

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

۱۳۸۳

انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ۸۲/۰۰/۱۰۱



omoorepeyman.ir

## فهرستبرگه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی  
راهنمای تعیین بار کل 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؛  
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور پشتیبانی، مرکز مدارک علمی و انتشارات، ۱۳۸۳.  
۵۶ ص: جدول، نمودار - (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر تدوین ضوابط و معیارهای  
فنی؛ نشریه شماره ۲۷۳) (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی 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

۱۳۸۲ ش. ۲۷۳ / ۲۴ س / ۳۶۸ TA

ISBN 964-425-487-2

شابک ۹۶۴-۴۲۵-۴۸۷-۲

راهنمای تعیین بار کل رسوب رودخانه‌ها به روش انیشتین و کلبی  
ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی 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.



omoorepeyman.ir



بسمه تعالی

ریاست جمهوری  
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور  
دفتر رئیس سازمان

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

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

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چهارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت/۱۴۸۹۸ هـ، مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران) به پیوست نشریه شماره ۲۷۳ دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی 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 بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست.

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

من... التوفیق

محمد ستاری فر

معاون رئیس‌جمهور و رئیس 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، ابهام و اشکالات موضوعی نیست. از این رو، 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 نظریات 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 شیخ بهائی، 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](http://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 هیات 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 تمام شده طرحها را مورد تاکید جدی قرار داده است.

باتوجه به مراتب یادشده 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 تدوین ضوابط و معیارهای فنی) 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 تهیه کننده 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 استاندارد مشارکت کنند.

معاون امور فنی

زمستان ۱۳۸۲



## ترکیب اعضای 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	فوق لیسانس آبیاری و آبادانی
آقای فیروز بهادری	دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	فوق لیسانس منابع آب
آقای سید محمودرضا بهبهانی	دانشگاه تهران	دکترای منابع آب و خاک
آقای سید جمال‌الدین پرورده	شرکت تماب	فوق لیسانس هیدرولوژی
خانم کیانداخت 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

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





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 دوره زمانی از دیدگاه علمی بگذرد تا یکی از این روشها بتواند خود را از بونه تجربه و امتحان موفق بیرون بکشد. در بین روشهای متعدد محاسبه 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 پشتوانه تحقیقات آزمایشگاهی، از محک‌زنی‌های تجربی در شرایط طبیعی نیز برخوردارند. از جمله این روش‌ها می‌توان روش کلبی<sup>۱</sup>، روش انیشتین<sup>۲</sup> و روش اصلاح شده انیشتین<sup>۳</sup> را برشمرد.

در روش انیشتین مقدار بار شسته<sup>۴</sup> 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 جزئیات محاسباتی هر یک از روشهای مزبور پرداخته شده است.

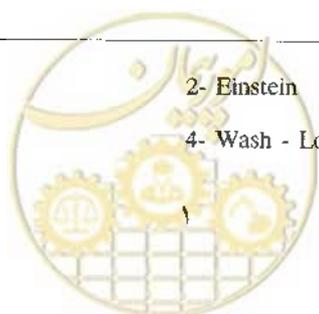
البته علاوه بر روش‌های مندرج در این نشریه، روش‌های متعدد دیگری نیز برای تعیین بار کل رسوب رودخانه متداول است که معرفی آنها مستلزم تدوین نشریات جداگانه‌ای است. طرح استانداردها در نظر دارد در آینده روشهای جدید را بررسی و مورد ارزیابی قرار داده و توصیه‌های لازم برای استفاده از هر روش را ارائه نماید.

1- Colby

2- Einstein

3- Modified Einstein Method

4- Wash - Load



# ۱- محاسبه بار کل رودخانه به روش کلی

## ۱-۱ مقدمه

روش کلی، بار کل را برای هر بده معین و براساس داده‌های ثبت شده (مانند: دمای آب، قطر میانه 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 کلی 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 کلی از جمله روشهایی است که برای تعیین بار کل کاربرد دارد.

## ۲-۱ روش محاسبه

برای محاسبه بار مواد بستر، کلی در سال ۱۹۶۴ روشی را پیشنهاد نموده که به لحاظ سادگی بسیار متداول است. در این روش برای محاسبه 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 میانه دانه‌های مواد بستر و یا هر قطر مورد نظر (میلیمتر)

$T$  - درجه 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 میانه دانه‌های مواد بستر ( $d_{50}$ ) می‌توان مقدار تصحیح نشده 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 برحسب درجه 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 شده بار کل (برحسب تن بر روز در واحد عرض رودخانه) برابر است با:

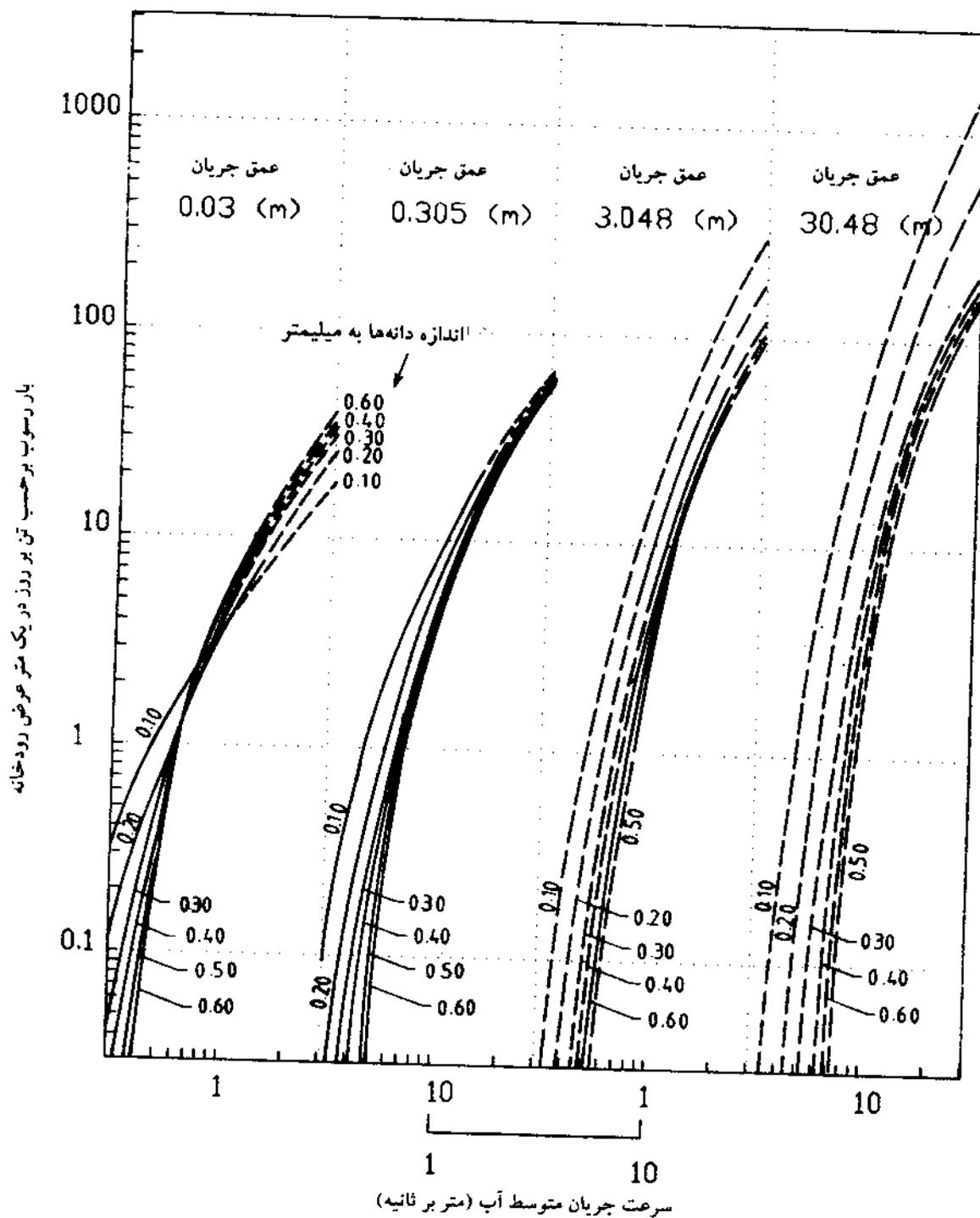
$$q_T = [1 + (k_2 k_1 - 1) k_3] q_n \quad (1)$$

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 وسیله جریان آب برابر است با:

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

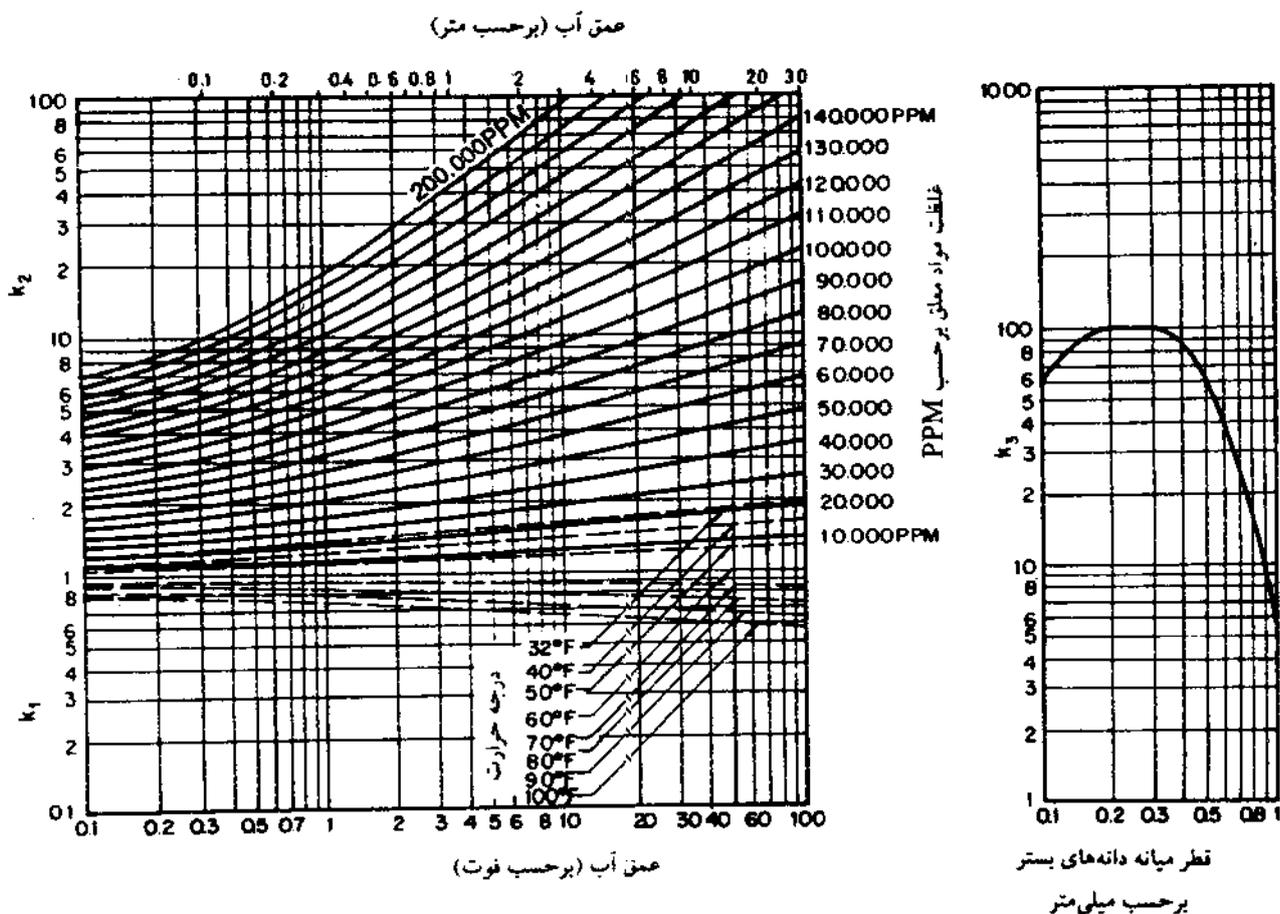


برای تعیین بار رسوب می‌توان به دو صورت عمل کرد: الف - مقدار رسوب برای مجموعه مواد بستر به‌طور یکجا حساب می‌شود. ب - مقدار رسوب برای هر یک از اندازه‌های مختلف مواد بستر به‌طور جداگانه محاسبه و سپس با یکدیگر جمع می‌شود.



شکل ۱ - مقادیر تصحیح نشده بار مواد بستر بر حسب عمق جریان و اندازه متوسط دانه‌های بستر (برای دمای آب ۱۵ درجه سانتیگراد یا ۶۰ درجه فارنهایت) [۸۳]



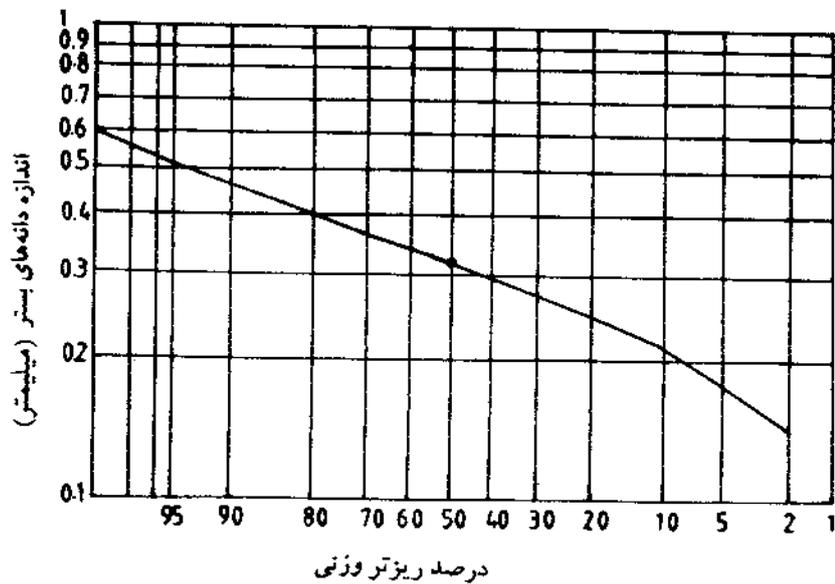


شکل ۲- منحنیهای تصحیح برای درجه حرارت‌های مختلف و غلظت مواد معلق در روش کلیبی [۲]

برای روشن شدن موضوع، مثال زیر ارائه شده است :

### ۳-۱ مثال عددی

اندازه‌گیریهای انجام شده برای مقطع یک رودخانه، سرعت متوسط آب را برای عمق متوسط ۰/۷۶ متر برابر با ۲/۰۲ متر بر ثانیه و پهنای رودخانه را ۵۱/۸۳ متر نشان داده است. دمای آب  $21^{\circ}\text{C}$  (۷۰ درجه فارنهایت) و غلظت متوسط مواد معلق برابر با ۱۰۰۰۰ ppm 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:

$$y_0 = 0.76 \text{ (متر)}$$

$$V = 2.02 \text{ (متر بر ثانیه)}$$

$$d_{50} = 0.32 \text{ (میلیمتر)}$$

برای تعیین  $q_n$  (از شکل ۱) با توجه به اینکه عمق آب برابر با  $0.76$  متر است، باید ابتدا مقادیر  $q_n$  را برای عمق نظیر  $0.3$  متر و  $3$  متر تعیین و سپس با میانبایی لگاریتمی مقدار  $q_n$  نظیر عمق  $0.76$  متر را مشخص نمود. (روش میانبایی در پیوست آورده شده است). بر این اساس می‌توان نوشت:

$$q_n = 328 \text{ تن بر روز بر متر (برای عمق نظیر } 0.3 \text{ متر)}$$

$$q_n = 656 \text{ تن بر روز بر متر (برای عمق نظیر } 3 \text{ متر)}$$

$$q_n = 442.8 \text{ تن بر روز بر متر (برای عمق نظیر } 0.76 \text{ متر)}$$

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

$$k_1 = 0.91$$

از شکل ۲

$$k_2 = 1/22$$

از شکل ۲



$$k_r = 0/99 \quad \text{از شکل ۲}$$

$$q_T = \{1 + (1/22 \times 0/91 - 1) \cdot 0/99\} \times 442/8 = 491/1 \quad \text{(تن بر روز بر متر) از رابطه ۱}$$

$$Q_T = 51/83 \times 491/1 = 25454 \quad \text{(تن بر روز) از رابطه ۲}$$

### ۲-۳-۱ 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  $d = 0/495 \text{ mm}$  داریم:

$$y_0 = 0/76 \quad \text{(متر)}$$

$$V = 2/02 \quad \text{(متر بر ثانیه)}$$

$$d = 0/495 \quad \text{(میلیمتر)}$$

$$q_n = 367/36 \quad \text{(تن بر روز بر متر) از شکل ۱}$$

$$k_1 = 0/91 \quad \text{از شکل ۲}$$

$$k_r = 1/22 \quad \text{از شکل ۲}$$

$$k_r = 0/62 \quad \text{از شکل ۲}$$

$$q_T = \{1 + (0/91 \times 1/22 - 1) \cdot 0/62\} \cdot 367/36 = 392/46 \quad \text{(تن بر روز بر متر) از معادله ۲}$$

