جمهوری اسلامی ایران

راهنمای تعیین بار کل رسوب رودخانه ها به روش انیشتین و کلبی

نشریه شماره ۲۷۳

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
معاونت امور فنی
دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی
http://www.mporg.ir

وزارت نیرو
سازمان مدیریت منابع آب ایران
دفتر استانداردها و معیارهای فنی
http:/www.wrm.or.ir/standard

جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

راهنمای تعیین بار کل رسوب رودخانه‌ها به روش انیشتین و کلبی

نشریه شماره ۲۷۳

معاونت امور فنی
دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی

انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ۸۲/۰۰/۱۰۱

۱۳۸۳

فهرستبرگه

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها

راهنمای تعیین بارکل رسوب رودخانه‌ها به روش انیشتین و کلبی/ معاونت امور فنی، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی؛ وزارت نیرو،سازمان مدیریت آب ایران، دفتر استاندارد مهندسی آب.- تهران: سازمان‌مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور پشتیبانی ، مرکز مدارک علمی و انتشارات، ۱۳۸۳.

۵۶ ص.:جدول ،نمودار.- (سازمان‌مدیریت و برنامه ریزی کشور.دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی؛ نشریه شماره ۲۷۳)(انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور؛۸۲/۰۰/۱۰۱)

ISBN 964-425-487-2

مربوط به بخشنامه شماره ۱۰۱/۲۰۸۷۲۵ مورخ ۱۳۸۲/۱۱/۵

۱.رسوبهای رودخانه‌ای - الگوهای ریاضی. ۲. رسوب - اندازه‌گیری.الف.سازمان مدیریت آب ایران، دفتر استاندارد مهندسی آب. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی و انتشارات. ج. عنوان. د. فروست.

TA ۳۶۸/س۲۴ ش.۲۷۳ ۱۳۸۲

شابک ۹۶۴-۴۲۵-۴۸۷-۲ ISBN 964-425-487-2

راهنمای تعیین بارکل رسوب رودخانه‌ها به روش انیشتین و کلبی

ناشر:سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. معاونت امور پشتیبانی. مرکز مدارک علمی و انتشارات

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه،چاپ اول

قیمت: ۷۰۰۰ ریال

تاریخ انتشار:سال ۱۳۸۳

لیتوگرافی:قاسملو

چاپ و صحافی:چاپ زحل

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

بسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
دفتر رئیس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مشاوران و پیمانکاران	**شماره: ۱۰۱/۲۰۸۷۲۵**
	تاریخ: ۱۳۸۲/۱۱/۵

موضوع:راهنمای تعیین بار کل رسوب رودخانه‌ها به روش انیشتین و کلبی

به استناد آیین نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی موضوع ماده۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چهارچوب نظام فنی و اجرایی طرحهای عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت ۱۴۸۹۸ه، مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت وزیران)به پیوست، نشریه شماره ۲۷۳ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان،با عنوان «راهنمای تعیین بار کل رسوب رودخانه‌ها به روش انیشتین و کلبی » از نوع گروه سوم، ابلاغ می‌گردد.

دستگاه‌های اجرایی ، مهندسان مشاور،پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و در صورتی که روشها، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتر در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان، ارسال دارند.

من ا... التوفیق

محمد ستاری فرد

معاون رییس جمهور و رییس سازمان

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی :

دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آنرا برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است . با وجود تلاش فراوان ، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی ، فنی ، ابهام ، ایهام و اشکالات موضوعی نیست . از این‌رو ، ***از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را بصورت زیر گزارش فرمایید :***

۱ - شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید .

۲ - ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید .

۳ - در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید .

۴ - نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید .

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود .

نشانی برای مکاتبه : تهران، خیابان شیخ‌بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی

صندوق پستی ۴۵۴۸۱- ۱۹۹۱۷

www.mporg.ir/fanni/S.htm

بسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان سنجی) مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی بلحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرحها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیتی ویژه برخوردار می‌باشد.

نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران) بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام‌شده طرحها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

با توجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امور فنی و تدوین معیارها) براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است:

- استفاده از تخصصها و تجربه‌های کارشناسان و صاحبنظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرایی، سازمانها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- پرهیز از دوباره‌کاریها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات تهیه‌کننده استاندارد

ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با بکارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیتهای کشور تلاش نموده و صاحبنظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند.

معاون امور فنی

بهار ۱۳۸۲

ترکیب اعضاء کمیته

اسامی اعضای کمیته فنی شماره ۱۴-۱ (رسوب) که در تهیه استاندارد حاضر مشارکت داشته‌اند به ترتیب حروف الفباء به شرح زیر می‌باشد:

خانم زهرا ایزدپناه	دانشگاه شهید چمران	فوق‌لیسانس آبیاری و آبادانی
آقای فیروز بهادری	دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	فوق‌لیسانس منابع آب
آقای سید محمودرضا بهبهانی	دانشگاه تهران	دکترای منابع آب و خاک
آقای سید جمال‌الدین پرورده	شرکت تماب	فوق‌لیسانس هیدرولوژی
خانم کیاندخت کباری	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	لیسانس راه و ساختمان سس
آقای محمود شفاعی	مهندسین مشاور دزآب	دکترای هیدرولیک و رسوب
آقای جمال محمدولی سامانی	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای هیدرولیک

در تنظیم اولیه این پیش‌نویس آقایان دکتر حسن احمدی، دکتر مرتضی پاکزاد و دکتر چنگیز فولادی مشارکت داشته‌اند.

فهرست مطالب

عنوان		صفحه
مقدمه		۱
۱-	محاسبه بارکل رودخانه به روش کلبی	۲
۱-۱	مقدمه	۲
۱-۲	روش محاسبه	۲
۱-۳	مثال عددی	۴
۱-۳-۱	روش اول	۵
۱-۳-۲	روش دوم	۶
۲-	محاسبه بارکل رسوب رودخانه به روش اصلاح شده انیشتین	۱۰
۲-۱	مقدمه	۱۰
۲-۲	مراحل محاسبه بارکل رسوب به روش اصلاح شده انیشتین	۱۱
۲-۲-۱	مرحله اول : داده‌های موردنیاز	۱۱
۲-۲-۲	مرحله دوم : محاسبه SRé و Pm	۱۱
۲-۲-۳	مرحله سوم : محاسبه بار بستر برای هر محدوده از ذرات بستر	۱۴
۲-۲-۴	مرحله چهارم : محاسبه مقدار بار معلق اندازه‌گیری شده برای هر محدوده اندازه ذرات (Qési)	۱۵
۲-۲-۵	مرحله پنجم : ضریب توزیع غلظت Zé	۱۶
۲-۲-۶	مرحله ششم : محاسبه بارکل	۲۰
۲-۳	مثال عددی	۲۶
۳-	تعیین بارکل رسوب با استفاده از روش انیشتین	۳۵
۳-۱	مقدمه	۳۵
۳-۲	کلیات روش محاسبه	۳۶
۳-۳	مراحل و گامهای محاسباتی	۳۷
۳-۴	مثال عددی	۴۶
۳-۴-۱	مشخصات بازه مطالعاتی انتخاب شده توسط انیشتین (۱۹۵۰)	۴۶
۳-۴-۲	محاسبات هیدرولیکی مثال مربوط به کاربرد روش انیشتین	۴۹
۳-۴-۳	محاسبه مقدار بارکل با روش انیشتین	۵۲
پیوست		۵۶
۴-	منابع و مآخذ	۵۷

مقدمه

تعیین بار کل رسوب رودخانه‌ها که به صورت بار بستر و بار معلق منتقل می‌شود، یکی از مسایل مهم و در عین حال مشکل است. مشکل از این لحاظ که تاکنون روشی جامع و قاطع برای چنین امری ابداع نشده است. حتی امروزه نیز مقالات و روشهای متعددی در نشریات علمی و بین‌المللی به چاپ می‌رسد که هر کدام بیانگر تلاش مستمر محققان برای نیل به یک روش جامع و کارآمد در ارزیابی بار رسوبی است. طبعاً اظهارنظر در این مورد ساده نیست و بیان اینکه کدام یک از روشهای موجود منطقی‌تر است هنوز امکان‌پذیر نگردیده است. شاید لازم باشد یک دورهٔ زمانی از دیدگاه علمی بگذرد تا یکی از این روشها بتواند خود را از بوتهٔ تجربه و امتحان موفق بیرون بکشد. در بین روشهای متعدد محاسبهٔ بار رسوب کل، معدود روشهایی وجود دارد که به سبب استفاده از داده‌های تجربی نتایج بالنسبه مطمئن‌تری را می‌توان از آنها انتظار داشت. این روشها علاوه بر داشتن پشتوانهٔ تحقیقات آزمایشگاهی، از محک‌زنی‌های تجربی در شرایط طبیعی نیز برخوردارند. از جملهٔ این روش‌ها می‌توان روش کلبی [1]، روش انیشتین [2] و روش اصلاح شده انیشتین [3] را برشمرد.

در روش انیشتین مقدار بار شسته [4] منظور نشده است و از اینرو در ارزیابی بار کل لازم است مقدار بار شسته بطور جداگانه تعیین گردیده و به عنوان بخشی از بار رسوبی رودخانه منظور شود. دو روش کلبی و روش اصلاح شده انیشتین دارای این مزیت هستند که در ارزیابی بار کل مقدار بار شسته نیز مدنظر قرار می‌گیرد. در عین حال این دو روش برای رودخانه‌های عریض و کم عمق و با بستر ماسه‌ای تجربه شده‌اند و از اینرو برخلاف روش انیشتین کاربرد آنها اغلب برای رودخانه‌های نواحی جلگه‌ای و با شیب ملایم محدود می‌باشد. روش انیشتین را می‌توان برای شرایط مختلف رودخانه‌ای بکار گرفت. از نظر کاربردی در شرایط ایران به لحاظ نیاز به داده‌های تجربی بالنسبه معدود و با توجه به اینکه مبنای محاسبات صرفاً دانه‌بندی مواد بستر می‌باشد روش انیشتین مناسب‌تر از دو روش کلبی و اصلاح شده انیشتین است. بدیهی است در صورت فراهم بودن اطلاعات آماری کافی استفاده از هر سه روش از نظر کنترل نتایج محاسبات و اطمینان از صحت ارزیابیهای کمی ارجح می‌باشد. شایسته ذکر است که روش کلبی با توجه به تعداد اندک گامهای محاسباتی در مقایسه با دو روش دیگر ساده‌تر بوده و از اینرو در مدلهای کامپیوتری به عنوان یکی از روشهای مناسب در تعیین بار کل کاربرد وسیع‌تری دارد. در فصول بعد به بررسی جزییات محاسباتی هریک از روشهای مزبور پرداخته شده است.

البته علاوه بر روش‌های مندرج در این نشریه، روش‌های متعدد دیگری نیز برای تعیین بار کل رسوب رودخانه متداول است که معرفی آنها مستلزم تدوین نشریات جداگانه‌ای است. طرح استانداردها در نظر دارد در آینده روشهای جدید را بررسی و مورد ارزیابی قرار داده و توصیه‌های لازم برای استفاده از هر روش را ارائه نماید.

1- Colby
2- Einstein
3- Modified Einstein Method
4- Wash - Load

۱- محاسبه بار کل رودخانه به روش کلبی

۱-۱ مقدمه

روش کلبی، بار کل را برای هر بده معین و براساس داده‌های ثبت شده (مانند : دمای آب، قطر میانهٔ دانه‌های بستر، غلظت متوسط ذرات معلق و .....) محاسبه می‌کند. همان طور که در مقدمه نیز اشاره شد، این روش عمدتاً بر نتایج تجربی متکی بوده و در بیان ریاضی آن از انبوه داده‌های رودخانه‌ای و آزمایشگاهی استفاده شده است. لذا نتایج حاصله از روش کلبی از اعتبار و اطمینان بیشتری برخوردار است. در عین حال کاربرد این روش عموماً به بسترهای ماسه‌ای محدود می‌گردد. لازم به یادآوری است که بعضی از معادلات انتقال رسوب فقط برای تعیین بار بستر، کاربرد دارند و بعضی نیز بار کل را ارزیابی می‌کنند. روش کلبی از جملهٔ روشهایی است که برای تعیین بار کل کاربرد دارد.

۱-۲ روش محاسبه

برای محاسبهٔ بار مواد بستر، کلبی در سال ۱۹۶۴ روشی را پیشنهاد نموده که به لحاظ سادگی بسیار متداول است. در این روش برای محاسبهٔ بار رسوبی اطلاعات زیر ضروری است:

y_0 – عمق متوسط آب در مقطع مورد نظر (متر)

V – سرعت متوسط جریان در مقطع مورد نظر (متر بر ثانیه)

d_{50} – قطر میانهٔ دانه‌های مواد بستر و یا هر قطر موردنظر (میلیمتر)

T – درجهٔ حرارت آب (سانتیگراد یا فارنهایت)

C_f – غلظت متوسط مواد معلق (ppm)

W – عرض رودخانه در عمق مربوط (متر)

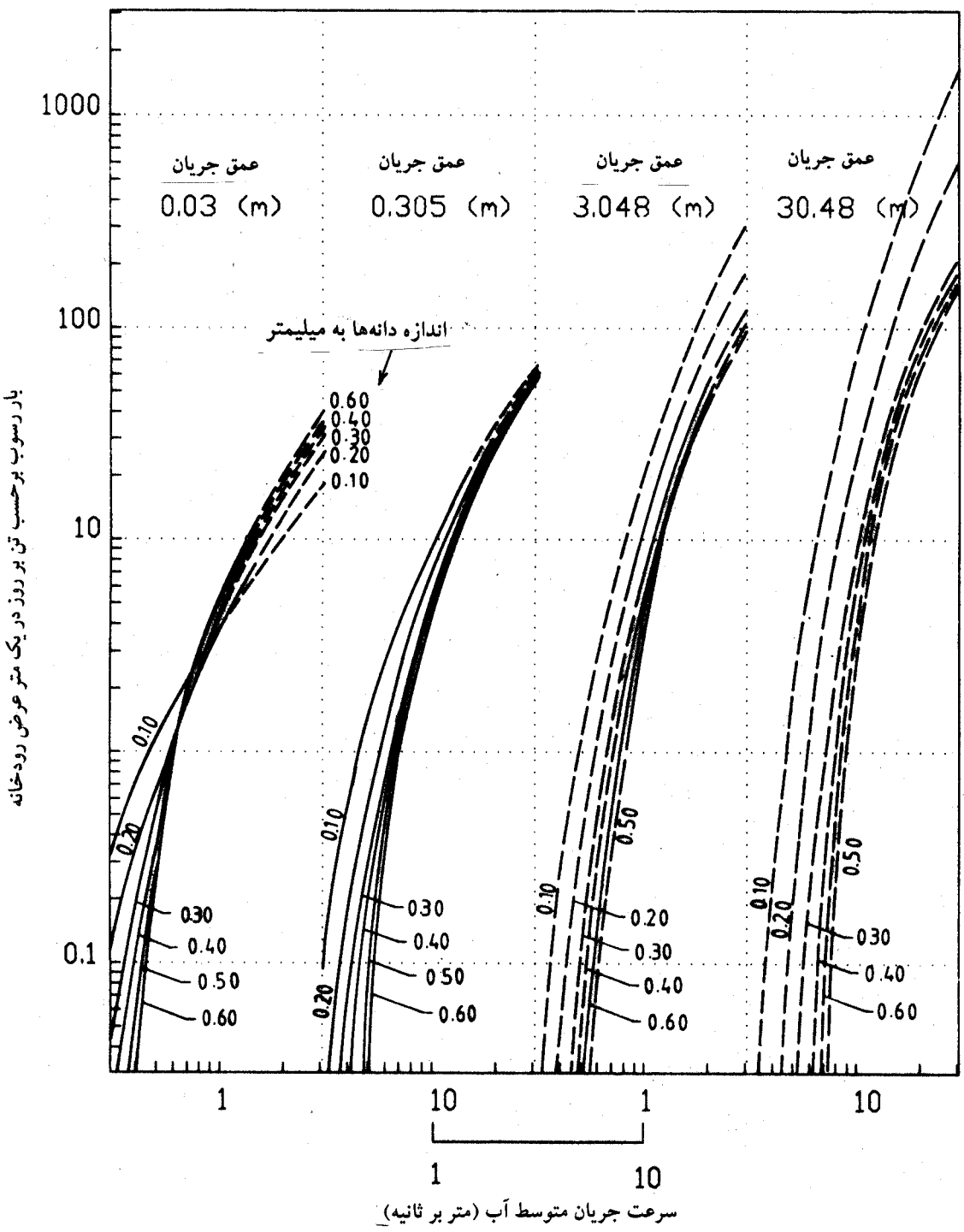
با معلوم بودن عمق متوسط جریان (y_0) ، سرعت متوسط جریان (V) و بالاخره قطر میانهٔ دانه‌های مواد بستر (d_{50}) می‌توان مقدار تصحیح نشدهٔ بار رسوبی را از منحنیهای شکل ۱ به دست آورد و مقدار حاصل شده را با q_n نشان داد. لازم است عدد به دست آمده را بر حسب درجهٔ حرارت متوسط آب (T) ، غلظت متوسط مواد معلق (C_f) و قطر میانه (d_{50}) تصحیح کرد. ضرایب تصحیح (k_1) ، (k_2) و (k_3) از منحنیهای شکل ۲ به دست می‌آیند. در این صورت مقدار تصحیح شدهٔ بار کل (بر حسب تن بر روز در واحد عرض رودخانه) برابر است با:

$$q_T = [1 + (k_2\, k_1 - 1)\, k_3]\, q_n \qquad (1)$$

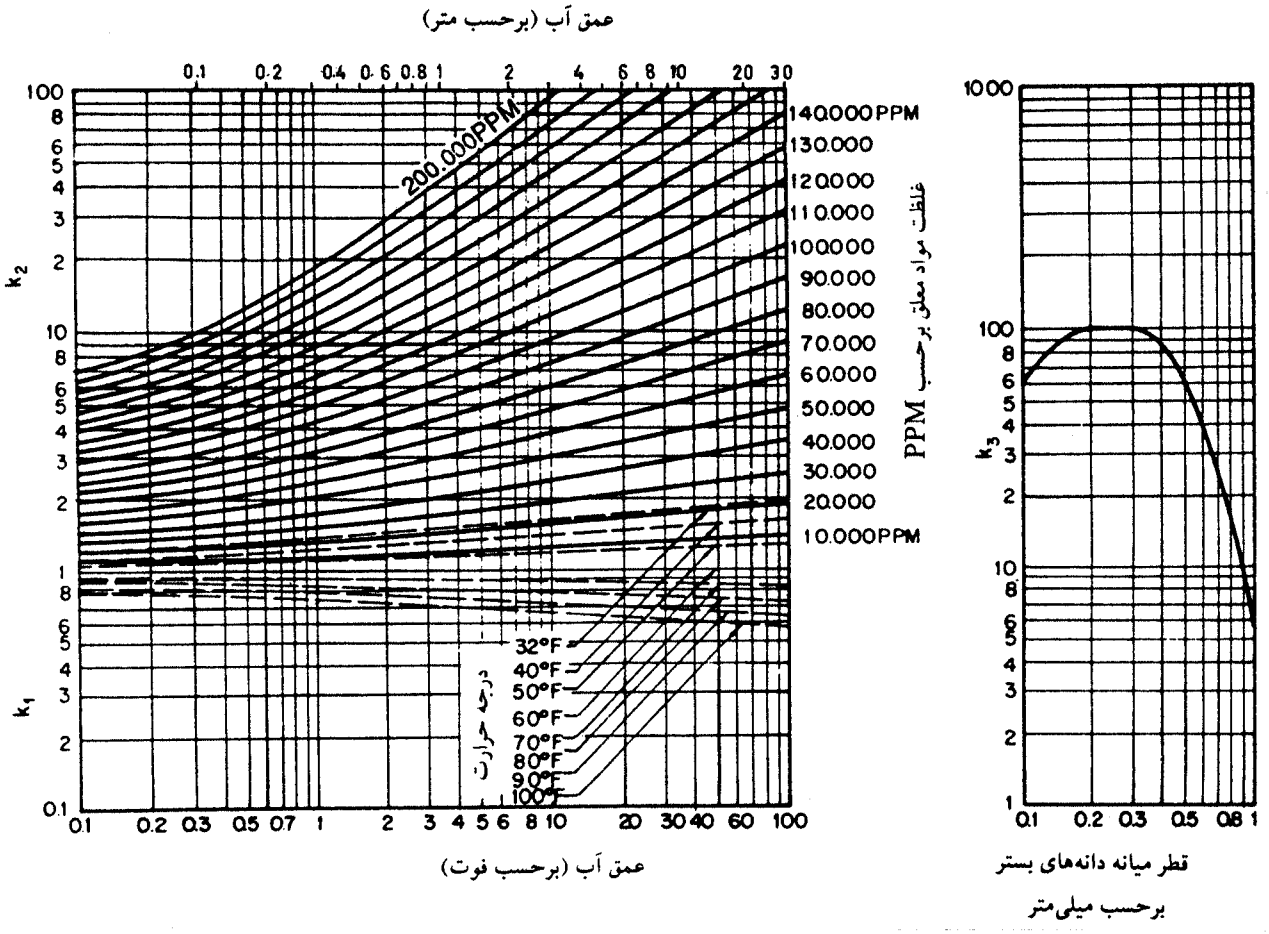
به طوری که مشاهده می‌گردد، جواب به دست آمده، مقدار بار کل را در واحد عرض رودخانه نشان می‌دهد و مقدار کل رسوب حمل شده به وسیلهٔ جریان آب برابر است با:

$$Q_T = W \cdot q_T \quad \text{(تن بر روز)} \qquad (2)$$

برای تعیین بار رسوب می‌توان به دو صورت عمل کرد : الف – مقدار رسوب برای مجموعه مواد بستر به‌طور یکجا حساب می‌شود. ب – مقدار رسوب برای هریک از اندازه‌های مختلف مواد بستر به‌طور جداگانه محاسبه و سپس با یکدیگر جمع می‌شود.



