

جمهوری اسلامی ایران
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور

راهنمای شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه

نشریه شماره ۶۴۳

وزارت نیرو
دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا
<http://seso.moe.org.ir>

معاونت نظارت راهبردی
امور نظام فنی
nezamfanni.ir

۱۳۹۲

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از 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 معاونت

برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی

Email: info@nezamfanni.ir

web: nezamfanni.ir/

بسمه تعالی

پیشگفتار

به‌طور کلی متغیرهای مستقل و وابسته که بر هندسه هیدرولیکی رودخانه‌های آبرفتی اثر می‌گذارند، متعدد و به هم مرتبط می‌باشند. تاکنون مطالعات آزمایشگاهی و بررسی‌های صحرایی زیادی صورت گرفته است تا متغیرهای ذکر شده را به هم مربوط و مشخصات هندسی رودخانه‌های پایدار را تعریف کند. بی‌شک در مطالعات مهندسی رودخانه و به‌خصوص مطالعات ساماندهی رودخانه‌ها، آگاهی از مشخصات بهینه مقطع و راستای رودخانه در زمره‌ی مقدمات اصولی آن می‌باشد که بدون شناخت وضعیت پایدار نمی‌توان ارزیابی صحیحی از مشکلات ناپایداری موجود در رودخانه داشت و بر آن اساس روش مناسبی را برای مقابله با آن‌ها انتخاب نمود.

باتوجه به اهمیت مبحث فوق، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه نشریه «راهنمای شکل هندسی مقطع راستای رودخانه» را با هماهنگی امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور در دستور کار قرارداد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذی‌نفع نظام فنی اجرایی کشور به این معاونت ارسال نمود. که پس از بررسی، براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی اجرایی کشور (مصوب ۴۲۲۳۹/ت ۳۳۴۹۷ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردید.

بدین وسیله معاونت نظارت راهبردی از تلاش و جدیت رییس امور نظام فنی جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس محمد ابراهیم نیا و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید و از ایزد منان توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران را آرزومند می‌باشد.

امیداست متخصصان و کارشناسان با ابراز نظرات خود درخصوص این نشریه ما را در اصلاحات بعدی یاری فرمایند.

معاون نظارت راهبردی

تابستان ۱۳۹۲

تهیه و کنترل

مجری: دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور

مؤلف اصلی: محمدرضا مجدزاده طباطبایی دانشگاه صنعت آب و برق دکترای مهندسی رودخانه

اعضای گروه تهیه کننده:

احمد رضوی	دانشگاه صنعت آب و برق	دکترای مهندسی آب
مریم کرمی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فوق لیسانس عمران - مهندسی رودخانه
محمدرضا مجدزاده طباطبایی	دانشگاه صنعت آب و برق	دکترای مهندسی رودخانه

اعضای گروه نظارت:

نرگس دشتی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی	لیسانس مهندسی آبیاری
محمود شفاعی بجنستان	صنعت آب کشور - وزارت نیرو	دکترای هیدرولیک
حسام فولادفر	دانشگاه شهید چمران اهواز	دکترای سازه‌های آبی
	موسسه تحقیقات آب	

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

محمود افسوس	شرکت مهندسين مشاور سازه‌پدازی ایران	فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک
محمدابراهیم بنی حبیب	دانشگاه تهران	دکترای عمران - آب
محمدحسن چیتی	شرکت مهندسين مشاور ساز آب‌پردازان	فوق لیسانس مهندسی سازه‌های آبی
فریدون خزاعی	انجمن شرکت‌های ساختمانی	فوق لیسانس مهندسی راه و ساختمان
نرگس دشتی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی	لیسانس مهندسی آبیاری
شکور سلطانی	صنعت آب کشور - وزارت نیرو	دکترای مهندسی آب
حسن سید سراجی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	دکترای مکانیک سیالات
آقای حسام فولادفر	دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور	دکترای سازه‌های آبی
سیدکمال‌الدین نوری	موسسه تحقیقات آب	لیسانس مهندسی کشاورزی
جبار وطن‌فدا	وزارت کشور	فوق لیسانس مهندسی سازه‌های هیدرولیکی
	وزارت نیرو	

اعضای گروه هدایت و راهبردی پروژه:

فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی
ساناز سرافراز	کارشناس منابع آب امور نظام فنی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۳	فصل اول- کلیات
۵	۱-۱- تعریف
۵	۲-۱- مشخصات رودخانه‌های آبرفتی (سابقه زمین‌شناختی)
۶	۳-۱- معرفی انواع رودخانه و طبقه‌بندی آن‌ها
۷	۱-۳-۱- طبقه‌بندی براساس نوع بار رسوبی در حال حمل
۸	۲-۳-۱- طبقه‌بندی براساس مصالح متشکل جداره رودخانه
۹	۴-۱- هندسه رودخانه و فرآیندهای حاکم بر آن
۹	۱-۴-۱- شکل‌های پلان
۱۰	۲-۴-۱- مقطع عرضی
۱۱	۳-۴-۱- نیمرخ طولی
۱۲	۴-۴-۱- شکل بستر
۱۵	فصل دوم- مطالعات لازم برای تعیین شکل هندسی مقطع و راستای بهینه رودخانه
۱۷	۱-۲- جمع‌آوری و تولید اطلاعات
۱۷	۱-۱-۲- سابقه تاریخی
۱۷	۲-۱-۲- تفسیر نقشه‌ها، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای
۱۸	۳-۱-۲- بازدید صحرایی
۱۸	۴-۱-۲- عوارض و نقاط کلیدی
۲۰	۵-۱-۲- نقشه‌برداری کانال اصلی و سیلابدشت
۲۲	۶-۱-۲- داده‌های جریان
۲۳	۷-۱-۲- اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک
۲۴	۸-۱-۲- انتقال رسوب
۲۵	۲-۲- مطالعات لازم برای تعیین شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه
۲۵	۱-۲-۲- هیدرولوژی
۲۹	۲-۲-۲- هیدرولیک جریان
۲۹	۳-۲-۲- فرسایش و رسوب
۳۰	۴-۲-۲- مطالعات زمین‌شناسی
۳۰	۵-۲-۲- ریخت‌شناسی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳۳	فصل سوم- بررسی معیارها برای تعیین ابعاد مقطع بهینه (مناسب) با توجه نوع رودخانه
۳۵	۳-۱- مفاهیم پایه
۳۶	۳-۲- حالت پایداری رودخانه شامل پایداری در پلان، مقطع و شیب
۳۸	۳-۳- عوامل موثر در پایداری رودخانه‌ها
۳۸	۳-۳-۱- حوضه آبریز
۳۸	۳-۳-۲- بازه مورد مطالعه
۳۹	۳-۳-۳- هیدرولوژی
۳۹	۳-۳-۴- پروژه‌های مهندسی رودخانه و منابع آب
۳۹	۳-۳-۵- بهره‌برداری از رودخانه
۳۹	۳-۳-۶- ناپایداری‌ها
۴۰	۳-۴- روش‌های مختلف تعیین ابعاد هندسه پایدار رودخانه
۴۰	۳-۴-۱- مدل‌های مفهومی
۴۲	۳-۴-۲- مدل‌های رژیم
۴۷	۳-۴-۳- مدل‌های تحلیلی
۵۱	۳-۴-۴- کاربرد تئوری‌های مختلف پایداری بر حسب نوع رودخانه
۵۳	فصل چهارم- بررسی معیارهای تعیین راستای رودخانه در حالت طبیعی
۵۵	۴-۱- کلیات
۵۵	۴-۲- انواع هندسه مسیر در رودخانه‌ها
۵۵	۴-۲-۱- مسیر مستقیم
۵۷	۴-۲-۲- مسیر پیچانرودی
۵۷	۴-۳- عوامل موثر بر هندسه مسیر رودخانه‌ها
۵۷	۴-۳-۱- دره رودخانه‌ها
۵۸	۴-۳-۲- شیب دره
۵۸	۴-۳-۳- شیب طولی
۶۰	۴-۳-۴- ابعاد هندسی راستای رودخانه‌های پیچانرودی
۶۱	۴-۴- شیب طولی پایدار
۶۲	۴-۴-۱- رابطه شیب طولی پایدار و ضریب پیچشی

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۶۳	۴-۴-۲- ارتباط شیب طولی پایدار، بده و هندسه مسیر
۶۳	۴-۵- بیان الگوی هندسی براساس معیارهای کمی
۶۵	۴-۶- ارزیابی پایداری راستای رودخانه
فصل پنجم- بررسی ملاحظات حقوقی، اجتماعی و زیست محیطی برای تعیین شکل هندسی مقطع و راستای	
۶۷	بهینه رودخانه
۶۹	۵-۱- مسایل و مبانی حقوقی بستر، حریم و حقابه (حق مصرف آب) رودخانه
۶۹	۵-۱-۱- مفهوم قانونی رودخانه
۶۹	۵-۱-۲- تعریف قانونی بستر رودخانه
۶۹	۵-۱-۳- تعریف قانونی حریم رودخانه
۷۰	۵-۱-۴- مبانی حقوقی حریم
۷۲	۵-۱-۵- مفهوم حریم در قوانین و مقررات
۷۳	۵-۱-۶- حریم کمی و کیفی رودخانه
۷۵	۵-۱-۷- مقررات بستر و حریم رودخانه در قانون توزیع عادلانه آب
۷۷	۵-۱-۸- حقابه (حق مصرف آب)
۷۸	۵-۲- قوانین و مقررات مرتبط با تعیین مقطع و راستای رودخانه
۸۰	۵-۳- چگونگی تملک زمین و رفع تجاوزات احتمالی برای تغییر راستا یا پهنای رودخانه
۸۰	۵-۳-۱- ممنوعیت ایجاد اعیانی، حفاری و دخل و تصرف در بستر رودخانه
۸۱	۵-۳-۲- قلع و قمع اعیانی‌های مزاحم در بستر و حریم رودخانه
۸۱	۵-۳-۳- ضوابط قانونی چگونگی تملک زمین در اثر تغییر مقطع یا راستای رودخانه
۸۲	۵-۴- کانون‌ها و مراکز جمعیتی حاشیه رودخانه و نحوه بهره‌برداری از آب و اراضی حاشیه آن
۸۳	۵-۵- مسایل اجتماعی مرتبط با بهره‌برداری از آب و اراضی حاشیه رودخانه
۸۳	۵-۶- سوابق همیاری و تنش‌های اجتماعی و میزان رعایت و احترام مردم به قوانین مرتبط با بهره‌برداری از آب و اراضی حاشیه رودخانه
۸۴	۵-۷- مطالعه مسایل زیست محیطی و بررسی منابع طبیعی و شرایط زیست محیطی رودخانه و حاشیه آن (آبزیان، حیات وحش، پوشش گیاهی، کیفیت آب، منابع آلاینده احتمالی)
۸۵	۵-۸- ارزیابی تاثیر تعیین مقطع و راستای رودخانه در شرایط زیست محیطی منطقه
۸۵	۵-۸-۱- شناسایی کلی شاخص‌های بوم‌شناختی تاثیرپذیر از تغییر مقطع و راستای رودخانه
۸۵	۵-۸-۲- جمع‌آوری قوانین و مقررات و ضوابط محیطی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۸۷	فصل ششم - ملاحظات تعیین هندسه و راستای بهینه رودخانه با توجه به اهداف و نوع طرح ساماندهی
۸۹	۶-۱- علل و شکل‌های ناپایداری رودخانه
۹۲	۶-۲- شاخص‌های ناپایداری
۹۳	۶-۳- تحلیل ناپایداری‌ها
۹۳	۶-۳-۱- مهاجرت پیچانرود
۹۴	۶-۳-۲- افزایش بده
۹۴	۶-۳-۳- بهسازی کانال و تغییر مسیر
۹۵	۶-۳-۴- تنظیم جریان به وسیله مخازن
۹۵	۶-۳-۵- انتقال رسوبات و پایداری رودخانه
۹۶	۶-۴- شیوه‌های مقابله با ناپایداری
۹۷	۶-۵- هدف از اجرای طرح ساماندهی
۹۷	۶-۶- آستانه‌های زمین‌شناختی و سیر تکاملی کانال
۹۸	۶-۷- کنترل‌های ژئوتکنیکی و هیدرولیکی
۹۸	۶-۷-۱- بده جریان
۹۸	۶-۷-۲- بار رسوبی ورودی
۹۹	۶-۷-۳- اندازه ذرات رسوبی بستر
۹۹	۶-۷-۴- مواد کناره و پوشش گیاهی
۱۰۰	۶-۷-۵- زمین یخزده
۱۰۰	۶-۸- روش‌های مختلف ساماندهی
۱۰۱	۶-۸-۱- پاکسازی و رفع موانع
۱۰۲	۶-۸-۲- لایروبی
۱۰۲	۶-۸-۳- بهسازی مقطع
۱۰۳	۶-۸-۴- تغییر مسیر
۱۰۴	۶-۸-۵- خاکریزها
۱۰۴	۶-۸-۶- کانال‌های فرعی سیلاب
۱۰۵	۶-۸-۷- انحراف جریان
۱۰۵	۶-۹- رتبه‌بندی روش‌های مختلف ساماندهی و کنترل سیلاب

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۰۸	۶-۱۰- راستا و شکل پلان
۱۰۸	۶-۱۱- جریان‌های تک شاخه
۱۰۹	۶-۱۲- جریان‌های چند شاخه
۱۱۰	۶-۱۳- مخروطه افکنه‌ها
۱۱۱	۶-۱۴- نیمرخ طولی و کنترل شیب
۱۱۳	۶-۱۴-۱- کنترل رسوب ورودی
۱۱۳	۶-۱۵- مقاطع عرضی و ظرفیت هیدرولیکی
۱۱۵	۶-۱۶- کنترل پیچ و خم‌ها
۱۱۶	۶-۱۷- محافظت کناره
۱۱۶	۶-۱۸- کنترل رسوب‌گذاری
۱۱۷	۶-۱۹- کاربرد معادلات تجربی در طراحی ابعاد هندسی مقطع و راستای رودخانه
۱۱۹	منابع و مراجع

فهرست جدول‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸	جدول ۱-۱- طبقه‌بندی رودخانه‌های آبرفتی توسط شوم
۸	جدول ۱-۲- طبقه‌بندی رودخانه‌ها بر اساس جنس مصالح جداره
۹	جدول ۱-۳- انواع شکل پلان رودخانه
۳۲	جدول ۱-۲- خواص فیزیکی رس
۳۶	جدول ۱-۳- پاسخ قابل پیش‌بینی مشخصات کانال به تغییرات متغیرهای مستقل و شرایط محیطی
۴۵	جدول ۲-۳- ضرایب و توان‌های معادلات (۳-۱۵) تا (۳-۲۲)
۶۴	جدول ۱-۴- روابط بین شیب و شدت جریان در ارتباط با الگوی کانال
۷۵	جدول ۱-۵- کاربری‌های سازگار نواحی سه‌گانه حریم کیفی
۸۹	جدول ۱-۶- پاسخ کانال به تغییر در عوامل مستقل
۹۳	جدول ۲-۶- شاخص‌های ناپایداری رودخانه
۹۶	جدول ۳-۶- شیوه‌های پایدارسازی رودخانه
۱۰۷	جدول ۴-۶- طبقه‌بندی روش‌های مختلف ساماندهی از نظر میزان تاثیر در ناپایداری رودخانه

فهرست شکل‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۶	شکل ۱-۱- ناحیه‌بندی حوضه آبریز از لحاظ فرسایش و رسوب‌گذاری (رودخانه آلت دوبای)
۱۲	شکل ۱-۲- نیمرخ طولی و جهت تغییرات آن در طول زمان
۱۳	شکل ۱-۳- انواع شکل‌های بستر در رودخانه‌های ماسه‌ای
۲۲	شکل ۱-۲- روش عکس‌برداری از رودخانه‌های شنی با شبکه سیمی به منظور استخراج دانه‌بندی
۲۸	شکل ۲-۲- نمودار نسبت عرض به عمق در مقابل عمق (ایستگاه بیانلو، رودخانه قزل‌اوزن)
۳۸	شکل ۱-۳- فاکتورهای موثر بر پایداری رودخانه (رابطه کیفی لین، ۱۹۵۵)
۵۶	شکل ۱-۴- انواع الگوهای مستقیم بسط یافته
۶۰	شکل ۲-۴- انواع شکل پلان رودخانه به ازای ضریب پیچشی مشخص
۶۱	شکل ۳-۴- ارتباط بین بار رسوبی و شیب در رودخانه‌های مختلف
۹۲	شکل ۱-۶- تغییرات شکل پلان و نیمرخ طولی در خلال فرسایش و رسوب‌گذاری
۱۰۱	شکل ۶-۳- نمایی از تنگ شدگی مقطع جریان توسط سنگ بزرگی در پایین‌دست تقاطع رودخانه علی زان به رودخانه طالقان
۱۰۳	شکل ۳-۶- نمایی از توسعه کانال با برش شیب‌دار کناره
۱۰۳	شکل ۴-۶- فرم‌های تغییر مسیر در رودخانه‌های پیچانرودی
۱۰۸	شکل ۵-۶- اصلاح و ساماندهی کانال در طول مسیر
۱۰۹	شکل ۶-۶- احداث گوره در طرفین کانال رودخانه با حفظ شکل پیچانرودی آن
۱۱۰	شکل ۶-۷-الف- در نظرگیری یک عرض وسیع و استفاده از آبشکن‌های عمودی در مواضع مورد نیاز
۱۱۰	شکل ۶-۷-ب- در نظرگیری یک عرض متوسط و محافظت پیوسته دیواره‌های احداثی
۱۱۰	شکل ۶-۷-ج- طراحی شکل سینوسی و محدود
۱۱۱	شکل ۶-۸- سطح مخروطه‌افکنه فاقد پوشش گیاهی و رسوب‌گذار
۱۱۵	شکل ۶-۹- انواع مختلف مقاطع عرضی اصلاح شده

مقدمه

به منظور پیش‌بینی پاسخ رودخانه آبرفتی به تغییرات مصنوعی و یا طبیعی اعمال شده، شاید بتوان گفت اولین گام، شناخت و پیش‌بینی هندسه پایدار رودخانه می‌باشد. در این راه‌نما با ارائه مفهوم پایداری و پدیده‌های فرسایش و رسوب‌گذاری از یک طرف و مشخص کردن نیازها و هدف مطالعات از طرف دیگر، در قالب شش فصل به معرفی مشخصات مقطع و راستای بهینه رودخانه پرداخته شده است.

مفهوم پایداری رودخانه به این موضوع اشاره می‌کند که شکل پلان و مقطع عرضی رودخانه با یک ضریب اطمینان قابل قبول در شرایط طبیعی، به صورت پایدار باقی می‌مانند. از این رو در این راه‌نما ابتدا کلیاتی در خصوص مبانی طبقه‌بندی ریخت‌شناسی رودخانه‌ها و شناخت هندسه پایدار آن‌ها ارائه شده است، سپس در فصل دوم به نحوه دسترسی به اطلاعاتی اشاره می‌شود که برای ارزیابی پایداری لازم است و پس از آن مطالعات لازم شامل مطالعات هیدرولوژی، هیدرولیک، فرسایش و رسوب، زمین‌شناسی و ریخت‌شناسی توضیح داده می‌شود. در ادامه عوامل موثر در پایداری رودخانه و روش‌های مختلف تعیین ابعاد هندسه پایدار رودخانه و کاربرد آن‌ها در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. فصل چهارم به بررسی معیارهای تعیین راستای رودخانه اختصاص دارد و بعد از معرفی انواع هندسه مسیر در رودخانه‌ها و عوامل موثر بر آن، به بیان الگوی هندسی بر اساس معیارهای کمی می‌پردازد. در فصل پنجم نیز ملاحظات حقوقی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای تعیین شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه ارائه می‌شود. بی‌شک اولین قدم در مواجهه با ناپایداری، شناخت علل و عوامل مسبب آن می‌باشد. از این رو در فصل پایانی ابتدا به معرفی شکل‌های ناپایداری، شاخص‌های تشخیص و نیز روش‌های مقابله با آن پرداخته می‌شود، سپس بعد از تشریح روش‌های مختلف ساماندهی رودخانه، این روش‌ها بر اساس میزان تاثیر آن‌ها بر شرایط پایداری رودخانه طبقه‌بندی می‌شوند و در نهایت به‌طور اجمالی توصیه‌هایی برای کنترل ناپایداری و تخفیف آن تشریح می‌گردد.

- هدف

به‌طور کلی ریخت‌شناسی رودخانه از دو منظر قابل بررسی می‌باشد:

- ۱- از جنبه زمین‌شناسی که معمولاً تغییرات مشخصات رودخانه در اثر عواملی همچون تکتونیک، زلزله و سایر عوامل زمین‌شناسی است و در دوره‌های زمانی بسیار طولانی اتفاق می‌افتد. ممکن است در اثر پدیده‌های فوق مسیر رودخانه کلاً تغییر کند و یا شکل رودخانه عوض شود ولی این مسایل در دوره‌های زمانی هزار سال و حتی میلیون سال اتفاق می‌افتد.
- ۲- از جنبه هیدرولیکی که معمولاً تغییرات مقطع و پلان رودخانه در اثر عوامل هیدرولیکی نظیر سرعت جریان، تنش برشی، بده جریان و غیره اتفاق می‌افتد. این تغییرات در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت حادث می‌شود. از آن‌جا که عمر طرح‌های مهندسی کوتاه مثلاً ده تا پنجاه سال می‌باشد، لذا هدف این راه‌نما بررسی تغییرات هندسه رودخانه در اثر عوامل هیدرولیکی است.

ریخت‌شناسی رودخانه شامل بررسی شکل هندسی رودخانه در پلان، مشخصات نیمرخ طولی (شیب کانال) و شکل هندسی رودخانه در مقطع و شکل بستر می‌باشد.

در این راهنما مشخصات بهینه مقطع و راستای رودخانه در قالب بررسی شکل هندسی رودخانه در پلان، مشخصات نیمرخ طولی (شیب کانال) و شکل هندسی رودخانه در مقطع و شکل بستر مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این راستا، اصول و مفاهیم هیدرولیک، هیدرولوژی، ریخت‌شناسی و مکانیک رودخانه برای تحلیل کمی و کیفی مساله به کار گرفته شده‌اند که در این صورت می‌توان ساز و کار رودخانه‌ها را به‌عنوان سامانه‌ای پیچیده و پویا مورد بررسی قرار داد. همچنین شناسایی انواع و شدت مشکلات ناپایداری و تبیین راهکارهایی برای مقابله با شرایط ناپایدار و حصول شرایط بهینه رودخانه را نیز می‌توان از اهداف این راهنما به‌شمار آورد.

- دامنه کاربرد

روش‌ها و تئوری‌های ارائه شده در این راهنما می‌تواند در مطالعات فاز شناخت، ریخت‌شناسی و ساماندهی رودخانه‌های آبرفتی مورد استفاده قرار گیرد و لذا استفاده از آن برای رودخانه‌های با بستر سنگی و پر شیب کوهستانی و نیز رودخانه‌های جزر و مدی توصیه نمی‌شود.

فصل ۱

کلیات

۱-۱- تعریف

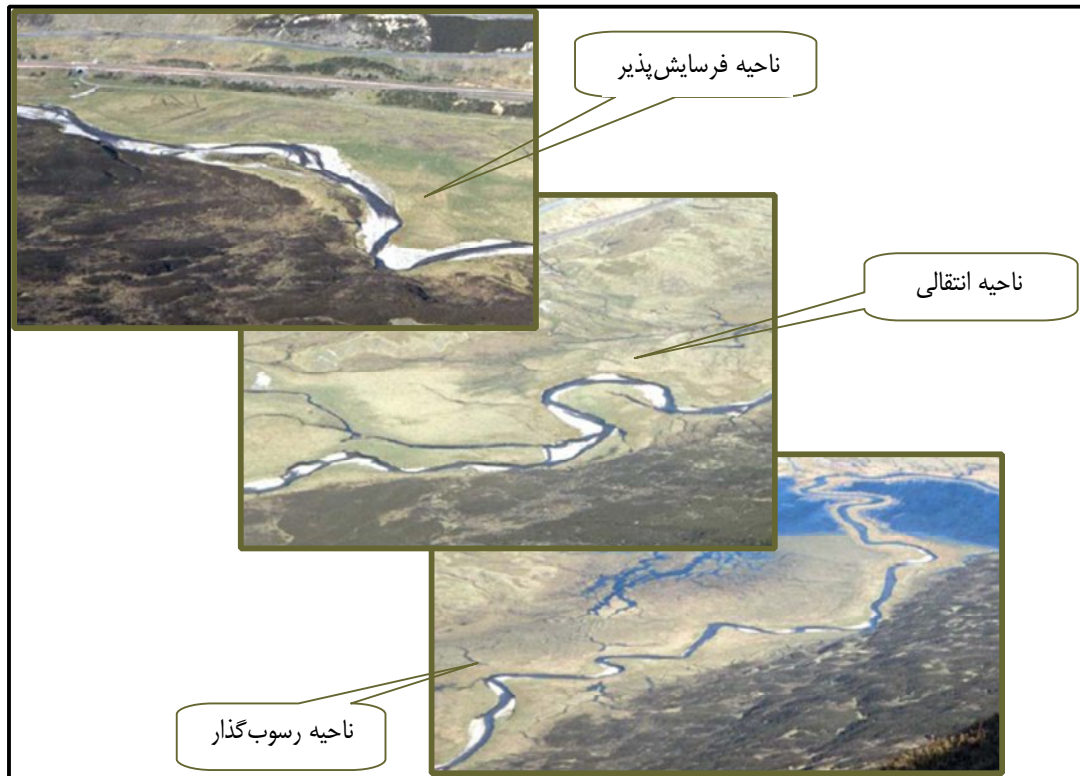
علمی که خصوصیات ظاهری شکل رودخانه را بررسی می‌کند به نام ریخت‌شناسی یا مورفولوژی^۱ رودخانه نامیده می‌شود. موضوع اصلی در این علم، مطالعه ساختار و فرم رودخانه‌ها از نظر شکل هندسی در پلان^۲، هندسه شکل مقطع^۳، اشکال بستر و ویژگی‌های نیمرخ طولی آن است.

برخی از عوامل موثر بر ریخت‌شناسی رودخانه عبارتند از: بده، شیب طولی رودخانه، منابع تغذیه رسوبات، پوشش گیاهی و مصالح تشکیل دهنده بستر و کناره‌ها، حوادث طبیعی نظیر زمین لغزش، آتشفشان و سیلاب‌های بزرگ، تغییرات و توسعه کاربری اراضی و اندرکنش کارهای مهندسی نظیر لایروبی، احداث خاکریز و بدیهی است شرایط موجود کانال رودخانه ممکن است به عواملی بستگی داشته باشد که یا مربوط به محدوده مورد مطالعه نباشد (عوامل مکانی) و یا مربوط به زمان مطالعه نباشد (عوامل زمانی).

۱-۲- مشخصات رودخانه‌های آبرفتی (سابقه زمین‌شناختی)

به‌طور کلی یک حوضه آبریز را می‌توان به سه ناحیه اصلی تقسیم نمود: ناحیه فرسایش‌پذیر فوقانی (تولید رسوبات)، ناحیه میانی (انتقال رسوبات با فرسایش و رسوب‌گذاری به‌طور هم‌زمان)، ناحیه انتهایی (رسوب‌گذاری) (شکل ۱-۱). البته شرایط واقعی اغلب خیلی پیچیده است زیرا عوامل کنترل‌کننده زمین‌شناختی موضعی می‌توانند در ناحیه فوقانی نواحی رسوب‌گذار موضعی و در ناحیه پایینی نواحی فرسایش‌پذیر موضعی ایجاد کنند. پروژه‌ها و طرح‌های مهندسی رودخانه معمولاً در دو ناحیه میانی و انتهایی که اغلب سیلاب به نواحی کشاورزی و شهری طغیان می‌کند، اجرا می‌شود.

روش عمومی بررسی زمین‌ریخت‌شناسی حوضه شامل بررسی نقشه‌ها، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، بازدیدهای زمینی و هوایی، مطالعه گزارش‌های خاک‌شناسی و زمین‌شناسی و ... می‌باشد. مقدار مطالعات لازم بستگی به مقیاس پروژه و میزان دقت کارشناسی مورد انتظار برای ارزیابی مشکلات ناپایداری دارد.



شکل ۱-۱- ناحیه بندی حوضه آبریز از لحاظ فرسایش و رسوب گذاری (رودخانه آلت دوبای^۱)

۱-۳- معرفی انواع رودخانه و طبقه بندی آن‌ها

رودخانه‌ها تحت تاثیر عوامل و متغیرهای مختلف از نظر ابعاد، شکل، راستا و الگو در تغییر هستند. عواملی همچون بده جریان، بده رسوب، دانه بندی مواد بستر و کناره‌ها بر تغییرات مزبور اثر گذار بوده و بر اساس تاثیر این پارامترها می‌توان رودخانه‌ها را به صورت زیر تقسیم بندی نمود، جزییات تعاریف موارد (الف) تا (ر) در راهنمای مطالعات ریخت شناسی رودخانه‌ها ارائه شده است [۱].

- طبقه بندی به لحاظ شکل مسطحه رودخانه

- مستقیم
- پیچانرودی
- شریانی

- طبقه بندی به لحاظ فرآیند انتقال رسوب

- رودخانه رسوب گذار
- رودخانه فرسایشی
- رودخانه پایدار

- طبقه بندی به لحاظ سن رودخانه

- رودخانه جوان
- رودخانه بالغ
- رودخانه پیر
- طبقه‌بندی به لحاظ جریان رودخانه
 - رودخانه دائمی
 - رودخانه غیردائمی (خشکه‌رود)
 - رودخانه فصلی
 - رودخانه جزر و مدی
 - رودخانه میرا
- طبقه‌بندی به لحاظ جنس بستر
 - رودخانه سنگی
 - رودخانه آبرفتی
- طبقه‌بندی بر اساس نوع بار رسوبی در حال حمل
- طبقه‌بندی بر اساس مصالح متشکل جداره رودخانه

۱-۳-۱- طبقه‌بندی براساس نوع بار رسوبی در حال حمل

شوم^۱ (۱۹۶۳)، رودخانه‌ها را براساس حالت غالب حمل رسوبات آن‌ها در سه گروه دسته‌بندی کرده است. معیار این طبقه‌بندی پارامتر M یا درصد حضور مخلوط سیلت و رس در جداره‌های (بستر و کناره‌های) رودخانه می‌باشد.

- رودخانه‌های دارای بار رسوبی بستر ($M \leq 5$)
- رودخانه‌های با بار رسوبی مخلوط ($5 < M < 20$)
- رودخانه‌های با بار رسوبی معلق ($M \geq 20$)

البته ایراداتی به این طبقه‌بندی وارد است. شوم طبقه‌بندی خود را براساس اطلاعات حاصل از تعداد محدودی آبراهه‌های با بستر ماسه‌ای بنا نهاد و چنین فرض کرده که پارامتر M به تنهایی به‌طور کامل حالت انتقال رسوب را معرفی می‌کند. شوم در مرحله بعدی، رودخانه‌ها را به گروه‌های محدودتر، طبقه‌بندی می‌کند. رودخانه‌های فرسایشی^۲ که در آن‌ها بستر رودخانه دائماً در حال فرسایش است و یا پهنای آن به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد. این وضعیت در اثر کمبود بار کل رسوبی^۳ به‌وجود می‌آید. رودخانه‌های پایدار^۴ که در آن‌ها هیچ تغییر یک‌سویه‌ای در شکل مقطع، البته به‌جز تغییرات موقت در ایام سیلابی به‌وجود نمی‌آید. رودخانه‌های رسوب‌گذار^۵ که در آن‌ها ته‌نشینی گسترده رسوبات در بستر و یا در سواحل به‌علت حضور بیش از حد بار رسوبی قابل مشاهده است. جدول (۱-۱) طبقه‌بندی شوم را نشان می‌دهد.

1- Schumm
 2- Eroding Rivers
 3- Total Sediment Load
 4- Stable Rivers
 5- Depositing Rivers

۱-۳-۲- طبقه‌بندی براساس مصالح متشکل جداره رودخانه

از نقطه نظر عملی، یک طبقه‌بندی مناسب برای آبراهه‌ها، صرف‌نظر از مصنوعی یا طبیعی بودن آن‌ها، نوع مصالح موجود در بستر و کناره‌های آبراهه است. جنس این مصالح، عاملی است که بر نوع بار رسوبی در حال حمل، مقاومت در برابر فرسایش و چگونگی تطبیق آبراهه برحسب بده جریان، تاثیر غیرقابل انکاری می‌گذارد. در حقیقت طبقه‌بندی شوم در زمره این نوع طبقه‌بندی است. آبراهه‌ها را در گام نخست بدون تفکیک جداره می‌توان به دو دسته آبراهه‌های موجود در مصالح چسبنده و آبراهه‌های موجود در مصالح غیرچسبنده، تقسیم‌بندی کرد. تقسیمات جزئی‌تر مطابق جدول (۱-۲) می‌باشد. وجه تمایز این گروه‌ها موضوع تازه‌ای نیست براساس نظریه هوارد^۱ (۱۹۸۰) خطوط تمایز آشکاری به‌خصوص مابین آبراهه‌های با بستر صخره‌ای، بستر ماسه‌ای و بستر شنی وجود دارد. هر نوع موارد ذکر شده دارای یک هندسه هیدرولیکی مخصوص به خود است. اغلب رودخانه‌ها را می‌توان دریکی از این سه دسته قرار داد. البته معمولاً مشاهده می‌شود که بستر و کناره‌های آبراهه از مصالح مختلفی تشکیل می‌شود که نمونه بارز آن حضور مصالح چسبنده در تمایز با مصالح غیرچسبنده است.

جدول ۱-۱- طبقه‌بندی رودخانه‌های آبرفتی توسط شوم ۱۵۹

نوع پایداری		نوع حمل رسوبات	%(M)
در حال فرسایش (کمبود بار رسوب)	در حال ته‌نشینی (وجود اضافه بار رسوب)		
عمده فرسایش در بستر رخ می‌دهد. فرسایش اندک در سواحل موجب تعریض رودخانه می‌شود.	عمده ته‌نشینی در سواحل رود رخ داده و موجب کم عرض شدن رودخانه می‌شود. باقی‌مانده در بستر ته‌نشین می‌شود.	بین ۸۵ تا ۱۰۰ درصد بار رسوبات به‌صورت معلق حمل می‌شود.	۱۰۰
فرسایش اولیه در بستر رخ می‌دهد و رودخانه سپس افزایش عرض می‌یابد.	ته‌نشینی عمده اولیه در سواحل رود رخ می‌دهد. ته‌نشینی بعدی در بستر انجام می‌شود.	بار رسوبات به‌صورت مخلوط حمل می‌شود. ۶۵ تا ۸۵ درصد به‌صورت بار معلق و ۱۵ تا ۳۵ درصد به‌صورت بار بستر.	۳۰
فرسایش اندکی در بستر رخ می‌دهد. افزایش عرض رودخانه پدیده غالب است.	ته‌نشینی در بستر رخ می‌دهد و جزایری تشکیل می‌شوند.	بار رسوب بین ۳۵ تا ۷۰ درصد به‌صورت بار بستر حمل می‌شود.	۰

جدول ۱-۲- طبقه‌بندی رودخانه‌ها بر اساس جنس مصالح جداره ۱۵۹

نوع اصلی	نوع فرعی	خصوصیات
A - چسبنده	A ₁ - رودخانه‌های با بستر صخره‌ای	پوشش یکپارچه‌ای از مصالح سخت در بستر موجود نیست. اگر باشد، در طول‌های کوتاه و در مقاطع پرشیب بالادست متمرکز است.
	A ₂ - رودخانه‌های با بستر و جداره‌های سیلتی - رسی	جداره مجرا دارای درصد بالایی از سیلت و رس است که باعث تولید درجات متفاوتی از چسبندگی می‌شود. مقاومت فرسایشی ناشی از نیروهای بین ذره‌ای است.
B - غیرچسبنده	B ₁ - رودخانه‌های با بستر ماسه‌ای	مجاری با بستر متحرک از مصالح ماسه‌ای درشت‌دانه تشکیل یافته و توسط بده‌هایی با اندازه‌های مختلف حمل می‌شود.
	B ₂ - رودخانه‌های با بستر شنی	مجاری با بستر شنی درشت‌دانه یا قلوه سنگی که تنها توسط بده‌های بزرگ حمل می‌شوند.
	B ₃ - رودخانه‌های با بستر تخته سنگی	مجاری با بستر متشکل از ذرات درشت‌دانه (بزرگ‌تر از ۲۵۶ میلی‌متر) که به‌ندرت حرکت می‌کنند و در نهایت خواص آن‌ها به‌سوی تیپ A ₁ میل می‌کند.

۴-۱- هندسه رودخانه و فرآیندهای حاکم بر آن

عبارت «فرآیندهای کانال رودخانه»^۱ به طور کلی به تغییرات طبیعی هندسه رودخانه شامل شکل پلان، مرزهای مقطع عرضی، نیمرخ طولی و شکل بستر اطلاق می‌شود.

۴-۱-۱- شکل‌های پلان

شکل‌های پلان رودخانه به طور عمده به سه دسته شریانی، پیچانرودی و مستقیم تقسیم می‌شوند، البته تعداد قابل توجهی از شکل‌های پلان طبیعی توسط دانشمندان مهندسی رودخانه تشخیص داده شده‌اند. جدول (۳-۱) یک مجموعه گسترده از شکل‌های پلان با توصیفات و شرایط محیطی مربوط را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱- انواع شکل پلان رودخانه [۴۹]

شکل ظاهری کانال	نوع کانال	شرایط محیطی	نوع مواد بستر و کناره
الف ب	الف- پیچان‌رودهای مارپیچ منظم ب- پیچان‌رودهای سینوسی منظم	دشت دریاچه‌ای (دشتی که بر اثر از بین رفتن یک دریاچه در محل آن بوجود می‌آید).	مواد چسبنده یکنواخت
	پیچان‌رودهای پیچ‌پیچ بدون کانال میانبر	جریان نامتجانس در نهشته‌های یخچالی	مواد چسبنده یکنواخت
	پیچان‌رود پیشرو به سمت پایین دست	جریان تشکیل شده از ذوب برقیاب در نهشته‌های ماسه‌ای	مشکل از دو لایه (یک لایه نازک از مواد چسبنده روی نهشته‌های ماسه‌ای قرار گرفته است).
	پیچان‌رودهای نامحدود با دریاچه‌های هلالی	دلتهای ماسه‌ای تارسی و سیلاب‌دشت‌های آبرفتی	مشکل از دو لایه (یک لایه نازک از مواد چسبنده روی نهشته‌های ماسه‌ای قرار گرفته است).
	پیچان‌رودهای محدود شده	لایه چسبنده فوقانی و لایه زیرین ماسه‌ای محدود به دیوارهای شیبدار از طرفین	مشکل از دو لایه (یک لایه نازک از مواد چسبنده روی نهشته‌های ماسه‌ای قرار گرفته است).
	پیچان‌رودهای خندقی	دیواره‌های سنگی بلند	یخرفت، سنگ، تخته‌سنگ نرم
	پیچان‌رود در پیچان‌رود (پیچان‌رودهای بزرگ متشکل از پیچان‌رودهای کوچک‌تر)	جریان‌های نامتجانس در کانال‌های یخرفتی بزرگ	مواد چسبنده
	پیچان‌رودهای سینوسی نامنظم	یخرفت‌های نازک روی دشت‌های سنگی	مواد سخت و نرم
	پیچان‌رودهای سرگردان	دره‌های کوهستانی و تپه ماهوری	قلوه‌سنگ با روکش ماسه
	رودخانه‌های پیوندی	رودخانه‌های با بستر شنی و ماسه‌ای قرار گرفته در نواحی تپه ماهوری	شن و ماسه

ادامه جدول ۱-۳- انواع شکل پلان رودخانه [۱۴۹]

شکل ظاهری کانال	نوع کانال	شرایط محیطی	نوع مواد بستر و کناره
	رودخانه‌های شریانی	توده‌های یخچالی و نواحی تپه ماهوری	شن و ماسه
	رودخانه‌های دو بخشی	مخروطه‌افکنه	شن، ماسه و رس
	شکاف نامنظم رودخانه	رودخانه‌های بزرگ تشکیل یافته در سنگ بستر	تعویض متناوب جنس مصالح از شن و ماسه و سنگ
	رودخانه‌های با الگوی مستطیلی	تخته‌سنگ‌های شکافته که اغلب با رسوب‌گذاری مواد سنگی به صورت سطح درآمده	سنگ
	دریاچه‌ها و خیزاب‌ها	یخرفت با پوشش عوارض طبیعی زمین	یخرفت، قلوه‌سنگ، تخته سنگ و سنگ سخت

به‌طور کلی قانون‌مند نمودن رابطه بین شکل پلان و سایر پارامترهای هندسی رودخانه امری مشکل است و نتایج تجربی به‌دست آمده از مشاهدات معمولاً کلی بوده و قابل تعمیم به تمام موارد نمی‌باشد. به‌عنوان مثال براساس مشاهدات می‌توان گفت، رودخانه‌های شریانی معمولاً پهن و کم عمق می‌باشند و یا برای پیچان‌رودها و جابجایی آن‌ها شکل پلان سینوسی پیش‌بینی می‌شود در حالی که پیچان‌رودهای توسعه یافته یک فرآیند متناوب از قطع کمر بند پیچان‌رودی با کانال میانبر را از خود نشان می‌دهند.

۱-۴-۲- مقطع عرضی

به‌طور کلی شکل مقطع عرضی رودخانه به عواملی مثل بده، شیب، رسوب ورودی، جنس مصالح بستر و کناره و شرایط پوشش گیاهی کناره‌ها بستگی دارد. تحت شرایط طبیعی (شرایطی که بازه مورد مطالعه دست نخورده بوده و تعرضات انسانی و حیوانی آن را متأثر نکرده است) مقطع عرضی متوسط در طول یک دوره زمانی زیاد تغییر نمی‌کند و فقط ممکن است در سیلاب‌های شدید به‌طور موقتی تغییر کند. روند توسعه یا کاهش مقطع معمولاً نتیجه تغییرات بده یا رسوب ورودی و یا اعمال طراحی‌های مهندسی در بالادست یا پایین دست می‌باشد. به‌طور کلی تغییر پذیری مقطع عرضی از یک نقطه تا نقطه دیگر در طول کانال به فاکتورهای زیادی بستگی دارد و مقدار آن ممکن است در کانال‌های نسبتاً مستقیم پایدار، کم باشد و در کانال‌های با شکل پلان پیچیده و نسبتاً فعال، زیادتر باشد. به‌عنوان مثال با در نظرگیری شرایط طبیعی (و نه شرایط مصنوعی از قبیل ساخت سد) در کانال کمابیش مستقیم، پدیده کاهش مقطع عرضی ممکن است در نتیجه رسوب‌گذاری روی کرانه‌های مقطع و افزایش پایداری آن‌ها به‌وسیله پوشش گیاهی اتفاق بیفتد. درحالی که در یک کانال پیچان‌رودی، کاهش مقطع وقتی اتفاق می‌افتد که رسوب‌گذاری روی کناره داخلی از فرسایش در کناره خارجی تجاوز کند [۱۴].

بعد از انجام محاسبات هیدرولیکی و محاسبه نیم‌رخ سطح آب، بررسی تغییرات مقطع عرضی و پیش‌بینی مقطع پایدار از اهمیت زیادی برخوردار است. پیش‌بینی می‌شود که مقطع عرضی متوسط در طول یک بازه تحت شرایط کم آبی و سیلابی مشابه باشد. البته در بعضی موارد ممکن است مقاطع با تغییر تراز سطح آب دچار تغییرات بنیادی شوند. برای مثال چاله‌های فرسایشی و کمر بندها در کانال‌های پیچان‌رودی معمولاً در سیلاب‌ها عمیق هستند درحالی که محل‌های تغییر انحنا (گذرگاه‌های مستقیم) میل دارند که کم

عمق باشند. وقتی نیمرخ سطح آب با استفاده از روش‌های محاسباتی استاندارد و در نظرگیری شرایط مرزی ثابت محاسبه می‌شود، لازم است قابلیت پویایی مرزها نیز مورد توجه قرار گیرد و اگر لازم است آنالیز حساسیت انجام شود.

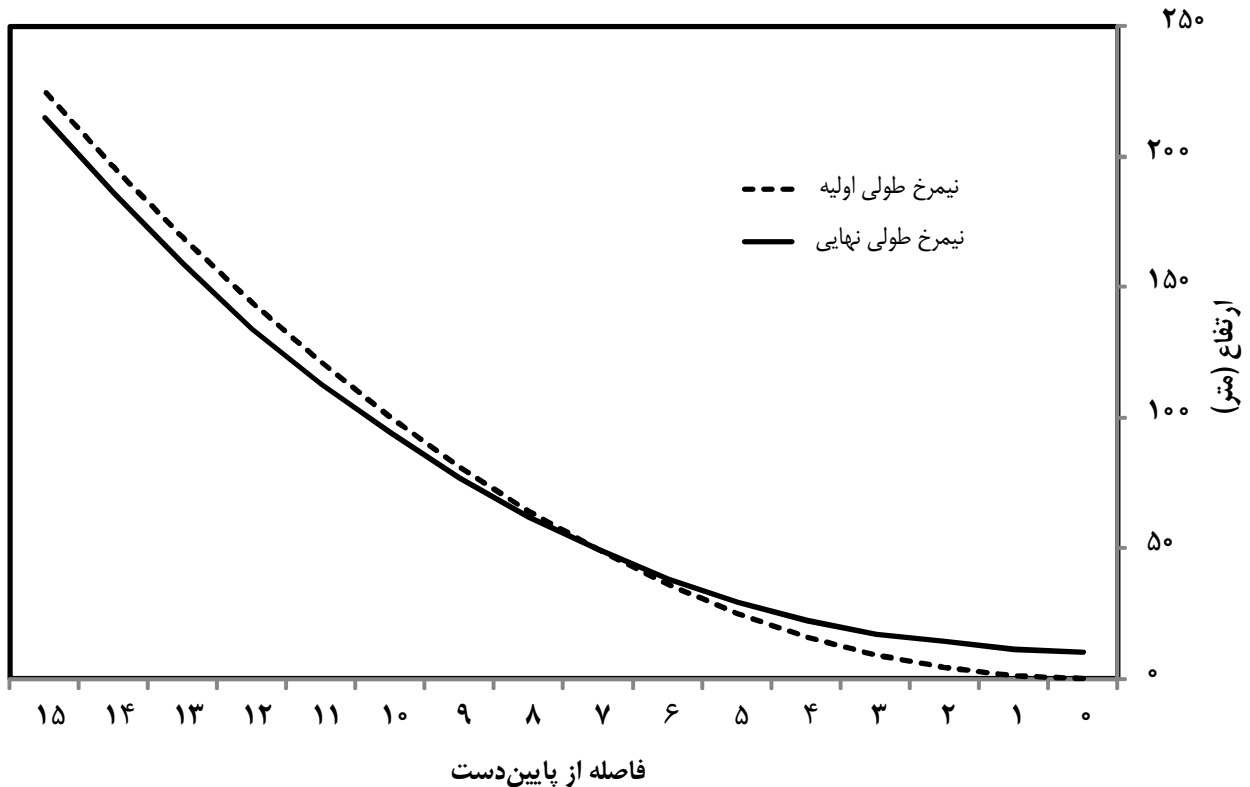
مشکلات هیدرولیکی مقاطع ناپایدار با افزایش جریان در طرح‌های ساماندهی رودخانه و کنترل سیلاب نظیر احداث گوره در دو طرف کانال، افزایش می‌یابد. اگر کانال در موقعیت طبیعی پایدار خود باقی بماند، در بیش‌تر موارد بعد از گذشت زمان مقطع عرضی تحت فرسایش ناشی از افزایش بده توسعه پیدا می‌کند و در نتیجه نیمرخ سطح آب محاسباتی، پایین‌تر از نیمرخ قرار می‌گیرد که با شرایط موجود محاسبه شده است. از سوی دیگر اگر در یک پروژه طراحی حفاری و توسعه کانال و تعریض مقطع در نظر گرفته شده باشد، در بیش‌تر موارد با گذشت زمان مقطع عرضی دچار رسوب‌گذاری شده و تراز نیمرخ سطح آب بالاتر از سطحی قرار می‌گیرد که با شرایط موجود محاسبه می‌شود. یک اشتباه رایج در طراحی کانال برای پروژه‌های مهندسی رودخانه، افزایش مقطع عرضی به منظور عبور سیلاب‌های نادر می‌باشد. لذا اگرچه حفاری و لایروبی یک روش رایج طراحی در پروژه‌های کنترل سیلاب می‌باشد، تجربه نشان داده است که این روش دارای مشکلات حفاظت و نگهداری می‌باشد [۷۲].

۱-۴-۳- نیمرخ طولی

شیب رودخانه معمولاً از سرچشمه تا مصب به‌طور تدریجی کاهش می‌یابد. گاهی به‌واسطه عوارض زمین‌شناسی و عوامل دیگر شیب کانال به‌صورت ناگهانی تغییر می‌کند، پاسخ کانال به چنین شرایطی، یک سلسله از فرسایش و رسوب‌گذاری‌ها در جهتی که شرایط پایداری کانال احیا شود، می‌باشد. به‌عنوان مثال شیب در بالادست یک برآمدگی در بستر کاهش می‌یابد و یا در پایین‌دست یک شاخه فرعی که بخشی از رسوبات را منتقل می‌کند، شیب افزایش می‌یابد.