از آنجا که  $17/8\%$  مواد بستر دارای قطر متوسط  $0/495$  میلیمتر هستند (جدول ۱)، لذا داریم:

$$i_B = 0/178 \quad \text{(نسبت دانه بندی محدوده مورد نظر)}$$

$$i_B q_T = 0/178 \times 392/46 = 69/86 \quad \text{(تن بر روز بر متر)}$$

$$i_B Q_T = 69/86 \times 51/83 = 3620/7 \quad \text{(تن بر روز)}$$

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

d	$i_B$	$y_0$	W	V	$q_n$	$k_1$	$k_r$	$q_T$	$i_B q_T$	$i_B Q_T$
0/351	0/402	0/76	51/83	2/02	393/6	0/91	1/22	432/96	173/84	9010
0/248	0/320	0/76	51/83	2/02	459/2	0/91	1/22	508/7	164	8500
0/175	0/058	0/76	51/83	2/02	534/62	0/91	1/22	590/4	32/8	1700

مجموع بار رسویی حمل شده توسط رودخانه برابر است با:

$$\sum i_B Q_T = 3620/7 + 9010 + 8500 + 1700 = 22830/7 \text{ (تن بر روز)}$$

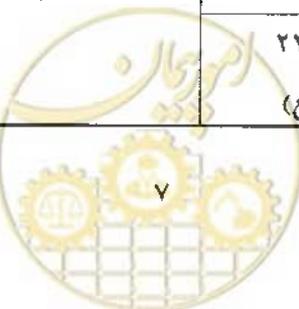
خلاصه محاسبات با روش مزبور در جدول ۲ درج گردیده است.

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

محدوده قطر (میلیمتر)	اندازه متوسط هندسی (میلیمتر)	درصد مواد موجود در هر محدوده (%)	سرعت ته نشینی دانه ها (سانتی متر بر ثانیه)
$d > 0/589$	-	2/4	-
$0/589 > d > 0/417$	0/495	17/8	5/20
$0/417 > d > 0/295$	0/351	40/2	3/75
$0/295 > d > 0/208$	0/248	32/0	2/70
$0/208 > d > 0/147$	0/175	5/8	1/70
$0/147 > d$	-	1/8	-
$d_{50} = 0/32$ (میلیمتر) $d_{60} = 0/35$ (میلیمتر) $d_{30} = 0/29$ (میلیمتر)			

جدول ۲- خلاصه محاسبات بار کل از روش کلی (مربوط به مثال ذکر شده)

قطر متوسط هندسی (میلیمتر)	محدوده قطر (میلیمتر)	$i_B Q_T$ (تن بر روز)	$i_B Q_T$ (%)
-	$> 0/589$	-	-
0/495	$0/417 - 0/589$	3570	15/70
0/351	$0/295 - 0/417$	9010	39/55
0/248	$0/208 - 0/295$	8500	37/30
0/175	$0/147 - 0/208$	1700	7/45
-	$< 0/147$	-	-
		22780 (جمع)	100



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 ۳ علاوه بر عمق متوسط متر  $y_0 = 0.76$  سایر عمقها برای رودخانه مورد نظر و همچنین مشخصات مقطع متوسط و سرعت جریان درج شده است.

جدول ۳- مشخصات بده، عمق، سرعت جریان و عرض سطح آب رودخانه 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 کلی، 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 بار کل برای مثال مذکور به روش کلی برای عمق و اندازه‌های مختلف

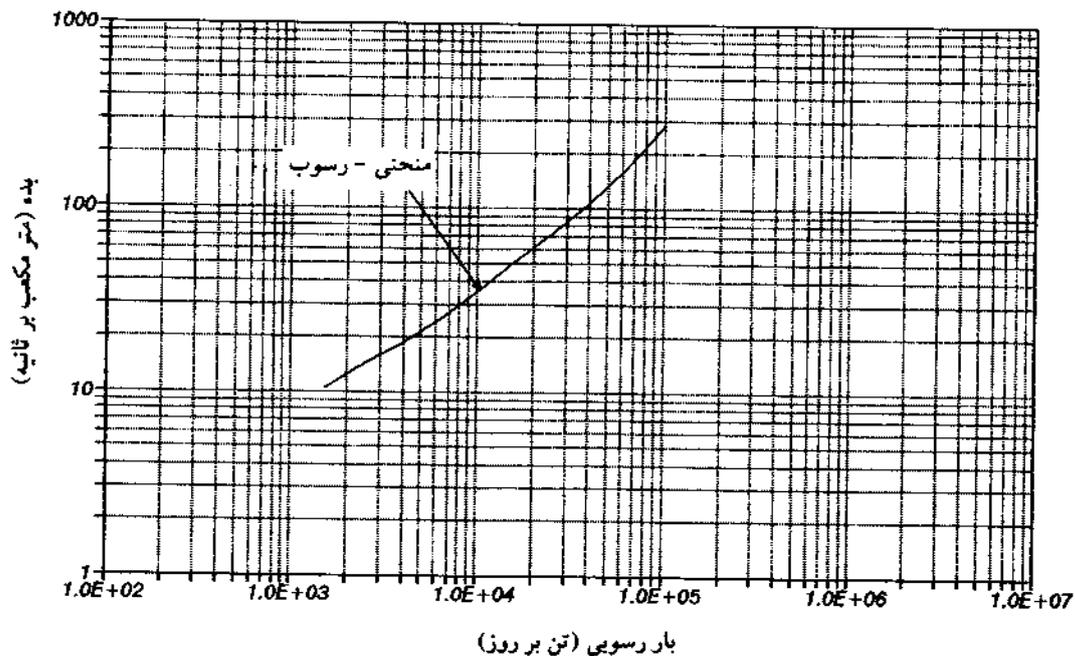
d	$10^2 i_B$	$y_0$	W	V	$q_n$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$q_T$	$i_B q_T$	$i_B Q_T$	$\sum i_B q_T$
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۰/۴۹۵	۱۷/۸	۰/۴۲	۳۱/۴۰	۰/۷۷	۳۹/۳۶	۰/۹۲	۱/۲۰	۶۲	۴۲/۶۴	۷/۵۴	۲۳۷	۱۷۱۰
		۰/۵۳۶	۴۱/۴۵	۱/۱۶	۱۳۱/۲۰	۰/۹۱	۱/۲۱	۵۲	۱۴۱/۰۴	۲۵/۲۵	۱۰۵۰	۶۹۰۸
		۰/۷۶۲	۵۱/۸۲	۱/۷۴	۳۶۷/۳۶	۰/۹۱	۱/۲۲	۶۲	۳۹۰/۳۲	۶۸/۸۸	۳۵۷۰	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	

$K_p$  برحسب درصد محاسبه شده است.

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 اندازه رسوبات داده شده در جدول ۱
- (۲)  $i_B$  (%) درصد رسوبات مربوط به هر محدوده استخراج از جدول ۱
- (۳)  $y_0$  (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 درجه 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 اندازه 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 اندازه  $d$  دانه‌های بستر
- (۱۲)  $i_B Q_T = W i_B q_T$  (تن بر روز) بار رسوبی مربوط به تمامی عرض بستر متناظر با اندازه  $d$  دانه‌های بستر
- (۱۳)  $\sum i_B Q_T$  (تن بر روز) بار رسوبی مربوط به تمام اندازه دانه‌های بستر



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



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

### ۱-۲ مقدمه

روش اصلاح شده انیشتین<sup>۱</sup> برای محاسبه میزان بار کل رسوبات رودخانه‌ای توسط کلیبی و همبری<sup>۲</sup> [۱] از انجمن نقشه‌برداری زمین‌شناسی<sup>۳</sup> در لینکولن<sup>۴</sup> نبراسکا<sup>۵</sup> کشور آمریکا پیشنهاد گردیده است. این روش پس از چندین سال تحقیقات مشترک سازمان احیاء اراضی آمریکا<sup>۶</sup> و انجمن نقشه‌برداری زمین‌شناسی آمریکا<sup>۷</sup> روی رودخانه‌های عریض، کم‌عمق و با بستر ماسه‌ای نبراسکا ارائه شده است. مشاهدات عملی انجام شده توسط بخش کیفیت آب<sup>۸</sup> 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 به کار 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<sup>۹</sup> رودخانه را می‌توان برای هر مقطعی از رودخانه و برای بده‌های مختلف محاسبه کرد. در صورتی که روش اصلاح شده، میزان کل بده رسوب<sup>۱۰</sup> (شامل مواد بستر و بار شسته<sup>۱۱</sup>) 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 با توجه به اینکه هدف از تهیه این استاندارد آشنایی کارشناسان ذیربط با کاربرد روش می‌باشد، لذا در ادامه بحث سعی شده است تا از مسائل تئوری اجتناب گردد. بدیهی است به منظور کاربردی کردن نشریه سعی گردید «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

### ۱-۲-۲ مرحله اول: داده‌های موردنیاز

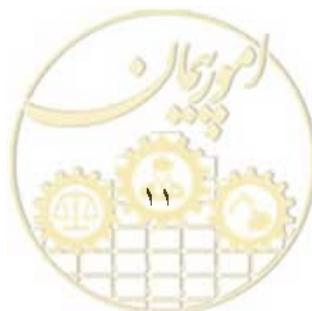
این داده‌ها شامل:

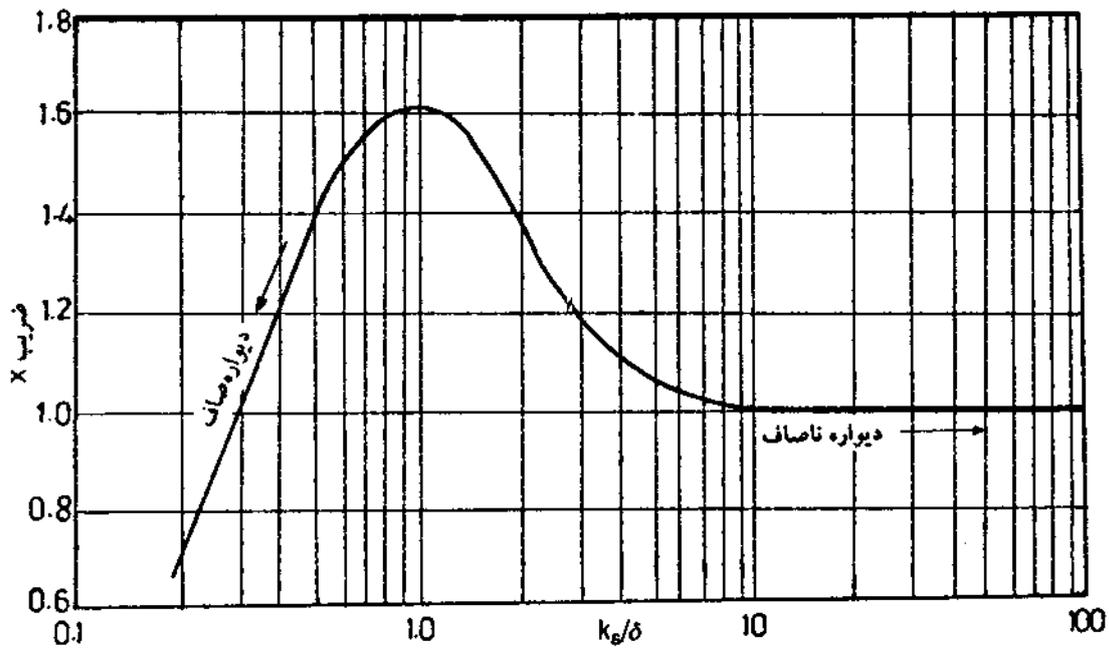
- بده جریان (Q)
- عرض رودخانه در مقطع موردنظر (W)
- سرعت متوسط جریان در آن مقطع (U)
- عمق متوسط جریان (d)
- عمق متوسط در قائم نمونه برداری ( $d_s$ )، در اکثر مواقع مقدار  $d$  و  $d_s$  نزدیک به هم بوده و می‌توان آنها را برابر گرفت، بخصوص هنگامی که روش سرعت مساوی [۱۱] در نمونه برداری بار معلق به کار 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 نمونه بردار مورد استفاده برای تهیه نمونه‌های بار معلق. [این مورد برای مشخص کردن فاصله قائم میله نمونه بردار بار معلق از بستر رودخانه ( $a'$ ) موردنیاز است].
- غلظت متوسط رسوب (وزنی) اندازه‌گیری شده برحسب ppm ( $C_m$ )
- توزیع دانه‌بندی رسوب معلق اندازه‌گیری شده (محدوده، 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)
- $D_{۶۵}$  و  $D_{۳۵}$  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:

$$\sqrt{R'S} = \frac{U}{18/0.14 \log_{10} \{ 12/27 \times d/D_{۶۵} \}} \quad (1)$$





شکل ۵- تغییرات ضریب تصحیح X بر حسب نسبت  $k_s/\delta$  [۴]

در این رابطه X ضریب تصحیح است که مقدار X را از شکل (۵) بر حسب نسبت  $\frac{k_s}{\delta}$  می توان تعیین کرد. مقدار  $\delta$  ضخامت زیر لایه ورقه‌ای می باشد و از رابطه (۲) بدست می آید:

$$\delta = 11/6 \frac{\nu}{u_*} = 11/6 \frac{\nu}{\sqrt{gR'S}} = 3/70.36 \frac{\nu}{\sqrt{R'S}} \quad (2)$$

در این رابطه  $\nu$  لزجت سینماتیک (سانتیمتر مربع بر ثانیه) می باشد که مقدار آنرا بر حسب درجه حرارت آب می توان از جدول شماره ۸ به دست آورد.

برای محاسبه مقدار X بدین ترتیب عمل می شود که ابتدا فرض می گردد، که بستر رودخانه کاملاً زبر است، در نتیجه از شکل (۵)، مقدار X برابر یک می باشد. با جایگزین کردن  $X = 1/0$  در رابطه (۱)، مقدار  $\sqrt{R'S}$  محاسبه می شود. سپس از رابطه (۲) مقدار  $\delta$  و از شکل (۵) مقدار X به دست می آید. در این شکل  $K_s = D_{65}$  می باشد. مجدداً با X به دست آمده مراحل فوق تکرار و X جدیدی به دست می آید. این عملیات تا زمانیکه X های متوالی تقریباً برابر باشند ادامه می یابد.

