دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی علوم آب

جزوه درسی مهندسی رودخانه

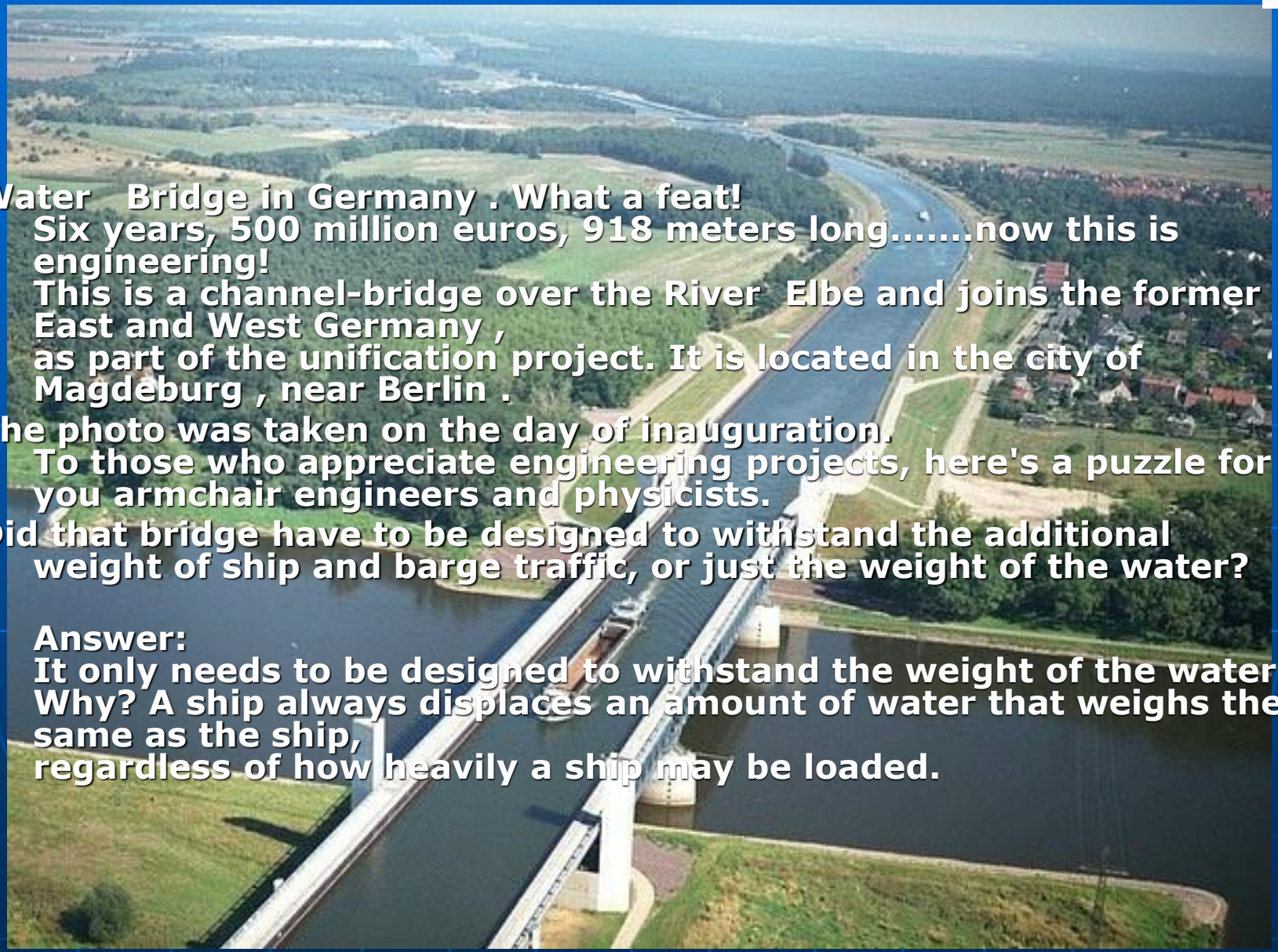
دانشجویان کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب و سازه های هیدرولیکی

مدرس: مهدی قمشی

NCA Travels

مهندسی رودخانه

حتی وقتی که می بینید باورش برایتان مشکل است.
پل آبی ماگدیبرگ در المان
شاهکار مهندسی رودخانه



Water Bridge in Germany . What a feat!
Six years, 500 million euros, 918 meters long.....now this is engineering!
This is a channel-bridge over the River Elbe and joins the former East and West Germany ,
as part of the unification project. It is located in the city of Magdeburg , near Berlin .

The photo was taken on the day of inauguration.
To those who appreciate engineering projects, here's a puzzle for you armchair engineers and physicists.

Did that bridge have to be designed to withstand the additional weight of ship and barge traffic, or just the weight of the water?

Answer:
It only needs to be designed to withstand the weight of the water!
Why? A ship always displaces an amount of water that weighs the same as the ship,
regardless of how heavily a ship may be loaded.

مهدی قمشی - جزوه درسی مهندسی رودخانه

The Magdeburg Water Bridge as seen from the shores of the Elbe	
Crosses	River Elbe
Location	Magdeburg
Longest span	106 m
Total length	918 m (690 m over land and 228 m over water)
Width	34 m
Water depth	4.25 m
Clearance below	90.00 m x 6.25 m
Begin date	1997
Completion date	2003
Coordinates	52°13′52″N 11°42′07″E
Constructed with about 68,000 cubic meters of concrete and 24,000 metric tons of steel	

تعاریف

- علمی که در مورد کلیه مراحل مطالعه و برنامه ریزی، طراحی، اجرا و بهره برداری جهت بهبود و یا تغییر وضعیت موجود یک رودخانه به منظور برآورد نیازهای عمرانی بحث می کند مهندسی رودخانه نامیده می شود.

- وکیپدیا
مهندسی رودخانه : مداخله برنامه ریزی شده بشر در مسیر ، مشخصات و یا جریان رودخانه ها با قصد فراهم آوردن مزایایی تعریف شده است.

- پرینس:(A. Prins)
»مهندسی رودخانه به منظور افزایش بهره‌وری انسان از رودخانه‌ها و کاهش خسارات و جنبه‌های منفی آنها می‌باشد و مانند هر علم مهندسی کاربردی دیگر، مهندسی رودخانه نیز بهره کاملی از علوم دیگری نظیر هیدرولوژی، مورفولوژی، انتقال رسوب، هیدرولیک و زمین‌شناسی می برد.

- مارگارت پترسن:(M.S.Pettersen)
مهندسی رودخانه عبارت است از مجموعه‌ای از کارهایی مربوط به برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری که به منظور اصلاح شرایط طبیعی رودخانه برای تأمین بهتر نیازهای انسان صورت می‌گیرد.

- موریس ویگارد:(M. Vigard)
مهندسی رودخانه را می‌توان برنامه‌ریزی و انجام کارهایی برای کنترل جریان رودخانه، کنترل تراز رودخانه، کنترل رژیم رسوبی رودخانه، کنترل کیفیت آب رودخانه و یا ترکیبی از موارد مذکور تلقی نمود.

اهداف مهندسی رودخانه

- ساماندهی رودخانه
- مهار سیل
- مهار فرسایش کناره و بستر
- هدایت جریان در یك مسیر مشخص
- کنترل رسوب
- ایجاد شرایط مناسب برای کشتیرانی
- برداشت آب از رودخانه
- استحصال انرژی از جریان رودخانه
- بهره‌برداری از مصالح رودخانه‌ای
- حفظ کیفیت آب
- آزادسازی و احیاء اراضی حاشیه رودخانه
- ایجاد شرایط مناسب برای پرورش صید و آبزیان
- بهبود و حفظ محیط زیست رودخانه‌ای
- ایجاد امکانات تفریحی در رودخانه و حاشیه آن

کارهای مهندسی رودخانه

- آب شکن Groins
- روکشها (پوششهای حفاظتی Revetments)
- دیوارهای حائل (دیوارههای حفاظتی قائم Retaining Walls)
- گورهها (خاکریزهای سیلبند Levees)
- دیوارههای سیلبند Flood Walls
- میانبرها Cut off
- پاکسازی موانع و درختان و Predhing, cleaning & Snagging . . .
- لایروبی Dredging
- انحراف سیل Flood Diversion
- بندها (انحرافی، تنظیمی و Weir, Barriar, Barrage . . .)
- آب بندهای کشتیرانی Navigation locks
- دیواره هادی Guide Bank
- دیواره دسترسی Approach Bank
- پیش بند Apron
- باندال ها Bandal
- تثبیت کنندههای بستر Bed stabilizers
- شیبشکن Drop st
- کف بند Sill
- رسوب برگردانها Sediment Diverters
- پره ها Vanes

فهرست مطالب

- **فصل اول:** کلیات
- مورفولوژی رودخانه – انواع رودخانه – تاثیر تغییر شرایط طبیعی و ساخت تاسیسات مختلف در شکل رودخانه‌ها، چند شاخه شدن و پیچ و خم رودخانه‌ها
- بررسی رودخانه، اطلاعات و تحقیقات – اهداف و چهارچوب بررسی رودخانه‌ای – روشهای بررسی شامل عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی – سنجش از راه دور- هیدروگرافی – دستگاههای مورد نیاز و مشخصات و محل نصب آنها (مانند دستگاههای اندازه‌گیری دبی – سرعت – رسوب) زمین شناسی و ژئوتکنیک – اندازه‌گیری کیفیت آب – آبهای زیرزمینی – مطالعات فرهنگی و اجتماعی
- اصطکاک در مجاری آبرفتی با بستر متحرک
- مفهوم رژیم و طراحی کانالهای با بستر متحرک (روشهای تجربی – روشهای نیمه تئوری)
- کاربرد مدلهای فیزیکی
-

فصل دوم: بهسازی و اصلاح مسیر رودخانه

اهداف بهسازی و اصلاح مسیر (افزایش ظرفیت آبگذری، تنظیم تراز آب، کاهش خطرات سیل، کنترل فرسایش، کشتیرانی و ...)

پارامترهای اساسی در بهسازی و اصلاح مسیر (دبی، رسوب، عمق، عرض، شیب، ضریب زبری، راستا، ....)

طرح اصلاح مسیر (ضوابط و اصول بهسازی و اصلاح مسیر) شامل بررسی بازه‌های دیواره‌ها، پیوستگی سازه‌ها، پاکسازی و بهسازی بستر، بهسازی و اصلاح شاخه‌های فرعی، ....

روشهای بهسازی و اصلاح مسیر شامل:

کانال میان‌بر (Cuttoff or Bendcut): ضوابط طراحی، طراحی کانالهای هادی (Pilot Channel)، طراحی جابجایی آبراه، افزایش ظرفیت میان‌بر، پرکردن قوسهای قدیمی، ...، هزینه احداث میان‌برها و کانالهای هادی، روش‌های احداث و نگهداری میان‌برها

انسداد شاخه‌های غیرمفید فرعی، نیاز به انسداد رودخانه و موارد لزوم آن، تاثیرات هیدرولیکی انسداد، آنالیز ظرفیت در قسمتهای کاهش یافته مقطع رودخانه، مقاومت هیدرولیکی مصالح انسداد، روشهای اجرا و نگهداری

کاهش ضریب زبری و پاکسازی موانع یا Cleaning and Snaging، امکانپذیری، تاثیر پاکسازی موانع بر سازه‌های رودخانه‌ای و فرسایش رودخانه، تاثیر محیط زیست، اثرات دیگر، ..

لایروبی رودخانه‌ها، مبانی تئوریک، امکانپذیری، روشهای لایروبی، مختلفهای تخلیه، تاثیرات لایروبی بر محیط زیست، تاثیرات بر آلودگی آب رودخانه،...

ضوابط طراحی خاکریزها کوتاه و بلند، بررسی پی – اصول مطالعه، طراحی و اجراء

تثبیت بستر رودخانه‌ها، سازه‌های تثبیت بستر Bed Stabilizers، سازه‌های شیب شکن Drop Structuresو ضوابط طراحی آنها، بررسی تاثیرات تثبیت بستر، ...

لایروبی رودخانه‌ها، مبانی تئوریک، امکانپذیری، روشهای لایروبی، محلهای تخلیه، تاثیرات لایروبی بر محیط زیست، تاثیرات بر آلودگی رودخانه‌ها، ...

کانالیزه کردن جریان، محدود کردن عرض رودخانه جهت ایجاد شرایط مناسب برای کشتیرانی و .. آزاد کردن زمینهای زراعی اطراف رودخانه جهت کشت، ..

عملی: با توجه به مطالب نظری عنوان پروژه توسط استاد مربوطه متناسب با 68ساعت کار عملی تعیین و تعریف می‌گردد. پروژه مزبور با استفاده از نرم افزارهای مناسب مطالعه، طراحی، محاسبه و تدوین گردیده و جهت ارزیابی به استاد درس تحویل می‌شود.

منابع

- River Mechanics (مکانیک رودخانه) نویسنده Julien ترجمه
- راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه نشریه شماره ۳۸۳ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
- مبانی طراحی سازه های کنترل فرسایش در رودخانه ها و آبراهه ها نشریه شماره ۴۱۷ معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور
- راهنمای طراحی ساخت و نگهداری آبشکن های رودخانه ای نشریه شماره ۵۱۶ معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

مفهوم ساماندهی رودخانه
River Restoration

«ساماندهی رودخانه »عبارت از بهبود« سامانه رودخانه» در یک بازه معین (شامل مقطع اصلی و دو بال ساحلی رودخانه) با اهداف چند منظوره است.هدف اصلی بازیابی سیمای طبیعی رودخانه با تاکید بر احیای« سامانه زیستایی رودخانه» و تامین حیات مجدد گونه های شاخص گیاهی و جانوری رودخانه است.اهداف دیگر نظیر سیلاب , تثبیت کناره ها , کشتیرانی و غیره نیز می تواند مورد نظر باشد.در مجموعه این اهداف , ارزیابی رفتار رودخانه در شرایط طبیعی و موجود آن و نیز عکس العمل احتمالی رودخانه به تغییرات در «سامانه زیستایی رودخانه» مورد نظر قرار می گیرد.

در حقیقت «ساماندهی رودخانه» کاربرد دانش علمی , فنی , اقتصادی , زیستی و زیبا شناسی را در محیط طبیعی و دینامیکی رودخانه می طلبد.

اهداف مطالعات ساماندهی رودخانه:

- -تجدید حیات و توسعه پایدار سامانه رودخانه: بازیافت شرایط طبیعی و جنبه های زیستی رودخانه , حذف و یا تعدیل تاثیرات ناهنجار بشر در طی دو قرن گذشته.
- - بهسازی محیط زیستایی رودخانه اصلی: کاهش بار رسوبی به منظور کنترل مسأله ته نشست مواد در نواحی پایین دست رودخانه و بهبود کیفیت آب , کنترل آلاینده های فیزیکی، شیمیایی و زیستی از منابع معین (فاضلاب شهری , صنعتی و پرورش ماهی) و منابع نا معین (زهکش ها و هرزآب کشاورزی) ورودی به رودخانه در حد ظرفیت پالایش طبیعی رودخانه, تأمین جریان زیست محیطی(حداقل جریان رودخانه جهت رفع نیازهای زیستایی) به منظور تأمین ظرفیت خودپالایی (هواگیری و تصفیه) و حفاظت زیستگاه آبزیان (ماهیان, ریزآبزیان جانوری و گیاهی)
- -حفاظت حیات ساحلی رودخانه: نوار ساحلی رودخانه , به عنوان یک حریم طبیعی بخشی از فضایی سامانه حیاتی رودخانه محسوب می شود.گستره عرض این ناحیه در رودخانه های سیلابدشتی قابل توجه بوده و اغلب مرطوب و یا به صورب تالاب های فصلی یا باتلاق هستند.این ناحیه به صورت یک نوار حیاتی و زیستگاه طبیعی (برای جانوران زمینی , پرندگان , حشرات, گیاهان و گاهی گونه های منحصر به فرد) محسوب می شود.

- -اصلاح مسیر رودخانه : بهسازی و اصلاح فرم رودخانه , راستا, شیب ,مقاومت بستر جریان و هندسه مقاطع عرضی به منظور افزایش ایمنی در برابر سیلاب , بهسازی ظرفیت انتقال رسوب , کاهش فرسایش دیواره ها , تأمین قابلیت کشتیرانی , کاهش احتمال خطر یخ زدگی سطح آب رودخانه.
- - حفاظت و یا تثبیت دیواره های رودخانه:در راستای طبیعی و موجود رودخانه یا در راستای اصلاح یافته.
- .- حفاظت تأسیسات درون رودخانه ای:پل ,خطوط حیاتی تقاطعی (خط انتقال آب , نفت, گاز , برق و غیره), سازه های آبی (سد های انحرافی , سیفون و غیره)
- -جلوگیری از پیشروی جانبی رودخانه به نواحی ساحلی:تهدید و تخریب خطوط حیاتی (راه , مسیر انتقال نیرو, شبکه آب و گاز...) مناطق مسکونی(شهری-روستایی)و تاسیسات مهم ساحلی(کارخانه, پالایشگاه , فرودگاه و غیره)

- -کنترل مرزهای پیشروی سیلاب :کاهش خطرات متناوب سیلاب در ساحل بالای رودخانه و یا سیلابدشت رودخانه.
- -حفاظت نواحی خاص از سیلاب دشت رودخانه: حفاظت موضع مورد تهدید(شهرک ،روستا و تأسیسات)در برابر آسیب پذیری متناوب ناشی از گستره سیل بر روی سیلابدشت رودخانه.
- -کاربری رودخانه برای اهداف خاص:تأمین راستا ، عمق ، عرض و سرعت جریان مناسب جهت کشتیرانی، ماهیگیری و گردشگری برای برداشت مصالح رودخانه ای ،برای برداشت آب با روش ساخت سامانه پمپاژ از رودخانه ، ساخت سدهای انحرافی ، اصلاح شبکه های سنتی آبگیری مستقیم از رودخانه.
- -حفاظت ، بهسازی و یا بازسازی بناهای تاریخی و مذهبی:در داخل رودخانه اصلی(پل های تاریخی ، تأسیسات آبی قدیمی) و یا در ساحل بالای رودخانه(عمارات تاریخی ، امامزاده و غیره)
- -ارزیابی پایداری و یا عکس العمل رودخانه به تغییرات:در اثر ساخت سدهای مخزنی ، در اثر کارهای مهندسی رودخانه و در اثر برداشت مصالح رودخانه ای و غیره.

- -بهسازی رودخانه در محدوده شهری:موضوع رودخانه ای شهری از جنبه های خاص زیر دارای اهمیت است.

از نظر ایمنی شهر در مواقع سیلابی شامل:تأمین ظرفیت انتقال سیل معین در طرح شهری ، بهسازی نوار ساحلی و طرح خیابان ساحلی در دو بال رودخانه به عنوان بستر سیلاب بزرگتر ،بهسازی شبکه تخلیه زهکش شهری به رودخانه و یا احداث دریاچه های مصنوعی تأخیری در شبکه شهری.

از نظر زیبا سازی شامل : نمایش راستای مارپیچی رودخانه ،هدایت جریان در یک مقطع اصلی ،توسعه تلاطم سطحی بدون ایجاد نواحی چرخشی جریان و توسعه نوار سبز ساحلی.

از نظر ایمنی گردشگران در نوار ساحلی شامل : اجتناب از دیواره سازی قائم و عمیق ، احداث نرده های ایمنی و در عین حال دسترسی آسان به بستر رودخانه.

از جنبه تفریحات سالم شامل: تأمین قابلیت ماهیگیری ، قایقرانی و غیره ازطریق ایجاد عمق ، سرعت و هواگیری و پالایش مناسب جریان.

- -تثبیت و حفاظت رودخانه های مشترک مرزی.

Three Years of
Natural
Recovery

روش های عمومی ساماندهی رودخانه:

طرح ساماندحی رودخانه به علت تأثیر متغیر های فراوان تاکنون به ضوابط عمومی و خطوط اصلی معین و روشنی برای انتخاب و طراحی بهترین روش ها دست نیافته است

در حقیقت ، ساماندهی رودخانه کاربرد دانش علمی ، فنی ، اقتصادی ، اجتماعی ، زیستی و زیباشناسی را در محیط طبیعی و دینامیکی بازه رودخانه مورد نظر می طلبد.اهداف کنترل سیلاب و کاهش خطرات رودخانه ای برای مردم ساکن در نوار ساحلی رودخانه و نیازمندی های طبیعی و اجتماعی آنان ممکن است که منجر به انتخاب یک و یا ترکیبی از چهار راهکار اصلی در جدول (۲-۱)گردد.

در این میان

بهسازی بستر ، اصلاح مسیر رودخانه ، مقاوم سازی دیواره های رودخانه و گاه کنترل شیب بستر رودخانه به ترتیب راهکارهای عمومی تر و مناسب تری برای کنترل فرسایش دیواره ها ، خطر تغییرات رودخانه ای و تهدید اراضی ساحلی و سیلابدشت رودخانه به شمار می آیند

جدول ۲-۱- راهکارهای اصلی در کنترل سیلاب و کاهش خطرات رودخانه‌ای [۱۰۴]

راهکار اصلی	روش‌ها	ملاحظات
حذف عوامل تخریبی	احداث سد مخزنی یا مخازن تاخیری در بالادست	امکانات فنی و تخصصی بسیار می طلبد. هزینه زیاد می‌خواهد. در چارچوب اهداف چند منظوره قابل طرح است.
	انحراف مسیر رودخانه، انشعاب رودخانه، میانبری در پیچ رودخانه.	محدودیت طبیعی و اجتماعی دارد. توازن انرژی رودخانه باید حفظ گردد.
تضعیف نیروهای تخریبی	بهسازی بستر رودخانه، لایروبی، حذف جزایر رسوبی، حذف گیاهان در بستر رودخانه	باعث افزایش ظرفیت انتقال رودخانه و بهبود جریان می‌گردد.
	اصلاح مسیر رودخانه، تعدیل راستا، حذف پیچ‌های تند کاهش شدت تغییرات مقاطع عرضی	سبب کاهش تلاطم و گرداب‌های موضعی جریان می‌گردد. نیاز به کاربرد روش‌های حفاظتی نیز دارد.
مقاوم‌سازی دیواره‌های رودخانه	حفاظت مستقیم دیواره‌ها	اصلاح شکل فیزیکی دیواره‌ها ایجاد روکش حفاظتی مناسب
	حفاظت غیرمستقیم – انحراف دهنده‌ها	انحراف و دورسازی حمله آب از دیواره‌ها ایجاد پتانسیل طبیعی تثبیت کناره‌ها
	حفاظت غیرمستقیم – آرام کننده‌ها	آرامش جریان، کاهش سرعت و تلاطم در کناره‌ها ایجاد پتانسیل طبیعی تثبیت کناره‌ها
کنترل بستر	تنظیم و تثبیت شیب بستر رودخانه	کاهش و کنترل شیب کف جلوگیری از گسترش آبشستگی جلوگیری از فرسایش و تخریب دیواره

راهنمای اقدامات بهسازی بستر و سواحل رودخانه با هدف ایمنی سامانه رودخانه (از طریق افزایش ظرفیت انتقال جریان سیلاب ، بهبود ظرفیت انتقال رسوب ، کاهش فرسایش دیواره ها ، و بهبود شرایط بهره برداری از رودخانه)در جدول (۲-۲) ارائه گردیده است.در این جدول ، روش های مناسب فیزیکی و طبیعی در مدیریت پایدار سامانه رودخانه موجود(بستر اصلی دیواره های ساحل بالا و حریم رودخانه) معرفی گردیده است .

جدول ۲-۲- راهنمای بهسازی بستر و سواحل رودخانه براساس هدف کنترل سیلاب [۷۹]

راهکار اصلی	موقعیت و نوع اقدامات				
	دیواره مستقیم	دیواره خارجی پیچ	دیواره داخلی پیچ	بستر رودخانه	ساحل بالای رودخانه
بهبود فیزیکی بستر	حذف موانع و نامنظمی اصلاح شیب تعریض مقطع لایروبی	حذف موانع و نامنظمی‌ها اصلاح شیب تعریض مقطع حذف بار نقطه‌ای لایروبی تعدیل انحنای پیچ	تعریض مقطع حذف بار نقطه‌ای برداشت و لایروبی	حذف بارهای رسوبی لایروبی	
مدیریت پوشش گیاهی	قطع درختان ضعیف حذف مواد جامد و آشغال کاشت گیاهان بازسازی پوشش گیاهی کنترل رشد گیاهی طرح آبشکن درختی	قطع درختان ضعیف حذف مواد جامد و آشغال کاشت گیاهان بازسازی پوشش گیاهی کنترل رشد گیاهی طرح آبشکن درختی	حذف پوشش گیاهی از بار رسوبی شبکه‌بندی با مصالح ترکه‌ای	قطع درختان حذف مواد جامد و آشغال حذف پوشش گیاهی از بارهای رسوبی	قطع درختان ضعیف کاشت گیاهان بازسازی پوشش گیاهی پوشش ترکه‌ای
مدیریت اراضی ساحلی		کنترل راه‌های دسترسی طرح هیدرولیکی سازه‌های مجاور تعیین بستر و حریم			ایجاد پوشش گیاهی کنترل آبیاری زهکشی دیواره‌ها بهبود راه دسترسی تعیین بستر و حریم

- اهداف زیست محیطی و حیات پایدار سامانه رودخانه نیازمند ترکیبی از اقدامات مدیریتی و کاربرد روش های طبیعی و یا طبیعی-سازه ای در ساماندهی بازه گسترده تری از یک رودخانه است.جدول (۲-۳) راهکارهای ساماندهی رودخانه ، جدول (۲-۴) راهنمای حفاظت دیواره های رودخانه و جدول(۲-۵)راهکارهای مناسب مدیریتی سیلابدشت رودخانه را بر اساس اهداف خاص زیست محیطی ارائه می نماید

جدول ۲-۳- راهکارهای ساماندهی رودخانه براساس اهداف خاص زیست محیطی [۱۰۴]

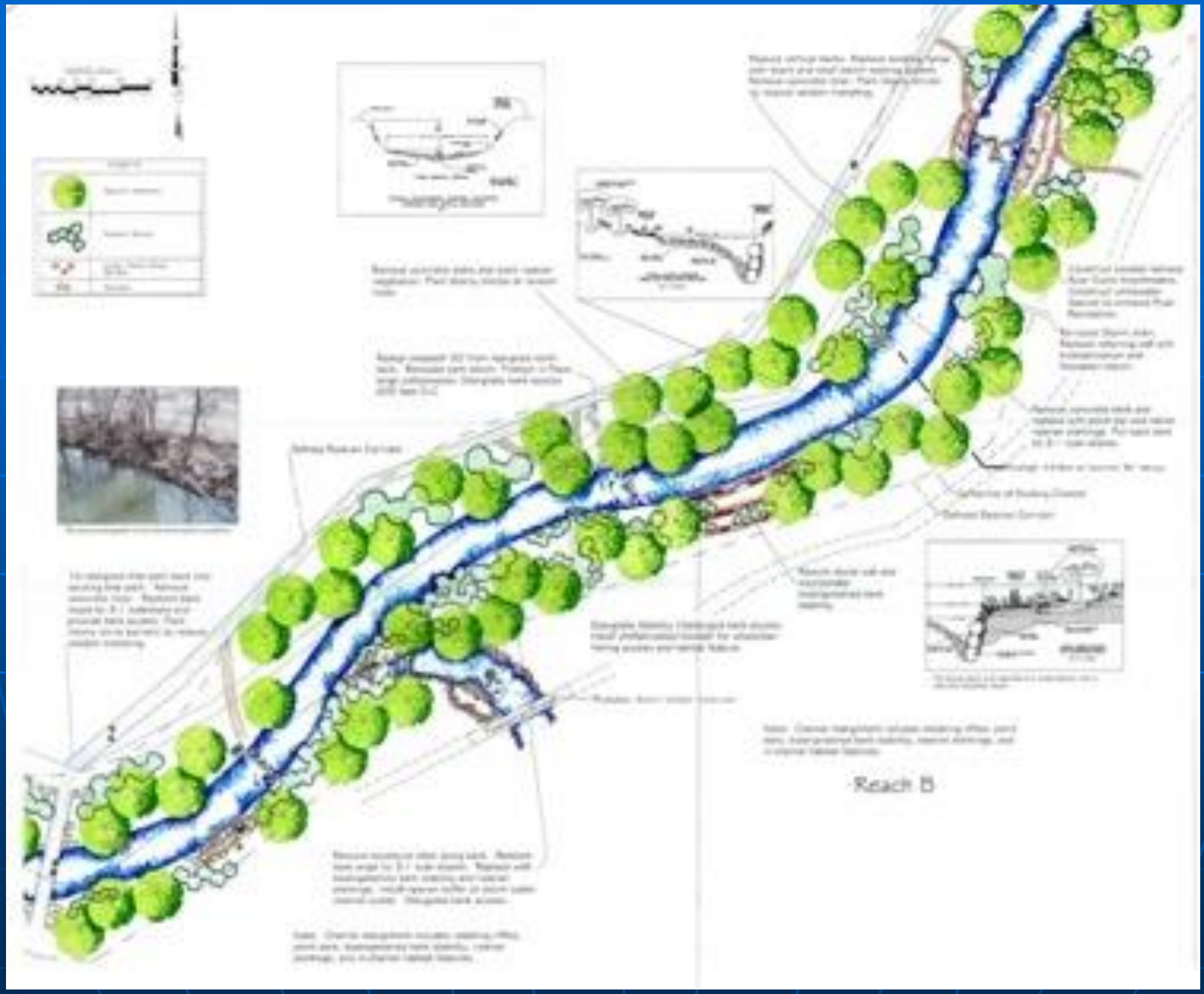
اهداف	راهکارها
کاهش فرسایش بستر و دیواره‌ها	ایجاد راستای مارپیچی، احداث سازه‌های کنترل شیب، حفاظت سواحل، حفاظت بستر، پوشش آبراهه، ایجاد پوشش گیاهی یا نوار سبز روی دیواره و ساحل بالا
جلوگیری از رسوب‌گذاری در بستر	ایجاد آبراهه میانی با جریان کم یا متوسط، احیای پوشش گیاهی موجود، پاکسازی هدفمند مواضع خاص بستر از آشغال و موانع، ایجاد نوارهای سبز
جلوگیری از افت سطح آب زیرزمینی	احداث سازه‌های کنترل سطح آب، درختکاری، نگهداری و حفاظت پیچ‌های رودخانه
تامین جریان‌های کم عمق و با سرعت کم	ایجاد آبراهه میانی با جریان کم یا متوسط، و مسیل و آبراهه‌های انحرافی، ایجاد پشته و حوضچه در بستر، احداث سازه‌های زیستگاهی در مسیر رودخانه، سازه‌های کنترل سطح آب، و رسوب‌گیرها
حفظ کیفیت آب	پاکسازی هدفمند محیط رودخانه ایجاد فشردگی در دیواره‌های اصلی رودخانه، ایجاد نوارهای سبز، ایجاد آبراهه میانی با جریان کم یا متوسط، و مسیل و آبراهه‌های انحرافی، انحراف جریان برای برداشت مصالح
حفاظت از زیستگاه آبزیان	پاکسازی هدفمند محیط رودخانه احداث سازه‌های زیستگاهی در مسیر رودخانه اصلاح دیواره‌های اصلی رودخانه، تامین راستای مارپیچی، ایجاد پشته و حوضچه در بستر، احداث بسترهای زیستی و گذرگاه ماهی، سازه‌های کنترل سطح آب، حفاظت از پیچ‌های رودخانه ممنوعیت های فصلی در فعالیت های ساختمانی
جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی در نوار ساحلی رودخانه	پاکسازی هدفمند محیط رودخانه اصلاح دیواره‌های اصلی رودخانه، درختکاری و ایجاد پوشش گیاهی، احیای پوشش گیاهی موجود، حفاظت از جزایری که در اثر میانبری پیچ‌ها ایجاد شده‌اند
ایجاد و نگهداری تنوع زیست ساحلی	مدیریت مجرای رودخانه، ایجاد پوشش گیاهی، ساماندهی مواد حاصل از لایروبی و یا برداشت مصالح
ایجاد تالاب‌ها	درختکاری در مناطق خاص، حفاظت از برکه های هلالی شکل حاصل از میانبری پیچ‌ها، جایابی مواد حاصل از لایروبی و یا برداشت مصالح
اصلاح و حفاظت از منظرگاه زیبای بستر رودخانه	ایجاد راستای مارپیچی، ایجاد پشته و حوضچه در بستر، اصلاح دیواره‌های اصلی رودخانه، احداث سازه‌های کنترل سطح آب، نمایش زیبایی‌های جریان آب، کاربرد مصالح تزیینی در دیواره‌های رودخانه
اصلاح و حفاظت از منظرگاه زیبای ساحلی رودخانه	پاکسازی هدفمند محیط رودخانه اصلاح دیواره‌های اصلی رودخانه، ایجاد پوشش گیاهی، پخش مواد حاصل از لایروبی در امتداد خطوط تراز، نگهداری نوارهای سبز، زیباسازی سطوح بتنی، نمایش زیبایی‌های جریان آب
اصلاح و حفاظت از فرصت های تفریحی رودخانه	پاکسازی هدفمند محیط رودخانه ایجاد آبراهه میانی با جریان کم یا متوسط، احداث سازه‌های کنترل سطح آب، حفاظت از برکه های هلالی شکل حاصل از میانبری پیچ‌ها

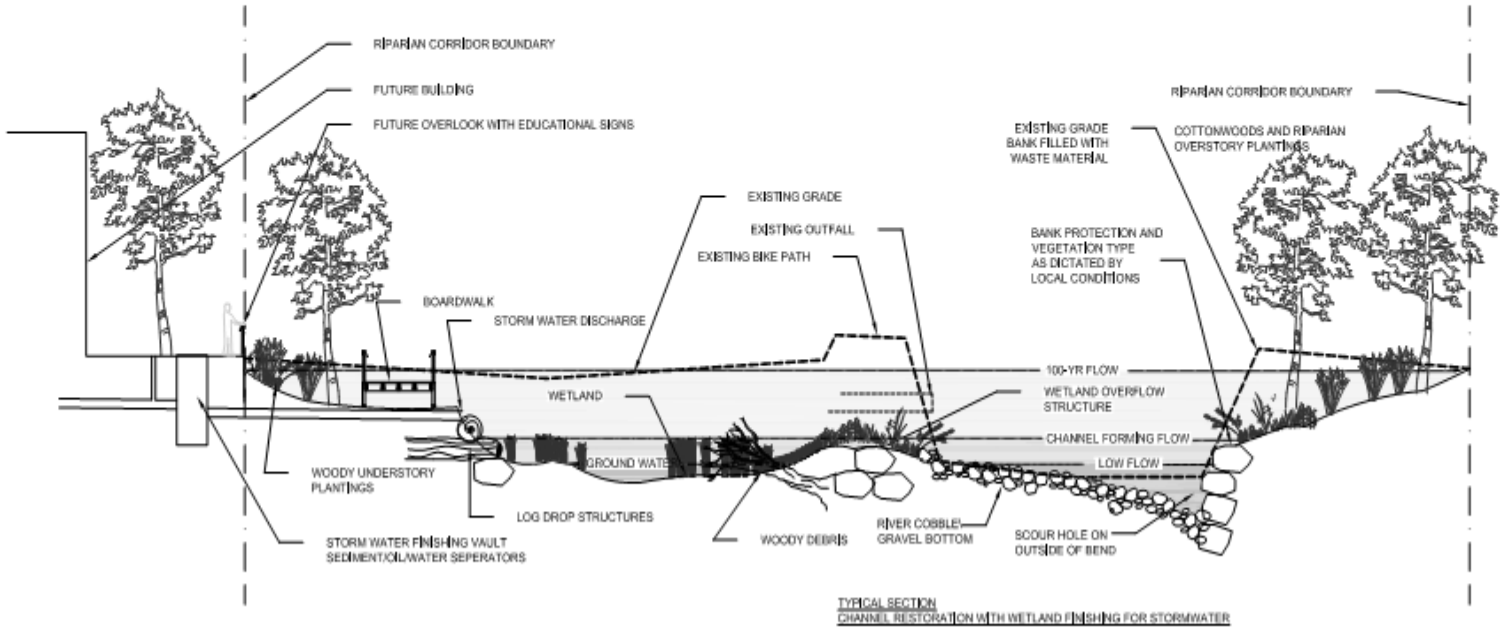
جدول ۲-۴- راهنمای حفاظت دیواره‌های رودخانه با اهداف خاص زیست محیطی [۱۰۴]

اهداف	راهکارها
حفظ و بهبود ارزش زیستگاه‌های ساحل رودخانه	ایجاد روکش‌های مسلح، حفاظت پنجه دیواره، شیب‌دارکردن ساحل، احیای مجدد پوشش گیاهی، ایجاد پوشش گیاهی، مدیریت مجرای جریان (اصلاح مسیر آبراهه)، حصارکشی و ایجاد مناطق حفاظت شده، محدودیت رشد گیاهان شناور
تامین بستر مناسب و پایدار برای حیات بی مهرگان بزرگ (مار و...)	استفاده از روکش سنگ‌ریزه‌ای یا انباشت سنگی، تورسنگ، یا موانع سخت (آبشکن‌های کوتاه)
ایجاد و حفاظت زیستگاه ماهیان	ایجاد پوشش درختی، احداث دیواره‌ها با هسته خاکی، موانع سخت و آرام کننده‌های درختی
بهبود و نگهداری مناظر زیبای رودخانه	ایجاد پوشش گیاهی، کاربرد روش‌های طبیعی- سازه‌ای (روکش‌های ترکیبی، آبشکن‌ها با هسته خاکی، ایجاد تراس‌ها روی دیواره ایجاد پوشش گیاهی بر روی روکش سنگ‌ریزه‌ای)، حصارکشی و ایجاد مناطق حفاظت شده، پاکسازی هدفمند
دسترسی به رودخانه برای حیات وحش و یا تفریحات	کاربرد روکش‌های طبیعی- سازه‌ای، حفاظت و بازسازی تراس‌های دیواره رودخانه، شیب‌دارکردن ساحل و پوشش مجدد گیاهی، تغییر مسیر آبراهه ایجاد پوشش گیاهی بر روی روکش سنگ‌ریزه‌ای، مدیریت مجرای جریان (اصلاح مسیر آبراهه)

جدول ۲-۵- راهکارهای مدیریت سیلابدشت رودخانه با اهداف خاص زیست محیطی [۱۰۴]

اهداف	راهکارها
تامین زیستگاه ماهیان	طرح‌های ویژه برای گودبرداری و حوضچه‌های ذخیره، احداث سازه‌های کنترل سطح آب، ایجاد پناهگاه ماهیان در مناطق گودبرداری شده
حفاظت یا ایجاد تالاب‌ها	راهکارهای پیشگیرانه، طرح مناسب راستای خاکریزها به‌منظور افزایش اراضی حاشیه رودخانه، پاکسازی حداقل محیط، طراحی آبراه‌های زهکشی با ظرفیت بیش‌تر، ایجاد جزایر مصنوعی در گودال‌های برداشت مصالح و حوضچه‌های ذخیره، ایجاد پوشش گیاهی
حفاظت یا ایجاد زیستگاه‌ها در اراضی مشرف به دامنه سیلابدشت	راهکارهای پیشگیرانه، حفاظت از درختان، پاکسازی حداقل محیط، بازسازی خاکریزها، ایجاد پوشش گیاهی، نرده‌کشی با مصالح طبیعی، مدیریت و نگهداری مناطق با استفاده از پوشش گیاهان مناسب ایجاد پوشش گیاهی
تامین فرصت های تفریحی و گردشگری	طرح ویژه برای گودال‌های حاصل از برداشت مصالح و حوضچه‌های ذخیره، ایجاد راه و کوره راه‌ها، ایجاد مناظر طبیعی جذاب و دیدنی، احداث مکان‌های شیب‌دار جهت پیاده و سوار کردن قایق از اتومبیل، ایجاد مناطق قابل دسترسی برای ماهیگیری، ایجاد سواحل برای شنا
اصلاح و حفاظت مناظر زیبا	کاشت گیاهان زینتی، طرح ویژه برای گودال‌های حاصل از برداشت مصالح و حوضچه‌های ذخیره، پلکانی کردن دیواره‌های سیل‌بند، استفاده از معماری ویژه برای احداث دیواره‌های سیل‌بند و ایستگاه‌های پمپاژ یا سازه‌های دیگر


Reach B



TYPICAL SECTION
CHANNEL RESTORATION WITH WETLAND FINISHING FOR STORMWATER

OGDEN RIVER RESTORATION
VEGETATION DETAILS

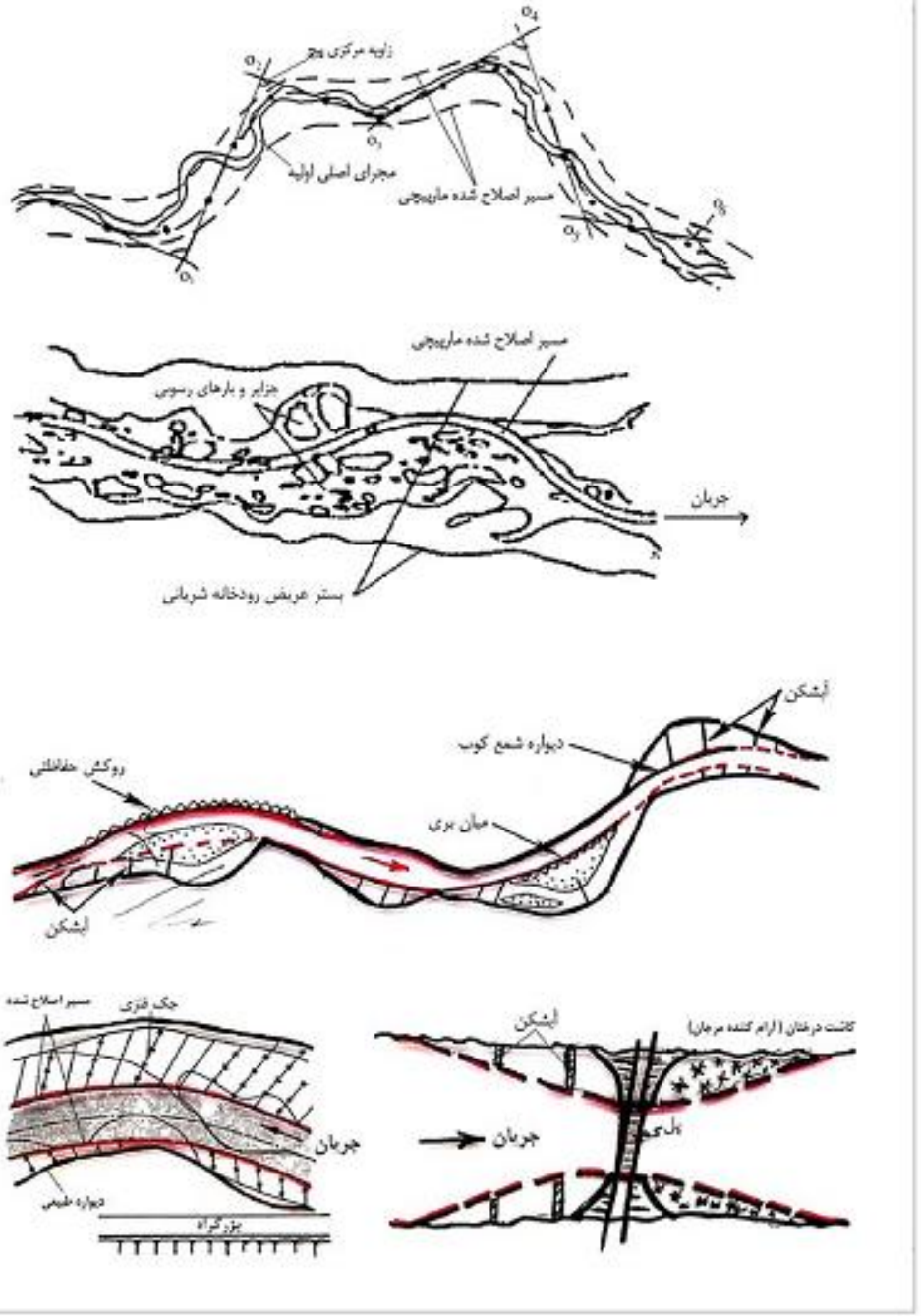
No. | Revisions/Issues | Date

OGDEN UTAH
it's all within reach

اصلاح مسیر رودخانه:

اصلاح مسیر رودخانه شامل تعدیل راستای جریان و بهبود شرایط فیزیکی و هیدرولیکی هندسه رودخانه در یک بازه معین برای ظرفیت انتقال جریان (سیلاب مورد نظر) و تأمین پایداری نسبی رودخانه (کاهش تأثیرات فرسایش و رسوب گذاری) می باشد. به عبارت دیگر، اصلاح مسیر شامل : تغییر در عرض ، عمق ، شیب ، مقاومت جریان (ضریب زبری) و راستای رودخانه است به طوری که جریان آب در یک راستای مارپیچی (با پیچ های معکوس و متوالی ،با انحنای نسبتا زیاد و با غیر یکنواختی تدریجی در هندسه مقاطع عرضی متوالی) ، به موازات دیواره های رودخانه هدایت گردیده و در وضعیت جدید تثبیت شده و پایدار گردد. در این حال ، مقطع و هندسه هیدرولیکی رودخانه باید ظرفیت انتقال جریان آب و رسوب مورد نظر (در سیل طرح) را داشته باشد .

شکل (2-1)نمونه هایی از طرح اصلاح مسیر ،تثبیت و حفاظت دیواره های رودخانه ها را نشان می دهد.



شکل ۲-۱- نمونه‌هایی از طرح اصلاح مسیر رودخانه‌ها [۴۵]

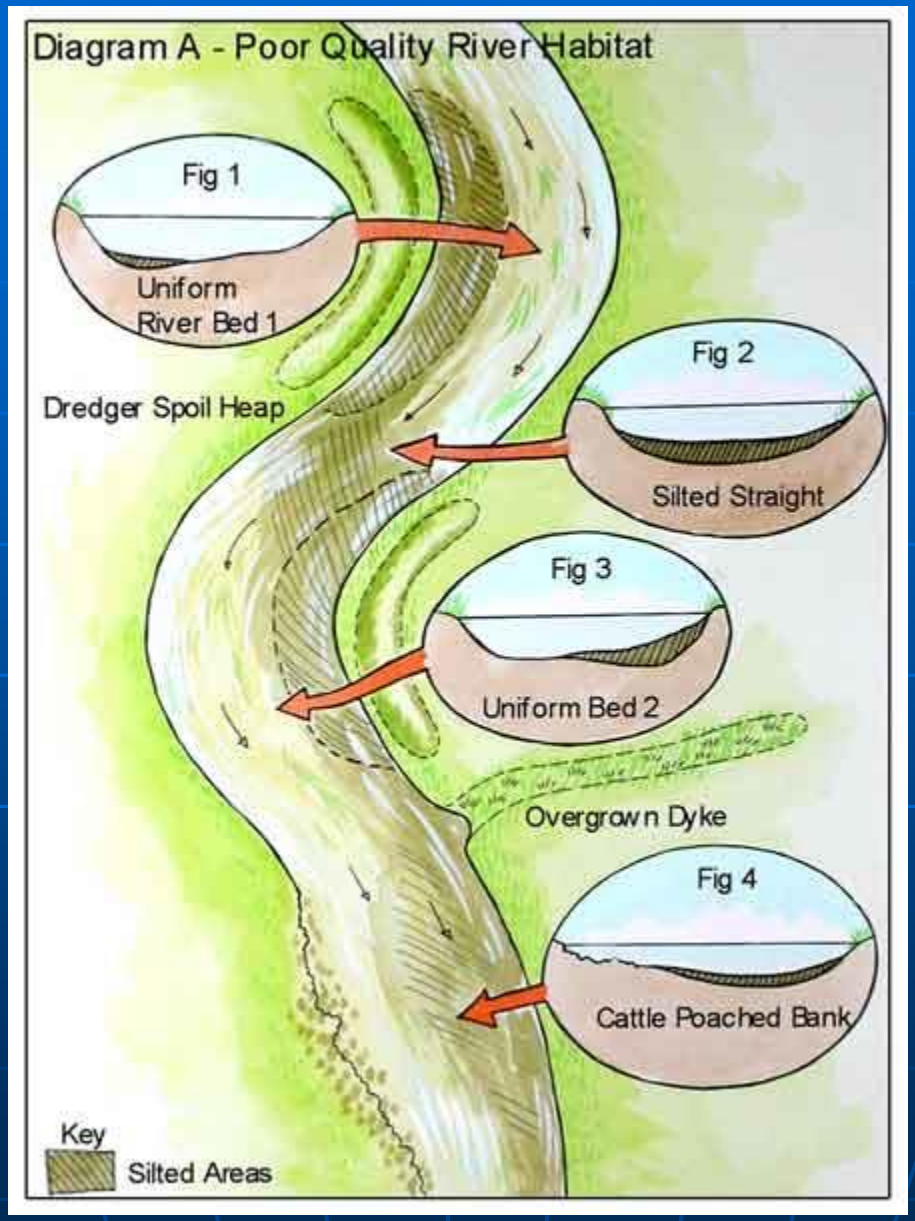


Diagram A - Poor Quality River Habitat
Fig 1
Uniform
River Bed 1
Dredger Spoil Heap
Fig 2
Silted Straight
Fig 3
Uniform Bed 2
Overgrown Dyke
Fig 4
Cattle Poached Bank
Key
Silted Areas

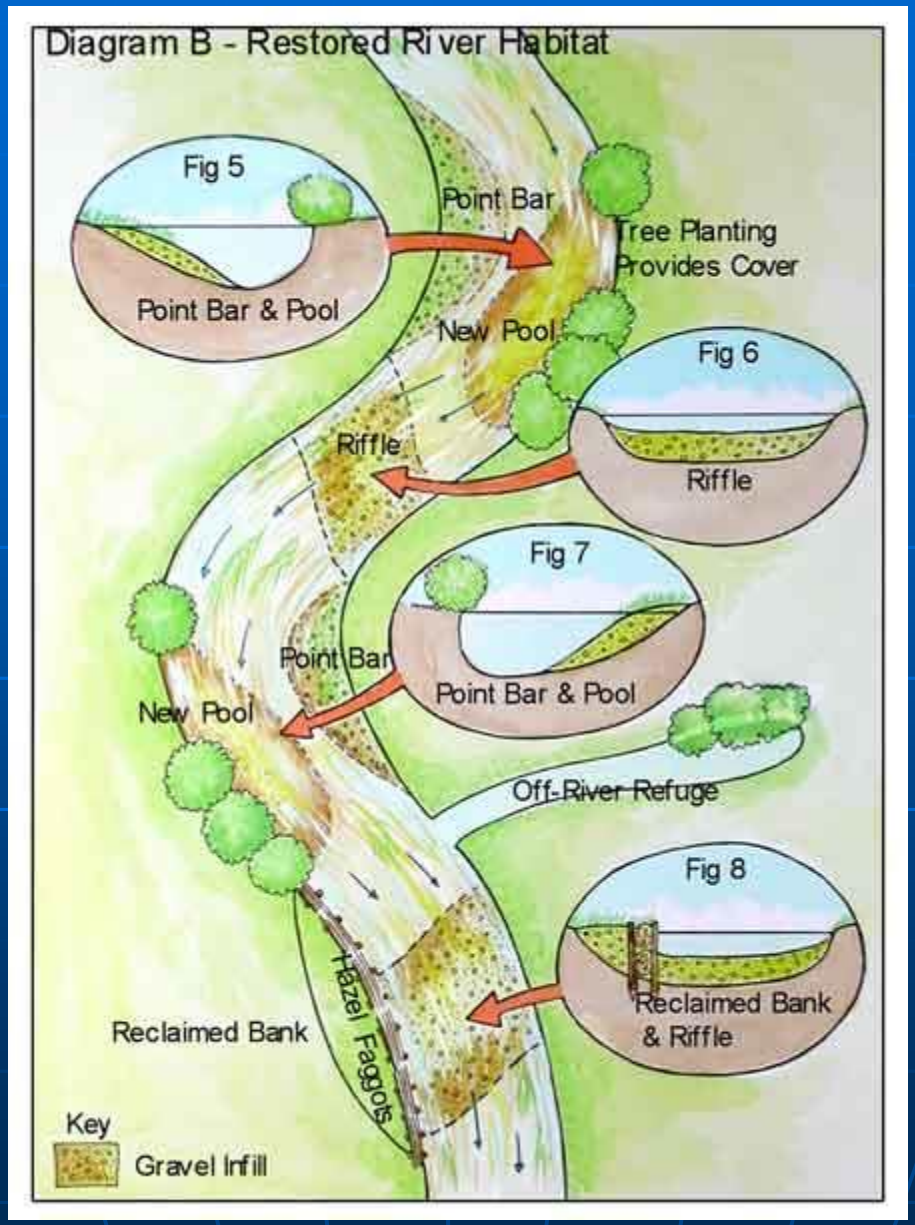


Diagram B - Restored River Habitat
Fig 5
Point Bar
Tree Planting Provides Cover
Point Bar & Pool
New Pool
Fig 6
Riffle
Riffle
Fig 7
Point Bar
Point Bar & Pool
New Pool
Off-River Refuge
Fig 8
Hazel Faggots
Reclaimed Bank & Riffle
Reclaimed Bank
Key
Gravel Infill

راهکارهای اصلاح مسیر رودخانه

اصلاح مسیر و تثبیت بازه رودخانه ممکن است شامل یک و یا ترکیبی از موارد زیر باشد

- -بهسازی بستر و کناره های رودخانه به منظورکاهش مقاومت جریان ، تحدید نواحی جریان غیر مؤثر و یا چرخشی ، کاهش تراز سطح آب ، افزایش ظرفیت انتقال سیلاب مورد نظر و در نتیجه کنترل و ایمنی در برابر خطرات سیلاب و بهبود شرایط زیستی سامانه رودخانه با توجه به راهکارهای پیشنهادی در جداول (۲-۲) تا (۲-۵).
- -تثبیت بستر و شیب کف به منظور کاهش توان جریان از طریق کنترل شیب و فرسایش عمومی کف بستر با احداث کف بند ها و یا آبشارهای کوتاه و به منظور کاهش شدت تخریب پنجه دیوارها از طریق حفاظت طولی دیواره پایین و یا احداث صفحات مستغرق.
- -تثبیت راستای عمومی و عرض بستر کویر در پهنه سیلابدشت رودخانه از طریق احداث سازه های طولی (مانند دیواره های ساحلی خاکریز) و یا سازه های تقاطعی (نظیر آبشکن ها)
- -اصلاح راستای مارپیچی (شعاع انحنا و طول بازه حدفاصل پیچ ها) و هندسه هیدرولیکی مجرای اصلی رودخانه (عرض و عمق آبراهه) از طریق احداث سازه های آرام کننده جریان (نظیر شبکه های آبگذر ، اسکله ای و حفاظ نرده های انحراف دهنده جریان(نظیر آبشکن ها) و یا سازه های حفاظت طولی و روکش ها.

راهنمای اصلاح مسیر رودخانه

حفاظت های موضعی و یا اصلاح مسیر بدون توجه به پایداری سامانه رودخانه ، عموما آسیب پذیر بوده اند. موفقیت طرح های اصلاح مسیر بستگی به رعایت دو اصل مهم دارد.

اول توجه به الگوی عمومی رودخانه در بازه طولانی تر برای انتخاب راستا

و دوم عدم تغییر قابل ملاحظه بیلان بده جریان و رسوب رودخانه در مسیر بالادست تا پایین دست بازه.

بر اساس بررسی ها و نتایج تجربی به دست آمده ، رعایت ضوابط و نکات زیر در طرح اصلاح مسیر رودخانه ها ضروری است

1. بررسی بازه های پایدار
2. راستای رودخانه
3. انحنا و مارپیچ رودخانه
4. عرض رودخانه
5. مواضع تثبیت
6. پیوستگی حفاظت و تثبیت دیواره ها
7. بده و ارتفاع سطح آب
8. تراز بالای دیواره ها
9. شیب دیواره ها
10. پاکسازی و بهسازی بستر
11. بهسازی شاخه های فرعی

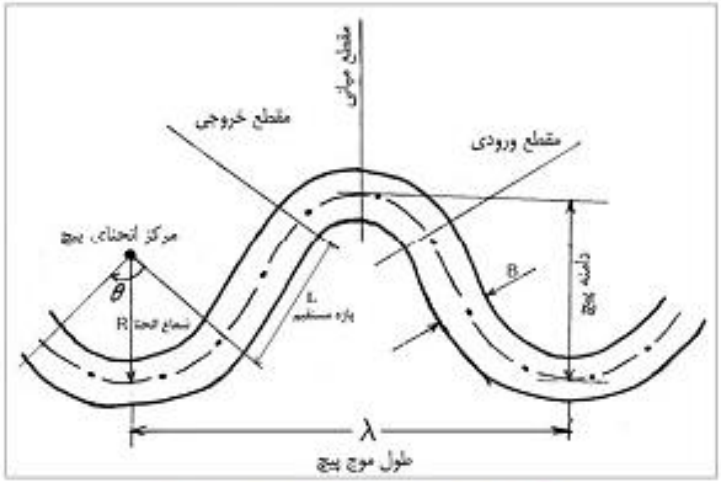
بررسی بازه های پایدار

بهترین راهنمای اصلاح مسیر، خصوصیات بازه های مختلف و پایدار در رودخانه مورد مطالعه است. متوسط مقادیر شیب، عرض، عمق، شعاع انحنای پیچ، و ضریب مارپیچی (نسبت طول راستای رودخانه اصلی به طول دره رودخانه در حد فاصل دو مقطع) بازه های پایدار، راهنمای مناسبی برای انتخاب عوامل هندسه هیدرولیکی در بازه مورد نظر خواهد بود. همچنین با توجه به خصوصیات بازه بالا دست و پایین دست، باید از ایجاد تغییرات شدید و ناگهانی در ابعاد هندسه هیدرولیکی بازه مورد نظر اجتناب نمود

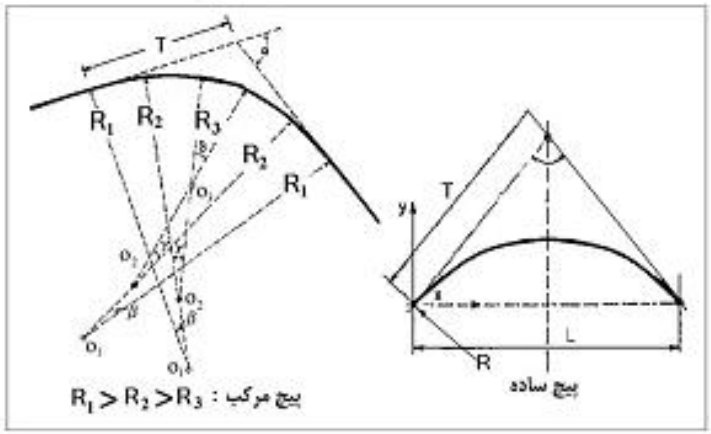
راستای رودخانه

در شرایطی که راستای رودخانه نا مناسب بوده و پیچ های تند و یا تغییرات شدید عرضی سبب خطرات رودخانه ای گردد ، تنظیم راستا و امتداد دیواره های رودخانه نسبت به یک محور مناسب ضروری می باشد. به طور کلی، بازه های مستقیم و طولانی رودخانه عموما ناپایدار بوده و توان اضافی جریان صرف تغییرات رودخانه ای می گردد. در شرایط آزادی تنظیم رودخانه در محدوده مورد نظر، از ایجاد بازه های مستقیم و یا با انحنای بسیار کم (ضریب مارپیچی کمتر از ۱.۵ ، و یا شعاع انحنای نسبی بیشتر از ۲۶) باید اجتناب نمود. زیرا ، تمایل مارپیچی جریان سبب اعمال نیروی اضافی به دیواره ها خواهد شد. در یک الگوی مناسب مطابق شکل (۲-۲)، رودخانه در مسیر مارپیچی، متشکل از سری پیچ های ملایم و معکوس با انحنای مناسب شکل داده می شود. بازه نسبتا مستقیم حد فاصل بین دو پیچ متوالی برای هدایت جریان از یک پیچ به پیچ پایین دست بدون آشفتگی و تلاطم شدید است.

به هر حال ، رودخانه در دشت آبرفتی خود همواره به صورت آزاد و بدون محدودیت های طبیعی یا اجتماعی جریان ندارد.اگر شرایط محدود کننده زیر وجود داشته باشند ، باید به عنوان کنترل اجباری در انتخاب راستای رودخانه در نظر گرفته شوند.



شکل ۲-۲- مشخصات و ابعاد مارپیچ رودخانه [۳۷]



شکل ۲-۳- طرح پیچ رودخانه [۷۸]

-کنترل های طبیعی:امتداد دره رودخانه و توپوگرافی به عنوان کنترل طبیعی خط القعر و مسیر سیلابدشت رودخانه ، امتداد گسل های طولی به عنوان کنترل راستای عمومی رودخانه ، امتداد گسل های عرضی به عنوان عامل توسعه پیچ رودخانه و ابعاد پیچ و تغییرات موضعی در عرض بستر ، عوامل تکتونیکی و بیرون زدگی موضعی تشکیلات سنگی و مقاوم به عنوان کنترل طبیعی در شیب کف و یا در عرض و همچنین در توسعه اجباری پیچ ها و یا تغییر مسیر رودخانه ،به شمار می آید.

- -کنترل های غیر طبیعی: راه ، کانال، خطوط انتقال حیاتی (آب ، نفت، گاز ، تلفن)، پل ها و تأسیسات و اماکن تاریخی و مذهبی در بستر رودخانه و یا در نواحی ساحلی ، تأسیسات صنعتی مهم ، موقعیت روستا ها یا اراضی و باغات ، به عنوان کنترل های هندسی در طرح اصلاح مسیر باید به شمار آیند.

- -حریم رودخانه های شهری : محدوده توسعه شهری ، حریم ایمنی شهر از خطرات رودخانه ای ، تخلیه شبکه زهکشی روانات سطحی شهری ، ظرفیت خود پالایی ، قابلیت قایقرانی رودخانه ، زیباسازی مسیر و فضاهای تفریحی و گردشگری در نوار ساحلی رودخانه ، باید به عنوان کنترل های شهری در طرح اصلاح مسیر رودخانه به شمار آیند.

- -حریم رودخانه های مرزی : پایداری طبیعی رودخانه ، ضرورت تثبیت رودخانه در خط مرزی (میل های مرزی) ، ضرورت هدایت جریان به سامانه آبگیری به منظور تسهیل در بزداشت حقابه قانونی از رودخانه ، قابلیت کشتیرانی رودخانه و باراندازی ساحلی ،ضرورت احیای شرایط زیستابی رودخانه و توافقات منطقه ای و بین المللی باید به عنوان کنترل های اصلی در طرح اصلاح مسیر رودخانه در نضر گرفته شوند.

انحنا و مارپیچ رودخانه

شعاع انحنای پیچ :

به طور کلی شعاع انحنای پیچ رودخانه باید در حدود متوسط شعاع انحنا در پیچ های مختلف و پایدار آن رودخانه باشد. پیچ های تند تنها در شرایط خاص (وجود کنترل های اجباری) ویا در شرایط پایدار دیواره و بستر مجاز بوده، و در این صورت نیز نیاز های حفاظتی بیشتر خواهد بود. از طرف دیگر، شعاع انحنای خیلی زیاد نیز مطلوب نیست. حداکثر شعاع انحنا برای رودخانه های نیمه کوهستانی و بالا دست حوضه ۴۸۰۰ متر و برای رودخانه های سیلابدشتی ۷۲۰۰ متر پیشنهاد شده است. جهت کشتیرانی نیز حداقل انحنا ۲۵۰۰ متر لازم می باشد.

-انحنای نسبی پیچ :

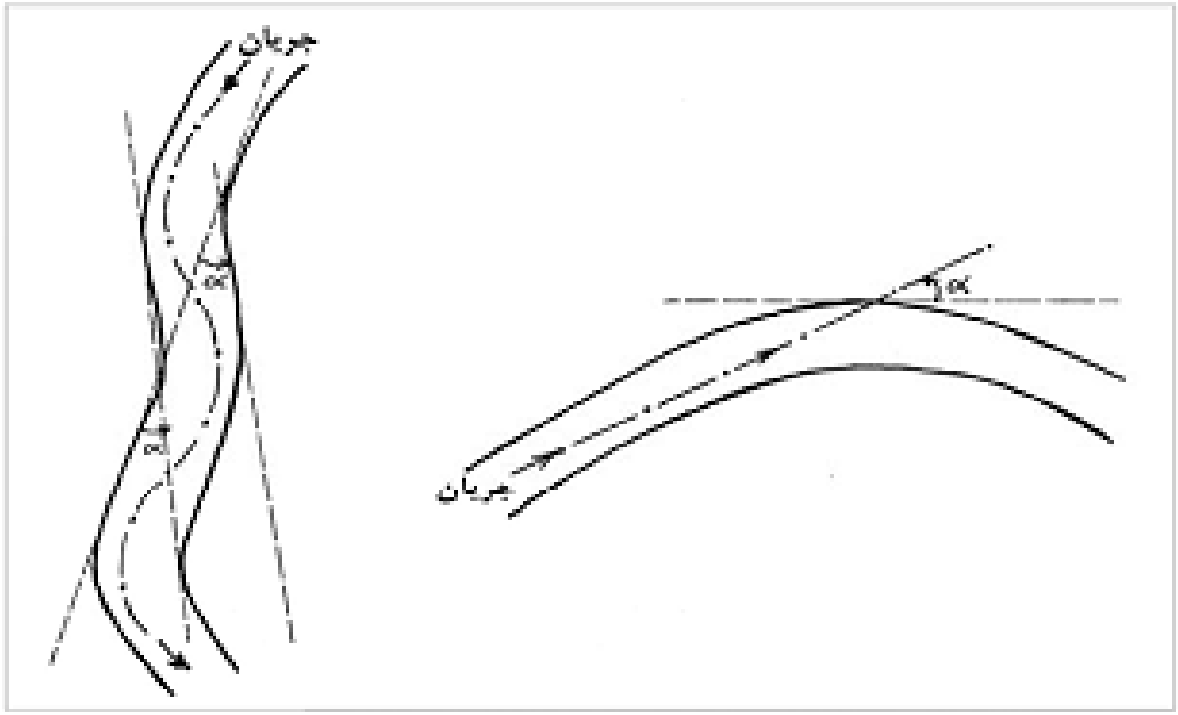
عموما شعاع انحنای مرکزی پیچ (R) به صورت ضریبی از عرض بالای مجرای اصلی رودخانه (B) تعیین می گردد. بر اساس گزارش لیوپولد و ولمن (۱۹۵۷)، انحنای نسبی رودخانه ها (R/B) عموما بین ۱.۵ تا ۴.۳ است.گر چه این نسبت از ۱.۵ تا ۱۰ نیز مشاهده می شود ، ولی تمایل طبیعی اکثر رودخانه ها دستیابی به نسبت پایدار (۲ تا ۳) می باشد.{۱۳۰}. چانگ نیز در سال ۱۹۸۵ و ۱۹۸۶ نشان داد که متوسط نسبت (R/B)برای شرایط تعادل پایدار رودخانه ها بستر ماسه ای حدود ۳ می باشد.{۳۷}.کیناری و موراش (۱۹۸۴)این نسبت را برای پیچ های پایدار در دشت آبرفتی آزاد در حدود ۴ تا ۵ ، برای پیچ های با دیواره های قابل فرسایش ولی پایدار در حدود ۷ تا ۸ و برای پیچ های با دیواره های مقاوم و غیر فرسایشی در حدود ۲ تا ۳ گزارش کرده است. انحنای نسبی مناسب برای رودخانه های بزرگ را در حدود ۷ تا ۸ و برای رودخانه های کوچک در حدود ۱۰ تا ۱۲ پیشنهاد شده است.{۷۸}.

