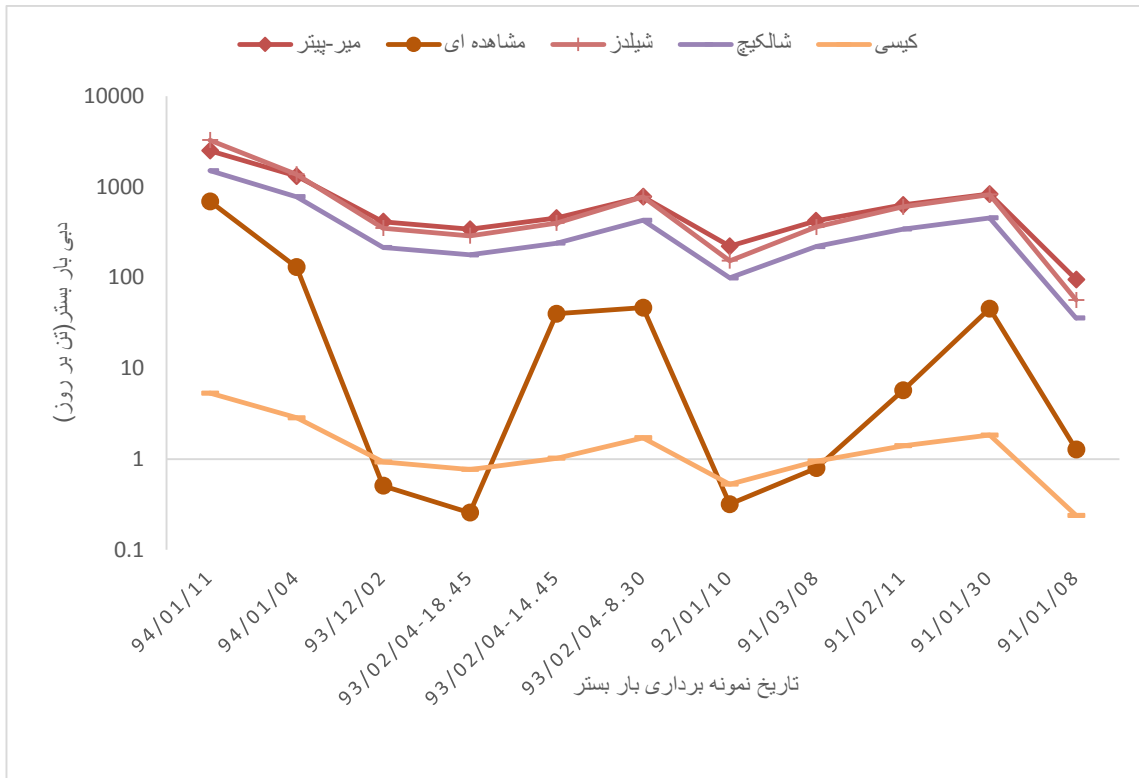
۴-۳- محاسبات و نتایج بار بستر رودخانه بیدواز

برای محاسبه مقادیر بار بستر رودخانه نیاز به پارامترهای دبی، عرض مقطع، شیب کف، عمق جریان، شعاع هیدرولیکی و قطر معادل D_{50} مواد بستر نمونه برداری شده می‌باشد. میزان بار بستر با استفاده از روش‌های کیسی، شالکیچ، میر-پیتر و شیلدز محاسبه گردید، که نتایج محاسبات هر یک از روش‌ها در تاریخ‌های اندازه‌گیری شده، در جدول (۴-۷) ارائه شده است.

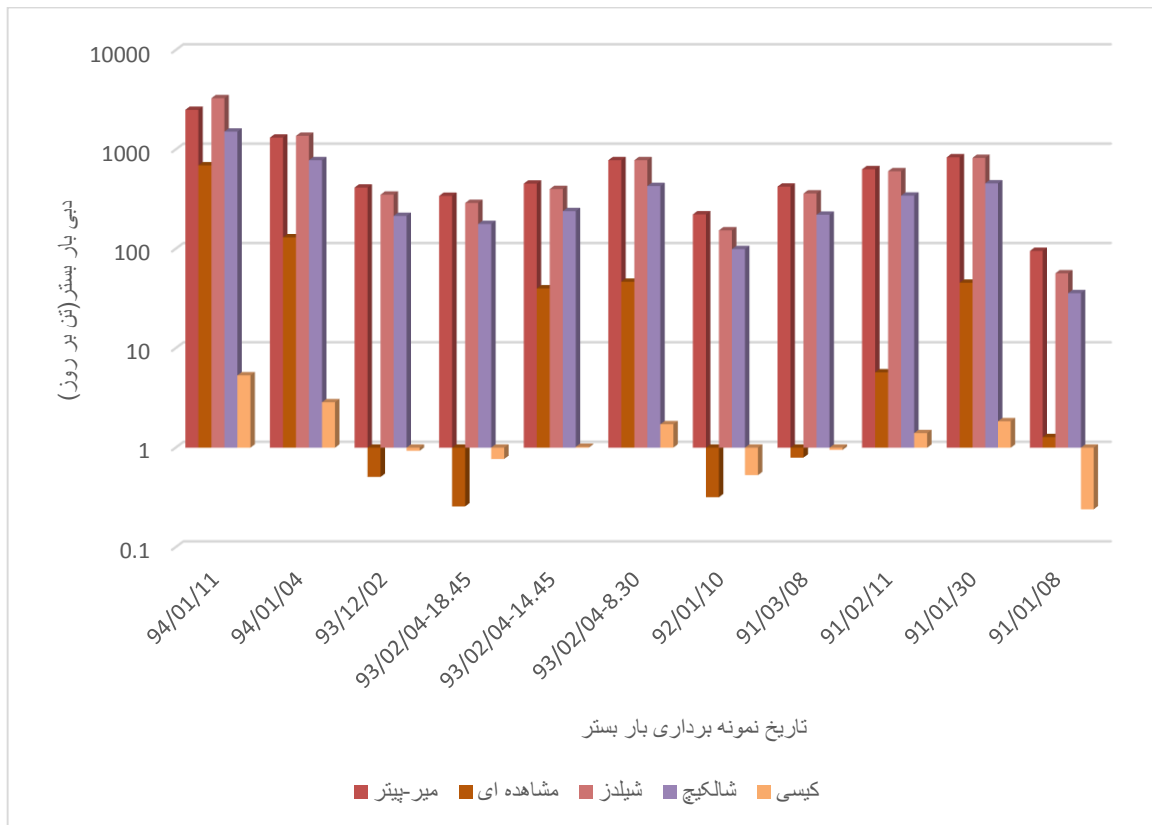
جدول (۴-۷) مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی بار بستر رودخانه بیدواز (ton/day)

تاریخ	دبی در واحد عرض	D(m)	مشاهداتی (ton/day)	شیلدز (ton/day)	کیسی (ton/day)	شالکیچ (ton/day)	میر-پیتز (ton/day)
1394/01/11	1.09	0.475	691.93	3281.72	5.33	1511.9	2507.63
1394/01/04	0.71	0.368	130.44	1373.34	2.86	779.89	1317.01
1393/12/02	0.33	0.229	0.508	351.25	0.93	214.61	413.87
1393/02/04- ساعت ۱۸،۴۵	0.34	0.235	0.257	289.48	0.77	178.06	341.16
1393/02/04- ساعت ۱۴،۴۵	0.35	0.241	39.97	400.15	1.02	239.4	453.07
1393/02/04- ساعت ۸،۳۰	0.44	0.273	46.64	779.74	1.717	428.76	780.16
1392/01/10	0.21	0.177	0.318	153.37	0.53	99.26	222.16
1391/03/08	0.33	0.231	0.794	361.09	0.95	220.27	422.81
1391/02/11	0.41	0.261	5.715	603.87	1.4	343.22	632.5
1391/01/30	0.43	0.267	45.63	823.35	1.84	455.94	833.45
1391/01/08	0.16	0.153	1.28	56.7	0.24	35.78	95.3

با بررسی و مقایسه مقادیر بدست آمده مشاهداتی و محاسباتی بار بستر مشاهده می‌گردد که مقادیر بار بستر محاسبه شده با رابطه کیسی مقادیر کوچکی نسبت به مقادیر مشاهداتی می‌باشد بجز چند موردی که بار بستر مشاهداتی کمتر از ۶ تن در روز که در دبی‌های کمتر از حدود ۲ متر مکعب بدست آمده که مقادیر نزدیک‌تری دارد و از بین سه رابطه شیلدز، شالکیچ و میر-پیتز رابطه شالکیچ مقادیر نزدیک‌تری به مقادیر مشاهده‌ای دارد که در شکل (۴-۵) و (۴-۶) نمودار کلیه روابط با مقایسه با مقدار مشاهده‌ای ارائه شده است. ملاحظه می‌گردد که روند سه رابطه شیلدز، شالکیچ و میر-پیتز مشابه هم می‌باشد. در جدول (۴-۸) و شکل (۴-۱۰) مقادیر جذر میانگین مربع خطا RMSE ارائه شده است که با مقایسه نتایج حاصله در کل رابطه کیسی و شالکیچ با مقادیر RMSE برابر ۲۲۲/۰۷ و ۴۱۲/۱۶ به ترتیب کمترین مقادیر را دارند.