مقدار  $P_m$  از رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$P_m = 2/3 \log \frac{30/2xd}{D_{65}} \quad (3)$$



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

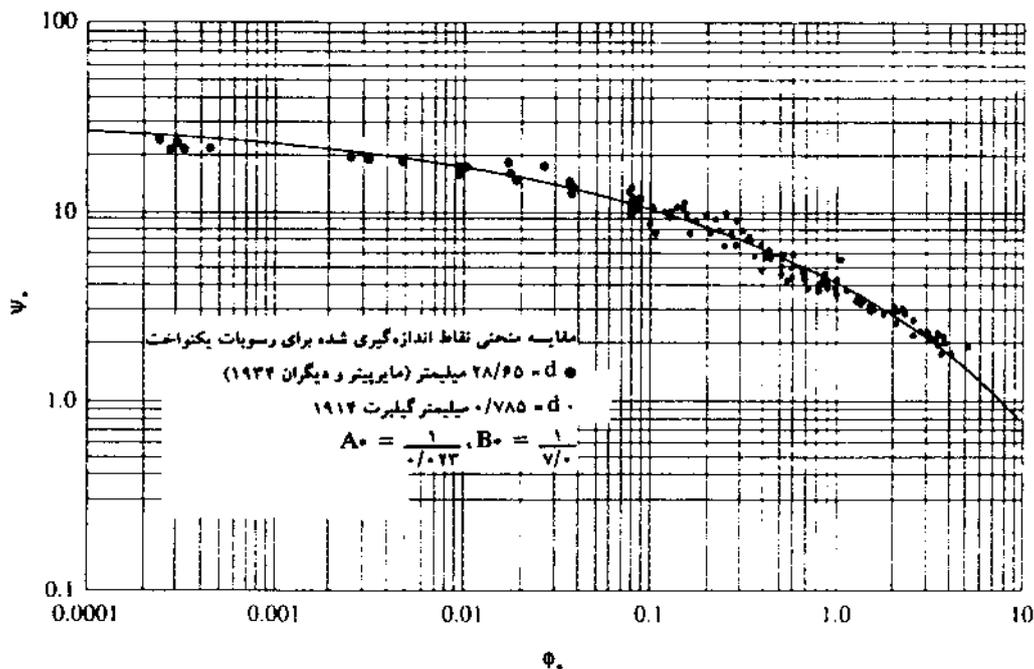
برای این مرحله گامهایی به شرح زیر انجام می شود:

۱-  $D_i$  متوسط هندسی هر محدوده ذرات و  $I_{b0}$  درصد موجود از این اندازه در نمونه، از جدول دانه بندی مواد بستر انتخاب می شود.

۲- پارامتر شدت برشی  $\psi$  از روابط زیر محاسبه می شود:

$$\psi = \frac{(G_s - 1)}{SR'} D_{r50} = 1/65 \frac{D_{r50}}{SR'} \quad (4)$$

$$\psi = \frac{0/4 (G_s - 1)}{SR'} D_i = 0/66 \frac{D_i}{SR'} \quad (5)$$

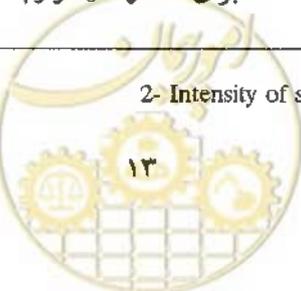


شکل ۶- تابع انتقال بار بستر [۴]

بزرگترین مقدار  $\psi$  بدست آمده از روابط (۴) و (۵) بعنوان  $\psi^*$  انتخاب می شود. 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  $2/65$  می باشد.

۳- مقدار پارامتر شدت انتقال رسوب  $\Phi^*$  از شکل (۶)، بدست می آید و نصف این مقدار  $(\frac{\Phi^*}{2})$  در محاسبات استفاده می شود.

۴- مقدار بار بستر در واحد عرض رودخانه برای محدوده  $I_{b0}$  از رابطه (۶) یا (۷) محاسبه می شود.



$$i_b q_b = \left(\frac{\phi^*}{\gamma}\right) i_b \gamma_s \sqrt{G_s} - \gamma \sqrt{g D_i^3} \quad (6)$$

$$i_b q_b = 0.2259 D_i^{1/5} i_b \left(\frac{\phi^*}{\gamma}\right) \quad \text{و یا: یوند بر ثانیه بر فوت}$$

$$i_b q_b = 0.3363 D_i^{1/5} i_b \left(\frac{\phi^*}{\gamma}\right) \quad (7) \quad \text{کیلوگرم نیرو بر ثانیه بر متر}$$

$D_i$  در روابط فوق بر حسب میلیمتر و  $i_b$  به صورت اعشاری می باشد.

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

$$i_b Q_b = 86/4 W i_b q_b \quad (\text{تن بر روز}) \quad (8)$$

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

مقدار  $Q_s$  یا بار معلق اندازه گیری شده بر حسب تن بر روز برابر است با:

$$Q_{sm} = 0.0864 C_m Q' \quad (9)$$

که  $Q'$  آن قسمت از بده رودخانه است که در آن محدوده، نمونه بار معلق اندازه گیری شده است. از طرفی نسبت مقدار  $Q'$  به بده کل رودخانه  $Q$  از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\frac{Q'}{Q} = (1 - E') - \frac{2}{3} \frac{E' \log E'}{P_m - 1} \quad (10)$$

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

$$Q'_{si} = 0.0864 C_m Q \left[ (1 - E') - \frac{2}{3} \frac{E' \log E'}{P_m - 1} \right]$$

و مقدار بار معلق برای هر محدوده اندازه ذرات موجود در بار معلق برابر است با:

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



$$Q'_{si} = [(1 - E') - \frac{2}{3} \frac{E' \log E'}{P_m - 1}] i_s Q_{sm} \quad (11)$$

در این رابطه  $Q_{sm} = 0.0864 C_m Q$  بار معلق اندازه گیری شده برحسب تن بر روز می باشد.

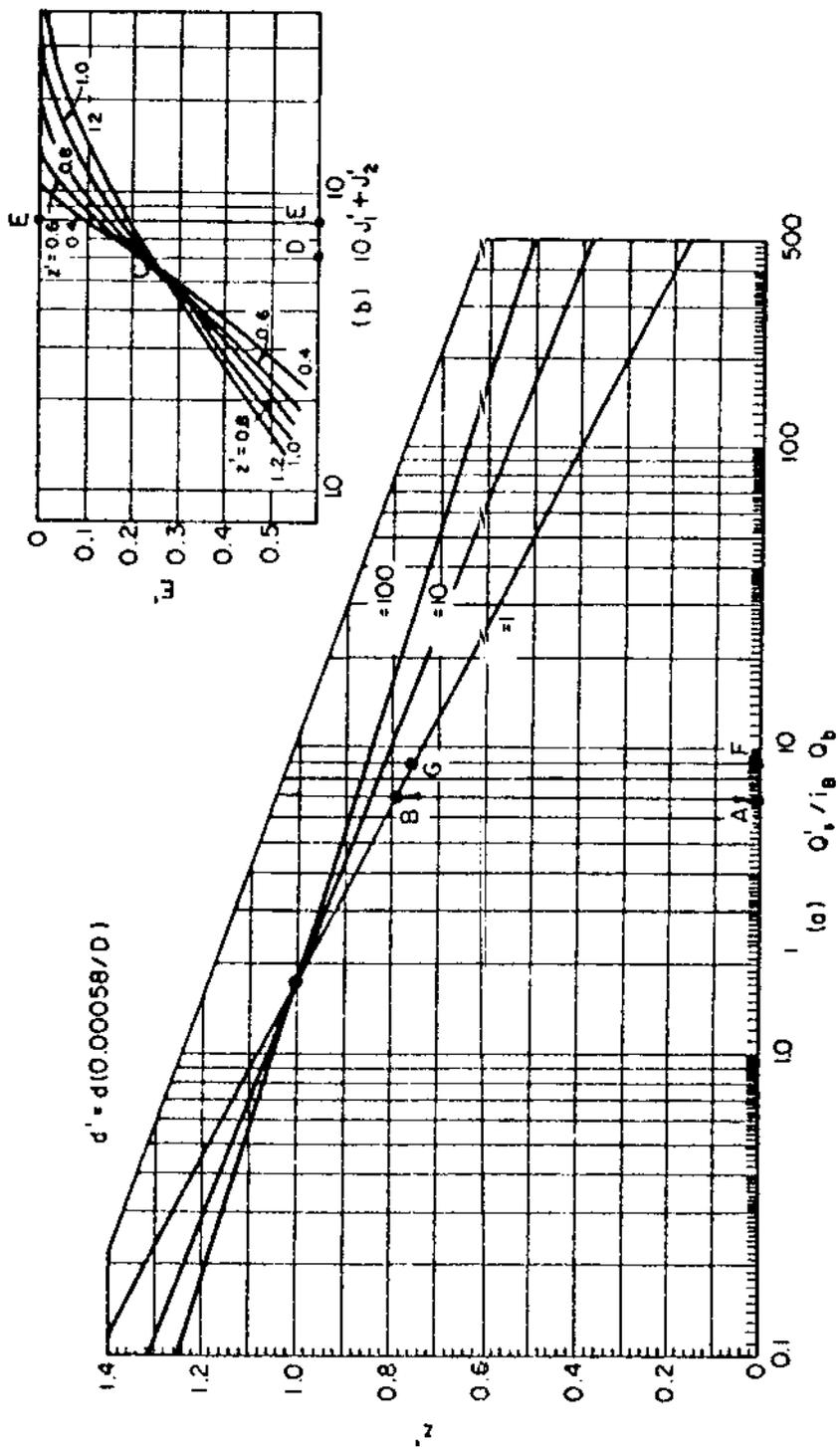
## ۵-۲-۲ مرحله پنجم: ضریب توزیع غلظت $Z'$

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  $D_1$  بعنوان مبنا از جدول توزیع دانه بندی مواد معلق انتخاب می شود. این اندازه طوری انتخاب می شود که بیشترین بار معلق متعلق به آن می باشد.
  - ۲- مقدار  $E = 2D/d$  محاسبه می شود.
  - 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  $Z'_1$  از شکل (۷) به دست می آید.
  - ۵- با داشتن  $E' = \frac{a'}{d_s}$  و  $Z'_1$  (از قدم ۴)، مقدار  $J'_1 + J'_2$  از شکل (۷) به دست می آید و سپس با استفاده از رابطه زیر:
- $$P_m J'_1 + J'_2 \approx P_m \left[ \frac{10 J'_1 + J'_2}{10} \right]$$
- ۶- با استفاده از نتایج گام ۵، موقعیت نقطه D روی شکل (۷) مشخص می شود.
  - ۷- موقعیت نقطه ای نظیر E مربوط به  $J'_1 + J'_2$  روی شکل (۷) مشخص و فاصله D-E محاسبه می شود. از نقطه A به همان فاصله نقطه F روی شکل مشخص می گردد.
  - ۸- یک خط عمودی از نقطه F رسم می شود تا خط  $E'$  را در نقطه ای نظیر G قطع کند. در نتیجه مقدار  $Z'_1$  جدیدی به دست می آید.
  - ۹- در صورتی که  $Z'_1$  با  $Z'_1$  چهار اختلاف زیاد داشته باشد. قدمهای ۵ الی ۸ تکرار می گردد تا اینکه  $Z'_1$  به طور دقیق تری به دست آید.
  - ۱۰- مقدار  $Z'_1$  برای سایر اندازه ذرات را می توان از رابطه (۱۲) به دست آورد:





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



$$\frac{Z'_i}{Z'_1} = \left(\frac{w_i}{w_1}\right)^{0.7} \quad (12)$$

که در آن  $w_1$  و  $w_i$  به ترتیب سرعت سقوط ذره مینا و ذرات به اندازه  $D_i$  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 مینا 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 مینا 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.

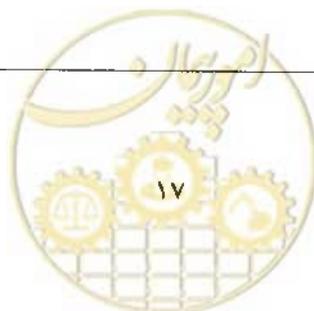
۲- مقدار  $Z'$  به روش کلی و هویل [۲] برای سه محدوده اندازه ذرات فوق محاسبه می‌شود.

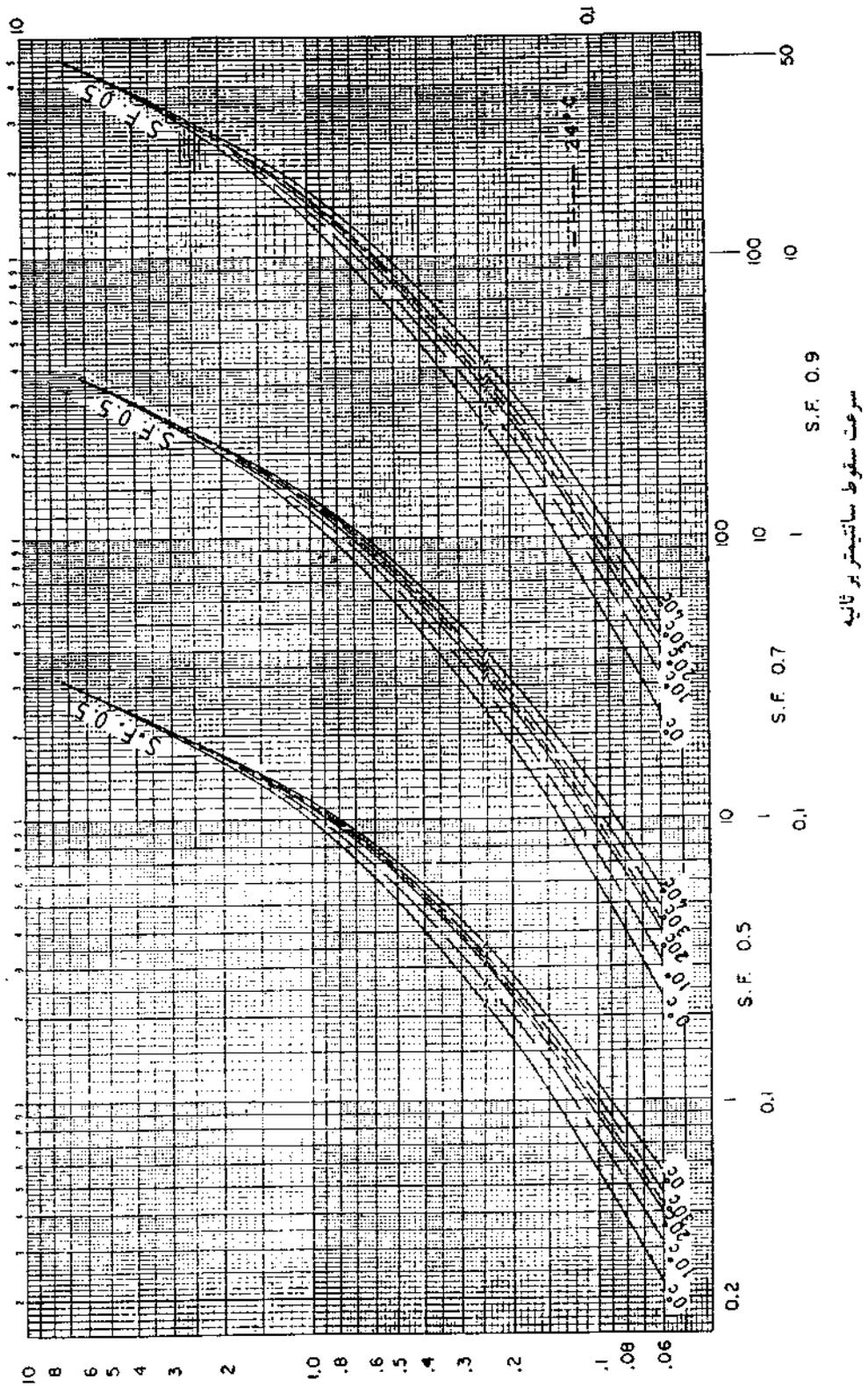
۳- مقادیر  $Z'$  روی کاغذ لگاریتمی در مقابل سرعت سقوط مربوطه رسم و از بین آنها رابطه‌ای به صورت توانی به روش رگرسیون برازش می‌گردد:

$$Z' = a (w_s)^b \quad (13)$$

ضرایب  $a$  و  $b$  با روش رگرسیون<sup>۱</sup> تعیین خواهند شد.