-هندسه پیچ:

پیچ رودخانه ممکن است به صورت ساده (قوسی از یک دایره) باشد. در رودخانه های متوسط و بزرگ ، معمولا انحنای رودخانه به صورت یک پیچ مرکب طراحی می شود. به طور کلی شعاع انحنا از مقطع ورودی پیچ به سمت میانه پیچ کاهش یافته و سپس مجددا در جهت پایین دست پیچ افزایش می یابد. مشخصات هندسی طرح پیچ های ساده و مرکب مطابق شکل (۲-۳) توسط کینوری و موراش (۱۹۸۴)ارائه شده است {۷۸}.

-زاویه ورودی به پیچ :

زاویه بین خط اصلی جریان با خط مماس بر دیواره در محل پیچ رودخانه را زاویه ورودی به پیچ یا زاویه حمله آب (α) می نامند. گاهی مطابق شکل (۲-۴) ،این زاویه را بین خط مماس بر دیوار خارجی دو پیچ متوالی با خط دیواره رودخانه در مسیر مستقیم حد فاصل دو پیچ متوالی تعریف کرده و آن را زاویه انحراف می نامند(۱۰۷). توصیه می شود که زاویه حمله آب برای شرایط حفاظت نشده دیوارها از ۱۰ درجه تجاوز نکند. برای شرایطی که دیواره ها مستقیما با سازه روکشی محافظت می شوند، این زاویه نباید از ۲۵ درجه بیشتر شود.



شکل ۲-۴- زاویه ورودی به پیچ (α) یا زاویه حمله آب به دیواره‌ها یا زاویه انحراف [۳۷]

-شیب و ضریب مارپیچی:

توازن توان جریان رودخانه برای بازه قدیم و بازه اصلاح شده باید حفظ گردد تا تأثیرات نا مطلوب طرح به بازه های بالا دست و پایین دست رودخانه گسترش نیابد. برای توازن توان جریان ، رابطه زیر بین شیب (S) و ضریب مارپیچی (P : نسبت طول راستای رودخانه اصلی به طول دره رودخانه در حد فاصل دو مقطع) ارائه شده است.

$$P_1 S_1 = P_2 S_2$$

اندیس ۱ برای بازه قدیم رودخانه و ۲ برای بازه اصلاح شده است.{۱۰۷}.ضریب مارپیچی بازه جدید (P_2) با توجه به شعاع انحنای مرکزی پیچ (R) ، زاویه ورودی به پیچ (α) و طول مسیر حد فاصل دو پیچ متوالی (L) قابل محاسبه بوده و از این طریق شیب جدید بازه (S_2) به دست می آید.

-بازه اتصال پیچ ها:

مطابق شکل (۲-۲) ، طول مناسب برای بازه نسبتا مستقیم حد فاصل بین دو پیچ متوالی در حدود ۲ تا ۴ برابر عرض بالای مقطع اصلی رودخانه (L=2-4 B) پیشنهاد شده است {۱۰۲}.طول موج مارپیچ رودخانه حدود ۷ تا ۱۱ برابر عرض مقطع اصلی رودخانه (λ =7-11 B) است. برای دستیابی به شرایط فوق، حداقل زاویه مرکزی پیچ رودخانه (θ) در حدود ۵۰ درجه مناسب خواهد بود {۷۱}.

عرض رودخانه

تغییر در عرض رودخانه به طور طبیعی روی فرآیند فرسایش یا رسوب گذاری اثر دارد. از نظر هیدرولیکی، رابطه عرض با عمق و با شیب کف معکوس می باشد. توازن توان جریان رودخانه بین بازه قدیم (با اندیس ۱) و بازه اصلاح شده (با اندیس۲) با روابط زیر میان متوسط عرض بالای مقطع اصلی (B) ،عمق متوسط (D) ، متوسط شعاع هیدرولیکی (R) ، و شیب متوسط بازه رودخانه (S) باید تأمین گردد.{۵۴و ۱۰۷}

$$D_1S_1=D_2S_2 \qquad B_1S_1=B_2S_2$$

رابطه میان عرض و عمق و تأثیر آن در فرآیند فرسایش یا رسوبگذاری به طور صریح نبوده و نیاز به ارزیابی کمی توازن بار رسوبی در بازه مورد نظر دارد. افزایش عرض بازه می تواند اثر افزایش شیب را جبران نماید. افزایش عرض حداکثر ۱۰ تا ۱۵ درصد مجاز است در غیر این صورت تمایل شریانی شدن و گسترش پشته ها و جزایر پدید آمده و از عرض مؤثر جریان در بازه می کاهد. رودخانه های شریانی عموما نیاز به کاهش عرضی و یکنواختی مقاطع در طول بازه دارند، ولی عرض تنگ شدگی باید ظرفیت انتقال حداکثر جریان مورد نظر را داشته باشد. کاهش بیش از ۳۰ درصد عرض توصیه نمی شود.

مواضع تثبیت

سازه های حفاظت دیواره ها باید از موضع پایدار رودخانه شروع شده و به موضع پایدار دیگری از دیواره ها در پایین دست ختم شود. در غیر این صورت، سازه ها باید از موضع بالا دست که شدت تلاطم کمتر است شروع گردیده و به خوبی در دیواره قفل شوند تا امکان تخریب و انحراف به پشت سازه نباشد. در پایین دست نیز، انتهای سازه به جایی ختم شود که تأثیرات نا مطلوب احتمالی آن مهم نباشد{۱۰۲ و ۱۱۵}.

در محدوده پیچ ها ، شروع سازه های اصلاح مسیر و حفاظت دیواره ها باید از بالا دست محل پیچ باشد. به طور کلی دیواره خارجی پیچ از محدوده ای معادل یک برابر عرض رودخانه از بالاست پیچ تا فاصله یک و نیم برابر عرض در پایین دست پیچ باید تحت حفاظت مناسب قرار گیرد.{۱۱۵}.بهتر است از محلی آغاز گردد که جریان موازی با دیواره ها بوده و سپس با زاویه کمی در راستای انحنای پیچ ادامه یابد. در غیر این صورت محل شروع سازه ها طوری باید انتخاب شود که زاویه حمله آب کمتر از ۱۰ درجه بوده و تغییر راستای آن در محل پیچ در مقاطع مختلف و در جهت پایین دست نیز با رعایت زاویه انحراف حداکثر ۱۰ درجه باشد. تنها در شرایط کاربرد سازه های مقاوم روکش حفاظتی، افزایش این زاویه تا ۲۵ درجه قابل قبول خواهد بود.

پیوستگی حفاظت و تثبیت دیواره ها

در رودخانه های شریانی مستقیم و نا پایدار حفاظت کناره ها در دو سمت رودخانه ضروری می باشد{۱۰۷ و ۱۱۲ و ۱۱۵}. به طور کلی رودخانه های مارپیچی به حفاظت پیوسته و یکسان در دو سمت یا در طول مسیر نیازی ندارند. اقدامات اصلی تر عموما در محدوده دیواره خارجی پیچ بوده و در امتداد دیواره داخلی و نیز مسیر مستقیم حد فاصل پیچ ها ، اقدامات ضعیف تری کفایت می نماید. از این رو، طرح اصلاح مسیر در یک راستای مارپیچی اقتصادی تر و امکان پذیرتر است.{۱۱۵ و ۱۴۴}.

برای شرایطی که طول دیواره رودخانه نیاز به حفاظت سازه ای دارد، متناسب با شرایط رودخانه و نوع سازه های حفاظتی، ضرورتی برای پیوستگی سازه ها در طول حفاظت شده نیست ولی طول کلی سازه ها باید حدود دو سوم طول کل دیواره های رودخانه باشد .

بده و ارتفاع سطح آب

به طور کلی سه جریان و ارتفاع سطح آب نظیر آن (جریان متوسط کم آبی، جریان سیلابی متناوب یا بده مقطع پر در رودخانه های سیلابدشتی و جریانات سیلابی غیر متناوب) باید مورد نظر قرار گیرد{۳۷ و ۱۰۲}.اهمیت تفکیک میان جریان کم آبی ، متوسط و حداکثر سیلابی در تفاوت کاربرد روش ها و نحوه حفاظت دیواره ها می باشد. تا ارتفاع سطح کم آبی جریان، دیواره رودخانه به طور دائم اشباع و تحت تأثیر تنش برشی جریان بوده و پدیده آبشستگی پنچه دیواره یا غارکنی اتفاق می افتد.از این رو، نوع حفاظت این بخش بسیار مهم خواهد بود.از این حد تا ارتفاع سطح آب جریان غالب و یا مقطع پر ، نوسانات سطح آب به طور متناوب اتفاق می افتد و فرسایش سطح دیواره مهم می باشد. در بستر سیلابی، سطح دشت ساحلی و دیواره های کبیررودخانه به ندرت و به طور غیر متناوب و در معرض آب گرفتگی و تخریب قرار می گیرند .

تراز بالای دیواره

تراز دیواره ها یا سازه های حفاظتی در جهت پایین دست کاهش می یابد. بهترین معیار آن محاسبه نیمرخ سطح آب و احتساب ارتفاع آزاد مناسب به منظور کنترل نوسانات سطح آب در مواقع سیلابی می باشد. همچنین ارتفاع متوسط دیواره های رودخانه معیاری برای کنترل ارتفاع سازه های حفاظتی خواهد بود

شیب دیواره ها

شیب مناسب دیواره ها نقش مهمی در پایداری کناره های رودخانه دارد. در بعضی موارد اصلاح شیب به تنهایی کفایت می کند و در موارد دیگر حفاظت شیب از طریق پوشش طبیعی و یا سازه ای ضروری می باشد. اصلاح شیب و پایداری دیواره ها با درک صحیح از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مواد دیواره و مکانیزم گسیختگی آن امکان پذیر خواهد بود. در شرایطی که محدودیت نباشد ، حداقل شیب دیواره معادل (1.5H:1V) و شیب مناسب برابر (2H:1V) پیشنهاد شده است(۷۹).

پاکسازی و بهسازی بستر

تجمع مواد زاید، نخاله، آشغال و تنه درختان در اثر وقوع سیل، باعث آشفتگی موضعی جریان به ویژه در کناره های رودخانه می گردد. پاکسازی این مواد باعث بهبود شرایط جریان، کاهش مقاومت جریان و افزایش ظرفیت انتقال جریان یا پایین افتادن سطح آب می گردد. {۷۸}. همچنین لایروبی و حذف بارهای رسوبی ، سطح مؤثر مقطع جریان را افزایش داده و سبب بهسازی بستر می گردد. بهسازی بستر هر چند سال یکبار و به ویژه بعد از وقوع سیل های بزرگ لازم می باشد.

بهسازی شاخه های فرعی

تعریض و تثبیت شاخه های ورودی به رودخانه اصلی در محدوده ای که تحت تأثیر برگشت آب رودخانه است، همراه با حفاظت دیواره های رودخانه اصلی در این محدوده ضروری می باشد زیرا علاوه بر حمله خطوط جریان به دیواره های مقابل، توسعه گردابی جریان در محدوده ورودی ، عامل فرسایش موضعی و ناپایداری دیواره ها خواهد بود.

پایان

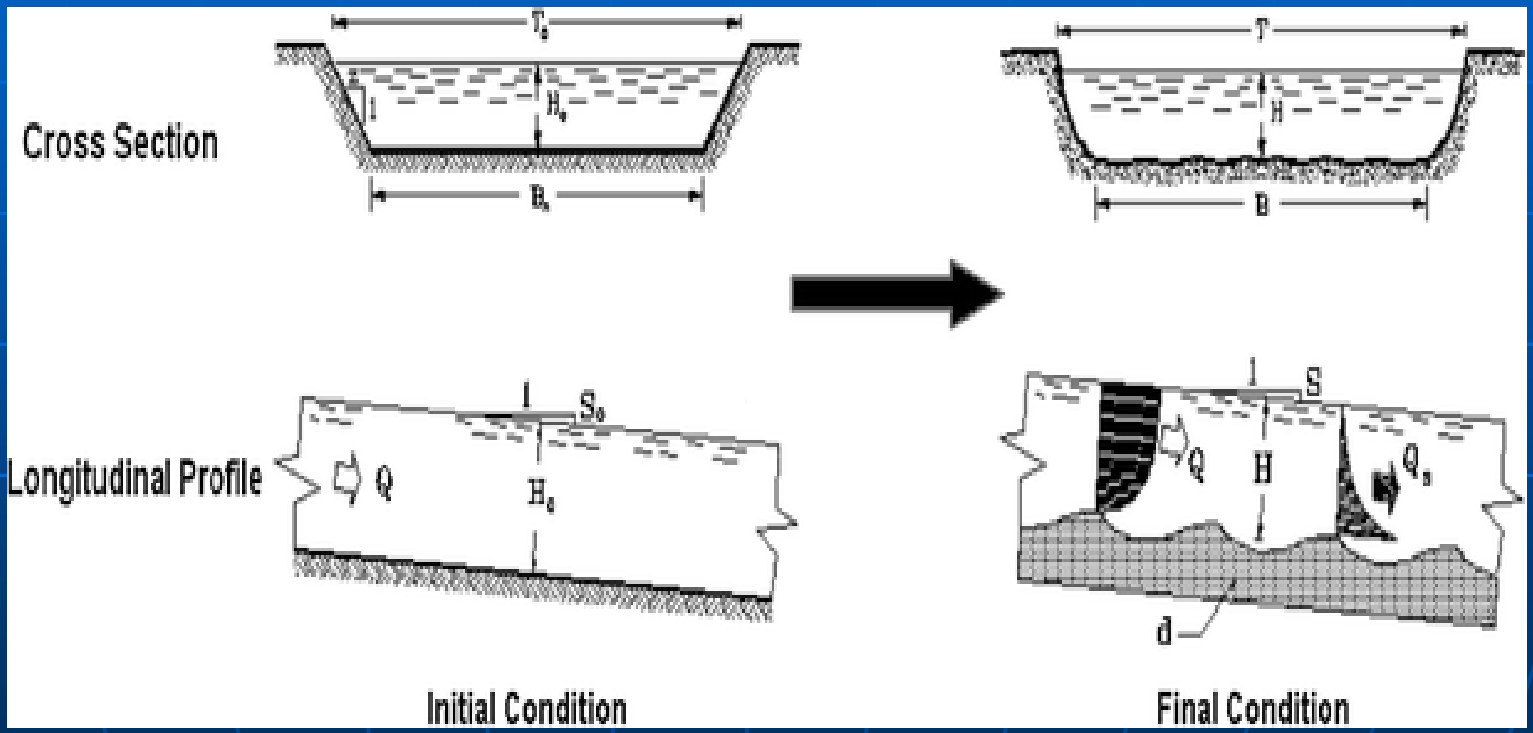
عرض پایدار رودخانه های آبرفتی

(تئوری های رژیم)

هندسه هیدرولیکی پایدار رودخانه

رژیم یک رودخانه آبرفتی به صورت دینامیک است و هرگز کاملاً یک کانال پایدار نمی شود. اگر یک کانال ذوزنقه ای مطابق شکل را در نظر بگیریم که در مواد آبرفتی ایجاد شده است، در ابتدا مرزهای کانال مطابق شکل های سمت چپ (صفحه بعد) می باشد، اما بعد از مدت زمان طولانی که آب در کانال جریان می یابد، دیواره و بستر تحت تاثیر رسوب انتقال یافته توسط جریان مشخصات جدیدی از خود نشان می دهد. در طول این فرآیند سطح صاف بستر کانال تمایل به ایجاد موج پیدا کرده و همچنین جداره کانال نیز منحنی شکل می شود. (شکل های سمت راست)

طور کلی یک آبراهه آبرفتی هنگامی در شرایط پایداری، تعادل دینامیکی و یا رژیم قرار دارد که توانایی انتقال رسوب جریان با نرخ مصالح رسوبی موجود در حال تعادل باشد.



تئوری های تخمین عرض پایدار رودخانه

- الف: روابط تجربی
- ۱- روابط تک متغیره (لئوبولد و ولمن)

$$W = aQ^b$$

W= عرض کانال

Q= دبی جریان مقطع پُر

a وb ضریب و توان دبی مقطع پُر

محققین مختلف با توجه به مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی برای ضریب و توان دبی مقطع پُر مقادیر مختلفی را پیشنهاد کرده اند.

لیسی(۱۹۳۰) با توجه به مطالعات صحرایی ضریب a را 4.833 و b را 0.5 استخراج کرده است

- روابط دو و سه متغیره

$$W = C_0 Q^{C1} {d_{50}}^{C2}$$

Q= دبی مقطع پر

d_{50}= متوسط ذرات بستر

ضرایب توسط یالین به شرح زیر پیشنهاد شده

C0=1.5, C1=0.5, C2=-0.25

و توسط بری C0=3.83, C1=0.53, C2=-0.07 پیشنهاد شده است.

$$W = C_0 Q^{C1} {d_{50}}^{C2} S^{C3}$$

که در آن S شیب رودخانه است

ضرایب توسط مجیا به شرح زیر پیشنهاد شده

C0=0.822, C1=0.031, C2=-0.135, C3=-0.135

ب: روابط بدون بعد

پیشنهاد پارکر (۲۰۰۴)

$$B^* = \alpha Q^{*\beta}$$

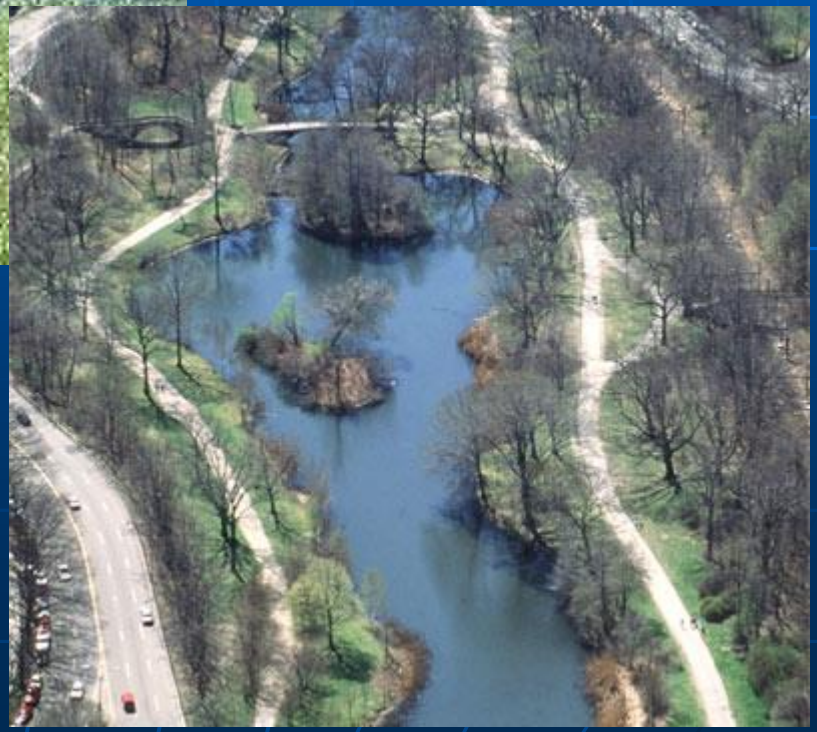
که در آن B^* عرض بدون بعد و Q^* دبی بدون بعد می باشند که به صورت زیر محاسبه می شوند.

$$B^* = \frac{W}{d_{50}}$$

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{g d_{50}} {d_{50}}^2}$$

G شتاب ثقل می باشد. پارکر ضریب α را 4.87 و β را 0.461 پیشنهاد نموده است.

- You can follow the progress of the river restoration with monthly videos made from time-lapse photography. Periodically we'll update the video to show the progress of construction at the Mill Pond site. The current video shows the installation of the sheet piling that will create a bypass channel to hold the river against the east wall of the pond while the new river channel is constructed to the west of the steel pilings. The pilings will be removed after the river is finally diverted into the newly constructed permanent channel.



طراحی کانالهای فرسایشی

Design of Erodible Channel

تعریف

- کانال های مصنوعی

فرسایشی

امکان فرسایش و آبشستگی در آنها وجود دارد. این کانالها در بستر های طبیعی و یا از مصالح خاکی مانند ماسه؛ شن؛ لوم؛ رس و یا مخلوطی از آنها ساخته می شوند.

غیر فرسایشی

بدنه آنها از مصالح سخت نظیر سیمان؛ بتن؛ سنگ و.. و یا مخلوطی از آنها پوشیده شده است.

- مشکل عمده کانالهای فرسایشی علاوه بر فرسایش؛ نفوذ آب از کف و بدنه ها به زمین می باشد.

نکاتی در خصوص طراحی کانالها

- **شکل سطح مقطع کانال :**

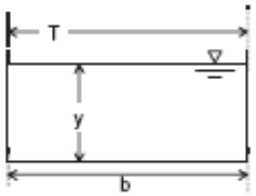
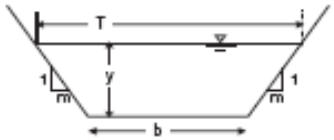
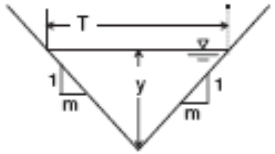
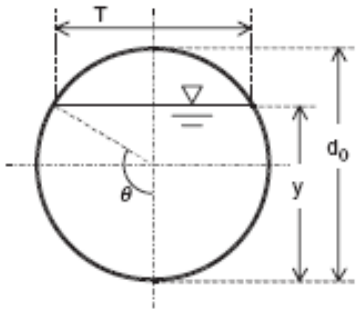
✓ معمول ترین شکل سطح مقطع در کانال های آبرسانی، مقطع ذوزنقه است. زیرا از لحاظ اجرایی، ساخت آن ساده بوده و شیب بدنه ها باعث ایجاد پایداری در ساختمان کانال می گردد.

✓ مقطع مستطیلی برای انتقال کانال در مناطق سنگی و یا زهکش های زیر گذر مناسب است.

✓ سطح مقطع باید ضمن داشتن ظرفیت هیدرولیکی کافی، حداقل هزینه ی احداث و نگهداری را نیز داشته باشد.

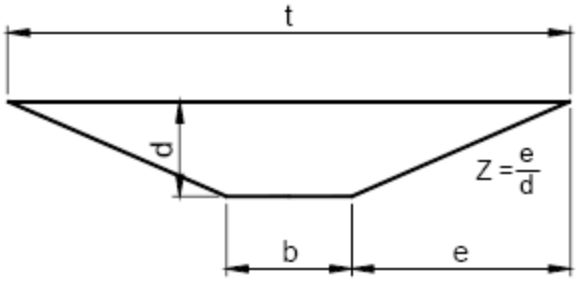
دانشگاه شهید چمران اهواز

TABLE 1.1 Geometric elements of channel sections

Section type	Area A	Wetted perimeter P	Hydraulic radius R	Top width T	Hydraulic depth D
Rectangular 	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b	y
Trapezoidal 	$(b+my)y$	$b+2y\sqrt{1+m^2}$	$\frac{(b+my)y}{b+2y\sqrt{1+m^2}}$	$b+2my$	$\frac{(b+my)y}{b+2my}$
Triangular 	my^2	$2y\sqrt{1+m^2}$	$\frac{my}{2\sqrt{1+m^2}}$	$2my$	$\frac{y}{2}$
Circular 	$\frac{1}{8}(2\theta-\sin 2\theta)d_0^2$ $\theta=\pi-\text{arcCos}$ $\left[\left(y-\frac{d_0}{2}\right)/(d_0/2)\right]$	θd_0	$\frac{1}{4}\left(1-\frac{\sin 2\theta}{2\theta}\right)d_0$	$(\sin\theta)d_0$ or $2\sqrt{y(d_0-y)}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{2\theta-\sin 2\theta}{\sin\theta}\right)d_0$

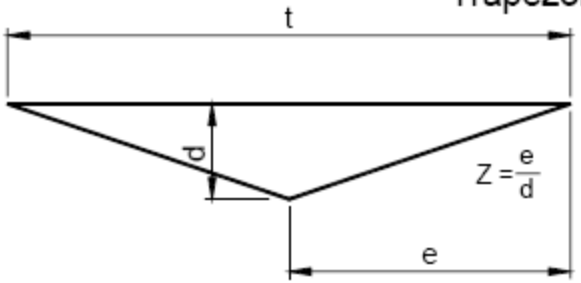
مهدی قمشی - جزوه درسی مهندسی رودخانه

Figure 8.2 Formulae for dimensions relating to trapezoidal, triangular and parabolic cross-sections



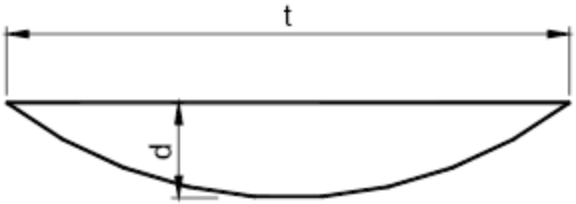
Cross - Sectional Area a	Wetted Perimeter	Hydraulic Radius R
$bd + Zd^2$	$b + 2d\sqrt{Z^2+1}$	$\frac{bd + Zd^2}{b + 2d\sqrt{Z^2+1}}$

Trapezoidal cross section



Zd^2	$2d\sqrt{Z^2+1}$	$\frac{Zd}{2\sqrt{Z^2+1}}$

Triangular cross section



$0.66td$	$t + \frac{8d^2}{3t}$	$\frac{t^2 d}{1.5t^2 + 4d^2}$

Parabolic cross section

نکاتی در خصوص طراحی کانالها

- **بهترین سطح مقطع هیدرولیکی :**

✓ بهترین سطح مقطع هیدرولیکی مقطعی است که کمترین محیط خیس شده را داشته باشد.

✓ از دید هیدرولیکی بهترین سطح مقطع نیم دایره است. ولی به علت مشکلات ساخت و غیر قابل استفاده بودن در برخی خاک ها، کاربرد عملی زیادی ندارد، به جز به صورت فلوم هوایی (نهر پایه دار) و یا به صورت کانال های پیش ساخته در مزارع کشاورزی.

✓ در طراحی کانال ها، علاوه بر بهترین سطح مقطع هیدرولیکی، بهترین سطح مقطع اقتصادی نیز مطرح است. در بهترین سطح مقطع اقتصادی، حجم عملیات خاک برداری و خاک ریزی حداقل می باشد. بنابراین همیشه بهترین سطح مقطع هیدرولیکی، بهترین سطح مقطع اقتصادی نیست و عواملی نظیر توپوگرافی زمین، نوع خاک منطقه، حداکثر سرعت مجاز و سایر متغیرها در طراحی کانال تاثیر گذار می باشند.

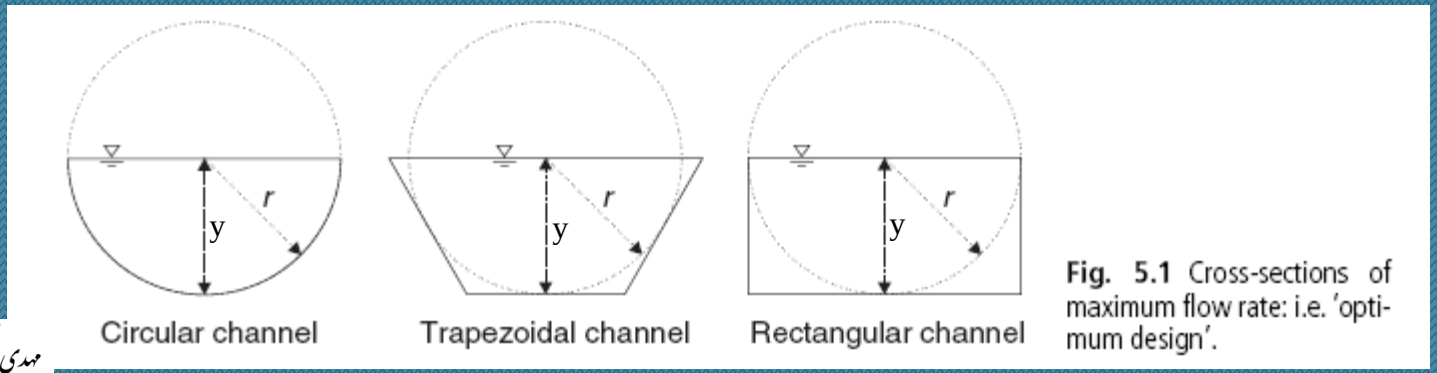


Fig. 5.1 Cross-sections of maximum flow rate: i.e. 'optimum design'.

مشخصات هندسی بهترین مقطع هیدرولیکی برای شکل های مختلف

سطح مقطع	اندازه ی سطح A	محیط خیس شده P	شعاع هیدرولیکی R_h	عرض بالا T	عمق هیدرولیکی D_m
ذوزنقه	$\sqrt{3}y^2$	$2\sqrt{3}y$	$\frac{y}{2}$	$\frac{4\sqrt{3}}{3}y$	$\frac{3}{4}y$
مستطیل	$2y^2$	$4y$	$\frac{y}{2}$	$2y$	y
مثلث	y^2	$2\sqrt{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{4}y$	$2y$	$\frac{y}{2}$
نیم دایره	$\frac{\pi}{2}y^2$	πy	$\frac{y}{2}$	$2y$	$\frac{\pi}{4}y$
سهمی	$\frac{4\sqrt{2}}{3}y^2$	$\frac{8\sqrt{2}}{3}y$	$\frac{y}{2}$	$2\sqrt{2}y$	$\frac{2y}{3}$

نکاتی در خصوص طراحی کانالها

مسیر و شیب طولی

- در انتخاب مسیر کانال ها باید به عوارض زمین (راه ها، خطوط آهن، رودخانه ها، ساختمان ها و غیره) توجه شود. مسیر کانال اصلی طوری انتخاب می شود که از آن بتوان توسط کانال های فرعی به تمام منطقه ی مورد نظر آبرسانی کرد.

- با استفاده از نقشه ی توپوگرافی و عکس های هوایی، منشاء آب و جهت کلی شیب زمین، مسیر کانال اصلی و مسیر کانال های فرعی تعیین می شود. در انتخاب مسیر کانال، باید جنبه های اقتصادی و اجتماعی نیز مورد توجه قرار گیرد.

- اگر شیب طبیعی زمین مناسب شیب طرح نباشد، باید با توجه به سرعت مجاز جریان آب در کانال، شیب کف کانال تعیین گردد. شیب کف کانال ها در طرح های مهندسی بسیار متغیر و از ۰/۱ در هزار تا ۲۵ در هزار امکان پذیر است.

- در عمل شیب کانال ها بین دو حد سرعت حداکثر و سرعت حداقل انتخاب می گردد. شیب کانال باید یکنواخت باشد و از تغییرات متوالی شیب در آن پرهیز گردد.

نکاتی در خصوص طراحی کانالها

شیب کناری یا جانبی کانال ها

- شیب جانبی کانال ها به طبیعت و نوع خاک بستر که کانال در آن احداث می شود و مشخصات فنی مصالح ساختمانی و پوشش کانال بستگی دارد.
- در کانال های پوشش دار معمولاً شیب کناری از ۱:۱ تا ۱: ۱/۵ (قائم: افقی) و در کانال های خاکی از ۱: ۲ تا ۱: ۳ تغییر می کند.
- بر اساس یک قانون ساده، شیب جانبی کانال ها با زاویه ایستایی یا تعادل خاک طبیعی بستر برابر است.
- USBR شیب جانبی ۱: ۱/۵ (z=1.5) را برای کانال های بتنی معمولی توصیه کرده است.
- از دیدگاه عملی، انتخاب حداکثر شیب جانبی، سطح زمین به کار رفته برای احداث کانال را به حداقل می رساند.

نکاتی در خصوص طراحی کانالها

سرعت های مجاز

- با توجه به اینکه قیمت ساخت یک کانال با طول معین با اندازه و بزرگی آن بستگی دارد، اگر شیب زمین اجازه دهد، انتخاب بیشترین سرعت، اقتصادی تر خواهد بود. اما سرعت زیاد ممکن است موجب فرسایش و آب شستگی بستر کانال گردد. با توجه به این نکته است که سرعت مجاز حداکثر مطرح می شود.
- در کانال های خاکی سرعت مجاز حداکثر به سرعتی اطلاق می شود که بتوان با آن سرعت، آب را به طور مطمئن، بدون ایجاد فرسایش و آب شستگی در بستر انتقال داد.
- همچنین سرعت نباید از یک حد کمتر باشد؛ زیرا در سرعت های کم خطر ته نشینی مواد رسوبی در کف کانال و رشد علف های هرز در آن وجود دارد.
- ته نشینی رسوبات و رشد علف های هرز نه تنها ظرفیت کانال را کاهش می دهند، بلکه هزینه های نگهداری آن را نیز افزایش می دهند. حداقل سرعت آب در کانال ها از مرتبه ی ۰/۳ متر بر ثانیه است.
- در صورت کم بودن بار رسوبی، در سرعت های ۰/۹ -۰/۶ متر بر ثانیه، رسوب گذاری اتفاق نمی افتد و در سرعت های بیش از ۰/۷۵ متر بر ثانیه گیاهان آبزی در کانال رشد نمی کنند.

نکاتی در خصوص طراحی کانالها

سرعت های مجاز

- معمولاً سرعت در کانال های پوشش دار بتنی حدود ۲/۵ تا ۲ متر بر ثانیه است. در کانال های آجر فرش و سنگ فرش، سرعت مجاز حداکثر به ترتیب ۱/۸ و ۵/۱ متر بر ثانیه است. حداکثر سرعت در کانال های خاکی در شرایط مطلوب حدود ۱/۲ متر بر ثانیه است.
- به دلیل تعادل دینامیکی غلظت رسوب در جریان آب، کانال هایی که آب گل آلود انتقال می دهند (در مقایسه با انتقال آب زلال) کمتر فرسایش می یابند. با توجه به این نکته، حداکثر سرعت مجاز در آب گل آلود بیشتر از آب زلال است.
- در کانال های خاکی یکی از عوامل مهم در انتخاب حداکثر سرعت مجاز، چسبندگی ذرات خاک است. قطر ذرات خاک های غیر چسبنده از ۰/۰۰۵ میلی متر بیشتر است و مقدار رس این خاک ها بسیار کم می باشد. خاک های چسبنده حاوی رس و مواد کلوئیدی زیادی هستند و قطر آنها از حداقل قطر ذرات سیلت کمتر است.

ضریب زبری مانینگ

- ضریب زبری مانینگ با استفاده از جداول و نمودارهای موجود، بر اساس نوع مصالح و پوشش کانال انتخاب می گردد. ضریب n به انواع عواملی که مقاومت در مقابل جریان را سبب می شوند بستگی دارد.

Maximum Permissible Velocity

Channel Material	Mean Channel Velocity (ft/sec)
Fine Sand	2.0
Coarse Sand	4.0
Fine Gravel	6.0
Earth	
Sandy Silt	2.0
Silt clay	3.5
Clay	6.0

Minimum velocity should be 2 to 3 ft/sec.
Also check Froude number (≤ 0.8, to ensure subcritical flow)

Grass-lined Earth (Slopes less than 5%)	
Bermuda Grass	
Sandy Silt	6.0
Silt Clay	8.0
Kentucky Blue Grass	
Sandy Silt	5.0
Silt Clay	7.0
Poor Rock (usually sedimentary)	10.0
Soft Sandstone	8.0
Soft Shale	3.5
Good Rock (usually igneous or hard metamorphic)	20.0

Type	Characteristics	Minimum *n*	Normal *n*	Maximum *n*
Cement	neat surface	0.010	0.011	0.013
	mortar	0.011	0.013	0.015
Concrete	trowel finish	0.011	0.013*	0.015
	float finish	0.013	0.015	0.016
	finished, with gravel on bottom	0.015	0.017	0.020
	unfinished	0.014	0.017	0.020
	gunite, good section	0.016	0.019	0.023
	gunite, wavy section	0.018	0.022	0.025
	on good excavated rock	0.017	0.020	—
	on irregular excavated rock	0.022	0.027	—
Concrete bottom float finished with sides of:	dressed stone in mortar	0.015	0.017	0.020
	random stone in mortar	0.017	0.020	0.024
	cement rubble masonry, plastered	0.016	0.020	0.024
	cement rubble masonry	0.020	0.025	0.030
	dry rubble or riprap	0.020	0.030	0.035
Gravel bottom with sides of:	formed concrete	0.017	0.020	0.025
	random stone in mortar	0.020	0.023	0.026
	dry rubble or riprap	0.023	0.033	0.036
Brick	glazed	0.011	0.013*	0.015
	in cement mortar	0.012	0.015*	0.018
Masonry	cemented rubble	0.017	0.025	0.030
	dry rubble	0.023	0.032	0.035
Dressed ashlar	—	0.013	0.015	0.017
Asphalt	smooth	0.013	0.013	—
Vegetal lining	—	0.030	—	0.500

Source: Chow (1959).
*Chow (1959) recommended this value for use in design.

Roughness Coefficients in Lined Open Channels (Table 4.14, Chin 2000)

Rock & Hard Linings

نکاتی در خصوص طراحی کانالها

عمق آزاد

- فاصله ی سطح آزاد آب در عمق حداکثر جریان تا بالاترین تراز پوشش خاکریز کانال را عمق آزاد می گویند. در واقع، عمق آزاد ضریب اطمینانی است که از بیرون ریختن آب از لبه های کانال در شرایط غیر طبیعی جلوگیری می کند.

- در زمان بهره برداری از کانال ها ممکن است بر اثر عواملی نظیر امواج ناشی از وزش باد، جذر و مد، جهش آبی، افزایش رقوم سطح آب در مسیرهای منحنی الخط و در سرعت های زیاد، بهره برداری نادرست، افزایش عمق بر اثر رسوب گذاری یا افزایش ضریب زبری مانینگ و سرانجام ورود رواناب ناشی از بارندگی سطح آب در کانال نوسان نماید. در چنین مواقعی عمق آزاد از لبریز شدن کانال جلوگیری می نماید.

- عوامل مهمی که در انتخاب عمق آزاد به کار می روند عبارتند از: (۱) اندازه ی کانال و موقعیت آن، (۲) ورود جریان های سیلابی به کانال، (۳) تغییرات سطح آب زیر زمینی، (٤) تاثیر باد، (٥) مشخصات خاک، (٦) مقدار نفوذ عمقی (شیب نفوذ عمقی)، (۷) نیاز به جاده های سرویس و (۸) مواد حفاری شده ی موجود.

نکاتی در خصوص طراحی کانالها

عمق آزاد

- روابط زیر توسط USBR برای تعیین عمق آزاد ارائه شده اند (y_f = عمق آزاد و y_n = عمق نرمال بر حسب متر می باشند):

$$y_f = 0.46 y_n^{\frac{1}{2}} \quad \text{for} \quad Q = 0.57\, m^3/s$$

$$y_f = 0.76 y_n^{\frac{1}{2}} \quad \text{for} \quad Q = 0.85\, m^3/s$$

- بر اساس نظر Lacey می توان عمق آزاد را از رابطه ی زیر محاسبه کرد:

$$y_f = 0.2 + 0.15 Q^{\frac{1}{3}}$$

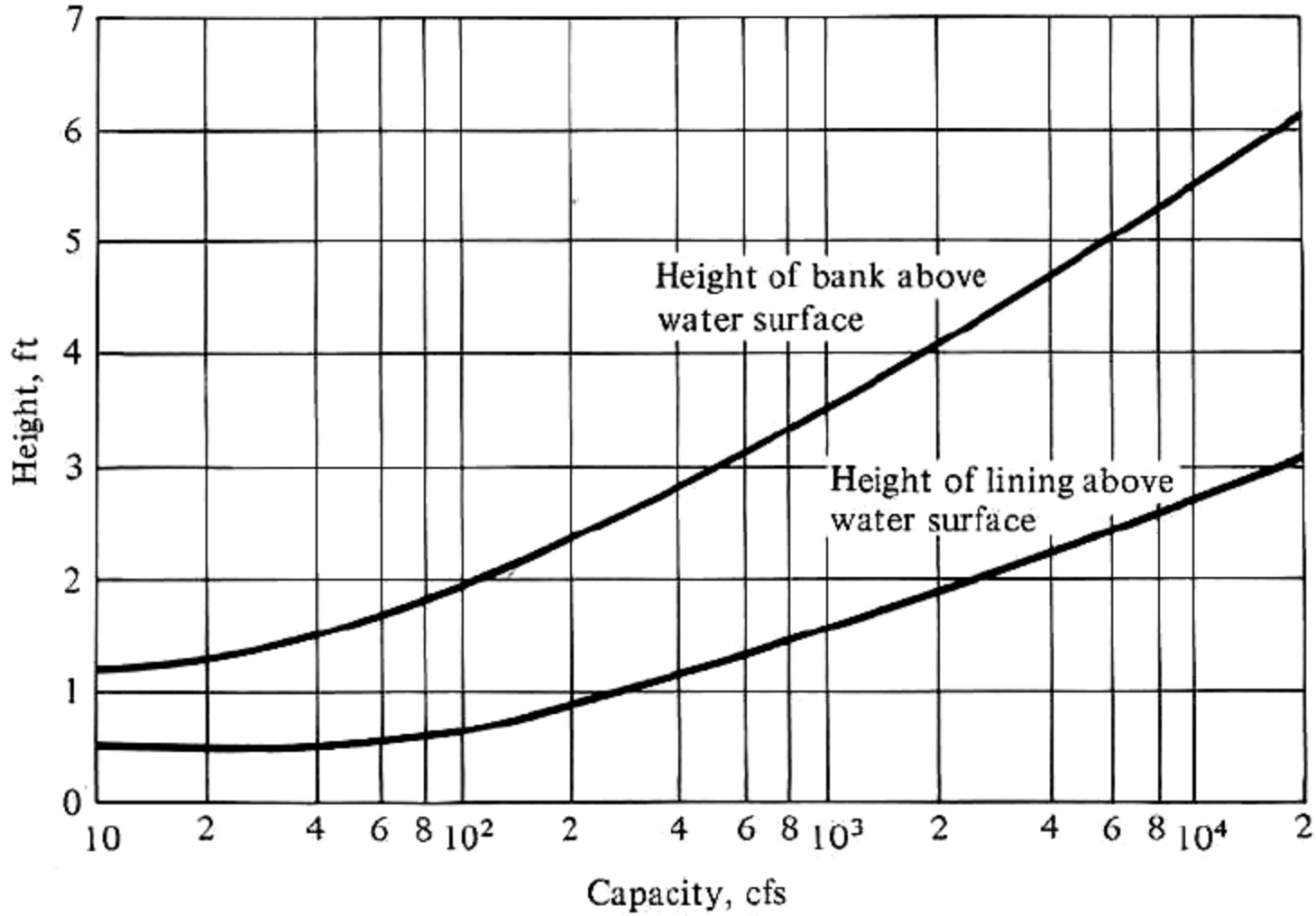
در رابطه ی بالا، Q بر حسب متر مکعب بر ثانیه و y_f بر حسب متر می باشد.

Table 9-1. Suggested Freeboard*

Discharge (m^3/s)	< 0.75	0.75 to 1.5	1.5 to 85	> 85
Freeboard (m)	0.45	0.60	0.75	0.90

* After Ranga Raju [1983]

Recommended freeboard and height of lining (Figure 7-6, Prasuhn 1987), from U.S. Bureau of Reclamation



نکاتی در خصوص طراحی کانالها

نسبت عرض کف به عمق آب (b/y)

- رابطه ی بین عرض کف و عمق آب به طور گسترده ای بر حسب روش طراحی متفاوت است. مهندسان آمریکایی و فیلیپینی برای تعیین نسبت b/y از رابطه ی زیر استفاده می کنند که در هر دو سیستم متریک و انگلیسی قابل استفاده است.

$$y = 0.5\sqrt{A}$$

در رابطه ی فوق، **A** سطح مقطع کانال و **y** عمق جریان است. اگر به جای **A** سطح مقطع یک کانال ذوزنقه ای را جایگزین کنیم، پس از ساده کردن، رابطه ی ساده ی **b/y= 4-z** به دست می آید که در آن **z** شیب جانبی کانال است.

- بعضی از مهندسان هندی از روابط زیر استفاده می کنند:

$$y = \sqrt{A/3}$$
$$b/y = 3 - z$$

انتخاب هر یک از روابط به شرایط پروژه و تجربه ی طراح بستگی دارد.

نکاتی در خصوص طراحی کانالها

نسبت عرض کف به عمق آب (b/y)

- در محاسبات هیدرولیکی کانال های بتنی، به منظور اقتصادی بودن مقطع کانال ها (بر اساس حجم خاکبرداری و خاکریزی پروژه) و بهینه بودن مقطع از نظر هیدرولیکی با در نظر گرفتن توصیه های USBR، نسبت b/y در مقاطع ذوزنقه ای بین ۱ تا ۳ در نظر گرفته می شود. نسبت ۱ برای مقاطع کوچک با عرض مساوی و یا کمتر از ۱ استفاده می شود. برای کانال های بزرگ تر (کانال های درجه ی ۱ و ۲) نسبت ۳ پیشنهاد می شود.

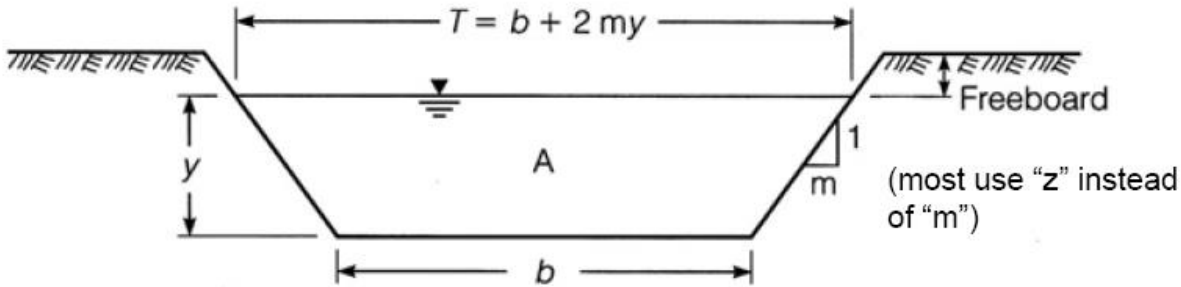
- علت انتخاب ضریب بزرگ تر از ۱ برای کانال های بزرگ، کاهش نیروی برشی در کانال و افزایش سرعت در کف، جهت اجتناب از رسوب گذاری در کف کانال می باشد. در کانال های خاکی، معمولاً نسبت b/y = 2.5 را به کار می برند.

نکاتی در خصوص طراحی کانالها

عرض خاکریز های کانال

- قسمت مسطح و افقی در دو طرف کانال که برای جلوگیری از انتقال گل و لای به داخل آن طراحی می شود، خاکریز یا سکوی کناری کانال نامیده می شود.

- در تعیین عرض خاکریزها، عواملی مانند اندازه ی کانال، نیاز به جاده سرویس، و حجم خاک برای احداث سرریز دخالت دارند. برای جلوگیری از جریان آب ناشی از بارش به داخل، باید به جهت عرضی و به سمت خارج کانال، به خاکریز شیب داد. در شرایطی که روی خاکریز کنار کانال، جاده سرویس منظور نشود، عرض خاکریز حدود ۱ متر در نظر گرفته می شود.



تغییرات دبی (m^3/s)	عرض خاکریز (m)
۲۰۰–۲۵۰۰	۷–۱۶
۱۰۰–۱۹۹	۶
(<۹۰) کانال کوچک	۲–۶

طراحی کانال های پوشش دار

- کانال های پوشش دار از مصالح ساختمانی نظیر بتن، سیمان، آجر، آسفالت و غیره ساخته می شوند. برای طراحی این کانال ها به ترتیب زیر عمل می شود:

۱- دبی کانال بر اساس حداکثر نیاز آب تعیین می شود. معمولاً این دبی توسط کارفرما داده می شود.

۲- از روی نقشه ی توپوگرافی زمین، مسیر تقریبی احداث کانال مشخص و سپس مقدار شیب متوسط کف کانال تعیین می شود.

۳- ضریب زبری (n) با توجه به نوع مصالحی که در ساختن کانال به کار می رود، تعیین می شود.

٤- شکل مقطع کانال تعیین می شود و در صورتی که مقطع ذوزنقه انتخاب شود، مقدار شیب کناره ها (z:۱) انتخاب می شود.

۵- نسبت b/y انتخاب می شود.

طراحی کانال های پوشش دار

۶- فاکتور مقطع $AR_h^{2/3}$ با قرار دادن جملات مناسب برای A و R_h (بر حسب y، b و z) تعیین می گردد. به جای b مقدار آن بر حسب y (با توجه به نسبت انتخاب شده برای b/y) و به جای z مقدار انتخاب شده برای آن قرار می گیرد. در نتیجه، فاکتور مقطع بر حسب y به دست می آید.

۷- با معلوم بودن Q، n و S_0 و استفاده از فرمول مانینگ مقدار عددی فاکتور مقطع به دست می آید. و با مقدار فاکتور مقطع بر حسب y برابر قرار داده می شود. از حل معادله ی یک مجهولی حاصل، مقدار y تعیین می شود. پس از تعیین مقدار y، مقدار b محاسبه می شود.

۸- با مقادیر b، y و z تعیین شده، سرعت آب در داخل کانال محاسبه شده و با سرعت های مجاز مقایسه می گردد. سرعت آب در کانال نباید از حداقل سرعت مجاز کمتر و از حداکثر سرعت مجاز بیشتر باشد.

۹- جواب ها باید با محاسبه ی عدد فرود در کانال کنترل گردد. عدد فرود نباید بیش از ۰/۸ باشد. همچنین با محاسبه ی Q از فرمول مانینگ، صحت اندازه های حاصل را می سنجند.

۱۰- پس از تعیین b و y اندازه ی عمق آزاد را تعیین و نتایج حاصل را در یک شکل با ابعاد مناسب مشخص می کنند.

کانال های خاکی و طراحی آنها

- کانال های خاکی برای انتقال آب در زمین هایی که نفوذ پذیری کمی داشته باشند، مناسب ترین وسیله هستند.
- ساختن کانال های خاکی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و برای انتقال حجم عظیمی از آب از یک محل به محل دیگر مناسب می باشند. علاوه بر ارزانی، ساختن کانال های خاکی نسبت به کانال های پوشش دار آسان تر است.
- از مشکلات کانال های خاکی، امکان فرسایش زیاد آنها می باشد. در زمین های شیب دار و خاک های بی ثبات امکان فرسایش به مراتب بیشتر است. علاوه بر فرسایش، به علت نفوذ آب در بدنه ها و کف کانال های خاکی، مقداری از آب تلف می شود. همچنین رشد علف های هرز در کف و بدنه کانال های خاکی، سرعت جریان آب و ظرفیت کانال را کاهش می دهد. در کل در کانال های خاکی، هزینه تعمیر و نگهداری و کنترل رشد علف های هرز بالاست.
- در طرح کانال های خاکی دقت زیادی لازم است، زیرا در نتیجه ی کوچکترین اشتباه در طرح، کانال فرسایش می یابد و یا به دلیل تجمع رسوبات در کف آن، ظرفیت کانال کاهش می یابد.

کانال های خاکی و طراحی آنها

پایداری مقطع در کانال های خاکی

- مقطعی را که در آن فرسایش و رسوبگذاری صورت نگیرد، مقطع پایدار می نامند. چون جریان در کانال های خاکی تحت تاثیر عوامل فیزیکی متعدد و شرایط مختلف قرار دارد، طرح دقیق آنها بر اساس قوانین و روابط نظری مقدور نیست. به علت عدم پایداری کف و بدنه در کانال های خاکی، فرمول های جریان یکنواخت دائمی برای طرح آنها مناسب نخواهند بود و تنها با فرض پایداری کف و بدنه ی آنها (مقطع پایدار) است که می توان روابط جریان یکنواخت دائمی را برای محاسبات لازم در طراحی آن ها به کار برد.

- با توجه به شرایط مقطع کانال خاکی از یکی از روش های زیر برای طراحی استفاده می شود:

  - روش سرعت مجاز
  - روش تئوری رژیم
  - روش نیروی برشی

انتخاب روش مناسب طراحی

- چنانچه بستر کانال شسته می شود اما رسوب گذاری در آن اتفاق نمی افتد، در این شرایط معمولاً آب نسبتاً زلال و یا آب با بار رسوبی ناچیز که انرژی آن برای فرسایش بستر کانال کافی است جریان دارد. این کانال ها را می توان با روش سرعت مجاز و یا نیروی کششی مجاز به گونه ای طراحی کرد که در آنها فرسایش صورت نگیرد.

- شرایطی که در بستر کانال فرسایش صورت نمی گیرد اما رسوب گذاری وجود دارد. با به کار گیری تئوری رژیم می توان کانال را به گونه ای طراحی کرد که مقطع آن پایدار باشد.

- فرسایش و رسوب گذاری باهم صورت می گیرد. در این کانال ها آب با بار رسوب زیاد جریان دارد و مسیر کانال از بستر یا خاک های مستعد عبور می نماید. این کانال ها را با روش تئوری رژیم برای شرایط پایدار می توان طراحی کرد.

روش سرعت مجاز

- یکی از روش های معمول در طراحی کانال های خاکی، استفاده از حداکثر سرعت مجاز است. مراحل طراحی با این روش به صورت زیر است:

۱- دبی کانال (Q) بر اساس نظر کارفرما و نیاز طرح تعیین می شود.

۲- مسیر تقریبی احداث کانال از روی نقشه ی توپوگرافی مشخص شده و شیب متوسط کف آن تعیین می شود.

۳- با توجه به نوع خاک بستر کانال، ضریب زبری **n**، شیب بدنه ها (z:1) و حداکثر سرعت مجاز **V** از روی جداول موجود مشخص می گردد.

٤- با معلوم بودن **Q** و **V** سطح مقطع **A** از فرمول پیوستگی به دست می آید.

٥- با معلوم بودن **n**، **V** و S_0 از فرمول مانینگ شعاع هیدرولیکی، R_h، حساب می شود و از تقسیم سطح مقطع **A** بر شعاع هیدرولیکی R_h، محیط خیس شده ی **P** تعیین می شود.

٦- روابط **A** و **P** بر حسب **b** و **y** را با مقدار عددی آنها برابر قرار داده و از حل دو معادله ی دو مجهولی حاصل، مقدار عددی **b** و **y** به دست می آید.

۷- جواب های حاصل، بررسی می شوند تا عملاً منطقی، درست و اقتصادی باشند. در صورت لزوم مقطع اصلاح می شود. پس از تعیین **b** و **y** عمق آزاد تعیین می ش

مثال

- مطلوب است تعیین عرض بستر و عمق کانال ذوزنقه ای که شیب طولی آن 0.0016 و حداکثر دبی عبوری از آن برابر 10 متر مکعب در ثانیه باشد. کانال را باید در داخل خاک شنی درشت غیر کلوییدی حفر کرد (آب را زلال فرض کنید.
- راه حل:
- ابتدا با توجه به جنس زمین مقادیر z, n و حداکثر سرعت مجاز تعیین می شود. از جداول 2و 3

$$V_{\max} = 1.22\ {}^{m}/_{s} \quad , \quad z = 2 \quad , \quad n = 0.025$$

جدول (۹-۲) پیشنهاد شیب جانبی برای طراحی کانال‌ها

جنس بستر	شیب جانبی (۱: z)
سنگ	۱: ۰/۵-۰/۲۵
سنگ درشت	۱: ۱-۰/۵
رس متراکم یا پوشش سیمانی	۱: ۱
خاک با پوشش سنگی	۱: ۱
خاک در کانال‌های بزرگ	۱: ۱
خاک در کانال‌های کوچک	۱: ۱/۵
لومی یا رس سست	۱: ۱/۵
ماسه‌ای سست	۱: ۲
شن ریز، ماسه‌ای لومی یا رسی متخلخل	۱: ۳
شن لومی	۱: ۲
شن درشت	۱: ۱/۲۵

(2)

بر اساس توصیه‌های فورتیه و اسکوبی (۱۹۲۶)

نوع مصالح	ضریب مانینگ (n)	حداکثر سرعت مجاز (m/s)	
		آب زلال	آب دارای سیلت کلوئیدی
ماسهٔ ریز دانه، کلوئیدی	۰/۰۲۰	۰/۴۶	۰/۷۶
ماسه لومی، غیرکلوئیدی	۰/۰۲۰	۰/۵۳	۰/۷۶
سیلت لومی، غیرکلوئیدی	۰/۰۲۰	۰/۶۱	۰/۹۱
سیلت آبرفتی، غیرکلوئیدی	۰/۰۲۰	۰/۶۱	۱/۰۷
لوم متراکم معمولی	۰/۰۲۰	۰/۷۶	۱/۰۷
خاکستر آتشفشانی	۰/۰۲۰	۰/۷۶	۱/۰۷
رس سخت خیلی کلوئیدی	۰/۰۲۵	۱/۱۴	۱/۵۲
سیلت آبرفتی کلوئیدی	۰/۰۲۵	۱/۱۴	۱/۵۲
شیست رسی و لایه‌های سخت شن ریز	۰/۰۲۵	۱/۸۳	۱/۸۳
	۰/۰۲۰	۰/۷۶	۱/۵۲
مخلوط لوم تا قلوه سنگ (مواد درشت) غیرکلوئیدی	۰/۰۳۰	۱/۱۴	۱/۵۲
مخلوط سیلت تا مواد درشت غیر کلوئیدی	۰/۰۳۰	۱/۲۲	۱/۶۸
شن درشت غیرکلوئیدی	۰/۰۲۵	۱/۲۲	۱/۸۳
سنگ درشت (قلوه و تخت)	۰/۰۳۵	۱/۵۲	۱/۶۸

(3)

- تعیین A و R_h

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{10}{1.22} = 8.2 \quad m^2$$

$$R_h^{\frac{2}{3}} = \frac{V \times n}{S_0^{\frac{1}{2}}} = \frac{1.22 \times 0.025}{(0.0016)^{\frac{1}{2}}} = 0.7625 \Rightarrow \quad R_h = 0.6658 \quad m$$

- تعیین روابط A و P بر حسب b و y:

$$A = (b + zy)y = 8.2 \qquad (1)$$

$$R_h = \frac{A}{P} \rightarrow \quad P = \frac{A}{R_h} = \frac{8.2}{0.6658} = 12.31 \quad m$$

$$P = b + 2y\sqrt{1+z^2} = 12.31 \qquad (2)$$

- پس از حل هم زمان دو رابطه (1) و (2) دو مقدار برای y بدست می آید

$$y_1 = 4.19\ m, \quad y_2 = 0.79\ m$$

- که یکی از آنها برای شرایط فوق بحرانی است و دیگری برای زیر بحرانی است. بدیهی است که مقدار مرتبط با جریان زیر بحرانی انتخاب شود. عمق آزاد از گراف USBR 0.8 متر بدست می آید

Example 6.1

Design a Non-Erodible Channel to convey 10 m^3/s flow, the slope is 0.00015 and the mean particle diameter of the soil is 5 mm. The side slope is 2 : 1.

- Solution: $Q = 1/n \; AR^{2/3} \; S^{1/2}$ ..... (1)
- With particle diameter, d being 5 mm, Using Strickler Equation, $n = 0.038 \; d^{1/6}$
- $= 0.038 \times 0.005^{1/6} = 0.016$

Solution of Example Contd.

$$Q = \frac{1}{0.016} A R^{2/3} \; 0.00015^{1/2} = 0.77 A R^{2/3}$$

Z = 2. Choose a value of 1.5 m for 'b'

For a trapezoidal channel, $A = b\,d + Z\,d^2 = 1.5\,d + 2\,d^2$

$P = b + 2\,d\,(Z^2 + 1)^{1/2} = 1.5 + 2\,d\;\; 5^{1/2} = 1.5 + 4.5\,d$

Try different values of d to contain the design flow of 10 m^3/s

Soln of Example 6.1 Contd.

d(m)	A(m^2)	P(m)	R(m)	$R^{2/3}$	Q(m^3/s)	Comment
2.0	11.0	10.5	1.05	1.03	8.74	Small flow
2.5	16.25	12.75	1.27	1.18	14.71	Too big
2.2	12.98	11.40	1.14	1.09	10.90	slightly big
2.1	11.97	10.95	1.09	1.06	9.78	slightly small
2.13	12.27	11.09	1.11	1.07	10.11	O.K.

The design parameters are then d = 2.13 m and b = 1.5 m

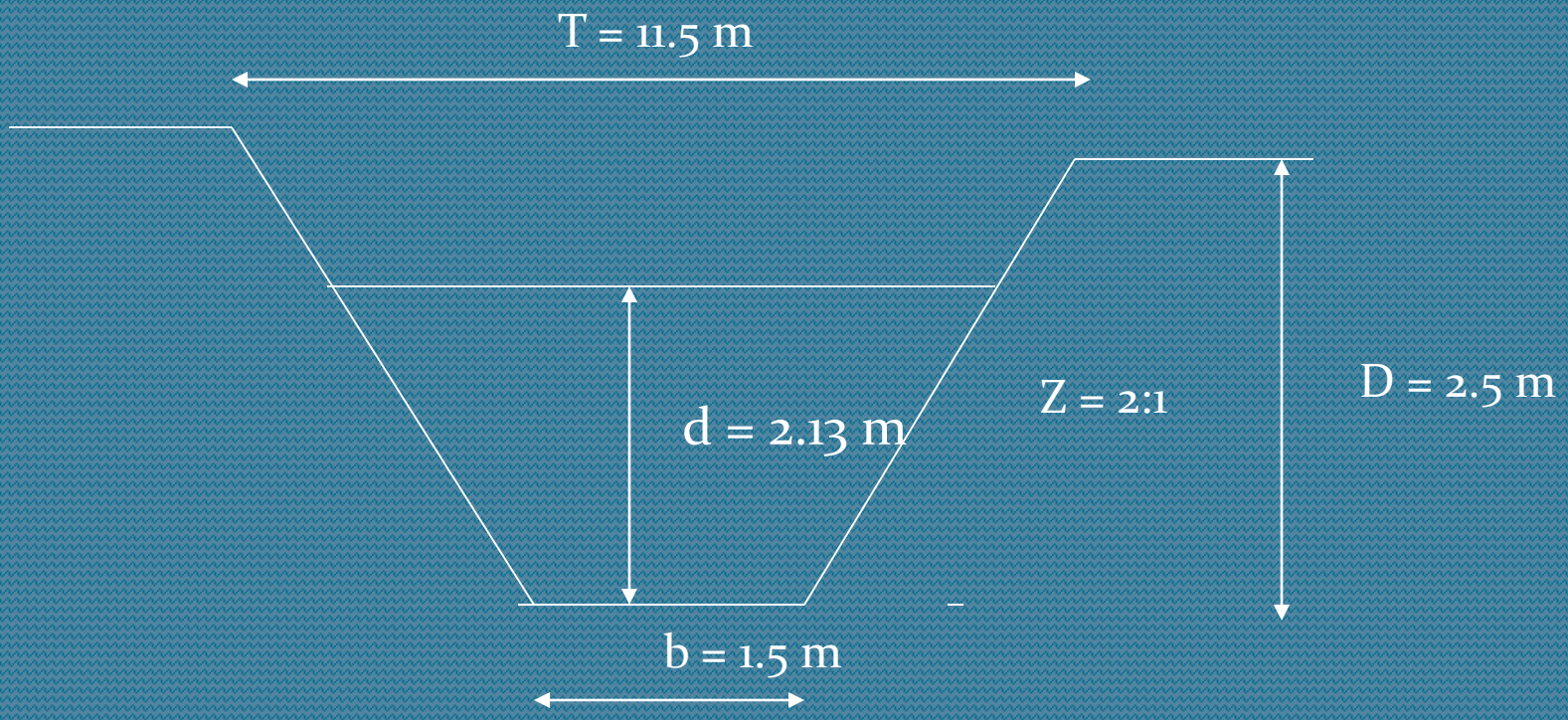
Check Velocity : Velocity = Q/A = 10/12.27 = 0.81 m/s

Note: For earth channels, it is advisable that Velocity should be above 0.8 m/s to inhibit weed growth but this may be impracticable for small channels.

