

جمهوری اسلامی ایران  
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

# راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها

ضابطه شماره ۶۸۸

وزارت نیرو  
دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و  
زیست‌محیطی آب و آبفا

<http://seso.moe.gov.ir>

معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی  
امور نظام فنی و اجرایی کشور

[nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)

۱۳۹۴

## اصلاح مدارک فنی

### خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایراد و اشکال نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
  - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت 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 امور 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، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن

۳۳۲۷۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، امور نظام فنی و اجرایی

Email: info@nezamfanni.ir

web: nezamfanni.ir

## پیشگفتار

ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها، یکی از عوامل مورد نیاز برای مطالعات مهندسی رودخانه می‌باشد. تعیین دقیق این عامل برای تعیین عواملی نظیر عمق و سرعت جریان ضروری می‌باشد. با وجود این که در برخی کتب هیدرولیک و مهندسی رودخانه مباحثی در خصوص ضریب زبری رودخانه‌ها ارائه شده است ولی ضرورت داشتن راهنمای جامع برای کلیه شرایط موجود در رودخانه‌های کشور، موجب گردید که نشریه حاضر تدوین گردد. از سوی دیگر از آن جا که دقت تعیین عمق جریان در تعیین دقیق مشخصه‌های فنی و حقوقی نظیر حدود بستر و حریم رودخانه‌ها، موثر می‌باشد، برآورد دقیق ضریب زبری هیدرولیکی علاوه بر ارزش فنی، اهمیت حقوقی نیز پیدا می‌نماید.

با توجه به مطالب فوق، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه ضابطه «راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها» را با هماهنگی امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در دستور کار قرار داد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی کشور به این سازمان ارسال نمود که پس از بررسی، براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی و اجرایی کشور (مصوب شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ - مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردید.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این ضابطه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از اینرو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

بدین وسیله معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی از تلاش‌ها و جدیت رییس امور نظام فنی و اجرایی کشور جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و اجرایی و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس تقی عبادی و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این ضابطه، تشکر و قدردانی می‌نماید.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

زمستان ۱۳۹۴

## تهیه و کنترل «راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها» [ضابطه شماره ۶۸۸]

مجری: دانشگاه تهران

مشاور پروژه: محمدابراهیم بنی‌حبیب      دانشگاه تهران      دکترای عمران - مهندسی آب

### اعضای گروه تهیه‌کننده:

محمدابراهیم بنی‌حبیب      دانشگاه تهران      دکترای عمران - مهندسی آب

علی اصغر منتظر      دانشگاه تهران      دکترای آبیاری

### اعضای گروه نظارت:

ابراهیم جباری      دانشگاه علم و صنعت ایران      دکترای هیدرولیک

احمد طاهرشمسی      دانشگاه صنعتی امیرکبیر      دکترای هیدرولیک

کیاندرخت کباری      کارشناس آزاد      لیسانس مهندسی راه و ساختمان

### اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی مهندسی رودخانه و سواحل طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

محمود افسوس      شرکت مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران      فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک

غزال جعفری      شرکت مدیریت منابع آب ایران      فوق لیسانس مهندسی عمران - آب

محمدحسن چیتی      شرکت مهندسین مشاور پژوهش عمران      فوق لیسانس مهندسی سازه‌های آبی  
راهوار

نرگس دشتی      طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی      لیسانس مهندسی آبیاری

صنعت آب کشور - وزارت نیرو

حسن سید سراجی      پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور      دکترای مکانیک سیالات

حسام فولادفر      موسسه تحقیقات آب      دکترای سازه‌های آبی

سیدکمال‌الدین نوری      وزارت کشور      فوق لیسانس مهندسی منابع طبیعی

— محیط زیست

جبار وطن‌فدا      وزارت نیرو      فوق لیسانس مهندسی سازه‌های

هیدرولیکی

### اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور):

علیرضا توتونچی      معاون امور نظام فنی و اجرایی

فرزانه آقارمضانعلی      رئیس گروه امور نظام فنی و اجرایی

سید وحیدالدین رضوانی      کارشناس آبیاری و زهکشی، امور نظام فنی و اجرایی



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۳	فصل اول - کلیات
۵	۱-۱- تعاریف و مفاهیم ضریب زبری
۵	۲-۱- محدودیت‌های راهنما
۵	۳-۱- انواع زبری جریان
۹	فصل دوم - انواع روابط ضریب زبری
۱۱	۱-۲- کلیات
۱۱	۲-۲- رابطه شزی
۱۱	۳-۲- رابطه ویسباخ
۱۲	۴-۲- رابطه مانینگ
۱۲	۵-۲- ضریب سرعت بی‌بعد
۱۲	۶-۲- روابط همبستگی بین بده جریان و عوامل هیدرولیکی جریان
۱۳	۷-۲- رابطه بین ضرایب روابط جریان
۱۳	۸-۲- مقایسه ضریب روابط جریان
۱۵	فصل سوم - عوامل موثر بر زبری هیدرولیکی
۱۷	۱-۳- کلیات
۱۷	۲-۳- بررسی عوامل موثر در زبری هیدرولیکی آبراهه اصلی
۱۷	۱-۲-۳- اثر قطر دانه‌های رسوب، عمق جریان و لزجت جریان
۱۹	۲-۲-۳- اثر شکل بستر
۲۱	۳-۲-۳- ناهموازی سطح آبراهه
۲۱	۴-۲-۳- اثر تغییرات اندازه و شکل مقاطع رودخانه
۲۱	۵-۲-۳- اثر موانع
۲۲	۶-۲-۳- اثر پوشش گیاهی
۲۲	۷-۲-۳- اثر پیچانرودی
۲۲	۸-۲-۳- اثر غلظت جریان
۲۳	۳-۳- بررسی عوامل موثر در زبری هیدرولیکی سیلاب‌دشت

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲۳	۳-۳-۱- ناهمواری‌های سطح سیلاب‌دشت
۲۳	۳-۳-۲- موانع
۲۳	۳-۳-۳- سایر عوامل موثر
۲۵	فصل چهارم - نحوه جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های مورد نیاز برای تعیین ضریب زبری
۲۷	۴-۱- بازدیدهای میدانی
۲۷	۴-۱-۱- بررسی تغییرات پلان و مقاطع عرضی رودخانه
۲۷	۴-۱-۲- بررسی پوشش گیاهی در آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت
۲۷	۴-۱-۳- بررسی موانع موجود
۲۸	۴-۱-۴- بررسی ایستگاه‌های آب‌سنجی
۲۸	۴-۱-۵- لوازم مورد نیاز برای بازدید
۲۸	۴-۲- جمع‌آوری آمار و اطلاعات و گزارش‌های موجود
۲۸	۴-۳- دستورالعمل نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های دانه‌بندی
۳۱	فصل پنجم - روش‌های مختلف تعیین ضریب زبری
۳۳	۵-۱- کلیات
۳۳	۵-۲- تعیین زبری ناشی از دانه‌های رسوب
۳۳	۵-۲-۱- روابط نیمه تجربی
۳۵	۵-۲-۲- روابط تجربی
۳۶	۵-۲-۳- جدول‌ها
۳۷	۵-۳- تعیین زبری ناشی از شکل بستر
۳۸	۵-۳-۱- تعیین زبری ناشی از شکل بستر با در نظر گرفتن نوع شکل بستر
۴۱	۵-۳-۲- تعیین زبری ناشی از شکل بستر بدون در نظر گرفتن نوع شکل بستر
۴۲	۵-۴- تعیین زبری ناشی از جریان‌های گلی و واریزه‌ای
۴۲	۵-۴-۱- روابط تاکاهاشی
۴۲	۵-۴-۲- رابطه آرای
۴۳	۵-۴-۳- رابطه بنی حبیب
۴۳	۵-۵- تعیین زبری ناشی از پوشش گیاهی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۴۴	۵-۵-۱- روابط تجربی و نیمه تجربی
۵۲	۵-۶- تعیین زبری ناشی از سایر عوامل موثر
۵۲	۵-۷- روش تعیین ضریب زبری ناشی از مجموعه عوامل
۵۳	۵-۷-۱- تعیین ضریب زبری با استفاده از تصاویر
۷۵	۵-۷-۲- تعیین ضریب زبری مانینگ با استفاده از جداول تجربی
۷۸	۵-۸- تعیین ضریب زبری بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده آب‌سنجی
۷۸	۵-۸-۱- واسنجی ضریب مانینگ با استفاده از نیمرخ طولی تراز آب
۷۹	۵-۸-۲- تعیین ضریب مانینگ با استفاده از منحنی سنجه بده جریان
۷۹	۵-۹- سایر موارد
۸۱	<b>فصل ششم - ملاحظات کاربرد ضریب زبری در طرح‌های مهندسی رودخانه</b>
۸۳	۶-۱- کلیات
۸۳	۶-۲- ملاحظات تعیین ضریب زبری رودخانه در طرح‌های کاهش خسارت سیلاب
۸۳	۶-۲-۱- روش‌های غیرسازه‌ای
۸۳	۶-۲-۲- روش‌های سازه‌ای مهار سیلاب
۸۵	۶-۳- ملاحظات تعیین ضریب زبری در طرح‌های مهار فرسایش و رسوب
۸۵	۶-۳-۱- روش‌های غیرسازه‌ای و مدیریتی مهار فرسایش و رسوب
۸۵	۶-۳-۲- روش‌های سازه‌ای مهار فرسایش و رسوب
۸۷	۶-۴- ملاحظات تعیین ضریب زبری رودخانه در طرح‌های کشتیرانی
۸۹	<b>فصل هفتم - تعیین ضریب زبری در آبراهه‌های مرکب</b>
۹۱	۷-۱- کلیات
۹۲	۷-۲- گام‌های بازبندی رودخانه و مشخص کردن آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت
۹۲	۷-۳- گام‌های لازم برای تعیین ضریب زبری در آبراهه اصلی
۹۲	۷-۳-۱- ملاحظات مربوط به تقسیم بندی آبراهه اصلی به قطعات مختلف
۹۳	۷-۳-۲- تعیین ضریب مانینگ ناشی از مواد تشکیل دهنده آبراهه
۹۴	۷-۳-۳- گام‌های مربوط به ملاحظات ریخت‌شناسی و عوارض و موانع موجود
۹۵	۷-۴- گام‌های لازم برای تعیین ضریب زبری در سیلاب‌دشت

## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۹۵	۷-۴-۱- زبری ناشی از دانه‌های مواد جداره‌ای سیلاب‌دشت
۹۵	۷-۴-۲- زبری ناشی از موانع موجود در سیلاب‌دشت
۹۶	۷-۵- روابط ترکیب ضریب زبری
۹۶	۷-۵-۱- فرض مساوی بودن سرعت متوسط در قطعات مختلف
۹۶	۷-۵-۲- فرض جمع جبری بده‌های هر قطعه
۹۶	۷-۵-۳- فرض جمع نیروی مقاوم هر قطعه
۹۶	۷-۵-۴- متوسط وزنی ضریب مانینگ
۱۰۱	فصل هشتم - توصیه روش مناسب تعیین ضریب زبری در شرایط مختلف
۱۰۳	۸-۱- کلیات
۱۰۳	۸-۲- روش مناسب در صورت وجود داده‌های آب‌سنجی
۱۰۳	۸-۳- روش مناسب برای بسترهای ثابت و قلوه سنگی
۱۰۳	۸-۴- روش مناسب برای تعیین بسترهای آبرفتی متحرک
۱۰۴	۸-۵- روش مناسب برای تعیین ضریب زبری در صورت عدم وجود داده‌های دانه‌بندی بستر
۱۰۴	۸-۶- روش مناسب برای تعیین ضریب زبری در صورت وجود پوشش گیاهی
۱۰۴	۸-۶-۱- روش مناسب در شرایط مختلف هیدرولیکی
۱۰۴	۸-۶-۲- روش مناسب در صورت عدم وجود داده‌های کمی تراکم پوشش گیاهی
۱۰۴	۸-۷- روش مناسب در صورت رخداد جریان‌های گلی و واریزه‌ای
۱۰۵	منابع و مراجع

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲۰	شکل ۳-۱- تغییرات ضریب زبری در بسترهای ماسه‌ای و رژیم‌های مختلف جریان
۲۰	شکل ۳-۲- رابطه بین قطر متوسط رسوب بستر و توان آبراهه‌ای با رژیم جریان
۳۴	شکل ۵-۱- ضریب تصحیح توزیع لگاریتمی سرعت
۳۸	شکل ۵-۲- شکل‌های مختلف بستر
۴۱	شکل ۵-۳- رابطه شکل بستر با توان آبراهه‌ای و متوسط قطر دانه‌های رسوب
۴۵	شکل ۵-۴- ضریب بازدارنده موثر برای درختان موجود در سیلاب‌دشت
۴۸	شکل ۵-۵- پارامترهای روش رهمیر
۵۴	شکل ۵-۶- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۱
۵۴	شکل ۵-۷- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۱
۵۵	شکل ۵-۸- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۱
۵۵	شکل ۵-۹- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۱
۵۶	شکل ۵-۱۰- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۱
۵۶	شکل ۵-۱۱- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۱
۵۷	شکل ۵-۱۲- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۲
۵۷	شکل ۵-۱۳- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۲
۵۸	شکل ۵-۱۴- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۳
۵۸	شکل ۵-۱۵- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۴
۵۹	شکل ۵-۱۶- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۴
۵۹	شکل ۵-۱۷- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۵
۶۰	شکل ۵-۱۸- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۸
۶۰	شکل ۵-۱۹- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۲۰
۶۱	شکل ۵-۲۰- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۲۰
۶۳	شکل ۵-۲۱- رودخانه سورن در بدلی
۶۴	شکل ۵-۲۲- پلان و مقاطع عرضی رودخانه سورن در بدلی
۶۴	شکل ۵-۲۳- رودخانه ویرنی در لیانیمینیچ
۶۵	شکل ۵-۲۴- پلان و مقاطع عرضی رودخانه ویرنی در لیانیمینیچ

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۶۶	شکل ۵-۲۵- رودخانه سورن در مونتفورد
۶۷	شکل ۵-۲۶- پلان و مقاطع عرضی رودخانه سورن در مونتفورد
۶۷	شکل ۵-۲۷- رودخانه ترنت در دراکلو
۶۸	شکل ۵-۲۸- پلان و مقاطع عرضی رودخانه ترنت در دراکلو
۶۹	شکل ۵-۲۹- رودخانه درونت در چاتسورس
۷۰	شکل ۵-۳۰- پلان و مقاطع عرضی رودخانه درونت در چاتسورس
۷۰	شکل ۵-۳۱- رودخانه منیفولد در ایلام
۷۱	شکل ۵-۳۲- پلان و مقاطع عرضی رودخانه منیفولد در ایلام
۷۲	شکل ۵-۳۳- رودخانه آون اوشام
۷۳	شکل ۵-۳۴- پلان و مقاطع عرضی رودخانه آون در اوشام
۷۳	شکل ۵-۳۵- رودخانه تانات در لیانیبلدون
۷۴	شکل ۵-۳۶- پلان و مقاطع عرضی رودخانه تانات در لیانیبلدون

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۳۵	جدول ۵-۱- عوامل تعیین ضریب زبری دانه‌های رسوب
۳۶	جدول ۵-۲- مقادیر ضریب مانینگ پایه (زبری دانه‌های رسوب بستر آبراهه‌ها و سیلاب‌دشت‌ها)
۳۷	جدول ۵-۳- ضریب مانینگ برای مواد بستر آبراهه‌ها و سیلاب‌دشت‌ها
۴۵	جدول ۵-۴- تعیین درجه تعویق پوشش گیاهی
۴۶	جدول ۵-۵- روابط گرین و گارتن
۴۸	جدول ۵-۶- جدول ضریب مانینگ برای چمن و علف
۴۹	جدول ۵-۷- جدول ضریب مانینگ برای انواع محصولات زراعی
۴۹	جدول ۵-۸- جدول ضریب مانینگ برای پرچین منظم و نامنظم
۵۰	جدول ۵-۹- جدول ضریب مانینگ برای درختان و بوته‌ها
۶۲	جدول ۵-۱۰- عوامل و مشخصات تصاویر تعیین ضریب مانینگ
۷۵	جدول ۵-۱۱- جدول تعیین ضریب زبری بر اساس تجربیات چاو

## فهرست جدول‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸۶	جدول ۶-۱- نحوه ارزیابی اثر آبشکن‌ها بر روی ضریب زبری
۸۶	جدول ۶-۲- ضریب مانینگ انواع پوشش
۹۷	جدول ۷-۱- ضریب مانینگ تعدیلی برای درجه بی‌نظمی سطح آبراهه اصلی $n_1$
۹۷	جدول ۷-۲- ضریب تعدیلی تغییرات مقاطع عرضی آبراهه اصلی $n_2$
۹۷	جدول ۷-۳- ضریب تعدیلی برای موانع $n_3$
۹۸	جدول ۷-۴- ضریب اصلاحی برای پوشش گیاهی آبراهه اصلی $n_4$
۹۸	جدول ۷-۵- ضریب مربوط به تعدیل درجه پیچانرودی آبراهه اصلی (m)
۹۸	جدول ۷-۶- ضریب مانینگ تعدیلی برای بی‌نظمی سیلاب‌دشت $n_1$
۹۸	جدول ۷-۷- ضریب مانینگ تعدیلی برای رفع موانع موجود در سیلاب‌دشت $n_3$
۹۹	جدول ۷-۸- ضریب تعدیلی برای پوشش گیاهی سیلاب‌دشت $n_4$





## مقدمه

برای تعیین عوامل هیدرولیکی نظیر عمق و سرعت جریان، نیاز به تعیین ضریب زبری هیدرولیکی جریان می‌باشد. در کلیه مطالعات مهندسی رودخانه و طراحی سازه‌های متقاطع رودخانه نظیر پل‌ها، سدهای انحرافی و یا دهانه‌های آبگیر که دانستن عمق و سرعت جریان ضروری است، تعیین دقیق ضریب زبری مورد نیاز خواهد بود. ضریب زبری هیدرولیکی در شرایط متنوع و پیچیده رودخانه‌ها متأثر از عوامل مختلفی می‌باشد، بنابراین تحقیقات گسترده‌ای بر روی شرایط متنوع جریان در رودخانه‌ها صورت پذیرفته و طیف گسترده‌ای از روابط ارائه شده است. به‌همین علت، شناخت کامل کارشناسان مطالعات مهندسی رودخانه از عوامل موثر و شرایط متنوع رودخانه‌ها، مقدم بر تعیین ضریب زبری رودخانه‌ها می‌باشد و تسلط این کارشناسان به انواع روابط تعیین ضریب زبری در شرایط متنوع رودخانه‌ها نیز ضروری است. لذا راهنمای حاضر علاوه بر بررسی عوامل موثر بر زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها، روابط مناسب برای شرایط مختلف رودخانه‌ها را نیز ارائه می‌نماید.

## - هدف

هدف از تدوین این راهنما تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها می‌باشد. به این منظور عوامل موثر بر روی ضریب زبری هیدرولیکی بررسی گردیده و نحوه تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها در شرایط مختلف، مورد بحث قرار می‌گیرد. راهنمای حاضر برای تعیین ضریب زبری آبراهه اصلی<sup>۱</sup> و سیلاب‌دشت<sup>۲</sup> رودخانه‌ها کاربرد دارد.

## - دامنه کاربرد

راهنمای حاضر برای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها کاربرد داشته و تعیین ضریب زبری هیدرولیکی سایر مجاری آبی نظیر سطح حوضه‌های آبریز، کانال‌های آبیاری، کف دریاها، دریاچه‌ها، لوله‌ها و تونل‌ها، خارج از بحث راهنمای حاضر می‌باشد. همچنین کاربرد راهنمای حاضر در تعیین ضریب زبری مدل‌های ریاضی رودخانه‌ها محدود به مدل‌های یک بعدی می‌باشد. به‌علت عدم کفایت تحقیقات موجود، استفاده از روابط ارائه شده برای سیلاب‌های گلی و واریزه‌ای محدود به آبراهه‌های کوهستانی خواهد بود که فاقد پوشش درختی قابل توجه باشد. ترکیب روابط و روش‌های ارائه شده خارج از آنچه در متن راهنما تصریح شده، توصیه نمی‌شود.

---

1- Main Channel

2- Flood Plain



# فصل ۱

---

---

## کلیات



## ۱-۱- تعاریف و مفاهیم ضریب زبری

ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه که در راهنمای حاضر به اختصار تحت عنوان ضریب زبری به کار رفته است به درجه‌ی مقاومت در مقابل جریان گفته می‌شود. بعد و واحد ضریب زبری به نوع رابطه جریان بستگی دارد. در فصل دوم راهنمای حاضر انواع ضرایب زبری متداول، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

## ۱-۲- محدودیت‌های راهنما

راهنمای حاضر محدود به تعیین ضریب زبری در آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت رودخانه‌ها بوده و این ضریب زبری می‌تواند برای محاسبات یک بعدی جریان در رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین موارد زیر خارج از بحث راهنمای حاضر است:

- تعیین ضریب زبری سطح حوضه‌های آبریز
- تعیین ضریب زبری در کانال‌های انتقال آب و آبیاری و زهکشی
- با تقریب می‌توان ضریب زبری مورد نیاز برای شبیه‌سازی دو بعدی و سه بعدی جریان با سطح آزاد را با استفاده از مطالب راهنمای حاضر تعیین نمود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در زمان تهیه این راهنما، تحقیقات انجام شده برای تعیین ضریب زبری جریان در مدل‌های دو بعدی و سه بعدی به اندازه‌ای نیست که مبنای تدوین راهنمای استاندارد برای پروژه‌های عملی قرار گیرد و از سوی دیگر مدل‌های دو بعدی و سه بعدی جریان بیش‌تر جنبه تحقیقاتی داشته و حجم بالای داده‌های ورودی این مدل‌ها، استفاده از آن‌ها را محدود ساخته، بنابراین لازم است در آینده با تکمیل تحقیقات آزمایشگاهی و صحرایی بیش‌تر، نسبت به تدوین راهنمای تعیین ضریب زبری برای مدل‌های دو بعدی و سه بعدی اقدام گردد.

## ۱-۳- انواع زبری جریان

- زبری جریان در رودخانه‌ها را می‌توان در هشت نوع زیر تقسیم‌بندی نمود:
- زبری جداره رودخانه ناشی از زبری دانه‌های رسوب موجود در جداره آبراهه و سیلاب‌دشت
  - زبری ناشی از موانع
  - زبری ناشی از بی‌نظمی جداره آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت
  - زبری ناشی از تغییرات ابعاد و شکل مقاطع
  - زبری ناشی از پیچ‌انرودی رودخانه

– زبری ناشی از شکل بستر ناشی از امواج ماسه‌ای<sup>۱</sup>

– زبری پوشش گیاهی موجود در بستر آبراهه و سیلاب‌دشت

– زبری ناشی از غلظت رسوبات جریان

تماس جریان آب با دانه‌های رسوب موجود در محیط‌تر شده آبراهه موجب می‌شود که اصطکاک جداره‌ای ایجاد شده و مقاومت در مقابل جریان ایجاد گردد که تحت عنوان اصطکاک جداره<sup>۲</sup> یکی از انواع زبری جریان در آبراهه‌های طبیعی است. زبری حاصل از رسوبات جداره، تابعی از اندازه رسوبات و شرایط جریان بوده و بسته به شرایط جریان یک رودخانه، نوع دیگری از زبری جریان در اثر امواج ماسه‌ای بستر ایجاد می‌شود. در رودخانه‌های با بستر آبرفتی، تنش برشی جریان در بستر موجب جابجایی مواد بستر شده و امواج ماسه‌ای ایجاد می‌شود که بسته به مقدار تنش برشی و اندازه مواد بستر به صورت تلماسه<sup>۳</sup> و دندانه<sup>۴</sup> نمایان می‌شود. این امواج ماسه‌ای نیروی مقاوم<sup>۵</sup> ایجاد می‌کنند که به جریان و در جهت مخالف جریان اعمال شده و موجب زبری جریان می‌گردد. شکل بستر تابع اندازه دانه‌ها و شرایط جریان بوده بنابراین این نوع زبری جریان تابعی از شرایط جریان برای یک رودخانه معین است.

موانع مقابل جریان نظیر موانع طبیعی و مصنوعی، بی‌نظمی جداره‌ی آبراهه‌ی اصلی و سیلاب‌دشت، تغییرات ابعاد و شکل مقاطع عرضی، شکل پیچانرودی رودخانه در پلان مقاومت‌هایی را در مقابل جریان شکل می‌دهند که به زبری جریان می‌افزاید.

در صورت وجود پوشش گیاهی در بستر آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت، نوع دیگر زبری جریان نمایان می‌شود. پوشش گیاهی به عنوان مانع در مقابل جریان، موجب می‌شود نیروی مقاوم شکل گرفته و این نیرو به جریان اعمال شود. مقدار این نیرو به شرایط جریان، ابعاد پوشش گیاهی و انعطاف‌پذیری آن‌ها بستگی داشته و بنابراین زبری جریان حاصل از پوشش گیاهی تابعی از شرایط جریان محسوب می‌شود.

نوع دیگری از زبری جریان ناشی از غلظت رسوبات حمل شده در جریان می‌باشد. این نوع زبری در غلظت‌های کم نسبت به سایر انواع زبری ناچیز بوده ولی در جریان‌های گلی و واریزه‌ای مقدار آن قابل صرف‌نظر کردن نیست.

وجود هر یک از زبری جریان‌های گفته شده به شرایط رودخانه و جریان بستگی دارد. برای مثال زبری جریان در یک رودخانه مستقیم و یکنواخت و فاقد پوشش گیاهی با بستر شنی و قلوه سنگی در شرایط غیرسیلابی ممکن است محدود به زبری جداره جریان شود. درحالی‌که زبری جریان این رودخانه در شرایط سیلابی ممکن است شامل زبری ناشی از

1- Sand Waves

2- Skin

3- Dune

4- Ripple

5- Drag Force

شکل بستر و یا غلظت جریان گردد. به همین دلیل تعیین ضریب زبری نیازمند شناخت کافی از شرایط رودخانه و جریان بوده و ضریب زبری جریان تعیین شده محدود به شرایط تعیین آن‌ها خواهد بود.





## فصل ۲

---

---

### انواع روابط ضریب زبری



## ۲-۱- کلیات

ضریب زبری برای محاسبه سرعت و بده جریان در مجاری باز نظیر رودخانه‌ها به انواع مختلف تعریف شده است. روابط ارائه شده برای بده و سرعت جریان به پنج دسته زیر قابل تقسیم می‌باشد:

– رابطه شزی<sup>۱</sup>

– رابطه دارسی ویسباخ<sup>۲</sup>

– رابطه مانینگ<sup>۳</sup>

– رابطه سرعت بی‌بعد<sup>۴</sup>

– روابط همبستگی بین بده جریان و عوامل هیدرولیکی

تعدادی از روش‌ها، فرمول‌های جریان را بدون ارائه صریح ضریب زبری ارائه نمودند که در دسته اخیر طبقه‌بندی می‌شوند.

## ۲-۲- رابطه شزی

بیش از ۲۴۰ سال از اولین تحقیقات بر روی ضریب زبری می‌گذرد. بیش‌تر روابط اولیه تجربی و یا برازش منحنی بر روی داده‌های اندازه‌گیری بده بوده است. شزی در سال ۱۷۶۸ معادله‌ای را پیشنهاد نمود که کاربرد عمومی‌تر این معادله رابطه بین سرعت و مشخصات جریان را به‌صورت زیر بیان می‌کند [۱]:

$$V = C\sqrt{RS_f} \quad (۱-۲)$$

که در این رابطه C: ضریب شزی بوده و واحد آن جذر متر بر ثانیه ( $\sqrt{m/s}$ ) می‌باشد، R: شعاع هیدرولیکی و واحد آن متر و  $S_f$  شیب خط انرژی و بدون واحد است.

## ۲-۳- رابطه ویسباخ

در سال ۱۸۴۵ ویسباخ رابطه‌ای برای محاسبه اتلاف انرژی و مقاومت جریان<sup>۵</sup> در لوله‌ها ارائه نمود که برای رودخانه‌ها به‌صورت زیر نوشته می‌شود [۲۲]:

1- Chezy

2- Darcy & Weisback

3- Manning

4- Dimensionless Velocity Coefficient

5- Flow Resistance

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \cdot \sqrt{RS_f} \quad (2-2)$$

که در این رابطه  $g$ : شتاب ثقل و واحد آن  $m/s^2$  است،  $f$ : عامل اصطکاک و بی‌بعد بوده و تابعی از زبری نسبی جداره رودخانه و  $R$  عدد رینولدز می‌باشد.