به همین دلیل است که گفته می‌شود، شیب بستر رودخانه از عوامل بسیار مهم در تغییر شکل پلان رودخانه است و برای بده مفروض، شکل پلان رودخانه به‌وسیله شیب تعیین می‌شود. به‌طور کلی، نیمرخ طولی کانال در طول زمان به‌واسطه فرسایش در بالادست و رسوب‌گذاری در پایین‌دست گرایش به مسطح شدن دارد (شکل ۱-۲). اگرچه در اکثر رودخانه‌های طبیعی روند کاهش شیب به‌قدری کند است که در مطالعات تاثیرگذار نمی‌باشد، لیکن از آن‌جا که تفسیر تغییرات در یک تناوب تاریخی صورت می‌گیرد، این روند کاهش شیب می‌تواند دارای اثر قابل توجهی باشد.

فرآیندهای طبیعی حاکم بر نیمرخ طولی کانال به‌واسطه کارهای مهندسی تحت تاثیر قرار می‌گیرند به‌عنوان مثال در بالادست یک سد در مقایسه با حالت طبیعی احتمال رسوب‌گذاری یا تراز افزایشی وجود دارد، درحالی‌که در پایین‌دست یک سازه تله انداز رسوب کاهش تراز یا فرسایش مورد انتظار است و یا یک فرآیند رایج در کانال‌های کانالیزه شده شامل پیشرفت فرسایش در بالادست و رسوب‌گذاری در پایین‌دست می‌باشد.


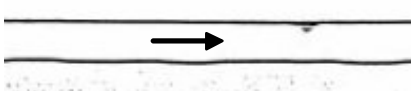

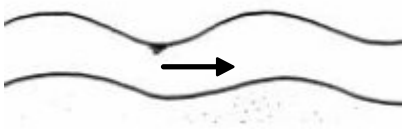

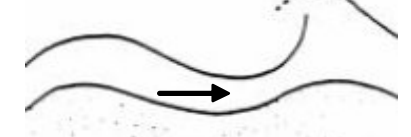
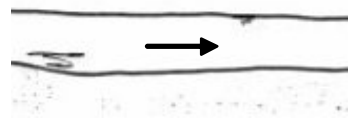
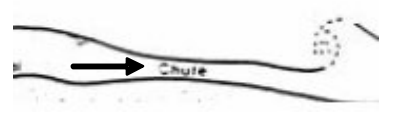


شکل ۱-۲- نیمرخ طولی و جهت تغییرات آن در طول زمان

۱-۴-۴- شکل بستر

شکل بستر و زبری هیدرولیکی کانال‌های طبیعی ممکن است در طول کانال به شدت تغییر کند. زبری هیدرولیکی نهایی از ترکیب زبری ناشی از دانه‌بندی و زبری ناشی از شکل عوارض بستر حاصل می‌شود. زبری شکل به‌واسطه نامنظمی در بستر و کناره و تغییرات در شکل پلان افزایش می‌یابد. در کانال‌های ماسه‌ای فعال، شکل‌های بستر ممکن است از دندانه‌های کوچک تا تلماسه‌ها و امواج و نهشته‌های بلندتر تغییر کند (شکل ۱-۳). این شکل‌ها به شرایط جریان بستگی دارد و اساساً زبری هیدرولیکی بستر را کنترل می‌کند. شاید بتوان یک علت اصلی تغییرات غیر قابل پیش‌بینی بده - اشل رودخانه‌های آبرفتی را تغییرات شکل بستر عنوان نمود. به‌عنوان مثال در رودخانه‌های ماسه‌ای با شیب تند و نرخ انتقال رسوب بالا وقتی کانال دستخوش یک افزایش در تراز سیلابی می‌شود، کاهش زبری ناشی از شسته شدن شکل‌های بستر سبب بروز تغییرات ناگهانی در منحنی بده - اشل می‌شود. کانال‌های شکل گرفته در رسوبات درشت‌دانه‌تر شکل‌های پایدارتر و نسبتاً متفاوت‌تری در مقایسه با رودخانه‌های ماسه‌ای دارند و در آن‌ها عامل تعیین‌کننده زبری هیدرولیکی، دانه‌بندی مصالح تشکیل‌دهنده می‌باشد. در رودخانه‌های شنی، شکل غالب عوارض بستر تناوب بین استخرها و خیزاب‌ها می‌باشد. استخرها به‌وسیله شیب‌های مسطح‌تر و مواد ریزدانه‌تر و خیزاب‌ها به‌واسطه شیب‌های تندتر و مواد درشت‌دانه‌تر مشخص می‌شوند.

از عوامل مهم دیگر ایجاد زبری می‌توان پوشش گیاهی کناره، سازه‌های محافظت کناره، موانع موجود در سیلابدشت، بیرون زدگی سنگ بستر، چاله‌های فرسایشی و تغییرات ناگهانی در مقطع عرضی را نام برد.

شرایط جریان زیر بحرانی	شرایط جریان فوق بحرانی
	
دندانه	بستر صاف
	
تلماسه همراه با دندانه	پاد تلماسه، امواج پایدار
	
تلماسه	پاد تلماسه، امواج شکننده
	
ناپدید شدن تلماسه	سرسره و استخر

شکل ۱-۳- انواع شکل‌های بستر در رودخانه‌های ماسه‌ای [۲]

فصل ۲

مطالعات لازم برای تعیین شکل

هندسی مقطع و راستای بهینه

رودخانه

۲-۱ - جمع‌آوری و تولید اطلاعات

ارزیابی پایداری کانال نیازمند جمع‌آوری اطلاعات مربوط به حوضه آبریز رودخانه و بازه مورد مطالعه می‌باشد. بدیهی است اطلاعات جمع‌آوری شده در هر پروژه، بسته به ابعاد پروژه، زمان و منابع در دسترس ممکن است با نظر کارشناسی فقط بخشی از اطلاعات قید شده در زیر را پوشش دهد.

۲-۱-۱ - سابقه تاریخی

در ارزیابی یک سامانه، چگونگی سابقه تاریخی آن که ممکن است پایداری و ریخت‌شناسی آن را تحت تاثیر قرار دهد از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. به طوری که در بعضی از نواحی مشخصات فعلی جریان نتیجه سابقه تاریخی گذشته آن می‌باشد. البته جمع‌آوری مستندات سابقه تاریخی رودخانه کار مشکلی است. به هر حال مقایسه نقشه‌های تاریخی، عکس‌های هوایی و زمینی و تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند راهنمای مناسبی محسوب گردد به خصوص هنگامی که تغییرات قابل توجهی در رودخانه رخ داده است و حتی ممکن است که این امکان وجود داشته باشد که از این طریق اطلاعاتی راجع به علت این تغییرات به دست آید.

اطلاعات تاریخی، هم مربوط به محدوده مورد بررسی مورد نیاز است و هم مربوط به حوضه بالادست آن. برخی از موارد قابل توجه در این زمینه را می‌توان به صورت زیر لیست نمود:

- تغییرات قابل توجه در کاربری اراضی (این تغییرات غالبا با تغییر بده جریان و رسوب، رودخانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد).
- اطلاعات سیلاب‌های تاریخی بزرگ که در ایستگاه‌های هیدرومتری ثبت شده است
- انحرافات قبلی به داخل یا خارج رودخانه برای کنترل سیلاب، آبیاری و اهداف دیگر
- اطلاعات مربوط به تعمیر و بهسازی مقطع عرضی پل‌ها و سایر سازه‌های موجود در مسیر رودخانه
- اطلاعات با ترتیب تاریخی آن‌ها می‌تواند در جداولی ثبت شود. برخی از منابع پیشنهادی برای استخراج اطلاعات تاریخی عبارتند از:
 - گزارش‌ها و مطالعات قبلی
 - عکس‌های هوایی قدیم و جدید
 - نقشه‌های توپوگرافی
 - تحلیل تصاویر ماهواره‌ای
 - آمار سیلاب‌ها و بارندگی‌های تاریخی
 - آمار ایستگاه‌های هواشناسی
 - نقشه‌های کاربری اراضی

۲-۱-۲ - تفسیر نقشه‌ها، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای

نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های مختلف می‌توانند نشان‌دهنده طبیعت حوضه آبریز، شکل پلان و وضعیت سیلابدشت و پارامترهای فیزیوگرافی حوضه باشد. نقشه‌های تاریخی می‌تواند برای بررسی تغییرات شکل پلان مورد استفاده قرار گیرد. نیمرخ‌های طولی و شیب‌های تقریبی نیز از طریق نقشه‌های توپوگرافی قابل استخراج می‌باشند. بدیهی است برای رودخانه‌های نواحی کوهستانی و نیز سرشاخه‌ها نیاز به نقشه‌های توپوگرافی با دقت بالاتر می‌باشد.

عکس‌های هوایی، کاربردی‌ترین ابزار سنجش از دور برای مطالعه رودخانه و تغییرات آن محسوب می‌شوند و شاید محدودیت استفاده از آن‌ها، در نواحی کوهستانی با پوشش جنگلی زیاد می‌باشد زیرا در این نواحی عوارض مورفولوژیکی با پوشش گیاهی پوشانده می‌شود. عکس‌های هوایی امکان بررسی محدوده‌های فرسایش‌پذیر، رسوب‌گذار و همچنین موقعیت و شکل پلان را در زمان‌های مختلف می‌دهند.

کیفیت عکس‌برداری و مناسب بودن مقیاس عکس‌ها در تاریخ‌های مختلف متفاوت است. در حالت کلی مقیاس‌های ۱/۱۰۰۰۰ تا ۱/۳۰۰۰۰ بسیار مناسب می‌باشند. مفسران تجربی معمولاً از یک دستگاه استروسکوپ جیبی برای دیدن استفاده می‌کنند. تصاویر ماهواره‌ای نیز به‌طور کلی از سال ۱۳۵۱ به بعد در دسترس می‌باشند و برای بررسی مشخصات حوضه و تغییرات کاربری اراضی بسیار سودمند هستند. دقت پایین تصاویر ماهواره‌ای قبلی استفاده آن‌ها را برای مطالعات محدود می‌کند. با استفاده از نرم افزارهای GIS و RS مهندسی و محققین قادر خواهند بود که تحلیل‌های جزئی‌تر از تغییرات کاربری اراضی حوضه، تشکیل نهشته‌های رسوبی، فرسایش کناره‌ها، مهاجرت پیچانرود و تغییرات عرض سیل‌گیر انجام دهند و در نتیجه با دسترسی به یک بانک اطلاعاتی سازمان یافته امکان تحلیل‌های چند گانه نیز وجود دارد. به هر حال تصویر خواه با ماهواره تهیه شده باشد و یا اسکن یک عکس هوایی باشد می‌تواند با یک نقشه مشخص زمین مرجع شود و در یک لایه GIS قرار گیرد. توانایی تحلیل بانک اطلاعاتی و روی هم اندازی لایه‌های مختلف، این امکان را ایجاد می‌نماید که با اطمینان بالاتری تصمیم‌گیری شود. در واقع روش‌های دستی پلانیمتری تحلیل رودخانه با تکنولوژی GIS و سنجش از دور تکمیل و جایگزین شده است.

۲-۱-۳- بازدید صحرائی

در ارزیابی پایداری یک حوضه مشاهدات صحرائی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. بازدید صحرائی باید پس از بازنگری نقشه‌ها و عکس‌های هوایی موجود صورت گیرد و ممکن است در مراحل بعدی نیاز به بازدیدها و بررسی‌های بیش‌تری باشد. بازدید می‌تواند هم به صورت زمینی و در مناطقی که امکان بازدید زمینی وجود ندارد به صورت هوایی انجام شود. بدیهی است در هر بازدید ثبت عوارض و رویدادهای مهم توسط دوربین عکاسی یا فیلم‌برداری و نیز یادداشت برداری از اهمیت شایان توجهی برخوردار است. حاشیه‌نویسی و شماره‌گذاری عکس‌ها جهت تحلیل‌های بعدی و شناخت عوارض بسیار سودمند می‌باشد.

بازدید باید توسط متخصصین در زمینه هیدرولیک رودخانه‌ها و مشکلات پایداری انجام شود. بازدید اصلی بهتر است در مواقع کم آبی یا جریان متوسط که بستر و کناره‌ها به آسانی دیده می‌شوند صورت گیرد از این رو در نواحی سردسیر بازدید اصلی در فصول گرم که کانال با یخ و برف پوشیده نشده است، باید صورت گیرد. در مواقعی نیاز به بررسی و بازدید در مواقع سیلابی نیز احساس می‌شود. مشاهدات صورت گرفته در محل مقطع عرضی پل‌ها برای توجیه پایداری زیاد قابل اعتماد نیستند. گاهی اوقات ممکن است ناپایداری هیدرولیکی ایجاد شده توسط پل‌ها در طول زمان صورت گیرد. همچنین در بسیاری نمونه‌ها جانمایی پل به لحاظ پوشش مقطع هیدرولیکی و نیز مهاجرت پیچانرود جایگاه مناسبی نمی‌باشد.

۲-۱-۴- عوارض و نقاط کلیدی

برخی از عوارض کلیدی که در بازدید صحرائی باید مورد توجه ویژه قرار بگیرند به شرح زیر می‌باشد. البته این موارد همه عوارض را پوشش نمی‌دهد و در برخی نمونه‌های مطالعاتی خاص نیاز به در نظرگیری فاکتورهای دیگری نیز می‌باشد.

- حوضه بالادست
- کناره‌ها و شکل پلان رودخانه
- نیمرخ طولی کانال
- نیمرخ سطح آب و هیدرولیک جریان
- بازه پایین دست
- عمومی: عکس‌های هوایی، شاهدان سیلاب‌های گذشته، اثر تجاوزات قبلی به بستر و حریم رودخانه و

۲-۱-۴-۱- شرایط حوضه بالادست

- توپوگرافی، نوع خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و تغییرات مداوم رودخانه
- نواحی فعال از نظر فرسایش و رسوب‌گذاری و نیز منابع رسوبی باید مورد توجه قرار گیرد، همچنین تشخیص نوع فرسایش ورقه‌ای، خندقی، شیاری و غیره حایز اهمیت است
- سامانه‌های آبیاری و زهکشی و انحرافات جریان
- ناپایداری در محل شاخه‌های فرعی
- عوامل کنترل کننده زمین ریخت‌شناسی همچون پشته‌ها و خندق‌ها

۲-۱-۴-۲- کناره‌ها و شکل پلان رودخانه

- عوامل کنترل کننده سازه‌ای و زمین‌شناسی بر روی مهاجرت رودخانه: دیواره‌های دره، چینه‌های سنگی و رسی، پل‌ها، سدها و ...
- فرآیندهای مهاجرت و جابجایی رودخانه: پیچانرودی شدن، کانال میانبر، شریانی و چند شاخه شدن و ...
- خاک کناره و چینه‌شناسی آن: ترکیب، توزیع دانه‌بندی، لایه‌بندی و ...
- گسیختگی و فرسایش کناره: شرایط، علل و مکانیسم‌ها
- شرایط نشت و زهکشی به‌خصوص بعد از جریان‌های بزرگ: آبگیرهای مجاور، شیوه‌های آبیاری و زراعت
- انواع و شدت پوشش گیاهی و سامانه‌ی ریشه‌های آن‌ها در کناره‌ها و سیلابدشت و اهمیت آن‌ها برای جلوگیری از فرسایش، پایداری شیب، زبری هیدرولیکی، تله اندازی رسوبات، جابجایی رودخانه و ... (سن و سابقه تاریخی پوشش گیاهی کناره گاهی اوقات می‌تواند مبین نرخ جابجایی و ارتفاع سیلاب باشد).
- در نواحی سردسیر: اثر یخ روی کناره‌ها و پوشش گیاهی و اثر آب شدن یخ
- عملیات حفاظت کناره که در حال حاضر و یا در گذشته انجام شده است و تا چه حدی این تمهیدات دچار خرابی و آسیب شده و علت آن چه بوده است
- شرایط سیلابدشت: خاکریزهای طبیعی و مصنوعی، موانع جریان، وجود و یا عدم وجود پوشش گیاهی، زبری هیدرولیکی، محل‌های آبیگری یا ورود جریان و ...

۲-۱-۳-۴- بستر و نیمرخ طولی کانال

- کنترل‌های نیمرخ: پشته‌ها، آبشارها، نواحی شکاف و شکستگی، زیرگذرها، سرریزها، سدها و ...
- نامنظمی بستر جریان: گودال‌های فرسایشی، اشکال بستر آبرفتی و ...
- وضعیت، شکل و توزیع دانه‌بندی نهشته‌های رسوبی در طول کانال
- ضخامت بستر فعال در جایی که گمانه زنی و حفاری به لایه‌های زیرین امکان‌پذیر می‌باشد
- بزرگ‌ترین دانه‌ای که در سیلاب‌های قبلی جابجا شده، شدت نرخ انتقال بار بستر در جریان‌های معمولی و یا در شرایط سیلابی
- وقوع تراز کاهی: محل شاخه‌های فرعی، پایه‌های پل، زیر شویی کناره‌های رودخانه و ...
- وقوع تراز افزایشی: زیر آب رفتن خاکریزها، موانع در طول کانال و دهانه‌های آبگیر مدفون در رسوبات

۲-۱-۴-۴- هیدرولیک جریان و نیمرخ سطح آب

- تاریخ‌های محتمل و داغاب سیلاب‌های اخیر
- داغاب آب به‌جا مانده ناشی از بالا آمدن و پایین رفتن سطح آب در اطراف پایه‌های پل
- تجمع و انسداد واریزه‌ها
- عکس‌های موضعی و شواهد توصیفی از شرایط سیلابی
- سرعت‌های تقریبی به هنگام مشاهده
- زبری هیدرولیکی تخمین زده شده براساس تجربه عمومی (به منظور تایید مقادیر محاسباتی به‌دست آمده)

۲-۱-۴-۵- بازه‌های بالادست و پایین‌دست

شرایط کانال در بعضی فواصل بالادست و پایین‌دست ناحیه مورد مطالعه با توجه کافی به عوارضی که احتمالاً در طراحی‌های مهندسی تاثیرگذار می‌باشند و یا در خطر تغییرات احتمالی تحت تاثیر طراحی‌ها می‌باشند، باید مورد بررسی و بازدید قرار بگیرد.

۲-۱-۵-۱- نقشه‌برداری کانال اصلی و سیلابدشت

۲-۱-۵-۱- توپوگرافی

نقشه‌های توپوگرافی و فتوگرامتری به منظور تهیه خطوط تراز، مقاطع عرضی شامل مجرای اصلی و سیلابدشت و نیمرخ‌های طولی، نیاز اولیه هر پروژه مطالعاتی و اجرایی می‌باشند. توجه به یکسری نکات می‌تواند کاربرد اطلاعات نقشه‌برداری برای ارزیابی پایداری را بهبود ببخشد.

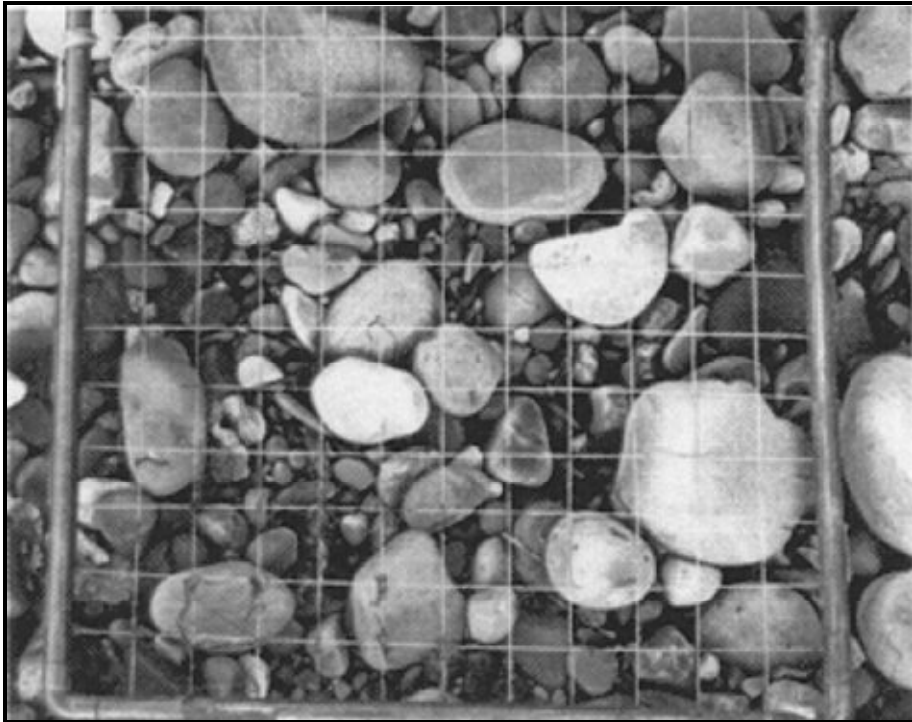
- مقاطع عرضی بهتر است نمایانگر تغییرات عمده در پوشش گیاهی، تغییرات در لایه‌بندی خاک کناره، پوشش‌های حفاظتی کناره، تراز آب در هنگام نقشه‌برداری و داغاب مشاهداتی باشند. موقعیت مقطع در پلان از این نظر که در بازه مستقیم یا پیچان قرار گرفته است، مشخص باشد. اگر عکس‌های هوایی اخیر محدوده مطالعاتی در دسترس باشند از آن‌ها نیز می‌توان جهت تعیین موقعیت مقطع استفاده نمود.

- در نیمرخ طولی موقعیت سازه‌های عرضی، تغییرات ناگهانی شیب و نیز ورود یا خروج شاخه‌های فرعی نشان داده شود.
- فواصل نشان داده شده در نیمرخ جریان تک شاخه باید در طول خط مرکزی اندازه‌گیری شده باشد. در رودخانه‌های چند شاخه یا شریانی، کانال اصلی باید مورد توجه قرار بگیرد. در سامانه‌های کاملاً شریانی معمول است که در طول مرکز مسیر شریانی اندازه‌گیری‌ها انجام شود. اساس و شیوه اندازه‌گیری فواصل باید به‌طور کامل شرح داده شود. نقاط ثابت مانند محل تقاطع جاده‌ها، پل‌ها و ورودی شاخه‌های فرعی باید نشان داده شود.

۲-۱-۵-۲- مواد و مصالح

نمونه‌برداری از مواد بستر و کناره به منظور استخراج منحنی دانه‌بندی و سایر خصوصیات مواد تشکیل دهنده مورد نیاز است. موقعیت و فراوانی محل‌های نمونه‌برداری باید بر پایه بازدیدهای صحرائی و تفسیر عکس‌های هوایی انتخاب شده باشد. در رودخانه‌های درشت‌دانه به علت درشتی دانه‌ها نمونه‌برداری و جمع‌آوری دامنه مطلوب دانه‌ها میسر نبوده و دقت مناسبی را ارائه نمی‌کند. یک راه حل تهیه عکس از سطح بستر با استفاده از شبکه سیمی و تحلیل عکس و استخراج توزیع دانه‌بندی می‌باشد (شکل ۱-۲) در صورتی که مواد سطحی و زیرسطحی یکسان باشند توزیع دانه‌بندی به‌دست آمده از این روش معادل توزیع روش حجمی معادل می‌باشد [۳۷]. البته در بعضی رودخانه‌های درشت‌دانه توزیع دانه‌بندی لایه سطحی و زیرسطحی به‌واسطه اثر مسلح‌سازی کاملاً متفاوت می‌باشند. پدیده آرمورینگ^۱ در رودخانه‌هایی که در آن‌ها بستر تقریباً غیرفعال است، نسبت به رودخانه‌هایی که در آن‌ها نرخ انتقال رسوب بستر قابل توجه است محتمل‌تر می‌باشد. در صورت چنین حالتی بهتر است از مواد لایه زیر سطحی نمونه‌های حجمی تهیه شود که اندازه‌های بزرگ را نیز پوشش دهد.

در رودخانه‌هایی که در مواد نسبتاً ریزدانه شکل گرفته‌اند در فواصل مشخص ضخامت لایه فعال از طریق میله‌های فلزی قابل محاسبه است. چنین محاسباتی به‌ویژه در محاسبه پتانسیل فرسایش بستر بسیار ارزشمند می‌باشند. در بعضی نمونه‌ها برای محاسبه ضخامت لایه رسوبی نیاز به روش‌های ژئوفیزیکی می‌باشد. در برخی حالات که روش‌های غیر مستقیم برای بررسی لایه‌بندی میسر نیست، گمانه زنی و حفاری پیشنهاد می‌شود.



شکل ۲-۱- روش عکس برداری از رودخانه‌های شنی با شبکه سیمی به منظور استخراج دانه بندی [۱۷۲]

۲-۱-۵-۳- فرسایش و گسیختگی کناره

مشخصات کلی مربوط به فرسایش و گسیختگی کناره‌ها در باز دیده‌های صحرایی ثبت خواهد شد. در بعضی حالات نیاز به بررسی بیش‌تر مکان‌های فرسایش‌پذیر و ثبت شدت فرسایش‌پذیری خاک کناره، ارتفاع و شیب آن می‌باشد.

۲-۱-۶- داده‌های جریان

داده‌های جریان قسمت اساسی تحلیل پایداری کانال می‌باشند. داده‌های مورد نیاز شامل بده‌های ثبت شده، روابط بده با دوره بازگشت‌های مختلف، منحنی تداوم جریان و روابط بده-اشل می‌باشند. داده‌های جریان معمولاً در ایستگاه‌های هیدرومتری ثبت می‌شوند. به هر حال استفاده از مثلاً منحنی بده-اشل در ایستگاه آب‌سنجی، در طول مقاطع دیگر از بازه از دقت قابل قبولی برخوردار نمی‌باشد. در حوضه‌های فاقد ایستگاه اندازه‌گیری تخمین بده از روش مقایسه و شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و یا مدل‌سازی حوضه به‌دست می‌آید. در پروژه‌های کنترل سیلاب کوچک، فقدان داده‌های جریان امکان تحلیل پایداری را محدود می‌کند.

۲-۱-۶-۱- بده ثبت شده

توالی تاریخی مقادیر حداکثر بده سالانه برای توجیه و تفسیر بررسی‌ها و باز دیده‌های صحرایی بسیار سودمند می‌باشد. به‌خصوص در حوضه‌های کوچک باید به حداکثر سیلاب لحظه‌ای به جای بده حداکثر روزانه توجه شود. اگر طی سال‌های متمادی سیلاب بزرگی وجود نداشته باشد، ممکن است به غلط پایداری بلند مدت رودخانه تعبیر شود. از طرف دیگر یک سیلاب خیلی بزرگ اخیر ممکن است سبب تصور ناپایداری شدید رودخانه شده و منجر به برداشت اغراق‌آمیز از ناپایداری بلندمدت آن شود.

۲-۱-۶-۲- روابط سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف

برون‌یابی بده‌های متناظر با دوره بازگشت‌های خیلی بزرگ‌تر از بده‌های ثبت شده دوره آماری سبب ایجاد خطای قابل ملاحظه‌ای در تحلیل‌ها خواهد شد. بهتر است که از روی این روابط دوره بازگشت متناظر با بده مقطع پر استخراج شود. در صورتی که دوره بازگشت به دست آمده خارج از محدوده ۱ تا ۵ سال قرار گیرد، آمار هیدرولوژی ثبت شده نیاز به بازنگری دارد.

۲-۱-۶-۳- روابط تداوم جریان

رابطه تداوم جریان در ارزیابی چگونگی حرکت مواد بستر در کنار یک تحلیل آستانه حرکت بسیار سودمند خواهد بود. همان‌طور که در بخش ۲-۱-۲-۱ توضیح داده شد، یکی از کاربردهای این روابط محاسبه بده موثر جریان می‌باشد. همچنین این روابط در محاسبه مقادیر بده‌های شاخص همچون بده عادی، بده میانه و بده نرمال بسیار سودمند خواهند بود.

۲-۱-۶-۴- روابط بده-اشل

به منظور تحلیل کمی پایداری رودخانه‌ها به رابطه بده-اشل قابل اعتماد در طول بازه موردنظر نیاز می‌باشد. یک رابطه بده-اشل نادرست می‌تواند کاملاً گمراه کننده باشد. در ایستگاه‌هایی که مقادیر اشل در زمان‌های مختلف برای مقادیر ثابت بده ثبت شده می‌توان روابط بده اشل را با توالی تاریخی توسعه داد. در مواقعی که داده ثبت شده مناسب وجود ندارد، روابط بده اشل با تحلیل جریان غیر یکنواخت با استفاده از نرم‌افزار Hec-Ras یا نرم‌افزارهای مشابه و یا تحلیل جریان یکنواخت با استفاده از داده‌های مقطع عرضی و شیب به دست می‌آیند.

متأسفانه محدودیت‌های تحلیل جریان بستر ثابت در جایی که رودخانه دارای جداره متحرک می‌باشد به قدر کفایت بررسی نشده است. از این رو به کارگیری مقاطع نقشه‌برداری که در شرایط کم آبی برداشت شده‌اند برای شرایط سیلابی کار درستی نمی‌باشد زیرا اثر فرسایش و رسوب‌گذاری در آن‌ها در نظر گرفته نشده است.

بزرگ‌ترین مشکل در استخراج رابطه بده-اشل تخمین درست زبری هیدرولیکی است از این رو واسنجی این روابط براساس مقادیر مشاهداتی ابزاری سودمند جهت کالیبراسیون زبری هیدرولیکی محسوب می‌شود.

در رودخانه‌های با بستر ماسه‌ای که امکان تشکیل فرم بستر وجود دارد، بهتر است از روش‌های تعیین بده-اشل با منظور کردن اثر فرم بستر استفاده شود. برای این منظور روش‌های مختلفی ارائه شده است [۴].

۲-۱-۷- اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک

اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک در ارزیابی پایداری کانال از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشند. شناسایی منشای زمین‌شناسی خاک‌ها و تعامل رسوبات با فرآیندهای رودخانه بسیار سودمند می‌باشد. برخی از این اطلاعات را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

- معمولاً چین‌های سنگی، رسوبات شنی موجود در مصالح چسبنده، یخچال‌ها و تپه‌های رسی می‌توانند مبین مناطقی باشند که در مقابل فرسایش مقاومت می‌کنند و در پلان نقاط نسبتاً ثابتی می‌باشند. البته گاهی اوقات صخره‌های نرم و نهشته‌های چسبنده تحت تاثیر هوازگی و یا فرآیندهایی مثل تر و خشک شدن متوالی و یا آب شدن یخ‌ها تقریباً به سرعت مقاومت خود را از دست داده و یا به رسوبات با چسبندگی کم‌تر تجزیه می‌شوند.

- شرایط ژئوتکنیکی که سبب گسیختگی کناره در خاک‌ها با مصالح آبرفتی می‌شوند عبارتند از فرسایش داخلی سیلت و لای و مواد ریزدانه به‌واسطه پدیده رگاب، جابجایی و تشکیل ترک کششی، افت ناگهانی سطح آب به‌واسطه تغییر شرایط سیلابی (تحقق شرایط زهکشی نشده و توزیع فشار آب منفذی به‌صورت هیدرواستاتیک) و سست شدن لایه سطحی به‌واسطه تغییرات رطوبت و درجه حرارت.
- خاک‌های به‌دست آمده از فرسایش بادی که ترکیبی از رس و لای می‌باشند می‌توانند شیب‌های تندی را تا زمانی که خشک هستند تشکیل دهند ولی این خاک‌ها استعداد زیادی برای از دست دادن چسبندگی خود در اثر قرارگیری در معرض رواناب سطحی دارند.
- خاک‌های واریزه‌ای اغلب از هوازدگی صخره‌های لایه‌های زیرین و جابجایی ثقلی متعاقب آن حاصل و در شیب‌های تند دره رودخانه‌ها تشکیل می‌شوند. در دوره‌های پربابی در معرض کاهش مقاومت به‌واسطه افزایش وزن واحد قرار دارند که سبب گسیختگی بنیادی کناره می‌شود.
- نهشته‌های یخچالی معمولاً شامل ترکیبی از لای، رس، ماسه، شن و قلوه سنگ‌ها می‌باشند و در مقابل فرسایش نسبتاً مقاوم هستند و بیش‌تر جریان‌های تشکیل شده در این نهشته‌ها نرخ‌های کوچکی از فرسایش و جابجایی کانال را نشان می‌دهند. کف‌کندگی بلندمدت جریان در نهشته‌های یخچالی سبب به‌جا ماندن یک لایه مسلح سطحی قلوه سنگی می‌شود که در مقابل حرکت تحت جریان عبوری مقاوم می‌باشد.

۲-۱-۸- انتقال رسوب

- برای ارزیابی و تحلیل همه جانبه رسوبات می‌توان به مراجع مختلفی که در این زمینه وجود دارد مراجعه نمود. در بعضی مواقع ارزیابی کیفی نیز بسیار سودمند و مفید خواهد بود. در این رابطه نکات زیر به چنین ارزیابی کمک می‌کنند.
- درجه نسبی نرخ انتقال رسوب بستر (پایین، متوسط و یا بالا بودن آن) از طریق بازدیدهای متخصصین با تجربه در شرایط کم آبی قابل قضاوت می‌باشد. رودخانه‌های با نرخ انتقال رسوب بالا دارای نواحی بزرگی می‌باشند که در آن‌ها مواد بستر بدون هیچ‌گونه پوشش گیاهی می‌باشند. و در رودخانه‌های با نرخ انتقال رسوب پایین اغلب کناره‌ها پایدار بوده و مواد دانه‌ای و سنگی با پوشش گیاهی و خزه یا جلبک پوشانده شده‌اند.
 - مقدار بار شسته نیز می‌تواند از نهشته‌های سیل‌تی و رسی در نواحی که آب راکد می‌باشد و یا رسوبات به‌جا مانده در قسمت‌های فوقانی کناره‌ها و سیلابدشت مورد قضاوت قرار گیرد. در رودخانه‌هایی که بار شسته بالایی دارند ضخامت اصلی و عمده لایه رسی و لایی هنوز با پوشش گیاهی درگیر و تثبیت نشده است. در رودخانه‌های با بار شسته پایین در قسمت‌های فوقانی کناره و سیلابدشت مصالح دانه‌ای خالص مشاهده می‌شود.
 - علی‌رغم موارد گفته شده در فوق شواهد بعضی اوقات به‌علت فقدان تجربیات منطقه‌ای و موضعی گمراه کننده می‌باشند. برای مثال نرخ انتقال رسوب متوسط کانال ممکن است به‌طرز قابل توجهی از نواحی خشک به مرطوب یا نواحی سردسیر به گرمسیر فرق کند. توصیف وضعیت نرخ انتقال رسوب به صورت کم، متوسط و زیاد اساساً مربوط به بده‌های بزرگ به‌عنوان مثال متوسط سیل سالانه می‌شود. چنین طرحی ممکن است برای رودخانه‌های فصلی در نواحی خشک مفید

- نباشد زیرا در این رودخانه‌ها سیلاب مستعد برای انتقال رسوب در فواصل زمانی غیر محتمل اتفاق می‌افتد و کانال رودخانه در بیش تر اوقات خشک است.
- در جریان‌های پیچانرودی که در آن‌ها مهاجرت پیچانرود در سیلابدشت آبرفتی قانون‌مند می‌باشد میزان و نرخ انتقال رسوب با نرخ جابجایی پیچانرود مرتبط است.
 - یک شکل پلان شریانی معمولاً و البته نه همیشه نرخ انتقال رسوب بار بستر بزرگی را نشان می‌دهد. در حالی که یک شکل پلان پیچانرود کنترل شده بدون نهشته‌های رسوبی مشخص معمولاً دارای نرخ انتقال رسوب پایینی می‌باشد اگرچه بار شسته در چنین سامانه‌ای ممکن است بالا باشد.

۲-۲- مطالعات لازم برای تعیین شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه

به طور کلی تعیین مشخصات مناسب هندسه مقطع و راستای رودخانه و تعریف یک الگوی هندسی پایدار برای آن، مستلزم انجام مطالعات ویژه می‌باشد. این مطالعات عبارتند از: مطالعات هیدرولوژیکی حوضه آبریز رودخانه، مطالعات هیدرولیک جریان، مطالعه فرسایش و رسوب حوضه آبریز و رودخانه، مطالعات زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی و خاک‌شناسی و نهایتاً مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه که شامل بررسی تغییرات رودخانه در پلان و مقطع می‌شود.

۲-۲-۱- هیدرولوژی

تعیین مشخصات بهینه مقطع و راستای رودخانه مستلزم مطالعات هیدرولوژیکی جهت به‌دست آوردن بده جریان و سایر ویژگی‌های هیدرولوژی حوضه آبریز مربوط می‌باشد. بده جریان یکی از متغیرهای مستقلی است که با تغییر آن مشخصات هندسی مقطع و پلان رودخانه نیز تغییر می‌کنند. بخش اعظم دانش هیدرولوژی، در مورد ریخت‌شناسی و رفتار رودخانه‌ها برنتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های مستقیم شرایط جریان، استوار است. در یک ایستگاه هیدرومتری اندازه‌گیری سطح آب، سرعت آب، عمق آب، میزان جریان آب رودخانه و حمل رسوب به‌صورت مواد معلق و بار کف با نمونه‌برداری در مقاطع زمانی مختلف به‌صورت حجم جریان و نیز وزن رسوبات انتقالی در واحد زمان تهیه می‌شوند.

مفاهیمی چون وقوع سیلاب‌ها، تداوم دوره‌های ترسالی و خشکسالی و تغییرات فصلی و روزانه بده جریان از جمله عوامل تاثیرگذار در شکل‌گیری مشخصه‌های هندسی مسیر، جابجایی‌های عرضی و طولی، تشکیل میان‌برها و سایر پدیده‌های ریخت‌شناسی در رودخانه تلقی می‌گردد. تغییرات بده جریان در یک دوره زمانی معین معرف رژیم جریان بوده و آبنمود جریان سالیانه از جمله شاخص‌های متداول برای تعیین آن است که با توجه به آن می‌توان با توجه به تغییرات آن در مورد فرآیندهای ریخت‌شناسیک رودخانه قضاوت نمود [۱].

نقش سیلاب در این مطالعات به لحاظ تاثیر این فاکتور در وضعیت پایداری رودخانه در خور توجه فراوان است. روش‌های مختلفی برای محاسبه پیک سیلاب و نیز روندیابی آن در سطح حوضه وجود دارد که از کتب مختلف هیدرولوژی قابل استخراج می‌باشند، عامل اصلی در انتخاب یک روش محاسبه سیلاب، داده‌های موجود می‌باشد. امروزه نرم افزارهای کامپیوتری برای محاسبه پیک سیلاب و نیز شبیه‌سازی کامپیوتری روندیابی طراحی شده‌اند و امکان اتصال آن‌ها به سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، این محاسبات را بسیار ساده نموده است.

علاوه بر مقدار اوج سیلاب، هیدروگراف جریان و مدت دوام سیل نیز حایز اهمیت است [۱]. نظام آبدهی در رودخانه‌ها ثابت نبوده و در سال‌های مختلف بده جریان تغییر می‌نماید و به تبعیت از شرایط آب و هوایی، دوره‌های خشکسالی و ترسالی در رودخانه‌ها مشاهده می‌شود. در دوره ترسالی بده جریان به تدریج افزایش یافته و مقدار حداکثر خود را در پرآب‌ترین سال تجربه می‌کند. در دوره خشکسالی برعکس بده جریان رو به کاهش گذاشته و طی چند سال متوالی سرانجام حداقل بده جریان اتفاق می‌افتد. برای تعیین کمیت جریان در دوره‌های خشکسالی و ترسالی منحنی فراوانی آن‌ها با استفاده از توزیع‌های آماری ترسیم می‌گردد [۱].

۲-۱-۱- بده غالب

با این‌که رودخانه‌ها دامنه وسیعی از جریان‌ها را تجربه می‌کنند، عقیده بر آن است که آن‌ها روی هم‌رفته در یک دوره بازگشت مشخص شکل و ابعادشان را با یک جریان غالب تنظیم می‌کنند و بده غالب جریانی است که شکل و ابعاد رودخانه را تحت جریان‌های دائمی (غیرسیلابی) کنترل می‌کند و مقطع تحت این جریان پایدار خواهد بود [۳۱].

تعاریف متعددی برای بده غالب ارائه شده است، به‌طور کلی روش‌های تعیین بده غالب شکل دهنده کانال را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم نمود:

- بده موثر
- بده مقطع پر
- بده با دوره بازگشت ۲/۳۳ سال (سیل متوسط سالانه)

الف- بده موثر

تحلیل داده‌های رسوبات حمل شده در برخی از رودخانه‌ها نشان می‌دهد در کانال‌های پایدار بیش‌ترین حجم رسوبات، تحت بده شکل دهنده کانال منتقل می‌شود. به‌عبارتی بده موثر مقدار بده‌ای است که در طول یک دوره مشخص بیش‌ترین وزن رسوب را انتقال داده است.

اگر چه مقدار بده موثر به طبیعت رژیم جریان و انتقال رسوب رودخانه وابسته است، بسته به روند محاسبات برای یک بازه مشخص ممکن است مقادیر مختلفی به بده موثر نسبت داده شود. حالت ایده‌آل آن است که مقادیر بار رسوبی (بستر، معلق و کل) به‌طور پیوسته اندازه‌گیری شده و سپس از روی آن مقدار بده موثر مربوط استخراج شود [۹].

فقدان اندازه‌گیری‌های مداوم بار رسوبی، محاسبات بار رسوبی حمل شده را منوط به استفاده از منحنی تداوم جریان و منحنی سنج رسوب ساخته است. با ترکیب این دو منحنی می‌توان مقادیر بار رسوبی انتقالی را برای طیف بده‌هایی که در طول دوره آماری به رودخانه تحمیل می‌شود، محاسبه نمود. براساس این روند می‌توان مقدار بده معادل بیش‌ترین بار رسوبی انتقالی را در طول دوره آماری تعریف شده به‌وسیله منحنی تداوم جریان محاسبه نمود که در واقع همان بده موثر می‌باشد [۷۸].

به‌طور کلی رژیم جریان براساس توزیع فراوانی جریان‌های متوسط روزانه مشخص می‌شود. از آن‌جایی که بیش‌ترین بار رسوبی در خلال سیلاب‌های رخ داده منتقل می‌شود، بده‌های متوسط روزانه نمی‌تواند نماینده مناسبی برای جریان‌های سیلابی به‌خصوص در حوضه‌های با شیب تند و تراز سطح آب کوچک باشد. در این راستا تحلیل تداوم جریان براساس فواصل زمانی کوچک‌تر از یک روز می‌تواند دقت محاسبات را افزایش دهد.

منحنی‌های سنجه رسوب با تعریف رابطه بین متوسط بار رسوبی حمل شده به وسیله رودخانه و متوسط بده متناظر آن استخراج می‌شود. پراکندگی قابل توجه در اطراف بهترین خط برآزشی معمولاً در افزایش یا کاهش ناگهانی بار رسوبی که به دلایلی همچون تغییرات منابع تغذیه بار رسوبی معلق اتفاق می‌افتد، رخ می‌دهد. همچنین فشرده‌سازی و درگیری رسوبات با رسوبات ریزدانه و نیز پوشش گیاهی می‌تواند از حمل مواد رسوبی بستر به خصوص در مواقع کم آبی جلوگیری کند [۵۶].

در مواقعی که بار رسوبی بستر تأثیری در محاسبات بار کل ندارد یا بار بستر کوچک‌تر از ۱۰ درصد بار رسوبی کل را شامل می‌شود یا سهم کوچکی از بار معلق را تشکیل می‌دهد، می‌توان از مقادیر بار معلق برای محاسبه بده موثر استفاده نمود. برعکس در رودخانه‌های با بار رسوبی بستر قابل توجه که در آن‌ها نرخ بار بستر اندازه‌گیری شده و یا براساس روابط موجود محاسبه شده است، می‌توان از مقادیر بار بستر برای محاسبه بده موثر استفاده نمود. در رودخانه‌های بستر شنی اگرچه نرخ انتقال رسوب بستر از نظر هیدرولیکی کنترل کننده می‌باشد لکن ممکن است در چنین رودخانه‌هایی نرخ بار رسوبی معلق که از ریزش کناره‌ها، شاخه‌های فرعی رودخانه و منابع رسوبی حوضه آبخیز تأمین می‌شود، غالب شود [۳۲].

در حالت ایده‌آل برای اطمینان از بهترین تخمین مقدار بده موثر استفاده از مقادیر بار کل رسوبی توصیه می‌شود. در این حالت با اضافه کردن بار معلق اندازه‌گیری شده به بار بستر محاسباتی، بار کل متناظر با هر کلاس بده استخراج می‌شود [۴۵].

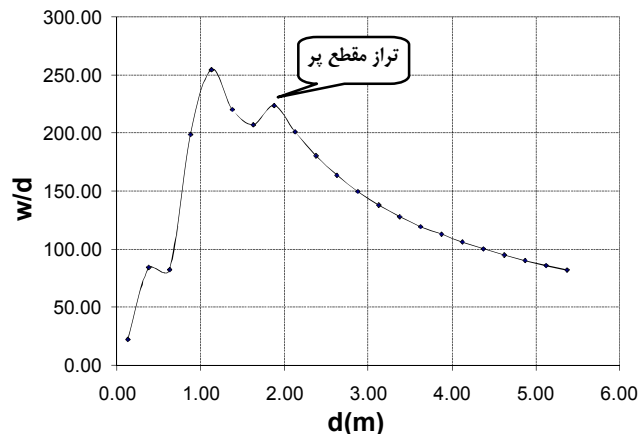
ب- بده مقطع پر

تاکنون تعاریف متنوعی برای بده مقطع پر مطرح شده است، براساس نحوه و معیار تعیین بده مقطع پر می‌توان آن‌ها را به صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

- تراز سیلابدشت فعال [۱۲]

- ترازى که در آن نسبت عرض به عمق در مقابل عمق در یک دستگاه متعامد به حداکثر خود برسد [۱۶].

به کار بردن روش دوم زمانی با مشکل مواجه می‌شود که این روش برای کمربندهای پیچانرودی که در آن‌ها نهشته‌های رسوبی در قوس داخلی شکل گرفته است به کار برده شود، درحالی که تراز مقطع پر واقعی بالاتر از تراز نهشته رسوبی قرار دارد. در این حالت نمودار ترسیمی نسبت عرض به عمق (W/d) در مقابل عمق (d) دارای دو مقدار حداکثر می‌باشد که دومین مقدار حداکثر تراز مقطع پر واقعی است. در نقطه عطف کمر بند پیچانرودی چنین مشکلی وجود ندارد. مشکل دیگری که ممکن است این روش محاسباتی را با خطا همراه کند، کاهش ناگهانی شیب کناره کانال رودخانه است. در این حالت نیز نسبت عرض به عمق حداکثر، در پایین تر از تراز سیلابدشت فعال مشاهده می‌شود. لذا باید با تامل در مقاطع همسایه، به خصوص در رودخانه‌های پیچانرودی، از بروز خطا جلوگیری نمود (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲- نمودار نسبت عرض به عمق در مقابل عمق (ایستگاه بیانلو، رودخانه قزل اوزن)

- تراز منطبق بر اولین مقدار حداکثر شاخص $[57 BI]$.

براساس ریلی^۱ (۱۹۷۲) شاخص (BI) به صورت زیر تعریف می شود.

$$BI = \frac{W_i - W_{i+1}}{Y_i - Y_{i+1}} \quad (1-2)$$

که در این رابطه W : عرض، Y : عمق و زیرنویس i به تقسیمات متوالی و مساوی مقطع در راستای قائم اشاره دارد. در واقع این شاخص با اندازه گیری شیب نسبی کناره، در جایی به مقدار حداکثر خود خواهد رسید که کانال به طور ناگهانی پهن می شود و در واقع مقدار آن بر نسبت عرض به عمق حداقل که در قسمت قبل گفته شد، منطبق می باشد.

- تراز منطبق با تغییر ناگهانی در نسبت مساحت مقطع عرضی به عرض سطحی کانال [۷۵]

با توجه به تعاریف ارائه شده همان مشکلات ایجاد خطا در بخش ب در بخش ج و د نیز ممکن است محقق شود.

- برابر با تراز حد پایین پوشش گیاهی دائمی [۵۳]

از آن جا که تراز مقطع پر در طول یک بازه به خاطر تغییرات طبیعی تراز کناره و سیلابدشت فعال ممکن است تغییرات زیادی داشته باشد، بهتر است مقدار این بده با بررسی کل بازه و نه تنها یک مقطع خاص تعیین شود [۷۵].

ج- بده متوسط سیل سالانه

در این روش بده با دوره بازگشت ۲/۳۳ سال به عنوان بده غالب در نظر گرفته می شود. برای تعیین بده ها با دوره های بازگشت متفاوت لازم است که از توزیع آماری مناسبی استفاده گردد. برای این منظور لازم است که توزیع مناسب تشخیص داده شود. از میان توزیع های آماری توزیع گامبل مناسب ترین توزیع برای بده اوج می باشد. زیرا مقادیر بده های لحظه ای سالانه در واقع نقاط اوج سالانه و مقادیر حدی اند و توزیع گامبل نیز یک توزیع حدی است.

۲-۲-۲- هیدرولیک جریان

در مطالعات هیدرولیک جریان رودخانه، شرایط عمومی جریان و مشخصات آن نظیر سرعت، عمق، تراز سطح آب، شیب سطح آب (نیمرخ طولی) و تنش برشی جریان تعیین می گردد. تراز سطح آب یکی از متغیرهای مهم هیدرولیکی جریان است که در تعیین مقطع هندسی و راستای پایدار رودخانه نقش موثری دارد.

فرآیند انجام مطالعات هیدرولیکی متناسب با نیازهای این مطالعات به ترتیب شامل نقشه برداری و تعیین خصوصیات هندسی مسیر، تعیین ضریب زبری بستر رودخانه در طول بازه‌های مختلف، استفاده از مدل‌های ریاضی جهت تحلیل رفتار هیدرولیک جریان، تحلیل مشخصه‌های هیدرولیکی جریان همچون رژیم جریان و ظرفیت آنگذری می‌شود و به حد کفایت در راهنمای مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها (نشریه شماره ۵۹۲ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور) به آن پرداخته شده است.