Assuming freeboard of 0.2 d ie. 0.43 m, Final design parameters are:

D = 2.5 m and b = 1.51 m

Final Design Diagram



$$T = b + 2\,Z\,d = 1.5 + 2 \times 2 \times 2.5 = \underline{\mathbf{11.5\ m}}$$

Design of Erodible Channels Carrying Clean Water

- The problem here is to find the velocity at which scour is initiated and to keep safely below it. Different procedures and thresholds are involved including maximum permissible velocity and tractive force criteria.
- **Maximum Permissible Velocities:** The maximum permissible velocities for different earth materials can be found in text books e.g. Hudson's Field Engineering, Table 8.2.

Procedure For Design

i) Determine the maximum permissible velocity from tables.

ii) With the permissible velocity equal to Q/A, determine A.

iii) With permissible velocity = $1/n\ S^{1/2}\ R^{2/3}$

Slope, s and n are normally given.

iv) R = A/P , so determine P as A/R

v) Then A = b d + Z d and

$P = b + 2\ d\ (Z^2 + 1)^{1/2}$,

Solve and obtain values of b and d

Example 6.2

- From previous example, design the channel using the maximum permissible velocity method.

Example 6.2:

From previous example, design the channel using the maximum permissible velocity method.

Solution: Given: Q = 10 m^3 /s , Slope = 0.00015 , n = 0.016 , Z = 2 : 1

i) From permissible velocity table, velocity = 0.75 m/s

A = Q/V = 10/0.75 = 13.33 m (ii

` (iii $$R = \left[\frac{Vn}{S^{1/2}}\right]^{3/2} \qquad R = \left[\frac{0.75x0.016}{0.00015^{1/2}}\right]^{3/2} = 0.97$$

iv) P = A/R = 13.33/0.97 = 13.74 m

v) A = b d + Z d^2 = b d + 2 d^2

P = b + 2 d $(Z^2 + 1)^{1/2}$ = b + 2 d $5^{1/2}$ = b + 4.5 d

ie. b d + 2 d^2 = 13.33 m^2 .....(1)

b + 4.5 d = 13.74 m ..... (2)

Solution of Equation 6.2 Contd.

From (2), $b = 13.74 - 4.5\,d$ .....(3)

Substitute (3) into (1), $(13.74 - 4.5\,d)d + 2\,d^2 = 13.33$

$13.74\,d - 4.5\,d^2 + 2\,d = 13.33$

$13.74\,d - 2.5\,d^2 = 13.33$

ie. $2.5\,d^2 - 13.74\,d + 13.33 = 0$

Recall the quadratic equation formula:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4\,a\,c}}{2\,a}$$

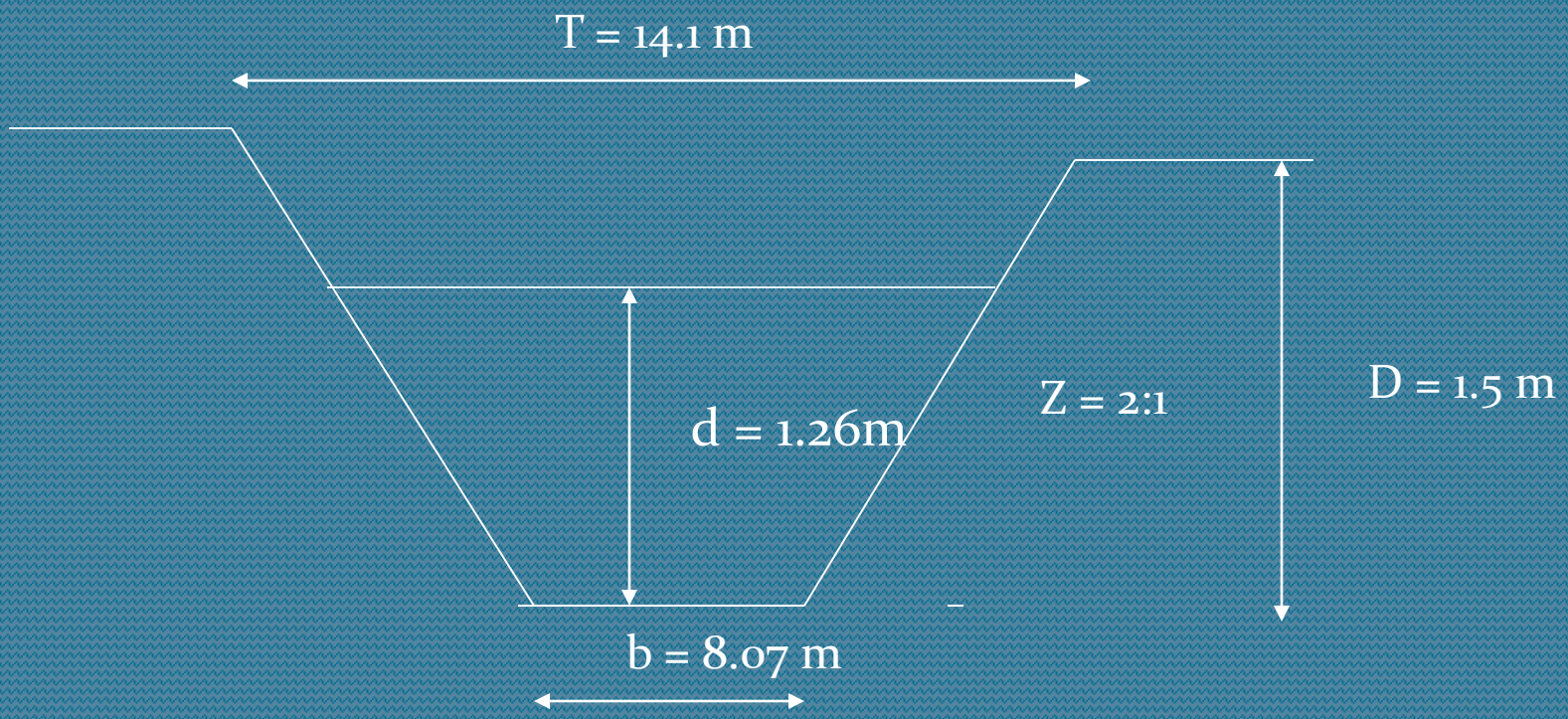
$$d = \frac{13.74 \pm 7.44}{5} = 10.16\,m \quad and \quad 1.26\,m$$

d = 1.26 m is more practicable

From (3), b = 13.74 - (4.5 x 1.26) = 8.07 m

Adding 20% freeboard, Final Dimensions are depth = 1.5 m and width = 8.07 m

Final Design Diagram



$$T = b + 2\,Z\,d = 8.05 + 2 \times 2 \times 1.5 = \underline{\mathbf{14.1\ m}}$$

روش تئوری رژیم

- تئوری رژیم بیان می کند که اگر در یک کانال خاکی فرسایش و یا رسوب گذاری اتفاق نیفتد، سطح مقطع و شیب کف کانال ثابت و در شرایط پایدار باقی می ماند. بنابراین سطح مقطع کانال را برای سرعت جریانی از آب چنان می توان طراحی کرد که با آن سرعت، در کانال فرسایش و یا رسوب گذاری صورت نگیرد.
- رابطه ی کندی (**Kennedy, 1895**):

کندی رابطه بین سرعت غیر فرسایشی و غیر رسوب گذار، V_0، و عمق جریان، y، را به صورت زیر بیان کرد:

$$V_0 = 0.55y^{0.64} \quad [۱]$$

- معادله ی فوق برای شرایط خاص (آبراهه ای که معادله فوق بر اساس داده های جمع آوری شده از آن حاصل شده است) کاربرد دارد. معادله ی کندی را به صورت عمومی زیر می توان نوشت:

$$V_0 = cy^x \quad [۲]$$

در معادله ی فوق، **c** تابع اندازه ی ذرات مواد بستر و نمای **x** تابع وجود مواد معلق در آب است. **c** و **x** برای هر کانال یا رودخانه متغیر خواهند بود.

روش تئوری رژیم

- محدودیت اصلی رابطه ی کندی این است که کندی عرض پایدار را مشخص نکرده و بنابراین تعداد نامحدودی جواب برای **b** و **y** می توان به دست آورد. تجربه نشان داده است که پایداری تنها در دامنه ی محدودی از عرض امکان پذیر است، زیرا در کانال های خیلی باریک، فرسایش کناره ها و در کانال های خیلی عریض، تجمع رسوبات اتفاق می افتد.

معادلات لی سی

لی سی به دنبال کارهای کندی لیندلی و بر اساس تحلیل مقادیر زیادی از داده های جمع آوری شده در کانال های خاکی شبه قاره هند دو معادله ی زیر را به دست آورد:

$$V = \sqrt{0.4FR_h}$$

$$AF^2 = 140V^5$$

$$V = 10.8R_h^{\frac{2}{3}}S_0^{\frac{1}{3}}$$

V= سرعت جریان (m/s)،

F = فاکتور لای،

R_h = شعاع هیدرولیکی (m)،

A= سطح مقطع جریان (m^2) و

S_0= شیب کف کانال.

روش تئوری رژیم

- فاکتور لای بیانگر تاثیر اندازه ی ذرات بستر بر ابعاد کانال است و از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$F = 1.76\sqrt{d_m} \quad [۳]$$

در رابطه ی بالا، d_m اندازه ی متوسط ذرات لای بر حسب **mm** است.

- با استفاده از ۳ معادله ارائه شده توسط لی سی می توان معادلات زیر را در سیستم **SI** به دست آورد:

$$P = 4.75\sqrt{Q} \quad [٤]$$

$$R_h = \frac{5}{2}\frac{V^2}{F} \quad [٦]$$

$$S_0 = 3\times10^{-4} F^{\frac{5}{3}} Q^{-\frac{1}{6}} \quad [٨]$$

$$V = \left(\frac{QF^2}{140}\right)^{\frac{1}{6}} \quad [٥]$$

$$R_h = 0.47\left(\frac{Q}{F}\right)^{\frac{1}{3}} \quad [٧]$$

❖ طراحی کانال خاکی بر اساس نظریه لی سی

۱- تعیین فاکتور لای با معادله ی [۳].

۲- محاسبه ی سرعت جریان با معادله ی [۵].

۳- تعیین سطح مقطع جریان (A) از معادله ی پیوستگی (Q=AV).

٤- پیدا کردن شعاع هیدرولیکی با معادله [٦].

۵- انتخاب شیب جانبی (z).

٦- نوشتن A و P بر حسب b و y برای z انتخاب شده. در رابطه ی A، مقدار عددی A را که از رابطه ی پیوستگی به دست آمده است قرار داده تا یک معادله با دو مجهول b و y به دست آید.

۷- مساوی قرار دادن شعاع هیدرولیکی به دست آمده از رابطه ی [٦] با حاصل عبارت $A/P=R_h$. به این ترتیب معادله ی دیگری با دو مجهول b و y حاصل می شود.

۸- حل معادلات دو مجهولی حاصل از بندهای ٦ و ۷ بطور هم زمان بر ای یافتن b و y.

۹- محاسبه ی شیب طولی با استفاده از معادله ی [۸].

مثال

- با روش لی سی کانالی را طراحی کنید که 15 متر مکعب در ثانیه آب را انتقال دهد. متوسط ذرات لای 0.323 میلی متر است. شیب بدنه ها را $1:\frac{1}{2}$ فرض کنید.
- راه حل:
- ابتدا فاکتور لای و سرعت محاسبه می شوند:

$$F = 1.76\sqrt{d_m} = 1.76\sqrt{0.323} \approx 1$$

$$V = \left(\frac{QF^2}{140}\right)^{\frac{1}{6}} = \left(\frac{15\times 1}{140}\right)^{\frac{1}{6}} = 0.69 \quad \frac{m}{s}$$

- مقدار عددی A و R_h محاسبه و با رابطه آنها بر حسب b و y برابر قرار داده می شوند.

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{15}{0.69} = 21.75\, m^2$$

$$A=(b+zy)y=\left(b+\frac{1}{2}y\right)y=21.75\,m^2 \qquad (i)$$

$$R_h=\frac{5}{2}\times\frac{V^2}{F}=\frac{5}{2}\times\frac{(0.69)^2}{1}=1.2\,m$$

$$P=b+2y\sqrt{z^2+1}=b+\sqrt{5}y$$

$$R_h=\frac{A}{P}=\frac{21.75}{b+\sqrt{5}y}=1.2\Rightarrow \quad b+\sqrt{5}y=18.125 \quad (ii)$$

از حل معادلات (i) و (ii) به طور هم زمان خواهیم داشت: y =1.38 m و b =15.21 m . برای کنترل جوابها مقدار عددی P از دو روش محاسبه و با هم مقایسه می شوند.

$$P=4.75\sqrt{Q}=18.39 \quad m$$

و

$$P=b+\sqrt{5}y=15.21+\sqrt{5}(1.38)=18.25 \quad m$$

چون مقادیر P از دو رابطه فوق برابرند، بنابراین ابعاد مقطع قابل قبول هستند. شیب کف از رابطه مربوطه محاسبه می شود.

$$S_0=\frac{F^{\frac{5}{3}}}{3340Q^{\frac{1}{6}}}=\frac{1^{\frac{5}{3}}}{3340(15)^{\frac{1}{6}}}=\frac{1}{5245}$$

در نهایت عمق آزاد از منحنی USBR برآورد می گردد.

روش نیروی برشی

- روش نیروی مالشی بر اساس نیروهای مالشی یا تنش برشی که بر کف و بدنه های کانال اعمال می شوند، قرار دارد. این روش، ابتدا توسط اداره عمران ایالات متحده (USBR) به کار برده شده است. نیروی مالشی وارد بر دانه های تشکیل دهنده ی کف و جدار کانال در اثر عبور جریان آب از روی آنها به وجود می آید. در عمل به جای نیروی وارد بر یک دانه ی منفرد، نیروی وارد بر سطح معینی از کف و بدنه را که در جهت جریان عمل می کند، به عنوان نیروی مالشی در نظر می گیرند. در جریان های یکنواخت نیروی مالشی بر واحد سطح (تنش برشی) از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

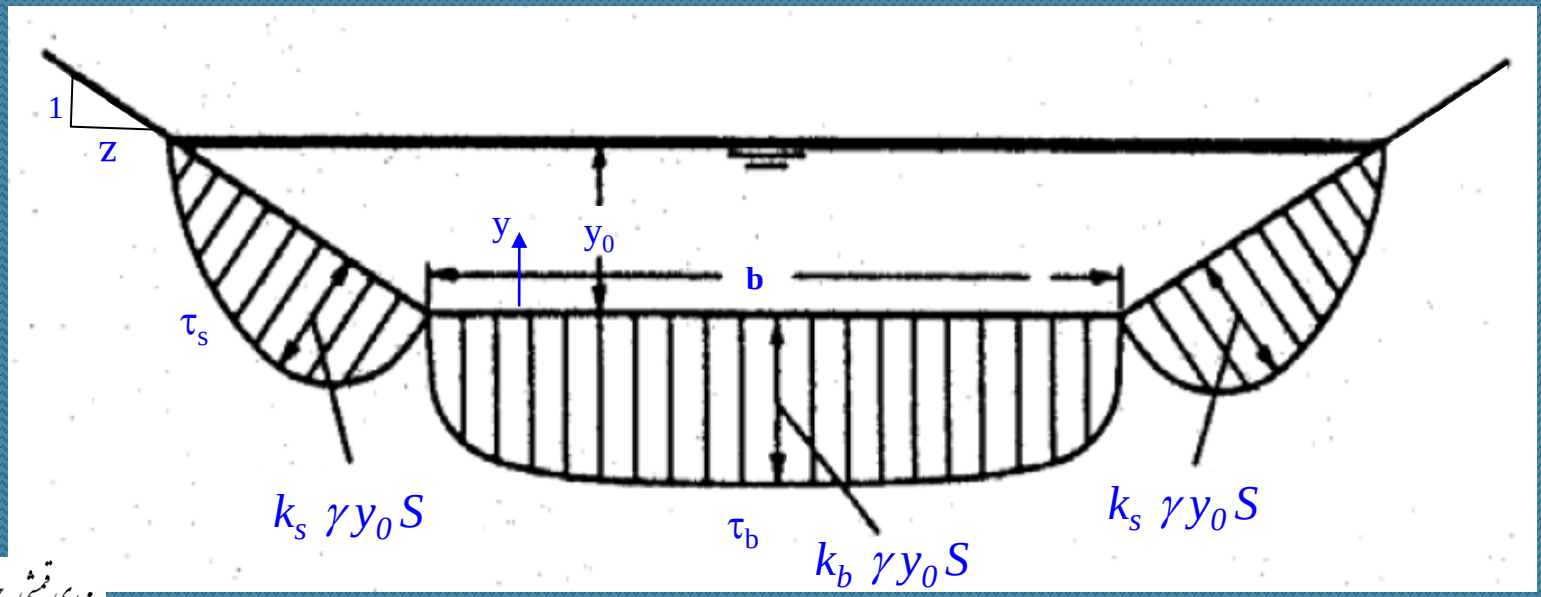
$$\tau_0 = \gamma R_h S_0 \quad [۸]$$

استفاده از رابطه ی فوق زمانی صحیح است که توزیع نیروی برشی در قسمت های مختلف کانال یکنواخت باشد. در کانال های عریض که عمق جریان با شعاع هیدرولیکی برابر است ($R_h \sim y_0$)، معادله ی فوق به صورت زیر خواهد بود:

$$\tau_0 = \gamma y_0 S_0 \quad [۹]$$

❖ توزیع تنش برشی در کف و بدنه های کانال

- توزیع نیروی برشی در کف و بدنه های کانال ها یکنواخت نمی باشد.
- نحوه توزیع تنش در مقطع یک کانال ذوزنقه ای با z=1.5 در شکل زیر نشان داده شده است (بر اساس مطالعات USBR).
- ضرایب k_b و k_s در معادلات تعیین تنش برشی در کف و دیواره های کانال، به z یا زاویه ی دیواره های کانال با افق (α) و نسبت عرض کف به عمق (b/y_0) بستگی دارد. برای مقاصد طراحی $k_b=1$ و $k_s=0.75$ در نظر گرفته می شود.



❖ رابطه ی لین

معادله ی زیر معادله ی لین نامیده می شود:

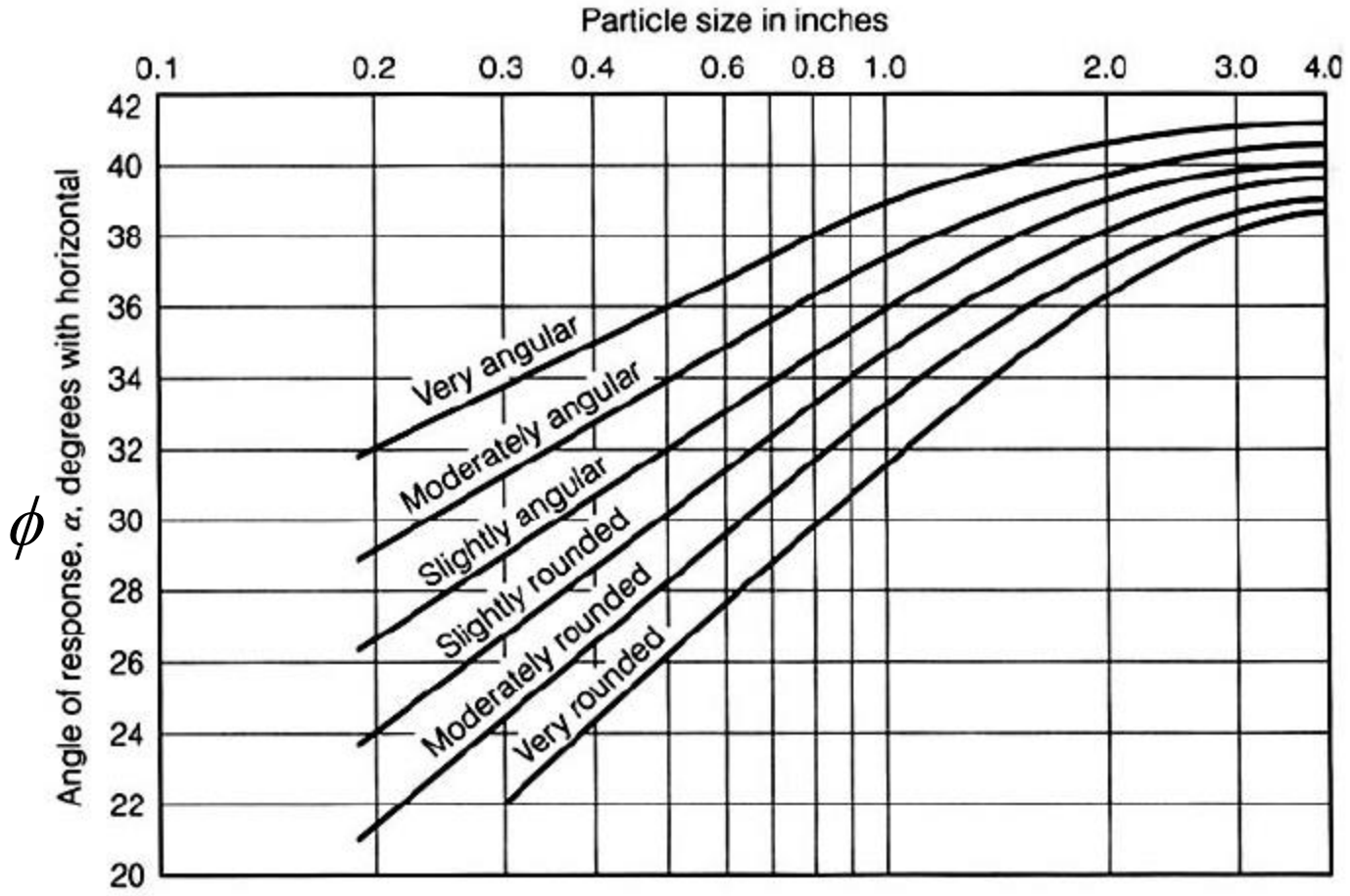
$$K_r = \frac{\tau_s}{\tau_b} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \phi}} \quad [۱۰]$$

معادله ی لین به همراه معادلات [۱۱] و [۱۲] یک روش طراحی منطقی را برای کانال های خاکی فراهم می سازد. زاویه ایستایی یا تعادل (ϕ) که تابع شکل و اندازه ی ذرات است را می توان با استفاده از شکل تعیین کرد. شکل مذکور مصالحی با اندازه های ماسه و سنگریزه را پوشش می دهد.

$$\tau_0 = k_b \gamma y_0 S_0 \quad [۱۱]$$

$$\tau_0 = k_s \gamma y_0 S_0 \quad [۱۲]$$

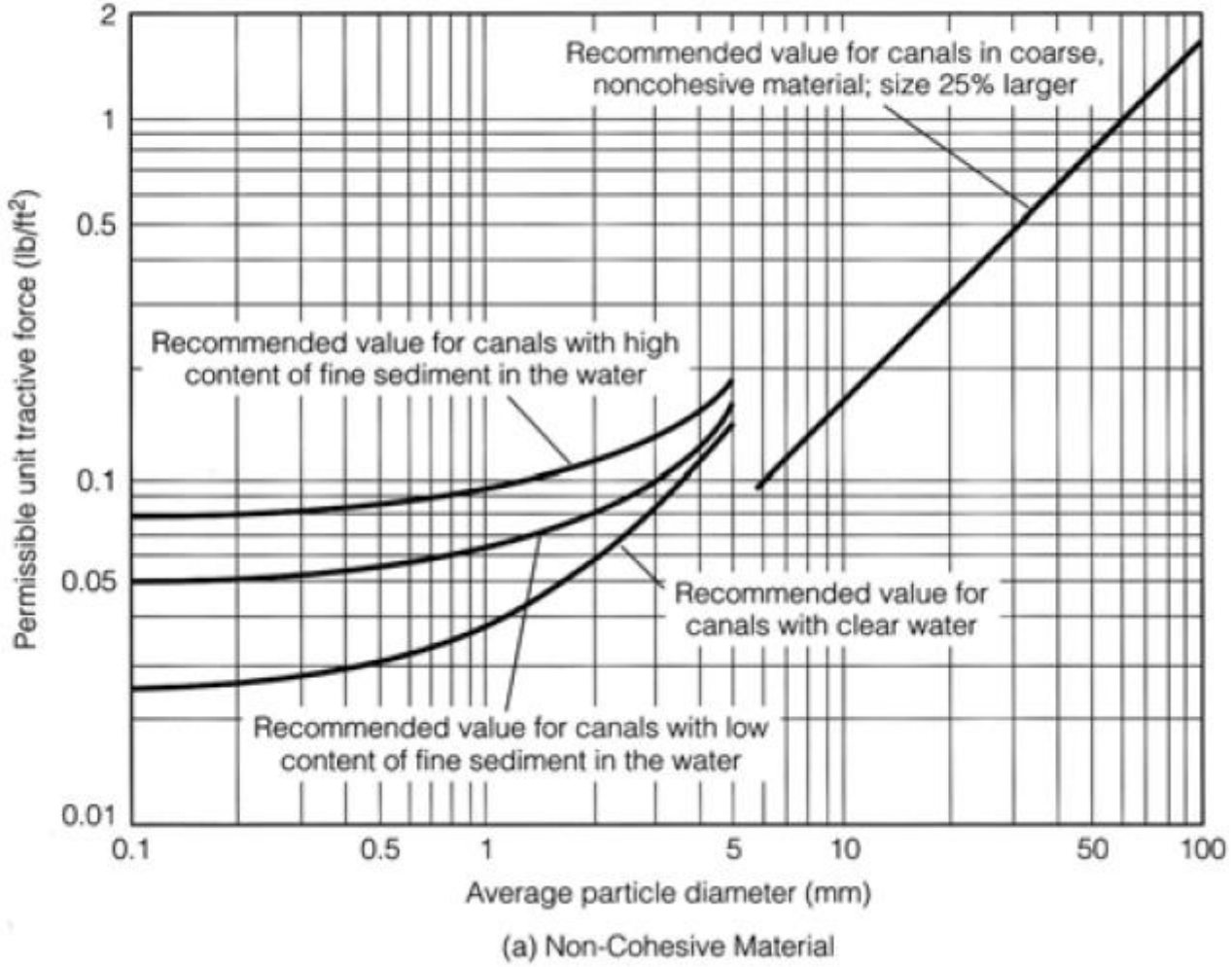
Angles of Repose of Noncohesive Material (Figure 3.48, Chin 2006)



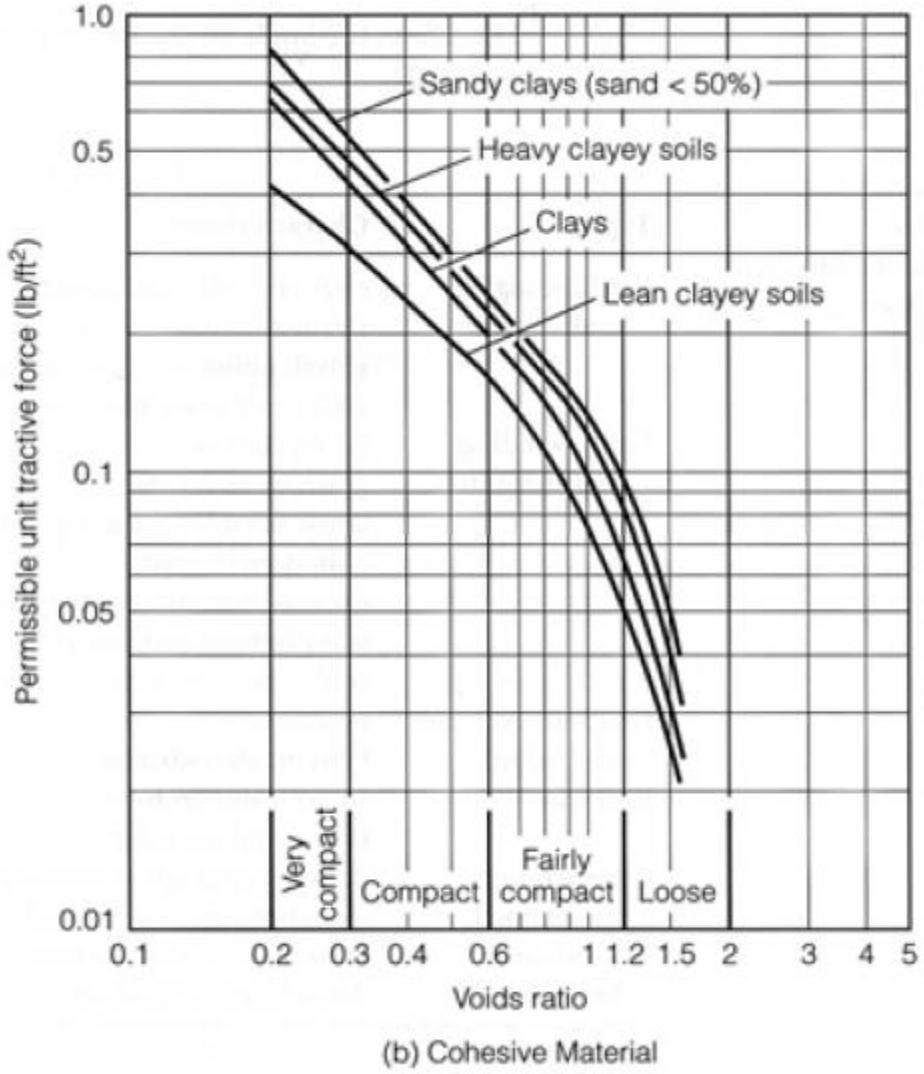
❖ تنش برشی مجاز (نیروی کشش مجاز)

- تنش برشی مجاز، حداکثر تنش برشی است که به ازای آن در بستر و بدنه های کانال فرسایشی رخ نمی دهد. بنابراین تنش برشی مجاز باید کمتر از تنش برشی بحرانی باشد.
- لین بر اساس داده های صحرایی، نمودارهایی برای تعیین تنش برشی مجاز در خاک های غیرچسبنده ارائه کرده است (شکل).
- مطابق منحنی های لین، تنش برشی بحرانی برای آب زلال کمتر از آب دارای ذرات رسوب است.
- برای تعیین تنش برشی مجاز در خاک های چسبنده می توان از شکل استفاده کرد. نمودارهای مذکور تنش برشی مجاز را بر حسب نسبت پوکی نشان می دهند.
- در استفاده از نمودارهای موجود باید توجه داشت که اولاً نمودارها برای کانال های مستقیم و ثانیاً برای ذرات رسوبی کف کانال صادق می باشند و اگر مسیر کانال پیچدار باشد، باید مقادیر به دست آمده از نمودارها تصحیح شوند.

Permissible Unit Tractive Force for Channels in Noncohesive Material (Figure 3.49a, Chin 2006)



(a) Non-Cohesive Material



(b) Cohesive Material

Permissible Unit Tractive Force in Channels in Cohesive Material (Figure 3.49b, Chin 2006)

❖ مراحل طراحی کانال با روش نیروی کششی

برای یک دبی مشخص Q، نوع خاک بستر و شیب کف (S_0) معلوم، مراحل طراحی به شرح زیر است:

۱- انتخاب ضریب زبری n (یا C)، شیب بدنه z و زاویه ایستایی ϕ.

۲- تعیین تنش برشی مجاز کف (τ_{bc}) با استفاده از نمودارهای موجود و اصلاح آن در صورت نیاز.

۳- محاسبه ی K_r از رابطه ی لین.

٤- محاسبه ی عمق y با توجه به شرایط زیر:

$$\gamma\, y\, S_0 \le \tau_{bc} \qquad 0.75\gamma\, y\, S_0 \le \tau_{sc} = K_r\, \tau_{bc}$$

y کوچک تر قابل قبول می باشد، زیرا هر دو رابطه ی فوق را ارضاء می کند.

۵- محاسبه ی عرض کف با استفاده از رابطه ی مانینگ یا شزی

٦- کنترل جواب ها،

۷- تعیین عمق آزاد،

۸- خلاصه کردن نتایج در یک شکل.

Example for the tractive force
Design a trapezoidal channel to carry 20 m^3/sec
Slightly sinuous channel on a slope of 0.0015.
The channel is to be excavated in coarse
alluvium with a 75-percentile diameter of 2 cm
(gravel),
Particle is moderately rounded

From the table n=0.025
θ =32' d75= 2 cm.= 0.8 inc
Since the channel is slightly sinuous, the
correction factor, Cs, for the maximum tractive

درجه سینوسیته	ضریب تصحیح
کانال مستقیم	1
سینوسیته خفیف	0.9
سینوسیته متوسط	0.75
سینوسیته شدید	0.6

Source : Lane, E.W. Desing of stable channel
Cs=0.90

The channel slope is selected to be 2:1
) H:V). The corresponding angle that the side slope makes with the horizontal, α, is given by:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{V}{H}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{2}\right) = 26.6^{\circ}$$

The tractive force ratio, K, (the fraction of the bottom tractive force applied to the channel side) is:

$$K_r = \frac{\tau_s}{\tau_b} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\phi}} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2(26.6^{\circ})}{\sin^2(32^{\circ})}} = 0.53$$

The permissible tractive force on the bottom of the channel is estimated from the USBR plots as 0.33 lb/ft2, or 15.9 N/m2 for a median particle size of 20 mm. Correcting this permissible force for the sinuousness leads to an allowable shear stress on the bottom of the channel of:

$$\tau_b = C_s(15.9\ {}^{N}\!/_{m^2}) = 0.9(15.9) = 14.3\ {}^{N}\!/_{m^2}$$

The permissible tractive force on the side of the channel is therefore:

$$\tau_s = K\tau_b = 0.53(14.3) = 7.6\ {}^{N}\!/_{m^2}$$

The normal depth of flow can be estimated by assuming that particle motion is incipient (side shear stress equal to the permissible tractive force) on the side of the channel:

$$0.76\gamma y_n S_0 = 7.6\ {}^{N}\!/_{m^2}$$

$$y_n = \frac{7.6}{0.76\gamma S_0} = \frac{7.6}{0.76(9790)(0.0015)} = 0.68\,m$$

Determine channel bottom width using the Manning's equation:

$$Q=\frac{A}{n}R^{2/3}S_0^{1/2}=\frac{A^{5/3}}{nP^{2/3}}S_0^{1/2}\Rightarrow\quad 20=\frac{A^{5/3}}{0.025P^{2/3}}(0.0015)^{1/2}$$

$$\frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}=12.9$$

$$A=(b+zy_n)y_n=[b+2(0.68)](0.68)=0.68(b+1.36)$$

$$P=b+2y_n\sqrt{1+z^2}=b+2(0.68)\sqrt{1+2^2}=b+3.04$$

$$\frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}=12.9\Rightarrow\quad\frac{(b+1.36)^{5/3}}{(b+3.04)^{2/3}}=24.5$$

b results in a minimum real value of 24.2 m

The actual tractive force on the channel bottom is:

$$\tau_b=\gamma y_n S_0=9790(0.68)(0.0015)=10\ {}^{N}\!/_{m^2}$$

This is less than the maximum permissible tractive force on the channel bottom (14.2 N/m^2), and is therefore acceptable from an tractive force aspect.

Check for subcritical flow

$$A = (b + zy)y = [24.2 + 2(0.68)](0.68) = 17.4\ m^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{20}{17.4} = 1.1 \quad {}^{m}\!/_{s}$$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

$$D = \frac{A}{T} = \frac{A}{b + 2zy} = \frac{17.4}{24.2 + 2(2)(0.68)} = 0.65\ m$$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} = \frac{1.1}{\sqrt{9.81(0.65)}} = 0.44$$

which indicates desirable subcritical flow (Fr < 1)

❖ طراحی کانال با پوشش سنگریز

- روش طراحی کانال با پوشش سنگریز، توسعه روش نیروی مالشی (برشی) است. با این روش ابعاد کانال و اندازه ی سنگریز چنان انتخاب می شود که حداکثر تنش برشی مرزی از تنش برشی بحرانی برای فرسایش بیشتر نگردد.
- در این روش طراحی، ضریب مقاومت جریان (**n**) برای سنگریز به عنوان جزئی از طراحی تعیین شود. می توان **n** را از رابطه ی زیر به دست آورد:

$$n = 0.049 d_{50}^{\frac{1}{6}}$$

- در رابطه ی فوق $\mathbf{d_{50}}$ اندازه ی متوسط سنگریز بر حسب متر است. بر اساس داده های سنگریز، تنش برشی بحرانی از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$\tau_{bc} = 628.4 d_{50}$$

- در رابطه ی بالا، $\mathbf{d_{50}}$ بر حسب متر و τ_{bc} تنش بحرانی کف در آستانه حرکت ذرات است. پس از تحلیل توزیع تنش برشی روی کف و بدنه های کانال ذوزنقه ای، روابط زیر حاصل شده اند.

$$(\tau_b)_{\max} = 1.5 \gamma R_h S_0 \qquad (\tau_s)_{\max} = 1.25 \gamma R_h S_0$$

❖ طراحی کانال با پوشش سنگریز

- بر اساس نظریه کانال های پایدار نسبت نیروی مالشی **Kr** در آستانه ی حرکت از رابطه ی لین به دست می آید:

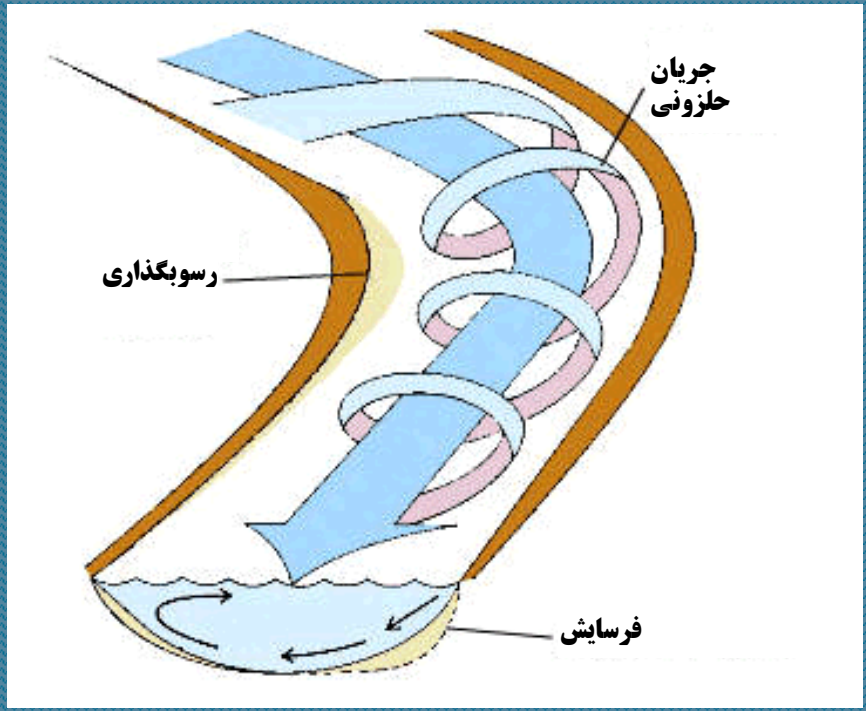
$$K_r = \frac{\tau_{sc}}{\tau_{bc}} = \left[1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \phi}\right]^{\frac{1}{2}}$$

- همواره $K_r < 1$، زیرا روی سطح شیبدار کناره ها به علت وجود مولفه ی نیروی وزن در جهت پایین شیب، تنش برشی بحرانی کمتر از تنش برشی بحرانی کف است.

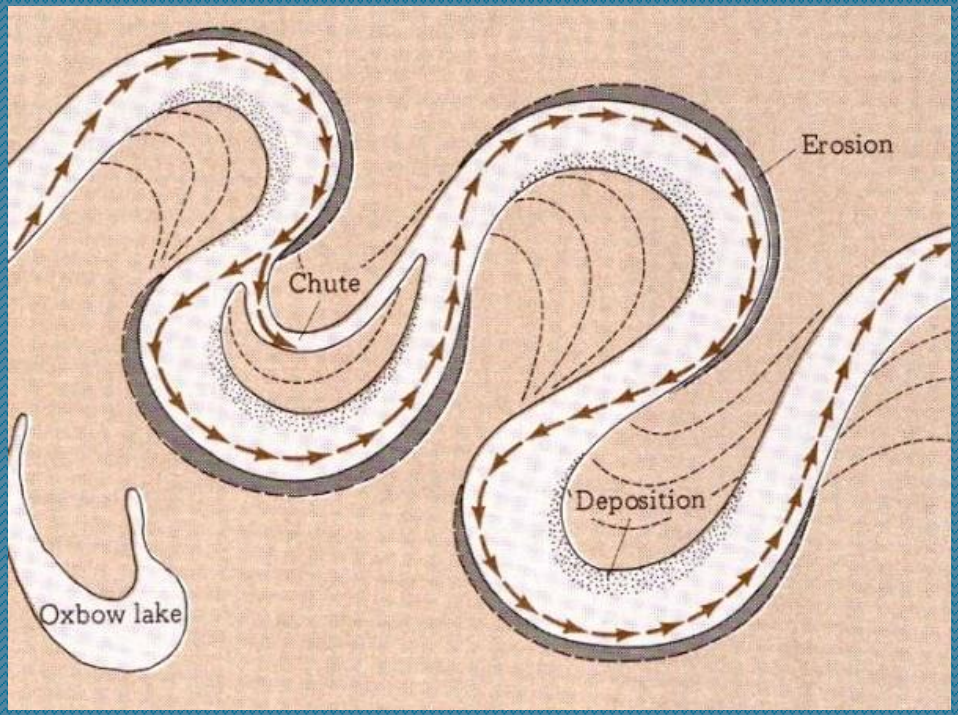
❖ جریان در مسیر انحناء

❑ جریان زیر بحرانی در انحنا

- وقتی آب در مسیر منحنی جریان داشته باشد، نیروی اینرسی وارد بر آن، تمایل دارد که جریان را در مسیر مستقیم نگه دارد. ذرات آب در نزدیکی سطح آزاد که دارای سرعت بیشتری نسبت به ذرات آب در نزدیکی کف کانال هستند، تحت تاثیر نیروی اینرسی بزرگتری قرار می گیرند. نیروی اینرسی بزرگتر، ذرات آب با سرعت بیشتر را به طرف کناره ی خارجی انحناء هدایت می کند. در حالی که به منظور برقراری اصل پیوستگی، ذرات آب با سرعت کمتر به طرف کناره ی داخلی انحناء حرکت می نماید. در نتیجه ی این حرکت، یک جریان حلزونی یا مارپیچی در انحناء به وجود می آید (شکل).
- در نتیجه ی جریان حلزونی، در ساحل خارجی کانال فرسایش و در ساحل داخلی، رسوب گذاری صورت می گیرد.
- در محل انحناء علاوه بر افت انرژی به سبب اصطکاک، افت انرژی دیگری به علت وجود جریان ثانویه به نام افت موضعی وجود دارد. مقدار افت موضعی در انحناء ناچیز است.



شماتیک جریان چرخشی ثانویه در محل قوس رودخانه



تغییرات مورفولوژیکی رودخانه در نتیجه ی الگوی جریان در بازه های انحنا دار.

❖ جریان در مسیر انحناء

❑ جریان زیر بحرانی در انحنا

- وجود انحناء در مسیر کانال باعث مورب شدن سطح آب در امتداد عرض کانال می گردد. در حقیقت به علت نیروی گریز از مرکز، سطح آب در قسمت خارجی انحناء بالا می رود، در حالی که سطح آب در قسمت داخلی انحناء پایین می افتد. به منظور تعیین عمق آزاد در خم ها محاسبه ی اختلاف $\Delta y=y_1-y_2$ در سطح آب ضروری خواهد بود.
- فرض می شود شیب سطح آب خطی است و کلیه ی ذرات آب در انحناء با سرعت متوسط V جریان دارند. مطابق با قانون دوم نیوتن، باید برآیند نیروهای هیدرواستاتیکی با حاصل ضرب جرم آب و شتاب شعاعی V^2/r برابر باشد؛ بنابراین:

$$\frac{\gamma y_1^2}{2} - \frac{\gamma y_2^2}{2} = \frac{\rho T (y_1 + y_2)}{2} \frac{V^2}{r}$$

پس از تقسیم رابطه ی فوق بر $\gamma(y_1+y_2)$ و مرتب کردن آن، نتیجه می شود:

$$\Delta y = y_1 - y_2 = \frac{TV^2}{gr}$$

که در آن r شعاع انحناء نسبت به خط مرکزی کانال می باشد.

❖ جریان در مسیر انحناء

❑ جریان زیر بحرانی در انحنا

- به طور کلی هر قدر شعاع انحنای مسیری بزرگ تر باشد، اختلاف ارتفاع Δy کمتر است.
- در عمل و در صورت امکان شعاع انحنای r به اندازه ای انتخاب می شود که تغییر ارتفاع در سطح آب کوچک باشد. معمولاً اثر انحناء برای $r > 3T$ قابل صرف نظر کردن است.
- **Woodward** (۱۹۲۰ و ۱۹۴۱) نیم رخ توزیع سرعت در عرض کانال را سهمی فرض کرد (یعنی سرعت در دیواره های کانال را صفر و در خط مرکزی آن حداکثر فرض کرد). وی بر اساس این فرض و با استفاده از قانون دوم نیوتن، معادله ی زیر را برای Δy به دست آورد:

$$\Delta y = \frac{V_{max}^2}{g}\left[\frac{20}{3}\frac{r}{b} - 16\left(\frac{r}{b}\right)^3 + \left(\frac{4r^2}{b^2} - 1\right)^2 Ln\left(\frac{2r+b}{2r-b}\right)\right]$$

- در معادله ی فوق، b = عرض کانال و V_{max} سرعت در خط مرکزی کانال است. معادله بالا به علت فرضیات دقیق تر، برآورد بهتری از Δy به دست می دهد.

❖ جریان در مسیر انحناء

❑ جریان زیر بحرانی در انحنا

➢ چاو (۱۹۵۹) برای محاسبه ی Δy رابطه ی زیر را توصیه می کند:

$$\Delta y = \frac{V^2 r^2}{2g r_0^2 r_i^2}\left(r_0^2 - r_i^2\right)$$

➢ در جدول زیر نیز حداقل شعاع انحناء مطابق با استانداردهای هند برای کانال های خاکی داده شده است:

> 100	100-30	30-15	15-3	3-0.5	< 0.5	Q (m^3/s)
1500	900	600	200	150	90	r_{min} (m)

❖ جریان در مسیر انحناء

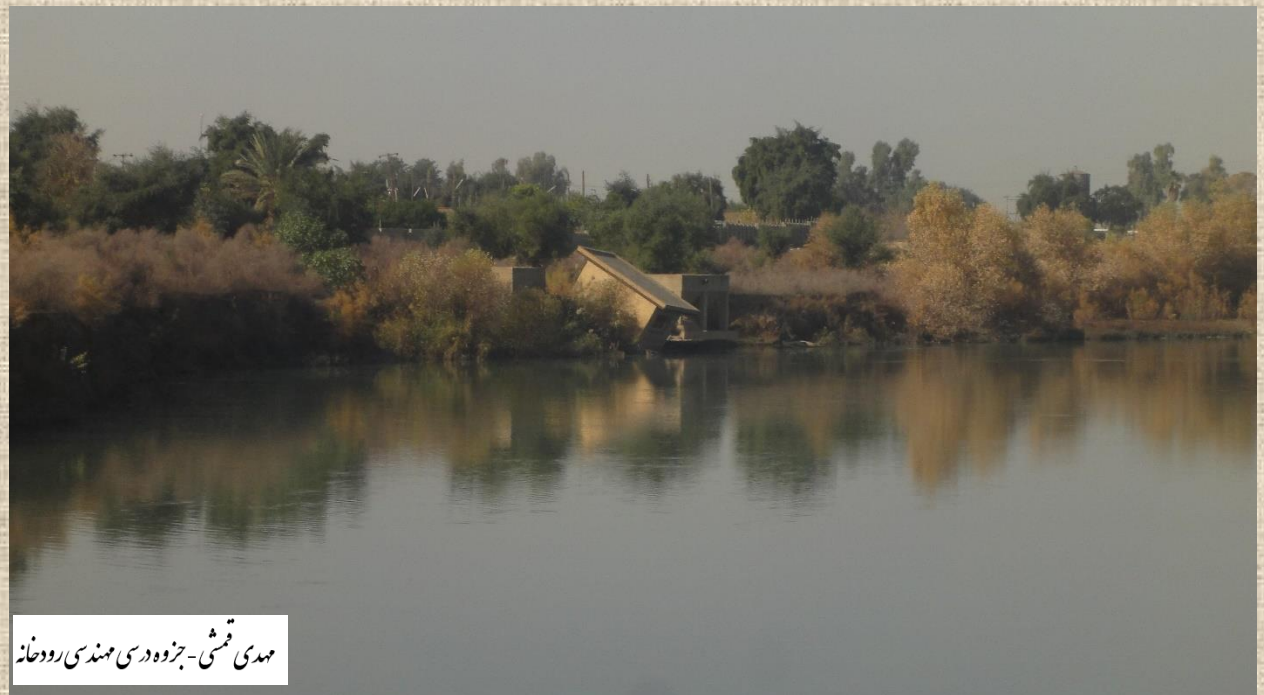
❑ جریان فوق بحرانی در انحنا

- هنگامی که جریان فوق بحرانی در داخل انحنای کانال برقرار باشد، علاوه بر آن چه که برای جریان های زیر بحرانی گفته شد، تقاطع امواج، مساله را پیچیده تر می کند.
- حداکثر اختلاف ارتفاع سطح آب (Δy) بین کناره های داخلی و خارجی انحناء در جریان فوق بحرانی، تقریباً دو برابر اختلاف ارتفاع نظیر در جریان های زیر بحرانی است (**Ippen and Knapp, 1983**)؛ یعنی:

$$\Delta y = \frac{2TV^2}{gr}$$

- بنابراین در جریان های فوق بحرانی در انحنای کانال، نصف Δy به علت شتاب گریز از مرکز و نصف دیگر آن به علت آشفتگی ناشی از امواج است.

فرسایش کناری رودخانه و کنترل آن
River bank Erosion Control



فهرست مطالب

- مقدمه
- چگونه می توانیم فرسایش کناری را کنترل کنیم
- روشهای کنترل فرسایش کناری

- استفاده از پوشش گیاهی یا روشهای بیومهندسی
  - بذر پاشی کناره ها
  - میخ های چوبی زنده (قلمه کاری)
  - ترکیبی سنگ چینی و قلمه کاری
  - کاشت ردیفی دسته ای گیاهان
  - لحاف خار و خاشاک
  - دیواره زنده
  - دسته ای
- رول نخی پوشال نارگیل
- تیر چوبی
- ستون بندی با سیم یا فنس .....
- ریپ رپ
- سیستم جتی
- صفحات مستغرق
- سازه های توری سنگی (گابیون)

مقدمه

ساماندهی ، اصلاح مسیر و حفاظت دیواره های رودخانه منحصر به استفاده از یک روش خاص در طول یک بازده و یا در دو سمت ساحلی رودخانه نیست ، بلکه متناسب با شرایط مختلف ، تلفیقی از کاربرد روش های مختلف را در بر می گیرد.{۴۲}.جدول (۲-۴) و جدول (۲-۶)تا (۲-۸) انواع روش های موجود حفاظت دیواره و تناسب کاربرد هر یک را در شرایط مختلف رودخانه به طور خلاصه معرفی می نماید.روش های حفاظت و تثبیت رودخانه هر حسب نوع مصالح ، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن ، مکانیزم عملکرد حفاظتی ، دوام کارکرد و موضع کاربرد به ترتیب به شناسه های زیر تقسیم می شود:

-انعطاف پذیری : صلب یا انعطاف پذیر.

-آبگذری : نفوذ پذیر یا نفوذ نا پذیر.

-سازکار حفاظتی: روش مستقیم (روکش ها و دیواره حائل) و روش غیر مستقیم(آرام کننده ها و انحراف دهنده ها)

-نوع مصالح و ساختار حفاظتی: طبیعی ، سازه ای و طبیعی، سازه ای

-موضع کاربرد: حفاظت بستر رودخانه (کنترل شیب کف) ،حفاظت دیواره رودخانه و حفاظت حریم و ساحل بالا و یا سیلابدشت رودخانه.

-دوام : موقتی (اضطراری) ، کوتاه مدت یا دائمی (حفاظت دراز مدت)

- روشهای کنترل فرسایش کناری را می توان به دو روش کلی سازه ای و بیو مهندسی تقسیم نمود. در روشهای سازه ای مصالح اصلی کنترل فرسایش، آهن، چوب، بتن، سنگ و دیگر مصالح آبرفتی ویا ترکیبی از آنها می باشند. در روش بیو مهندسی از گیاهان علفی و درختان و یا دیگر گیاهان برای کنترل فرسایش استفاده می گردد. در عمل در بیشتر حالات ترکیبی از این دو روش مورد استفاده قرار می گیرد.

تثبیت و حفاظت دیواره هاي رودخانه با روش های بیومکانیکی (بیومهندسی)

مشخصات و مکانیزم کارکرد روش های مختلف

1. روش های طبیعی: در روش طبیعی(زیستی)، حفاظت سطح دیواره و اراضی ساحلی (محدوده حریم رودخانه) با استفاده از مصالح طبیعی مانند پوشش گیاهی (در سه گروه چمنی، بوته ای، درختچه و درختان) یا استفاده از چوب و ترکه به هم بافته (به صورت پوشش سطحی یا تسلیح خاک)، صورت می پذیرد.روش های طبیعی در شرایط تلاطم کم جریان (حداکثر سرعت متوسط ۱ متر بر ثانیه و حداکثر ارتفاع موج ۰.۱۵ متر) ، راستای نسبتا مستقیم رودخانه و یا پیچ های ملایم (انحنای نسبی- نسبت شعاع انحنای مرکزی R به عرض سطح آب B در بازه بیش از ۲۶) ، و شرایط فیزیکی مناسب دیواره ها (حداقل شیب جانبی (1.5H:1V)، ترجیحا (2H:1V)) کارایی خوبی دارند.

2. روش های سازه ای: در روش ساز های (ساختمانی یا مکانیکی) با استفاده از مصالح فنی و ساختمانی (بتن، سنگ، سیمان و قیر) انواع سازه های مقاوم از نوع دیواره های نگهدارنده و یا روکش طرح و انتخاب میگردند. سازه های ساختمانی عموما نیازمند مصالح، امکانات فنی و کارگاهی زیاد و پیچیده بوده و هزینه بالایی را شامل می گردد.

3. روش های تلفیقی (بیو مهندسی): در این روش مجموعه شرایط حفاظت ساز ه ای و زیستی به منظور گزینش برتر اقتصادی، فنی و زیست محیطی مورد نظر قرار می گیرد.

روش های بیومهندسی در تثبیت و حفاظت دیواره های رودخانه

تعریف : این تکنولوژی جمع بندی و یکپارچه سازی شیوه های مهندسی بی عیب و دقیق با اصول بوم شناختی می باشد.آنها از ترکیب مواد کاشت زنده با المانهای سازه ای تولید می شوند.

انواع روش های بیومهندسی: انواع روشهای بیومهندسی شامل(LIVE STAKING، LIVE FASCINES، ENVIROLOG، BRUSHMATTRESS، REINFORCED VEGETATED SOIL SYSTEM (VRSS)، .....) می باشد

روش LIVE STAKING:

- تعریف: ساقه های بریده شده زنده هستند که در داخل زمین کوبیده میشوند و قابلیت رشد دارند و با ریشه کردن سبب پر شدن حفرات موجود در خاک و تقویت آن میشود.زمانی که در ترکیب با دیگر روشها استفاده شود موفقیت بالایی خواهد داشت

ها:

- تعمیر و مرمت سازی لغزش های خاکی موضعی، کم عمق، کوچک و ساده.
- برای پر کردن سراسری خلل و فرج و سوراخها و مهار کردن و افزودن کارایی در دیگر سیستم های بیو مهندسی می تواند استفاده شود.
- شرایطی را برای مهاجرت طبیعی عوام یا اجتماع گیاهان مجادور را بهبود می دهد.
- زمانی که به یک روش بیومهندسی ارزان و سریع وساده نیازمند باشیم،مفید خواهد بود.

مراعات طراحی:

1. این میخ های چوبی (قابلیت رشد دارند) وقتی به تنهایی استفاده میشوند دارای ۰.۷۵ تا ۱ متر طول و ۲۰ تا ۵۰ میلی متر قطر و وقتی با دیگر تکنیکهای بیومهندسی استفاده میشود دارای ۱.۵ تا ۳ متر طول و ۵۰ تا ۷۵ میلی متر قطر میباشند.
2. ساقه های بریده شده باید یک یا دو محل برای ظاهر شده شکوفه در تراز بالای سطح زمین داشته باشند.
3. این سیستم باید با حصیر الیاف نارگیل یا ژئوتکستایل در برابر له شدن در برخورد و ضربات سنگها محافظت شوند.

نصب و اجرا:

- قلمه گیاهان باید قبل از نصب در داخل آب انباشته و ذخیره شوند و اگر در همان روز نصب شوند دارای موفقیت بالایی خواهند بود.این سیستم به صورت عمیق به طوری که ۷۵ درصد از آن در درون خاک قرار گیرد نصب می شود و فاصله بین آنها ۰.۵ تا ۱.۵ متر در در ناحیه مرطوب و ۰۱۵ تا ۰۲۵ متر در ناحیه های خشک میباشد و اگر در هنگام نصب پوست و شکوفه های آنها کنده شود ، بلافاصله باید جایگزین شود.

روش LIVE FASCINES

تعریف: بسته هایی از ساقه ها یا شاخه های بریده شده زنده که معمولا از جنس بید میباشد و در امتداد طولی با یکدیگر بسته میشوند و برای کنترل فرسایش کناره های جریان استفاده می شود

کاربردها:

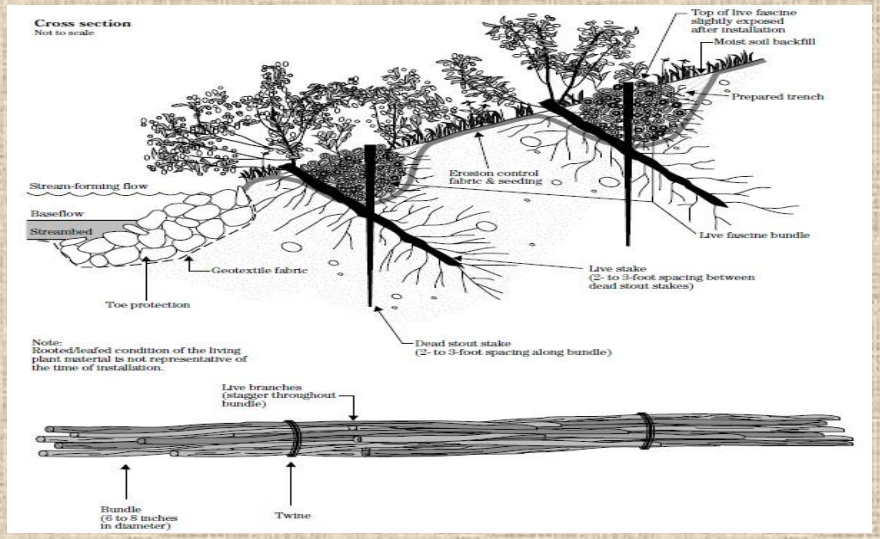
- ممکن است برای نواحی آب بردگی شده، ناحیه های سطوح فرسایش روی شیب های زمین های کوهستانی،خطوط ساحلی و کناره های جریان و در امتداد حریم رودخانه استفاده شود.
- برای تعمیر و مرمت لغزش های خاکی کوچک یا به محافظت شیبها از لغزش های کم عمق که عمق ۰.۲ الی ۰.۳ متر دارند مفید است.
- این سیستم مستلزم به دیگر مواد گیاهان یا کاشت همانند ساقه های گیاهان، علف ها و ... میباشد و شرایطی را برای مهاجرت طبیعی و بهبود استقرار گیاهان مجاور فراهم می کند.
- مراعات طراحی:
- فاصله بندی و تقسیم بندی این سیستم مطابق جدول ، (Sotir 1994،Gray) می باشد

جدول – فاصله بین شیارها در سیستم LIVE FASCINES

تندی شیب (H:V)	فاصله شیارها یا ترانشه ها روی شیب خشک (m)	فاصله شیارها یا ترانشه ها روی شیب مرطوب (m)
1:1 تا 1.5:1	0.9-1.2	0.6-0.9
1.5:1 تا 2:1	1.2-1.5	0.9-1.5
2:1 تا 2.5:1	1.5-1.8	0.9-1.5
2.5:1 تا 3:1	1.8-2.5	1.2-1.5
3.5:1 تا 4:1	2.5-2.75	1.5-2.1
4.5:1 تا 5:1	2.75-3	1.8-2.5

نصب و اجرا:

ابتدا ساقه ها یا شاخه های انعطاف پذیر و مستقیم که دارای ۱.۲۵ تا ۳ متر طول و ۲۵ میلی متر قطر میباشند به صورت دسته هایی با ۳ تا ۱۰ متر طول و ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی متر قطر، گره زده و بسته می شوند.وقتی این سیستم برای اهداف زهکشی استفاده شود ممکن است قطر آنها تا ۳۰۰ میلی متر نیز افزایش یابد.شروع عملیات از قسمت پایین شیب می باشد و شیارهایی تقریبا به عرض و عمق ۲۵۰ میلی متر کنده میشود و فاصله بین آنها طبق جدول قبل مشخص میشود.سپس المانها و روکش های کنترل فرسایش نظیر coconut netting و ... در داخل و بین شیارها قرار گرفته و در بین ردیفها بذر پاشی و کاشت انجام می شود.سپس دسته ها در داخل شیارها قرار میگیرند و میخ های چوبی مرده (قابلیت رشد ندارند) به صورت مستقیم و به فاصله ۰.۶ الی ۱ متر از وسط دسته ها به داخل خاک رانده می شود.میخ های چوبی زنده به طول ۰.۷۵ متر به صورت مورب مانند شکل زیر در بین میخ های چوبی مرده طوری که سطح بالایی آنها ۵۰ تا ۷۰ میلی متر بالاتر از تراز سطح زمین باشد قرار میگیرند.سپس عملیات خاکریزی و تراکم انجام میگیرد.در این سیستم در قسمت پنجه شیب محافظت توسط الیاف یا بافت ژئوتکستایل و سنگ ها همانند شکل انجام میشود:



روش VEGETATED GABION STRUCTURE

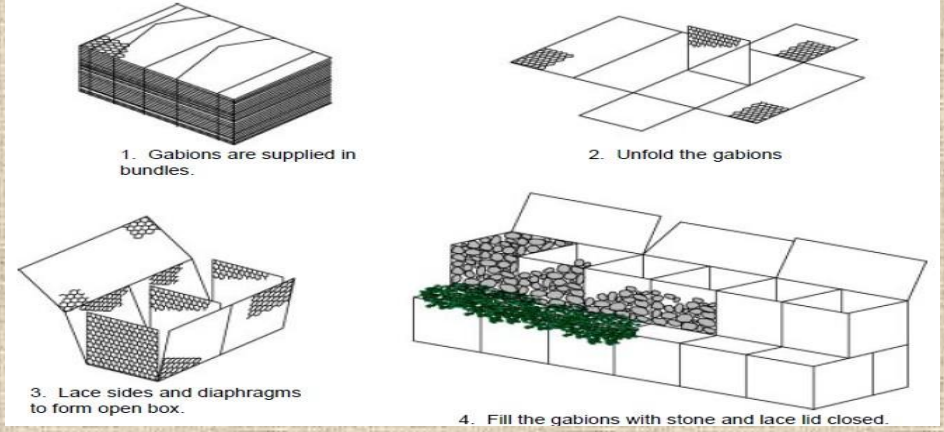
تعریف: ساختمان های گابیون از جعبه های شبکه بندی شده با سیم پیچی دوبله از قبل جمع شده و با سنگ پر شده ، ساخته شده است و یک سازه یکپارچه و انعطاف پذیر میباشد. گیاهان ریشه دار و ساقه های بریده شده زنده (قابلیت رشد دارند) میتوانند بین ردیف های گابیون نصب شوند. گابیونها المان های زهکش آزاد میباشند. شکل

ربردها:

- برای شیب های تند، کناره های رودخانه و ناحیه های خطوط ساحلی استفاده می شود.
- محافظت فوری و بلند مدت از فرسایش سطحی و گسیختگی ژئوتکنیکی را فراهم می کند.
- به تله اندازی رسوبات و کم کردن سرعت آب در نزدیکی کناره ها کمک می کند.