## ۲-۴- رابطه مانینگ

بعد از رابطه ویسباخ در سال ۱۸۹۱، مانینگ در ایرلند رابطه زیر را برای محاسبه سرعت جریان منتشر کرد:

$$V = \frac{k_n}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2-3)$$

که در این رابطه  $n$ : ضریب مانینگ و واحد آن  $s/m^{1/3}$  است و  $k_n$  ضریب تبدیل واحد بوده و مقدار آن در سامانه‌ی SI معادل واحد و در سامانه‌ی انگلیسی معادل  $1/4861$  می‌باشد [۲۲]:

## ۲-۵- ضریب سرعت بی‌بعد

برخی از محققین برای بیان سرعت جریان، از ضریب سرعت استفاده کرده‌اند. ضریب سرعت به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۳ و ۴ و ۵]:

$$\phi = \frac{V}{U_*} \quad (2-4)$$

که در این رابطه  $U_*$ : سرعت برشی و معادل  $\sqrt{gRS}$  و واحد آن  $m/s$  است و  $\phi$  ضریب سرعت و بی‌بعد می‌باشد.

## ۲-۶- روابط همبستگی بین بده جریان و عوامل هیدرولیکی جریان

تعدادی از محققین برای بیان سرعت جریان روابط همبستگی بین بده جریان و عوامل هیدرولیکی جریان استخراج نموده‌اند که به‌صورت کلی زیر بیان می‌شود [۱۹]:

$$Q = kA^\alpha R^\beta S^\gamma \quad (2-5)$$

که بر اساس آن سرعت جریان به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$V = kA^{\alpha-1} R^\beta S^\gamma \quad (2-6)$$

که در روابط فوق  $A$  سطح مقطع جریان و  $\alpha, \beta, \gamma$  و  $k$  پارامترهایی هستند که از همبستگی بین پارامترهای  $Q, S, R, A$  به‌دست می‌آیند.

## ۷-۲- رابطه بین ضرایب روابط جریان

رابطه سرعت به اشکال مختلف یاد شده در بندهای پیشین این فصل تعریف شده است و بعضاً لازم است ضرایب روابط سرعت به یکدیگر تبدیل شوند که در این صورت می‌توان از روابط بین این ضرایب استفاده کرد. در این جا به علت کاربرد وسیع تر ضریب زبری مانینگ در رودخانه‌ها، ابتدا رابطه ضریب مانینگ با سایر ضرایب ارائه شده و سپس روابط بین ضرایب بی بعد بیان می‌گردد. رابطه ضریب مانینگ و ضریب شزی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$n = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{C} \quad (۷-۲)$$

ضریب مانینگ براساس ضریب اصطکاک دارسی ویسباخ به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$n = R^{\frac{1}{6}} \left( \frac{f}{8g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (۸-۲)$$

رابطه بین ضریب سرعت  $\phi$  با ضریب زبری مانینگ به صورت زیر قابل ارائه است:

$$(۹-۲)$$

از ضرایب بیان شده در روابط جریان یاد شده ضریب اصطکاک دارسی ویسباخ  $f$  و ضریب سرعت  $\phi$  بی بعد بوده و رابطه بین آن‌ها عبارت است از:

$$\phi = \sqrt{\frac{8}{f}} \quad (۱۰-۲)$$

## ۸-۲- مقایسه ضریب روابط جریان

از ضرایب یاد شده در فرمول‌های سرعت جریان، ضریب شزی ( $C$ ) و ضریب مانینگ ( $n$ ) با بعد و ضریب اصطکاک دارسی ویسباخ ( $f$ ) و ضریب سرعت ( $\phi$ ) بی بعد می‌باشند. از بین دو ضریب با بعد ( $C$ ) و ( $n$ )، ضریب شزی کاربرد قابل اعتنایی در هیدرولیک رودخانه‌ها پیدا نکرده ولی در مقابل آن ضریب مانینگ به علت انتشار جداول، تصاویر انتخاب ضریب مانینگ و روابط تجربی مختلف، کاربرد وسیعی در هیدرولیک رودخانه پیدا نموده است [۸، ۱۳، ۱۴ و ۲۶]. از ضرایب بی بعد موجود در روابط یاد شده جریان ضریب سرعت ( $\phi$ ) کاربرد وسیع تری نسبت به ضریب اصطکاک دارسی ویسباخ ( $f$ ) در رودخانه‌ها داشته و در تعیین رابطه جریان در بسترهای آبرفتی و جریان گلی و واریزه‌ای استفاده شده است [۲۲ و ۲۴ و ۲۰]. بنابراین در راهنمای حاضر عمده مطالب ارائه شده برای رابطه جریان بر اساس ضریب زبری مانینگ و ضریب سرعت ( $\phi$ ) می‌باشد.



## فصل ۳

---

---

### عوامل موثر بر زبری هیدرولیکی





### ۳-۱- کلیات

عوامل مختلفی بر زبری هیدرولیکی رودخانه موثر است. برخی از این عوامل تابع شرایط هیدرولیکی نظیر نوع رژیم جریان نیز می‌باشد. عوامل موثر بر زبری هیدرولیکی آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت رودخانه را می‌توان شامل موارد زیر دانست:

- قطر دانه‌های رسوب در بستر آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت رودخانه‌ها
- عمق جریان
- لزجت جریان
- شکل بستر آبراهه
- موانع موجود در بستر آبراهه و سیلاب‌دشت
- تغییرات شکل و اندازه مقاطع رودخانه
- پوشش گیاهی بستر آبراهه و سیلاب‌دشت
- پیچانرودی<sup>۱</sup> رودخانه
- غلظت رسوب جریان

در ادامه راهنما، اثر عوامل فوق در دو بخش آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۳-۲- بررسی عوامل موثر در زبری هیدرولیکی آبراهه اصلی

#### ۳-۲-۱- اثر قطر دانه‌های رسوب، عمق جریان و لزجت جریان

از آنجا که در اغلب تحقیقات پایه بر روی زبری هیدرولیکی، اثر زبری معادل ( $k_s$ )، عمق جریان و لزجت جریان با هم مورد بررسی قرار می‌گیرد اثر این سه عامل با هم مورد بحث قرار گرفته است. قطر دانه رسوب زبری جداره‌ای جریان را تشکیل می‌دهد. در غالب تحقیقات انجام یافته از  $d_{65}$  تا  $2d_{65}$  به عنوان زبری معادل استفاده شده است که در آن  $d_{65}$  قطر چشمه الکی است که ۶۵٪ مواد بستر از آن عبور می‌نماید. بر اساس زبری جداره آبراهه رژیم جریان به سه دسته طبقه‌بندی می‌شود [۱۲].

- رژیم صاف هیدرولیکی
- رژیم زبر هیدرولیکی
- رژیم بینابینی (تبدیل رژیم صاف به زبر یا بالعکس)

1 - Meandering

محدوده سه نوع رژیم جریان یاد شده بر اساس مقدار عدد رینولدز برشی تعیین می‌شود که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$R_* = \frac{k_s U_*}{\nu} \quad (۱-۳)$$

که در این رابطه:

$k_s$ : زبری معادل دانه‌های رسوبی و واحد آن متر می‌باشد.

$U_*$ : سرعت برشی بوده و از رابطه  $U_* = \sqrt{gRS}$  محاسبه می‌شود.

$\nu$ : لزجت سینماتیکی و واحد آن مجذور متر بر ثانیه می‌باشد.

$G$ : شتاب ثقل و واحد آن متر بر مجذور ثانیه می‌باشد.

$R$ : شعاع هیدرولیکی و واحد آن متر می‌باشد.

$S_f$ : شیب خط انرژی و بدون واحد است.

در محدوده زیر از عدد رینولدز برشی، رژیم جریان صاف هیدرولیکی است:

$$R_* < 5$$

در این صورت زبری جریان فقط تابع عدد رینولدز بوده و از رابطه زیر ضریب سرعت برای آبراهه مستطیلی عریض تعیین می‌شود [۱۲]:

$$\phi = \frac{U}{U_*} = 3 + 5 \cdot 75 \log \frac{RU_*}{\nu} \quad (۲-۳)$$

در محدوده زیر، جریان فقط تابعی از زبری نسبی بوده و از رابطه (۳-۳) ضریب سرعت برای آبراهه مستطیلی عریض تعیین می‌شود [۱۶]:

$$R_* > 70$$

$$\phi = \frac{U}{U_*} = 6 + 5 \cdot 75 \log \frac{R}{k_s} \quad (۳-۳)$$

این رابطه برای آبراهه مستطیلی کم عرض به صورت زیر در می‌آید [۲۸]:

$$\phi = \frac{U}{U_*} = 6 \cdot 25 + 5 \cdot 75 \log \frac{R}{k_s} \quad (۴-۳)$$

در خارج از دو محدوده یاد شده، رژیم جریان تبدیل از صاف به زبر هیدرولیکی بوده و تابع ضمنی از هر دو مقدار بی‌بعد عدد رینولدز و زبری نسبی می‌باشد. این رژیم در رودخانه گذرا بوده و در عمل این رژیم در رودخانه کم‌تر مشاهده می‌شود.

روابطی برای ضریب مانینگ ناشی از دانه‌های رسوب ارائه شده است که به صورت کلی زیر بیان می‌شود [۱۶].

$$n = \alpha d_*^{\frac{1}{6}} \quad (۵-۳)$$

این رابطه در ترکیب با رابطه مانینگ ضریب سرعت را به صورت زیر ارائه می‌دهد:

$$\phi = \frac{U}{U_*} = \frac{1}{\alpha \sqrt{g}} \left( \frac{R}{d_*} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (۶-۳)$$

در رابطه فوق  $d_*$  زبری معادل دانه‌های رسوب و واحد آن متر است و  $\alpha$  ضریب ثابت برای هر روش می‌باشد. در فصل پنجم این راهنما، روابط تجربی و مقادیر  $\alpha$ ،  $d_*$  و محدودیت هر رابطه ارائه شده است.

رابطه (۶-۳) نشان می‌دهد که این رابطه و رابطه اصلی آن یعنی رابطه (۵-۳) زبری هیدرولیکی و ضریب سرعت را فقط تابعی از زبری نسبی برآورد می‌نماید و این روابط فقط برای رژیم جریان زبری هیدرولیکی صادق است.

رابطه (۲-۳) نشان می‌دهد که ضریب سرعت با لگاریتم عدد رینولدز رابطه مستقیم دارد و با افزایش عدد رینولدز ضریب سرعت افزایش یافته و به علت رابطه معکوس ضریب مانینگ با ضریب سرعت مطابق رابطه (۲-۹) با افزایش عدد رینولدز در رژیم صاف هیدرولیکی، ضریب مانینگ کاهش می‌یابد.

ضریب زبری با افزایش عمق جریان کاهش می‌یابد. این موضوع به علت کاهش نسبی زبری جداره جریان در تولید آشفستگی در میدان جریان می‌باشد و با توجه به روابط (۲-۳) و (۳-۳) مشخص است که در هر دو نوع رژیم جریان، ضریب سرعت با افزایش عمق و شعاع هیدرولیکی، افزایش یافته و به علت رابطه معکوس ضریب سرعت با زبری هیدرولیکی، زبری هیدرولیکی کاهش می‌یابد.

### ۳-۲-۲- اثر شکل بستر

بسترهای ماسه‌ای در جریان‌های با توان‌های مختلف آبراهه‌ای به اشکال مختلفی در می‌آیند. شکل (۱-۳) به صورت شماتیک شکل بستر ماسه‌ای آبراهه را برای مقادیر مختلف توان آبراهه‌ای<sup>۱</sup> نشان می‌دهد [۸]. این شکل روند تغییرات زبری مانینگ را در اثر تغییر توان آبراهه‌ای ارائه می‌نماید. بسته به مقدار توان آبراهه‌ای و قطر متوسط دانه‌های ماسه، سه رژیم جریان زیر قابل تشخیص است [۲۳].

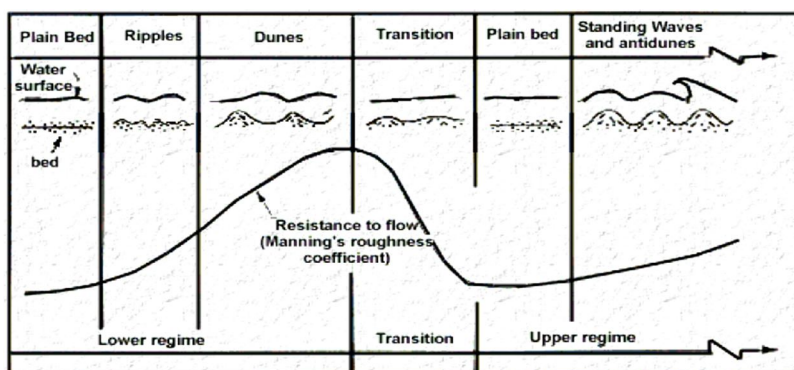
– رژیم پایینی<sup>۲</sup>

– رژیم بینابینی<sup>۳</sup>

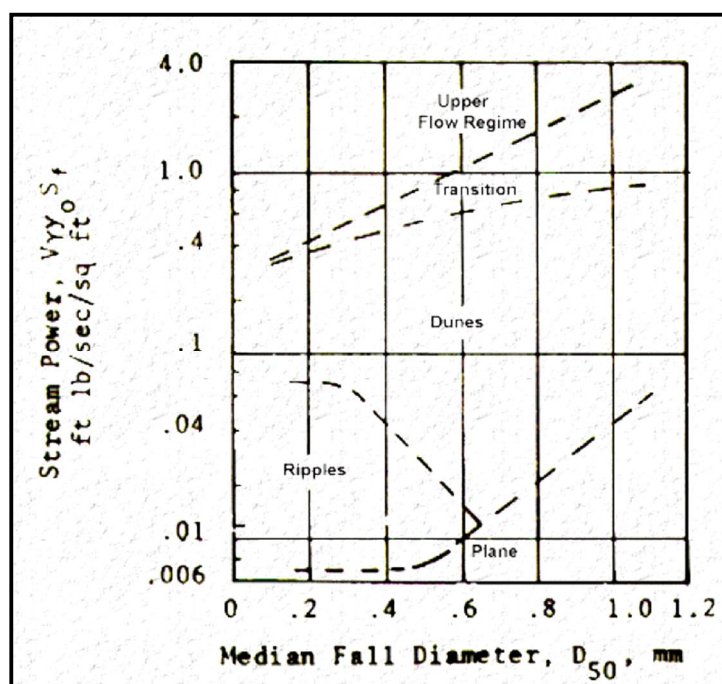
– رژیم بالایی<sup>۴</sup>

1- Stream Power  
2- Lower Regime  
3- Transition Regime  
4- Upper Regime

رژیم پایینی شامل بستر هموار<sup>۱</sup> و بدون انتقال رسوب، بستر دانه‌ای<sup>۲</sup> و تلماسه‌ای<sup>۳</sup> می‌باشد. رژیم بالایی شامل بستر صاف با انتقال رسوب و امواج ماسه‌ای ایستا<sup>۴</sup> و پاد تلماسه‌ای<sup>۵</sup>، پاد تلماسه‌ای شکسته<sup>۶</sup> و تنداب و گوداب<sup>۷</sup> است. رژیم بینابینی یک رژیم گذار و بین دو رژیم دیگر می‌باشد [۲۷].



شکل ۳-۱- تغییرات ضریب زبری در بسترهای ماسه‌ای و رژیم‌های مختلف جریان [۸]



شکل ۳-۲- رابطه بین قطر متوسط رسوب بستر و توان آبراهه‌ای با رژیم جریان

- 1- Plain Bed
- 2- Ripple
- 3- Dune
- 4- Standing Wave
- 5- Antidune
- 6- Antidune Breaking Wave
- 7- Chute And Pools

شکل (۲-۳) محدوده‌های هر یک از رژیم‌های جریان را نشان می‌دهد. رابطه رژیم جریان با توان جریان آبراهه‌ای و قطر متوسط رسوب بستر در این شکل مشخص شده است و با داشتن قطر متوسط رسوب و توان جریان می‌توان نوع رژیم جریان را تعیین نمود. شکل (۱-۳) نشان می‌دهد که در رژیم پایینی جریان ضریب مانینگ با افزایش توان جریان افزایش نسبتا تندی دارد و در رژیم بینابینی ضریب مانینگ روند نسبتا تند نزولی با افزایش توان آبراهه را نشان می‌دهد. در رژیم بالایی جریان با افزایش توان آبراهه‌ای، ضریب مانینگ افزایش می‌یابد ولی روند افزایش آن از رژیم پایینی جریان ملایم‌تر است.

### ۳-۲-۳- ناهمواری سطح آبراهه

اگر نسبت عرض به عمق آبراهه کوچک باشد، باید زبری ناشی از فرسایش و آبستتگی کناره‌های آبراهه و ریشه‌های ظاهر شده در طول کناره‌ها، در افزایش ضریب زبری لحاظ شوند. این افزایش می‌تواند تا ۰/۰۲ در ضریب مانینگ اعمال گردد. مقادیر بزرگ‌تری نیز ممکن است برای ناهمواری‌های شدید کناره‌های آبراهه در نظر گرفته شود [۸]. در فصل پنجم در مورد مقدار اصلاح ضریب مانینگ برای ناهمواری سطح آبراهه بحث شده است.

### ۳-۲-۴- اثر تغییرات اندازه و شکل مقاطع رودخانه

اگر تغییرات اندازه و شکل آبراهه‌ی اصلی تدریجی و یکنواخت باشد این تغییرات در زبری هیدرولیکی اثر قابل توجهی نخواهد داشت. ولی تغییرات در اندازه و شکل مقاطع آبراهه، به‌صورت متناوب، پیچ شدید آبراهه، انقباض شدید و جابجایی متناوب بستر صغیر به طرفین بستر کبیر آبراهه ضریب زبری را افزایش می‌دهد. میزان اثر تغییرات اندازه مقاطع عرضی اولاً به تعداد تناوب مقاطع بزرگ و کوچک و اندازه تغییر در ابعاد مقطع بستگی دارد. ضریب مانینگ حداکثر ۰/۰۰۳ در اثر تغییرات اندازه و شکل مقاطع افزایش پیدا می‌کند [۸].

### ۳-۲-۵- اثر موانع

موانعی نظیر کنده درختان، ریشه درختان، تخته سنگ و سنگ‌های درشت، نخاله‌ها، الوار و پایه پل‌ها الگوی جریان را آشفته نموده و زبری هیدرولیکی را افزایش می‌دهند. مقدار افزایش به شکل، اندازه موانع و نسبت به ابعاد مقطع اصلی بستگی دارد. از سوی دیگر اثر موانع بر روی ضریب زبری تابعی از سرعت جریان است. هر مانعی در جریان اطراف خود، فضای کره شکلی را تحت تاثیر قرار می‌دهد که کره تاثیر گفته می‌شود. وقتی که سرعت جریان زیاد باشد هر مانع، کره تاثیری بزرگ‌تر از ابعاد مانع ایجاد می‌نماید. ابعاد کره تاثیر در آبراهه با شیب ملایم تا متوسط حدود سه تا پنج برابر عرض مانع می‌رسد. کره تاثیر چند مانع می‌تواند همپوشانی ایجاد نموده و موجب آشفستگی قابل توجه در جریان شود؛

حتی اگر ابعاد موانع نسبت به ابعاد مقطع قابل توجه نباشد [۸]. چاو<sup>۱</sup> اثر موانع را در چهار دسته‌ی ناچیز، کم، محسوس و شدید طبقه‌بندی نموده است که مقادیر آن در فصل پنجم ارائه شده است.

### ۳-۲-۶- اثر پوشش گیاهی

اثر پوشش گیاهی به عمق جریان، درصد پوشش گیاهی در محیط تر شده مقطع، تراکم پوشش گیاهی در زیر تراز حداکثر آب، انعطاف پوشش در مقابل جریان، به ترتیب قرارگیری و جهت ردیف‌های درختان بستگی دارد. ردیف‌های پوشش گیاهی در امتداد جریان، اثر کم‌تری نسبت به ردیف‌های پوشش گیاهی عمود به جریان دارند. مقدار افزایش ضریب مانینگ ناشی از پوشش گیاهی در بستر آبراهه‌های کم عرض ممکن است حداکثر به  $0/1$  نیز برسد ولی در آبراهه‌های با بستر بدون پوشش و عریض با کناره‌های دارای پوشش، مقدار افزایش ضریب مانینگ به  $0/05$  محدود می‌شود. اگر آبراهه عمیق باشد و شیب کناره‌ها تند بوده و پوشش گیاهی از آن‌ها آویزان شده باشد مقدار افزایش ضریب مانینگ به  $0/03$  می‌رسد [۸]. در مورد افزایش ضریب مانینگ و روابط محاسبه ضریب زبری در بسترهای با پوشش گیاهی در فصل پنجم بحث شده است.

### ۳-۲-۷- اثر پیچانرودی

درجه‌ی پیچانرودی آبراهه به نسبت پیچانرودی بستگی دارد که به صورت نسبت طول مسیر در آبراهه پیچانرودی بازه به مسیر مستقیم بازه تعریف می‌شود. اگر نسبت پیچانرودی بین  $1$  و  $1/2$  باشد درجه پیچانرودی کم برآورد می‌شود و اگر نسبت پیچانرودی بین  $1/2$  تا  $1/5$  باشد درجه پیچانرودی محسوس است. چنانچه نسبت پیچانرودی بیش از  $1/5$  باشد درجه پیچانرودی شدید برآورد می‌شود. چاو نشان داد که پیچانرود بودن رودخانه ضریب مانینگ را تا  $30$  درصد ممکن است افزایش دهد. اثر پیچانرودی موقعی لحاظ می‌شود که جریان در آبراهه اصلی جاری شود و در صورت جریان یافتن سیل در سیلاب‌دشت اثر پیچانرودی لحاظ نمی‌شود [۸].

### ۳-۲-۸- اثر غلظت جریان

در جریان با غلظت بالا نظیر جریان‌های گلی و واریزه‌ای به علت این که بخشی از انرژی جریان در اثر برخورد دانه‌های رسوبات به هم تلف می‌شود باعث افزایش زبری هیدرولیکی جریان می‌گردد. عدم حفاظت خاک و مدیریت ناصحیح آبخیزها در کشورمان باعث افزایش رسوب‌دهی حوضه‌های آبریز به ویژه هنگام سیلاب می‌گردد که نهایتاً به رخداد سیلاب‌های واریزه‌ای و گلی منجر می‌شود. از آن جمله می‌توان به رخداد سیلاب‌های واریزه‌ای در تجریش تهران در

تابستان سال ۱۳۶۶، ماسوله در تابستان ۱۳۷۷ و حوضه‌های گلستان در تابستان سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ اشاره نمود. اثر غلظت جریان در غلظت‌های حجمی بالای ۵٪ بر روی زبری جریان محسوس می‌شود [۱ و ۲ و ۳]. روابط تعیین اثر غلظت جریان بر زبری هیدرولیکی در فصل پنجم ارائه شده است.

### ۳-۳- بررسی عوامل موثر در زبری هیدرولیکی سیلاب‌دشت

#### ۳-۳-۱- ناهمواری‌های سطح سیلاب‌دشت

ناهمواری‌های سطح سیلاب‌دشت باعث افزایش زبری هیدرولیکی آن می‌شود. برآمدگی‌ها، تپه و ماهورها و باتلاق‌های موجود در سیلاب‌دشت موجب افزایش ضریب زبری می‌گردد. جریان کم عمق به همراه ناهمواری‌های ناشی از مرتع، بوته‌زار و جویچه‌های عمود بر جریان اراضی کشاورزی می‌تواند ضریب مانینگ را به مقدار ۰/۰۲ افزایش دهد [۸].

#### ۳-۳-۲- موانع

موانعی نظیر نخاله‌ها، کنده درختان، برون زدگی ریشه‌ها، تنه درختان افتاده، تخته سنگ‌های منفرد موجب افزایش زبری سیلاب‌دشت می‌شوند که باید در برآورد ضریب زبری سیلاب‌دشت لحاظ شوند [۸]. مقادیر ضریب مانینگ اصلاحی در فصل پنجم ارائه شده است.

#### ۳-۳-۳- سایر عوامل موثر

اثر قطر دانه‌های رسوب، عدد رینولدز، عمق جریان، پوشش گیاهی و غلظت رسوب در زبری هیدرولیکی سیلاب‌دشت‌ها همانند اثر این عوامل در آبراهه اصلی است [۱ و ۸]. تغییرات شکل، اندازه مقطع و پیچانرودی بودن رودخانه در زبری هیدرولیکی سیلاب‌دشت اثر قابل توجهی ندارد [۸].





## فصل ۴

---

---

**نحوه جمع آوری اطلاعات و داده‌های**

**مورد نیاز برای تعیین ضریب زبری**



#### ۴-۱- بازدیدهای میدانی

بازدیدهای میدانی یکی از ضروری‌ترین اقدامات مورد نیاز برای تعیین ضریب زبری مانینگ می‌باشد. در هنگام بازدید جمع‌آوری اطلاعات زیر و تصویربرداری از مشخصات رودخانه لازم است.

##### ۴-۱-۱- بررسی تغییرات پلان و مقاطع عرضی رودخانه

در بازدید میدانی وضعیت پلان رودخانه مورد بررسی قرار گرفته و نوع ریخت‌شناسی پلان رودخانه مطابق راهنمای مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه (نشریه شماره ۳۱۴-الف) تعیین می‌شود. تغییرات مقاطع عرضی از نظر اندازه و شکل نیز بهتر است در بازدید میدانی بررسی گردیده و تعداد کافی عکس از آن‌ها تهیه شود. توصیه می‌شود مختصات مقاطع بازدید شده و محل تهیه تصاویر با استفاده از GPS دستی تعیین و در فرم‌های بازدید ثبت گردد.

##### ۴-۱-۲- بررسی پوشش گیاهی در آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت

بررسی پوشش گیاهی در آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت به دو صورت تهیه داده‌های کمی و کیفی صورت می‌گیرد. در صورت استفاده از روش کمی باید سطح تنه و شاخ و برگ درختان که مقابل جریان قرار می‌گیرند در ترازهای مختلف در بازه‌ی مورد بررسی تعیین شود. تهیه تعداد کافی تصویر از مقاطع بازه مورد مطالعه در هر دو روش کمی و کیفی ضرورت دارد. پوشش گیاهی زیر درختان علاوه بر این که باید در تصاویر برداشت شده منعکس گردند بهتر است در فرم نیز توضیح داده شوند.

##### ۴-۱-۳- بررسی موانع موجود

در هنگام بازدید، موانع در بازه‌های مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفته و ضمن تهیه تصویر از آن‌ها مشخصات و ابعاد هندسی آن‌ها تخمین زده شده و در فرم بازدید یادداشت می‌شوند. این موانع عبارتند از:

- پل‌ها، سدهای انحرافی و اصلاحی و سایر سازه‌های متقاطع با رودخانه
- سنگ و تخته سنگ‌ها
- تنه درختان بریده شده و افتاده
- نخاله‌های ساختمانی و زباله‌های شهری
- سایر موانع

داشت مقیاس نظیر ماشین، انسان و خط کش متناسب با ابعاد موانع یاد شده در تصاویر برداشت شده توصیه می‌شود.

#### ۴-۱-۴- بررسی ایستگاه‌های آب‌سنجی

بررسی شرایط ایستگاه‌های آب‌سنجی در بازدیدهای میدانی ضروری است. از آنجا که داده‌های این ایستگاه ممکن است مبنای برآورد ضریب زبری قرار گیرد بازدید از ایستگاه و بررسی پایداری بازه‌ای که ایستگاه در آن نصب گردیده لازم می‌باشد. استفاده از داده‌های ایستگاه آب‌سنجی که دارای شرایط مناسب نبوده و بستر و یا کناره مقطع آب‌سنجی آن ناپایدار باشد، می‌تواند به خطا در تخمین ضریب منجر گردد. هنگام بازدید شرایط پایداری ایستگاه و نوع ایستگاه تعیین شده و تصویر آن برداشت می‌شود.

#### ۴-۱-۵- لوازم مورد نیاز برای بازدید

در مورد لوازم مورد نیاز برای بازدید به راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها ضابطه شماره ۳۰۷ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور مراجعه شود [۶].

#### ۴-۲- جمع‌آوری آمار و اطلاعات و گزارش‌های موجود

آمار و اطلاعات و گزارش‌های زیر برای تعیین ضریب مانینگ مفید می‌باشد.

- گزارش‌های ریخت‌شناسی
- نقشه‌های توپوگرافی بزرگ مقیاس (۱:۱۰۰۰ و ۱:۵۰۰)
- عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای
- داده‌های آب‌سنجی و رسوب‌سنجی
- دانه‌بندی مواد بستر

از گزارش‌های ریخت‌شناسی می‌توان نوع بازه و درجه پیچان‌رودی آن را تعیین نمود. نقشه‌های بزرگ مقیاس نیز علاوه بر این‌که برای تعیین شرایط ریخت‌شناسی رودخانه مفید می‌باشند برای بررسی تغییرات اندازه و شکل مقاطع عرضی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی ریخت‌شناسی رودخانه و عوارض عمده آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت رودخانه و نیز پوشش گیاهی و موانع بزرگ قابل استفاده است. داده‌های آب‌سنجی برای واسنجی ضریب زبری مفید بوده و داده‌های رسوب‌سنجی برای بررسی احتمالی رخداد جریان‌های گلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دانه‌بندی مواد بستر اطلاعات مورد نیاز برای تعیین زبری ناشی از مواد جداره آبراهه و سیلاب‌دشت را فراهم می‌سازد.