شکل ۱– مقادیر تصحیح نشده بار مواد بستر برحسب عمق جریان و اندازه متوسط دانه‌های بستر (برای دمای آب ۱۵ درجه سانتیگراد یا ۶۰ درجه فارنهایت) [۳و۸]

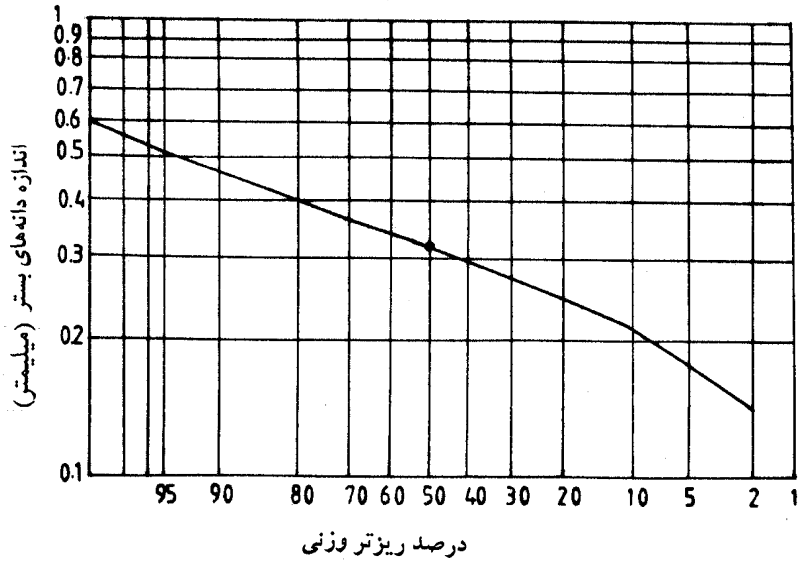


شکل ۲- منحنیهای تصحیح برای درجه حرارتهای مختلف و غلظت مواد معلق در روش کلبی [۲]

برای روشن شدن موضوع، مثال زیر ارائه شده است :

۱-۳ مثال عددی

اندازه‌گیریهای انجام شده برای مقطع یک رودخانه، سرعت متوسط آب را برای عمق متوسط ۰/۷۶ متر برابر با ۲/۰۲متر بر ثانیه و پهنای رودخانه را ۵۱/۸۳ متر نشان داده است. دمای آب $^{\circ}C$ ۲۱ (۷۰ درجه فارنهایت) و غلظت متوسط مواد معلق برابر با ppm ۱۰۰۰۰ است. چهار نمونه از مواد بستر برداشت گردیده و بعد از ترکیب، نمونه‌ها دانه‌بندی شده است. (نتایج دانه‌بندی این نمونه‌ها مطابق جدول ۱ به دست آمده و همچنین در شکل ۳ منحنی دانه‌بندی رسوبات بستر نشان داده شده است). بار مواد بستر برای رودخانه موردنظر به شرح زیر محاسبه می‌گردد : همان‌گونه که اشاره شد بار مواد بستر را می‌توان به دو صورت تعیین کرد:



شکل ۳- منحنی دانه‌بندی رسوبات بستر

۱-۳-۱ روش اول

با توجه به داده‌های زیر :

$y_{\circ}$ = ۰/۷۶ (متر)

V = ۲/۰۲ (متر بر ثانیه)

$d_{۵۰}$ = ۰/۳۲ (میلیمتر)

برای تعیین q_n **(از شکل ۱) با توجه به اینکه عمق آب برابر با ۰/۷۶ متر است، باید ابتدا مقادیر** q_n **را برای عمق نظیر ۰/۳ متر و ۳ متر تعیین و سپس با میانیابی لگاریتمی مقدار** q_n **نظیر عمق ۰/۷۶ متر را مشخص نمود. (روش میانیابی در پیوست آورده شده است). بر این اساس می‌توان نوشت:**

q_n = ۳۲۸ تن بر روز بر متر (برای عمق نظیر ۰/۳ متر)

q_n = ۶۵۶ تن بر روز بر متر (برای عمق نظیر ۳ متر)

q_n = ۴۴۲/۸ تن بر روز بر متر (برای عمق نظیر ۰/۷۶ متر)

حال با معلوم بودن q_n **برای تعیین مقدار تصحیح شدهٔ بار مواد بستر، به روش زیر عمل می‌کنیم (با توجه به غلظت مواد معلق و دمای آب):**

$k_۱$ = ۰/۹۱ از شکل ۲

$k_۲$ = ۱/۲۲ از شکل ۲

از شکل ۲ $k_3 = ۰/۹۹$

از رابطهٔ ۱ $q_T = \{۱ + (۱/۲۲ \times ۰/۹۱ - ۱) ۰/۹۹\} \times ۴۴۲/۸ = ۴۹۱/۱$ (تن بر روز بر متر)

از رابطهٔ ۲ $Q_T = ۵۱/۸۳ \times ۴۹۱/۱ = ۲۵۴۵۴$ (تن بر روز)

۱-۳-۲ روش دوم

در این روش محاسبات فوق برای قطر متوسط هر محدوده محاسبه می‌گردد (در خصوص قطر متوسط هر محدوده به جدول ۱ مراجعه شود). برای قطر متوسط $d = ۰/۴۹۵$ mm داریم :

$y_\circ = ۰/۷۶$ (متر)

$V = ۲/۰۲$ (متر بر ثانیه)

$d = ۰/۴۹۵$ (میلیمتر)

از شکل ۱ $q_n = ۳۶۷/۳۶$ (تن بر روز بر متر)

از شکل ۲ $k_1 = ۰/۹۱$

از شکل ۲ $k_2 = ۱/۲۲$

از شکل ۲ $k_3 = ۰/۶۲$

از معادلهٔ ۲ $q_T = \{۱ + (۰/۹۱ \times ۱/۲۲ - ۱) ۰/۶۲\} ۳۶۷/۳۶ = ۳۹۲/۴۶$ (تن بر روز بر متر)

از آنجاکه ۱۷/۸٪ مواد بستر دارای قطر متوسط ۰/۴۹۵ میلیمتر هستند (جدول ۱)، لذا داریم:

$i_B = ۰/۱۷۸$ (نسبت دانه‌بندی محدودهٔ مورد نظر)

$i_B\, q_T = ۰/۱۷۸ \times ۳۹۲/۴۶ = ۶۹/۸۶$ (تن بر روز بر متر)

$i_B\, Q_T = ۶۹/۸۶ \times ۵۱/۸۳ = ۳۶۲۰/۷$ (تن بر روز)

برای بقیهٔ قطرها محاسبات فوق تکرار می‌شود که خلاصه آن در جدول زیر مندرج است :

d	i_B	$y_\circ$	W	V	q_n	k_1	k_2	q_T	$i_B\, q_T$	$i_B\, Q_T$
۰/۳۵۱	۰/۴۰۲	۰/۷۶	۵۱/۸۳	۲/۰۲	۳۹۳/۶	۰/۹۱	۱/۲۲	۴۳۲/۹۶	۱۷۳/۸۴	۹۰۱۰
۰/۲۴۸	۰/۳۲۰	۰/۷۶	۵۱/۸۳	۲/۰۲	۴۵۹/۲	۰/۹۱	۱/۲۲	۵۰۸/۷	۱۶۴	۸۵۰۰
۰/۱۷۵	۰/۰۵۸	۰/۷۶	۵۱/۸۳	۲/۰۲	۵۳۴/۶۴	۰/۹۱	۱/۲۲	۵۹۰/۴	۳۲/۸	۱۷۰۰

مجموع بار رسوبی حمل شده توسط رودخانه برابر است با:

$$\Sigma\, i_B\, Q_T = ۳۶۲۰/۷ + ۹۰۱۰ + ۸۵۰۰ + ۱۷۰۰ = ۲۲۸۳۰/۷ \quad \text{(تن بر روز)}$$

خلاصهٔ محاسبات با روش مزبور در جدول ۲ درج گردیده است.

جدول ۱- مشخصات دانه‌بندی مواد بستر (مربوط به مثال ذکر شده)

سرعت ته‌نشینی دانه‌ها (سانتی‌متر بر ثانیه)	درصد مواد موجود در هر محدوده (٪)	اندازهٔ متوسط هندسی (میلیمتر)	محدودهٔ قطر (میلیمتر)
–	۲/۴	–	d > ۰/۵۸۹
۵/۲۰	۱۷/۸	۰/۴۹۵	۰/۵۸۹ > d > ۰/۴۱۷
۳/۷۵	۴۰/۲	۰/۳۵۱	۰/۴۱۷ > d > ۰/۲۹۵
۲/۷۰	۳۲/۰	۰/۲۴۸	۰/۲۹۵ > d > ۰/۲۰۸
۱/۷۰	۵/۸	۰/۱۷۵	۰/۲۰۸ > d > ۰/۱۴۷
–	۱/۸	–	۰/۱۴۷ > d
$d_{۵۰}$ = ۰/۳۲ (میلیمتر)			
$d_{۶۵}$ = ۰/۳۵ (میلیمتر)			
$d_{۳۵}$ = ۰/۲۹ (میلیمتر)			

جدول ۲- خلاصهٔ محاسبات بار کل از روش کلبی (مربوط به مثال ذکر شده)

$i_B Q_T$ (%)	$i_B Q_T$ (تن بر روز)	محدودهٔ قطر (میلیمتر)	قطر متوسط هندسی (میلیمتر)
–	–	> ۰/۵۸۹	–
۱۵/۷۰	۳۵۷۰	۰/۴۱۷ – ۰/۵۸۹	۰/۴۹۵
۳۹/۵۵	۹۰۱۰	۰/۲۹۵ – ۰/۴۱۷	۰/۳۵۱
۳۷/۳۰	۸۵۰۰	۰/۲۰۸ – ۰/۲۹۵	۰/۲۴۸
۷/۴۵	۱۷۰۰	۰/۱۴۷ – ۰/۲۰۸	۰/۱۷۵
–	–	< ۰/۱۴۷	–
۱۰۰	۲۲۷۸۰ (جمع)		

در عمل به منظور تکمیل محاسبات تعیین بار رسوبی، مانند مثال فوق، مقدار بار مواد بستر برای سایر عمقها و بده‌ها نیز محاسبه می‌گردد. در جدول ۳علاوه بر عمق متوسط متر ۰/۷۶ = y_0 سایر عمقها برای رودخانهٔ مورد نظر و همچنین مشخصات مقطع متوسط و سرعت جریان درج شده است.

جدول ۳- مشخصات بده، عمق، سرعت جریان و عرض سطح آب رودخانهٔ موردنظر

y_0 (متر)	Q (مترمکعب برثانیه)	V (متر بر ثانیه)	$W = P_b$[1] (متر)
۰/۴۲	۱۱/۵۸	۰/۷۷	۳۱/۴
۰/۵۳	۳۰/۱۵	۱/۱۶	۴۱/۴۶
۰/۷۶	۷۹/۸۴	۱/۷۴	۵۱/۸۲
۱/۰۰	۱۵۲/۳۲	۲/۲	۵۹/۱۴
۱/۲۶	۲۷۲/۳۶	۲/۶۱	۷۱/۳۴

محاسبات مربوط به بار مواد بستر به روش کلبی، برای سایر ردیفها در جدول ۴ نشان داده شده است. شکل ۴ تغییرات بار رسوبی (تن بر روز) برحسب بده رودخانه را نشان می‌دهد.

جدول ۴ - محاسبات کامل بارکل برای مثال مذکور به روش کلبی برای عمق و اندازه‌های مختلف

d	$10^2 i_B$	y_0	W	V	q_n	k_1	k_2	k_3	q_T	$i_B q_T$	$i_B Q_T$	$\sum i_B q_T$
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۰/۴۹۵	۱۷/۸	۰/۴۲	۳۱/۴۰	۰/۷۷	۳۹/۳۶	۰/۹۲	۱/۲۰	۶۲	۴۲/۶۴	۷/۵۴	۲۳۷	۱۷۱۰
		۰/۵۳۶	۴۱/۴۵	۱/۱۶	۱۳۱/۲۰	۰/۹۱	۱/۲۱	۵۲	۱۴۱/۰۴	۲۵/۲۵	۱۰۵۰	۶۹۰۸
		۰/۷۶۲	۵۱/۸۲	۱/۷۴	۳۶۷/۳۶	۰/۹۱	۱/۲۲	۶۲	۳۹۰/۳۲	۶۸/۸۸	۳۵۷۰	۲۲۷۸۰
		۱/۰۰	۵۹/۱۴	۲/۲۰	۶۳۳/۰۴	۰/۹۰	۱/۲۳	۶۲	۶۷۲/۴	۱۲۱/۳۶	۷۱۸۰	۴۵۵۶۰
		۱/۲۶	۷۱/۳۴	۲/۶۱	۸۶۹/۲	۰/۹۰	۱/۲۵	۶۲	۹۴۴/۶۴	۱۶۷/۲۸	۱۱۹۰۰	۷۷۶۴۰
۰/۳۵۱	۴۰/۲	۰/۴۲	۳۱/۴۰	۰/۷۷	۴۹/۲	۰/۹۲	۱/۲۰	۹۲	۵۲/۴۸	۲۰/۹۹	۶۵۹	
		۰/۵۳۶	۴۱/۴۶	۱/۱۶	۱۴۷/۶	۰/۹۱	۱/۲۱	۹۲	۱۶۰/۷۲	۶۵/۶	۲۷۲۰	
		۰/۷۶۲	۵۱/۸۲	۱/۷۴	۳۹۳/۶	۰/۹۱	۱/۲۲	۹۲	۴۴۲/۸	۶۳/۳۲	۹۰۱۰	
		۱/۰۰	۵۹/۱۴	۲/۲۰	۶۸۸/۸	۰/۹۰	۱/۲۳	۹۲	۵۰۸/۴	۱۶۴	۱۸۰۰۰	
		۱/۲۶	۷۱/۳۴	۲/۶۱	۹۵۱/۲۰	۰/۹۰	۱/۲۵	۹۲	۸۷۲/۴۸	۲۷۸/۸	۳۰۴۲۰	
۰/۲۴۸	۳۲/۰	۰/۴۲	۳۱/۴۰	۰/۷۷	۵۹/۰۴	۰/۹۲	۱/۲۰	۱۰۰	۱۲۷۲/۶۴	۴۰۶/۷۲	۶۵۹	
		۰/۵۳۶	۴۱/۴۶	۱/۱۶	۱۷۳/۸۴	۰/۹۱	۱/۲۱	۱۰۰	۱۰۵۹/۴۴	۴۲۶/۴	۲۵۸۰	
		۰/۷۶۲	۵۱/۸۲	۱/۷۴	۴۵۹/۲۰	۰/۹۱	۱/۲۲	۱۰۰	۱۹۰/۲۴	۶۳/۳۲	۸۵۰۰	
		۱/۰۰	۵۹/۱۴	۲/۲۰	۷۸۷/۲۰	۰/۹۰	۱/۲۳	۱۰۰	۵۰۸/۴	۱۶۴	۱۶۵۰۰	
		۱/۲۶	۷۱/۳۴	۲/۶۱	۱۱۱۳/۶	۰/۹۰	۱/۲۵	۱۰۰	۱۲۷۲/۶۴	۴۰۶/۷۲	۲۹۰۰۰	
۰/۱۷۵	۵/۸	۰/۴۲	۳۱/۴۰	۰/۷۷	۷۵/۴۴	۰/۹۲	۱/۲۰	۹۷	۸۲	۴/۹۲	۱۵۵	
		۰/۵۳۶	۴۱/۴۶	۱/۱۶	۲۰۹/۲۲	۰/۹۱	۱/۲۱	۹۷	۲۲۹/۶	۱۳/۹۲	۵۵۸	
		۰/۷۶۲	۵۱/۸۲	۱/۷۴	۵۸۴/۶۴	۰/۹۱	۱/۲۲	۹۷	۵۹۰/۴	۳۲/۸	۱۷۰۰	
		۱/۰۰	۵۹/۱۴	۲/۲۰	۱۰۰۰/۴۰	۰/۹۰	۱/۲۳	۹۷	۱۱۰۵/۳۶	۶۵/۵	۳۸۸۰	
		۱/۲۶	۷۱/۳۴	۲/۶۱	۱۳۷۷/۶	۰/۹۰	۱/۲۵	۹۷	۱۵۴۴/۸۸	۸۸/۵۶	۶۳۲۰	

*k_3 **برحسب درصد محاسبه شده است.**[1]

۱- P_b معرف محیط تر شده است. چون عرض رودخانه نسبت به عمق آن زیاد است، لذا معادل عرض سطح آب منظور شده است.

توضیح ستونهای جدول ۴ :

(۱) d (میلیمتر) — قطر معرف اندازهٔ رسوبات داده شده در جدول ۱

(۲) i_B (%) — درصد رسوبات مربوط به هر محدوده استخراج از جدول ۱

(۳) $y_\circ$ (متر) — عمق متوسط جریان

(۴) W (متر) — عرض بستر

(۵) V (متر بر ثانیه) — سرعت متوسط

(۶) q_n (تن بر روز بر متر) — مقدار تصحیح نشده بار مواد بستر در واحد عرض جریان اگر تمامی ذرات بستر دارای قطر یکسان باشند.

(۷) $k_1 = f(d,T)$ — ضریب تصحیح درجهٔ حرارت از شکل ۲

(۸) $k_2 = f(d,C_f)$ — ضریب تصحیح رسوبات معلق از شکل ۲

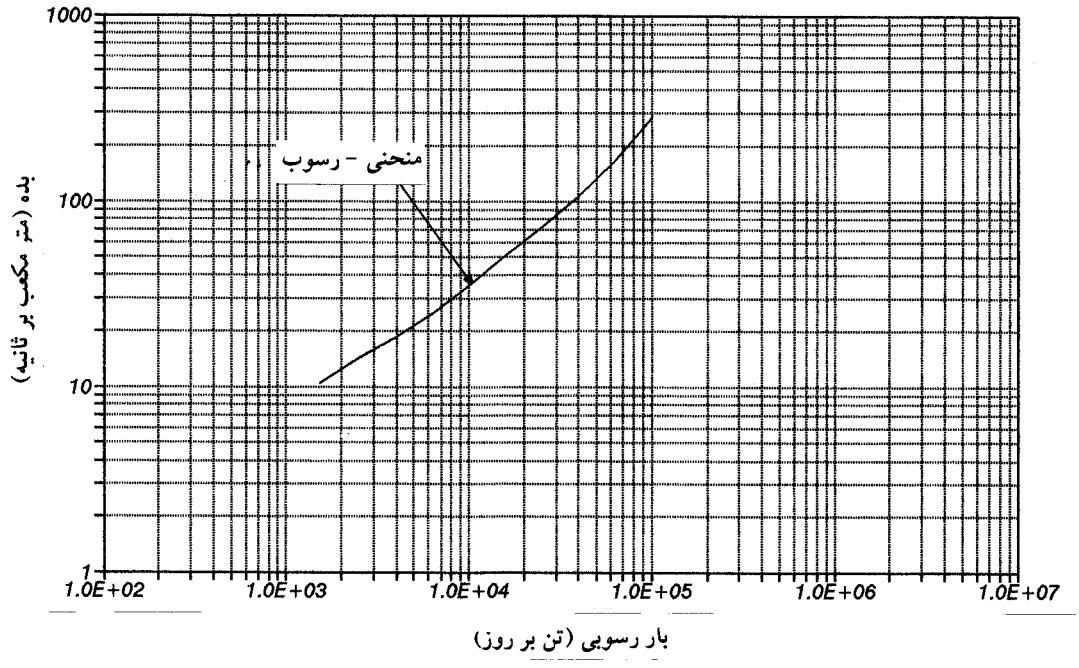
(۹) $k_3 = f(d)$ — ضریب تصحیح نظیر اندازهٔ دانه‌های بستر (d) از شکل ۲

(۱۰) $q_T = [1 + (k_1 k_2 - 1) k_3] q_n$ (تن بر روز بر متر)

(۱۱) $i_B q_T$ (تن بر روز بر متر) — بار رسوبی متناظر با اندازهٔ d دانه‌های بستر

(۱۲) $i_B Q_T = W i_B q_T$ (تن بر روز) — بار رسوبی مربوط به تمامی عرض بستر متناظر با اندازهٔ d دانه‌های بستر

(۱۳) $\Sigma i_B Q_T$ (تن بر روز) — بار رسوبی مربوط به تمام اندازهٔ دانه‌های بستر



شکل ۴- منحنی بده -رسوب بر اساس نتایج محاسبه بار کل به روش کلبی

۲- محاسبه بار کل رسوب رودخانه به روش اصلاح شده انیشتین

۲-۱ مقدمه

روش اصلاح شده انیشتین[۱] برای محاسبه میزان بار کل رسوبات رودخانه‌ای توسط کلبی و همبری[۲] [۱] از انجمن نقشه‌برداری زمین‌شناسی[۳] در لینکولن[۴] نبراسکا[۵] کشور آمریکا پیشنهاد گردیده است. این روش پس از چندین سال تحقیقات مشترک سازمان احیاء اراضی آمریکا[۶] و انجمن نقشه‌برداری زمین‌شناسی آمریکا[۷] روی رودخانه‌های عریض، کم‌عمق و با بستر ماسه‌ای نبراسکا ارائه شده است. مشاهدات عملی انجام شده توسط بخش کیفیت آب[۸]، انجمن نقشه‌برداری زمین‌شناسی آمریکا نشان داده است که این روش در مقایسه با سایر روشهای موجود از مقبولیت بیشتری برخوردار است.