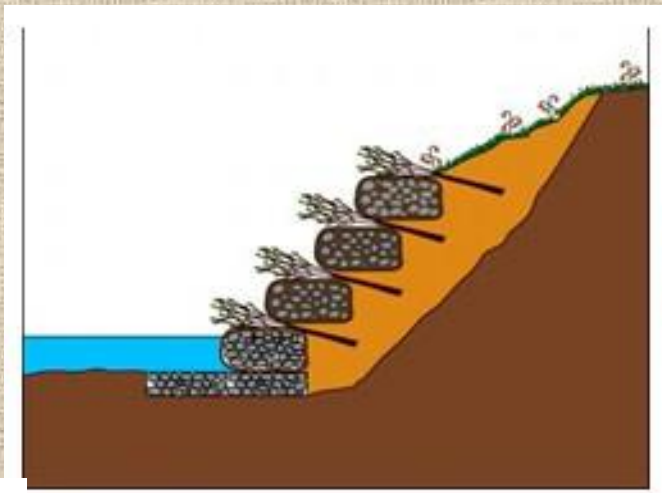
نصب و اجرا:

1. شروع نصب از پایه و اساس شیب و زیر حد عمق آبشستگی انجام میشود.
2. سبدهای گابیون را باز کرده و قسمتهای کناری و دیافراگم (پرده میانی) را بلند کرده و لبه های آنها را با تکنیکهای ملیله دوزی باهمدیگر متصل میکنیم.
3. تعدادی از گابیون ها را پشت در پشت و پهلو در پهلو هم قرار میدهیم و لبه های تماسشان را به صورت محکم با هم می دوزیم.
4. این سبدها را با سنگهایی به قطر۱۰۰الی۲۰۰ میلی متر پر می کنیم.سیم های متصل کننده در ترازهای ۳/۱ و ۳/۲ از هر یک متر ارتفاع و در تراز وسط برای نیم متر ارتفاع گابیون قرار می گیرند.گابیون معمولا در ارتفاع های۰.۵ و۱متری ساخته میشود.
5. سپس درپوش سبد گابیون در لبه مرزی با سیم ها دوردوزی می شوند.یک میله فلزی میتواند بسته شدن درپوش را آسانتر کند.
6. ساقه های بریده شده زنده (گیاهان) در بین این سبد ها قرار میگیرند و گامها مانند قبل تا تراز مورد نظر تکرار میشوند.در شکل زیرروند کلی نصب و اجرا را مشاهده می کنید :



روش ENVIROLOG

تعریف: یک سبد سیمی بیضی شکلی که از شبکه های سیم پیچی شده شش ضلعی با روکش PVCساخته شده است.آنها دارای۲متر طول،۰.۵متر ارتفاع و ۱متر عرض در دسترس میباشند و با روکش الیاف نارگیل پوشانده و با خاک و سنگ پر شده اند.پوشش گیاهی هم در این سیستم برقرار شده است شکل زیر



دها:

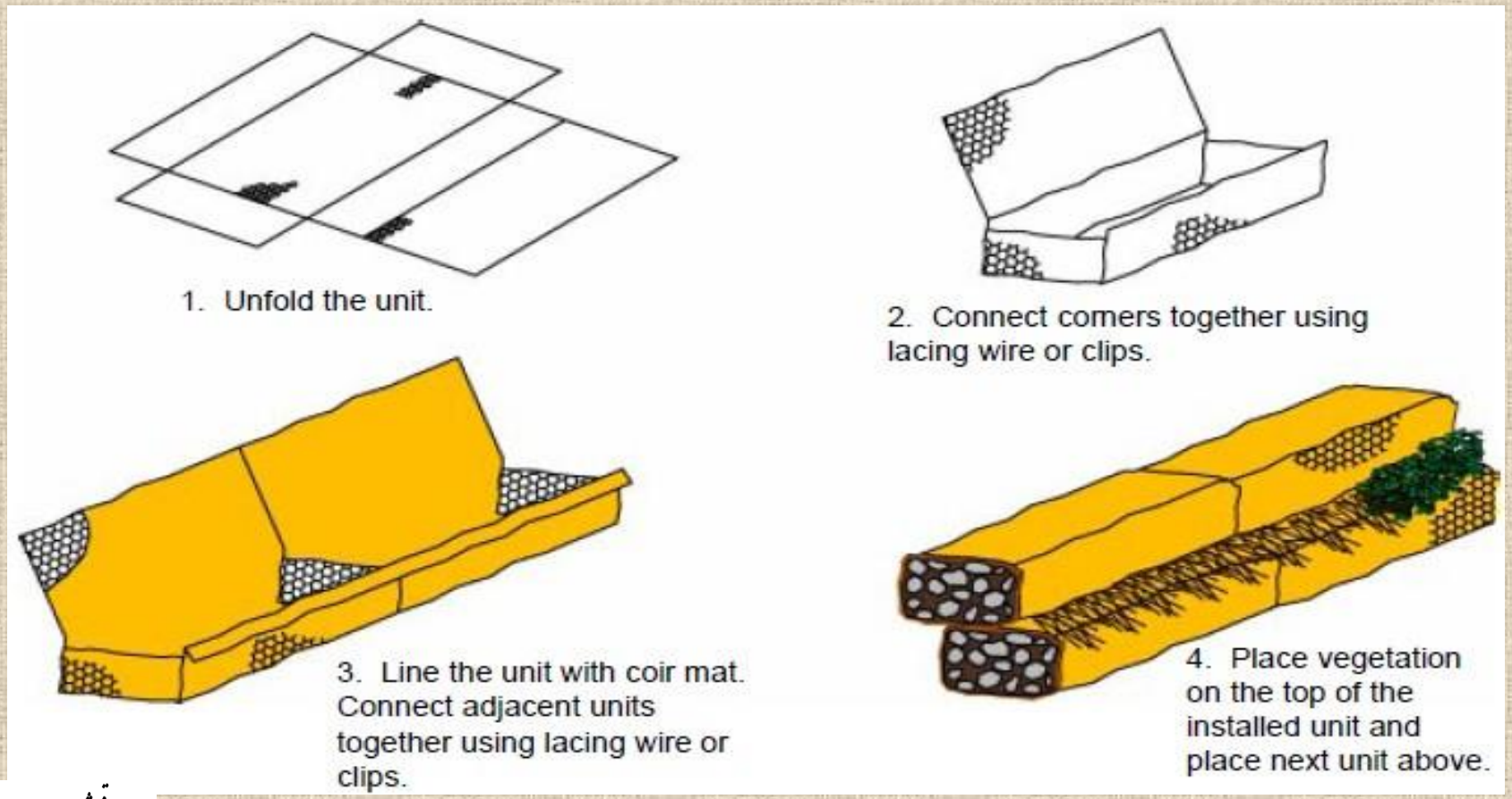
- یک پوشش فوری و بلند مدت کنترل فرسایش برای رودخانه ها و کناره های جریان فراهم می کند.
- با ایجاد شرایط خوب و مهمان نوازانه به استقرار پوشش گیاهی کمک می کند.
- یک پوشش در حریم رودخانه برای گیاهان آبزی و محل سکونت برای پرنده های غیر اهلی فراهم می کند.
- به کم کردن سرعت آب در کناره ها و تله اندازی رسوب زمانی که پوشش گیاهی آن رشد پیدا نمود کمک می کند.

مراعات طراحی:

1. پنجه شیب باید از آبشستگی توسط نصب واحدهایی داخل بستر در زیر عمق آبشستگی محافظت شوند.این واحدها با انواعی از سنگها پر می شوند.
2. تکنیک های مختلف بیومهندسی می تواند با این سیستم استفاده شود.بعضی در هنگام نصب و بعضی های دیگر بعد از نصب بکار میروند.
3. این سیستم یک سیستم دیوار نگهدارنده نیست و برای مقاومت کردن در برابر تنش ها و فشارهای بزرگ جانبی زمین طراحی نمیشود.وطراحی این سیستم بر اساس برابر قرار دادن تنش نیروی کششی و تنش برشی مجاز Envirologs کنترل میشود.
4. ژئوگریدها (شبکه های پلیمری) می تواند در ترکیب با این سیستم همانند یک سیستم خاک تقویت شده استفاده شود.
5. سطح شیبدار این سیستم ماکزیمم تا ۶۰ درجه از افق میباشد و اگر از این مقدار تجاوز نماید استقرار پوشش گیاهی مشکل می شود.
6. طول عمر روکش الیاف نارگیل بین ۳ تا ۵ سال میباشد که یک مدت زمان کافی برای استقرار پوشش گیاهی میباشد.

سب و اجرا:

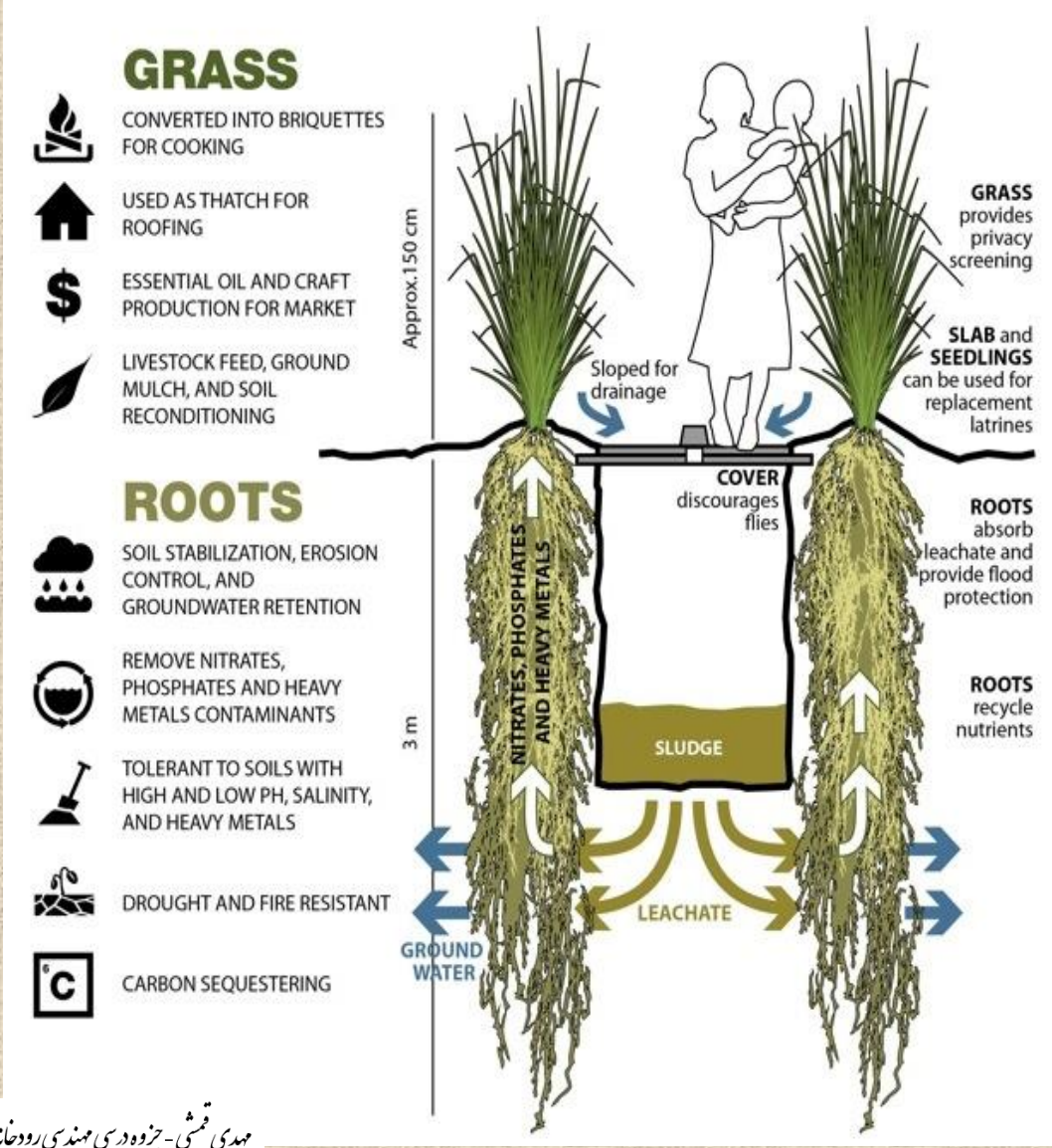
ابتدا واحدها را باز کرده و گوشه های آنها را با سیم توری با یکدیگر اتصال می دهیم.واحدها را با الیاف نارگیل پوشش داده و واحدهای مجاور را با یکدیگر توسط سیم توری متصل می نماییم.واحدهای بالای تراز آب حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد در واحد حجم با سنگ پر میشوند و بقیه با خاک میباشد و اطمینان پیدا کنیم که همه گوشه ها پر شده اند و واحدهای زیر سطح آب باید تماما با سنگ پر شوند.در ترازهای پایین تر از ۷۰ درصد حجم سنگها و کمی بالاتر ۵۰ درصد حجم سنگ استفاده می شود.درپوشها بسته میشوند و ساقه های بریده شده زنده و گیاهان ریشه دار در بالای این ردیف قرار گرفته و همانند قبل لایه ها تکرار می شوند شکل



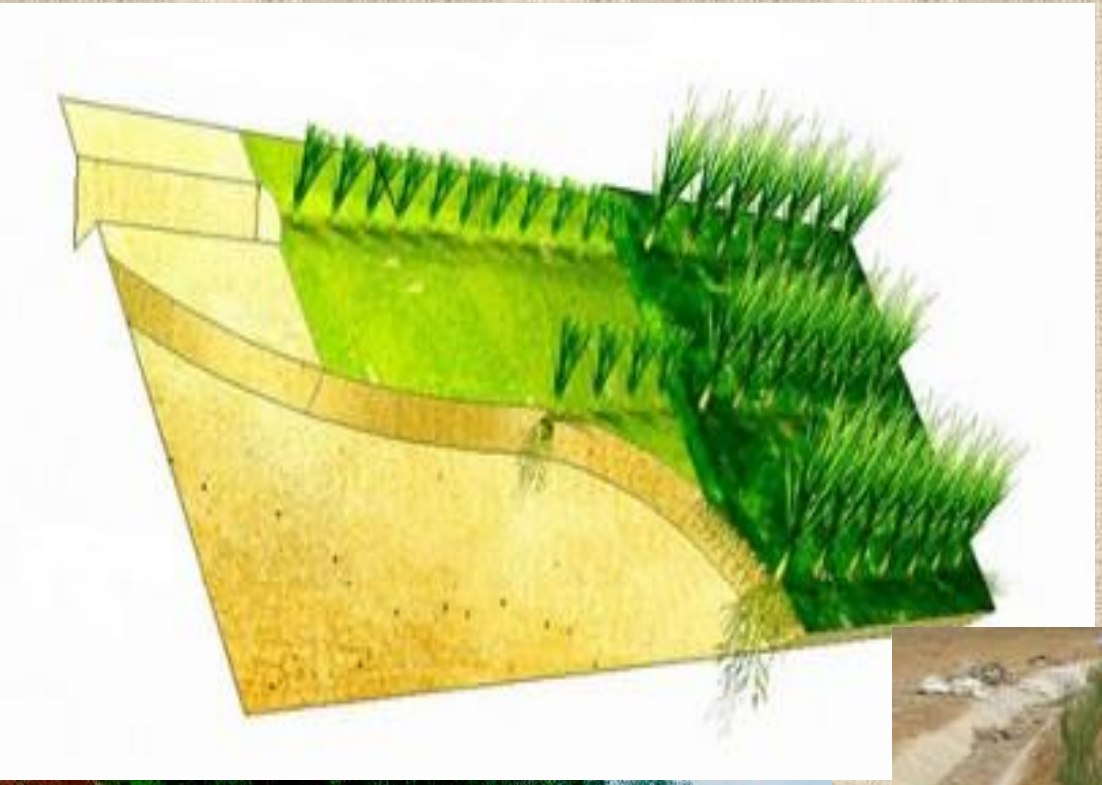
معرفی گیاه وتیور
Vetiver

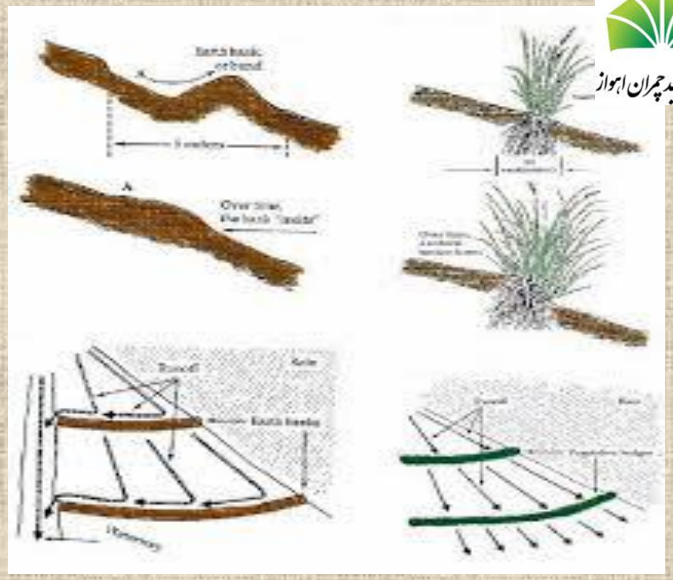
广州香根
Guangzhou
Science and

خصوصیات


GRASS
CONVERTED INTO BRIQUETTES FOR COOKING
USED AS THATCH FOR ROOFING
ESSENTIAL OIL AND CRAFT PRODUCTION FOR MARKET
LIVESTOCK FEED, GROUND MULCH, AND SOIL RECONDITIONING
ROOTS
SOIL STABILIZATION, EROSION CONTROL, AND GROUNDWATER RETENTION
REMOVE NITRATES, PHOSPHATES AND HEAVY METALS CONTAMINANTS
TOLERANT TO SOILS WITH HIGH AND LOW PH, SALINITY, AND HEAVY METALS
DROUGHT AND FIRE RESISTANT
CARBON SEQUESTERING
Approx.150 cm
3 m
Sloped for drainage
GRASS provides privacy screening
SLAB and SEEDLINGS can be used for replacement latrines
COVER discourages flies
ROOTS absorb leachate and provide flood protection
ROOTS recycle nutrients
NITRATES, PHOSPHATES AND HEAVY METALS
SLUDGE
LEACHATE
GROUND WATER

دانشگاه شهید چمران اهواز





مهدی قمشی- جزوه درسی مهندسی رودخانه

VETIVER
GUERLAIN

تثبیت دیواره رودخانه ها

- فرسایش دیواره رودخانه ها که در رودخانه های مسن با آنها مواجه هستیم باعث بروز خسارات زیادی در زمین های اطراف رودخانه و سازه ها شده و حریم کاذبی برای رودخانه ها به وجود می آورد که به این ترتیب از پتانسیل زمین های قابل استفاده اطراف رودخانه ها می کاهد.

علل فرسایش دیواره ها

- اگر جنس مصالح دیواره ها ریزدانه رسی و یا چسبنده باشد به علت نفوذپذیری کم، در زمان فروکش سیلاب، سطح آب سریع پایین آمده، امکان زهکش سریع موجود نبوده و کاهش نیروی برشی بین ذرات سبب فرو ریختن دیواره ها خواهد شد.
اگر جنس مصالح دیواره ها ریزدانه غیرچسبنده باشد در اثر برخورد امواج با دیواره ها فرسایش سطحی به وقوع می پیوندد.

در حالتی که مصالح دیواره ها انواعی از مصالح فوق باشند بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و زهکشی آب از دیواره ها به سمت رودخانه، ذرات ریز را شسته، باعث ریزش ذرات درشت بالایی میشود.

راه حل های جلوگیری از فرسایش دیواره ها

- روند فرسایش تاکنون در جهان به صورت مدل ریاضی در نیامده است و پی بردن به اینکه فرسایش بعدی در کجا و در چه مقطعی به وقوع خواهد پیوست جز با مطالعه رفتار طولانی مدت رودخانه از طریق تفسیر عکسهای هوایی در مقاطع زمانی مختلف و جمع آوری اطلاعات محلی از طریق افراد ذی صلاح بومی امکان پذیر نمی باشد. ساختن مدل فیزیکی رودخانه در مقاطعی که در معرض تخریب بیشتر قرار دارند نیز می تواند اطلاعاتی کیفی به ما بدهد، با علم به این مطالب گفتنی است که تاکنون راه حل های شناخته شده جهانی جهت جلوگیری از فرسایش دیواره ها عبارتند از: تثبیت سواحل و کانالیزه کردن.

تثبیت سواحل

- بعد از تشخیص نسبی سواحل فرسایش پذیر به گونه ای که گفته شد می توان اقدام به تثبیت سواحل به دو روش مستقیم و غیرمستقیم نمود.

روش مستقیم

- روش مستقیم (ایجاد سازه های طولی): در این روش از سازه تثبیت کننده به طور مستقیم و به شکل پوشش بدنه بر روی ساحل استفاده می کنند. پوششهای بدنه را می توان بنا به جنس مصالح قابل دسترس در انواع گوناگون طراحی نمود به عنوان مثال یک روش معمول در اروپا و آمریکا استفاده از ماشین های قراضه و تایرهای فرسوده اتومبیل می باشد که پس از ایجاد یک شیب ملایم در ساحل آنها را به صورت آجر چینی در کنار هم قرار می دهند ولی با توجه به شرایط فعلی در ایران، استفاده از پوشش های بدنه از جنس سنگریزه (سنگ لاشه) ، تورسنگ (گابیون)، بلوک های بتنی و یا کیسه های مخلوط سیمان و ماسه پیشنهاد می شود. پوشش بدنه باید حتماً قابلیت عبور زه آبهای اراضی حاشیه رودخانه را داشته باشد، در غیر این صورت در اثر اشباع شدن خاک، احتمال از بین رفتن سازه وجود دارد. در زیر پوشش بدنه باید حتماً یک لایه فیلتر از جنس شن و ماسه و یا فیلتر غشایی (ژئوتکستایل) در نظر گرفت تا از شسته شدن مواد ریزدانه از پشت پوشش بدنه جلوگیری به عمل آید. کاشتن درختچه ها بعد از ایجاد شیب لازم در سواحل نیز یکی دیگر از راههای تثبیت سواحل رودخانه هاست. با جمع بندی مطالب فوق تثبیت سواحل رودخانه ها به شیوه مستقیم(ایجاد سازه های طولی) را می توان به انواع زیر تقسیم بندی کرد:
  - ساحل سازی توسط پوشش بدنه ای سنگریزه ای
  - ساحل سازی توسط روکش تور سنگی
  - ساحل سازی توسط کیسه های مخلوط ماسه و سیمان یا بتن خشک
  - ساحل سازی توسط روش بیولوژیکی یا کاشتن درختچه هایی مانند توسکا

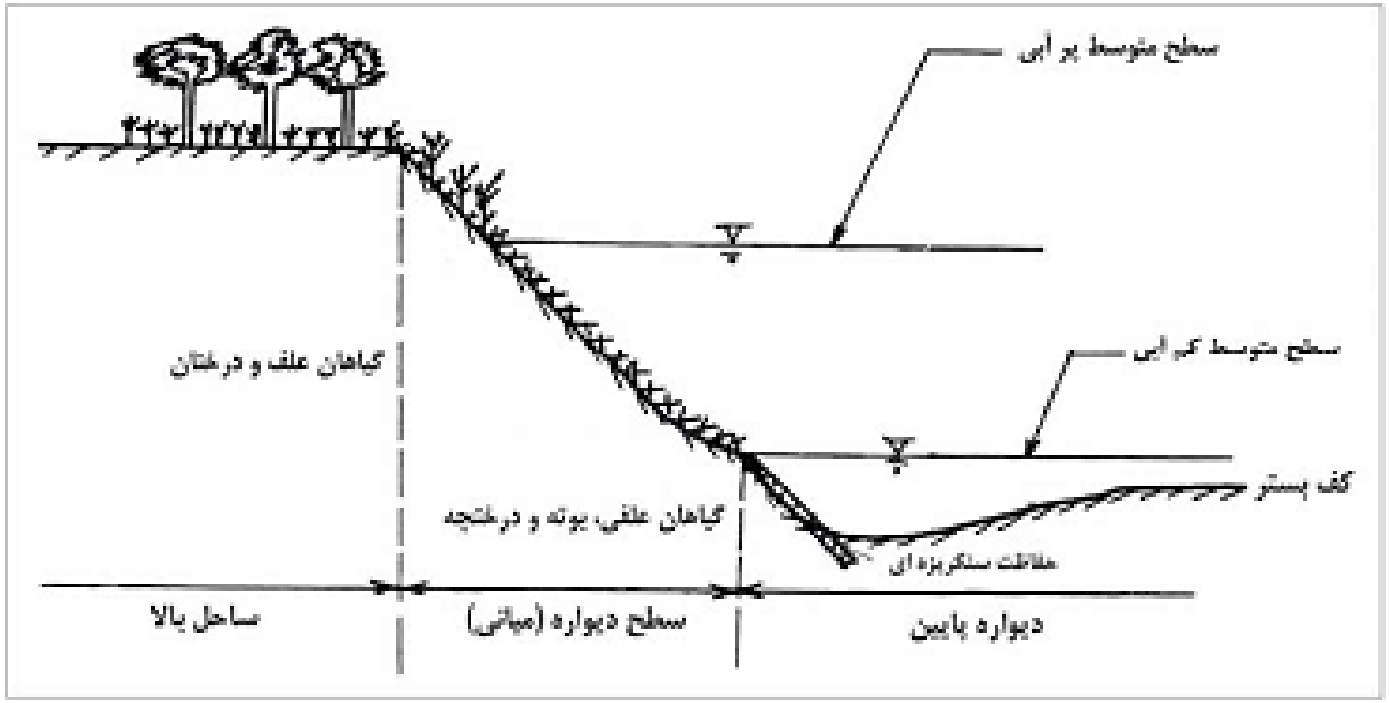
روش غیرمستقیم

- ۱-آرام کننده ها: مانند دیواره های شمع کوبی، شبکه های نرده ای یا سیم خاردار، جک های فلزی، صفحات مستغرق

- ۲- انحراف دهنده ها: آبشکن ها

در روش غیرمستقیم توسط احداث سازه های عرضی یا آبشکن که اپی هم نامیده می شود در طول ساحل فرسایش پذیر انجام می گیرد. در این روش یک سری آبشکن به طور متوالی و عمود بر مسیر جریان رودخانه ساخته می شوند. این آب شکن ها از یک سمت به ساحل رودخانه متصل شده و تا مسافتی در داخل بستر رودخانه به جلو می آیند. آبشکن ها بسته به نوع مصالح به کار رفته در ساختمان به انواع مختلف سنگریزه ای، گابیونی، شمع فلزی یا چوبی تقسیم می شوند.

- سرعت آب هنگام برخورد با اپی ها گم شده و جریان پس از چرخش به آبشکن بعدی برخورد می کند و بدینوسیله نیروی فرسایش آب مستهلک می شود از طرفی به علت کم شدن سرعت آب، رسوبات حل شده توسط رودخانه بین هر جفت از اپی ها ته نشین شده و به مرور زمان فواصل بین اپی ها با این رسوبات پر می شود. در مورد فاصله بین اپی ها فرمول خاصی وجود ندارد البته به تجربه ثابت شده که فاصله بین دو آبشکن باید طوری باشد که تنها یک جریان چرخشی بین هر جفت اپی ایجاد شود. اپی ها را معمولاً با زاویه ۹۰ درجه می سازند.
آبشکن ها یا سربسته اند یا باز، در آبشکن های سربسته از نفوذ آب بر بدنه جلوگیری می شود ولی در داخل آبشکن های باز که غالباً به صورت شمع های فلزی یا چوبی هستند آب جریان دارد. از نظر نحوه جوابگویی آبشکن های سربسته در جهت تثبیت سواحل سریع تر عمل می کنند.



شکل ۲-۵- نمایش سطوح مختلف دیواره رودخانه با تلفیق روش‌های طبیعی- سازه‌ای [۳۷]

میان بر کردن رودخانه

- در پیچ های با درجه چرخش زیاد در رودخانه، که به این دلیل رودخانه دائماً در حال فرسایش می باشد، کانالیزه کردن رودخانه می تواند مطرح باشد. در حالت طبیعی این روند فرسایش آنقدر ادامه می یابد تا انرژی رودخانه مستهلک شود. در نتیجه ی این فرآیند دو سمت گلوگاه پیچ به مرور زمان به یکدیگر نزدیک می شوند تا در نهایت به یکدیگر متصل شوند به صورتی که پیچ به صورت یک مسیر نعل اسبی، بیرون از مسیر اصلی و جدید رودخانه باقی می ماند. در چنین پیچ هایی راه حل میان بر کردن رودخانه است که جهت نیل به اهداف زیر صورت می گیرد:

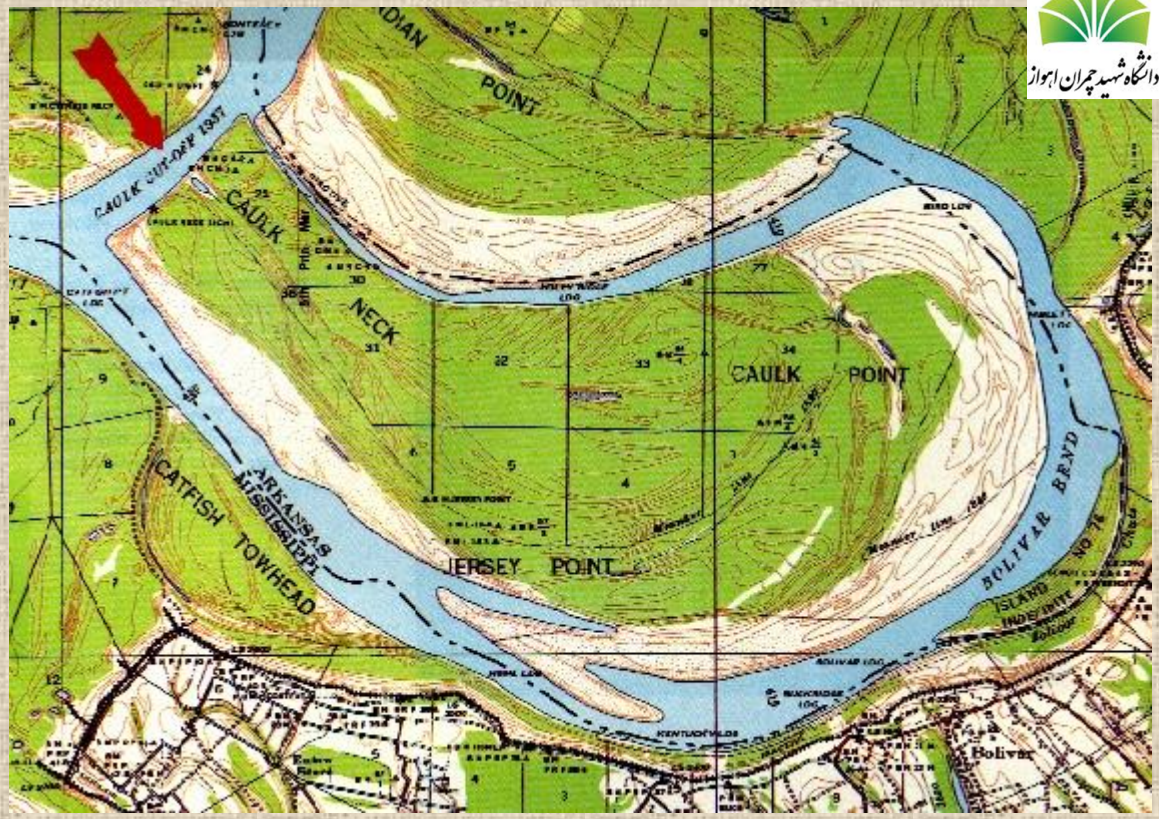
  - جلوگیری از تخریب تاسیساتی که در کناره بیرونی پیچ قرار گرفته اند و تثبیت این مواضع برای جلوگیری از فعالیت مجدد آنها.
  - کنترل روند طبیعی فرسایش رودخانه جهت کنترل و هدایت درست آن برای رسیدن به اهداف پیش بینی شده.
  - کاهش هزینه تثبیت در آینده چرا که مسیر کانالیزه شده جدید به مراتب کوتاهتر از تمامی طول فرسایش پذیر پیچ می باشد.
  - افزایش بده رودخانه به علت کوتاهتر شدن مسیر و افزایش شیب بستر رودخانه.

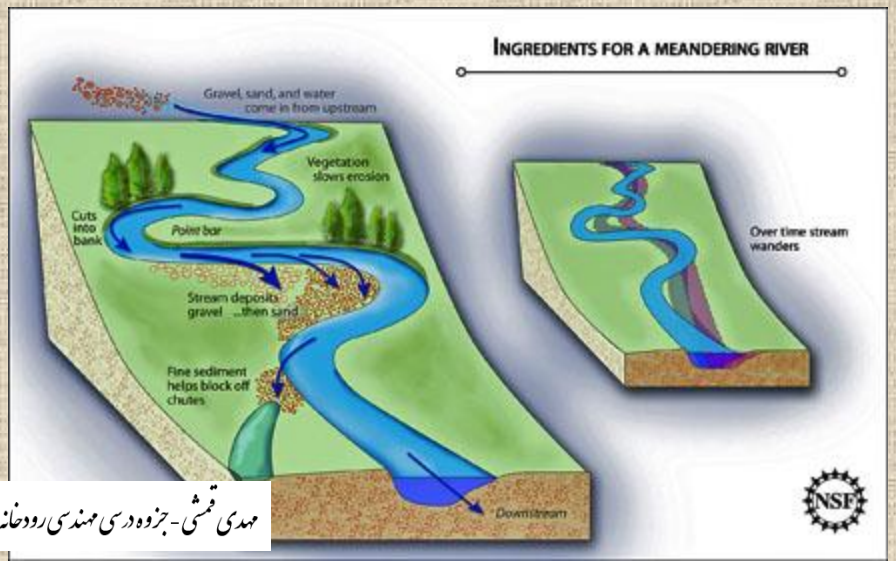
انواع روش های میان بر کردن رودخانه به دو صورت زیر ممکن است:

- روش اول احداث مسیر جدید با مقطع عرضی کامل می باشد. در این روش پس از طراحی مسیر جدید مقطع عرضی کامل رودخانه با تثبیت متوسط بین رقوم دو گلوگاه پیچ احداث می شود و سپس دهانه رودخانه در مسیر قبلی با خاکریز مسدود می گردد.

- روش دوم به کمک احداث کانال هادی می باشد. کانال هادی آبراهه کوچکی است که پس از مسیر یابی (طراحی مسیر جدید بر روی نقشه) با مقطع عرضی که حداقل ده درصد از دبی طراحی را بتواند عبور دهد با خاکبرداری احداث می شود. در این حالت با توجه به فعال بودن پیچ رودخانه، مقداری از دبی جریان به مرور زمان وارد کانال هادی شده و با توجه به شیب بستر این آبراهه به مرور زمان و در اثر فرسایش عریض تر شده و ظرفیت مطلوب را جهت انحراف رودخانه به وجود می آورد. در دبی های کم چون امکان بسته شدن کانال هادی به علت رسوب گذاری وجود دارد لذا در آغاز، باید یک سد کوتاه خاکی طراحی شود تا مانع ورود جریان آب با سرعت کم به داخل کانال شود و در عوض در دبی های سیلابی با عبور آب از روی آن این سد کوچک شسته شده و جریان آب، مقطع عرضی واقعی خود را به مرور زمان ایجاد کند.

دانشگاه شهید چمران اهواز





مهدی قمشی - جزوه درسی مهندسی رودخانه

مقدمه

در این مجموعه، روش های سازه ای و بیو مهندسی جهت کنترل فرسایش کناره ی آبراهه ها ارائه شده است. در روش های سازه ای از فلزات، چوب، سنگ، مصالح دانه ای (ریپ رَپ)، بتن و یا ترکیبی از این مواد جهت حفاظت کناره ی آبراهه ها در مقابل فرسایش استفاده می شود. در روش های بیومهندسی از انواع پوشش های گیاهی جهت حفاظت ساحل رودها استفاده می گردد. در بیشتر موارد از ترکیب هر دو روش سازه ای و بیومهندسی جهت اثر بخشی بیشتر استفاده می گردد. هر دو روش مذکور جزو روش های تقویت کناره محسوب می شوند. روش دیگر کنترل فرسایش، کاهش نیروهای هیدرودینامیکی جریان می باشد. هدف این مجموعه عمدتاً ارائه اطلاعات پایه در مورد گزینه ها و رویکرد های مختلفی است که باید در یک طرحِ حفاظت از کناره ی آبراهه ها مورد توجه و ارزیابی قرار گیرند.

فرسایش کناره ی یک آبراهه

فرسایش عبارت است از حذف ذرات خاک یک ناحیه در نتیجه ی نیروهای آب، باد و یخ. با گذشت زمان، نیروهای مذکور سبب سایش و تجزیه ی خاکدانه ها می گردند. در مورد یک آبراهه، فرسایش به چند طریق ممکن است صورت گیرد.

فرسایش آبراهه ها در اراضی کشاورزی عمدتاً به سه دلیل رخ می دهد: تغییر جریان آبراهه ها، عبور رواناب ها ی متمرکز از داخل آبراهه ها و سرریز شدن جریان از روی کناره ها.

فرسایش کناره ی یک آبراهه

افزایش عمق و سرعت جریان سبب افزایش نیروهای فرساینده می شود که موجب حذف و جابجایی ذرات خاک از کناره ها می شود و در برخی موارد موجب گسیختگی و فرو ریختن بخش بزرگی از کناره ها می گردد. ورود جریان های جانبی مانند جریان های سیستم های زهکشی و هرزآب ها نیز می توانند در افزایش فرسایش کناره ی رودخانه ها نقش داشته باشند.

گاهی به نظر می رسد که یک آبراهه نسبت به فرسایش مقاوم است ولی چنانچه آبراهه مورد نظر برای مدت زمان طولانی (چند دهه) مورد بررسی قرار گیرد جابجایی کلی در مسیر آبراهه مشاهده می شود که در اصطلاح به آن مهاجرت جانبی گفته می شود.

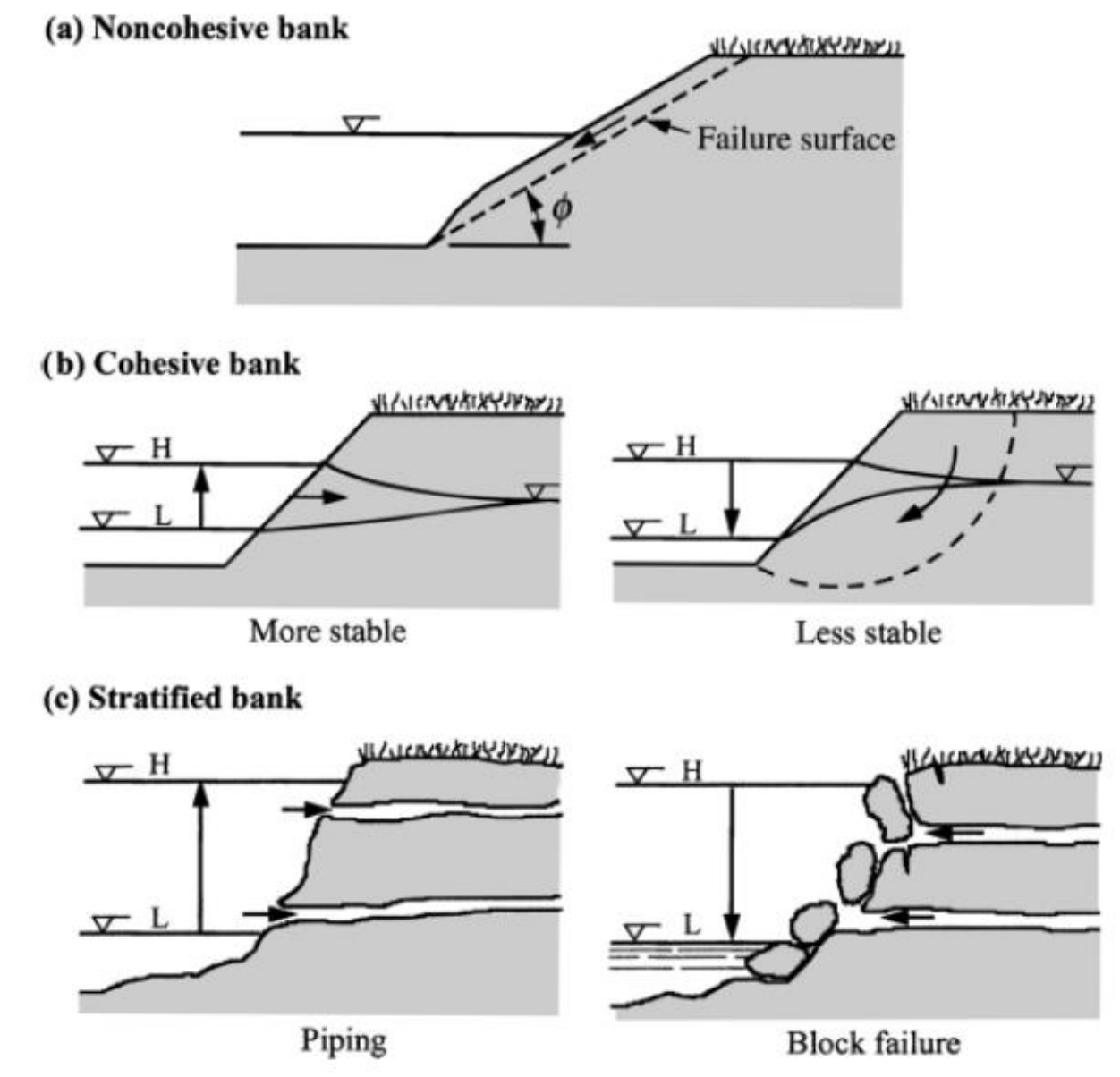
فرسایش کناره ی یک آبراهه

بنابراین فرایندهای فرسایش سواحل که در نهایت سبب مهاجرت جانبی آبراهه های آبرفتی می گردد نتیجه ی اندرکنش نیروهای فعال حاصل از جریان آب و نیروهای مقاوم به جریان ناشی از بستر و دیواره های آبراهه می باشد. نیروهای هیدرودینامیکی در خم رودخانه ها جریان های ثانوی به وجود می آورند که خطوط جریان سطحی را به سمت ساحل بیرونی و خطوط جریان نزدیک بستر را به سمت ساحل داخلی منحرف می سازند. در مقطع جریان در امتداد قائم، خطوط جریان مجاور ساحل بیرونی به طرف پایین و خطوط جریان پشته متمرکز داخلی به طرف بالا هستند. در نتیجه پایداری ذره در نزدیکی ساحل خارجی به هم می خورد و بستر رودخانه گود می شود و در مجاور ساحل داخلی به پایداری ذره افزوده شده و تراز بستر افزایش می یابد.

فرسایش کناره ی یک آبراهه

آب شستگی ساحل خارجی خط القعر را به طرف ساحل بیرونی خم جا بجا می کند و شیب ساحل را افزایش می دهد که در نهایت به شکست ساحل می انجامد. اگر مواد تشکیل دهنده کناره، دانه ای و غیر چسبنده باشند فرسایش ذرات در ساحل خارجی، مواد دانه ای را می لغزند تا جایی که زاویه شیب بدنه از زاویه ایستایی مواد بیشتر می شود. اگر مواد تشکیل دهنده کناره چسبنده باشند معمولاً شکست چرخشی اتفاق می افتد و حضور ترک های کششی (Tension cracks) فرایند فرسایش ساحل را تسریع می کند. در سواحل متشکل از نهشته های رسوبی لایه ای (Stratified deposits) با به حرکت در آمدن لایه غیر چسبنده زیرین، استحکام لایه چسبنده رویی از بین می رود و ترک های کششی همراه با شکست تیر طره ای اتفاق می افتد (شکل).

دانشگاه شهید چمران اهواز



فرسایش کناره ی یک آبراهه

تغییر مسیر یک آبراهه گاهی ممکن است در نتیجه ی یک رخداد منفرد باشد مثلاً افتادن درختی در داخل آبراهه که به تدریج سبب تغییر مسیر آبراهه می گردد. گاهی تفاوت در بافت و ساختمان خاک های مسیر یک آبراهه سبب تغییر مسیر آن می گردد و گاهی نیز وقوع طوفان های شدید عامل تغییر می باشد.

هر آبراهه مستقیمی سرانجام دچار فرسایش در کناره ها می شود و مسیرهای مستقیم به مسیرهای قوس دار تبدیل می گردند و در اصطلاح آبراهه تمایل به پیچانی (مئاندری) شدن پیدا می کند.

ملاحظات یک طرح کنترل فرسایش

به منظور حصول نتایج رضایت بخش از یک طرح کنترل فرسایش، قبل از شروع طرح، نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- آیا کنترل فرسایش کناره ی آبراهه ها با اقدامات حفاظتی امکان پذیر است؟ در برخی موارد مالکان اراضی می توانند با اقدامات زیر موجب کاهش فرسایش گردند.

- اگر فاصله ی مزرعه تا کناره ی آبراهه کمتر از ۷۵ تا ۹۰ فوت (۲۳ تا ۲۷ متر) نباشد، حدفاصل بین مزرعه تا آبراهه را می توان پوشش گیاهی دائمی به صورت یک نوار محافظ (**buffer strip**) ایجاد کرد.

- از قرار دادن بارهای اضافی در فاصله ی 1.5 فوتی (٤٥ سانتی متری) از لبه ی ساحل آبراهه خودداری شود. حاشیه ی مذکور نباید محلی برای انباشت ضایعات و یا معبری برای عبور برخی از ماشین آلات کشاورزی باشد.

ملاحظات یک طرح کنترل فرسایش

- موانع و انسداد های احتمالی مسیر آبراهه حذف گردد.

- چنانچه تراوشات و جریان های جانبی از کناره ی آبراهه وارد آن می گردد به گونه ای که سبب آب شستگی و ریزش کناره ها می گردد، باید سیستم زهکشی زیر سطحی مناسبی طرح گردد تا قبل از رسیدن جریان های زیر زمینی به آبراهه، آنها را جمع آوری نمود (شکل).

- آیا اقدامات کنترلی و حفاظتی مورد نظر مسائل و مشکلاتی را برای مالکان اراضی بالادست یا پایین دست و یا سایر تسهیلات عمومی نظیر پل ها و جاده ها ایجاد می کند یا نه؟ در هر راه حلی باید همه ی جوانب مد نظر قرار گیرد و در مورد اقدامات حفاظتی، تمام آبراهه باید به عنوان یک سیستم یکپارچه مورد توجه قرار گیرد و اثرات ناشی از یک طرح بر کل سیستم باید مورد ارزیابی قرار گیرد و نه فقط بر یک قطعه زمین منفرد.

دانشگاه شهید چمران اهواز

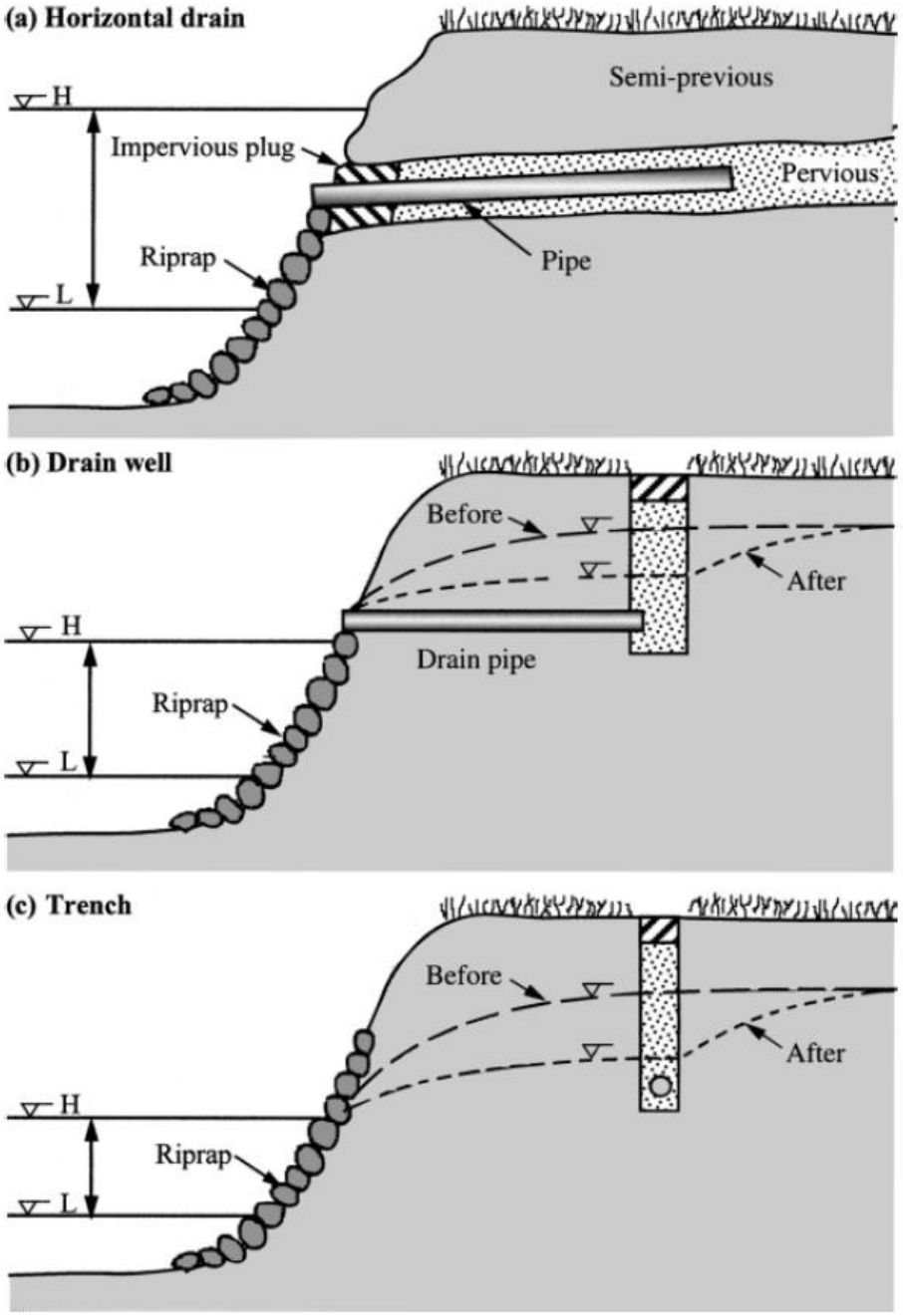


Figure 8.3. Riverbank drainage methods.

مهدی قمشی-جزوه درسی مهندسی رودخانه

ملاحظات یک طرح کنترل فرسایش

- شرایط محلی جهت اجرا و پیاده سازی یک طرح حفاظتی باید مناسب باشد بگونه ای که طی عملیات اجرایی، کمترین آسیب به آبراهه وارد گردد. به طور کلی بهتر است عملیات اجرایی در هنگامی از سال انجام گیرند که جریان آبراهه حداقل می باشد. چنانچه طرح مورد نظر شامل کشت درخت و یا ایجاد سایر انواع پوشش های گیاهی است باید مواقع مناسب دیگری از سال را انتخاب نمود. البته چنانچه کناره های رودخانه دارای شیب تند یا ارتفاع بلند هستند و یا اینکه سرعت جریان رودخانه زیاد است، در این شرایط باید از پیمان کارانی با تجربه و تجهیزات مناسب استفاده نمود.

ملاحظات یک طرح کنترل فرسایش

- در هر طرح حفاظتی بررسی اثرات آن بر محیط زیست و حیات آبزیان و سایر موجودات زنده ضروری است. اغلب روش هایی که در این مجموعه معرفی می شوند سبب بهبود شرایط زیستی سایر موجودات می گردد.

- هزینه اجرای طرح حفاظتی چقدر است و آیا طرح پیشنهادی توجیه اقتصادی دارد؟ متاسفانه در مورد رودخانه های بزرگ که حجم آب جاری و سرعت جریان زیاد است، هزینه طرح های حفاظتی بسیار زیاد می باشد و اجرای چنین طرح هایی فقط در صورتی توجیه اقتصادی دارد که اثرات ناشی از فرسایش، پایداری و ایمنی ساختمان ها، پل ها و تاسیسات مشابه مجاور رودخانه را تهدید می کند.

طراحی حفاظت در مقابل فرسایش و ملاحظات اجرا

❖ طراحی سیستم حفاظتی و انتخاب مصالح بر عهده ی چه کسی است؟ برای بیشتر روش هایی که در این مجموعه به آنها اشاره خواهد شد، یک مهندس با تجربه و یا فردی از دفاتر فنی و مهندسی مربوط به طرح مورد نیاز می باشد. کسی که دانش کافی جهت طراحی سیستم حفاظتی را داراست و به مصالح مورد نیاز آشناست.

❖ اجرا و پیاده سازی طرح توسط پیمان کار انجام می شود و یا توسط مالک زمین؟ ارزیابی اولیه برای تصمیم گیری در این مورد، بررسی ایمنی کار در محل مورد نظر است. سرعت جریان، عمق جریان، شیب و ارتفاع ساحل رودخانه و همچنین نوع خاک ساحل و کناره ی رودخانه از جمله ی مواردی است که باید در ارزیابی اولیه مورد توجه قرار گیرد.

در ادامه در مورد هریک از موارد مربوط به جریان و کناره ی رودخانه توضیحاتی ارائه می گردد:

طراحی حفاظت در مقابل فرسایش و ملاحظات اجرا

- **سرعت جریان:** فرسایش کناره ها در هر سرعت جریانی وجود خواهد داشت ولی در سرعت های بیشتر از ۳ فوت بر ثانیه کاملاً مشهود خواهد بود. کنترل فرسایش در سرعت های زیاد نیازمند تجهیزات و مهارت های ویژه ای است که عمدتاً در اختیار پیمان کاران می باشد.
- **عمق جریان:** در صورتی که عمق آب کمتر از ۳ فوت باشد، امکان کار در محل بدون تجهیزات اضافی امکان پذیر است. در کل در عمق های بیشتر از ۳ فوت ویا سرعت های بیشتر از ۳ فوت بر ثانیه، انجام دستی کارها مشکل آفرین خواهد بود. در این شرایط باید پیاده سازی طرح توسط پیمان کاران بررسی شود.
- **شیب ساحل:** عبارت است از فاصله ی افقی از لبه ی سطح خاکریز تا آبراهه به ازای یک فوت کاهش ارتفاع از سطح ساحل. در شیب های (6H : 1V) و کمتر، انجام عملیات حفاظتی توسط مالکان اراضی امکان پذیر است. در شیب های تندتر از 6H : 1V (مانند 1H : 1V تا 5H : 1V) انجام عملیات حفاظتی نیازمند تجهیزات و مهارت های مناسب می باشد.

طراحی حفاظت در مقابل فرسایش و ملاحظات اجرا

- ارتفاع ساحل: ارتفاع به صورت اختلاف تراز سطح بالای ساحل و سطح آب رودخانه در شرایط کم آبی می باشد. در صورتی که ارتفاع ساحل کمتر از ٤ فوت باشد، امکان اجرای عملیات توسط مالکن اراضی وجود دارد.
- نوع خاک: برای تعیین طبقه بندی خاک های یک منطقه می توان از نقشه های تعیین نوع خاک استفاده نمود.
- حجم عملیاتی کل طرح نیز باید مشخص گردد. زمان مورد نیاز، مصالح و مواد، تجهیزات مورد نیاز و نیروی انسانی مورد نیاز جهت کامل نمودن طرح باید تعیین شود. این تصمیمی است که با توجه به زمان، دانش و محدودیت منابع اتخاذ می گردد.

جهت پیاده سازی طرح توجه به نکات زیر مهم می باشد:

- بهتر است عملیات ساختمانی در شرایط کم آبی رودخانه انجام گیرد.
- ضایعات ناشی از عملیات ساختمانی باید به گونه ای جمع آوری و انباشت شوند که وارد جریان رودخانه نشوند.
- وسایط حمل مصالح و مواد در طی عملیات اجرا باید بگونه ای باشد که از ریزش مواد به داخل آبراهه جلوگیری گردد.
- توجه و احتیاط زیادی صورت گیرد که مواد نفتی، شیمیایی و یا سایر مواد زیان آور وارد آبراهه نگردد.
- حذف پوشش گیاهی و یا قطع درختان فقط در شرایطی انجام شود که وجود این پوشش ها مانعی برای عملیات ساختمانی است.

جهت پیاده سازی طرح توجه به نکات زیر مهم می باشد:

- برای انتخاب روش مناسب تثبیت ساحل رودخانه ها جدولی ارائه شده است. گاهی برای یک شرایط خاص چندین گزینه مناسب وجود دارد که ممکن است در نوع مصالح، هزینه و یا روش پیاده سازی با هم متفاوت باشند.

- مالکان اراضی و یا پیمان کار طرح باید با توجه به شرایط محل، تمام معیارها را بررسی کرده و در نهایت روش مناسب را انتخاب کند.

- گاهی طرح های موفق اجرا شده ی قبلی معیار تصمیم گیری می باشد و گاهی نیز جنبه های زیبایی بخشی (Aesthetic) به ساحل رودخانه مورد نظر می باشد.

دانشگاه شهید چمران اهواز

Table 1. Diagnosis of appropriate streambank stabilization methods

Method	Description	*Bank erosion problem	Stream velocity	Stream depth	Bank slope	Bank height	Constr. cost	Maint. cost
Seeding of streambank	Planting of grasses on a streambank to reinforce a bare streambank.	1, 4	0-3 ft/sec	Any	>6:1	<4 ft & >4 ft	Medium	Low
Live stakes	Placement of woody plant and tree cuttings on a graded bank to grow and stabilize the bank by the formation of roots and above-ground growth.	1, 2, 4	0-3 ft/sec & >3 ft/sec	Any	<6:1	<4 ft & >4 ft	Medium	Medium
Joint planting	Combination of covering a streambank with rock and live stakes.	2, 3, 4	>3 ft/sec	Any	<6:1	>4 ft	High	Low
Live fascine	Placement of bundles of branches in trenches to slow over-bank erosion and establish structural soil stability.	4	0-10 ft/sec	Any	>6:1	>4 ft	High	Low
Brush-mattress	Combination of riprap, live fascine, live stakes, and brush to form a covering over the entire slope.	1, 2, 4	>3 ft/sec	Any	<6:1	>4 ft	High	High
Live cribwall	Combination of timbers, live branches, soil, rocks, and logs to fill a bank and eventually establish a root network.	1, 2, 3	>3 ft/sec	Any	<6:1	>4 ft	High	Low
Branch-packing	Layering of live branch cuttings and compacted soil to fill small holes and slumps of a streambank.	3	>3 ft/sec	Any	<6:1	>4 ft	High	High
Coconut fiber rolls	Cylindrical structures made of coconut husk fibers bound together with coconut husk twine.	1, 2, 4	0-10 ft/sec	Any	>6:1	<4 ft	Medium	Medium
Log, rootwad, and boulder revetment	Logs are placed in the stream and held in place by boulders. The rootwads are then placed around the boulders to slow the flow of the stream, protect the bank, and provide habitats for fish and wildlife.	1, 3, 4	>3 ft/sec	Any	<6:1	<4 ft & >4 ft	High	Low
Tree revetment	Placement of trees along the eroding streambank.	1, 3, 4	>3 ft/sec	Any	<6:1	>4 ft	High	Medium
Dormant post planting	Placement of medium-sized trees in the slope next to the stream.	1, 2, 4	>3 ft/sec	Any	>6:1	<4 ft & >4 ft	Medium	High
Piling with wire or geotextile fencing	Single or double row of pilings with mesh, wire, or geotextile on the streamside of the fence.	1, 3, 4	>3 ft/sec	Any	<6:1 & >6:1	>4 ft	Medium & High	Medium

Continue

مهدی قمشی - جزوه درسی مهندسی رودخانه

دانشگاه شهید چمران اهواز

Table 1. (*continued*)

Method	Description	*Bank erosion problem	Stream velocity	Stream depth	Bank slope	Bank height	Constr. cost	Maint. cost
Riprap	Layer of various-sized rocks used to protect a streambank from erosion.	1, 2, 3, 4	>3 ft/sec	Any	<6:1 & >6:1	<4 ft & >4 ft	High	Low
Jetty system	Dike-like structure from the streambank out into the streambed.	1, 3, 4	>3 ft/sec	Any	<6:1 & >6:1	>4 ft	High	Low
Iowa vanes	Vanes placed in the eroding streambed that cause the flow to be redirected and result in the recollection of sediment on the bank.	1, 4	>3 ft/sec	Any	<6:1 & >6:1	>4 ft	Medium	Low
Vegetated geogrids	Combination of geotextiles, rock fills, and live materials.	1, 3, 4	>3 ft/sec	Any	<6:1	>4 ft	High	Low

*Bank Erosion Problem: 1 = Fast flowing streams with erodible soils 3 = Fill structure for holes in streambank
2 = Extensive toe- and stream-level erosion 4 = Resistance to occasional heavy flows

روش های حفاظت حریم رودخانه (Riparian buffers):

در طراحی یک سیستم کنترل فرسایش، باید جنبه های دیگری نظیر افزایش کیفیت آب، حیات موجودات زنده ی وابسته رودخانه و سایر موارد زیست محیطی توجه گردد. حفاظت حریم رودخانه روشی عمومی برای بهبود کیفیت منابع آبی می باشد.

اداره ی کشاورزی کشور ایالات متحد آمریکا (USDA) یک جنگل حفاظتی حریم رودخانه را به صورت زیر تعریف می کند:

منطقه ای پوشیده از درختان و سایر پوشش های گیاهی که در کناره ی رودخانه از تراز سطح آب شروع می شود و تا بالای سطح سواحل رودخانه ادامه می یابد. پوشش مذکور برای از بین بردن اثرات نامطلوب رواناب های سطحی، هرزآب ها، جریان های زیرسطحی و نیز جریان های عمیق زیرزمینی می باشد. پوشش گیاهی مذکور همچنین موجب حذف اثرات منفی ناشی از کودها، مواد آلی، رسوبات، آفت کش ها و سایر آلودگی ها قبل از ورود آنها به رودخانه های اصلی و منابع آبی تغذیه کننده می گردد.

حفاظت حریم رودخانه ها با پوشش های گیاهی اثرات مثبت و مزایای زیر را نیز دارا می باشد:

- ✓ **پوشش گیاهی ایجاد شده در حریم رودخانه موجب کاهش دمای آب می شود که در نتیجه ی آن شرایط مناسبی برای زندگی ماهی ها و حشرات ایجاد می شود.**
- ✓ **شبکه گسترده ای از ریشه درختان، شاخه ها و پو شش گیاهی ایجاد می شود که در پایداری خاک بسیار مؤثر است.**
- ✓ **به طور مؤثری محتوای فسفر و نیتروژن رواناب ها را کاهش می دهد.**
- ✓ **نفوذ آب در خاک را افزایش داده و سرعت رواناب ها را کاهش می دهد.**
- ✓ **بار رسوبی جریان را کاهش می دهد.**

حفاظت پوشش گیاهی حریم رودخانه از سه ناحیه تشکیل می شود. ۱) ناحیه تثبیت کناره ی آبراهه، ۲) ناحیه ی شامل درختان و شاخ و برگ آنها، و ۳) ناحیه پوشیده از بوته ها و علف متراکم.

لوله ها و جمع کننده های شبکه های زهکشی نباید از ناحیه حفاظتی عبور کرده و مستقیماً وارد آبراهه شوند، بلکه آب های زهکشی باید از درون ناحیه حفاظتی جریان یابند تا به طور طبیعی در زمین نفوذ کنند و تصفیه شوند و آلودگی های آنها از بین برود.

اولین ناحیه ی مجاور آبراهه باید ۱۵ فوت پهنا داشته باشد که به صورت عمود بر جریان آبراهه اندازه گیری می شود. منطقه ی مذکور می تواند به صورت پوشش گیاهی باشد که برای تثبیت سواحل مورد استفاده قرار می گیرد.

حداقل عرض ناحیه ی دوم باید ٦٠ فوت باشد که پس از ناحیه ی اول اندازه گیری می شود. این ناحیه شامل درختان و نهال های آنها، شاخ و برگ و بوته ها می باشد که به عنوان یک منبع انرژی سبب از بین رفتن و تجزیه ی آلودگی های شیمیایی ناشی از کشاورزی می گردد. از ورود احشام به مناطق ۱ و ۲ باید جلوگیری شود. نظارت و نگهداری مناطق مذکور پس از جریان های سیلابی ضروری است.

ناحیه ی سوم حداقل باید ۲۵ فوت عرض داشته باشد. این ناحیه به لحاظ نفوذ دادن آب ناشی از بارندگی های شدید اهمیت زیادی دارد و همواره باید تراکم گیاهی مناسبی داشته باشد. ناحیه ی مذکور عمدتاً به صورت علفزار های طبیعی است.

بذر پاشی در کناره ی رودخانه (Seeding of stream bank)

ایجاد پوشش گیاهی در سواحل رودخانه ها ساده ترین روش برای تثبیت خاک و کاهش فرسایش می باشد. در صورتی که فرسایش شدید نباشد می توان متناسب با فصول گرم و سرد سال، پوشش های گیاهی مناسبی را ایجاد کرد. کاشت قلمه درختان (Live tree cutting) و ایجاد پوشش گیاهی درختی حفاظت طولانی مدتی را ایجاد می کند.

Figure 1. Streambank that has been graded and seeded using a natural fiber blanket containing seed

مزایا و معایب (Advantages and disadvantages)

- بذر پاشی در صورتی مؤثر است که خاک سطحی از لحاظ مواد غذایی غنی باشد.
- بذر پاشی و در نتیجه ی آن ایجاد پوشش گیاهی موجب بهتر شدن نمای ظاهری ساحل می شود.
- بذر پاشی روش کم هزینه ای است. مخصوصاً اگر با روش های سازه ای مقایسه گردد.
- بذر پاشی باید جزئی از تمام روش های کنترلی باشد. حتی در مواردی که از روش های سازه ای پیچیده جهت کنترل فرسایش استفاده می شود.
- چنانچه فرسایش ساحل شدید باشد، روش بذر پاشی به تنهایی اثر بخش نخواهد بود.
- بذرپاشی باید در زمان کم آبی آبراهه صورت گیرد و همچنین قبل از شروع جریان های سیلابی، زمان کافی برای رشد بذرها وجود داشته باشد. چنانچه بذر پاشی کمی زودتر از شروع جریان های سیلابی صورت گیرد، در نتیجه ی آب شستگی خاک سطحی، ریشه ها ضعیف خواهند بود و نمی توانند گیاه را نگه دارند.

موارد توصیه شده جهت بذر پاشی به صورت زیر می باشد:

Materials

Seed mixture recommended by Iowa Department of Transportation:

Alsike clover	5 lbs/acre
Fawn fescue	30 lbs/acre
Switchgrass	10 lbs/acre
Birdsfoot trefoil	5 lbs/acre

Installation

There are several ways to apply the seed to the bank:

- A liquid seed mixture can be sprayed on the bank.
- The seeds can be evenly thrown on the bank and then covered with one-half inch of soil and lightly tamped to ensure contact with the soil. Straw or other suitable mulching material can also be used to provide initial bank stabilization and speed plant growth.
- Commercial seed mats can be used, giving more initial stabilization of the streambank (see Figure 1) and faster establishment.
- If increased vegetative growth is necessary, the slope can be treated with nitrogen in a 30-lb/acre application during the next growing season.