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





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

سرعت سقوط سائیتیزر بر ثانیه

قطر الکی (میلیمتر)



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

$$E = \frac{2D}{d} \quad (14)$$

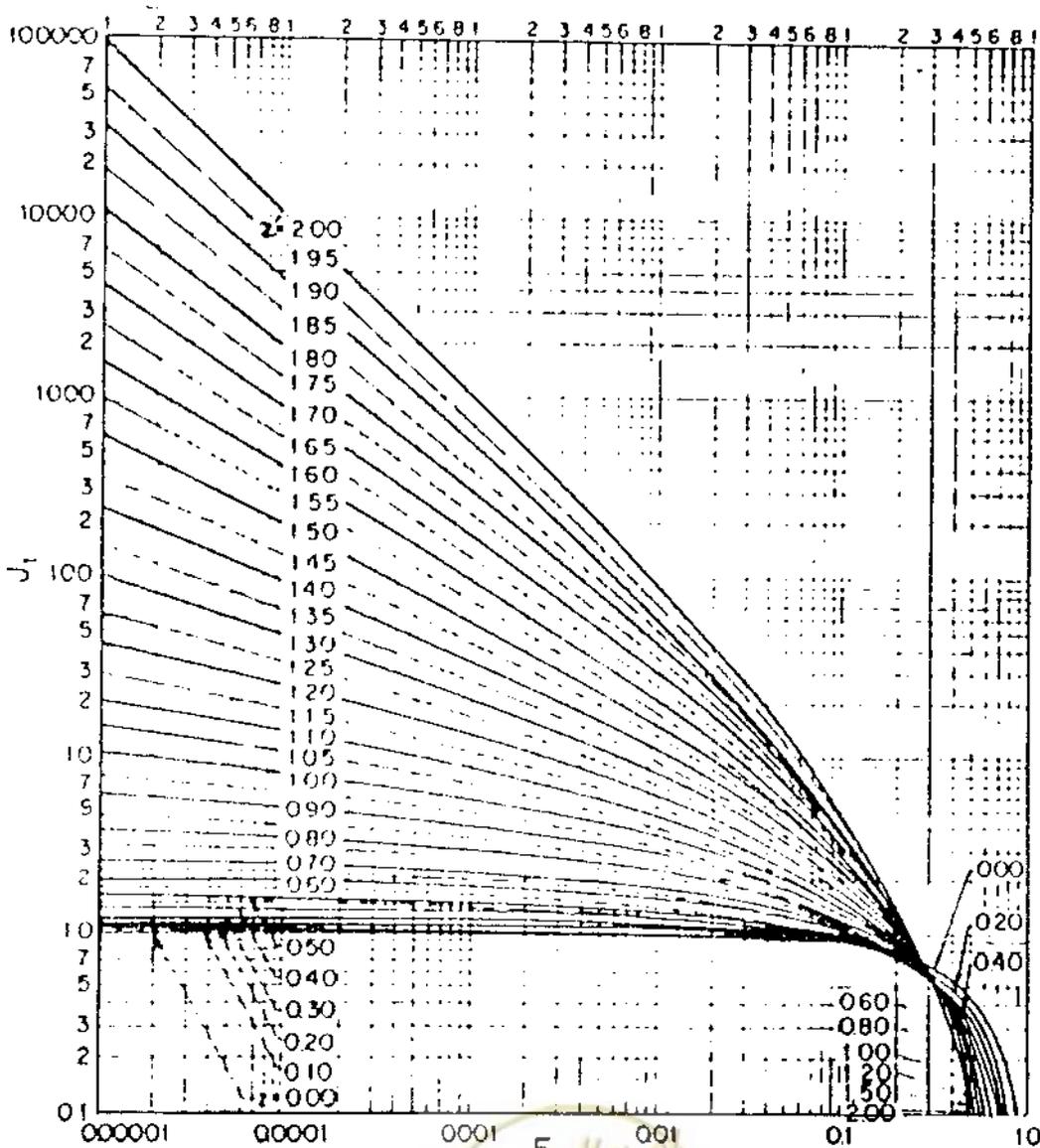
D - دانه بندی مواد بستر

d - عمق متوسط جریان

۲- مقدار  $J_1$  از معادله زیر:

$$J_1(E, Z') = \int_E^1 \left( \frac{1-y}{y} \right)^{Z'} dy \quad (15)$$

و یا از شکل (۹) به دست می‌آید.



شکل ۹- تابع  $J_1$  بر حسب مقادیر E و  $Z'$  [۱]

۳- مقدار  $J_2$  از معادله زیر:

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

و یا از شکل (۱۰) بدست می‌آید.

۴- مقادیر  $J_1$  و  $J_2$  را نیز از شکل (۹) و (۱۰) با به کار بردن  $E'$  و  $Z'$  به دست می‌آوریم  $(E' = \frac{a'}{d_s})$ .

۵- نسبت زیر محاسبه می‌شود:

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

۶- مقدار  $I_1$  از رابطه زیر:

$$I_1 = \frac{0.216}{(1-E)^2} \frac{E^{z-1}}{E} \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y}\right)^z dy \quad (18)$$

و یا شکل (۱۱) به دست می‌آید.

۷- مقدار  $I_2$  از رابطه زیر:

$$I_2 = \frac{0.216}{(1-E)^{z'}} \frac{E^{z'-1}}{E} \int_E^1 \left(\frac{1-y}{y}\right)^{z'} dy \quad (19)$$

و یا از شکل (۱۲) به دست می‌آید.

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

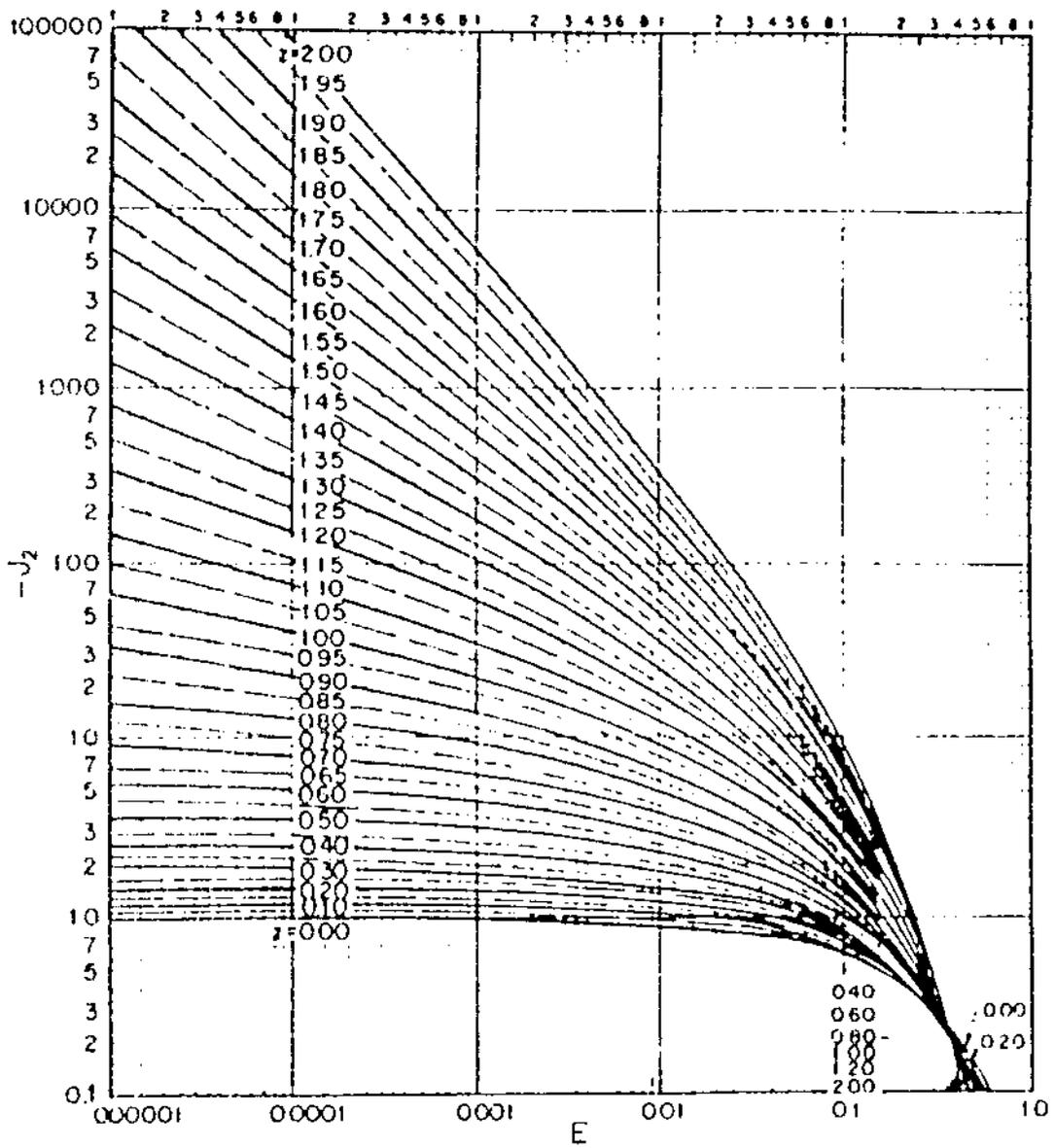
۹- مقدار کل بار رسوب برای هر محدوده اندازه ذرات از روابط زیر محاسبه می‌گردد.

برای رسوبات ریز دانه:

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

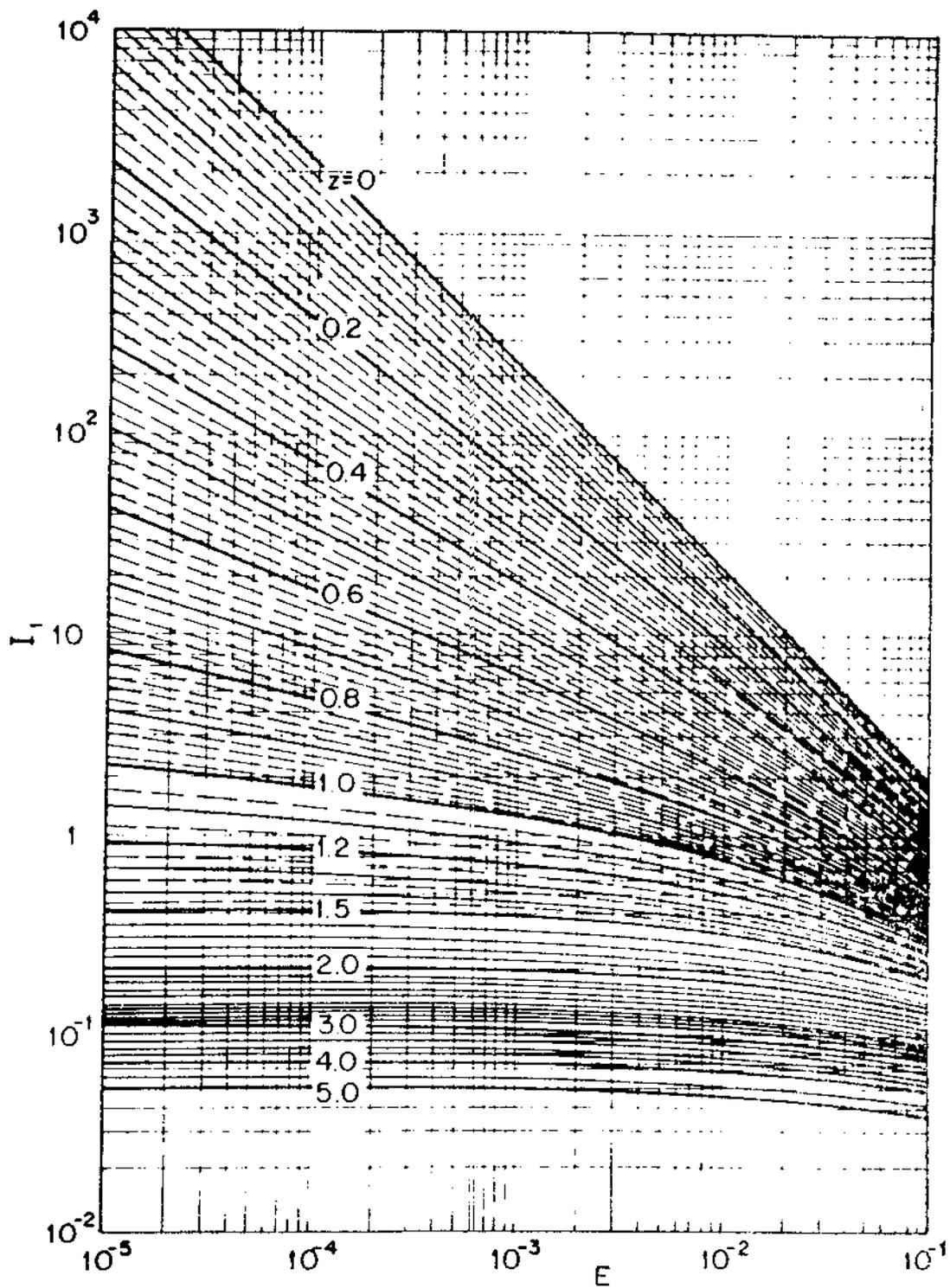
برای رسوبات درشت دانه:





شکل ۱۰- تابع  $Z'$  بر حسب مقادیر E و  $Z'$  [۱]





شکل ۱۱- تابع  $I_1$  بر حسب مقادیر E و  $|z|$



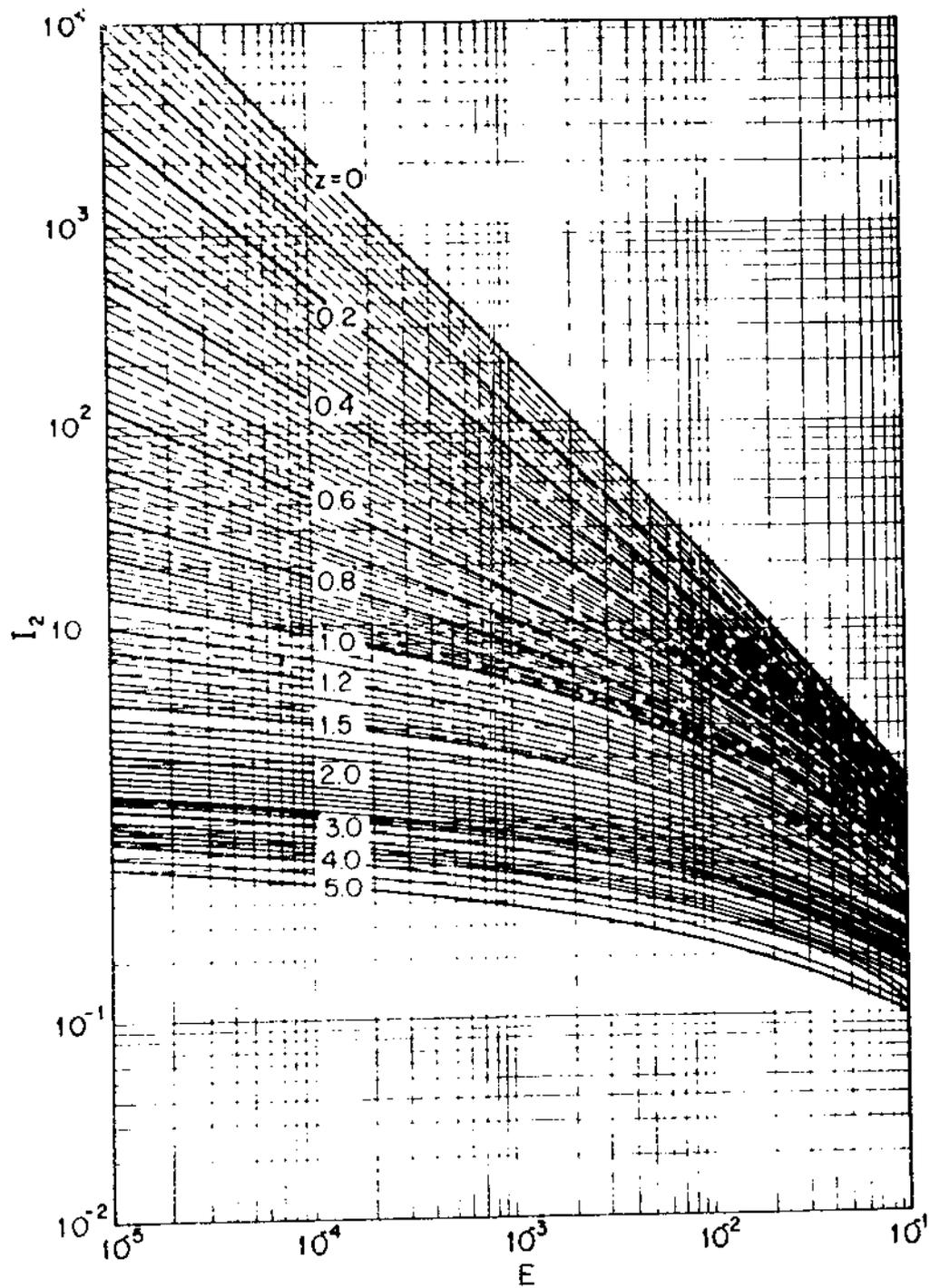
$$i_t Q_t = i_b Q_b (P_m I_1 + I_2 + 1) \quad (21)$$

ممکن است این سؤال 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 مینا 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  $1 + I_2 + P_m I_1$  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  $I_z$  بر حسب مقادیر E و Z



## ۳-۲ مثال عددی

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

الف- داده‌های مورد نیاز عبارتند از:

$$Q = 6/51 \text{ متر مکعب بر ثانیه} \quad U = 0/63 \text{ متر بر ثانیه} \quad d = 0/3 \text{ متر} \quad d_s = 0/27$$

$$W = 34/44 \text{ متر} \quad T = 18^\circ\text{C} \quad A = 10/31 \text{ متر}$$

نمونه بردار از نوع DH-49 که متر  $a' = 0/091$  می‌باشد.

$$C_m = 262 \text{ PPM}$$

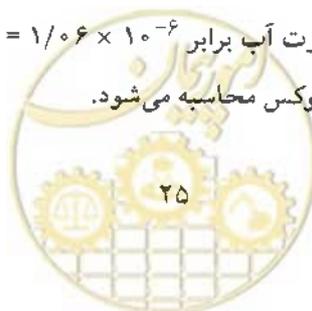
جدول (۵)، توزیع دانه‌بندی مواد معلق و مواد بستر را نشان می‌دهد.