روش اصلاح شده انیشتین همانطور که از عنوان آن مشخص است، نوع تغییر یافته‌ای از روش انیشتین [۴] می‌باشد. علائم و روابطی که بوسیله انیشتین به‌کار رفته است، به همان صورت در اینجا نیز مورد استفاده قرار گرفته است. لیکن هدف دو روش از یکدیگر متمایز می‌باشد. در روش انیشتین، میزان بار مواد بستر[۹] رودخانه را می‌توان برای هر مقطعی از رودخانه و برای بده‌های مختلف محاسبه کرد. درصورتی‌که روش اصلاح شده، میزان کل بده رسوب[۱۰] (شامل مواد بستر و بار شسته[۱۱]) را محاسبه می‌کند. در این روش داده‌های بیشتری چون نمونه‌های تجمعی بار معلق، بده رودخانه، نمونه مواد بستر و درجه حرارت آب برای بده‌های موردنظر مورد نیاز می‌باشد.

از آنجاکه روش اصلاح شده انیشتین بر مبنای روش انیشتین می‌باشد و هر دو روش بر پایه تئوری و روابط پیچیده‌ای بنا شده‌اند که ذکر آنها موجب سردرگمی بیشتر می‌شود، و باتوجه به اینکه هدف از تهیه این استاندارد آشنایی کارشناسان ذیربط با کاربرد روش می‌باشد، لذا در ادامهٔ بحث سعی شده است تا از مسائل تئوری اجتناب گردد. بدیهی است به منظور کاربردی کردن نشریه سعی گردیده است تا ابتدا مراحل محاسباتی بطور مجزا ارائه شود و سپس با ارائه یک مثال عملی نحوه استفاده از فرمولها و روابط بیان گردد. همچنین به منظور آسان نمودن مراحل محاسباتی، فرم محاسباتی تنظیم گردیده است که همزمان با حل مثال، نحوه تکمیل آن ارائه شده است.

1- Modified Einstein Procedure
2- Colby and Hembree (1955)
3- U.S.Geological Survey
4- Lincoln
5- Nebraska
6- USBR
7- USGS
8- USGS Water Quality Division
9- Bed material load
10- Total sediment discharge
11- Wash load

۲-۲ مراحل محاسبه بار کل رسوب به روش اصلاح شده انیشتین

۲-۲-۱ مرحله اول : داده‌های موردنیاز

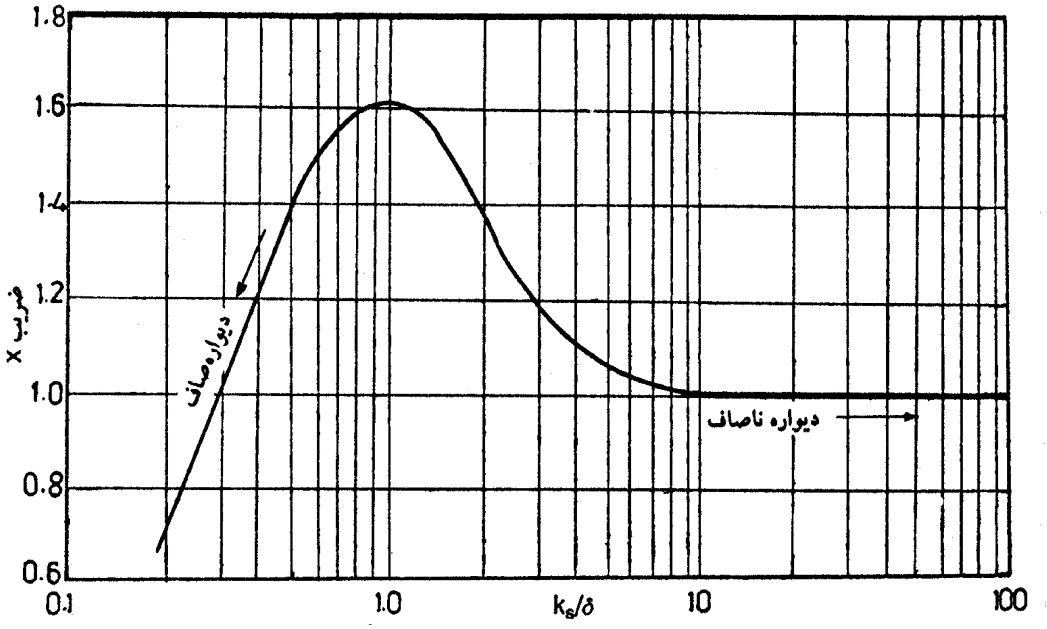
این داده‌ها شامل :

- بده جریان (Q)
- عرض رودخانه در مقطع موردنظر (W)
- سرعت متوسط جریان در آن مقطع (U)
- عمق متوسط جریان (d)
- عمق متوسط در قائم نمونه‌برداری (d_s)، در اکثر مواقع مقدار d و d_s نزدیک به هم بوده و می‌توان آنها را برابر گرفت، بخصوص هنگامی که روش سرعت متساوی [۱۱] در نمونه‌برداری بار معلق به کار رفته باشد.
- درجه حرارت آب در صورتیکه اندازه‌گیری نشده باشد، می‌توان آن را از آمار درجه حرارت هوا در نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به دست آورد.
- سطح مقطع جریان (A)
- نوع نمونه‌بردار مورد استفاده برای تهیه نمونه‌های بار معلق. [این مورد برای مشخص کردن فاصله قائم میله نمونه‌بردار بار معلق از بستر رودخانه (a') موردنیاز است].
- غلظت متوسط رسوب (وزنی) اندازه‌گیری شده برحسب ppm (C_m)
- توزیع دانه‌بندی رسوب معلق اندازه‌گیری شده (محدودهٔ، ذرات، متوسط هندسی (D) و درصد آن در نمونه (i_b) مشخص شده باشد)
- توزیع دانه‌بندی مواد بستر (محدوده ذرات، متوسط هندسی (D) و درصد آن در نمونه مشخص شده باشد)
- $D_{۳۵}$ و $D_{۶۵}$ نمونه مواد بستر

۲-۲-۲ مرحله دوم : محاسبه $R'S$ و P_m

برای محاسبه $R'S$ از رابطه توزیع لگاریتمی انیشتین استفاده می‌شود :

$$\sqrt{R'S} = \frac{U}{۱۸/۰۱۴ \log_{۱۰}\{ ۱۲/۲۷xd/D_{۶۵} \}} \quad (۱)$$



شکل ۵- تغییرات ضریب تصحیح x برحسب نسبت k_s/δ [۴]

در این رابطه x ضریب تصحیح است که مقدار x را از شکل (۵) برحسب نسبت $\frac{k_s}{\delta}$ می‌توان تعیین کرد. مقدار δ ضخامت زیر لایه ورقه‌ای می‌باشد و از رابطه (۲) بدست می‌آید :

$$\delta = ۱۱/۶ \frac{\nu}{u_*} = ۱۱/۶ \frac{\nu}{\sqrt{gR'S}} = ۳/۷۰۳۶ \frac{\nu}{\sqrt{R'S}} \qquad (۲)$$

در این رابطه ν لزجت سینماتیک (سانتیمتر مربع بر ثانیه) می‌باشد که مقدار آنرا بر حسب درجه حرارت آب می‌توان از جدول شماره ۸ به دست آورد.

برای محاسبه مقدار x بدین ترتیب عمل می‌شود که ابتدا فرض می‌گردد، که بستر رودخانه کاملاً زبر است، درنتیجه از شکل (۵)، مقدار x برابر یک می‌باشد. با جایگزین کردن $x = ۱/۰$ در رابطه (۱)، مقدار $\sqrt{R'S}$ محاسبه می‌شود. سپس از رابطه (۲) مقدار δ و از شکل (۵) مقدار x به دست می‌آید. در این شکل $K_s = D_{۶۵}$ می‌باشد. مجدداً با x به‌دست آمده مراحل فوق تکرار و x جدیدی به‌دست می‌آید. این عملیات تا زمانیکه x های متوالی تقریباً برابر باشند ادامه می‌یابد.

مقدار P_m از رابطه (۳) محاسبه می‌شود :

$$P_m = ۲/۳ \log \frac{۳۰/۲ \, xd}{D_{۶۵}} \qquad (۳)$$

۲-۲-۳ مرحله سوم : محاسبه بار بستر برای هر محدوده از ذرات بستر

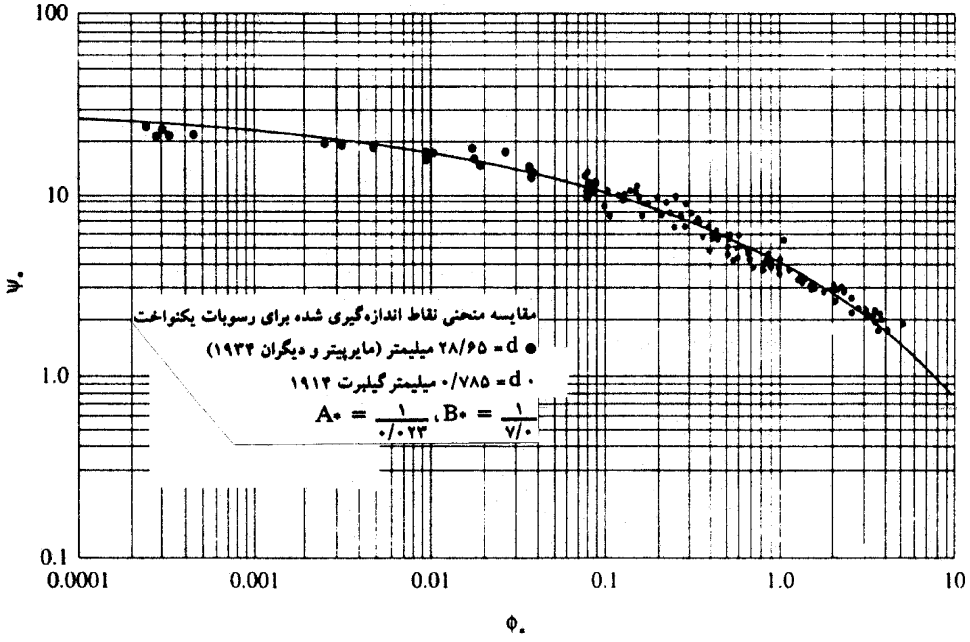
برای این مرحله گامهایی به شرح زیر انجام می‌شود :

۱- D_i متوسط هندسی هر محدوده ذرات و i_b درصد موجود از این اندازه در نمونه، از جدول دانه‌بندی مواد بستر انتخاب می‌شود.

۲- پارامتر شدت برشی [1] (ψ) از روابط زیر محاسبه می‌شود :

$$\psi = \frac{(G_s - ۱)}{SR'} D_{۳۵} = ۱/۶۵ \frac{D_{۳۵}}{SR'} \quad (۴)$$

$$\psi = \frac{۰/۴ (G_s - ۱)}{SR'} D_i = ۰/۶۶ \frac{D_i}{SR'} \quad (۵)$$



شکل ۶- تابع انتقال بار بستر [۴]

بزرگترین مقدار ψ بدست آمده از روابط (۴) و (۵) بعنوان ψ_* انتخاب می‌شود. در روابط (۴) و (۵) مقدار G_s عبارت است از چگالی یا نسبت وزن واحد حجم ذره به وزن واحد حجم آب که معمولاً برای ذرات کوارتز ۲/۶۵ می‌باشد.

۳- مقدار پارامتر شدت انتقال رسوب [2] Φ_* از شکل (۶)، به‌دست می‌آید و نصف این مقدار $(\frac{\Phi_*}{۲})$ در محاسبات استفاده می‌شود.

۴- مقدار بار بستر در واحد عرض رودخانه برای محدوده i_b از رابطه (۶) یا (۷) محاسبه می‌شود.

1- Shear Intensity

2- Intensity of sediment transport

$$i_b\ q_b = (\frac{\phi^*}{۲})\ i_b\ \gamma_s \sqrt{}\ G_s - ۱ \sqrt{}\ g D_i^{۳} \qquad (۶)$$

و یا : پوند بر ثانیه بر فوت

$$i_b\ q_b = ۰/۲۲۵۹\ \ D_i^{۱/۵}\ i_b\ (\frac{\phi^*}{۲})$$

(۷) کیلوگرم نیرو بر ثانیه بر متر

$$i_b\ q_b = ۰/۳۳۶۳\ \ D_i^{۱/۵}\ i_b\ (\frac{\phi^*}{۲})$$

D_i در روابط فوق برحسب میلیمتر و i_b به صورت اعشاری می‌باشد.

۵- مقدار بار بستر در واحد عرض رودخانه برای محدوده i_b از رابطه (۶) یا (۷) محاسبه می‌شود.

$$i_b\ Q_b = ۸۶/۴\ \ W i_b\ q_b \qquad \text{(تن بر روز)} \qquad (۸)$$

۴-۲-۲ مرحله چهارم : محاسبه مقدار بار معلق اندازه‌گیری شده برای هر محدوده اندازه ذرات (Q'_{si})

مقدار Q_s یا بار معلق اندازه‌گیری شده بر حسب تن بر روز برابر است با :

$$Q_{sm} = ۰/۰۸۶۴\ \ C_m Q' \qquad (۹)$$

که Q' آن قسمت از بده رودخانه است که در آن محدوده، نمونه بار معلق اندازه‌گیری شده است. از طرفی نسبت مقدار Q' به بده کل رودخانه Q از رابطه زیر محاسبه می‌گردد :

$$\frac{Q'}{Q} = (۱ - E') - ۲/۳\ \frac{E'\ \log E'}{P_m - ۱} \qquad (۱۰)$$

در این رابطه $E' = \frac{a'}{d_s}$ و P_m از رابطهٔ (۳) محاسبه می‌شود. در نتیجه مقدار Q'_{si} برابر است با :

$$Q'_s = ۰/۰۸۶۴\ \ C_m Q\ [(۱-E') - ۲/۳\ \ \frac{E' \log E'}{P_m - ۱}]$$

و مقدار بار معلق برای هر محدودهٔ اندازهٔ ذرات موجود در بار معلق برابر است با :

$$Q'_{si} = i_s Q_s$$

$$Q'_{si} = [(۱ - E') - ۲/۳ \frac{E' \log E'}{P_m - ۱}] i_s Q_{sm} \qquad (۱۱)$$

در این رابطه $Q_{sm} = ۰/۰۸۶۴ C_m Q$ بار معلق اندازه‌گیری شده برحسب تن بر روز می‌باشد.

۲-۲-۵ مرحله پنجم : ضریب توزیع غلظت Z'

مقدار ضریب بار معلق برای هر محدوده ذرات به دو روش زیر قابل محاسبه است :

الف - روش کلبی و هوبل [۲]

۱- یک اندازه ذره $D_۱$ بعنوان مبنا از جدول توزیع دانه‌بندی مواد معلق انتخاب می‌شود. این اندازه طوری انتخاب می‌شود که بیشترین بار معلق متعلق به آن می‌باشد.

۲- مقدار $E = ۲D/d$ 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 $Z'_۱$ از شکل (۷) به‌دست می‌آید.

۵- با داشتن $E' = \frac{a'}{d_s}$ و $Z'_۱$ (از قدم ۴)، مقدار $۱۰ J'_۱ + J'_۲$ از شکل (۷) به‌دست می‌آید و سپس با استفاده از رابطه زیر :

$$P_m J'_۱ + J'_۲ \approx P_m \left[\frac{۱۰ J'_۱ + J'_۲}{۱۰}\right]$$

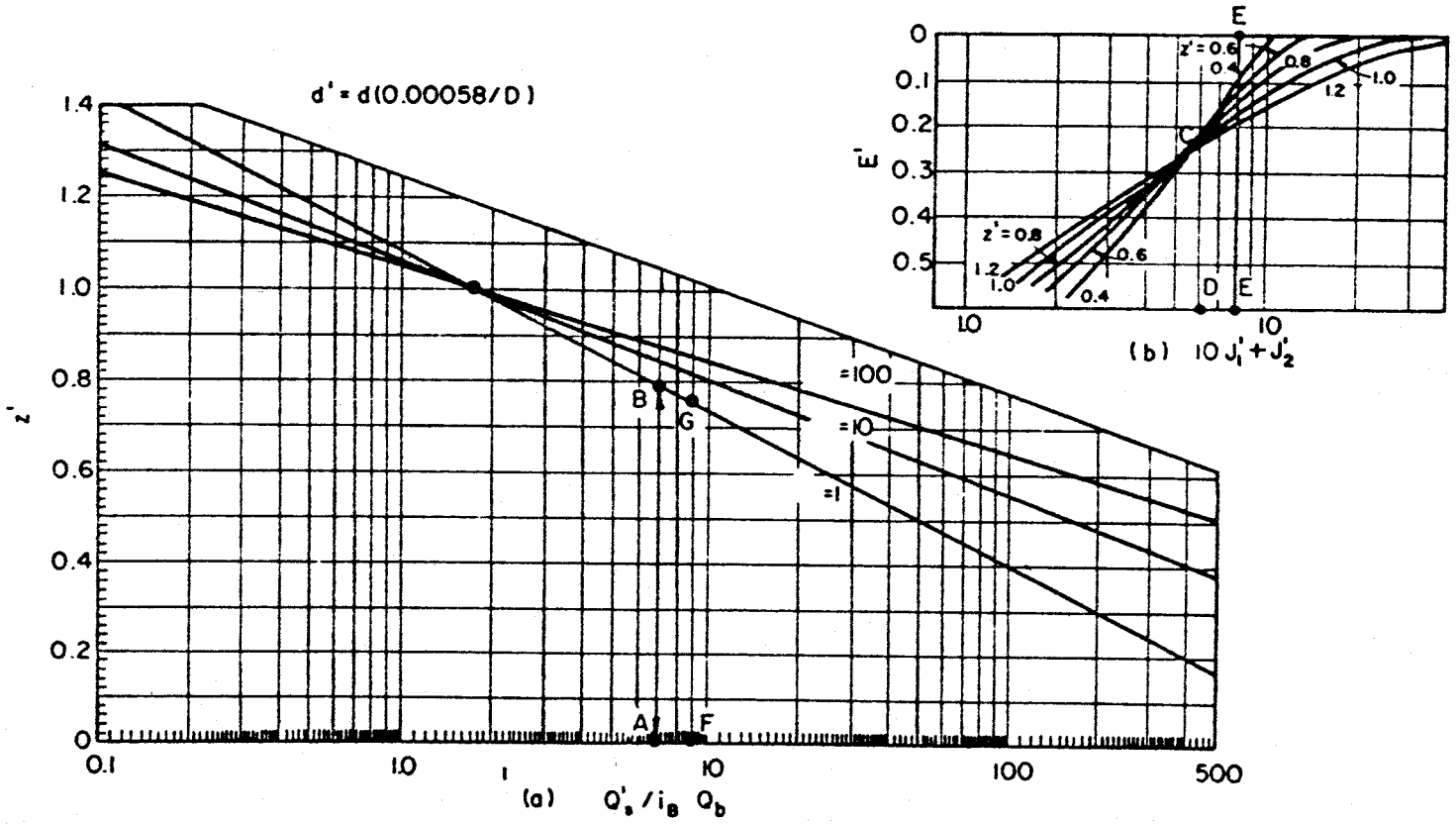
۶- با استفاده از نتایج گام ۵ ،موقعیت نقطه D روی شکل (۷) مشخص می‌شود.

۷- موقعیت نقطه‌ای نظیر E مربوط به $۱۰ J'_۱ + J'_۲$ روی شکل (۷) مشخص و فاصله D-E محاسبه می‌شود. از نقطه A به همان فاصله نقطه F روی شکل مشخص می‌گردد.

۸- یک خط عمودی از نقطه F رسم می‌شود تا خط E' را در نقطه‌ای نظیر G قطع کند. در نتیجه مقدار $Z'_۱$ جدیدی به‌دست می‌آید.

۹- در صورتی‌که $Z'_۱$ با $Z'_۱$ قدم چهار اختلاف زیاد داشته باشد. قدمهای ۵ الی ۸ تکرار می‌گردد تا اینکه $Z'_۱$ به‌طور دقیق‌تری به دست آید.

۱۰- مقدار Z'_i برای سایر اندازه ذرات را می‌توان از رابطه (۱۲) به دست آورد :



شکل ۷- مقادیر Z' برحسب نسبت $\frac{Q'S}{ibQb}$ [۳]

$$\frac{Z'_i}{Z'_1} = \left(\frac{w_i}{w_1}\right)^{0.7} \qquad (۱۲)$$

که در آن w_1 و w_i به ترتیب سرعت سقوط ذره مبنا و ذرات به اندازهٔ D_i می‌باشد.

سرعت سقوط ذرات را می‌توان از شکل (۸) به دست آورد.

ب - روش اداره عمران اراضی آمریکا ارائه شده توسط لارا [۴]

از این روش زمانی استفاده می‌شود که انتخاب اندازه مبنا مشکل می‌باشد. به طور مثال مواردی وجود دارد که در آن درصد بار بستر و بار معلق برای دو محدوده از اندازه ذرات تقریباً یکسان است و نمی‌توان اندازه مبنا را با قاطعیت انتخاب کرد. برای محاسبه مقدار Z' با این روش، به ترتیب زیر عمل می‌شود :

۱- حداقل سه محدوده اندازه ذرات که میزان بار معلق و بار بستر آنها نسبتاً با یکدیگر اختلاف دارند، انتخاب می‌گردد.