دانشگاه شهید چمران اهواز

Figure 1. Streambank that has been graded and seeded using a natural fiber blanket containing seed

Figure 2. Seeded bank after a few months of growth

Stabilized banks and bed with erosion blankets and seed

Condition after six months

نشاء کاری و قلمه کاری (Live stakes):

این روش عبارت است از کشت گیاهان خشبی و قلمه ی درختان در کناره ی آبراهه. در این روش تثبیت ساحل هم با استفاده از سیستم ریشه ها و هم با استفاده از شاخ و برگ فوقانی گیاه ممکن می گردد.

مزایا و معایب

- در این روش برای افزایش مقاومت در برابر فرسایش بلافاصله پس از کشت، می توان از کف پوشش هایی استفاده نمود که ضمن حفاظت از شیب، در روند رشد قلمه نیز خللی ایجاد نمی کنند.
- کاشت قلمه و نشاء ها آب خاک را می گیرد و به پایداری ساحل کمک می کند.
- این روش در مناطقی که تهیه قلمه آسان تر است و نیز در مورد آبراهه هایی که جریان های بزرگی دارند مناسب تر است.
- این روش قابل ترکیب با سایر روش های سازه ای می باشد.
- این روش در شرایطی که تثبیت فوری ساحل مدنظر باشد، کاربرد ندارد.

مواد مورد نیاز (Materials):

آماده سازی تعداد کافی قلمه، تهیه کف پوش های مناسب، و ابزاری نظیر اره، چکش و ...

آماده سازی جهت پیاده سازی طرح (Preparation):

- شیب ساحل باید 2H : 1V و یا کمتر باشد.
- قلمه ها باید شرایط زیر را داشته باشند:
  - قلمه ها باید با اره بریده شوند نه با تبر، و شاخ های زاید جانبی آنها نیز باید بریده شود.
  - قطر قلمه ها از 0.5 اینچ تا 2 اینچ باشد.
  - طول قلمه ها 2 تا 3 فوت باشد.
  - پوست قلمه ها در حین تهیه آنها آسیبی نبیند.

دانشگاه شهید چمران اهواز

Figure 3. Live stake preparation

Figure 4. Growing a live stake

اجرای طرح (Installation):

- قلمه ها باید در همان روزی که تهیه می شوند کشت شوند.
- نشاء ها باید در دوره ی خواب (Dormant season) گیاه، در ماه های اکتبر- مارس معادل اسفند- اوایل فروردین کشت شوند.
- انتهای قلمه ها باید مورب و زاویه دار باشد تا به آسانی در خاک قرار گیرند.
- قلمه ها باید به صورت عمود بر شیب ساحل کشت شوند.
- در حدود چهار-پنجم قلمه ها باید درون خاک قرار گیرد.
- قلمه ها باید به طور تصادفی به تعداد 2 تا 4 عدد در هر یارد مربع (حدود 0.84 متر مربع) قرار گیرند.

دانشگاه شهید چمران اهواز

Figure 5. Live stake installation

کشت در درز و شکاف ها (Joint planting)

در این روش ساحل رودخانه به وسیله سنگ و قلمه کاری محافظت می شود.

مزایا و معایب

- ریپ رَپ موجب مسلح شدن و مقاوم سازی پنجه ی شیب کناره در زیر آب می شود.
- ریشه ی گیاهان نیز در زیر سنگ ها پوشش و شبکه ای ایجاد می کند که از فرسایش و آب شستگی ذرات ریز، در زیر سنگ ها و بین آنها جلوگیری می کند.
- برای حفاظت بیشتر در مقابل فرسایش، می توان از کف پوش ها در زیر سنگ ها استفاده کرد.
- وجود پوشش گیاهی نمای ظاهری ساحل را حفظ می کند.
- وجود پوشش گیاهی موجب بهبود زیست گاه موجودات زنده ی دیگر می شود.

مواد مورد نیاز:

روش Joint Planting برای شرایطی مناسب می باشد که تامین قلمه های گیاهی و ریپ رَپ به آسانی ممکن باشد.

آماده سازی جهت پیاده سازی طرح:

- برای این روش نیز شیب ساحل باید 2H : 1V و یا کمتر باشد.
- قلمه ها حداقل باید 1.5 اینچ قطر داشته باشند.

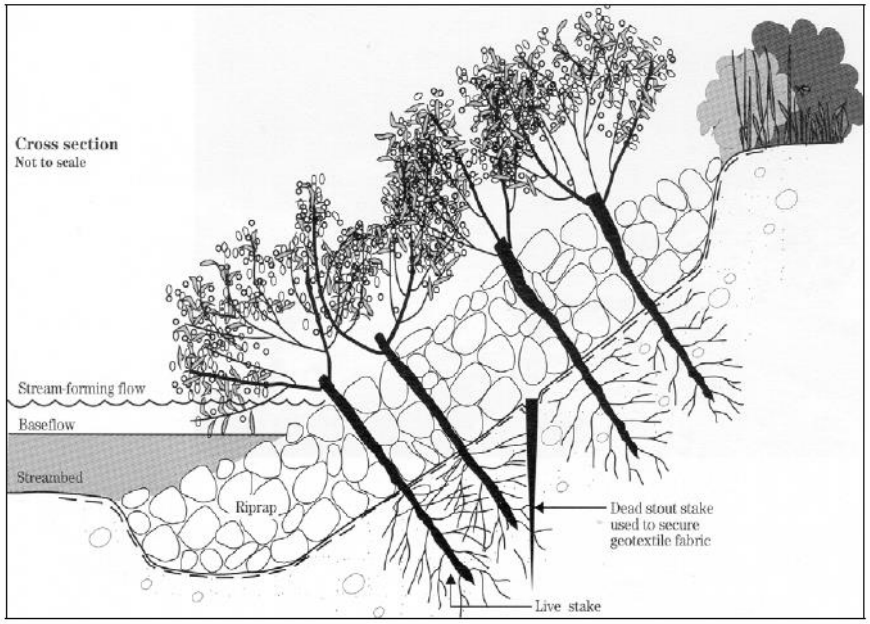


Figure 7. Joint planting details

اجرای طرح (Installation):

- ریپ رَپ باید تمام ارتفاع ساحل را بپوشاند و دانه بندی یکنواختی داشته باشد.
- قلمه ها به طور تصادفی در بین سنگ ها قرار می گیرند. حدود ۲ تا ٤ عدد در هر یارد مربع (0.84 متر مربع). قلمه ها را می توان پس از استقرار ریپ رَپ و یا در حین اجرای آن کشت کرد.
- انتهای قلمه ها باید به اندازه ی کافی درون خاک زیر سنگ ها قرار گیرند و سر آنها باید کمی بالاتر از سطح سنگ ها باشد. جوانه های تازه قلمه ها برای رشد باید به طرف بالا قرار گیرند. همچنین در حین کاشت نیز قلمه ها نباید آسیب ببینند.

Figure 6. Joint planting system installation

بسته ترکه زنده (Live fascine)

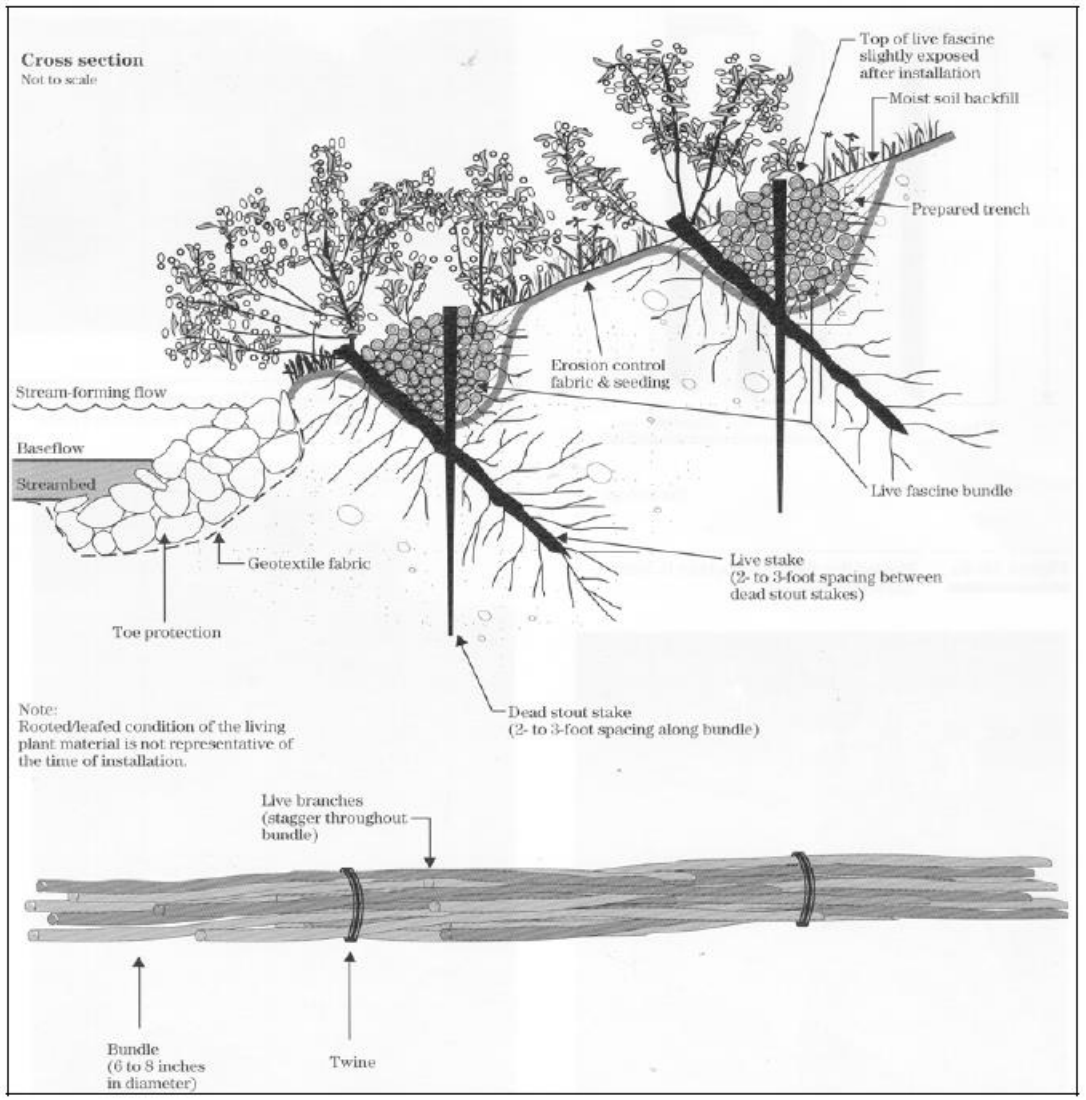


Figure 10. Live fascine details

بسته ترکه زنده (Live fascine)

بسته ترکه زنده عبارت از دسته های شاخ و برگ مستعد رشد هستند که در ترانشه های حفر شده در ساحل رودخانه قرار می گیرند. ریشه گیری و رشد این شاخ و برگ ها موجب پایداری ساحل و حفاظت خاک می گردد.

مزایا و معایب

- چنانچه روش Live fascine همراه با قلمه کاری و ریپ رَپ باشد بسیار اثر بخش خواهد بود.
- روش Live fascine موجب کمترین به هم خوردگی در خاک ساحل می شود.
- ایجاد ترانشه های افقی و پله ای شدن شیب، موجب کوتاه شدن شیب ساحل می شود و در نتیجه ی آن سرعت جریان های رو سطحی کاهش می یابد.
- برای افزایش درصد موفقیت این روش باید از مقدار زیادی شاخه بلند استفاده کرد.

مواد مورد نیاز:

مقدار کافی شاخه ی بلند، سنگ یرای ریپ رَپ، قلمه، ریسمان، و ...

آماده سازی جهت پیاده سازی طرح:

- برای این روش نیز شیب ساحل باید 1V : 2H و یا کمتر باشد و یا اینکه شیب باید به صورت پله های ۳ تا ۵ فوتی شکسته شود.
- با شاخه هایی بلند و مستقیم از گیاهان بومی دسته هایی به قطر ٦ تا ٨ اینچ آماده می شود. طول دسته ها باید حدود ۵ تا ۱۰ فوت باشد.
- در تمام دسته ها جوانه های آماده رشد در یک جهت قرار گیرند.

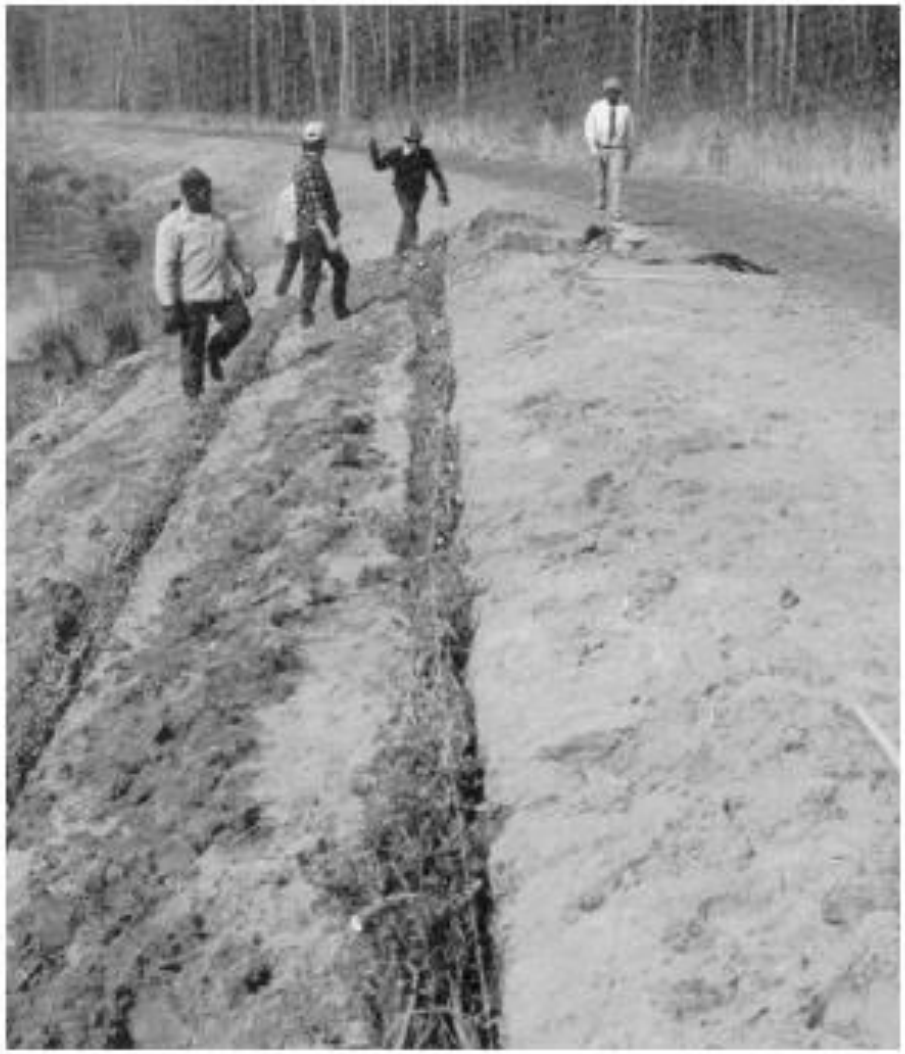


Figure 8. Live fascine placement

اجرای طرح (Installation):

- ترانشه های مناسب روی شیب ساحل حفر شود.
- کف پوش های کنترل فرسایش در داخل و بین ترانشه ها قرار گیرد.
- دسته های ترکه ها را داخل ترانشه ها قرار دهید.
- به وسیله ی میخ های چوبی، کف پوش و ترکه ها در فواصل ۲ تا ۳ فوتی تثبیت شوند.
- با خاک مرطوب اطراف ترکه ها پوشانده شود ولی قسمت بالای آنها باید باز باشد.
- با استفاده از ریپ رَپ پنجه ی شیب از آب شستگی حفاظت شود.

حفاظ چپری (Brush mattress)

روش حفاظ چپری ترکیبی از ریپ رَپ، دسته ترکه زنده، قلمه و شاخه های گیاهان می باشد که در نتیجه ی آن تمام سطح ساحل توسط مواد مذکور پوشیده می شود.

Figure 11. A brushmattress with riprap at the toe of the slope

مزایا و معایب

- با استفاده از روش حفاظ چپری حفاظتی فوری از ساحل را می توان ایجاد کرد. همچنین در آبراهه هایی با جریان سرعت زیادی دارد این روش قابل استفاده است.

- وجود شاخه ها و ترکه ها موجب احیای پوشش گیاهی ساحل رودخانه می شود و به تثبیت خاک ساحل کمک می کند. از سوی دیگر سیستم ریشه ی پوشش گیاهی موجب افزایش پایداری خاک ساحل می گردد.

- در این روش ریپ رَپ برای پایداری پنجه ی شیب بکار می رود و ترکه ها عمدتاً برای بخش فوقانی شیب به کار می روند. سطح شیب نیز توسط شاخه ها پوشانده می شود و خود آنها توسط قلمه ها و میخ های چوبی و مفتول های فلزی محکم و تثبیت می گردند.

مواد مورد نیاز

- شاخه های مورد استفاده باید حدود ٦ تا ٩ فوت طول و حدود یک اینچ قطر داشته باشند.
- قلمه های مناسب (به بخش مربوطه مراجعه شود)
- دسته ترکه های مناسب (به بخش مربوطه مراجعه شود)
- شبکه ی فلزی و تور سیمی جهت تثبیت شاخه ها
- میخ های چوبی جهت تثبیت شاخه ها و ترکه ها

آماده سازی جهت اجرای طرح

- در این روش نیز شیب ساحل حداکثر 2H : 1V می باشد.
- قلمه ها و ترکه های زنده (دارای قابلیت رشد) باید کمی قبل از استفاده تهیه شده باشند.
- یک ترانشه با ابعاد مناسب حفر شود تا بتوان مقدار کافی ترکه در آن جای داد.

اجرای طرح

- پس از آماده شدن شیب، ترکه های زنده را درون ترانشه ها قرار دهید.
- قلمه ها با طول تقریبی ۱ فوت، با اختصاص حدود ۲ فوت مربع به هر قلمه کشت شوند.
- شاخه ها طوری قرار گیرند که انتهای آنها داخل ترانشه ها باشد.
- توری سیمی بر روی شاخه ها قرار گیرد و برای افزایش پایداری در محل های مناسب به میخ های چوبی بسته شود.
- ریپ رَپ در پنجه شیب ریخته شود.

دیواره چوب بستی زنده (Pigsty work = Pigsting = Live cribwall)

نوعی دیواره و چارچوب می باشد که از گیاهان زنده (دارای قابلیت رشد) ساخته می شود. سازه ی مذکور برای بازسازی و احیای سواحل فرسایش یافته به کار می رود. دیواره چوب بستی زنده ترکیبی از تیرهای چوبی، شاخه های زنده، خاک و سنگ می باشد که در ساحل فرسایش یافته جای می گیرد و در نهایت با رشد شاخه های زنده، سیستم ریشه ای باعث تثبیت ساحل شده و جایگزین چارچوب اولیه می گردد.

روش مذکور برای استفاده در ساحل بیرونی در محل قوس رودخانه ها مناسب می باشد. چون همواره در نتیجه ی جریان های چرخشی ثانوی، قوس بیرونی رودخانه ها دچار فرسایش می گردد.

دانشگاه شهید چمران اهواز

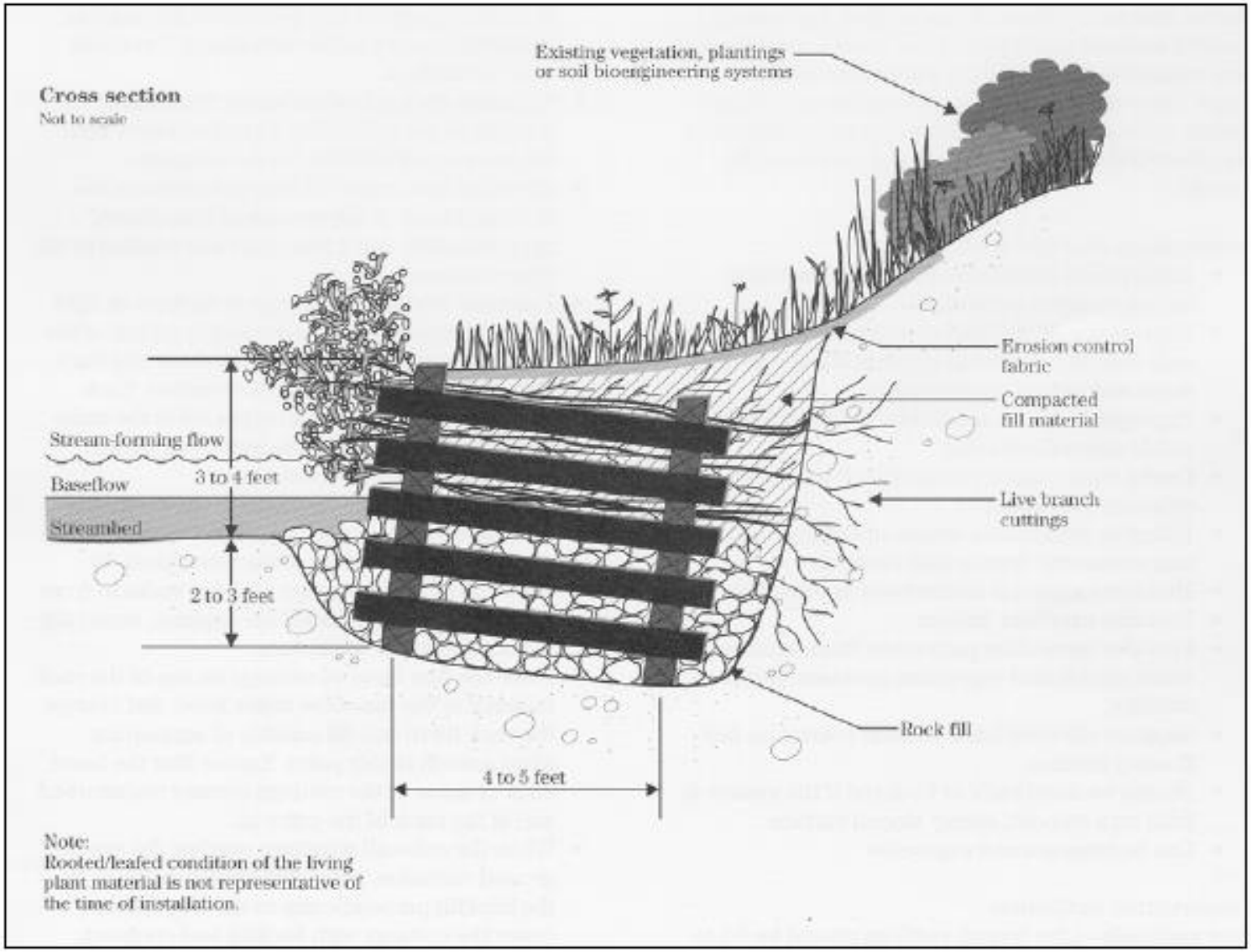


Figure 12. Live cribwall details

مزایا و معایب روش

- با استفاده از چارچوب ساخته شده می توان دیواره ای قائم ایجاد نمود
- یک دیواره چوب بستی حداقل فضا را نیاز دارد.
- پایداری ساحل در تراز های مختلف سطح آب تامین می گردد.
- پنجه ی شیب تثبیت می گردد.
- با این روش حفاظت فوری از شیب ایجاد می گردد.
- در این روش مصالح زیادی مورد نیاز است و برای آماده سازی آن کار بیشتری باید انجام شود.
- ارتفاع دیواره ی چوب بستی از ۷ فوت نباید بیشتر باشد.
- عرض دیواره ی چوب بستی از ۲۰ فوت نباید بیشتر باشد.

مواد مورد نیاز

- قلمه هایی به قطر 0.5 تا 2.5 اینچ و طول کافی در حدود عرض دیواره چوب بستی.
- تیرهای چوبی به طول تقریبی ٤ تا ٦ فوت.
- مفتول فلزی

آماده سازی جهت اجرای طرح

- به اندازه ی ۲ تا ۳ فوت زیر سطح بستر رودخانه باید حفر گردد تا فونداسیون پایداری به عرض ٥ تا ٦ فوت ایجاد گردد.
- جهت افزایش پایداری دیواره چوب بستی، قسمت پشت ترانشه حفر شده (به سمت بیرون ساحل – دور از آبراهه) به اندازه ی ٦ تا ۱۲ اینچ بیشتر گود می شود (شکل).

اجرای طرح

- تیرهای چوبی را به طور یک در میان با زاویه ۹۰ درجه نسبت به هم قرار دهید تا چارچوبی جعبه مانند ایجاد گردد.
- تیرهای روی هم قرار گرفته باید با مفتول های آجدار بسته شوند تا از عدم پوسیدگی آنها اطمینان حاصل گردد.
- دورن چارچوب جعبه ای ساخته شده، تا تراز کف آبراهه با سنگ پر می شود. همچنین برای ایجاد حفاظت پنجه ی شیب، کمی بالاتر از تراز بستر نیز با سنگ پر می شود مخصوصاً اگر این روش برای یک قوس خارجی رودخانه به کار می رود.
- شاخه ها طوری قرار گیرند که جوانه های آنها به سمت جریان آبراهه باشد و انتهای آنها نیز با خاک پشت ترانشه در ارتباط باشد.
- پس از جاسازی هر لایه از شاخه ها، سطح آنها با خاک متراکم پوشانده شود.
- برای اطمینان از موفقیت روش، باید سمت بالادست و پایین دست چوب بست، به خوبی حفاظت شود تا از زیرشویی (Undercutting) آن جلوگیری شود.

لایه گیاهی محافظ (Branch packing)

در این روش از لایه ای از شاخه های زنده و مستعد رشد و خاک فشرده برای احیاء و باز سازی حفره ها و بخش های فروریخته سواحل استفاده می شود.

Figure 13. Active branch packing system

مزایا و معایب روش

- روش لایه گیاهی محافظ برای بازسازی حفره هایی با عمق ۲ تا ٤ فوت به کار می رود.
- سیستم ریشه سبب تثبیت خاک می گردد.
- این روش برای پروژه های کوچک کم هزینه و موثر است.
- از این روش در صورتی که عمق و قطر دهانه ی حفره ها بیش از ٤ فوت باشد نمی توان استفاده کرد.
- در این روش سطح خاک فشرده شده باید با سطح خاک ساحل هم تراز باشد تا از آبشستگی آن جلوگیری شود.

مواد مورد نیاز

- قلمه های ریشه دار با حدود 0.5 تا 2 اینچ قطر و حدود 3 تا 5 فوت طول.
- چوب هایی به طول ۵ تا ۸ فوت و ۳ تا ٤ اینچ قطر و یا تیرهایی با مقطع ۲ در ٤ اینچ.
- خاک کافی برای پر کردن حفرات فرسایش یافته.

آماده سازی جهت اجرای طرح

- درون حفره تمیز شود تا فونداسیون مناسبی ایجاد گردد.
- کف حفره به سمت عقب شیب داده شود.
- از سنگ برای تثبیت پنجه ی حفره استفاده شود.

دانشگاه شهید چمران اهواز

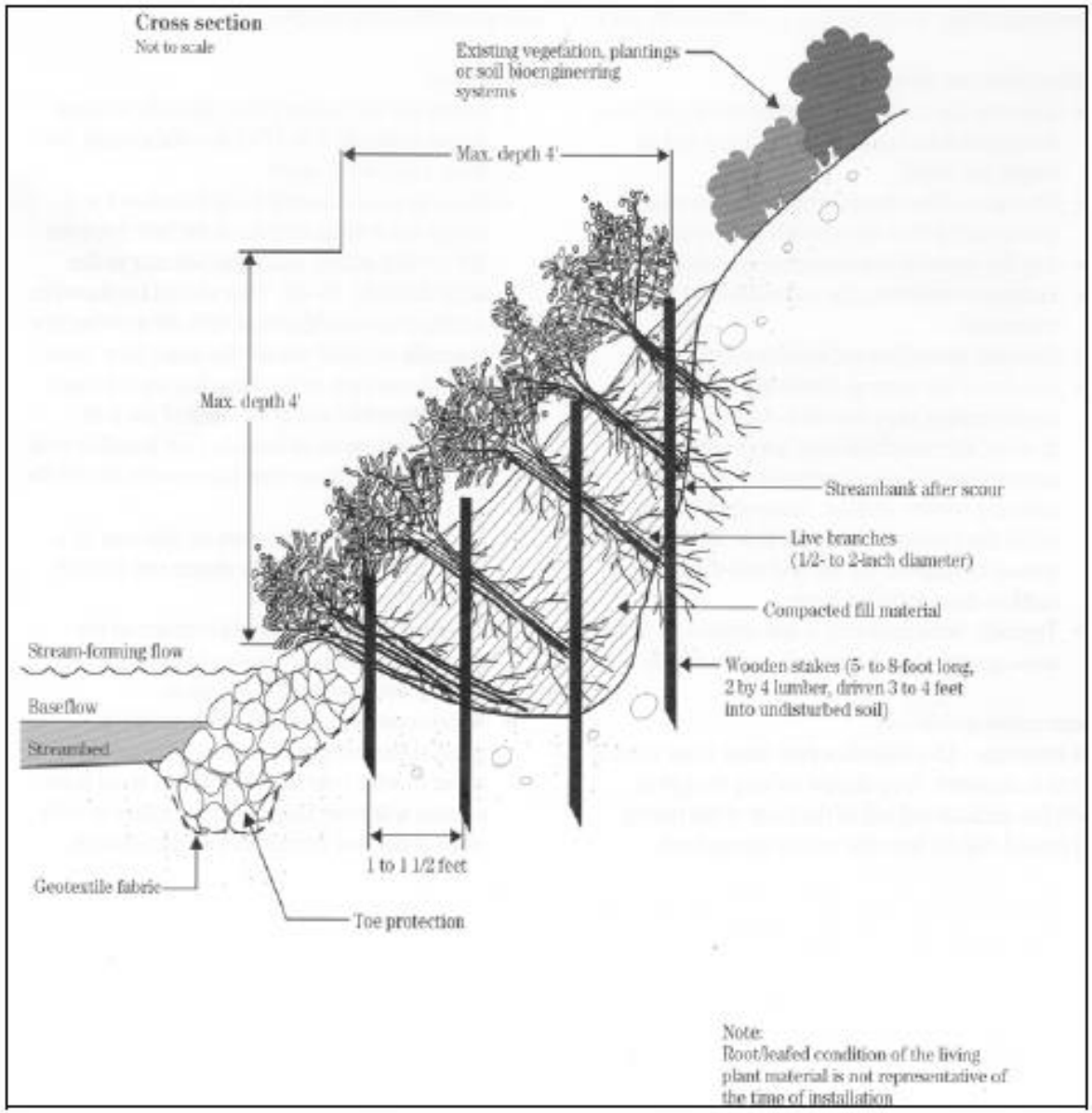


Figure 14. Active branch packing installation

مهدی قمشی - جزوه درسی مهندسی رودخانه

اجرای طرح

- میخ هایی چوبی به طول ۳ تا ٤ فوت، با حدفاصل ۱ فوت از یکدیگر در زمین تثبیت شود.
- اولین لایه ی شاخه ها با مقداری سنگ تثبیت شود.
- تا پر شدن تمام حفره، روند کشت شاخه ها و متراکم کردن خاک اطراف آن ادامه یابد.
- انتهای شاخه ها باید متمایل به پایین و عقب حفره ها باشد.
- روند بالا ادامه می یابد تا سطح حفره ی پر شده هم سطح با ساحل گردد.

روکش های ساخته شده از الیاف نارگیل (Coconut fiber rolls)

در این روش از به هم تنیدن پوست، الیاف و سایر بقایای درخت نارگیل روکش هایی تهیه می گردد. هر قطعه آن به صورت استوانه ای به قطر ۱۲ اینچ و طول ۲۰ فوت خواهد بود.

Figure 15. Coconut roll staked to bank with coconut fiber fabric across slope to protect exposed soil

مزایا و معایب

- با استفاده از این روش از لغزش خاک سطحی سواحل جلوگیری می شود.
- از زیرشویی (Undermining) پنجه ی شیب جلوگیری می شود.
- این کف پوش مانع رشد گیاهان نمی شود و گیاهان می توانند از منافذ آن رشد کنند.
- انعطاف پذیری پوشش سبب می شود تا پوشش منطبق بر پستی و بلندی های ساحل گردد.
- ایجاد آشفتگی در جریان آبراهه، ناشی از پوشش مذکور بسیار اندک است.
- رسوبات در چشمه ها و منافذ پوشش تله اندازی می شوند.
- کف پوش الیاف نارگیل برای حدود ٦ تا ١٠ سال در مقابل فرسایش مقاومت ایجاد می کند.
- ساخت و تهیه این نوع پوشش نسبتاً گران است.

مزایا و معایب

- پوشش های الیاف نارگیل با ابعاد مناسب تهیه شود.
- نگهدارنده های مناسب و یا میخ های چوبی برای تثبیت الیاف در پنجه ی شیب تهیه شود.

آماده سازی جهت اجرای طرح

- در پنجه ی شیب ترانشه ای با عمق کم حفر گردد.
- میخ های چوبی با ابعاد ۲ در ۲ در ۳۶ اینچ تهیه شود.

اجرای طرح

- الیاف لوله شده در داخل ترانشه قرار گیرد، اما نه به گونه ای که آب آن را فرا بگیرد.
- با استفاده از میخ های چوبی در فواصل ۲ تا ٤ فوت هر دو سمت الیاف لوله شده تثبیت شود (شکل).
- برای تثبیت بخش های فوقانی ساحل از پوشش گیاهی استفاده شود.

Figure 16. Installation of stakes to secure a coconut roll

حصارکشی از طریق شمع کوبی و استفاده از سیم یا ژئوتکستایل:

Pilings with wire or geotextile fencing

این روش عبارت است از یک یا دو ردیف شمع کوبی و قرار دادن شبکه ای سیمی یا ژئوتکستایل در سمت آبراهه شمع ها. شمع ها موازی با ساحل کوبیده می شوند و وجود شبکه سیمی یا ژئوتکستایل سبب کاهش سرعت جریان عبوری از کنار ساحل می گردد و در نتیجه ساحل از اثرات فرسایشی جریان های با سرعت زیاد محفوظ می ماند.

دانشگاه شهید چمران اهواز

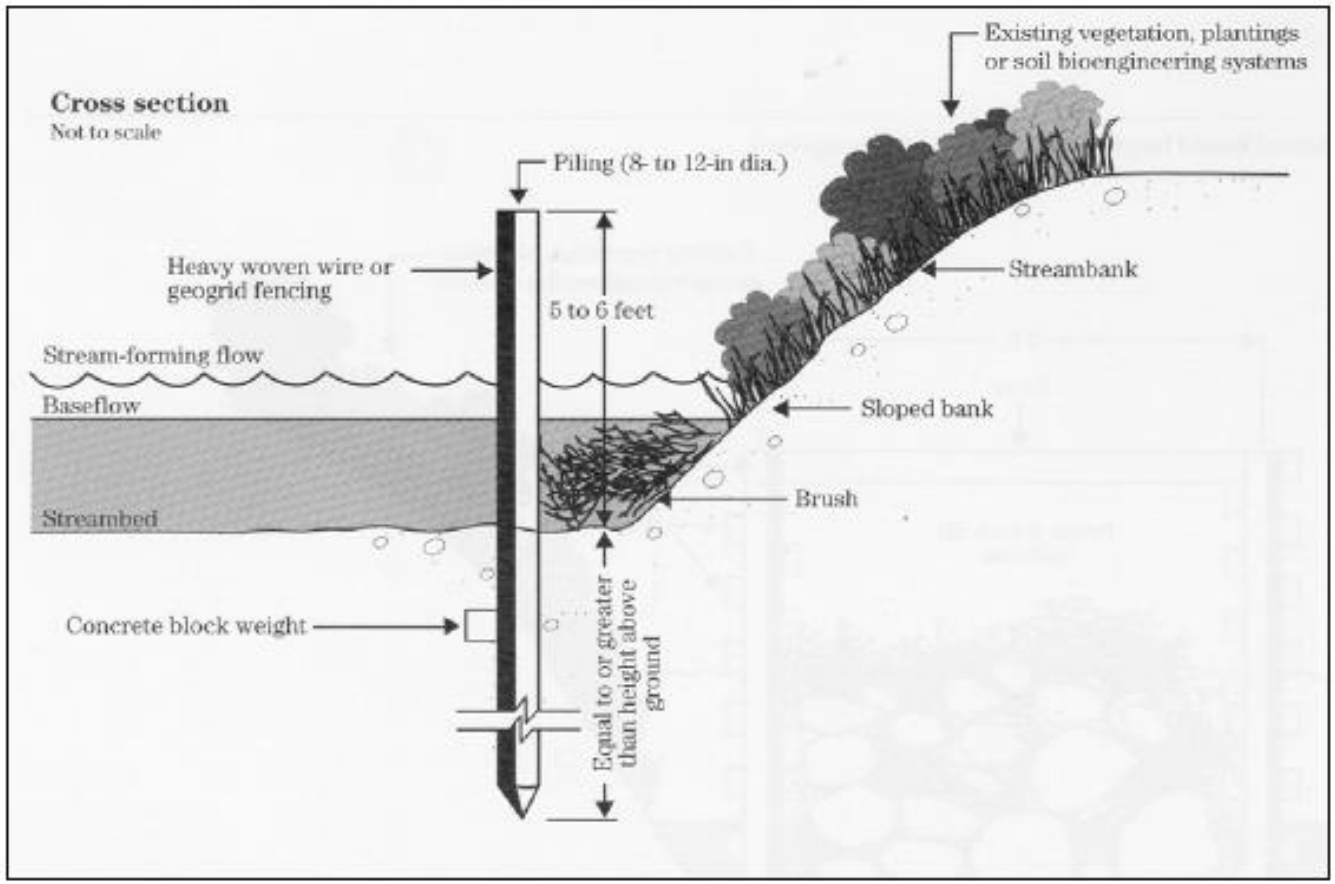


Figure 18. Piling revetment details

مزایا و معایب

- عمق آبراهه حداقل باید ۳ فوت باشد.
- در آبراهه های عمیق، شمع کوبی روش مناسبی است، اما عمق شمع کوبی نباید از ۹ فوت تجاوز کند.
- وجود یخ یا سایر مواد شناور در جریان می تواند به شمع ها آسیب برساند.
- شمع کوبی کمکی به بهبود شرایط زیستی موجودات زنده نمی کند.

مواد مورد نیاز

- تیرهای چوبی به قطر ۸ تا ۱۲ اینچ و طولی معادل با دو برابر ارتفاع کناره ی ساحل.
- مفتول تابیده شده و مقاوم و یا الیاف ژئوتکستایل.

آماده سازی جهت اجرای طرح

- شمع هایی از جنس چوب و یا لوله انتخاب شود.
- ابزار شمع کوبی در شرایط آبراهه تهیه شود.
- برای شرایط شمع کوبی دو ردیفه، از سنگ، بقایای گیاهی و یا سایر مواد برای پر کردن فضای بین شمع ها استفاده گردد.
- برای جایگیری مناسب شبکه فلزی، بستر آبراهه در محل طرح پاک سازی شود.

اجرای طرح

- حدفاصل شمع کوبی ٦ تا ٨ فوت می باشد. عمق شمع کوبی حدود نصف طول شمع ها می باشد که در عمیق ترین قسمت مجاور ساحل فرسایشی مستقر می گردند.
- در صورتی که حصارکشی دو ردیفه باشد، ردیف دوم با فاصله ی ٥ فوت از ردیف اول در سمت شیب ساحل مستقر می گردد.
- شبکه سیمی و یا الیاف ژئوتکستایل در سمت جریان آبراهه قرار می گیرند.
- در حصار کشی دو ردیفه، حدفاصل ردیف ها با سنگ و شاخ و برگ پر می شود.

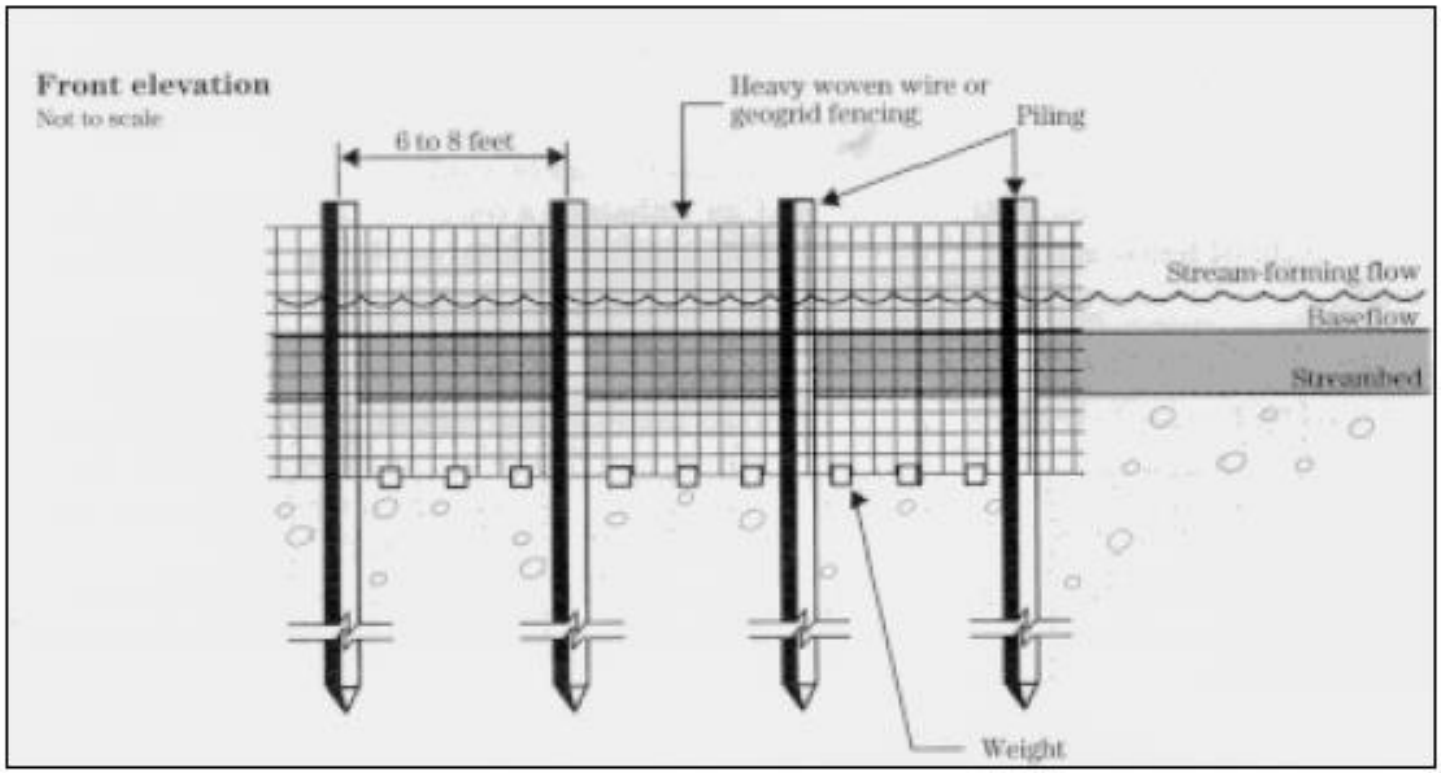


Figure 19. Diagram of wire fencing between posts

ریپ رَپ (Riprap):

در این روش از سنگ هایی با اندازه های مختلف برای حفاظت سواحل در مقابل آبراهه استفاده می شود.

Figure 20. Riprap along the bend of a stream with vegetation between the rocks

دانشگاه شهید چمران اهواز
مهدی قمشی- جزوه درسی مهندسی رودخانه

مزایا و معایب

- استفاده از ریپ رَپ به این دلیل که سنگ ها به خوبی منطبق بر عوارض زمین می شوند، سودمند است. همچنین در فضای بین سنگ ها امکان رشد برای گیاهان وجود دارد که این مساله می تواند به شرایط زیستی محل کمک نماید.
- ریپ رَپ به آسانی قابل نصب و نگهداری است و نمای طبیعی دارد و همچنین زیانی به محیط زیست نمی رساند.
- این روش به خوبی قابل تلفیق با سایر روش های بیومهندسی می باشد.

مواد مورد نیاز

- سنگ های پوششی (Revetment stone) کلاس D یا E. نوع سنگها عمدتاً سنگ آهک شکسته شده، دولومیت و گرانیت می باشد که در بیشتر معادن موجود می باشند. سنگ های زاویه دار با سطح زبر و در اندازه های مختلف موجب می شود تا سنگ ها به خوبی در گیر شوند و یک دیواره سنگی متراکمی پدید آید.

آماده سازی جهت اجرای طرح

- سرعت جریان با استفاده از یک جسم شناور اندازه گیری شود. به این ترتیب که در بازه ی مستقیمی از آبراهه، جسم شناوری (مانند یک تکه چوب) در سطح آب قرار گیرد و مدت زمان لازم برای طی فاصله ی ۵۰ فوت، تعیین شود. با تقسیم فاصله ی ۵۰ فوت بر مدت زمان اندازه گیری شده، سرعت تقریبی جریان بر حسب فوت بر ثانیه به دست می آید. در جدول زیر اندازه ی مناسب ریپ رَپ بر اساس سرعت جریان مشخص شده است:

Table 2. Recommended sizes for riprap

Velocity of stream during high flow	Size range (diameter across longest part of rock)
Slow (2-4 ft/sec)	3" - 6"; average 4"
Moderate (4-6 ft/sec)	4" - 12"; average 8"
* Fast (6-12 ft/sec)	5" - 18"; average 14"

*This velocity is the most common cause of streambank erosion in Iowa.

آماده سازی جهت اجرای طرح (ادامه)

- اندازه ای برای سنگ ها انتخاب شود که جریان آبراهه در سرعت های زیاد نتواند آنها را جابه جا سازد.
- در جریان هایی با سرعت زیاد، سنگ های مورد استفاده باید بین ۵ تا ۱۵۰ پوند وزن داشته باشند و وزن بیشتر سنگ های مورد استفاده نباید کمتر از ۹۰ پوند باشد.
- سنگ های کوچکتر باید در فضای بین سنگ های بزرگتر قرار گیرد.
- از قطعات شکسته شده بتن در صورتی که در اندازه های مختلف موجود باشد (دانه بندی خوب) و به این شرط که آرماتورهای آن حذف شده باشد نیز می توان استفاده کرد.
- استفاده از تکه های آسفالت مجاز نیست، زیرا مواد شیمیایی آن برای محیط زیست مضر است.
- استفاده از بقایای حاصل از تخریب ساختمان ها در صورتی که حاوی قطعات لاستیکی و سایر مصنوعات باشند مجاز نیست.
- جهت استفاده از ریپ رَپ، شیب ساحل باید 2H : 1V و یا کمتر باشد.

اجرای طرح

- جهت تثبیت خاک می توان پس از آماده سازی شیب، از الیاف ژئوتکستایل استفاده کرد.
- ابتدا به ضخامت ٦ اینچ، شن و سنگ شکسته ریخته شود و سپس ریپ رَپ اصلی ریخته شود.
- سنگ ها باید دانه بندی مناسبی داشته باشند و از هر اندازه ی سنگ ها تعداد کافی موجود باشد. بزرگترین و سنگین ترین سنگ ها در کف قرار می گیرند، در این حالت سنگ ها باید ضخامتی حدود ۱۲ تا ۱۸ اینچ را ایجاد کرده باشند.
- ریپ رَپ ایجاد شده باید حدود ۲ تا ۵ سال در مقابل فرسایش حفاظت ایجاد کند. قسمت های باقیمانده ساحل نیز باید با ایجاد پوشش گیاهی (درخت، کاشت قلمه و بذرپاشی که قبلاً به آنها اشاره شد).
- اگر احتمال آب شستگی بستر آبراهه وجود دارد، ترانشه ای در بستر آبراهه حفر شده و داخل آن نیز با سنگ پر می شود. در این شرایط، بستر سنگی ایجاد شده زیرشویی نخواهد شد. اقدام مذکور در شرایطی انجام شود که احتمال کف کنی آبراهه وجود دارد.

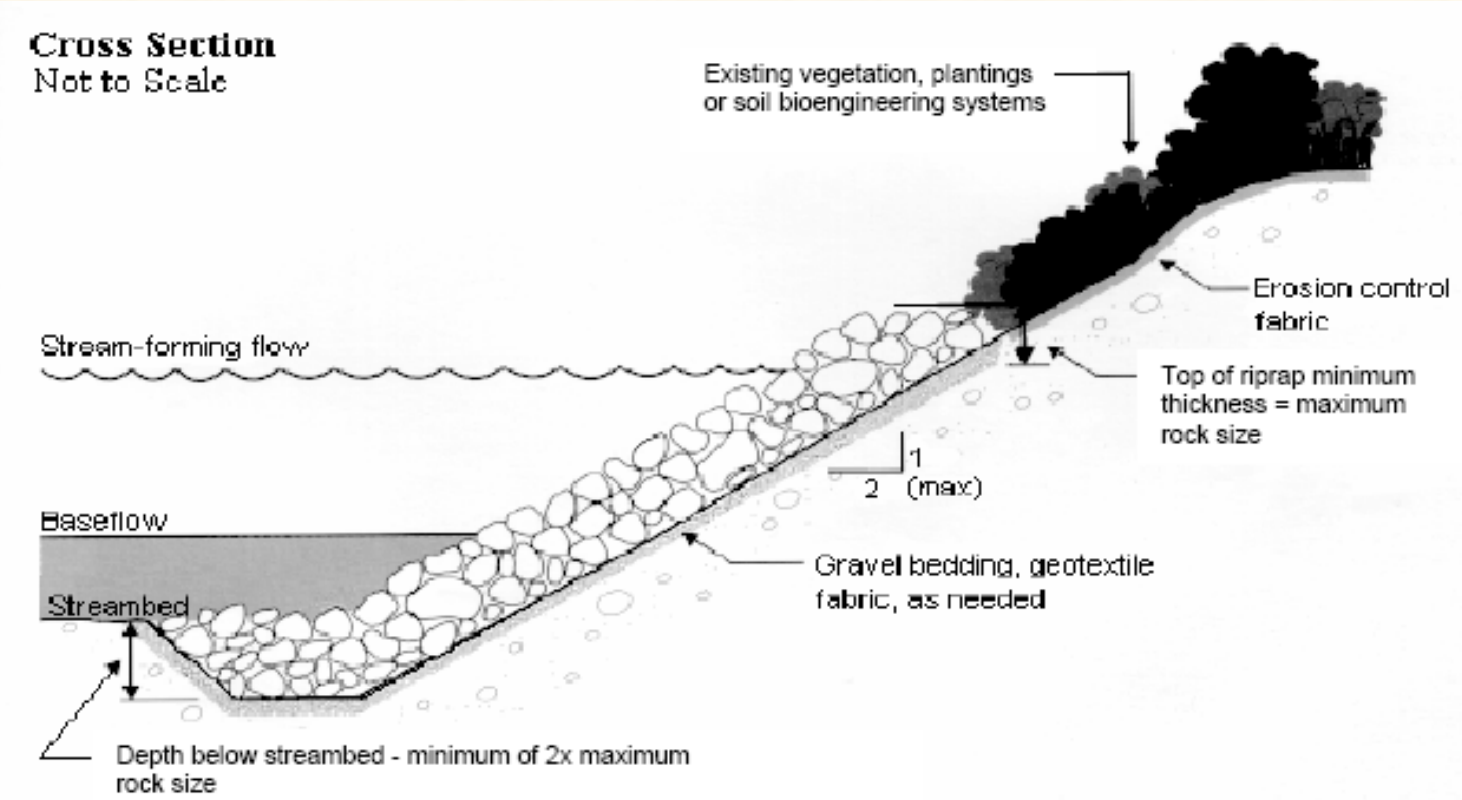


Figure 21. Cross-sectional view of riprap placement on the graded slope of a streambank

سیستم اِسکله ای (Jetty system)

یک سیستم اسکله ای مشابه یک سازه آب شکن (یا اپی) می باشد که از ساحل به سمت بستر آبراهه امتداد می یابد. سازه ی آبشکن یا اسکله ساحل را در مقابل فرسایش محافظت می کند

Figure 22. Stream jetty placement for bridge protection

مزایا و معایب

- یک سیستم اِسکله ای برای آبراهه هایی با اندازه های مختلف قابل استفاده خواهد بود.
- سیستم اِسکله ای روش موثری برای کنترل فرسایش ساحل است.
- با توجه با اینکه رسوبات در قسمت بالادست اسکله انباشته می شوند، باید با استفاده از روش های بیومهندسی این شرایط را مدیریت کرد.
- شکل هر اسکله و نیز محل قرار گیری آن باید دقیق باشد و بر اساس اصول مهندسی طرح گردد.
- طراحی و نیز مصالح مورد نیاز برای ساخت اسکله پر هزینه می باشد.

مواد مورد نیاز

- برای ساخت سیستم اسکله ای عمدتاً سنگ مورد نیاز می باشد (همانند ریپ رَپ).

آماده سازی جهت اجرای طرح

- اندازه ی سنگ ها باید طوری انتخاب شود که در شرایط دبی لبریز (Bank full flow) سنگ ها توسط جریان جابجا نشوند.
- قبل از اجرای طرح باید جانمایی طرح کاملاً مشخص باشد.
- طول هر اسکله نباید از ۲۵ درصد عرض آبراهه تجاوز کند. زیرا در غیر این صورت، به تدریج ساحل مقابل دچار فرسایش می شود.
- حد فاصل بین اسکله ها باید در حدود ۲ تا ۵ برابر طول اسکله ها باشد.

اجرای طرح

- هر اسکله باید به طور کاملاً ایمن در ساحل آبراهه و در بستر آن تثبیت گردد تا در شرایط جریان های زیاد، توسط جریان جابجا نگردد و یا اینکه جریان موجب تخریب پیرامون اسکله نشود.
- ارتفاع اسکله باید برابر با ارتفاع ساحل آبراهه باشد.
- عرض هر اسکله باید حدود ۸ تا ۱۲ فوت باشد.
- دیواره های جانبی اسکله (سمت بالادست و پایین دست) باید شیب 2H : 1V داشته باشند.

دانشگاه شهید چمران اهواز

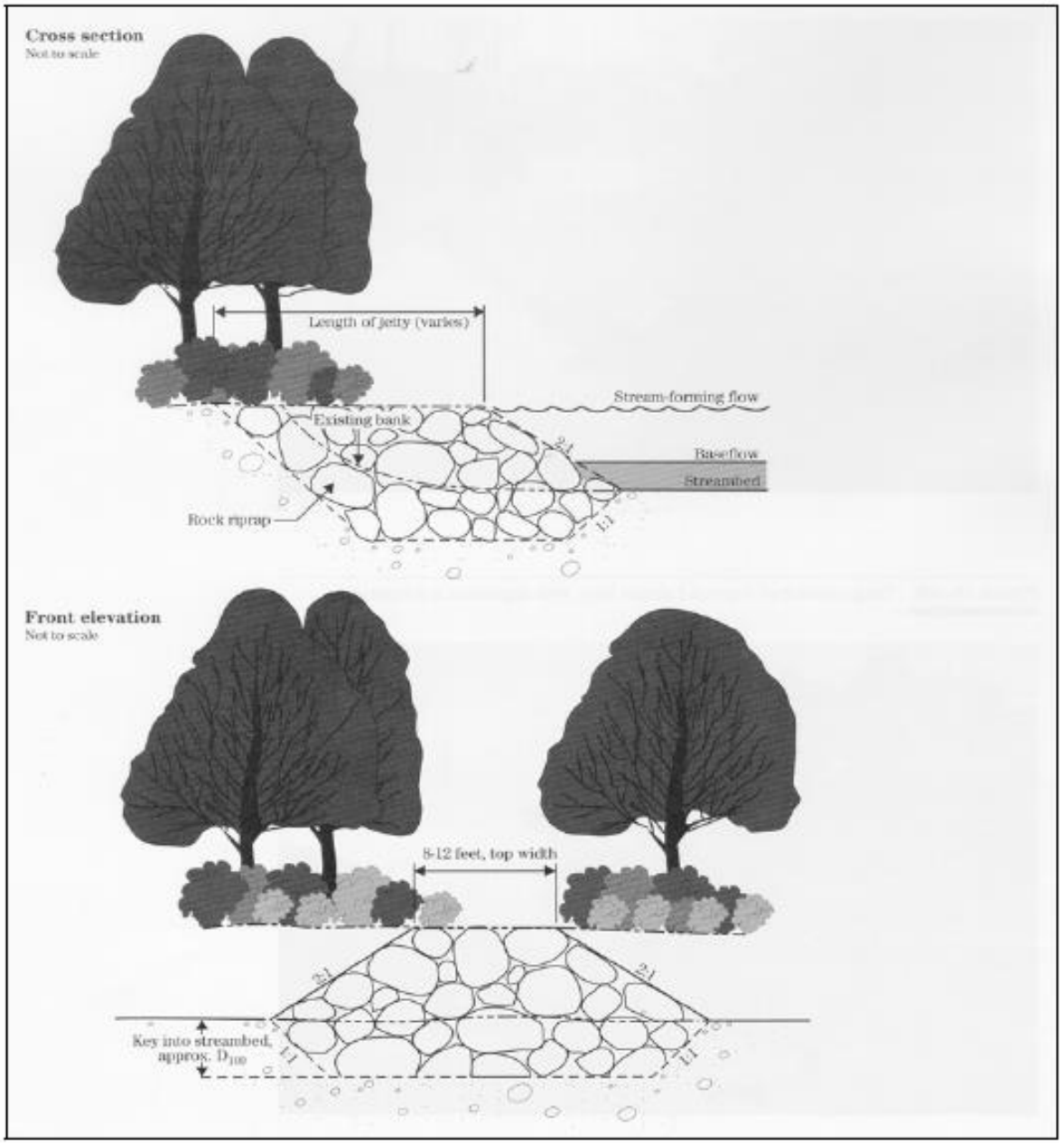


Figure 23. Stream jetty details

تیغه های مستغرق (Submerged vanes = Iowa vanes)

صفحات مستغرق در بستر یک آبراهه فرسایشی نصب می شوند. نصب این صفحات موجب اصلاح الگوی جریان می گردد و فرسایش ساحل آبراهه را متوقف کرده و موجب رسوبگذاری در ساحل مذکور می گردد. همواره قوس خارجی رودخانه ها به طور قابل ملاحظه ای دچار زیرشویی و فرسایش می شود. به عبارت دیگر همزمان با فرسایش کناره ی آبراهه، بستر آبراهه در سمت ساحل نیز گود می شود. استقرار صفحات مستغرق موجب تثبیت ساحل می شود، بدون اینکه در بار رسوبی و یا سرعت جریان در نواحی دیگر آبراهه تغییری رخ دهد.

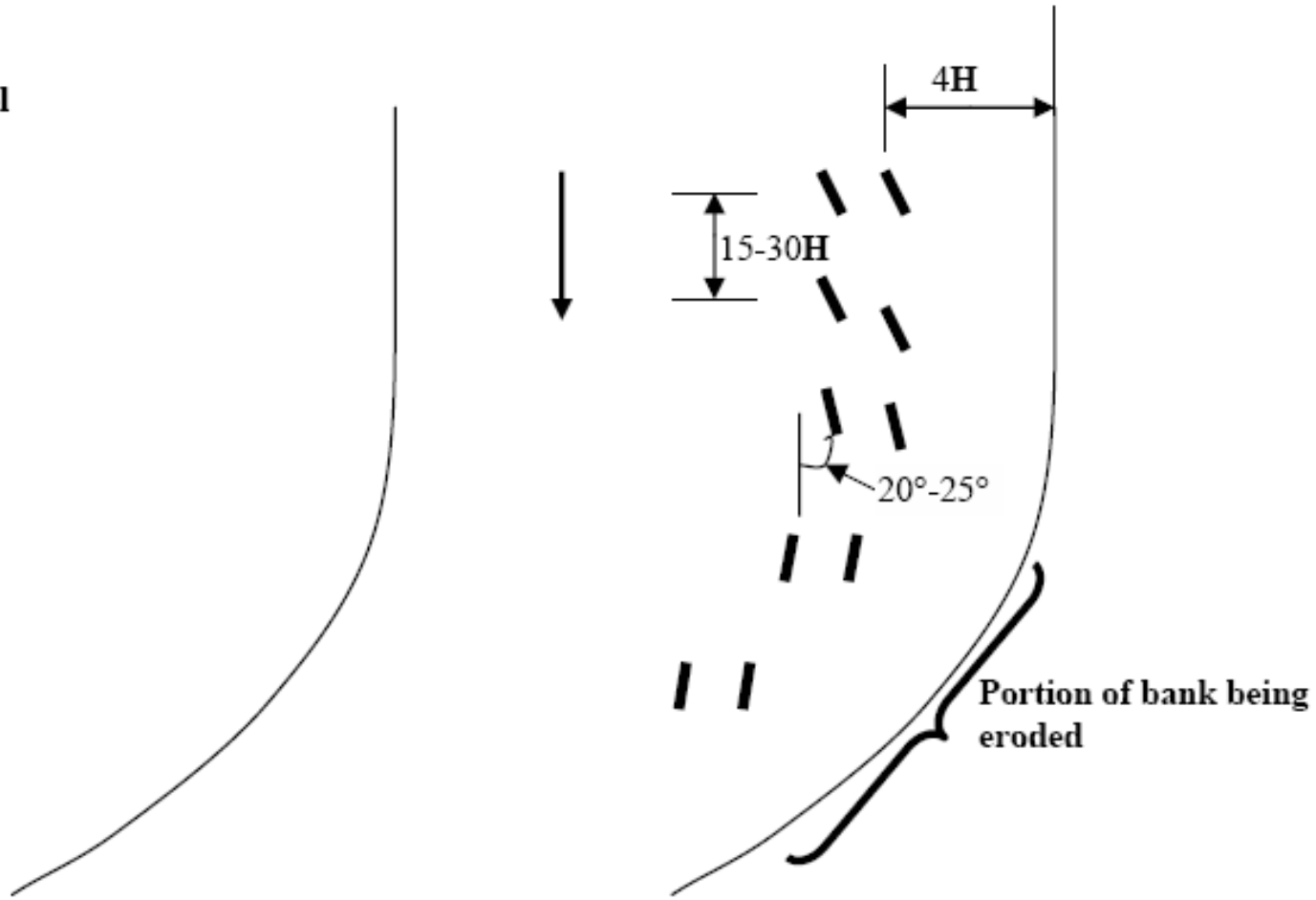
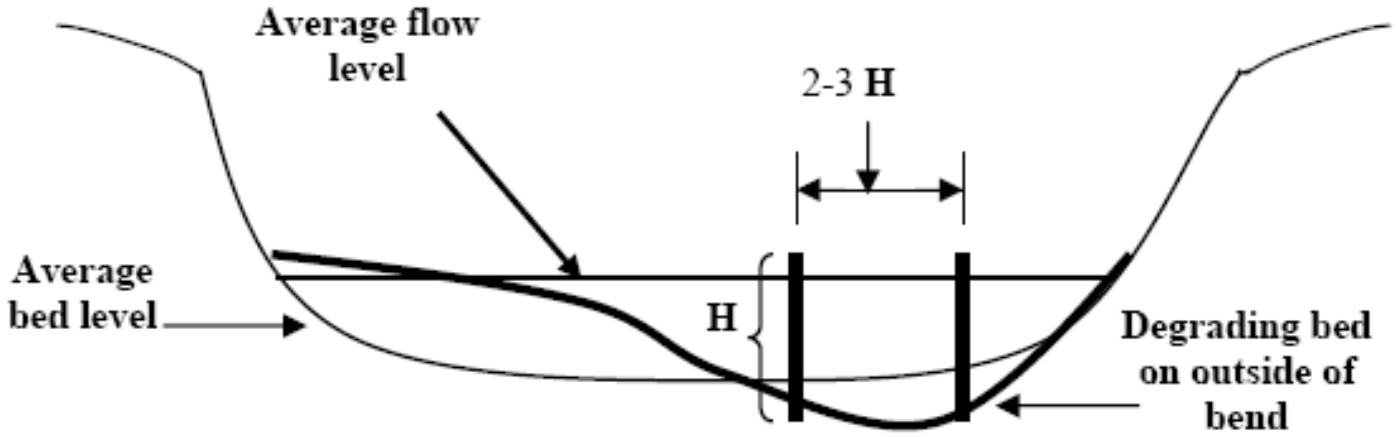


Figure 25. Iowa Vane placement details

Cross-section view of stream channel



H = Height of vane used as a reference length for orientation of vane.

مزایا و معایب

- با استفاده از این روش پنجه ی شیب تثبیت می شود.
- از روش های بیومهندسی نیز می توان به همراه روش صفحات استفاده کرد، زیرا پس از رسوب گذاری در نتیجه ی وجود صفحات، به طور طبیعی رشد گیاهان در ناحیه رسوب گذاری شده شروع می شود.
- در استفاده از روش صفحات، تغییر محسوسی در سطح مقطع آبراهه و یا بار رسوبی بالادست و پایین دست به وجود نمی آید.
- استفاده از صفحات در کانال های باریک چندان عملی نیست. حداقل عرض آبراهه باید حدود ۱۵ تا ۲۰ فوت باشد.
- استفاده از صفحات در آبراهه هایی با مواد بستری غیرچسبنده (عمدتاً ماسه ای) امکان پذیر است.