۲-۲-۳- فرسایش و رسوب

رودخانه‌ها تحت تاثیر پدیده فرسایش و رسوب گذاری دستخوش تغییرات گوناگونی می‌شوند که از آن جمله می‌توان تغییر راستا، جابجایی‌های عرضی و طولی، وقوع میان‌برها، تغییر نوع رودخانه، تغییر تراز بستر، تغییر دانه‌بندی و دگرگونی ویژگی‌های هندسی مسیر را اشاره کرد [۲].

رسوبات بر اثر فرآیند فرسایش ایجاد می‌گردند و توسط جریان و به صورت‌های محلول، معلق و بار کف حمل می‌شوند. بنابراین مقدار رسوباتی که توسط رودخانه حمل می‌شوند درصدی از فرسایش حوضه آبریز می‌باشند که حداکثر برابر با میزان رسوب‌دهی حوضه آبریز است. در نتیجه بررسی و تعیین میزان رسوبات بازه مورد مطالعه از رودخانه متناسب با ارزیابی میزان فرسایش حوضه آبریز آن خواهد بود. برای تخمین مقدار فرسایش حوضه آبریز فرمول‌های زیادی ارائه شده است که فرمول یونیورسال^۱ یا فرمول ویشمار^۲ متداول‌ترین این فرمول‌هاست. نحوه محاسبه رسوب خروجی از زیرحوضه مورد مطالعه و روابط حاکم بر آن به‌طور کامل در راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها ارائه شده است.

به‌طور کلی بار رسوبی رودخانه در سه حالت معلق، محلول و بار بستر منتقل می‌شود که مجموع آن‌ها بار رسوبی کل رودخانه را شامل می‌شود. متداول است که بار شسته را نیز در این دسته بندی به عنوان بار معلق قرار می‌دهند. برای محاسبه بار بستر و معلق روابط مختلفی در مرجع شماره [۲] ارائه شده است که با رجوع به آن‌ها می‌توان بار کل رسوبی حمل شده توسط رودخانه را محاسبه نمود. منحنی‌سنجه رسوب که در واقع نمایانگر رابطه بین بده رسوب و جریان می‌باشد، یکی از روابط اصلی در محاسبه بده موثر است (بخش ۲-۲-۱-۱)

جنس رسوبات و نیز نوع رودخانه در سهم بار معلق و بستر از بار کل تاثیر به‌سزایی دارد. به‌عنوان مثال در بسترهای با مواد رسوبی غیرچسبیده مانند رودخانه‌های کوهستانی مقدار بار معلق در مقایسه با بار بستر ناچیز است. به‌علت مشکلات اندازه‌گیری بار بستر معمول آن است که بار بستر را درصدی از بار معلق در نظر می‌گیرند.

یکی دیگر از فاکتورهای تاثیرگذار در شکل مقطع و راستای بهینه رودخانه دانه‌بندی مواد رسوبی می‌باشد. در مورد نحوه استخراج منحنی دانه‌بندی و تفسیر تغییرات آن در طول رودخانه و تاثیر آن بر رفتار رودخانه توضیحات مفصلي در دو راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها و نیز مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها ارائه گردیده است. به دلیل پیچیده بودن محاسبات فرسایش و رسوب در رودخانه‌ها و نیز اهمیت در نظرگیری کانال رودخانه به عنوان یک سامانه‌ی یکپارچه معمول آن است که بسته به نیاز مطالعات از مدل‌های ریاضی یک‌بعدی، دوبعدی و نیز سه‌بعدی برای شبیه‌سازی وضعیت فرسایش و رسوب در رودخانه استفاده می‌شود [۲].

۲-۲-۴- مطالعات زمین‌شناسی

اطلاعات زیادی درباره متغیرهای جریان با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی مهندسی و زمین‌ریخت‌شناسی کسب می‌گردد که از آن جمله می‌توان به بحث فرسایش و رسوب، شیب عرضی مقاطع رودخانه، جنس و نوع مصالح بستر و کناره‌ها اشاره کرد. نتیجه مطالعات و مشاهدات زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه از رودخانه، مهندسين مسوول را قادر می‌سازد که درک صحیحی از زمین‌شناسی و فرآیند گذشته آن در منطقه مورد مطالعه داشته باشند و بتوانند خصوصیات فنی منطقه را درک و نیز تحول آینده را پیش‌بینی نمایند.

مطالعات زمین‌شناسی باید حداقل موارد زیر را در برداشته باشد:

- تاریخچه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه
- خلاصه‌ای از چینه‌شناسی عمومی و سازندهای تشکیل دهنده
- زمین‌شناسی سطحی محدوده مورد بررسی، شامل انواع سنگ‌ها و خاک‌هایی که در طول خط پروژه و محدوده مناسب اطراف آن انتظار برخورد با آنها می‌رود
- توصیف خصوصیات سنگ‌ها و خاک‌های منطقه و برآوردی از خصوصیت فرسایش آن
- تشریح وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی منطقه و عوامل موثر در شکل‌گیری آن و تغییرات آن در زمان گذشته از قبیل تغییر مسیر رودخانه
- تشریح فرآیندهای زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی حاکم بر منطقه، نحوه عملکرد و میزان تاثیر و اهمیت آنها
- نقشه زمین‌شناسی مهندسی و زمین‌ریخت‌شناسی در مقیاس مناسب همراه با نیمرخ‌های مربوط و مشخص نمودن اطلاعات ذکر شده در بالا بر روی آنها
- پیشنهاد نوع و محل مطالعات دقیق‌تر برای عملیات ژئوفیزیک و ژئوتکنیک

۲-۲-۵- ریخت‌شناسی

از آن‌جا که در بهسازی مقطع و راستای رودخانه‌ها دستیابی به الگوی پایدار برای رودخانه و تعیین روابط تجربی بین متغیرهای تابع و متغیرهای مستقل (عمدتاً بده جریان) مورد توجه می‌باشد، در مبحث ریخت‌شناسی الگوی آبراهه‌ها و هندسه آبراهه و مصالح آن مورد توجه قرار می‌گیرد. همان‌طور که در بخش (۱-۵) اشاره گردید رودخانه‌ها به لحاظ شکل مسطحاتی به سه دسته مستقیم، پیچانرود و شریانی تقسیم می‌شوند.

۲-۲-۵-۱- هندسه آبراهه

منظور از هندسه آبراهه، تعریف پارامترهایی همچون عرض، عمق و شکل مقطع، گرادیان هیدرولیکی و مسیر آن می‌باشد. هندسه یک آبراهه به عواملی چون بده جریان، نوع مصالح کف و دیواره، بده و ظرفیت حمل رسوب در آبراهه بستگی دارد. هیچ روش دقیقی برای محاسبه پارامترهای هندسی یک آبراهه که بتوان آن را در همه‌ی رودخانه‌ها به کار برد وجود ندارد. روش‌های متعدد تجربی و نیمه تئوری برای تحلیل هندسه آبراهه‌ها ارائه شده است که هر کدام محدود به آبراهه‌هایی با خصوصیات ویژه می‌باشند.

الف- آبراهه‌های ماسه‌ای

روابط زیر برای تعیین عرض رودخانه و عمق جریان در رودخانه‌های ماسه‌ای کاربرد دارند [۱۱].

$$W = 14Q_b^{0.5} D_{50}^{0.25} F_s^{-0.5} \quad (۲-۲)$$

$$Y = 0.38q_b^{0.67} D_{50}^{-0.17} \quad (۳-۲)$$

که در این روابط W : عرض متوسط آبراهه به متر، Y : عمق متوسط جریان به متر، Q_b : بده مقطع پر به مترمکعب در ثانیه، q_b : بده مقطع پر در واحد عرض به مترمکعب در ثانیه در متر، D_{50} : اندازه متوسط مصالح بستر به متر و F_s : ضریبی برای تخمین سختی کناره‌ها (ماسه لوم $F_s = 0.1$ ، لوم ماسه‌ای و رس $F_s = 0.2$ و در کناره‌ها با مصالح چسبنده $F_s = 0.3$) می‌باشد. برای تخمین پارامترهای هندسی آبراهه در شرایط سیلابی می‌توان از بده سیل طراحی در این روابط استفاده کرد.

ب- آبراهه‌های شنی

معادلات زیر از بلنچ^۱ (۱۹۶۹) اقتباس شده است [۱۱]:

$$W = 3.26Q_b^{0.5} \quad (۴-۲)$$

$$Y = 0.47q_b^{0.8} D_{90}^{-0.12} \quad (۵-۲)$$

که در این روابط W ، Y ، Q_b ، q_b قبلاً تعریف شده و D_{90} اندازه متوسط مصالح بستر به متر، که ۹۰ درصد مصالح دیگر از آن کوچک‌تر باشند.

ج- آبراهه‌ها با مصالح چسبنده

در مصالح غیرچسبنده مقاومت در مقابل آبشستگی ناشی از وزن دانه‌ها می‌باشد ولی رفتار مصالح چسبنده پیچیده‌تر بوده و بستگی به مشخصات فیزیکی و شیمیایی سطوح ذرات، چگالی آن‌ها و همچنین کیفیت آب دارد.

تنها روشی که برای تخمین آبشستگی در چنین مصالحی نسبتاً قابل اطمینان است، اندازه‌گیری خواص خاک و انجام آزمایش بر روی آن در آزمایشگاه می‌باشد. برای تعیین عمق جریان فرض می‌شود که آبشستگی در بستر تا آنجا ادامه می‌یابد که تنش موجود روی بستر برابر با تنش برشی بحرانی گردد. بنابراین:

$$Y = 51.4n^{0.86} q^{0.86} \tau^{-0.43} \quad (۶-۲)$$

که در این رابطه Y : عمق متوسط جریان به متر، n : ضریب زبری مانینگ، q_b : بده مقطع پر در واحد عرض به مترمکعب در ثانیه در متر و τ تنش برشی بحرانی می باشد [۳]. جدول (۱-۲) به عنوان یک راهنما برای کمک به تخمین ابعاد در آبراهه با بستری از مصالح چسبنده با استفاده از رابطه فوق ارائه شده است.

جدول ۱-۲- خواص فیزیکی رس ۱۳۱

تخلخل	۰/۳-۰/۲	۰/۶-۰/۳	۱/۲-۰/۶	۲-۱/۲
چگالی توده خاک خشک kg/m^3	۲۲۱۰-۲۰۳۰	۱۶۵۰-۲۰۳۰	۱۲۰۰-۱۶۵۰	۸۸۰-۱۲۰۰
چگالی توده خاک اشباع kg/m^3	۲۲۷۰-۲۲۷۰	۲۰۳۰-۲۲۷۰	۱۷۴۰-۲۰۳۰	۱۵۵۰-۱۷۴۰
نوع خاک	تنش برشی بحرانی (N/m^2)			
ماسه‌ای - رسی	۳۰/۲	۱۵/۷	۷/۵	۱/۹
رس سنگین	۲۷	۱۴/۶	۶/۷	۱/۵
رس	۲۵/۴	۱۳/۵	۵/۹	۱/۲
رس سبک	۱۶/۸	۱۰/۲	۴/۶	۱

فصل ۳

بررسی معیارهای تعیین ابعاد هندسی

بهینه مقطع با توجه به نوع رودخانه

۳-۱- مفاهیم پایه

از نقطه نظر مفهومی، مشخصات هندسی رودخانه به نحوی توسعه پیدا کند که بین آن‌ها و بده جریان آب و رسوب انتقالی توازن برقرار شود [۴۲]. با توجه به این موضوع و در نظرگیری بده غالب (در بخش ۲-۲-۱ توضیح داده شد) به‌عنوان متغیر مستقل و عرض و عمق و شیب کانال به‌عنوان متغیر وابسته، محققین مختلف بعد از جمع‌آوری داده‌های صحرایی شامل عرض، عمق و شیب کانال، آن‌ها را به‌صورت مستقل در مقابل بده غالب متناظر آن‌ها رسم نموده‌اند. این داده‌ها گاهی با توجه به اندازه مواد بستر و فاکتورهای دیگر دسته‌بندی شده‌اند و در نهایت بر این نمودارها منحنی‌ها و معادلاتی برازش داده شده که برای تحلیل‌های مختلف و اهداف طراحی پیشنهاد شده‌اند.

با توجه به آنچه گفته شد، عرض، عمق و شیب پایدار (و شاید شکل پلان پایدار) می‌توانند به‌عنوان توابعی از متغیرهای کنترل‌کننده نظیر بده، مصالح تشکیل دهنده و رسوب ورودی بیان شوند. بدیهی است روابط هندسه هیدرولیکی که از این طریق به‌دست می‌آیند، ممکن است در یک پروژه مهندسی رودخانه در گام‌های برنامه‌ریزی برای مقایسه گزینه‌ها و ارزیابی مشکلات پایداری مفید واقع شوند.

به‌طور کلی یک کانال حداقل دارای ۴ درجه آزادی شامل عرض، عمق، شیب و شکل پلان می‌باشد. البته بسته به حساسیت مطالعات، عوامل دیگر از قبیل زبری، نرخ جابجایی کناره‌ها و نرخ انتقال رسوب نیز قابل اضافه نمودن می‌باشند. پاره‌ای از ملاحظات در رابطه با مطالعاتی که تاکنون در این رابطه صورت گرفته است، عبارتند از:

- روابط هندسه هیدرولیکی معمولاً شامل عرض، عمق و شیب بوده و شامل شکل پلان رودخانه نمی‌شوند. این در حالی است که برخی از مشکلات ناپایداری مربوط به شکل پلان می‌شوند برای مثال این‌که آیا پیچان‌رودها در یک کانال مستقیم توسعه پیدا خواهند کرد یا خیر؟
 - اغلب روابط هندسه هیدرولیکی از یک بده مشخصه واحد به‌عنوان نماینده بده‌های مختلف واقعی به‌عنوان متغیر مستقل استفاده می‌کنند. در جریان‌های طبیعی این مقدار معادل بده مقطع پر در نظر گرفته می‌شود که تقریباً معادل سیلاب با دوره بازگشت ۲/۳۳ سال می‌باشد و ممکن است در همه موارد تخمین مناسبی نباشد. مفهوم بده غالب که در بخش ۲-۲-۱ به آن پرداخته شد، راهنمای مناسبی جهت انتخاب بده مشخصه خواهد بود.
 - نقش اولیه بده در محاسبه هندسه کانال به‌طرز روشنی مورد بحث قرار گرفته است. ولی در رابطه با اهمیت عوامل ثانویه نظیر بار رسوبی، مصالح کناره و پوشش گیاهی به‌خصوص در محاسبه عرض کانال، اجماع نظر کلی وجود ندارد.
 - در گذشته در روابط هندسه هیدرولیکی، صریحاً به نرخ انتقال رسوب توجهی نمی‌شد و اساساً این روابط برای کانال‌های با بار رسوبی ورودی بستر نسبتاً پایین قابل کاربرد بودند. و شیب‌های پایدار به‌دست آمده از این روابط اغلب خیلی کم‌تر از شیب مورد نیاز برای برقراری توازن بین رسوب ورودی و نرخ انتقال رسوب بار بستر می‌باشد. البته بعضی روابط هندسه هیدرولیکی، نرخ انتقال رسوب را نیز به‌عنوان یک متغیر مستقل ورودی در نظر گرفته‌اند [۷۳].
- در نهایت، از آن‌جا که روابط تجربی براساس داده‌های محدوده‌هایی با شرایط اقلیمی و محیطی مشخص استخراج شده‌اند، لازم است در انتخاب روابط تجربی با توجه به خصوصیات محدوده مورد مطالعه دقت کافی به‌عمل آید. با لحاظ نمودن این نکته روابط تجربی موجود جهت تخمین اولیه ابعاد کانال مفید خواهد بود.

۳-۲- حالت پایداری رودخانه شامل پایداری در پلان، مقطع و شیب

مساله ناپایداری و رسوب‌گذاری در پروژه‌های مهندسی رودخانه از دو جنبه حایز اهمیت می‌باشد: یکی وضعیت موجود پروژه و دیگری اثرهای تغییرات طراحی روی سامانه‌ی رودخانه، هم در حین اجرا و هم بعد از اجرا. اگر متغیرهای کنترلی یا شرایط مرزی تغییر کرده باشد، پاسخ رودخانه تغییر مقطع عرضی، شیب یا شکل پلان خواهد بود. اغلب ارزیابی ناپایداری‌های مشاهداتی در محدوده مطالعاتی از حیث آن که چه بخشی از آن مربوط به طراحی انجام شده و پروژه مربوط و چه بخشی از آن مربوط به شرایط کانال قبل از اجرای پروژه می‌باشد، کاری مشکل است. به‌خصوص این مساله برای رودخانه‌هایی که در تاریخچه خود دارای یک‌سری اصلاحات متوالی از حالت طبیعی پیشین خود می‌باشند، بیش‌تر قابل طرح است. در بعضی نمونه‌ها پاسخ‌های بلند مدت کانال در تاریخ‌های مختلف دچار تداخل و تعامل شده و تا حد زیادی تشخیص آن‌ها مشکل می‌باشد. اگرچه پاسخ ابتدایی کانال به تغییرات اعمالی (پروژه‌های مهندسی رودخانه و یا وقوع پدیده‌های طبیعی) در محدوده مطالعاتی رخ می‌دهد، پاسخ‌های بلندمدت ممکن است سامانه‌ی کانال رودخانه را در فواصل دورتر در بالادست یا پایین‌دست تحت تاثیر قرار دهد. در جاهایی که ارزیابی پایداری قبل از پروژه مشکلات بالقوه‌ای را نشان می‌دهد. اغلب اقدامات پایدارسازی از قبیل محافظت کناره‌ها، سازه‌های کنترل شیب و حوضچه‌های رسوب‌گیر با طراحی انجام شده ترکیب می‌شود. این کار اغلب پاسخ‌ها و واکنش بالادست و پایین‌دست را حذف نخواهد کرد. برای مثال اگر یک جریان دارای کمربندهای پیچانرودی جابجا شونده باشد، پایدارسازی کمربندها در محدوده مورد مطالعه روی فرآیندهای جابجایی آن در بالادست و پایین‌دست اثر خواهد گذاشت. جدول (۳-۱) پاسخ مورد انتظار مشخصات کانال به تغییرات متغیرهای مستقل و شرایط مرزی را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱- پاسخ قابل پیش‌بینی مشخصات کانال به تغییرات متغیرهای مستقل و شرایط محیطی [۱۷۲]

نوع تغییر	متغیر وابسته / متغیر مستقل		فرسایش کناره	شکل پلان	شیب	عمق	عرض
	متغیر وابسته	متغیر مستقل					
افزایش	بده		افزایش	افزایش	کاهش	بدون تغییر قابل توجه	افزایش
کاهش			کاهش یا بدون تغییر	کاهش	افزایش یا بدون تغییر	بدون تغییر قابل توجه	کاهش
افزایش	بار رسوبی		نامشخص	کاهش	افزایش قابل توجه	افزایش نهشته‌های رسوبی و شریانی شدن کانال	احتمال افزایش
کاهش			نامشخص	افزایش	کاهش	کاهش شریانی شدن	احتمال کاهش
افزایش	اندازه ذرات رسوبی بستر		بی تاثیر	کاهش	افزایش قابل توجه	نامشخص	نامشخص
کاهش			بی تاثیر	افزایش	احتمال کاهش	نامشخص	نامشخص
محافظت کناره	شرایط کناره		احتمال کاهش	احتمال افزایش موضعی	بدون تغییر قابل توجه	مطابق تحمل وارده	کاهش موضعی، احتمال افزایش در پایین‌دست
حذف پوشش گیاهی			افزایش	احتمال کاهش	بدون تغییر	افزایش نهشته‌های رسوبی	افزایش قابل توجه

پاره‌ای از ملاحظات در تعیین پاسخ کانال رودخانه نسبت به تغییرات متغیرهای مستقل به شرح زیر می‌باشد:

- عرض‌ها به‌طور کلی با ریشه دوم بده رابطه دارند. به‌طور کلی افزایش بده سبب تعریض کانال خواهد شد و در مقابل کاهش بده در کانال‌هایی که رسوب کافی حمل می‌کنند سبب رسوب‌گذاری در کناره‌های کانال و باریک شدن آن می‌شود.
- در رودخانه‌های پیچانرودی طول موج پیچانرود دارای یک رابطه نسبتاً ثابت با عرض کانال می‌باشد و بنابراین با افزایش بده و به‌دنبال آن تعریض کانال، طول موج پیچانرود نیز به همان اندازه افزایش می‌یابد.
- تغییرات عرض کانال در پاسخ به تغییرات بار بستر ورودی مشخص نمی‌باشد. به‌طور کلی رودخانه‌ها با بار بستر نسبتاً بالا تمایل به تعریض دارند ولی اگر کناره‌های کانال در مقابل فرسایش مقاوم باشند پاسخ کانال به افزایش بار بستر لزوماً تعریض نمی‌باشد.
- عمق کانال با افزایش بده افزایش می‌یابد ولی نه به اندازه عرض کانال، و به‌طور کلی با افزایش بار بستر ورودی عمق کانال کاهش می‌یابد در حالی که شیب افزایش می‌یابد.
- شیب در جهت عکس تغییرات بده تغییر می‌کند. با افزایش بده تحت فرسایش شیب کاهش می‌یابد ولی اگر مواد رسوبی ورودی افزایش یابد تحت رسوب‌گذاری شیب افزایش می‌یابد. بنابراین افزایش بده و افزایش بار بستر ورودی اثرهای متضادی روی شیب کانال دارند و اگر با هم اتفاق بیفتند تا حد زیادی اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند.
- برخی روابط کیفی مفهوم پایداری را به خوبی بیان می‌کند برای مثال اصل پایداری لین^۱ (۱۹۵۵) به صورت زیر قابل بیان می‌باشد:

$$Q.S \approx Q_s . D_{50} \quad (۱-۳)$$

که در این رابطه:

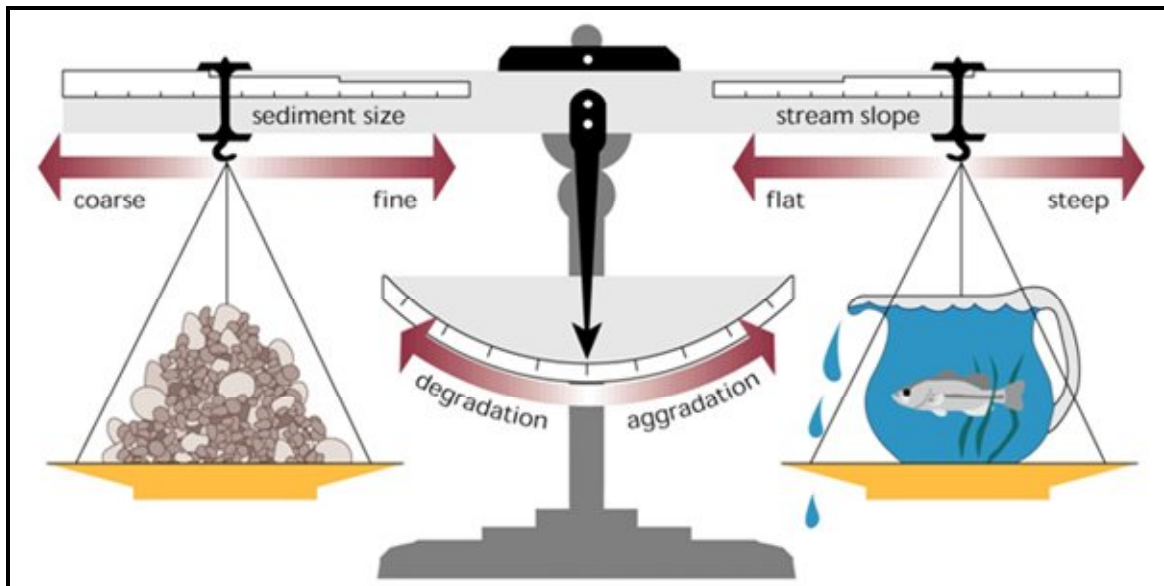
Q: بده جریان

Q_s: بار رسوبی

S: شیب کانال

D₅₀: اندازه متوسط رسوبات

براساس رابطه (۱-۳) شکل زیر معرف فاکتورهای موثر بر پایداری جریان و چگونگی تاثیر کیفی آن‌ها بر یکدیگر می‌باشد(شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱- فاکتورهای موثر بر پایداری رودخانه (رابطه کیفی لین، ۱۹۵۵)

۳-۳- عوامل موثر در پایداری رودخانه‌ها

در ارزیابی پایداری سامانه‌ی رودخانه عوامل بسیاری دخیل می‌باشند که به صورت خلاصه در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود. در واقع محقق و کارشناس باید با در نظرگیری اصول و معیارهای ارائه شده در این راهنما و تجارب قبلی و نیز پروژه‌های مشابه و بررسی فاکتورهای ارائه شده در زیر علل ناپایداری را کشف کرده و روش‌های تخفیف و کاهش آن را به کار گیرد.

۳-۳-۱- حوضه آبریز

- خصوصیات فیزیوگرافی
- جنس مصالح
- کاربری اراضی و تغییرات آن (از این نظر هرگونه تجاوز به کاربری طبیعی رودخانه و تاریخچه آن در این بخش قابل بررسی است).
- نواحی فرسایش‌پذیر
- منابع رسوبی (رسوبات ایجاد شده در اثر فرسایش ناشی از از بین بردن پوشش گیاهی نیز در این بخش قابل بررسی است).

۳-۳-۲- بازه مورد مطالعه

- زمین ریخت‌شناسی
- ریخت‌شناسی
- هندسه رودخانه (مقاطع عرضی، نیمرخ طولی و شکل پلان)
- شناسایی شاخه‌های فرعی
- وضعیت کاربری اراضی در محدوده سیلابدشت

- مواد بستر و کناره (لایه‌بندی مواد کناره نیز از جهت کنترل پایداری از اهمیت به‌سزایی برخوردار است)
- پوشش گیاهی کناره‌ها
- زبری
- تغییرات در طول زمان(هندسه رودخانه، کاربری اراضی و پوشش گیاهی)

۳-۳-۳- هیدرولوژی

- (مطالعات هیدرولوژی در صورت وجود داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری از طریق آن‌ها و در صورت عدم وجود آن‌ها از طریق شبیه‌سازی صورت می‌گیرد.)
- منحنی تداوم جریان
 - سیلاب با دوره بازگشت
 - سیلاب‌های تاریخی
 - بده غالب

۳-۳-۴- پروژه‌های مهندسی رودخانه و منابع آب

- سازه‌های طولی و عرضی
- سازه‌های کنترل‌کننده شیب
- محافظت از کناره (سازه‌ای و غیرسازه‌ای)
- انحرافات جریان
- لایروبی و تسطیح مقطع
- اصلاح مسیر
- مخازن احداثی در مسیر رودخانه (مانند سد‌ها)

۳-۳-۵- بهره‌برداری از رودخانه

- ترافیک قایق‌رانی
- برداشت شن و ماسه
- بهره‌برداری تفریحی و گردشگری

۳-۳-۶- ناپایداری‌ها

- نواحی رسوب‌گذار و فرسایش‌پذیر
- مهاجرت پیچانرودها و شریان‌ها
- فرسایش کناره و بستر

- تغییرات شیب در شاخه اصلی و شاخه‌های فرعی (تراز کاهی و تراز افزایشی)
- سازه‌های متقاطع خراب شده (و بعضا مدفون شده)
- تجاوز انسان و حیوان به حد بستر و حریم رودخانه

۳-۴- روش‌های مختلف تعیین ابعاد هندسه پایدار رودخانه

به‌طور کلی تعداد قابل توجهی از متغیرهای مستقل و وابسته بر هندسه رودخانه‌های آبرفتی اثر می‌گذارند. طبیعت آن‌ها مانند شرایط محیطی سایر مسایل هیدرولیک نیست و نمی‌توان نقش هر متغیری را مستقل و منفک از دیگر متغیرها مطالعه و بررسی کرد. مطالعات آزمایشگاهی و بررسی‌های صحرایی زیادی صورت گرفته‌اند تا متغیرهای ذکر شده را به هم مربوط کرده و مشخصات مقطع عرضی رودخانه‌های پایدار را تعریف کنند. تعیین چگونگی ارتباط معنی‌دار متغیرها با یکدیگر کار بسیار مشکلی است و بیش‌تر روش‌ها و راه‌حل‌های ارائه شده به‌صورت تجربی و مفهومی است تا تحلیلی. از آن‌جا که بسیاری از روش‌ها، برخورد مشابهی با مساله نداشته‌اند، لذا دارای نتایج طراحی متفاوتی می‌باشند.

در این بخش ابتدا به تشریح انواع مدل پرداخته شده است و مزایا و معایب هر یک مورد بررسی قرار گرفته است، سپس ضمن پرداختن به علل گوناگونی و تنوع روش‌های مختلف، براساس فهم فرآیندهای حاکم بر کانال‌های آبرفتی، یک روش کلی برای محاسبه هندسه هیدرولیکی کانال‌ها ارائه شده است.

به‌طور کلی مدل‌های بررسی فرآیندهای رژیم در رودخانه‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- مدل‌های مفهومی
- مدل‌های رژیم (تجربی)
- مدل‌های تحلیلی

۳-۴-۱- مدل‌های مفهومی

این مدل‌ها به‌واسطه مشاهدات میدانی توسط مهندسين رودخانه توسعه داده شده‌اند. در واقع مدل‌های مفهومی پاسخ کمی رودخانه را بیان نمی‌کنند و فقط روند کلی تنظیمات رودخانه‌ای را نشان می‌دهند. لذا به‌عنوان یک مرجع عمومی پذیرفته شده‌اند. به‌عنوان مثال معادله (۱-۳) بیان کننده آن است که در صورتی که بار رسوبی افزایش یابد درحالی که بده غالب و نیز دانه‌بندی رسوبات ثابت باشند، کانال پایداری خود را با افزایش شیب حفظ می‌کند.

همچنین می‌توان گفت، در صورتی که بده غالب افزایش یابد درحالی که بار رسوبی و نیز دانه‌بندی رسوبات ثابت باشند، کانال پایداری خود را با کاهش شیب حفظ خواهد کرد [۳۹]. شوم (۱۹۶۹)، رابطه بین متغیرهای وابسته هیدرولیکی شامل نسبت عرض (W) به عمق (Y)، شیب کانال (S)، طول موج پیچانرود (L_M)، ضریب پیچشی (P) و متغیرهای مستقل شامل Q و Q_s را در قالب روابط مفهومی زیر ارائه نمود:

$$\frac{W.Y.P.L_M}{S} \propto Q \quad (۲-۳)$$

$$\frac{W.L_M.S}{Y.P} \propto Q_s \quad (3-3)$$

در رابطه مفهومی (۲-۳)، رابطه بین بده و هندسه کانال نشان داده شده است. شوم در این رابطه بده را میانگین بده سالانه فرض نمود. مطابق رابطه (۲-۳) افزایش بده غالب، افزایش عرض، عمق، ضریب پیچشی و طول موج پیچانرود و همچنین کاهش شیب را به دنبال خواهد داشت.

در رابطه (۳-۳)، رابطه بین هندسه کانال با بار رسوبی به ازای بده ثابت نشان داده شده است. مطابق این رابطه در نتیجه افزایش بار رسوبی W ، L_M و S افزایش و Y و P کاهش می‌یابند. این نشان می‌دهد که با افزایش بار رسوبی تمایل ریخت‌شناسی کانال رودخانه به سمت شریانی شدن افزایش می‌یابد. بدیهی است روابط مفهومی ارائه شده در بالا براساس مشاهدات رودخانه‌های طبیعی قرار دارند.

به‌طور کلی بار زیاد جریان رسوب ورودی، عامل اصلی تعیین‌کننده رفتار و یا شکل آبراهه می‌باشد و درجات آزادی رودخانه و نوع آن طوری تعیین می‌شوند تا توان انتقال رسوب رودخانه (Q_s) برابر با مقدار رسوبات ورودی از حوضه به رود (Q_{sap}) و توان انتقال جریان یا ظرفیت هیدرولیکی رودخانه (Q) برابر با مجموع رواناب سطحی و یا بده پایه ورودی به آن (Q_{wap}) باشد. همچنین مقدار بده رسوب در حال انتقال، مستقیماً با توان جریان $\tau_0 V$ یا $\gamma.Q.S$ و غلظت مواد ریزدانه C_F و به‌طور معکوس با قطر سقوط ذرات مصالح بستر متناسب است [۵۹].

$$Q_s \approx \left[\tau_0 V, C_F, \frac{1}{V_g} \right] \quad (4-3)$$

از روابط کیفی می‌توان نتایج به شرح ذیل استخراج نمود [۵۹]:

- با ورود مصالح رسوبی درشت‌دانه‌تر به‌داخل رودخانه‌های پیچان پایدار و کم عرض، رودخانه متمایل به شکل پلان مستقیم می‌شود.
- در اثر کاهش بده رودخانه و ته‌نشینی رسوبات در مجاری عریض، رودخانه باریک شده و تمایل به تشکیل پیچانرود به‌وجود می‌آید.
- رودخانه در اثر کاهش در بده جریان و افزایش هم‌زمان در بار رسوبات، عمق خود را کاهش ولی عرض خود را افزایش می‌دهد.
- با افزایش درصد مصالح سیلت و رس در بستر و سواحل رودخانه به مقدار شیب طولی افزوده می‌شود.
- در صورتی که مصالح رودخانه بسیار فرسایش‌پذیر باشند، رودخانه تمایل به اتخاذ عمق کم و الگوی شریانی دارد. در مقابل اگر مصالح رودخانه در مقابل فرسایش بسیار مقاوم باشند رودخانه عمیق و مستقیم خواهد بود.
- افزایش بده رسوب یا افزوده شدن آهنگ فرسایش سواحل رودخانه مقادیر شیب طولی و پهنای رودخانه را بزرگ‌تر کرده و در عین حال از عمق رودخانه می‌کاهد.
- اگر بستر و سواحل رود از مصالح چسبنده یکنواخت تشکیل شده باشند. فرسایش در بستر رودخانه صورت می‌گیرد، چون تنش برشی در بستر بزرگ‌تر از کناره‌ها است.

- اگر بستر و سواحل از مصالح ماسه‌ای غیرچسبنده تشکیل شده باشد، مقاومت مصالح در سواحل کم‌تر از مقاومت در بستر است. چون سواحلی که سطوح شیب دار دارند در معرض لغزش هستند. در این حالت فرسایش جانبی^۱ رخ می‌دهد و رودخانه تمایل دارد تا کم عمق باشد.

۳-۴-۲- مدل‌های رژیم

معادلات رژیم کانال‌ها و رودخانه‌های طبیعی ابتدا در قرن نوزدهم توسط مهندسی انگلیسی در هندوستان پیشنهاد شد. رودخانه‌ها و کانال‌هایی که در درازمدت شرایط پایداری خود را حفظ کرده، تحت بررسی واقع و نتایج به صورت معادلات تجربی ارائه شد. اولین بار کندی^۲ در سال ۱۸۹۵ به‌طور تجربی با جمع‌آوری اطلاعات کانال‌های پایدار پنجاب در هندوستان، رابطه تجربی زیر را بین عمق و سرعت متوسط جریان برای کانال‌های رژیم ارائه نمود.

$$V = k.Y^n \quad (۵-۳)$$

V: سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)

Y: عمق متوسط جریان (متر)

کندی، ضرایب k و n را به ترتیب معادل ۰/۵۵ و ۰/۶۴ براساس مطالعاتی که روی تعدادی از کانال‌های آبیاری انجام شده بود، ارائه نمود. مفهوم رژیم از طرف کارشناسان کشورهای دیگر نیز پیگیری و با به‌کارگیری اطلاعات بیشتر، صحت و اعتبار بیشتری یافت. به‌طوری‌که از آن تاریخ به بعد روابط تجربی بیش‌تری بین متغیرهای هیدرولیکی و هندسی کانال‌های پایدار و بعدها برای رودخانه‌های پایدار ارائه شده‌اند [۳۴]. در این روش با تعریف روابط تجربی حاصل از نتایج مشاهدات به طراحی کانال‌هایی پرداخته می‌شود که بدون این‌که فرسایش و یا رسوب‌گذاری محسوس و قابل ملاحظه‌ای داشته باشند، بار رسوبی وارده را منتقل می‌کنند؛ به کانال‌هایی که بدینسان رفتار می‌کنند، اصطلاحاً کانال‌های رژیم اطلاق می‌شود.

لیسی^۳ (۱۹۵۸) تمامی اطلاعات موجود از کانال‌های آبیاری هندوستان را جمع‌آوری نمود و روابط تجربی زیر را ارائه نمود. براساس تئوری لیسی، یک آبراهه زمانی در حالت رژیم است که شیب و سطح مقطع آن در شرایط پایداری قرار داشته و فرسایش یا رسوب‌گذاری در آن رخ ندهد، هر چند که امکان حمل رسوبات توسط جریان آب وجود دارد [۳۰].

$$P = 4.835Q_b^{0.5} \quad (۶-۳)$$

$$R = 0.4725Q_b^{0.33} f^{-0.33} \quad (۷-۳)$$

$$S = 0.00055f^{1.66} Q_b^{-0.33} \quad (۸-۳)$$

$$V = 0.438Q_b^{0.166} f^{-0.33} \quad (۹-۳)$$

که در این روابط:

P: محیط خیس شده (متر)

R: شعاع هیدرولیکی (متر)

1- Lateral Erosion
2- Kennedy
3- Lacey

Q_b : بده مقطع پر (مترمکعب بر ثانیه)

f : عامل سیلت ($f = 1.587\sqrt{D_{50}}$)

D_{50} : اندازه متوسط ذرات بستر (میلی متر)

مزایای معادلات لیزی عبارت است از:

- استفاده از روابط ارائه شده بسیار ساده است به طوری که با معلوم بودن بده جریان و متوسط اندازه ذرات بستر می توان پارامترهای طراحی را محاسبه نمود.
- نیاز به اطلاعات بار رسوب ورودی ندارد.
- نیازی به تصمیم گیری در مورد نوع یا مقاومت مواد دیواره ها نیست. چون در این روابط، عرض رودخانه فقط به مقدار بده بستگی دارد. عامل سیلت لیزی، به غلظت مواد رسوبی بستر بستگی دارد که آن هم به اندازه ذرات رسوب مربوط می شود.

موفقیت این روابط در پنجاب و نامناسب بودن کاربرد آن برای نواحی دیگر می تواند بیانگر این مطلب باشد که به جز بده و دانه بندی ذرات، متغیرهای دیگری نیز وجود دارند که هندسه هیدرولیکی مقطع پر کانال های آبرفتی را کنترل می کنند. استیونز و نوردین (۱۹۸۷)، با مطالعه بر روی تئوری رژیم لیزی در آبراهه های آبرفتی، به این نتیجه رسیدند که در معادله لیزی، باید انتقال رسوب نیز وارد شود. آنان به این نتیجه رسیدند که برای ماسه ریز، f مستقیماً با غلظت رسوب انتقالی متناسب است بنابراین عامل سیلت لیزی را با غلظت رسوب مرتبط کرده و مجموعه معادلات جدید طراحی رژیم ارائه کردند. معادلات رژیم لیزی، صریحاً همه موضوعات را به غیر از نرخ انتقال رسوب در بر می گیرد.

استیونز و نوردین (۱۹۸۷) معادله زیر را برای انتقال مواد بستر از نوع ماسه ریز ارائه نمودند.

$$q_s = 115.88KV^3 \quad (۱۰-۳)$$

که در این روابط:

q_s : بده رسوب واحد عرض آبراهه (تن بر روز بر متر)

V : سرعت جریان (متر بر ثانیه)

K : ضریبی که به اندازه و چگالی ذرات رسوب بستگی دارد.

اگر رابطه فوق برقرار باشد، معادله انتقال بر حسب غلظت می تواند به صورت زیر بیان شود:

$$C = 219.827V^2 / R \quad (۱۱-۳)$$

که در این رابطه:

C : غلظت رسوب (میلی گرم بر لیتر) و R شعاع هیدرولیکی (متر) می باشد.

از این رابطه برای حذف فاکتور سیلت f در تمام معادلات لیزی استفاده شده است. اگر مقادیر رسوب انتقالی در آبراهه مشخص شود، مشاهده می شود که این معادلات نسبت به معادلات لیزی، تخمین های بهتری از عمق و سرعت طراحی به دست می دهند.

معادلات استیونز و نوردین (۱۹۸۷) برای ماسه به اندازه 0.1-0.3 mm، غلظت کم تر از 100 mg.lit و سرعت (0.75 m.s) -

0.15) به کار می روند و مصالح دیواره ها باید مقاومت کافی داشته باشند که تحت این سرعت ها فرسایش نیابند [۵].

برای شرایط خارج از این محدوده‌ها، باید از مجموعه دیگری از معادلات رژیم استفاده شود. البته وارد کردن اندازه بده رسوبی به‌عنوان یک متغیر مستقل ترجیح بیشتری دارد چرا که بین بار رسوبی و فاکتور سیلت رابطه واحدی وجود ندارد و از آن‌جا که هر کانال، شکل خود را متناسب با بار رسوبی وارده تنظیم می‌کند، واضح است که با بار رسوبی به‌عنوان یک متغیر مستقل جداگانه باید رفتار نمود و در معادلات رژیم تکامل یافته اندازه رسوبات و بار رسوبی نیز وارد معادلات می‌شوند.

به منظور بررسی اثر شیب روی عرض کانال می‌توان به داده‌های تجربی ولمن و براش^۱ (۱۹۶۱) استناد نمود. این داده‌ها از انجام یک‌سری آزمایش بر روی کانال‌های با بستر متحرک با 0.67 میلی‌متر پوشش ماسه‌ای به‌دست آمده‌اند. این داده‌ها نشان می‌دهند که تغییرات شیب کانال بر روی تغییرات عرض کانال موثر می‌باشد. ولمن و براش (۱۹۶۱) به منظور آزمایش از یک بستر شیب‌دار که با ماسه سست پوشانده شده بود استفاده کردند و توسعه هندسه کانال را با تغییر در متغیرهای بده و شیب کانال بررسی نمودند و از آنالیز رگرسیون داده‌های تجربی معادله زیر را ارائه نمودند:

$$W = 5.59Q^{0.45} \quad (۱۲-۳)$$

که در این رابطه W : عرض کانال (متر) و Q بده (متر مکعب بر ثانیه) می‌باشد.

ضریب تعیین (r^2) برای معادله (۱۲-۳)، 0.73 می‌باشد. پایین بودن مقدار این ضریب نشان دهنده آن است که اثر بعضی از عوامل در این معادله در نظر گرفته نشده است، مطابق نتایج مطالعات ولمن و براش (۱۹۶۱) یکی از این عوامل شیب کانال می‌باشد. لذا در حالت دوم با در نظرگیری اثر شیب طولی کانال، مقدار ضریب α به‌عنوان یک تابعی از شیب کانال محاسبه شده است.

$$W = \alpha \cdot Q^{0.6} \quad (۱۳-۳)$$

$$\alpha = 1364S + 11.59 \quad (۱۴-۳)$$

که در این رابطه S شیب کانال می‌باشد.

ضریب تعیین برای این معادله 0.94 به‌دست آمده است.

در واقع همان‌طور که از معادله (۱۳-۳) بر می‌آید برای یک کانال با بده و مواد کناره ثابت با افزایش شیب مقدار α افزایش می‌یابد و در نتیجه عرض کانال نیز افزایش خواهد یافت. تحلیل فوق نشان می‌دهد که مقدار شیب کانال روی عرض کانال پایدار تاثیر مستقیم دارد.

براساس نتایج مطالعات سیمونز و آلبرتسون^۲ (۱۹۶۳) مشخصات ذرات رسوبی کناره به‌عنوان یک متغیر مستقل مهم باید در معادلات وارد شود. سیمونز و آلبرتسون سعی کرده‌اند که برای پیش‌بینی عرض یک آبراهه پایدار، تئوری نیروی مماسی را به تئوری رژیم ربط بدهند و براساس داده‌های زیادی که از کانال‌ها و رودخانه‌های در حال رژیم از هندوستان و آمریکای شمالی جمع‌آوری کردند، انواع مختلف کانال‌ها را با توجه به ذرات تشکیل دهنده کف و کناره به پنج نوع تقسیم‌بندی نمودند:

نوع ۱: کف و کناره ماسه‌ای

نوع ۲: کف ماسه‌ای و کناره چسبنده

نوع ۳: کف و کناره چسبنده

نوع ۴: مواد درشت‌دانه غیرچسبیده

نوع ۵: مانند نوع دوم، اما با غلظت زیاد مواد معلق (۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر)

روابط ارائه شده توسط سیمونز و آلبرتسون به صورت زیر می‌باشد:

$$P = k_1 \sqrt{Q} \quad (۱۵-۳)$$

$$W = 0.9P \quad (۱۶-۳)$$

$$W = 0.922T - 2.0 \quad (۱۷-۳)$$

$$R = k_2 Q^{0.36} \quad (۱۸-۳)$$

$$Y = 1.21R, R \leq 2.1m \quad (۱۹-۳)$$

$$Y = 0.61 + 0.93R, R \geq 2.1m \quad (۲۰-۳)$$

$$V = k_3 (R^2 S)^m \quad (۲۱-۳)$$

$$\frac{c^2}{g} = \frac{V^2}{gYS} = k_4 \left(\frac{V \cdot W}{v} \right) \quad (۲۲-۳)$$

که در این روابط:

W: عرض کانال (متر)

Q: بده (متر مکعب بر ثانیه)

S: شیب کانال

Y: عمق متوسط جریان (متر)

P: محیط خیس (متر)

R: شعاع هیدرولیکی (متر)

V: سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)

c: ضریب ثابت شزی

v: لزجت سینماتیکی

T: عرض سطح آزاد آب (متر) و مقادیر ضرایب k_1, k_2, k_3, k_4 و m نیز در جدول (۲-۳) ارائه شده است.

جدول ۳-۲- ضرایب و توان‌های معادلات (۱۵-۳) تا (۲۲-۳) [۱۶۵]

نوع کانال					ضرایب
۵	۴	۳	۲	۱	
۳/۱	۳/۱۷	۳/۹۸	۴/۷۱	۶/۳۵	k_1
۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۵۷	k_2
۹/۷۱	۱۰/۸۶	—	—	۹/۳۵	k_3
—	—	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۳۳	k_4
۰/۲۹	۰/۲۹	—	—	۰/۳۳	m

هندرسون^۱ (۱۹۶۶) نشان داد که به منظور حفظ پیوستگی رسوب در طول کانال نرخ بده در واحد عرض جریان به بده رسوب در واحد عرض جریان (q/q_s) باید مقدار ثابتی باشد. بازه‌های پهن‌تر کانال باید شیب تندتری داشته باشند تا در مقایسه با بازه‌های کم عرض‌تر حجم انتقال رسوب یکسانی داشته باشند. مطابق نظر هندرسون که افزایش در شیب کانال، همراه با افزایش‌های موضعی در عرض کانال، شکلی است که در رودخانه‌های طبیعی اغلب دیده می‌شود. به عبارتی ضمن در نظرگیری پایداری کناره‌ها، با افزایش شیب انتظار می‌رود که جریان آب با قدرت بیش‌تری به کناره‌ها حمله برده و عرض کانال افزایش یابد.

هی و تورن^۲ (۱۹۸۶) از داده‌های رودخانه‌های شنی پایدار با بستر متحرک یک‌سری معادلات رژیم ارائه داده‌اند، براساس مطالعات هی و تورن (۱۹۸۶) معادله عمومی برای عرض کانال (W) به صورت زیر می‌باشد:

$$W = 3.67Q_b^{0.45} \quad (23-3)$$

که در این رابطه Q_b : بده مقطع پر (متر مکعب بر ثانیه) و W عرض کانال (متر) می‌باشد.

ضریب تعیین (r^2) برای معادله (۲۳-۳)، ۰/۷۹ می‌باشد. طبق محاسبات هی و تورن عرض کانال مستقل از اندازه رسوبات و نیز مقدار بار رسوبی می‌باشد (البته طبق نتایج بری (۱۹۸۲b) عرض کانال به آرامی با تغییر در دانه‌بندی ذرات تغییر می‌کند).

عرض به‌دست آمده از نتایج هی و تورن تا حد زیادی تحت تاثیر نوع و چگالی پوشش گیاهی کناره قرار دارد. هی و تورن پوشش گیاهی کناره را به چهار گروه (نوع I: پوشش علفی بدون درختان و بوته‌ها، نوع II: ۱ تا ۵٪ پوشش درخت و بوته‌زار، نوع III: ۵ تا ۵۰٪ پوشش درخت و بوته‌زار، نوع IV: با بیش از ۵۰ درصد پوشش درخت و بوته‌زار) طبقه‌بندی نمودند. به طوری که طبق این طبقه‌بندی با افزایش چگالی پوشش گیاهی از عرض کانال کاسته می‌شود. در واقع معادله اصلاح شده عرض کانال به شکل زیر است.

$$W = \alpha Q_b^{0.5} \quad (24-3)$$

مقدار α از ۲/۳۴ برای پوشش گیاهی نوع IV تا ۴/۳۳ برای پوشش گیاهی نوع I تغییر می‌کند. همچنین ضریب تعیین برای معادله (۲۴-۳)، ۰/۹۶ می‌باشد که نسبت به معادله (۲۳-۳)، به طرز قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است.