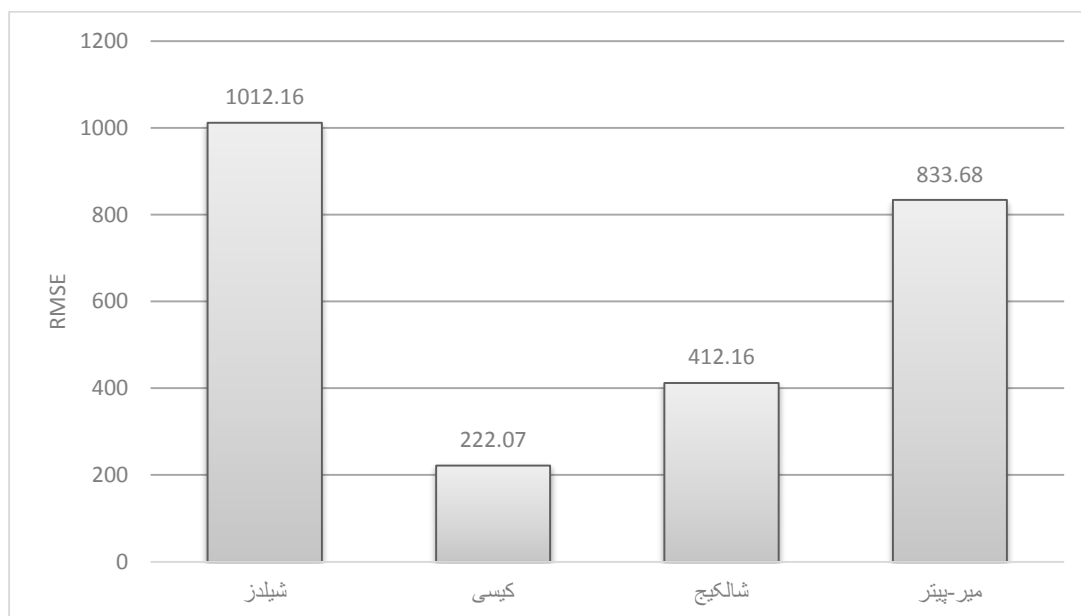
شکل (۴-۵) نمودار مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی بار بستر



شکل (۴-۶) مقایسه نتایج مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی بار بستر

جدول (۸-۴) مقادیر خطای جذر میانگین مربع خطا (RMSE) بار بستر (ton/day)

روش‌های محاسباتی بار بستر	میر-پیتر	شالکیچ	کیسی	شیلدز
جذر میانگین مربعات خطا (ton/day)	833.68	412.16	222.07	1012.16



شکل (۷-۴) نمودار مقایسه مقادیر جذر میانگین مربع خطا (RMSE) بار بستر

در ادامه جهت بررسی بیشتر، مقدار خطای مطلق نسبی برای کلیه داده‌ها محاسبه که در جدول (۹-۴) ارائه شده است. به نظر می‌رسد رابطه شالکیچ با مقدار خطای مطلق نسبی ۱۶۵ دارای مقدار منطقی‌تری می‌باشد.

جدول (۹-۴) مقادیر درصد خطای نسبی مقادیر محاسباتی و مشاهداتی بار بستر

روش‌های محاسباتی بار بستر	میر-پیتر	شالکیچ	کیسی	شیلدز
مقدار درصد خطا مطلق نسبی	328	165	1	269

با بررسی و مقایسه مقادیر بدست آمده بار بستر با استفاده از روش‌های کیسی و شالکیچ با مقادیر مشاهده‌ای که در دبی‌های زیاد رودخانه مقادیر مشاهداتی به مقدار محاسباتی شالکیچ و برای دبی‌های کمتر به مقادیر محاسباتی کیسی نزدیک‌تر می‌باشند می‌توان برای بررسی بیشتر برای دو دامنه دبی مشابه بار معلق مجدداً مقادیر جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و خطای

مطلق نسبی محاسبه نمود جداول (۱۰-۴) و (۱۱-۴).

جدول (۴-۱۰) مقادیر خطای RMSE و خطای مطلق نسبی برای نمونه‌های $Q > 1.7m^3/s$

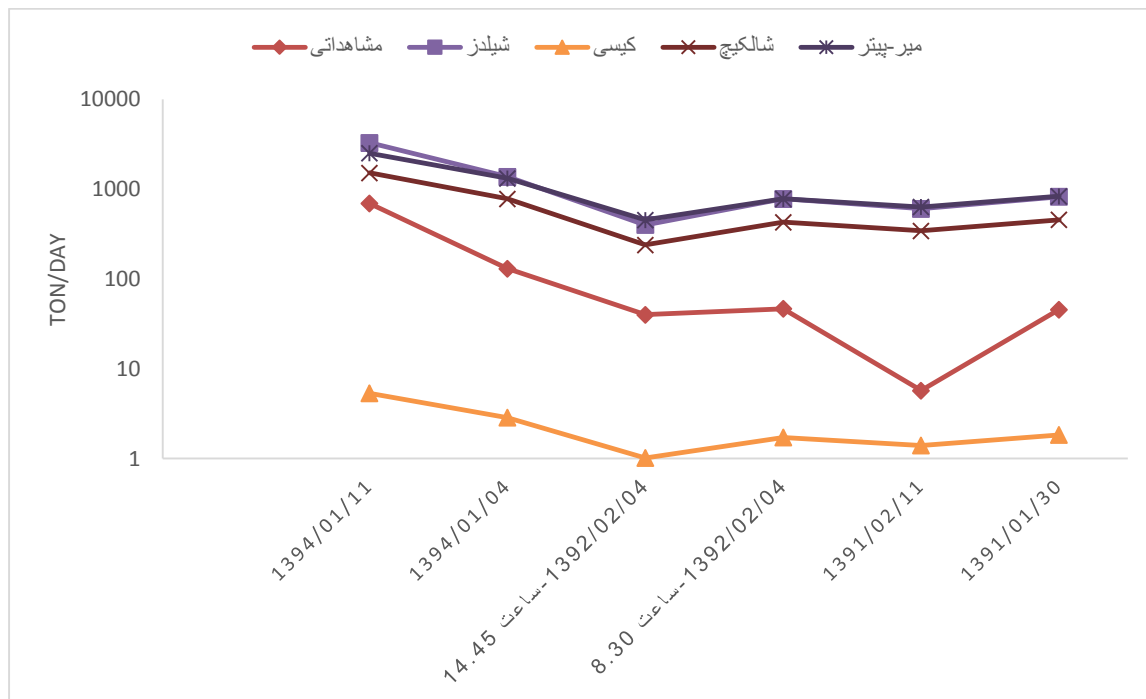
تاریخ	مشاهداتی (ton / day)	شیلدز (ton / day)	کیسی (ton / day)	شالکیچ (ton / day)	میر-پیتر (ton / day)
1394/01/11	691.93	3281.72	5.33	1511.9	2507.63
1394/01/04	130.44	1373.34	2.86	779.89	1317.01
-1392/02/04 ساعت ۱۴،۴۵	39.97	400.15	1.02	239.4	453.07
-1392/02/04 ساعت ۸،۳۰	46.64	779.74	1.72	428.76	780.16
1391/02/11	5.715	603.87	1.4	343.22	632.5
1391/01/30	45.63	823.35	1.84	455.94	833.45
RMSE					1133.7
درصد خطای مطلق نسبی					363

با بررسی مقادیر جدول (۴-۱۰) که به ازای دبی بیش از ۱/۷ مترمکعب بدست آمده روش کیسی و شالکیچ با مقدار جذر میانگین مربع خطای ۳۱۴/۱ و ۵۵۹ دارای کمترین مقادیر و رابطه کیسی، شالکیچ و شیلدز به ترتیب با مقادیر ۰/۹، ۱۴/۶ و ۲۶/۶ دارای کمترین مقدار خطای مطلق نسبی و روش میر-پیتر با مقدار ۳۶۳ بیشترین مقدار خطای نسبی می‌باشند. با بررسی مقادیر بدست آمده در جدول (۴-۱۱) که به ازای دبی های کمتر از ۱/۷ مترمکعب بر ثانیه روش کیسی و شالکیچ به ترتیب با جذر میانگین مربع خطای ۰/۶ و ۱۸۴/۸ دارای کمترین مقادیر و روش کیسی دارای کمترین مقدار و روش میر-پیتر بیشترین مقدار خطای مطلق نسبی را دارند.