۲- مقدار Z' به روش کلبی و هوبل [۲] برای سه محدوده اندازه ذرات فوق محاسبه می‌شود.

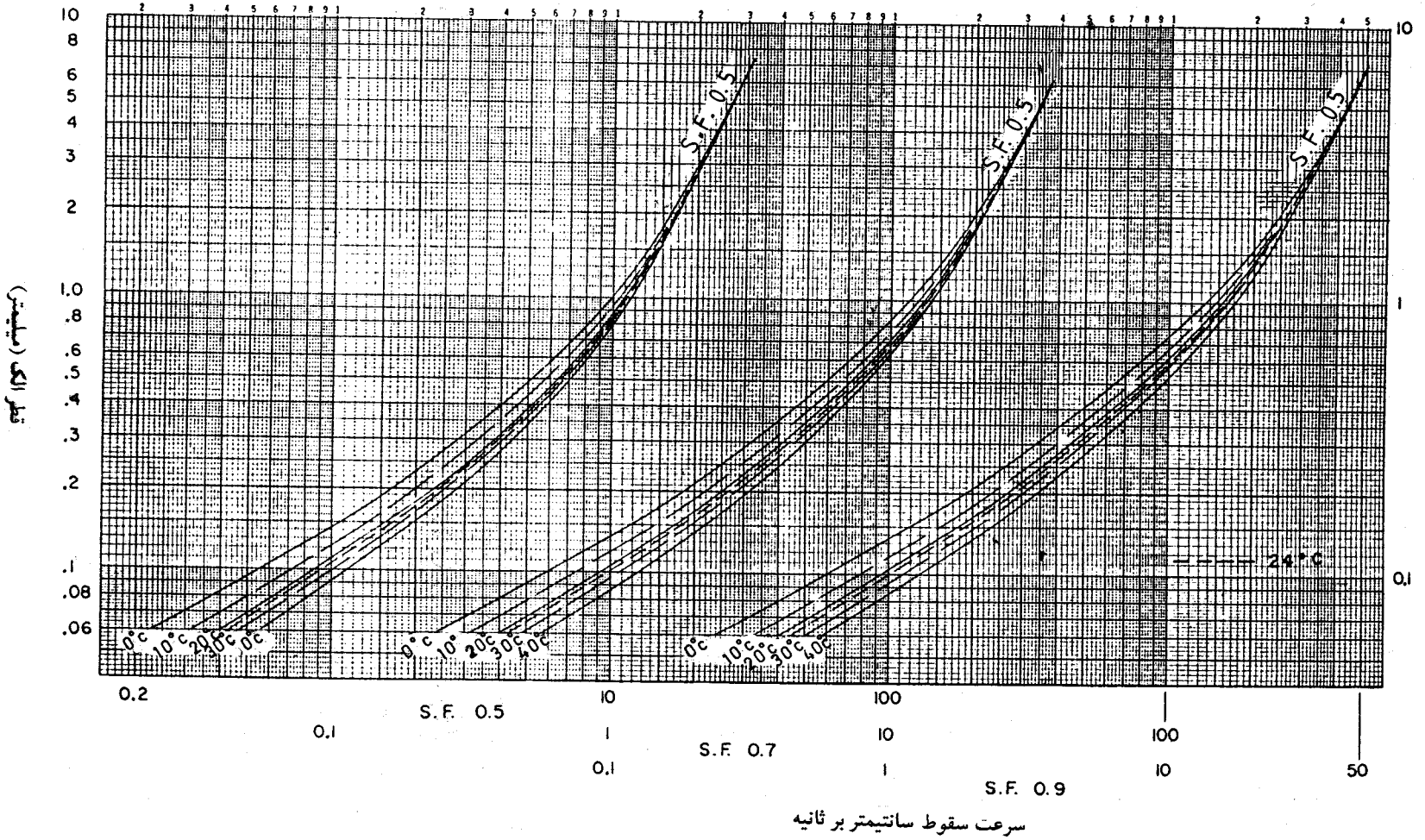
۳- مقادیر Z' روی کاغذ لگاریتمی در مقابل سرعت سقوط مربوطه رسم و از بین آنها رابطه‌ای به صورت توانی به روش رگرسیون برازش می‌گردد :

$$Z' = a\ (w_s)^b \qquad (۱۳)$$

ضرایب a و b با روش رگرسیون [1] تعیین خواهند شد.

۴- برای سایر محدوده اندازه ذرات، مقدار Z' از رابطه (۱۳) باتوجه به سرعت سقوط همان ذرات محاسبه می‌شود.

1- Regression



شکل ۸- سرعت سقوط برای ذرات با اندازه‌های متفاوت و فاکتور شکل ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ [۲]

۲-۲-۶ مرحله ششم : محاسبه بار کل

۱- نسبت ضخامت لایه بستر به عمق متوسط آب محاسبه می‌شود.

$$E = \frac{2D}{d} \qquad (۱۴)$$

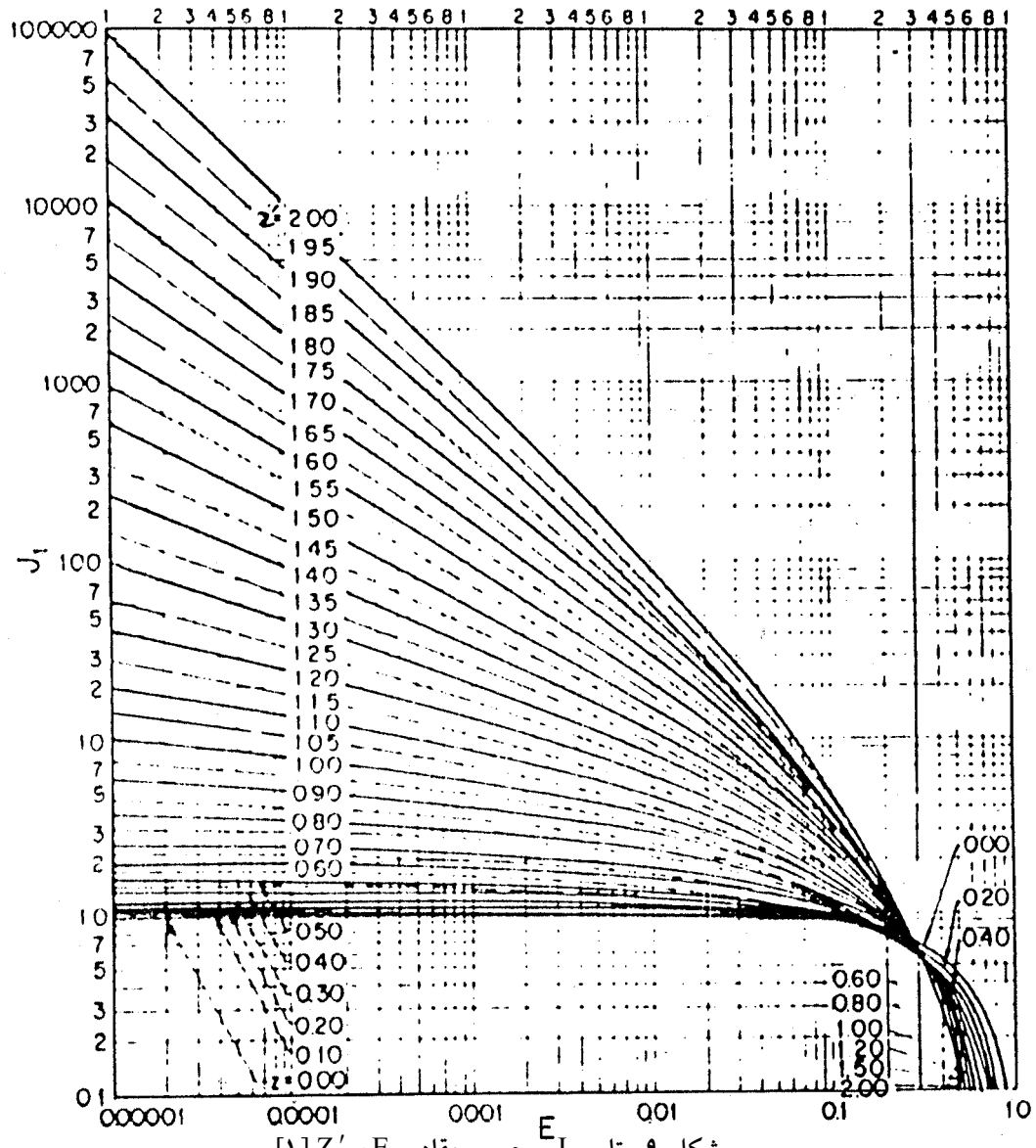
D – دانه‌بندی مواد بستر

d – عمق متوسط جریان

۲- مقدار J_1 از معادله زیر :

$$J_1(E, Z') = \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y}\right)^{Z'} dy \qquad (۱۵)$$

و یا از شکل (۹) به دست می‌آید.



شکل ۹- تابع J_1 برحسب مقادیر E و Z' [۱]

۳- مقدار J_2 از معادله زیر :

$$J_2(E, Z') = \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y}\right)^{z'} dy \qquad (16)$$

و یا از شکل (۱۰) بدست می‌آید.

۴- مقادیر J'_1 و J'_2 را نیز از شکل (۹) و (۱۰) با به‌کار بردن E' و Z' به دست می‌آوریم $\left(E' = \frac{a'}{d_s}\right)$.

۵- نسبت زیر محاسبه می‌شود :

$$\frac{P_m J_1 + J_2}{P_m J'_1 + J'_2} \qquad (17)$$

۶- مقدار I_1 از رابطه زیر :

$$I_1 = 0/216 \frac{E^{z-1}}{(1-E)^z} \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y}\right)^z dy \qquad (18)$$

و یا شکل (۱۱) به دست می‌آید.

۷- مقدار I_2 از رابطه زیر :

$$I_2 = 0/216 \frac{E^{z'-1}}{(1-E)^{z'}} \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y}\right)^{z'} dy \qquad (19)$$

و یا از شکل (۱۲) به دست می‌آید.

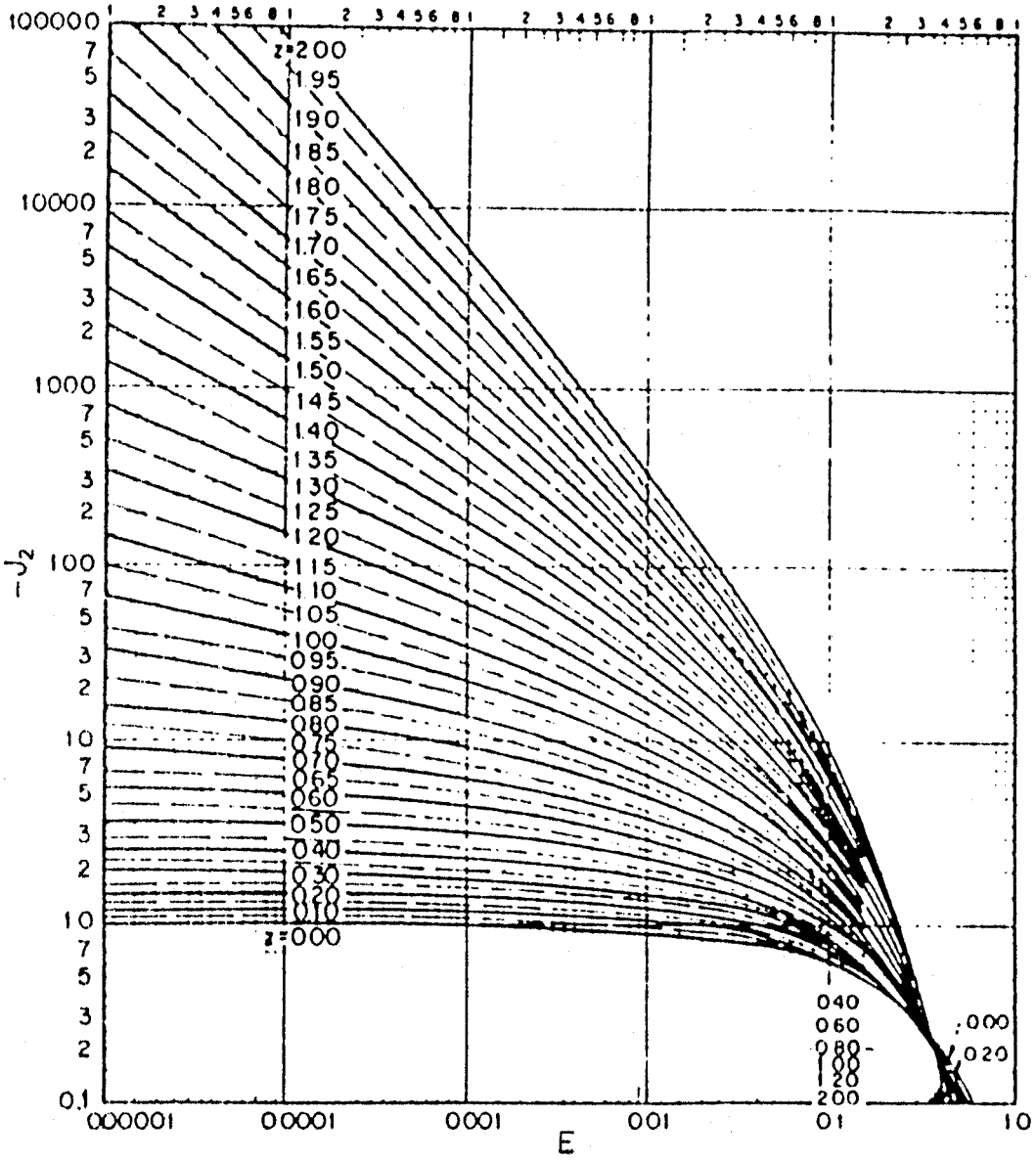
۸- مقدار $(P_m I_1 + I_2 + 1)$ محاسبه می‌شود.

۹- مقدار کل بار رسوب برای هر محدوده اندازه ذرات از روابط زیر محاسبه می‌گردد.

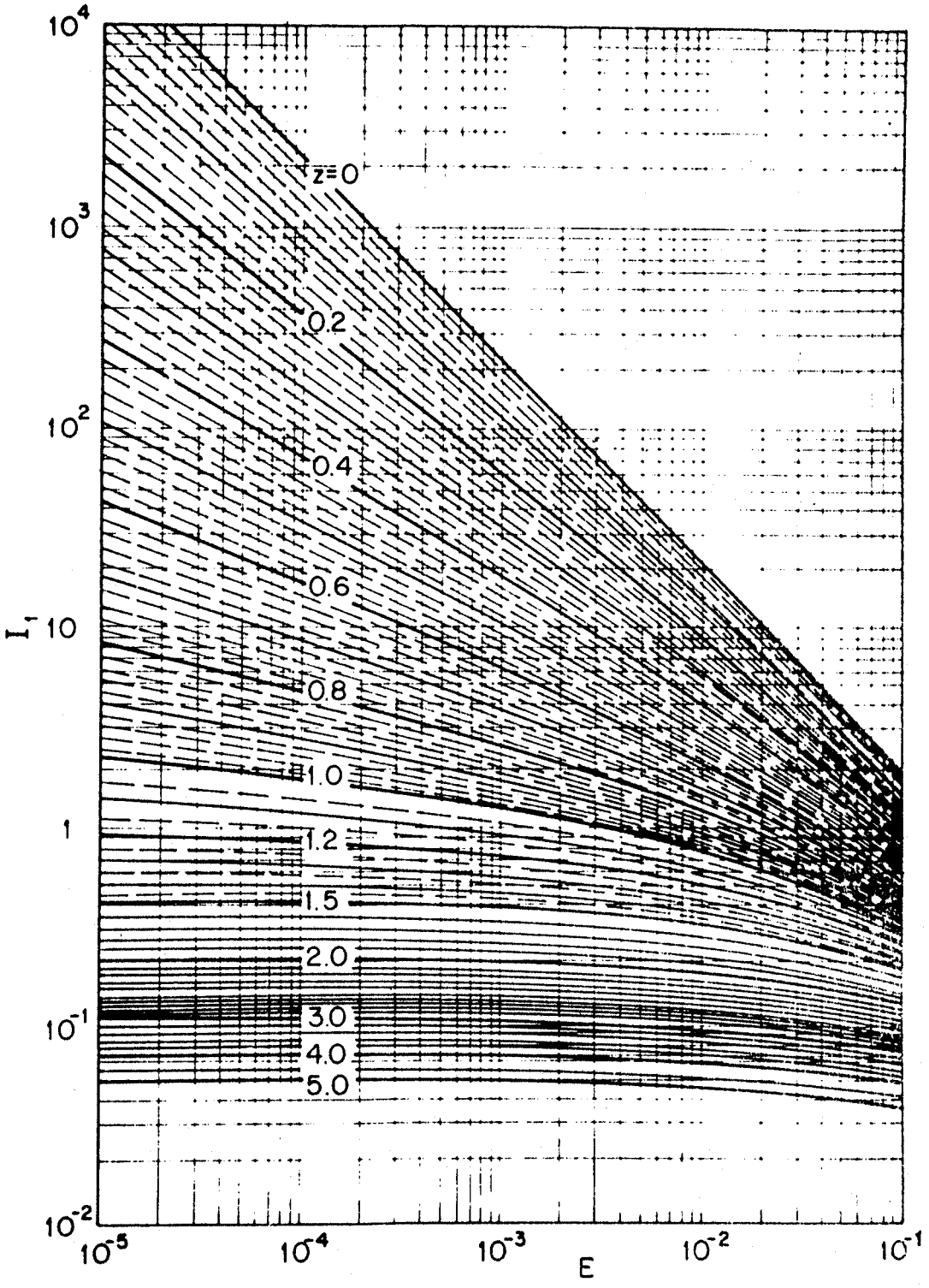
برای رسوبات ریز دانه :

$$i_t Q_t = Q'_{si} \left(\frac{P_m J_1 + J_2}{P_m J'_1 + J'_2}\right) \qquad (20)$$

برای رسوبات درشت دانه :



شکل ۱۰- تابع J_2 برحسب مقادیر E و Z' [۱]



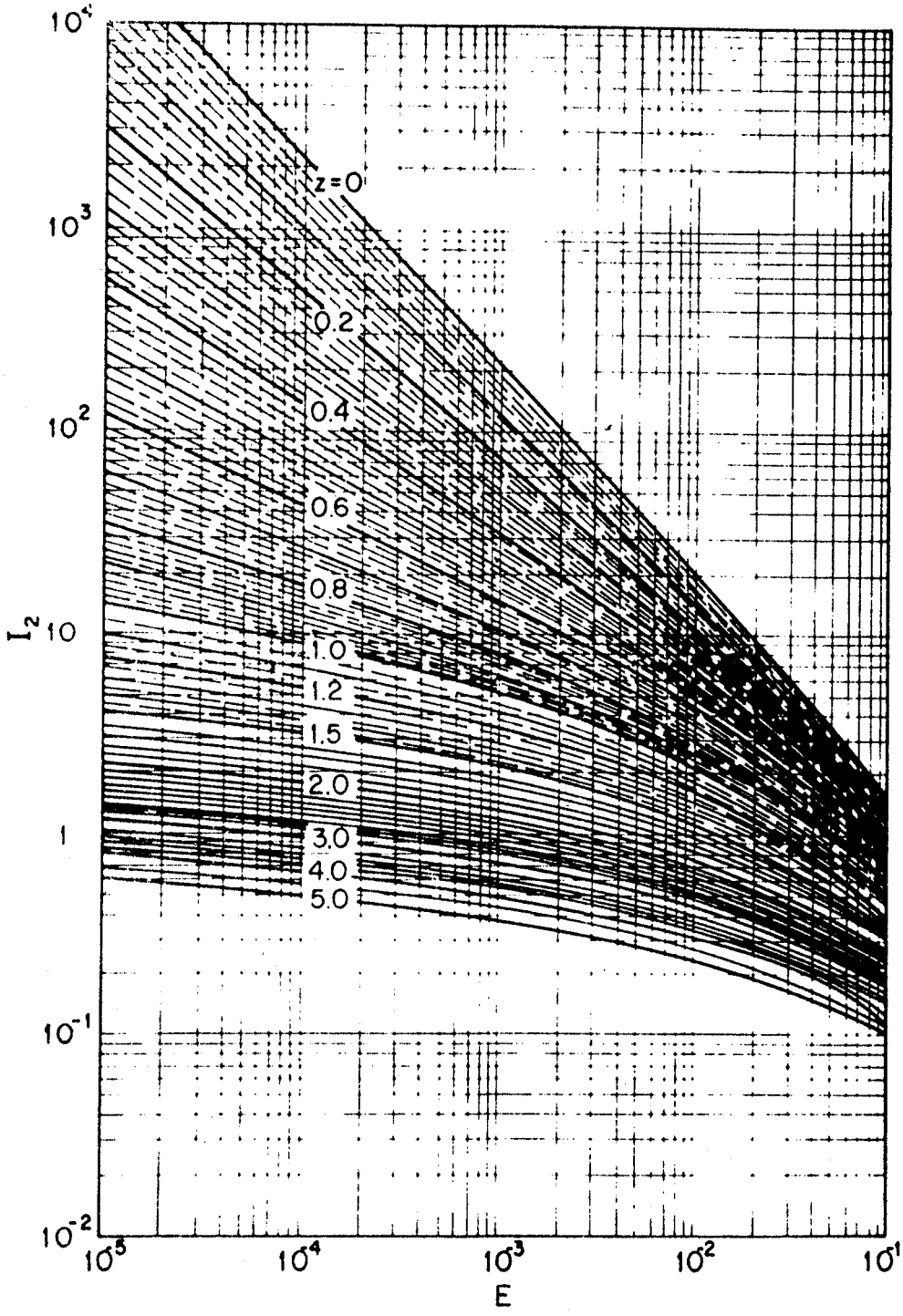
شکل ۱۱- تابع I_1 برحسب مقادیر E و Z [۱]

$$i_t Q_t = i_b Q_b \ (P_m I_1 + I_2 + 1) \qquad (21)$$

ممکن است این سئوال پیش آید که چرا روش محاسباتی برای رسوبات ریزدانه و درشت دانه متفاوت است؟ در این مورد لازم به توضیح می‌باشد که اگر Z' کاملاً دقیق محاسبه شود، و اگر به مقادیر $i_b Q_b$ به میزان محاسبه شده بار ذرات معلق اضافه شود، در محدوده اندازه مبنا هر دو روش به یک جواب منتهی خواهد شد.