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

سرعت سقوط	درصد در مواد بستر	درصد در نمونه مواد معلق	متوسط هندسی اندازه ذرات D		محدوده ذرات
			میلیمتر	فوت	
۰/۰۰۹۰۲	-	۲۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۰۳۶	۰/۰۰۲-۰/۰۶۲۵
۰/۵۷۶	-	۲۵	۰/۰۸۸۴	۰/۰۰۰۰۲۹	۰/۰۶۲۵-۰/۱۲۵
۱/۹۸	۳۸	۴۲	۰/۱۷۷	۰/۰۰۰۰۵۸	۰/۱۲۵-۰/۲۵
۴/۶۰	۵۰	۱۱	۰/۳۵۴	۰/۰۰۰۱۱۶	۰/۲۵-۰/۵
۷/۸۶۴	۵	-	۰/۷۰۷	۰/۰۰۰۲۳۲	۰/۵-۱/۰
۱۲/۰۱	۱	-	۱/۴۱	۰/۰۰۰۴۶۴	۱/۰-۲/۰
۱۷/۵۰	۱	-	۲/۸۳	۰/۰۰۰۹۲۶	۲/۰-۴/۰

ضمناً  $D_{۳۵}$  و  $D_{۶۵}$  مواد بستر به ترتیب  $0/23$  میلیمتر و  $0/32$  میلیمتر می‌باشد.

لزجت سینماتیک آب باتوجه به درجه حرارت آب برابر  $\nu = 1/06 \times 10^{-6}$  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  $x = 1/0$  مقدار  $\sqrt{RS}$  از معادله (۱) محاسبه می‌شود:

$$\sqrt{RS} = \frac{0/63}{18/014 \log_{10} [(12/27 \times 1/0 \times 0/3) : (0/32 \times 0/001)]} = 0/0083$$

$$\delta = 3/7039 \frac{1/06 \times 10^{-6}}{0/0083} = 4/73 \times 10^{-4} \text{ متر}$$

$$\frac{D_{\delta\delta}}{\delta} = \frac{0/32 \times 10^{-3}}{4/73 \times 10^{-4}} = 0/68$$

که از شکل (۵) مقدار  $x$  برابر  $1/54$  به دست می‌آید. مجدداً از رابطه (۱) مقدار  $\sqrt{RS}$  محاسبه می‌شود:

$$\sqrt{RS} = \frac{0/63}{18/014 \log_{10} [(12/27 \times 1/54 \times 0/3) : (0/32 \times 0/001)]} = 0/0083$$

مقدار  $\delta$  نیز برابر متر  $4/73 \times 10^{-4}$  خواهد بود که از شکل (۵) مقدار  $x$  همان عدد  $1/54$  به دست می‌آید و نیازی به تکرار محاسبات نمی‌باشد. در نتیجه:

$$RS = 0/000069 \text{ (متر)}$$

مقدار  $P_m$  نیز از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$P_m = 2/30 \log \left( \frac{30/2 \times 1/54 \times 0/3}{0/32 \times 0/001} \right) = 10/7$$

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 برحسب میلیمتر و فوت می باشد که از جدول (۵)، داده های مسئله استخراج شده است.

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

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

در این مثال از بار بستر مربوط به ذرات کوچکتر از  $0/125$  میلیمتر و بزرگتر از  $4/0$  میلیمتر به علت ناچیز بودن صرف نظر شده است.

ستون (۵) نصف مقدار پارامتر شدت انتقال رسوب یعنی  $(\frac{\Phi^*}{\gamma})$  است که در این ستون نوشته شده است.  $\Phi^*$  از شکل (۶) برای هر  $\psi$  به دست می آید.

ستون (۶) مقادیر  $D_i^{1/5}$  که در آن  $D_i$  متوسط هندسی اندازه ذرات ردیف مربوطه برحسب میلیمتر می باشد.

ستون (۷) درصد وزنی هر محدوده اندازه ذرات مواد بستر در کل نمونه را نشان می دهد 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 می شود، و یا به عبارتی مقادیر این ستون برابر حاصلضرب ارقام ستون (۶) و ستون (۷) می باشد.

ستون (۹) از حاصلضرب عرض رودخانه (۳۴/۴۴ متر) در ضریب تبدیل  $86/4$  به دست آمده است.

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

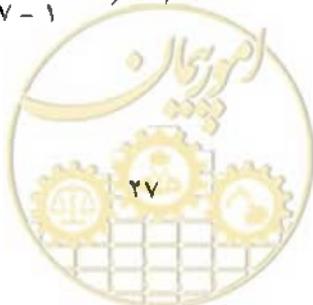
ستون (۱۱) درصد وزنی هر محدوده اندازه ذرات مواد معلق در کل نمونه مواد معلق را نشان می دهد که از جدول (۵) استخراج شده است.

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

$$E = \frac{a'}{d_s} = \frac{0/091}{0/37} = 0/246$$

با توجه به رابطه (۱۰)،

$$\frac{Q'}{Q} = (1 - 0/246) - 2/3 \left( \frac{0/246 \log 0/246}{10/7 - 1} \right) = 0/79$$



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 برحسب تن بر روز برابر است با:

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

که در این مثال  $C_m = 262$  PPM و مترمکعب بر ثانیه  $Q = 6/51$  در نتیجه:

$$Q_{sm} = 147/4 \quad (\text{تن بر روز})$$

$$Q'_s = 0.79 \times 147/4 = 116/4 \quad (\text{تن بر روز}) \quad \text{و از آنجا}$$

ستون (۱۳) ضریب MULT و در حقیقت مقادیر سمت راست معادله (۱۲) را نشان می‌دهد. در این مثال اندازه مبنا برابر  $D = 0.177$  میلیمتر انتخاب گردیده است. زیرا در این محدوده بیشترین درصد بار معلق وجود دارد.

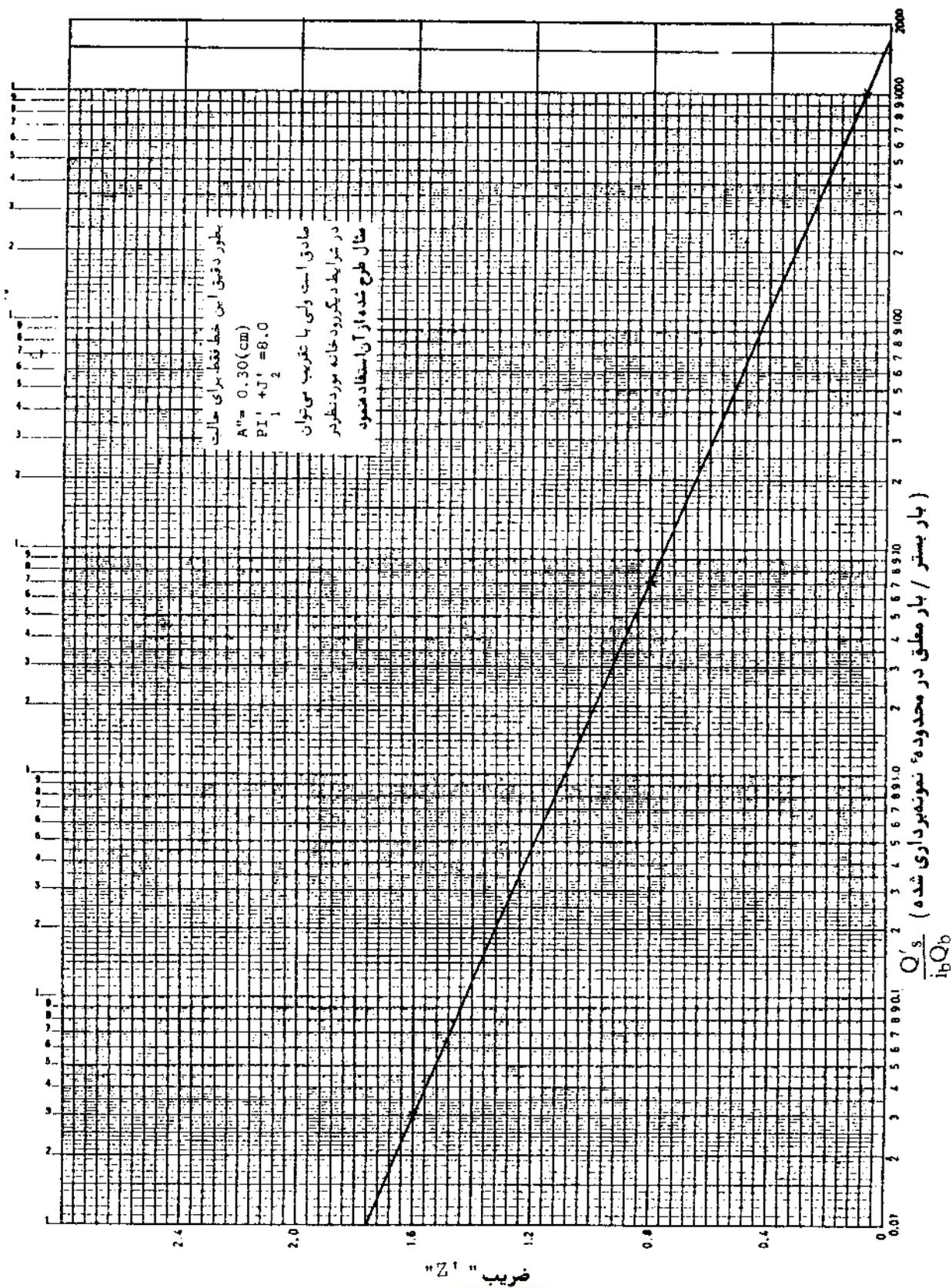
محاسبه  $Z'_1$  برای اندازه مبنا

در این مثال مقدار  $Z'_1$  برای اندازه مبنا با روش کلبی و هوپل به دست آمده است. مقادیر  $E = 2D/d$  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:

$$\frac{Q'_s}{i_b Q_b} = \frac{49/89}{7/2} = 6/91$$

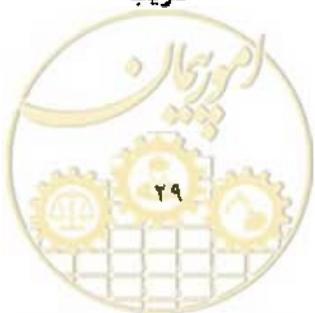
با استفاده از شکل (۸) و یا شکل (۱۳) که فقط برای این مثال قابل استفاده است، مقدار تقریبی  $Z'_1$  برابر ۰/۸ به دست می‌آید.





شکل ۱۳ - مقادیر تقریبی  $Z'$  بر حسب نسبت بار رسوب معلق در محدوده نمونه برداری شده به بار رسوبات بستر

ضریب "Z"



اکنون با روش سعی و خطا، مقدار  $Z'_1$  واقعی طوری تعیین می‌گردد که مقدار  $\frac{I}{J_1}(Pm'J_1 + J_2)$  برابر  $6/91$  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  $Z'_1 = 0/8$  و  $E = \frac{2 \times 0/177}{10^{-3}} = 0/00118$  به ترتیب برابر  $2/5$  و  $3/0$  به دست می‌آید. همچنین با توجه به مقدار  $E' = \frac{a'}{d_s} = 0/246$  و  $Z'_1 = 0/8$  مقادیر  $J'_1$  و  $J_2$  به ترتیب از شکل (۹) و شکل (۱۰) به دست می‌آید که به ترتیب برابر  $0/62$  و  $0/52$  خواهد بود. با جایگذاری مقادیر به دست آمده می‌توان نوشت:

$$\frac{2/5}{3/0} [10/7 \times 0/62 - 0/52] = 5/10$$

که با عدد  $6/91$  متفاوت است. اگر مقدار  $Z'_1 = 0/76$  اختیار شود در آنصورت مقادیر  $J_1, J_2, J'_1$  و  $J_2$  به ترتیب برابر خواهند بود با  $2/91, 2/6, 0/62$  و  $0/52$  و در نتیجه

$$\frac{2/91}{2/6} [10/7 \times 0/62 + 0/52] = 6/87$$

چون مقدار محاسبه شده یعنی  $6/87$  با عدد  $6/91$  نزدیک می‌باشد بنابراین مقدار  $Z'_1 = 0/76$  رضایت بخش 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  $Z'_1 = 0/76$  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  $10^3 \times 0/3$ )

ستون (۱۶) مقادیر  $J_1$  از شکل (۹) برحسب  $E$  و  $Z'_1$

ستون (۱۷) مقادیر  $J_2$  از شکل (۱۰) برحسب  $E$  و  $Z'_1$  (این مقادیر منفی هستند)

ستون (۱۸) مقادیر  $J'_1$  از شکل (۹) برحسب  $E' = \frac{a'}{d_s} = 0/246$  و  $Z'_1$



ستون (۱۹) مقادیر  $J'_2$  از شکل (۱۱) بر حسب  $E'$  و  $Z'_i$  (این مقادیر منفی هستند)

ستون (۲۰) عبارت است از نسبت

$$\frac{P_m J_1 + J_2}{P_m J'_1 + J'_2}$$

ستون (۲۱) مقادیر  $I_1$  از شکل (۱۱) بر حسب  $E$  و  $Z'_i$

ستون (۲۲) مقادیر  $I_2$  از شکل (۱۲) بر حسب  $E$  و  $Z'_i$

$$P_m I_1 + I_2 + 1$$

ستون (۲۳) مقادیر عبارت مقابل می‌باشد.

ستون (۲۴) میزان بار کل رسوب برای هر محدوده اندازه ذرات است که از حاصل ضرب ارقام متناظر از ستون (۱۲) به دست 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  $379/4$  تن بر روز است.