پوشش گیاهی با افزایش مقاومت کناره‌ها، پایداری آن‌ها را در برابر تنش‌های برشی ایجاد شده توسط جریان آب افزایش می‌دهد. البته در مطالعات هی و تورن اثر شیب روی عرض کانال ارزیابی نشده است. ساده‌ترین رابطه برای عمق کانال (Y) به صورت زیر ارائه می‌شود [۳۳]:

$$Y = 0.33Q_b^{0.35} \quad (25-3)$$

که در این رابطه Y عمق کانال (متر) می‌باشد.

ضریب تعیین برای معادله (۲۵-۳)، ۰/۸۰ می‌باشد که با اصلاح معادله و اعمال اثر دانه‌بندی ذرات به ۰/۸۲ افزایش می‌یابد.

$$Y = 0.22Q_b^{0.37} \cdot D_{50}^{-0.11} \quad (26-3)$$

که در این رابطه D_{50} قطر متوسط ذرات رسوبی (متر) می‌باشد.

(هی و تورن، ۱۹۸۶) برای شیب کانال (S) معادله زیر را ارائه داده‌اند.

$$S = 0.087Q_b^{-0.43} \cdot D_{50}^{-0.09} \cdot Q_s^{0.10} \quad (27-3)$$

که در این رابطه Q_s : بار رسوبی (کیلوگرم بر ثانیه) و Q_b بده مقطع پر (مترمکعب بر ثانیه) می باشد. ضریب تعیین معادله (۳-۲۷)، $0/63$ می باشد. مقدار پایین ضریب تعیین می تواند بیان کننده نادیده گرفتن اثر برخی از پارامترها در این معادله باشد.

از آن جا که شیب کانال به عنوان یک متغیر وابسته مورد توجه می باشد. لذا در آنالیز رگرسیون برای محاسبه معادلات رژیم مربوط به عرض کانال وارد نمی شود. در نتیجه به ازای یک بده و دانه بندی رسوبات و پوشش گیاهی داده شده با تغییر در شیب کانال، از معادلات رژیم عرض واحدی خواهیم داشت.

معادلات تجربی رژیم نشان می دهند که به طور کلی عرض و عمق کانال های آبرفتی به وسیله بده غالب کنترل می شوند معادلات برای عرض و عمق در اغلب موارد به صورت زیر بیان می شوند.

$$W \propto Q^a \quad (28-3)$$

$$Y \propto Q^b \quad (29-3)$$

که در این روابط W : عرض کانال (متر)، Y : عمق کانال (متر) و Q بده غالب (مترمکعب بر ثانیه) می باشد. a در محدوده $0/45$ تا $0/55$ قرار دارد که در اغلب اوقات $0/50$ در نظر گرفته می شود و b بین $0/33$ تا $0/41$ تغییر می کند. همچنین عرض کانال و حتی عمق آن تحت تاثیر مقاومت کناره های کانال در مقابل فرسایش قرار دارند. از طرفی همان گونه که از معادله (۳-۲۷) برمی آید شیب کانال تابعی از بده، اندازه رسوبات و نیز بار رسوبی می باشد. از طرفی عرض کانال به طور مستقیم تحت تاثیر بار رسوبی نمی باشد ولی به هر حال همان گونه که در معادلات (۳-۱۳) و (۳-۱۴) نشان داده شد با توجه به وابستگی عرض کانال و نیز شیب می توان گفت، عرض کانال به طور غیر مستقیم تحت تاثیر تغییرات بار رسوبی قرار دارد. وارد نشدن یک سری از متغیرهای مستقل مهم در معادلات رژیم، سبب می شود که ضرایب ثابت در این معادلات تا حدی به مقادیر عددی این متغیرها وابسته باشند. از نظر تئوری این ضرایب باید خصوصیات ثابت های فیزیکی را نشان دهند و نه این که نشان دهنده متغیرهایی باشند که به طور اتفاقی ثابت در نظر گرفته شده اند، لذا به کاربردن این معادلات فقط در یک سری شرایط خاص و مکان های مشابه محل جمع آوری داده ها درست و قابل اعتماد می باشد.

۳-۴-۳- مدل های تحلیلی

۳-۴-۳-۱- مدل های مبتنی بر روش طراحی نیروی کششی

یکی شدن نتایج معادلات رژیم تجربی، مهندسان آمریکایی را به سمت توسعه یک روش نیمه تئوری پیچیده تر برای اهداف طراحی کانال سوق داد [۴۰]. شیوه برخورد جدید بر مبنای روش طراحی نیروی کششی مجاز برای پایداری دیواره هایی که از مواد غیرچسبنده (شن و ماسه) تشکیل شده اند، اولین بار توسط لین بسط داده شد. نیروی کششی مجاز در واقع حداکثر نیروی است که تحت آن مواد بستر و کناره فرسایش نمی یابند. به عبارتی این تئوری یک بستر دانه ای را در آستانه حرکت فرض می کند و هندسه مقطع عرضی و وزن ذرات منفرد را به نیروی برشی سیال ربط می دهد. به ازای بده و مشخصات ذرات رسوبی داده شده این مدل ها قادرند سرعت متوسط، محیط خیس، شعاع هیدرولیکی و شیب کانال مستقیم را محاسبه کنند. از آن جا که چهارم متغیر نامعلوم داریم، لذا لازم است چهارم معادله وجود داشته باشند که بین این چهار مجهول و نیز دو متغیر مستقل (بده جریان و اندازه ذرات رسوبی) رابطه برقرار کنند. این مدل از معادلات پیوستگی، مقاومت جریان، آستانه حرکت رسوبات بستر و کناره برای محاسبه هندسه کانال پایدار

استفاده می‌کند. همچنین این مدل برای کانال‌های آستانه (کانال‌هایی که در آن‌ها نرخ انتقال رسوب به صفر میل می‌کند) به کار برده می‌شود. برای رسوبات درشت‌دانه با زاویه ایستایی ۳۰ درجه، این معادلات به شکل زیر می‌باشند [۴۰]:

$$Q = V.P.R \quad (۳-۳۰) \text{ معادله پیوستگی:}$$

$$V = 15.46R^{0.5}S^{0.38} \quad (۳-۳۱) \text{ معادله مقاومت جریان:}$$

$$R = \frac{5.79D}{S} \quad (۳-۳۲) \text{ معادله آستانه حرکت رسوبات بستر:}$$

$$P = 10R \quad (۳-۳۳) \text{ معادله آستانه حرکت رسوبات کناره:}$$

با ساده‌سازی روابط فوق، خواهیم داشت:

$$V = 2.91D^{0.3}Q^{0.08} \quad (۳-۳۴)$$

$$S = 0.087D^{1.15}Q^{-0.46} \quad (۳-۳۵)$$

$$(۳-۳۶)$$

$$R = 0.185D^{-0.15}Q^{0.46} \quad (۳-۳۷)$$

که در این روابط:

V: سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)

P: محیط خیس (متر)

R: شعاع هیدرولیکی (متر)

Q: بده (متر بر ثانیه)

S: شیب کانال

اگر رسوبات یکنواخت باشند منظور از D قطر متوسط ذرات رسوبی برحسب میلی‌متر می‌باشد و اگر غیریکنواخت باشند از D_{84} یا D_{90} استفاده می‌شود. علت این امر آن است که در صورتی که مواد بستر غیریکنواخت باشند، در ابتدا که شیب کف رودخانه زیاد است احتمالاً تمام ذرات در حرکت خواهند بود. با کاهش تدریجی شیب، تنش برشی به حدی خواهد رسید که از تنش برشی بحرانی برای ذرات درشت‌دانه نظیر D_{84} یا D_{90} کم‌تر شده، در نتیجه این ذرات در بستر باقی خواهند ماند. با گذشت زمان مواد درشت‌دانه به تدریج در سطح کف رودخانه تجمع کرده و پس از مدتی که تقریباً تمام سطح بستر را پوشانند، عمل کف کنی تقریباً متوقف می‌شود. این لایه درشت‌دانه را که از شستشوی مواد ریز جلوگیری می‌کند، لایه محافظ یا مسلح^۱ می‌گویند.

معادلات حاکم یک‌سری محدودیت برای استفاده از روش طراحی نیروی کششی مجاز ایجاد می‌کنند از جمله:

- اگر برای معادله مقاومت جریان از نوع نمایی نظیر رابطه مانینگ استفاده شود لازم است که زبری کانال فرض شود زیرا

رادکیوی^۲ (۱۹۶۷) نشان داده است که ضریب و نماها در این نوع معادلات تجربی وابسته به زبری مربوط به مقطع

می‌باشند در حالی که در معادلات لگاریتمی نظیر کالبروک-وایت^۳ و دارسی-وایسباخ^۴ این محدودیت وجود ندارد [۳۰].

1- Armour

2- Raudkivi

3- Colebrook- White

4- Weisbach -Darcy

- معادلات آستانه حرکت رسوبات بستر و کناره نیز در چنین مدلی دارای یکسری شرایط محدود کننده می‌باشند. برای رسوبات غیرچسبنده، نیروی کششی بحرانی در آستانه حرکت به توزیع دانه‌بندی ذرات و نیز شکل و شیب سطح بستگی دارد. در مقابل نیروی کششی بحرانی برای رسوبات چسبنده درحله اول به نوع مواد و پیوند شیمیایی ذرات بستگی دارد نه به خصوصیات فیزیکی و شکل قرارگیری ذرات در مقطع عرضی.

به‌عنوان یک نتیجه می‌توان گفت روش‌های طراحی نیروی کششی تنها برای طراحی کانال‌های با بستر مسطح غیر متحرک و با رسوبات غیرچسبنده نتایج خوبی را به دنبال دارند. به عبارتی این روش برای کانال‌های دارای پایداری استاتیکی جوابگوست، یعنی کانال‌هایی که در آن جریان می‌تواند با خود رسوب حمل کند ولی قادر به فرسایش مرزهای آبراهه نیست. حتی تحت این شرایط نیز در صورت غیر یکنواخت بودن ذرات در تعیین اندازه صحیح قطر ذرات برای روابط دچار خطا خواهیم شد.

۳-۴-۲- مدل‌های مبتنی بر روش‌های مقادیر حد نهایی

طبق تحقیقات مهندسی و زمین شناسان در ۳۰ سال گذشته، کانال‌های آبرفتی مستقیم در واکنش به فرسایش و رسوب‌گذاری دارای ۴ درجه آزادی می‌باشند که عبارتند از عرض (W)، عمق (Y)، سرعت (V)، شیب (S) ([۳۶]). هر درجه آزادی باید به یک معادله کنترل کننده مربوط شود. این که این معادلات اتصال و رابطه بین متغیرهای وابسته را تعریف کنند، کافی نیست و لازم است که چگونگی واکنش کانال به یکسری از متغیرهای مستقل یا کنترل کننده را نیز در فرآیندهای پایدار شدن، نشان دهند. در این روش‌ها به جای شرط آستانه حرکت رسوبات در مدل‌های کانال پایدار از معادله انتقال رسوب استفاده می‌شود و معادلات در دسترس معادله مقاومت جریان، پیوستگی و نیز انتقال رسوب هستند، لذا برای به‌دست آوردن متغیرهای مجهول اشاره شده تنها سه معادله موجود می‌باشد و این درحالی است که چهار متغیر مجهول وجود دارد. بنابراین استفاده از روش‌های صریح تنها در صورتی امکان‌پذیر است که مقدار یکی از متغیرهای مجهول را بدانیم. در مدل‌های مبتنی بر روش طراحی کششی فرض می‌شود عرض کانال در حین تغییرات هندسه کانال برای رسیدن به پایداری ثابت می‌ماند و لذا چنین مشکلی وجود ندارد. فقدان معادله چهارم باعث شد که لانگبین^۱ (۱۹۶۴) و لانگبین و لئوپولد^۲ (۱۹۶۳ و ۱۹۶۴) پیشنهاد بدهند که از یک راه حل تقریبی برای محاسبه هندسه کانال‌های پایدار استفاده شود که مطابق نتایج این روش جواب واحدی برای پارامترهای هندسی مقطع به‌دست نخواهد آمد [۳۰].

واتسن^۳ (۱۹۶۶ و ۱۹۶۹) مفهوم نامعینی و لانگبین و لئوپولد (۱۹۶۳ و ۱۹۶۴) را مورد بررسی قرارداد. او پیشنهاد کرد که این از عدم آگاهی ما نسبت به فرآیندهای حاکم بر سامانه‌ی نامعین به‌وجود می‌آید. برای به‌دست آوردن یک راه حل واحد ابتدا باید فرآیندهای حاکم را به‌درستی تعریف نمود [۳۰].

به دنبال تلاش برای به‌دست آوردن یک راه حل معین برای هندسه هیدرولیکی رودخانه‌های آبرفتی، بعضی از محققین پیشنهاد کرده‌اند که معادله بهینه‌سازی در روند مدل‌سازی وارد شود. این روش‌ها از معیار بیشینه‌سازی یا کمینه‌سازی یک پارامتر کلیدی از قبیل قدرت جریان، نرخ مصرف انرژی یا غلظت رسوب، برای تحلیل کامل شیب، عرض و عمق جریان استفاده می‌کنند. تعدادی از روش‌های بهینه‌سازی قابل استفاده را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی نمود.

1- Langbein

2- Langbein and Leopold

3- Watson

- حداقل توان واحد جریان (MUSP)، [۷۹]
- حداقل توان جریان (MSP)، [۱۷]، [۱۸] و [۷۰]
- حداکثر ظرفیت انتقال رسوب (MCT)، [۷۴]

یانگ^۱ (۱۹۷۶) پیشنهاد کرد که رودخانه‌های آبرفتی سرعت و شیب خود را به نحوی تنظیم می‌کنند که بده و بار رسوبی بتوانند با محدودیت حداقل توان جریان آب در واحد طول رودخانه با در نظرگیری سایر محدودیت‌ها منتقل شوند. با توجه به مستقل بودن بده و ثابت بودن چگالی، کانال پایدار برای انتقال بده جریان و بار رسوبی ورودی در یک شیب حداقل توسعه پیدا می‌کند. این راه حل براساس استفاده از معادله پیوستگی، مقاومت جریان، انتقال رسوب و اصل حداقل توان جریان واحد در نظر گرفته شد.

با استفاده از داده‌های صحرایی و آزمایشگاهی یانگ بیان کرد که با این برخورد می‌توان هندسه جریان را تحت شرایط رژیم پایینی و غلظت رسوب کم پیش‌بینی نمود. در غلظت‌های رسوبی بالاتر پیش‌بینی‌ها تغییر می‌کردند، همچنین برای شرایط رژیم جریان بالایی نمی‌توان هیچ توان جریان واحدی تعریف نمود. بررسی دقیق‌تر روش نشان می‌دهد هندسه جریان محاسبه شده حتی تحت شرایط رژیم پایینی از دقت کمی برخوردار است زیرا حداقل توان واحد جریان برای دامنه وسیعی از عمق‌های جریان که هر یک به دلخواه انتخاب شده‌اند می‌تواند به کار رود. در ضمن پاره‌ای از مشکلات در رابطه با ارزیابی نتایج مدل، زمانی که داده‌ها برای به‌دست آوردن معادله انتقال رسوب استفاده می‌شوند، وجود دارد [۷۹].

چانگ^۲ (۱۹۷۹) توان رودخانه‌ای $\gamma.Q.S$ را به‌عنوان نرخ کل کار انجام یافته به‌وسیله نیروهای خارجی در واحد طول آبراهه تعریف کرد. روش پیشنهاد شده به وسیله چانگ، با فرض یک عرض و یک عمق اولیه و محاسبه شیب برای یک بده آب، بده رسوب و اندازه رسوب مشخص، شروع می‌شود و یک فرآیند تکراری و سعی و خطایی را به منظور حل سامانه‌ی رژیم طی می‌کند. فرض می‌شود ابعاد آبراهه‌ای که حداقل قدرت جریان یا برای بده معین و γ ثابت، حداقل شیب را به دست می‌دهد، ابعاد کانال رژیم باشد. در این روش معادلات انتقال رسوب و مقاومت جریان از میان فرمول‌های مختلف موجود برای آبراهه‌های با بستر ماسه‌ای و شنی انتخاب شده‌اند. سپس این معادلات با مفهوم قدرت جریان حداقل به‌عنوان سومین رابطه مورد نیاز، ترکیب شده و سه معادله برای عرض، عمق و شیب حل شده است.

به عبارت دیگر، برای یک بازه کوتاه از رودخانه با بده یکنواخت، شرایط پایداری دینامیکی به صورت زیر بیان می‌شود:

- بده رسوب یکسان در طول آبراهه
- یکنواختی در توان رودخانه ($\gamma.Q.S$) که در آن γ : وزن مخصوص مخلوط آب و رسوب، Q : بده جریان و S گرادیان انرژی می‌باشد.

اگر گرادیان انرژی با شیب سطح آب بیان شود، در آن صورت توان رودخانه یکنواخت، معادل با نیمرخ خطی سطح آب در طول آبراهه است. یک رودخانه که دستخوش تغییرات است، معمولاً دارای نیمرخ سطح آب خطی یا بده رسوب یکنواخت نیست. اما تنظیمات رودخانه به‌گونه‌ای است که غیریکنواختی در نیمرخ سطح آب و بده رسوب، به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

عامل انتقال رسوب یک عامل محدود کننده محسوب می شود. به خاطر این که بده رسوب تابع مستقیمی از $Q.S$ است، تنظیم آبراهه در جهت مصرف انرژی یکسان، یکنواختی در بده رسوب را ایجاد می کند. وقتی که پایداری حاصل شد، بده رسوب در بازه با نرخ ورودی رسوب برابر خواهد شد.

وایت^۱ و همکارانش در سال ۱۹۸۲ نظریه‌ای را بر مبنای این فرض که یک آبراهه آبرفتی، شیب و هندسه خودش را در جهت پیشینه‌سازی ظرفیت حمل رسوبش تنظیم می کند، ارائه دادند. به عبارت دقیق تر، نظریه آنها این است که برای یک بده و شیب معین، عرض آبراهه خودش را طوری تغییر می دهد که یک نرخ انتقال حداکثر به دست بیاید. تحلیل‌های آنان نشان می دهد که پیشینه‌سازی نرخ انتقال، همان نتایج کمیته‌سازی یا قدرت جریان را به دست می دهد.

این روش که به وسیله وایت، بتیس و پاریس در ایستگاه تحقیقات والینگفورد انگلستان در سال ۱۹۸۱ برای محدوده وسیعی از اندازه رسوبات از ۰/۰۴ تا ۶۸ میلی متر بیان شده است به روش والینگفورد مشهور است. یک معادله انتقال رسوب و یک معادله مقاومت جریان به همراه مفهوم پیشینه‌سازی انتقال رسوب به عنوان معادله سوم مورد نیاز، با هم به کار برده شده‌اند. در این روش d_{35} به عنوان شاخص اندازه رسوب به کار می رود.

پارکر^۲ (۱۹۷۸) با در نظرگیری عامل پایداری جانبی کانال در رودخانه‌های شنی و استفاده از تکنیک‌های آشفتگی، به توسعه معادلات تجربی پرداخت. لذا با در نظرگیری پایداری کناره در روش پارکر هندسه پایدار رودخانه‌های آبرفتی بدون نیاز به فرضیه بهینه‌سازی به دست می آید.

بتس^۳ و همکاران (۱۹۸۸) نشان داد که نتایج معادلات پارکر با نتایج معادلات تجربی به دست آمده از داده‌های مشاهداتی کانال‌های آبیاری و رودخانه همخوانی مناسبی را نشان نمی دهند [۵].

مدل‌های مبتنی بر روش‌های مقادیر حد نهایی را می توان به راحتی برای آبراهه‌های دارای پایداری دینامیک به کاربرد و آن پایداری است که تغییرات جریان، مواد بستر و دیواره و رسوب حمل شده به آبراهه تحمیل می کند. البته ممکن است بعضی تغییرات اتفاق بیفتد ولی شرایط عملاً بعد از یک دوره کامل یکسان است. وقتی که شرایط جریان و بار رسوب یا مواد بستر تغییر می یابد، هندسه آبراهه پس از یک دوره که آبراهه ناپایدار می شود، دوباره خود را با شرایط جدید انطباق می دهد. چنین آبراهه‌ای را رژیم نیز می گویند. در یک آبراهه رژیم، بده آب، بده رسوب، هندسه و شیب آبراهه در حالت پایدار هستند.

۳-۴-۳- کاربرد تئوری‌های مختلف پایداری بر حسب نوع رودخانه

در مقام مقایسه و بررسی روش تجربی علی‌رغم سادگی و شکل صریح آن، دارای محدودیت کاربرد معادلات تجربی است که عموماً تابع شرایط منطقه‌ای هستند. درحالی که روش مبتنی بر نگرش تحلیلی، به دلیل بهره‌گیری از اصول فیزیکی حاکم بر فرآیند حرکت بسترهای رسوبی، دارای این محدودیت نبوده و دامنه وسیعی از شرایط متنوع هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و رسوبی را در بر می گیرد و به دلیل پیچیدگی محاسبات و غیرصریح بودن آن با محدودیت مواجه است.

مدل‌های تحلیلی مبتنی بر روش‌های مقادیر حد نهایی بیش‌ترین پتانسیل مدل‌سازی موفقیت آمیز کمی پاسخ رودخانه را ارائه داده‌اند. البته اگرچه مدل‌های چانگ (۱۹۷۹ و ۱۹۸۰) و وایت و همکاران (۱۹۸۲) نتایج معقول و قابل قبولی را ارائه داده‌اند؛ ولیکن خطاهای ناشی از به‌کارگیری این مدل‌ها، مانع استفاده گسترده آن‌ها در کارهای مهندسی رودخانه شده است.

البته می‌توان این مدل‌ها را از طریق در نظرگیری جنبه‌های اضافی و تکمیلی توسعه کانال رودخانه اصلاح نمود. یکی از جنبه‌های تکمیلی می‌تواند، توزیع تنش برشی مرزی و یا به عبارتی در نظرگیری پایداری کناره‌های کانال باشد.

اهمیت مدل‌های رژیم تجربی و مدل‌های مفهومی در این است که از آن‌ها جهت کالیبراسیون و اصلاح نتایج مدل‌های تحلیلی استفاده می‌شود. بی‌شک نتایج یک مدل تحلیلی موفق با مدل‌های تجربی و نیز معادلات کیفی همخوانی مناسبی را نشان می‌دهد. به عبارتی روش جدید مبتنی بر تلفیق سه روش یاد شده می‌باشد و هدف از آن رفع نواقص روش‌های گفته شده و داشتن مزایای هر یک می‌باشد.

فصل ۴

بررسی معیارهای تعیین راستای بهینه

رودخانه

۴-۱- کلیات

بر اساس سامانه طبقه‌بندی لئوپولد، ولمن و میلر، سه الگوی مستقیم، پیچان و شریانی در رودخانه‌ها قابل تشخیص است. یک رودخانه در آن واحد در بازه‌های مختلف خود ممکن است الگوهای مختلف داشته باشد و یا یک بازه مخصوص در زمان‌های مختلف ممکن است الگوهای مختلف داشته باشد. لذا الگوهای ذکر شده کاملاً از یکدیگر مجزا نیستند. الگوی شریانی ممکن است بر الگوی مستقیم یا پیچانرودی اثر نموده و به این ترتیب درجه سینوسیته و منظمی رودخانه، تغییر می‌کند.

تمایز مابین الگوی مستقیم و پیچانرودی تا حدودی اختیاری است. لیکن الگوهای شریانی و پیچانرودی کاملاً از یکدیگر متمایز هستند و باید به منزله حدود نهایی در گستره پیوسته تغییرات الگوهای هندسی در نظر گرفته شوند. چون محدوده تغییرات متغیرهای گوناگون موثر بر شکل‌گیری الگوهای هندسی پیوسته است لذا عجیب نخواهد بود اگر در مقابل با محدوده پیوسته‌ای از الگوهای هندسی روبرو شویم. تغییر این متغیرها می‌تواند باعث تغییر متناظر پیوسته در الگوی هندسی رودخانه شود.

۴-۲- انواع هندسه مسیر در رودخانه‌ها

۴-۲-۱- مسیر مستقیم

عمدتاً تصور بر این است که الگوهای مستقیم حالت‌های پیش از تبدیل به الگوی پیچانرودی است. در این الگوها که بالغ بر سه نوع هستند، مسیر رودخانه مستقیم و یا حداکثر دارای ضریب سینوسیته یا خمیدگی قابل اغماضی است. تالوگ رودخانه بسته به مورد می‌تواند دارای مسیر مستقیم یا منحنی باشد. عموماً الگوهای مستقیم در رودخانه به علت مشاهده موارد نادر در طبیعت کم‌وبیش ناپایدار فرض می‌شوند.

در این الگوها، رودخانه یا دارای شیب طولی بسیار اندکی است که در نتیجه می‌تواند سرعت‌های فرسایشی را به‌وجود آورد و یا دارای آنچنان شیب‌های طولی تندی است (مانند رودخانه‌های کوهستانی) که سرعت‌های بسیار زیاد در رودخانه به‌وجود می‌آید. در ادامه انواع الگوهای مستقیم توسعه یافته به شرح زیر معرفی می‌شوند:

۴-۲-۱-۱- مسیر کاملاً مستقیم بدون حضور نهشته‌های رسوبی

این نوع از رودخانه‌ها دارای مسیر مستقیم هستند. مسیر تالوگ^۱ یا خط حداکثر عمق نیز در این رودخانه‌ها مسیر کمابیش مستقیمی را طی می‌کند. در حالت ایده‌آل هم رودخانه و هم تالوگ کاملاً مستقیم هستند. بار رسوبی نیز چنان اندک است که اثر وجودی بر رودخانه ندارد. وجود چنین الگویی در طبیعت بسیار نادر است. به همین علت آن را ناپایدار فرض نموده و به‌عنوان الگویی در نظر می‌گیرند که با اندک تغییر در سامانه‌ی رودخانه تبدیل به الگوی بعدی می‌شود.

مقطع این نوع از رودخانه‌ها متقارن و به شکل یک منحنی زنگوله‌ای برعکس است. حداکثر سرعت جریان نیز در وسط مقطع به‌وجود می‌آید. به همین علت سطح آب در وسط پایین‌تر از لبه‌های مقطع می‌باشد. به همین دلیل جریان‌های عرضی در دو نیمه مقطع نسبت به محور مرکزی، در اثر وجود گرادیان عرضی گفته شده در سطح آب، به‌وجود می‌آید.

۴-۲-۱-۲- مسیر کاملاً مستقیم با حضور رسوبات

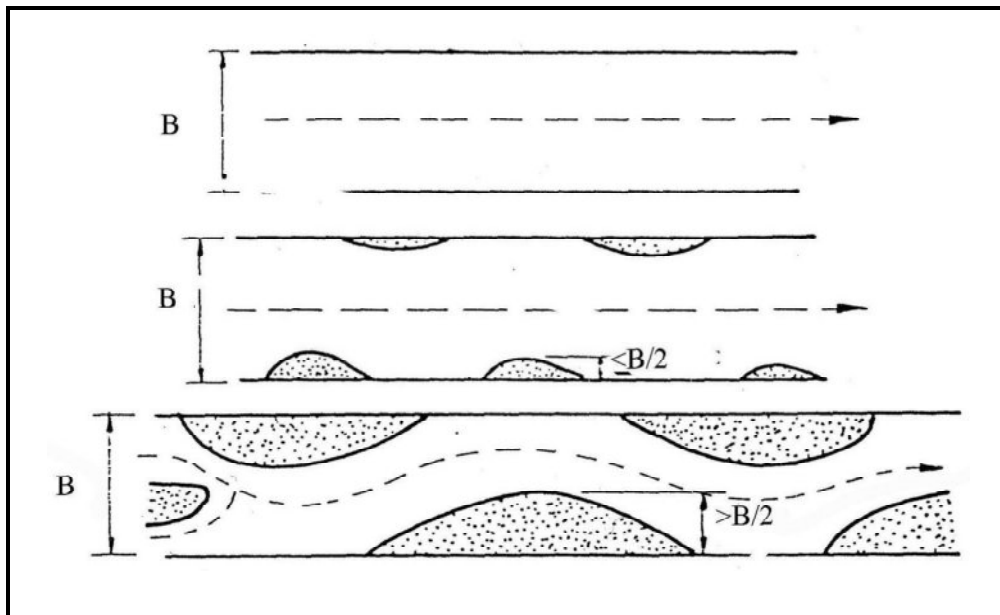
این نوع از رودخانه‌ها دارای مشخصاتی مشابه با رودخانه‌های نوع قبل می‌باشد. تنها تفاوت موجود، حضور بار رسوبی و تشکیل نهشته‌های رسوبی متناوب در داخل مسیر جریان است. وسعت این نهشته‌ها هنوز چنان کوچک است که اثر آن‌ها بر جریان و رودخانه قابل صرف نظر است.

۴-۲-۱-۳- مسیر مستقیم با خط‌القعَر انحنا دار در اثر حضور نهشته‌های رسوبی متناوب بزرگ

در این نوع از رودخانه‌ها هنوز مسیر رودخانه مستقیم است و یا سینوسیته قابل اغماضی دارد، ولی تمایلی به بروز انحنا در حال شکل‌گیری است. حضور مواد رسوبی تا درجه‌ای است که رسوبات به صورت نهشته‌های رسوبی متحرک^۱ به صورت یک در میان، در یک ساحل و ساحل مقابل آن حرکت می‌کنند، به همین علت تالوگ رودخانه مسیر انحنا داری دارد. وجود نهشته‌های رسوبی در وسط رودخانه^۲ نیز همین اثر را خواهد داشت.

تشخیص این نوع از انواع مستقیم دیگر در هنگام پرابی و پر بودن مقطع رودخانه مشکل است. این الگو به خصوص در رقوم‌های پایین سطح آب خود را نشان می‌دهد. در این حالت با کاهش رقوم سطح آب، نهشته‌های رسوبی یا بارها رخنمون شده و باعث می‌شوند تا علیرغم مستقیم بودن مسیر رودخانه در هنگام پرابی، جریان‌های اندک به تبعیت از تالوگ رودخانه دارای مسیر انحنا داری باشند. شکل (۴-۱) هر سه نوع الگوی مستقیم را نشان می‌دهد.

در حالتی که سواحل رودخانه به هر دلیلی از جمله نوع مصالح موجود پایدار نباشند، این احتمال وجود دارد که الگوی هندسی مستقیم با تالوگ انحنا دار در اثر افزایش بده مستقیماً با بریدن سواحل و ایجاد بارهای میانی، تبدیل به الگوی شریانی^۳ شود. در این صورت این تصور که الگوی مستقیم حالت تبدیلی به الگوی پیچانرودی است باطل خواهد شد.



شکل ۴-۱- انواع الگوهای مستقیم بسط یافته

- 1- Traveling Bars
- 2- Middle Bars
- 3- Braided

۴-۲-۲- مسیر پیچانرودی

مسیر رودخانه در این الگو در ابتدا دارای انحناهای متناوب کوچکی است. پیچانرودها در این مرحله ناکامل و در مرحله گسترش بوده و تا رسیدن به وضعیت پایداری و کاملاً توسعه یافته خود، زمان زیادی را در پیش رو دارند. ضریب سینوسیته رودخانه‌هایی که دارای این الگو هستند تا تکامل پیچان، روند افزایشی دارد. این روند افزایشی تا رسیدن به حالت توسعه یافته در خصوص حرکت عرضی پیچانرود نیز صادق است.

۴-۳- عوامل موثر بر هندسه مسیر رودخانه‌ها

به طور طبیعی الگوی رودخانه با افزایش مداوم بده رسوب به تدریج از مستقیم به پیچانرودی و سپس به شریانی تبدیل می‌شود. رودخانه‌های مستقیم تنها در نسبت‌های بسیار اندک پهنا به عمق، موجودیت می‌یابند. پارکر در سال ۱۹۷۶ مشابه با انگلوند و اسکووگارد^۱ در سال ۱۹۷۳ اظهار داشت که در رودخانه‌های پیچانرودی مقدار شیب طولی و نسبت پهنا به عمق نسبتاً کوچک و در الگوی شریانی نسبتاً بزرگ هستند.

بنابراین، اطلاعات موجود حکایت از آن دارد که توالی تغییر الگوی رودخانه‌ها از مستقیم به پیچانرودی و شریانی به افزایش نسبت پهنا به عمق (که با پایداری سواحل رودخانه نسبت معکوس داشته و یا با افزایش بار بستر نسبت مستقیم دارد)، افزایش توان رود و یا افزایش مقدار بار رسوب (به‌خصوص بار بستر) وابسته است. این مطلب بار دیگر تأییدی است بر پیوسته بودن الگوهای متفاوت در رودخانه‌ها. به‌همین علت معیارهایی چون نسبت پهنا به عمق (W/Y)، توان رود ($\gamma.Q.S$) و شیب طولی (S) را می‌توان برای تبدیل الگوهای هندسی به یکدیگر مورد استفاده قرار داد. معیار نسبت پهنا به عمق توسط افرادی چون یالین^۲، پارکر، انگلوند و اسکووگارد و معیار شیب طولی توسط اشخاصی چون لئوپولد، ولمن، میلر، هندرسون و دیگران استفاده شده است. چانگ نیز از معیار توان رود^۳ استفاده می‌کند. در این دستورالعمل به دلیل نگاه کاربردی، بر معیار شیب تأکید بیش‌تری می‌شود.

۴-۳-۱- دره رودخانه‌ها

دره^۴ آن بخشی از اراضی حوضه آبریز است که رودخانه اصلی در آن جریان دارد. دره در تمامی مسیر رودخانه از محل سرچشمه^۵ تا تخلیه‌گاه^۶ امتداد دارد. پهنای دره هر رودخانه‌ای، فضای موجود برای آن رودخانه را مشخص می‌کند. پهنای دره بر طبق مشخصات توپوگرافی و یا ژئوتکنیکی مشخص می‌شود. به این ترتیب سطح مقطع اصلی رودخانه و اراضی مجاور آن (سیلابدشت)^۷، به تمامی داخل پهنای دره قرار دارند. انتهای سیلابدشت در هر دو سوی رودخانه منطبق بر دیواره دره است. رودخانه می‌تواند در پهنای دره حرکت عرضی داشته باشد.

-
- 1- Engelund and Skovgaard
 - 2- Yalin
 - 3- Stream Power
 - 4- Valley
 - 5- Source
 - 6- Outfall
 - 7- Flood Plain

در داخل حوضه، رودخانه‌ها حد فاصل بین سرچشمه و تخلیه‌گاه در راستای خط حداکثر شیب حرکت می‌نمایند. این خط لزوماً مستقیم نیست. وجود نقاط شکستگی در مسیر و یا بخش‌های منحنی امکان‌پذیر است. دره به موازات مسیر این خط امتداد دارد. این خط با نام عمومی خط حداکثر شیب رو به پایاب، شناخته می‌شود. در واقع طول دره^۱ معرف طول مسیر رودخانه اصلی به موازات حداکثر شیب از محل سرچشمه تا تخلیه‌گاه است و با L_v نمایش داده می‌شود. با توجه به این که رودخانه به‌طور معمول در خط القعر حوضه (ولی نه لزوماً خط القعر مطلق حوضه) جریان می‌یابد می‌توان چنین برداشت کرد که طول دره برابر طول خط القعر حوضه در مسیر حرکت رود صرف‌نظر از تغییر مسیرهای متناوب آن است.

۴-۳-۲- شیب دره

شیب دره^۲، شیب طولی اراضی مجاور رودخانه مابین سرچشمه و خروجی رودخانه می‌باشد. به همین دلیل نباید آن را با شیب رودخانه که با S نمایش داده می‌شود و یا شیب طولی حوضه آبریز یکی دانست. شیب دره متأثر از ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه است. این ویژگی‌های زمین‌شناسی می‌تواند مشتمل بر توپوگرافی حوضه، مشخصات ژئوتکنیکی خاک، قابلیت فرسایش‌پذیری خاک و مانند آن‌ها باشد. توپوگرافی می‌تواند به تنهایی یک معیار در طبقه‌بندی رودخانه بوده و رودخانه را به گروه‌هایی چون رودخانه‌های کوهستانی، دلتایی و غیره تقسیم‌بندی نماید.

مقیاس زمانی لازم برای تغییرات در شیب دره چندین برابر مقیاس زمانی لازم برای پیدایش و به پایداری رسیدن رودخانه است. زمان لازم برای پیدایش و به پایداری رسیدن رودخانه‌ها بسته به مشخصات مختلف از ده‌ها سال تا چندین هزار سال در رودخانه‌های بزرگی چون آمازون و نیل متغیر است. شیب دره متأثر از نیمرخ طولی دره است و دره نیز در هنگام تشکیل سازندهای حوضه آبریز شکل گرفته است. بنابراین می‌توان انتظار داشت که شیب دره در طول دوره زمانی که برای پیدایش و تثبیت الگوهای هندسی لازم است ثابت باشد.

شیب دره در امتداد رودخانه بسته به توپوگرافی ممکن است تغییر نماید. افزایش و کاهش در شیب دره ممکن است در برخی موارد نتیجه حرکت حجم زیادی از رسوبات به داخل دره در هنگام پراچی در گذشته دور باشد [۶۲]. این رسوبات در دره مخروطه‌افکنه^۳ تشکیل می‌دهند. شیب متوسط دره را با نماد S_v نشان می‌دهند.

در قسمت قبل مفهومی به نام خط عمومی حداکثر شیب رو به پایاب معرفی گردید. نماد S_v بیانگر شیب این خط می‌باشد. همان‌طور که در آن‌جا نیز ذکر شده، خط حداکثر شیب لزوماً به‌صورت خط مستقیم نیست. در زمان شروع پیدایش رودخانه در دره، آن بخشی از اراضی دره که مستقیماً در آینده به‌عنوان بستر رودخانه عمل خواهند نمود، دارای شیبی برابر با شیب عمومی دره یا S_v می‌باشند.

۴-۳-۳- شیب طولی

نیمرخ طولی بستر رودخانه، شیب یا گرادیان طولی بستر آن را نشان می‌دهد. شیب یا گرادیان بستر بیانگر نسبت کاهش رقوم ارتفاعی رودخانه به طول آن در هر بازه مورد مطالعه است. اگر فرض شود که جریان در رودخانه ماندگار و یکنواخت^۴ است. در

1- Valley Length
2- Valley Slope
3- Alluvial Fan
4- Steady and Uniform

این صورت می‌توان شیب یا گرادیان بستر رودخانه و همچنین نیمرخ طولی آن را عینا برای شیب یا گرادیان سطح آب رودخانه و نیمرخ طولی آن یکسان دانست. این فرض گرچه دارای خطای زیادی است ولی به استنتاج مکانیسم‌های موجود در رودخانه کمک شایانی می‌کند. مشابه سایر پارامترهای رودخانه، روند نیمرخ طولی رودخانه بدون شک حاصل تعدادی از عوامل مستقل و یا به هم پیوسته است. شیب بیانگر برقراری توازن مابین ظرفیت انتقال رودخانه، اندازه ذرات و مقدار بار رسوبی ورودی به آن است.

شیب طولی همچنین عامل مهمی در تعیین خصوصیات و ویژگی‌های بستری است که برای یک بده مخصوص شکل گرفته است. شیب طولی موجب پیدایش مولفه‌ای از وزن سیال در جهت پایین دست رودخانه است که به نوبه خود تعیین کننده سرعت جریان می‌باشد. حتی وقتی که ویژگی‌های بستر نیز تغییر نیابد، تغییر در شیب طولی موجب تاثیر بر مقاومت در برابر جریان خواهد شد. به‌عنوان مثال در رودخانه‌ای با عمق اندک و بستری با شکل ناهمواری ریبیل^۱، مقاومت در برابر جریان با افزایش شیب، افزایش می‌یابد. به‌طور مشابه، اگر بستر دارای ناهمواری از نوع دیون^۲ باشد، به شرطی که سرعت ذرات بستر از ۶ سانتی‌متر بر ثانیه بیش تر باشند، همین پدیده مشاهده می‌شود. برای ذراتی با سرعت سقوط کم‌تر از این مقدار، نتیجه‌گیری درستی به‌عمل نیامده است. چون معمولا سامانه‌های رودخانه‌ای در اراضی سرچشمه پرشیب‌تر هستند. لذا نیمرخ طولی رودخانه را (برحسب طول آن) با فرمول نمایی زیر تقریب می‌زنند:

$$S(x) = S_0 e^{-ax} \quad (1-4)$$

این فرمول اولین بار توسط شولیتز^۳ در سال ۱۹۴۱ ارائه شده است. در این فرمول:

$S(x)$: شیب رودخانه در فاصله x در پایین دست نقطه مبنا

S_0 : شیب رودخانه در نقطه مبنا

a : ضریبی است که بستگی به ویژگی‌های رودخانه از جمله مصالح بستر و کناره‌های آن دارد.

به‌عنوان مثال، نمونه‌ای از این فرمول به‌صورت $S = 0.022 \exp(-5.8 \times 10^{-3} x)$ برحسب آحاد متریک توسط هاس^۴ در سال ۱۹۶۹ برای رودخانه ریوگراند^۵ ارائه شده است. چون شیب طولی با رقوم بستر طبق رابطه $S = -dz/dx$ مربوط است لذا می‌توان انتظار داشت که رقوم بستر نیز دارای همین روند تغییرات باشند. روشن است که این نوع رابطه توانی تنها می‌تواند الگوی کلی نیمرخ طولی بستر یک رودخانه را نشان دهد. این نیمرخ با حضور خم‌ها و پیچان‌رودها نسبت به فرمول توانی پیچیدگی بیش‌تری می‌یابد. بنابراین شیب طولی تالوگ (خط حداکثر عمق) هیچ‌گاه از یک تابع ساده تبعیت نمی‌کند. همچنین وجود انشعابات و یا الحاق شاخه‌های رود، تغییرات مضاعفی اعمال می‌کنند.

از جانب دیگر نیمرخ طولی رودخانه یک ویژگی ایستا نیست، بلکه به‌طور پیوسته‌ای در تطابق با حالات بده و بار رسوبی تغییر می‌یابد. تطبیق با شرایط مستقل حاکم، گذشته از شیب یا گرادیان طولی، بر هندسه رودخانه، زبری و پارامترهای دیگر نیز تاثیر می‌گذارد. در ساده‌ترین حالت ممکن، می‌توان فرض نمود که تنها شیب تغییر می‌کند. اگر رود نتواند بار رسوبی خود را در نقطه‌ای به پایین دست انتقال دهد، با ته‌نشینی رسوبات، رقوم بستر در این نقطه افزایش می‌یابد و بدین ترتیب با افزایش شیب در جهت پایاب به

- 1- Ripple
- 2- Dune
- 3- Shulits
- 4- Haas
- 5- Rio Grand

ظرفیت انتقال رودخانه افزوده می‌شود. هم‌زمان، شیب طولی و ظرفیت انتقال رودخانه در جهت بالادست کاهش می‌یابد و لذا یک موج ته‌نشینی یا بالآمدگی بستر به سمت بالادست حرکت می‌کند. اگر در رود یک توانایی انتقال رسوب اضافه به‌وجود آید و بتواند رسوبات بیش‌تری را نسبت به آنچه که از بالادست وارد می‌شود حمل کند، در همان نقطه‌ای که این ظرفیت مازاد به‌وجود آمده است مبادرت به فرسایش آبراهه خود می‌کند که باعث می‌شود شیب و ظرفیت انتقال در پایین‌دست آن نقطه کاسته شده و در بالادست افزایش یابد. این موج فرسایش^۱ به سمت بالادست گسترش می‌یابد.

۴-۳-۴- ابعاد هندسی راستای رودخانه‌های پیچانرودی

ضریب پیچشی شاخص مهمی در تعیین تغییرات شکل پلان رودخانه و برابر نسبت طول قوس به طول دره می‌باشد که بر اساس توضیحات ارائه شده در فوق برابر نسبت شیب دره به شیب طولی رودخانه می‌باشد. ضریب پیچشی بزرگ‌تر از ۱/۱ بیانگر پیچشی بودن رودخانه و کم‌تر از آن مستقیم بودن رودخانه است. مطابق شکل (۴-۲) به‌ازای یک مقدار ضریب پیچشی مشخص حالات بی‌شماری برای شکل پلان رودخانه قابل انتظار است لذا محاسبه ضریب پیچشی به‌تنهایی برای تعریف هندسه پلان رودخانه کافی نیست.

به‌طور کلی پارامترهای اصلی محاسبه هندسه راستای رودخانه پیچانرودی عبارت از طول قوس، طول موج و شعاع انحنا می‌باشند. طول قوس در کانال پیچانرودی در طول خط‌القدر بین دو نقطه تغییر انحنا اندازه‌گیری می‌شود و در رودخانه‌های مستقیم فاصله بین دو خیزاب متوالی است و بر اساس روابط تجربی طول قوس به عرض مقطع پر کانال وابسته می‌باشد [۳۰].

$$z = 2\pi W_b \quad (۲-۴)$$

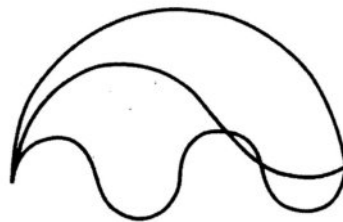
که در آن: W_b عرض مقطع پر و z معرف طول قوس می‌باشند.

طول موج فاصله مستقیم دو نقطه عطف متوالی در دو قوس پی در پی که پیچانرود را تشکیل می‌دهند و شعاع انحنا عبارت از شعاع نزدیک‌ترین دایره‌ای است که منطبق بر قوس شود. شعاع انحنا از عوامل مهم در تشخیص پایداری پیچانرودها و تعیین افت انرژی هیدرولیکی در آن‌ها است. در کانال‌های پیچانرودی طول موج و شعاع انحنا بر حسب عرض مقطع پر و بر اساس روابط تجربی زیر قابل محاسبه‌اند [۷۶]:

$$W_b = 0.17L_M^{0.89} \quad (۳-۴)$$

$$W_b = 0.56R_C^{0.94} \quad (۴-۴)$$

در این روابط W_b عرض مقطع پر، L_M طول موج پیچانرود و R_C شعاع انحنا قوس می‌باشند.



شکل ۴-۲- انواع شکل پلان رودخانه به ازای ضریب پیچشی مشخص

۴-۴- شیب طولی پایدار

S_e شیب طولی رودخانه در حالت پایداری است. یک مساله مهم به دست آوردن مقدار این شیب می باشد. متاسفانه روشی کامل برای تعیین این شیب وجود ندارد. فرمول پیش بینی کیفی ریخت شناسی رودخانه ها که در فصل سوم ارائه شده است نشان می دهد که شیب طولی S_e با بده رسوب، اندازه قطر ذرات رسوب (یا مصالح جدار رودخانه)، عمق رودخانه و ضریب پیچشی نسبت مستقیم و در مقابل با پهنای رودخانه، بده جریان و شیب دره نسبت عکس دارد.

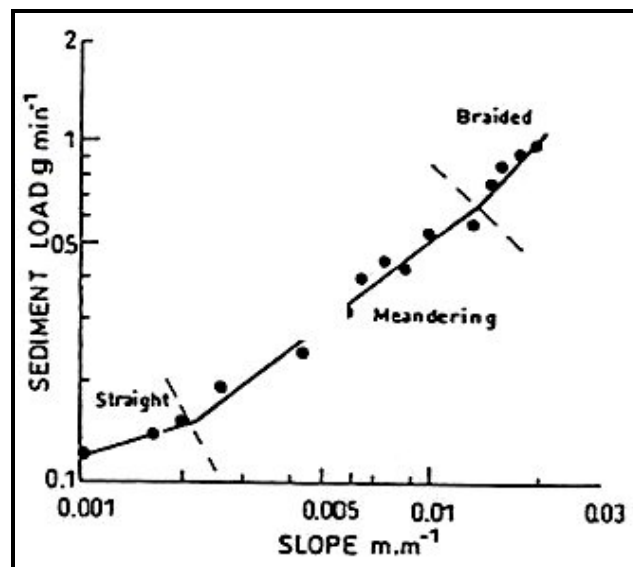
$$S \approx \frac{PYQ_s D}{WQ_w S_v} \quad (5-4)$$

در مباحث تئوری رژیم، روابطی برای محاسبه شیب طولی موسوم به شیب رژیم وجود دارد. شیب رژیم S_R در این تئوری معمولاً تابعی از بده جریان به صورت زیر است:

$$S_R = a_R \cdot Q_w^{-n_s} \quad (6-4)$$

ملاحظه می شود که توان جریان در فرمول منفی است. یعنی شیب کمتری برای هدایت بده بزرگتر، مورد نیاز است. مقدار توان n_s در فرمول های مختلف بر حسب مصالح مختلف جدار جریان متفاوت است و مقدار آن برای هر رودخانه ثابت انگاشته می شود. حد پایین n_s برابر ۰/۱۱ مربوط به ماسه و حد بالای آن تقریباً ۰/۴۲ و مربوط به مصالح شنی است.