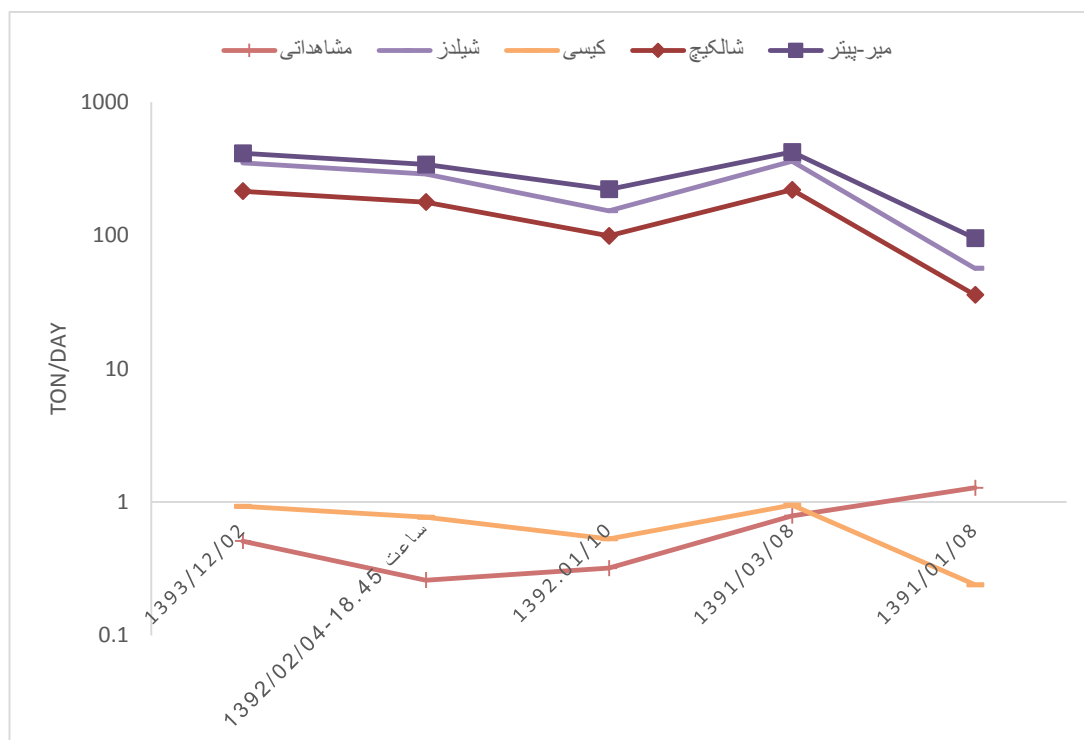
جدول (۱۱-۴) مقادیر خطای RMSE و خطای مطلق نسبی برای نمونه‌هایی با $Q < 1.7m^3/s$

تاریخ	مشاهداتی (ton / day)	شیلدز (ton / day)	کیسی (ton / day)	شالکیچ (ton / day)	میر-پیتر (ton / day)
1393/12/02	0.51	351.2	0.93	214.61	413.87
1392/02/04 ساعت ۱۸،۴۵	0.26	289.48	0.77	178.06	341.16
1392/10/01	0.32	153.37	0.53	99.26	22.16
1391/03/08	0.79	361.09	0.95	220.27	422.81
1391/01/08	1.28	56.7	0.24	35.78	95.3
	RMSE				
	درصد خطای مطلق نسبی				
		301.2	0.6	184.8	361.7
		558.9	0.9	345.6	688.6

با بررسی نمودارهای شکل (۸-۴) نمودار مقادیر محاسباتی شالکیچ تطابق بهتری نسبت به نمودار مقادیر محاسباتی نمودار کیسی در مقایسه با نمودار مقادیر مشاهداتی دارد.



شکل (۸-۴) مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی برای $Q > 1.7m^3/s$



شکل (۹-۴) مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی برای $Q < 1.7m^3 / s$

با بررسی نمودارهای شکل (۹-۴) نمودار مقادیر محاسباتی کیسی تطابق بهتری نسبت به نمودار مقادیر محاسباتی شالکیج دارد.

در مقایسه با نتیجه دیگر محققان در زمینه برآورد باربستر می‌توان به مطالعه موردی حدادچی و همکاران (۱۳۸۹) در ارزیابی معالات تجربی برآورد دبی بار بستر رودخانه چل چای در استان گلستان با روش‌های شالکیج (۱۹۵۰)، اینشتین (۱۹۵۰)، میر-پیتر و مولر (۱۹۴۸)، شیلدز (۱۹۳۶)، فرایلینک (۱۹۵۲)، یالین (۱۹۶۳)، انگلند-هانسون (۱۹۶۷)، بایکر (۱۹۷۱)، ایگرز-وایت (۱۹۷۳)، بگنولد (۱۹۶۶)، ون-راین (۱۹۸۴)، ون‌راین احتمالاتی (۱۹۹۳) و چانگ (۲۰۰۲) اقدام و نتیجه‌گیری نمودند که رابطه ایگرز-وایت بهترین نتایج را با ۶۴/۳ درصد نرخ حمل پیش‌بینی شده در رنج نسبت ناچوری بین ۰/۵ تا ۲ ارائه می‌دهد و معادلات میر-پیتر و مولر و ون‌راین نیز نتایج خوبی به ترتیب با ۴۳ درصد و ۳۶ درصد نرخ حمل پیش‌بینی شده ارائه می‌دهد.

صمدیان‌فرد و همکاران (۱۳۸۶) جهت انتخاب مناسب‌ترین روش‌های برآورد بار بستر رودخانه اهر چای بالادست سد ستارخان با استفاده از هشت روش پرکاربرد میر-پیتر (۱۹۳۴)، میر-پیتر و مولر، شالکیج