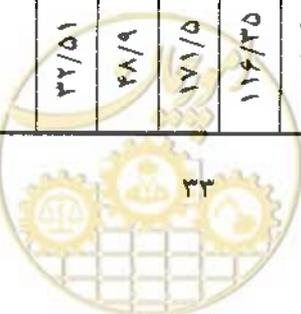


جدول ۶- فرم محاسباتی بار کل رسوب به روش اصلاح شده انیستین

۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
Q's	$i_s$	$i_b Q_b$ (تن بر روز)	$۸۶/۴ W$ (متر)	$i_b \times q_b$	$i_b$	$۰/۳۳۶۳ D^{۱/۵}$	$(\Phi_0/۲)$	$\psi$	D (فوت)	D (میلیمتر)	محدوده اندازه ذرات
									۰/۰۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۰-۰/۰۰۰۵۶
									۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۳۱۲	۰/۰۰۰۵۶-۰/۰۰۶۲۵
۲۵/۶	۲۲								۰/۰۰۰۰۳۶	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۲-۰/۰۰۶۲۵
۲۹/۱	۲۵					۰/۰۰۰۶۵			۰/۰۰۰۰۲۹	۰/۰۰۸۸۴	۰/۰۰۶۲۵-۰/۰۱۲۵
۴۸/۹	۴۲	۷/۲	۲۹۷۵/۶	۰/۰۰۰۴۴۲	۰/۳۸	۰/۰۰۲۵۰	۰/۲۵۵	۵/۵۰	۰/۰۰۰۰۵۸	۰/۰۱۷۷	۰/۰۱۲۵-۰/۰۲۵۰
۱۲/۸	۱۱	۲۶/۸۷	۲۹۷۵/۶	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۵	۰/۰۰۷۰۸	۰/۲۵۵	۵/۵۰	۰/۰۰۰۱۱۶	۰/۰۳۵۴	۰/۰۲۵۰-۰/۰۵۰۰
		۴/۳۷	۲۹۷۵/۶	۰/۰۰۰۱۴۷	۰/۰۵	۰/۱۹۹۳	۰/۱۴۷	۶/۸۰	۰/۰۰۰۳۳۲	۰/۰۷۰۷	۰/۰۵۰۰-۱/۰۰
		۰/۲۱	۲۹۷۵/۶	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۱	۰/۵۴۳۱	۰/۰۱۲۲	۱۳/۶۰	۰/۰۰۰۴۶۴	۱/۴۱	۱/۰۰۰۰-۲/۰۰۰۰
					۰/۰۱	۱/۶۰۱۱		۲۷/۲	۰/۰۰۰۹۲۸	۲/۸۳	۲/۰۰۰۰-۴/۰۰۰۰
						۴/۵۲۸۵			۰/۰۱۸۵۶	۵/۶۶	۴/۰۰۰۰-۸/۰۰۰۰
						۱۲/۸۰۶۴			۰/۰۳۷۱۲	۱۱/۳۲	۸/۰۰۰۰-۱۶/۰۰۰۰
۱۱۶/۴	۱۰۰										جمع کل

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

۲۴	۲۳	۲۲	۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳
بار محاسبه شده (تن بر روز)	$P_m I_1 + I_2 + 1$	$-I_2$	$I_1$	$\frac{P_m J'_1 + J'_2}{P_m J'_1 + J'_2}$	$-J'_2$	$J'_1$	$-J_2$	$J_1$	E	Z'	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	۰/۰۰۰۰۵۹	۰/۳۳	۰/۴۴
۱۷۱/۵	۲۳/۸۲	۸/۴۰	۲/۹۲						۰/۰۰۰۱۱۸	۰/۷۶	۱/۰۰
۱۱۶/۳۵	۴/۳۳	۲/۱۳	۰/۵۱						۰/۰۰۰۲۳۷	۱/۳۴	۱/۷۶
۱۰/۱۴	۲/۳۲	۰/۹۳	۰/۲۱						۰/۰۰۰۴۷۹	۱/۹۷	۲/۵۹
	۱/۷۵	۰/۵۳	۰/۱۲						۰/۰۰۰۹۴۷	۲/۶۲	۳/۴۵
۳۷۹/۴											



### ۳- تعیین بار کل رسوب با استفاده از روش انیشتین

#### ۱-۳ مقدمه

این روش که اولین بار در سال ۱۹۵۰ توسط انیشتین ارائه گردید، روش غیرمستقیمی برای تعیین بار کل<sup>۱</sup> می‌باشد. روش انیشتین لاقبل 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<sup>۲</sup> را به وزن غوطه‌پر 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.

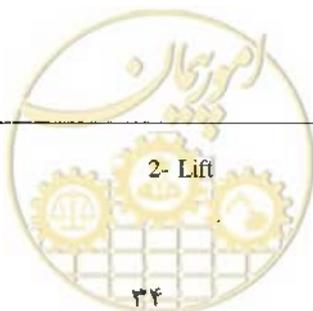
در این روش بار بستر و بار معلق<sup>۳</sup> جداگانه محاسبه شده و با هم جمع می‌شوند. گرچه از دیدگاه تحلیلی مرز چندان مشخصی بین بار معلق و بار بستر وجود ندارد، لیکن تفاوت آنها توسط دو نکته زیر مشخص می‌شود:

- 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



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 یده موردنظر برآورد می‌کند. براساس مفاهیم و تعاریف ارائه شده توسط انیشتین، مقدار بار بستر برای مواد با اندازه  $D$  برابر است با:

$$i_{Bw} q_{bw} = i_{bw} \gamma_s \phi_* (G_s - 1) g D^3 \quad (1)$$

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

$$i_{sw} q_{sw} = i_{Bw} q_{bw} [P_E I_1 + I_2] \quad (2)$$

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

$$i_T q_T = i_{Bw} q_{bw} + i_{sw} q_{sw} \quad (3)$$

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

$$i_T q_T = i_{Bw} q_{bw} (1 + P_E I_1 + I_2) \quad (4)$$

$$P_E = \frac{1}{3.03} \log \frac{r_0 / r \times d}{\Delta} \quad (1-4)$$

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

$\gamma_s$  = وزن مخصوص مواد بستر

$G_s$  = چگالی دانه‌ها



$g =$  شتاب ثقل

$\phi_*$  = 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.

$P_B =$  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

$\Delta =$  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.

$qT =$  مقدار بار کل 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 نقطه نظر 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 بار کل در یک مجرای معین شامل سه بخش عمده بشرح زیر می‌باشد:

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

مرحله ۲- تعیین پارامترهای هیدرولیکی لازم

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

مرحله ۱- انتخاب بازه مطالعاتی و جمع‌آوری داده‌های موردنیاز

برای تعیین بار کل 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 طور کلی لازم است بازه مطالعاتی انتخابی در رودخانه مورد نظر بگونه‌ای باشد که 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) در نظر گرفته شده که در آن گامهای محاسباتی قید گردیده است. شرح گامهای محاسباتی ذیلاً ارائه می‌شود:

۱-  $R'_b$  شعاع هیدرولیکی نظیر زیری دانه‌های تشکیل دهنده 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.

$$U'_{*b} = gR'_b S \quad (\text{متر بر ثانیه}) \quad (5)$$

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-  $\delta$  ضخامت قشر ورقه‌ای یا لایه نظیر جریان آرام است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\delta = \frac{11/67}{U'_{*b}} \quad (\text{متر}) \quad (6)$$

در این رابطه  $\nu$  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 زیری ذرات بستر است که معادل  $D_{65}$  در نظر گرفته می‌شود و از منحنی دانه‌بندی مواد روی بستر بدست می‌آید.

$$k_s = D_{65} \quad (\text{متر}) \quad (7)$$

۵- ضریب تصحیح توزیع لگاریتمی سرعت (بدون بعد) می‌باشد که تابعی است از  $\frac{k_s}{\delta}$  و از شکل (۵) بدست می‌آید.

۶-  $\Delta$  برای هر یک از مقادیر  $x$  متناظر با  $R'_b$  از رابطه  $\Delta = \frac{k_s}{x}$  برحسب متر بدست می‌آید. مقدار  $\Delta$  را زیری ظاهری می‌نامند.

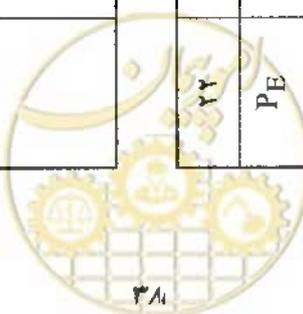
۷-  $U$  سرعت متوسط جریان است که برای هر یک از ردیفهای متناظر با  $R'_b$  از رابطه زیر بدست می‌آید:



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

۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
$R''_b$	$U'''_{*b}$	$U/U'_{*b}$	$\psi'$	$U$	$\Delta$	$x$	$k_g/\delta$	$\delta$	$U'_{*b}$	$R'_b$
متر بر ثانیه	متر بر ثانیه			متر بر ثانیه	متر			متر	متر بر ثانیه	متر
۲۲	۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲
$P_E$	$\beta/\beta_x$	$\beta_x$	$Y$	$X$	$Q$	$P_b$	$A$	$dN$	$d$	$R_b$
				متر	متر مکعب بر ثانیه	متر	متر مربع	متر	متر	متر

۱- برای شروع محاسبات یک مقدار فرضی برای  $R'_b$  در نظر گرفته می شود.



$$U = U'_{*b} \frac{5}{75} \log_{10} \left( 12/27 \frac{R'_b}{\Delta} \right) \quad (\text{متر بر ثانیه}) \quad (8)$$

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

$$\psi' = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} (D \cdot \delta / R'_b S) \quad (9)$$

$\rho$  و  $\rho_s$  به ترتیب جرم مخصوص (کیلوگرم بر مترمکعب) دانه‌های رسوب و آب است.

$\rho_s$  از آزمایش تعیین جرم مخصوص دانه‌های مواد بستر به دست می‌آید.

$\rho$  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  $\psi'$  از شکل (۱۴) برای هر ردیف  $R'_b$  بدست می‌آید.

۱۰-  $U''_{*b}$  سرعت برشی متناظر با ناهمواریهای موجود در بستر است. 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:

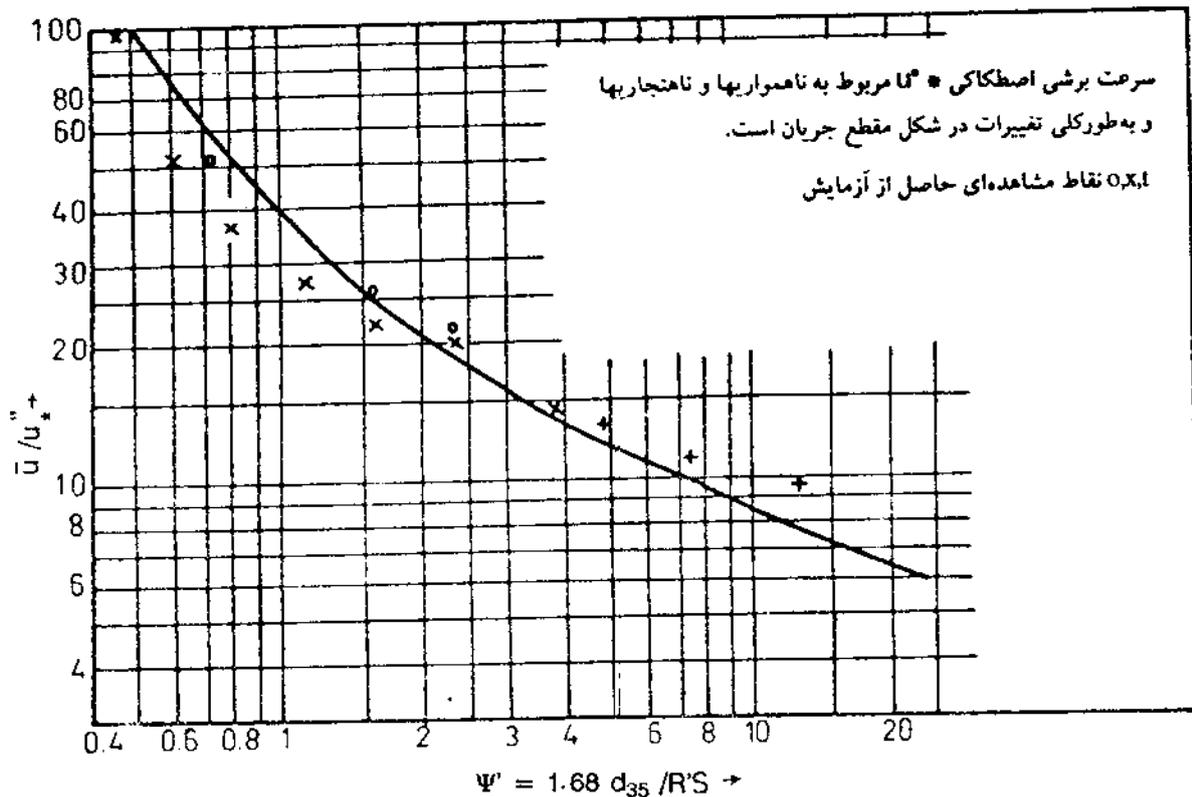
$$R''_b = \frac{(U''_{*b})^2}{9/81S} \quad (\text{متر}) \quad (10)$$

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 (°C)	جرم مخصوص (کیلوگرم بر مترمکعب)	لزجت $\nu$ (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  $\Psi'$  و  $\frac{u}{u^*}$

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

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

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

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 بستر 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.

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



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

$$X = 0.777\Delta \quad \text{الف: } \frac{\Delta}{\delta} > 1/8 \quad (13)$$

$$X = 1/39\delta \quad \text{ب: } \frac{\Delta}{\delta} < 1/8$$

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

۲۰-  $\beta_x$  تابع لگاریتمی است که از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\beta_x = \log_{10} (10/6 X/\Delta) \quad (14)$$

۲۱-  $\beta$  از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$\beta = \log 10/6 \quad (15)$$

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

$$P_E = 2/30.3 \log_{10} (30/2d/\Delta) \quad (16)$$

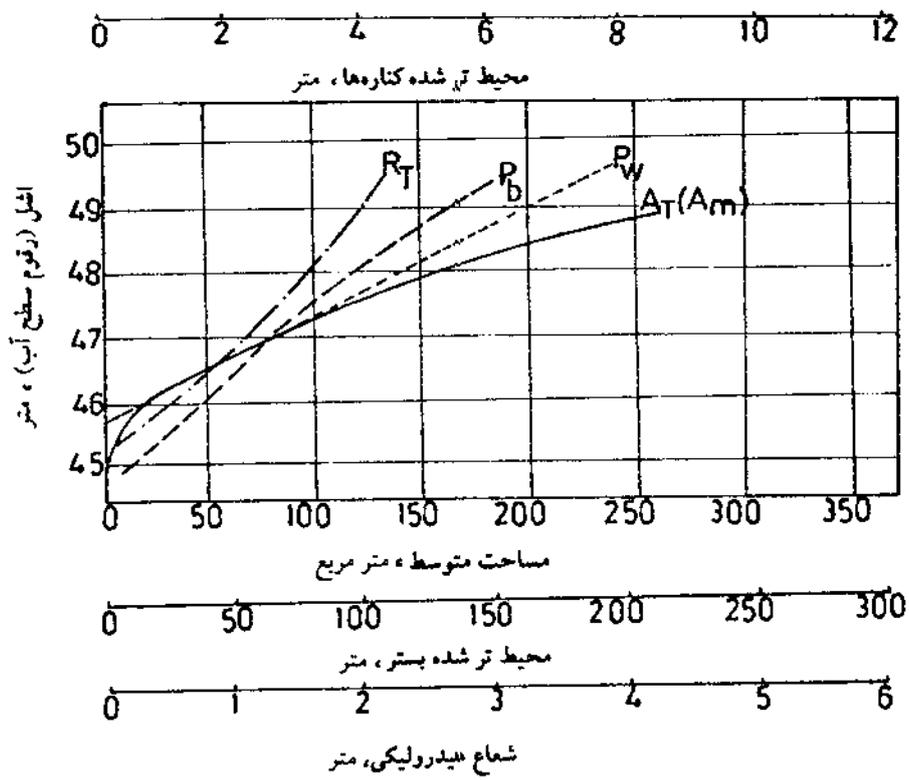
### مرحله ۳ - محاسبه بار کل

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

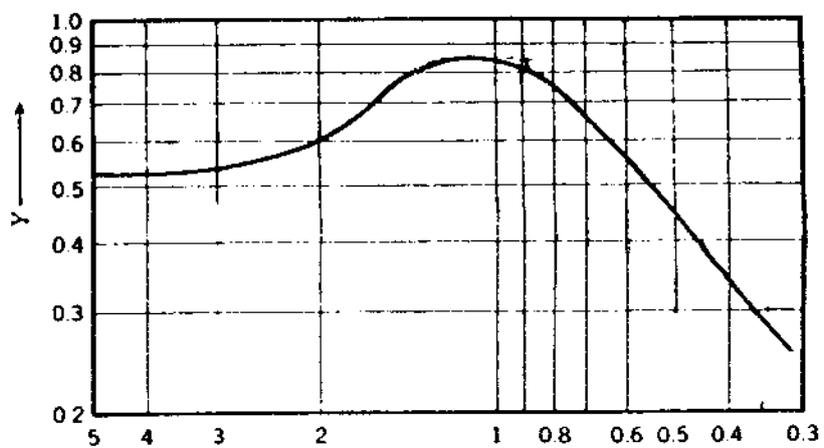
جدول (۹) گامهای محاسباتی مربوط به تعیین بار کل به روش انیشتین را نشان می‌دهد.