از نظر تئوری هریک از دو روش $\frac{P_m J_1 + J_2}{P_m J'_1 + J'_2}$ و $P_m I_1 + I_2 + 1$ در تمام محدوده اندازه ذرات قابل اعمال هستند ولی عملاً روش اول محدود به اندازه‌هایی است که برای آنها Q'_s نسبتاً دقیق اندازه‌گیری شده است و روش دوم محدود به اندازه‌هایی است که برای آنها i_b با دقت خوبی به دست آمده است.

محدودیت عملی دیگر آن است که به ازاء درصد تغییرات معینی در مقدار Z'، بار رسوب محاسبه شده در روش اول خطای بیشتری را به ازاء Z'های بزرگ ایجاد می‌کند و در روش دوم خطای بیشتری را به ازاء Z'های کوچک موجب می‌شود. لذا بهتر است در Z'های بزرگ از روش دوم و در Z'های کوچک از روش اول استفاده شود.



شکل ۱۲- تابع I_2 برحسب مقادیر E و Z [۲]

۳-۲ مثال عددی

به منظور آشنایی بهتر با مراحل محاسباتی تعیین بارکل رسوب به روش اصلاح شده انیشتین، در این قسمت یک مثال عددی ارائه می‌شود :

الف- داده‌های مورد نیاز عبارتند از :

$d = ۰/۳$ و متر $d_s = ۰/۲۷$ $\quad$ $U = ۰/۶۳$ متر بر ثانیه $\quad$ $Q = ۶/۵۱$ متر مکعب بر ثانیه

$A = ۱۰/۳۱$ متر $\quad$ $T = ۱۸^{o}c$ $\quad$ $W = ۳۴/۴۴$ متر

نمونه بردار از نوع DH-۴۹ که متر $a' = ۰/۰۹۱$ می‌باشد.

$C_m = ۲۶۲$ PPm

جدول (۵)، توزیع دانه‌بندی مواد معلق و مواد بستر را نشان می‌دهد.

جدول (۵) توزیع دانه‌بندی مواد معلق و مواد بستر مربوط به مثال

محدوده ذرات	متوسط هندسی اندازه ذرات D		درصد در نمونه مواد معلق	درصد در مواد بستر	سرعت سقوط
میلیمتر	میلیمتر	فوت	i_b	i_b	سانتیمتر بر ثانیه
۰/۰۰۲–۰/۰۶۲۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۰۳۶	۲۲	–	۰/۰۰۹۰۲
۰/۰۶۲۵–۰/۱۲۵	۰/۰۸۸۴	۰/۰۰۰۲۹	۲۵	–	۰/۵۷۶
۰/۱۲۵–۰/۲۵	۰/۱۷۷	۰/۰۰۰۵۸	۴۲	۳۸	۱/۹۸
۰/۲۵–۰/۵	۰/۳۵۴	۰/۰۰۱۱۶	۱۱	۵۰	۴/۶۰
۰/۵–۱/۰	۰/۷۰۷	۰/۰۰۲۳۲	–	۵	۷/۸۶۴
۱/۰–۲/۰	۱/۴۱	۰/۰۰۴۶۴	–	۱	۱۲/۰۱
۲/۰–۴/۰	۲/۸۳	۰/۰۰۹۲۶	–	۱	۱۷/۵۰

ضمناً $D_{۳۵}$ و $D_{۶۵}$ مواد بستر به ترتیب ۰/۲۳ میلیمتر و ۰/۳۲ میلیمتر می‌باشد.

لزجت سینماتیک آب باتوجه به درجه حرارت آب برابر $\nu = ۱/۰۶ \times ۱۰^{-۶}$ مترمربع بر ثانیه است. سرعت سقوط ذرات در جدول (۵) از شکل ۸ یا رابطه استوکس محاسبه می‌شود.

حل مثال

الف - محاسبه RS و P_m

ابتدا با فرض x = ۱/۰ ، مقدار $\sqrt{RS}$ از معادله (۱) محاسبه می‌شود :

$$\sqrt{RS} = \frac{۰/۶۳}{۱۸/۰۱۴ \log_{۱۰} [(۱۲/۲۷ \times ۱/۰ \times ۰/۳) : (۰/۳۲ \times ۰/۰۰۱)]} = ۰/۰۰۸۳$$

$$\delta = ۳/۷۰۳۹ \frac{۱/۰۶ \times ۱۰^{-۶}}{۰/۰۰۸۳} = ۴/۷۳ \times ۱۰^{-۴} \text{ متر}$$

$$\frac{D_{۶۵}}{\delta} = \frac{۰/۳۲ \times ۱۰^{-۳}}{۴/۷۳ \times ۱۰^{-۴}} = ۰/۶۸$$

که از شکل (۵) مقدار x برابر ۱/۵۴ به‌دست می‌آید. مجدداً از رابطه (۱) مقدار $\sqrt{RS}$ محاسبه می‌شود :

$$\sqrt{RS} = \frac{۰/۶۳}{۱۸/۰۱۴ \log_{۱۰} [(۱۲/۲۷ \times ۱/۵۴ \times ۰/۳) : (۰/۳۲ \times ۰/۰۰۱)]} = ۰/۰۰۸۳$$

مقدار δ نیز برابر متر $۴/۷۳ \times ۱۰^{-۴}$ خواهد بود که از شکل (۵) مقدار x همان عدد ۱/۵۴ به دست می‌آید و نیازی به تکرار محاسبات نمی‌باشد. در نتیجه :

$$RS = ۰/۰۰۰۰۶۹ \text{ (متر)}$$

مقدار P_m نیز از رابطه (۳) محاسبه می‌شود :

$$P_m = ۲/۳۰ \log \left(\frac{۳۰/۲ \times ۱/۵۴ \times ۰/۳}{۰/۳۲ \times ۰/۰۰۱}\right) = ۱۰/۷$$

ب - سایر محاسبات

برای سادگی و راحتی، جدول (۶) با ۲۴ ستون تنظیم گردیده که در ادامه حل مثال، چگونگی تکمیل این فرم ارائه می‌شود.

ستونهای (۱) الی (۳) به ترتیب محدوده اندازه ذرات متوسط هندسی اندازه ذرات بر حسب میلیمتر و فوت می‌باشد که از جدول (۵)، داده‌های مسئله استخراج شده است.

ستون (۴)، پارامتر شدت برشی ψ است که از روابط (۴) و (۵) محاسبه شده است.

توضیح اینکه ψ فقط برای ردیفهایی محاسبه شده است که در آن بار بستر قابل ملاحظه می‌باشد، لذا مجموع ارقام ستون (۷) ممکن است برابر ۱۰۰ نگردد.

در این مثال از بار بستر مربوط به ذرات کوچکتر از ۰/۱۲۵ میلیمتر و بزرگتر از ۴/۰ میلمتر به علت ناچیز بودن صرفنظر شده است.

ستون (۵) نصف مقدار پارامتر شدت انتقال رسوب یعنی $(\frac{\Phi_*}{۲})$ است که در این ستون نوشته شده است. Φ_* از شکل (۶) برای هر ψ به دست می‌آید.

ستون (۶) مقادیر $D_i^{۱/۵}$ ۰/۳۳۶۳ که در آن D_i متوسط هندسی اندازهٔ ذرات ردیف مربوطه بر حسب میلیمتر می‌باشد.

ستون (۷) درصد وزنی هر محدوده اندازه ذرات مواد بستر در کل نمونه را نشان می‌دهد که از جدول (۵) استخراج شده است.

ستون (۸) مقدار $i_b q_b$ مربوط به هر ردیف که از رابطه (۷) محاسبه شده است در این ستون نوشته می‌شود، و یا به عبارتی مقادیر این ستون برابر (حاصلضرب ارقام ستون (۶) و ستون (۷)) می‌باشد.

ستون (۹) از حاصلضرب عرض رودخانه (۳۴/۴۴ متر) در ضریب تبدیل ۸۶/۴ به دست آمده است.

ستون (۱۰) مقدار بار بستر در تمام عرض رودخانه برای هر محدوده ذرات بستر را نشان می‌دهد که از رابطه (۸) و یا حاصلضرب ستونهای (۸) و (۹) به دست آمده است.

ستون (۱۱) درصد وزنی هر محدوده اندازه ذرات مواد معلق در کل نمونه مواد معلق را نشان می‌دهد که از جدول (۵) استخراج شده است.

ستون (۱۲) معرف بار رسوب معلق انتقال یافته مربوط به محدوده اندازه ذرات معین می‌باشد. که از حاصلضرب درصدهای موجود در ستون (۱۱) و مجموع کل بار معلق منتقله Q'_s به دست می‌آید. برای محاسبه Q'_{si} از رابطه (۱۱) استفاده می‌شود.

$$E = \frac{a'}{d_s} = \frac{۰/۰۹۱}{۰/۳۷} = ۰/۲۴۶$$

با توجه به رابطه (۱۰)،

$$\frac{Q'}{Q} = (۱ - ۰/۲۴۶) - ۲/۳ \left(\frac{۰/۲۴۶ \log ۰/۲۴۶}{۱۰/۷ - ۱}\right) = ۰/۷۹$$

ملاحظه می‌شود که ۷۹ درصد جریان رودخانه نمونه‌برداری شده است. Q'_s برابر ۷۹ درصد مقدار کل بار معلق (Q_{sm}) تلقی می‌گردد.

از طرفی مقدار Q_{sm} یا بار رسوب معلق نمونه‌برداری شده بر حسب تن بر روز برابر است با :

$$Q_{sm} = ۰/۰۸۶۴ \quad C_m Q$$

که در این مثال $C_m = ۲۶۲$ PPm و مترمکعب بر ثانیه $Q = ۶/۵۱$ در نتیجه :

$$Q_{sm} = ۱۴۷/۴ \qquad \text{(تن بر روز)}$$

و از آنجا

$$Q'_s = ۰/۷۹ \times ۱۴۷/۴ = ۱۱۶/۴ \qquad \text{(تن بر روز)}$$

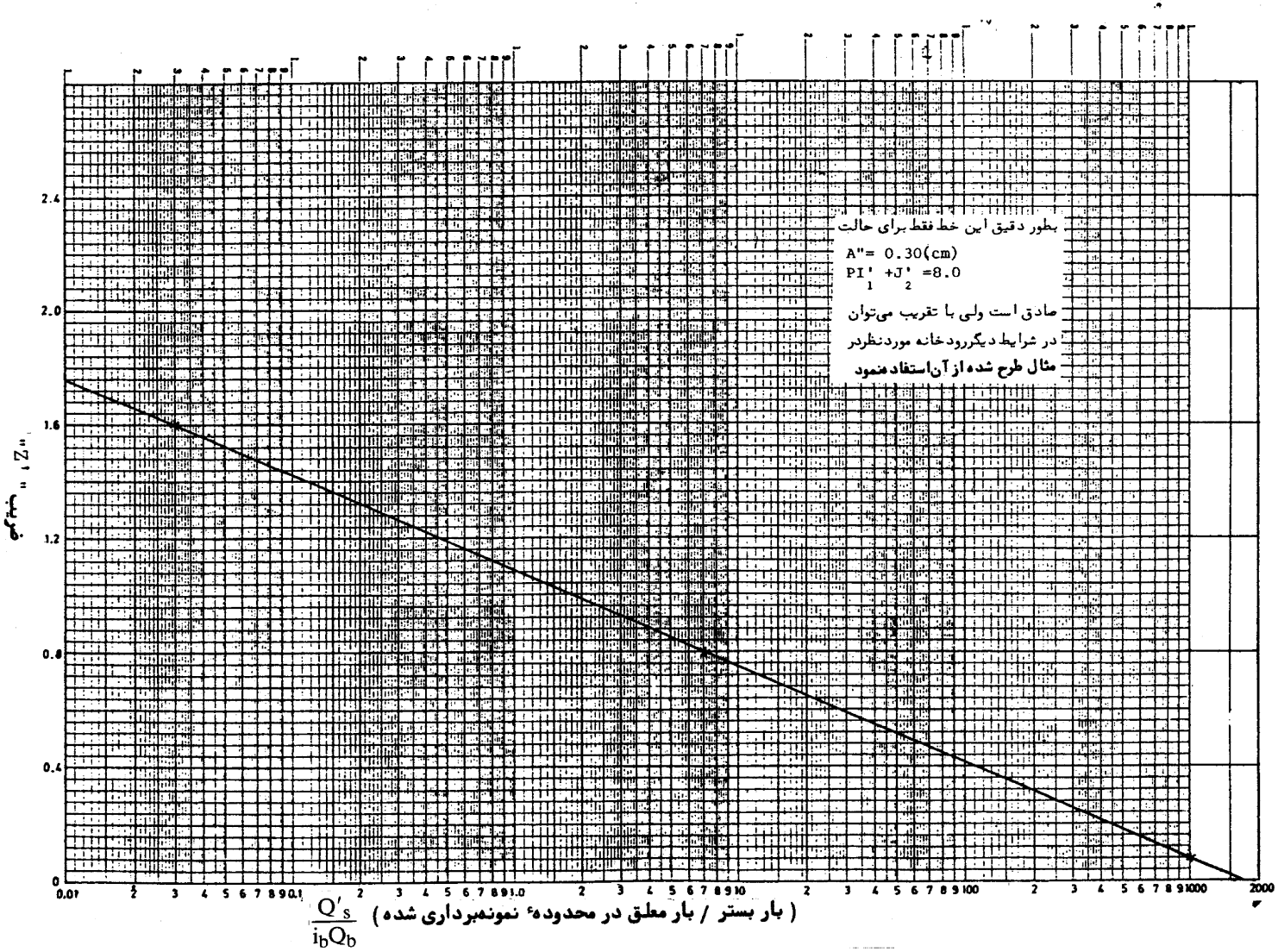
ستون (۱۳) ضریب MULT و در حقیقت مقادیر سمت راست معادله (۱۲) را نشان می‌دهد. در این مثال اندازه مبنا برابر $D = ۰/۱۷۷$ میلیمتر انتخاب گردیده است. زیرا در این محدوده بیشترین درصد بار معلق وجود دارد.

محاسبه $Z'_۱$ برای اندازه مبنا

در این مثال مقدار $Z'_۱$ برای اندازه مبنا با روش کلبی و هوبل به دست آمده است. مقادیر $E = ۲D/d$ برای هر ردیف محاسبه شده است که در ستون ۱۵ فرم محاسباتی ارائه شده‌اند. نسبت $\frac{Q'_s}{i_b Q_b}$ مربوط به اندازه مبنا برابر است با :

$$\frac{Q'_s}{i_b Q_b} = \frac{۴۹/۸۹}{۷/۲} = ۶/۹۱$$

با استفاده از شکل (۸) و یا شکل (۱۳) که فقط برای این مثال قابل استفاده است، مقدار تقریبی $Z'_۱$ برابر ۰/۸ به دست می‌آید.



شکل ۱۳- مقادیر تقریبی Z' برحسب نسبت بار رسوب معلق در محدوده نمونه‌برداری شده به بار رسوبات بستر

اکنون با روش سعی و خطا، مقدار Z'_1 واقعی طوری تعیین می‌گردد که مقدار $\frac{I_1}{J_1}(Pm'J_1 + J_2)$ برابر ۶/۹۱ یعنی نسبت $\frac{Q'_s}{i_b Q_b}$ شود.

با استفاده از شکل (۱۱) مقدار I_1 و از شکل (۹) مقدار J_1 برای $Z'_1 = ۰/۸$ و $E = \frac{۲ \times ۰/۱۷۷}{۱۰^{-۳}} = ۰/۰۰۱۱۸$ به ترتیب برابر ۲/۵ و ۳/۰ به دست می‌آید. همچنین باتوجه به مقدار $E' = \frac{a'}{d_s} = ۰/۲۴۶$ و $Z'_1 = ۰/۸$ مقادیر J'_1 و J_2 به ترتیب از شکل (۹) و شکل (۱۰) به دست می‌آید که به ترتیب برابر ۰/۶۲ و ۰/۵۲- خواهد بود. با جایگذاری مقادیر به دست آمده می‌توان نوشت :

$$\frac{۲/۵}{۳/۰}[۱۰/۷ \times ۰/۶۲ - ۰/۵۲] = ۵/۱۰$$

که با عدد ۶/۹۱ متفاوت است. اگر مقدار $Z'_1 = ۰/۷۶$ اختیار شود در آنصورت مقادیر I_1، J_1، J'_1 و J_2 به ترتیب برابر خواهند بود با ۲/۹۱، ۲/۶، ۰/۶۲ و ۰/۵۲ و در نتیجه

$$\frac{۲/۹۱}{۲/۶}[۱۰/۷ \times ۰/۶۲ - ۰/۵۱] = ۶/۸۷$$

چون مقدار محاسبه شده یعنی ۶/۸۷ با عدد ۶/۹۱ نزدیک می‌باشد بنابراین مقدار $Z'_1 = ۰/۷۶$ رضایت‌بخش است.

ستون (۱۴) مقادیر Z'_1 برای هر محدوده از ذرات است که از معادله (۱۲) به دست می‌آید، و یا اعداد این ستون از حاصلضرب اعداد ستون (۱۳) در عدد $Z'_1 = ۰/۷۶$ حاصل شده است.

ستون (۱۵) این مقادیر، از رابطه (۱۴) به دست می‌آید که برابر است با دو برابر مقادیر ستون (۳) تقسیم بر عمق متوسط جریان (میلیمتر $۰/۳ \times ۱۰^{۳}$)

ستون (۱۶) مقادیر J_1 از شکل (۹) برحسب E و Z'_i

ستون (۱۷) مقادیر J_2 از شکل (۱۰) برحسب E و Z'_i (این مقادیر منفی هستند)

ستون (۱۸) مقادیر J'_1 از شکل (۹) برحسب $E' = \frac{a'}{d_s} = ۰/۲۴۶$ و Z'_i

ستون (۱۹) مقادیر $J'_{۲}$ از شکل (۱۱) بر حسب $E' = ۰/۲۴۶$ و Z'_{i} (این مقادیر منفی هستند)

ستون (۲۰) عبارت است از نسبت

$$\frac{P_m J_{۱} + J_{۲}}{P_m J'_{۱} + J'_{۲}}$$

ستون (۲۱) مقادیر $I_{۱}$ از شکل (۱۱) بر حسب E و Z'_{i}

ستون (۲۲) مقادیر $I_{۲}$ از شکل (۱۲) بر حسب E و Z'_{i}

ستون (۲۳) مقادیر عبارت مقابل می‌باشد. $P_m I_{۱} + I_{۲} + ۱$

ستون (۲۴) میزان بار کل رسوب برای هر محدوده اندازه ذرات است که از حاصلضرب ارقام متناظر از ستون (۱۲) به‌دست می‌آید و ستون (۲۰) برای ذرات ریز و ضرب ارقام متناظر از ستون (۱۰) و ستون (۲۳) برای ذرات درشت محاسبه، و در ستون (۲۴) قرار می‌گیرد.

مجموع ارقام ستون (۲۴)، کل بار رسوب رودخانه را نشان می‌دهد که برابر ۳۷۹/۴ تن بر روز است.