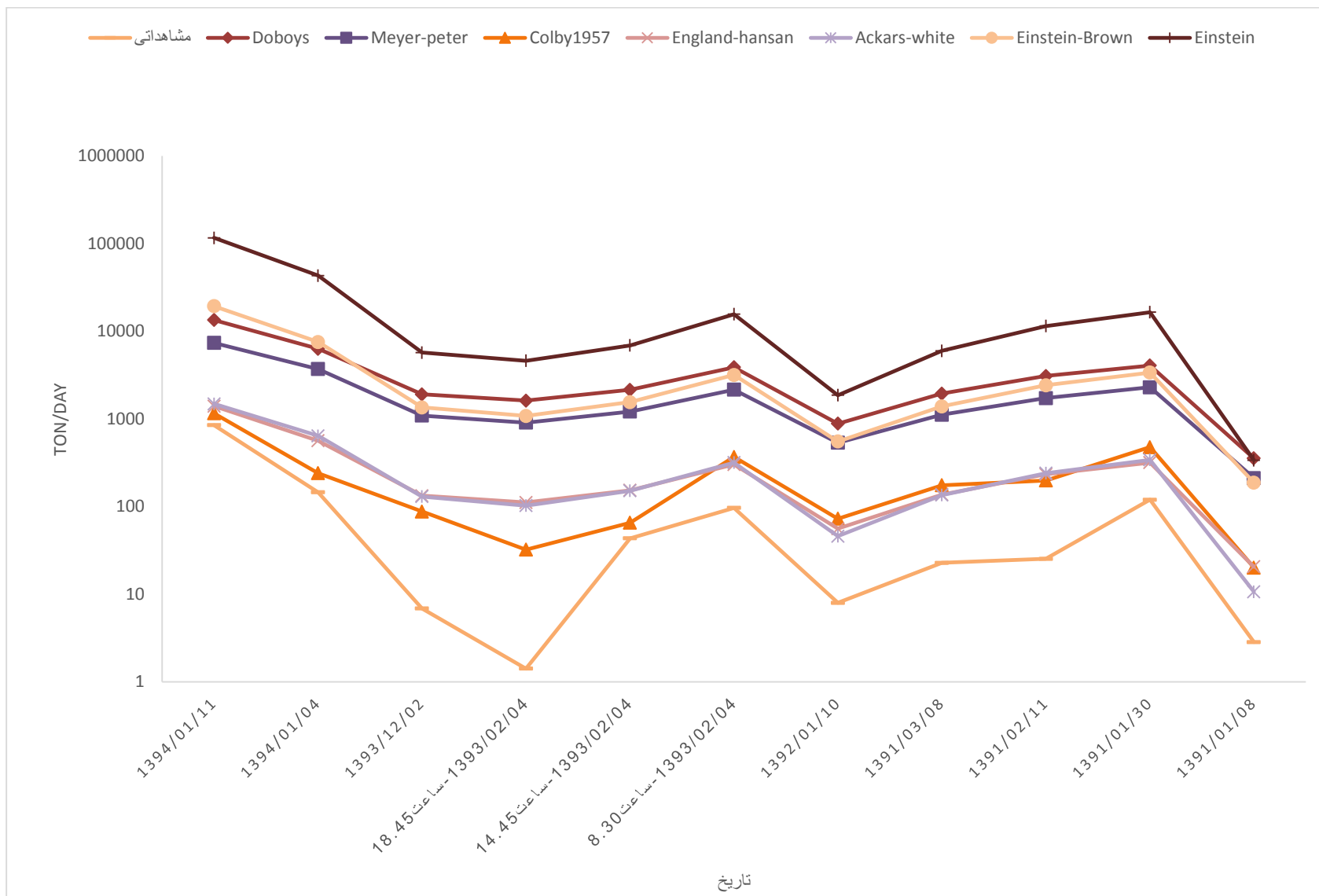
معادله اول، شالکیج معادله دوم، روتنر، شیلدز، کالینسک و کیسی با مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای و نتایج بدست آمده روش میر-پیتر و مولر با جذر میانگین مربع خطای $7/78628$ برای محاسبه بار بستر پیشنهاد نمودند.

قربانی و مجدزاده طباطبائی (۱۳۸۴) جهت تعیین بهترین معادله بار بستر کالیبراسیون آنها در رودخانه-های شنی و ماسه‌ای با استفاده از معادلات دوبوی (۱۸۴۹)، شولکیج (۱۹۳۴) و (۱۹۴۳)، میر-پیتر (۱۹۳۴)، کیسی (۱۹۳۵)، شیلدز (۱۹۳۶)، اینشتین (۱۹۴۲)، کالینسکی (۱۹۴۷)، میر-پیتر-مولر (۱۹۴۸)، فریچینک (۱۹۵۲)، راتنر (۱۹۵۹)، بگنولد (۱۹۶۶)، توفالتی (۱۹۶۹)، بایکر (۱۹۷۱)، ون راین (۱۹۸۴) برای محاسبه بار بستر در چهار ایستگاه با بستر شنی بر روی رودخانه‌های الندچای، قطورچای، کرج و جاجرود و ایستگاه‌هایی با بستر ماسه‌ای بر روی رودخانه‌های آجی چای، قزل اوزن تلوار اقدام و با مقایسه نتایج این معادلات با مقادیر اندازه‌گیری شده بار بستر، رابطه شوکلیج (۱۹۴۳) به عنوان بهترین رابطه انتقال بار بستر در رودخانه‌های شنی و ماسه‌ای معرفی نمودند.

با توجه به کلیه نمودارها و جداول فوق ملاحظه می‌شود که رفتار روابط محاسباتی در تعیین مقدار بار بستر رودخانه در دبی‌های مختلف یکسان نمی‌باشد بدین صورت که روند کلی تغییرات سه رابطه شالکیج، شیلدز و میر-پیتر مشابه هم می‌باشد و رابطه کیسی با توجه به این که صرفاً از نتایج آزمایشگاهی بدست آمده در دبی‌های پایین با مقدار بار کف کم تطابق بهتری از خود نشان می‌دهد در نهایت جهت انتخاب رابطه مناسب برآورد بار بستر رودخانه کوهستانی بیدواز با بستر شنی و اینکه بیشترین مقادیر حمل رسوب این رودخانه در مواقع سیلابی با دبی‌های بالاتر از ۳ متر مکعب بر ثانیه رخ می‌دهد با صرف نظر از مقادیر کم بار بستر رابطه مناسب جهت برآورد بار بستر رودخانه رابطه شالکیج پیشنهاد می‌گردد.

۴-۴- محاسبات و نتایج بار کل رسوب رودخانه بیدواز

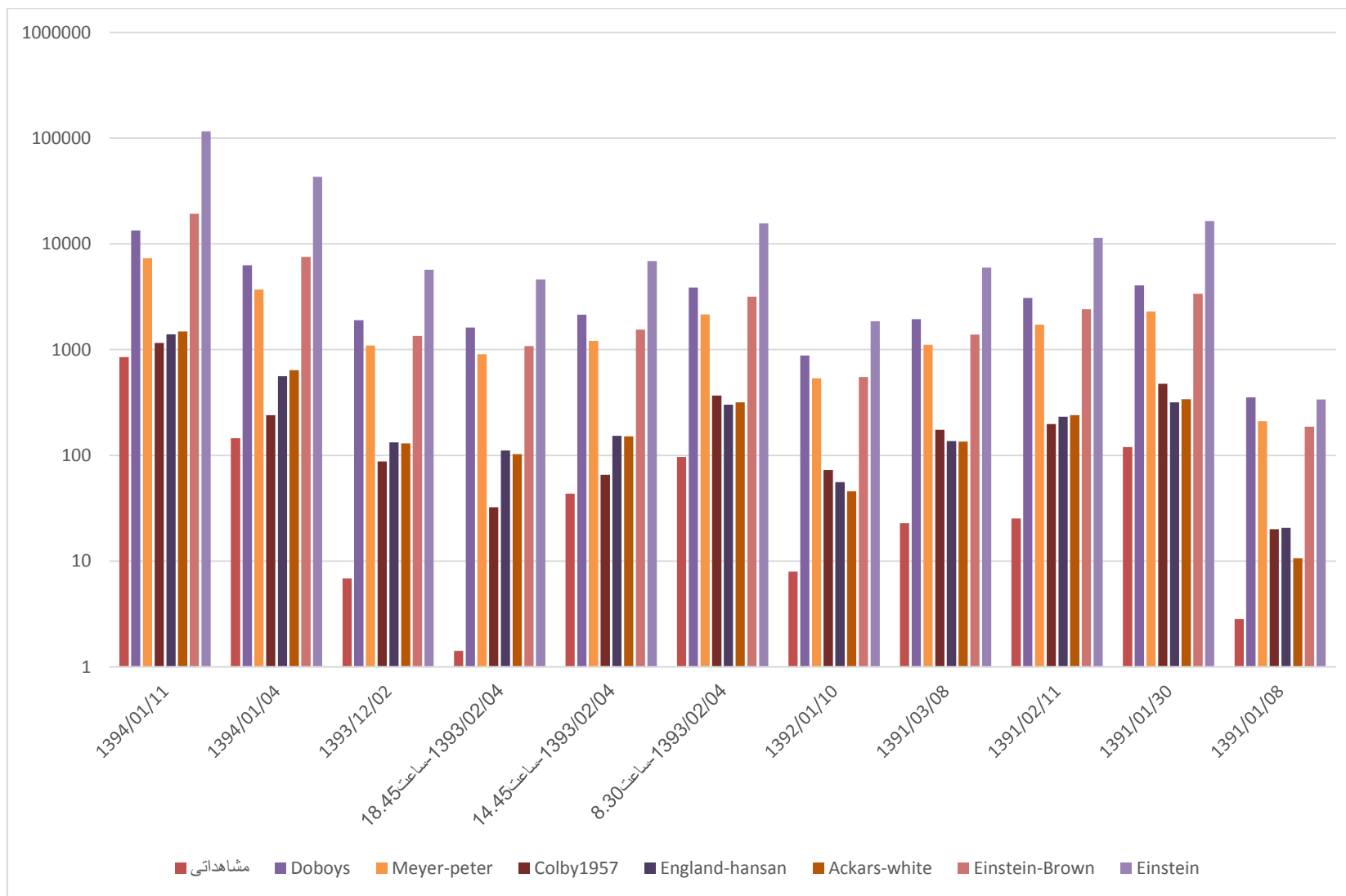
جهت برآزش و مقایسه روابط محاسباتی بار کل رسوب رودخانه بیدواز از هفت رابطه ریاضی دوبوی، میر-پیتر، کلبی ۱۹۵۷، انگلند-هانسون، ایکرز-وایت، اینشتین برون و روش اصلاح شده انیشتن استفاده گردید که نتایج حاصل از هر یک روابط در جدول (۴-۱۲) و شکل‌های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) ارائه گردید. با بررسی و مقایسه نتایج محاسباتی و مشاهداتی بار کل رسوب جدول (۴-۱۳) کمترین مقادیر محاسباتی مربوط به روش‌های کلبی ۱۹۵۷، انگلند-هانسون و ایکرز-وایت می‌باشد و بیشترین مقادیر محاسباتی مربوط به روش‌های انیشتن، اینشتن-برون، دوبویز و میر-پیتر می‌باشد. و با بررسی نمودارهای شکل (۴-۱۰) روند تغییرات کلیه روابط مشابه هم بوده ولی نمودارهای مربوط به روابط کلبی ۱۹۵۷، انگلند-هانسون و ایکرز-وایت با نمودار مقادیر مشاهداتی تطابق بهتری دارند.