#### ۴-۳- دستورالعمل نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های دانه‌بندی

عمده هدف نمونه‌برداری از مواد بستر و انجام آزمایش‌های دانه‌بندی تهیه منحنی دانه‌بندی و تعیین قطرهای مشخصه نظیر  $D_{84}$ ,  $D_{50}$ , ... می‌باشد. تهیه یک تا سه نمونه از هر بازه مطالعاتی همگن و یکنواخت و یا هر قطعه

یکنواخت از آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت جهت تعیین قطرهای مشخصه ضروری می‌باشد. در صورتی که به‌لحاظ مالی و زمان‌بندی پروژه امکان نمونه‌برداری و دانه‌بندی میسر نباشد استفاده از روش مورد بحث در بند ۸-۵ برای تعیین ضریب مانینگ توصیه می‌شود. در این صورت تخمین میدانی نوع مواد بستر و تهیه تعداد کافی تصویر از هر قطعه با مواد بستر نسبتاً همگن به همراه یک خط‌کش به‌عنوان مقیاس تصویر، اکیدا توصیه می‌شود. روش نمونه‌برداری و دانه‌بندی باید مطابق راهنمای ادوات نمونه‌برداری بار رسوبی رودخانه‌ها و راهنمای آزمایش‌های دانه‌بندی رسوب باشد [۴ و ۵].



# فصل ۵

---

---

## روش‌های مختلف تعیین ضریب زبری





## ۵-۱- کلیات

عوامل موثر بر زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها در فصل سوم بحث گردید. در این فصل روش‌های برآورد زبری هیدرولیکی ناشی از عوامل یاد شده مورد بحث قرار می‌گیرد. به‌طور کلی روش‌های برآورد ضریب زبری را می‌توان به دو دسته طبقه‌بندی کرد:

- روش‌هایی که ضریب زبری ناشی از یکی از عوامل موثر را تعیین می‌کنند.
  - روش‌هایی که زبری هیدرولیکی ناشی از مجموع چند عامل موثر را تعیین می‌کنند.
- در این فصل ابتدا دسته اول و سپس دسته دوم مورد بحث قرار می‌گیرد.

## ۵-۲- تعیین زبری ناشی از دانه‌های رسوب

## ۵-۲-۱- روابط نیمه تجربی

مرز جریان که در تماس با بدنه آبراهه است یکی از عوامل اصلی تولید زبری هیدرولیکی می‌باشد. عامل دیگر لزجت سیال است که موجب مقاومت در مقابل جریان می‌شود. بر اساس تئوری طول اختلال پراند تل<sup>۱</sup> توزیع سرعت برای جریان روی بستر صاف هیدرولیکی عبارت است از:

$$\frac{u}{U_*} = 5.5 + 5.75 \log \frac{yu_*}{\nu} \quad (۱-۵)$$

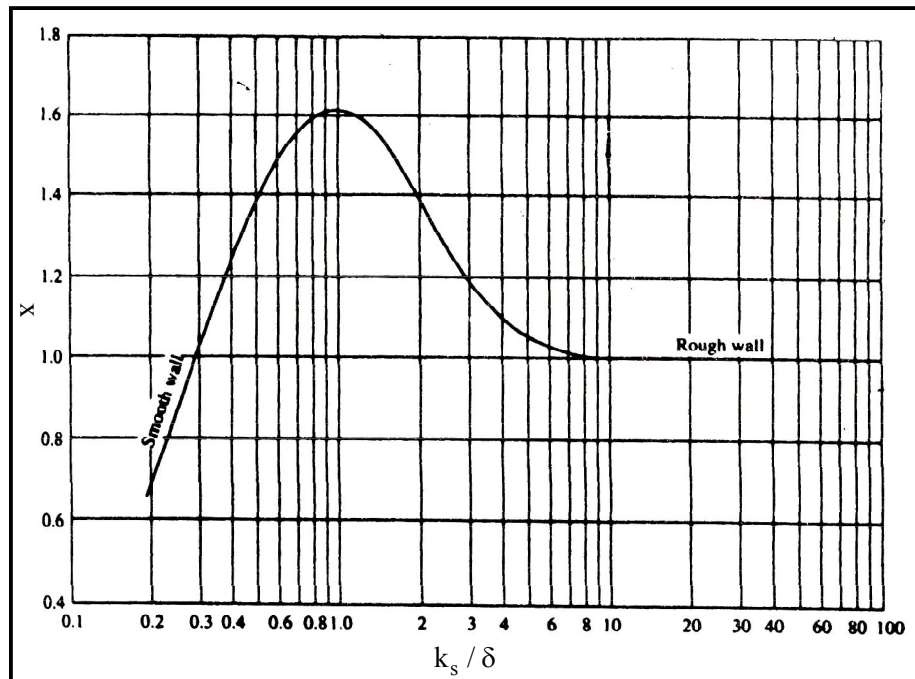
و برای جریان روی سطح زبر هیدرولیکی توزیع سرعت از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{u}{U_*} = 8.5 + 5.75 \log \frac{y}{k_s} \quad (۲-۵)$$

که در این روابط  $u$  سرعت در تراز  $y$  از سطح آبراهه می‌باشد و واحدها در سامانه متریک متر بر ثانیه و متر می‌باشد. با انتگرال‌گیری روابط اخیر رابطه لگاریتمی (۳-۵) برای تعیین ضریب سرعت به‌دست می‌آید. انیشتن دو رابطه یاد شده را در هم ادغام کرده و به‌صورت زیر بیان نمود [۱۶].

$$\phi = 5.75 \log \left( 12.27 \frac{R x}{k_s} \right) \quad (۳-۵)$$

که در این رابطه  $R$ : شعاع هیدرولیکی جریان،  $k_s$ : معادل  $d_{65}$  بر حسب متر و  $x$  ضریب تصحیح و بی‌بعدی است که از شکل (۱-۵) به‌دست می‌آید.



شکل ۵-۱- ضریب تصحیح توزیع لگاریتمی سرعت [۱۶]

در شکل یاد شده  $\delta$  ضخامت لایه مرزی است و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\delta = 11.6 \frac{v}{U_*} \quad (۴-۵)$$

در این رابطه  $v$  لزجت سینماتیکی می‌باشد. سایر روابط تعیین ضریب سرعت که بر اساس توزیع لگاریتمی برای تعیین زبری هیدرولیکی دانه‌های رسوب در رژیم زبر هیدرولیکی پیشنهاد شده است عبارتند از انگلند - هوسن [۱۲]:

$$\phi = 6 + 2.5 \ln \frac{R}{k_s} \quad (۵-۵)$$

که در این رابطه  $k_s = 2d_{65}$  می‌باشد و نیز برای بسترهای شنی<sup>۱</sup> هی<sup>۲</sup> رابطه زیر را ارائه داده است [۱۶]:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.03 \log \left( \frac{aR}{3.5d_{84}} \right) \quad (۶-۵)$$

که در این رابطه  $d_{84}$  قطر چشمه الکی است که ۸۴ درصد مواد بستر از آن عبور می‌نمایند و واحد آن متر می‌باشد و  $a$  ضریبی است که مقدار آن بین ۱۱/۱ تا ۱۳/۴۶ متغیر بوده و برای رودخانه‌های عریض حداقل آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. بری<sup>۳</sup> روابط زیر را برای بسترهای شنی ارائه کرده است [۱۶]:

- 1- Gravel Bed
- 2- Hey
- 3- Bray

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.08 + 2.86 \log \left( \frac{D}{d_{50}} \right) \quad (۷-۵)$$

و یا لیمرنز رابطه زیر را برای بسترهای شنی ارائه کرده است:

$$n = \frac{0.8204 R^{\frac{1}{6}}}{1.16 + 2.0 \log \left( \frac{R}{d_{85}} \right)} \quad (۸-۵)$$

### ۵-۲-۲- روابط تجربی

روابط تجربی تعیین زبری دانه‌های رسوب عمدتاً به صورت یک رابطه توانی بین ضریب مانینگ و قطر مشخصه‌ای از رسوب بیان می‌شود. رابطه توانی یاد شده به صورت زیر است:

$$n = \alpha d^{\frac{1}{6}} \quad (۹-۵)$$

پارامترهای رابطه یاد شده توسط محققین مختلف به صورت جدول (۵-۱) ارائه شده است. در این جدول ملاحظات و موارد کاربرد رابطه و مرجع آن نیز ذکر گردیده است. این روابط برای رژیم زبر هیدرولیکی و عمدتاً برای رودخانه عریض و کم شیب می‌باشند [۲۲].

جدول ۵-۱- عوامل تعیین ضریب زبری دانه‌های رسوب

مرجع	ملاحظات و موارد کاربرد	ضریب	واحد d	d	نام رابطه
[۲۸]	برای رسوبات یکنواخت	۰/۰۴۷۴	m	d <sub>50</sub>	استریکلر <sup>۱</sup>
[۲۸]	برای رسوبات غیریکنواخت (برای بسترهای قلوه سنگی بستر و سپر شده* مناسب نیست)	۰/۰۳۸۴	m	d <sub>90</sub>	میر - پیتر مولر <sup>۲</sup>
[۲۸]	برای رسوبات غیریکنواخت	۰/۰۴۷۳	m	d <sub>75</sub>	لین و کارلسون <sup>۳</sup>
[۲۷]	بسترهای شنی	۰/۰۵۹۳	m	d <sub>50</sub>	بری
[۲۷]	بسترهای شنی	۰/۰۵۶۱	M	d <sub>65</sub>	بری
[۲۷]	بسترهای شنی	۰/۰۴۹۵	ft	d <sub>90</sub>	بری
[۲۷]	بسترهای شنی	۰/۰۳۴	ft	d <sub>50</sub>	هندرسون <sup>۴</sup>
[۲۷]	بسترهای شنی	۰/۰۳۱	ft	d <sub>75</sub>	هندرسون
[۲۷]	بسترهای شنی	۰/۰۴۷	m	d <sub>50</sub>	گراد و راجو سابرامانیا <sup>۵</sup>
[۲۷]	بسترهای شنی	۰/۰۱۳	mm	d <sub>65</sub>	رادکیوی <sup>۶</sup>

\* بسترهای سپر شده به بستر رودخانه‌ای گفته می‌شود که ریزدانه آن شسته شده و فقط درشت‌دانه باقی مانده و بستر تثبیت نسبی یافته است.

1- Bray Strick (1923)

2- Meyer - Petter And Muller (1984)

3- Lanand Carlson (1953)

4- Henderson (1966)

5- Grade & Raju (1978) , Subramanya (1982)

6- Raud Kivi (1976)

## ۵-۲-۳- جدول‌ها

تعدادی از مراجع ضریب مانینگ را برای انواع مصالح بستر ارائه نموده‌اند. جدول (۵-۲) برای تعیین ضریب زبری ناشی از دانه‌های رسوب به روش USGS کار می‌رود. ضریب مانینگ دانه‌های رسوب ارائه شده در جدول یاد شده برای رژیم زبر هیدرولیکی و آبراهه پایدار می‌باشد. ضرایب ارائه شده برای ماسه فقط برای رژیم بالایی<sup>۱</sup> جریان کاربرد خواهد داشت [۸]. تورنر و چانمیسری نیز جدول (۵-۳) را برای تعیین ضریب مانینگ دانه‌های رسوب موجود در آبراهه‌ها و سیلاب‌دشت‌ها ارائه نموده‌اند [۱۵].

جدول ۵-۲- مقادیر ضریب مانینگ پایه (زبری دانه‌های رسوب بستر آبراهه‌ها و سیلاب‌دشت‌ها) [۸]

مواد بستر	قطر متوسط مواد بستر (mm)	آبراهه یکنواخت و مستقیم**	آبراهه صاف***
آبراهه‌های بستر ماسه‌ای			
ماسه* (بستر ماسه‌ای)	۰/۲	۰/۰۱۲	_____
	۰/۳	۰/۰۱۷	_____
	۰۴	۰/۰۲۰	_____
	۰/۵	۰/۰۲۲	_____
	۰/۶	۰/۰۲۳	_____
	۰/۸	۰/۰۲۵	_____
	۱	۰/۰۲۶	_____
آبراهه پایدار و سیلاب‌دشت			
بتن	_____	۰/۰۱۲-۰/۰۱۸	۰/۰۱۱
سنگ بریده شده	_____	_____	۰/۰۲۵
خاک مزرعه	_____	۰/۰۲۵-۰/۰۳۲	۰/۰۲۰
ماسه درشت	۱-۲	۰/۰۲۶-۰/۰۳۵	_____
شن ریز	_____	_____	۰/۰۲۴
شن متوسط	۲-۶۴	۰/۰۲۸-۰/۰۳۵	_____
شن درشت	_____	_____	۰/۰۲۶
قلوه سنگ	۶۴-۲۵۶	۰/۰۳۰-۰/۰۵۰	_____
سنگ	بزرگ‌تر از ۲۵۶	۰/۰۴۰-۰/۰۷۰	_____

\* فقط برای رژیم بالایی که زبری دانه‌های رسوب در آن غالب باشد.

\*\* آن‌را نقشه‌های مورد بررسی توسط بنسون و دالریمل<sup>۲</sup>

\*\*\* براساس تحقیق چاو باری مصالح مذکور در این ستون

1- Upper Regime

2- Benson And Dolrymple

جدول ۵-۳- ضریب مانینگ برای مواد بستر آبراهه‌ها و سیلاب‌دشت‌ها [۱۵]

ضریب زبری			جداره آبراهه یا سیلاب‌دشت
بیشینه	متوسط	کمینه	
۰/۰۲۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۳	سنگ بستر (سنگ بریده شده یکدست)
۰/۰۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴۰	قلوه سنگ mm ۶۴-۲۵۶
۰/۰۰۴	۰/۰۳۵	۰/۰۲۲	شن درشت
۰/۰۳۵	۰/۰۳۰	۰/۰۲۸	شن mm ۲-۶۴
۰/۰۲۸	۰/۰۲۴	۰/۰۲۰	شن ریز
۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	ماسه mm ۰/۲
۰/۰۲۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۵	ماسه mm ۰/۳
۰/۰۲۵	۰/۰۲۰	۰/۰۱۷	ماسه mm ۰/۴
۰/۰۲۷	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	ماسه mm ۰/۵
۰/۰۳۰	۰/۰۲۳	۰/۰۲۰	ماسه mm ۰/۶
۰/۰۳۲	۰/۰۲۵	۰/۰۲۳	ماسه mm ۰/۸
۰/۰۳۳	۰/۰۲۶	۰/۰۲۴	ماسه mm ۱
۰/۰۳۵	۰/۰۲۸	۰/۰۲۶	ماسه درشت mm ۱-۲
۰/۰۲۵	۰/۰۲۲	۰/۰۲۰	لای
۰/۰۲۳	۰/۰۲۰	۰/۰۱۸	رس
۰/۰۲۳	۰/۰۲۰	۰/۰۱۸	خاک نباتی
۰/۰۲۳	۰/۰۲۰	۰/۰۱۸	خاکی
۰/۰۲۳	۰/۰۲۰	۰/۰۱۸	خاک مزرعه
۰/۰۲۲	۰/۰۲۰	۰/۰۱۸	بتن
۰/۰۲۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۲	خاک شخم خورده

### ۵-۳- تعیین زبری ناشی از شکل بستر

تنش برشی جریان در بسترهای ماسه‌ای، موجب می‌شود بستر به شکل‌های مختلفی در آمده و شکل بستر بر زبری هیدرولیکی می‌افزایند [۲۱]. در بند ۳-۲-۲ در مورد شکل‌های مختلف بستر بحث گردید. تحقیقات انجام شده دو دسته رهیافت مختلف را برای تخمین ضریب زبری ناشی از شکل بستر پیشنهاد نموده‌اند. این دو دسته رهیافت عبارتند از:

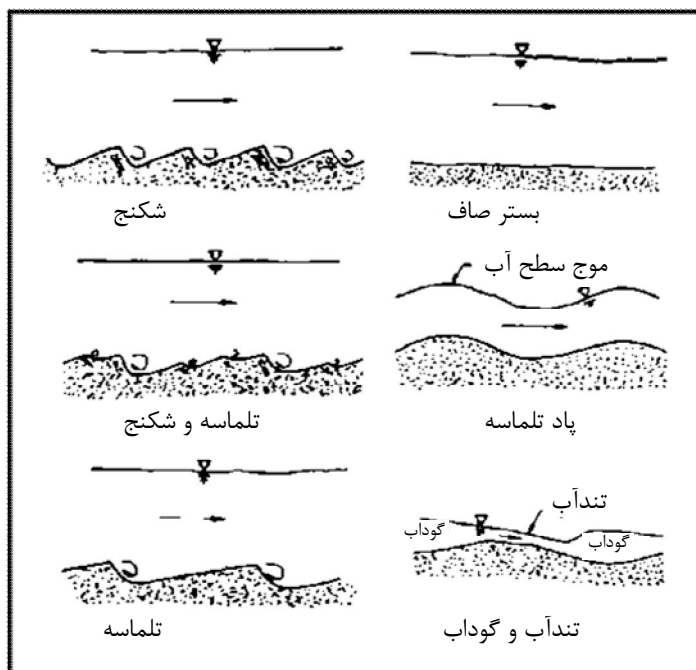
– تعیین زبری ناشی از شکل بستر بدون در نظر گرفتن نوع شکل بستر

– تعیین زبری ناشی از شکل بستر با در نظر گرفتن نوع شکل بستر

دسته اول عمدتاً بر مبنای تئوری‌های تقسیم تنش برشی یا عوامل تنش برشی استوار بوده و دسته دوم عمدتاً روابط تجربی را شامل می‌شوند.

### ۵-۳-۱- تعیین زبری ناشی از شکل بستر با در نظر گرفتن نوع شکل بستر

شکل بستر آبراهه با تغییر توان آبراهه‌ای<sup>۱</sup> تغییر می‌یابد. تغییرات شکل بستر با توان آبراهه در شکل (۲-۳) ارائه شده است. شکل (۲-۵) شکل‌های مختلف بستر را نشان می‌دهد. انواع شکل‌های مختلف بستر آبراهه در ادامه توضیح داده شده است.



شکل ۲-۵- شکل‌های مختلف بستر [۲۸]

### ۵-۳-۱-۱- بستر صاف

سطوح صاف و بدون پستی و بلندی را بستر صاف می‌نامند. در این نوع بستر اندازه پستی و بلندی‌های احتمالی کوچک‌تر از اندازه بزرگ‌ترین قطر دانه‌های بستر می‌باشد.

### ۵-۳-۱-۲- بستر دانه‌ای یا شکنج

بسترهای موجی شکل کوچکی که طول موج آن‌ها کم‌تر از ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاعشان کم‌تر از ۵ سانتی‌متر است را بستر دانه‌ای می‌نامند. شکنج‌ها غالباً در طول رودخانه، مثلی شکل هستند. شیب وجه بزرگ‌تر این مثلث‌ها نسبتاً ملایم است. این وجه از مثلث غالباً در بالادست جریان قرار دارد. بالعکس در پایین دست، طول وجه مثلث کوتاه‌تر ولی شیب آن بیش‌تر است.

## ۵-۳-۱-۳- تلماسه

این شکل بستر دارای پستی و بلندی‌های بزرگ‌تری نسبت به سطوح موج‌دار می‌باشد و نیمرخ طولی آن شباهتی به نیمرخ سطح آب ندارد.

## ۵-۳-۱-۴- بستر بینابینی

گاهی به دلیل شرایط خاص جریان، بستر جریان وضعیتی بین حالت تلماسه و بستر هموار پیدا می‌کند. در اکثر موارد، در بسترهای مذکور قسمت‌هایی از بستر هموار و قسمت‌هایی دارای پستی و بلندی می‌باشند. بستر بینابینی هنگامی به وجود می‌آید که به علت تغییر خصوصیات جریان، بستر تمایل دارد از حالت هموار به تلماسه و یا بالعکس تبدیل شود.

## ۵-۳-۱-۵- پاد تلماسه‌ای

به این شکل بستر، اسامی مانند بستر موجی پایدار، موج ایستاده یا خیزآب معکوس نیز اطلاق می‌گردد. نکته دیگر این‌که در ضمن حرکت آب، امواج ماسه‌ای بستر پاد تلماسه‌ای به سمت بالادست حرکت می‌کنند و بدین ترتیب مقاومت زیادی در برابر جریان ایجاد می‌شود.

## ۵-۳-۱-۶- تندآب و گوداب

این بستر در شیب‌های نسبتاً زیاد و در آبراهه‌هایی با سرعت جریان‌های بالا به وجود می‌آید. سرعت زیاد جریان و غلظت مواد معلق بالا، از خصوصیات این شکل بستر به شمار می‌رود.

## ۵-۳-۱-۷- تلماسه و شکنج

ترکیبی از تلماسه و بستر دانه‌ای است که در گذر جریان از دانه‌ای به تلماسه رخ می‌دهد.

## ۵-۳-۱-۸- رابطه شکل بستر با توان جریان و قطر متوسط دانه‌های رسوب

سایمونز و ریچاردسون<sup>۱</sup> با در نظر گرفتن سرعت سقوط ذرات رسوب، نمودار توان جریان ( $\tau V$ ) برحسب متوسط قطر ذرات در حال سقوط را بر پایه نتایج به دست آمده از مدل‌های آزمایشگاهی و نیز نتایج حاصل از کانال‌های انتقال آب رسم کردند که در شکل (۵-۳) ارائه شده است [۲۳]. این نمودار به منظور تعیین شکل بستر در فلوم‌های آزمایشگاهی و کانال‌هایی که جریان‌های کم عمق را عبور می‌دهند به کار می‌رود.

1- Simons And Richardson

## ۵-۳-۱-۹- روابط تعیین زبری هیدرولیکی شکل‌های مختلف بستر

سایمونز و ریچاردسون برای انواع مختلف شکل بستر روابط تعیین ضریب سرعت را بر حسب عمق نسبی، شعاع هیدرولیکی و شیب ارائه نمودند. روابط ارائه شده برای شکل‌های مختلف بستر عبارتند از [۲۲]:

– برای بستر هموار بدون انتقال رسوب:

$$\frac{U}{U_*} = 5.9 \log \left( \frac{D}{d_{85}} \right) + 5.44 \quad (۱۰-۵)$$

– برای بستر دانه‌ای:

$$\frac{U}{U_*} = \left( 7.66 - \frac{0.3}{U_*} \right) \log (D) + \frac{0.13}{U_*} + 11 \quad (۱۱-۵)$$

– برای بستر تلماسه ای و پادتلماسه‌ای:

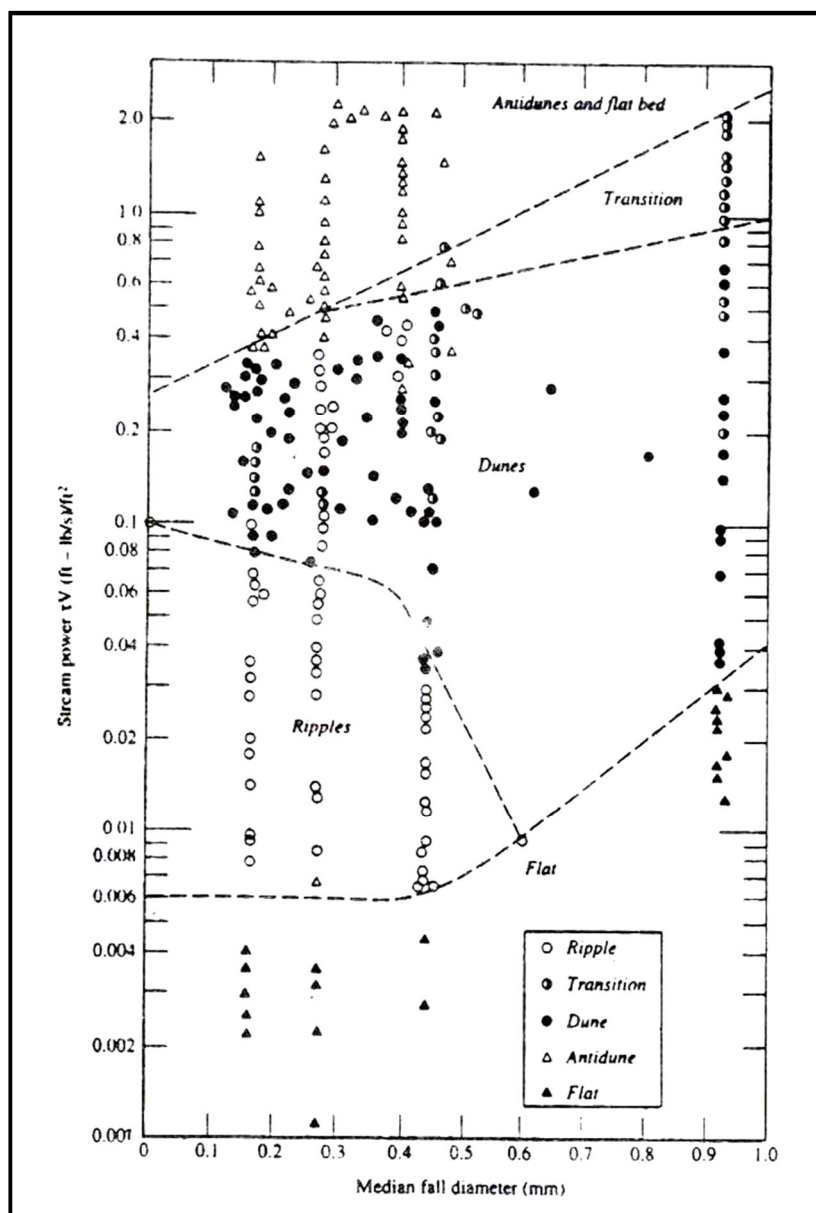
$$\frac{U}{U_*} = 7.4 K \log \left( \frac{D}{d_{85}} \right) \quad (۱۲-۵)$$

که در رابطه اخیر K عبارت است از:

$$K = \sqrt{0.195353583 + 0.00244 / RS} \quad (۱۳-۵)$$

– برای بستر بینابینی و بستر هموار با انتقال رسوب رابطه (۱۲-۵) استفاده می‌شود و ضریب K در آن برابر واحد است. روابط سایمونز و ریچاردسون به صورت بی بعد بوده و مستقل از سامانه اندازه گیری می‌باشد در سامانه متریک، U و U\* بر حسب متر بر ثانیه و D و d<sub>85</sub> بر حسب متر می‌باشند.





شکل ۵-۳- رابطه شکل بستر با توان آبراهه‌ای و متوسط قطر دانه‌های رسوب [۲۳]

### ۵-۳-۲- تعیین زبری ناشی از شکل بستر بدون در نظر گرفتن نوع شکل بستر

روش‌های مختلفی برای تعیین زبری ناشی از شکل بستر پیشنهاد شده است. عمدتاً این روش‌ها بر مبنای تقسیم یکی از عوامل هیدرولیکی نظیر تنش برشی، شیب و غیره به دو بخش متناظر با دانه‌های رسوب و متناظر با شکل بستر استوار گردیده است. یکی از روش‌های متداول روش انیشتن - بارباروسا می‌باشد که این روش بر مبنای تقسیم تنش برشی جریان به دو بخش متناظر با شکل می‌باشد. برای جزییات بیش‌تر این روش به ضابطه شماره ۱۵۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تحت عنوان راهنمای تعیین منحنی بده- اشل رودخانه با استفاده از روش انیشتن - بارباروسا مراجعه شود [۷].