جدول ۶- فرم محاسباتی بارکل رسوب به روش اصلاح شده انیشتین

۱ محدوده اندازه ذرات	۲ D (میلیمتر)	۳ D (فوت)	۴ ψ	۵ $(\Phi_*/2)$	۶ ۰/۳۳۶۳ $D^{1/5}$	۷ i_b	۸ $i_b \times q_b$	۹ ۸۶/۴ W (متر)	۱۰ $i_b Q_b$ (تن بر روز)	۱۱ i_s	۱۲ Q'_s
۰/۰۰–۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۰۰۱۸									
۰/۰۰۵۶–۰/۰۶۲۵	۰/۰۳۱۲	۰/۰۰۰۱									
۰/۰۰۲–۰/۰۶۲۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۰۳۶								۲۲	۲۵/۶
۰/۰۶۲۵ – ۰/۱۲۵	۰/۰۸۸۴	۰/۰۰۰۲۹			۰/۰۰۶۵					۲۵	۲۹/۱
۰/۱۲۵ – ۰/۲۵۰	۰/۱۷۷	۰/۰۰۰۵۸	۵/۵۰	۰/۲۵۵	۰/۰۲۵۰	۰/۳۸	۰/۰۰۲۴۲	۲۹۷۵/۶	۷/۲	۴۲	۴۸/۹
۰/۲۵۰ – ۰/۵۰۰	۰/۳۵۴	۰/۰۰۱۱۶	۵/۵۰	۰/۲۵۵	۰/۰۷۰۸	۰/۵	۰/۰۰۰۰۳	۲۹۷۵/۶	۲۶/۸۷	۱۱	۱۲/۸
۰/۵۰۰ – ۱/۰۰	۰/۷۰۷	۰/۰۰۲۳۲	۶/۸۰	۰/۱۴۷	۰/۱۹۹۳	۰/۰۵	۰/۰۰۱۴۷	۲۹۷۵/۶	۴/۳۷		
۱/۰۰۰ – ۲/۰۰۰	۱/۴۱	۰/۰۰۴۶۴	۱۳/۶۰	۰/۰۱۲۲	۰/۵۴۳۱	۰/۰۱	۰/۰۰۰۰۷	۲۹۷۵۶	۰/۲۱		
۲/۰۰۰ – ۴/۰۰۰	۲/۸۳	۰/۰۰۹۲۸	۲۷/۲		۱/۶۰۱۱	۰/۰۱					
۴/۰۰۰ – ۸/۰۰۰	۵/۶۶	۰/۰۱۸۵۶			۴/۵۲۸۵						
۸/۰۰۰ – ۱۶/۰۰۰	۱۱/۳۲	۰/۰۳۷۱۲			۱۲/۸۰۶۴						
جمع کل										۱۰۰	۱۱۶/۴

ادامه جدول ۶- فرم محاسباتی بارکل رسوب به روش اصلاح شده انیشتین

۲۴ بارمحاسبه‌شده (تن بر روز)	۲۳ $P_m I_1 + I_2 + 1$	۲۲ $-I_2$	۲۱ I_1	۲۰ $\frac{P_m J'_1 + J'_2}{P_m J_1 + J_2}$	۱۹ $-J'_2$	۱۸ J'_1	۱۷ $-J_2$	۱۶ J_1	۱۵ E	۱۴ Z'	۱۳ MULT
۳۲/۵۱				۱/۲۷	۰/۴	۰/۷۵	۱/۰۳	۱/۰	۰/۰۰۰۰۷۴	۰/۰۱۶	۰/۰۲۱
۴۸/۹				۱/۶۸	۰/۴۳	۰/۶۴	۲/۰۸	۱/۲	۰/۰۰۰۵۹	۰/۳۳	۰/۴۴
۱۷۱/۵	۲۳/۸۲	۸/۴۰	۲/۹۲						۰/۰۰۱۱۸	۰/۷۶	۱/۰۰
۱۱۶/۳۵	۴/۳۳	۲/۱۳	۰/۵۱						۰/۰۰۲۳۷	۱/۳۴	۱/۷۶
۱۰/۱۴	۲/۳۲	۰/۹۳	۰/۲۱						۰/۰۰۴۷۹	۱/۹۷	۲/۵۹
	۱/۷۵	۰/۵۳	۰/۱۲						۰/۰۰۹۴۷	۲/۶۲	۳/۴۵
۳۷۹/۴											

۳- تعیین بار کل رسوب با استفاده از روش انیشتین

۳-۱ مقدمه

این روش که اولین بار در سال ۱۹۵۰ توسط انیشتین ارائه گردید، روش غیرمستقیمی برای تعیین بار کل[1] می‌باشد. روش انیشتین لااقل دو نظریه عمومی گذشته را نقض نموده است :

۱- معیار شرط بحرانی در نظر گرفته نشده است، زیرا تعریف شرط بحرانی شروع حرکت مشکل است.

۲- انتقال بار بستر بیشتر به نوسانات جریان آشفته بستگی دارد تا به مقادیر متوسط نیروهای اعمال شده از طرف جریان بر ذرات رسوب، در نتیجه شروع و حرکت رسوبات با مفهوم احتمال بیان می‌شود، که نیروهای هیدرودینامیکی لحظه‌ای بالابر[2] را به وزن غوطه‌ور ذرات مرتبط می‌سازد.

براساس تجربیات انیشتین، بین مواد بستر و بار بستر رابطه معنی داری به صورت زیر وجود دارد.

۱- بین ذرات مواد بستر و بار بستر یک تبادل دائمی و شدید وجود دارد.

۲- حمل ذرات در طول بستر در طی مراحل مختلفی انجام می‌شود، طول مرحله متوسط به اندازه ذرات بستگی دارد. یک ذره بخصوصی نمی‌تواند به‌طور پیوسته حرکت نماید، بلکه پس از مدتی به‌طور موقت در بستر ته‌نشین می‌شود.

۳- شدت ته‌نشینی در واحد سطح به میزان مواد انتقال یافته از یک مقطع معین و نیز احتمال اینکه نیروهای هیدرودینامیکی به‌نحوی باشند که ذره ممکن است ته‌نشین شود، بستگی دارد.

در این روش بار بستر و بار معلق[3] جداگانه محاسبه شده و با هم جمع می‌شوند. گرچه از دیدگاه تحلیلی مرز چندان مشخصی بین بار معلق و بار بستر وجود ندارد، لیکن تفاوت آنها توسط دو نکته زیر مشخص می‌شود:

۱- چون نحوه انتقال بار بستر و بار معلق متفاوت است، در بررسیها و مطالعات مربوط به انتقال رسوب، مدلهای فیزیکی مختلف مورد نیاز می‌باشد.

۲- اندازه‌گیری بار معلق و بار بستر با روشهای متفاوتی انجام می‌شود. اندازه‌گیری بار بستر با استفاده از تله‌های رسوب که روی بستر و یا درون آن قرار داده می‌شود انجام می‌گیرد و بار معلق با نمونه‌برداری از مخلوط آب و رسوب اندازه‌گیری می‌شود.

1- Bed material load or total load 2- Lift

3- Suspended load

۳-۲ کلیات روش محاسبه

تابع بار بستر انیشتین

تابع بار بستر طبق تعریف انیشتین، مقدار بار بستر را در هر محدوده از دانه‌بندی مواد بستر در یک مجرا و برای هر مقدار از بده موردنظر برآورد می‌کند. براساس مفاهیم و تعاریف ارائه شده توسط انیشتین، مقدار بار بستر برای مواد با اندازه D برابر است با :

$$i_{Bw}\, q_{bw} = i_{bw}\, \gamma_s\, \phi_*\quad (G_s - ۱)\, gD^۳ \qquad (۱)$$

بار معلق مواد بستر برای همان محدوده از قطر دانه‌ها عبارت است از :

$$i_{sw}\, q_{sw} = i_{Bw}\, q_{bw}\, [P_E\, I_۱ + I_۲] \qquad (۲)$$

بارکل از حاصل جمع بار بستر و بار معلق طبق رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$i_T\, q_T = i_{Bw}\, q_{bw} + i_{sw}\, q_{sw} \qquad (۳)$$

با قراردادن معادلات (۱) و (۲) در معادله (۳) مقدار بارکل را می‌توان با رابطه ساده شده ذیل بیان نمود:

$$i_T\, q_T = i_{Bw}\, q_{bw}\, (۱ + P_E\, I_۱ + I_۲) \qquad (۴)$$

$$P_E = ۲/۳۰۳\ \log \frac{۳۰/۲ \times d}{\Delta} \qquad (۱-۴)$$

در روابط فوق پارامترهای معادلات عبارتند از :

i_T, i_{sw}, i_{bw} **= درصد مقادیر بار بستر، بار معلق و بارکل برای محدوده دانه‌های با اندازه D در بستر**

i_{Bw} **= درصد مواد بستر نظیر اندازه D**

q_{bw} **= بار بستر برحسب مقدار وزن در واحد عرض رودخانه در واحد زمان**

q_{sw} **= بار معلق برحسب مقدار وزن در واحد عرض رودخانه در واحد زمان**

γ_s **= وزن مخصوص مواد بستر**

G_s **= چگالی دانه‌ها**

g = شتاب ثقل

ϕ_* = تابع انتقال رسوب (معیاری از مقدار بار بستر حمل شده است که مستقل از اندازه مجرا می‌باشد). مقدار این تابع از شکل (۶) بدست می‌آید.

P_E = پارامتر انتقال

I_1 و I_2 = مقادیر انتگرال در معادله انیشتین که بترتیب از شکل‌های (۱۱) و (۱۲) بدست می‌آید.

d = عمق جریان در مجرا

Δ = قطر نظیر ۶۵ درصد ریزتر مواد بستر، D_{65}

K_S = زبری معرف بستر، معمولاً معادل با D_{65} (قطر نظیر ۶۵ درصد ریزتر مواد بستر)

x = ضریب تصحیح که از شکل (۵) بدست می‌آید.

q_T = مقدار بارکل بازاء محدوده معینی از مواد بستر برحسب وزن در واحد عرض در واحد زمان

معادلات فوق از نظر ابعادی همگن بوده و در هر سیستم واحدی از جمله سیستم متریک مستقیماً قابل استفاده می‌باشد.

هرچند کاربرد عملی معادله انیشتین آسان نمی‌باشد، لیکن این روش یکی از جامع‌ترین و دقیق‌ترین روشهای محاسبه انتقال مواد بستر از نقطه‌نظر مکانیک سیالات و قوانین احتمالات می‌باشد که تاکنون در دسترس قرار گرفته است.

۳-۳ مراحل و گامهای محاسباتی

مراحل انجام روش انیشتین برای محاسبه بارکل در یک مجرای معین شامل سه بخش عمده بشرح زیر می‌باشد:

مرحله ۱- انتخاب بازه مطالعاتی معرف در رودخانه و جمع‌آوری داده‌های صحرایی مورد نیاز

مرحله ۲- تعیین پارامترهای هیدرولیکی لازم

مرحله ۳- استفاده از نتایج مراحل قبلی و معادلات مربوطه برای محاسبه بار بستر و بارکل

مرحله ۱- انتخاب بازه مطالعاتی و جمع‌آوری داده‌های موردنیاز

برای تعیین بارکل باید طول معینی از رودخانه بعنوان بازه مطالعاتی انتخاب شود. این بازه قسمتی از رودخانه خواهد بود که از نظر شکل هندسی و ترکیبات رسوبات بستر تا حد امکان یکنواخت است. در این بازه وجود انحناها، برآمدگیهای بستر، رویش نباتات در بستر و عوارض مشابه نامطلوب تلقی می‌شود. در چنین بازه‌ای نباید شاخه‌های فرعی مهمی به رودخانه متصل و یا از آن منشعب شود. حتی الحاق شاخه‌های فرعی مؤثر در محدوده بالادست و پائین‌دست بازه مطالعاتی نیز نامطلوب است.

به طورکلی لازم است بازه مطالعاتی انتخابی در رودخانه موردنظر بگونه‌ای باشدکه بتوان آن را با یک شیب کلی و با یک مقطع هیدرولیکی متوسط و دانه‌بندی رسوب همسان بیان نمود. در این روش به دلیل عریض بودن رودخانه می‌توان از اثرات ناشی از اصطکاک دیواره‌ها صرفنظر نمود.

مرحله ۲- تعیین پارامترهای هیدرولیکی

برای روشن شدن نحوه تعیین پارامترهای هیدرولیکی در روش انیشتین، جدول (۷) درنظر گرفته شده که در آن گامهای محاسباتی قید گردیده است. شرح گامهای محاسباتی ذیلاً ارائه می‌شود:

۱- R'_b شعاع هیدرولیکی نظیر زبری دانه‌های تشکیل‌دهنده بستر است و باید برای شروع محاسبات مقدار فرضی برای آن در نظر گرفته شود.

۲- U'_{*b} سرعت برشی مربوط به اصطکاک ذرات بستر است و از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$U'_{*b} = \sqrt{gR'_bS} \quad \text{(متر بر ثانیه)} \qquad (۵)$$

در رابطه فوق :

S = شیب بستر رودخانه

g = شتاب ثقل (۹/۸۱ مترمربع بر ثانیه)

R'_b = در بند ۱ توضیح داده شده است.

۳- δ ضخامت قشر ورقه‌ای یا لایه نظیر جریان آرام است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\delta = \frac{۱۱/۶\,\nu}{U'_{*b}} \quad \text{(متر)} \qquad (۶)$$

در این رابطه ν لزجت سینماتیکی آب است (برحسب مترمربع بر ثانیه) که با توجه به درجه حرارت آب می‌توان آن را از جدول (۸) بدست آورد.

۴- k_s قطر زبری ذرات بستر است که معادل $D_{۶۵}$ در نظر گرفته می‌شود و از منحنی دانه‌بندی مواد روی بستر بدست می‌آید.

$$k_s = D_{۶۵} \quad \text{(متر)} \qquad (۷)$$

۵- x ضریب تصحیح توزیع‌لگاریتمی سرعت(بدون‌بعد)می‌باشدکه تابعی‌است‌از $\frac{K_s}{\delta}$ و از شکل (۵) بدست می‌آید.

۶- Δ برای هریک از مقادیر x متناظر با R'_b از رابطه $\Delta = \frac{K_s}{x}$ برحسب متر بدست می‌آید. مقدار Δ را زبری ظاهری می‌نامند.

۷- U سرعت متوسط جریان است که برای هریک از ردیفهای متناظر با R'_b از رابطه زیر بدست می‌آید:

جدول ۷- تعیین مشخصات هیدرولیکی رودخانه در روش محاسبه بارکل به روش انیشتین

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
R'_b[۱] متر	U'_{*b} متر بر ثانیه	δ متر	k_s/δ	x	Δ متر	U متر بر ثانیه	ψ'	U/U'_{*b}	U''_{*b} متر بر ثانیه	R''_b متر بر ثانیه

۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
R_b متر	d متر	dN متر	A مترمربع	P_b متر	Q مترمکعب برثانیه	X متر	Y	β_x	β/β_x	P_E

۱- برای شروع محاسبات یک مقدار فرضی برای R'_b در نظر گرفته می‌شود.

$$U = U'_{*b}\ ۵/۷۵\ \log_{۱۰}(۱۲/۲۷\ \frac{R'_b}{\Delta}) \qquad \text{(متر بر ثانیه)} \qquad (۸)$$

ψ' = (شدت برشی وارده به ذرات بستر) معرف تأثیرات اصطکاکی مربوط به زبری سطح دانه‌های مواد بستری است. پارامتر ψ' برای هریک از ردیفهای R'_b محاسبه می‌گردد:

$$\psi' = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}(D_{۳۵}/R'_b S) \qquad (۹)$$

ρ_s و ρ به ترتیب جرم مخصوص (کیلوگرم بر مترمکعب) دانه‌های رسوب و آب است.
ρ_s از آزمایش تعیین جرم مخصوص دانه‌های مواد بستر به دست می‌آید.
ρ را می‌توان برحسب درجه حرارت آب از جدول (۷) تعیین نمود.
R'_b شعاع هیدرولیکی نظیر زبری دانه‌های بستر بر حسب متر.

۹- نسبت $\frac{U}{U''_{*b}}$ برحسب ψ' از شکل (۱۴) برای هر ردیف R'_b بدست می‌آید.

۱۰- U''_{*b} سرعت برشی متناظر با ناهمواریهای موجود در بستر است. U''_{*b} براساس نسبت تعیین شده برای $\frac{U}{U''_{*b}}$ و مقدار سرعت متوسط (U)، بدست می‌آید. (متر بر ثانیه)

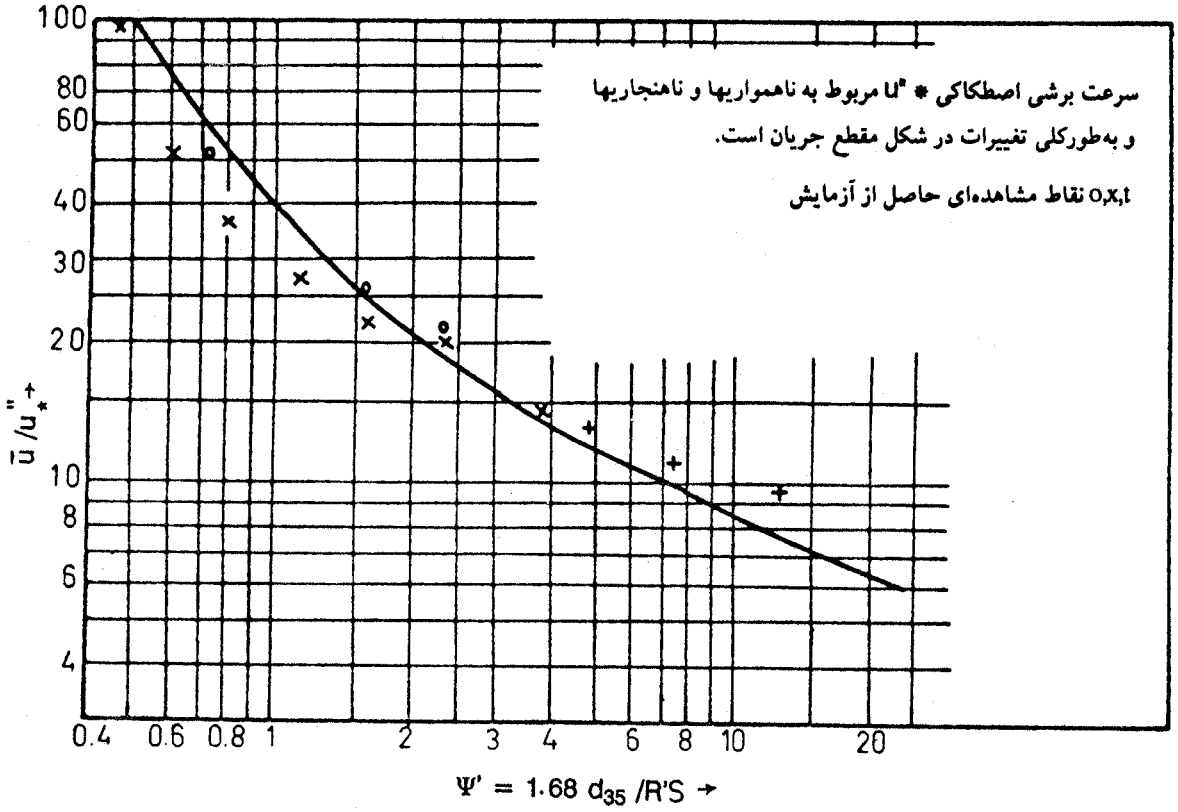
۱۱- R''_b شعاع هیدرولیکی نظیر ناهمواری و تضاریس موجود در بستر است. و برای هر ردیف R'_b از رابطه زیر تعیین می‌شود :

$$R''_b = \frac{(U''_{*b})^۲}{۹/۸۱\ S} \quad \text{(متر)} \qquad (۱۰)$$

۱۲- R_b شعاع هیدرولیکی کل بستر است که از رابطه زیر تعیین می‌شود.

جدول ۸- ضریب لزجت سینماتیکی و جرم مخصوص آب برحسب درجه حرارت

درجه حرارت (^oC)	جرم مخصوص (کیلوگرم بر مترمکعب)	لزجت ν (سانتیمترمربع بر ثانیه)
۰	۹۹۹/۳	۰/۰۱۸۰
۱۰	۹۹۹/۳	۰/۰۱۳۰
۲۰	۹۹۷/۳	۰/۰۱۰۱
۴۰	۹۹۱/۵	۰/۰۰۶۶
۶۰	۹۸۲/۶	۰/۰۰۴۸
۸۰	۹۷۱/۸	۰/۰۰۳۷
۱۰۰	۹۵۹/۱	۰/۰۰۳۰



شکل ۱۴- رابطه بین پارامترهای $\frac{u}{u''_*}$ و ψ'

$$R_b = R'_b + R''_b \quad \text{(متر)} \qquad (11)$$

اگر دیواره‌ها اصطکاک چندانی نداشته باشند، R_b بیانگر شعاع هیدرولیکی کل، R است.

۱۳- d عمق متوسط جریان است، در رودخانه‌های کم‌عمق و عریض $d \approx R_b$

۱۴- اشل، یا d_N چون منحنی تغییرات شعاع هیدرولیکی کل (R_b) برحسب اشل و رقوم سطح آب معلوم می‌باشد، لذا با معلوم بودن مقادیر R_b مقدار اشل برحسب متر تعیین می‌شود (شکل ۱۵).

۱۵ و ۱۶- چون منحنی تغییرات مساحت کل (A) و محیط تر شده بستر (P_b) برحسب اشل (H) معلوم است، لذا با معلوم بودن مقدار اشل مقادیر A و P_b نیز مشخص می‌گردد (شکل ۱۵).

۱۷- بده جریان (Q) برحسب متر مکعب در ثانیه از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$Q = AU \quad \text{(مترمکعب بر ثانیه)} \qquad (12)$$

۱۸- X طول مشخصه، برحسب متر که از روابط زیر بدست می‌آید.

الف : $\frac{\Delta}{\delta} > ۱/۸$ $\qquad X = ۰/۷۷\ \Delta$

(۱۳)

ب : $\frac{\Delta}{\delta} < ۱/۸$ $\qquad X = ۱/۳۹\ \delta$

۱۹- Y عبارت تصحیح فشار از شکل (۱۶) بدست می‌آید.

۲۰- β_x تابع لگاریتمی است که از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\beta_x = \log_{۱۰} (۱۰/۶\ X/\Delta) \qquad (۱۴)$$

۲۱- β از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$\beta = \log ۱۰/۶ \qquad (۱۵)$$

۲۲- P_E پارامتر انتقال انیشتین، از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$P_E = ۲/۳۰۳\ \log_{۱۰} (۳۰/۲\ d/\Delta) \qquad (۱۶)$$

مرحله ۳ - محاسبه بارکل

مقدار بارکل برای هر محدوده از اندازه دانه‌های مواد بستر محاسبه می‌شود. بدین‌منظور جدول (۹) ارائه داده است که در آن مراحل محاسبات مربوط به بار بستر درج می‌گردد.