مزایا و معایب (ادامه)

- روش صفحات نیاز به طراحی دقیقی دارد.
- صفحات در مقابل جریان یخ های شناور و یا سایر مواد شناور مقاوم خواهند بود، زیرا این صفحات عمدتاً مستغرق هستند.
- صفحات می توانند به کشتی ها آسیب برسانند. بنابراین محدوده ی نصب آنها باید به وسیله ی علائم شناور به خوبی مشخص گردد.
- از مواد مختلفی می توان برای ساخت صفحات استفاده کرد.

مواد مورد نیاز

- الوار، تخته و لوله جهت ساخت صفحات
- جرثقیل جهت نصب صفحاتِ پیش ساخته، در زیر آب
- ابزار مناسب جهت مستقر کردن تکیه گاه های صفحات در داخل آب

مواد مورد نیاز

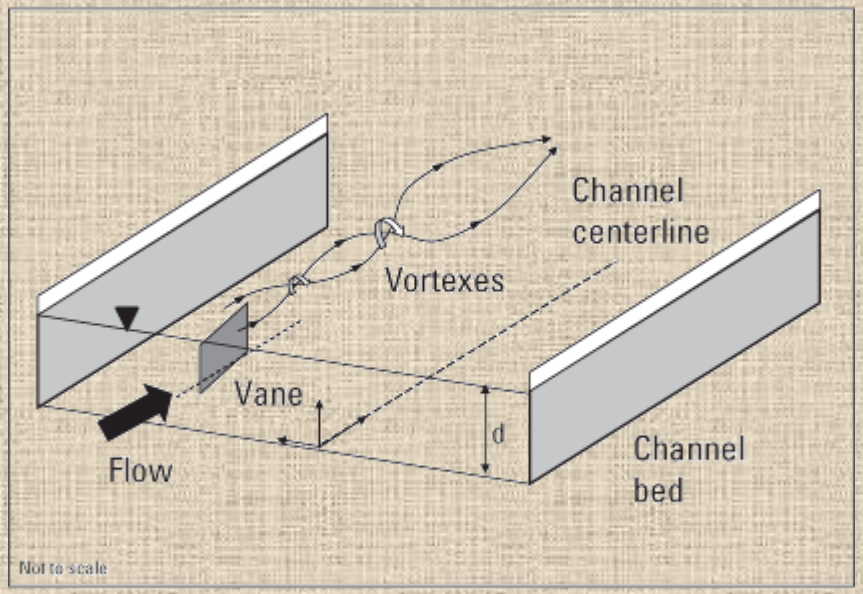
- ساده ترین راه جهت استقرار پایدار صفحات، استفاده از دو لوله (به عنوان تکیه گاه صفحات) است که به طور ایمن در بستر آبراهه کوبیده می شوند.
- لوله های مذکور باید حدود ٦ تا ٩ فوت از یکدیگر فاصله داشته باشند و حدود ٢٠ تا ٢٥ درجه نسبت به ساحل متمایل باشند (به عبارت دیگر زاویه نصب صفحات نسبت به امتداد جریان ٢٠ تا ٢٥ درجه باشد).
- الوار یا تخته ها به تکیه گاه ها (لوله ها) بسته می شود. از سطح آب جهت تراز نمودن الوار و تخته ها استفاده گردد.
- طول هر صفحه باید بین ٦ تا ٩ فوت باشد.
- ارتفاع هر صفحه حداقل ١ فوت نسبت به تراز متوسط بستر می باشد. یا اینکه ارتفاع هر صفحه ٢ تا ٣ فوت می باشد.
- ضخامت صفحات نباید از ١ تا ٣ اینچ کمتر باشد.
- تمام صفحات باید در شرایط متوسط جریان مستغرق باشند.

Figure 24. Installation of concrete lowa vanes at low flow

Figure 26. Replacement of sediment on bank from Vanes

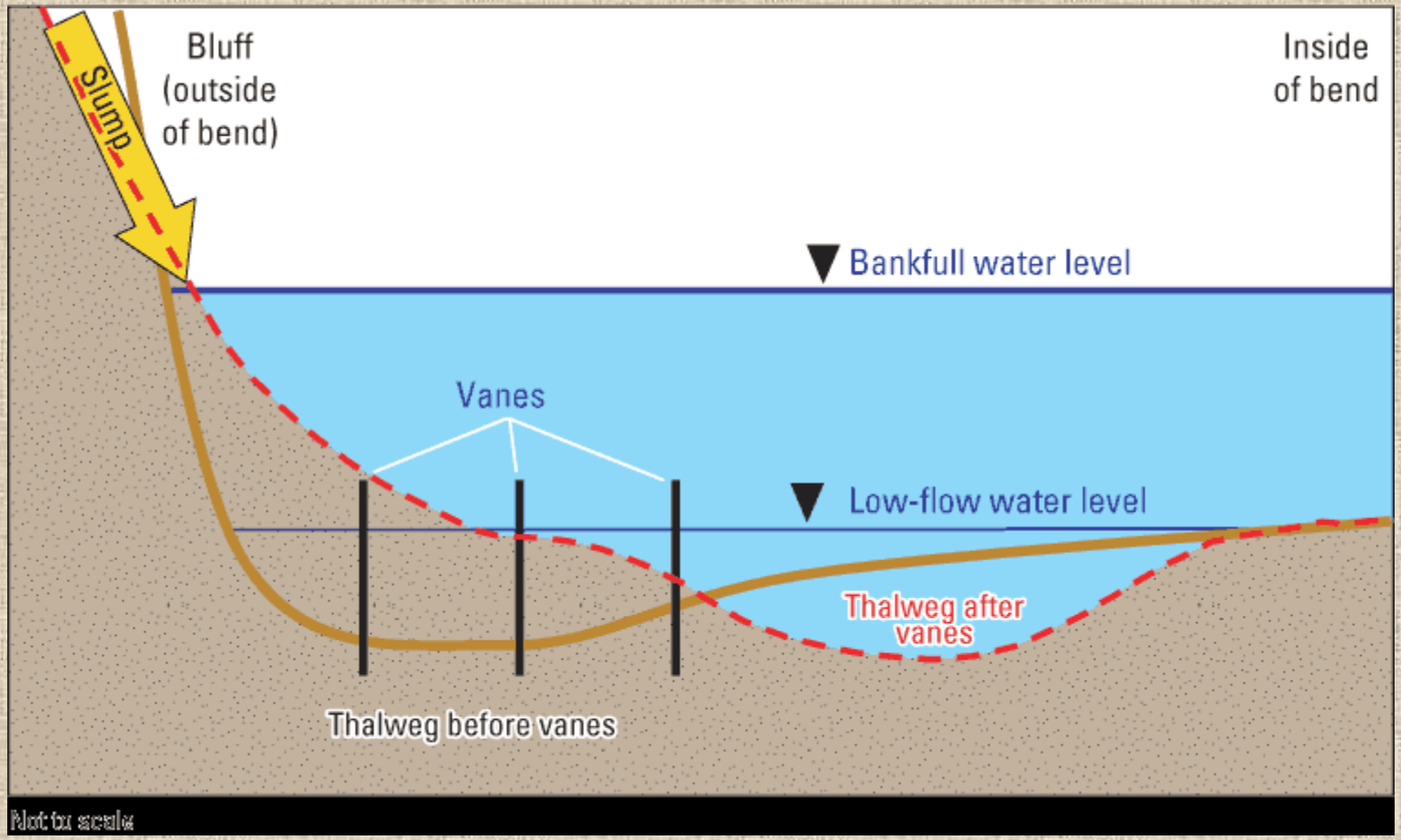
دانشگاه شهید چمران اهواز

A

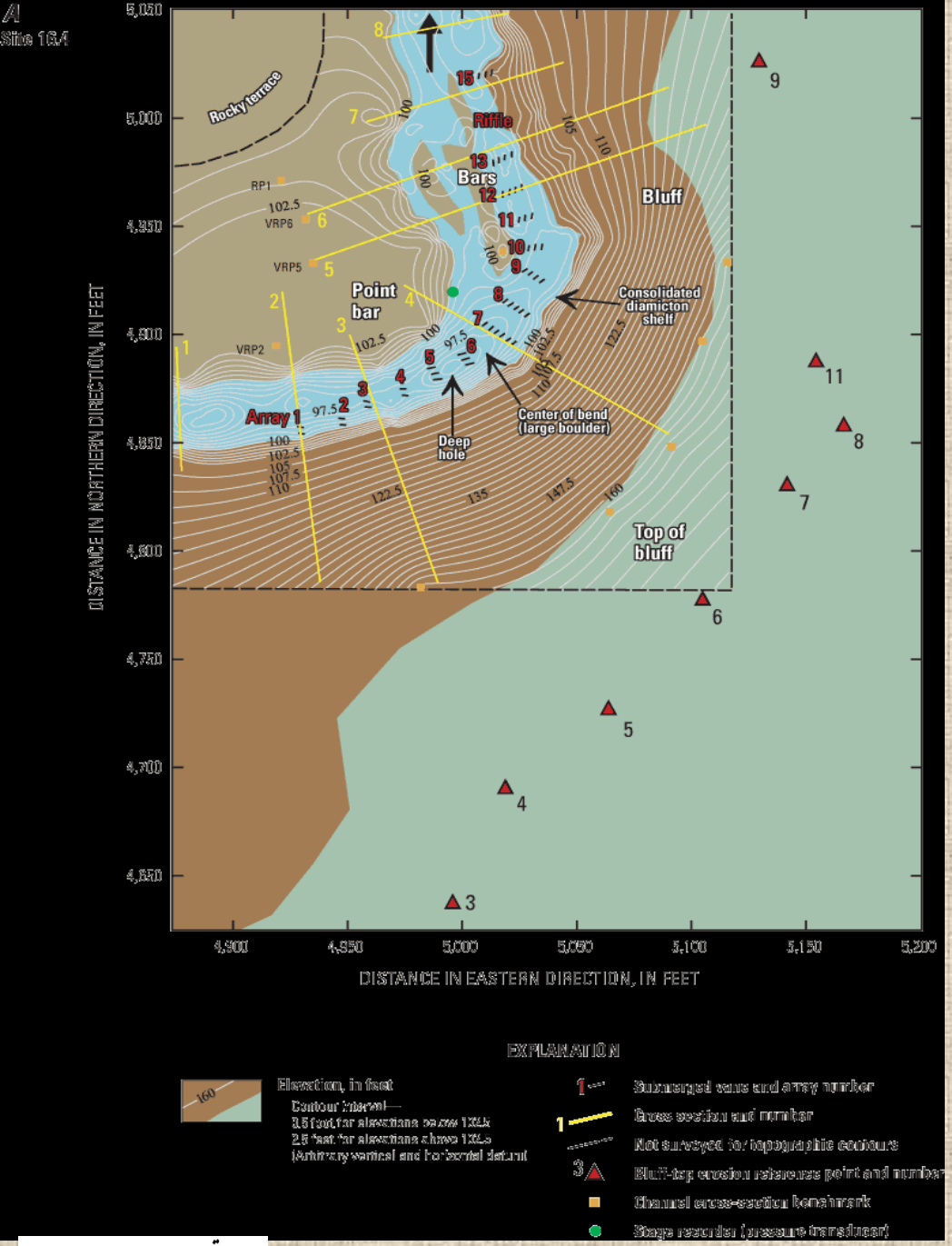


B

دانشگاه شهید چمران اهواز



Vane parameter	Design specifications (Odgaard and Wang, 1991b)
Height	0.2 to 0.4X average bankfull depth
Width	2–3X vane height
Lateral spacing	2–3X vane height
Angle to estimated bankfull flow pattern	13–40°
Streamwise spacing of array	10–30X vane height
Vane-to-bank distance	Not to exceed 1–4X vane height
Number of vane arrays	Enough to cover entire meander
Total number of vanes	About 20 vanes placed in arrays along entire meander


A
Site 16.4
Rocky terrace
Riffle
Bars
Bluff
Point bar
Consolidated diamicton shelf
Center of bend (large boulder)
Deep hole
Top of bluff
Array 1
RP1
VRP6
VRP5
VRP2
DISTANCE IN NORTHERN DIRECTION, IN FEET
DISTANCE IN EASTERN DIRECTION, IN FEET
EXPLANATION
Elevation, in feet
Contour interval—
1.5 foot for elevations below 1X0
2.5 feet for elevations above 1X0
(Arbitrary vertical and horizontal datum)
Submerged vane and array number
Cross section and number
Not surveyed for topographic contours
Bluff-top erosion reference point and number
Channel cross-section benchmark
Stage recorder (pressure transducer)

اجرای طرح

- نصب صفحات حداقل به اندازه ی عرض آبراهه از بالادست محل قوس شروع شود.

- هر ردیف از صفحات عبارت است از تعداد صفحاتی که در مجاور هم قرار می گیرند. هر ردیف شامل ۲ یا ۳ عدد صفحه می باشد. در نزدیکی محل مورد نظر (جهت حفاظت) در هر ردیف از صفحات، حداقل ۳ صفحه قرار می گیرد.

- فاصله عرضی صفحات (حد فاصل صفحات در هر ردیف) باید ۲ تا ۳ برابر ارتفاع صفحات باشد.

- فاصله ردیف ها از یکدیگر می تواند بین ۱۵ تا ۳۰ برابر ارتفاع صفحات باشد. صفحات قسمت بالادست می توانند فاصله ی کمتری داشته باشند و صفحات قسمت پایین دست می توانند فاصله ی بیشتری داشته باشند ولی حداکثر فاصله نباید از ۳۰ برابر ارتفاع صفحات بیشتر باشد.

Vegetated geogrids

در این روش شیبِ در معرض فرسایش، با استفاده از الیاف کنترل فرسایش نظیر ژئوتکستایل محافظت می گردد. به این صورت که الیاف مذکور به صورت لایه لایه، ضخامت معینی از خاک را در بر می گیرد و قلمه های گیاهی به صورت ردیفی بین لایه ها کشت می شود. گسترش سیستم ریشه در هر لایه خاک، موجب تثبیت خاک دورن و پشت هر لایه می گردد. پنجه ی شیب هم به وسیله سنگ محافظت می گردد.

مزایا و معایب

- روش فوق برای شرایطی مناسب است که برای اصلاح شیب ساحل محدودیت هایی وجود دارد.
- در شرایطی که فرسایش ساحل شدید باشد، روش Vegetated geogrids روش مناسبی است.
- مقدار زیادی خاک و سنگ برای پر کردن ساحل فرسایش یافته مورد نیاز است.

دانشگاه شهید چمران اهواز

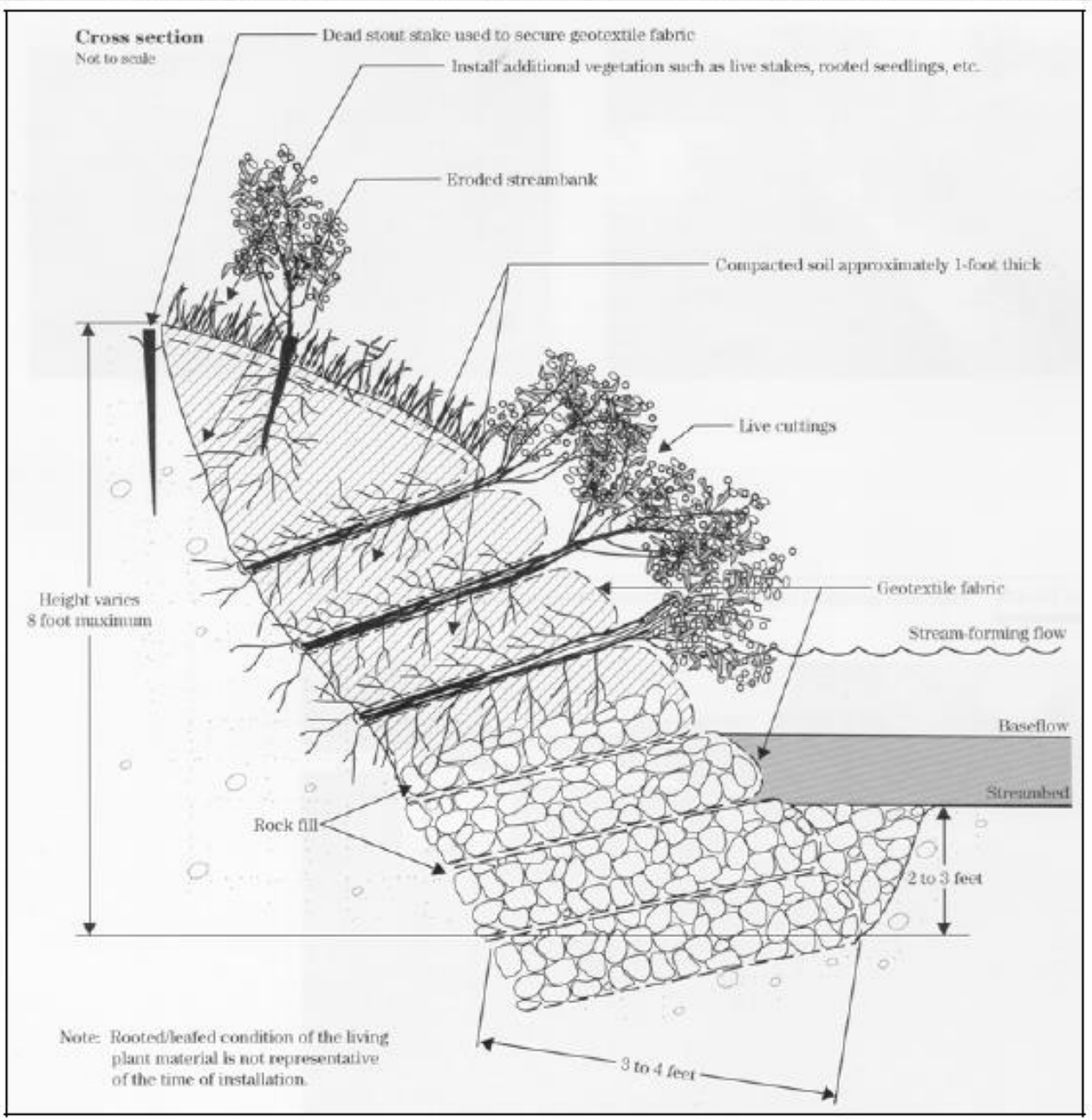


Figure 27. Vegetated geogrid details

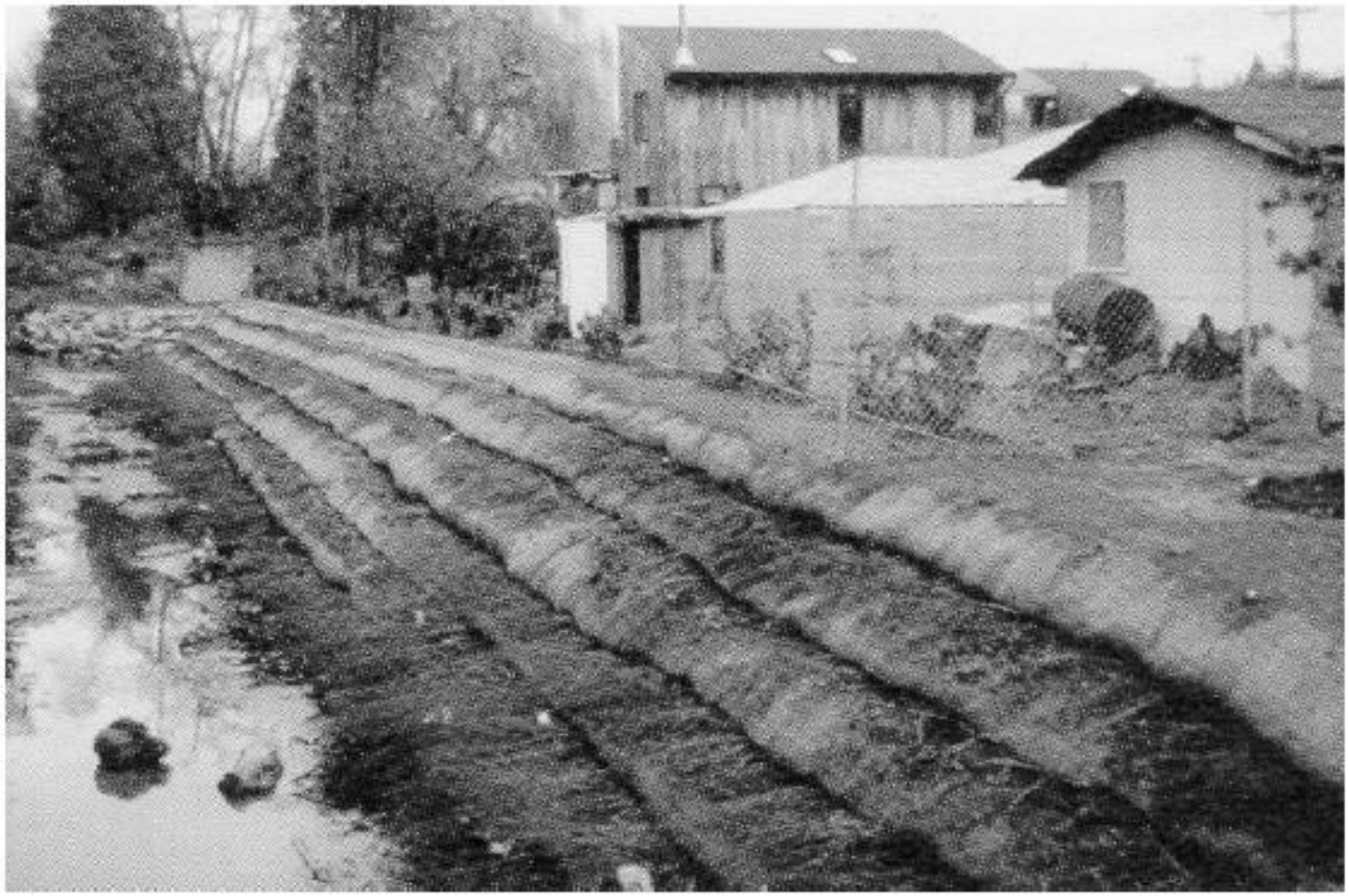


Figure 28. Completed geogrid installation

دانشگاه شهید چمران اهواز

Figure 29. Vegetated geogrid two years after installation

مواد مورد نیاز

- شاخه ها و قلمه هایی با قطر 0.5 تا 2.5 اینچ،
- سنگ هایی به قطر ٤ تا ٩ اینچ،
- الیاف ژئوتکستایل.

آماده سازی جهت اجرای طرح

- تجهیزات حفاری ویژه جهت ایجاد ترانشه در پنجه ی شیب،
- نیروی کار متخصص جهت نصب الیاف ژئوتکستایل و ریپ رَپ،
- تهیه تعداد کافی قلمه گیاهی.

مواد مورد نیاز

- ترانشه ای به عمق ۲ تا ۳ فوت در مجاور ساحل در بستر آبراهه حفر شود.
- داخل ترانشه ی حفر شده، تا تراز سطح آب با سنگ پر شود.
- در تراز سطح جریان، اولین لایه ژیوتکستایل با محتوای سنگ و خاک ایجاد شود و اولین ردیف قلمه ها در سطح آن قرار گیرد (شکل).
- با پیشرفت کار به سمت بالای شیب، لایه ها باید به تدریج کوتاه تر شوند تا از اتصال لایه های فوقانی به لایه های زیرین اطمینان حاصل شود.
- سطح بالاترین لایه توسط پوشش گیاهی علفی حفاظت می شود و الیاف ژئوتکستایل به بدنه اصلی ساحل متصل می گردد.

سنگ ریسه ها و گودال ها (Windrows and Trenches)

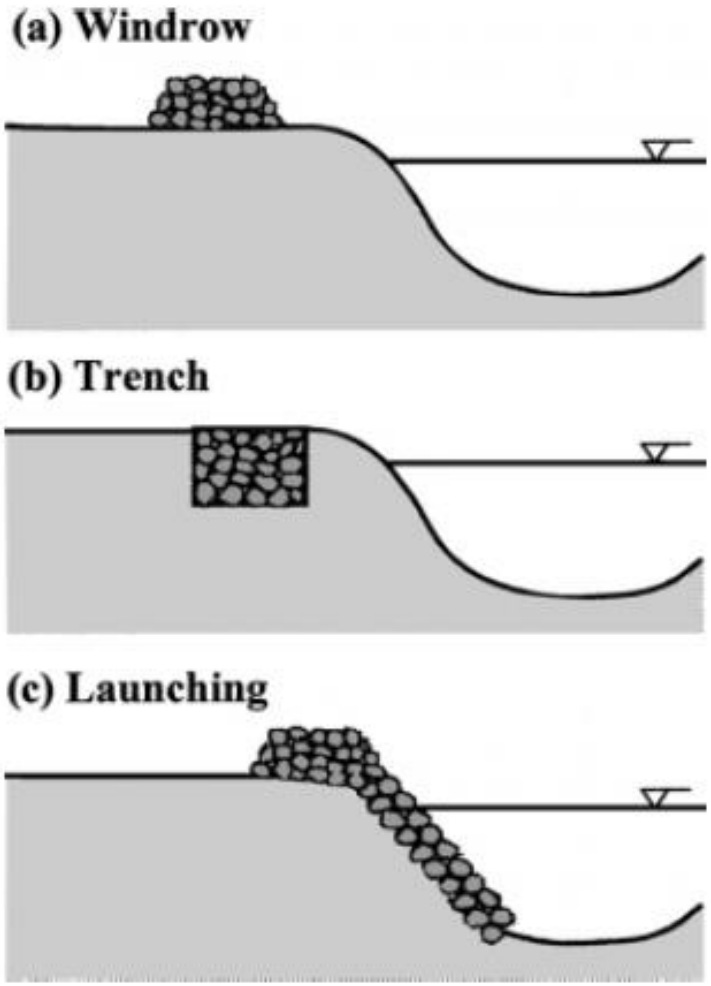


Figure 8.8. Windrows and trenches.

کیسه ها و بلوک ها (Sacks and Blocks)

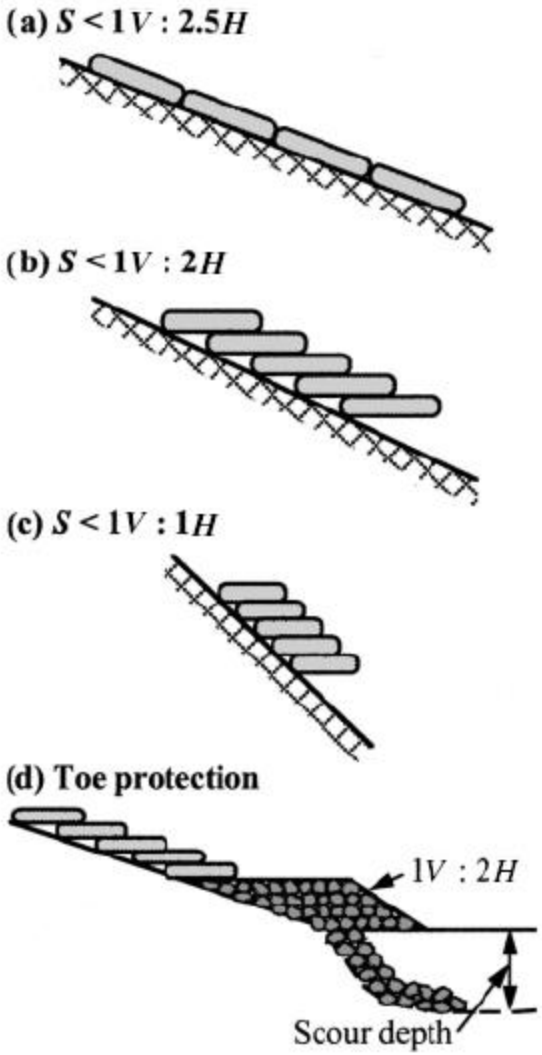


Figure 8.9. Sacks and blocks.

توری سنگ ها و روکش ها
(Gabions and Mattresses)

- توری سنگ ها، صندوقه های مستطیلی شکل توری فلزی هستند که از پاره سنگ هایی با قطر کمتر از ۲۰ سانتی متر پر می شوند. در مواردی که سرعت جریان چنان زیاد است که پوشش سنگریز ناپایدار می شود، استفاده از توریسنگ روش مناسبی بنظر می رسد. حداکثر سرعت مجاز آب برای استفاده از توریسنگ در محدوده ۵ m/s تا ۲ و بسته به توصیه کارخانه تولید کننده است.
- صندوقه توریسنگ در انواع تجاری با ابعاد استاندارد، از سیم فلزی سنگین گالوانیزه، با روکش پلی وینیل کلراید (PVC) در محیط های خورنده، تهیه می شود صفحات آنها به صورت تخت فرستاده می شوند و در محل، با دست و به کمک سیم های مقاوم به خورندگی، بسته بندی می گردند. ابعاد صندوقه ها معمولا در حد ۲m×۱×(عمق) ۰.۵m است و بر ساحل تراز شده به منظور پوشش قرار داده می شوند. در صورت لزوم از پوشش فیلتری یا پارچه توری مصنوعی برای جلوگیری از آب شویی ذرات خاک و زیرکنی صندوقه ها استفاده می شود.

صندوقه های توریسنگی معمولا در مجاورت شیب های تند روی هم چیده می شوند و سازه ای حجیم را به وجود می آورند که در برابر نیروی های جریان رودخانه و مواد ناپایدار ساحل مقاومت می کند. انعطاف پذیری توریسنگ، باعث می شود که تمامیت سازه در مقابل جابجایی، نشست یا زیر برش حفظ شود. معمولا سازه های توریسنگی یا در پنجه خاکریز قرار داده می شوند تا به شکل دیوار حائل عمل کنند و یا دور از ساحل کار گذاشته شوند تا جریان را از سمت ساحل منحرف سازند(شکل ۸-۱۰)

توری سنگ ها و روکش ها (Gabions and Mattresses)

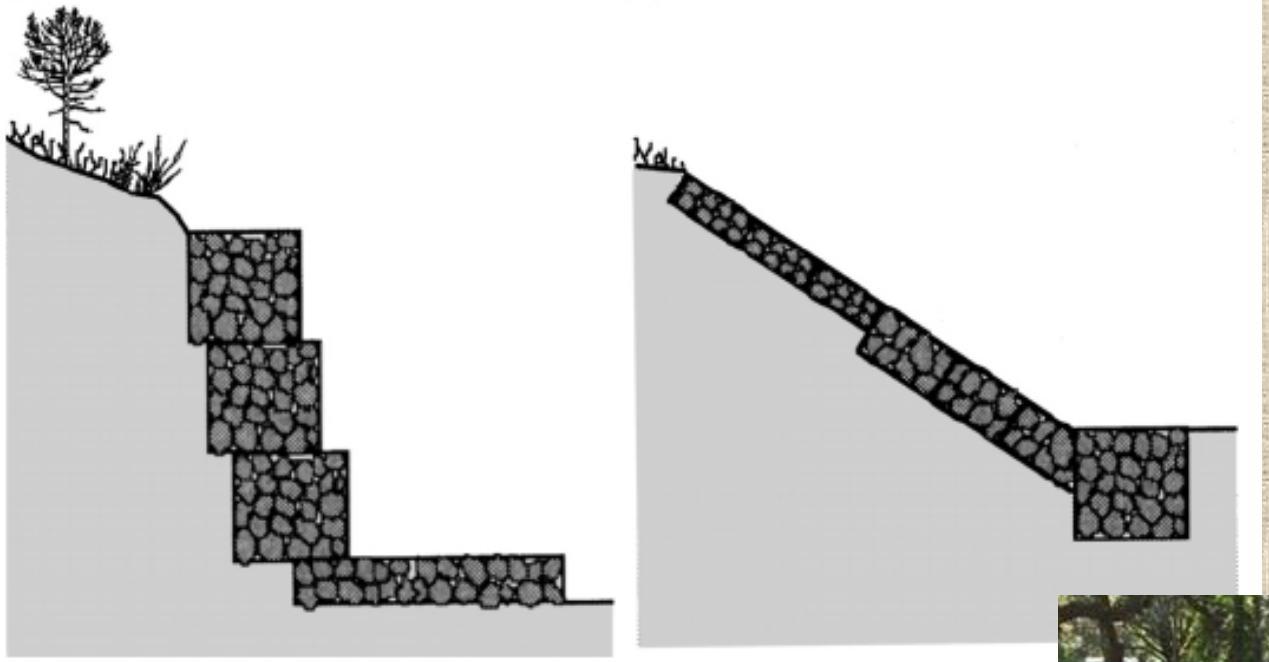
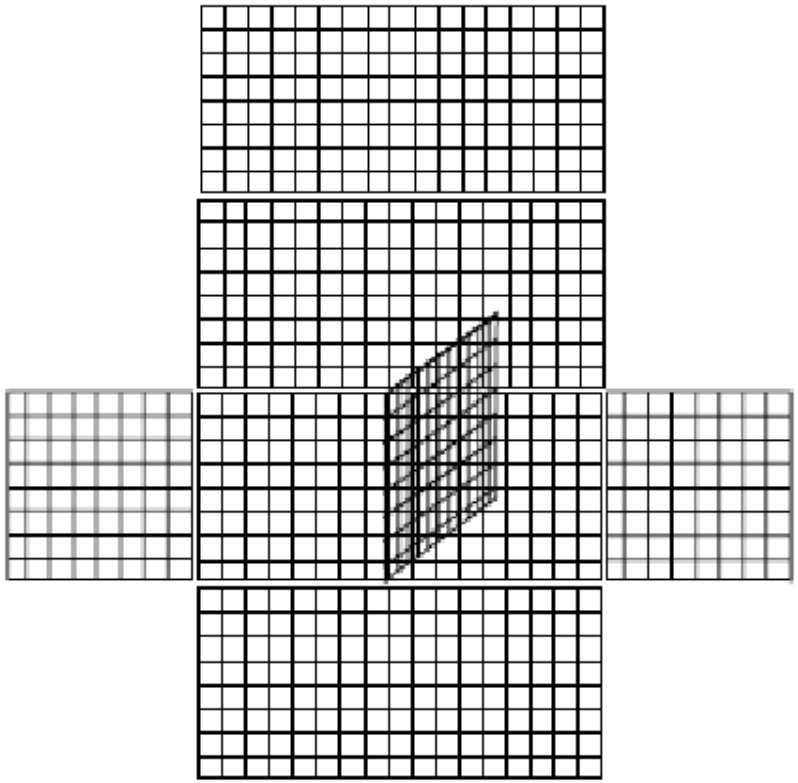
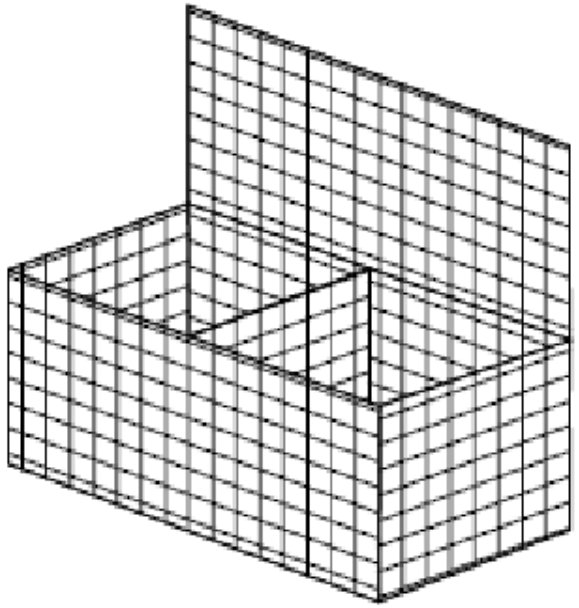


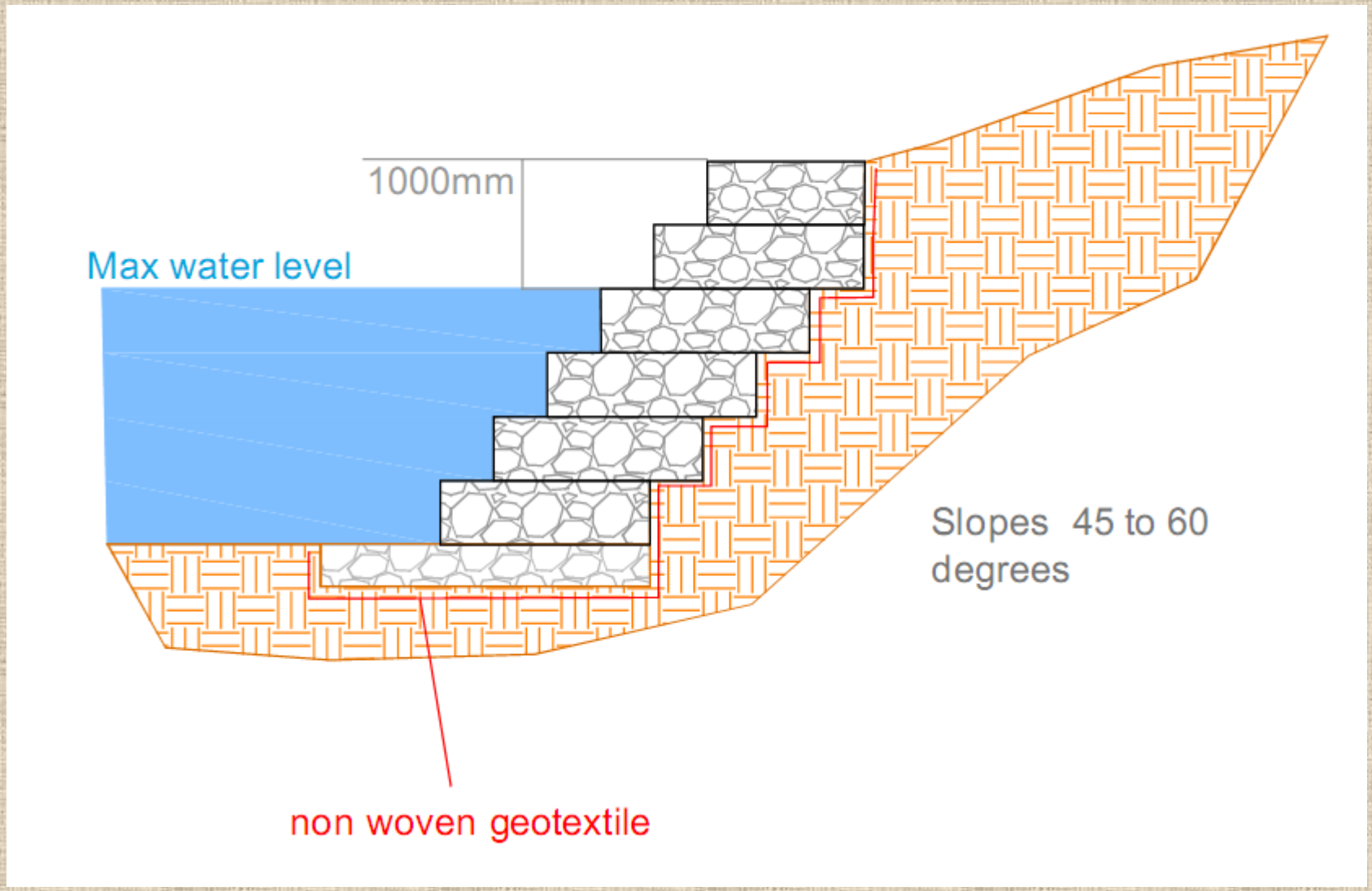
Figure 8.10. Gabions and mattresses.

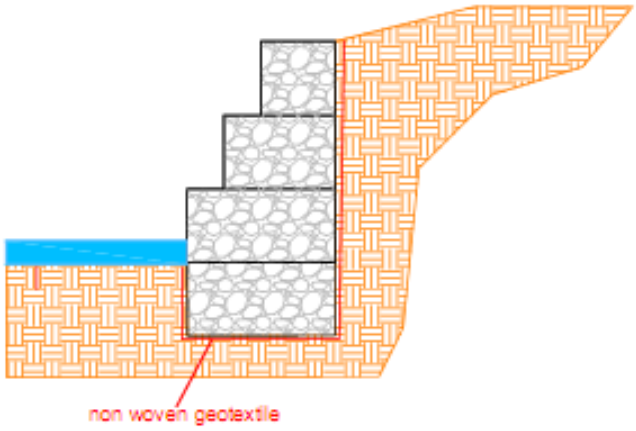


WELDED MESH GABION OPENED OUT FLAT PACK

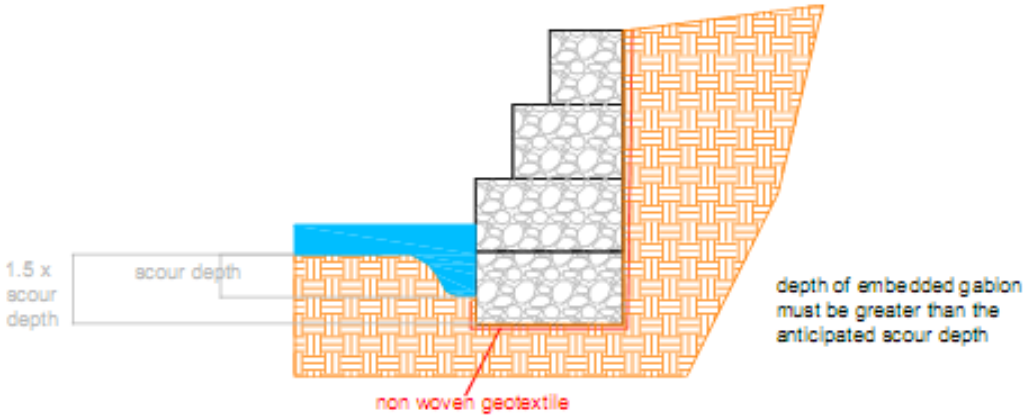


GABION FORMED INTO BOX SHAPE ON SITE

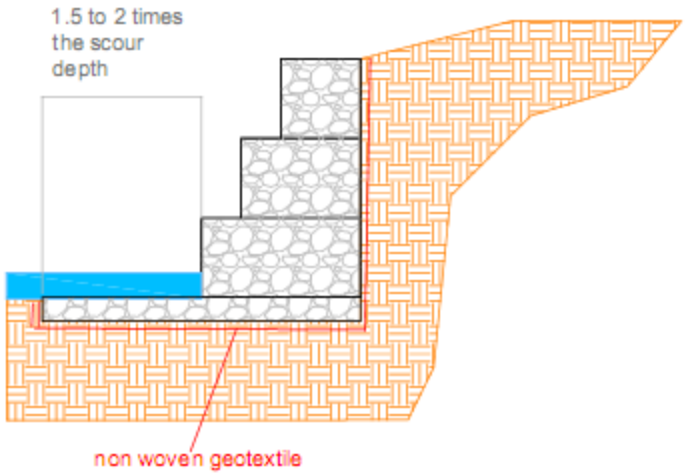

1000mm
Max water level
Slopes 45 to 60 degrees
non woven geotextile



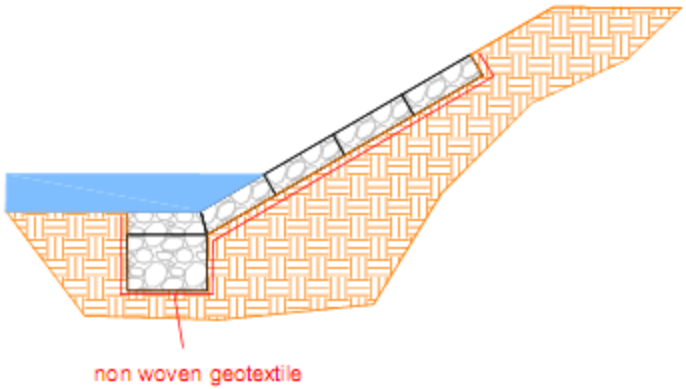
Gabion scour protection as installed



Gabion toe protection after scour occurs



Gabion wall with mattress protection



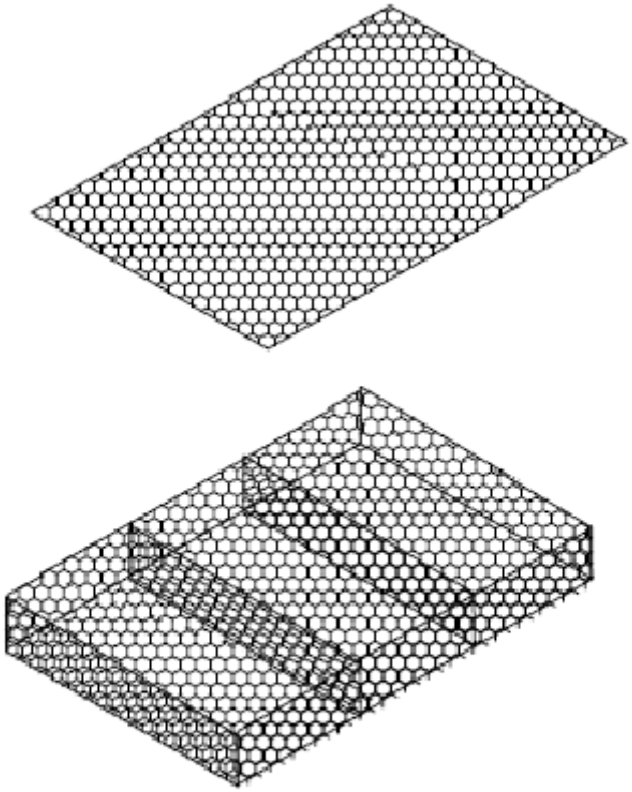
Revetment with gabion toe protection

توریسنگ های روکشی به شکل صندوقه های کوتاه و عریض ساخته می شوند و به یکدیگر بسته می گردند تا از ساحل به طور پیوسته محافظت کنند. این نوع توریسنگ ها معمولا روی شیب های ملایم کار گذاشته می شوند.

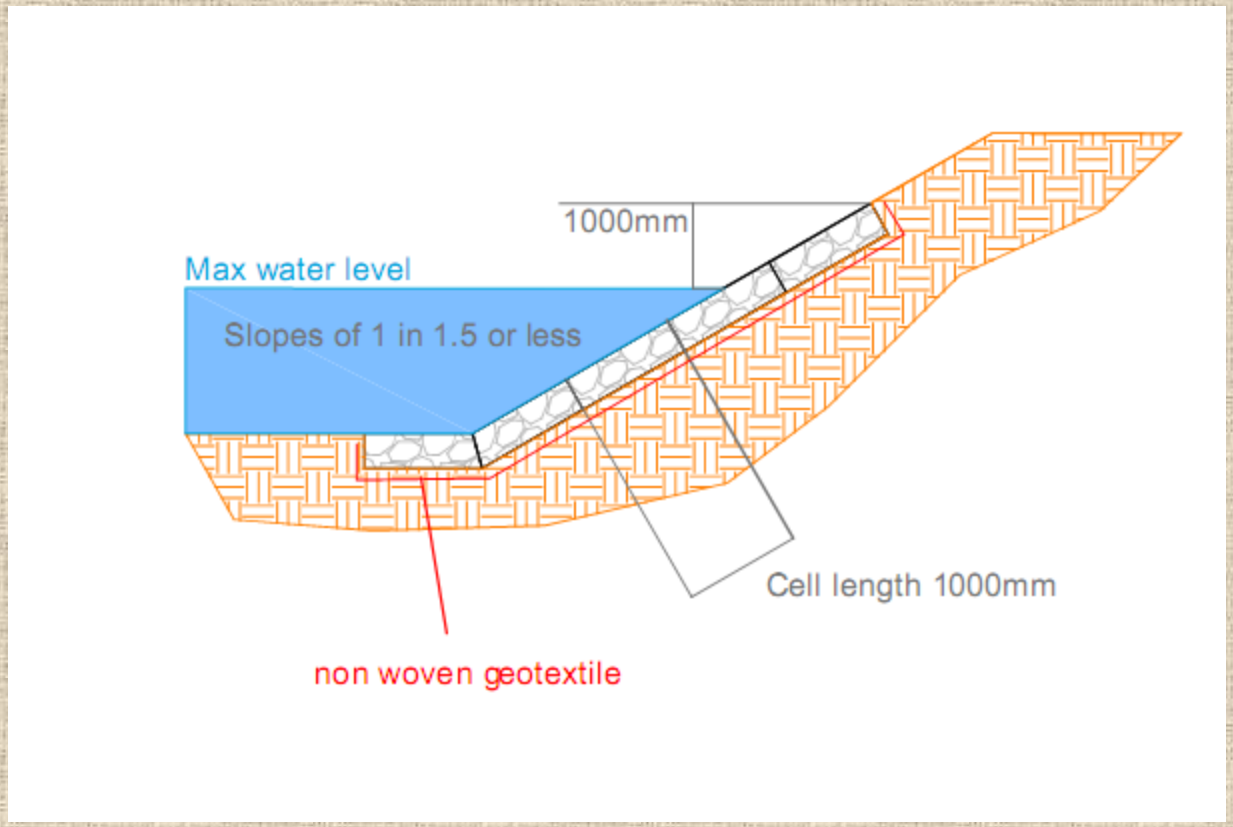
به طور کلی توریسنگ ها و روکش ها از جمله روش های پرهزینه برای حفاظت ساحل رودخانه به شمار می روند اما عملکرد خوب این سازه ها باعث رواج آنها شده است. قیمت سازه حفاظتی بر متراژ ساحل بسیار متنوع است و بسته به پیچیدگی طرح حفاظت دارد. بازدیدهای دوره ای و تعمیر و نگهداری صحیح از سازه های توریسنگی، عملکرد مطمئن آنها را تضمین می کند.تور سیمی بر اثر خوردگی، آلودگی آب، برخورد با اجسام شناور، فرسوده شدن از جریان های تند رسوبی و خرابکاری ممکن است از بین برود.

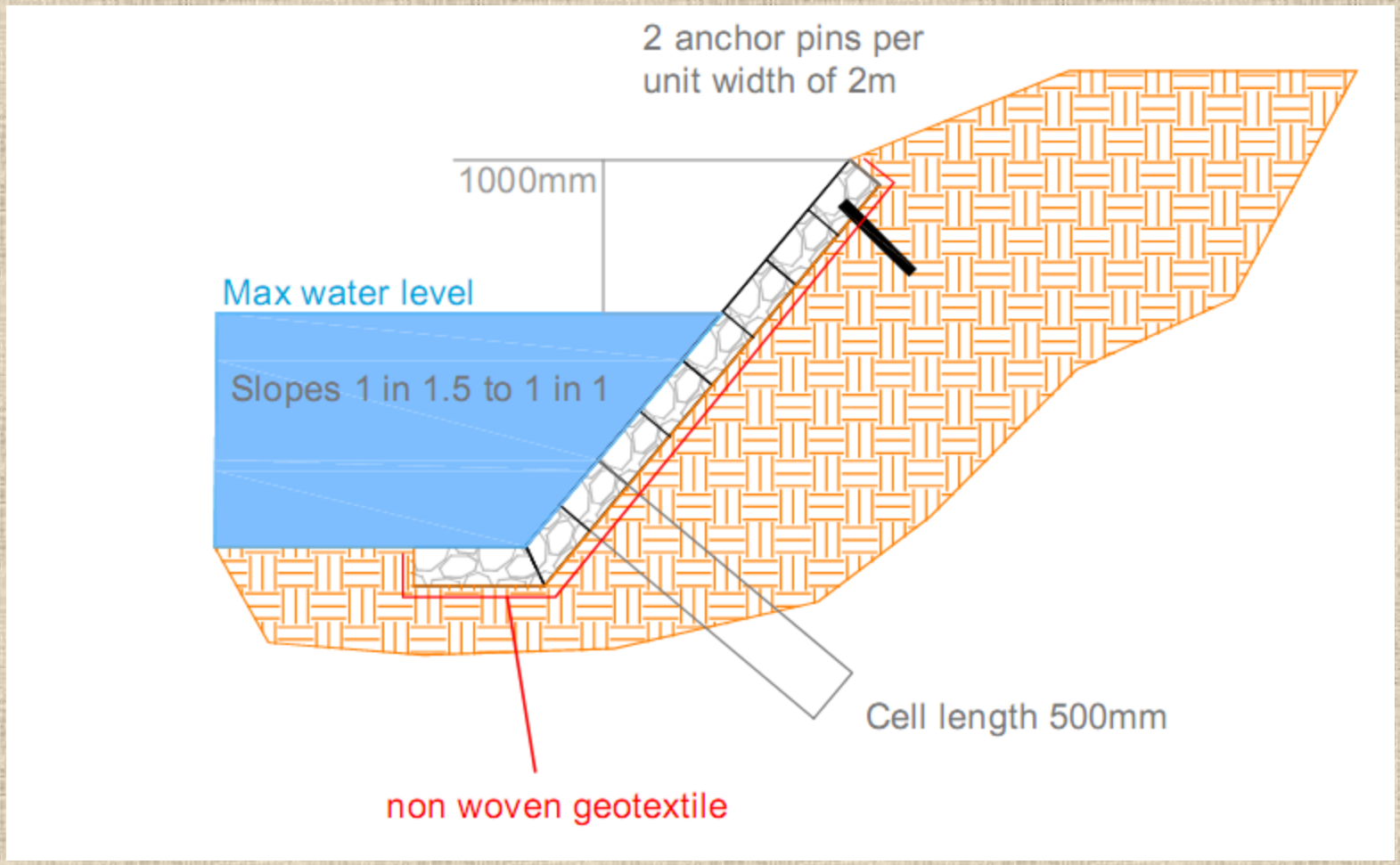
هر گونه ترک یا شکستگی در غلاف PVC، سیم فلزی را در معرض خوردگی قرار می دهد. بنابراین استفاده از این روکش نسبت به تورهای سیمی گالوانیزه استاندارد ترجیح زیادی ندارد. درجه حرارت یخ زدگی نیز باعث کاهش انعطاف پذیری غلاف می شود بافت تورسیمی، پر کردن و به هم بستن آن در این شرایط باعث ترک و شکاف بیشتر غلاف می شود.

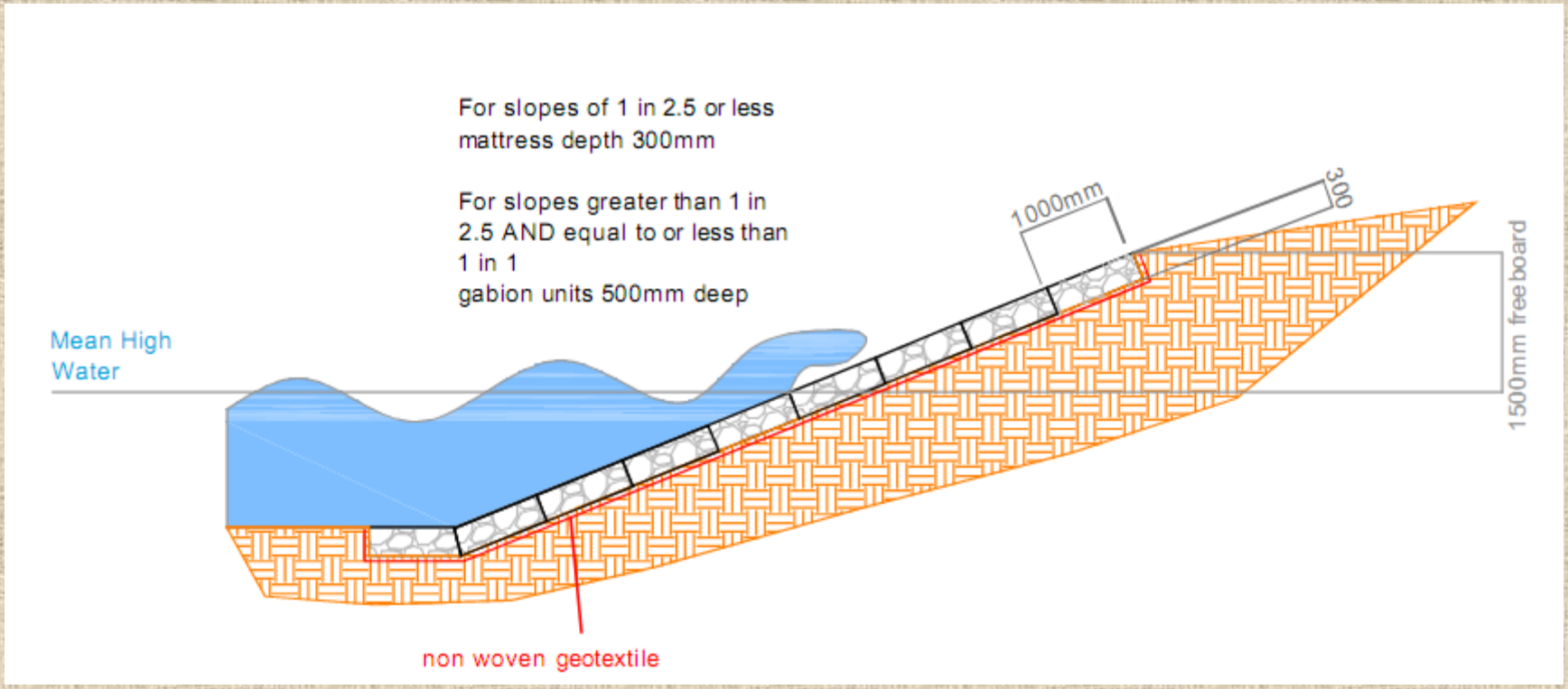
دانشگاه شهید چمران اهواز



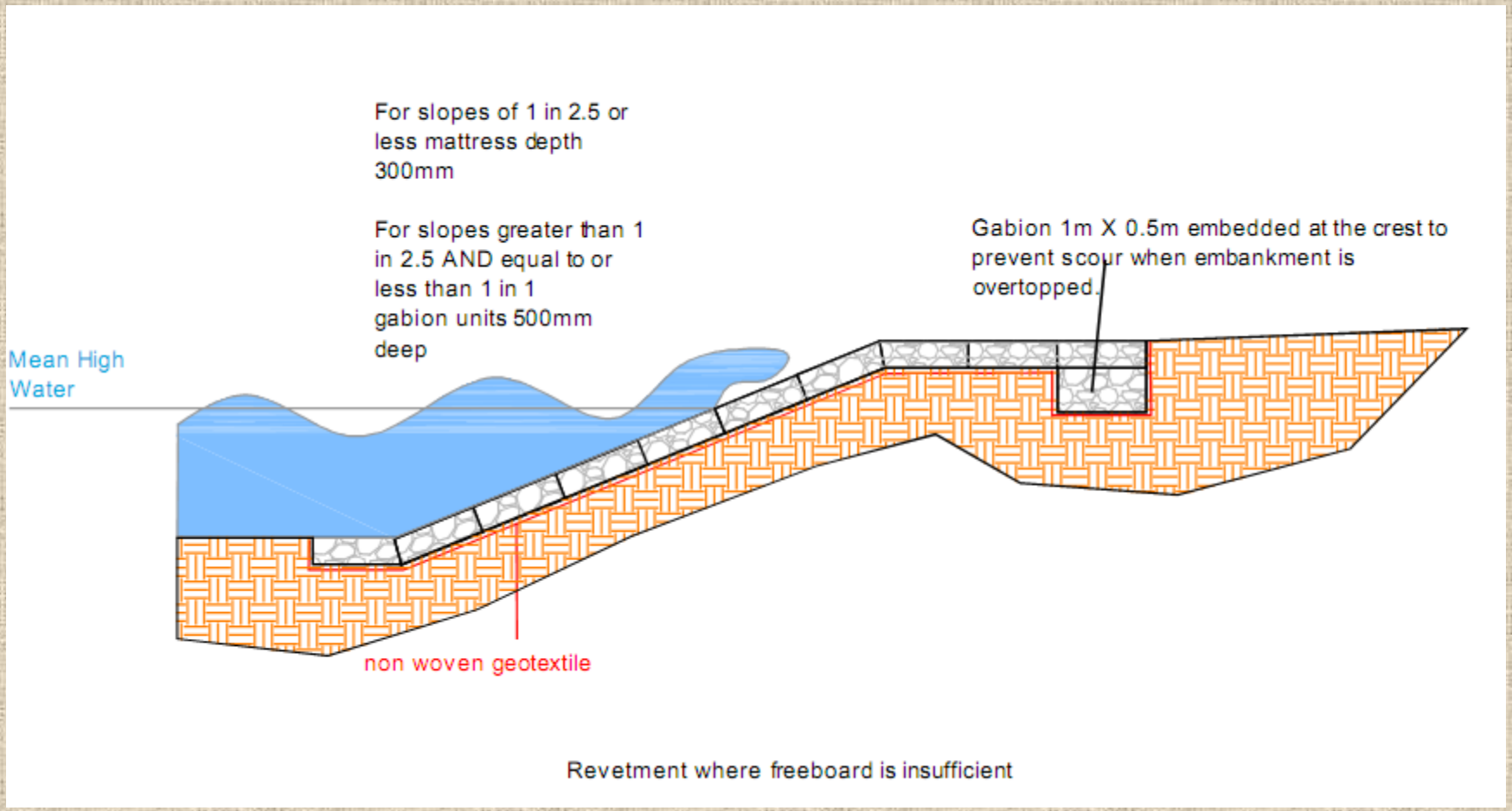
GABION MATTRESS FORMED
INTO BOX SHAPE ON SITE


1000mm
Max water level
Slopes of 1 in 1.5 or less
Cell length 1000mm
non woven geotextile


2 anchor pins per
unit width of 2m
1000mm
Max water level
Slopes 1 in 1.5 to 1 in 1
Cell length 500mm
non woven geotextile

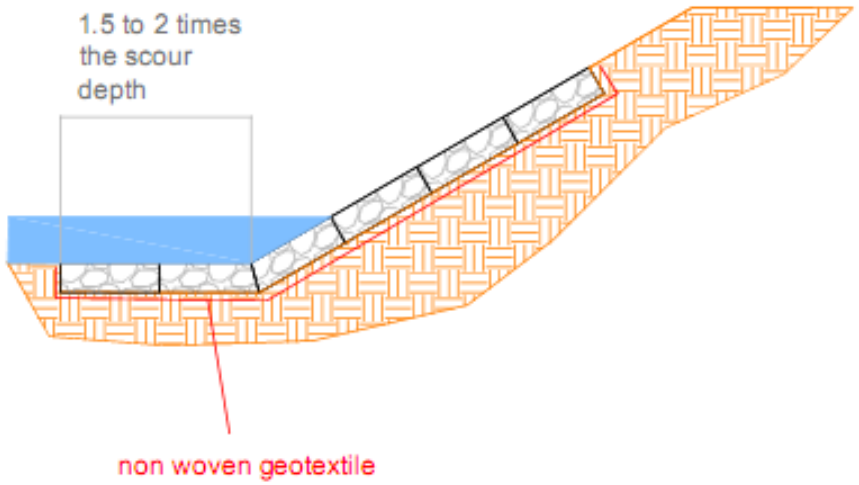

For slopes of 1 in 2.5 or less
mattress depth 300mm
For slopes greater than 1 in
2.5 AND equal to or less than
1 in 1
gabion units 500mm deep
1000mm
300
Mean High
Water
1500mm free board
non woven geotextile

دانشگاه شهید چمران اهواز

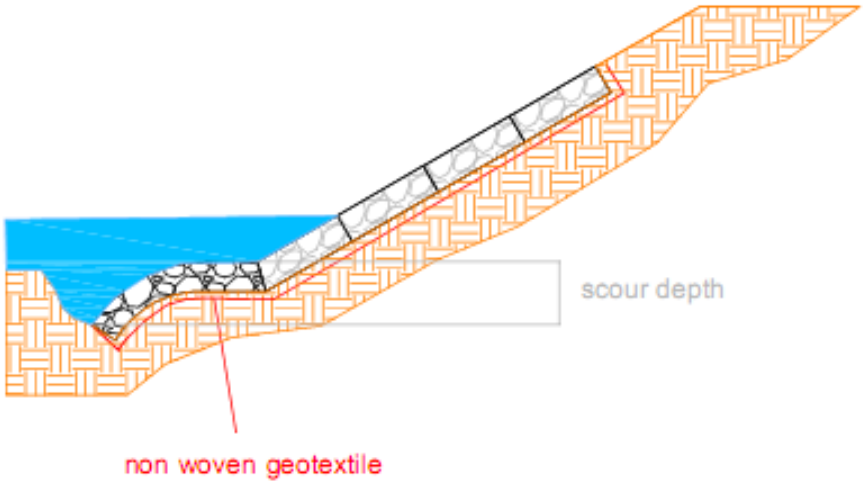


Revetment where freeboard is insufficient

دانشگاه شهید چمران اهواز



Mattress protection as installed



Mattress protection after scour occurs

روکش های بتنی مفصلی
(Articulated concrete mattresses)

در رودخانه های بزرگ، از بلوک های پیش ساخته بتنی که با میله های فلزی یا کابل به هم وصل شده باشند، می توان روکش های انعطاف پذیری برای حفاظت ساحل ایجاد کرد، (شکل ۸-۱۱). نظر بر آنکه قطعات یکسان، علی الخصوص برای خم های تیز، مناسب نیستند. اندازه قطعات و ابعاد آنها متناسب با منحنی های تراز ساحل تغییر می کند. به منظور جلوگیری از فرار خاک ساحل از درزهای خاکی بین بلوکه ها به خارج، باید از فیلتر مناسب شنی یا پلاستیکی استفاده شود. در سیل بندی هایی که گاهی در معرض سیلاب هستند فضای بین بلوکه را می توان با خاک پر کردتا گیاهان در آنجا سبز شوند.

استفاده از روکش های بتنی مفصلی(ACMs) ابتدا به رودخانه می سی سی پی محدود شده بود. این به علت هزینه زیاد دستگاه هایی بود که جهت جایگذاری روکش ها در زیر آب مورد استفاده قرار می گرفت. روکش های مفصلی موجود براساس آزمایشهایی طرح شد که در سال ۱۹۱۵ برای توسعه یک روکش انعطاف پذیر و دائمی صورت گرفت. تا اینکه پس از سالها شکست و ناامیدی روکش های بتنی شکل ۸-۱۱ توسعه یافت. هر کدام از واحدهای این روکش ها به عرض (۱.۳m) ۴ft ،طول(۷.۶m) ۲۵ft و ضخامت (۷.۵cm) ۳ in. می باشد.