### ۵-۴- تعیین زبری ناشی از جریان‌های گلی و واریزه‌ای

جریان‌هایی که دارای درصد حجمی بالای رسوب باشند را جریان‌های غلظت بالای<sup>۱</sup> رسوب می‌نامند. این نوع جریان‌ها شامل جریان‌های گلی<sup>۲</sup> و واریزه‌ای<sup>۳</sup> بوده و معمولاً در آبراهه‌های کوهستانی پر شیب رخ می‌دهند. وجود رسوب کافی و قابل فرسایش بستر در آبراهه‌ها و شیب تند آبراهه لازمه رخداد این نوع جریان‌ها می‌باشد [۱ و ۳]. بالا رفتن درصد رسوب در جریان موجب برخورد رسوبات به هم و اتلاف انرژی جریان می‌گردد که باعث افزایش زبری هیدرولیکی و کاهش ضریب سرعت می‌شود [۱ و ۲ و ۳]. تعداد محدودی رابطه برای تعیین ضریب سرعت ارائه شده است که در ادامه راهنما ارائه شده است:

#### ۵-۴-۱- روابط تاکاهاشی<sup>۴</sup>

تاکاهاشی جریان واریزه‌ای را دو دسته کرده و برای هر دسته رابطه جداگانه‌ای ارائه نمود:

– جریان واریزه‌ای توسعه نیافته

– جریان واریزه‌ای توسعه یافته

جریان واریزه‌ای توسعه نیافته جریانی است که به‌صورت دو لایه با غلظت متفاوت بوده و فقط لایه پایینی جریان با غلظت بالا می‌باشد. در جریان واریزه‌ای توسعه یافته کل عمق جریان با غلظت بالا توسعه می‌یابد رابطه سرعت برای جریان واریزه‌ای توسعه نیافته جریان به‌صورت زیر است [۲۴].

$$\frac{U}{U_*} = 0.7 \left( \frac{D}{d_{50}} \right) \quad (۱۴-۵)$$

تاکاهاشی برای جریان واریزه‌ای توسعه یافته رابطه زیر را ارائه نمود [۲۶]:

$$\frac{U}{U_*} = 0.4 \left( \frac{D}{d_{50}} \right) \quad (۱۵-۵)$$

#### ۵-۴-۲- رابطه آرای<sup>۵</sup>

آرای رابطه‌ای را برای جریان‌های با غلظت بالا به‌صورت زیر ارائه نمود و برای جریان گلی مورد استفاده قرار داد [۱۰]:

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{k} \left[ L_n \frac{1 + \sqrt{1 + \psi^2}}{z_0 + \sqrt{z_0^2 + \psi^2}} + \sqrt{1 + \psi^2} + \psi \right] \quad (۱۶-۵)$$

1- High Concentrated Flow

2- Mud Flow

3- Debris Flow

4-Takahashi

5-Arai

$$z_0 = \frac{k_s}{30D} \quad (۱۷-۵)$$

$$\psi^2 = \lambda^2 \left( \alpha_0 / K_s \right) \left( \rho_s / \rho_t \right) \left( d_{50} / D \right)^2 \quad (۱۸-۵)$$

که در این روابط  $k_s$ : ضخامت زبری،  $k$ : ثابت کارمن و برابر  $0.4^\circ$  می‌باشند،  $\alpha$ : ضریب اصطکاک داخلی رسوب،  $\rho_t$ : جرم حجمی سیال،  $\rho_s$ : جرم مخصوص رسوب و  $\lambda$  غلظت خطی رسوب است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\lambda = \left[ \left( \frac{C_*}{C} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^{-1} \quad (۱۹-۵)$$

که در این رابطه  $C_*$  غلظت حجمی رسوب در بستر و  $C$  غلظت حجمی رسوب جریان بوده و بی بعد می‌باشند. رابطه آرای به صورت بی بعد بوده و مستقل از سامانه اندازه گیری می‌باشد در سامانه متریک  $U$  و  $U^*$  بر حسب  $m/s$  و  $D$  و  $d_{50}$  و  $k_s$  بر حسب متر و  $\rho$  و  $\rho_s$  بر حسب  $kg/m^3$  است.

#### ۵-۴-۳- رابطه بنی حبيب

بررسی نشان می‌دهد که روابط ارائه شده برای جریان‌های با غلظت بالا فقط برای محدوده خاصی از پارامترهای جریان و رسوب صادق بوده و خارج از آن محدوده خطای زیادی دارند. بنابراین رابطه زیر برای محدوده کل جریان‌های با غلظت بالا بر مبنای فرضیه اثر غلظت بر پارامترهای جریان آشفته ارائه گردید [۱]:

$$\frac{U}{U_*} = -1.44 + (7.5 - 7C) \log\left(\frac{D}{d_{50}}\right) \quad (۲۰-۵)$$

در کلیه روابط ارائه شده برای جریان‌های با غلظت بالا، زبری ناشی از دانه‌های رسوب با زبری ناشی از غلظت جریان با هم برآورد شده بنابراین ضریب سرعت روابط یاد شده مجموع اثر زبری دانه‌های رسوب و غلظت جریان را لحاظ نموده است.

#### ۵-۵- تعیین زبری ناشی از پوشش گیاهی

ضریب زبری پوشش گیاهی تابعی از نوع پوشش گیاهی و انعطاف پذیری آن، تراکم، شکل قرارگیری پوشش گیاهی، عمق و سرعت جریان می‌باشد [۱۹]. روابط و جدول ارائه شده عوامل یاد شده را بعضاً به طور کامل و صریح و بعضاً به صورت ناقص و ضمنی در تعیین ضریب زبری پوشش گیاهی منظور می‌نمایند.

### ۵-۵-۱- روابط تجربی و نیمه تجربی

روابط تجربی و نیمه تجربی که در این ضابطه برای تعیین ضریب زبری ارائه گردیده‌اند عبارتند از:

– رابطه پتريک و بسماجیان<sup>۱</sup>

– روابط گرین - گارتن<sup>۲</sup>

– روابط رهمیر<sup>۳</sup>

این روابط ضریب زبری ناشی از مجموع زبری بستر (دانه‌های رسوب) و پوشش گیاهی را تعیین می‌کنند.

### ۵-۵-۱-۱- رابطه پتريک و بسماجیان

این رابطه که در سال ۱۹۷۵ میلادی توسط پتريک و بسماجیان پیشنهاد شده توسط دفتر زمین‌شناسی آمریکا<sup>۴</sup> به‌عنوان روشی برای تعیین ضریب زبری پوشش گیاهی در سیلاب‌دشت پیشنهاد شده است. اساس رابطه تعادل نیروها در جریان بر روی بستر با پوشش گیاهی می‌باشد که نیروی بازدارنده درختان در تعادل نیروها محاسبه و منظور گردیده است. این رابطه نیمه تجربی به‌صورت زیر می‌باشد [۸].

$$n = n_0 \sqrt{1 + \left( \frac{c_D \sum A_i}{2gAL} \right) \left( \frac{1}{n_0} \right)^2 R^{\frac{2}{3}}} \quad (۲۱-۵)$$

که در این رابطه  $n_0$ : ضریب مانینگ سیلاب‌دشت بدون در نظر گرفتن پوشش گیاهی بوده،  $C_D$ : ضریب بازدارنده موثر<sup>۵</sup> برای پوشش گیاهی،  $\sum A_i$ : سطح مقابل جریان بر حسب مترمربع،  $g$ : شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه،  $A$ : سطح خیس شده جریان بر حسب مترمربع،  $L$ : طول بازه مورد نظر رودخانه بر حسب متر و  $R$  شعاع هیدرولیکی بر حسب متر می‌باشد. ضریب بازدارنده موثر برای درختان موجود در سیلاب‌دشت از شکل (۴-۵) به‌دست می‌آید.

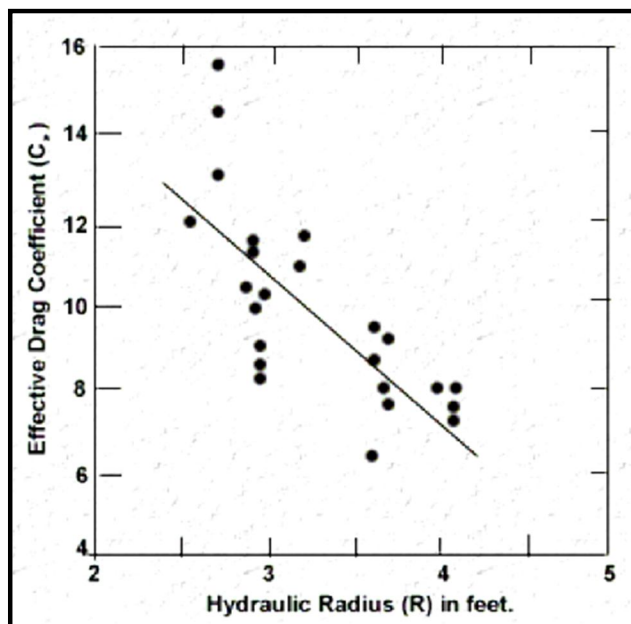
1- Petryk And Bosmajian

2- Green And Garton

3- Rahmeyer

4- USGS

5- Effective - Drag Coefficient



شکل ۵-۴- ضریب بازدارنده موثر برای درختان موجود در سیلاب‌دشت [۸]

#### ۵-۱-۲- روابط گرین و گارتن

در این روش ابتدا درجه تعویق<sup>۱</sup> بر اساس تراکم و ارتفاع گیاه از جدول (۵-۴) تعیین می‌شود. درجه تعویق برای طبقه‌بندی مقاومت انواع پوشش گیاهی در مقابل جریان استفاده می‌گردد. سپس بر اساس حاصل ضرب سرعت جریان در شعاع هیدرولیکی، رابطه تجربی مناسب از جدول (۵-۵) انتخاب می‌گردد. در این روش ضریب زبری به صورت تابع ضمنی می‌باشد. بنابراین ابتدا سرعت جریان و شعاع هیدرولیکی بر اساس ضریب زبری اولیه به دست آمده سپس با داشتن سرعت جریان و شعاع هیدرولیکی از رابطه مناسب ضریب مانینگ تعیین می‌شود. مجدداً با محاسبه سرعت و شعاع هیدرولیکی از روابط جریان محاسبات تکرار می‌گردد تا خطای ضریب مانینگ دو مرحله متوالی به مقدار مطلوب محدود گردد [۱۸].

جدول ۵-۴- تعیین درجه تعویق پوشش گیاهی [۱۵]

E (بسیار کوتاه)	D (کوتاه)	C (متوسط)	B	A بسیار بلند	درجه تعویق
<۵	۵ تا ۱۵	۱۵ تا ۲۵	۲۵ تا ۷۵	> ۷۵	رشد و تراکم گیاه خوب است (ارتفاع گیاه بر حسب سانتی‌متر)
<۵	۵ تا ۱۵	۱۵ تا ۲۵	۲۵ تا ۷۵	—	رشد و تراکم گیاه متوسط است (ارتفاع گیاه بر حسب سانتی‌متر)

جدول ۵-۵- روابط گرین و گارتن [۱۵]

شماره رابطه	محدوده	رابطه	درجه تعویق
(۲۲-۵)	$VR < 0.1542$	$n = 0.044 - 1.62VR$	A
(۲۳-۵)	$0.1542 < VR$	$n = 0.46 + \frac{0.0223}{VR}$	
(۲۴-۵)	$VR < 0.0535$	$n = 0.403 - 3.3356VR$	B
(۲۵-۵)	$0.0535 < VR < 0.1792$	$n = 0.046 + \frac{0.0096}{VR}$	
(۲۶-۵)	$0.1792 < VR$	$n = 0.0354 + \frac{0.0115}{VR}$	
(۲۷-۵)	$VR < 0.0833$	$n = 0.034 + \frac{0.0046}{VR}$	C
(۲۸-۵)	$0.0833 < VR$	$n = 0.028 + \frac{0.00516}{VR}$	
(۲۹-۵)	$VR < 0.100$	$n = 0.038 + \frac{0.002}{VR}$	D
(۳۰-۵)	$0.100 < VR$	$n = 0.03 + \frac{0.0028}{VR}$	
(۳۱-۵)	$VR < 0.123$	$n = 0.029 + \frac{0.0007}{VR}$	E
(۳۲-۵)	$0.123 < VR$	$n = 0.0225 + \frac{0.0015}{VR}$	

۵-۵-۳- روابط رهمیر<sup>۱</sup>

روابط نیمه تجربی رهمیر برای درختچه‌ها و انواع پوشش درختی دارای انعطاف ارائه شده‌اند. این روابط تغییر شکل گیاهان در اثر نیروی جریان را در نظر می‌گیرد و برای دو حالت استغراق گیاه به صورت زیر تعریف شده و برای هر کدام رابطه جداگانه‌ای ارائه می‌دهد [۲۲].

## - استغراق کامل گیاه

در صورتی که عمق جریان مساوی یا بیش از ۸۰٪ ارتفاع گیاه باشد استغراق گیاه کامل در نظر گرفته شده و از رابطه زیر ضریب مانینگ تعیین می‌شود.

$$n = 0.183 \left( \frac{E_s A_s}{\rho A_i U_*^2} \right)^{0.183} \left( \frac{H}{y_0} \right)^{0.243} (MA_i)^{0.273} \left( \frac{v}{U_* R} \right)^{0.115} \left( \frac{1}{U_*} \right) R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (۳۳-۵)$$

1- Rahmeyer

## - استغراق جزیی گیاه

در صورتی که عمق جریان کوچک‌تر از  $8^\circ$  ارتفاع گیاه باشد استغراق گیاه جزیی در نظر گرفته شده و از رابطه زیر ضریب مانینگ تعیین می‌شود:

$$n = 3.487 \times 10^{-5} \left( \frac{E_s A_s}{\rho A_i U_*^2} \right)^{0.53} (MA_i)^{0.166} \left( \frac{U_* R}{v} \right)^{0.622} \left( \frac{1}{U_*} \right) R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (34-5)$$

که در این رابطه:

$$A_{i*} = [y_0 - (H - H')] W_e \quad (35-5)$$

و سایر پارامترها عبارتند از:

$A_i$ : معادل سطح مقابل جریان هر درخت بر حسب مترمربع

$A_s$ : سطح مقطع تنه درخت که در ارتفاع  $H/4$  بر حسب مترمربع اندازه‌گیری می‌شود

$D_s$ : قطر تنه درخت بر حسب متر که در ارتفاع  $H/4$  اندازه‌گیری می‌گردد

$E_s$ : مدول سختی گیاه بر حسب نیوتن بر مترمربع

$H$ : ارتفاع متوسط درختان و بوته‌ها بر حسب متر

$H'$ : ارتفاع شاخ برگ درختان و بوته‌ها بر حسب متر

$M$ : تراکم نسبی گیاهان (درختان، بوته) تعداد در مترمربع

$n$ : ضریب مانینگ بستر آبراهه و یا سیلاب‌دشت به همراه پوشش گیاهی

$Y_o$ : عمق جریان بر حسب متر

$v$ : لزجت سینماتیکی بر حسب مترمربع بر ثانیه

$\rho$ : جرم حجمی آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

$W_e$ : عرض متوسط گیاه که از رابطه زیر به دست می‌آید

$$w_e = A_i / H' \quad (36-5)$$

مدول سختی گیاه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

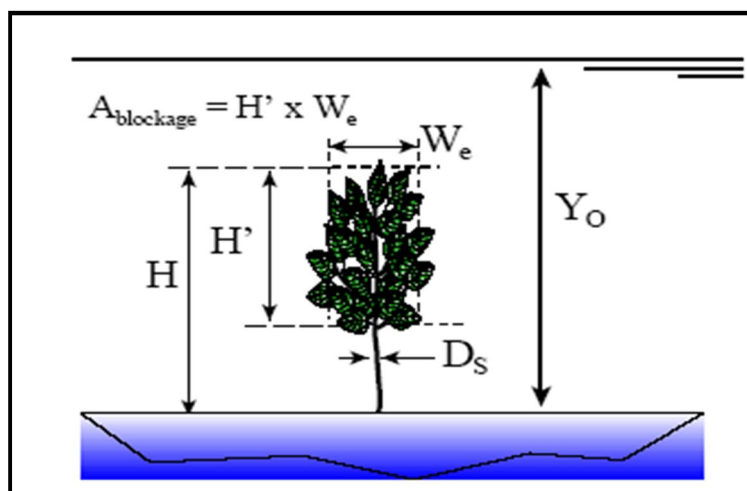
$$E_s = 6.791 \frac{F_{45} H^2}{D_s^4} \quad (37-5)$$

که در این رابطه  $F_{45}$  نیرویی است که برای خم کردن گیاه تا زاویه  $45^\circ$  درجه مورد نیاز است. رابطه دیگری که حدود

$7^\circ$  دقت در تعیین  $E_s$  دقت دارد به صورت زیر است:

$$E_s = 7.648 \times 10^6 \left( \frac{H}{D_s} \right) + 2.174 \times 10^4 \left( \frac{H}{D_s} \right)^2 + 1.809 \times 10^3 \left( \frac{H}{D_s} \right)^3 \quad (38-5)$$

پارامترهای مربوط به ابعاد گیاه و عمق جریان برای روش رهمیر در شکل (۵-۵) نشان داده شده است.



شکل ۵-۵- پارامترهای روش رهمیر [۲۲]

روش‌های مورد بحث در فصل ششم راهنمای حاضر جداولی را شامل می‌شود که زبری ناشی از پوشش گیاهی را به صورت مجزا از سایر عوامل ارائه می‌دهد. ولی جداول این بخش از راهنما مجموع زبری جداره ناشی دانه‌های رسوب و پوشش گیاهی را ارائه می‌دهند. پژوهشگران مختلف ضریب مانینگ انواع پوشش گیاهی را در آزمایشگاه و بعضاً در صحرا اندازه‌گیری نموده‌اند که می‌توان آن‌ها را در سه دسته زیر طبقه‌بندی نمود.

- چمن و علف مطابق جدول (۵-۶)
- محصولات زراعی مطابق جدول (۵-۷)
- پرچین مطابق جدول (۵-۸)
- درختان و بوته‌ها مطابق جدول (۵-۹)

جدول ۵-۶- جدول ضریب مانینگ برای چمن و علف [۱۵]

ضریب مانینگ			توضیح
متوسط	بیشینه	کمینه	
۰/۱	۰/۱۲	۰/۰۸	علف خشک و مستقیم $h_v = 1/8m$ و $1/4 h/h_v =$
۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۷	علفزار $h_v = 1m, \frac{h}{h_v} = 2$
۰/۰۴۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	علف خشک و مستقیم $h_v = 1/8m, h_g/h_v = 2/5m$
۰/۰۴	۰/۰۴۵	۰/۰۳۵	علفزار $h_v = 50cm$ و $h/h_v = s$
۰/۰۲۶	۰/۰۲۸	۰/۰۲۲	علفزار $h_v = 10-20cm$ و $h/h_v = 16$
۰/۰۲۱	۰/۰۲۴	۰/۰۱۸	زمین گلف $h/h_v = 90$

$h$  عمق جریان و  $h_v$  ارتفاع چمن و یا علف است.



جدول ۵-۷- جدول ضریب مانینگ برای انواع محصولات زراعی [۱۵]

ضریب مانینگ			توضیح نوع کشت
متوسط	بیشینه	کمینه	
۰/۰۶	-----	-----	خوشه‌های گندم با آب به عمق ۱۵ سانتی‌متر
۰/۰۷	-----	-----	خوشه‌های گندم با آب به عمق ۲۰ سانتی‌متر
۰/۰۷۵	-----	-----	خوشه‌های گندم با آب به عمق ۳۰ سانتی‌متر
۰/۰۹۶	-----	-----	خوشه‌های گندم با آب به عمق ۴۰ سانتی‌متر
۰/۱۱۳	-----	-----	خوشه‌های گندم با آب به عمق ۵۰ سانتی‌متر
۰/۰۳۵	-----	-----	ساقه‌های گندم با آب به عمق ۱۰ سانتی‌متر
۰/۰۴	-----	-----	ساقه‌های گندم با آب به عمق ۱۵ سانتی‌متر
۰/۰۵	-----	-----	ساقه‌های گندم با آب به عمق ۲۴ سانتی‌متر
۰/۰۵۳	-----	-----	ساقه‌های گندم با آب به عمق ۳۳ سانتی‌متر
۰/۱۱	۰/۲۴	۰/۰۳۶	ذرت با ردیف‌های موازی با جریان
۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۰۰۸	پنبه با ردیف‌های موازی با جریان
۰/۱۲	۰/۲۶	۰/۰۱۹	ذرت خوشه‌ای با ردیف‌های موازی با جریان
۰/۰۹۵	۰/۲۱	۰/۰۵	لوبیا با ردیف‌های موازی با جریان
۰/۱۱۵	۰/۰۲۵	۰/۰۴۶	آفتابگردان با ردیف‌های موازی با جریان
۰/۰۵	۰/۱۳۴	۰/۰۱۲	ذرت با ردیف‌های عمودی با جریان
۰/۰۴۵	۰/۰۸۲	۰/۰۱۷	پنبه با ردیف‌های عمودی با جریان
۰/۰۴۷	۰/۰۹۳	۰/۰۱۵	ذرت خوشه‌ای با ردیف‌های عمودی با جریان
۰/۰۸	۰/۱۴۹	۰/۰۳۷	لوبیا با ردیف‌های عمودی با جریان
۰/۰۷	۰/۱۲۰	۰/۰۱۲	آفتابگردان با ردیف‌های عمودی با جریان
۰/۰۷۵	۰/۱۳	۰/۰۱۵	گندم با ردیف‌های عمودی با جریان

جدول ۵-۸- جدول ضریب مانینگ برای پرچین منظم و نامنظم [۱۵]

ضریب مانینگ برای عمق‌های مختلف جریان و پرچین منظم و نامنظم									فاصله پرچین‌ها (m)
۲/۰۰ متر		۱/۵۰ متر		۱/۰۰ متر		۰/۵۰ متر		۰/۲۵ متر	
نامنظم	منظم	نامنظم	منظم	نامنظم	منظم	نامنظم	منظم	نامنظم	
۰/۰۸۰	۰/۰۵۱	۰/۰۸۶	۰/۰۵۴	۰/۰۹۱	۰/۰۵۳	۰/۰۸۹	۰/۰۴۵	۰/۰۷۲	۵۰
۰/۰۶۰	۰/۰۴۱	۰/۰۶۳	۰/۰۴۲	۰/۰۶۷	۰/۰۴۲	۰/۰۶۴	۰/۰۳۲	۰/۰۵۳	۱۰۰
۰/۰۴۱	۰/۰۳۲	۰/۰۴۵	۰/۰۳۲	۰/۰۴۵	۰/۰۲۹	۰/۰۴۵	۰/۰۳۱	۰/۰۴۰	۲۵۰
۰/۰۳۴	۰/۰۲۹	۰/۰۳۶	۰/۰۲۷	۰/۰۳۷	۰/۰۲۹	۰/۰۳۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۵	۵۰۰
۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۲۹	۰/۰۲۵	۰/۰۳۱	۰/۰۲۷	۰/۰۳۲	۰/۰۲۷	۰/۰۳۱	۱۰۰۰

جدول ۵-۹- جدول ضریب مانینگ برای درختان و بوته‌ها [۱۵]

ضریب مانینگ			توضیح			
متوسط	بیشینه	کمینه	سرعت جریان (m/s)	درصد پوشش* (%)	درصد استغراق (%)	نوع پوشش
۰/۰۰۵	۰/۰۵	۰/۰۰۰۱	_____	_____	_____	بوته انعطاف پذیر (تراکم بسیار کم)
۰/۰۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱۵	_____	_____	_____	جارو و بوته پراکنده
۰/۰۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱۵	_____	_____	_____	بوته‌های سبک و درختان در زمستان
۰/۰۲۵	۰/۰۵	۰/۰۱۵	_____	_____	_____	بوته‌های سبک و درختان در تابستان
۰/۰۰۴	۰/۰۷	۰/۰۲	_____	_____	_____	بوته‌های با تراکم متوسط تا تراکم زیاد در زمستان
۰/۰۴۵	_____	۰/۰۱	_____	_____	_____	بوته‌های با تراکم متوسط تا تراکم زیاد بوته‌ها در تابستان
۰/۱	۰/۱۳	۰/۰۷	_____	_____	_____	بید متراکم در تابستان
۰/۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	_____	_____	_____	زمین خاکی با کنده درختان خشک
۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۱۵	_____	_____	_____	زمین خاکی با کنده درختان و جوانه‌های متراکم
۰/۰۰۶	۰/۱	۰/۰۵	_____	_____	_____	تراکم متوسط تا زیاد بودته‌ها، عمق جریان زیر شاخه‌ها
۰/۰۰۷	۰/۱۳	۰/۵	_____	_____	_____	تعداد زیاد درختان الواری، تعدادی درختان افتاده، تعداد کمی شاخه زیر تراز سیل
۰/۱۵	۰/۲	۰/۱	_____	_____	_____	مثل بالایی تعداد کمی شاخه، تراز سیل
۰/۲	_____	_____	۰/۱	۱۰۰	۱۰۰	درختان کاج
۰/۱۱۸	_____	_____	۱	۱۰۰	۱۰۰	درختان کاج
۰/۰۱	_____	_____	۲	۱۰۰	۱۰۰	درختان کاج
۰/۲۲	_____	_____	۰/۱	۱۰۰	۷۵	درختان کاج
۰/۱۳	_____	_____	۱	۱۰۰	۷۵	درختان کاج
۰/۱۲	_____	_____	۲	۱۰۰	۷۵	درختان کاج
۰/۲۸	_____	_____	۰/۱	۱۰۰	۵۰	درختان کاج
۰/۱۶۲	_____	_____	۱	۱۰۰	۵۰	درختان کاج
۰/۱۴	_____	_____	۲	۱۰۰	۵۰	درختان کاج
۰/۴	_____	_____	۰/۱	۱۰۰	۲۵	درختان کاج
۰/۲۳۵	_____	_____	۱	۱۰۰	۲۵	درختان کاج
۰/۲	_____	_____	۲	۱۰۰	۲۵	درختان کاج
۰/۱۷۵	_____	_____	۰/۱	۷۵	۱۰۰	درختان کاج
۰/۱	_____	_____	۱	۷۵	۱۰۰	درختان کاج
۰/۰۸۷	_____	_____	۲	۷۵	۱۰۰	درختان کاج
۰/۲	_____	_____	۰/۱	۷۵	۷۵	درختان کاج
۰/۱۱۷	_____	_____	۱	۷۵	۷۵	درختان کاج

ادامه جدول ۵-۹- جدول ضریب مانینگ برای درختان و بوته‌ها [۱۵]

ضریب مانینگ			توضیح			
متوسط	بیشینه	کمینه	سرعت جریان (m/s)	درصد پوشش (%)	درصد استغراق (%)	نوع پوشش
۰/۱	_____	_____	۲	۷۵	۷۵	درختان کاج
۰/۲۴۵	_____	_____	۰/۱	۷۵	۵۰	درختان کاج
۰/۱۴۵	_____	_____	۱	۷۵	۵۰	درختان کاج
۰/۱۲	_____	_____	۲	۷۵	۵۰	درختان کاج
۰/۳۴	_____	_____	۰/۱	۷۵	۲۵	درختان کاج
۰/۲	_____	_____	۱	۷۵	۲۵	درختان کاج
۰/۱۷۵	_____	_____	۲	۷۵	۲۵	درختان کاج
۰/۱۴	_____	_____	۰/۱	۵۰	۱۰۰	درختان کاج
۰/۰۸	_____	_____	۱	۵۰	۱۰۰	درختان کاج
۰/۰۷	_____	_____	۲	۵۰	۱۰۰	درختان کاج
۰/۱۶	_____	_____	۰/۱	۵۰	۷۵	درختان کاج
۰/۰۹۵	_____	_____	۱	۵۰	۷۵	درختان کاج
۰/۰۸	_____	_____	۲	۵۰	۷۵	درختان کاج
۰/۰۲	_____	_____	۰/۱	۵۰	۵۰	درختان کاج
۰/۱۲	_____	_____	۱	۵۰	۵۰	درختان کاج
۰/۱	_____	_____	۲	۵۰	۵۰	درختان کاج
۰/۲۸	_____	_____	۰/۱	۵۰	۲۵	درختان کاج
۰/۱۶۵	_____	_____	۱	۵۰	۲۵	درختان کاج
۰/۱۴	_____	_____	۲	۵۰	۲۵	درختان کاج
۰/۱	_____	_____	۰/۱	۲۵	۱۰۰	درختان کاج
۰/۰۶	_____	_____	۱	۲۵	۱۰۰	درختان کاج
۰/۰۵	_____	_____	۲	۲۵	۱۰۰	درختان کاج
۰/۱	_____	_____	۰/۱	۲۵	۷۵	درختان کاج
۰/۰۵۹	_____	_____	۱	۲۵	۷۵	درختان کاج
۰/۰۵	_____	_____	۲	۲۵	۷۵	درختان کاج
۰/۱۲	_____	_____	۰/۱	۲۵	۵۰	درختان کاج
۰/۰۷	_____	_____	۱	۲۵	۵۰	درختان کاج
۰/۰۶	_____	_____	۲	۲۵	۵۰	درختان کاج
۰/۲	_____	_____	۰/۱	۲۵	۲۵	درختان کاج
۰/۱۱۸	_____	_____	۱	۲۵	۲۵	درختان کاج
۰/۱	_____	_____	۲	۲۵	۲۵	درختان کاج

\* منظور درصد پوشش چتری درختان در سطح افقی می‌باشد.