آزمایشات شوم و خان در سال ۱۹۷۲ گذشته از تایید رابطه شیب و الگوی هندسی رودخانه ها شواهدی دال بر تاثیر بده رسوبات نیز به دست می دهد. طبق روند مشاهده شده در این آزمایشات که در آنها شیب به عنوان یک پارامتر مستقل فرض شده بود، مسیر آبراهه آزمایشی تا رسیدن به یک شیب مرزی، مستقیم باقی می ماند. پس از این نقطه جریان های ثانویه باعث فرسایش کناره ها و باز توزیع بده رسوب در جریان و تولید بارهای متناوب می شود. تولید این بارها موجب پیچ و خم دار شدن تالوگ می گردد. با رسیدن به شیب مرزی دوم، جریان های ثانویه از بین می روند و توان جریان چنان زیاد می شود که موجب عریض شدن آبراهه به مقدار زیاد و تشکیل مجاری متعدد جریان و در نتیجه الگوی شریانی می گردد (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- ارتباط بین بار رسوبی و شیب در رودخانه های مختلف [۶۲]

هنگامی که شیب آبراهه مابین این دو مقدار شیب مرزی قرار می‌گیرد، در صورتی که مصالح متشکل بستر و کناره به حد کافی در برابر فرسایش مقاوم باشد، حضور یک آبراهه با الگوی سینوسی به راحتی قابل مشاهده است. در آزمایشات این محققین این نکته جالب به چشم می‌خورد که برای پایدار نگاه داشتن الگوی هندسی آبراهه‌ها در هر مرحله، با افزایش شیب طولی، نیاز به افزایش بده رسوب گزارش شده است. بنابراین چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که الگوی هندسی آبراهه‌های طبیعی و مصنوعی نه تنها به مقدار دو شیب مرزی بلکه به مقادیر مرزی بار رسوبی نیز بستگی دارد. براساس نتایج گزارش شده از کارهای ایکرز و چارلتون و همچنین شوم و خان می‌توان استنتاج نمود که تنها برای مقادیر بسیار اندک بده رسوبی می‌توان انتظار داشت که الگوی مستقیم پایدار بماند. شاید ذکر این نکته جالب باشد که شوم در سال ۱۹۶۳ با بررسی رودخانه‌های آمریکا چنین گزارش کرده است که عموماً الگوی پیچانرودی با رسوبات چسبنده که به صورت بار آبرفتی^۱ حمل می‌شوند و الگوی شریانی با رسوبات درشت‌دانه غیرچسبنده که به صورت بار بستر حمل می‌شوند، همراه هستند. احتمالاً تفکیک بین نوع حمل مواد رسوبی، صرف‌نظر از مقدار حجمی آن، دلالت بر تاثیر مهم قطر ذرات مواد رسوبی در تبیین الگوی هندسی رودخانه‌ها دارد.

۴-۴-۱- رابطه شیب طولی پایدار و ضریب پیچشی

مطالعات گوناگونی در خصوص ارتباط ضریب پیچشی با شیب طولی رودخانه صورت گرفته است. به‌طور مثال خان در سال ۱۹۷۱ ارتباط ما بین ضریب پیچشی، شیب و الگوی هندسی یک رودخانه را مورد تحقیق قرار داده است [۶۲]. در الگوهای مستقیم و شریانی ضریب پیچشی تابعی از شیب رودخانه نیست در حالی که در الگوی پیچانرودی مقدار ضریب پیچشی تابع مستقیم از مقدار شیب طولی رودخانه است. در شیب‌های نزدیک به مقدار شیب مرزی مابین دو الگوی پیچانرودی و شریانی روند افزایش ضریب پیچشی از بین می‌رود. همان‌طور که در طبیعت نیز مشاهده می‌شود هر مقدار خاصی از شیب به مقدار به‌خصوصی ضریب پیچشی وابسته است. به عبارت دیگر هم‌خوانی کاملی ما بین شیب و ضریب پیچشی وجود دارد. پارامتر ضریب پیچشی به‌خودی خود تا زمانی که شیب طولی و بارهای متناوب رودخانه از یک طرف با شکل هندسی، بده جریان و بده رسوب از جانب دیگر در توازن باشند قابل تعیین است. هر بازه‌ای از رودخانه با داشتن مشخصات هندسی مخصوص به خود می‌تواند از محدوده گسترده‌ای از شیب طولی را اختیار نماید ولی برای رسیدن به حالت پایداری تنها محدوده کوچکی از شیب وجود دارد که رودخانه با اختیار آن می‌تواند متغیرهای هیدرولیکی خود را در تطابق با مسیر و سطح مقطع خود نگاه دارد.

رودخانه با اعمال هر تغییر در شیب عمومی منطقه (شیب دره)، طول خود را از طریق کم و زیاد نمودن ضریب پیچشی به‌طریقی تنظیم می‌کند تا شیبی به‌دست آورد که با آن بتواند جریان و رسوبات موجود را حمل نماید. توجه به این نکته لازم است که این دو عامل به نوبه خود متاثر از جنس مصالح بستر و کناره‌های رودخانه است.

۴-۴-۲- ارتباط شیب طولی پایدار، بده و هندسه مسیر

در قسمت‌های قبل به برخی از پژوهش‌های انجام یافته در خصوص نحوه ارتباط شیب طولی با متغیرهای مختلف اشاره شد. نوع دیگری از پژوهش‌ها نیز موجود است که در آن هدف مساله یافتن معیاری است که به کمک آن بتوان با دارا بودن برخی از متغیرها از جمله شیب طولی معیاری برای الگوی هندسی رودخانه‌ها به وجود آورد.

این روش‌های تحقیق را می‌توان در تطابق با مباحث پیشین، نوع دیگری از روش‌های تعیین شیب طولی پایدار S_e دانست. اکثر این روش‌ها مقدار شیب را برحسب بده جریان و در برخی حالات، اندازه قطر ذرات رسوب تخمین می‌زنند.

مطالعه خصوصیات رودخانه همواره چنین به نظر می‌رسد که ارتباطی ما بین شیب طولی رودخانه و درجه پیچ و خم آن وجود دارد. در حقیقت اندازه‌گیری‌های صحرایی نیز نشان داده است که رودخانه‌های پیچانرودی عموماً بسیار کم شیب هستند. برای یک بده ثابت الگوی پیچانرودی در شیب‌های کوچک‌تر رخ می‌دهد. مشاهده شده است که رودخانه‌های پرشیب در مقایسه با رودخانه‌های با شیب ملایم کم‌تر الگوی پیچانرودی پیدا می‌کنند و در قبال آن با تولید جزایر کوچک و نتیجتاً مجاری متعدد مجز، الگوی شریانی را به خود می‌گیرند.

در تطابق با این روند در سال‌های اخیر کوشش‌های زیادی در جهت بیان کیفی این پدیده و یافتن یک شیب مرزی برای گروه‌های مختلف رودخانه‌های طبیعی در الگوهای هندسی گوناگون صرف شده است. نتیجه حاصل نیز روابط بده-شیب مختلفی است که به طور وسیعی برای تمایز بین الگوهای مختلف هندسی به کار برده می‌شود. این روابط دو گونه هستند. یا به طور مجزا برای رودخانه‌های متشکل از مصالح خاکی متفاوت مانند رودخانه‌های ماسه‌ای یا شنی ذکر می‌شوند و در این صورت فقط شامل دو پارامتر بده و شیب طولی هستند و یا روابطی هستند که برای محدوده وسیعی از رودخانه‌ها با انواع مختلف بستر و کناره‌ها ارائه شده و لذا حاوی یک پارامتر دیگر به عنوان پارامتر اندازه ذرات بستر و کناره خواهند بود.

علیرغم تفاوت‌هایی که در شکل ظاهری تمامی این روابط به علت اثر شرایط محیطی مختلف وجود دارد. این نکته باز به وضوح قابل مشاهده است که رودخانه‌های شریانی دارای شیب‌های تندتری در قیاس با مجاری مستقیم و رودخانه‌های پیچانرودی هستند. از آنجا که بده و شیب دو متغیر اصلی در توان جریان یک رودخانه، $Q.S$ هستند. لذا می‌توان گفت که با افزایش توان جریان الگوی هندسی رودخانه‌ها از مستقیم به پیچانرودی و سپس به شریانی تغییر می‌یابد.

۴-۵- بیان الگوی هندسی براساس معیارهای کمی

بعد از ارائه توضیحات فوق و بررسی سابقه مطالعاتی که به تشخیص کانال‌های آبرفتی و تعیین آستانه پیچانرودی، شریانی و مطالعه و مقایسه وضعیت فعلی و شرایط پایدار کانال پرداخته است، به عنوان یک جمع بندی برای بررسی کمی الگوی هندسی کانال می‌توان روش زیر را پیشنهاد نمود.

در مواردی که دقت زیادی مد نظر نیست و تنها یک ارزیابی اولیه مد نظر است، می‌توان از روابط ارائه شده در جدول زیر استفاده

نمود. (جدول ۴-۱)

جدول ۴-۱- روابط بین شیب و شدت جریان در ارتباط با الگوی کانال

نام محقق	معادله ارائه شده	دامنه کاربرد
لیوپولد و ولمن (۱۹۵۷)	$S^* = 0.012Q^{-0.44}$	رودخانه‌های طبیعی، الگوی شریانی بالای خط معرف معادله مذکور، الگوی پیچانرودی در زیر خط و الگوی مستقیم در سرتاسر محدوده شیب‌ها قرار دارد.
لین (۱۹۵۷)	$S^* = 0.0007Q^{-0.25}$ $S^* = 0.004Q^{-0.25}$	پیچانرودها کانال‌های شریانی با بستر ماسه‌ای
ایکرز و چارلتون ^۱ (۱۹۷۰)	$S^* < 0.001Q^{-0.12}$ $0.001Q^{-0.12} < S^* < 0.004Q^{-0.12}$ $S^* > 0.004Q^{-0.12}$ $S^* = 0.00085Q^{-0.21}$	کانال‌های مستقیم کانال‌های مستقیم با نهشته‌های متناوب پیچانرودها داده‌های صحرایی (پیچانرودها بالا و بازه‌های مستقیم زیرخط)
هندرسون (۱۹۶۳)	$S^* = 0.0012D^{1.15}Q^{-0.46}$	اگر شیب بزرگ‌تر از این مقدار باشد کانال شریانی و اگر کم‌تر از این مقدار باشد پیچانرودی می‌شود.

که در آن S^* شیب آستانه است که رودخانه‌های پیچانرودی و شریانی را از هم جدا می‌کند و Q بده غالب می‌باشد. در رابطه لیوپولد و ولمن (۱۹۵۷) رودخانه‌های شریانی تمایل دارند که شیبی بیش‌تر از S^* داشته باشند درحالی‌که رودخانه‌های پیچانرودی شیب‌های کم‌تری دارند. مشکل عمده روابط فوق آن است که براساس داده‌های صحرایی رودخانه‌های شنی مختلف پیش‌بینی مناسبی از رودخانه‌های شریانی و پیچانرودی ارائه نمی‌دهد [۲۲ و ۲۳].

به هرحال محدودیت اصلی روابط ارائه شده تا به حال (جدول ۴-۴) آن است که اثر پایداری کناره را روی S^* در نظر نمی‌گیرند و این در حالی است که مقاومت کناره در برابر فرسایش به‌عنوان یک عامل مهم کنترل‌کننده الگوی رودخانه‌های پیچانرودی و شریانی شناخته شده است [۴۶، ۱۵، ۴۸].

مقاومت فرسایشی کناره‌های رودخانه‌های آبرفتی برای انواع مختلف رسوبات کناره به همراه انواع چگالی پوشش گیاهی قابل تخمین می‌باشد. رودخانه‌های با کناره‌های با مقاومت کم‌تر، پهن‌تر و کم عمق‌تر از کناره‌های مقاوم‌تر معادل خود می‌باشند. بنابراین به جای رابطه $S^* - Q$ رابطه مشخص‌کننده حالت پیچانرودی و شریانی با یک خانواده از منحنی‌ها قابل بررسی می‌باشد که در آن‌ها S^* با افزایش مقاومت کناره افزایش می‌یابد [۴۶].

تاکنون محققین زیادی آنالیزهای تحلیل پایداری را به منظور بررسی شکل بستر و تشکیل نهشته‌های رسوبی، توسعه پیچانرود و یا شریانی شدن رودخانه‌های آبرفتی انجام داده‌اند [۱۵، ۲۱، ۲۴، ۲۷، ۴۸، ۵۱ و ۶۷].

براساس نتایج تحقیقات میلار^۲ (۲۰۰۰) معادله تجربی زیر جهت ارزیابی شیب طولی کانال ارائه می‌شود:

$$S^* = 0.0002 \cdot D_{50}^{0.61} \phi^{1.75} Q_b^{-0.25} \quad (۷-۴)$$

که در این رابطه:

D_{50} : قطری که ۵۰ درصد ذرات از آن ریزترند (m)

ϕ' : زاویه ایستایی اصلاح شده رسوبات کناره (درجه)، اثر پوشش گیاهی با در نظرگیری این پارامتر دیده می‌شود.

Q_b : بده مقطع پر (m^3/s)

براساس نتایج مطالعات محققین ذکر شده در رودخانه‌های پیچانرودی مقدار شیب مشاهداتی از شیب انتقالی محاسباتی کم‌تر باشد.

با افزایش پوشش گیاهی مقدار Φ' نیز افزایش می‌یابد، به‌عنوان نتیجه بررسی‌ها می‌توان گفت؛ در یک پوشش گیاهی تنک و یا جایی که ریشه‌ها کم عمقند، کانال‌های شریانی پهن و کم عمق انتظار می‌رود. کانال‌های پیچانرودی فقط جایی می‌توانند وجود داشته باشند که کناره‌ها دارای مقادیر بزرگ Φ' متناسب با انواع پوشش گیاهی عمیق می‌باشند. تغییرات در نوع پوشش گیاهی کناره پتانسیل برای تغییرات شکل پلان رودخانه را افزایش می‌دهد. برای وضوح بیشتر می‌توان داده‌ها را به رودخانه‌های با پوشش گیاهی تنک (گروه I و II دسته‌بندی هی و تورن) و پوشش گیاهی انبوه (گروه III و IV دسته‌بندی هی و تورن) تقسیم نمود. نابودی پوشش گیاهی ممکن است به پهن شدن کانال منجر شود ولی لزوماً انتظار نمی‌رود که باعث تغییرات شکل پلان رودخانه شود. ولیکن برای رودخانه‌هایی که طبیعت اولیه پیچانرودی دارند، انتظار می‌رود که از بین رفتن پوشش گیاهی سبب ناپایداری و تغییر شکل پلان رودخانه به سمت شریانی باشد.

البته رابطه (۴-۷) نیز همچون روابط تجربی دیگر از احتمال خطا مبرا نیست. لکن به‌عنوان یک مرجع می‌توان به آن استناد نمود و حتی شاید در مواردی که به دقت قابل ملاحظه‌ای در رابطه با شکل پلان نیاز است، با الهام از این قضیه بتوان آن را با در نظرگیری یک مدل تحلیلی ساده برای شرایط محل پروژه کالیبره نمود.

۴-۶- ارزیابی پایداری راستای رودخانه

پایداری رودخانه در طول یک دوره زمانی با توانایی آن برای حمل جریان و رسوب به‌گونه‌ای ارزیابی می‌شود که رودخانه شکل هندسی مقطع و پلان خود را حفظ کند و در طول آن دوره فرسایش یا رسوب‌گذاری نداشته باشد. مساله مهم آن است که بحث پایداری دینامیک رودخانه و ناپایداری‌های آن از هم تفکیک شوند. به‌عنوان مثال فرسایش کناره رودخانه یک فرآیند طبیعی است ولی اگر شتاب گرفته و نرخ آن از حدی تجاوز کند به‌عنوان ناپایداری قلمداد می‌شود. هنگامی که شیب کانال در خلال فرسایش و رسوب‌گذاری تغییر می‌کند، ضریب پیچشی آن به قسمی تعیین می‌شود که شیب دره ثابت بماند و این فرض در اهداف طراحی قابل پذیرش است چراکه اگرچه شیب دره تغییر می‌کند ولی این تغییر در فاصله زمانی نسبتاً طولانی رخ می‌دهد. در حالتی که داده‌های نقشه‌برداری موجود نیست، برای ارزیابی اولیه شکل پلان رودخانه می‌توان از روابط رژیم مربوط به شیب، ارائه شده در فصل سوم (بخش ۳-۴-۲) بهره گرفت و با مقایسه عدد حاصل با شیب آستانه محاسبه شده در بخش قبل، نوع رودخانه را پیش‌بینی نمود. در مواقعی که وضعیت فعلی رودخانه پایدار نبود و هدف محاسبه شیب پایدار رودخانه است، بهترین روش به‌کارگیری مدل‌های مبتنی بر روش طراحی نیروی کششی و مقادیر حد نهایی است که در فصل قبل به‌طور مفصل به آن پرداخته شد استفاده نمود. بدیهی است در تمامی حالات استفاده و مقایسه تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌هوایی بازه مورد مطالعه در طول یک دوره زمانی می‌تواند در ارزیابی وضعیت پایداری رودخانه و بررسی تغییرات ریخت‌شناسی آن نقش موثری داشته باشد.

فصل ۵

بررسی ملاحظات حقوقی، اجتماعی و

زیست‌محیطی برای تعیین شکل

هندسی مقطع و راستای بهینه

رودخانه

۵-۱- مسایل و مبانی حقوقی بستر، حریم و حقاب (حق مصرف آب) رودخانه

۵-۱-۱- مفهوم قانونی رودخانه

مطابق تعریف ارائه شده در آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها و مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی مصوب ۲۴ آذر ۱۳۷۹ دولت جمهوری اسلامی ایران، رودخانه مجرای است طبیعی که آب به‌طور دائم یا فصلی در آن جریان دارد. معمولاً به جریان طبیعی آب که بزرگ‌تر از نهر است رودخانه گویند. عموماً مصب آن دریاچه یا اقیانوس یا رودخانه دیگری است. رودخانه از مجموعه آبراهه‌ها به‌وجود می‌آید و محل جریان آب را بستر رودخانه گویند.

۵-۱-۲- تعریف قانونی بستر رودخانه

گرچه در قوانین غیرمدون ایرانیان چه در آیین‌نامه‌ها و مقررات مذهبی و چه در عرف و عادت محلی، به موضوع مجرا به مفهوم محل جریان آب اشاره گردیده است و در قوانین مصوب مانند قانون مدنی (۱۳۰۷) و قانون راجع به قنوات (۱۳۰۹) به واژه و مفهوم بستر و مجرا اشاره شده است، اما به نظر می‌رسد اولین بار در قوانین مدون ایران، در ماده دو قانون آب و نحوه ملی شدن آن (۱۳۴۷)، سپس در ماده دو قانون توزیع عادلانه آب (۱۳۶۱) و بالاخره در قانون حفظ و تثبیت بستر و کناره رودخانه‌های مرزی (۱۳۶۲)، بستر به مفهوم حقیقی آن تعریف گردیده است. در بند «ح» آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها، مرداب‌ها، برکه‌های طبیعی و شبکه‌های آبرسانی، آبیاری و زهکشی مصوب سال ۷۹ هیات دولت؛ که جامع‌ترین تعریف برای بستر محسوب می‌شود، بستر رودخانه به شرح زیر تعریف شده است:

«بستر آن قسمت از رودخانه، نهر یا مسیل است که در هر محل با توجه به آمار هیدرولوژیک و داغاب و حداکثر طغیان با دوره بازگشت ۲۵ ساله به‌وسیله وزارت نیرو یا شرکت‌های آب منطقه‌ای تعیین می‌شود.»

مطابق این آیین‌نامه دوره بازگشت طغیان رودخانه‌ها در محدوده خارج شهرها براساس حداکثر طغیان با دوره برگشت ۲۵ سال به‌وسیله وزارت نیرو و شرکت‌های آب منطقه‌ای تعیین می‌شود و در صورتی که ضرورت ایجاب نماید سیلاب با دوره برگشت کم‌تر یا بیش‌تر از ۲۵ سال ملاک محاسبه قرار گیرد، لازم است شرکت‌های یاد شده حسب مورد با ارائه نقشه‌های مربوط و توجیحات فنی از حوضه ستادی وزارت نیرو مجوز لازم را اخذ نمایند.

حسب تکلیف تعیین شده در این آیین‌نامه، تغییرات طبیعی بستر رودخانه‌ها، مسیل‌ها یا انهار طبیعی در بستر سابق تأثیری نداشته و بستر کماکان در اختیار حکومت اسلامی است لیکن حریم برای آن منظور نخواهد شد.

بدیهی است هندسه پایدار که بر اساس روابط تجربی مندرج در فصول ۳ و ۴ محاسبه می‌شود، باید با بستر محاسبه شده بر مبنای سیلاب ۲۵ ساله هم‌خوانی داشته باشد. نظر به آن که مواد قانونی دارای بار حقوقی می‌باشد، چنانچه ابعاد هندسه پایدار بزرگ‌تر از ابعاد هندسی متناظر با بستر رودخانه باشد، اولویت با هندسه متناظر با بستر ۲۵ ساله می‌باشد.

۵-۱-۳- تعریف قانونی حریم رودخانه

مطابق آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها، مرداب‌ها، برکه‌های طبیعی و شبکه‌های آبرسانی، آبیاری و زهکشی مصوب سال ۷۹ هیات دولت؛ حریم؛ آن قسمت از اراضی اطراف رودخانه، مسیل و نهر طبیعی یا سنتی است که بلافاصله

پس از بستر قرار دارد و به‌عنوان حق ارتفاق برای کمال انتفاع و حفاظت آن‌ها لازم است و طبق مقررات این آیین‌نامه توسط وزارت نیرو یا شرکت‌های آب منطقه‌ای تعیین می‌شود.

حریم رودخانه‌ها یا انهار طبیعی اعم از این که آب دائم یا فصلی داشته باشند از یک تا بیست متر است که حسب مورد با توجه به وضع رودخانه یا نهر طبیعی یا مسیل از هر طرف منتهی‌الیه بستر به‌وسیله وزارت نیرو و شرکت‌های تابعه آن تعیین می‌گردد. در محدوده شهرها حریم رودخانه‌ها یا انهار طبیعی به‌طور کلی طبق مصوبه شورای عالی معماری و شهرسازی تعیین و پس از موافقت وزارت نیرو بر حسب مورد اعلام می‌شود.

۵-۱-۴- مبانی حقوقی حریم

حریم از نظر لغوی به پیرامون و گرداگرد اطراف ملک گفته می‌شود و در قوانین مدون ایران، اولین بار در سال ۱۳۰۷ در ماده ۱۳۶ قانون مدنی، حریم به‌عنوان مقداری از اراضی اطراف ملک و قنات و نهر و امثال آن که برای کمال انتفاع از آن ضرورت دارد، تعریف شده است. این ماده در مقام بیان حق تقدم برای اشخاصی است که سابقه بهره‌برداری بیش‌تری از آب یا تصرف ملک خود دارند و به همین جهت، این اشخاص در بهره‌مندی کامل از حق خود بر دیگران مقدم می‌باشند و فعالیت‌های بعدی نباید در تعارض با کمال انتفاع این اشخاص باشد. به عبارت روشن‌تر هر کس سابقه بهره‌برداری بیش‌تری از آب دارد، حقوق وی در بهره‌برداری باید به نحو کامل محفوظ باشد و این احترام به حقوق استفاده‌کنندگان پیشین و احترام به حقوق دیگران عنوان «حریم» به خود گرفته است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود ماده ۱۳۶ قانون مدنی بنای محکمی تحت عنوان حریم برای حفظ و رعایت حقوق استفاده‌کنندگان اولیه منابع آب قائل شده است و هرگونه اقدام زیان‌آور را منع کرده است.

از طرفی قانون‌گذار در ماده ۱۳۹ قانون مدنی مالکیت حق حریم را نیز به صاحب حریم متعلق دانسته است، اما در همین رابطه مسایل جنبی نیز فراموش نشده است. حق حریم همان‌طور که توضیح داده شد برای کمال استفاده از آب و ملک است و بنابراین با حفظ این حق دیگران نیز فعالیت‌های جنبی خود را می‌توانند داشته باشند و تا آن‌جا که ضروری برای استفاده‌کننده قدیمی به‌وجود نیاید می‌توانند تصرفات مجاز را در اراضی و املاکی که حق حریم در آن‌ها برقرار شده داشته باشند.

بنابراین از مفهوم و منطبق ماده ۱۳۶ قانون مدنی در می‌یابیم که برای کمال انتفاع از رودخانه‌ها و انهار و امثال آن، منطقه‌ای ممنوعه وجود دارد که این منطقه ممنوعه همان اراضی اطراف رودخانه‌ها و انهار مذکور است که اصطلاحاً به آن حریم اطلاق می‌شود. بی‌شک هر شخصی که در جهت سلب انتفاع از رودخانه‌ها و انهار به اراضی اطراف آن تعرض نماید، در واقع به حریم آن‌ها تجاوز کرده است و تجاوز به اراضی حریم، آغاز ورود زیان و ضرر به صاحب حق حریم است. سوالی که در این زمینه قابل طرح می‌باشد، این است که اصولاً «ضرورت انتفاع» چه می‌تواند باشد و ابعاد آن تا چه اندازه است؟

حقوقدانان بحث‌های فراوانی در این زمینه به‌عمل آورده‌اند و نویسندگان قانون مدنی با الهام از فقه جعفری و قوانین اسلام قواعدی در این خصوص وضع نموده‌اند. برای روشن شدن حق انتفاع و حقوق مربوط لازم است که رابطه اشخاص نسبت به اموال روشن شود. در ماده ۲۹ قانون مدنی به سه نوع از حقوق اشخاص نسبت به اموالی که در خارج موجود می‌باشد به شرح زیر اشاره شده است:

۵-۱-۴-۱- حق مالکیت

طبق ماده ۳۰ قانون مدنی، مالکیت حقی است مطلق، انحصاری و دائمی که به موجب آن، هر مالکی نسبت به مایملک خود حق همه‌گونه تصرف و انتفاع دارد، مگر در مواردی که قانون منع یا استثنا کرده باشد.

۵-۱-۴-۲- حق انتفاع

طبق ماده ۴۰ قانون مدنی، حق انتفاع حقی است که به موجب آن شخص می‌تواند از مالی که عین آن ملک دیگری است یا مالک خاصی ندارد استفاده نماید. مثل حق سکونت در ملک اجاره‌ای.

۵-۱-۴-۳- حق ارتفاق

مطابق ماده ۹۳ قانون مدنی، حق ارتفاق حقی است که یک شخص در ملک دیگری دارد. به عبارت دیگر حق ارتفاق، حق کسی در ملک دیگری برای کمال انتفاع از ملک خود می‌باشد.

ارتفاق از واژه رفق (به فتح را) به معنی مدارا می‌باشد. از این رو به آن حق، ارتفاق می‌گویند، برای این که مالک ملک باید با صاحب حق ارتفاق به رفق و مدارا رفتار کند و از استفاده او جلوگیری ننماید.

مطابق ماده ۱۰۵ قانون مدنی کسی که حق ارتفاق در ملک غیر دارد، مخارجی که برای تمتع از آن حق لازم شود به عهده صاحب حق می‌باشد. مگر این که بین او و صاحب ملک برخلاف آن، قراردادی منعقد شده باشد.

در ماده ۱۰۶ قانون یادشده چنین بیان شده است که مالک ملکی که مورد حق ارتفاق غیر است، نمی‌تواند در ملک خود تصرفاتی نماید که باعث تضییع یا تعطیلی حق مزبور باشد مگر با اجازه صاحب حق. چنانچه بیان شد، حق ارتفاق دارای مرزهای مشخصی نسبت به مالکیت و حق انتفاع است که از متون قوانین کاملاً مشهود است.

۵-۱-۴-۴- موارد افتراق حق ارتفاق و انتفاع

بین حق ارتفاق و انتفاع از جهات زیر تفاوت وجود دارد:

- حق ارتفاق دائمی است در حالی که حق انتفاع موقت است.
- حق ارتفاق برای کمال انتفاع از ملک صاحب حق است ولی حق انتفاع مستقیماً برای استفاده منتفع از مورد حق می‌باشد. بدین مفهوم که، حق انتفاع برای استفاده شخص منتفع برقرار می‌شود و حق ارتفاق به منظور کمال استفاده از ملک به وجود می‌آید و قائم به آن است.
- حق ارتفاق بر مال غیرمنقول برقرار می‌شود، ولی موضوع حق انتفاع می‌تواند مال منقول یا غیرمنقول باشد. یعنی حق ارتفاق اختصاص به املاک و اراضی دارد.
- حق ارتفاق، حقی است تبعی و تابع ملک می‌باشد که به نفع آن برقرار شده و به تبع آن ملک انتقال داده می‌شود. ولی حق انتفاع، حقی است استقلالی و مستقلاً قابل نقل و انتقال می‌باشد.

لذا در این راستا، قانون‌گذار برای تنظیم روابط اجتماعی و تعیین حدود و حقوق اشخاص اعم از اشخاص حقیقی و اشخاص حقوقی خواه خصوصی و یا دولتی و برای جلوگیری از تجاوز افراد به حقوق یکدیگر و رعایت مصالح و منافع عامه (منافع و مضار

عمومی) و مسایل فنی و بهداشت عمومی به معنای گسترده آن و پیشگیری از ضررهای ناشی از تصرفات غیرقانونی و عدوانی افراد قواعدی وضع می نماید. زیرا انسان تنها و دور از اجتماع زندگی نمی کند، اجتماع انسانها براساس زندگی مشترک است. در بحث حقوق حریم، قانون گذار با مطالعه همه جانبه موضوعات آن، پیرامون و گرداگرد منازل، قنوات، چشمه ها، شبکه های آبرسانی و برق رسانی، چاه ها، دریاها و تاسیسات سدها و مخازن پشت سدها، رودخانه ها، منطقه ممنوعه و حریم تعیین نموده است. که اصطلاحاً به آن «اراضی حریم» گویند. این منطقه ممنوعه همان حریم است که رعایت آن به معنای «عدم تجاوز و تعرض و تصرف عدوانی این منطقه ممنوعه از سوی اشخاص» می باشد. تدوین و وضع قواعد و مقررات حریم با توجه به اهمیت فنی، اجتماعی، اقتصادی، مصالح و مفسدات منافع و مضار و سایر ضرورتها ماهیت آمره دارد. مفهوم آمره بودن قوانین حریم الزامی بودن آن است. چنانکه یکی از دانشمندان حقوقی بیان می دارد: قوانین الزامی قوانینی هستند که اراده افراد در صورتی که مخالف آن باشد بی اثر است. محتوی این قوانین یا نظم عمومی اجتماع است و یا اخلاق حسنه و یا حفاظت اشخاصی که به جهت کمی سن یا عقل و یا به علت ضعف و ناتوانی ضبط منافع و دفع زیان از خود نمی توانند، بنمایند.

۵-۱-۵- مفهوم حریم در قوانین و مقررات

۵-۱-۵-۱- تعریف حریم در قانون مدنی

در ماده ۱۳۶ قانون مدنی مصوب سال ۱۳۰۷ حریم به صورت زیر تعریف شده است:

«حریم مقداری از اراضی اطراف ملک، قنات، نهر و امثال آن است که برای کمال انتفاع از آن ضرورت دارد.»

از دیدگاه دکترین حقوقی حریم در زمره ملک صاحب حریم تلقی شده و هرگونه تملک و تصرف در آن که با طبیعت حریم منافات داشته باشد بدون اذن مالک صحیح نیست و از این منظر حریم ملک تبعی است.

ماده ۱۳۹ قانون مدنی در بیان این امر تصریح دارد که: «حریم در حکم ملک صاحب حریم است و تملک و تصرف در آن که منافی باشد با آنچه مقصود از حریم است بدون اذن از طرف مالک صحیح نیست و بنابراین کسی نمی تواند در اراضی حریم رودخانه اقداماتی به عمل آورد که موجب تضرر و تعدی به حقوق صاحب حق حریم گردد، ولی تصرفاتی که موجب تضرر نشود جایز است.»

۵-۱-۵-۲- تعریف حریم در آیین نامه مربوط به تعیین بستر و حریم رودخانه ها و انهار و مسیل ها و شبکه های آبیاری و زهکشی (مصوب سال ۱۳۵۳)

مطابق بند «ز» ماده یک آیین نامه مربوط به تعیین بستر و حریم رودخانه ها و انهار و مسیل ها و شبکه های آبیاری و زهکشی مصوب ۸۰۲۰۵۳، حریم دارای تعریف زیر است:

«حریم آن قسمت از اراضی اطراف رودخانه، مسیل، نهر طبیعی یا احداثی و شبکه های آبیاری و زهکشی است که به عنوان حق ارتفاق برای کمال انتفاع و حفاظت آن لازم است و بلافاصله پس از بستر قرار دارد.»

۵-۱-۵-۳- تعریف حریم در آیین نامه اجرایی قانون حفظ و تثبیت کناره و بستر رودخانه های مرزی مصوب سال ۱۳۶۳

در بند ۱۲ فصل دوم این آیین نامه حریم به صورت زیر تعریف شده است:

«آن قسمت از اراضی اطراف رودخانه، نهر یا مسیل است که بلافاصله پس از بستر قرار دارد و به‌عنوان حق ارتفاع برای کمال انتفاع و یا حفاظت تاسیسات احداثی لازم می‌باشد.»

۵-۱-۴- تعریف حریم در آیین‌نامه مربوط به تعیین بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار و مسیل‌ها و مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی (۱۳۷۹)

مطابق بند «خ» ماده یک این آیین‌نامه، حریم آن قسمت از اراضی اطراف رودخانه و نهر طبیعی یا سنتی است که بلافاصله پس از بستر قرار دارد و به‌عنوان حق ارتفاع برای کمال انتفاع و حفاظت از آن‌ها لازم است و طبق مقررات توسط وزارت نیرو و یا شرکت‌های آب منطقه‌ای تعیین می‌گردد.

حریم انهار طبیعی یا رودخانه‌ها اعم از این که آب دائم یا فصلی داشته باشند از یک تا بیست متر خواهد بود که حسب مورد با توجه به وضع رودخانه از هر طرف منتهی الیه بستر تعیین می‌گردد.

در مورخ ۱۳۸۲/۱۲/۱۲ هیات وزیران جمهوری اسلامی ایران طی مصوبه ای برخی مفاد آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها و مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی، شبکه‌های آبرسانی و آبیاری و زهکشی مصوب ۱۳۷۹/۹/۲۴ را به شرح زیر اصلاح کرد:

متن زیر جایگزین بند «خ» ماده یک آیین‌نامه ذکر شده، شده است.

حریم آن قسمت از اراضی اطراف رودخانه، مسیل و نهر طبیعی یا سنتی است که بلافاصله پس از بستر قرار دارد و به‌عنوان حق انتفاع برای کمال انتفاع و حفاظت کمی و کیفی از آن‌ها لازم است و طبق مقررات توسط وزارت نیرو و یا شرکت‌های آب منطقه‌ای تعیین می‌گردد.

۵-۱-۶- حریم کمی و کیفی رودخانه

۵-۱-۶-۱- حریم کمی رودخانه

مطابق تصویب‌نامه شماره ۵۸۹۷۷/ت/۲۹۱۰۱ ه مورخ ۱۳۸۲/۱۲/۱۲ هیات وزیران حریم کمی رودخانه‌ها اعم از این که آب دائم یا فصلی داشته باشند برای عملیات لایروبی و بهره برداری، یک تا بیست متر (تراز افقی) از منتهی الیه بستر خواهد بود که با توجه به نوع مصرف و وضع رودخانه به وسیله وزارت نیرو یا شرکت‌های آب منطقه‌ای تعیین می‌گردد. شاخص‌ها و روش‌های گوناگونی برای محاسبه حریم کمی رودخانه برای انجام عملیات لایروبی و بهره‌برداری ارائه شده است. یکی از این روش‌ها تحت عنوان «دستورالعمل تعیین حریم کمی رودخانه‌ها» می‌باشد که توسط دفتر مهندسی رودخانه‌ها و سواحل شرکت مدیریت منابع آب ایران در پاییز ۱۳۸۹ ارائه گردیده است.

۵-۱-۶-۲- حریم کیفی رودخانه

براساس تصویب‌نامه یادشده هیات وزیران، حریم کیفی رودخانه‌ها برای حفاظت کیفی آن‌ها تا یکصد و پنجاه متر (تراز افقی) از منتهی الیه بستر می‌باشد که با توجه به نوع مصرف و شرایط رودخانه به وسیله وزارت نیرو یا شرکت‌های آب منطقه‌ای تعیین می‌گردد.

حریم کیفی برای رودخانه‌های تامین کننده آب شرب، مقطوعاً یکصد و پنجاه متر خواهد بود. سیاهه رودخانه‌های یاد شده توسط سازمان‌های آب منطقه‌ای تعیین و برای اطلاع عموم اعلام خواهد شد. کلیه مراجع تعیین کننده کاربری و صادر کننده پروانه استقرار فعالیت مکلفند قبل از تعیین کاربری و یا صدور هر گونه مجوزی در حریم رودخانه‌ها نسبت به کسب نظر سازمان آب منطقه‌ای مربوط در رابطه با کمال انتفاع و عدم ضرر برای موضوع مورد نظر اقدام نمایند. تشخیص موارد کمال انتفاع و عدم تضرر در حریم رودخانه‌ها به موجب دستورالعملی خواهد بود که وزارت نیرو تدوین و جهت اجرا به شرکت‌های آب منطقه‌ای ابلاغ می‌نماید.

بر اساس دستورالعمل آذر ماه ۱۳۸۴ سازمان مدیریت منابع آب ایران و با عنایت به موارد مندرج در مصوبه هیات وزیران، رودخانه‌ها در سه گروه تقسیم بندی و حریم کیفی آن‌ها به شرح زیر تعیین می‌گردد:

الف- رودخانه‌های منبع تامین کننده آب شرب

با توجه به تصریح تصویب‌نامه یاد شده حریم کیفی برای رودخانه‌های تامین کننده آب شرب، مقطوعاً یکصد و پنجاه متر (تراز افقی) می‌باشد. محدوده بازه طولی حریم رودخانه تامین کننده آب شرب از بالای دست ۲۰ برابر عرض بستر و در پایین دست ۱ تا ۲ برابر عرض بستر خواهد بود. چنانچه فاصله ایستگاه‌های متوالی برداشت آب از رودخانه کم‌تر از ۵ کیلومتر باشد در این صورت کل این محدوده بازه آب شرب محسوب می‌شود. در محدوده حفاظت آب شرب، استقرار هرگونه کاربری به‌جز فعالیت کشاورزی کم‌آبر و غیر غرقابی با اعمال کامل کنترل مصرف سم و کود، ممنوع می‌باشد. همچنین باید از اتصال هرگونه کانال و هدایت هر نوع زهاب کشاورزی و پساب فاضلاب‌های خام یا تصفیه شده در این محدوده جلوگیری شود.

ب- رودخانه‌های حفاظت شده

حریم کیفی رودخانه‌های حفاظت شده در محدوده حفاظتی مقطوعاً یکصد و پنجاه متر می‌باشد. لیکن با عنایت به مصوبه شورایعالی شکاربانی و نظارت بر صید (مصوبه شماره ۱ در مورخ ۱۲ مهر ۱۳۴۶) در خصوص بخش حفاظت شده رودخانه‌های حفاظت شده چالوس و سردآبرود واقع در شهر بوشهر ۲۰۰ متر از هر طرف رودخانه به‌عنوان حریم تعیین گردیده است. استقرار کلیه کاربری‌ها به‌جز کاربری‌های مربوط به حفظ تنوع زیستی، گردشگری در جهت معرفی ارزش‌های تنوع زیستی رودخانه‌های حفاظت شده بدون ایجاد هرگونه سازه در منطقه و کاربری‌های آموزشی و پژوهشی، ممنوع می‌باشد.

ج- رودخانه‌هایی که منبع تامین کننده آب شرب نمی‌باشند

حریم کیفی آن دسته از رودخانه‌ها که کاربری شرب نداشته و شامل رودخانه‌های حفاظت شده نباشند به سه ناحیه (منطقه) تقسیم می‌شود:

حریم اول: حریم کیفی در ناحیه اول (A)، مقطوعاً ۲۰ متر از منتهی الیه بستر رودخانه است. (A=20)

حریم دوم: حریم کیفی در ناحیه دوم (B) براساس رده بندی رودخانه تعیین می‌گردد. منظور از رده بندی، شماره گذاری شاخه اصلی رودخانه و شاخه‌های فرعی آن می‌باشد. شاخه اصلی رودخانه را با شماره ۱ مشخص نموده و شاخه‌های فرعی را که به آن می‌ریزد با عدد ۲ مشخص نموده و به همین روال هر چه انشعابات رودخانه بیش تر گردد، عدد منسوب به آن بزرگ‌تر می‌شود. لازم

به ذکر است که این روش عکس روش درجه‌بندی معمول در رودخانه می‌باشد. رده رودخانه با حرف (n) نشان داده می‌شود و حریم کیفی آن در ناحیه دوم با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$B = \frac{(150 - A)}{(n + 1)} \quad (1-5)$$

حریم سوم: حریم کیفی در ناحیه سوم (C) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C = 150 - (A + B) \quad (2-5)$$

کاربری‌های مجاز در حریم نواحی سه گانه یادشده به شرح جدول زیر است:

جدول ۵-۱- کاربری‌های سازگار نواحی سه گانه حریم کیفی

حریم	کاربری‌های سازگار
اول	کشاورزی غیرغرقابی، تاسیسات زیربنایی گروه ۲ (انتقال آب، برق، مخابرات، پل ها، تاسیسات بندری) و تفریحی گسترده (بدون ایجاد تاسیسات متمرکز)
دوم	کشاورزی غیر سنتی، مسکونی روستایی، گروه صنعتی الف و ب، تاسیسات زیربنایی گروه ۱، تفریحی و تفرجی متمرکز و دامپروری
سوم	کشاورزی سنتی، مسکونی و تجاری شهری، گروه صنعتی ج

در جدول فوق تاسیسات زیربنایی به کلیه تاسیسات نظیر سامانه‌های حمل و نقل و ارتباطات، خطوط انتقال آب و برق، فرودگاه، راه آهن، مدرسه، دانشگاه و ... اطلاق می‌گردد که جهت تامین تسهیلات و خدمات در جوامع مختلف به کار گرفته می‌شود.

- تاسیسات زیربنایی گروه ۱

- گروهی از تاسیسات زیربنایی نظیر شبکه‌های جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب و فرودگاه‌ها که به واسطه به نوع عملکرد تاثیر منفی بیش‌تری بر کیفیت منابع آب مجاور خود می‌گذارند.

- تاسیسات زیربنایی گروه ۲

- گروهی از تاسیسات زیربنایی نظیر خطوط انتقال آب، برق و مخابرات و پل‌ها که به واسطه نوع عملکرد تاثیر منفی کم‌تری بر کیفیت منابع آب مجاور خود می‌گذارند.

۵-۱-۷- مقررات بستر و حریم رودخانه در قانون توزیع عادلانه آب

به موجب تبصره یک ماده دو قانون توزیع عادلانه آب تعیین پهنه بستر و حریم رودخانه‌ها در هر محل با توجه به آمار هیدرولوژی رودخانه‌ها و آنها را و داغاب در بستر طبیعی آن‌ها بدون رعایت اثر ساختمان تاسیسات آبی با وزارت نیرو است.

اهم موضوعات مطرح شده در تبصره قانونی فوق به این شرح است:

- این تبصره بر کلیه رودخانه‌ها و مسیل‌ها اعم از فصلی یا دائمی، تک شاخه و شریانی، دایر یا متروکه، جاری در دشت یا کوهستانی، جاری در محدوده شهرها یا خارج از محدوده شهرها شمولیت دارد و اعلام بستر و حریم هیچ یک از رودخانه‌ها در هر محل از شمولیت این تبصره خارج نمی‌باشد.

- تعیین پهنه بستر و حریم رودخانه‌ها انحصاراً با وزارت نیرو است. به عبارت دیگر نظر سایر کارشناسان اعم از این که کارشناسان بخش دولتی و غیردولتی باشند و اعم از این که اشخاص حقیقی و یا حقوقی باشند در ارتباط با تعیین پهنه بستر و حریم آن‌ها قانونی نبوده و در محاکم مورد استناد قرار نخواهد گرفت.
 - مبنا و معیار تعیین پهنه بستر و حریم رودخانه فوق آمار هیدرولوژی و داغاب در بستر طبیعی است به عبارت دیگر تعیین پهنه بستر و حریم مستلزم انجام مطالعات فنی در زمینه هیدرولوژی، ریخت‌شناسی و هیدرولیک و تلفیق یافته‌های فنی با نتایج مطالعات حقوقی است.
 - محاسبات مربوط به تعیین پهنه بستر و حریم رودخانه، بر مبنای بستر طبیعی و بدون رعایت اثر ساختمان تاسیسات آبی انجام می‌گیرد. بنابراین قبل از محاسبه عرض بستر لازم است آثار تاسیسات آبی و یا هرگونه دخل و تصرفات انسانی را که موجب تغییرات غیر طبیعی در بستر شده است از محاسبات حذف گردد.
 - برخی از مهم‌ترین عوامل غیرطبیعی موثر در تغییر بستر رودخانه به شرح زیر است:
 - الف- احداث تاسیسات آبی مانند: سد مخزنی، سد انحرافی و سایر تاسیسات بهره‌برداری از آب
 - ب- احداث سازه‌های حفاظتی و ساماندهی رودخانه مانند: دیواره سیل‌بند، اپی و دایک
 - ج- احداث سازه‌های تقاطعی مانند: پل، خطوط انتقال آب و برق و گاز و نفت
 - د- غرس نهال و درخت در بستر رودخانه توسط کشاورزان و ساکنین در اراضی اطراف رودخانه
 - ه- تصرف بستر توسط مردم (اشخاص حقیقی و حقوقی) برای احداث اعیانی‌های مختلف
 - چون سیلاب‌ها با دوره‌های بازگشت مختلف دارای داغاب متفاوت هستند، بنابراین لازم است با قبول ریسک مشخص محاسبات سیلاب طراحی برای تعیین پهنه بستر و حریم رودخانه مورد توجه قرار گیرد.
- چون استناد قانونی تعیین حدود بستر و حریم رودخانه، قانون توزیع عادلانه آب و آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها، مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی و شبکه‌های آبرسانی، آبیاری و زهکشی است. لذا در این بخش برخی از مواد آیین‌نامه یاد شده ارائه می‌شود:

۵- ۱- ۷- ۱- برنامه‌ریزی برای تعیین حدود بستر و حریم رودخانه

مطابق ماده دو آیین‌نامه، شرکت‌های آب منطقه‌ای مکلفند با توجه به امکانات، حد بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها، مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی موجود در حوضه فعالیت خود را با برنامه‌ریزی مشخص و با اعزام کارشناس یا کارشناسان ذیصلاح طبق مقررات این آیین‌نامه تعیین نمایند.

۵- ۱- ۷- ۲- قلع و قمع اعیانی‌های واقع در بستر و حریم رودخانه

مطابق ماده شش آیین‌نامه، پس از تعیین و تشخیص میزان بستر و حریم رودخانه در صورتی که شرکت آب منطقه‌ای قلع و قمع اعیانی اعم از اشجار و غیر آن واقع در بستر و حریم را برای استفاده از امور مربوط به آب و برق لازم بداند، براساس مقررات مربوط اقدام خواهد نمود.

۵-۱-۷-۳- امکان کشت موقت در بستر رودخانه

مطابق ماده هفت آیین‌نامه، کشت موقت در آن قسمت از بستر رودخانه، نهر و مسیل که برای بهره‌برداری از آب مزاحمتی ایجاد ننماید، با موافقت کتبی و قبلی شرکت آب منطقه‌ای ذیربط به صورت اجاره و رعایت اولویت برای مجاورین بلامانع است، ولی مستاجر به هیچ وجه حق ایجاد اعیانی و غرس نهال و درخت (به‌جز زراعت سطحی) را ندارد. در صورت تخلف، اراضی مسترد و از فعالیت وی جلوگیری خواهد شد. شرکت آب منطقه‌ای ذیربط باید در اجاره‌نامه قید نماید که در صورت بروز هر گونه خسارت ناشی از سیل و نظایر آن هیچ‌گونه مسوولیتی نخواهد داشت.

۵-۱-۷-۴- بستر مرده رودخانه و حریم آن

مطابق ماده هشت آیین‌نامه، چنانچه بستر رودخانه، نهر طبیعی و مسیل به صورت طبیعی تغییر نماید و باقی‌مانده بستر که بستر مرده نامیده می‌شود و کماکان در اختیار دولت است، برای اجرای طرح‌های آب و برق قابل استفاده باشد، با حدود مشخصی از طریق وزارت نیرو به دستگاه متقاضی به صورت اجاره واگذار و نحوه آماده سازی، کناره‌بندی و سایر شرایط مربوط در سند واگذاری قید خواهد شد.

۵-۱-۷-۵- امکان دیواره سازی و استفاده از اراضی مازاد بستر رودخانه

مطابق ماده ده آیین‌نامه، چنانچه امکان دیواره‌سازی و استفاده از اراضی مازاد بستر برای مجاورین وجود داشته باشد، شرکت آب منطقه‌ای ضمن مشخص کردن مجاوران رودخانه، مشخصات دیواره و مقدار زمین‌هایی را که در اثر دیواره‌سازی حاصل می‌شود، معلوم و به مجاوران اعلام خواهد نمود تا در صورت تمایل به شرکت مراجعه و با قبول شرایط و مشخصات دیواره‌سازی برای اخذ اجازه اقدام نمایند. بستر واقع در پشت دیواره احداثی در اختیار دولت جمهوری اسلامی ایران است. شرکت می‌تواند پس از تامین میزان حریم که بلافاصله بعد از دیواره احداثی شروع می‌شود، باقی‌مانده بستر را به سازنده دیوار یا در صورت عدم تمایل سازنده به دیگران اجاره دهد.

۵-۱-۷-۶- تداخل حریم رودخانه با راه‌های اصلی و فرعی

مطابق ماده چهارده آیین‌نامه، هرگاه حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها، مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی و راه‌های اصلی و فرعی موجود تداخل نمایند، قسمت مورد تداخل برای تاسیسات طرفین به‌طور مشترک مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۵-۱-۸- حق مصرف آب

حقابه عبارت از حق مصرف آبی است که در دفاتر جزء جمع یا اسناد مالکیت یا حکم دادگاه یا مدارک قانونی دیگر، قبل از تصویب قانون توزیع عادلانه آب، تثبیت و یا پس از قانون توزیع عادلانه آب با صدور مجوزهای قانونی توسط وزارت نیرو، اشخاص را در مصرف آن ذی‌حق می‌داند.