روکش های یتنی مفصلی انعطاف پذیر، قوی و بادوام هستند و تمام ساحل رودخانه را، اگر به طور صحیح مورد استفاده قرار بگیرند، می پوشانند و لیکن در حدود هشت درصد سطح آنها باز است که باعث عبور ذرات ریز از آن می باشد. این باز شدگی مطلوب نیست اما به دلیل جایگذاری روکش در آبهای عمیق با جریان تند، کاهش فشار هیدرولیک و تضمین انعطاف پذیری ضروری است. در حدود دو درصد کار شامل بر تعمیر و نگهداری سالیانه می باشد. این نوع پوشش سابقه کار عالی دارد و برای قسمت پایین می سی سی پی به صورت استاندارد در آمده است.

روگش های بتنی مفصلی (Articulated concrete mattresses)

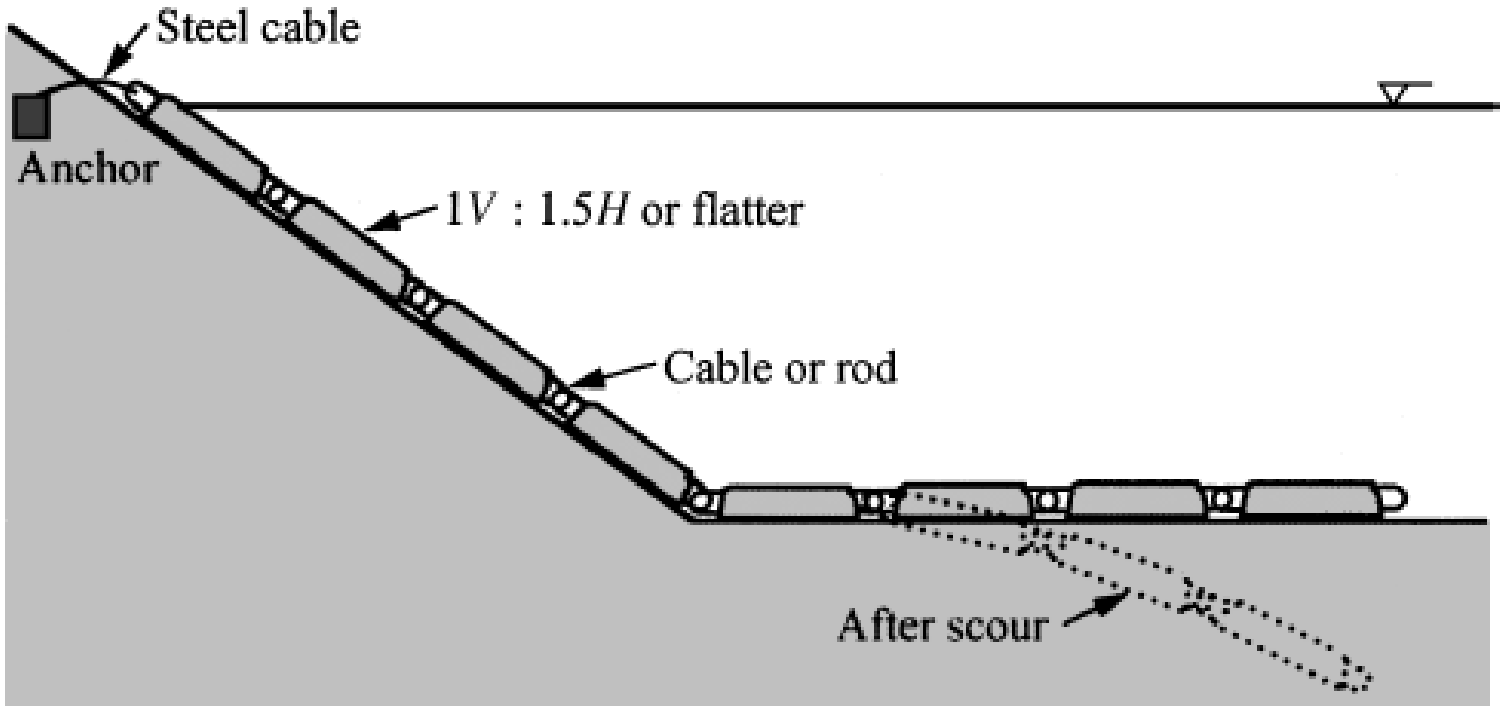


Figure 8.11. Articulated concrete mattresses.

خاک – سیمان

از مصالحی نظیر بتن، خاک ـ سیمان و یا بتن فشرده غلطکی معمولا در مواردی استفاده می شود که شرایط محوطه کار و یا طراحی اجازه کاربرد تکنیک های رایج انعطاف پذیر را نمی دهد. هر چند که بطور کلی استفاده از مواد بتنی به معنی دائمی بودن سازه است اما مصالح باید به نحوی تولید و نصب شود که در مقابل تغییرات محیطی مقاوم باشند. اما رمز موفقیت، شناخت صحیح خصوصیت صلب ماده بتنی در محیط انعطاف پذیر بدنه کانال است.

در جاهایی که پاره سنگ نایاب است ترکیب خاک در جا با سیمان، یک گزینه عملی است. شکل ۸-۱۲ یک بنای نمونه از مخلوط خاک ـ سیمان را برای حفاظت ساحل نشان می دهد. خاک مورد استفاده باید بخوبی کوبیده شده باشد و دارای حداقل پنج و حداکثر سی و پنج درصد رس و لای (گذشته از الک شماره ۲۰۰) باشد. خاک های با درصد بیشتر و یا کمتر مواد ریزدانه نیاز به درصد سیمان زیادتری دارند و بخوبی کوبیده نمی شوند. مخلوط خاک ـ سیمان را می توان بر شیب هایی به تندی ۲H:1V فشرده و کار گذاشت نتایج بهتر در شیب های ملایم تر از 3H:1V به دست می آید.

خاک – سیمان

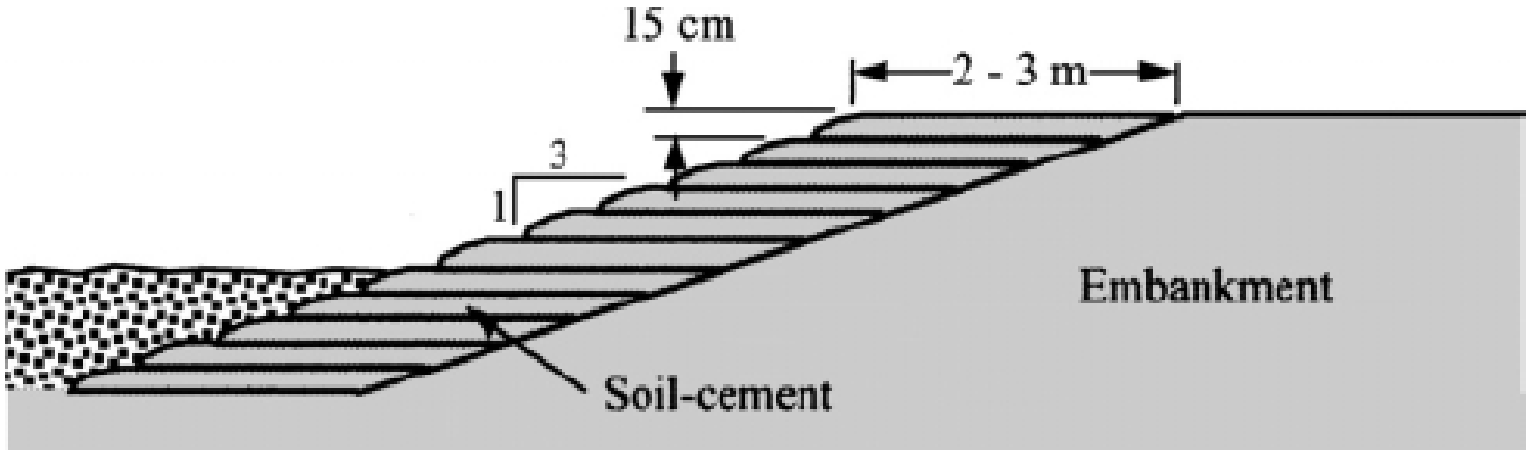


Figure 8.12. Soil–cement.

ساختمان پلکانی شکل بر خاکریزهایی با شیب های نسبتا تند پیشنهاد می شود. جایگذاری لایه های افقی با عرض(۲-۳m) ۶-۹ft و ضخامت (۱۵cm) ۶in. سریعتر اجرا می شود. باید دقت شود تا رگه های خاک مخلوط نشده در بین لایه های متوالی خاک ـ سیمان جای نگیرد در صورتی که قسمتی از کار ساخت در انتهای روز ناتمام ماند از یک غلطک پاچه بزی برای کوبیدن آخرین لایه استفاده می شوند یا با لایه بعدی بخوبی قفل و بست گردد.

به منظور انجام عمل هیدراسیون باید از خشک شدن مخلوط خاک ـ سیمان به مدت ۷ روز جلوگیری شود. بعد از اتمام مرحله ساخت، سازه حاصله توانایی کافی برای عمل به عنوان یک جاده ماشین رو را دارد.

هنگامی که سرعت از ۶-۸ft/s تجاوز کند و جریان به اندازه کافی حاوی بار بستر ساینده باشد، دانه بندی مصالح مخلوط باید حداقل شامل ۳۰ درصد ذرات شن بزرگ تر از الک شماره ۴ به اندازه (۴.۷۵mm)باشد. مؤکدا اشاره می شود که مخلوط خاک ـ سیمان به صورت صلب از ساحل حفاظت می کنند. بنابراین عمق آن باید به اندازه کافی زیاد باشد تا سازه را در مقابل آب شستگی کلی محافظت کند.

هر چند که پوشش خاک ـ سیمان با هشت تا پانزده درصد سیمان، برای حفاظت مناطقی که نشو و نمای گیاهان در مواد ماسه ای ساحل بسختی ممکن باشد، روش حفاظتی اقتصادی و مؤثری است. اما این پوشش سه عیب کلی نفوذپذیری، مقاومت کم و آسیب پذیری در مقابل تغییرات درجه حرارت را دارد. در صورتی که ساحل پشت پوشش اشباع شود و امکان زهکشی نباشد امکان شکست نیز وجود دارد. همچنین نظر به شکنندگی، این پوشش تحمل عبور و مرور (وسائط نقلیه ـ پیاده رو یا چهارپایان) زیادی را ندارند. در شرایط آب و هوایی شمال(ایالت متحده) پوشش خاک ـ سیمان در دوره های متوالی یخ زدن و آب شدن به سادگی شکسته می شود.

دیوار های حائل (Retaining walls)

دیوارهای حائل، سازه های نسبتا قائمی هستند که جهت جلوگیری از فرسایش منجر به شکست ساحل، طراحی می شوند. طرح دیوارهای حائل قائم، در زمین مجاور رودخانه صرفه جویی می کند و راه دسترسی به آب را میسر می سازند.

هر چند که بعضی از خاکهای خشک در حالت قائم نسبتا پایدار به نظر می رسند اما به طور کلی خاکهای مرطوب در حالت عمومی ناپایدار می باشند. دیوارهای حائل به سه نوع متمایز تقسیم می شوند:

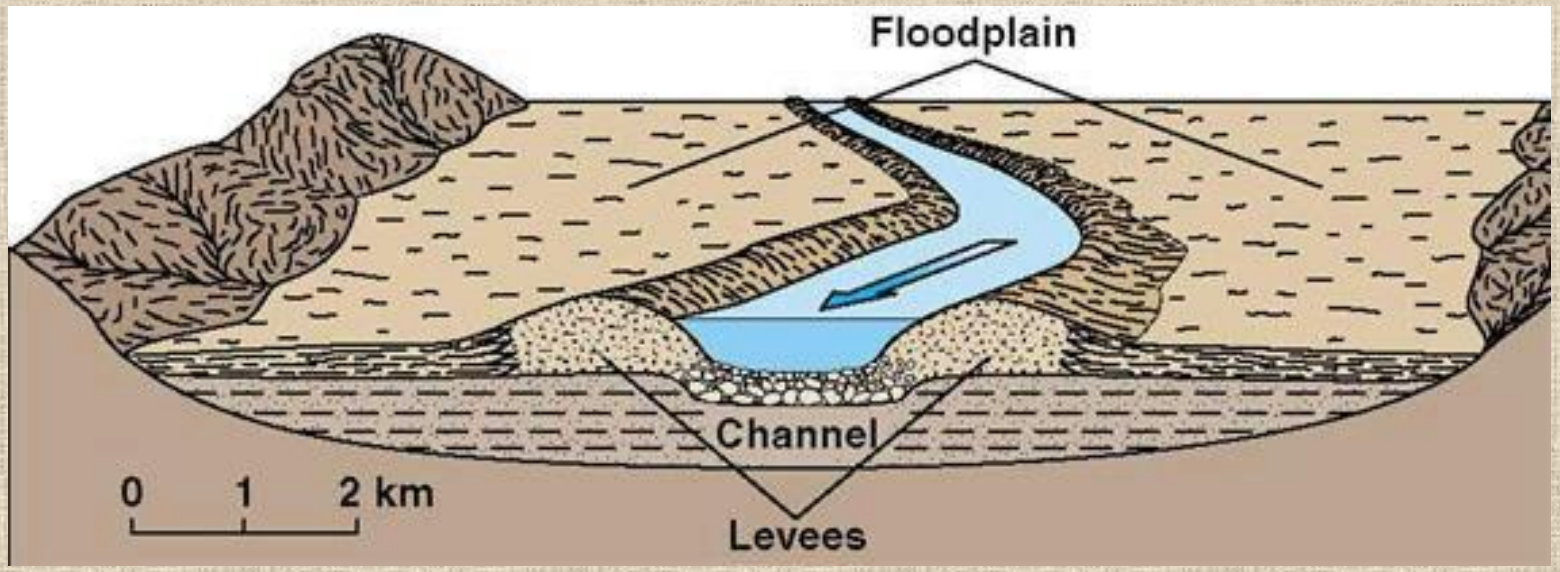
(۱)دیورهای وزنی (۲)دیوارهای طره ای (۳)دیوارهای سپری فلزی.

دیوارهای وزنی، سازه های حجیمی هستند که با وزن خود از حرکت خاک جلوگیری می کنند. در این سازه ها فشار خاک یا فشار هیدرواستاتیک آب که موجبات حرکت یا شکست سازه را فراهم می کنند، توسط وزن دیوار و منتجه نیروهای برشی که در پایه عمل می کنند، خنثی می شود .در شکل ۸-۱۳ نمونه هایی از دیوارهای وزنی نشان داده شده است.

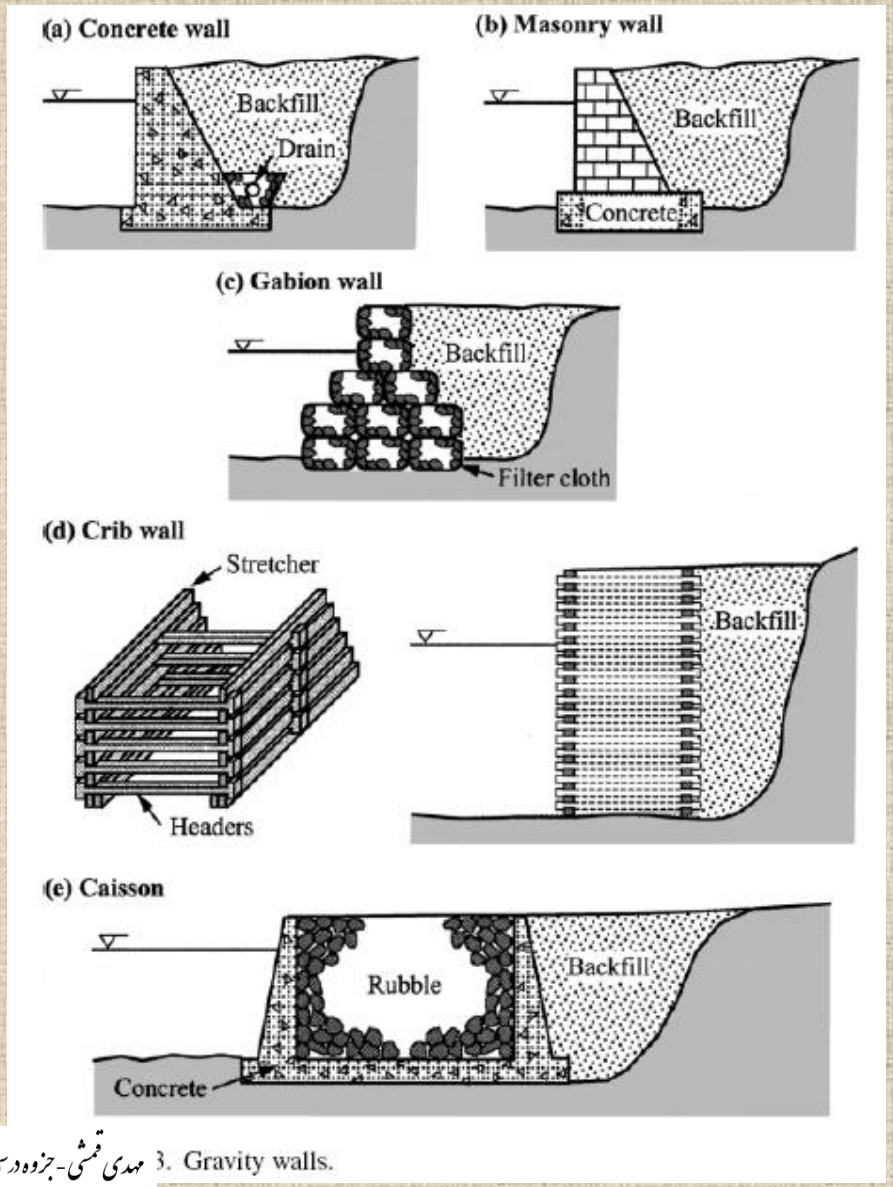
زه های کنترل فرسایش

دایک (Dike/Dyke/Stop Bank)

خاکریزی که برای کنترل و نگهداری آب در امتداد دیواره رودخانه ها به طور طبیعی یا دست ساز ایجاد می شود که از سرریز آب در حالت طغیان به زمین های مجاور پست جلوگیری می کند.



۱– دیوار های وزنی (Gravity walls)



3. Gravity walls.

۲– دیوار های طره ای (Cantilever walls)

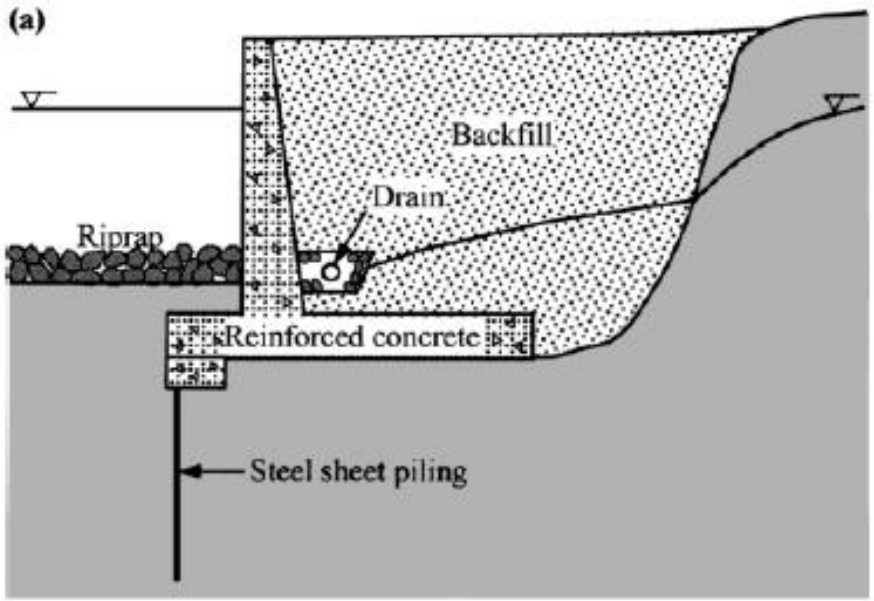


Figure 8.14. Reinforced cantilevered walls.

۳– دیوار های سپری فلزی (Sheet-piling walls)

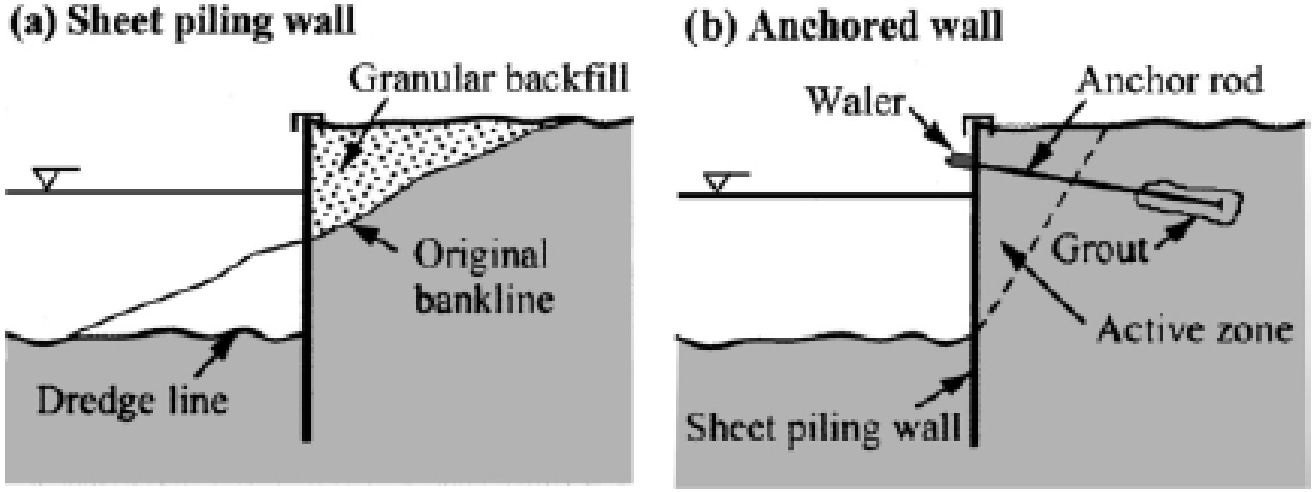
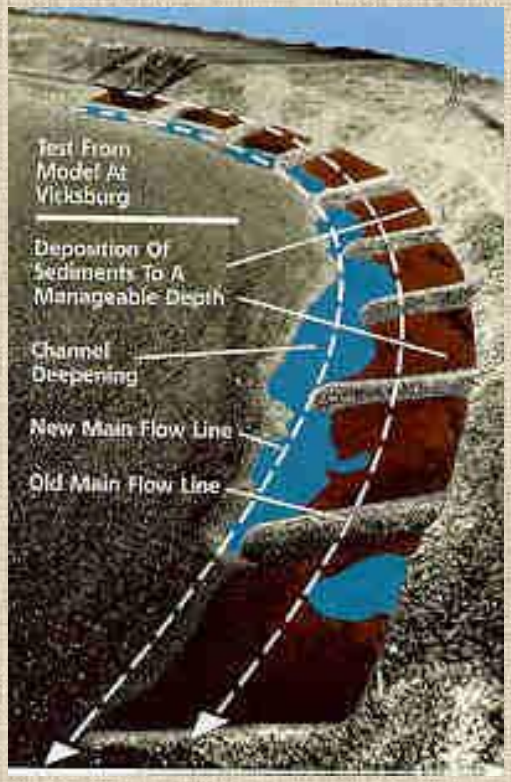


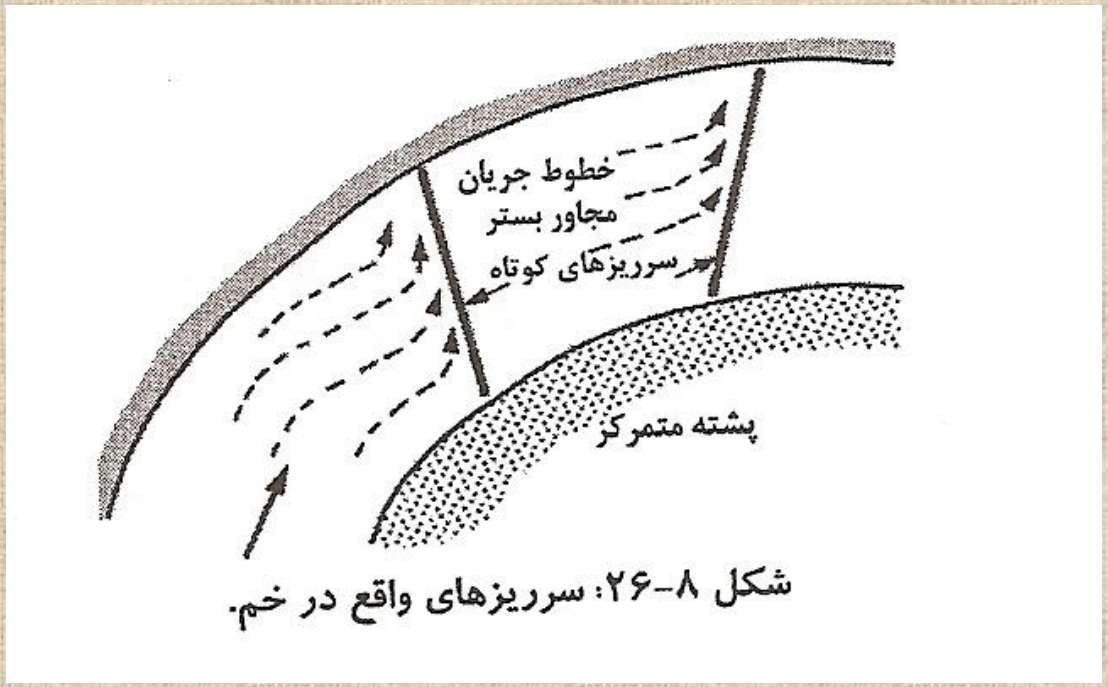
Figure 8.15. Sheet-piling walls.

سرریزهای واقع در خم
Bendway weirs

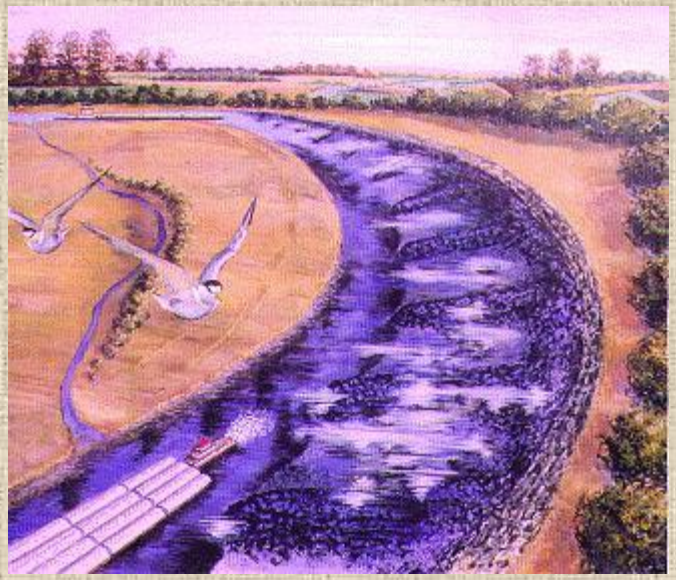
یک سرریز واقع در خم، آستانه کوتاهی است که در خم کانالی که در آن کشتیرانی صورت می گیرد، احداث می شود. این سازه ها با طول و فواصل مساوی از هم با زاویه ۲۰ تا ۳۰ درجه نسبت به بالادست قرار می گیرند. تراز تاج سازه به اندازه ای کوتاه است که مانع عبور و مرور کشتی ها نشود، (شکل۸-۲۶)، و در عین حال به قدری بلند و طویل است که در تماس با مقدار زیادی از جریان مقطع رودخانه باشد. سرریزها معمولا به صورت گروهی (۴ تا ۱۴ سرریز در هر خم) ساخته می شوند. و برای کنترل سرعتهای نزدیک به کف و جهت جریان در داخل خم و معبر پایین دست آن طراحی می شوند. آنها جریانهای ثانوی را کاهش می دهند. هنگامی که زاویه سرریزها بطرف بالادست است، جریان دور از خم خارجی و به طرف خم داخلی تغییر جهت می دهد. بررسی مدل و نمونه اصلی مجموعه ای از سرریزهای واقع در یک کانال کشتیرانی به نتایج زیر ختم شده است:

1. کشتیرانی در خم بهبود پیدا می کند.
2. رسوبات در پنجه پوشش خم خارجی ته نشین شده و به پایداری ساحل افزوده می شود.
3. سرعتهای سطحی در عرض مقطع یکنواخت می شوند.
4. خطوط جریان در خم موازی سواحل می گردند.
5. خط القعر کانال از پنجه پوشش خم دور می گردند.





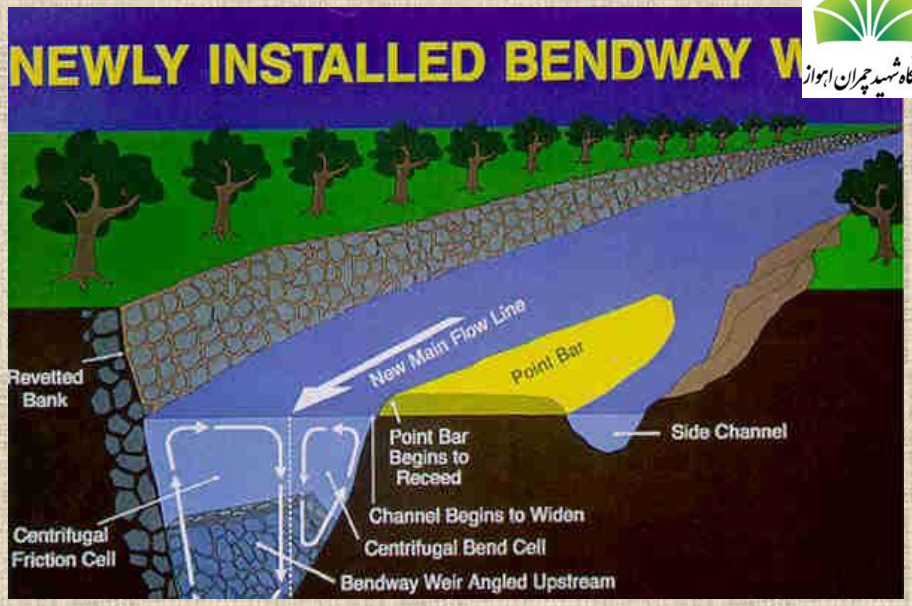
شکل ۸-۲۶: سرریزهای واقع در خم.

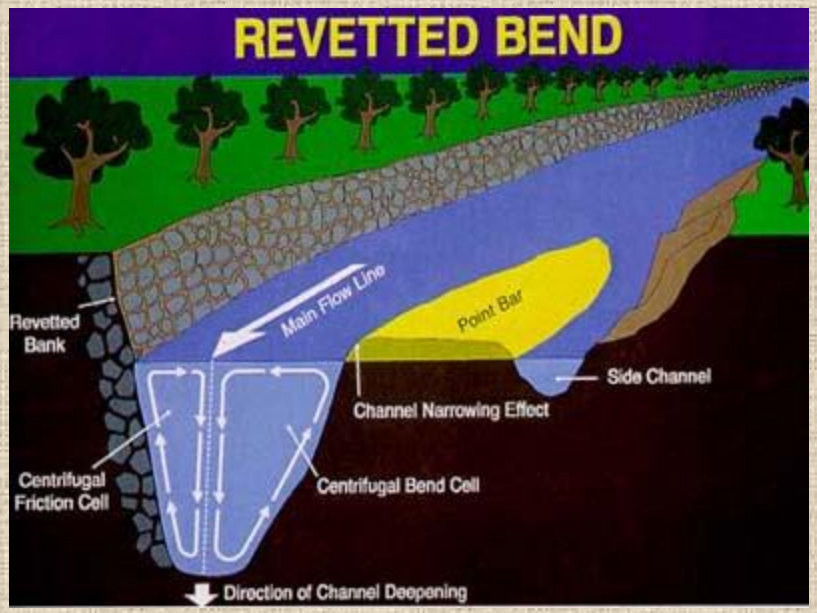


- مطالعه موردی 8-2 سرریزهای واقع در خم رودخانه می سی سی پی،امریکا.یک مدل فیزیکی با کف متحرک از بازه ای به طول20 mile از رودخانه می سی سی پی وسطی در ایستگاه آزمایش آبراهه ها (WES) بخش سنت لوئیس اداره مهندسی ارتش ساخته شد.

- توضیحات بیشتر در کتاب مکانیک رودخانه

UNREVETTED BEND
Caving Bank
Main Flow Line
Point Bar
Side Channel
Centrifugal Friction Cell
Centrifugal Bend Cell
Secondary River Currents


NEWLY INSTALLED BENDWAY W
Revetted Bank
New Main Flow Line
Point Bar
Side Channel
Point Bar Begins to Receed
Channel Begins to Widen
Centrifugal Bend Cell
Centrifugal Friction Cell
Bendway Weir Angled Upstream


REVETTED BEND
Revetted Bank
Main Flow Line
Point Bar
Side Channel
Channel Narrowing Effect
Centrifugal Friction Cell
Centrifugal Bend Cell
Direction of Channel Deepening

EFFECTS OF BENDWAY WEIR
Revetted Bank
New Main Flow Line
Point Bar
New Reduced Point Bar
Side Channel
Centrifugal Bend Cell
Bendway Weir
New Bottom
Centrifugal Friction Cell
New Sediment From Point Bar
Old Bottom

راهنمای کلی روشهای حفاظت دیواره های رودخانه

جدول ۲-۶- روش‌های حفاظت دیواره های رودخانه براساس عملکرد سازه حفاظتی [۱۲۸]

حفاظت مستقیم دیواره ها			حفاظت	غیرمستقیم	دیواره‌ها	و اصلاح مسیر
صلب و نفوذناپذیر	انعطاف‌پذیر و نفوذناپذیر	انعطاف‌پذیر و نفوذپذیر	آرام کننده‌ها (نفوذپذیر)	انحراف دهنده‌ها (صلب و نفوذناپذیر)	انحراف دهنده‌ها (انعطاف‌پذیر و نفوذناپذیر)	انحراف دهنده‌ها (انعطاف‌پذیر و نفوذپذیر)
- دیواره حایل بتنی یا سنگ و سیمانی - روکش بتنی - روکش سنگ و سیمان روکش آجری - روکش خاک و سیمان - سیر فلزی - سیر آزبست سیمانی	- روکش پلاستیکی - روکش لاستیکی - روکش قیری و آسفالت	- روکش سنگ‌ریزه‌ای - روکش سنگ فرش - روکش تورسنگ - دیواره حایل تورسنگ - روکش بتنی مفصل‌دار - روکش کیسه‌ای ماسه‌سیمان (چیدمان کیسه‌ای منفرد بر روی یکدیگر) - مصالح طبیعی و گیاهی - پوشش گیاهی - حایر فرسوده ماشین - ماشین‌های اسفالتی - بلوک‌های سیمانی توخالی	- جک فلزی کلتر - جک فلزی چهار وجهی - شبکه توده کنی - حوضه‌های سیمی	- آبشکن- سیر فلزی - آبشکن- سیر بتنی - آبشکن- سنگ و سیمان - صفحات مستغرق: بتنی، سنگ و سیمان یا سیر فلزی	- آبشکن- با هسته رسی و روکش سنگ‌ریزه‌ای - آبشکن- با هسته رسی و روکش تورسنگ - آبشکن- با هسته رسی و روکش کیسه‌ای	- آبشکن- سنگ‌ریزه‌ای - آبشکن- تورسنگی - آبشکن- بلوک بتنی - صفحات مستغرق: تورسنگی یا سنگ‌ریزه‌ای

جدول ۲-۷- راهنمای روش‌های حفاظت رودخانه براساس نوع و اندازه رودخانه [۱۰۷]

اندازه رودخانه	نوع رودخانه	بهسازی بستر	حفاظت مستقیم دیواره‌ها			حفاظت غیرمستقیم دیواره‌ها و اصلاح مسیر					
			روکش	روکش	روکش	آبشکن‌ها				آرام کننده‌ها	
			سنگ‌ریزه‌ای	تورسنگ	بتنی	شمع کوبی*	سنگ‌ریزه‌ای	خاکی	شمع کوبی*	چک فلزی
بزرگ	ماریپیچ		×	*	×	×	×	*		*
	شریانی	×	×	*	×	×	×	*		*
	مستقیم		×	*		×	×	×		*
متوسط	ماریپیچ	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	شریانی	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	مستقیم	×	×	+		×				×
کوچک	ماریپیچ	×	×	+					×	×
	شریانی	×	×	+					×	×
	مستقیم	×	×	+						

× مناسب + درصورت فقدان سنگ‌های بزرگ * برای رودخانه‌های سیلابدشت

جدول ۲-۸- راهنمای روش‌های حفاظت رودخانه براساس اندازه رودخانه و عوامل تخریب [۱۲۸]

شرایط رودخانه	سیلاب حداکثر (m^3/s)	عوامل تخریب دیواره*	روش‌های حفاظت دیواره
رودخانه اصلی	>۲۸۰۰۰	۶و۵و۴و۳و۱	۱- روکش بتنی مفصل‌دار، ۲- روکش سنگریزه‌ای، ۳- روکش بتنی صاف ۴- روکش آسفالت (سطح بالای دیواره)، ۵- روکش طبیعی و ترکه‌ای (سطح بالای دیواره)، ۶- پوشش گیاهی (سطح بالای دیواره) ۷- دیواره حایل کوتاه (سطح بالای دیواره)، ۸- موانع سخت
رودخانه بزرگ	۱۴۰۰۰ تا ۲۸۰۰۰	۶و۵و۳و۱	۱- روکش سنگریزه‌ای، ۲- تورسنگ، ۳- آبشکن‌ها، ۴- دیواره شمع‌کوب چوبی، ۵- روش شبکه‌بندی، ۶- جک فلزی، ۷- روکش طبیعی و ترکه‌ای (سطح بالای دیواره)، ۸- پوشش گیاهی (سطح بالای دیواره)، ۹- دیواره حایل کوتاه (سطح پایین دیواره)، ۱۰- موانع سخت
رودخانه متوسط با شیب زیاد	۲۸۰۰ تا ۱۴۰۰۰	۷و۵و۳و۲	۱- روکش سنگریزه‌ای، ۲- تورسنگ، ۳- آبشکن‌ها، ۴- دیواره شمع‌کوب چوبی، ۵- شبکه‌بندی، ۶- روکش طبیعی و ترکه‌ای (سطح بالای دیواره)، ۷- پوشش گیاهی (سطح بالای دیواره)، ۸- موانع سخت
رودخانه متوسط با شیب کم	۲۸۰۰ تا ۱۴۰۰۰	۷و۵و۳و۲	۱- روکش سنگریزه‌ای، ۲- تورسنگ، ۳- آبشکن‌ها، ۴- جک فلزی، ۵- دیواره شمع‌کوب چوبی، ۶- دیواره شمع‌کوب با توریسیمی، ۷- روکش طبیعی ترکه‌ای، ۸- پوشش گیاهی، ۹- موانع سخت
رودخانه کوچک با شیب زیاد	<۲۸۰۰	۷و۵و۳و۲	۱- روکش سنگریزه‌ای، ۲- تورسنگ، ۳- آبشکن‌ها، ۴- دیواره شمع‌کوب چوبی، ۵- شبکه‌بندی، ۶- روکش طبیعی ترکه‌ای (سطح بالای دیواره)، ۷- پوشش گیاهی (سطح بالای دیواره)، ۸- موانع سخت
رودخانه کوچک با شیب کم	<۲۸۰۰	۷و۵و۳و۲	۱- روکش سنگریزه‌ای، ۲- تورسنگ، ۳- آبشکن، ۴- جک فلزی، ۵- دیواره شمع‌کوب چوبی، ۶- دیواره شمع‌کوب با توریسیمی، ۷- روکش طبیعی ترکه‌ای، ۸- پوشش گیاهی، ۹- موانع سخت

۱- فرسایش ناشی از ضربه برخورد قطرات باران بر سطح خاک در ساحل بالای رودخانه ۲- فرسایش دیواره ناشی از رواناب سطحی ۳- گسیختگی دیواره در اثر آبشستگی پنجه ۴- گسیختگی ناشی از روانگرایی مواد دیواره ۵- فرسایش دیواره پایین در جریان کم آبی ۶- فرسایش دیواره در اثر موج (باد، قایق) ۷- فرسایش دیواره در اثر نیروی تراوش

جدید

- پوشش گیاهی به دو صورت حفاظت مستقیم و غیرمستقیم ایفای نقش می نماید. پوشش چمنی و علفی و ریشه درختان و بوته ها همانند لایه مسلح باعث حفاظت مستقیم می شود در حالیکه رفتار بوته ها و درختان به صورت حفاظت غیرمستقیم می باشد. ریشه گیاهان همچنین ممکن است موجب تقویت خاک کناره شده و مقاومت آن را در برابر فرسایش توده ای و لغزش افزایش دهند.

- به طور کلی گیاهان انتخابی جهت کشت در سواحل رودخانه جهت مبارزه با فرسایش کناری باید دارای ویژگیهایی باشند که از بین این ویژگیها می توان به مواردی همچون سازگاری با شرایط آب و هوایی منطقه، سریع الرشد بودن، دارا بودن سیستم ریشه ای قوی،گسترده ، عمیق و متراکم ، خاصیت ارتجاعی بالا، مقاومت بالا در مقابل تنش برشی جریان، مقاومت در برابر کم آبی، مقاومت نسبت به مدفون شدن در رسوبات و غیره اشاره کرد

- نتایج نشان می دهند که درخت گز رودخانه ای به علت تراکم بالاتر ریشه و تعداد ریشه بیشتر و تطابق پذیری بالاتر آن نسبت به محیط برای مسلح سازی خاک برای اعماق کمتر و در کوتاه مدت مناسب می باشد. همچنین درخت بید یکی از مناسب ترین گونه های درختی برای حفاظت کناره های رودخانه می باشد که ظرفیت احیاشوندگی بالایی داشته و در انواع مختلف آب و هوا یافت می شود و می توان آنرا در خاکهایی که تنش برشی آنها از 14 کیلوگرم در مترمربع تجاوز نمی کند کشت نمود. همچنین بسیاری از انواع بید قادر به تولید ریشه های خودرو بوده و با قابلیت ارتجاعی بسیار بالا در مقابل فشارهای زیاد و جریانهای حاوی مواد مقاومت می کنند. همچنین درخت بید سریع الرشد بوده و می تواند بدون خسارت در داخل آب باقی بماند و اگر فقط قسمتی از آن در داخل آب باقی بماند این وضعیت را هفته ها تحمل می کند. با توجه به اینکه ریشه درختان بید می توانند در مدت زمان طولانی پس از غرقاب شدن در فصول پرباران و سیلابی مقاومت کنند ، توصیه می شود که این درختان در ترازهای پائین مقطع رودخانه و نزدیک به محور کشت شوند.(آقارضی ، 1381)

درخت گز

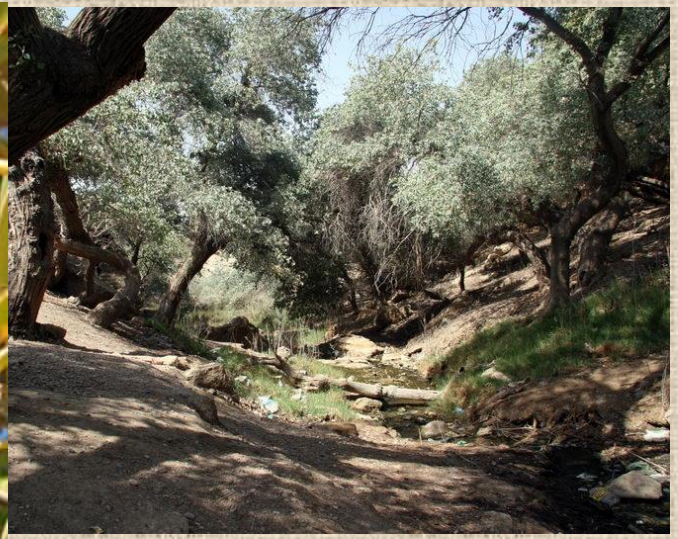
درخت بید

- گونه های صنوبر نیز به دلیل نیاز آبی کمتر نسبت به بید، می تواند در نقاط خشک تر رودخانه کشت شوند. ضمناً این گیاهان بدلیل رشد سریع و ارتفاع بالا می بایست به عنوان دومین خط حفاظتی کانال رودخانه و در منطقه پادگانه آبرفتی کشت شوند. همانگونه که قبلاً اشاره شد نوعی از صنوبر به نام پده که دارای ریشه گسترده افقی بوده در حدود 10 متر شعاع اطراف درخت را تا عمق 50 تا 80 سانتیمتر مسلح می نماید. در شرایط خاص(خاک خشک) عمق ریشه دوانی پده در عمق 13 متری نیز مشاهده گردیده است. در آزمایشات صحرایی نیز مشخص شده است که ریشه درخت پده یکساله به میزان 20 درصد و پده چندساله به میزان 66 درصد مقاومت برشی خاک را افزایش داده اند.(خواجه ای، 1385)
- همچنین مطالعه بر روی درختان صنوبر یک تا سه ساله نشان داده که با افزایش سن، ریشه نیز توسعه یافته است به طوریکه نهال یک ساله 2/2 متر و نهال سه ساله 2/5 متر ریشه دوانی داشته اند. صنوبرها و سپیدارها دارای سیستم ریشه ای سطحی افقی و همچنین ریشه های فرورفته عمودی می باشند. در یک توده صنوبر ده ساله مستقر در خاک شنی، وسعت ریشه 15 متر و صنوبرهای مسن تر 20 متر و در سپیدار مسن 18 متر دیده شده است.(آقارضی ، 1381)

درخت صنوبر

Populus euphratica

در حاشيه ي رود دز ,كارون, انديمشك, و شوش و در بوشهر مي روید .بیشتر در حاشيه ي نهرها و رودخانه ها وجود دارد.پده به ارتفاع 15 متر و داراي جست هاي ريشه جوش مي باشد شاخه هاي جوان آن صاف و يا كمي خزي هستند كه بتدريج صاف و مومي ميگردند رنگ برگهاي پده كبود و شكل آنا متنوع است شاتونهاي گل معمولا با باز شدن برگها ظاهر مي شوند پايك و محور شاتون ها عاري از كرك است وميوه ي ان كپسول تخم مرغي مخروطي و كشيده و تيز است كه با 3 دريچه باز مي شود



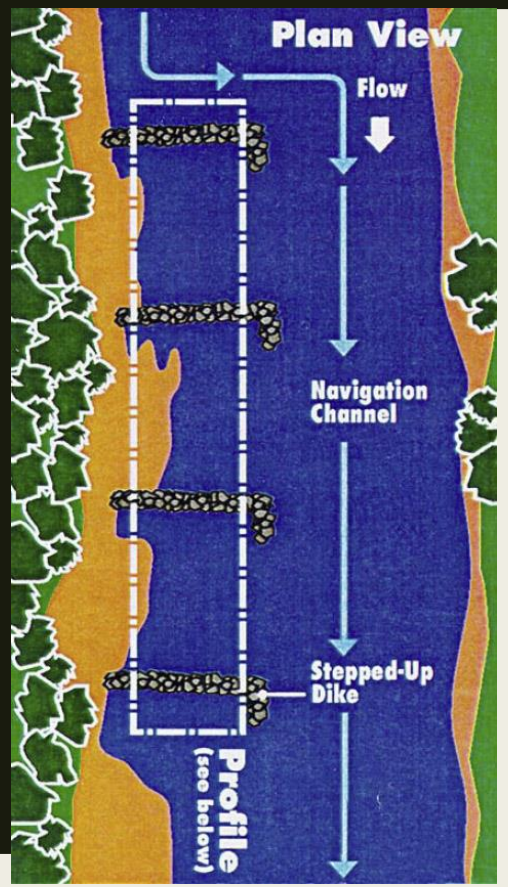
- به طورکلی گیاه مناسب برای کاربرد در طرحهای مهندسی رودخانه به منظور جلوگیری از فرسایش و تخریب دیواره های رودخانه باید دارای ویژگیهای زیر باشد:
- 1- با شرایط آب و هوایی منطقه سازگار بوده و در عین حال به توجه و مراقبت کمی نیاز داشته باشد.
- 2- به آسانی و سهولت استقرار یابد.
- 3- سریع الرشد بوده و در مدت زمان کوتاهی بتواند سطح زیادی از زمین را بپوشاند.
- 4- از سیستم ریشه ای قوی،گسترده، عمیق و متراکم برخوردار باشد.
- 5- از خاصیت ارتجاعی بالایی برخودار بوده و در مقابل فشارهای زیاد و جریانهای حاوی مواد معلق مقاومت کند.
- 6- در مقابل غرقاب شدن در آب مقاوم باشد.
- 7- در مقابل سرما و یخبندان مقاوم باشد.
- 8- نسبت به کم آبی مقاوم بوده و به آب زیادی نیاز نداشته باشد.
- 9- نسبت به مدفون شدن در رسوبات مقاوم باشد.
- 10- زیبا و دلپذیر باشد.

استفاده از بندال جهت کنترل فرسایش کناری
Bandal

دانشگاه شهید چمران اهواز

Fig. 3. Bamboo Bandalling in progress in the

Fig. 4. Crop Plantation within the recovered agricultural land



آبشکن ها

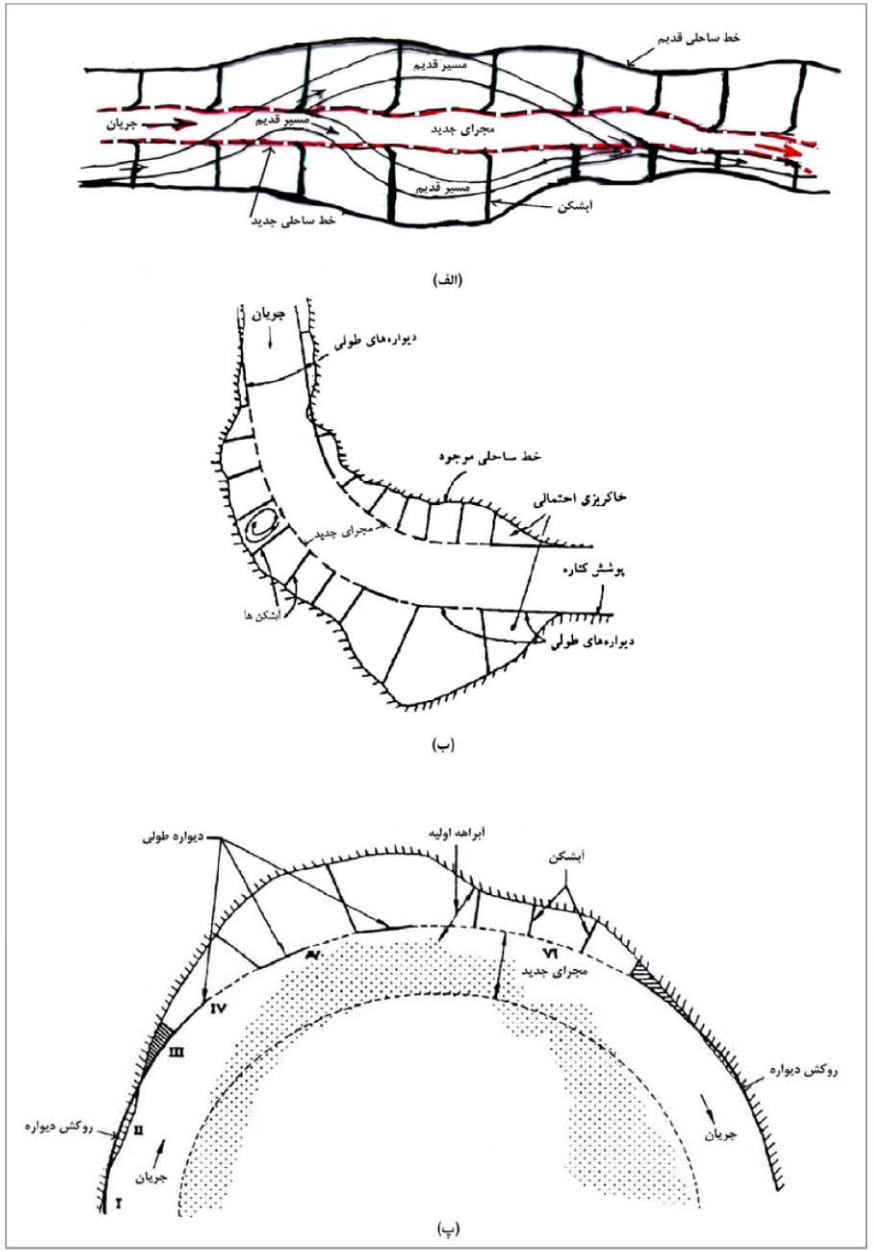
Spur dike

تعریف آبشکن ها

۳-۱- تعریف آبشکن رودخانه‌ای

آبشکن‌های رودخانه‌ای، از سازه‌های مهم ساماندهی رودخانه به‌شمار می‌آیند. آبشکن‌ها مبتنی بر ساخت سازه‌های متقاطع یا عرضی هستند که از دیواره طبیعی رودخانه با طول مناسب و با زاویه مناسبی نسبت به راستای عمومی جریان، توسعه یافته سبب انحراف حمله جریان از کناره‌ها و نواحی بحرانی شده و جریان را به سمت محور مرکزی رودخانه هدایت می‌نمایند. با انحراف جریان، کناره رودخانه در حد فاصل دیواره‌های طبیعی موجود با مرز راستای اصلاح شده به تدریج با ته نشست رسوبات توسعه یافته و با استقرار تدریجی پوشش گیاهی در دراز مدت تثبیت می‌یابد. بنابراین با گذشت زمان، جریان در بخش میانی بازه رودخانه متمرکز می‌گردد [۴۵ و ۱۳۹].

آبشکن‌ها به‌صورت منفرد یا به‌صورت یک سری متوالی در یک و یا در دو سمت رودخانه ساخته می‌شوند. از نظر طول و با توجه به اهداف کاربری، آبشکن‌ها ممکن است خیلی کوتاه تا بلند باشند. نمونه‌هایی از آرایش آبشکن‌ها در ساماندهی رودخانه‌ها در شکل (۳-۱) نمایش داده شده است.

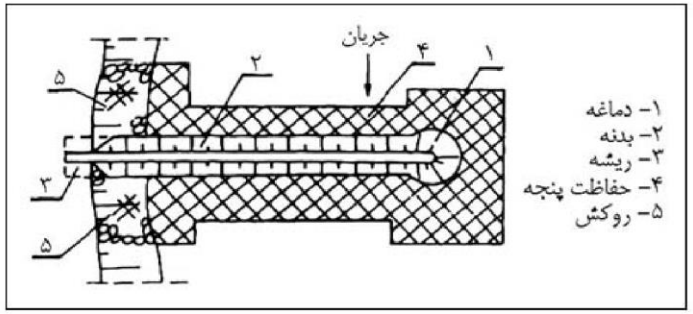


الف- اصلاح مسیر یک بازه مستقیم، عریض و شریانی، ب- اصلاح مسیر یک بازه مارپیچی، پ- اصلاح مسیر پیچ خارجی رودخانه

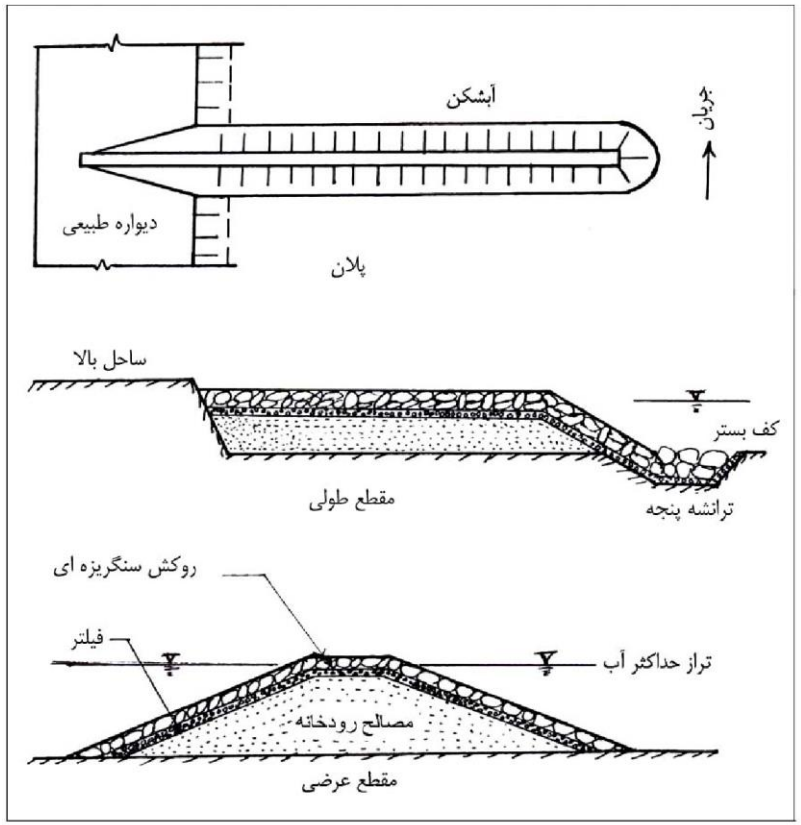
ساختار عمومی یک آبشکن مطابق شکل (۳-۲) شامل اجزای زیر می‌باشد:

۱- دماغه یا پنجه که به‌علت مقاومت در برابر جریان و حفاظت در برابر آبشستگی بستر گسترده‌تر ساخته می‌شود، ۲- بدنه یا ساقه و تاج که بدنه اصلی آبشکن را تشکیل می‌دهد، ۳- ریشه یا تکیه گاه که نقش پایداری ساقه از طریق اتصال قفل شدگی آبشکن به دیواره رودخانه را به‌عهده دارد، ۴- حفاظت پنجه که جهت ایمنی آبشکن در برابر آبشستگی عمومی و موضعی در دماغه و پیرامون بدنه آبشکن حیاتی می‌باشد و ۵- حفاظت سطحی که پوشش حفاظتی آبشکن و دیواره طبیعی رودخانه از خطر فرسایش و تخریب است [۹۶]. نمونه سیمای یک آبشکن در پلان و مقاطع طولی و عرضی در شکل (۳-۳) نمایش داده شده است.

آبشکن‌های رودخانه‌ای از نوع انحراف دهنده‌ها هستند [۱۰۲ و ۱۲۸]. با توجه به کارکرد هیدرولیکی، آبشکن‌ها را می‌توان در گروه روش‌های «طبیعی- سازه‌ای» به‌شمار آورد [۳۷، ۶۲، ۱۴۷ و ۱۵۰]. نمونه‌هایی از ساخت و کارایی آبشکن‌ها در رودخانه‌های ایران و جهان در شکل‌های (۳-۴) تا (۳-۷) نشان داده شده است.



شکل ۳-۲- نمایش ساختار عمومی یک آبشکن در پلان [۱۰۴]

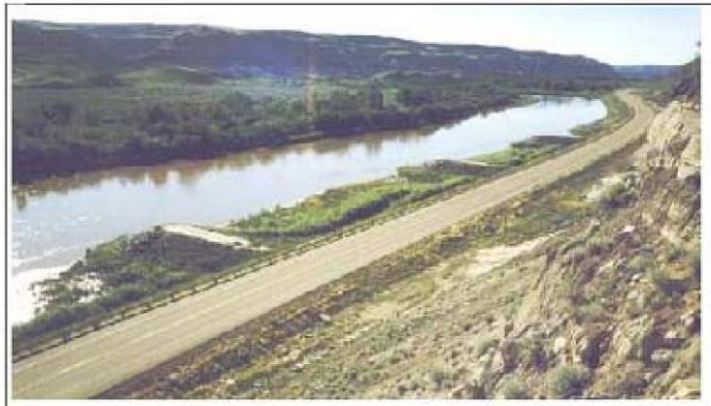


شکل ۳-۳- نمایش آبشکن نفوذناپذیر با مصالح رودخانه‌ای و روکش سنگ‌ریزه‌ای [۳۷]

دانشگاه شهید چمران اهواز

	احداث سری آبشکن‌ها (بهمن۱۳۶۵)
	توسعه رسوبات در میدان ابشکن‌ها پس از وقوع یک سیل متوسط (اسفند۱۳۶۵)
	پتانسیل تثبیت طبیعی در میدان آبشکن‌ها (شهریور۱۳۸۵)

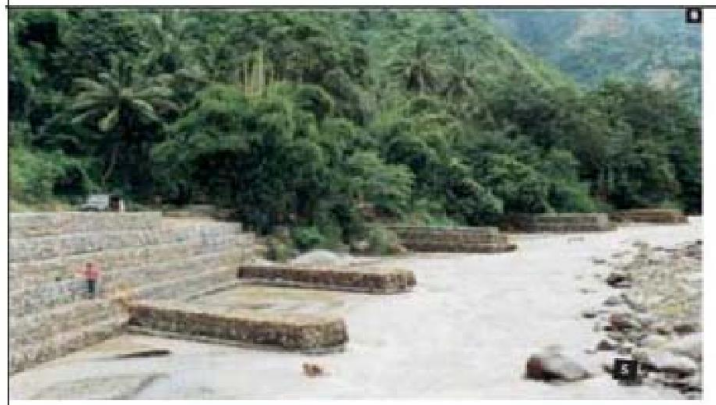
شکل ۳-۴- آبشکن‌های سنگ‌ریزه‌ای، رودخانه حله، استان بوشهر [۴۵]

	کارایی سری آبشکن‌ها در ساماندهی رودخانه سنگی، کانادا [۵۰].
	آبشکن‌های سنگریزه‌ای کوتاه، رودخانه قزل اوزن، آذربایجان شرقی (۱۳۸۵)
	آبشکن مرکب: نفوذ نا پذیر در سمت ساحل و نفوذ پذیر در میانه رودخانه آرکانزاس، آمریکا [۹۴].

شکل ۳-۵- سیمای کاربرد آبشکن‌ها در ساماندهی رودخانه [۴۵]

دانشگاه شهید چمران اهواز

سری آبشکن‌های کوتاه رودخانه ارس، اصلاندوز (۱۳۸۴)



آبشکن‌های کوتاه و مستغرق در جریان‌های پرآبی و سیلابی [۸۱]

تقویت دیواره خاکریز ساحلی با آبشکن‌های کوتاه، رود ارس، پارس اباد (۱۳۸۴)

شکل ۳-۶- نمایش کاربرد آبشکن‌های کوتاه و یا مستغرق [۴۵]

اهداف کاربرد آبشکن‌ها

آبشکن‌ها در شرایط مختلف بازه‌های رودخانه‌ای (کوهستانی تا سیلابدشتی، مستقیم، شریانی تا مارپیچی در مجرای اصلی و یا در بستر کبیر سیلابدشت رودخانه، در کناره‌های با راستای مستقیم یا منحنی و در دیواره‌های خارجی یا داخلی پیچ‌ها)، مورد استفاده قرار می‌گیرند. آبشکن‌ها برای اصلاح مسیر رودخانه‌های عریض و شریانی و به‌ویژه با بار رسوبی کف زیاد (از نوع ماسه، شن و درشت‌تر) و برای شرایط مختلف جریان مناسب و موثر هستند. هر چند که برای هدایت جریان در رودخانه‌های مارپیچی (حفاظت دیواره‌های مجرای اصلی و کنترل سیلاب در سیلابدشت رودخانه) نیز به‌طور گسترده‌ای از آبشکن‌ها استفاده می‌گردد [۵۴، ۵۶، ۱۰۷ و ۱۵۰]. در دهه‌های اخیر، استفاده از آبشکن‌های کوتاه با مصالح سازه‌ای و یا طبیعی برای ساماندهی سامانه زیستابی رودخانه‌ها مورد توجه قرار گرفته است [۶۰ و ۶۲].

به‌جز در رودخانه‌های کوچک و کم عرض و در شرایط خاص کاربرد آبشکن‌ها محدودیت قابل توجهی نداشته و می‌تواند به‌عنوان یک گزینه در ساماندهی بازه رودخانه در نظر گرفته شود. آبشکن‌های رودخانه‌ای برای یک یا ترکیبی از اهداف زیر مورد توجه هستند [۶۰، ۶۲، ۱۰۲ و ۱۵۰].

- اصلاح مسیر رودخانه به‌منظور کنترل سیلاب و یا کاهش خطر پیشروی رودخانه به اراضی ساحلی و فرسایش و تخریب دیواره‌ها و تاسیسات جانبی از طریق کاهش و یا تنظیم عرض رودخانه و تثبیت و حفاظت دیواره‌ها در راستای جدید
- حفاظت دیواره‌های خارجی پیچ از طریق تعدیل انحنای نسبی پیچ، بهبود راستای دیواره و انحراف جریان از دیوار خارجی به میانه رودخانه
- حفاظت موضعی بازه رودخانه در برابر تخریب سازه‌های آبی، تخریب پل‌ها و دیگر خطوط حیاتی تقاطعی (آب، برق، نفت و گاز) از طریق بهسازی راستای بازه و انحراف جریان از نواحی بحرانی
- تثبیت دیواره رودخانه در بالادست آبگیرها و یا انحراف جریان به‌سمت دهانه آبگیر در مسیر مستقیم و یا در قوس خارجی رودخانه (از طریق تشدید جریان ثانویه و افزایش میزان آبگیری)
- تامین قابلیت کشتیرانی رودخانه از طریق تنظیم و تثبیت عرض و عمق کافی، تغییر تراز بستر برای توسعه عمق مناسب و شعاع انحنای لازم
- احیای محیط زیستابی رودخانه از طریق کاهش احتمال خطر یخزدگی سطح آب رودخانه، توسعه حوضچه‌های گردابی در گستره دماغه آبشکن‌ها و پالایش طبیعی جریان و هندسه هیدرولیکی مناسب برای حیات آبزیان

جداول (۲-۴)، (۲-۷) و (۲-۸) در فصل دوم، برخی شرایط مناسب کاربری آبشکن‌ها را توصیه می‌نماید. آبشکن‌ها مانند دیگر گزینه‌های ساماندهی رودخانه، از مزایا و معایب و محدودیت‌های کاربردی برخوردار هستند که در بخش پایانی این فصل به اختصار به آنها اشاره می‌گردد.