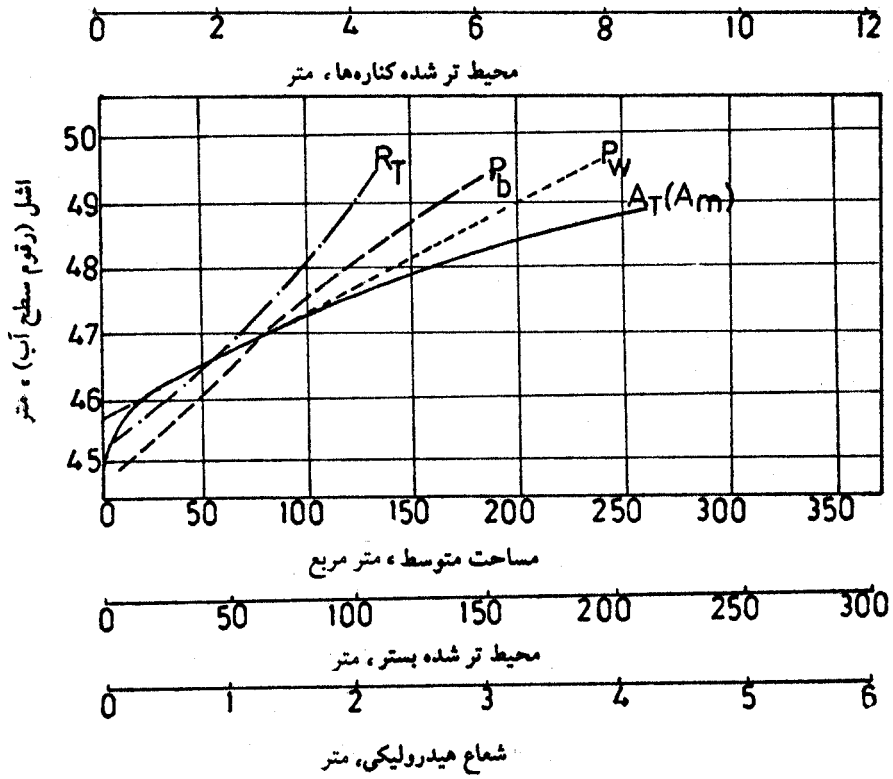
جدول (۹) گامهای محاسباتی مربوط به تعیین بارکل به روش انیشتین را نشان می‌دهد.

۱- D اندازه معرف دانه‌ها، متر (از جدول (۱۰) اطلاعات مربوط به مواد بستر در مثال ارائه شده)

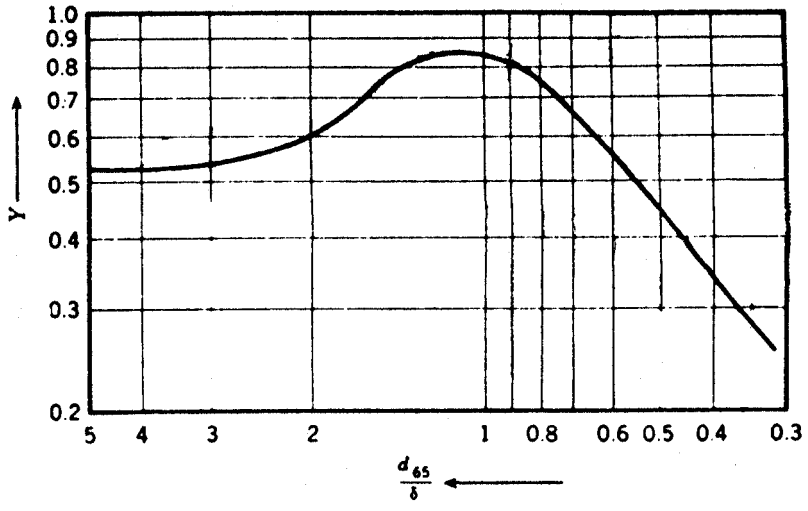
۲- i_B سهم مواد بستر در جدول (۱۰) داده شده است.

۳- R'_b شعاع هیدرولیکی نظیر زبری دانه‌های تشکیل‌دهنده بستر برحسب متر است و مقادیر آن در جدول (۷) داده شده است.

۴- ψ معرف تأثیرات اصطکاکی مربوط به زبری سطح دانه‌های مواد بستری است. پارامتر ψ برای هریک از ردیفهای R'_b محاسبه می‌شود :



شکل ۱۵- تغییرات مساحت، محیط و شعاع هیدرولیکی بر حسب اشل و مقطع متوسط



شکل ۱۶- فاکتور عبارت تصحیح فشار در تابع بار بستر انیشتین

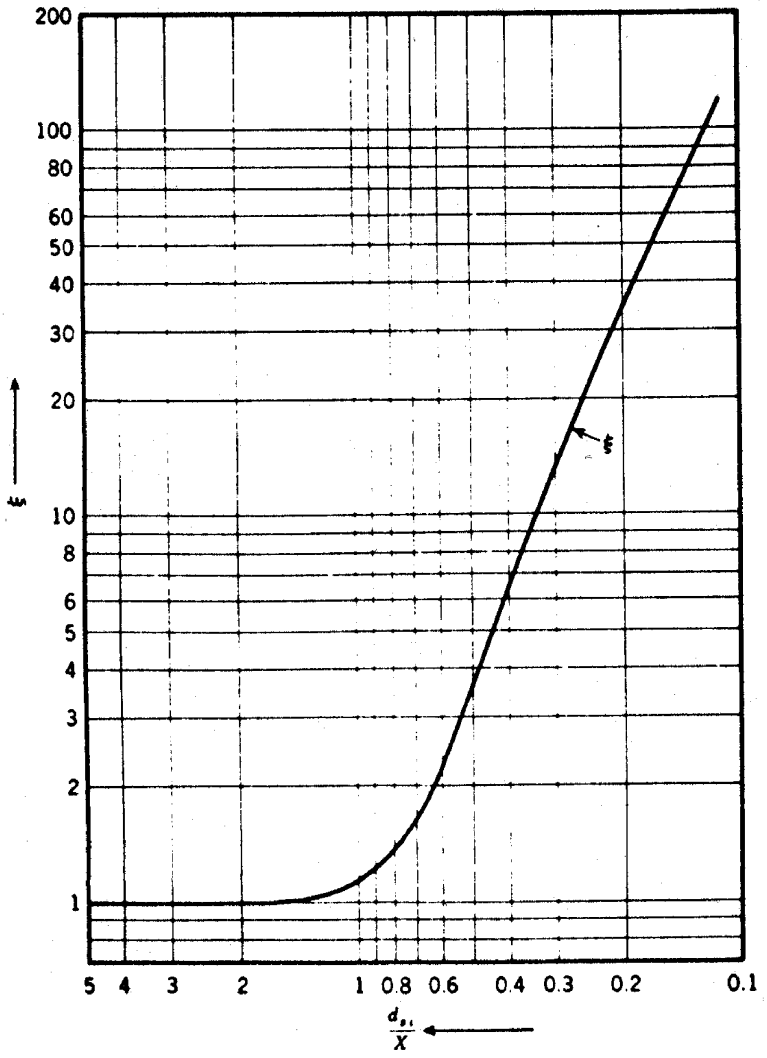
$$\psi = ((\rho_s - \rho)/\rho)\ (\frac{d}{R'_b S}) \qquad (۱۷)$$

S, d, ρ, ρ_s در مرحله ۲ تعریف شده است.

۵- $\frac{D}{X}$ که مقادیر X در ستون ۱۸ جدول (۷) ارائه شده است.

و ξ فاکتور مخفی شدن که تابعی است از D و X و از شکل (۱۷) یا از رابطه ۱۸ به‌دست می‌آید.

$$\xi = f(\frac{D}{X}) \qquad (۱۸)$$



شکل ۱۷- فاکتور ξ در تابع بار بستر انیشتین

۷- ψ_* تنش برشی بی‌بعد، معرف تأثیرات اصطکاکی مربوط به هر محدوده از ذرات بستر بطور جداگانه است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\psi_* = \xi Y \left(\frac{\beta}{\beta_x}\right)^2 \psi \qquad (۱۹)$$

مقادیر Y و $\frac{\beta}{\beta_*}$ در جدول (۷) ارائه شده است.

۸- ϕ_* پارامتر انتقال مربوط به هر محدوده از دانه‌بندی مواد بستر که مقدار آن از شکل (۶) بدست می‌آید.

۹- $i_B q_B$ مقدار بار بستر در واحد عرض برای هر محدوده از اندازه دانه‌های مواد بستر بر حسب نیوتن بر ثانیه برمتر

$$i_B q_B = i_B \phi_* \rho_s (gD)^{3/2} \quad (\rho_s - \rho) / \rho \qquad N/Sec/m \qquad (۲۰)$$

۱۰- $i_B Q_B$ بار بستر درکل مقطع (در یک محدوده) برحسب تن بر روز می‌باشد و از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$i_B Q_B = ۴۳/۲ \; W i_B q_B \qquad (۲۱)$$

$$W = P_b$$

مقدار P_b در جدول (۷) ارائه شده است.

۱۱- $\Sigma i_B Q_B$ بارکل در تمام مقطع در تمام محدوده‌های ذرات مواد بستر برحسب تن بر روز

۱۲- E نسبت ضخامت لایه بستر به عمق آب که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E = \frac{۲D}{d} \qquad (۲۲)$$

مقادیر d در جدول (۷) داده شده است.

۱۳- Z نمای توزیع غلظت که از رابطه زیر بدست می‌آید (برحسب ثانیه)

$$Z = \frac{w}{(۰/۴ \; U'_{*b})} \qquad (۲۳)$$

مقدار w در جداول (۱۰) و مقدار U'_* در جدول ۱ ارائه شده است.

۱۴- I_1 انتگرال معادله مربوط به رابطه انیشتین است که از شکل (۱۱) بدست می‌آید.

۱۵- I_2 انتگرال معادله مربوط به رابطه انیشتین است که از شکل (۱۲) بدست می‌آید و مقدار آن منفی می‌باشد.

۱۶- $P_E\ I_1 + I_2 + 1$ فاکتور بین بار بستر و بار کل است که از معادله زیر بدست می‌آید :

$$i_T\ q_T = i_B\ q_B\ (P_E\ I_1 + I_2 + 1) \qquad (۲۴)$$

۱۷- $i_T\ q_T$ بار کل در واحد عرض رودخانه در هر محدوده از اندازه ذرات که از رابطه بالا بدست می‌آید.

۱۸- $i_T\ Q_T$ بار کل در کل مقطع در یک محدوده از اندازه ذرات است که از رابطه زیر برحسب تن بر روز بدست می‌آید:

$$i_T\ Q_T = ۸۶/۴\ B\ i_T\ q_T \qquad (۲۵)$$

۱۹- $\Sigma i_T\ Q_T$ کل بار مواد بستر و در تمام محدوده ذرات برحسب تن در روز می‌باشد.

۳-۴ مثال عددی

برای آشنایی هرچه بیشتر با روش انیشتین مثالی در نظر گرفته شده است که فرضیات آن به شرح زیر می‌باشد:

۳-۴-۱ مشخصات بازه مطالعاتی انتخاب شده توسط انیشتین (۱۹۵۰)

بازه‌ای از رودخانه بیگ سندکریک[1]، که یکی از شعبات رودخانه بزرگ می‌سی‌سی‌پی می‌باشد برای نشان‌دادن کاربرد فرمول بار بستر انیشتین در نظر گرفته شده است. در این مثال برای سادگی از اثرات اصطکاک دیواره‌ها صرفنظر شده است.

- مشخصات مقطع رودخانه به قرار زیر می‌باشند:

شیب رودخانه $S = ۰/۰۰۱۰۵$ و روابط بین سطح مقطع، شعاع هیدرولیکی و محیط خیس شده برحسب اشل در مقطع معرف در شکل (۱۸) نشان داده شده است. در مقطع این رودخانه عریض و کم‌عمق، محیط خیس‌شده، معادل عرض سطح آب در نظر گرفته شده است. مقادیر متوسط چهار نمونه مواد بستر در جدول (۱۰) ارائه گردیده است. در نمونه‌های مخلوط شده، ۹۵/۸٪ مواد بستر بین ۰/۰۰۰۱۴۷ و ۰/۰۰۰۵۸۹ متر قرار دارند که به چهار محدوده تقسیم شده‌اند. محاسبات انتقال برای هر محدوده بطور جداگانه انجام خواهد شد، بطوریکه اندازه دانه معرف انتخاب شده مساوی قطر هندسی میانه هر محدوده باشد.

1- Big Sand Creek

جدول ۹- گامهای محاسباتی مربوط به تعیین بار مواد بستر در روش انیشتین

۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
$i_B Q_B$	$i_B q_B$	ϕ_*	ψ_*	ξ	D/X	ψ	R'_b	i_B	D
(تن‌بر‌روز)	نیوتن‌برثانیه بر متر		(-)	(-)	(-)	(-)	(متر)	%	(متر)

ادامه جدول ۹- گامهای محاسباتی مربوط به تعیین بار مواد بستر در روش انیشتین

۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱
$\Sigma i_T\ Q_T$	$i_T\ Q_T$	$i_T\ q_T$	$P_E I_1 + I_2 + 1$	$-I_2$	I_1	Z	$10^3 E$	$\Sigma i_B\ Q_B$

لزجت سینماتیک آب سانتیمتر مربع بر ثانیه $۱۰^{-۳} \times$ ۹/۸۴۸ و چگالی ویژه رسوب ۲/۶۵ می‌باشد.

جدول ۱۰- اطلاعات مواد بستر در رودخانه موردنظر

محدوده اندازه ذرات (میلیمتر)	قطر متوسط		سرعت ته‌نشینی
	میلیمتر	٪	سانتیمتر بر ثانیه
D> ۰/۵۸۹	-	۲/۴	-
۰/۰۰۰۵۸۹ >D> ۰/۰۰۰۴۱۷	۰/۰۰۰۴۹۵	۱۷/۸	۵/۲
۰/۰۰۰۴۱۷ >D> ۰/۰۰۰۲۹۵	۰/۰۰۰۳۵۱	۴۰/۲	۳/۷۵
۰/۰۰۰۲۹۵ >D> ۰/۰۰۰۲۰۸	۰/۰۰۰۲۴۸	۳۲/۰	۲/۷۰
۰/۰۰۰۲۰۸ >D> ۰/۰۰۰۱۴۷	۰/۰۰۰۱۷۵	۵/۸	۱/۷۰
۰/۰۰۰۱۴۷ >D	-	۱/۸	-

$D_{۶۵}$ = ۰/۰۰۰۳۵ متر $D_{۳۵}$ = ۰/۰۰۰۲۹ متر

۳-۴-۲ محاسبات هیدرولیکی مثال مربوط به کاربرد روش انیشتین

محاسبات مربوط به این قسمت طبق گامهای ارائه شده در مراحل و گامهای مختلف جداول (۷) و (۹) انجام شده و در جدول (۱۱) و (۱۲) ارائه شده‌اند.

جدول ۱۱- محاسبات هیدرولیکی مربوط به کاربرد روش انیشتین در مثال

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
R'_b (متر)	U'_{*b} (متر بر ثانیه)	δ (متر)	k_s/δ (-)	x (-)	$\Delta \times ۱۰^{-۳}$ (متر)	U (متر بر ثانیه)	ψ' (-)	U/U''_{*b} (-)	U''_{*b} (متر بر ثانیه)	R''_b (متر)
۰/۱۵۲	۰/۰۳۹	۰/۰۰۰۲۹	۱/۲۱	۱/۵۹	۰/۲۲۰	۰/۸۹۱	۲/۹۸	۱۷/۱۸	۰/۰۵۲	۰/۲۶۲
۰/۳۰۵	۰/۰۵۶	۰/۰۰۰۲۱	۱/۷۲	۱/۴۶	۰/۲۴۰	۱/۳۵۴	۱/۴۹	۲۷/۷۱	۰/۰۴۹	۰/۲۳۲
۰/۶۰۱	۰/۰۷۹	۰/۰۰۰۱۴	۲/۴۴	۱/۲۷	۰/۲۵۵	۲/۰۲۲	۰/۷۵	۵۰/۵۵	۰/۰۴۰	۰/۱۵۲
۰/۹۱۴	۰/۰۹۷	۰/۰۰۰۱۲	۲/۹۵	۱/۱۸	۰/۲۸۶	۲/۵۶۲	۰/۵۰	۸۴	۰/۰۳۰۵	۰/۰۹۱
۱/۲۱۹	۰/۱۱۲	۰/۰۰۰۱۰	۳/۵۰	۱/۱۴	۰/۲۹۷	۳/۰۲۶	۰/۳۷	۱۴۴/۱	۰/۰۲۱	۰/۰۴۳
۱/۵۲۴	۰/۱۲۶	۰/۰۰۰۹	۳/۸۴	۱/۱۱	۰/۳۱۵	۳/۴۴۶	۰/۳۰	۲۲۹/۷	۰/۰۱۵	۰/۰۲۱
۱/۸۲۹	۰/۱۲۷	۰/۰۰۰۸	۴/۲۶	۱/۰۸	۰/۳۲۴	۳/۸۳۷	۰/۲۵	۴۲۶/۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹

ادامه جدول ۱۱- محاسبات هیدرولیکی مربوط به کاربرد روش انیشتین در مثال

۲۲	۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲
P_E (-)	$(\beta/\beta_*)^2$ (-)	β_* (-)	Y (-)	$X \times 10^{-3}$ (متر)	Q (مترمکعب‌برثانیه)	P_b (متر)	A (متر مربع)	dN (متر)	d (متر)	R_b (متر)
۱۰/۹۷	۰/۶۳	۱/۲۹	۰/۸۴	۰/۴	۱۱/۶۳	۳۱/۴۱	۱۳/۰۲	۴۵/۸۱	۰/۴۲	۰/۴۲
۱۱/۱۰	۰/۸۵	۱/۱۹	۰/۶۸	۰/۲۸	۳۰/۲۵	۴۱/۵۰	۲۲/۳۲	۴۶/۰۲	۰/۵۴	۰/۵۴
۱۱/۳۰	۱/۲۷	۰/۹۱	۰/۵۶	۰/۲۱	۸۰/۱	۵۱/۸۵	۲۹/۵۲	۴۶/۴۰	۰/۷۶۲	۰/۷۶۲
۱۱/۵۰	۱/۲۷	۰/۹۱	۰/۵۵	۰/۲۳	۱۵۲/۸	۵۹/۱۷	۵۹/۵۲	۴۶/۷۵	۱/۰۰۶	۱/۰۰۶
۱۱/۷۰	۱/۲۷	۰/۹۱	۰/۵۴	۰/۲۵	۲۷۳/۲	۷۱/۴	۹۰/۲۱	۴۷/۲۴	۱/۲۶۲	۱/۲۶۲
۱۱/۹۰	۱/۲۷	۰/۹۱	۰/۵۴	۰/۲۶	۴۷۰	۸۸/۱۴	۱۳۶/۲۴	۴۷/۸۵	۱/۵۵	۱/۵۵
۱۲/۰۴	۱/۲۷	۰/۹۱	۰/۵۴	۰/۲۵	۸۵۷/۷	۱۲۱/۴۰	۲۳۲/۲۰	۴۸/۶۵	۱/۸۴	۱/۸۴

ستون ۱ : مقادیر فرض شده برای R'_b

ستون ۲ : محاسبه U'_{*b} طبق رابطه (۵) با فرض $S = ۰/۰۰۱۰۵$

ستون ۳ : محاسبه δ طبق رابطه (۶) با

ستون ۴ : محاسبه نسبت K_s/δ، (متر) $k_s = d_{۶۵} = ۰/۰۰۰۳۵$

ستون ۵ : تعیین ضریب x از شکل (۵)

ستون ۶ : محاسبه Δ طبق مرحله ۶

ستون ۷ : محاسبه U طبق رابطه (۸) مرحله ۷

ستون ۸ : محاسبه ψ' با فرض (متر) $D_{۳۵} = ۰/۰۰۰۲۹$ ، $\rho_s = ۲/۶۵$ و (گرم بر متر مکعب) $\rho = ۱$

ستون ۹ : تعیین U/U''_{*b} طبق شکل (۱۴) مرحله ۹

ستون ۱۰ : محاسبه U''_{*b} طبق مرحله ۱۰

ستون ۱۱ : محاسبه R''_b طبق فرمول (۱۰) مرحله ۱۱

ستون ۱۲ : محاسبه R_b طبق فرمول (۱۱) مرحله ۱۲

ستون ۱۳ : محاسبه d برحسب R از منحنی مربوطه در شکل (۱۷)

ستون ۱۴ : از شکل (۱۷)

ستون ۱۵ : از منحنی مربوطه در شکل (۱۵)

ستون ۱۶ : از منحنی مربوطه در شکل (۱۵)

ستون ۱۷ : محاسبه Q براساس رابطه (۱۲) مرحله ۱۷

ستون ۱۸ : محاسبه X از رابطه (۱۳-الف یا ۱۳-ب) مرحله ۱۸

ستون ۱۹ : محاسبه Y از شکل (۱۶)

ستون ۲۰ : محاسبه β_x از رابطه (۱۴) مرحله ۲۰

ستون ۲۱ : محاسبه $(\beta/\beta_x)^۲$ با استفاده از رابطه (۱۵) مرحله ۲۱

ستون ۲۲ : محاسبه P_E طبق رابطه ۱۶ مرحله ۲۲

۳-۴-۳ محاسبه مقدار بارکل با روش انیشتین

گامهای محاسباتی مربوط به بارکل در جدول (۱۲) ارائه گردیده است.