- ۱- اندازه معرف دانه‌ها، متر (از جدول (۱۰) اطلاعات مربوط به مواد بستر در مثال ارائه شده)
- ۲-  $A_B$  سهم مواد بستر در جدول (۱۰) داده شده است.
- ۳-  $R'_b$  شعاع هیدرولیکی نظیر زبری دانه‌های تشکیل دهنده بستر برحسب متر است و مقادیر آن در جدول (۷) داده شده است.
- ۴-  $\psi$  معرف تأثیرات اصطکاکی مربوط به زبری سطح دانه‌های مواد بستری است. پارامتر  $\psi$  برای هریک از ردیفهای  $R'_b$  محاسبه می‌شود:





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



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



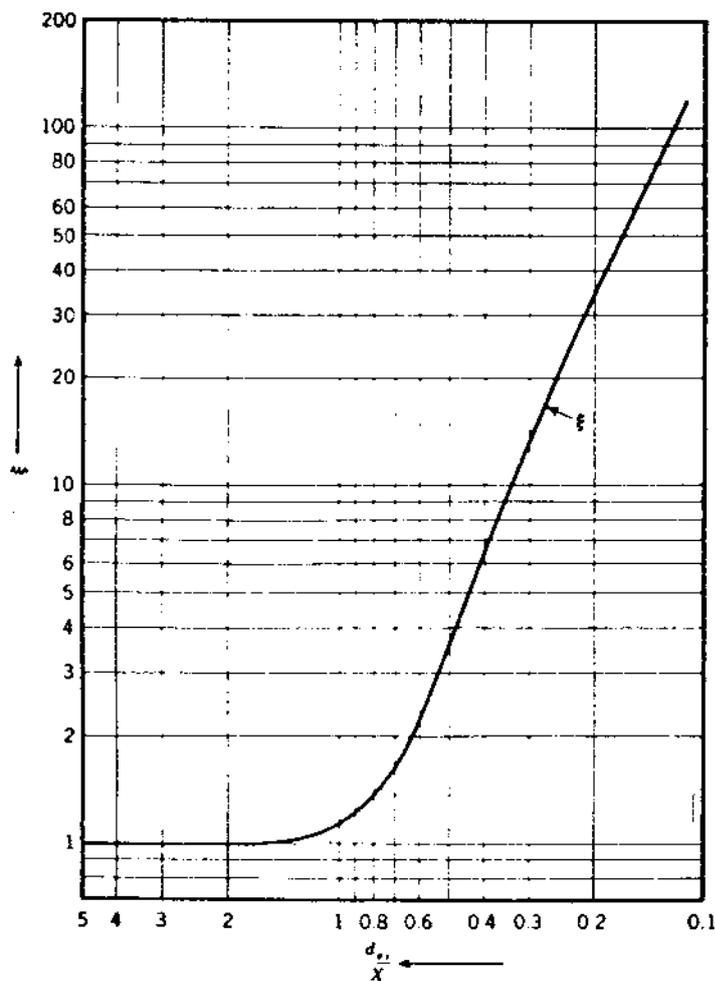
$$\psi = ((\rho_s - \rho)/\rho) \left( \frac{d}{R_b S} \right) \quad (17)$$

در مرحله ۲ تعریف شده است.  $S, d, \rho, \rho_s$

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

و  $\xi$  فاکتور مخفی شدن که تابعی است از  $D$  و  $X$  و از شکل (۱۷) یا از رابطه ۱۸ به دست می‌آید.

$$\xi = f \left( \frac{D}{X} \right) \quad (18)$$



شکل ۱۷- فاکتور  $\xi$  در تابع بار بستر انیشتین



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

$$\psi_* = \xi Y \left(\frac{\beta}{\beta_x}\right)^2 \psi \quad (19)$$

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

۸-  $\phi_*$  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 بر متر

$$i_B q_B = i_B \phi_* \rho_s (gD)^{3/2} (\rho_s - \rho) / \rho \quad \text{N/Sec/m} \quad (20)$$

۱۰-  $i_B Q_B$  بار بستر در کل مقطع (در یک محدوده) بر حسب تن بر روز می‌باشد و از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$i_B Q_B = 43/2 W i_B q_B \quad (21)$$

$$W = P_b$$

مقدار  $P_b$  در جدول (۷) ارائه شده است.

۱۱-  $\sum i_B Q_B$  بار کل در تمام مقطع در تمام محدوده‌های ذرات مواد بستر بر حسب تن بر روز

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

$$E = \frac{2D}{d} \quad (22)$$

مقادیر  $d$  در جدول (۷) داده شده است.

۱۳-  $Z$  نمای توزیع غلظت که از رابطه زیر بدست می‌آید (بر حسب ثانیه)

$$Z = \frac{w}{(0.4 U_*' + b)} \quad (23)$$

مقدار  $w$  در جدول (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-  $1 + I_1 + I_2 + P_E$  فاکتور بین بار بستر و بار کل است که از معادله زیر بدست می‌آید:

$$i_T q_T = i_B q_B (P_E I_1 + I_2 + 1) \quad (24)$$

- 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:

$$i_T q_T = 86/4B i_T q_T \quad (25)$$

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

### ۴-۳ مثال عددی

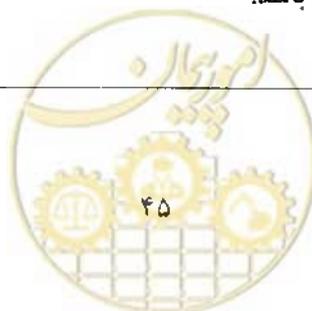
برای آشنایی هرچه بیشتر با روش انیشتین مثالی در نظر گرفته شده است که فرضیات آن به شرح زیر می‌باشد:

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

بازه‌ای از رودخانه بیگ سندکریک<sup>۱</sup>، که یکی از شعبات رودخانه بزرگ می‌سی‌سی‌پی می‌باشد برای نشان دادن 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  $S = 0/00105$  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 کم عمق، محیط خیس شده، 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.







لزجت سینماتیک آب سانتیمتر مربع بر ثانیه  $10^{-3} \times 9/848$  و چگالی ویژه رسوب  $2/65$  می‌باشد.

جدول ۱۰- اطلاعات مواد بستر در رودخانه موردنظر

سرعت ته‌نشینی سانتیمتر بر ثانیه	قطر متوسط		محدوده اندازه ذرات (میلیمتر)
	%	سیلیمتر	
-	۲/۴	-	$D > 0/589$
۵/۲	۱۷/۸	۰/۰۰۰۴۹۵	$0/000589 > D > 0/000417$
۳/۷۵	۴۰/۲	۰/۰۰۰۳۵۱	$0/000417 > D > 0/000295$
۲/۷۰	۳۲/۰	۰/۰۰۰۲۴۸	$0/000295 > D > 0/000208$
۱/۷۰	۵/۸	۰/۰۰۰۱۷۵	$0/000208 > D > 0/000147$
-	۱/۸	-	$0/000147 > D$

متر  $D_{35} = 0/00029$

متر  $D_{65} = 0/00035$

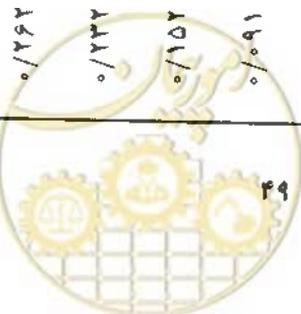
### ۲-۴-۳ محاسبات هیدرولیکی مثال مربوط به کاربرد روش انیشتین

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

۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
$R''_b$ (متر)	$U''_{*b}$ (متر بر ثانیه)	$U/U''_{*b}$ (-)	$\psi'$ (-)	$U$ (متر بر ثانیه)	$\Delta \times 10^{-3}$ (متر)	$x$ (-)	$k_g/\delta$ (-)	$\delta$ (متر)	$U''_{*b}$ (متر بر ثانیه)	$R'_b$ (متر)
۰/۲۶۲	۰/۰۵۲	۱۷/۱۸	۲/۹۸	۰/۸۹۱	۰/۲۲۰	۱/۵۹	۱/۲۱	۰/۰۰۰۲۹	۰/۰۳۹	۰/۱۵۲
۰/۲۳۲	۰/۰۴۹	۲۷/۷۱	۱/۴۹	۱/۳۵۴	۰/۲۴۰	۱/۴۶	۱/۷۲	۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۵۶	۰/۳۰۵
۰/۱۵۲	۰/۰۴۰	۵۰/۵۵	۰/۷۵	۲/۰۲۲	۰/۲۵۵	۱/۲۷	۲/۴۴	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۷۹	۰/۶۰۱
۰/۰۹۱	۰/۰۳۰۵	۸۴	۰/۵۰	۲/۵۶۲	۰/۲۸۶	۱/۱۸	۲/۹۵	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۹۷	۰/۹۱۴
۰/۰۴۳	۰/۰۲۱	۱۴۴/۱	۰/۳۷	۳/۰۲۶	۰/۲۹۷	۱/۱۴	۳/۵۰	۰/۰۰۰۱۰	۰/۱۱۲	۱/۲۱۹
۰/۰۲۱	۰/۰۱۵	۲۲۹/۷	۰/۳۰	۳/۴۲۶	۰/۳۱۵	۱/۱۱	۳/۸۴	۰/۰۰۰۰۹	۰/۱۲۶	۱/۵۲۴
۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۴۲۶/۳	۰/۲۵	۳/۸۳۷	۰/۳۲۴	۱/۰۸	۴/۲۶	۰/۰۰۰۰۸	۰/۱۲۷	۱/۸۲۹



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

۲۲	۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲
$P_E$ (-)	$(\beta\beta_*)^2$ (-)	$\beta_*$ (-)	$Y$ (-)	$X \times 10^{-3}$ (متر)	$Q$ (مترمکعب بر ثانیه)	$P_b$ (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	۰/۷۸	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  $S = 0/00105$
- ستون ۳: محاسبه  $\delta$  طبق رابطه (۶) با
- ستون ۴: محاسبه نسبت  $K_g/\delta$ ،  $k_s = d_{\phi 5} = 0/00035$  (متر)
- ستون ۵: تعیین ضریب  $X$  از شکل (۵)
- ستون ۶: محاسبه  $\Delta$  طبق مرحله ۶
- ستون ۷: محاسبه  $U$  طبق رابطه (۸) مرحله ۷
- ستون ۸: محاسبه  $\psi'$  با فرض (متر)  $D_{35} = 0/00029$ ،  $\rho_s = 2/65$  و  $\rho = 1$  (گرم بر متر مکعب)
- 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  $d$  بر حسب  $R$  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  $Q$  بر اساس 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  $\beta_x$  از رابطه (۱۴) مرحله ۲۰
- ستون ۲۱: محاسبه  $(\beta/\beta_x)^2$  با استفاده از رابطه (۱۵) مرحله ۲۱
- ستون ۲۲: محاسبه  $P_E$  طبق رابطه ۱۶ مرحله ۲۲
- ۳-۴-۳ محاسبه مقدار بار کل با روش انیشتین

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

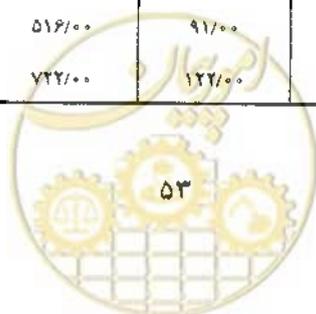


جدول ۱۲ - محاسبات بار کل مربوط به مثال با استفاده از روش انیشتین

۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
$i_B Q_B$ (تن بر روز)	$i_B q_B$ (کیلوگرم نیور بر ثانیه در متر)	$\phi_*$ (-)	$\psi_*$ (-)	$\xi$ (-)	$D/X$ (-)	$\psi$ (-)	$R'_b$ (فوت)	$i_B$ (-)	$D$ (متر)
۱۰۷/۷۷	-/۰۳۹۷۱۰۳۵	۱/۹۰	۲/۹۰	۱/۰۸	۱/۲۳	۵/۰۸	-/۱۵۲۵	-/۱۷۸	-/۰۰۲۹۵
۲۹۹/۷۶	-/۰۸۳۶۰۰۷۴۳	۴/۰۰	۱/۷۳	۱/۰۰	۱/۷۲	۲/۵۲	-/۳۵۰		
۷۶۷/۷۶	-/۱۷۱۳۸۱۵۲۴	۸/۲۰	-/۹۰	۱/۰۰	۲/۳۵	۱/۲۷	-/۶۰۱		
۱۳۶۷/۶۵	-/۲۶۷۵۲۲۳۸	۱۲/۸۰	-/۶۰	۱/۰۰	۲/۱۶	-/۸۵	-/۹۱۲		
۲۳۲۰/۸	-/۳۷۴۲۰۳۳۴۷	۱۸/۰۰	-/۴۳	۱/۰۰	۲/۰۵	-/۶۳	۱/۲۱۹		
۳۵۸۱/۱۲	-/۴۷۰۲۵۲۱۸۲	۲۲/۵۰	-/۳۵	۱/۰۰	۲/۰۳	-/۵۱	۱/۵۲۴		
۵۹۱۸/۹۷	-/۵۶۴۳۰۵۰۲۱	۲۷/۰۰	-/۲۹	۱/۰۰	۱/۹۸	-/۲۲	۱/۸۳		
۱۸۷/۳۹۴	-/۰۶۹۰۵۱۸۲۵	۲/۴۵	۲/۴۲	۱/۳۶	-/۸۲	۳/۳۸	-/۱۵۲۵	-/۴۰۲	-/۰۰۳۵۱
۵۵۵/۸۲	-/۱۵۵۰۱۴۳۰۱	۵/۵۰	۱/۲۷	۱/۱۰	۱/۱۶	۱/۶۹	-/۳۵۰		
۱۵۹۰/۸۹۷	-/۳۵۵۱۲۳۶۷۲	۱۲/۶۰	-/۶۱	۱/۰۱	۱/۵۷	-/۸۵	-/۶۰۱		
۲۷۳۶/۶۵۰	-/۵۳۵۵۰۳۹۴۹	۱۹/۰۰	-/۴۱	۱/۰۲	۱/۴۴	-/۵۶	-/۹۱۲		
۴۵۲۰/۵۸	-/۷۳۲۷۹۴۸۷۸	۲۶/۰۰	-/۳۰	۱/۰۵	۱/۳۷	-/۴۲	۱/۲۱۹		
۶۷۶۰/۹۳	-/۸۸۷۸۰۹۱۷۹	۳۱/۵۰	-/۲۵	۱/۰۵	۱/۳۵	-/۳۴	۱/۵۲۴		
۱۱۵۲۹/۳۸۲	۱/۰۹۹۱۹۲۳۱۸	۳۹/۰۰	-/۲۰	۱/۰۵	۱/۳۲	-/۲۸	۱/۸۳		
۶۳/۲۸	-/۰۲۳۱۷۸۱۷	۱/۷۵	۳/۰۳	۲/۲۵	-/۶۱	۲/۵۴	-/۱۵۲۵	-/۳۲۰	-/۰۰۰۲۴۷
۳۳۴/۸۸	-/۰۹۰۶۰۶۳۷۶	۶/۸۰	۱/۰۹	۱/۲۶	-/۸۷	۱/۲۷	-/۳۵۰		
۹۲۳/۱۲	-/۲۱۰۵۲۶۵۸	۱۵/۸۰	-/۴۹	۱/۱۰	۱/۱۷	-/۶۳	-/۶۰۱		
۱۴۰۲/۷۵	-/۳۱۳۱۲۴۹۷۷	۲۳/۵۰	-/۳۳	۱/۱۲	۱/۰۸	-/۴۲	-/۹۱۲		
۲۵۸۹/۲۴	-/۴۱۹۷۲۰۷۱۴	۳۱/۵۰	-/۲۵	۱/۱۵	۱/۰۴	-/۳۲	۱/۲۱۹		
۴۰۰۸/۰۵	-/۵۲۶۳۱۶۴۵۱	۳۹/۵۰	-/۲۰	۱/۱۷	-/۰۱	-/۲۵	۱/۵۲۴		
۶۳۲۸/۹۵	-/۶۱۲۹۲۵۲۸۷	۴۶/۰۰	-/۱۷	۱/۱۹	-/۹۹	-/۲۱	۱/۸۳		
۲/۲۳	-/۰۰۰۸۲۳۱۹۴	-/۵۸	۵/۱۵	۵/۴۰	-/۲۳	۱/۸۰	-/۱۵۲۵	-/۰۵۸	-/۰۰۰۱۷۲
۲۵/۹۵	-/۰۰۷۲۳۸۲۳	۵/۱۰	۱/۳۹	۲/۲۸	-/۶۱	-/۹۰	-/۳۵۰		
۱۱۱/۲۷	-/۰۲۴۸۳۷۷۵	۱۷/۵۰	-/۴۴	۱/۳۷	-/۸۳	-/۲۵	-/۶۰۱		
۱۸۱/۴	-/۰۳۵۴۸۲۵۰۱	۲۵/۰۰	-/۳۲	۱/۵۲	-/۷۶	-/۳۰	-/۹۱۲		
۲۷۵/۸	-/۰۴۴۷۰۷۹۵۱	۳۱/۵۰	-/۲۵	۱/۶۰	-/۷۲	-/۲۲	۱/۲۱۹		
۴۲۶/۹۳	-/۰۵۶۰۶۲۳۵۱	۳۹/۵۰	-/۲۰	۱/۶۵	-/۷۱	-/۱۸	۱/۵۲۴		
۶۳۷/۶	-/۰۶۱۷۳۹۵۵۱	۴۳/۵۰	-/۱۸	۱/۷۰	-/۷۰	-/۱۵	۱/۸۳۰		