شکل (۴-۱۰) مقایسه نمودار خطی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار کل رسوب رودخانه بیدواز

جدول (۴-۱۲) مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی بار کل رسوب رودخانه بیدواز

Einstein (ton/day)	Einstein- Brown (ton/day)	Ackars- white (ton/day)	England- hansan (ton/day)	Colby1957 (ton/day)	Meyer- peter (ton/day)	Doboys (ton/day)	مشاهداتی (ton/day)	D(m)	q ($m^3 / s.m$)	تاریخ	ردیف
116098	19260.7	1482.07	1396.44	1154.1	7342.23	13407.8	848.25	0.475	1.09	1394/01/11	1
42993.4	7523.14	638.88	561.83	239.9	3702.3	6297.11	145.272	0.368	0.71	1394/01/04	2
5699.2	1347.71	129.75	132.86	87.54	1090.37	1901.31	6.845	0.229	0.33	1393/12/02	3
4604.2	1078.16	102.4	110.95	32.21	903.89	1615.46	1.415	0.235	0.34	ساعت ۱۸،۴۵-1393/02/04	4
6875.1	1549.55	150.93	152.85	65.33	1210.95	2140.82	43.335	0.241	0.35	ساعت ۱۴،۴۵-1393/02/04	5
15609.5	3167.22	316.88	301.35	366.87	2152.63	3872.75	96.499	0.273	0.44	ساعت ۸،۳۰-1393/02/04	6
1858.3	552.04	45.79	55.89	72.49	534.26	880.99	7.948	0.177	0.21	1392/01/10	7
5965.9	1386.59	135.15	136.69	174.39	1113.36	1940.26	22.764	0.231	0.33	1391/03/08	8
11453.4	2414.09	239.89	232.49	197.7	1725.96	3085.14	25.321	0.261	0.41	1391/02/11	9
16450.4	3369.99	340.26	316.31	475.15	2288.19	4061.3	119.493	0.267	0.43	1391/01/30	10
336.8	187.09	10.63	20.53	20.03	210.85	353.95	2.834	0.153	0.16	1391/01/08	11

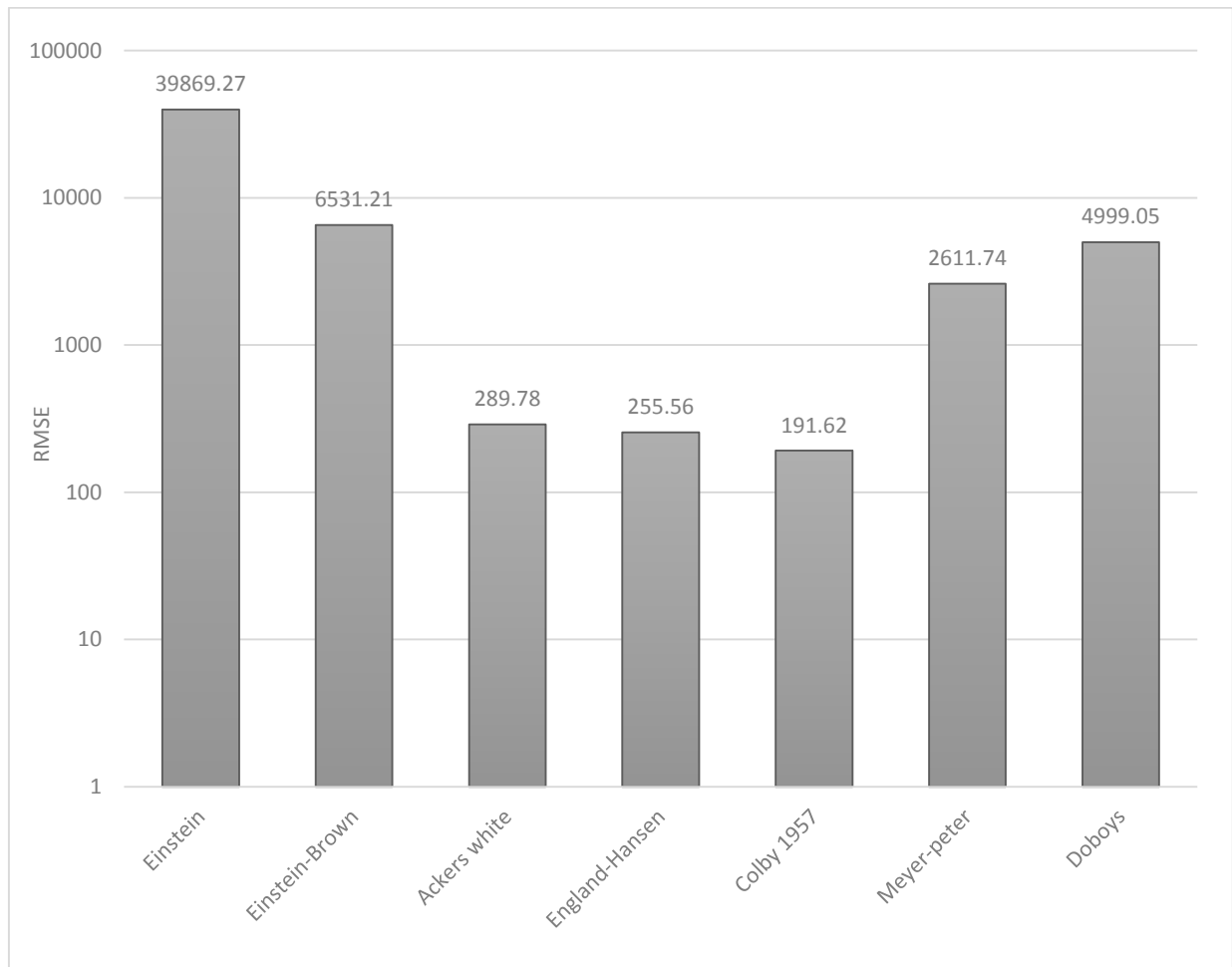


شکل (۴-۱۱) مقایسه نموداری مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار کل رسوب رودخانه بیدواز

جهت مقایسه و انتخاب مناسب‌ترین روش محاسباتی مقادیر خطاهای RMSE و خطای مطلق نسبی مطابق مقادیر جدول (۱۲-۴) محاسبه و نتایج در جداول (۱۳-۴) و (۱۴-۴) و شکل‌های (۱۲-۴) و (۱۳-۴) ارائه گردید:

جدول (۱۳-۴) مقدار خطای RMSE روش‌های محاسباتی بار کل رسوب رودخانه بیدواز

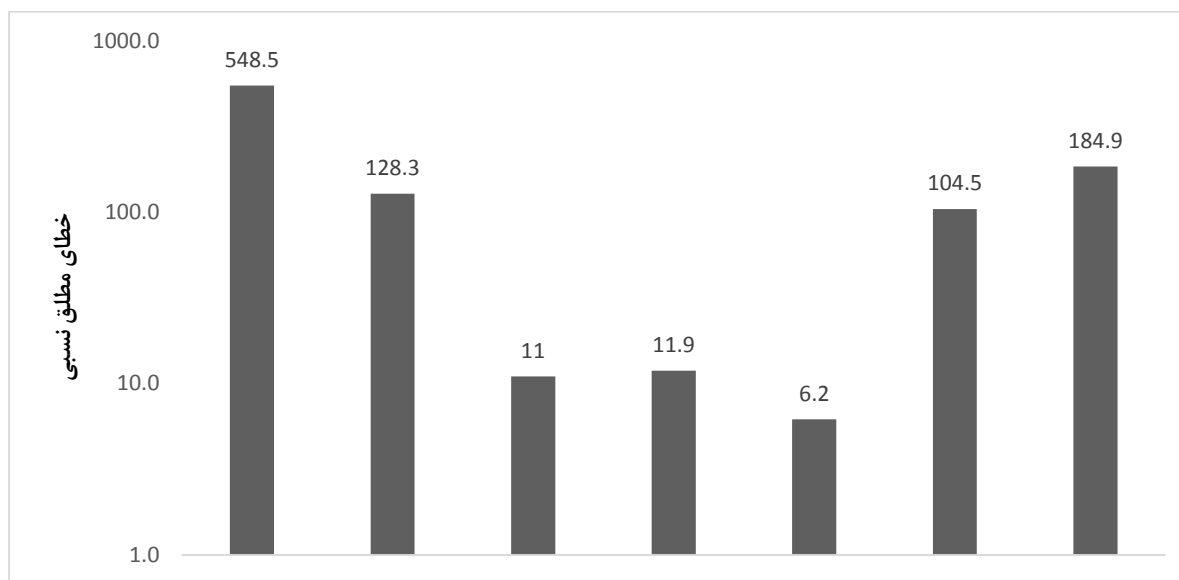
روش های محاسباتی بار کل رسوب	Doboys	Meyer-peter	Colby 1957	England-Hansen	Ackers white	Einstein-Brown	Einstein
جذر میانگین مربعات خطاها (ton/day)	4999.1	2674.1	191.6	255.6	289.8	6531.2	39869.3



شکل (۱۲-۴) نمودار مقادیر RMSE روابط محاسبه بار کل رسوب رودخانه بیدواز (ton/day)

جدول (۴-۱۳) مقدار خطای مطلق نسبی روش‌های محاسباتی بار کل رسوب رودخانه بیدواز (ton/day)

روش های محاسباتی بار کل رسوب	Doboys	Meyer-peter	Colby 1957	England-Hansen	Ackers white	Einstein-Brown	Einstein
درصد خطای مطلق نسبی	184.9	104.5	6.2	11.9	11	128.3	548.5



شکل (۴-۱۳) نمودار خطای مطلق نسبی روابط محاسبه بار کل رسوب رودخانه بیدواز

با بررسی نمودارها و جداول حاصل از محاسبه مقادیر خطاها مشاهده می‌گردد که روش‌های محاسباتی مقدار بار کل رسوب کلبی ۱۹۵۷، انگلند-هانسون و ایگرز-وایت به ترتیب دارای کمترین مقادیر جذر میانگین مربع خطا ۱۹۱/۶، ۲۵۵/۶ و ۲۸۹/۸ و روش‌های کلبی ۱۹۵۷، ایگرز-وایت و انگلند-هانسون با به ترتیب با مقادیر ۶/۲، ۱۱ و ۱۱/۹ کمترین خطای مطلق نسبی را دارند.

با بررسی روابط محاسباتی ملاحظه می‌گردد که پارامترهای موثر در رابطه کلبی ۱۹۵۷ مقادیر غلظت مواد معلق برحسب (ppm) و سرعت می‌باشد و در رابطه انگلند-هانسون پارامترهای موثر در محاسبات سرعت و عمق هیدرولیکی می‌باشد و در روش ایگرز-وایت موثرترین پارامتر سرعت جریان می‌باشد در دیگر روابط مورد استفاده پارامترهای دیگر مثل درجه حرارت، عرض مقطع، عمق جریان و منحنی دانه‌بندی موثر می‌باشد که با تجربه اندازه‌گیری‌های عملی انجام شده و محاسبات مشاهداتی مهمترین پارامترهای موثر در حمل رسوب در مواقع

سیلابی در رودخانه کوهستانی بیدواز سرعت جریان و غلظت مواد معلق جریان بدست آمده است (مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و پارامترهای اندازه‌گیری شده رودخانه) لذا با مقایسه روابط محاسباتی بار کل رسوب مشاهده می‌گردد که روابطی که عامل موثر در محاسبات سرعت و غلظت مواد معلق باشد بهترین نتایج را ارائه می‌دهد.

لذا با توجه به نمودارها و جداول و مقدار خطاهای محاسباتی مناسب‌ترین روش برآورد بار کل رسوب در رودخانه بیدواز روش کلبی ۱۹۵۷ بوده و پیشنهاد می‌گردد و روابط انگلند-هانسون و ایکرز-وایت نیز نتایج قابل قبولی بعد از رابطه کلبی ۱۹۵۷ ارائه می‌دهند.

بحث و نتیجه گیری

۵-۱- مقدمه

در این پژوهش با بکارگیری روش اندازه‌گیری مستقیم میزان انتقال رسوبات رودخانه بیدواز در مواقع سیلابی و همچنین تعیین پارامترهای مورد نیاز روابط ریاضی تعیین میزان بارمعلق و بار بستر و بار کل رسوب جهت انتخاب مناسب‌ترین روابط محاسباتی انتقال رسوب رودخانه بیدواز مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور مقدار خطاهای هر روش با مقادیر مشاهداتی به دو روش و تفکیک شده بررسی و محاسبه گردید که در ادامه این فصل خلاصه نتایج به‌دست آمده برای تعیین میزان بار معلق، بار بستر و بار کل رسوب ارائه شده و سپس پیشنهادی برای پژوهش‌های آتی و بهبود نتایج مطرح شده است.

۵-۲- نتیجه‌گیری

۵-۲-۱- مناسب‌ترین روش برآورد بار معلق رودخانه بیدواز

به‌منظور انتخاب و گزینش مناسب‌ترین روش یا روش‌های برآورد بار معلق در رودخانه بیدواز، براساس مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای رودخانه از جمله دبی، سرعت، مشخصات دانه‌بندی مواد بستر و مقدار غلظت مواد معلق، میزان بار معلق با استفاده از روش‌های لین و کالینسک، اینشتین و چانگ سایمونز و ریچاردسون محاسبه گردید، که با توجه به نتایج محاسبات هر یک از روش‌ها در تاریخ‌های اندازه‌گیری شده، و نمودارها و شکل‌ها ملاحظه می‌گردد در حالت کلی محاسبه مقدار جذر میانگین مربع خطا و همچنین مقدار خطای مطلق نسبی جداول (۲-۴) و (۳-۴) برای کل داده‌ها روش چانگ نسبت به سایر روش‌ها نتیجه بهتری ارائه می‌دهد. جهت بررسی بیشتر نسبت به حذف برخی از موارد و ایجاد سناریو جدید برای نتیجه‌گیری اقدام گردید که به عنوان نمونه با حذف ردیف یک جدول (۱-۴) و محاسبه مقدار جذر میانگین مربع خطا روش اینشتین دارای کمترین مقدار خواهد شد. به علت اختلاف زیاد دامنه تغییرات مقدار بار معلق محاسباتی روش‌ها با مقادیر مشاهداتی با در نظر گرفتن این نکته که در روابط محاسباتی عامل موثرتر دبی رودخانه و میزان غلظت مواد معلق می‌باشد نمونه‌ها به دو دسته تقسیم بندی شدند. با بررسی نتایج در دامنه $Q > 1.7m^3/s$ و $C > 45ppm$ روش چانگ دارای کمترین مقدار خطای RMSE و روش اینشتین کمترین مقدار خطای مطلق نسبی دارا می‌باشد و در دامنه $Q < 1.7m^3/s$ و $C < 45ppm$ روش اینشتین دارای کمترین مقدار جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و مقدار خطای مطلق نسبی دارا می‌باشد که در

نهایت و با در نظر گرفتن نمودارها و مقادیر خطاهای بدست آمده و صرف نظر از مقادیر رسوبات در دبی‌های کمتر از ۱/۷ متر مکعب، در مواقع سیلابی رودخانه بیدواز روش چانگ، سایمونز و ریچاردسون برای محاسبه مقدار بار معلق رودخانه بیدواز عملکرد مناسب‌تری نسبت به سایر روش‌ها داشته و معرفی می‌گردد.