جدول ۱۲- محاسبات بارکل مربوط به مثال با استفاده از روش انیشتین

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
D (متر)	i_B (-)	R'_b (فوت)	ψ (-)	D/X (-)	ξ (-)	ψ_* (-)	ϕ_* (-)	$i_B\ q_B$ (کیلوگرم نیرو بر ثانیه در متر)	$i_B\ Q_B$ (تن بر روز)
۰/۰۰۴۹۵	۰/۱۷۸	۰/۱۵۲۵	۵/۰۸	۱/۲۳	۱/۰۸	۲/۹۰	۱/۹۰	۰/۰۳۹۷۱۰۳۵	۱۰۷/۷۷
		۰/۳۵۰	۲/۵۴	۱/۷۴	۱/۰۰	۱/۷۳	۴/۰۰	۰/۰۸۳۶۰۰۷۴۳	۲۹۹/۷۶
		۰/۶۰۱	۱/۲۷	۲/۳۵	۱/۰۰	۰/۹۰	۸/۲۰	۰/۱۷۱۳۸۱۵۲۴	۷۶۷/۷۶
		۰/۹۱۴	۰/۸۵	۲/۱۶	۱/۰۰	۰/۶۰	۱۲/۸۰	۰/۲۶۷۵۲۲۳۸	۱۳۶۷/۶۵
		۱/۲۱۹	۰/۶۳	۲/۰۵	۱/۰۰	۰/۴۳	۱۸/۰۰	۰/۳۷۶۲۰۳۳۴۷	۲۳۲۰/۸
		۱/۵۲۴	۰/۵۱	۲/۰۳	۱/۰۰	۰/۳۵	۲۲/۵۰	۰/۴۷۰۲۵۴۱۸۴	۳۵۸۱/۱۲
		۱/۸۳	۰/۴۲	۱/۹۸	۱/۰۰	۰/۲۹	۲۷/۰۰	۰/۵۶۴۳۰۵۰۲۱	۵۹۱۸/۹۷
۰/۰۰۳۵۱	۰/۴۰۲	۰/۱۵۲۵	۳/۳۸	۰/۸۲	۱/۳۶	۲/۴۴	۲/۴۵	۰/۰۶۹۰۵۱۸۲۵	۱۸۷/۳۹۴
		۰/۳۵۰	۱/۶۹	۱/۱۶	۱/۱۰	۱/۲۷	۵/۵۰	۰/۱۵۵۰۱۴۳۰۱	۵۵۵/۸۲
		۰/۶۰۱	۰/۸۵	۱/۵۷	۱/۰۱	۰/۶۱	۱۲/۶۰	۰/۳۵۵۱۲۳۶۷۲	۱۵۹۰/۸۹۷
		۰/۹۱۴	۰/۵۶	۱/۴۴	۱/۰۴	۰/۴۱	۱۹/۰۰	۰/۵۳۵۵۰۳۹۴۹	۲۷۳۶/۶۵۰
		۱/۲۱۹	۰/۴۲	۱/۳۷	۱/۰۵	۰/۳۰	۲۶/۰۰	۰/۷۳۲۷۹۴۸۷۸	۴۵۲۰/۵۸
		۱/۵۲۴	۰/۳۴	۱/۳۵	۱/۰۵	۰/۲۵	۳۱/۵۰	۰/۸۸۷۸۰۹۱۷۹	۶۷۶۰/۹۳
		۱/۸۳	۰/۲۸	۱/۳۲	۱/۰۵	۰/۲۰	۳۹/۰۰	۱/۰۹۹۱۹۲۳۱۸	۱۱۵۲۹/۳۸۴
۰/۰۰۰۲۴۷	۰/۳۲۰	۰/۱۵۲۵	۲/۵۴	۰/۶۱	۲/۲۵	۳/۰۳	۱/۷۵	۰/۰۲۳۳۱۷۸۱۷	۶۳/۲۸
		۰/۳۵۰	۱/۲۷	۰/۸۷	۱/۲۶	۱/۰۹	۶/۸۰	۰/۰۹۰۶۰۶۳۷۶	۳۲۴/۸۸
		۰/۶۰۱	۰/۶۳	۱/۱۷	۱/۱۰	۰/۴۹	۱۵/۸۰	۰/۲۱۰۵۲۶۵۸	۹۴۳/۱۲
		۰/۹۱۴	۰/۴۲	۱/۰۸	۱/۱۲	۰/۳۳	۲۳/۵۰	۰/۳۱۳۱۲۴۹۷۷	۱۴۰۲/۷۵
		۱/۲۱۹	۰/۳۲	۱/۰۴	۱/۱۵	۰/۲۵	۳۱/۵۰	۰/۴۱۹۷۲۰۷۱۴	۲۵۸۹/۲۴
		۱/۵۲۴	۰/۲۵	۰/۰۱	۱/۱۷	۰/۲۰	۳۹/۵۰	۰/۵۲۶۳۱۶۴۵۱	۴۰۰۸/۰۵
		۱/۸۳	۰/۲۱	۰/۹۹	۱/۱۹	۰/۱۷	۴۶/۰۰	۰/۶۱۲۹۲۵۴۸۷	۶۴۲۸/۹۵
۰/۰۰۰۱۷۴	۰/۰۵۸	۰/۱۵۲۵	۱/۸۰	۰/۴۳	۵/۴۰	۵/۱۵	۰/۵۸	۰/۰۰۰۸۲۲۳۱۹۴	۲/۲۳
		۰/۳۵۰	۰/۹۰	۰/۶۱	۲/۲۸	۱/۳۹	۵/۱۰	۰/۰۰۷۲۳۸۴۳	۲۵/۹۵
		۰/۶۰۱	۰/۴۵	۰/۸۳	۱/۳۷	۰/۴۴	۱۷/۵۰	۰/۰۲۴۸۳۷۷۵	۱۱۱/۲۷
		۰/۹۱۴	۰/۳۰	۰/۷۶	۱/۵۲	۰/۳۲	۲۵/۰۰	۰/۰۳۵۴۸۲۵۰۱	۱۸۱/۴
		۱/۲۱۹	۰/۲۲	۰/۷۲	۱/۶۰	۰/۲۵	۳۱/۵۰	۰/۰۴۴۷۰۷۹۵۱	۲۷۵/۸
		۱/۵۲۴	۰/۱۸	۰/۷۱	۱/۶۵	۰/۲۰	۳۹/۵۰	۰/۰۵۶۰۶۲۳۵۱	۴۲۶/۹۳
		۱/۸۳۰	۰/۱۵	۰/۷۰	۱/۷۰	۰/۱۸	۴۳/۵۰	۰/۰۶۱۷۳۹۵۵۱	۶۴۷/۶

ادامه جدول ۱۲- محاسبات بار مواد بستر مربوط به مثال روش انیشتین

۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱
$\Sigma i_T G_T$ (تن بر روز)	$i_T Q_T$ (تن بر روز)	$i_T q_T$ (کیلوگرم نیرو بر ثانیه در متر)	$P_E I_1 + I_2 + 1$ (-)	$-I_2$ (-)	I (-)	Z (-)	$10^3 E$ (-)	$\Sigma i_B G_B$ (تن بر روز)
۶۰۶/۵	۱۵۳	۰/۰۵۶۳۸۸	۱/۴۲	۰/۴۴	۰/۰۷۸	۳/۷۸	۲/۳۸	۳۶۰/۶۷۴
۳۵۷۲	۵۱۲/۶	۰/۱۴۲۹۵۷۲۷	۱/۷۱	۰/۷۴	۰/۱۳۱	۲/۶۵	۱/۸۴	۱۲۰۶۴/۱
۲۷۶۳۹	۱۸۷۳	۰/۴۱۸۱۷۰۹۱۸	۲/۴۴	۱/۲۷	۲/۴۰	۱/۸۸	۱/۳۰	۴۶۲۰/۲۱۷
۱۲۹۹۰۴	۴۷۰۴	۰/۹۲۰۲۷۶۹۸۷	۳/۴۴	۲/۰۱	۰/۳۸۵	۱/۵۳	۰/۹۸	۵۶۸۸/۴۵
۳۱۵۰۰۲	۱۱۰۲۳	۱/۷۸۶۹۶۵۸۹۸	۴/۷۵	۲/۸۰	۰/۵۶۰	۱/۳۳	۰/۷۸	۱۵۳۹۴/۸۷
۷۳۰۹۵۶	۲۴۲۸۰	۳/۱۸۸۳۲۳۳۶۸	۶/۷۸	۳/۸۵	۰/۸۱۰	۱/۱۸	۰/۶۳	۳۰۱۷۱/۹
۱۷۴۶۰۷۵	۴۰۱۳۰	۳/۸۲۵۹۸۸۰۴۲	۹/۲۰	۴/۹۰	۱/۰۹۰	۱/۰۸	۰/۵۴	۱۹۷۵۶/۴۵
	۳۰۰	۰/۱۱۰۴۸۲۹۲	۱/۶۰	۰/۶۸	۰/۱۱۷	۲/۸۸	۱/۶۹	
	۱۱۸۹	۰/۳۳۱۷۳۰۶۰۴	۲/۱۴	۱/۱۹	۰/۲۱۰	۲/۰۲	۱/۳۱	
	۵۹۸۲	۱/۳۳۵۲۶۵۰۰۷	۳/۷۶	۲/۳۳	۰/۴۵۰	۱/۴۴	۰/۹۲	
	۱۸۴۲۴	۳/۶۰۳۹۴۱۵۷۷	۶/۷۳	۳/۸۵	۰/۸۳۰	۱/۱۷	۰/۷۰	
	۵۱۰۷۸	۸/۲۷۹۸۲۵۸۱۲	۱۱/۳۰	۵/۷۰	۱/۳۷۰	۱/۰۱	۰/۵۶	
	۱۱۷۶۴۰	۱۵/۴۴۷۸۷۹۷۲	۱۷/۲۰	۸/۱۰	۲/۱۲۰	۰/۹۰	۰/۴۵	
	۲۹۹۷۶۳	۲۸/۵۷۹۰۰۰۲۷	۲۶/۰۰	۱۰/۵۰	۲/۹۵۰	۰/۸۳	۰/۳۸	
	۱۴۱	۰/۰۵۱۹۹۸۷۳۴	۲/۲۳	۱/۲۹	۰/۲۳۰	۱/۹۴	۱/۱۹	
	۱۳۵۱	۰/۳۷۶۹۲۲۵۲۴	۴/۱۶	۲/۶۰	۰/۵۲۰	۱/۳۶	۰/۹۲	
	۱۱۵۰۶	۲/۵۶۸۴۲۴۲۷۶	۱۲/۲۰	۶/۱۰	۱/۵۳۰	۰/۹۷	۰/۶۵	
	۴۵۹۴۲	۸/۹۸۶۶۸۶۸۴	۲۸/۷۰	۱۱/۰۰	۳/۳۵۰	۰/۷۹	۰/۴۹	
	۱۴۴۹۹۷	۲۳/۵۰۴۵۹۹۸	۵۶/۰۰	۱۷/۵۰	۶/۲۰۰	۰/۶۸	۰/۳۹	
	۳۶۸۷۴۱	۴۸/۴۲۱۱۱۳۴۹	۹۲/۰۰	۲۵/۵۰	۹/۸۰۰	۰/۶۱	۰/۳۲	
	۹۳۸۶۲۷	۸۹/۴۸۷۱۲۱۱	۱۴۶/۰۰	۳۶/۰۰	۱۵/۰۰۰	۰/۵۵	۰/۲۷	
	۱۲/۵	۰/۰۰۴۵۶۳۸۷	۵/۵۵	۳/۳۵	۰/۷۲۰	۱/۱۲	۰/۸۵	
	۵۱۹	۰/۱۴۴۷۶۸۶	۲۰/۰۰	۸/۱۰	۲/۴۴۰	۰/۸۶	۰/۶۵	
	۸۲۷۸	۱/۸۴۷۸۸۳۹۶	۷۴/۴۰	۲۱/۵۰	۸/۴۰۰	۰/۶۱	۰/۴۶	
	۳۳۱۹۵	۶/۴۹۳۲۹۷۶۸۳	۱۸۳/۰۰	۴۱/۰۰	۱۹/۳۰۰	۰/۴۹	۰/۳۵	
	۱۰۷۹۰۴	۱۷/۴۹۱۴۵۳۵۱	۳۱۲/۰۰	۶۳/۰۰	۳۲/۰۰۰	۰/۴۳	۰/۲۸	
	۲۲۰۲۹۵	۲۸/۹۲۷۹۹۲	۵۱۶/۰۰	۹۱/۰۰	۵۱/۰۰۰	۰/۳۸	۰/۲۳	
	۴۶۷۵۵۵	۴۴/۵۷۵۹۵۵۸۲	۷۲۲/۰۰	۱۲۲/۰۰	۷۰/۰۰۰	۰/۳۵	۰/۱۹	

ستون ۱ : تعیین D از جدول (۱۰) (بر حسب فوت)

ستون ۲ : تعیین i_B از جدول (۱۰)

ستون ۳ : تعیین R'_b از ستون ۱ جدول (۷) (بر حسب فوت)

ستون ۴ : محاسبه ψ طبق رابطه ۱۶ گام ۴ مرحله ۳

ستون ۵ : محاسبه نسبت $\frac{D}{X}$ با استفاده از مقادیر X در ستون ۱۸ جدول (۷)

ستون ۶ : محاسبه ξ از شکل (۱۷)

ستون ۷ : محاسبه ψ_* براساس رابطه (۱۸) مرحله ۳

ستون ۸ : تعیین ϕ_* از شکل (۶)

ستون ۹ : محاسبه $i_B\ q_B$ از رابطه (۱۹) طبق گام ۹ مرحله ۳

ستون ۱۰ : محاسبه $i_B\ Q_B$ از معادله (۲۰) گام ۱۰ مرحله ۳

ستون ۱۱ : محاسبه $\Sigma i_B\ Q_B$ با استفاده از ستون ۱۰ بعنوان مثال

$۱۱۹/۰ + ۲۱۰/۰ + ۶۹/۰ + ۲/۵ = ۴۰۰/۵$

ستون ۱۲ : محاسبه E طبق رابطه ۲۱ گام ۱۲ مرحله ۳

ستون ۱۳ : محاسبه Z با استفاده از رابطه ۲۲ گام ۱۳ مرحله ۳

ستون ۱۴ : محاسبه مقدار $I_۱$ از شکل (۱۱)

ستون ۱۵ : محاسبه مقدار $I_۲$ از شکل (۱۲)

ستون ۱۶ : محاسبه $P_E\ I_۱ + I_۲ + ۱$ از رابطه ۲۳ مرحله ۳

ستون ۱۷ : محاسبه $i_T\ q_T$ از رابطه ۲۳ مرحله ۳

ستون ۱۸ : محاسبه $i_T\ Q_T$ از رابطه (۲۴) مرحله ۳

ستون ۱۹ : محاسبه $\Sigma i_T\ Q_T$ با استفاده از نتایج ستون ۱۸، به‌عنوان مثال اولین عدد موجود در ستون ۱۹ برای هر محدوده محاسبه می‌شود.

$۱۶۸ + ۳۳۵ + ۱۵۳ + ۱۴ = ۶۷۰$ روز/ تن

پیوست

میانیابی در روش کلبی

از آنجا که در اکثر مواقع تعیین مستقیم بار رسوبی (q_n) از نمودار کلبی شکل (۱) میسر نیست، لذا اغلب ضروری است مقدار q_n به روش میانیابی تعیین گردد. ذیلاً نحوه میانیابی در روش کلبی توضیح داده می‌شود:

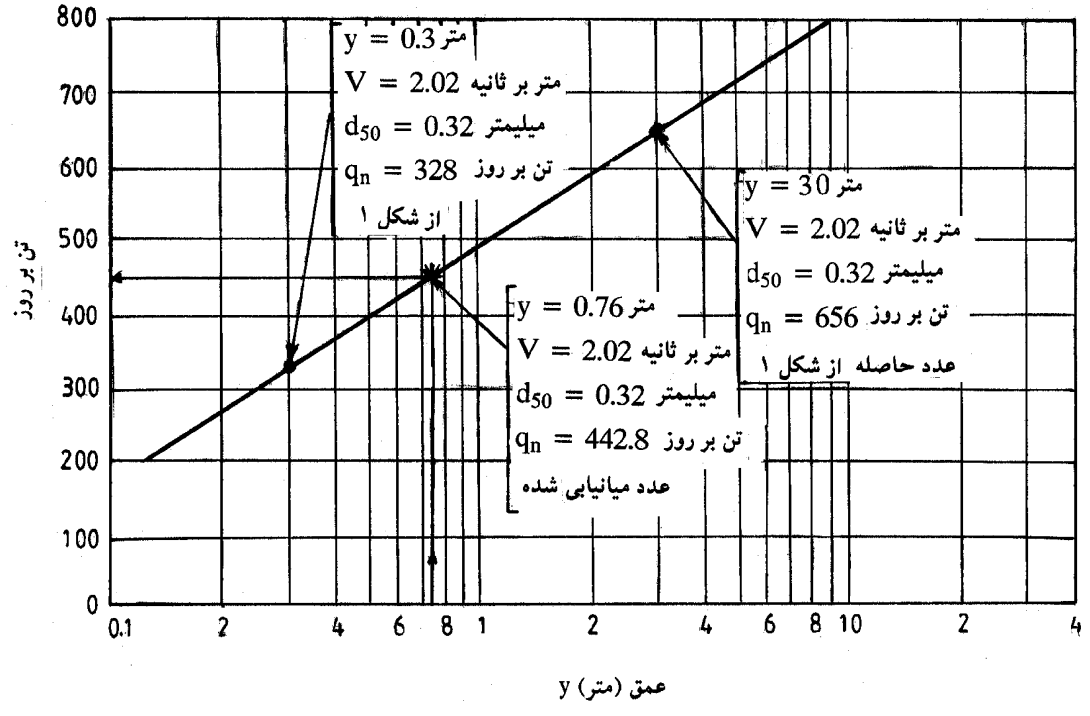
براساس مشخصات جریان، مندرج در مثال مذکور در متن (مبحث ۳-۱ روش اول):

y_o = ۰/۷۶ متر

V = ۲/۰۲ متر بر ثانیه

d_{50} = ۰/۲۳ میلیمتر

با مراجعه به شکل ۱ تعیین بار رسوبی نظیر مقادیر فوق به‌طور مستقیم امکانپذیر نیست و باید مقدار q_n با استفاده از نمودار ۱ در ذیل که با استناد به اطلاعات حاصله از شکل (۱) ترسیم می‌گردد، میانیابی شود. همان‌طور که از نمودار ۱ برمی‌آید، عدد میانیابی شده برای q_n معادل ۴۴۲/۸ تن بر روز است.



نمودار ۱- طریقه میانیابی برای تعیین q_n در روش کلبی

۴- منابع و مآخذ

1- Colby,B.R. and C.H. Hembree, (1955), "Computation of Total Sediment Discharge, Niobrara River Near Cody, Nebraska". U.S.Geological survey, Water - Supply paper 1357.

2- Colby, B.R., and D.W. Hubbell. (1961), "Simplified Methods for Computing Total Sediment Discharge with the Modified Einstein Procedure, "U.S.Geological Survey, Water - Supply paper 1593, 17 p.

3- Colby B.R., (1964), "Practical Computation of Bed - Material Discharge," J. of the Hydraulics Div., ASCE, Vol. 90, No. Hyd 2.

4- Einstein, H.A. ,(1950), "The Bed Load Function for Sediment Transportation in Open Channels ", U.S. Dept. Agr. , Soil Conserv. Serv. , Tech. Bull. 1026.

5- Einstein, H.A. ,and Barbarossa N. (1952), "River Channel Roughness", Transactions, ASCE, Vol. 117, pp. 1121 - 1146.

6- Lara, J.M., (1966), "Change in the Modified Einstein Procedure to Compute "Z". Sedimentation Sec., Hydrol. Branch, Bureau of Reclamation, U.S. Dept of the Interior.

7- Schroeder, K.B. and C.H.Hembree (1956)", Application of the Modified Einstein Procedure for Calculation of Total Sediment load" Trans. Amer. Geophy Union, Vol.37, No.2, April, pp. 197-212.

8- Simons, D.B., and Senturk, F., (1992), " Sediment Transport Technology", Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, U.S.A.

9- Vanoni V.A., (1987), "Sedimentation Engineering", ASCE, Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 54, New York.

10- Yang, C.T., (1996), "Sediment Tromsport", Mc - Graw - Hill Pub. Co., New York.

۱۱- راهنمای تعیین منحنی دبی – اشل رودخانه با استفاده از روش انیشتین باربا‌روسا نشریه شماره ۱۵۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی

خواننده گرامی

دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، بصورت تألیف و ترجمه تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی بکار برده شود. به این لحاظ برای آشنایی بیشتر، فهرست عناوین نشریاتی که طی دو سال اخیر به چاپ رسیده است باطلاع استفاده کنندگان و دانش‌پژوهان محترم رسانده می‌شود.

لطفاً برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی www.mporg.ir/s.htm مراجعه نمائید.

دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی

In the Name of God
Islamic Republic of Iran
Ministry of Energy
Iran Water Resources Management CO.
Deputy of Research
Office of Standard and Technical Criteria

Guideline for Determination of Bedload by Einsten and Colby Methods

Publication No. 273

این نشریه

با عنوان "راهنمای تعیین بار کل رسوب رودخانه ها به روش انیشتین و کلبی" نحوه تعیین بار کل رسوب رودخانه به روش انیشتین، کلبی و انیشتین اصلاح شده را ارائه می کند.

روشهای انیشتین، اصلاح شده انیشتین و کلبی علاوه برداشتن پشتوانه تحقیقاتی، از محک‌زنی‌های تجربی در شرایط طبیعی نیز برخوردار است.

در این نشریه جزییات محاسباتی هر یک از این روشها، همراه با ذکر مثالهایی ارائه شده است.

معاونت امور پشتیبانی

مرکز مدارک علمی و انتشارات

ISBN 964-425-483-X

9789644254833