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	۱/۲۲	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	۵۶۸۸/۲۵
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	۰/۵۲	۱۹۷۵۶/۲۵
	۳۰۰	۰/۱۱۰۲۸۲۹۲	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	۴/۶۰۳۹۴۱۵۷۷	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	۰/۰۵۱۹۹۸۷۳۳	۲/۲۳	۱/۲۹	۰/۲۳۰	۱/۹۴	۱/۱۹	
	۱۳۵۱	۰/۳۷۶۹۲۲۵۲۴	۲/۱۶	۲/۶۰	۰/۵۲۰	۱/۳۶	۰/۹۲	
	۱۱۵۰۶	۲/۵۶۸۴۲۲۲۷۶	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	
	۳۶۸۷۲۱	۴۸/۴۲۱۱۱۳۳۹	۹۲/۰۰	۲۵/۵۰	۹/۸۰۰	۰/۶۱	۰/۳۲	
	۹۳۸۶۲۷	۸۹/۲۸۷۱۲۱۱	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	۰/۱۴۲۷۶۸۶	۳۰/۰۰	۸/۱۰	۲/۲۴۰	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	۱۷/۲۹۱۴۵۳۵۱	۳۱۲/۰۰	۶۳/۰۰	۳۲/۰۰۰	۰/۴۳	۰/۲۸	
	۲۲۰۲۹۵	۲۸/۹۲۷۹۹۲	۵۱۶/۰۰	۹۱/۰۰	۵۱/۰۰۰	۰/۳۸	۰/۲۳	
	۴۶۷۵۵۵	۴۲/۵۷۵۹۵۵۸۲	۷۲۲/۰۰	۱۲۲/۰۰	۷۰/۰۰۰	۰/۳۵	۰/۱۹	



ستون ۱: تعیین  $D$  از جدول (۱۰) (برحسب فوت)

ستون ۲: تعیین  $i_B$  از جدول (۱۰)

ستون ۳: تعیین  $R'_B$  از ستون ۱ جدول (۷) (برحسب فوت)

ستون ۴: محاسبه  $\psi$  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  $\xi$  از شکل (۱۷)

ستون ۷: محاسبه  $\psi_*$  براساس رابطه (۱۸) مرحله ۳

ستون ۸: تعیین  $\phi_*$  از شکل (۶)

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

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

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

$$119/0 + 210/0 + 69/0 + 2/5 = 400/5$$

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  $I_1$  از شکل (۱۱)

ستون ۱۵: محاسبه مقدار  $I_2$  از شکل (۱۲)

ستون ۱۶: محاسبه  $I_1 + I_2 + 1$  از رابطه ۲۳ مرحله ۳

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

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

ستون ۱۹: محاسبه  $\sum i_T Q_T$  با استفاده از نتایج ستون ۱۸، به عنوان مثال اولین عدد موجود در ستون ۱۹ برای هر

محدوده محاسبه می شود.

$$168 + 335 + 153 + 14 = 670 \text{ تن/روز}$$



## میانمایی در روش کلی

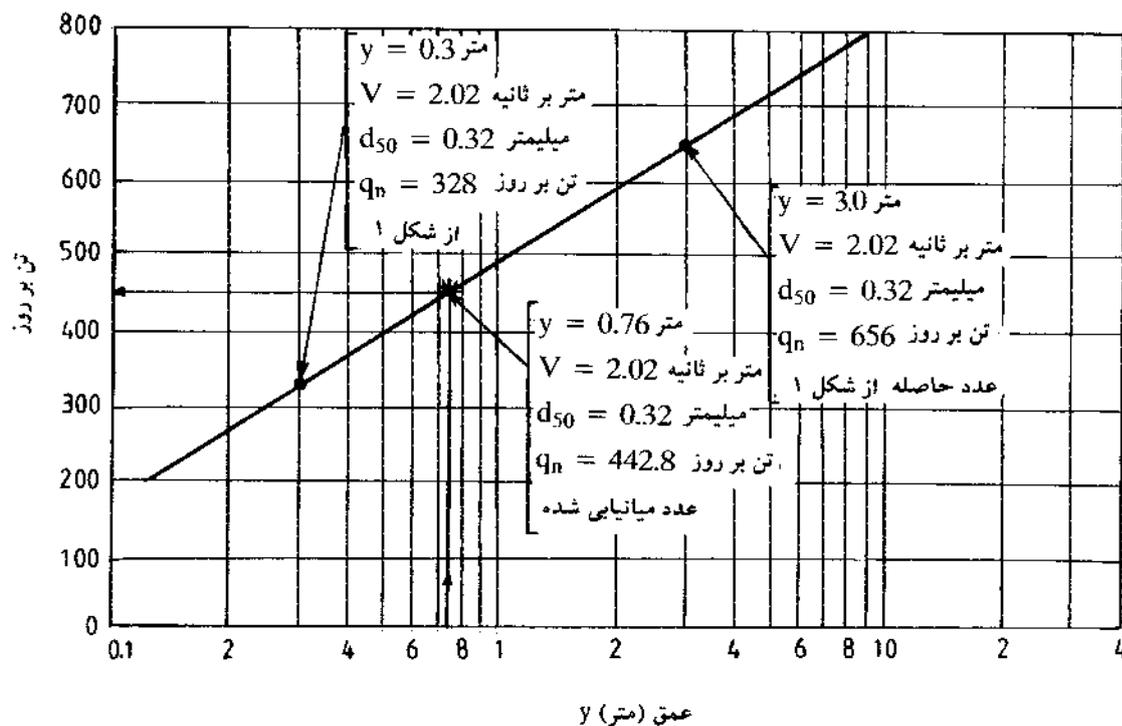
از آنجا که در اکثر مواقع تعیین مستقیم بار رسوبی ( $q_n$ ) از نمودار کلی شکل (۱) میسر نیست، لذا اغلب ضروری است مقدار  $q_n$  به روش میانمایی تعیین گردد. ذیلاً نحوه میانمایی در روش کلی توضیح داده می‌شود: براساس مشخصات جریان، مندرج در مثال مذکور در متن (مبحث ۳-۱ روش اول):

$$y_0 = 0.76 \text{ متر}$$

$$V = 2.02 \text{ متر بر ثانیه}$$

$$d_{50} = 0.23 \text{ میلیمتر}$$

با مراجعه به شکل ۱ تعیین بار رسوبی نظیر مقادیر فوق به طور 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، میانمایی شود. همان‌طور که از نمودار ۱ برمی‌آید، عدد میانمایی شده برای  $q_n$  معادل  $442.8/8$  تن بر روز است.



نمودار ۱- طریقه میانمایی برای تعیین  $q_n$  در روش کلی



- 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 Tromspt", 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 آیین نامه، 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 فعالیت های عمرانی بکار برده شود. به این لحاظ برای آشنایی بیشتر، فهرست عناوین نشریاتی که طی دو سال اخیر به چاپ رسیده است با اطلاع استفاده کنندگان و دانش پژوهان محترم رسانده می شود.

لطفاً برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی [www.mporg.ir/s.htm](http://www.mporg.ir/s.htm) مراجعه نمایید.

دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی





**فهرست نشریات**

**دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی**

**در سال‌های (۸۱-۸۲)**





ملاحظات	نوع دستورالعمل	تاریخ انتشار چاپ		شماره نشریه	عنوان نشریه
		اول	آخر		
	۱		۱۳۸۱	۲۳۴	آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران
	۱-۲۳۵-۲ ۲-۲۳۵-۳		۱۳۸۲ ۱۳۸۱	۲۳۵	ضوابط و معیارهای طراحی و اجرای سیلو در ایران (جلد اول) ضوابط و معیارهای طراحی و اجرای سیلو در ایران (جلد دوم) ضوابط و معیارهای طراحی و اجرای سیلو در ایران (جلد سوم)
	۳		۱۳۸۱	۲۴۰	راهنامه ی برگزاری مسابقات معماری و شهرسازی در ایران
	۳		۱۳۸۱	۲۴۵	ضوابط طراحی سینما
	۱		۱۳۸۱	۲۴۶	ضوابط و مقررات شهرسازی و معماری برای افراد معلول جسمی- حرکتی
	۳		۱۳۸۱	۲۴۷	دستورالعمل حفاظت و ایمنی در کارگاههای سدسازی
	۳		۱۳۸۱	۲۴۸	فرسایش و رسوبگذاری در محدوده آبسنگنها
	۲		۱۳۸۱	۲۴۹	فهرست خدمات مرحله توجیهی مطالعات ایزوتوپی و ردیابی مصنوعی منابع آب زیرزمینی
	۱			۲۵۰	آیین نامه طرح و محاسبه قطعات بتن پیش تنیده
	۳		۱۳۸۱	۲۵۱	فهرست خدمات مطالعات بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود
	۳		۱۳۸۱	۲۵۲	رفتارستحی فضاهای زیرزمینی در حین اجرا
	۱		۱۳۸۱	۲۵۳	آیین نامه نظارت و کنترل بر عملیات و خدمات نقشه برداری
	۳ ۱ ۳		۱۳۸۱	۲۵۴	دستورالعمل ارزیابی پیامدهای زیست محیطی پروژه های عمرانی: جلد اول - دستورالعمل عمومی ارزیابی پیامدهای زیست محیطی پروژه های عمرانی (۱-۲۵۴) جلد دوم شرح خدمات بررسی اولیه و مطالعات تفصیلی ارزیابی آثار زیست محیطی طرح عمرانی (۲-۲۵۴) جلد سوم دستورالعمل های اختصاصی پروژه های آب... (۳-۲۵۴)
	۳		۱۳۸۱	۲۵۵	دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران
	۳		۱۳۸۱	۲۵۶	استانداردهای نقشه کشی ساختمانی
	۳			۲۵۷	دستورالعمل تهیه طرح مدیریت مناطق تحت حفاظت
	۳		۱۳۸۱	۲۵۸	دستورالعمل بررسیهای اقتصادی منابع آب
	۳		۱۳۸۱	۲۵۹	دستورالعمل آزمون میکروبیولوژی آب
	۳		۱۳۸۱	۲۶۰	راهنامه ی تعیین عمق فرسایش و روشهای مقابله با آن در محدوده پایه های پل
	۱		۱۳۸۱	۲۶۱	ضوابط و معیارهای فنی روشهای آبیاری تحت فشار مشخصات فنی عمومی آبیاری تحت فشار
	۲		۱۳۸۲	۲۶۲	فهرست جزئیات خدمات مطالعات تاسیسات آبیاری ( مرحله های شناسائی ، اول و دوم ایستگاههای پمپاژ )
	۲		۱۳۸۲	۲۶۳	فهرست جزئیات خدمات مهندسی مطالعات تاسیسات آبیاری ( سردخانه سازی)
	۱		۱۳۸۲	۲۶۴	آیین نامه اتصالات سازه های فولادی ایران
	۳		۱۳۸۲	۲۶۵	بریابی آزمایشگاه آب
	۳		۱۳۸۲	۲۶۶	۱- دستورالعمل تعیین اسید بته و قلیائیت آب ۲- دستورالعمل تعیین نیتروژن آب

ملاحظات	نوع دستورالعمل	تاریخ انتشار چاپ		شماره نشریه	عنوان نشریه
		آخر	اول		
				۲۶۷	این نامه ایمنی راه‌های کشور ایمنی راه و حریم (جلد اول) ایمنی ابنیه هنی (جلد دوم) ایمنی علائم (جلد سوم) تجهیزات ایمنی راه (جلد چهارم) تأسیسات ایمنی راه (جلد پنجم) ایمنی بهره‌برداری (جلد ششم) ایمنی در عملیات اجرایی (جلد هفتم)
	۳		۱۳۸۲	۲۶۸	دستورالعمل تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راه‌ها
	۳		۱۳۸۲	۲۶۹	راهنمای آزمایش‌های دانه‌بندی رسوب
	۳		۱۳۸۲	۲۷۰	معیارهای برنامه‌ریزی و طراحی کتابخانه‌های عمومی کشور
	۳		۱۳۸۲	۲۷۱	شرایط طراحی (DESIGN CONDITIONS) برای محاسبات تأسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع مخصوص تعدادی از شهرهای کشور
				۲۷۲	راهنمای مطالعات بهره‌برداری از مخازن سدها
				۲۷۳	راهنمای تعیین بار کل رسوب رودخانه‌ها به روش انیشتین و کلبی
				۲۷۴	دستورالعمل نمونه‌برداری آب
				۲۷۵	ضوابط بهداشتی و ایمنی پرسنل تصفیه‌خانه‌های فاضلاب
				۲۷۶	شرح خدمات مطالعات تعیین حد بستر و حریم رودخانه یا مسیل
				۲۷۷	راهنمای بررسی پیشروی آب‌های شور در آبخوان‌های ساحلی و روش‌های کنترل آن
				۲۷۸	راهنمای انتخاب ظرفیت واحدهای مختلف تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری
				۲۷۹	مشخصات فنی عمومی زیرسازی راه‌آهن
				۲۸۰	مشخصات فنی عمومی راه‌داری
				۲۸۱	ضوابط عمومی طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی
				۲۸۲	ضوابط هیدرولیکی طراحی ساختمان‌های تنظیم سطح آب و آبگیرها در کانال‌های روباز
				۲۸۳	فهرست خدمات مهندسی مرحله ساخت طرح‌های آبیاری و زهکشی
				۲۸۴	راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری بخش دوم - تصفیه نانونه
				۲۸۵	راهنمای تعیین و انتخاب وسایل و لوازم آزمایشگاه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