حقابه را ابتدا، حق استفاده از آب یک رودخانه را می‌گفتند ولی به تدریج به مقدار آبی که به زمین معین از رودخانه یا چشمه یا از منبع آب دیگری تعلق می‌گرفت، اطلاق گردید. این حق مصرف مجاز در گذشته، در دفاتر جزء جمع و اسناد مالکیت یا حکم دادگاه‌ها یا مدارک قانونی دیگر قید می‌شد.

حقابه از جمله حقوقی است که تحت شرایط قانونی خاص قبل از تصویب قانون توزیع عادلانه آب در سال ۱۳۶۱، برای حقابه‌داران ایجاد شده بود و در دفاتر، جزء جمع یا اسناد مالکیت یا حکم دادگاه یا مدارک قانونی دیگر از جمله طومارهایی که توسط سلاطین و حکمرانان وقت تنظیم می‌گردید و در اداره بیوتات سلطنتی بایگانی می‌شد و شامل حقوق مکتسبه‌ای بود که یک ملک یا مزرعه یا شخصی از آب یک رودخانه یا قنات یا چشمه یا نهر بر حسب دفاتر مزبور و یا عرف و عادت و سنت دارا بود. این حقوق از توابع ملک بوده و مال تبعی محسوب می‌شد.

اشخاصی که در کنار و اطراف رودخانه ساکن بوده‌اند در طول زمان از آب رودخانه برای کار کشاورزی و رفع نیازمندی‌های مربوط به کشاورزی و خانگی استفاده می‌کرده‌اند و زمانی که مالیات بر اراضی مزروعی در وزارت دارایی فعلی که وزارت مالیه سابق می‌باشد، معمول شد، برای تعیین میزان مالیات دریافتی نسبت به میزان کشت و درآمد، دفاتری تنظیم نمودند و میزان آبی را که هر کس از رودخانه برداشت می‌کرد، به واحد مخصوص محل مثل سنگ، جام، فنجان و غیره در دفاتر درج و قید می‌کردند و این دفاتر را دفاتر جزء جمع می‌نامیدند و اداره خالصه وزارت دارایی سابق، به وضع رودخانه‌ها رسیدگی می‌کرد و از بابت امر حفاظت و مدیریت از هر استفاده کننده آب رودخانه، مبلغی دریافت می‌نمود و رقم دریافتی را با میزان آب مصرفی در دفاتر جزء جمع، درج می‌کردند.

۵-۱-۸-۱- تبدیل حقابه به پروانه مصرف معقول در قانون توزیع عادلانه آب

فصل سوم قانون توزیع عادلانه آب در سال ۱۳۶۱ به آب‌های سطحی و احکام مربوط به آن اختصاص یافته است. در مواد ۱۸، ۱۹ و ۲۰ این قانون، نحوه تبدیل حقابه به پروانه مصرف معقول معین شده است. مصرف معقول مقدار آبی است که تحت شرایط زمان و مکان و با توجه به احتیاجات مصرف کننده و رعایت احتیاجات عمومی و امکانات، طبق مقررات این قانون تعیین خواهد شد. چون تبدیل حقابه به پروانه مصرف معقول منجر به تعدیل و یا کاهش حقابه مصرف کنندگان می‌شود بنابراین در ماده ۱۸ این قانون، موضوع تبدیل حقابه به پروانه مصرف معقول براساس ضرورت اجتماعی صورت می‌پذیرد. تشخیص ضرورت اجتماعی به عهده وزارت جهاد کشاورزی گذاشته شده است که در صورت وجود ضرورت، وزارت نیرو موظف است به منظور تعیین میزان مصرف معقول آب برای امور کشاورزی یا صنعتی یا مصارف شهری از منابع آب کشور برای اشخاصی که در گذشته حقابه داشته‌اند و تبدیل آن به اجازه مصرف معقول با تشکیل هیات‌های سه و پنج نفری در هر محل اقدام نماید.

۵-۲- قوانین و مقررات مرتبط با تعیین مقطع و راستای رودخانه

اولین بار در کشور ما در سال ۱۳۰۷ با تصویب قانون مدنی مسایل متعددی در ارتباط با نظام حقوقی منابع آب مطرح گردید. در این قانون مباحث تفکیک آب‌ها و تقسیم‌بندی آن‌ها، مالکیت منابع آبی، بهره‌برداری از منابع آبی و حریم منابع آبی مورد توجه قرار گرفته است.

با تصویب قانون آب و نحوه ملی شدن آن در سال ۱۳۴۷ مقررات و اصول مدونی برای بهره‌برداری از آب‌ها تنظیم گردید. در ماده یک قانون مذکور، آب به‌عنوان ثروت ملی و متعلق به عموم تلقی شده که در واقع تحولی در مالکیت آب‌ها محسوب گردید. ماده دو همان قانون، بستر انهار و آب‌های سطحی طبیعی را نیز متعلق به دولت دانسته است. در این قانون حقابه و حقوق اکتسابی اشخاص محترم شمرده شده و مسوولیت حفظ و بهره‌برداری و اداره تاسیسات آبی بر عهده دولت گذاشته شده است.

در سال ۱۳۶۱ قانون توزیع عادلانه آب با تغییراتی نسبت به قانون آب و نحوه ملی شدن آن به تصویب رسید که یکی از مهم‌ترین قوانین پس از پیروزی انقلاب اسلامی محسوب می‌شود. این قانون در راستای اصل ۴۵ قانون اساسی و به منظور بازنگری در اصول قانون آب و نحوه ملی شدن آن و با انگیزه برقراری نظام عادلانه توزیع آب از سوی قانون‌گذار به مورد اجرا گذارده شد. در این قانون به‌طور مشروح به موضوع‌های اساسی حقوق منابع آب کشور چون، مالکیت عمومی و ملی آب، تعیین حریم منابع آب، تعیین ضوابط برای بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی، تعیین ضابطه برای حفر و بهره‌برداری از چاه و قنات، ضوابط استفاده از منابع آب‌های سطحی، حقابه و پروانه مصرف معقول، نحوه وصول آب بها و عوارض، حفاظت و نگهداری از تاسیسات آبیاری مشترک و جبران خسارت و تخلفات و جرایم مربوط به منابع آب پرداخته شده است. بنابراین باید کلیه قوانین، مقررات، آیین‌نامه‌ها و بخشنامه‌هایی که در زمینه رودخانه‌ها، نحوه بهره‌برداری از اراضی و آب رودخانه، حدود بستر و حریم و مالکیت منابع آب‌های سطحی، جمع‌آوری و مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد و موارد قانونی مرتبط با مقطع و راستای رودخانه استخراج و مشخص گردد. در همین ارتباط جمع‌آوری، نگهداری و مطالعه مستندات قانونی زیر ضروی می‌باشد:

۱- قانون مدنی در مواد ۱۳۶ تا ۱۳۹ به موضوع تعریف و ضوابط حریم پرداخته است که از نظر قاعده کلی به‌عنوان مبنا و ضوابط اولیه ملاک علمی و مرجع استنادی سایر قوانین به شمار می‌رود. این قانون در تاریخ ۱۳۰۷/۲/۱۸ به تصویب رسیده است.

۲- قانون تعیین حریم دریاچه‌های احداثی در پشت سدها مصوب ۱۳۴۴/۴/۲۷

۳- قانون مربوط به اراضی ساحلی مصوب ۱۳۴۶/۵/۲۵

۴- قانون آب و نحوه ملی شدن آن مصوب ۱۳۴۷/۴/۲۷

۵- قانون پیشگیری و مبارزه با خطرات سیل مصوب ۱۳۴۸/۳/۵

۶- آیین‌نامه مربوط به تعیین بستر و حریم رودخانه‌ها و انهار و مسیل‌ها و شبکه‌های آبیاری و زهکشی مصوب ۱۳۵۳/۲/۸

۷- قانون اراضی مستحدث و ساحلی مصوب ۱۳۵۴/۴/۲۹

۸- قانون توزیع عادلانه آب مصوب ۱۳۶۱/۲/۱۶

۹- قانون حفظ و تثبیت کناره و بستر رودخانه‌های مرزی مصوب ۱۳۶۲/۵/۱۸

۱۰- آیین‌نامه نحوه تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها و انهار و مسیل‌ها و مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی مصوب ۱۳۷۰/۴/۱۲ وزارت نیرو

۱۱- آیین‌نامه حریم مخازن تاسیسات آبی کانال‌های عمومی آبرسانی و زهکشی مصوب ۱۳۷۱/۴/۲۴

۱۲- آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها و مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی مصوب ۱۳۷۹/۹/۲۴ هیات وزیران

۱۳- مصوبه مورخ ۱۳۸۲/۱۲/۱۲ هیات وزیران در خصوص اصلاحیه آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها و مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی مصوب سال ۱۳۷۹ و تعریف حریم کیفی برای رودخانه‌ها.

علاوه بر موارد فوق ممکن است در آینده، تغییراتی در قوانین و مقررات ایجاد گردد و آیین‌نامه‌های جدید تهیه و تصویب شوند که لازم است نسبت به تهیه و مطالعه آن‌ها نیز اقدام شود. برای رودخانه‌های مرزی علاوه بر موارد فوق، قوانین، آیین‌نامه‌ها، معاهدات، پروتکل‌ها و موافقت‌نامه‌های مرزی نیز باید همواره مورد توجه قرار گیرد.

۵-۳- چگونگی تملک زمین و رفع تجاوزات احتمالی برای تغییر راستا یا پهناي رودخانه

مطابق قوانین و مقررات، مالکیت منابع آب‌های سطحی و اراضی بستر و حریم رودخانه متعلق به دولت جمهوری اسلامی ایران است. براساس اصل ۴۵ قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران و مطابق ماده یک قانون توزیع عادلانه آب (مصوب ۱۳۶۱) آب‌های جاری در رودخانه‌ها، انهار طبیعی و هر مسیر طبیعی دیگر اعم از سطحی و زیرزمینی از مشترکات بوده و در اختیار حکومت اسلامی ایران است و مسوولیت حفظ و اجازه و نظارت بر بهره‌برداری از آن‌ها به دولت جمهوری اسلامی ایران محول شده است. همچنین براساس ماده دو قانون توزیع عادلانه آب و آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها و مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی مصوب ۱۳۷۹/۹/۲۴ هیات وزیران، بستر رودخانه‌ها و انهار طبیعی و کانال‌های عمومی اعم از این‌که آب دائم یا فصلی داشته باشند در اختیار حکومت جمهوری اسلامی ایران است.

۵-۳-۱- ممنوعیت ایجاد اعیانی، حفاری و دخل و تصرف در بستر رودخانه

به موجب تبصره سه ماده دو قانون یاد شده، ایجاد هر نوع اعیانی و حفاری و دخل و تصرف در بستر رودخانه‌ها بدون اجازه وزارت نیرو ممنوع می‌باشد. این تبصره قانونی یکی از مهم‌ترین قوانین برای حفاظت بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها و انهار طبیعی به شمار می‌رود. مهم‌ترین مطالب مطرح شده در این تبصره قانونی به این شرح است:

- ۱- از نظر تولید، صدور هر گونه اقدام برای ایجاد اعیانی و حفاری و دخل و تصرف در بستر رودخانه‌ها انحصاراً با وزارت نیرو است. به عبارت دیگر بدون مجوز وزارت نیرو، هر مجوزی و یا هر پروانه‌ای توسط هر دستگاهی صادر گردد و یا هر اقدامی انجام گیرد غیرقانونی تلقی می‌گردد.
- ۲- شمولیت این تبصره از نظر دخل و تصرف و نوع اعیانی و یا نوع حفاری، عام است و قانون‌گذار هیچ استثنایی از این نظر قایل نشده است. به بیان دیگر اقدام کننده به هر نوع دخل و تصرف و یا هر نوع حفاری و یا احداث کننده هر نوع اعیانی و یا صادر کننده هر نوع پروانه در بستر و حریم اشاره شده در تبصره مکلف است قبلاً مجوز وزارت نیرو را کسب نماید و گرنه اقدام آن‌ها غیرقانونی تلقی می‌گردد.
- ۳- از نظر نوع اقدام کننده نیز، تبصره دارای شمولیت عام است و قانون‌گذار هیچ استثنایی برای هیچ شخص حقیقی و یا حقوقی قایل نشده است. به عبارت دیگر همه اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و دولتی و غیردولتی مکلف هستند قبل از اقدام به دخل و تصرف و یا احداث اعیانی و یا حفاری در بستر و حریم اشاره شده در تبصره، قبلاً مجوز وزارت نیرو را کسب نمایند.

۴- ایجاد اعیانی، حفاری و دخل و تصرف در بستر و حریم اشاره شده در تبصره فوق به‌طور مطلق ممنوع نیست بلکه بدون اخذ مجوز لازم از وزارت نیرو منع شده است. به عبارت دیگر همه اشخاص حقیقی و حقوقی و دولتی و غیردولتی می‌توانند در صورت کسب مجوز لازم از وزارت نیرو و با نظارت آن وزارتخانه در حریم منابع آب یادشده اقدام نمایند. به‌طور مثال مطابق ماده دوازده آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها و انهار، مسیل‌ها و برکه‌های طبیعی، عبور لوله نفت و گاز و غیره از بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها، مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی با موافقت وزارت نیرو بلامانع است ولی مسوولیت حفاظت از آن‌ها با دستگاه‌های ذیربط خواهد بود.

۵-۳-۲- قلع و قمع اعیانی‌های مزاحم در بستر و حریم رودخانه

تبصره چهار ماده دو قانون توزیع عادلانه آب در ارتباط با اقدامات مربوط به رفع مزاحمت و قلع و قمع تجاوزات و اعیانی‌های مزاحم در بستر و حریم رودخانه‌ها می‌باشد.

«وزارت نیرو در صورتی که اعیانی‌های موجود در بستر و حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها را برای امور مربوط به آب و برق مزاحم تشخیص دهد به مالک اعلام خواهد کرد که ظرف مدتی معین در تخلیه و قلع اعیانی اقدام کند و در صورت استتکاف، وزارت نیرو با اجازه و نظارت دادستان یا نماینده او اقدام به تخلیه و قلع خواهد کرد.»
اهم موضوع‌های قابل توجه در تبصره فوق به شرح زیر است:

- ۱- تشخیص مزاحمت اعیانی‌های موجود در بستر و حریم منابع آب ذکر شده در تبصره برای آب یا برق منحصر با وزارت نیرو است.
- ۲- وزارت نیرو قبل از این که راسا به تخلیه و قلع اعیان مزاحم اقدام نماید لازم است با تعیین مهلت مناسب (بسته به مورد) مراتب را به مالک و یا متصرف جهت تخلیه و قلع اعیانی با انجام تشریفات مقرر در قانون، ابلاغ قانونی نماید.
- ۳- پس از پایان مهلت تعیین شده در ابلاغ، اگر چنانچه مالک یا متصرف از انجام موضوع ابلاغ استتکاف نماید وزارت نیرو با اجازه و نظارت دادستان یا نماینده او اقدام به تخلیه و قلع اعیانی خواهد کرد. به عبارت دیگر برای قلع و تخلیه اعیانی مزاحم نیازی به رای دادگاه و انجام تشریفات درخواست و صدور این رای نمی‌باشد. بلکه اجازه و نظارت دادستان یا نماینده وی کافی است.

۵-۳-۳- ضوابط قانونی چگونگی تملک زمین در اثر تغییر مقطع یا راستای رودخانه

به استناد ماده ۵۱ قانون توزیع عادلانه، آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها، مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی و شبکه‌های آبرسانی، آبیاری و زهکشی در تاریخ ۱۳۷۹/۹/۲۴ به تصویب هیات دولت رسیده است که این آیین‌نامه در حال حاضر مبنای تعیین حدود بستر و حریم رودخانه‌ها می‌باشد. براساس اصلاحیه مصوب مورخ ۱۳۸۲/۱۲/۱۲ هیات دولت برخی از مفاد این آیین‌نامه تغییر یافته است.

مبنای حقوقی مالکیت دولت در مورد اراضی بستر (پهنا) و راستای رودخانه، وجود قبلی رودخانه بر تصرفات اشخاص می‌باشد. فرض بر این است که از قدیم الایام رودخانه جریان داشته و به اعتبار مالکیت دولت بر مشترکات (که رودخانه از جمله آن‌هاست)، اراضی بستر در تمامی طول مسیر جریان رودخانه نیز ملک دولت محسوب می‌شود و اشخاص از تصرفات منافی با حق دولت ممنوع

- بوده‌اند و لذا در موارد دیگر که این‌گونه سابقه مالکیت برای دولت وجود نداشته باشد دولت نمی‌تواند برای خود حق مجانی قایل شود مگر با اجازه قانون. در این صورت دولت با پرداخت بهای اراضی و خریداری آن‌ها نسبت به تملک اراضی اقدام خواهد کرد.
- براساس قانون آب و نحوه ملی شدن آن (مصوب ۱۳۴۷/۴/۲۷) آزادسازی اراضی بستر در مقاطع و راستای رودخانه که قبل از تصویب این قانون دارای اسناد مالکیت می‌باشند با خریداری اراضی به قیمت عادلانه کارشناسی امکان‌پذیر می‌باشد. بنابراین این نوع اراضی در بستر یا راستای رودخانه براساس اسناد موجود مورد بررسی قرار می‌گیرند.
 - با سازمان ثبت اسناد و املاک منطقه برای اخذ نقشه‌های ثبتی و مشخص کردن مالکیت اراضی اطراف رودخانه مکاتبه و هماهنگی‌های لازم به عمل آید.
 - نوع، مکان و مساحت اراضی که شامل پرداخت خسارت می‌شوند باید مشخص گردند تا در مطالعات اقتصادی اعتبار مورد نیاز برای آزادسازی برآورد شود.
 - چنانچه قبلاً حدود بستر توسط وزارت نیرو (سازمان‌های آب منطقه‌ای) تعیین و براساس آن برای اراضی خارج بستر اسناد مالکیت صادر شده باشد در صورتی که در تعیین حد بستر جدید آن اراضی در داخل بستر رودخانه واقع شوند، آزادسازی این اراضی با پرداخت قیمت عادلانه کارشناسی امکان‌پذیر خواهد بود.

۵-۴- کانون‌ها و مراکز جمعیتی حاشیه رودخانه و نحوه بهره‌برداری از آب و اراضی حاشیه آن

- در مطالعات طرح مربوط به تغییر مقطع و راستای رودخانه، اهداف زیر می‌باید در ارتباط با مراکز جمعیتی اراضی حاشیه رودخانه و نحوه بهره‌برداری از آب و اراضی رودخانه مورد توجه قرار گیرد:
- جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل اطلاعات مراکز جمعیتی حاشیه رودخانه (شامل شهرها، آبادی و وسعت و تعداد جمعیت آن‌ها، جمعیت دائم و موقت، تراکم جمعیت، میزان مهاجرت در اثر اجرای تغییر مقطع و راستای رودخانه)
 - بررسی ساختار کلی جمعیت در محل طرح برحسب درصد جمعیت بومی، قبیله‌ای، فرقه‌ای، اقلیت‌های مذهبی براساس اطلاعات مرکز آمار ایران و پرس جوهای محلی
 - بررسی الگوی اسکان در محل طرح شامل درصد اسکان شهری و روستایی، درصد جمعیت ساکن املاک شخصی و اجاره‌ای، ابعاد خانوار، سابقه اسکان
 - بررسی وضعیت و نوع اشتغال مردم منطقه شامل: درصد اشتغال در بخش‌های کشاورزی و دامپروری (زراعت، باغ، پرورش دام و طیور، شیلات)، صنایع تجاری و خدماتی، درصد بیکاری، درآمد سرانه، سطح سواد و دانش عمومی
 - جمع‌آوری و بررسی گزارش‌های سیلاب و فرسایش و میزان خسارات ناشی از آن‌ها و بررسی تاثیر این پدیده‌ها در بهره‌برداری از آب رودخانه
 - نحوه و روش‌های استفاده و بهره‌برداری از آب رودخانه و میزان حقابه از رودخانه
 - پوشش و کاربری اراضی اطراف رودخانه شامل:
 - اراضی کشاورزی (مزارع، باغ‌ها، دامداری، کارگاه پرورش طیور، کارگاه‌های پرورش ماهی، نوع کشت، کشت غالب، الگوی کشت، دوره کشت و وسعت این اراضی)

- اراضی مسکونی (محل سکونت مردم و اماکن خدماتی مانند بیمارستان، درمانگاه، مدرسه، فرهنگی و مذهبی و وسعت آن‌ها)
- اراضی صنعتی (در برگیرنده کلیه تاسیسات صنعتی منطقه مانند کارگاه‌ها و واحدهای تولیدی صنعتی و وسعت آن‌ها)
- اراضی تجاری و خدماتی (شامل ادارات، مراکز تجاری، مراکز پلیس و مراکز نظامی و وسعت آن‌ها)
- بررسی اجمالی و تعیین ارزش اقتصادی آب و اراضی حاشیه رودخانه برای کاربری‌های مختلف
- در صورتی که معیشت مردم منطقه به کشاورزی در اراضی بستر رودخانه بستگی دارد، آن‌ها به خطرات ناشی از کشت در بستر رودخانه توجه شوند.
- بررسی طرح‌های جامع، هادی و تفصیلی شهرها و آبادی‌های مجاور طرح تغییر مقطع و راستای رودخانه

۵-۵- مسایل اجتماعی مرتبط با بهره‌برداری از آب و اراضی حاشیه رودخانه

مسایل اجتماعی مرتبط با تغییر مقطع و راستای رودخانه شامل موارد زیر می‌گردد:

- بررسی آداب و رسوم مردم منطقه در بهره‌برداری از آب و اراضی حاشیه رودخانه
- بررسی میزان مشارکت مردم در پهنه‌بندی، بیمه سیلاب، هشدار سیلاب و تعیین حدود قانونی بستر و حریم رودخانه
- انجام نظرسنجی‌های لازم در مورد میزان مشارکت مردم در تغییر مقطع و راستای رودخانه
- بررسی عکس‌العمل‌های احتمالی ساکنان حاشیه رودخانه در ارتباط با تغییر مقطع و راستای آن و اهمیت آن از نظر سیاسی و امنیتی
- بررسی نحوه مشارکت سازمان‌های محلی شامل ارگان‌های دولتی، شوراهای شهر و روستا در پایش و حفاظت از اراضی حاشیه رودخانه
- بررسی اثرهای نامطلوب و منفی اجتماعی ناشی از سیلاب‌ها، فرسایش و افزایش آلودگی آب رودخانه
- مطالعه مسایل و مشکلات اجتماعی تغییر مقطع و راستای رودخانه و ارائه راهکارهای اجرایی کاهش تنش‌های اجتماعی
- استخراج و اعلام اثرهای مطلوب (مثبت) و نامطلوب (منفی) ناشی از تغییر مقطع و راستای رودخانه
- بررسی نقش مسایل اجتماعی، سیاسی و امنیتی تغییر مقطع و راستای رودخانه

۵-۶- سوابق همیاری و تنش‌های اجتماعی و میزان رعایت و احترام مردم به قوانین مرتبط با بهره‌برداری از آب و اراضی حاشیه رودخانه

- بررسی سوابق اختلاف یا مشارکت مردم منطقه در مورد بهره‌برداری از رودخانه و حاشیه آن
- بررسی میزان رعایت و احترام به قوانین موجود در مورد رودخانه توسط اشخاص حقیقی و حقوقی ذیربط
- عکس‌العمل مردم به فعالیت‌های عمرانی که بر روی رودخانه انجام شده است نظیر احداث سد، تعیین حدود بستر و حریم رودخانه

- بررسی و ارائه راه های کاهش تنش های اجتماعی ناشی از تغییر مقطع و راستای رودخانه با استفاده از ظرفیت های قانونی و فرهنگی
- ترویج و تبلیغ برای عدم پرداخت خسارت به سیل زدگان ساکن در اراضی بستر رودخانه
- ترویج و تبلیغ فواید تغییر پهنه و راستای رودخانه در کاهش خسارت. از طریق ایجاد تفاوت در تعرفه های بیمه پهنه کم خطر، خطر متوسط و زیاد امکان استفاده از پهنه و راستای کم خطر رودخانه توصیه گردد.
- بررسی سوابق دعاوی و شکایات موجود در مورد بهره برداری از آب و اراضی اطراف رودخانه به همراه آرای صادره از سوی مراجع ذیصلاح
- بررسی گروه ها و سازمان های غیردولتی موجود در منطقه، نظیر: سازمان های مردمی، عام المنفعه، سندیکاهای صنایع و حرف مختلف

۵-۷- مطالعه مسایل زیست محیطی و بررسی منابع طبیعی و شرایط زیست محیطی رودخانه و حاشیه آن (آبزیان، حیات وحش، پوشش گیاهی، کیفیت آب، منابع آلاینده احتمالی)

- مطالعه مسایل زیست محیطی در محدوده طرح تغییر مقطع و راستای رودخانه با اهداف زیر انجام می شود:
 - ارائه شناخت کلی از شرایط زیست محیطی محدوده اجرای طرح
 - ارزیابی تاثیر تغییر مقطع و راستای رودخانه در شرایط زیست محیطی محدوده انجام طرح
- اهداف یاد شده با انجام موارد زیر حاصل می گردد:
 - بررسی اطلاعات گزارش های حیات وحش، پوشش گیاهی و ارزیابی زیست محیطی موجود در منطقه و تهیه فهرست خلاصه ای از گونه های گیاهی و حیوانی محدوده رودخانه
 - جمع آوری و بررسی گزارش های زیست محیطی موجود در مورد مناطق حفاظت شده (بررسی این که آیا حاشیه رودخانه از مناطق حفاظت شده سازمان محیط زیست شده است یا خیر؟) در صورتی که اراضی اطراف رودخانه از مناطق حفاظت شده سازمان محیط زیست باشد، قوانین و مقررات مربوط باید بررسی و خلاصه گزارشی در این خصوص تهیه شود.
 - بررسی آزادسازی و رفع تجاوزات صورت گرفته در بهبود شرایط زیست محیطی رودخانه
 - مطالعه و بررسی منابع آلاینده آب و اراضی حاشیه رودخانه و تهیه و ارائه فهرستی از منابع آلوده کننده در هر یک از محدوده رودخانه. در صورت امکان، مکان تقریبی آلوده کننده های نقطه ای ارائه نیز شود.
 - فهرست منابع آلوده کننده و نوع آلوده کننده ها در صورت تغییر مقطع و راستای رودخانه حذف و اضافه خواهند شد تهیه شوند.
 - تهیه و ارائه پیشنهادات لازم برای حفاظت کمی و کیفی آب و اراضی اطراف رودخانه از نظر زیست محیطی
 - کاربری های مجاز در اراضی مقطع و راستای رودخانه
 - بررسی اثرهای زیست محیطی ناشی از دخل و تصرف های غیرقانونی صورت گرفته در اراضی اطراف رودخانه

۵-۸- ارزیابی تاثیر تعیین مقطع و راستای رودخانه در شرایط زیست محیطی منطقه

۵-۸-۱- شناسایی کلی شاخص‌های بوم‌شناختی تاثیرپذیر از تغییر مقطع و راستای رودخانه

سامانه‌ی بوم‌شناختی منطقه‌ای که رودخانه در آن قرار دارد، ترکیبی از سامانه‌ی بوم‌شناختی آبی رودخانه و سامانه‌ی بوم‌شناختی خشکی منطقه است. عوامل زیست محیطی عمده در بوم‌شناختی آبی به حرکت آب، مشخصات فیزیکی بستر و بالاخره ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب وابسته‌اند. جوامع گیاهی و جانوری آبی در امتداد مسیر رودخانه تحت تاثیر عوامل یاد شده قرار دارند، جامعه بیولوژیکی در نزدیکی حاشیه‌ها در مقاطع مختلف در امتداد مسیر، تحت تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر، کرانه‌ها، شیب کرانه‌ها و تغییرات مسیر جریان است.

حوضه آبریز رودخانه‌ها از چند کیلومترمربع تا چند هزار کیلومتر متغیرند، بنابراین از دیدگاه زیست‌شناسی بر حسب پراگندگی گونه‌های گیاهی و وسعت قلمرو زیست گاهی گونه‌های جانوری، باید در محدوده‌ای از حوضه آبریز که تغییر مقطع و مسیر رودخانه مورد نظر می‌باشد، بررسی بوم‌شناختی خشکی انجام پذیرد. در آن محدوده برخی از گونه‌های جانوری واقع در اراضی حاشیه‌ای از نظر منابع غذایی و زیستگاهی به رودخانه متکی‌اند که در اثر اجرای تغییر مقطع در راستای رودخانه تاثیر می‌پذیرند. بوم‌شناختی خشکی از یک طرف از رودخانه تاثیر می‌پذیرد و از سوی دیگر متقابلاً بر وضعیت بوم‌شناختی آبی رودخانه تاثیر می‌گذارد.

در بررسی‌های بوم‌شناختی آبی و خشکی گونه‌های متعدد و زیستگاه‌های متنوعی مطرح‌اند، به سبب مدت زمان زیاد و هزینه بسیار برای شناسایی همه گونه‌های مهم و زیستگاه‌های با اهمیت، همه گونه‌های مهم در مطالعات ارزیابی زیست‌محیطی مطرح نیستند. بنابراین در این گونه مطالعات تنها گونه‌های زیر مهم تشخیص داده می‌شوند:

- گونه‌های دارای اهمیت اقتصادی یا تفریحی و سیاحتی
- گونه‌های نادر و در خطر انقراض
- گونه‌های لازم برای دوام گونه‌های اقتصادی و یا تفریحی

۵-۸-۲- جمع‌آوری قوانین و مقررات و ضوابط محیطی

به‌طور کلی مطالعات ارزیابی زیست محیطی طرح‌های مربوط به تغییر مقطع و راستای رودخانه براساس ضرورت‌های ایجاد شده به‌وسیله قوانین و مقررات و ضوابط محیطی انجام می‌گیرد. انجام دادن این مطالعات از دیدگاه ملی به منظور حفظ توسعه پایدار در سطح ملی و از دیدگاه منطقه‌ای و بالاخره جهانی، حفاظت از محیط زیست در وسیع‌ترین نگرش آن است. در مطالعات ارزیابی زیست محیطی لازم است کلیه قوانین و مقررات و زیست محیطی که به نحوی مراعات آن‌ها در انجام مطالعات ضرورت دارد، بررسی گردند.

در مطالعات مربوط به ارزیابی زیست‌محیطی تغییر مقطع و راستای رودخانه لازم است که موارد زیر مورد توجه قرار گیرد. بدیهی است همه موارد مطرح شده در این بخش ممکن است کاربرد نداشته و برحسب شرایط رودخانه و طرح تغییر مقطع و راستای رودخانه، تنها برخی از این موارد کاربرد داشته باشد.

- مطالعه و شناسایی وضعیت موجود زیست‌محیطی (خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب و اراضی اطراف رودخانه) قبل از اجرای طرح
- تحلیل و ارزیابی تاثیر اجرای طرح تغییر مقطع و راستای رودخانه بر شاخص‌های زیست‌محیطی و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب و اراضی اطراف رودخانه
- بررسی زیست‌گاه‌های با اهمیت گیاهی و جانوری
- بررسی تاثیر تغییر مقطع و راستای رودخانه بر منظره‌های طبیعی و منحصر به فرد مانند مناظر تاریخی، باستان‌شناسی و آثار و اماکن فرهنگی (کتابخانه، تاتر، سینما، مساجد، باشگاه‌ها، زیارتگاه‌ها، معابد، کتیبه‌ها، مقبره‌ها که از نظر ملی دارای ارزش ویژه‌اند).
- تخریب آشیانه و زیستگاه جانوران و ماهیان مهاجر با تغییر مسیر و رژیم جریان و یا احداث سازه‌های مهندسی رودخانه
- ایجاد اختلال در زندگی معمول حیوانات وحشی در اثر تغییر مقطع و راستای رودخانه
- تغییر در گونه‌های آبی به خاطر انجام عملیات ساماندهی رودخانه
- از بین رفتن گیاهان کنار رودخانه‌ای در اثر تغییر الگو و میزان جریان
- تغییرات سطح آب زیرزمینی و تبادل آبی بین آبخوان و رودخانه در اثر تغییر مقطع و راستای رودخانه
- کوچ و جابجایی اجباری ساکنین منطقه در اثر تغییر مسیر رودخانه
- بررسی تاثیر تغییر مقطع و راستای رودخانه بر پارک ملی و مناطق حفاظت شده باستانی (مناطق حفاظت شده باستانی به مناطقی گفته می‌شود که در آن‌ها کاوش‌های باستان‌شناسی انجام می‌گیرد و یا در برگیرنده ساختمان‌های باستانی، مجموعه‌ها و یادگارهای تاریخی، نقاشی‌ها، سنگ‌نوشته‌ها و یا هرگونه باقی‌مانده فیزیکی ناشی از زیست انسان‌ها در ادوار گذشته است).

فصل ۶

ملاحظات تعیین هندسه و راستای

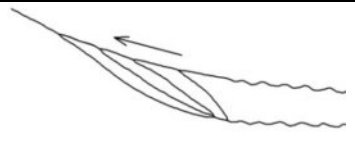
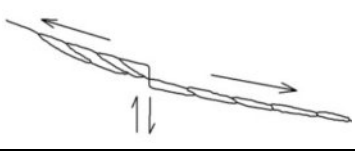
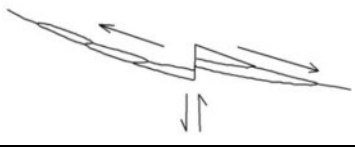
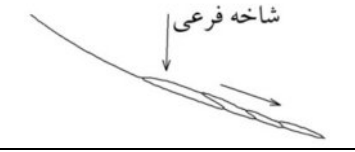
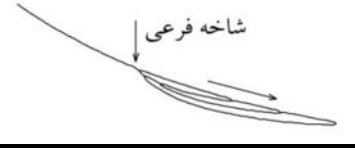
بهینه رودخانه با توجه به اهداف و نوع

طرح ساماندهی

۶-۱- علل و شکل‌های ناپایداری رودخانه

به‌طور کلی تغییرات اعمال شده به‌واسطه شرایط طبیعی و یا عوامل مصنوعی می‌تواند سبب گسترش ناپایداری از طریق تغییرات موضعی در ظرفیت انتقال رسوب و یا منبع تغذیه رسوبی رودخانه بشود. می‌توان از معادلات تجربی و کیفی برای تشخیص پاسخ کانال به تغییر در عوامل مستقل همچون بده جریان، بار رسوبی (حجم و قطر ذرات) و یا ریخت‌شناسی کانال استفاده نمود. در جدول (۶-۱) لیست کاملی از علل و شکل‌های مختلف ناپایداری در شرایط طبیعی و مصنوعی به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند و در هر حالت پاسخ رودخانه به تغییر اعمال شده و جهت گسترش آن نشان داده شده است (در این جدول S : شیب رودخانه، Q : بده جریان، Q_S : بده بار رسوبی و D اندازه ذرات رسوبی می‌باشد). به‌طور کلی فرسایش منجر به کاهش شیب و پیدایش شکل پلان سینوسی خواهد شد و در رسوب‌گذاری عکس این وضعیت محقق می‌شود (شکل ۶-۱). به‌طوری‌که ترازافزایی و رسوب‌گذاری با تغییر شیب رودخانه، منجر به شریانی شدن رودخانه و ایجاد محدوده سیلابدستی جدید خواهد شد.

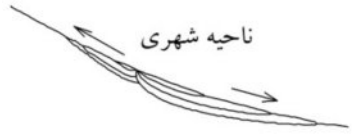
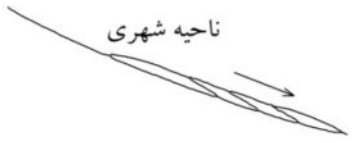
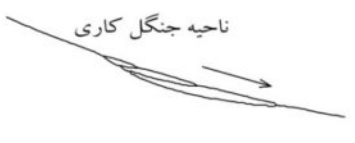
جدول ۶-۱- پاسخ کانال به تغییر در عوامل مستقل (۱۶۸)

شکل	جهت گسترش در طول کانال	پاسخ رودخانه	تغییر اعمال شده
۱- شرایط طبیعی			
	بالادست	$S^+Q_+ \alpha Q_{S^+} D_+$	۱-۱- کاهش تراز جریان پایه
۲- حرکت زمین			
	بالادست	$S^+Q_+ \alpha Q_{S^+} D_+$	افزایش تراز بالادست
	پایین‌دست	$S_+Q_- \alpha Q_S^+ D_-$	کاهش تراز پایین‌دست
	بالادست	$S^-Q_- \alpha Q_{S^-} D_-$	کاهش تراز بالادست
	پایین‌دست	$S_-Q_+ \alpha Q_S^- D_+$	افزایش تراز پایین‌دست
۳- تغییر اقلیمی			
	پایین‌دست	$S_+Q^+ \alpha Q_S^+ D_-$	افزایش بده جریان و بار رسوبی
	پایین‌دست	$S_-Q^- \alpha Q_S^- D_+$	کاهش بده جریان و بار رسوبی

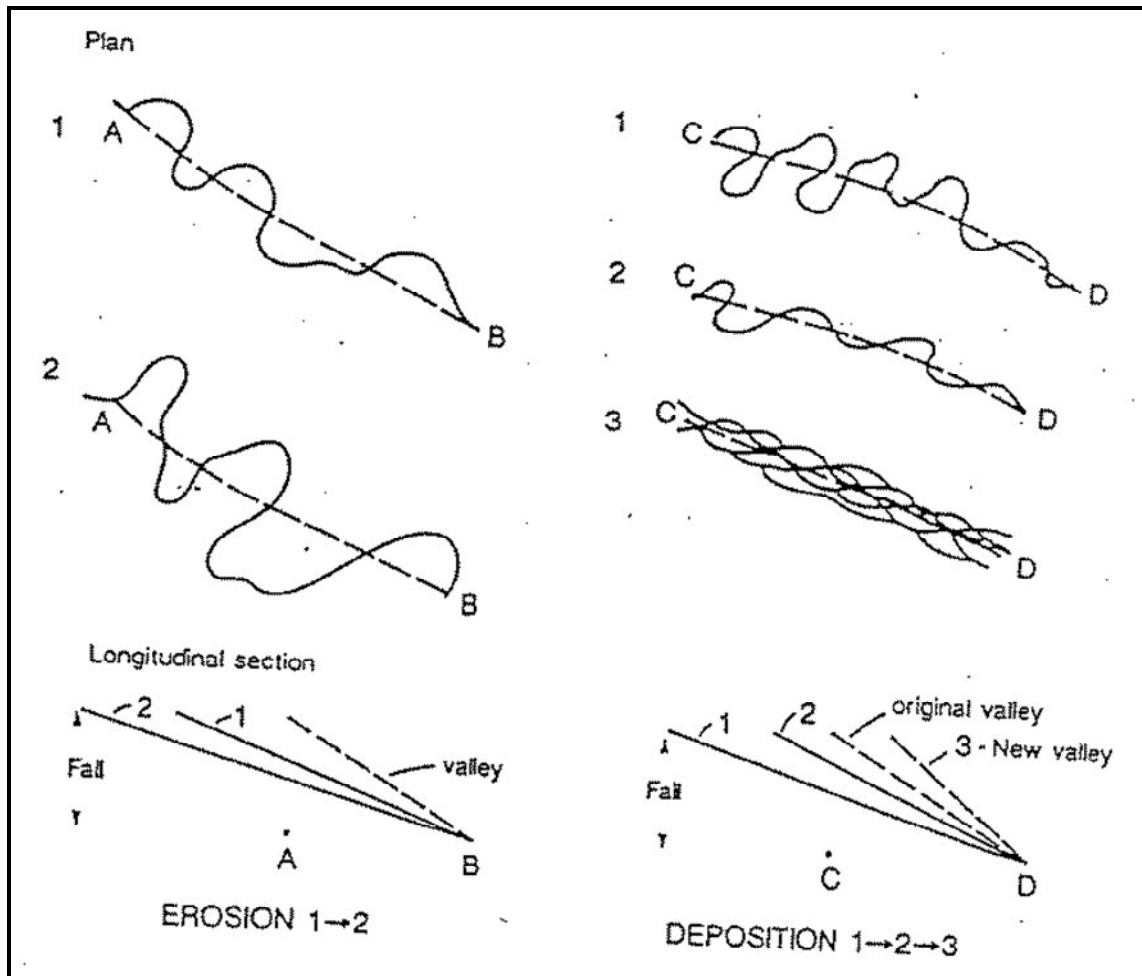
ادامه جدول ۶-۱- پاسخ کانال به تغییر در عوامل مستقل |۶۸|

شکل	جهت گسترش در طول کانال	پاسخ رودخانه	تغییر اعمال شده
	بالادست	$S^+A_+ \alpha Q_{S^+}D_+$	۴-۱- تشکیل کانال‌های میانبر در پیچان‌رودها
	پایین‌دست	$S_+Q_- \alpha Q_{S^+}^+D_-$	
۵-۱- زمین لغزش			
	بالادست	$S^+Q_+ \alpha Q_{S^+}D_+$	بزرگ
	پایین‌دست	$S_+Q^- \alpha Q_{S^+}^+D_-$	
	پایین‌دست	$S_+Q_- \alpha Q_{S^+}^+D_-$	کوچک
۲- شرایط مصنوعی			
	پایین‌دست	$S_-Q^- \alpha Q_{S^-}^-D_+$	۱-۲- ساخت سد
	بالادست	$S^-Q_- \alpha Q_{S^-}^-D_-$	۲-۲- ساخت سرریز
	پایین‌دست	$S_-Q_+ \alpha Q_{S^-}^-D_+$	
	بالادست	$S^+Q_+ \alpha Q_{S^+}D_+$	۳-۲- شکست سد
	پایین‌دست	$S_+Q_- \alpha Q_{S^+}^+D_-$	
	بالادست	$S^+Q_+ \alpha Q_{S^+}D_+$	۴-۲- کانال میانبر
	پایین‌دست	$S_+Q_- \alpha Q_{S^+}^+D_-$	
	بالادست	$S^+Q_+ \alpha Q_{S^+}D_+$	۵-۲- لایروبی، برداشت شن و ماسه
	در محل تغییر	$S^-Q_- \alpha Q_{S^-}^-D_-$	
	پایین‌دست	$S_-Q_+ \alpha Q_{S^-}^-D_+$	
	بالادست	$S^+Q_+ \alpha Q_{S^+}D_+$	۶-۲- انتقال بین حوضه ای (جریان‌های بزرگ‌تر از آستانه حرکت رسوبات بستر)
	پایین‌دست	$S_-Q^{++} \alpha Q_{S^+}D_+$	

ادامه جدول ۶-۱ - پاسخ کانال به تغییر در عوامل مستقل [۶۸]

شکل	جهت گسترش در طول کانال	پاسخ رودخانه	تغییر اعمال شده
۲-۷ - شهرنشینی			
 ناحیه شهری	بالادست	$S^+Q_+\alpha Q_{S^+}D_+$	افزایش بده جریان
	پایین دست	$S_-Q^{++}\alpha Q_{S^+}D_+$	
 ناحیه شهری	پایین دست	$S+Q^+\alpha Q_{S^+}D_-$	افزایش بده جریان و بار رسوبی
۲-۸ - جنگل کاری			
 ناحیه جنگل کاری	پایین دست	$S_+Q^-\alpha Q_{S^+}D_-$	شخم زدن، زهکشی و تخریب طبیعت و پوشش گیاهی
 ناحیه جنگل کاری	پایین دست	$S_-Q^-\alpha Q_{S^+}D_+$	جلوگیری، کنترل فرسایش خاک
 ناحیه جنگل زدایی	پایین دست	$S_+Q^+\alpha Q_{S^+}D_-$	۲-۹ - جنگل زدایی
 ناحیه برداشت	پایین دست	$S_+Q_+\alpha Q_{S^+}D_-$	۲-۱۰ - ضایعات برداشت

(علامت + نشان دهنده افزایش و علامت - نشان دهنده کاهش می باشد، همچنین قرار گیری علامت + در بالای عامل مورد بررسی نشان دهنده آن است که نقش کنترلی ایفا می کند و قرار گیری آن در زیر عامل به معنای آن است که پاسخ عامل مزبور به تغییرات عامل کنترلی محاسبه شده است.)



شکل ۶-۱- تغییرات شکل پلان و نیمرخ طولی در خلال فرسایش و رسوب گذاری [۶۸]

۶-۲- شاخص‌های ناپایداری

اگرچه عوامل کنترل کننده فرسایش و رسوب گذاری و به دنبال آن پیش‌بینی تغییرات تراز بستر و شکل پلان امکان‌پذیر است، شبیه‌سازی عددی و پیش‌بینی میزان دقیق این تغییرات به‌خصوص در مورد شکل پلان و عرض بستر معمولاً با شکست مواجه می‌شود.

علی‌رغم ضعف موجود، می‌توان بر تغییرات ریخت‌شناسی که در طول رودخانه اتفاق می‌افتد، نظارت نمود و تدابیری ویژه برای جلوگیری از بروز ناپایداری مانند فرسایش و ناپایداری جانبی ایجاد شده به‌واسطه سازه‌های مهندسی، اتخاذ نمود. سوال این‌جاست که چگونه می‌توان عوامل ایجادکننده فرسایش و رسوب گذاری و به عبارتی شاخص‌های ناپایداری را تشخیص داد؟ چرا که با تشخیص علت ناپایداری می‌توان با شیوه مهندسی با آن روبرو شد. لذا شاید بتوان گفت هرگونه عملیات مهندسی و یا تغییرات کاربری اراضی در طول رودخانه و در حوضه آبریز باید با برنامه صورت گرفته و تدابیر ویژه در مرحله طراحی برای جلوگیری از ناپایداری به کار گرفته شود.

در جدول (۶-۲) فهرستی از برخی شاخص‌های ناپایداری که ارزیابی پایداری و کنترل آن را آسان می‌سازد، ارائه شده است [۶۸].

جدول ۶-۲- شاخص‌های ناپایداری رودخانه |۶۸|

شاخص	نوع اثر بر رودخانه
۱- شواهد بازدید صحرایی	
۱-۱- ریخت‌شناسی کانال اصلی رودخانه	
الف- سازه‌های حفاظت از کناره در لایه‌های تحتانی، پایه‌های پل	کف کنی
ب- سازه‌های دفن شده، انقباض مقطع در محل باز شو پل‌ها	ترازافزایی
ج- فرسایش هر دو کناره رودخانه	
ج-۱- بدون ایجاد جزیره رسوبی مرکزی	کف کنی
ج-۲- با ایجاد جزیره رسوبی مرکزی	ترازافزایی
د- کاهش مقطع به واسطه تراکم پوشش گیاهی - کاهش ظرفیت بده عبوری (کانال‌های کم عمق با مواد بستر ریزدانه و شیب طولی کوچک) - کانال‌های شریانی شده	ترازافزایی
د- توسعه مقطع - افزایش ظرفیت بده عبوری (کانال‌های نسبتاً عمیق با مواد بستر درشت‌دانه و شیب طولی تند)	کف کنی (در کانال‌های با کف سنگی این پدیده در بلندمدت رخ می‌دهد.)
ه- افزایش فرسایش کناره در کمربندهای پیچانرودی و در نهشته‌های رسوبی فاقد پوشش گیاهی	تراز کاهی
۱-۲- طبقه‌بندی رسوبی سیلابدشت	
الف- خاک دفن شده به وسیله آبرفت	ترازافزایی
ب- قرارگیری مواد ریزدانه (بار معلق) بر روی مواد درشت‌دانه (بار بستر)	ترازافزایی
ج- تراز نهشته‌های رسوبی از نهشته‌های فسیلی بی حفاظ در کناره رودخانه بالاتر است.	ترازافزایی
د- تراز نهشته‌های رسوبی از نهشته‌های فسیلی بی حفاظ در کناره رودخانه پایین‌تر است.	کف کنی
۱-۳- ریخت‌شناسی سیلابدشت	
الف- وجود سامانه‌ی چندشاخه غیرفعال در سیلابدشت	لازم است پایداری آن بررسی شود.
ب- وجود تراس‌ها و سیلابدشت‌های غیرفعال	کف کنی (در درازمدت)، ترازافزایی (در دوره‌های ۱۰ تا ۱۰۰ ساله)
۲- تراز جریان	
الف- افزایش تراز بده متوسط سالانه در طول دوره آماری بلندمدت	ترازافزایی
ب- کاهش تراز بده متوسط سالانه در طول دوره آماری بلندمدت	کف کنی
۳- شواهد تاریخی (باستناد اطلاعات نقشه برداری)	
الف- تغییرات در مقطع عرضی	کف کنی (تعمیق) - فرسایش کناره‌ها (تعریض) - ترازافزایی (کاهش عمق) - رسوب‌گذاری در کناره‌ها (کاهش عرض)
ب- افزایش ضریب پیچشی	کف کنی. فرسایش جانبی
ج- کاهش ضریب پیچشی (شریانی شدن)	ترازافزایی

۳-۶- تحلیل ناپایداری‌ها

۳-۶-۱- مهاجرت پیچانرود

شاید بتوان تغییر مسیر پیچانرود را یکی از بارزترین مشکلات ناپایداری عنوان نمود. که در واقع تهدیدی جدی برای پروژه‌هایی نظیر کنترل سیلاب محسوب می‌شود به طوری که با تغییر مسیر و مهاجرت پیچانرود سازه‌هایی مانند خاکریزها کاربری خود را از دست

می‌دهند. معمول این است که در قوس خارجی فرسایش و در قوس داخلی رسوب‌گذاری رخ دهد، البته در بعضی پیچ و خم‌های خاص این قضیه برعکس می‌شود [۱۹].