## ۵-۶- تعیین زبری ناشی از سایر عوامل موثر

سایر عوامل موثر نظیر بی‌نظمی‌های موجود در بستر آبراهه، موانع، پیچان‌رودهای رودخانه نیز در افزایش ضریب زبری جریان در رودخانه‌ها موثر می‌باشند. جداولی برای اصلاح ضریب زبری مانینگ جهت اعمال اثر عوامل یاد شده ارائه شده است که در بند (۷-۵) راهنمای حاضر این جداول ارائه شده است.

## ۵-۷- روش تعیین ضریب زبری ناشی از مجموعه عوامل

در این بخش در مورد روش‌هایی بحث می‌شود که ضریب زبری ناشی از مجموعه‌ای از عوامل موثر در زبری هیدرولیکی آبراهه‌ها را تخمین می‌زنند. تعداد عوامل موثر در تعیین ضریب زبری متغیر بوده و حداکثر شامل موارد زیر است:

- زبری دانه‌های رسوب
  - زبری ناهمواری‌های سطح آبراهه
  - موانع موجود در آبراهه
  - مشخصات پوشش گیاهی و شرایط جریان
  - پیچان‌رودهای رودخانه
- روش کاون<sup>۱</sup> که بعداً توسط دفتر حفاظت خاک آمریکا<sup>۲</sup> و سازمان زمین‌شناسی آمریکا<sup>۳</sup> تکمیل گردیده، کلیه عوامل یاد شده را در نظر نمی‌گیرند. علاوه بر عوامل یاد شده دو عامل زیر نیز در ضریب زبری موثر می‌باشد که در بندهای (۵-۳) و (۴-۵) راهنما مورد بحث قرار گرفته است و در فصل هشتم روشی ارائه می‌شود که این عوامل نیز در تعیین ضریب زبری آبراهه‌ها لحاظ شود.

- زبری ناشی از شکل بستر
  - زبری ناشی از غلظت بالای رسوب
- زبری ناشی از شکل بستر در رژیم جریان پایینی باید مد نظر قرار گیرد و زبری ناشی از غلظت جریان در صورت رخداد جریان‌های گلی و واریزه‌ای که معمولاً غلظت حجمی رسوب در آنها بالای ۵٪ می‌باشد باید در نظر گرفته شود. روش‌هایی که در این بند بحث می‌شوند عبارتند از تعیین ضریب زبری با استفاده از تصاویر، جداول و ترکیب آن‌ها.

1- Cowan

2- United State Geology Survey

3- Soil Conservation Service

## ۵-۷-۱- تعیین ضریب زبری با استفاده از تصاویر

ضریب زبری یک عامل هیدرولیکی بوده و تابع عوامل مختلفی است که در فصل سوم بحث گردیده است. در روش تصویری، مشخصات تصویری و ضریب زبری اندازه‌گیری شده در برخی از رودخانه‌ها ارائه می‌شود و در صورت تطبیق مشخصات رودخانه مورد نظر با رودخانه‌هایی که تصاویر و ضریب زبری آن‌ها ارائه شده است ضریب زبری تخمین زده می‌شود. تصاویری که در این بخش ارائه می‌شود شامل موارد زیر است:

## ۵-۷-۱-۱- تصاویر ارائه شده توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا

این روش در اصل بر اساس تصاویر گرفته و اطلاعات الدریج و گارت<sup>۱</sup> می‌باشد که توسط راهنمای تعیین ضریب مانینگ سازمان زمین‌شناسی آمریکا ارائه شده است [۸]. کاربرد این تصاویر برای تعیین ضریب زبری آبراهه و سیلاب‌دشت‌های پوشیده از انواع گیاهان می‌باشد. این روش عوامل زیر را در تعیین ضریب زبری کل آبراهه و سیلاب‌دشت در نظر می‌گیرد:

- زبری جداره‌ی آبراهه و یا سیلاب‌دشت ناشی از دانه‌های رسوب ( $n_b$ )
- زبری ناهمواری سطح آبراهه و یا سیلاب‌دشت ( $n_l$ )
- زبری ناشی از موانع موجود در آبراهه و یا سیلاب‌دشت ( $n_3$ )
- ضریب ناشی از پوشش گیاهی آبراهه و یا سیلاب‌دشت ( $n_4$ )
- زبری ناشی از پوشش گیاهی که از رابطه ( $5-1-2$ ) محاسبه می‌شود. برای تعیین زبری ناشی از پوشش گیاهی از رابطه یاد شده از ضریب مانینگ پایه  $n_o$  و ضریب بازدارنده و تراکم پوشش گیاهی استفاده می‌شود. عکس‌های این روش در شکل‌های ( $5-6$ ) تا ( $5-20$ ) نشان داده شده و عوامل و مشخصات این سیلاب‌دشت‌ها در جدول ( $5-10$ ) ارائه گردیده است.

1- Aldridge And Garrett



شکل ۵-۶- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۱



شکل ۵-۷- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۱





شکل ۵-۸ - سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۱



شکل ۵-۹ - سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۱





شکل ۵-۱۰- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۱



شکل ۵-۱۱- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۱





شکل ۵-۱۲ - سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۲



شکل ۵-۱۳ - سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۲





شکل ۵-۱۴- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۳



شکل ۵-۱۵- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۴





شکل ۵-۱۶- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۴



شکل ۵-۱۷- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۵





شکل ۵-۱۸- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۱۸



شکل ۵-۱۹- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۲۰





شکل ۵-۲۰- سیلاب‌دشت با ضریب مانینگ ۰/۲۰

جدول ۱۰-۵ - عوامل و مشخصات تصاویر تعیین ضریب مانینگ [۸]

شماره شکل	نوع خاک	ناهمواری سطح سیلاب‌دشت	نوع درختان سیلاب‌دشت	عمق (m)	نوع پوشش سطحی سیلاب‌دشت	موانع	Vegd تراکم پوشش گیاهی	C <sub>d</sub>	n <sub>b</sub>	n <sub>1</sub>	n <sub>3</sub>	n <sub>4</sub>	n <sub>0</sub>	n
۶-۵	کشاورزی	کم	درخت (بلوط - صمغ - کاج)	۰/۷۳	درخت مو	قابل اغماض	۰/۰۲۲۰	۱۲	۰/۰۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	-	۰/۰۳۵	۰/۱
۷-۵	کشاورزی - نرم	صاف	درختان بزرگ و بلند شامل (بلوط، صمغ، درخت آهن و کاج)	۱/۰۱	بوته های کم پشت	کم	۰/۰۲۲۰	۸/۸	۰/۰۳۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	-	۰/۱۰۲۵	۰/۱
۸-۵	کشاورزی	کم	درختان بزرگ و بلند شامل (بلوط، صمغ، درخت آهن و کاج)	۱/۱۳	بوته های قابل اغماض	کم	۰/۰۲۰	۷/۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	-	۰/۱۰۲۵	۰/۱
۹-۵	کشاورزی	کم	درختان بزرگ و بلند شامل (بلوط، صمغ، درخت آهن و کاج)	۰/۹۱۴	بوته های قابل اغماض	کم	۰/۰۲۳۶	۸	۰/۰۳۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	-	۰/۱۰۲۵	۰/۱
۱۰-۵	سیلیت	کم	درخت شامل بلوط، صمغ، درخت آهن	۱/۱۲۸	علف هرز کوتاه و بوته های حداقلی قابل اغماض	کم	۰/۰۲۵۳	۱۰/۲	۰/۰۲۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	-	۰/۱۰۲۷	۰/۱
۱۱-۵	سیلیت	کم	درخت شامل بلوط، صمغ، درخت آهن	۰/۹۱۴	علف هرز کوتاه و بوته های حداقلی قابل اغماض	کم	۰/۰۲۹۵	۸/۶	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	-	۰/۱۰۲۸	۰/۱
۱۲-۵	کشاورزی	کم	درخت شامل بلوط، صمغ، درخت آهن	۱/۲۲	بوته ها و پوشش قابل اغماض	کم	۰/۰۲۶۹	۷/۶	۰/۰۲۵	---	---	-	۰/۱۰۲۵	۰/۱۳
۱۳-۵	کشاورزی	کم	درخت شامل بلوط، صمغ، درخت آهن	۱/۲۲	بوته ها و پوشش قابل اغماض	کم	۰/۰۲۶۹	۷/۶	۰/۰۲۵	---	---	-	۰/۱۰۲۵	۰/۱۳
۱۴-۵	کشاورزی	کوچک	درخت شامل بلوط، صمغ، درخت آهن	۰/۹۷۵	بوته ها و پوشش قابل اغماض	کم	۰/۰۲۸۵	۱۱/۵	۰/۰۲۵	۰/۰۰۳	---	-	۰/۱۰۲۵	۰/۱۳
۱۵-۵	کشاورزی	کوچک	مخلوطی از درختان بزرگ و کوچک شامل بلوط، صمغ و درخت آهن	۰/۸۸۴	پوشش قابل اغماض و مقدار کمی بوته	کم	۰/۰۲۷۹	۱۵/۶	۰/۰۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۰/۱۰۵	۰/۱۴
۱۶-۵	کشاورزی	کوچک	مخلوطی از درختان بزرگ و کوچک شامل بلوط، صمغ و درخت آهن	۰/۸۵۳	پوشش قابل اغماض و مقدار کمی بوته که از درختان کوچک و مو تشکیل شده اند	کم	۰/۰۳۳۵	۱۵/۶	۰/۰۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۰/۱۰۵	۰/۱۴
۱۷-۵	کشاورزی	کوچک	مخلوطی از درختان بزرگ و کوچک شامل بلوط، صمغ و درخت آهن	۱/۲۵	پوشش قابل اغماض و بوته های حداقلی	کم	۰/۰۲۲	۱۴/۴	۰/۰۲۵	۰/۰۰۳	۰/۰۲	-	۰/۱۰۳	۰/۱۵
۱۸-۵	کشاورزی	کوچک	مخلوطی از درختان بزرگ و کوچک شامل بلوط، صمغ و درخت آهن به علاوه درختان کوچک با قطر ۰/۱ تا ۰/۲ متر	۱/۵۳	پوشش قابل اغماض و بوته های قابل اغماض	کم	۰/۰۲۷۶	۱۳/۳	۰/۰۲۵	---	۰/۰۲	-	۰/۱۰۳۵	۰/۱۸
۱۹-۵	کشاورزی	کوچک	مخلوطی از درختان بزرگ و کوچک شامل بلوط و صمغ و درخت آهن به علاوه درختان کوچک با قطر ۰/۱ تا ۰/۲ متر	۰/۸۸۴	پوشش متوسط و مقدار زیادی از بوته ها شامل مو و نخل بادبزنی	کم	۰/۰۳۷۷	۲۲/۷	۰/۰۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۰۵۵	۰/۱۰۵۵	۰/۳
۲۰-۵	کشاورزی	کوچک	مخلوطی از درختان بزرگ و کوچک شامل بلوط و صمغ و درخت آهن	۰/۸۸۴	پوشش متوسط و مقدار زیادی از بوته ها شامل مو و نخل بادبزنی	کم	۰/۰۳۷۷	۲۲/۷	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۰۵۵	۰/۳

۵-۷-۱-۲- تصاویر ارائه شده توسط اداره امور آب سورن - ترنت<sup>۱</sup>

اداره امور آب سورن - ترنت در انگلستان در مطالعه میدانی اندازه‌گیری دقیق ضریب زبری را بر روی رودخانه‌های ناحیه سورن - ترنت انجام داد و به همراه تصویر، پلان و مقاطع بازه مورد مطالعه را ارائه نمود. این تصاویر به همراه مشخصات هیدرولیکی، پلان و مقاطع در شکل‌های (۵-۲۱) تا (۵-۳۶) ارائه شده است. این تصاویر را می‌توان با مقاطع رودخانه‌های مورد نظر تطبیق داده و از مقادیر ضریب مانینگ ارائه شده در توضیح تصویر استفاده نمود [۱۵].

شکل ۵-۲۱- رودخانه سورن در بدلی<sup>۲</sup> [۱۵]

توجه: مشخصات هیدرولیکی مقطع و هندسه مقطع لبریز در تاریخ ۱۹۸۸/۱/۵ میلادی در شکل (۵-۲۱) نشان داده شده است.

ضریب مانینگ =  $0.022$

بده =  $385 \text{ s/m}^3$

شیب سطح آب (۱:۴۹۲۶) =  $0.000203$

سطح متوسط مقطع عرضی =  $249 \text{ m}^2$

عرض متوسط جریان =  $78 \text{ m}$

متوسط شعاع هیدرولیکی =  $3.24 \text{ m}$

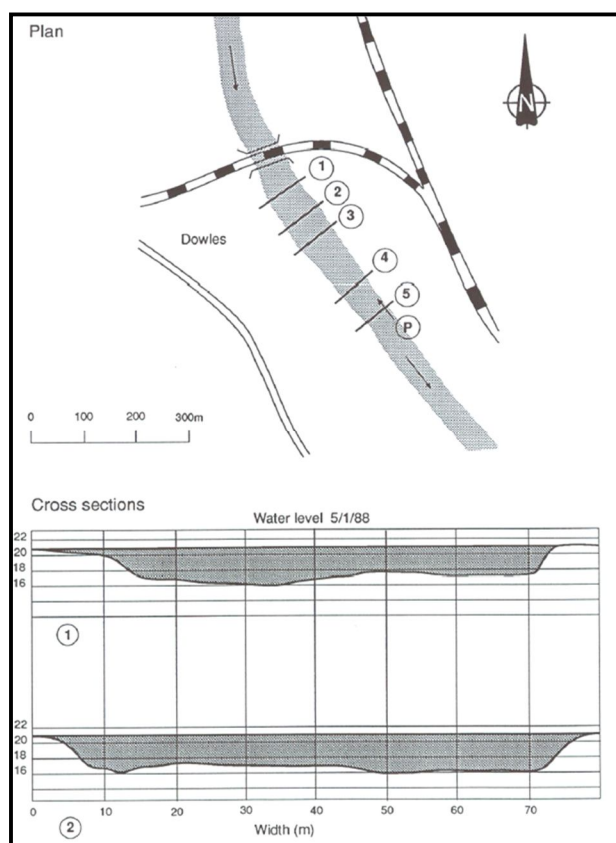
(فقط داده‌های مقاطع ۱ و ۲ موجود است)

1- Seven – Trent Water Authority

2- River Severn at Bewdley

## - شرح آبراهه:

مواد بستر در بالا دست شن بوده و در سایر محل‌ها تعیین نشده است. پوشش گیاهی کناره‌ها شامل درختان بید، توسکا و خفچه می‌باشد که در پای آن‌ها گزنه و تمشک روئیده است. سیلاب‌دشت‌ها علف و مرتع می‌باشد.



شکل ۵-۲۲- پلان و مقاطع عرضی رودخانه سورن در بدلی [۱۵]



شکل ۵-۲۳- رودخانه ویرنی در لیانیمنیچ [۱۵]



توجه: مشخصات هیدرولیکی و هندسی مقطع لبریز در تاریخ ۱۹۸۸/۲/۱۳ میلادی در شکل (۵-۲۳) نشان داده شده است.

ضریب مانینگ =  $0.026$

بده =  $167.7 \text{ s/m}^3$

شیب سطح آب (۱:۲۶۸۸) =  $0.000372$

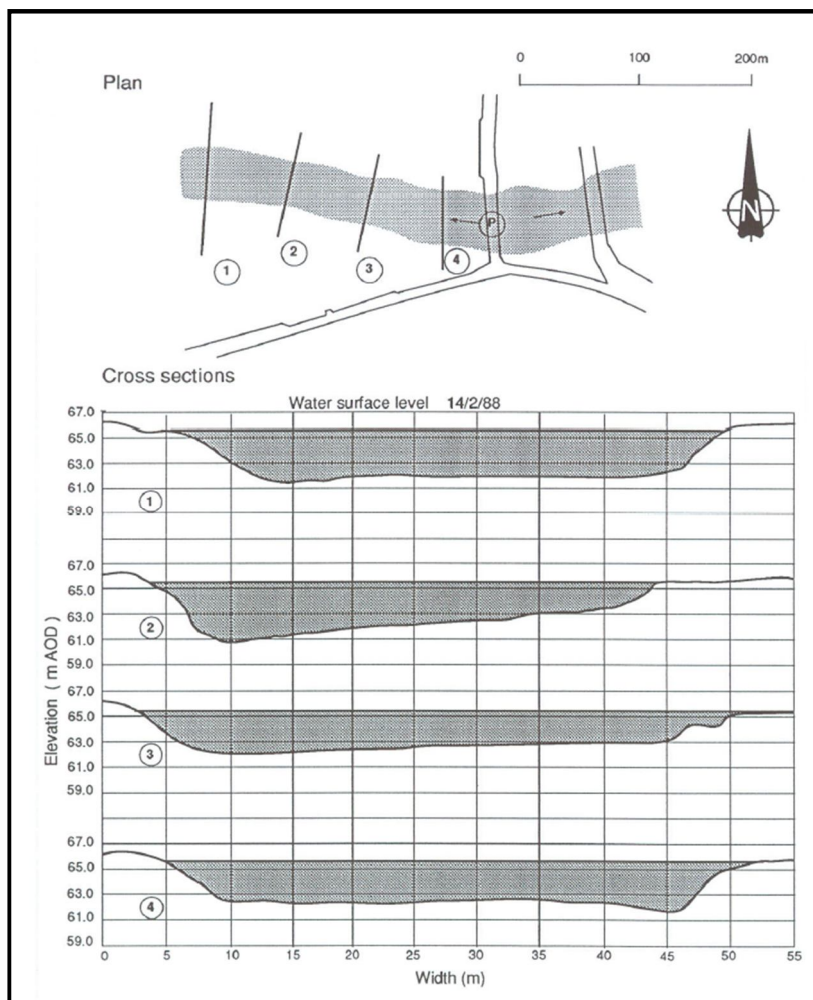
سطح متوسط مقطع عرضی =  $131.6 \text{ m}^2$

عرض متوسط جریان =  $46.4 \text{ m}$

متوسط شعاع هیدرولیکی =  $2.25 \text{ m}$

شرح آبراهه:

مصالح بستر نامشخص است. کناره سمت راست آبراهه پوشیده از درختان توسکای بالغ پراکنده است. کناره‌های چپ پوشیده از بید و توسکا می‌باشد. سیلاب‌دشت چپ پوشیده از کشت غلات و سیلاب‌دشت راست علف مرتعی کوتاه است [۱۵].



شکل ۵-۲۴- پلان و مقاطع عرضی رودخانه ویرنی در لیانیمینیج [۱۵]



شکل ۵-۲۵- رودخانه سورن در مونتفورد<sup>۱</sup> [۱۵]

توجه: مشخصات هیدرولیکی و هندسی مقطع لبریز در تاریخ ۱۹۸۷/۱۱/۱۲ میلادی در شکل (۵-۲۵) نشان داده شده است.

ضریب مانینگ =  $0.028$

بده  $151 \text{ m}^3/\text{s}$

شیب سطح آب (۱:۵۳۷۶) =  $0.000186$

سطح متوسط مقطع عرضی =  $139 \text{ m}^2$

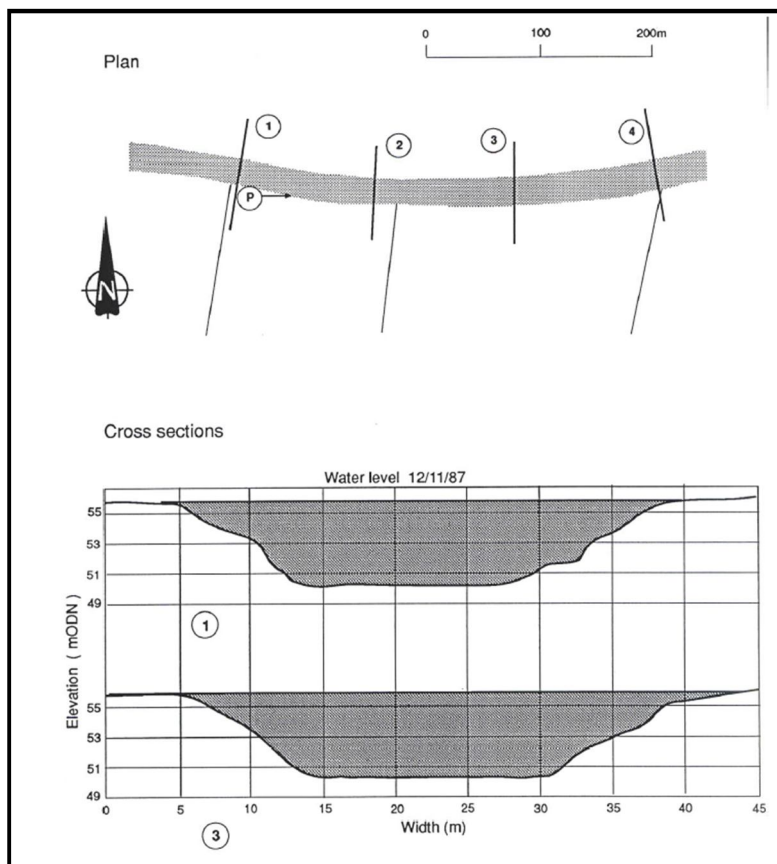
عرض متوسط جریان =  $39.9 \text{ m}$

متوسط شعاع هیدرولیکی =  $3.31 \text{ m}$

- شرح آبراهه:

مواد بستر نامشخص است. کناره‌های چپ و راست آبراهه پوشیده از بید است. سیلاب‌دشت‌ها پوشیده از علف مرتعی کوتاه و خفچه، پرچین و توری می‌باشد.

1- River Sever Aat Montford



شکل ۵-۲۶ - پلان و مقاطع عرضی رودخانه سورن در مونتفورد [۱۵]



شکل ۵-۲۷ - رودخانه نرنت در دراکلو [۱۵]

توجه: مشخصات هیدرولیکی و هندسی مقطع لبریز در تاریخ ۱۹۸۶/۲/۳ میلادی در شکل (۵-۲۷) ارائه شده است.

ضریب مانینگ =  $0.032$

بده  $169 \text{ m}^3/\text{s}$

شیب سطح آب (۱:۲۲۸۸) =  $0.000437$

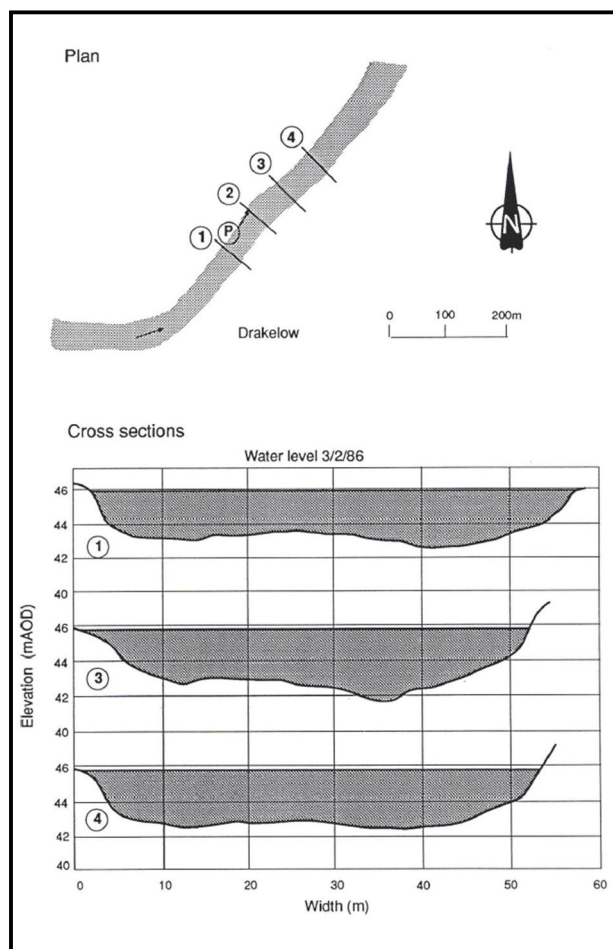
سطح متوسط مقطع عرضی =  $142.5 \text{ m}^2$

عرض متوسط جریان =  $54 \text{ m}$

متوسط شعاع هیدرولیکی =  $2.26 \text{ m}$

#### - شرح آبراهه

مواد بستر نامشخص است. کناره سمت راست آبراهه پوشیده از علف و در انتهای بازه درختان شاه بلوط است. در کناره سمت راست درختان شاه بلوط و راش قرار دارد. در سیلاب‌دشت چپ زمین گلف با درختان پراکنده بلوط سرخدار، خفچه، تبریزی، شاه بلوط و بیشه‌زار می‌باشد. در پایین دست کناره سمت راست درختان در شیب تا سیلاب‌دشت از درختان پوشیده شده است. این درختان شاه بلوط و در پای آن‌ها علف روئیده است.



شکل ۵-۲۸- پلان و مقاطع عرضی رودخانه ترنت در دراکلو [۱۵]



شکل ۵-۲۹- رودخانه درونت در چاتسورس<sup>۱</sup> [۱۵]

توجه: مشخصات هیدرولیکی و هندسی مقطع لبریز در تاریخ ۱۹۸۹/۳/۲۴ میلادی در شکل (۵-۲۹) نشان داده شده است.

ضریب مانینگ = ۰/۰۳۹

بده =  $94.5 \text{ m}^3 / \text{s}$

شیب سطح آب (۱:۱۴۳۹) = ۰/۰۰۰۶۹۵

سطح متوسط مقطع عرضی =  $77.59 \text{ m}^2$

عرض متوسط جریان = 29 m

متوسط شعاع هیدرولیکی = 2.42 m

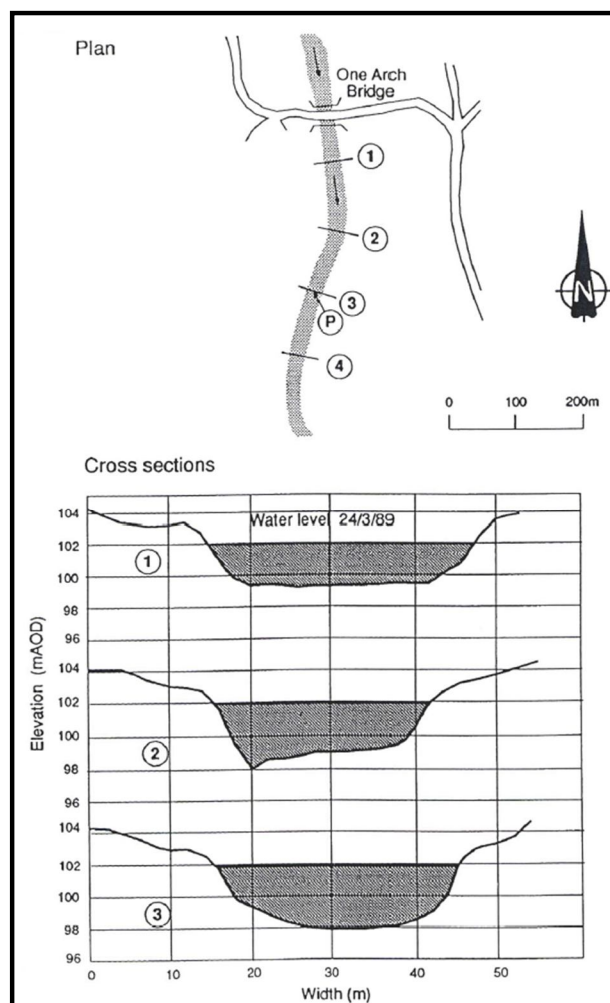
- شرح آبراهه:

مواد بستر شن و آبشارهای سنگی کوتاه است. کناره سمت راست علف با درختان توسکای بالغ، چنار و زبان گنجشک

می‌باشد. سیلاب‌دشت‌ها علف مرتعی کوتاه است.

1- River Derwent At Chatsworth





شکل ۵-۳۰- پلان و مقاطع عرضی رودخانه درونت در چاتسورس [۱۵]



شکل ۵-۳۱- رودخانه منیفولد در ایلام [۱۵]

1- River Manifold At Ilam

توجه: مشخصات هیدرولیکی و هندسی مقطع لبریز در تاریخ ۱۹۹۲/۲/۱۲ میلادی در شکل (۵-۳۱) نشان داده شده است.