۵-۲-۲- مناسب‌ترین روش برآورد بار بستر رودخانه بیدواز

جهت انتخاب مناسب‌ترین رابطه جهت برآورد بار بستر با استفاده از مقادیر خطاهای بدست آمده (مقدار جذر میانگین مربع خطا و خطای مطلق نسبی) برای کل نمونه‌ها نمی‌توان اظهار نظر دقیق نمود لذا جهت تحلیل بهتر با مقایسه مقادیر مشاهداتی با مقادیر محاسباتی ملاحظه می‌گردد که رابطه کیسی در دبی‌های کم رودخانه مقادیر نزدیک‌تری به مقادیر مشاهداتی ارائه می‌دهد و همچنین در دبی‌های بالاتر رابطه شالکیچ رفتار بهتری از خود نشان می‌دهد بنابراین جهت بررسی نمونه‌ها به دو دسته بر اساس مقادیر دبی تقسیم بندی گردیدند که با مشاهده نمودارها و مقادیر خطاهای بدست آمده رابطه کیسی کمترین مقادیر جذر میانگین مربع خطا و درصد خطای مطلق نسبی می‌باشد و رابطه شالکیچ بعد از رابطه کیسی دارای کمترین مقادیر خطا بوده و در دبی‌های بالاتر از ۱/۷ متر مکعب با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسباتی عملکرد مناسب‌تری دارد لذا با مقایسه نمودارها و مقادیر مشاهداتی با مقادیر محاسباتی می‌توان بصورت کلی دو رابطه در نظر گرفت بدین ترتیب که رابطه کیسی که صرفاً از نتایج آزمایشگاهی (احتمالاً با دبی‌های کم) بدست آمده می‌توان برای محاسبه بار بستر در رودخانه بیدواز در دبی‌های کمتر از ۱/۷ متر مکعب بر ثانیه و رابطه شالکیچ برای دبی‌های بالاتر از ۱/۷ متر مکعب در نظر گرفت.

با بررسی میدانی و اینکه بستر فعال رودخانه کوهستانی بیدواز، شنی و دارای شیب تند می‌باشد در نهایت با صرف نظر نمودن از میزان رسوب‌زایی ناچیز رودخانه در دبی‌های کمتر از حدود ۱/۷ متر مکعب که عملاً در مطالعات منابع آب و بهره‌برداری از تاسیسات آبی پایین دست شامل سد و شبکه آبیاری تحت فشار تاثیر قابل ملاحظه‌ای ندارند و اینکه با اندازه‌گیری‌های میدانی بیشترین مقدار حمل رسوبات رودخانه در مواقع سیلابی و دبی‌های بالا اتفاق می‌افتد لذا رابطه موثر در برآورد مقدار بار بستر رودخانه بیدواز رابطه شالکیچ پیشنهاد می‌گردد.

۵-۲-۳- مناسب‌ترین روش یا روش‌های برآورد بار کل رسوب رودخانه بیدواز

به منظور انتخاب مناسب‌ترین روش یا روش‌های محاسباتی تعیین بار کل رسوبات رودخانه بیدواز از بین فرمول‌های موجود تعداد هفت رابطه انتخاب و مورد بررسی و استفاده قرار گرفت که بر اساس نتایج بدست آمده رابطه کلبی ۱۹۵۷ با جذر میانگین مربع خطای ۱۹۱/۶ (تن بر روز) و رابطه انگلند-هانسون با مقدار جذر میانگین مربع خطای ۲۵۵/۶ (تن بر روز) و رابطه ایکرزوایت با مقدار جذر میانگین مربع خطای ۲۸۹/۸ (تن بر روز) و براساس میزان خطای مطلق نسبی نیز رابطه کلبی ۱۹۵۷، ایکرزوایت و انگلند-هانسون به ترتیب با مقادیر ۶/۲، ۱۱ و ۱۱/۹ درصد دارای بهترین نتایج بوده اند.

در نهایت مناسب‌ترین رابطه جهت برآورد مقدار بار کل رسوب رودخانه بیدواز رابطه کلبی ۱۹۵۷ پیشنهاد می‌گردد و روابط انگلند-هانسون و ایکرزوایت نیز بعد از رابطه کلبی ۱۹۵۷ نتایج نسبتاً قابل قبولی ارائه می‌دهند. طبیعی است که به علت تغییر شرایط منطقه‌ای و پارامترهای هیدرولوژیکی نتایج بدست آمده نمی‌توان رابطه‌ای را به صورت کلی برای تعیین بار معلق، بار بستر و بار کل رسوب رودخانه بیدواز ارائه نمود.

۵-۳- پیشنهادات

- ۱- جهت انجام محاسبات نیاز به عرض آبراهه می‌باشد که با توجه به رسوب‌گذاری قسمت ساحل چپ مقطع ایستگاه آب‌سنجی قلعه سفید و عدم یکنواختی سرعت جریان آب و عمق جریان تعیین عرض موثر در رسوب‌زایی جریان رودخانه مشکل است که بایستی در مطالعات آتی در هر نمونه‌برداری دقت لازم معمول گردد.
- ۲- با توجه به نتایج و بررسی‌های بعمل آمده و رسوب‌گذاری در محل ایستگاه آب‌سنجی به نظر می‌رسد ایستگاه هیدرومتری قلعه سفید در محل مناسبی ساخته نشده است.
- ۳- برخی از پارامترهای هیدرولیکی در مقدار برآورد روابط بار معلق مثل غلظت مواد معلق تاثیر بسیار زیادی دارند که تعیین و اندازه‌گیری دقیق مقدار آن بسیار ضروری می‌باشد.

۴- چنانچه در آتی پژوهش جدیدی در این رودخانه انجام گیرید اندازه گیری‌های دقیق پارامترهای موثر در هر رابطه به شرح زیر لازم و ضروری می‌باشد:

الف- در محاسبه بار کل رسوب به روش کلبی ۱۹۵۷ عوامل تاثیر گذار سرعت متوسط جریان، عمق جریان، عرض مقطع و غلظت مواد معلق می‌باشد.

ب- در محاسبه بار کل رسوب به روش انگلند-هانسون عوامل تاثیرگذار عمق هیدرولیکی، سرعت متوسط جریان و قطر میانه D_{50} مواد بستر می‌باشد.

ج- در محاسبه بار کل رسوب به روش ایگرز-وایت مهم‌ترین و موثرترین عامل تعیین دقیق سرعت متوسط جریان می‌باشد.

د- در روش شالکیچ در محاسبه بار بستر عوامل مهم و موثر منحنی دانه‌بندی مواد بستر، دبی جریان و عرض کف مقطع می‌باشد.

۵- با توجه به تجارب نمونه‌برداری چنانچه در آتی جهت بالا بردن دقت بهترین بازه دبی رودخانه بیدواز در هر دو حالت سیلابی و عادی برای نمونه‌برداری بین ۳ تا ۱۰ متر مکعب پیشنهاد می‌گردد. در دبی‌های بالاتر از ۱۰ متر مکعب بعلت رسوب‌زایی بسیار زیاد رودخانه به هیچ وجه امکان نمونه‌برداری با دستگاه هلی‌اسمیت وجود ندارد (کمتر از ۷۰ ثانیه کیسه نمونه‌بردار پر می‌گردد) و در دبی‌های کم نیز بعلت جریان آرام مقدار حجم نمونه‌های جمع‌آوری شده نیز کم بوده و منحنی دانه‌بندی قابل قبولی ارائه نمی‌دهد.

۶- بیشترین مقدار بار معلق رودخانه بیدواز بار شسته دره‌ها، اراضی حاشیه رودخانه و فرسایش آبی مراتع بالادست حوضه آبریز رودخانه تشکیل شده است که این امر در محاسبات تاثیرگذار می‌باشد.

۷- از آنجایی که در مواقع سیلابی غلظت مواد معلق بسیار زیاد با ذراتی با قطر کوچکتر از یک‌دهم میلی‌متر تشکیل شده با بازگشایی دریاچه تخلیه کننده تحتانی سد بیدواز بیشتر مواد معلق بصورت جریان غلیظ از مخزن

سد تخلیه می‌گردد به نحوی که با اندازه‌گیری غلظت مواد معلق ورودی به سد با درصد خشک $1/93$ مقدار غلظت خروجی سد با درصد خشک $0/81$ اندازه‌گیری شد.