در کانال‌های مستقیم با رسوب‌گذاری مواد بستر انتقال یافته در کناره‌های کانال فرآیند پیچانرودی شدن آغاز می‌شود. در واقع توسعه و مهاجرت پیچانرود تبادل رسوب بین نواحی رسوب‌گذار و فرسایش‌پذیر می‌باشد. آنچه به نظر واضح می‌رسد، آن است که فرآیند پیچانرودی شدن از رسوب تولید شده در خود سامانه‌ی رودخانه تغذیه می‌شود و رسیدگی و کنترل آن در مراحل ابتدایی ساده‌تر و امکان‌پذیرتر می‌باشد. لیکن از آن‌جا که پیش‌بینی تحلیلی آن که یک کانال مستقیم شروع به پیچانرودی شدن می‌کند یا نه عملی نیست، بهتر است در این رابطه بر تجارب مشابه مربوط تکیه شود و نظارت بر طراحی انجام شده در برنامه قرار گیرد. از این رو برای سادگی مرحله نظارت بر طراحی انجام شده و نگهداری، طراحی سینوسی به جای کانال مستقیم پیشنهاد می‌شود و معمولاً به کار گرفته می‌شود [۵۰ و ۵۵]. به عبارتی ادعا می‌شود، کانال‌های پیچانرودی تحت شرایطی می‌توانند پایدارتر باشند ولی هیچ راهنمای کمی در این زمینه وجود ندارد.

البته چند شاخه و شریانی شدن جریان نیز یکی از اشکال ناپایداری می‌باشد که عمدتاً در کانال‌های با شیب نسبتاً بالا و دارای بار رسوبی بستر زیاد اتفاق می‌افتد ولی گاهی پروژه‌های کنترل سیلاب با تغییر شیب این وضعیت را به رودخانه تحمیل می‌کنند.

۶-۳-۲- افزایش بده

تحمیل تغییرات مختلف به حوضه از قبیل جنگل‌زدایی، شهرنشینی، مجراسازی و انحراف جریان ممکن است بده ورودی به سامانه را افزایش دهند. افزایش بده می‌تواند توسعه مقطع عرضی، تشدید مهاجرت پیچانرود، تطویل پیچانرود و تغییرات نیمرخ طولی را به دنبال داشته باشد.

به‌طور کلی افزایش بده منجر به تعریض و تعمیق کانال خواهد شد. تغییرات شدید عمقی مقطع عرضی ممکن است به دنبال کف‌کنی طولی زمانی که کناره‌ها قائم هستند اتفاق بیفتد [۶۳ و ۶۹]. تمایلات کف‌کنی معمولاً در کانال‌های با مواد بستر ریزدانه تشدید می‌شود، درحالی‌که در بسترهای با مواد درشت‌دانه و دانه‌بندی کاملاً غیریکنواخت، کف‌کنی با پدیده بستر مسلح محدود می‌شود. در این حالات رفتار نیمرخ طولی را می‌توان با استفاده از مدل یک بعدی همچون HEC-6 و یا GSTAR مورد مطالعه قرار داد.

به‌طور کلی به هنگام افزایش بده گرایش زیادی به سمت کاهش شیب از طریق فرسایش بالادست و رسوب‌گذاری در پایین‌دست وجود دارد. چنین تغییراتی به‌خصوص در نیمرخ طولی در محل ورود شاخه‌های فرعی مشهود می‌باشد.

همچنین به هنگام افزایش بده، طراحی یک مقطع خیلی عریض لزوماً پایداری کناره را تامین نمی‌کند. به‌طوری‌که ممکن است مثلاً یک مجرای پیچانرودی درونی شکل گرفته و یا وضعیت پیچانرودی کانال تشدید شده و کناره‌ها را تهدید به فرسایش کند.

۶-۳-۳- بهسازی کانال و تغییر مسیر

اصلاح مسیر در پروژه‌ها اغلب به منظور افزایش ظرفیت هیدرولیکی و گاهی اوقات برای بازیافت اراضی ایجاد شده توسط فرسایش در پیچان‌ها صورت می‌گیرد. به هر حال اصلاح مسیر تأثیرات قابل توجهی روی پایداری کانال می‌گذارد، مگر این‌که سازه‌های کنترل شیب همچون شیب‌شکن به منظور خنثی کردن مزیت هیدرولیکی ایجاد شده به کار روند. به‌خصوص با افزایش بار رسوبی و رسوب‌گذاری در پایین‌دست تهدیدی جدی برای زیست‌گاه‌های ماهیان محسوب می‌شود.

اگرچه با اصلاح مسیر، فرسایش کناره و مهاجرت پیچانرود کاهش می‌یابد ولی کانال‌هایی که در آن‌ها اصلاح مسیر صورت گرفته است معمولاً تمایل دارند که به وضعیت پیچانرودی خود بازگردند مگر این‌که با محافظت کناره از این پدیده جلوگیری شود. همچنین اصلاحاتی از قبیل پاکسازی و رفع موانع (که معمولاً در کانال‌های نسبتاً کوچک به کار گرفته می‌شود) اغلب موجب از بین رفتن بخشی از پوشش گیاهی شده و زبری را کاهش می‌دهد. این پدیده سبب افزایش سرعت شده و مقاومت فرسایشی را کاهش می‌دهد و منجر به فرسایش کناره و افزایش نرخ انتقال رسوب خواهد شد مگر این‌که عملیات با دقت و با برنامه هدایت شود و تحت نظارت قرار گیرد، به عبارتی طراحی با در نظرگیری پارامترهای کنترل‌کننده ظرفیت هیدرولیکی کانال و نیز تغییرات محتمل در نیمرخ طولی کانال صورت گیرد.

۶-۳-۴ - تنظیم جریان به وسیله مخازن

اثرهای بالادست یک مخزن شامل تشکیل دلتا، افزایش تدریجی تراز جریان در ناحیه برگشت آب و پیچانرودهای مشخص‌تر می‌باشد.

اثرهای پایین دست در اثر طغیان و ریزش‌های جریان و ذخیره و نگاهداشت رسوب ایجاد می‌شوند. مخازن معمولاً سیلاب‌های پایین دست را تخفیف می‌دهند. چنین تغییراتی پایداری در کانال اصلی را بهبود می‌بخشند ولی شاخه‌های ورودی به رودخانه را به واسطه کاهش تراز آب در دهانه‌شان ناپایدار می‌کنند.

مخازن ذخیره‌ای معمولاً همه بار بستر ورودی و سهم بالایی از بار معلق را ذخیره می‌کنند از این رو نیمرخ پایین دست تمایل به تراز کاهی دارد. از نظر تئوری این فرآیند به صورت نامحدود استمرار دارد ولی در عمل یک شرایط پایداری نسبی بعد از یک مدت زمان و در یک فاصله‌ای از مخزن ایجاد می‌شود که در پروژه‌های مختلف این مقدار متفاوت است.

در بعضی نمونه‌ها ممکن است اثر مخزن ذخیره‌ای با موارد اشاره شده در فوق متفاوت باشد. اگر بده مقطع پر که از مخزن آزاد می‌شود و در کانال جریان می‌یابد از آنچه در حالت طبیعی در کانال جریان دارد تفاوت بیشتری داشته باشد، فرسایش کناره‌ها تشدید می‌شود. همچنین اگر ورودی مواد رسوبی از شاخه‌های فرعی پایین دست نسبت به مقدار رسوب ذخیره شده توسط مخزن بالا باشد پایین دست مخزن ممکن است بر خلاف انتظار دچار رسوب‌گذاری شود چرا که اوج سیلاب کاهش یافته و قدرت حمل رسوب ورودی را نخواهد داشت.

۶-۳-۵ - انتقال رسوبات و پایداری رودخانه

انتقال رسوب می‌تواند هم به‌عنوان یک پدیده ایجاد شده توسط عوامل ناپایدارکننده عنوان شود و هم می‌تواند خود عامل ناپایداری باشد. بار رسوبی شامل بار بستر، معلق و بار شسته در اغلب موارد روی پایداری کانال اثر می‌گذارد. افزایش نرخ انتقال بار رسوبی سبب افزایش ناپایداری می‌شود. ولی افزایش قابل توجه بار شسته مواد ریزدانه با رسوب‌گذاری لایه‌های چسبنده روی کناره‌ها و تقویت پوشش گیاهی سبب افزایش پایداری خواهد شد. بر خلاف باور معمول فرسایش کناره ایجاد شده تحت مهاجرت پیچانرودها لزوماً سبب افزایش بار رسوبی نمی‌شود، چراکه ممکن است فرسایش کناره با رسوب‌گذاری روی کناره مقابل جبران می‌شود که این پدیده بیش‌تر در نواحی دشتی و مسطح اتفاق می‌افتد.

به‌طور کلی شیب و مقطع عرضی طراحی باید با حمل رسوب ورودی سازگار باشد و گرنه رسوب‌گذاری و کاهش ظرفیت حمل هیدرولیکی اتفاق می‌افتد که منجر به تشدید سیلاب خواهد شد.

۴-۶- شیوه‌های مقابله با ناپایداری

پیش‌بینی‌ها و نیز شواهد موجود نشان می‌دهند که ناپایداری دارای اثرهای مخرب بر روی کانال و سازه‌های مهندسی خواهد بود. لذا لازم است به‌منظور مقابله با این اثرها تدابیری اتخاذ شود. در جدول (۶-۳) لیستی از برخی از راه‌حل‌های مقابله با انواع ناپایداری قرار داده شده است. نکته مهم آن است که این لیست تنها پیشنهادی برای رفع ناپایداری محسوب می‌شود و نباید به‌کارگیری یک شیوه پایدارسازی سبب بروز ناپایداری دیگر شود.

جدول ۶-۳- شیوه‌های پایدارسازی رودخانه [۶۸]

روش مقابله	نوع اثر بر رودخانه
۱- فرسایش بستر	
۱-۱- پیشروی به سمت بالادست	
الف- کف بندی و محافظت بستر به‌صورت سازه‌ای	در بالادست محدوده کف کنده به منظور جلوگیری از گسترش کف کنی به سمت بالادست و نگهداری تراز بستر قرار داده می‌شود. در نظر گیری عمق آبستگي مکفی برای چنین سازه‌هایی الزامی است، چراکه به راحتی از حواشی آزاد دچار فرسایش می‌شود.
ب- سازه شیب شکن	در محل تغییر تراز بستر به‌منظور جلوگیری از گسترش کف کنی به سمت بالادست و همچنین با تصحیح شیب سطح آب برای جلوگیری از انتقال بار بستر قرار داده می‌شود. برای گرفتن انرژی ایجاد شده، طراحی حوضچه آرامش الزامی است.
۱-۲- پیشروی به سمت پایین‌دست	
الف- مسلح سازی بستر	سازی بستر به صورت مصنوعی با استفاده از مصالح درشت‌دانه.
ب- سرریز	سرریز به‌منظور کاهش شیب نیمرخ سطح آب و جلوگیری از حرکت مصالح بستر احداث می‌شود، برای جلوگیری از خطر فرسایش در پایین‌دست سرریز، ساخت سرریزهای متوالی به منظور کنترل انتقال رسوبات پایین‌دست پیشنهاد می‌شود.
۲- رسوب گذاری بستر (توسعه ناپایداری جانبی)	
۱-۲- پیشروی به سمت پایین‌دست	
الف- تله اندازی بار بستر	سبب کاهش انتقال بار بستر به بازه‌های پایین‌دست به یک مقدار پایدار می‌باشد، البته نیاز به نگهداری داشته و لازم است تله‌ها به‌صورت دوره‌ای پاکسازی شود.
ب- کنترل تغذیه رسوبی	پایدارسازی کانال برای جلوگیری از فرسایش بازه‌های بالادست، کنترل فرسایش حوضه.
۲-۲- پیشروی به سمت بالادست	
الف- لایروبی	با لایروبی بازه‌هایی که دچار تراز افزایش شده‌اند، می‌توان با یک روش مهندسی در طول یک دوره زمانی کوتاه مدت (حدود ده سال) رودخانه را به شرایط پایدار نزدیک نمود.
ب- کنترل تغذیه رسوبی	پایدارسازی بالادست بازه به‌منظور کنترل تغذیه رسوبی.
۳- کنترل جابجایی کانال	
۱-۳- افزایش ضریب پیچشی	
الف- سازه شیب شکن	احداث سازه‌های شیب شکن در مقاطع خیزاب از کاهش شیب جلوگیری می‌کند، البته باید به مساله حوضچه آرامش در پایین‌دست شیب شکن توجه شده و کناره‌ها در محل سازه شیب شکن برای جلوگیری از فرسایش محافظت شوند.
ب- محافظت از کناره‌ها (سازه‌ای)	از ریزش ناگهانی کناره و وقوع پدیده بیجان‌رودی شدن جلوگیری می‌کند، البته ممکن است سبب کف کنی شود. کناره‌های رسی در شیب‌های کم پایدار می‌مانند، در غیر این صورت لازم است در قسمت‌های زیرین تقویت شوند.

ادامه جدول ۶-۳- شیوه‌های پایدارسازی رودخانه [۶۸]

روش مقابله	نوع اثر بر رودخانه
۳-۲- کاهش ضریب پیچشی	
الف- کنترل تغذیه رسوبی	مشابه دو حالت ۳-۱- ب و ۳-۲- ب.
۳-۳- کانال‌های شریانی	
الف- ایجاد کانال باریک و عمیق	ایجاد کانال تک شاخه به صورت مستقیم یا پیچانرودی سبب افزایش ظرفیت انتقال رسوب شده و مقدار آن را بر تغذیه رسوبی بالادست منطبق می‌کند.
۳-۴- مهاجرت پیچانرود	
الف- محافظت از کناره‌ها (سازه‌ای)	در واقع با این روش می‌توان جابجایی جانبی کانال را کنترل نمود، در این زمینه می‌توان از روش‌های بیومهندسی نظیر پوشش گیاهی نیز بهره برد.
ب- پره های مستغرق. موج شکن	به کارگیری این سازه‌ها از فرسایش کناره در ناحیه پاشنه در کمربندهای پیچانرودی جلوگیری می‌کند.

۶-۵- هدف از اجرای طرح ساماندهی

معمولا طرح‌های ساماندهی با اهدافی نظیر کنترل سیلاب، کنترل فرسایش بستر و کناره‌ها و اصلاح مسیر در قالب شرح خدمات مشخص و با لحاظ نمودن جنبه‌های مختلف دیدگاه مهندسی رودخانه انجام می‌شود.

در برخی موارد علت انجام عمل ساماندهی، دخالت عوامل انسانی نظیر وجود کارخانه‌های ماسه‌شویی در بستر رودخانه، تخلیه خاک و نخاله‌های ساختمانی و یا تخلیه فاضلاب شهری به داخل رودخانه می‌باشد. در این گونه موارد پاکسازی و لایروبی و ایجاد بستر مناسب برای عبور جریان غالب رودخانه پیشنهاد می‌شود.

گاهی اوقات نابسامانی در رودخانه به دلیل برداشت و خاکریزی به داخل رودخانه و به دنبال آن ایجاد عدم توازن بین جریان و رسوب در رودخانه به خصوص در نواحی تمرکز جمعیت و زمین‌های کشاورزی حادث می‌شود. از عواقب این نابسامانی‌ها، کاهش شدید شیب رودخانه و رسوب‌گذاری و کاهش پتانسیل انتقال جریان سیلابی و حتی بده غالب رودخانه در بسیاری از مقاطع می‌باشد. در صورت روبرویی با چنین شرایطی اغلب مواردی نظیر بستر سازی و افزایش ظرفیت انتقال رودخانه، اصلاح مسیر و شیب رودخانه و طراحی سازه‌های کنترل سیلاب و حفاظت از اراضی حاشیه رودخانه پیشنهاد می‌شود.

بعد از شناخت صحیح علل ظهور نابسامانی و انتخاب درست روش ساماندهی که به طور مفصل در ادامه به آن پرداخته می‌شود، گام بعدی جانمایی صحیح و طراحی مهندسی و در نهایت مدل‌سازی با در نظرگیری شرایط طراحی و سعی و خطا تا احراز شرایط پایدار رودخانه می‌باشد. بی‌شک کار هنوز ناتمام است، و بحث نگهداری اگرچه غالبا به آن کم لطفی می‌شود، به قوت خود باقی است.

۶-۶- آستانه‌های زمین‌شناختی و سیر تکاملی کانال

پاسخ کانال به شرایط تحمیلی معین نظیر مجراسازی می‌تواند کاملا پیچیده باشد. به طوری که مثلا ممکن است پاسخ اولیه کانال، یک رسوب‌گذاری موقتی باشد درحالی که شرایط نهایی ممکن است شامل فرسایش پایین‌تر از تراز مبدا شود، به همین نحو فرسایش بستر ممکن است موجب زیرشویی کناره‌های بلند شده و با تولید مقادیری از رسوبات به طور موقت فرسایش را متوقف کند. به طور کلی مفهوم پایداری به پاسخ نهایی یک کانال به تغییر تحمیلی اشاره دارد.

برخی از تغییرات ناگهانی در کانال رودخانه ممکن است کاملاً ناگهانی و به واسطه رسیدن متغیرهای کنترل کننده به یک سری مقادیر ویژه ایجاد شده باشند. این پدیده با مفهوم آستانه‌های زمین ریختی قابل توصیف می‌باشد [۲۲ و ۶۱]. داده‌های موثق برای توصیف عددی این آستانه‌ها موجود نمی‌باشند. به عنوان مثال، سری‌های مختلفی از داده‌ها به منظور تشخیص و تمیز کانال‌های شریانی و تک شاخه براساس بده، شیب و در بعضی نمونه‌ها اندازه مصالح بستر تحلیل شده‌اند [۲۲، ۴۴ و ۶۷].

کلیه محققین به این نتیجه رسیده‌اند که شیب بستر رودخانه از عوامل بسیار مهم در تغییر الگوی رودخانه است. نتایج نشان می‌دهد که به ازای بده مشخصه و مصالح بستر داده شده کانال‌های شریانی دارای شیب‌های بیش‌تری در مقایسه با کانال‌های تک شاخه می‌باشند. می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که اگر یک کانال تک شاخه در معرض افزایش بار رسوبی ورودی قرار داشته باشد، این سبب افزایش شیب به قسمی خواهد شد که رودخانه شروع به شریانی شدن کند، به هر حال در مواردی که کانال با کناره‌های مقاوم محدود شده است این پدیده محقق نمی‌گردد، در نتیجه الگوی رودخانه نه تنها تحت تاثیر مقدار جریان و شیب بستر قرار می‌گیرد، بلکه متاثر از میزان مقاومت مصالح بستر نیز می‌باشد.

۶-۷- کنترل‌های ژئوتکنیکی و هیدرولیکی

متغیرهای مستقل اصلی و شرایط مرزی از دیدگاه ژئوتکنیک و هیدرولیک که روی مشخصات کانال اثر می‌گذارند عبارتند از:

۶-۷-۱- بده جریان

در روابط هندسه هیدرولیکی اغلب از یک مقدار بده واحد به عنوان نماینده یک طیف از بده‌های واقعی استفاده می‌شود. این بده در بعضی موارد به عنوان بده شکل دهنده و در بعضی موارد به عنوان بده غالب یاد می‌شود. در رودخانه‌های طبیعی بده شکل دهنده اغلب برابر بده مقطع پر در نظر گرفته می‌شود که تقریباً معادل سیلاب متناظر با دوره بازگشت تقریباً ۲ ساله می‌باشد. (در مورد این بده و مقدار آن در بخش ۲-۲-۱ به طور کامل پرداخته شد.)

۶-۷-۲- بار رسوبی ورودی

بار رسوبی ورودی را می‌توان در رابطه با پایداری کانال یک عامل کنترل کننده خارجی یا به عبارتی یک متغیر مستقل محسوب نمود. بخشی از بار رسوب ورودی با شرایط مرزی کانال تغییر می‌کند و رسوبات ممکن است در داخل بازه انباشته شوند و یا ممکن است بار رسوبی به واسطه فرسایش افزایش پیدا کند. بنابراین انتقال رسوبات و خروج آن‌ها از بازه تحت تاثیر فرآیندهای داخل بازه نیز قرار دارد.

بار رسوبی رودخانه‌ها را می‌توان به دو دسته بار بستر و بار معلق تقسیم نمود. بار بستر به رسوباتی که درون لایه بستر به صورت پرش، غلتیدن و یا لغزش روی بستر کانال در حرکت هستند، اطلاق می‌شود و بار معلق، به رسوباتی اطلاق می‌شود که درون آب و بالاتر از لایه بستر در حرکت هستند و وزن آن‌ها توسط جریان آب حمل می‌شود و به مدت زمان قابل توجهی به صورت معلق در آب در حرکت می‌باشند.

نرخ انتقال بار رسوبی تابعی از مشخصات هیدرولیکی جریان، سرعت، عمق و غیره می‌باشد. بار رسوبی دارای اثر قابل توجهی روی شیب، شکل پلان و مقطع عرضی می‌باشد. به طور کلی با افزایش بار بستر ممکن است پایداری کانال کاهش یابد، بدین ترتیب

که نهشته‌های رسوبی موضعی تشکیل می‌شود و جریان را به سمت کناره‌ها منحرف می‌کند. از سوی دیگر ممکن است پایداری کانال را افزایش دهد، به این قسم که باعث می‌شود سیلت و رس در خلال فروکش کردن سیلاب روی کناره‌ها رسوب کند و مقاومت آن‌ها در مقابل فرسایش افزایش یابد و همینطور بستر مناسبی برای رشد پوشش گیاهی فراهم شود. معادله (۳-۱) جهت پیش‌بینی کیفی پاسخ کانال به تغییرات طبیعی یا تحمیلی در یک سامانه‌ی رودخانه بسیار مفید می‌باشد. به‌عنوان مثال یک پاسخ سریع به افزایش ناگهانی شیب در تغییر راستای کانال و مستقیم شدن آن در حالتی که بده جریان و اندازه ذرات رسوبی بستر ثابت نگه داشته می‌شوند، افزایش بار رسوبی خواهد بود.

۶-۷-۳- اندازه ذرات رسوبی بستر

توزیع دانه‌بندی مواد بستر اغلب به وسیله D_{50} (قطر متوسط وزنی ذرات) مشخص می‌شود. این ساده‌سازی در جایی که توزیع دانه‌بندی به صورت یک نمایی و دارای تغییرات محدود می‌باشد، قابل پذیرش است ولی در جایی که توزیع دانه‌بندی دو نمایی و ذرات دارای دامنه تغییرات نسبتاً گسترده‌ای می‌باشند می‌تواند گمراه کننده باشد به خصوص برای رودخانه‌های با بستر شنی. مشخصه‌ای از کانال که بیش‌ترین حساسیت را نسبت به تغییرات اندازه ذرات نشان می‌دهد، شیب می‌باشد. برای مثال کانال‌هایی که در بستر آبرفتی حاوی شن درشت‌دانه یا ماسه ریزدانه شکل گرفته‌اند در حالتی که بده جریان و بار رسوبی ورودی آن‌ها یکسان می‌باشد، دارای مقادیر شیب متفاوتی می‌باشند.

۶-۷-۴- مواد کناره و پوشش گیاهی

عوامل مختلفی ممکن است بر روی عرض کانال، پایداری شکل پلان و نرخ مهاجرت کانال تاثیر بگذارند. برای رودخانه‌های کاملاً آبرفتی این موضوع که آیا باید مصالح کناره به‌عنوان عامل مستقل اثر گذار بر روی مشخصات کانال مورد توجه قرار بگیرند یا نه، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. به هر حال پوشش گیاهی کناره صریحاً می‌تواند به‌عنوان عامل مستقل مورد توجه قرار گیرد. پاکسازی پوشش گیاهی و یا از بین رفتن آن به‌واسطه چرای دام سبب افزایش ناپایداری سواحل می‌شود. نقش پوشش گیاهی کناره بسته به نوع و محل پوشش گیاهی به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. پوشش گیاهی ایجاد شده روی نهشته‌های رسوبی در طی دوره‌های کم آبی می‌تواند اثر مهمی روی ظرفیت کانال داشته باشد. در بعضی روابط هندسه هیدرولیکی پوشش گیاهی به‌عنوان یک متغیر مستقل در روابط محاسبه هندسه هیدرولیکی وارد شده است [۳۳].

بسیاری از کانال‌های فرسایش‌پذیر به‌طور کامل یا بخشی از مرزهای آن‌ها با رس سیلت‌دار یا نهشته‌های یخچالی به‌جا مانده از دوره‌های زمین‌شناسی قبلی پوشانده شده‌اند. اگرچه روند تغییرات عرض در چنین رودخانه‌هایی در مقابل شرایط تحمیلی مشابه رودخانه‌های آبرفتی می‌باشد، لیکن این روند کندتر می‌باشد. مقایسه با نمونه‌های مشابه می‌تواند به‌عنوان بهترین راهنما برای پیش‌بینی پاسخ کانال استفاده شود.

در برخی نمونه‌ها اثر ژئوتکنیکی پایداری کناره روی مشخصات کانال از اهمیت زیادی برخوردار است. مهندسين رودخانه بیش‌تر تمایل دارند که به ناپایداری ژئوتکنیکی کناره به‌عنوان یک نتیجه ناپایداری کانال توجه کنند با این استدلال که به‌عنوان مثال،

فروریزش لایه‌های فوقانی کناره تحت فرسایش هیدرولیکی پنجه کانال ایجاد می‌شود. به هر حال مکانیسم‌های ژئوتکنیکی به‌عنوان نتیجه مهم گسیختگی‌های کناره‌های آبرفتی در حوضه‌های آبریز بزرگ قابل طرح می‌باشند.

هگرتی^۱ (۱۹۹۲) در مورد نتایج گسیختگی‌های کناره‌های آبرفتی بحث می‌کند و مطابق تورن و عثمان^۲ (۱۹۸۸) مشخصات پایداری کناره در هندسه هیدرولیکی رودخانه، هم در رودخانه‌های پیچانرودی و هم در رودخانه‌های مستقیم اثرگذار می‌باشد.

۶-۷-۵- زمین یخ‌زده

اثر یخ شناور روی مشخصات کانال و پایداری کانال نسبتاً کوچک است مگر در مواردی که فصل یخبندان بخش بزرگی از سال را تشکیل می‌دهد مثل آلاسکا و کانادای شمالی.

اثر فرسایش دهنده مستقیم یخ روی مصالح کناره رودخانه، به‌طور کلی در مقایسه با اثر جریان آب کوچک می‌باشد ولی یخ به آسانی پوشش گیاهی را تا تراز نرمال شکست یخ از بین می‌برد و موانع یخی می‌توانند سبب تمرکز جریان و فرسایش کناره و بستر در محل‌های مشخص شوند. با توجه به زمین‌های یخ‌زده، گاتو^۳ (۱۹۸۴) می‌نویسد: (اثر زمین یخ‌زده دائمی روی فرسایش‌پذیری پدیده‌ای است که مورد اجماع و توافق نظر قرار ندارد، برخی محققین گزارش کرده‌اند که زمین‌های یخ‌زده دائمی سبب افزایش فرسایش کناره می‌شود و برخی دیگر ادعان داشته‌اند که رسوبات یخ‌زده در مقابل فرسایش مقاوم می‌باشند.) به‌عبارت دیگر می‌توان گفت زمین‌های یخ‌زده بسته به طبیعت رسوبات یخ‌زده و میزان یخ خالص فرسایش کناره را شتاب می‌دهند یا آن را به تاخیر می‌اندازند. هندسه هیدرولیکی رودخانه در نواحی سردسیر زیاد با نواحی دیگر تفاوت ندارد ولی کناره‌های یخ‌زده ممکن است شکل‌های غیرمعمولی از فرسایش را به نمایش بگذارند.

۶-۸- روش‌های مختلف ساماندهی

روش‌های مختلفی برای بهسازی کانال به منظور افزایش ظرفیت کانال و کنترل سیلاب وجود دارد. بی شک شرایط محیطی و درجه اهمیت پروژه روی انتخاب روش اثر می‌گذارد. به‌طور کلی نواحی شهری به‌واسطه توسعه چشمگیرتر، در مقایسه با مناطق روستایی نیاز به تحقیقات و بررسی‌های بیش‌تری دارند. از این رو به هنگام ارزیابی گزینه‌های طراحی، پایداری و حساسیت محیطی باید مورد توجه قرار گیرد.

بدیهی است مشکلات پایداری کانال به‌واسطه بهسازی کانال با اهداف ساماندهی و کنترل سیلاب افزایش می‌یابد. قبل از بهسازی کانال اصلی باید به مزایای بالقوه منابع غیرفعال برای کاهش مشکلات پایداری و اکولوژیکی توجه کافی شود. در بسیاری حوضه‌ها، مخازن طبیعی سیلابدشت به‌واسطه کشاورزی یا توسعه شهری و یا پروژه‌های کنترل سیلاب کاهش یافته و این سبب افزایش اوج سیلاب و شدت سیل خواهد شد، و این در حالی است که خود سیلابدشت کانال ظرفیت عبور سیل را داشته است، شاید یکی از مهم‌ترین وجوه اهمیت حفظ حریم و بستر رودخانه‌ها در این‌جا شاخص شود.

به‌طور کلی روش‌های بهسازی و ساماندهی کانال رودخانه را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

- 1- Hagerty
- 2- Thorne and Osman
- 3- Gatto

۶-۸-۱- پاکسازی و رفع موانع

بیشتر رودخانه‌ها در پایین دست سدهای مخزنی به دلیل کاهش بده‌های دوساله، پس از چند سال دچار رسوب‌گذاری می‌شوند و تشکیل جزایر و رشد بوته‌های گیاهی (نظیر گز) باعث کاهش ظرفیت عبور سیلاب می‌شود. توصیه می‌شود که هرچند سال یک‌بار نسبت به حذف این درختان و لایروبی به‌خصوص در محدوده‌های شهری اقدام شود. در مواقعی که مقدار افزایش ظرفیت هیدرولیکی مورد نیاز برای عبور سیلاب کوچک می‌باشد، با کاهش زبری کانال می‌توان به این هدف دست یافت و زمانی که کانال به‌واسطه رشد پوشش گیاهی وسیع، تجمع یخرفت یا واریزه‌ها یا موانعی نظیر درختان ریشه کن شده یا کج شده محدود شده باشد، این روش قابل کاربرد می‌باشد. این روش شامل پاکسازی پوشش گیاهی متراکم، درختان بزرگ در دهانه رودخانه، توده‌های رسوبات، بوته‌ها و واریزه‌های گوناگون می‌شود (شکل ۶-۲). عموماً پیشنهاد می‌شود که از تخریب درختان پایدار بزرگ (با بیش از ۱۲ اینچ قطر) در کناره‌ها و همچنین همه گونه‌های دارای ارزش زیست محیطی ویژه پرهیز شود. هرس و پاکسازی مقطع سبب کاهش زبری هیدرولیکی و در بعضی نمونه‌ها افزایش سطح مقطع می‌شود. بدیهی است به منظور اطمینان از عملکرد رضایت بخش مداوم لازم است نگهداری منظم صورت گیرد. [۷۲].



شکل ۶-۲- نمایی از تنگ شدگی مقطع جریان توسط سنگ بزرگی در پایین دست تقاطع رودخانه علی زان به رودخانه طالقان

مشکلات ناپایداری و واکنش‌های رسوبی در مقابل پاکسازی و رفع موانع، اساساً به سرعت‌های افزایش یافته مربوط می‌شود. بدیهی است پوشش گیاهی که با این روش از بین می‌رود، ممکن است به‌طور موضعی کناره را در مقابل فرسایش محافظت می‌کرده است. اثر این روش روی پایداری در بعضی مواقع مضر و در بعضی مناطق سودمند می‌باشد، به‌طور کلی تجربیات محلی بهترین راهنما در این زمینه محسوب می‌شوند. [۷۲].

حفظ شاخ و برگ و تاج درختان معمولاً برای ماهیان و حیات وحش مفید می‌باشد. افزایش نور به واسطه هرس درختان سبب رشد چشمگیر نی‌های حایل در لای و لجن شده و به سرعت مزایای هیدرولیکی پاکسازی و رفع موانع را از بین می‌برد. برای آگاهی از جزییات بیش‌تر این روش می‌توان به نونالی و شیلدز^۱ (۱۹۸۵) و EM 1110-2-1205 مراجعه نمود.

۶-۸-۲- لایروبی

این روش شامل از بین بردن ضخامت مشخصی از مواد (معمولاً بین ۳۰ تا ۹۰ سانتی‌متر) از اطراف محیط خیس کانال می‌باشد. این روش زمانی استفاده می‌شود که افزایش کمی در ظرفیت هیدرولیکی کانال مورد نیاز است و این مقدار افزایش با پاکسازی و رفع موانع قابل حصول نمی‌باشد. مشکلات ناپایداری و واکنش‌های رسوبی به لایروبی مشابه اثر توسعه کانال می‌باشد، که در بخش بعدی به آن پرداخته خواهد شد.

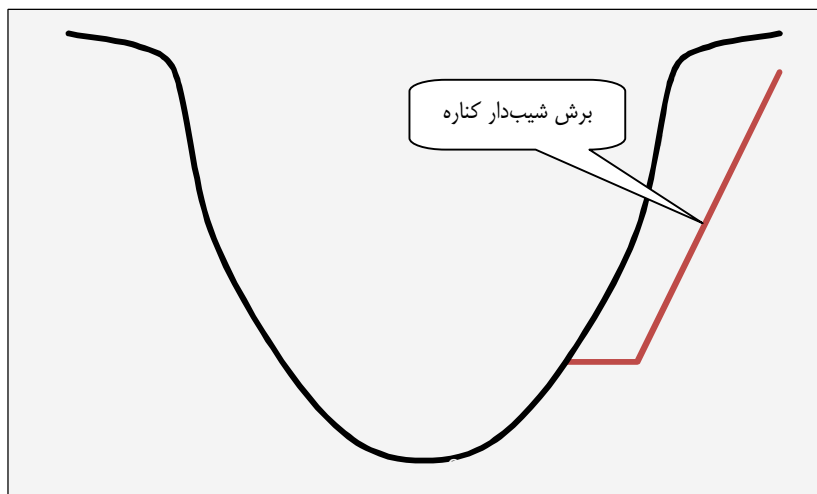
۶-۸-۳- بهسازی مقطع

این روش زمانی استفاده می‌شود که ظرفیت هیدرولیکی کانال باید به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. به‌عنوان مثال می‌توان به کانالی اشاره کرد که پیش‌تر در ناحیه روستایی بوده است ولی آن ناحیه دستخوش توسعه شهری یا برون شهری شده است و یا قرار بر کاهش اثرهای مخرب سیل بر روی محصولات و سکونتگاه‌های روستایی باشد و ظرفیت حمل کانال تا مثلاً عبور سیلاب ۱۰۰ ساله باید افزایش یابد. روش‌های توسعه کانال شامل افزایش عرض کف، کم کردن شیب کناره به‌واسطه حفاری، تعمیق کانال و یا ترکیب این روش‌ها می‌باشد.

میزان توسعه به‌وسیله در نظرگیری میزان کاهش دلخواه تراز سیلابی سازگار با میزان تخریب مجاز و نیز با در نظرگیری محیط زیست و نیازهای نگهداری محاسبه می‌شود.

توسعه کانال، دو مشکل بالقوه عمده در رابطه با پایداری و رسوب‌گذاری به‌جا می‌گذارد. اول این‌که اگر عمق مقطع افزایش یابد ولی شیب ثابت بماند، کناره‌ها و کف کانال ممکن است دچار فرسایش شوند، به‌خصوص اگر پایداری کناره سابقاً به نهشته‌های رسوبی چسبیده و پوشش گیاهی که در جریان توسعه مقطع از بین رفته‌اند، بستگی داشته است و لذا ممکن است ایجاد سازه‌های شیب شکن مصنوعی به منظور کنترل سرعت ضروری باشد. دوم این‌که در صورتی که کانال، حامل بار رسوبی قابل توجهی باشد و برای کنترل سیلاب نیاز به افزایش مقطع تا حد زیادی باشد، ممکن است بخشی از مقطع به‌واسطه رسوب‌گذاری نهشته‌های رسوبی پر شود و در این صورت ظرفیت سیلاب محاسباتی بدون نگهداری مقطع قابل حصول نخواهد بود.

یک روش توسعه که می‌تواند مشکلات ناپایداری را کاهش دهد، استفاده از برش شیب‌دار کناره‌ها و تشکیل یک مقطع مرکب می‌باشد. (شکل ۶-۳) این روش توسعه در عین سادگی برای حمل رسوبات بسیار سودمند می‌باشد زیرا به‌دلیل دو تراز بودن مقطع سرعت‌های بالا در بده‌های پایین حفظ می‌شوند. در رودخانه‌های کف سنگی بهتر است در صورت امکان لبه سکوی شیب‌دار با بده شکل دهنده کانال در شرایط اصلاح شده منطبق باشد.

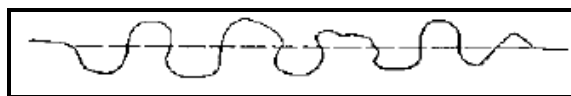


شکل ۶-۳- نمایی از توسعه کانال با برش شیب‌دار کناره

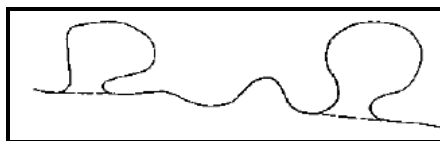
۶-۸-۴- تغییر مسیر

تغییر راستای رودخانه‌های پیچانرودی روشی است که در گذشته به‌طور وسیعی برای اقدامات کنترل سیل به منظور افزایش ظرفیت هیدرولیکی و کاهش زمین اشغال شده به‌واسطه مهاجرت پیچانرود استفاده می‌شد. تغییر راستا گاهی به‌وسیله جایگزینی کامل طول پیچانرودی با کانال مستقیم و گاهی با حذف متناوب کمربندهای پیچانرودی و جایگزینی آن با کانال میانبر صورت می‌گرفت. (شکل ۶-۴) در این روش بخشی از افزایش ظرفیت کانال به‌واسطه افزایش شیب و بخشی از آن به‌واسطه کاهش افت جریان و زبری حاصل می‌شود.

واکنش یک کانال به تغییر راستا بسته به مشخصات کانال و محیط زیست آن می‌تواند تغییرات وسیعی داشته باشد. در بعضی مناطق، رودخانه‌های با پیچانرودهای کنترل شده پایدار، شیب‌های مسطح و مرزهای مقاوم در مقابل فرسایش به‌خصوص در صورت وجود مخازن تنظیمی سیلاب می‌توانند به طرز قابل توجهی بدون پیامدهای جدی تغییر راستا دهند. درحالی‌که در مناطق دیگر مستقیم‌سازی رودخانه‌های پیچانرودی به منظور بالا بردن ظرفیت سیلابی مشکلات جدی از قبیل تراز گاهی کانال، فرسایش کناره و کف‌کنی شاخه‌های فرعی را به‌دنبال داشته است. در چنین نمونه‌هایی تغییر راستا تنها در صورت استفاده به همراه سازه‌های کنترل شیب به منظور کنترل سرعت و محافظت کناره‌ها برای توسعه پیچانرودهای جدید، ماندنی و پایدار می‌شود.



مستقیم‌سازی کانال به‌طور کامل (به‌ندرت پیشنهاد می‌شود)



حذف متناوب کمربندهای پیچانرودی

شکل ۶-۴- فرم‌های تغییر مسیر در رودخانه‌های پیچانرودی

۶-۸-۵- خاکریزها

خاکریزها یا دیواره‌های خاکی اغلب به منظور حفظ ویژگی دشت سیلابی، بدون بهسازی مقطع کانال استفاده می‌شوند. یک مورد کاربرد برای خاکریزها به جای روش‌های دیگر توسط ایکز (۱۹۷۲) به صورت زیر بیان شده است: «عرض و شیب فعلی رودخانه در صورت پایدار بودن آن دارای مقادیر رژیم می‌باشند. در نتیجه هر اقدامی که سبب تغییر عمده در مقطع عرضی شود، ممکن است به واسطه توزیع دانه‌بندی مجدد رسوبات خنثی شود. بنابراین ترجیح داده می‌شود که عرض و شیب کانال در حالت رژیم باقی بمانند، لذا در صورتی که نیاز به افزایش ظرفیت کانال باشد بهتر است بعد از تراز بده غالب تدبیری اندیشیده شود، که در این صورت خاکریزها و سکوه‌های شیب‌دار کناره گزینه‌های مناسبی به شمار می‌روند.»

به هر حال خاکریزها نیز از اثرهای بالقوه ناپایداری جدا نمی‌باشند مگر این که در فاصله‌های نسبتاً دور از کناره‌ها قرار گیرند. این روش سبب تمرکز بخش بزرگی از جریان سیلابی در کانال شده و به مرور سبب تعریض کانال و افزایش طول کمر بند پیچانرود می‌شود. اثر افزایش بده در نواحی مسطح و دلتایی چشمگیرتر می‌باشد، زیرا در این نواحی در شرایط طبیعی سیلاب کاملاً پخش شده و به واسطه شاخه‌های موازی و مسیرهای دیگر عبور داده می‌شود. در چنین نمونه‌هایی خاکریزها نه تنها ظرفیت حمل سیلاب را افزایش می‌دهند، بلکه از پخش جریان نیز جلوگیری می‌کنند. پروژه‌های اجرای خاکریزهای بلند در چنین شرایطی سبب تغییر کامل الگوی پیچانرودی و تسطیح شیب به واسطه رسوب‌گذاری در بالادست و فرسایش در پایین دست می‌شود.

در جریان‌هایی که دارای بار رسوبی بالا می‌باشند، خاکریزها به واسطه محدود کردن رسوب‌گذاری ماسه در نواحی سرریز جریان، سبب رسوب‌گذاری رسوبات می‌شوند. و ماسه اضافی باقی‌مانده در کانال قدری جلوتر در پایین دست در بازه‌هایی با شیب کم‌تر ته‌نشین می‌شود. همچنین رسوب‌گذاری مواد معلق ریزدانه در کرانه‌های شیب‌دار بین کناره رودخانه و خاکریز (که اغلب به هنگام فروکش سیلاب اتفاق می‌افتد) سبب افزایش بار کناره و وقوع گسیختگی‌های توده‌ای می‌شود.

در رودخانه‌های پیچانرودی فعال، خطری که وجود دارد آن است که مهاجرت پیچانرود ادامه داشته باشد که این مساله به واسطه افزایش بده‌های درون کانال تشدید می‌شود و سبب تجاوز جریان به فواصل عقب نشینی خاکریز نسبت به کانال اصلی شده و خاکریز را در نقاط مختلف مورد تعدی قرار می‌دهد. در صورتی که نقش خاکریز به خصوص در محدوده‌های شهری حفظ امنیت باشد، در سیلاب‌های بزرگ ممکن است وضعیتی بحرانی به دنبال داشته باشد. لذا با گذشت زمان اجرای پروژه‌های خاکریز در موارد یاد شده نیازمند توجه و مراقبت همیشگی می‌باشد. در نهایت برای عبور سیلاب‌های بزرگ ممکن است نیاز به کانالیزاسیون و حفاظت یک یا هر دو کناره باشد.

۶-۸-۶- کانال‌های فرعی سیلاب

یک کانال فرعی سیلاب کاملاً مجزا از کانال اصلی در نظر گرفته می‌شود و حامل ظرفیت مکمل مورد نیاز برای عبور سیلاب می‌باشد. در بعضی موارد وضعیت دو کانال به صورتی است که کانال فرعی در تراز بالاتر کمر بند پیچانرودی و در جایگاه کانال میانبر قرار می‌گیرد.

این کانال‌ها در مناطق توسعه یافته‌ای که افزایش ابعاد رودخانه ممکن نیست، کاربرد دارد. بیش‌ترین کاربرد مناسب کانال‌های فرعی برای رودخانه‌های با بار رسوبی نسبتاً پایین می‌باشد. در موارد دیگر ممکن است مشکلات رسوبی ایجاد شود زیرا ممکن است

تقسیم بار رسوبی بین کانال اصلی و فرعی با تقسیم جریان منطبق نباشد. عموماً کانال‌های فرعی باید با سازه‌های کنترلی (مقسم) در ورودی و خروجی همراه شوند.

در مواقع عادی که رودخانه جریان معمولی خود را دارد، آبی از مجرای فرعی نمی‌گذرد و در نتیجه، امکان رشد علف‌های هرز در آن وجود دارد. به‌طور کلی کانال فرعی در کنار رودخانه به‌خصوص از جهت هزینه‌های نگهداری، سازه‌ی پر هزینه‌ای است و جز در موارد خاص پیشنهاد نمی‌شود.

۶-۸-۷- انحراف جریان

در واقع انحراف جریان به معنی انحراف آب اضافی ناشی از سیلاب رودخانه می‌باشد. به‌عنوان مثال بابلان برای محافظت از شهر قدیمی بابل، آب ناشی از سیلاب فرات را به فرورفتگی‌های طبیعی زمین در هابانیا و ابودییس منحرف کردند.

زمانی که جریان منحرف شده در فاصله‌ای از محل انحراف وارد مجرای اصلی می‌شود، اثر انحراف جریان به فاصله بین نقطه انحراف و نقطه برگشت آن بستگی دارد. اگر این فاصله کم باشد، برگشت آب، اثر انحراف جریان را خنثی می‌کند و چنانچه این فاصله زیاد باشد، انحراف جریان، باعث کاهش ارتفاع سیل در محل انحراف خواهد شد.

مساله دیگری که باید در انحراف جریان در نظر گرفت، داشتن ارتفاع کافی آب در مجرای منحرف کننده جریان (کانال انحراف) به منظور ایجاد سرعت لازم در آن است. با توجه به شرایط محلی، برای افزایش تراز آب تا سطح معین می‌توان بند انحرافی برای انحراف جریان احداث کرد.

۶-۹- رتبه‌بندی روش‌های مختلف ساماندهی و کنترل سیلاب

به‌طور کلی روش‌های مختلف ساماندهی و به تعبیری روش‌های کاهش مشکلات پایداری کانال رودخانه را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

- روش‌های غیرسازه‌ای از قبیل سامانه‌های هشدار سیل
- روش‌های سازه‌ای از قبیل:
 - احداث خاکریز یا دیوارهای سیل‌گیر در حاشیه رودخانه
 - دیوارها یا خاکریزهایی که خارج از کمربند پیچانرودی قرار گرفته‌اند
 - خاکریزهای قرار گرفته در محدوده کمربند پیچانرودی
- پخش سیلاب در منطقه (به منظور تغذیه مصنوعی و مهار سیلاب)
- سدهای ذخیره‌ای یا تاخیری
- اصلاح مسیر رودخانه از طریق احداث مجراهای فرعی برای منحرف کردن بخشی از جریان
- پاکسازی و رفع موانع (کاهش زبری)
- افزایش ظرفیت آبگذری کانال
 - لایروبی کانال

- پهن کردن کانال با یا بدون خاکریزها
- عمیق کردن کانال با یا بدون خاکریز

از نقطه نظر ایمنی، اقدامات غیرسازه‌ای در مقایسه با اقدامات سازه‌ای ارجح می‌باشند. در واقع تضاد بین پایداری و نیازهای ایمنی باید با توجه به معیارهای محلی مثل معیارهای اقتصادی، اجتماعی و فاکتورهای زیست محیطی مورد بحث قرار بگیرد. جدول زیر نشان می‌دهد که اقدامات مختلف طرح‌های کنترل سیلاب و ساماندهی تا چه حد در ناپایداری انواع رودخانه‌ها نقش دارند. اعداد صفر تا ده میزان تاثیر روش مربوط را در ناپایداری رودخانه مورد نظر نشان می‌دهند. [۷۲]

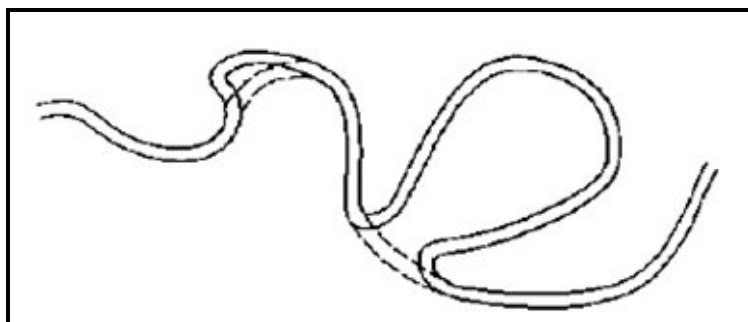
جدول ۴-۶ - طبقه‌بندی روش‌های مختلف ساماندهی از نظر میزان تاثیر در ناپایداری رودخانه [۱۷۳]

چسبنده	دلتا	تنظیمی	اصلاح شده		پیش‌انروزی	فصلی و فصلی	دشتی و دشتی	شیرینانی	مخروطه افکنه	کوهستانی	روش ساماندهی و کنترل سیل
			به‌واسطه سدهای ذخیره‌های	به‌واسطه پروژه‌های مهندسی							
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	روش‌های غیرسازای: پیش‌بینی سیل، تخلیه سیلاب و سامانه‌های هشدار سیل
۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۱	دیوارها یا خاکریزهای واقع در خارج از کمربند پیش‌انروزی
۲	۴	۲	۳	۳	۳	۴	۵	۵	۵	۲	خاکریزهای فرار گرفته در محدوده کمربند پیش‌انروزی
۱	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۲	پخش و نگهداشت سیلاب در خارج محدوده کانال
۲	۴	۳	۴	۴	۴	۵	۵	۵	۵	۴	پخش و نگهداشت سیلاب در محدوده کانال
۱	۳	۲	۳	۳	۳	۴	۴	۴	۴	۳	سدهای ذخیره‌ای یا تاخیری
۳	۵	۴	۴	۴	۴	۵	۵	۵	۵	۴	اصلاح مسیر و انحراف جریان
۴	۷	۶	۶	۶	۷	۷	۸	۸	۸	۵	لابرویی
۵	۷	۷	۶	۶	۸	۸	۹	۹	۹	۶	تغریض کانال
۷	۸	۸	۸	۸	۹	۹	۹	۹	۹	۷	تغریض و تعمیق کانال
۸	۹	۹	۸	۸	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۸	تغریض، تعمیق و اصلاح مسیر

اعداد صفر تا ده میزان تاثیر روش مربوط را در ناپایداری رودخانه مورد نظر نشان می‌دهند.