ضریب مانینگ =  $0.042$

بده =  $52.8 \text{ m}^3/\text{s}$

شیب سطح آب (۱:۵۰۶) =  $0.00197$

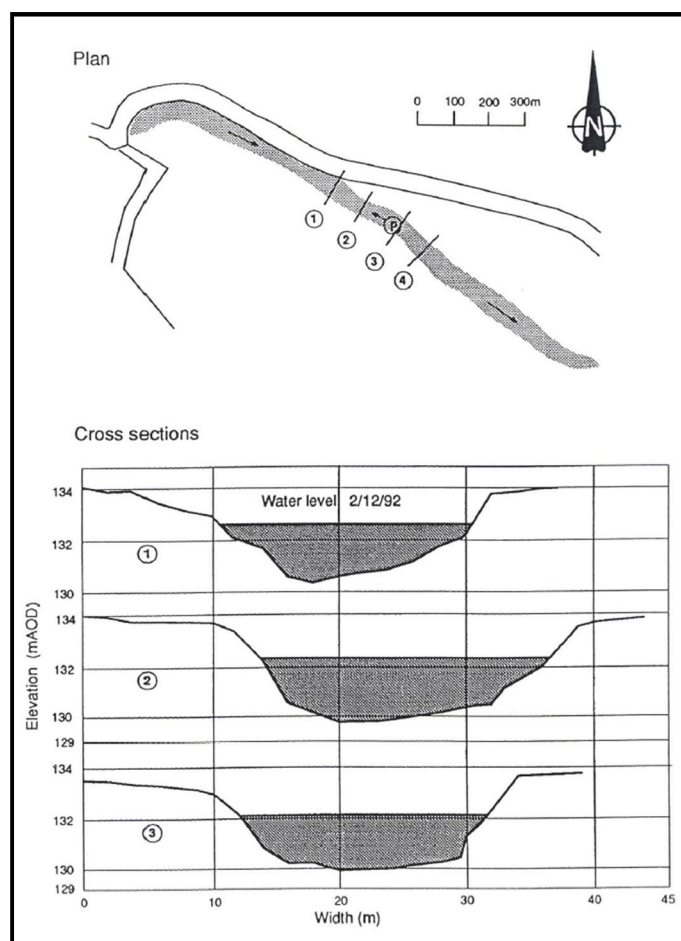
سطح متوسط مقطع عرضی =  $35.6 \text{ m}^2$

عرض متوسط جریان =  $21 \text{ m}$

متوسط شعاع هیدرولیکی =  $1.64 \text{ m}$

- شرح آبراهه:

مواد بستر شن و قلوه سنگ است. کناره‌ها پوشیده از درختان توسکا، زبان گنجشک، فندق، راش، چنار، پرچین و علف و بوته در پای درختان است. سیلاب‌دشت‌ها علف مرتعی با پرچین و حفاظ توری است.



شکل ۵-۳۲- پلان و مقاطع عرضی رودخانه منیفولد در ایلام [۱۵]



شکل ۵-۳۳- رودخانه آون اوشام<sup>۱</sup> [۱۵]

توجه: مشخصات هیدرولیکی و هندسی مقطع لبریز در تاریخ ۱۹۸۶/۱/۳۰ میلادی در شکل (۵-۳۳) نشان داده شده است.

ضریب مانینگ =  $0.044$

بده =  $110 \text{ m}^3/\text{s}$

شیب سطح آب (۱:۴۲۷۴) =  $0.000234$

سطح متوسط مقطع عرضی =  $147.9 \text{ m}^2$

عرض متوسط جریان =  $45 \text{ m}$

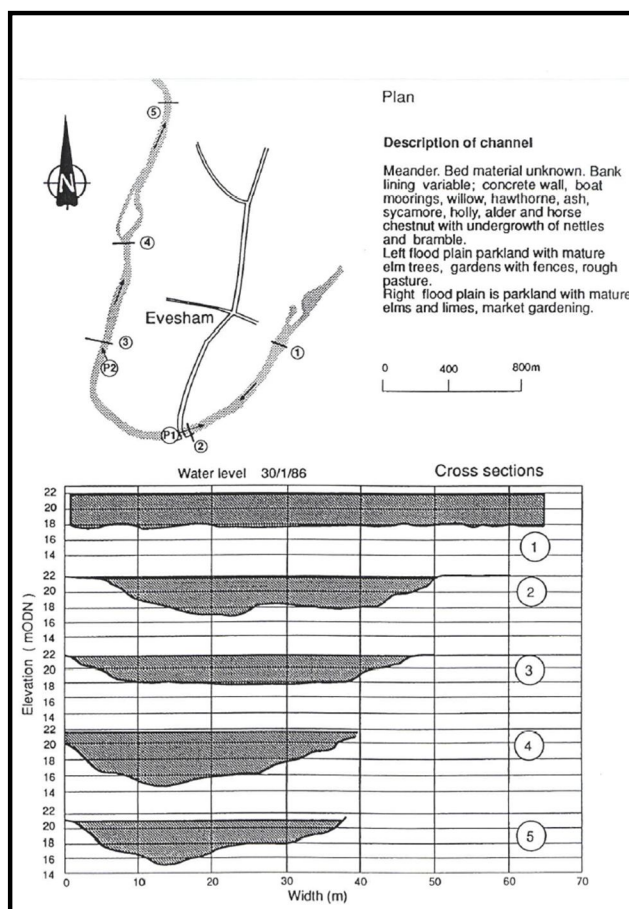
متوسط شعاع هیدرولیکی =  $2.11 \text{ m}$

- شرح آبراهه:

رودخانه پیچانرودی با مواد بستر نامشخص است. پوشش کناره متغیر بوده و شامل بتن، اسکله قایق، درختان بید، پرچین، زبان گنجشک، راج و شاه بلوط و در پای درختان گزنه و تمشک جنگلی می‌باشد. سیلاب‌دشت چپ پارک با درختان نارون و حفاظ و علف زیر بوده و در سیلاب‌دشت راست علاوه بر موارد سیلاب‌دشت چپ، مغازه نیز وجود دارد [۱۵].

1- Avon At Evesham





شکل ۵-۳۴- پلان و مقاطع عرضی رودخانه آون در اوشام [۱۵]



شکل ۵-۳۵- رودخانه تانات در لیانیبلدون<sup>۱</sup> [۱۵]

1- Tanat An Liany Bolodone

توجه: مشخصات هیدرولیکی و هندسی مقطع لبریز در تاریخ ۱۳۸۶/۱۲/۱۵ میلادی در شکل (۵-۳۵) نشان داده شده است.

ضریب مانینگ =  $0.052$

بده =  $48.8 \text{ m}^3/\text{s}$

شیب سطح آب (۱:۳۳۶) =  $0.000298$

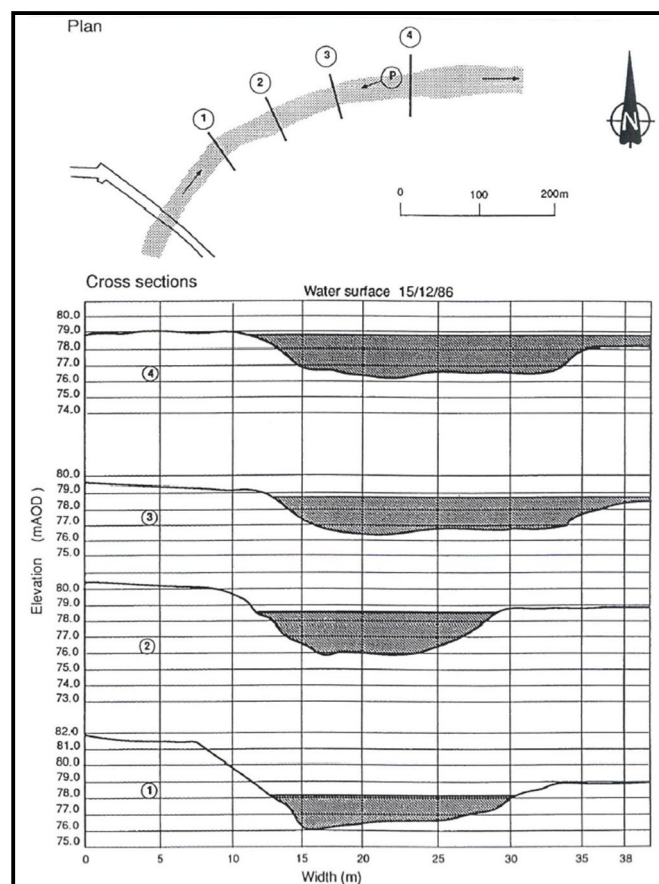
سطح متوسط مقطع عرضی =  $40.4 \text{ m}^2$

عرض متوسط جریان =  $26.7 \text{ m}$

متوسط شعاع هیدرولیکی =  $1.45 \text{ m}$

- شرح آبراهه:

مواد بستر شن و قلوه است. کناره‌ها توسکای بالغ، زبان گنجشک، بید و زیر پای آن‌ها گزنه و تمشک و گل می‌باشد. سیلاب‌دشت چپ زراعت غله و راست علف مرتعی کوتاه است.



شکل ۵-۳۶- پلان و مقاطع عرضی رودخانه تانات در لیانیلدون [۱۵]

## ۵-۷-۲- تعیین ضریب زبری مانینگ با استفاده از جداول تجربی

چاو بر اساس تجربیات و تحقیقات میدانی خود و سایر پژوهشگران جدول (۵-۱۱) را برای تعیین ضریب زبری کانال‌ها و رودخانه‌ها ارائه نمود. این جدول آبراهه‌ها را به گروه‌ها و زیر گروه زیر طبقه‌بندی نموده و ضریب مانینگ را برای شرایط مختلف هر گروه و زیر گروه ارائه می‌دهد [۱۳].

- کانال‌ها و آبراهه‌های پوشش‌دار شده
- آبراهه‌های خاکبرداری، سنگ‌برداری و لایروبی شده
- آبراهه طبیعی
- آبراهه اصلی رودخانه‌های کوچک که عرض بالایی آبراهه در تراز سیلاب کوچک‌تر از ۳۳ متر است.
- سیلاب‌دشت‌ها
- آبراهه اصلی رودخانه‌های بزرگ که عرض بالایی آبراهه در تراز سیلاب بزرگ‌تر از ۳۳ متر است.

جدول ۵-۱۱- جدول تعیین ضریب زبری بر اساس تجربیات چاو [۱۳]

ضریب مانینگ			نوع مصالح به کار رفته در کانال
بیشینه	متوسط	حداقل	
			الف- کانال‌ها با آبراهه‌های پوشش‌دار شده
			الف - ۱- فلزی
			الف - ۱- ۱- فولادی با سطح صاف
۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	بدون پوشش رنگ
۰/۰۱۷	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	با پوشش رنگ
۰/۰۳۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۱	الف - ۱- ۲- فولادی موج
			الف - ۲- غیر فلزی
			الف - ۲- ۱- سیمانی
۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰	با سطح صاف و تمیز
۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	با ملات معمولی یا زبر
			الف - ۲- ۲- چوبی
۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	سطح تراز و صاف بدون عمل آوری
۰/۰۱۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	سطح تراز و اشباع با روغن یا قیر
۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	ناصاف
۰/۰۱۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۲	از الوار
۰/۰۱۷	۰/۰۱۴	۰/۰۱۰	با پوشش الیاف مخصوص پوشش بام
			الف - ۲- ۳- بتنی
۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	ماله کشی شده
۰/۰۱۶	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	ماله کشی شده ناصاف‌تر از حالت قبل
۰/۰۲۰	۰/۰۱۷	۰/۰۱۵	ماله کشی شده با شن در کف بستر
۰/۰۲۰	۰/۰۱۷	۰/۰۱۴	ماله کشی نشده، زبر
			الف - ۲- ۴- گانیت (پاشیدن سیمان و ماسه)

ادامه جدول ۵-۱۱- جدول تعیین ضریب زبری بر اساس تجربیات چاو [۱۳]

ضریب مانینگ			نوع مصالح به کار رفته در کانال
بیشینه	متوسط	حداقل	
۰/۰۳۳	۰/۰۱۹	۰/۰۱۶	در مقطع مناسب
۰/۰۲۵	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	در مقطع موجی
			الف - ۵-۲- بتن سنگ بریده شده
---	۰/۰۲۰	۰/۰۱۷	بریده شده در وضعیت خوب
---	۰/۰۲۷	۰/۰۲۲	در یک بستر نامنظم با بریدگی نامنظم
			الف - ۶-۲- بتنی
۰/۰۲۰	۰/۰۱۷	۰/۰۱۵	ماله‌کشی در کف و دیواره‌ها و سنگ‌های صاف در داخل بتن
۰/۰۲۴	۰/۰۲۰	۰/۰۱۷	ماله‌کشی در کف و دیواره‌ها و سنگ‌های نامنظم در بتن
۰/۰۲۴	۰/۰۲۰	۰/۰۱۶	ماله‌کشی در کف و دیواره با پوشش سیمانی با ملات سنگ‌ریزه‌ای
۰/۰۳۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۰	ماله‌کشی در کف و دیواره‌ها همراه با پوشش سیمانی
۰/۰۳۵	۰/۰۳۰	۰/۰۲۰	ماله‌کشی در روی سنگ چین یا سنگ‌های خشک
			الف - ۷-۲- بستر شنی با کناره‌های:
۰/۰۲۵	۰/۰۲۰	۰/۰۱۷	بتنی قالب‌بندی شده
۰/۰۲۶	۰/۰۲۳	۰/۰۲۰	سنگ‌های نامنظم از بتن
۰/۰۳۶	۰/۰۳۳	۰/۰۲۳	سنگ‌چین
۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	الف - ۸-۲- آجری پرداخت شده
۰/۰۱۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۲	با ملات سیمان
			الف - ۹-۲- مصالح ساختمانی
۰/۰۳۰	۰/۰۲۵	۰/۰۱۷	از قبیل قلوه سنگ با سیمان
۰/۰۳۵	۰/۰۳۲	۰/۰۲۳	سنگ چینی با قلوه سنگ
۰/۰۱۷	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	سنگ تراشیده شده
			الف - ۱۰-۲- آسفالت
---	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	صاف
---	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	ناصاف
۰/۵۰۰	---	۰/۰۳۰	الف - ۱۱-۲- پوشش گیاهی
			ب- خاکبرداری، سنگ‌برداری و لایروبی شده
			ب- ۱- خاکی
۰/۰۲۰	۰/۰۱۸	۰/۰۱۶	مستقیم و یکنواخت، تمیز و نو
۰/۰۲۵	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	مستقیم و یکنواخت، تمیز و قدیمی
۰/۰۳۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۲	مستقیم و یکنواخت، شنی، تمیز و یا سطح مقطع ثابت
۰/۰۳۳	۰/۰۲۷	۰/۰۲۲	مستقیم و یکنواخت، با گیاه کوتاه، علفی و کمی علف هرز
۰/۰۳۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۳	پلکانی یا پیچ‌پیچ بدون گیاه
۰/۰۳۳	۰/۰۳۰	۰/۰۲۵	پلکانی یا پیچ‌پیچ، با پوشش علف و کمی علف هرز
۰/۰۴۰	۰/۰۳۵	۰/۰۳۰	پلکانی یا پیچ‌پیچ، با علف متراکم آبی در عمق
۰/۰۳۵	۰/۰۳۰	۰/۰۲۸	پلکانی یا پیچ‌پیچ، با کف خاکی و دیواره‌های قلوه سنگی
۰/۰۴۰	۰/۰۳۵	۰/۰۲۵	پلکانی یا پیچ‌پیچ، با کف سنگی و ساحل با علف و گیاه

ادامه جدول ۵-۱۱- جدول تعیین ضریب زبری بر اساس تجربیات چاو [۱۳]

ضریب مانینگ			نوع مصالح به کار رفته در کانال
پیشینه	متوسط	حداقل	
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۰۳۰	پلکانی یا پیچ‌پیچ، با قلوه سنگ در کف و دیواره‌های تمیز
۰/۰۳۳	۰/۰۲۸	۰/۰۲۵	لایروبی شده بدون گیاه
۰/۰۶۰	۰/۰۵۰	۰/۰۳۵	لایروبی شده، ولی با درختچه تنگ در دیواره‌ها
			ب- ۲- سنگبری
۰/۰۴۰	۰/۰۳۵	۰/۰۲۵	صاف و یکنواخت
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۰۳۵	ناصاف و نامنظم
			ب- ۳- مجاری نگهداری نشده با رویش علف هرز و درختچه
۰/۱۲۰	۰/۰۸۰	۰/۰۵۰	با علف هرز متراکم با ارتفاع معادل عمق جریان
۰/۰۸۰	۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	با کف تمیز و بوته در کناره‌ها
۰/۱۱۰	۰/۰۷۰	۰/۰۴۵	مثل قبلی و با عمق آب زیاد
۰/۱۴۰	۰/۱۰۰	۰/۰۸۰	با عمق آب زیاد و بوته متراکم
			ج- آبراهه‌های طبیعی
			ج- ۱- آبراهه اصلی رودخانه‌های کوچک (عرض بالایی آبراهه در تراز حداکثر ۳۳ متر)
			ج- ۱- ۱- آبراهه‌ها در دشت
۰/۰۳۳	۰/۰۳۰	۰/۰۲۵	تمیز، صاف، مستقیم با جریان پر بدون تنداب و استخر
۰/۰۴۰	۰/۰۳۵	۰/۰۳۰	شبیه بالایی با سنگ و گیاه بیش‌تر
۰/۰۴۵	۰/۰۴۰	۰/۰۳۳	تمیز، لایروبی شده با چاله در مسیر
۰/۰۵۰	۰/۰۴۵	۰/۰۳۵	شبیه بالایی، اما با مقداری علف و سنگ در مسیر
۰/۰۵۵	۰/۰۴۸	۰/۰۴۰	شبیه بالایی اما با سطح آب کم و با شیب کم و سطح جریان مرده
۰/۰۶۰	۰/۰۵۰	۰/۰۴۵	صاف و تمیز با چاله و مقداری سنگ
۰/۰۸۰	۰/۰۷۰	۰/۰۵۰	مسیر پلکانی با علف هرز و چاله‌های عمیق
۰/۱۵۰	۰/۱۰۰	۰/۰۷۵	مسیر با علف هرز متراکم - چاله عمیق با درختان ایستاده متراکم
			ج- ۱- ۲- آبراهه‌های کوهستانی بدون گیاه، معمولاً عمیق با دیواره‌های تند، درخت و درختچه در ساحل و مستغرق در صورت رخداد سیلاب
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۰۳۰	بستر، قلوه سنگ، سنگ ریزه و تخته سنگ
۰/۰۷۰	۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	بستر، قلوه سنگ یا تخته سنگ‌های درشت
			ج- ۲- سیلاب‌دشت‌ها
			ج- ۲- ۱- مراتع
۰/۰۳۵	۰/۰۳۰	۰/۰۲۵	بدون درختچه با علف کوتاه
۰/۰۵۰	۰/۰۳۵	۰/۰۳۰	بدون درختچه با علف بلند
۰/۰۴۰	۰/۰۳۰	۰/۰۲۰	بدون گیاه
۰/۰۴۵	۰/۰۳۵	۰/۰۲۵	با گیاه نواری آماده برداشت
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۰۳۰	با گیاه آماده برداشت در مزرعه
			د- ۲- ۳- بوته زارها
۰/۰۷۰	۰/۰۵۰	۰/۰۳۵	پراکنده و تنک با علف هرز زیاد
۰/۰۶۰	۰/۰۵۰	۰/۰۳۵	پراکنده و تنک، با درختکاری در زمستان
۰/۰۸۰	۰/۰۶۰	۰/۰۴۰	پراکنده و تنک، با درختکاری در تابستان
۰/۱۱۰	۰/۰۷۰	۰/۰۴۵	نسبتاً متراکم، در زمستان
۰/۱۶۰	۰/۱۰۰	۰/۰۷۰	نسبتاً متراکم، در تابستان
			د- ۲- ۴- درختان

ادامه جدول ۵-۱۱- جدول تعیین ضریب زبری بر اساس تجربیات چاو [۱۳]

ضریب مانینگ			نوع مصالح به کار رفته در کانال
بیشینه	متوسط	حداقل	
۰/۲۰۰	۰/۱۵۰	۰/۱۱۰	منظم، متراکم
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۰۳۰	با سطح باز، تنک بدون شاخه‌های نورس
۰/۰۸۰	۰/۰۶۰	۰/۰۵۰	شبیه بالایی با شاخه‌های نورس زیاد
۰/۱۲۰	۰/۱۰۰	۰/۰۸۰	درختان ایستاده یا بعضی افتاده بدون پوشش زیر، سطح آب زیر درختان
۰/۱۶۰	۰/۱۲۰	۰/۱۰۰	شبیه بالایی با حالتی که سطح آب به شاخه‌ها برسد
			د-۳- رودخانه بزرگ و مهم - عرض بالایی در تراز حداکثر سطح آزاد از ۳۳ متر بیش‌تر، در این حالت مقدار n از مقدار آن در نه‌های فرعی با همان وضعیت کم‌تر است
۰/۰۶۰	_____	۰/۰۲۵	د-۳-۱- سطح مقطع منظم بدون تخته سنگ یا گیاه
۰/۱۰۰	_____	۰/۰۳۵	د-۳-۲- سطح مقطع نامنظم و کاملاً خشن و زبر

### ۵-۸- تعیین ضریب زبری بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده آب‌سنجی

در صورت وجود داده‌های آب‌سنجی می‌توان از این داده‌ها برای واسنجی ضرایب زبری به‌دست آمده با روش‌های مورد بحث در این راهنما، استفاده کرد. در این صورت ضریب زبری تعیین شده تدقیق خواهد شد. واسنجی ضریب زبری در طول بازه و یا تغییرات آن در عمق جریان امکان‌پذیر است. برای واسنجی ضریب زبری در طول یک بازه نیاز به نیم‌رخ طولی تراز سطح آب و بده جریان متناظر با آن می‌باشد. برای واسنجی تغییرات ضریب زبری در عمق جریان نیاز به منحنی سنج (بده- اشل) و شیب سطح آب است.

#### ۵-۸-۱- واسنجی ضریب مانینگ با استفاده از نیم‌رخ طولی تراز آب

در این روش علاوه بر نیم‌رخ طولی تراز سطح آب و بده متناظر آن نیاز به مقاطع عرضی نقشه برداری شده در محل‌های برداشت تراز سطح آب می‌باشد. در این روش از نرم افزار شبیه سازی یک بعدی جریان نظیر HEC-RAS، MIKE11 و همت استفاده می‌شود. داده‌های مربوط به مقاطع عرضی و بده جریان و ضرایب مانینگ تجربی به مدل داده می‌شود و تراز سطح آب در مقاطع مختلف به‌دست می‌آید. جذر متوسط مربعات خطاهای تراز آب (RMSE) شبیه سازی شده به‌ازای ضرایب مانینگ تجربی از رابطه زیر تعیین می‌شود. با تغییر ضریب مانینگ سعی می‌شود مقدار RMSE به حداقل رسانده شود. بدین منظور بهتر است ضریب مانینگ تجربی تعیین شده با ضرب به ضریب  $\alpha$  اصلاح شده و RMSE بر اساس نتایج مدل محاسبه شود. سپس پس از اجرای مدل به‌ازای مقادیر مختلف ضریب  $\alpha$ ، مقدار RMSE به‌دست آمده و منحنی RMSE بر اساس ضریب  $\alpha$  رسم می‌شود. مقداری از  $\alpha$  که RMSE را حداقل می‌نماید ضریب  $\alpha$  نهایی بوده و با ضرب به ضریب‌های مانینگ اولیه، ضریب مانینگ نهایی تعیین می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (EL_o - EL_c)^2}{N}} \quad (۵-۳۹)$$

که در این رابطه RSME: جذر متوسط مربعات خطای تراز سطح آب محاسباتی نسبت به تراز سطح آب مشاهداتی بوده،  $EL_c, EL_o$ : به ترتیب تراز آب مشاهداتی و محاسباتی و N تعداد مقاطع موجود می‌باشد.

#### ۵-۸-۲- تعیین ضریب مانینگ با استفاده از منحنی سنجه بده جریان

تغییرات ضریب مانینگ نسبت به عمق را می‌توان با استفاده از منحنی سنجه بده جریان به‌دست آورد. به این منظور، منحنی سنجه و مقطع عرضی و شیب بستر در یک بازه مطالعاتی تقریباً یکنواخت مورد نیاز می‌باشد. در صورت یکنواخت بودن بازه مطالعاتی می‌توان از فرض جریان یکنواخت استفاده کرده و از رابطه مانینگ به‌صورت زیر، ضریب مانینگ را به‌دست آورد:

$$n = \frac{AR^{2/3}S^{1/3}}{Q} \quad (۵-۴۰)$$

که در این رابطه A: سطح مقطع تر شده برحسب مترمربع، R: شعاع هیدرولیکی برحسب متر، S: شیب متوسط بستر رودخانه برحسب متر بر متر و Q بده جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه است.

#### ۵-۹- سایر موارد

روش کاون که بعداً توسط اداره حفاظت خاک و سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده به‌عنوان روش استاندارد انتخاب شده ضریب مانینگ را مجموع عوامل در نظر گرفته و ترکیبی از روابط و جداول تجربی را برای تعیین ضریب مانینگ استفاده می‌نماید. به‌علت این‌که این روش ضریب مانینگ در مقاطع مرکب را بر آورد می‌نماید در فصل هفتم به‌طور مفصل در مورد آن بحث شده است [۸].





# فصل ۶

---

---

**ملاحظات کاربرد ضریب زبری در**

**طرح‌های مهندسی رودخانه**



## ۶-۱- کلیات

عمده کارهای مهندسی رودخانه را به سه دسته طرح‌های کاهش خسارت سیلاب، مهار فرسایش و رسوب و طرح‌های ساماندهی رودخانه برای کشتیرانی می‌توان طبقه‌بندی نمود. در برخی از این طرح‌ها نیاز به تعیین ضریب زبری رودخانه است که در این فصل ملاحظات مربوط به آن‌ها بحث می‌شود.

## ۶-۲- ملاحظات تعیین ضریب زبری رودخانه در طرح‌های کاهش خسارت سیلاب

طرح‌های کاهش خسارت سیلاب به دو دسته عمده روش‌های سازه‌ای مهار سیلاب و روش‌های غیرسازه‌ای تقسیم می‌شوند. کاربرد ضریب زبری در این طرح‌ها در دو دسته یاد شده متفاوت بوده و به شرح زیر می‌باشد:

### ۶-۲-۱- روش‌های غیرسازه‌ای

روش‌های غیرسازه‌ای یا مدیریتی کاهش خسارت سیلاب به روش‌هایی گفته می‌شود که با اعمال روش مدیریتی و بدون نیاز به ایجاد سازه خاصی، خسارت سیلاب را کاهش می‌دهند. این روش‌ها شامل مدیریت مخزن، پهنه‌بندی سیلاب، تعیین بستر و حریم، بیمه سیلاب و هشدار سیلاب و اقدامات کاهش خسارت هنگام سیلاب می‌باشد در این روش‌ها معمولاً رودخانه در شرایط طبیعی بوده و با روش‌هایی که در فصل‌های پنجم، هفتم و هشتم بحث گردیده ضریب زبری در شرایط طبیعی رودخانه تعیین می‌شود. تعیین دقت ضریب زبری در روش‌های غیرسازه‌ای اهمیت زیادی دارد. به علت این که خطا در تعیین عمق جریان بر روی عملکرد روش غیرسازه‌ای نظیر تعیین بستر رودخانه اهمیت ویژه دارد، دقت مضاعف در تعیین ضریب مانینگ و استفاده از روش‌های دقیق‌تر ضروری است.

### ۶-۲-۲- روش‌های سازه‌ای مهار سیلاب

روش‌های سازه‌ای مهار سیلاب به روش‌هایی گفته می‌شود که با ساخت سازه ویژه‌ای خطر سیلاب و در نتیجه خسارت آن کاهش داده می‌شود. این روش‌ها شامل احداث سدهای تاخیری، گوره، دیوار سیل‌بند، انحراف سیلاب، لایروبی، پاک‌سازی رودخانه و اصلاح مسیر و مقطع رودخانه می‌باشد. با توجه به تشابه تعیین ضریب زبری در روش‌های یاد شده می‌توان در دسته‌های زیر بر روی نحوه تعیین ضریب زبری بحث نمود.

### ۶-۲-۲-۱- سدهای تاخیری

سدهای تاخیری موجب تاخیر موقت سیلاب در داخل مخزن آن‌ها گردیده و در اثر روند یابی سیل در مخازن آن‌ها، شکل هیدروگراف سیل خروجی نسبت به هیدروگراف سیل ورودی تغییر یافته و بده اوج سیل خروجی کوچک‌تر از بده اوج سیلاب ورودی می‌شود. در بازه‌ای از رودخانه که در داخل مخزن سدهای تاخیری قرار می‌گیرد باید اثر افزایش عمق جریان و کاهش در ضریب زبری لحاظ شود. به‌ویژه وقتی که پوشش گیاهی در مخزن وجود داشته باشد در انتخاب

ضریب زبری با روش‌هایی که در فصل‌های پنجم، هفتم و هشتم بحث گردیده به افزایش عمق باید توجه نمود. در بازه‌ی پایین دست سد تاخیری به علت کاهش بده اوج سیلاب به ازای سیلاب طراحی عمق جریان کاهش می‌یابد که باید کاهش عمق جریان در تعیین ضریب زبری لحاظ شود.

#### ۶-۲-۲-۲- گورها و دیواره‌های سیل‌بند

احداث گورها و دیواره‌های سیل‌بند از روش‌های سازه‌ای مهار سیلاب می‌باشند که سیلاب را محدود ساخته و اراضی مورد نظر را از سیل‌گیری حفاظت می‌نمایند. در صورت احداث این سازه‌ها دو اثر متفاوت زیر باید در تعیین ضریب زبری در نظر گرفته شود.