۱۲- با توجه به اینکه عموماً نرخ انتقال بار بستر رودخانه‌ها در حدود ۵ تا ۲۵ درصد بار معلق در نظر می‌گیرند در رودخانه بیدواز مقدار بار بستر معمولاً چند برابر بار معلق آن می‌باشد جدول (۳-۳).

فهرست منابع

منابع:

- ۱- آخوردزاده، ح. ۱۳۹۱. برآورد و محاسبه بار رسوب معلق و بار کف به روش اندازه‌گیری مستقیم در ایستگاه رسوب سنجی کرخه حمیدیه و بدست آوردن مجموع و درصد آنها، نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه‌ها، اهواز، دانشگاه شهید چمران.
- ۲- امامی، الف، ۱۳۷۹. انتقال رسوب (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۷۱۶ صفحه.
- ۳- پرتانی، ص. و مجدزاده، م.، ۱۳۸۵. بررسی روش‌های برآورد بار معلق رودخانه قزل اوزن و انتخاب معادله بهینه، مجموعه مقالات هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، بهمن ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
- ۴- حدادچی، آ.، امید، م.، دهقانی، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی معادلات تجربی برآورد باربستر در رودخانه کوهستانی با بستر شنی (مطالعه موردی رودخانه چهل‌چای در استان گلستان)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد هجدهم، شماره سوم. صفحات ۱۶۶-۱۴۹.
- ۵- حسن‌زاده، ی.، ۱۳۷۸. فرمول‌بندی دبی جامد رودخانه آجی‌چای، نشریه دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی، سال یازدهم، شماره یازدهم، صفحه ۶-۲.
- ۶- سیف، س.، نیک سخن، م. ۱۳۸۹. محاسبه بار بستر در رودخانه‌های فصلی. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۷- شرکت مهندسی مشاور کاوش پی مشهد، ۱۳۸۸. مطالعات تعیین حریم و بستر رودخانه بیدواز، جلد ۶، مطالعات آزمایشات مکانیک خاک.
- ۸- شرکت مهندسی مشاور کاوش پی مشهد، ۱۳۸۸. مطالعات تعیین حریم و بستر رودخانه بیدواز، جلد ۳، مطالعات هیدرولیک.
- ۹- شفاعی بجستان، م. ۱۳۹۲. هیدرولیک انتقال رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

- ۱۰- صدائی، ن.، سلیمانی، ک. ۱۳۹۱. مقایسه عملکرد دو فرمول برآورد بار رسوب معلق با مقادیر اندازه‌گیری شده و اجرای روش تحلیل مسیر در رودخانه ارمند. فصل‌نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال سوم، شماره دهم.
- ۱۱- صمدیان‌فرد، س.، قربانی، م. ۱۳۸۶. انتخاب مناسب‌ترین روش‌های برآورد بارمعلق و باربستر در رودخانه اهرچای (بالادست سد ستارخان)، مجله پژوهش کشاورزی، آب، خاک و گیاه در کشاورزی، جلد هفتم، شماره سوم، صفحات ۹۱-۱۰۱.
- ۱۲- قربانی، ح. مجدزاده طباطبایی، م و قریشی، س. ۱۳۸۴. تعیین بهترین معادله باربستر و بار معلق و کالیبراسیون آنها در رودخانه‌های شنی و ماسه‌ای، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران.
- ۱۳- لطیفی، الف. و حسن‌زاده، ی.، ۱۳۸۵. مقایسه روش‌های مختلف بار رسوب معلق رودخانه‌ها و انتخاب بهترین روش (مطالعه موردی رودخانه گاماسیاب)، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. بهمن ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
- ۱۴- مسکار، ه.، فضل‌اولی، ر. ۱۳۹۲. بررسی الگوی رسوب‌گذاری مخزن سد شهید رجایی با استفاده از مدل عددی **GSTAR3**. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، جلد چهارم، شماره ۷، صفحات ۲۹-۱۶.
- ۱۵- محمدزاده، س.، سعیدپناه، ا. ۱۳۹۳. ارزیابی روش‌های مختلف برآورد بار بستر در مهندسی رودخانه. کانون ملی معماری ایران، همایش ملی معماری، عمران و توسعه‌ی نوین شهری، تبریز.
- ۱۶- نخجیری، ح.، گلمايي، ح.، ۱۳۸۲. سنجش و گزینش مناسب‌ترین روش‌های برآورد بار بستر رودخانه‌ها، چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۲۹ مهرماه لغایت ۱ آبان ماه، دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز، شیراز.
- ۱۷- نشریه شماره ۳۴۹، سال ۱۳۸۵. انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، راهنمای کلیات صحرایی نمونه‌برداری مواد رسوبی رودخانه‌ها و مخازن سدها.

۱۸- نشریه ۵۹۰، سال ۱۳۹۱، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، راهنمای محاسبه بار رسوب معلق و بستر رودخانه.

19- Ackers, P., and W.R. White (1973): Sediment transport: New approach and analysis, ASCE Journal of the Hydraulics Division, Vol.99.HY11.

20- ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No.54: sedimentation Engineering, Vito A. Vanoni, Editor, New York, NY, 1975.

21- B., Maren, D.S., Li, L. 2008. Predictability of sediment transport in the Yellow River using selected transport Formulas.

22- Crawford, C.G. 1991. Estimation of suspended sediment rating curves and mean suspended sediment load, Journal of hydrology. Vol.129, pp.331-348.

23- <http://onlinecalc.sdsu.edu>.

24- International Journal of Sediment Research, Vol. 23, No.1, pp: 283-298

25- Kiat, C.C., Ghani, A.A., Abdullah, R., Zakaria, N.A. 2008. Sediment transport Environment Research, -modeling for Kulim river-A case study. Journal of Hydro Vol. 2, No.1, pp: 47-59.

26- Lopez, Raul, Vericat, Damia, Batalla, Evaluation of bed load transport formulae in a large regulated gravel bed river, Journal of Hydrology, vol 510, No 164-181, 2014.

27- Ponce, V.M., 1989. Engineering Hydrology, Principles and practices, perentice Hall, pages 558.

28- Ponce, V.M., 1989. Engineering Hydrology, Principles and practices, perentice Hall, page 559-562.

29- Scs National Engineering Handbook, Section 3, sedimentation, Chapter 4: Transmission of Sediment by Water

30- Shih, H., McIntosh, M. 2012. Impacts to Sediment Transport Modeling by Using Zeller-Fullerton Equation and Meyer-Peter-Muller Equation to Estimate

Tributary Sediment Inflow for Waterman Wash, Arizona, USA, World
Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries, pp:
1447-1457.

Abstract:

The amount of sediment in rivers is the one of the most important problems in river engineering. Sediment transport phenomenon is the complexity of the development of several methods.

Methods In this study the most suitable criteria to estimate suspended load, bed load and total load sediment in river Bidvaz is selected. For this purpose, the amount of suspended sediment and bed load Bidvaz river gauging station in Ghaleh Sefid was measured at the time of flooding. For the measurement of suspended sediment sampling bottles for sampling and bed load sampler was used Helly-Smith. Then, Profile, hydraulic and river engineering Bidvaz measured and calculated. The samples were sent to the laboratory of soil mechanics and calculate and graph gradation curves and the concentration of suspended solids was determined. Water District of enterprise software to calculate the observed values of suspended sediment, bed and total load sediment was used. There are three methods for calculation of suspended sediment load (methods Lane & Kalinske's, Einstein and Chang, Simons & Richardson's) and four bed load calculation methods (methods Shields, Meyer-Peter, Schoklitsch and Casey) and seven valid method for calculate the total load (methods Engelund & Hansen, Ackers & White, Colby¹⁹⁵⁷, Doboys, Einstein-Brown, Meyer-Peter and Modified Einstein) was used. To evaluate and compare the two methods were used RMSE and absolute percentage error relative.

Comparing the values and observed the following results were obtained:

1. Chang method with RMSE = 27.23 and 10 percent relative error is proposed to calculate the suspended load.
2. Shalkych method with RMSE = 412.16 and 10 percent relative error is proposed to calculate the bed load.
3. Colby 1957 method with RMSE = 191.62 and 10 percent relative error is proposed to calculate the total sediment load. England relation to the calculation of the Total Load offers good results.

Keywords: Sediment transport, bed load, suspended load, the load of sediment, river Bidvaz, Helly-Smith