۶-۱۰- راستا و شکل پلان

اغلب پروژه‌های ساماندهی و کنترل سیلاب در طول زمان سبب تغییر راستای جریان در پلان می‌شوند. به‌عنوان مثال در بعضی پروژه‌ها با هدف افزایش ظرفیت هیدرولیکی و حذف کمربندهای فرسایش‌پذیر کانال را در یک بازه پیچانرودی به‌صورت کانال مستقیم ساماندهی نموده‌اند، غافل از آن که این اثر تحمیلی سبب بروز مشکلات ناپایداری در طول بازه طراحی یا خارج آن خواهد شد و سرانجام کانال به حالت سینوسی و پیچانرودی خود باز خواهد گشت مگر آن که تمهیدات سازه‌ای وسیع و پرهزینه‌ای لحاظ نموده باشند. نمونه‌ای از این اصلاحات در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۶-۵- اصلاح و ساماندهی کانال در طول مسیر [۱۷۲]

۶-۱۱- جریان‌های تک شاخه

بیشتر کانال‌های تک شاخه حالت پیچانرودی دارند، مبنای اصلی در طراحی و اصلاح مسیر چنین رودخانه‌هایی آن است که تا جایی که مقدور است شکل رودخانه در پلان حفظ شود. حتی پیشنهاد می‌شود، جایی که قرار است کانالی برای بار اول شکل داده شود، در پلان به جای الگوی مستقیم، یک الگوی پیچانرودی داشته باشد.

کلر و بروکس (۱۹۸۴) در مطالعات خود بیان نموده‌اند که توجه به الگوی پیچانرودی در پروژه‌های ساماندهی و بهسازی کانال باید تا جایی که مقدور است مورد تشویق و توجه قرار بگیرد زیرا کانال‌های پیچانرودی، الگوی سازگارتر و پایدارتری از انتقال رسوب از خود نشان می‌دهند و در اصطلاح ریخت‌شناسی پایدارترند و تنوع بیولوژیکی وسیع‌تری را نیز پوشش می‌دهند و حتی از دید زیباشناختی نیز مطلوب‌ترند. مشابه این تحلیل توسط نونالی و شیلدز^۱ (۱۹۸۵) نیز ارائه شده است. به‌عنوان مثال مطابق شکل (۶-۶) در پروژه طراحی شکل پیچانرودی کانال با احداث گوره‌های طرفین حفظ شده است.



شکل ۶-۶- احداث گوره در طرفین کانال رودخانه با حفظ شکل پیچانرودی آن [۷۲]

به‌طور کلی برخی از نقاط قوت حفظ راستای پیچانرودی کانال را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی نمود.

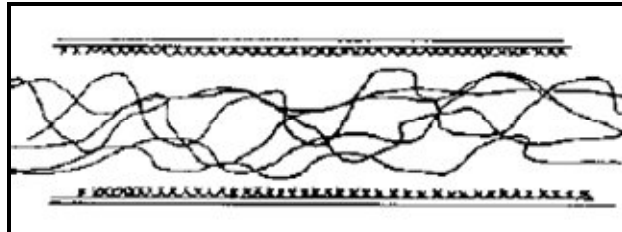
- حفظ راستای سینوسی کانال از تغییر بیش از اندازه شیب طولی کانال ناشی از مستقیم‌سازی جلوگیری می‌کند.
- رودخانه‌های مستقیم آبرفتی بار بستر خود را به نحوی منتقل می‌کنند که با تشکیل نهشته‌های رسوبی در کناره‌های کانال شکل پیچانرودی قبلی خود را تجدید نمایند.
- کانال‌های پیچانرودی دارای تنوع بالاتری در عمق، سرعت و شکل مقطع عرضی می‌باشند که از نظر بیولوژیکی از حیث درجه مطلوبیت زیستگاه‌های ماهیان حایز اهمیت است.

البته گاهی ضمن حفظ شکل پیچانرودی کانال ناگزیر از حذف یا اصلاح برخی از کمربندهای پیچانرودی که به‌خصوص در معرض فرسایش شدید کناره هستند می‌باشیم، به‌عنوان مثال ناچاریم درجه پیچانرودی کانال را تخفیف دهیم. به‌طور کلی هنوز استاندارد خاصی برای طراحی شکل پلان رودخانه‌های پیچانرودی ارائه نشده است. یک اصل کلی می‌تواند دنبال کردن شکل طبیعی پیچانرود که به‌واسطه بده شکل دهنده کانال حادث شده است، باشد. در این میان می‌توان از برخی روابط ارائه شده بین طول موج پیچانرود و عرض کانال و یا طول موج پیچانرود و بده مقطع پر نیز بهره برد. در زمانی که هیچ دید و راهنمایی برای انتخاب شعاع انحنا وجود ندارد، پیشنهاد می‌شود که شعاع انحنا حداقل پنج برابر عرض کانال رودخانه باشد.

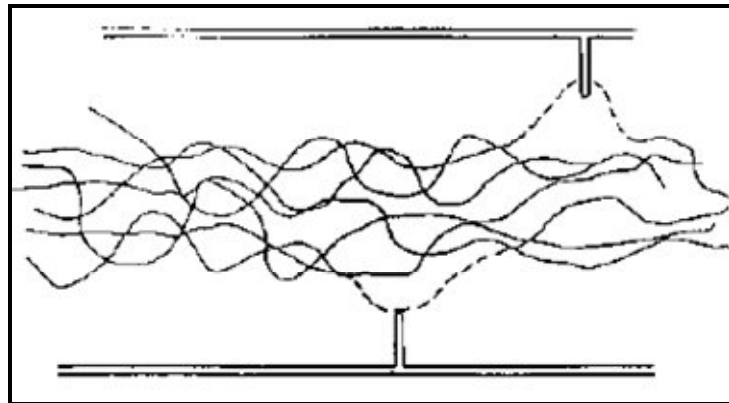
۶-۱۲- جریان‌های چند شاخه

این کانال‌ها که عموماً تحت عنوان رودخانه‌های شریانی شناخته شده‌اند در قسمت قابل توجهی از طول خود دو شاخه یا بیش‌تر می‌باشند. کلاً برای ساماندهی رودخانه‌های شریانی با هدف افزایش ظرفیت آبدگزی ممکن است روش‌های متنوعی وجود داشته باشد (شکل ۶-۷)، یک روش متداول احداث گوره‌هایی در طرفین کانال می‌باشد که ناحیه فعال کانال را محصور می‌کنند زیرا هم به لحاظ ساخت و هم به لحاظ مشکلات نگهداری دارای صرفه اقتصادی می‌باشند (حالت الف)، حالت ب به لحاظ خطر فرسایش و شرایط نگهداری هزینه بیش‌تری را طلب می‌کند و حالت ج، اگر چه به لحاظ آزاد کردن زمین‌های بیش‌تر در اطراف رودخانه مطلوب

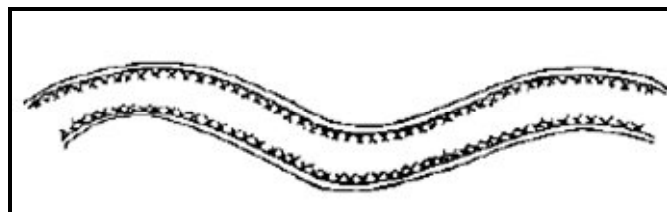
و مورد توجه است، مشمول افزایش تراز سیلابی و تحت تاثیر قرار دادن فاکتورهای زیست محیطی خواهد بود. به هر حال هریک از این موارد بسته به اهمیت پروژه و شرایط محلی به عنوان یک گزینه قابل طرح و بررسی خواهند بود. البته نقشه‌های با مقیاس زمانی مختلف و عکس‌های هوایی مرجع مناسبی جهت پیش‌بینی الگوی جابجایی کانال و تعریف الگوی طراحی جدید می‌باشند.



شکل ۶-۷-الف- در نظرگیری یک عرض وسیع و استفاده از آبشکن‌های عمودی در مواضع مورد نیاز [۷۲]



شکل ۶-۷-ب- در نظرگیری یک عرض متوسط و محافظت پیوسته دیواره‌های احداثی [۷۲]

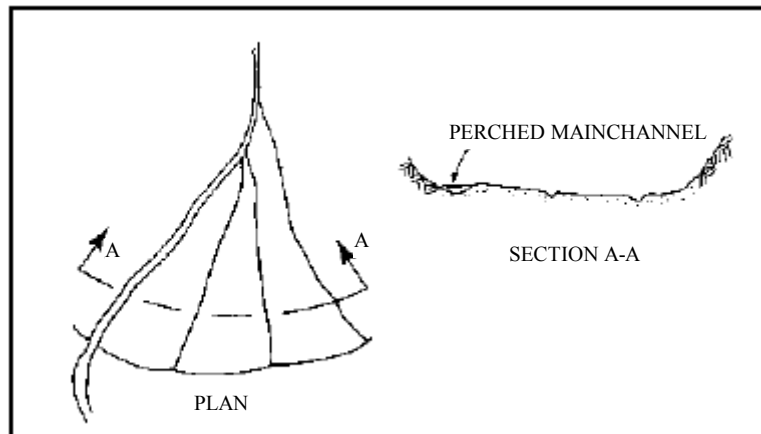


شکل ۶-۷-ج- طراحی شکل سینوسی و محدود [۷۲]

۶-۱۳- مخروطه‌افکنه‌ها

مخروطه افکنه‌ها به‌طور کلی در نواحی که جریان از یک دره پرشیب به یک زمین مسطح وارد می‌شود، تشکیل می‌شوند. در طراحی مکان و جهت کانال‌های کنترل سیلاب توجه به این نکته که مخروطه‌افکنه از نقطه نظر زمین ریخت‌شناسی از نظر رسوب‌گذاری فعال می‌باشد و یا به یک حالت پایدار رسیده و یا حتی فرسایش‌پذیر می‌باشد، حایز اهمیت است. اگر سطح مخروطه‌افکنه فاقد پوشش گیاهی باشد و کانال اصلی در قسمت میانی مخروطه‌افکنه قرار گرفته باشد (شکل ۶-۸)، به نظر می‌رسد چنین مخروطه‌افکنه‌ای از نظر رسوب‌گذاری فعال باشد و اگر سطح مخروطه‌افکنه دارای پوشش گیاهی مناسبی باشد، احتمال پایداری و حتی فرسایش‌پذیر بودن مخروطه‌افکنه وجود دارد. در مخروطه‌افکنه‌های رسوب‌گذار، اجرای روش‌های کنترل

سیلاب سازه‌ای گران و نگهداری سازه‌های بسیار گران تر و بعضا غیرممکن می‌باشد. به‌خصوص آن‌که در چنین کانال‌هایی غالباً سیلاب‌ها به‌صورت واریزه‌ای و بسیار سهمگین می‌باشند و معمولاً منبع تولید واریزه در راس مخروطه‌افکنه واقع شده است. در مخروطه‌افکنه‌های پایدار و فرسایش‌پذیر، خصوصیات مربوط به راستا و شکل پلان مشابه کانال‌های شریانی می‌باشد و در بعضی نمونه‌ها احداث خاکریز در طرفین کانال اصلی به‌عنوان یک گزینه مناسب ساماندهی پیشنهاد می‌شود.



شکل ۶-۸- سطح مخروطه‌افکنه فاقد پوشش گیاهی و رسوب‌گذار [۷۲]

۶-۱۴- نیمرخ طولی و کنترل شیب [۷۲]

- مشکل تراز گاهی نیمرخ طولی می‌تواند از طریق سازه‌های کنترل شیب در فواصلی در طول کانال کنترل شود. در واقع سازه‌های کنترل کننده شیب مانند شیب شکن های کنترل شده یک شیب پایدار را در کانال توسعه می‌دهند. فاصله بین سازه‌ها قابل محاسبه بوده و عوامل اقتصادی و زیست محیطی در انتخاب آن موثر می‌باشند.
- روش ارزیابی پهنای حوضه می‌تواند برای ارزیابی نیاز به کنترل شیب طراحی مناسب برای رسیدن به شیب پایدار مورد استفاده قرار بگیرد.
- روش ارزیابی پهنای حوضه^۱ اولین بار به‌وسیله مهندسین ارتش آمریکا برای بهبود و ساماندهی جریان‌های کف کننده حوضه کوهستانی می‌سی‌سی‌پی توسعه داده شد. که شامل کل حوضه برای مشخص کردن مشکلات ناپایداری موضعی و کلی و ارتباط آن‌ها با یکدیگر می‌شود و می‌توان آن را در گام‌های زیر خلاصه نمود.
- کل حوضه به لحاظ مشخص کردن فرآیندها و عوارض زمین ریخت‌شناسی غالب مورد بررسی و پیمایش قرار گرفت.
- با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده یک ارزیابی از پویایی سامانه‌ی به عمل آمد. به‌طوری‌که کانال رودخانه در یک کلاس فرسایش‌پذیر، رسوب‌گذار و یا پایدار قرار می‌گیرد و کناره‌ها در یک گروه پایدار یا ناپایدار قرار می‌گیرند.
- پارامترهای پایداری هیدرولیکی و ژئوتکنیکی برای بازه‌های ارزیابی شده به نحوی تعریف می‌شوند که پایدار باشند. به‌طور کلی پارامترهای هیدرولیکی بیش‌تر به بستر کانال اشاره دارند مثل شیب پایدار، تنش برشی مرزی پارامترهای انتقال

رسوب به دست آمده از مدل سازی. پارامترهای ژئوتکنیکی به کناره‌ها اشاره دارند مثل ارتفاع و زاویه پایدار کناره و پارامترهای پیچیده‌تر که از تحلیل‌های ژئوتکنیکی جزئی‌تر به دست می‌آیند. برای کلیت بخشیدن و به دست آوردن مقادیر پارامترها برای سایر بازه‌ها می‌توان از همبستگی پارامترها با مساحت یا بده حوضه استفاده نمود. در صورتی که حوضه اصلی شامل زیر حوضه‌هایی با پوشش گیاهی و شرایط زمین‌شناسی متفاوت باشد لازم است که تنظیمات فوق را برای هر زیر حوضه اعمال نماییم.

– هر بازه همگن از حوضه مورد مطالعه با پارامترهای پایداری توسعه داده شده مقایسه می‌شود و در مورد پایداری، رسوب‌گذاری و یا فرسایش پذیری آن نظر داده می‌شود. پاره‌ای از ملاحظات از قبیل اثر بلند مدت سازه‌های پایدارسازی موجود و یا تغییرات قابل پیش‌بینی کاربری اراضی نیز ممکن است بخشی از ارزیابی را تشکیل دهند. نابهنجاری‌های هر بازه مشخص نیز ممکن است نیاز به بررسی‌های بیشتر داشته باشد.

– برای بخش‌های ناپایدار طراحی مقتضی صورت می‌گیرد.

– منحنی سنج‌سازه کنترل شیب باید با دقت لازم تهیه شود به طوری که همه رنج‌های بده در حوضه بالادست آن را پوشش دهد. در بعضی نمونه‌ها حد تاج سازه برای به دست آوردن رابطه استفاده می‌شود که به خصوص برای جریان کف کنده مطلوب می‌باشد چراکه سازه به عنوان یک سرریز عمل می‌کند. چنین سازه‌ای با تله اندازی رسوبات شیب کانال را کاهش داده و ارتفاع کناره‌ها را نیز کاهش می‌دهد و پایداری کلی سامانه‌ی کانال را بهبود می‌بخشد.

– تصمیم‌گیری در مورد این که سازه‌های کنترل شیب باید به عنوان بخشی از پروژه طراحی در نظر گرفته شوند یا باید طراحی و اجرای آن‌ها بسته به پاره‌ای از ملاحظات اقتصادی و سیاسی و یا دقت مورد نیاز برای تامین شیب پایدار نیم‌رخ به تعویق انداختن از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. که در این میان تجارب قبلی بسیار سودمند می‌باشد. به هر حال کل سامانه کانال شامل شاخه اصلی و سرشاخه‌ها باید بررسی شود، به عنوان مثال سازه‌های کنترل شیب شاخه اصلی وقتی نتیجه بخش خواهند بود که سازه‌های شاخه‌های فرعی کامل شده باشند و نتیجه آن در سامانه حوضه اعمال شده باشد.

– سازه‌های کنترل شیب به طور کلی به دو دسته تثبیت کننده‌ها و سازه‌های شیب‌شکن تقسیم می‌شوند. تفاوت بین این دو نوع واضح نیست و روش طراحی آن‌ها در راهنماهای مختلف ارائه شده است.

براساس روبلز^۱ (۱۹۸۳) تثبیت کننده‌ها برآمدگی‌های سنگی و یا بتنی هستند که در عرض کانال یک نقطه کنترل مصنوعی ایجاد می‌کنند. و به سه دسته تقسیم می‌شوند: سرریزها، شوت‌ها و فلوم‌ها تقسیم می‌شوند و ممکن است از مواد متنوع ساخته شوند. سازه‌های شیب‌شکن به طور کلی دارای حوضچه آرامش و یا حوضچه غوطه‌وری به منظور استهلاک انرژی می‌باشند و به عنوان اقدامی مفید در مواردی که تراز گاهی شدیدی اتفاق افتاده است و یا در مواردی که در پروژه‌ها نیاز به کاهش شیب قابل توجه می‌باشد مورد استفاده قرار می‌گیرند. که البته استفاده از تثبیت کننده‌ها با فواصل نسبتاً نزدیک‌تر و یا سازه‌های شیب‌شکن با فواصل بزرگ‌تر می‌تواند بخشی از آنالیز اقتصادی را پوشش دهد.

- در مواردی که شیب‌های موجود در مرز تجاوز از حالت پایدار قرار دارند می‌توان برای حصول پایداری طولی از افزایش زبری کانال استفاده کرد به‌عنوان مثال تخته سنگ‌های پراکنده در موقعیت‌های پایدار و مناسب قرار داد. چنین راه حلی اغلب با نیازها و تمایلات شیلاتی هم‌سو می‌باشد بدین لحاظ که نواحی دارای آب راکد و جریان غیر آشفته ایجاد می‌کند.

۶-۱۴-۱- کنترل رسوب ورودی

- گاهی اوقات در پروژه‌های کنترل سیلاب به منظور کاهش نیاز به لایروبی‌های آینده و نیز حفظ ظرفیت کنترل سیلاب نیاز به کنترل رسوب ورودی می‌باشد. رودخانه‌های شکل گرفته در مخروطه‌افکنه فرسایش‌پذیر مثالی از این نوع کانال‌ها می‌باشند. افزایش رسوب ورودی را می‌توان از طریق تراز کاهی مورد نیاز کانال بالادست از طریق سازه‌های کنترل شیب کنترل نمود. به هر حال جهت کنترل رسوب ورودی راه‌حل‌های دیگر نیز مثل حوضچه‌های رسوب‌گیر می‌تواند مطلوب باشد. که البته حوضچه‌های رسوب‌گیر معمولاً در ابتدای مخروطه‌افکنه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- در حوضه یازو^۱ در رودخانه می‌سی‌سی‌پی ترکیب سازه‌های کنترل شیب، حوضچه‌های رسوب‌گیر مصنوعی و نواحی تله انداز طبیعی رسوبات به‌عنوان یک کنترل موثر روی نیاز پیش‌بینی شده استفاده شده است.
- یک روش دیگر برای کنترل رسوب ورودی در حوضه‌های کوچک استفاده از ساختار لوله‌ای پله‌ای در محل شاخه‌های فرعی کوچک می‌باشد. این سازه‌ها حجم‌های کوچکی از جریان رو ننگه می‌دارند و اجازه می‌دهند که رسوبات درشت‌دانه‌تر در نواحی از قبل تعیین شده ته‌نشین شوند.
- در مواقعی که ظرفیت هیدرولیکی مقطع کانال به‌علت رسوب‌گذاری کاهش یافته است، لزوماً روش‌های لایروبی و یا استفاده از حوضچه‌های رسوب‌گیر، روش‌های موثری نیستند. در این مواقع پیشنهاد می‌شود که در بازه موردنظر کانال به لحاظ جنس مصالح و نیز ویژگی‌های هندسی به‌نحوی طراحی شود که به واسطه زیاد شدن سرعت جریان، بار رسوبی نیز عبور داده شود. به چنین کانال‌هایی در اصطلاح خود-تمیزگر می‌گویند. بی‌شک در صورت استفاده از این روش در نظرگیری شرایط پایین‌دست برای جلوگیری از مضاعف شدن مشکل رسوبی اولیه ضروری است [۷۲].

۶-۱۵- مقاطع عرضی و ظرفیت هیدرولیکی

- انواع مقاطع عرضی و تبدیل‌های آن که در پروژه‌های ساماندهی و کنترل سیلاب به‌کار می‌روند، عبارتند از (شکل ۶-۹):
- الف- کانال اصلی بدون تغییر همراه با خاکریزهای با فاصله زیاد در سیلابدشت
 - ب- کانال اصلی بدون تغییر همراه با خاکریزهای نزدیک به کناره‌های کانال در سیلابدشت
 - ج- تعریض کانال اصلی از یک یا دو طرف با در نظرگیری عمق حداکثر
 - د- تعمیق و تعریض کانال اصلی از یک طرف
 - ه- تعریض کانال اصلی و تعمیق غیر یکنواخت آن

و- بزرگ کردن مجرای اصلی کانال با حفظ شکل اولیه کانال اصلی

ز- احداث کانال‌های فرعی عبور سیلاب به صورت موازی با کانال اصلی

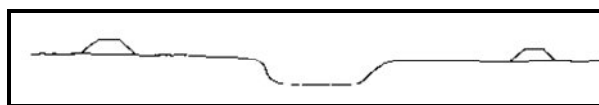
از نقطه نظر پایداری مورد الف بهترین گزینه قابل پیشنهاد است، البته بسته به شرایط و محدودیت‌ها، هر یک از این گزینه‌ها قابل پیشنهاد می‌باشد. در مواقعی مشکل رسوب‌گذاری وجود ندارد مورد و گزینه قابل پیشنهادی است. به‌طور کلی کانال‌های تعریض یا تعمیق شده مستعد مشکلات فرسایش کناره، جابجایی کانال و کاهش شیب می‌باشند.

روش‌های مختلفی برای محاسبه ظرفیت کانال و شرایط مقطع پر وجود دارند که بسته به نیازهای عمومی طراحی ممکن است مورد استفاده قرار بگیرند. در طراحی مقاطع ترکیبی همچون مورد ه، ارتفاع پشته براساس سیل تابستانی سالانه محاسبه می‌شود. مورد ز در مواقعی استفاده می‌شود که کانال اصلی تنها جریان‌های فصول خشک (تابستان) را از خود عبور می‌دهد.

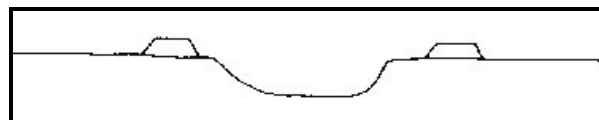
در نواحی با حساسیت بالای زیست‌محیطی، تغییرات مقطع عرضی شامل پاره‌ای از ملاحظات به شرح زیر می‌باشد:

- یکی از مشکلات غالب که عموماً مهندسين رودخانه با آن روبرو می‌باشند، طراحی مهندسی در کانال‌هایی است که از نظر زیست‌محیطی دارای حساسیت بالایی می‌باشند. در چنین کانال‌هایی به منظور افزایش ظرفیت آبگذری کانال، بهترین گزینه، پاک‌سازی کانال از مواد و گیاهان زاید می‌باشد. این روش از نظر زیست‌محیطی در مقایسه با سایر روش‌های مجراسازی و افزایش ابعاد کانال دارای اثرهای مخرب به مراتب کم‌تری می‌باشد.

- به‌طور کلی پاک‌سازی به کلیه فعالیت‌هایی اعم از برداشتن درختان تنومندی که در کانال اصلی روییده‌اند، تنه درختانی که به‌واسطه سیلاب مسیر کانال را مسدود کرده‌اند و هر نوع ماده دیگری است که سبب کاهش ظرفیت هیدرولیکی مقطع می‌شود، اطلاق می‌شود. ظرفیت کانال با کاهش زبری و حذف موانع افزایش خواهد یافت. عموماً فعالیت‌های پاک‌سازی به کانال اصلی محدود می‌شود، ولی در پاره‌ای از موارد بسته به ضرورت در صورت تطابق با فاکتورهای زیست‌محیطی، می‌توان آن را در بخش‌هایی از سیلابدشت نیز گسترش داد. در مواردی که پوشش گیاهی سیلابدشت و کانال اصلی دارای طیفی گسترده می‌باشد، می‌توان انواع پوشش گیاهی را لیست نموده و با در نظرگیری نتایج مطالعات زیست‌محیطی دست به انتخاب زد و تنها حذف تعدادی از آن‌ها را پیشنهاد نمود.



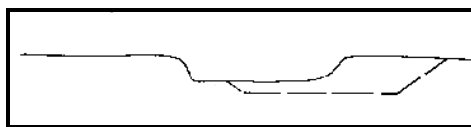
الف- احداث خاکریز با فاصله زیاد نسبت به کانال اصلی



ب- احداث خاکریز با فاصله کم نسبت به کانال اصلی



ج- تعریض



د- تعمیق و تعریض یک طرف



ه- تعمیق و تعریض غیریکنواخت



و- افزایش ابعاد کانال با حفظ شکل کانال اولیه



ز- احداث کانال فرعی به موازات کانال اصلی

شکل ۶-۹- انواع مختلف مقاطع عرضی اصلاح شده [۱۷۲]

۶-۱۶- کنترل پیچ و خم‌ها

توسعه و مهاجرت پیچانوردها یک مشکل مهم در جهت پیش‌بینی و توسعه شرایط پایدار می‌باشد. که در واقع نتیجه استمرار و تشدید شرایطی است که از قبل به رودخانه حاکم بوده است. ممکن است مثلاً مهاجرت مجاز پیچانورد تحت شرایط طبیعی در یک پروژه کنترل سیلاب یک عامل تهدید کننده خاکریزهای کنترل سیلاب محسوب شود. روند پیچانوردی شدن در چنین حالاتی تشدید و تسریع می‌گردد، زیرا با افزایش بده شکل دهنده کانال طول موج و دامنه پیچانورد و نرخ مهاجرت افزایش می‌یابد از طرفی تخریب پوشش طبیعی کناره‌ها و تغییر کاربری اراضی نیز یک عامل محرک محسوب می‌شود. به‌عنوان مثال پاکسازی و رفع موانع و توسعه کانال، اغلب مقاومت کناره در برابر فرسایش را کاهش داده و به پروسه پیچانوردی شدن شتاب می‌دهد. توسعه مجدد پیچانوردها در کانال‌هایی که راستای آن‌ها تحت عوامل خارجی تغییر داده شده، یک مشکل متداول می‌باشد. تعریض کانال سبب می‌شود که بده متناسب با کانال جدید کاهش یابد و یک سری پیچانوردهای کوچک در مسیر جریان تشکیل شود. که به تدریج با فرسایش کناره‌ها به پیچانورد کلی و کامل تبدیل می‌شود.

یک تناقض آشکار در مورد سمت و سوی پیچانوردی شدن وجود دارد. ممکن است این که سرعت‌ها و شیب‌های زیاد سبب جابجایی سریع‌تر پیچانورد می‌شوند منطقی به نظر برسد. در حالی که جریان‌های با شیب‌های کم و سرعت‌های نسبتاً پایین اغلب پیچانوردهای خیلی فعالی دارند.

پوشش گیاهی کناره یک عامل موثر در مقابل جابجایی سریع پیچانرود محسوب می‌شود. از این رو پوشش گیاهی تحت هیچ شرایطی نباید تخریب شود، مگر این‌که هیچ چاره معقول دیگری وجود نداشته باشد. و لذا در پروژه‌هایی که نیاز به توسعه کانال موجود می‌باشد بهتر است حفاری به کناره‌های داخلی محدود شده و پوشش کناره‌های خارجی حفظ شود. گاهی اوقات نیز به منظور حفاظت کناره از روش‌های مصنوعی همچون آبشکن‌های متناوب و یا گابیون بندی استفاده می‌شود.

۶-۱۷- محافظت کناره

محافظت کناره غالباً با هدف کنترل فرآیندهای پیچانرودی شدن، محافظت مواد کناره در مواقعی که سرعت جریان و به‌دنبال آن تنش برشی بالا می‌باشد، فرسایش پنجه و گسیختگی طره‌ای و یا نشست کناره با توجه به فاکتورهای ژئوتکنیکی انجام می‌شود. به‌طور کلی محافظت کناره می‌تواند به‌صورت پیوسته باشد مانند روکش بتنی کناره و هم می‌تواند به‌صورت غیرپیوسته باشد نظیر احداث آبشکن با فواصل مشخص.

در مواردی که از یک پوشش سنگچین برای محافظت کناره استفاده می‌شود، فرسایش پنجه در کناره ممکن است سبب گسیختگی سنگچین شود.

در کانال‌های پیچانرودی غالباً تنها قوس خارجی مورد حفاظت قرار می‌گیرد و در این مواقع باید سازه یا راهکار محافظت کناره به حد کفایت در بالادست و پایین‌دست مکان موردنظر گسترده شود.

۶-۱۸- کنترل رسوب‌گذاری

یکی از دلایل اصلی کاهش ظرفیت آبگذری کانال، رسوب‌گذاری می‌باشد که غالباً به‌دلیل ناپایداری‌های طولی و یا پیامد افزایش ابعاد کانال بدون توجه به توانایی کانال برای انتقال رسوبات رخ می‌دهد. پروژه‌های انحراف سیلاب، احداث کانال‌های فرعی با تراز بالاتر از تراز کانال اصلی و نیز مخازن ذخیره‌ای از مواردی هستند که ظرفیت انتقال رسوب کانال را کاهش می‌دهند و گاهی در پایین‌دست یک پروژه در حال احداث و یا یک فعالیت مهندسی رودخانه در حال انجام اتفاق می‌افتد و شاید به همین علت است که گفته می‌شود در هر نوع طراحی مهندسی رودخانه اثرهای طراحی به فواصل مکفی از بالادست و پایین‌دست باید منظور گردد.

عموماً رسوب‌گذاری، ته‌نشینی مواد ماسه‌ای است که می‌توانند بخشی از بار بستر و یا معلق و یا هردو باشند. تغییرات مکان رسوب‌گذاری و طبیعت آن به‌واسطه انجام فعالیت‌های مهندسی در بالادست می‌تواند بر روی زیستگاه‌های ماهیان اثر مخربی داشته باشد [۴۷].

روش‌های کنترل رسوب‌گذاری عبارتند از:

- طراحی صحیح کانال‌های فرعی کنترل سیلاب با در نظرگیری انتقال مواد رسوبی
- طراحی حوضچه‌های رسوبگیر در پایانه پروژه‌ها و تخلیه آن‌ها از رسوبات به‌صورت منظم و دوره‌ای
- احداث سازه‌های نگهداشت رسوبات و کنترل شیب در محل ورود شاخه‌های فرعی
- کنترل بار رسوبی تحمیل شده ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و یا تغییرات کاربری اراضی
- انجام مطالعات رسوب به صورت منظم و دوره‌ای و انجام لایروبی در نواحی مورد نیاز

- در مواقعی که در کناره‌های کانال، خاکریز احداث می‌شود، معمولاً ناحیه‌ای از سیلابدشت که بین کانال اصلی و خاکریز واقع شده با پوشش گیاهی پوشانده می‌شود و سبب رسوب‌گذاری مواد ریزدانه معلق در این ناحیه خواهد شد، لذا ضروری است که از پوشش گیاهی فشرده این ناحیه جلوگیری شود.
- کنترل رسوب‌گذاری

۶-۱۹- کاربرد معادلات تجربی در طراحی ابعاد هندسی مقطع و راستای رودخانه

در طراحی‌ها ابتدا شیب پایدار بازه بر اساس روابط تجربی ارائه شده در فصل سوم مانند رابطه (۳-۲۷) محاسبه می‌شود و بعد از مقایسه با آن شیب فعلی رودخانه، در صورت تشخیص ناپایداری بایستی ابعاد هندسه بهینه به نحوی انتخاب شوند که بازه موردنظر به سمت پایداری هدایت شود. توجه به نکات ارائه شده در بخش ۶-۱۴ در این زمینه بسیار مفید خواهد بود. در گام بعد ابعاد بهینه با انتخاب بده طراحی محاسبه می‌گردد. در این خصوص باید به تفاوت بده طراحی مقطع پایدار و بده طراحی سازه ساماندهی توجه کافی نمود به طوری که در طراحی مقطع پایدار رودخانه از بده غالب که در بخش ۲-۲-۱-۱ به‌طور مفصل به آن پرداخته شد، استفاده می‌شود و برای طراحی سازه مهندسی، بسته به نوع سازه از بده‌های در نظر گرفته شده در راهنماهای طراحی می‌توان استفاده نمود که پرداختن به آن از حوزه‌ی مطالعات خارج است. در نهایت می‌توان مراتب اشاره شده در فوق را به شرح زیر خلاصه نمود.

- ۱- انتخاب بده طراحی (در شرایطی می‌تواند بده مقطع پر، بده موثر و یا میانگین سیل سالانه باشد).
- ۲- به‌کارگیری بده مذکور در معادلات تجربی (روابط ارائه شده در بخش ۳-۴-۲) به‌منظور محاسبه ابعاد بهینه مقطع عرضی

- ۳- به‌کارگیری بده طراحی در معادلات تجربی (روابط ارائه شده در بخش ۳-۴-۲ و روابط ۴-۲، ۴-۳ و ۴-۴) به‌منظور محاسبه راستای بهینه (شیب، طول قوس، طول موج و شعاع انحنا)

در به‌کارگیری معادلات تجربی باید انتخاب بده منطبق بر تعاریف زیر معادله باشد. همچنین مطابقت شرایط معادله تجربی مورد استفاده با شرایط بازه مورد مطالعه از شروط اولیه انتخاب معادله می‌باشد به طوری که معادله انتخابی از نظر دامنه بده، دانه‌بندی و نیز نوع رودخانه با بازه مورد مطالعه هم‌خوانی داشته باشد.

منابع و مراجع

- ۱- «راهنمای مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها»، نشریه شماره ۵۹۲ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور، (۱۳۹۱).
- ۲- «راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها»، نشریه شماره ۳۸۳، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور، (۱۳۸۶).
- ۳- «مبانی طراحی سازه‌های کنترل فرسایش در آبراهه‌ها و رودخانه‌ها»، نشریه شماره ۴۱۷، طرح تدوین ضوابط و معیارهای فنی منابع طبیعی و آبخیزداری - سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور.
- ۴- شفای بجستانی، م، «هیدرولیک رسوب» انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۷۸).
- ۵- محمدی علی آبادی، ک، «بررسی روابط رژیم و تعیین ابعادهندسی و شیب طولی رودخانه‌ها (مطالعه موردی رودخانه قره سو)». پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه تاسیسات آبیاری، (۱۳۸۰).
- 6- Ackers, P. 1972. "River Regime: Research and Application," Journal of the Institution of Water Engineers, Vol 26, No. 5, pp 257-281.
- 7- Ackers, P. and Charlton, F.G. 1970a. "Meander geometry arising from varying flows". Journal of Hydrology, 11, pp 230-252.
- 8- Ackers, P. and Charlton, F.G. 1970b. "Dimensional analysis of alluvial channels with special reference to meander length". Journal of Hydraulic Research, 8, No. 3, pp 287-316.
- 9- Ashmore, P.E. and Day, T.J. 1988. "Effective discharge for suspended sediment transport in streams of the Saskatchewan River basin". Water Resources Research, 24, No. 6, pp 864-870.
- 10- Bettess, R., White, W.R., Reeve, C.E., 1988. "On the Width of Regime Channels". In International Conference on River Regime, W.P. White (Ed.). John Wiley and Sons. pp. 149- 162.
- 11- Blench, T. 1969. "Mobile-bed Fluviology", University of Alberta Press, Edmonton, Alberta, Canada.
- 12- Brakenridge, G.R., 1988. "River flood regime and floodplain stratigraphy". In: Flood Geomorphology, edited by Baker, V.R., Kochel, R.C. and Patton, P.C. A Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons, pp 139-156.
- 13- Bray, D.I., 1982 b. "Regime equations for gravel-bed rivers". In Gravel-Bed Rivers, Hey, R.D., Bathurst, J.C., and Thorne. C.R., (Eds.), John Wiley and Sons. pp. 517- 552.
- 14- Brice, J. C. 1984. "Planform Properties of Meandering Rivers," River Meandering: Proceedings of the Conference Rivers '83, New Orleans, LA, October 24-26, 1983, Charles M. Elliott, ed., American Society of Civil Engineers, New York, pp 1-15.
- 15- Callander, R.A., 1969. "Instability and river channels." J. Fluid Mech., 36, pp. 465-480.
- 16- Carling, P.A. 1988. "The concept of dominant discharge applied to two gravel-bed streams in relation to channel stability thresholds". Earth Surface Processes and Landforms, 13, pp 355-367.
- 17- Chang, H.H., 1979. "Minimum stream power and river channel patterns". J. Hydrol, (Amsterdam), Vol. 41, pp. 303- 327
- 18- Chang, H.H., 1980. "Geometry of gravel stream". J. Hydr. Div. ASCE, Vol. 106, No. 9, pp. 1443-1456.

- 19- Elliot, C. M., 1984. "River meandering, Proceedings of the Conference on Meandering Rivers", ASCE Publications, New York, 1036 pp.
- 20- Engelund, F. and Skovgaard, O., 1973. "On the origin of meandering and braiding in alluvial streams", Journal of Fluid Mechanics, 57, 289-302.
- 21- Ferdsoe, J., 1978. "Meandering and braiding of rivers.", J. Fluid Mech., 84, pp. 609-624.
- 22- Ferguson, R.I., 1984. "The threshold between meandering and braiding.", Proceeding of the first International Conference on Hydraulic Design, edited by K.V.H. Smith, pp. 6.15-6.29, Springer-Verlag, New York.
- 23- Ferguson, R.I., 1987. "Hydraulic and sedimentary controls of channel pattern, in river channels, environment and process.", edited by K.S. Richards, pp. 129-158, Blackwell, Madlen, Mass.
- 24- Fukuoka, S., 1989. "Finite amplitude development of alternate bars, in river meandering.", Water Res. Monogr., Vol. 12, edited by S. Ikeda and G. Parker, pp. 237-565, AGU, Washington, D.C.
- 25- Gatto, L. W. 1984. "Tanana River Monitoring and Research Program: Relationships among Bank Recession, Vegetation, Soils, Sediments and Permafrost on the Tanana River near Fairbanks, Alaska," Special Report 84-21, Prepared for U.S. Army Engineer District, Alaska, Anchorage, by U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, NH.
- 26- Haas, F. 1969. Superfamilia Unionacea. Das Tierreich (Berlin) 88:x + 663 pp.
- 27- Hayashi, T., and Ozaki, S., 1980. "Alluvial bedforms analysis, Information of alternating bars and braids, in application of stochastic processes in sediment transport.", edited by H.W. Shen and H. Kikkawa, Chap. 7, pp. 1-40, Wat. Resour. Pub., Highlands Ranch, Colo.
- 28- Henderson, F.M., 1963. "Stability of alluvial channels." Trans. Am. Soc. Civ. Eng., No. 128, pp. 654 - 657.
- 29- Henderson, F.M., 1966. "Open Channel Flow." Macmillan Pub. Co., New York. 522 p.
- 30- Hey, R.D., 1978. "Determinate hydraulic geometry of river channels." J. Hydr. Div. ASCE, Vol. 104, No. 6, pp. 869- 885.
- 31- Hey, R.D. and Heritage, G.L., 1988a. "Dominant discharge in alluvial channels." International Conference on Fluvial Hydraulics '88, pp 143-148.
- 32- Hey, R.D. and Meigh, J.R., 1992. "Distribution and sedimentary characteristics of bedload transport in gravel-bed rivers." In: Proc. International Grain Sorting Seminar, Mitteilungen 117, ETH Zurich, pp 371-398.
- 33- Hey, R.D., and Thorne, C.R., 1986. "Stable channels with mobile gravel beds." J. Hydr. Div. ASCE, Vol. 112, No. 8, pp. 671- 689.
- 34- Howard, A. D., 1980. "Thresholds in river regimes." In D. R. Coates and J. D. Vitek (eds), Thresholds in Geomorphology, London: Allen and Unwin, 227-58.
- 35- Keller, E. A., and Brookes, A. 1984. "Consideration of meandering in channelization projects: selected observations and Judgements," River meandering: Proceedings of the Conference Rivers '83, New Orleans, LA, October 24-26, 1983, Charles M. Elliott, ed., American Society of Civil Engineers, New York, pp 384-397.
- 36- Kellerhals, R., 1967. "Stable channels with paved gravel beds." J. Waterways and Harbours Div. ASCE, Vol. 93, WW 1, pp. 63- 83.
- 37- Kennedy, R.G., 1895. "The prevention of silting in irrigation canals." Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 119, pp 281-290.

- 38- Lacey, G. 1958. "Flow in alluvial channels with sand mobile beds." Proc. Inst. Civ. Eng., London, 9, Discussion 11.
- 39- Lane, E.W., 1955 a. "The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering." Proc. Am. Soc. Civil Engrs., Vol. 81, pp. 1-17.
- 40- Lane, E.W., 1955 b. "The design of stable channels". Trans. ASCE, Vol. 120, No.2776,pp. 1234-1279.
- 41- Lane,E,M.,1957. "A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in erodible material. ",Sediment Ser.,No.9,106pp,Eng. Div.,U.S. Army,Omaha,Nebr.
- 42- Leopold, L. B., and Maddock, T., Jr. 1953. "The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications," U.S. Geological Survey Professional Paper 252, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- 43- Leopold, L.B.,and Wolman, M.G.,1957. "River channel patterns: braiding meandering and staight",U.S.Geol.Surv.Prof.Pap.,262-B, pp.39-85.
- 44- Leopold, L. B., Wolman, M. G. and Miller, J. P.,1964. "Fluvial processes in geomorphology.", San Francisco, W. H. Freeman.
- 45- Lyons, J.K. and Pucherelli, M.J. and Clark, R.C.,1992. "Sediment transport and channel characteristics of a sand-bed portion of the Green River below Flaming Gorge Dam."Utah, USA. Regulated Rivers Research and Management, 7, pp 219-232.
- 46- Mackin, J.H.,1956."Cause of braiding by a graided river",Geol.Soc.Am. Bull.,pp.1717-1718.
- 47- Milhous, R. T.,1982."Effect of sediment transport and flow regulation on the ecology of gravel-bed rivers", Gravel-bed rivers: Fluvial processes, Engineering and Management, R. D. Hey, J. C. Bathurst, and C. R. Thorne, ed., Wiley, New York, pp 819-842.
- 48- Millar,R.G.,2000."Influence of bank vegetation on alluvial channel patterns." Water.Resource.Res., Vol.36,No.4,pp.1109-1118.
- 49- Mollard, J. D., and Janes, J. R. 1984. "Airphoto Interpretation and the Canadian Landscape," Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada, Canadian Government Publishing Centre, Supply and Services, Hull, Quebec, Canada.
- 50- Nunnally, N. R., and Shields, F. D. 1985. "Incorporation of Environmental Features in Flood Control Channel Projects," Technical Report E-85-3, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- 51- Parker,G.,1976."On the cause and characteristic scales of meandering and braiding rivers.",J.Fluid Mech.,76,pp.457-478.
- 52- Parker, G. (1978b). "Self-formed straight rivers with equilibrium banks and mobile bed. Part 2. The gravel river." / . Fluid Mech., 89(1), 127-146.
- 53- Petts, G.E.,1977."Channel response to flow regulation."The case of the River Derwent, Derbyshire. In: River Channel Changes, edited by Gregory, K.J. John Wiley & Sons, pp 145-164.
- 54- Raudkivi, A. J.,1967."Loose Boundary Hydraulics", pp.86-95, Pergamon, New York.
- 55- Rechard, R. P., and Schaefer, R. G. 1984. "Stripmine Streambed Restoration Using Meander Parameters," River Meandering: Proceedings of the Conference Rivers '83, New Orleans, LA, October 24-26, 1983, Charles M. Elliott, ed., American Society of Civil Engineers, New York, pp 306-317.
- 56- Reid, I. and Frostick, L.E.,1984. "Particle interaction and its effect on the threshold of initial and final bedload motion in coarse alluvial channels." In: Koster, E.H. and Steel, R.J. (Eds),

- Sedimentology of Gravels and Conglomerates, Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 10, pp 61-68.
- 57- Riley, S.J.,1972. "A comparison of morphometric measures of bankfull.", Journal of Hydrology, 17, pp 23-31.
- 58- Robles, A. 1983. "Design and performance of channel stabilizers and drop structures." Proc. Workshop Design of Headworks, ASCE and California State University, Long Beach.
- 59- Schumm, S.A.,1963. "A tentative classification of alluvial river channels. ", United States Geological Survey, Circular 477, 10 pp.
- 60- Schumm, S.A., 1969. "River metamorphosis". J. Hydr. Div. ASCE. Vol. 95, pp. 255-273.
- 61- Schumm, S. A., and Beathard, R. M. 1976. "Geo-morphic Thresholds: An Approach to River Management," Rivers '76, Symposium on Inland Waterways for Navigation Flood Control and Water Diversions, Colorado State University, Fort Collins, CO, August 10-12, 1976, American Society of Civil Engineers, New York, pp 707-724.
- 62- Schumm, S. A. and Khan, H. R.,1972. " Experimental study of channel patterns. ", Bulletin of the Geological Society of America, 83, 1755-1770.
- 63- Schumm, S. A., Harvey, M.D., and Watson, C.C.,1984."Incised Channels: Morphology,Evolution and Control.", Water Resources pub. littleton, Colorado.
- 64- Shulits, S. (1941) Rational equation of riverbed profile, Transactions of the American Geophysical Union, 22, 622-630.
- 65- Simons, D.B., and Albertson, M.L., 1963. "Uniform water conveyance channels in alluvial material" Trans. ASCE, Vol. 128,Pt. 1, No.3399, pp. 65- 167.
- 66- Stevens, M. A., and Nordin, C. F., Jr. 1987. "Critics of the Regime Theory for Alluvial Channels," Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol 113. No. 11, pp 1359-1380.
- 67- Struiksmā,N.,and Klassen,G.J.,1988. "On the threshold between meandering and braiding. " International Conference on River regime, edited by W.P.White,pp.107-120,John Wiley,New York.
- 68- Tabatabai, M.R. M. 1997. "Dominant channel forming discharge.", Unpublished Phd dissertation , university of East Anglia, uk.
- 69- Thorne, C. R.,1988. "Analysis of Bank Stability in the DEC Watersheds, Mississippi," prepared by Queen May College, University of London, for European Research Office of the U.S. Army, London, England.
- 70- Thorne, C.R., Hey,R.D., and Chang, H.H., 1988. "Prediction of hydraulic geometry of gravel-bed streams using the minimum stream power approach". In International Conference on River Regime, W.P. White (Ed.).John Wiley and Sons. pp. 29-40.
- 71- Thorne, C. R., and Osman, A. M. 1988. "Riverbank Stability Analysis; II: Applications," Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol 114, No. 2, pp 151-172.
- 72- U.S. Army Corps of Engineers. 1994. "Channel stability assessment for flood control projects", Engineer Manual 1110-2-1418, Department of the Army, Washington, DC 20314-1000.
- 73- White, W. R., Paris, E., and Bettess, R. 1981a. "River Regime Based on Sediment Transport Concepts," Report IT 201, Hydraulics Research Station, Wallingford, U.K.
- 74- White, W.R., Bettess, R., Paris, E., 1982. " An analytical approach to river regime." J.Hydr. Div. ASCE, Vol. 108, No.10, pp. 1179-1193.
- 75- Williams, G. P.,1978. "Bankfull discharge of rivers.", Water Resources Research, 14, 1141-1154.

-
- 76- Williams, G.T. "Empirical equations between river meander and channel size features" , U.S Geological Survey.
- 77- Wolman, M.G.,and Brush, L.M., 1961."Factors controlling the size and shape of stream channeles in coarse non-cohesive sands."U.S.G.S. Prof. Paper 282-G.
- 78- Wolman, M.G. and Miller, J.P.,1960."Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes.",Journal of Geology, 68, pp 54-74.
- 79- Yang,C.T.1976."Minimum unit stream power and fluvial hydraulics". J. Hydr. Div. ASCE, Vol. 102, No. 7, pp. 919-934.

خواننده گرامی

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی nezamfanni.ir قابل دستیابی می‌باشد.

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision

**Guideline on Hydraulic Geometry and
Channel Pattern of Rivers**

No.643

Office of Deputy for Strategic Supervision

Department of Technical Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Energy

Bureau of Engineering and Technical
Criteria for Water and Wastewater

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

2013

این نشریه

با عنوان «راهنمای شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه» ضمن معرفی عوامل موثر در پایداری رودخانه به تبیین روش‌های مختلف تعیین ابعاد هندسی و راستای پایدار رودخانه و کاربرد آن‌ها در شرایط مختلف می‌پردازد.

همچنین با توجه به طبقه‌بندی مناسبی که از شکل‌های ناپایداری، شاخص‌های تشخیص و روش‌های مقابله با آن ارائه نموده است، در مطالعات ساماندهی رودخانه می‌تواند به عنوان راهنمایی کاربردی مورد استفاده متخصصان، پژوهش‌گران و مشاوران این بخش قرار گیرد.