الف- ساحل آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت را گوره و یا دیواره سیل‌بند تشکیل خواهد داد. بنابراین ضریب زبری آن بخش از مقطع که گوره و یا دیواره سیل‌بند را شامل می‌شود باید به‌طور جداگانه تعیین و ضریب زبری معادل از روابط مورد بحث در فصل بعد، از ترکیب ضریب زبری سازه‌های یاد شده و رودخانه طبیعی تعیین شود. ضریب زبری این سازه با توجه به نوع مصالح مورد استفاده از جدول‌های (۵-۱۱) و (۶-۲) تعیین می‌شود. برای توضیح جدول‌های یاد شده به مباحث بند (۵-۷-۲) و (۶-۳-۲-۲) مراجعه شود.

ب- محدود شدن سیلاب در بین گوره‌های سیل‌بندها معمولاً منجر به افزایش عمق و سرعت جریان می‌شود که بر روی ضریب زبری به‌ویژه در صورت وجود پوشش گیاهی اثر خواهد گذاشت. این اثر در تعیین ضریب زبری باید لحاظ شود. لذا در روش‌های مورد بحث در فصل‌های پنجم و هشتم عمق جریان پس از احداث گورها در تعیین ضریب زبری باید در نظر گرفته شود.

#### ۶-۲-۲-۳- انحراف سیلاب

در این روش کل جریان و یا بخشی از آن توسط سامانه مهار سیلاب از رودخانه جدا شده و توسط کانال انحراف به خارج از رودخانه برده می‌شود. در این روش در بازه‌ای از رودخانه که در پایین دست محل انحراف قرار دارد به علت کاهش بده جریان، عمق جریان کاهش یافته و باید با در نظر گرفتن عمق جدید ضریب زبری تعیین شود. در کانال انحراف ضریب زبری مثل کانال لایروبی شده و یا کانال خاکی مصنوعی از جدول (۵-۱۱) بند (۵-۷-۲) تعیین می‌شود.

#### ۶-۲-۲-۴- لایروبی، پاک‌سازی و اصلاح مسیر و مقطع رودخانه

این روش‌ها عمدتاً با کاهش موانع در مقابل جریان ضریب زبری را کاهش داده و ظرفیت آب‌گذری رودخانه را افزایش می‌دهند. با توجه به شرایط رودخانه پس از اقدامات یاد شده ضریب زبری رودخانه از جدول‌های فصل پنجم و یا روش مورد بحث در فصل هفتم تعیین می‌شود. کاهش موانع جریان، کاهش بی‌نظمی سطح آبراهه و سیلاب‌دشت و کاهش تغییر اندازه و شکل مقاطع مطابق روش ارائه شده در فصل هفتم و متناسب با اثر اقدامات مورد بحث باید در تعیین ضریب زبری در نظر گرفته شود.

### ۳-۶- ملاحظات تعیین ضریب زبری در طرح‌های مهار فرسایش و رسوب

طرح‌های مهار فرسایش و رسوب نیز در دو دسته قابل بررسی می‌باشند. این دو دسته شامل روش‌های غیرسازه‌ای و مدیریتی و روش‌های سازه‌ای مهار فرسایش و رسوب بوده و در ادامه در مورد تعیین ضریب زبری رودخانه در صورت استفاده از دو روش یاد شده بحث می‌شود.

#### ۳-۶-۱- روش‌های غیرسازه‌ای و مدیریتی مهار فرسایش و رسوب

روش‌های غیرسازه‌ای و مدیریتی مهار فرسایش و رسوب شامل روش‌هایی است که با اعمال مدیریت، رسوب ورودی به رودخانه کاهش یافته و یا فرسایش مهار می‌شود. روش‌های مدیریت مخزن که موجب محدود سازی بده جریان بوده یا روش‌های مدیریتی آبخیزداری که بر روی بده اوج سیلاب و رسوب اثر می‌گذارد می‌توانند در این گروه طبقه‌بندی شوند. مدیریت رسوب‌دهی عملیات عمرانی و معدن کاوی نیز جزء روش‌های مدیریتی مهار رسوب است. اغلب این روش‌ها باعث کاهش بده اوج سیلاب و یا غلظت رسوب می‌شود. اثر کاهش بده جریان مشابه روش‌های غیرسازه‌ای مهار سیلاب می‌باشد که در بند ۳-۶-۱ مورد بحث قرار گرفت، در کاهش رسوب به‌ویژه کاهش رسوب در سیلاب‌های گلی و واریزه‌ای و تبدیل آن به سیلاب‌های معمولی می‌تواند ضریب زبری موثر باشد. در این صورت اثر کاهش غلظت در روابط تعیین ضریب زبری مطابق بند ۴-۵ راهنمای حاضر در نظر گرفته می‌شود.

#### ۳-۶-۲- روش‌های سازه‌ای مهار فرسایش و رسوب

روش‌های سازه‌ای مهار رسوب شامل احداث سدهای رسوب‌گیر و سدهای اصلاحی می‌باشد. البته سدهای اصلاحی علاوه بر مهار رسوب نقش عمده‌ای در مهار فرسایش کف رودخانه ایفا می‌نمایند. هر دو نوع سازه‌ی یاد شده موجب کاهش غلظت رسوب به‌ویژه بار بستر و رسوب جریان‌های واریزه‌ای می‌شود که اثر آن مطابق بند (۴-۵) راهنما در بازه‌ی پایین دست این سازه‌ها باید در تعیین ضریب زبری در نظر گرفته شوند. در بازه‌ای از رودخانه که در مخزن سد رسوب‌گیر واقع می‌گردد اثر سد رسوب‌گیر بر روی ضریب زبری مشابه سدهای تاخیری می‌باشد که در بند ۳-۶-۲-۱ این راهنما بحث گردید. سدهای اصلاحی که معمولاً به‌صورت پلکانی و سدهای متوالی ساخته می‌شوند نیز بر روی ضریب زبری بازه‌ای که در آن احداث شده‌اند اثر می‌گذارند و این اثرها شامل افزایش عمق جریان در بخش‌هایی از این بازه به‌علت کاهش شیب، افزایش اثر موانع و گودال می‌باشد. بنابراین در روشی که در فصل هفتم ارائه شده به‌عنوان افزایش موانع در آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت، بی‌نظمی سطح آبراهه و سیلاب‌دشت و نیز تغییرات مقطع در تعیین ضریب زبری در نظر گرفته می‌شود. روش‌های سازه‌ای مهار فرسایش به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شود که به شرح زیر نحوه تعیین ضریب زبری در هر دو دسته مورد بحث قرار می‌گیرد:

## ۶-۳-۱- روش‌های غیرمستقیم مهار فرسایش

روش‌های غیرمستقیم مهار فرسایش به روش‌هایی گفته می‌شود که با دور کردن جریان از کناره‌های رودخانه، کناره‌ها را در مقابل فرسایش حفاظت می‌نمایند. احداث انواع آبشکن از روش‌های غیرمستقیم مهار فرسایش کناره‌های رودخانه محسوب می‌شود. نحوه اثر گذاری این نوع سازه‌ها بر روی ضریب زبری بستگی به ابعاد و تعداد آن‌ها دارد. جدول (۶-۱) ضریب مانینگ تعدیلی که جهت در نظر گرفتن اثر آبشکن‌های بسته باید به ضریب زبری آبراهه اضافه شود و یا نحوه اعمال اثر این سازه‌ها بر هیدرولیک رودخانه را ارائه می‌نماید [۱۵].

جدول ۶-۱- نحوه ارزیابی اثر آبشکن‌ها بر روی ضریب زبری [۱۵]

شرایط آبشکن	شرح	محدوده ضریب تعدیلی مانینگ و یا نحوه اعمال اثر زبری سازه		
		حداقل	متوسط	حداکثر
یک آبشکن منفرد	طول آن $> 20\%$ عرض آبراهه	۰/۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۲
یک گروه آبشکن	طول آن $< 20\%$ عرض آبراهه	به‌عنوان سر ریز سنگی کوتاه در نظر گرفته می‌شود		
	-----	به‌عنوان آبراهه مرکب تحلیل می‌شود		

## ۶-۳-۲- روش‌های مستقیم مهار فرسایش

روش‌های مستقیم مهار فرسایش شامل انواع احداث پوشش‌های طبیعی و مصنوعی بر روی بستر و کناره‌های رودخانه می‌باشد. در این روش با پوشاندن سطح بستر و یا کناره و یا سیلاب‌دشت رودخانه با مصالح غیر قابل فرسایش رودخانه در مقابل جریان حفاظت می‌شود. در این صورت علاوه بر جدول (۵-۱۱) می‌توان ضریب مانینگ برای آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت را از جدول (۶-۲) تعیین نمود [۱۵]. ضریب مانینگ در پوشش‌های گیاهی بر اساس روش‌های بحث شده در فصل پنجم تعیین می‌شود.

جدول ۶-۲- ضریب مانینگ انواع پوشش [۱۵]

نوع پوشش	حداقل	متوسط	حداکثر
سنگی	۰/۰۲۳	۰/۰۲۵	۰/۰۲۸
قلوه سنگ	۰/۰۳	۰/۰۳۳	۰/۰۳۸
خاکی	۰/۰۱۸	۰/۰۲	۰/۰۲۳
رسی	۰/۰۱۸	۰/۰۲	۰/۰۲۳
شمع صفحه‌ای	۰/۰۲۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۰
علف	۰/۰۳۰	۰/۰۳۵	۰/۰۴۰
بوته	۰/۰۳۸	۰/۰۴۵	۰/۰۵۰
درخت	۰/۰۴	۰/۰۴۵	۰/۰۵۰
بلوک سنگی	۰/۰۳۰	۰/۰۳۵	۰/۰۴۰
چپری	۰/۰۲۰	۰/۰۲۵	۰/۰۳۰
تور سنگ	۰/۰۳۵	۰/۰۳۸	۰/۰۴۰
بتن	۰/۰۱۵	۰/۰۱۸	۰/۰۲۲
سنگ چین	۰/۰۳۷	۰/۰۴۰	۰/۰۴۳
شمع چوبی / الوار	۰/۰۲۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۰
پوشش حصیری	۰/۰۱۹	۰/۰۲۳	۰/۰۲۷
سنگ ملات	۰/۰۱۷	۰/۰۲۵	۰/۰۳۰
آجر چینی	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۸

#### ۴-۶- ملاحظات تعیین ضریب زبری رودخانه در طرح‌های کشتیرانی

در طرح‌های کشتیرانی، از اصلاح مسیر و مقاطع رودخانه، لایروبی، احداث سدهای اصلاحی، حفاظت مستقیم و غیرمستقیم رودخانه برای ساماندهی رودخانه استفاده می‌شود. اثر هر یک از این اقدامات متفاوت بوده و در بندهای پیشین این فصل نحوه تعیین ضریب زبری هر یک از آنها، مورد بحث قرار گرفته است.





# فصل ۷

---

---

تعیین ضریب زبری در آبراهه‌های

مرکب



## ۷-۱- کلیات

منظور این راهنما از آبراهه‌های مرکب، رودخانه‌هایی است که دارای آبراهه اصلی<sup>۱</sup> و سیلاب‌دشت<sup>۲</sup> باشند. محدودی از روش‌ها به تعیین ضریب زبری جداگانه برای آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت پرداخته‌اند. تعدادی روابط ترکیب ضریب زبری هیدرولیکی نیز ارائه شده است. در این فصل روش کاون که بعداً توسط اداره حفاظت خاک و سازمان زمین‌شناسی آمریکا تکمیل گردیده ارائه می‌شود. با وجود این که این روش اکثر عوامل موثر در زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها را در نظر گرفته ولی در موارد زیر دارای محدودیت‌هایی می‌باشد:

– در جریان رژیم پایینی در بسترهای ماسه‌ای

– در جریان‌های گلی و واریزه‌ای

– در رودخانه‌های کوهستانی

– در مورد اثر پوشش گیاهی در زبری نیز از روش‌های محدودی استفاده می‌نماید

در فصل بعد در مورد روش‌هایی بحث خواهد گردید که محدودیت‌های این روش را پوشش داده و دامنه تعیین ضریب زبری با شرایط یاد شده را توسعه می‌دهد. در این فصل درباره نحوه تعیین ضریب مانینگ آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت به روش سازمان زمین‌شناسی آمریکا بحث می‌شود. این روش ۲۳ گام متوالی را شامل می‌گردد. این ۲۳ گام به بخش‌های مختلف تقسیم می‌شود که در ادامه فصل حاضر بیان می‌گردد. در این روش ضریب مانینگ کل در آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت از رابطه زیر به دست می‌آید [۸]:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m \quad (۷-۱)$$

$n_b$ : ضریب مانینگ پایه که بر اساس دانه‌بندی مواد تشکیل دهنده جداره آبراهه و یا سیلاب‌دشت تعیین می‌شود

$n_1$ : ضریب مانینگ تعدیلی برای درجه بی‌نظمی سطح آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت

$n_2$ : ضریب مانینگ تعدیلی برای تغییرات مقاطع عرضی

$n_3$ : ضریب مانینگ تعدیلی برای موانع آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت

$n_4$ : ضریب مانینگ تعدیلی برای پوشش گیاهی آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت

$m$ : ضریب اصلاحی زبری بر اساس درجه پیچانرودی آبراهه اصلی

1- Main Channel

2- Flood Plain

## ۷-۲- گام‌های بازه‌بندی رودخانه و مشخص کردن آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت

بازه‌بندی رودخانه شامل دو گام اول و دوم روش یاد شده می‌باشد.

گام اول: محدوده بازه‌ای که ضریب زبری آن را می‌خواهید تعیین نمایید مشخص کنید. مقطع نمونه‌ای که در این بازه بوده و مشخصات بازه یاد شده را نمایندگی می‌کنند را نیز مشخص نمایید. اگر در یک بازه بیش از یک مقطع نمونه وجود داشته باشد محدوده‌ای که هر مقطع نمایندگی می‌نماید تا نیمه بازه‌ای خواهد بود که این مقطع و مقطع بعدی دو انتهای آن را تشکیل می‌دهند.

گام دوم: اگر زبری در عرض مقطع یکنواخت نباشد باید مقطع عرضی به بخش‌های فرعی تقسیم شود. لازم است بررسی شود که آیا تقسیم مقطع به آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت ضروری است و آیا تقسیم‌بندی آبراهه یا سیلاب‌دشت به بخش‌های فرعی لازم است. اگر زبری در عرض مقطع عرضی یکنواخت نباشد مشخص نمایید که آیا یک مقدار پایه ضریب مانینگ برای کل مقطع عرضی کافی است و یا ضریب مانینگ مرکب با متوسط وزنی ضریب مانینگ قطعات باید تعیین شود. در این صورت از گام‌های ۴ تا ۱۰ استفاده نمایید. اگر کل مقطع عرضی یکنواخت بوده و یک قطعه از نظر زبری باشد نیازی به انجام گام‌های پنجم تا دهم نیست [۸].

## ۷-۳- گام‌های لازم برای تعیین ضریب زبری در آبراهه اصلی

گام‌های لازم برای تعیین ضریب زبری در آبراهه اصلی شامل یازده گام است و شامل گام‌های شماره ۳ تا ۱۳ از گام‌های روش یاد شده بوده و به شرح زیر می‌باشد:

### ۷-۳-۱- ملاحظات مربوط به تقسیم بندی آبراهه اصلی به قطعات مختلف

گام سوم: تعیین کنید که آیا نوع آبراهه پایدار، بستر ماسه‌ای و یا ترکیبی از این دو می‌باشد و انواع آبراهه‌ای که برای حالت‌های مختلف طرح ممکن است وجود داشته را تعیین نمایید. به‌ویژه شواهد بستر متحرک و یا فرسایش شدید کناره‌های رودخانه بررسی شود. اگر شرایط موجود با شرایطی که در طرح مورد نظر بعداً به‌وجود می‌آید متفاوت باشد باید شرایط طرح تجسم گردد. برای تخمین طیف تغییرات ضریب مانینگ، آبراهه را با آبراهه‌های تصاویر بند ۵-۷-۱-۱ راهنما مقایسه نمایید.

گام چهارم: عوامل موثر بر روی زبری را تعیین نموده و مشخص کنید هر یک چگونه در تعیین ضریب زبری در نظر گرفته می‌شوند. برخی از عوامل در قطعه خاصی از مقطع آبراهه اصلی ممکن است غالب بوده و یا در کل مقطع عرضی آبراهه اصلی موثر باشند. روشی که هر عامل موثر در تعیین ضریب زبری اعمال می‌شود به ترکیب آن عامل با سایر عوامل موثر بستگی دارد. کناره با شیب ملایم ممکن است به‌عنوان قطعه جداگانه در نظر گرفته شود. درحالی‌که کناره قائم ممکن است به‌عنوان بخشی از قطعه مجاور تلقی شود. موانعی نظیر نخاله ممکن است در یک قطعه از آبراهه منظور شود.

سنگ‌های مجزا باید به‌عنوان مانع در نظر گرفته شود ولی اگر سنگ‌ها در کل بستر پراکنده شده باشند، در تعیین قطر متوسط مواد بستر منظور می‌شوند. گیاهانی که در یک قطعه متمایز از آبراهه رشد کرده‌اند ممکن است موجب شود ضریب زبری خاص برای آن قطعه، به‌طور مجزا در نظر گرفته شود.

درحالی‌که زبری ناشی از پوشش گیاهی در کناره‌های با شیب تند و یا پراکنده در بستر با عامل تعدیل‌کننده در زبری کل منظور می‌شود و این تعدیل می‌تواند بر روی یک قطعه و یا کل مقطع عرضی بسته به توزیع پوشش گیاهی اعمال گردد. اگر ضریب مانینگ مرکب از قطعات مختلف مقطع عرضی آبراهه اصلی به‌دست آید گام پنجم مورد نیاز است در غیر این‌صورت گام پنجم حذف می‌شود.

گام پنجم: عرض آبراهه اصلی را به قطعات مختلف متناسب با زبری آن‌ها تقسیم کنید. اگر قطعات کناره‌های آبراهه از مواد با اندازه متفاوت تشکیل شده و زبری متفاوتی داشته باشند تعیین محل اتصال قطعات نسبتاً ساده است. خط جداکننده بین قطعات مقطع باید موازی خطوط جریان بوده و طوری تعیین گردد که خط جداکننده در کل بازه بسط یابد. همان‌طور که در گام اول بحث شد حتی اگر یک نوع از مواد بستر نمایانگر کل بازه نباشد و یک قطعه شامل بیش از یک نوع زبری باشد اندازه متوسط مواد بستر در تعیین زبری ملاک قرار می‌گیرد. در جایی که ماسه با شن، قلوه سنگ و سنگ در سراسر آبراهه مخلوط شده باشد جدا کردن آبراهه به قطعات عملی نخواهد بود.

### ۷-۳-۲- تعیین ضریب مانینگ ناشی از مواد تشکیل‌دهنده آبراهه

گام ششم: اندازه متوسط موادی که هر قطعه را اشغال کرده با یکی از دو روش زیر (الف یا ب) تعیین نمایید. اگر معادله لیمرنوز (رابطه ۷-۲) استفاده شود  $D_{84}$  باید در محاسبه استفاده گردد.

الف- اگر دانه‌بندی مواد بستر توسط الک امکان‌پذیر باشد نمونه‌های کوچکی از ۸ تا ۱۲ مکان از هر قطعه بازه تهیه می‌شود. نمونه‌ها با هم ترکیب می‌شوند و سپس از سری الک‌هایی عبور داده می‌شوند که حداقل مواد را به ۵ طیف تقسیم نمایید وزن و یا حجم هر طیف اندازه گرفته شده و درصد هر طیف از کل مشخص می‌شود.

ب- اگر مواد خیلی بزرگ باشند و نتوان آن‌ها را با الک دانه‌بندی کرد یک شبکه‌ای که دارای ۵۰ تا ۱۰۰ گره با فواصل مساوی است بر روی مواد بستر قرار می‌دهیم. بر اساس فاصله گره‌های شبکه عرض و یا قطر متوسط هر دانه تعیین می‌شود. اندازه‌ها در ۵ طیف گروه‌بندی می‌شوند. تعداد دانه‌های هر طیف محاسبه شده و درصد تعداد هر طیف از تعداد کل تعیین می‌گردد.

در روش نمونه‌برداری یاد شده اندازه  $D_{50}$  و یا در روش لیمرنوز  $D_{84}$  از منحنی توزیع دانه‌بندی تعیین می‌شود. در این منحنی درصد عبوری از هر الک بر حسب قطر الک رسم می‌گردد. افراد با تجربه می‌توانند در رودخانه‌هایی که طیف تغییرات دانه‌بندی آن‌ها کم است در بازدید میدانی قطر متوسط مواد بستر را نسبتاً خوب تخمین بزنند.

### ۷-۳-۳- گام‌های مربوط به ملاحظات ریخت‌شناسی و عوارض و موانع موجود

گام هشتم: عوامل تعدیلی مطابق جداول (۷-۱) تا (۷-۵) برای ضریب مانینگ هر قطعه به‌طور متناسب اعمال می‌شود. این مقادیر تعدیلی برای مشخصات ریخت‌شناسی و پوشش گیاهی هر قطعه از آبراهه تعیین می‌شوند.

گام نهم: بر اساس متوسط‌گیری وزنی ضریب مانینگ قطعات را انتخاب کنید. متوسط‌گیری وزنی بر اساس محیط تر شده هر قطعه در مقاطع ذوزنقه‌ای و V شکل در صورتی که مواد بستر و کناره متفاوت باشد، استفاده می‌شود. اگر عمق در عرض کانال تقریباً یکنواخت باشد نیز از محیط تر شده به‌عنوان وزن‌های متوسط‌گیری استفاده می‌شود. سطح تر شده در جایی که عمق به‌طور قابل توجهی در عرض متغیر باشد و یا پوشش متراکم بخش بزرگی از آبراهه و یا کناره را اشغال نماید، به‌عنوان وزن متوسط‌گیری استفاده می‌شود.

گام دهم: محیط و یا مساحت تر شده هر قطعه را مشخص نمایید. ضرایب وزنی ضریب زبری هر قطعه را بر حسب نسبت مساحت و یا محیط تر شده هر قطعه به مساحت و محیط تر شده کل تعیین نمایید و سپس ضریب مانینگ متوسط وزنی آبراهه را از رابطه (۷-۵) و یا (۷-۶) تعیین کنید.

گام یازدهم: از جداول (۷-۱) تا (۷-۵) ضریب مانینگ تعدیلی برای درجه بی‌نظمی سطح آبراهه، تغییرات مقاطع عرضی، موانع، پوشش گیاهی و درجه پیچان‌رودی را تعیین نمایید. ضریب‌های تعدیلی را برای مواردی که در گام‌های هفتم و هشتم استفاده شده است به‌کار نبرید. اگر مقادیر چاو از جدول (۵-۲) استفاده شود مقادیر تعدیلی جداول (۷-۱) تا (۷-۵) مستقیماً استفاده می‌گردد. ولی در صورتی که ضریب زبری پایه از رابطه لیمرنوز به‌صورت زیر محاسبه شود. نصف تا سه چهارم مقادیر تعدیلی جداول (۷-۱) تا (۷-۵) استفاده می‌گردد [۸].

$$n = \frac{0.8204 R^{1/6}}{1.16 + 2.0 \log \left( \frac{R}{d_{84}} \right)} \quad (7-2)$$

اگر ضریب مانینگ رودخانه مورد نظر با روش تصویری انتخاب گردد در این صورت مقادیر تعدیلی براساس تفاوت سنجی عوامل موثر در زبری در مقایسه انجام شده تعیین می‌شوند. مقادیر تعدیلی را به متوسط وزنی ضریب زبری به‌دست آمده از گام دهم اضافه نمایید تا ضریب مانینگ کلی برای بازه مورد نظر به‌دست آید. در صورتی که نیاز به اعمال ضریب تعدیل رودخانه پیچان‌رودی باشد ابتدا مقادیر تعدیلی را اضافه و سپس ضریب تعدیل پیچان‌رودی را اعمال کرده ضریب مانینگ به‌دست آمده را گرد نمایید. این ضریب، ضریب کلی بازه‌ی مورد بحث در گام اول خواهد بود. برای سایر بازه‌ها نیز باید گام‌های اول تا سیزدهم طی شود.

گام دوازدهم: مقادیر به‌دست آمده در گام قبلی را با ضریب مانینگ تصاویر موجود مقایسه نمایید تا مشخص شود آیا مقادیر محاسبه شده معقول به‌نظر می‌رسد یا نه.

گام سیزدهم: در این گام باید رژیم جریان در رودخانه‌های با بستر ماسه‌ای بررسی شود. با داشتن ضریب مانینگ گام یازدهم، سرعت جریان از فرمول مانینگ محاسبه می‌شود. سپس توان آبراهه‌ای محاسبه شده و با استفاده از شکل (۳-۲)

بررسی می‌شود که آیا رژیم جریان از نوع بالایی بوده است یا نه. در صورتی که رژیم جریان بالایی نباشد استفاده از روش حاضر (سازمان زمین‌شناسی آمریکا) قابل اعتماد نیست.

## ۷-۴- گام‌های لازم برای تعیین ضریب زبری در سیلاب‌دشت

### ۷-۴-۱- زبری ناشی از دانه‌های مواد جداره‌ای سیلاب‌دشت

گام چهاردهم: مشابه گام اول ضریب مانینگ انتخاب شده باید شرایط متوسط بازه‌ی مورد بررسی را بیان نماید. بررسی کنید که اگر شرایط سیلاب‌دشت بیانگر شرایطی که در طراحی ممکن است پیش بیاید هست یا نه. ضریب مانینگ به‌دست آمده را با سایر رودخانه‌ها و تصاویر مقایسه نمایید.

### ۷-۴-۲- زبری ناشی از موانع موجود در سیلاب‌دشت

گام پانزدهم: زبری ناشی از پوشش گیاهی را از جدول تعدیلی (۷-۸) و یا از رابطه پتریک و باسماجیان (رابطه ۵-۲۱) تعیین نمایید.

گام شانزدهم: اگر تغییرات شدید و قابل تقسیم در زبری سیلاب‌دشت وجود دارد مقطع عرضی سیلاب‌دشت را به قطعات با زبری یکنواخت تقسیم نمایید و از مواد هر کدام نمونه‌برداری کنید.

گام هفدهم: عوامل موثر در زبری سیلاب‌دشت و نحوه برآورد آن‌ها را مشخص کنید.

گام هیجدهم: از جدول (۵-۲) ضریب زبری پایه برای مواد جداره سیلاب‌دشت انتخاب می‌گردد.

گام نوزدهم: مقادیر تعدیلی را از جداول (۷-۶) تا (۷-۸) برای اعمال اثر عوامل موثر در زبری سیلاب‌دشت انتخاب نمایید. ضریب‌های تعدیلی  $n_2$  و  $m$  برای سیلاب‌دشت به ترتیب برابر صفر و یک می‌باشند.

گام بیستم: اگر ضریب مانینگ  $n$  از رابطه (۵-۲۱) تعیین گردد  $n_4'$  به جای  $n_4$  فقط برای پوشش سطحی به‌غیر از درختان از جدول (۷-۸) انتخاب و استفاده می‌شود.

گام بیست و یکم: برای تعیین تراکم پوشش مورد نیاز جهت محاسبه ضریب زبری پوشش گیاهی از رابطه (۵-۲۱) نیاز است که حداقل تعداد ۲ تا ۳ سطح پوشش گیاهی مطابق آنچه در بند (۴-۲-۱) گفته شده نمونه‌برداری شود و لازم است عمق جریان تخمین زده شود.

گام بیست و دوم: ضریب مانینگ برای هر قطعه از سیلاب‌دشت را می‌توان با استفاده از رابطه (۷-۲) و یا رابطه (۵-۲۱) تعیین نمود. انتخاب نوع رابطه به روشی بستگی دارد که در برآورد اثر پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر روش کمی برای ارزیابی اثر پوشش گیاهی مد نظر باشد استفاده از رابطه (۵-۲۱) توصیه می‌شود.

گام بیست و سوم: ضریب مانینگ به‌دست آمده در گام قبلی را با ضریب مانینگ ارائه شده در روش تصویری تعیین ضریب زبری مقایسه نمایید. این مقایسه باید معقول بودن مقدار به‌دست آمده در گام قبلی را احراز نماید.

## ۷-۵- روابط ترکیب ضریب زبری

روش‌های مختلفی برای متوسط‌گیری ضریب مانینگ قطعات مختلف مقطع عرضی وجود دارد که این روش‌ها بر مبنای فرضیات گوناگونی بنا گردیده است.

### ۷-۵-۱- فرض مساوی بودن سرعت متوسط در قطعات مختلف

هورتون و انیشتن رابطه زیر را بر اساس مساوی بودن سرعت متوسط جریان در قطعات مختلف مقطع عرضی به‌دست آوردند [۷]:

$$n = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^{1/5}}{P} \right]^{2/3} \quad (۷-۳)$$

که در این رابطه  $P_i$  و  $n_i$  به ترتیب محیط تر شده و ضریب مانینگ قطعه  $i$  ام می‌باشند.  $n$  ضریب مانینگ معادل قطعات بوده و  $N$  تعداد قطعات است.

### ۷-۵-۲- فرض جمع جبری بده‌های هر قطعه

بر اساس فرض جمع جبری بده‌های هر قطعه ضریب مانینگ معادل قطعات از رابطه (۷-۳) به‌دست می‌آید [۷]:

$$n = \frac{PR^{5/3}}{\sum_{i=1}^N \left( \frac{P_i R_i^{5/3}}{n_i} \right)} \quad (۷-۴)$$

### ۷-۵-۳- فرض جمع نیروی مقاوم هر قطعه

بر اساس فرض جمع نیروهای قطعات ضریب مانینگ معادل قطعات از رابطه (۷-۴) به‌دست می‌آید [۷]:

$$n = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N P_i n_i^2 \right]^{1/2}}{P^{1/2}} \quad (۷-۵)$$

### ۷-۵-۴- متوسط وزنی ضریب مانینگ

ضریب مانینگ معادل بر اساس متوسط وزنی نیز قابل تعیین می‌باشد. بر اساس روش ارائه شده توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا متوسط وزنی ضریب مانینگ بر اساس محیط و مساحت تر شده به ترتیب از روابط (۷-۶) و (۷-۷) به‌دست می‌آید:



$$n = \frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i}{\sum_{i=1}^N P_i} \quad (۶-۷)$$

$$n = \frac{\sum_{i=1}^N A_i n_i}{\sum_{i=1}^N A_i} \quad (۷-۷)$$

که در این رابطه  $A_i$  مساحت تر شده قطعه  $i$  ام است.

جدول ۷-۱- ضریب مانینگ تعدیلی برای درجه بی‌نظمی سطح آبراهه اصلی  $n_1$  [۸]

مقدار بی‌نظمی	$n_1$	مثال‌ها و سطوح قابل مقایسه با
صاف	۰/۰۰۰	صاف‌ترین آبراهه‌ای که با مواد بستر معینی بتوان به‌دست آورد.
کم	۰/۰۰۱-۰/۰۰۵	آبراهه‌ای که در آن لایروبی خوب انجام شده ولی کمی آبشستگی در شیب‌های جانبی وجود دارد.
متوسط	۰/۰۰۶-۰/۰۱۰	آبراهه‌ای که لایروبی شده و زبری در بستر آن، متوسط تا قابل توجه متغیر بوده و در شیب‌های جانبی آبشستگی و پوسته‌شدگی وجود دارد.
شدید	۰/۰۱۱-۰/۰۲۰	شدیدا سواحل آبراهه پوسته و لبه‌دار شده و یا شدیدا آبشستگی و پوسته‌شدگی کناره‌ها با آبراهه‌های فرعی و زهکش‌های طبیعی و یا بی‌شکل، دندان‌دار و سطح نامنظم آبراهه

جدول ۷-۲- ضریب تعدیلی تغییرات مقاطع عرضی آبراهه اصلی  $n_2$  [۸]

شرایط تغییرات مقطعی	$n_2$	مثال‌ها و سطوح قابل مقایسه با
تدریجی	۰/۰۰۰	اندازه و شکل مقاطع آبراهه تدریجی تغییر می‌یابد.
بعضا متناوب	۰/۰۰۱-۰/۰۰۵	بعضا مقاطع به‌طور متناوب بزرگ و کوچک می‌شوند و یا بستر صغیر به‌طور متناوب از یک طرف بستر اصلی به طرف دیگر جابجا شده و موجب تغییر شکل متناوب مقاطع عرضی می‌شود.
غالباً متناوب	۰/۰۱۰-۰/۰۱۵	مشابه ردیف قبلی با این تفاوت که تغییرات یاد شده غالباً رخ می‌دهد.

جدول ۷-۳- ضریب تعدیلی برای موانع  $n_3$  [۸]

مقدار موانع	$n_3$	مثال‌ها و سطوح قابل مقایسه با
قابل اغماض	۰/۰۰۰-۰/۰۰۴	تعداد کمی موانع پراکنده شامل نخاله، کنده درخت، ریشه بیرون زده، سنگ منفرد و ایزوله که کم‌تر از ۵٪ سطح مقطع آبراهه را اشغال می‌نماید.
کم	۰/۰۱۰-۰/۰۱۵	موانع کم‌تر از ۱۵ درصد سطح مقطع را اشغال می‌نماید و کره تاثیر هر مانع در کره تاثیر مانع دیگر تداخل نمی‌نماید (فاصله موانع از ۴ برابر ابعاد موانع بیش‌تر است). برای موانع صاف و گرد شده ضریب اصلاحی کوچک‌تری در مقایسه با موانع گوشه‌دار و تیز در نظر گرفته می‌شود.
قابل توجه	۰/۰۲۰-۰/۰۳۰	موانع ۱۵٪ تا ۵۰٪ سطح مقطع را اشغال کرده است و فاصله کم موانع باعث اثر مشترک آن‌ها می‌شده و با هم بخشی از مقطع را اشغال می‌نمایند.
شدید	۰/۰۴۰-۰/۰۵۰	موانع بیش از ۵۰٪ سطح مقطع را اشغال کرده و فاصله کم موانع باعث می‌شود بخش عمده مقطع جریان آشفته شود.

جدول ۷-۴- ضریب اصلاحی برای پوشش گیاهی آبراهه اصلی  $n_4$  [۸]

$n_4$	شرایط	پوشش و حالت جریان قابل مقایسه است با:
۰/۰۰۵ تا ۰/۰۱۰	کم	رویش متراکم چمن‌های علفی نرم قابل انعطاف با علف هرز مانند علف‌های برمودایی و آبی، جایی که میانگین عمق جریان ۲ تا ۳ برابر ارتفاع پوشش گیاهی باشد. چوب درختان نرم شده مثل چوب بید یا سروها که میانگین عمق جریان ۳ تا ۴ برابر ارتفاع رویش گیاهی باشد.
۰/۰۱ تا ۰/۰۲۵	متوسط	۱- چمن‌های علفی که میانگین عمق جریان ۱ تا ۲ برابر ارتفاع پوشش گیاهی است. ۲- علف‌ها و گیاهان هرز ساقه‌دار یا نهال درختان با پوشش گیاهی متوسط که میانگین عمق جریان ۲ تا ۳ برابر ارتفاع پوشش گیاهی باشد. ۳- بیشه‌های علفی و کشتزارهای کم ارتفاع با تراکم متوسط همانند بیشه‌های بید ۱ تا ۲ ساله در در فصل خواب در امتداد شیب کانال با پوشش گیاهی ناچیز در طول کف کانال جایی که شعاع هیدرولیکی بیش‌تر از ۲ فوت (۰/۶ متر) است.
۰/۰۲۵ تا ۰/۰۵۰	زیاد	۱- در فصل خواب برای درختان بید یا گیاهان پنبه دار ۸ تا ۱۰ ساله که در آن مقدار کمی علف‌های هرز روئیده باشد و به صورت بیشه‌زار باشد، بدون شاخ و برگ که شعاع هیدرولیکی آن بیش از ۲ فوت (۰/۶ متر) باشد. ۲- فصل رشد بیدزار ۱ تا ۲ ساله همراه با علف‌های هرز با شاخ و برگ زیاد در طول شیب جانبی و با پوشش جزئی در امتداد کف کانال که شعاع هیدرولیکی بزرگ‌تر از ۲ فوت (۰/۶ متر) باشد.
۰/۰۵۰ تا ۰/۱۰	خیلی زیاد	چمن‌های علفی که عمق جریان کم‌تر نصف از ارتفاع پوشش گیاهی باشد. فصل رشد بیدزارهای انبوه حدود یک‌ساله که همراه با علف‌های هرز با شاخ و برگ فراوان در طول شیب جانبی و پوشش متراکم در کف کانال با هر مقدار شعاع هیدرولیکی بالاتر از ۱۰ تا ۱۵ فوت یا (۳- ۴.۶ m). فصل رشد درخت‌ها همراه با علف‌های هرز در داخل آن و بیشه‌زارها با شاخ و برگ فراوان هر مقدار شعاع هیدرولیکی بالاتر از ۱۰ یا ۱۵ فوت (۴/۵ یا ۳).

جدول ۷-۵- ضریب مربوط به تعدیل درجه پیچانرودی آبراهه اصلی  $m$  [۸]

درجه پیچانرودی	نسبت درجه پیچانرودی	ضریب $m$
کم	۱/۲ - ۱	۱
محسوس و قابل اعتماد	۱/۵ - ۱/۲	۱/۱۵
شدید	بیش‌تر از ۱/۵	۱/۳

نسبت پیچانرودی عبارت است از طول آبراهه به طول مستقیم دره

جدول ۷-۶- ضریب مانینگ تعدیلی برای بی‌نظمی سیلاب‌دشت  $n_1$  [۸]

مقدار بی‌نظمی	$n_1$	مثال‌ها و سطوح قابل مقایسه با
صاف	۰/۰۰۰	صاف ترین آبراهه‌ای که با مواد بستر معینی بتوان به‌دست آورد.
کم	۰/۰۰۱-۰/۰۰۵	سیلاب‌دشتی است که کمی شکل آن بی‌نظم است و کمی پستی و بلندی قابل مشاهده است.
متوسط	۰/۰۰۶-۰/۰۱۰	پستی و بلندی بیش‌تری دارد و پشته و گودی (مرداب) وجود دارد.
شدید	۰/۰۱۱-۰/۰۲۰	سیلاب‌دشت شدیدی بی‌نظم است. پستی و بلندی و پشته زیادی مشاهده می‌شود و شامل مراتع ناهموار و اراضی شخم خورده عمود بر جهت جریان است.

جدول ۷-۷- ضریب مانینگ تعدیلی برای رفع موانع موجود در سیلاب‌دشت  $n_3$  [۸]

مقدار موانع	$n_3$	مثال‌ها و سطوح قابل مقایسه با
قابل اغماض	۰/۰۰-۰/۰۰۴	تعداد کمی موانع پراکنده شامل نخاله، کنده درخت، ریشه بیرون زده، سنگ‌های منفرد که کم‌تر از ۵٪ سطح مقطع آبراهه را اشغال می‌نمایند.
کم	۰/۰۱۰-۰/۰۰۴	موانع کم‌تر از ۱۵٪ سطح مقطع را اشغال کرده است.
قابل توجه	۰/۰۲۰-۰/۰۳۰	موانع بین ۱۵٪ تا ۵۰٪ سطح مقطع را اشغال کرده است.

جدول ۷-۸- ضریب تعدیلی برای پوشش گیاهی سیلاب‌دشت  $n_4$ 

$n_4$	شرایط	پوشش و حالت جریان قابل مقایسه است با:
۰/۰۰۵ تا ۰/۰۱۰	کم	رویش متراکم چمن‌های علفی نرم قابل انعطاف با علف هرز مانند علف‌های برمودایی و آبی، جایی که میانگین عمق جریان ۳ تا ۴ برابر ارتفاع پوشش گیاهی باشد. چوب درختان نرم شده مثل چوب بید یا سروها که میانگین عمق جریان ۳ تا ۴ برابر ارتفاع رویش گیاهی باشد.
۰/۰۱ تا ۰/۰۲۵	متوسط	۱- چمن‌های علفی که میانگین عمق جریان ۱ تا ۲ برابر ارتفاع پوشش گیاهی است. ۲- علف‌ها و گیاهان هرز ساقه‌دار یا نهال درختان با پوشش گیاهی متوسط که میانگین عمق جریان ۲ تا ۳ برابر ارتفاع پوشش گیاهی باشد. ۳- بیشه‌های علفی و کشتزارهای کم ارتفاع با تراکم متوسط همانند بیشه‌های بید ۱ تا ۲ ساله از فصل خواب در امتداد شیب کانال با پوشش گیاهی ناچیز در طول کف کانال جایی که شعاع هیدرولیکی بیش‌تر از ۰.۶ m است.
۰/۰۲۵ تا ۰/۰۵۰	زیاد	۱- فصل خواب در درختان بید یا گیاهان پنبه دار ۸ تا ۱۰ ساله که در آن مقدار کمی علف‌های هرز رویده باشد و به صورت بیشه‌زار باشد، بدون شاخ و برگ که شعاع هیدرولیکی آن بیش از ۰.۶ m باشد. ۲- فصل رشد بیدزار ۱ تا ۲ ساله همراه با علف‌های هرز با شاخ و برگ زیاد در طول شیب جانبی و با پوشش جزئی در امتداد کف کانال که شعاع هیدرولیکی بزرگ‌تر از ۲ فوت (۰.۶ m) باشد.
۰/۰۵۰ تا ۰/۱۰	خیلی زیاد	چمن‌های علفی که عمق جریان کم‌تر از $\frac{1}{4}$ ارتفاع پوشش گیاهی باشد. فصل رشد بیدزارهای انبوه حدود یک‌ساله که همراه با علف‌های هرز با شاخ و برگ فراوان در طول شیب جانبی و پوشش متراکم در کف کانال با هر مقدار شعاع هیدرولیکی بالاتر از ۳-۴.۶ m فصل رشد درخت‌ها همراه با علف‌های هرز در داخل آن و بیشه‌زارها با شاخ و برگ فراوان هر مقدار شعاع هیدرولیکی بالاتر از ۱۰ یا ۱۵ فوت (۴/۵ یا ۳ متر)
۰/۱۰۰-۰/۲۰۰	افراطی	بید و کهور پرشاخه و برگ و متراکم با درختان ایستاده و تعدادی افتاده و عمق آب به شاخه می‌رسد.



# فصل ۸

---

---

**توصیه روش مناسب تعیین ضریب**

**زبری در شرایط مختلف**



## ۸-۱- کلیات

در این فصل برای شرایط مختلف رودخانه و نیز سطوح مختلف داده‌های در دسترس روش مناسب و قابل توصیه پیشنهاد می‌گردد. در اغلب شرایط بیش از یک روش قابل توصیه وجود دارد و تحقیقات موجود برای قطعی نمودن توصیه یک روش کافی نیست. در این صورت محاسبه ضریب مانینگ از روش‌های مختلف و مقایسه نتایج حاصل ضروری بوده و بسته به نتایج حاصل از روش‌های مختلف برای بازه مورد نظر می‌توان روش‌های مناسب را انتخاب نمود.

## ۸-۲- روش مناسب در صورت وجود داده‌های آب‌سنجی

در صورتی تعیین ضریب مانینگ با استفاده از داده‌های آب‌سنجی مناسب خواهد بود که بتوان رودخانه مورد نظر را به بازه‌های نسبتاً یکنواخت از نظر شکل و اندازه مقاطع، دانه‌بندی، موانع و پوشش گیاهی تقسیم‌بندی نموده و در هر بازه یکنواخت حداقل دو تا سه مقطع آب‌سنجی وجود داشته باشد. در این صورت می‌توان بر مبنای داده‌های آب‌سنجی ضریب مانینگ را تعیین نمود. در غیر این صورت استفاده از سایر روش‌ها توصیه می‌شود و داده‌های آب‌سنجی فقط به‌طور موضعی در تعیین ضریب مانینگ مقطع آب‌سنجی و مقاطع مجاور آن قابل استفاده خواهد بود.

## ۸-۳- روش مناسب برای بسترهای ثابت و قلوه سنگی

منظور از بسترهای ثابت و قلوه سنگی، بسترهایی است که شکل بستر در شرایط مختلف جریان متغیر نبوده و امواج ماسه‌ای در آن‌ها تشکیل نمی‌شود. در این صورت استفاده از رابطه (۵-۹) با ملاحظات یاد شده در جدول (۵-۱) توصیه می‌شود. در صورتی که استفاده از بیش از یک روش امکان‌پذیر باشد مقایسه نتایج روش‌های مختلف ضروری خواهد بود. استفاده از رابطه (۷-۲) توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا در این خصوص توصیه گردیده است. ضریب مانینگ تعیین شده در این بخش جایگزین  $n_0$  در روش مورد بحث فصل هفتم گردیده و اثر سایر عوامل موثر در زبری مطابق گام‌های مورد بحث در آن فصل به تعیین ضریب مانینگ بازه مورد مطالعه لحاظ می‌شود.

## ۸-۴- روش مناسب برای تعیین بسترهای آبرفتی متحرک

برای تعیین ضریب مانینگ بر روی بسترهای ماسه‌ای که اشکال مختلف بستر در شرایط مختلف جریان تشکیل می‌شود روش انیشتن - بارباروسا توصیه می‌شود. پس از محاسبه منحنی بده - اشل در این روش با استفاده از فرمول مانینگ، ضریب تعیین در ترازهای مختلف آب تعیین می‌شود. در این خصوص به راهنمای تعیین منحنی بده - اشل با استفاده از روش انیشتن - بارباروسا مراجعه شود [۷]. ضریب مانینگ حاصل از این روش با در نظر گرفتن سایر عوامل موثر مطابق فصل هفتم تعدیل می‌گردد.

### ۸-۵- روش مناسب برای تعیین ضریب زبری در صورت عدم وجود داده‌های دانه‌بندی بستر

در صورت عدم دسترسی به داده‌های دانه‌بندی مواد بستر برآورد ضریب مانینگ و انتخاب آن بر اساس مقایسه نتایج سه روش زیر توصیه می‌شود.

- استفاده از جدول چاو
- استفاده از روش تصویری
- استفاده از روش ارائه شده در فصل هفتم

### ۸-۶- روش مناسب برای تعیین ضریب زبری در صورت وجود پوشش گیاهی

در صورت وجود پوشش گیاهی ضریب مانینگ را می‌توان به دو حالت زیر تعیین نمود:

#### ۸-۶-۱- روش مناسب در شرایط مختلف هیدرولیکی

در صورت وجود داده‌های کمی از تراکم درختان استفاده از رابطه (۲۱-۵) توصیه می‌شود. استفاده از رابطه (۲۱-۵) موجب می‌گردد که ضریب مانینگ به ازای عمق‌های مختلف که شرایط مختلف هیدرولیکی متفاوتی دارند تعیین شود. در این صورت زبری حاصل از پوشش گیاهی زیر درختان بر اساس جدول (۴-۷) و (۸-۷) تعیین گردیده و به زبری آبراهه و یا سیلاب‌دشت اضافه می‌شود.

#### ۸-۶-۲- روش مناسب در صورت عدم وجود داده‌های کمی تراکم پوشش گیاهی

در صورتی که داده‌های کمی از تراکم پوشش گیاهی موجود نباشد، در این صورت امکان برآورد ضریب مانینگ به ازای عمق‌های مختلف عملی نبوده و می‌توان ضریب مانینگ متوسط را با استفاده از روش ارائه شده در فصل هفتم و رابطه (۱-۷) به‌دست آورد. در این صورت عامل تعدیل ضریب مانینگ  $n_4$  در جداول (۴-۷) و (۸-۷) به ترتیب برای آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت تعیین می‌شود. استفاده از تصاویر و جداول فصل پنجم نیز برای مقایسه و انتخاب ضریب مانینگ توصیه می‌گردد.

### ۸-۷- روش مناسب در صورت رخداد جریان‌های گلی و واریزه‌ای

رخداد سیلاب‌های گلی و واریزه‌ای در رودخانه‌هایی که حوضه آبریز آن‌ها تولید رسوب بالایی دارند و یا در رودخانه‌های پر شیب حاوی بستر متحرک، محتمل بوده و در این صورت با توجه به تحقیقات موجود در این خصوص، مقایسه روابط مختلف ارائه شده در فصل پنجم، رابطه مورد بحث در بند ۳-۴-۵ راهنما برای برآورد ضریب سرعت جریان توصیه می‌شود. در این صورت پس از محاسبه ضریب سرعت آن را به ضریب زبری مانینگ تبدیل کرده و ضریب مانینگ حاصل جایگزین  $n_b$  در روش ارائه شده در فصل هفتم می‌شود.



## منابع و مراجع

- ۱- بنی حبیب، محمد ابراهیم، «زبری هیدرولیکی جریان با غلظت بالای رسوب»، مجموعه مقالات دومین کنفرانس هیدرولیک، تهران، (۱۳۷۸)
- ۲- بنی حبیب، محمد ابراهیم، «علل طغیان رودخانه با جریان غلیظ»، مجموعه مقالات چهارمین سمینار مهندسی رودخانه، اهواز، (۱۳۷۵)
- ۳- بنی حبیب، محمد ابراهیم، معصومی، ابوالفضل، «اثر غلظت بالای رسوب بر طغیان رودخانه‌ها مطالعه موردی رودخانه ماسوله» مجموعه مقالات دومین کنفرانس هیدرولیک ایران، (۱۳۷۸)
- ۴- «راهنمای ادوات نمونه برداری بار رسوبی رودخانه‌ها»، نشریه شماره ۱۴۶ طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، (۱۳۸۳)
- ۵- «راهنمای آزمایش‌های دانه‌بندی رسوب»، ضابطه شماره ۲۶۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۲)
- ۶- «راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین بستر و حریم رودخانه»، ضابطه شماره ۳۰۷ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۴)
- ۷- «راهنمای تعیین منحنی دبی- اشل رودخانه با استفاده از روش انیشتین - بار باروسا»، ضابطه شماره ۱۵۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۷۵)
- 8- Acement GS and Schneider V.R.(1985). Guide for selecting Manning 's roughness coetfficient for natural channels and Flood plains, Water Resources paper 2339, US Geological survey, Washington DC. (updated 2002).
- 9- Aldridge, B.N., and Garrett, J.M, (1973).Roughness coefficients for stream channels in Arizona, U.S. Geological Survey open - File Report, 87P
- 10- Arai, M. (1991) , Fandamental study on transport and deposition of mud flow , Ph D thesis , kyoto univ, Kyoto, Japan.
- 11- Meyer-peter, P.E. and R.Muller (1948). "Formulas for Bed Load Transport, "proceedings of the 3rd International Association for Hydraulic Research, Stockholm, PP. 39-64.
- 12- Cheng H.H. (1988). Fluvial processes in River Engineering. Wiley – Interscience, 432 pp.
- 13- Chow ven Te (1981) Open Channel Hydraulics. Mc Graw – Hill Limted, London. 680 pp (Edition 1959, 1969).
- 14- Cowan, W.L. (1956). Estimting hydraulic roughness Coefficients. Agricultural Engineering 37, 473- 475
- 15- Department for Enviroment, Food & Rural Affairs (2003). Reducing Uncertainty in River Flood Conveyance, Roughness Review, Uk, Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D programme.
- 16- Einstein H. A. and N. L. Barbarossa (1952). "River channel Roughness" Transactions of the ASCE, vol. 117, pp. 1121-1132
- 17- Englund, F. and H. Hansen (1966). "Investigation s of flow in Alluvial streams," Acta polytechnica Scand anavica, vol ci-35.

- 18- Green JEP and Garton JE (1983). Vegetation lined channel design procedures. Transactions of the American Society of Agricultural Engineering , 26 , 437-439
- 19- Jarvela, Ju (2002) " Flow resistance of flexible and stiff vegetation a flume study with natural plants" Journal of hydrology, Elsevier science , 269(1-2): 44-54
- 20- Meyer – peter, P.E . and R.Muller (1948). "Formulas for Bed Load Transport, "Proceedings of the 3rd International Association for Hydraulic Research, Stockholm, PP. 39-64.
- 21- Nagy H.M, K. Watanabe, M, Hirano, M.E, banihabib (1994) "Flow Resistance of sand Waves in Alluvial Streams" procc. Ninth Congress of the Asian and Pactic Division of the international Association For Hydraulic research.
- 22- Rahmeyer, Willian (2006). Flow Resistance for Utah Flood plains, Utah State University.
- 23- Simons DB and Richardson Ev (1966). Resistance to flow in alluvial channels. US Geological Survey, protessiona paper 422-J.
- 24- Takahashi , T., (1981) , "Debris flow ." , Fluid Mech. Vol.13.
- 25- Takahashi, T., (1987) High velocity flow in Steep erodible channels, pro. 22nd IAHR Congress, Lausanne, Fluvial Hydraulics
- 26- United State Soil Conservation Service (1963). Guide for selecting roughoss coefficient ‘n’ values for channels , US Department of Agriculitures, Washington DC.
- 27- YEN, B.C. (1992) . Channel Fow Resistance: Centennial of Manning ’s Formula . Water Resources Publications.
- 28- Yong, C.T. (1996). Sediment transport: theory and practice. McGraw-Hill, New York

## خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر ششصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال های اخیر در سایت اینترنتی [nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir) قابل دستیابی می باشد.

## Guideline for Determination of the Hydraulic Roughness

### Coefficient of Rivers [No. 688]

Executive Body: University of Tehran  
Project Advisor: Mohammad Ebrahim Banihabib

#### Authors & Contributors Committee:

Mohammad Banihabib	Ebrahim University of Tehran	Ph.D. of Civil Eng.-Water Resources Eng.
Ali Asghar Montazer	University of Tehran	Ph.D. of Irrigation Eng.

#### Supervisory Committee:

Ebrahim Jabbari	Iran University of Science and Technology	Ph.D. of Hydraulic
Ahmad Taher Shamsi	Amirkabir University of Technology	Ph.D. of Hydraulic
Kiandokht Kobari	Freelance Expert	B.Sc. of Civil Eng.

#### Confirmation Committee:

Mahmoud Afsous	Sazepardazi Iran Consulting Engineers Co.	M.Sc. of Hydraulic Eng.
Ghazal Jafari	Iran Water Resources Management Co.	M.Sc. of Hydraulic Structures Eng.
Mohammad Hassan Chiti	Pazhooresh Omran Rahvar Co.	M.Sc. of Hydraulic Structures Eng.
Narges Dashti	Ministry of Energy Bureau of Technical, Engineering, Social and Environmental Standards of Water and Waste Water	B.Sc. of Irrigation Eng.
Mir Hassan Seyed Seraji	Power and Water University of Technology	Ph.D. of Fluid Mechanics
Hesam Fouladfar	Water Research Institute	Ph.D. of Hydraulic Structures
Seyed Kamalaldin Nouri	Ministry of Interior	M.Sc. of Environment Eng-Environmental Pollution
Jabbar Vatan Fada	Ministry of Energy	M.Sc. of Hydrolic Structures

#### Steering Committee:

Alireza Toutounchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Farzaneh Agharamezanali	Head of Water & Agriculture Group, Technical and Executive Affairs Department
Seyed Vahidoddin Rezvani	Expert in Irrigation & Drainage Engineering, Technical and Executive Affairs Department

## **Abstract**

In all river training and restoration projects, and accurate understanding of flow hydraulic in the rivers is necessary and that without accurate estimates of hydraulic roughness coefficient is not possible. This manual offers the methods to determine the roughness coefficient for different rivers.

In the early chapters of the manual, all kinds of hydraulic roughness and the factors influencing them expressed and a variety of existing relations of hydraulic roughness were discussed. Then, how to collect needed data for determination of the roughness coefficient were stated and different methods to determine the roughness factor for a variety of different conditions, such as perennial streams, with or without vegetation, mud and debris flows, etc. were presented.

In the final chapters of this manual, application considerations of hydraulic roughness in different designs and river training and restoration project and the hydraulic roughness coefficient of compound channel were studied. Lastly, how to use the best method to estimate the hydraulic roughness coefficient was discussed. This manual can be used in all river engineering studies by the consulting engineers and administrative.



**Islamic Republic of Iran**  
**Management and Planning Organization**

# **Guideline for Determination of the Hydraulic Roughness Coefficient of Rivers**

**No. 688**

Office of Deputy for Technical and  
Infrastructure Development Affairs  
Department of Technical and Executive Affairs  
[nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)

Ministry of Energy  
Bureau of Technical, Engineering, Social and  
Environmental standards of water and waste water  
<http://seso.moe.gov.ir>

**2016**





## این ضابطه

با عنوان «راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها» در ابتدا انواع ضریب زبری و ارتباط بین آن‌ها را مورد بررسی قرار داده و سپس در فصل سوم، عوامل موثر بر ضریب هیدرولیکی ارائه شده است. در فصل چهارم این راهنما، نحوه جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های مورد نیاز برای تعیین ضریب زبری بحث شده است و در ادامه روش‌های مختلف تعیین ضریب زبری در شرایط مختلف ارائه گردیده است. کاربرد ضریب زبری در طرح‌های مهندسی رودخانه و تعیین ضریب زبری در آبراهه‌های مرکب در فصول پنجم و ششم بحث شده و در انتها روش‌های مناسب برای تعیین ضریب زبری در شرایط مختلف توصیه گردیده است.