انواع آبشکن‌ها

آبشکن‌ها از نظر مصالح و روش ساخت، شکل ظاهری و تاثیر آن‌ها بر روی جریان رودخانه‌ای به انواع مختلف تقسیم می‌گردند

۳-۳-۱- مصالح و روش ساخت آبشکن

۳-۳-۱-۱- نفوذپذیری آبشکن

آبشکن‌ها ممکن است که به دو نوع «نفوذناپذیر» (بسته یا آب‌نگذر) یا «نفوذپذیر» (باز یا آبگذر) تقسیم گردند، ولی ساختار و کارکرد هیدرولیکی این دو کاملا متفاوت است. در منابع موجود و از دیدگاه فنی نیز عموما واژه آبشکن به نوع «نفوذناپذیر» و به‌عنوان سازه انحراف دهنده اطلاق می‌گردد [۵۳، ۶۲ و ۱۵۰].

الف- آبشکن‌های نفوذناپذیر

ب- آبشکن‌های نفوذپذیر

۳-۳-۱-۲- انعطاف‌آبشکن

آبشکن‌ها بر حسب نوع مصالح و ساختار آن‌ها و از نظر قابلیت تحکیم طبیعی، به دو نوع «صلب» یا «انعطاف‌پذیر» تقسیم می‌گردند. به‌طور کلی، آبشکن‌های انعطاف‌پذیر بهتر از انواع صلب هستند. به‌طور طبیعی بدنه آبشکن بر اثر نیروی «تراوش» و پدیده «زیرشویی» نشست‌های ناهمگون کرده و یا بستر رودخانه در موقعیت پنجه آبشکن در معرض آبشستگی قرار می‌گیرد. در این‌صورت، یک آبشکن صلب به‌سهولت و با سرعت دچار ترک خوردگی شده و بخش‌هایی از آن تخریب و سرانجام منجر به گسیختگی کل سازه و تشدید روند تخریبی دیواره رودخانه خواهد شد. درحالی‌که آبشکن‌های انعطاف‌پذیر نسبت به تغییرات قابلیت تنظیم و جابجایی و تحکیم داشته و امکان مرمت و بازسازی مجدد دارند [۳۷ و ۱۲۸]. آبشکن‌های نوع سنگ‌ریزه‌ای، تورسنگی و یا متشکل از واحدهای بتنی سه پایه از مثال‌های بارز سازه‌های انعطاف‌پذیر به‌شمار می‌آیند.

۳-۳-۱-۳- آبگذری آبشکن

آبشکن‌ها بر حسب نوع مصالح و ساختار آن‌ها و از نظر قابلیت تراوش جریان از بدنه، به دو نوع «آبگذر» یا «آب‌نگذر» تقسیم می‌گردند. آبشکن‌های آبگذر از نظر هیدرولیکی برترند زیرا به‌سهولت و به‌طور یکنواخت قابلیت زهکشی بدنه و آزادسازی نیروی تراوش و زیر فشار آب را دارند. از سوی دیگر، جذب رسوبات معلق و ریزدانه در محیط متخلخل سطح پوششی، قابلیت تثبیت زیستی و بهسازی شرایط زیست محیطی را در پیرامون آبشکن فراهم می‌سازد [۳۷، ۷۰، ۱۰۲ و ۱۲۸].

به‌طورکلی آبشکن‌های انعطاف‌پذیر، آبگذر نیز هستند. از این رو از امتیازات پایداری و دوام طبیعی برخوردار بوده و در طرح‌های رودخانه‌ای مورد توجه می‌باشند. آبشکن‌های نوع سنگ‌ریزه‌ای، تورسنگی و یا متشکل از واحدهای بتنی سه پایه از مثال‌های بارز سازه‌های انعطاف‌پذیر و آبگذر به شمار می‌آیند.

۳-۳-۲- استغراق آبشکن

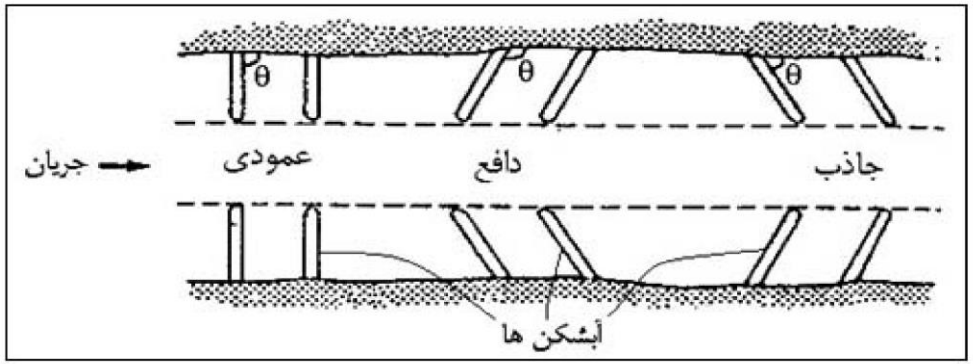
آبشکن‌ها بستگی به اهداف و شرایط رودخانه، ممکن است مستغرق یا غیرمستغرق باشند. عموما آبشکن‌های نفوذناپذیر را به‌صورت غیرمستغرق طراحی می‌کنند زیرا جریان عبوری از روی این نوع سازه منجر به فرسایش شدید تاج و تخریب احتمالی بدنه آبشکن گردیده و یا ممکن است که ناحیه رسوب‌گذاری شده در محدوده حفاظتی آبشکن را در معرض فرسایش قرار دهد. در مقایسه، آبشکن‌های نفوذپذیر چون تاثیر کم‌تری بر جریان عمومی رودخانه دارند، ممکن است که به‌صورت مستغرق طراحی گردند [۱۵۰].

در رودخانه‌های بستر ماسه‌ای و مارپیچی، برای حفاظت دیواره‌ها در مجرای اصلی معمولا از آبشکن‌های نفوذناپذیر با ارتفاع تاج در حد تراز دیواره بالای رودخانه اصلی (برای ظرفیت جریان مقطع پر در حدود سیل متناوب سالانه) استفاده می‌گردد. این آبشکن‌ها در مواقع سیلاب‌های بزرگ‌تر و با گسترش جریان در دشت سیلابی رودخانه، لزوما مستغرق خواهند شد. در رودخانه‌های شریانی و یا با مواد بستری درشت‌دانه، به‌دلیل توان زیاد جریان و ناپایداری رودخانه، آبشکن‌های نفوذناپذیر به‌کار می‌روند. در این شرایط ارتفاع تاج آبشکن‌ها معادل تراز متوسط دیواره بالای مقطع ساده رودخانه (با ظرفیت جریان سیلابی بزرگ و غیرمتناوب) در نظر گرفته می‌شود، از این رو اغلب به‌صورت غیرمستغرق عمل می‌نمایند [۵۶، ۱۰۲ و ۱۰۷].

در ساماندهی رودخانه برای تامین قابلیت کشتیرانی، شدت جریان متوسط سالانه مورد نظر قرار می‌گیرد. ازاین‌رو در مواقع پرآبی و سیلابی، آبشکن‌ها لزوما مستغرق بوده که متعاقب آن نیز مشکلاتی برای کشتیرانی پدید می‌آید [۱۰۲].

۳-۳-۳- تاثیر آبشکن بر جریان رودخانه

آبشکن‌ها از نظر آرایش و امتداد قرارگیری در رودخانه و تاثیر آنها بر روی جریان رودخانه‌ای، به سه نوع «جاذب[۱]»، «عمودی[۲]»و یا «دافع[۳]»، تقسیم می‌گردند [۵۳، ۶۲ و ۱۵۰]. شکل (۳-۹) انواع آرایش آبشکن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۹- انواع آرایش آبشکن‌های جاذب، عمودی و دافع [۶۲]

1- Attracting/ Declined
2- Normal/ Deflecting
3- Declined/ Repelling

۳-۳-۳-۱- آبشکن‌های جاذب

آبشکن‌های جاذب از نظر سازه‌ای، به‌سمت پایین‌دست جریان رودخانه متمایل بوده و از نظر هیدرولیکی، جریان را به‌سمت خود جذب نموده و مانع از انحراف جریان به‌سمت دیواره مقابل می‌گردند. زاویه تمایل آبشکن به‌سمت پایین‌دست در حدود ۱۰ درجه پیشنهاد شده است [۵۴، ۱۰۳ و ۱۰۷]، ولی ممکن است تا ۳۰ درجه نیز باشد [۶۲]. با این آرایش، اگر زاویه تمایل بیش از ۴۵ درجه باشد، آبشکن تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر انحراف جریان نداشته و در شرایط سیلابی نیز ممکن است باعث تخریب دیواره‌ها گردد [۶۲].

۳-۳-۳-۲- آبشکن‌های عمودی

آبشکن‌های عمودی از نظر سازه‌ای، عمود بر راستای عمومی جریان رودخانه یا دیواره‌ها احداث شده و از نظر هیدرولیکی، سبب تغییر جهت جریان از سمت کناره رودخانه گردیده و در عین حال مانع از انحراف شدید جریان به‌سمت دیواره مقابل می‌گردند. آبشکن‌های عمودی معمولا کوتاه‌تر از انواع دیگر بوده و در بازه‌های مستقیم و نیز برای حفاظت موضعی در برابر فرسایش به‌کار می‌روند.

۳-۳-۳-۳- آبشکن‌های دافع

آبشکن‌های دافع از نظر سازه‌ای، به سمت بالادست جریان رودخانه متمایل بوده و از نظر هیدرولیکی، جریان را با قدرت از کناره رودخانه و آبشکن دور نموده و سبب انحراف شدید جریان به‌سمت دیواره مقابل می‌گردند. با این آرایش، جریان حتی در شرایط سیلاب به میانه رودخانه منحرف می‌گردد. زاویه تمایل آبشکن به‌سمت بالا دست بین ۱۰ تا ۲۰ درجه پیشنهاد شده است [۵۴، ۱۰۳ و ۱۰۷]، ولی ممکن است بین ۵ تا ۳۰ درجه نیز باشد [۶۲].

به‌طور کلی، از نظر قدرت انحراف جریان و شدت رسوب‌گذاری در پایین‌دست، آبشکن‌های دافع بهتر عمل می‌کنند. از سوی دیگر، میزان آبشستگی پیرامون آبشکن‌های جاذب (که تمایل به پایین‌دست جریان دارند) کم‌تر بوده و سازه از پایداری طبیعی بیش‌تری برخوردار خواهد بود.

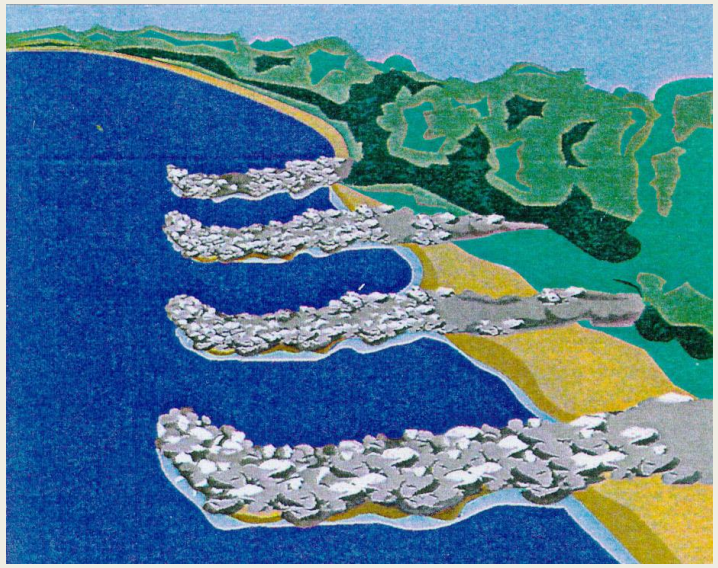
۳-۳-۴- شکل ظاهری آبشکن

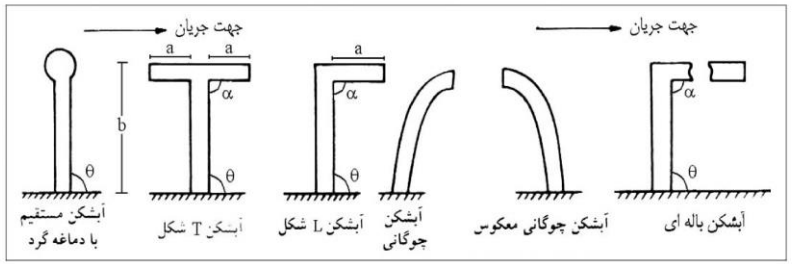
آبشکن‌ها براساس نمای ظاهری در سطح افق و در مقاطع طولی انواع گوناگون تقسیم می‌گردند:

۳-۳-۴-۱- آبشکن‌ها در سطح افق

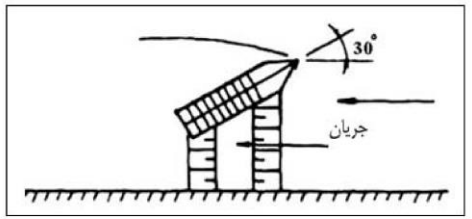
آبشکن‌ها با شکل و نماهای مختلف در سطح افق ساخته می‌شوند [۵۳ و ۱۵۰]. انواع شکل ظاهری آبشکن‌ها در پلان رودخانه مطابق شکل (۳-۱۰) عبارتند از مستقیم، مستقیم با دماغه گرد، تی شکل (T)، ال شکل (L)، چوگانی[۱] یا قلاب شکل یا چنگکی[۲]، چوگانی معکوس و باله‌ای[۳]. شکل خاص آبشکن مستقیم با دماغه فارسی بر در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است.

آبشکن مستقیم با راستایی مستقیم و زاویه مناسب نسبت به دیواره یا جریان رودخانه قرار گرفته و عموما دماغه آن برای حفاظت در برابر آبشستگی موضعی به‌صورت دایره‌ای و گسترده‌تر می‌باشد. آبشکن L شکل یا سرکج نقش موثرتری داشته و میزان آبشستگی موضعی در دماغه آن کم‌تر بوده و همچنین قابلیت ته نشست رسوبات در حد فاصل آبشکن‌های متوالی بیش‌تر می‌باشد. زاویه سر کج آبشکن در دماغه آن کم‌تر از ۱۰ درجه توصیه شده است [۱۰۷]. انتخاب گزینه‌های دیگر شکل آبشکن نظیر T شکل یا چوگانی، بستگی به شرایط رودخانه و قضاوت مهندسی دارد.





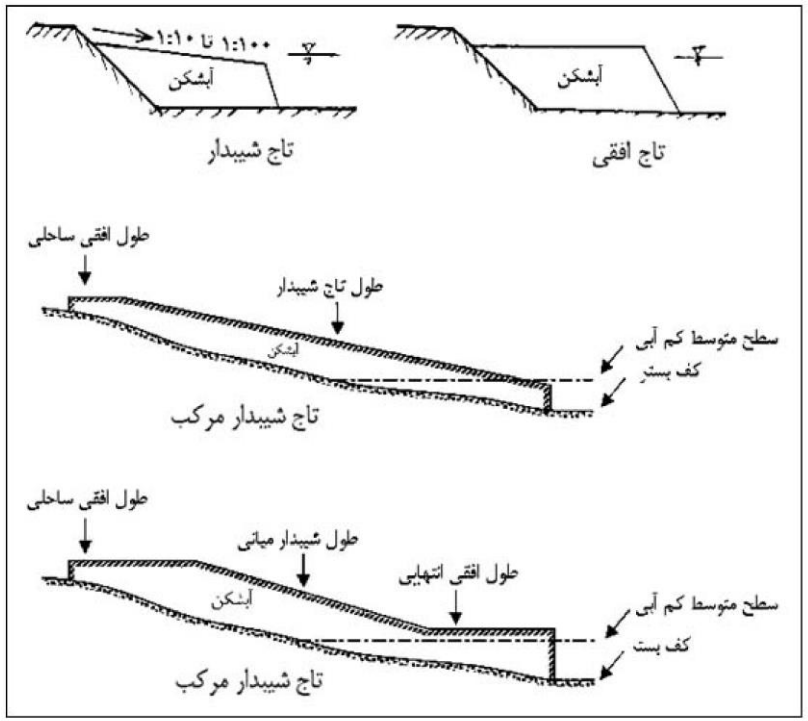
شکل ۳-۱۰- انواع شکل ظاهری آبشکن‌ها در پلان [۳۷ و ۱۵۰]



شکل ۳-۱۱- آبشکن‌های مستقیم با دماغه فارسی بر [۱۰۴]

۳-۳-۴-۲- آبشکن‌ها در مقطع ط

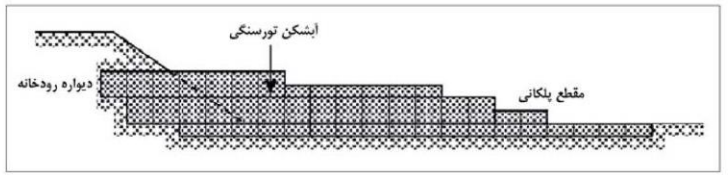
در مقطع طولی، تاج آبشکن ممکن است مطابق شکل (۳-۱۲)، از دیواره به سمت محور رودخانه به‌صورت افقی و یا شیب‌دار (به‌سمت رودخانه) و یا مطابق شکل (۳-۱۳) به‌صورت پلکانی باشد. در حالت شیب‌دار و یا پلکانی، سطح موثر جریان در بده‌های زیادتر بیش‌تر بوده و سرعت متوسط و توان جریان کم‌تر می‌شود [۱۰۷]. در رودخانه‌هایی که تغییرات بده و سطح آب کم است، آبشکن‌های با تاج افقی مناسب هستند. وقتی تغییرات جریان خیلی زیاد باشد تاج شیب‌دار از نظر ظرفیت انتقال جریان مناسب‌تر بوده اما تاثیر آن در حفاظت دیواره‌ها نیز کم‌تر می‌شود [۳۷]. شیب تاج آبشکن‌ها در محدوده (4H:1V تا 10H:1V) توصیه شده است [۹۲]، ولی ممکن است با شیب ملایم‌تر در محدوده (10H:1V تا 100H:1V) نیز باشد [۶۲].



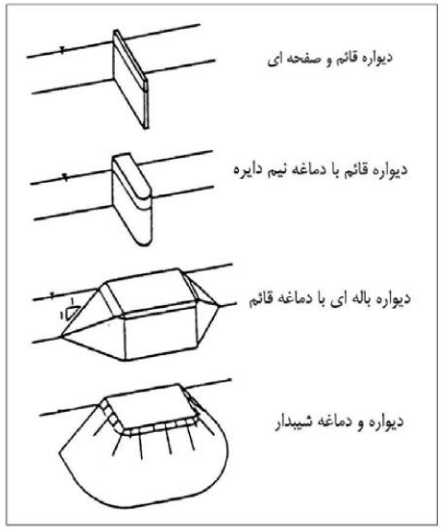
شکل ۳-۱۲- انواع شکل مقطع طولی و تاج آبشکن- افقی و یا شیب‌دار [۳۷، ۶۲ و ۱۰۴]

۳-۳-۴-۳- آبشکن‌ها در مقطع عرضی

مقطع عرضی آبشکن ممکن است به یکی از سه شکل هندسی سپری (دیواره کم عرض و قائم)، جعبه‌ای- پلکانی و یا ذوزنقه‌ای باشد. شکل عرضی آبشکن تابعی از نوع مصالح و روش ساخت می‌باشد. آبشکن‌های سپری با مقطع مستطیلی کم عرض، آبشکن‌های تورسنگی یا کیسه‌ای با مقطع پلکانی و آبشکن‌های سنگ‌ریزه‌ای با مقطع ذوزنقه‌ای ساخته می‌شوند. برخی از انواع مقطع عرضی آبشکن‌ها در شکل (۳-۱۳) و (۳-۱۴) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۳- شکل پلکانی مقطع طولی آبشکن- نوع تورسنگی [۸۹]



شکل ۳-۱۴- برخی از انواع شکل آبشکن‌ها در مقطع عرضی [۹۳]

۳-۳-۵- طو ن

آبشکن‌ها از نظر طول موثر و تاثیر آن بر کارکرد جریان چرخشی، عرض رودخانه و ظرفیت انتقال جریان معمولا به سه گروه آبشکن‌های کوتاه، متوسط و بلند تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی قراردادی بوده و از دیدگاه‌های مختلف کمیت‌های متفاوتی را در بر می‌گیرد.

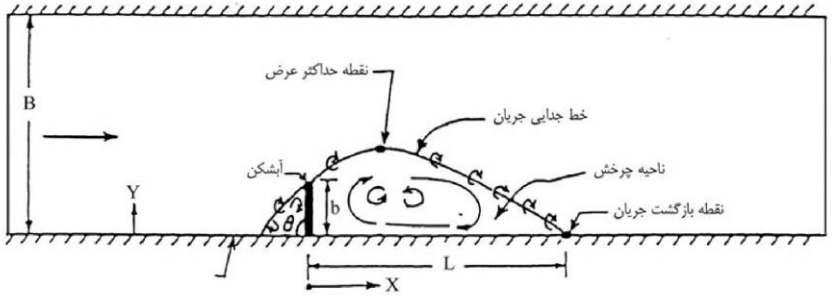
از دیدگاه حفاظت و تثبیت دیواره‌های رودخانه، آبشکن‌های کوتاه با طول موثر کم‌تر از ۳۰ متر و آبشکن‌های بسیار بلند با طول موثر بیش‌تر از یک سوم عرض بالای رودخانه هستند [۱۰۲]. منظور از طول موثر، بخشی از طول آبشکن است که در کاهش عرض مجرای اصلی رودخانه تاثیر داشته و شامل طول اضافی برای جبران نامنظمی‌های موضعی دیواره‌ها نمی‌باشد. آبشکن‌های کوتاه‌تر نیاز به فاصله کم‌تر بین آبشکن‌ها دارند و نه تنها در پدیده رسوب‌گذاری در کناره‌های رودخانه موثر نبوده، بلکه در مقایسه با روش‌های حفاظت مستقیم دیواره‌های رودخانه نیز اقتصادی‌تر نمی‌باشند [۶۲]. همچنین آبشکن‌های بسیار بلند نیز ممکن است علاوه بر آبشستگی زیاد، حمله جریان را متوجه دیواره‌های ساحل مقابل نماید. آبشکن‌های بلندتر منجر به فاصله بیش‌تر بین آبشکن‌ها شده که ممکن است روند مارپیچی شدن را در رودخانه توسعه بخشد [۵۶ و ۱۰۲].

از آبشکن‌های کوتاه[۱] برای استقرار مواضع تثبیت در کناره‌های رودخانه و اصلاح نامنظمی‌های جزیی در راستای دیواره استفاده می‌گردد (شکل ۳-۶). در این حالت کوتاهی آبشکن مانع از توسعه رسوب‌گذاری در کناره‌ها بوده ولی سبب بهبود راستای جریان در مجرای اصلی می‌گردد [۱۱۰]. آبشکن‌های کوتاه برای توسعه حوضچه گردابی جریان در پیرامون دماغه آن (ناحیه آبشستگی) برای احیای محیط زیست آبزیان از دیدگاه حفاظت از تنوع زیستی، مورد توجه است. در رودخانه‌های کوچک، حداقل عرض ۱۰ متر رودخانه باید تامین شده و یا عرض رودخانه نباید از دو سوم موجود آن کم‌تر گردد [۶۲].

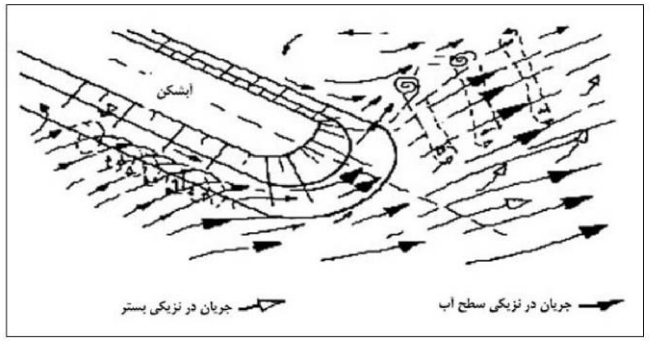
از دیدگاه آبشستگی، شاخص بلندای آبشکن با نسبت طول موثر آبشکن به عمق متوسط جریان بالادست (b/h) بیان گردیده است. درصورتی‌که (b/h<1) باشد، آبشکن کوتاه است. اگر (b/h>25) باشد، آبشکن بلند تشخیص داده می‌شود. در حد فاصل این دو حد، آبشکن با طول متوسط ارزیابی می‌گردد [۹۳].

۳-۴- مکانیزم کارکرد آبشکن‌ها

ساختار جریان و توپوگرافی بستر پیرامون یک آبشکن منفرد

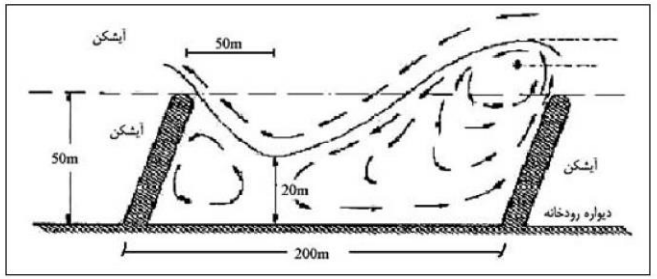


شکل ۳-۱۵- نمایش ساده جریان چرخشی پیرامون یک آبشکن- در بستر صاف، تخت [۱۰۵]

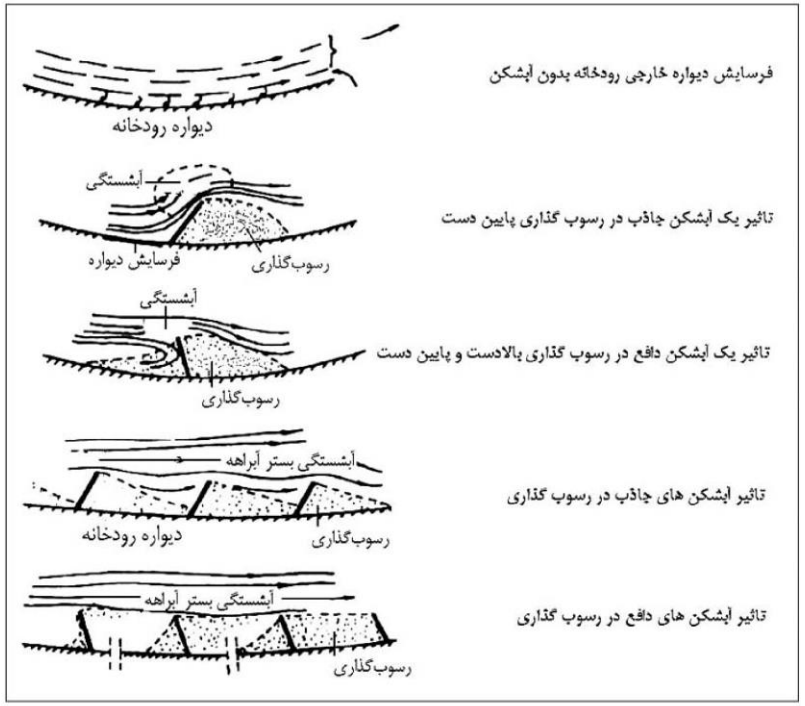


شکل ۳-۱۶- ساختار جریان چرخشی پیرامون یک آبشکن [۱۰۴]

ساختار جریان و توپوگرافی بستر در محدوده تاثیر سری آبشکن‌ها



شکل ۳-۱۷- ساختار جریان چرخشی در حد فاصل دو آبشکن متوالی در مدل یک بازه مستقیم از رودخانه وال در هلند [۱۵۰].



شکل ۳-۲۰- تاثیر آرایش آبشکن‌ها بر نحوه توزیع جریان و رسوب‌گذاری پیرامون آبشکن‌ها [۱۵۰].

مبانی جانمایی و طراحی آبشکن‌ها

طراحی آبشکن‌ها

۶-۱- کلیات

علیرغم کاربرد گسترده آبشکن‌ها در رودخانه‌های جهان، هنوز ضوابط عمومی برای طراحی مطمئن آبشکن‌ها ارائه نشده و کاربرد نتایج تجربی و نیمه‌تجربی موجود برای شرایط محدودی توصیه شده است. راهکار اصلی در طراحی آبشکن‌ها استفاده از دانش علمی، فنی و تجربیات موجود جهانی همراه با قضاوت مهندسی است [۱۴۷ و ۱۵۰].

مهم‌ترین عوامل در طراحی آبشکن‌ها به‌ترتیب زیر است.

- شکل ظاهری آبشکن در پلان
- امتداد آبشکن نسبت به راستای عمومی جریان
- اتصال ریشه آبشکن در دیواره رودخانه
- طول و فاصله آبشکن‌ها
- آرایش آبشکن‌ها
- ارتفاع تاج آبشکن
- شکل مقطع طولی و عرضی آبشکن
- عمق و گستره آبشستگی عمومی در بازه ساماندهی و آبشستگی موضعی پیرامون آبشکن‌ها
- طرح پایدار سازه آبشکن (ریشه، بدنه، روکش و پنجه)

ضوابط و راهنمای موجود در طراحی عوامل فوق به‌ترتیب در زیر ارائه می‌گردد:

شکل ظاهری آبشکن در پلان

آبشکن‌ها براساس نمای ظاهری در سطح افق، به انواع گوناگون: مستقیم، مستقیم با دماغه گرد، مستقیم با دماغه فارسی بر، L شکل یا سرکج، T شکل یا سرسپری، چوگانی[1] یا قلاب شکل یا چنگکی[2]، چوگانی معکوس، و بالهای[3] تقسیم می‌شوند [۱۰۴ و ۱۰۷]. انواع آبشکن‌ها قبلا در شکل‌های (۳-۱۰) و (۳-۱۱) نشان داده شده است. تصاویری از آبشکن‌های مستقیم، L شکل و T شکل در شکل (۶-۱) نمایش داده شده است.

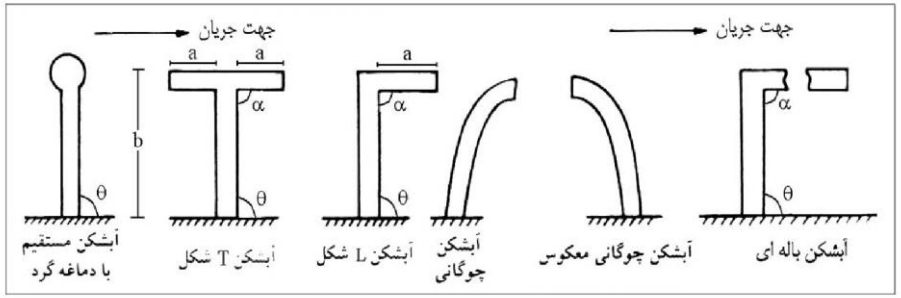
آبشکن مستقیم با امتداد مستقیم و با زاویه مشخصی نسبت به راستای عمومی جریان یا دیواره رودخانه (زاویه θ در شکل۳-۱۰) قرار می‌گیرد. جهت حفاظت در برابر آبشستگی موضعی، عموما دماغه آنها به‌صورت دایره‌ای و گسترده ساخته می‌شود.

آبشکن L شکل یا سرکج، نقش موثرتری در انحراف جریان داشته، میزان آبشستگی موضعی در دماغه آن کم‌تر بوده و قابلیت ته نشست رسوبات در حد فاصل آبشکن‌های متوالی بیش‌تری دارد. مطابق شکل (۳-۱۰)، بدنه آبشکن در پلان به‌صورت عمودی ($\theta=90^\circ$)، بخش سر کج آن در دماغه با زاویه α بین ۹۰ تا ۱۰۰ درجه، و طول بخش سر کج آن (a) بین ۴۵ تا ۶۵ درصد فاصله بین آبشکن‌های متوالی توصیه شده است [۱۰۴]. از این نوع برای هدایت جریان در بسترهای عریض، در پیچ خارجی، برای کشتیرانی و به‌عنوان اولین و آخرین آبشکن در سری متوالی آبشکن‌ها استفاده می‌گردد.

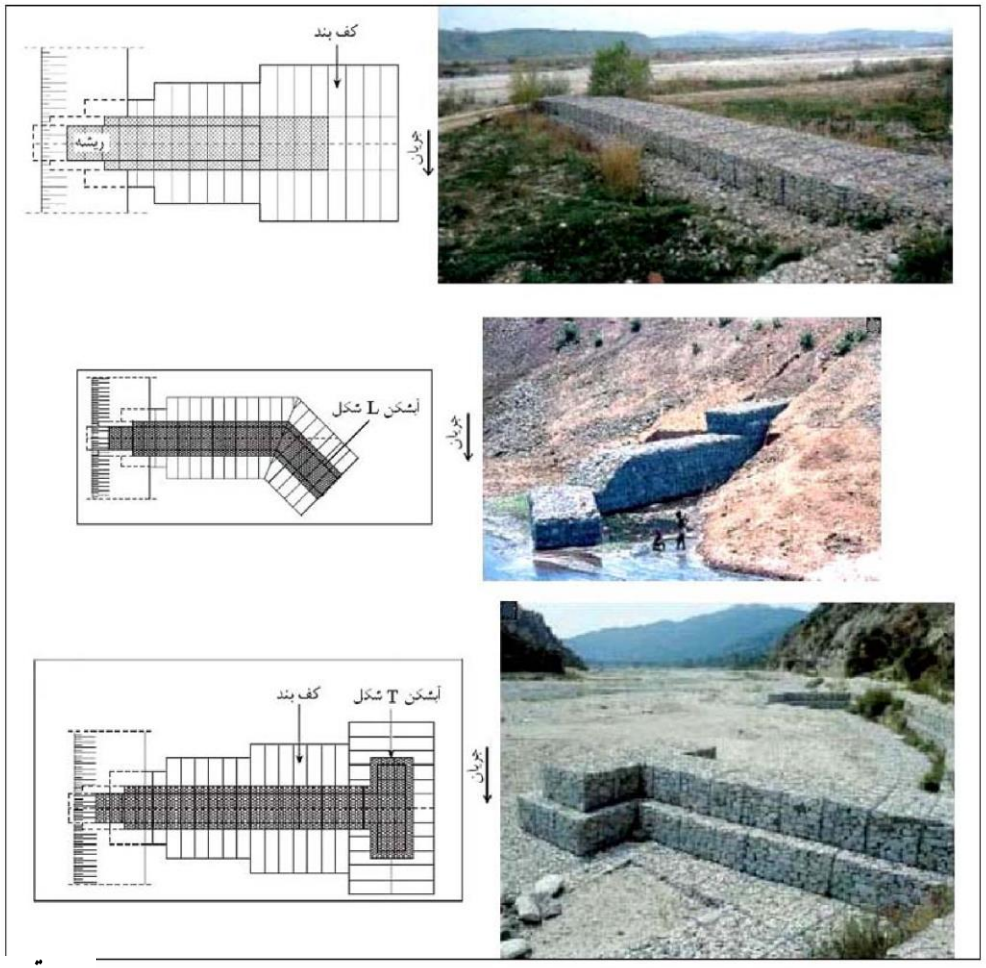
آبشکن بالهای مشابه نوع L شکل بوده ولی دماغه سرکج آن به‌صورت یک دیواره هادی طویل در راستای مرز کنترل ساحلی ساخته می‌شود. از این نوع برای اصلاح مسیر رودخانه‌های بزرگ با قابلیت کشتیرانی، برای هدایت جریان در بسترهای عریض شریانی، و به‌عنوان اولین و آخرین آبشکن در سری متوالی آبشکن‌ها استفاده می‌گردد.

آبشکن T شکل یا سرسپری نقش موثرتری در کنترل مرز ساحلی و هدایت جریان به‌سمت مجرای اصلی داشته و بیش‌تر برای اصلاح مسیر رودخانه‌های بزرگ با قابلیت کشتیرانی به‌کار می‌رود. مطابق شکل (۳-۱۰)، بدنه آبشکن در پلان به‌صورت عمودی ($\theta=90^\circ$) بوده، و زاویه دماغه سپری (α) و طول سپری (a) مشابه آبشکن نوع L شکل است. آبشکن چوگانی شبیه آبشکن L شکل بوده، ولی بخش انتهایی دماغه آن مطابق با شکل (۳-۱۰)، به‌صورت قوسی و متمایل به پایین‌دست است. درصورتی‌که قوس دماغه به‌سمت بالادست رودخانه متمایل گردد، به آن چوگانی معکوس گویند. از آبشکن‌های مستقیم با دماغه فارسی بر (در شکل ۳-۱۱)، برای توسعه هدفمند حوضچه آبشستگی جهت زیستگاه ماهیان مهاجر و ماهیگیری استفاده شده است [۱۰۴].

انتخاب گزینه‌های مناسب شکل آبشکن، بستگی به هدایت جریان رودخانه در راستای مورد نظر و قضاوت مهندسی دارد. به‌طور کلی بیش‌تر اطلاعات تئوری و تجربی موجود در زمینه طراحی، کارکرد و آبشستگی آبشکن‌های نوع مستقیم و ساده است. گستره حفره آبشستگی در نوع T شکل کم‌تر از نوع L شکل و یا مستقیم است. ولی جابجایی و تخریب دماغه سرکج و سرسپری در بیش‌تر موارد سبب تخریب آبشکن و دیواره رودخانه، و توسعه جزیره در بستر اصلی رودخانه بوده است. فرم هندسی آبشکن‌های چوگانی پیچیده‌تر بوده، گستره سطحی حفره آبشستگی آن از نوع T شکل بیش‌تر بوده و امتیاز خاصی برای آن گزارش نشده است. در طراحی ممکن است ترکیبی از شکل‌های مختلف انتخاب گردد. انتخاب آبشکن‌های مستقیم با دماغه دایره‌ای و گسترده از اطمینان بیش‌تری در طراحی برخوردار است، مگر این‌که از مدل‌های فیزیکی و ریاضی در تکمیل طراحی مقدماتی انواع دیگر آبشکن استفاده گردد. از نوع L شکل می‌توان برای هدایت جریان در بسترهای عریض، در پیچ خارجی و به‌عنوان اولین و آخرین آبشکن در سری متوالی آبشکن‌ها استفاده نمود.



شکل ۳-۱۰- انواع شکل ظاهری آبشکن‌ها در پلان [۳۷ و ۱۵۰]



شکل ۶-۱- پلان و سیمای برخی انواع آبشکن‌های تورسنگی [۸۹]

امتداد آبشکن نسبت به راستای عموم

آبشکن‌ها از نظر آرایش زاویه قرارگیری در رودخانه و تاثیر آنها بر روی جریان رودخانه‌ای، به سه نوع «جاذب[1]»، «عمودی[2]» یا «دافع[3]»، تقسیم می‌گردند [۵۳، ۶۲ و ۱۵۰]. انواع آرایش آبشکن‌ها و زاویه امتداد بدنه آبشکن با راستای جریان یا دیواره پایین‌دست (θ)، قبلا در شکل (۳-۹) نشان داده شده است. این آرایش همچنین در شکل (۶-۲) نمایش داده شده است.

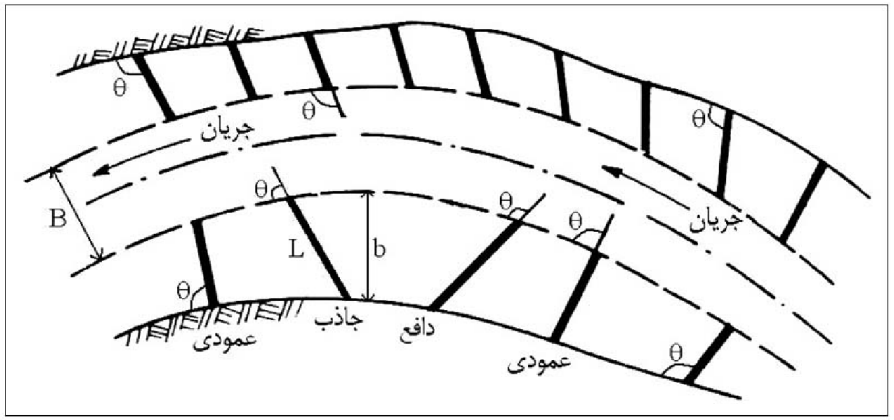
آبشکن‌های عمودی، عمود بر راستای عمومی جریان رودخانه یا دیواره‌ها احداث شده ($\theta=90^\circ$)، سبب تغییر جهت جریان از سمت کناره رودخانه گردیده و در عین حال مانع از انحراف شدید جریان به‌سمت دیواره مقابل می‌گردد. آبشکن‌های عمودی در بازه‌های مستقیم و نیز برای حفاظت موضعی در برابر فرسایش به‌کار می‌روند.

آبشکن‌های جاذب، به‌سمت پایین‌دست جریان رودخانه متمایل بوده، جریان را به‌سمت خود جذب نموده و مانع از انحراف جریان به‌سمت دیواره مقابل می‌گردد. از سوی دیگر، این نوع تاثیر کم‌تری در حفاظت دیواره سمت آبشکن داشته و ممکن است که باعث حمله جریان به سمت دیواره پایین‌دست و یا ریشه آبشکن پایین‌دست گردد [۱۰۰]. زاویه تمایل آبشکن به‌سمت پایین‌دست در حدود ۱۰ درجه ($\theta=80^\circ$) مناسب است، ولی ممکن است تا ۳۰ درجه ($60^\circ<\theta<90^\circ$) نیز باشد [۶۲، ۱۰۲ و ۱۰۷]. اگر زاویه تمایل بیش از ۴۵ درجه ($\theta<45^\circ$) باشد، آبشکن تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر انحراف جریان نداشته و در شرایط سیلاب‌های بزرگ‌تر به‌صورت یک سرریز عمل نموده و باعث تخریب دیواره‌ها می‌گردد [۶۲].

آبشکن‌های دافع، به سمت بالادست جریان رودخانه متمایل بوده و جریان اصلی را با قدرت از کناره رودخانه و میدان آبشکن دور نموده و سبب توسعه بیش‌تر بار رسوبی در پایین‌دست و حفاظت کناره رودخانه می‌گردد. زاویه تمایل آبشکن به‌سمت بالا دست بین ۱۰ تا ۲۰ درجه مناسب است ($100^\circ<\theta<110^\circ$)، ولی ممکن است بین ۵ تا ۳۰ درجه ($95^\circ<\theta<120^\circ$) نیز باشد [۶۲، ۱۰۲ و ۱۰۷]. زاویه بیش‌تر θ در شرایط سیلابی، ممکن است که سبب انحراف شدید جریان به‌سمت دیواره مقابل گردد.

به‌طور کلی، از نظر قدرت انحراف جریان و شدت رسوب‌گذاری در پایین‌دست، آبشکن‌های دافع بهتر عمل می‌کنند. از سوی دیگر، میزان آبشستگی پیرامون آبشکن‌های جاذب (که تمایل به پایین‌دست جریان دارند) کم‌تر بوده و سازه از پایداری طبیعی بیش‌تری برخوردار خواهد بود.

برای بازه‌های مستقیم، آبشکن‌های عمودی و در پیچ رودخانه‌ها، آبشکن‌های جاذب با زاویه تمایل کم به پایین‌دست ($80^\circ<\theta<90^\circ$) جهت سهولت هدایت جریان پیشنهاد گردیده است [۶۲، ۱۰۲ و ۱۰۷]. درصورتی‌که حمله جریان و فرسایش در محدوده دیواره خارجی پیچ شدید بوده و رسوب‌گذاری در پیچ داخلی نیز از ظرفیت انتقال جریان می‌کاهد، آبشکن‌های عمودی یا دافع توصیه می‌گردند [۵۳]. برای رودخانه‌های بستر شنی با شیب زیاد، آبشکن‌های عمودی یا جاذب (با زاویه تمایل کم به پایین‌دست) مناسب هستند [۵۳]. برای بهسازی رودخانه به‌منظور کشتیرانی، آبشکن‌های عمودی یا جاذب مناسب‌تر خواهند بود [۶۲ و ۱۵۰]. آبشکن‌های دافع برای حفاظت دیواره‌ها موثرتر ولی برای کشتیرانی نامناسب هستند. آبشکن‌های دافع در مسیر مستقیم با زاویه تمایل ($90^\circ<\theta<105$-110°)، در پیچ خارجی با ($90^\circ<\theta<100^\circ$)، و در پیچ داخلی با ($100^\circ<\theta<110^\circ$) توصیه شده است. در سری آبشکن‌ها، آبشکن‌های بالادست از نوع دافع با زاویه تمایل ($\theta=100^\circ$-120°) برای تثبیت دیواره‌ها مناسب است [۱۰۴]. در شرایطی که طرح آبشکن‌های نفوذناپذیر به‌صورت مستغرق مورد نظر باشد، آبشکن‌های عمودی یا دافع (با زاویه کمی متمایل به پایین‌دست) و با ارتفاع تاج حدود یک سوم عمق جریان مورد نظر پیشنهاد گردیده است [۵۶]. جدول (۶-۱)، زاویه تمایل (θ) را برحسب توصیه‌ها و یا از نتایج طرح‌های انجام شده ارائه می‌دهد.



شکل ۶-۲- آرایش آبشکن‌های جاذب، عمودی و دافع در پلان یک رودخانه [۴۵]

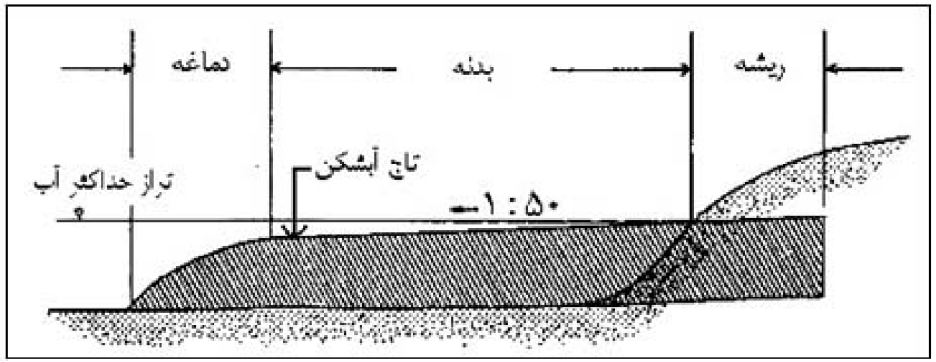
جدول ۶-۱- زاویه تمایل آبشکن (θ) با توجه به شکل (۶-۲) [۴۵ و ۱۰۴]

مرجع	زاویه تمایل پیشنهادی (θ°)	ملاحظات
سازمان ملل (۱۹۵۳)	۱۲۰-۱۰۰	آبشکن‌های بالادست
مامک (۱۹۵۶)	۱۱۰-۱۰۰	
ماکورا (۱۹۶۶)	۱۱۰ ۱۰۰ ۹۰	پیچ خارجی راستای مستقیم پیچ داخلی
جاگلیکار (۱۹۷۱)	۱۲۰-۱۰۰ ۶۰-۳۰	آبشکن دافع آبشکن جاذب
کوپلند (۱۹۸۳)	۹۰	-
اسکانتیز و همکاران (۱۹۸۹)	۶۵	پیچ داخلی با انحنای نسبی ۸ تا ۱۳/۵
مازا الوارز (۱۹۸۹)	۷۰	آبشکن پایین‌دست
توصیه عمومی	۱۱۰-۹۰ ۱۰۰-۹۰ ۱۱۰-۱۰۰ ۱۲۰-۱۰۰ ۹۰-۸۰	حفاظت دیواره - بازه مستقیم حفاظت دیواره - پیچ خارجی حفاظت دیواره - پیچ داخلی حفاظت دیواره - آبشکن‌های بالادست حفاظت دیواره - آبشکن پایین‌دست
توصیه عمومی	۹۰ ۹۰-۸۰	هدایت جریان- بازه مستقیم هدایت جریان- پیچ داخلی یا خارجی
توصیه عمومی	۹۰-۸۰	رودخانه‌های بستر شنی با شیب زیاد
توصیه عمومی	۹۰-۸۰	رودخانه‌های قابل کشتیرانی- در بازه مستقیم یا در پیچ داخلی و خارجی

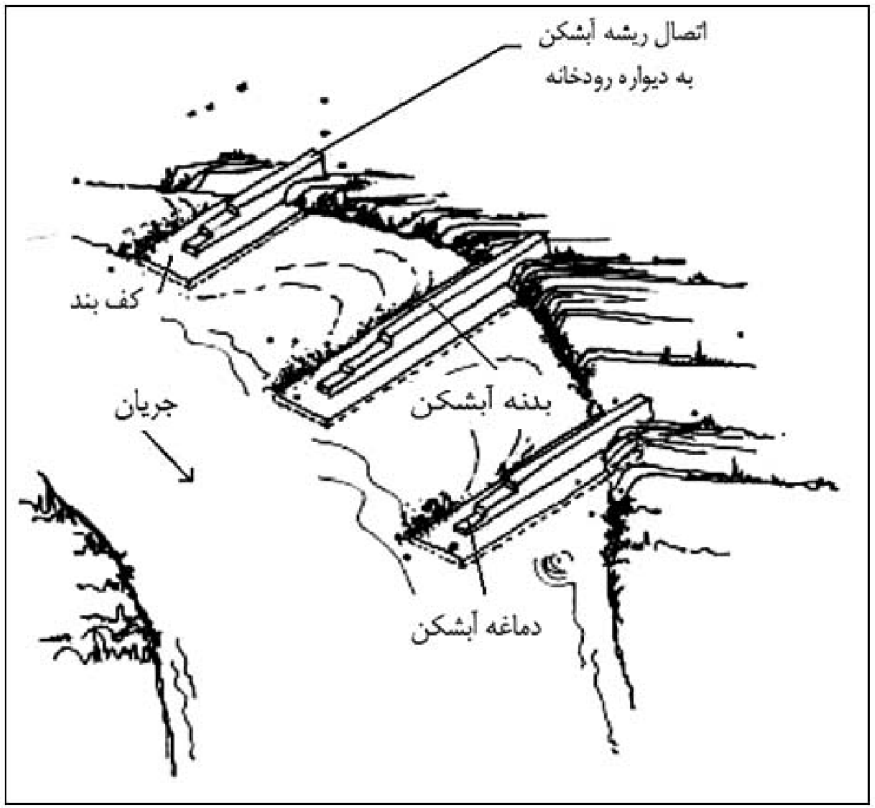
ریشه آبشکن

یکی از عوامل اصلی ناپایداری آبشکن‌ها (و به‌ویژه آبشکن نفوذناپذیر اول) تخریب دیواره در محل اتصال آبشکن به دیواره رودخانه است. ریشه آبشکن مطابق شکل‌های (۶-۳) و (۶-۴) باید در دیواره طبیعی رودخانه یا دیواره ساحلی موجود به خوبی قفل شود تا یکپارچه عمل نماید. قفل‌شدگی آبشکن و پایداری دیواره ساحلی مانع از حمله جریان آب به ریشه آبشکن و تخریب دیواره‌ها و سامانه آبشکن‌های پایین‌دست خواهد شد.

برای پایداری آبشکن، دیواره رودخانه در محدوده طولی ۲۰ تا۵۰ متر در بالادست و پایین‌دست محور آبشکن باید به‌طور طبیعی پایدار بوده و یا حفاظت گردد. طول ریشه آبشکن در دیواره رودخانه، معادل ۴-۲ متر (و حداکثر یک چهارم طول موثر آبشکن) توصیه شده است [۲۲ و ۱۱۳]. اتصال عمقی و پایداری دیواره ساحلی برای آبشکن منفرد و یا آبشکن اولی بسیار مهم می‌باشد.



شکل ۶-۳- نمایش مقطع طولی یک آبشکن [۶۲]



شکل ۶-۴- نمایش قفل‌شدگی ریشه آبشکن در دیواره طبیعی رودخانه

طول و فاصله آبشکن‌ها

طول آبشکن‌ها

مطابق شکل (۶-۵)، طول کل آبشکن (L_t) شامل طول اتصال ریشه آبشکن به دیواره رودخانه (L_k) و طول ظاهری آن در پلان رودخانه (طول بدنه و دماغه L) است. طول آبشکن‌ها بستگی به اهداف ساماندهی، عرض و راستای رودخانه در شرایط موجود، عرض پایدار و مورد نظر بازه رودخانه، عمق مورد نظر، ظرفیت انتقال سیلاب مورد نظر، حد آبشستگی مجاز در بازه و در دماغه آبشکن، مصالح موجود و اقتصاد طرح دارد [۳۷ و ۶۲].

در طراحی طول و فاصله آبشکن‌ها، از واژه «طول موثر آبشکن» استفاده می‌گردد. منظور از طول موثر، بخشی از طول آبشکن است که در کاهش عرض مجرای اصلی بازه رودخانه تاثیر داشته باشد. ازاین رو مطابق شکل (۶-۵)، طول موثر آبشکن (b) عبارت از تصویر طول ظاهری بدنه آبشکن بر روی امتداد عمود بر راستای عمومی جریان بوده و شامل قسمت‌های طولی زیر نمی‌باشد.

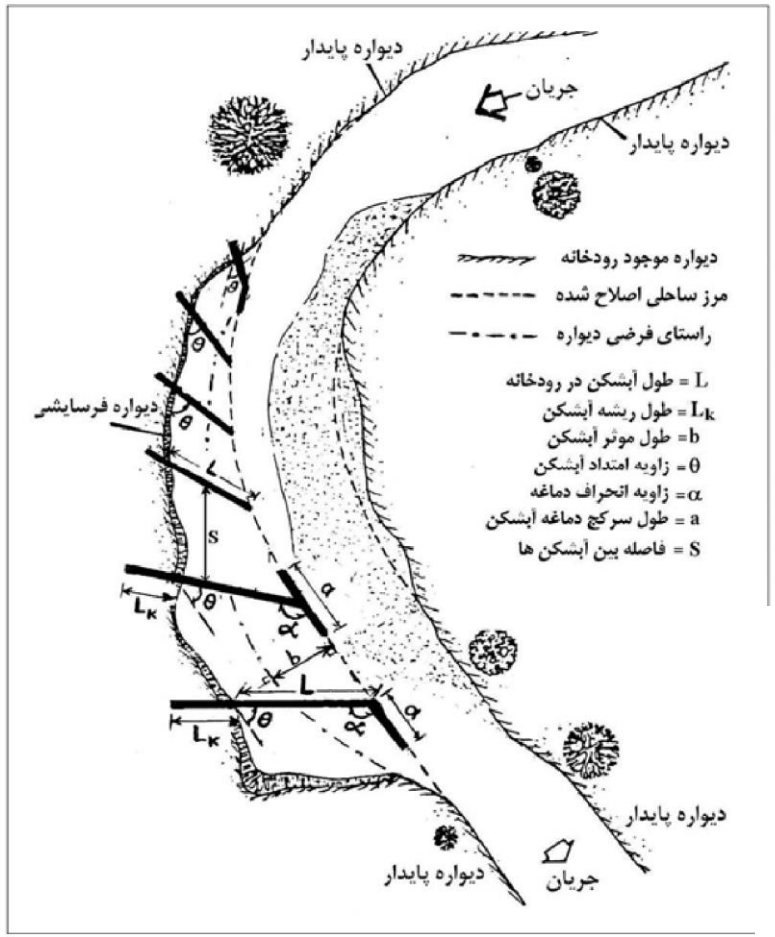
- بخشی از طول که به‌عنوان ریشه آبشکن در دیواره قفل گردیده
- قسمتی از طول که جبران نامنظمی‌های موضعی دیواره‌ها را نموده
- طول جزیی مربوط به تمایل امتداد آبشکن نسبت به امتداد عمود بر راستای عمومی جریان در بازه اصلاح شده است.

شاخص بلندای آبشکن با نسبت طول موثر آبشکن (b) به عمق متوسط جریان بالادست (h) بیان می‌گردد. درصورتی‌که (b/h<1) باشد، آبشکن کوتاه است. اگر (b/h>25) باشد، آبشکن بلند تشخیص داده می‌شود. در حد فاصل این دو، آبشکن با طول متوسط ارزیابی می‌گردد [۹۳].

- **طول موثر آبشکن:** طول آبشکن‌ها در رودخانه‌های جهان از چند متر تا چند صد متر است ولی کاهش عرض مقطع در بازه رودخانه نباید از ۳۰ درصد تجاوز نماید [۱۰۲]. به‌عبارت دیگر در هر مقطع عرضی از بازه رودخانه، مجموع طول موثر آبشکن‌ها در دو سمت رودخانه حداکثر باید معادل ۳۰٪ عرض رودخانه در وضعیت طبیعی و موجود آن باشد.

$$B_2 \leq 0 \cdot 3B_1 \qquad B_2 \geq 0.7B_1 \qquad (۱-۶)$$

که B_1 و B_2 به‌ترتیب عرض بازه رودخانه در قبل و بعد از اصلاح مسیر است.



شکل ۶-۵- نمایش ابعاد طولی و زوایا در انواع آبشکن‌ها [۴۵ و ۶۰]

در انتخاب طول موثر آبشکن در رودخانه‌های کوچک، حداقل عرض ۱۰ متر رودخانه باید تامین شده و یا عرض رودخانه نباید از دو سوم موجود آن کم‌تر گردد [۶۲]. همچنین، دامنه تغییرات طول موثر آبشکن از حداقل مرز سطح جریان متوسط در کناره رودخانه تا حداکثر یک چهارم عرض متوسط سطح آب توصیه شده است [۱۵۰].

طول کم آبشکن‌ها نیازمند فاصله کم‌تر بین آبشکن‌ها است. از دیدگاه حفاظت دیواره‌های رودخانه، آبشکن‌های با طول کم‌تر از ۳۰ متر موثر نیستند [۵۶ و ۱۰۲]. آبشکن‌های کوتاه‌تر نیاز به فاصله کم‌تر بین آبشکن‌ها دارند و نه تنها در پدیده رسوب‌گذاری در کناره‌های رودخانه موثر نبوده، بلکه در مقایسه با روش‌های حفاظت مستقیم و پیوسته دیواره‌های رودخانه اقتصادی‌تر نیز نمی‌باشند [۶۲]. آبشکن‌های بلند نیز ممکن است علاوه بر آبشستگی زیاد، حمله جریان را متوجه دیواره‌های ساحل مقابل نماید. همچنین، آبشکن‌های بلندتر منجر به انتخاب فاصله بیش‌تر بین آبشکن‌ها شده، که ممکن است سبب بازگشت حمله جریان به کناره‌ها شده و با فرسایش دیواره‌ها و یا تخریب آبشکن پایین‌دست، روند ناخواسته مارپیچی شدن را در حدفاصل آبشکن‌ها توسعه بخشد [۵۶ و ۱۰۲].

از نظر قابلیت رودخانه برای کشتیرانی، حداقل طول موثر آبشکن (b) از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$b \geq Z\sqrt{1+\cot^2\phi} \qquad (۲-۶)$$

که در این رابطه:

Z: حداکثر عمق آبشستگی موضعی و ϕ زاویه قرار مواد بستری است.

برای استقرار مواضع تثبیت در کناره‌های رودخانه و اصلاح نامنظمی‌های جزیی در راستای دیواره، از آبشکن‌های کوتاه استفاده می‌گردد. در این حالت، کوتاهی آبشکن مانع از توسعه رسوب‌گذاری در کناره‌ها بوده، ولی سبب بهبود راستای جریان در مجرای اصلی می‌گردد [۱۱۰].

برای حفاظت از تنوع زیستی، طول آبشکن تا حدود ۳۰٪ عرض رودخانه مناسب است. همچنین، از آبشکن‌های کوتاه جهت توسعه حوضچه گردابی جریان در پیرامون دماغه آنها (ناحیه آبشستگی) استفاده می‌گردد. به‌هرحال، حداقل عرض ۱۰ متر رودخانه باید تامین گردد. در این‌حالت، عمق و تلاطم جریان، شرایط مناسب جهت هوادهی آب و احیای محیط زیست آبزیان در رودخانه را فراهم می‌سازد [۶۲].

فاصله آبشکن‌ها

طول تاثیر آبشکن‌ها و یا فاصله بین آبشکن‌ها بستگی به اهداف ساماندهی، عرض بازه رودخانه، راستای رودخانه (مستقیم یا پیچ)، شدت انحنای پیچ رودخانه (نسبت انحنای نسبی)، سمت ساحلی پیچ رودخانه (پیچ خارجی یا داخلی)، طول موثر آبشکن‌ها، نوع آبشکن، شکل ظاهری آبشکن در پلان و شکل مقطع عرضی آبشکن دارد [۳۷ و ۶۲].

طول تاثیر یک آبشکن در حفاظت دیواره رودخانه، حداکثر معادل «طول ناحیه جدایی جریان» در شکل‌های (۳-۱۵) و (۳-۱۶) است. این طول بستگی کمی به زاویه امتداد آبشکن (θ)، ولی بستگی زیادی به انحنای نسبی رودخانه (R/B) و شکل مقطع عرضی آبشکن دارد [۳۷]. گارد و چاندرا (۱۹۶۹) نشان دادند که نسبت طول دیواره حفاظت شده به طول موثر آبشکن، در بازه‌های مستقیم و یا با انحنای نسبی زیاد در حدود ۵ مناسب بوده و در دیواره خارجی پیچ‌های تند حدود ۱ تا ۲ مناسب است. ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۵) این نسبت را در بازه نسبتا مستقیم بین ۷ تا ۱۱ گزارش نموده‌اند [۳۷]. مطالعات یاسی (۱۹۹۷) نشان داد که در بازه مستقیم، طول حفره آبشستگی دماغه آبشکن در جهت جریان در حدود ۳ برابر طول موثر آبشکن، و طول توسعه بار رسوبی برای حفاظت کناره رودخانه در پایین‌دست حداقل ۱۰ برابر طول موثر آبشکن است. به‌طورکلی، حداقل فاصله بین آبشکن‌ها معادل طول حفره آبشستگی دماغه آبشکن در جهت جریان، و حداکثر فاصله بین آبشکن‌ها معادل طول ناحیه جدایی جریان، در جریان‌های مختلف است [۱۴۷].

فاصله بین آبشکن‌ها (S) عموما به‌صورت ضریبی از طول موثر آبشکن (b)، یا به‌صورت نسبت فاصله به طول آبشکن (S/b) بیان می‌شود. محققین مختلف براساس نتایج تجربی نسبت فاصله به طول آبشکن (S/b) را متفاوت پیشنهاد نموده‌اند، که در جدول (۶-۲) به‌صورت خلاصه ارائه شده است [۱۴۷].

ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۵) نسبت S/b را حداقل (۳ تا ۴) و حد اکثر (۱۰ تا ۱۲) گزارش نموده است. چارلتون (۱۹۸۲) نسبت S/b را برای بازه‌های نسبتا مستقیم حداکثر (۴ یا ۴/۵) پیشنهاد نموده، که برای دیواره‌های داخلی پیچ بیش‌تر و برای دیواره‌های خارجی کم‌تر خواهد بود. کینوری و موواراش (۱۹۸۴) نسبت S/b را برای حفاظت دیواره‌ها در محدوده (۱ تا ۵)، یا (۱ تا ۲) برابر عرض رودخانه توصیه نموده است. پترسن (۱۹۸۶) نسبت S/b را برای حفاظت دیواره‌ها در محدوده (۲ تا ۶)، و برای کشتیرانی در محدوده (۱/۵ تا ۲) پیشنهاد نموده است [۳۷]. برای انحراف جریان رودخانه به‌سمت آبگیر (در مسیر مستقیم و یا در محدوده پیچ خارجی)، توصیه شده که آبشکن در ساحل مقابل آبگیر و به فاصله‌ای برابر عرض رودخانه در بالادست آبگیر قرار گیرد [۴۵].

جدول ۶-۲- نسبت فاصله بین دو آبشکن متوالی

(S) به طول موثر آبشکن‌ها (b) و به عرض بازه اصلاح شده (B_2) در منابع مختلف [۴۵ و ۱۰۴].

مرجع	نسبت (S/b)	نسبت (S/B2)	ملاحظات
گرانت (۱۹۴۸)	۳		پیچ خارجی
احمد (۱۹۵۱)	۴/۳ ۵		بازه مستقیم بازه منحنی
سازمان ملل (۱۹۵۳)	۱ ۲-۲/۵		پیچ خارجی پیچ داخلی
ماتس (۱۹۵۶)	۱/۵		–
مامک (۱۹۵۶)	۲-۳	۱	–
استورم (۱۹۶۲)	۳-۵		–
آلتونین (۱۹۶۲)	۴ ۳ ۲		بازه مستقیم، $\theta>45^\circ$ بازه مستقیم، $0.005\leq S\leq 0.01$ بازه مستقیم، $S>0.01$
ماکورا (۱۹۶۶)		۰/۵ ۱/۲۵ ۱-۰/۷۵	پیچ خارجی پیچ داخلی بازه مستقیم
اکسن (۱۹۶۸)	۳-۴		بستگی به انحنا و شیب
جاکلیکار (۱۹۷۱)	۲-۲/۵		آبشکن‌های بالادست
کمیته آبیاری هند (۱۹۷۱)	۲-۲/۵		–
نیل (۱۹۷۳)	۴		–
ریچاردسن و همکاران (۱۹۷۵)	۶-۲ ۴-۳ ۲-۱/۵		برای حفاظت دیواره‌ها برای کشتیرانی با آبشکن T شکل برای کشتیرانی با مجرای اصلی عمیق
بلنچ و همکاران (۱۹۷۶)	۳/۵		–
جنسن و همکاران (۱۹۷۹)		۲-۱ ۱-۰/۵	بازه با کاهش عرض زیاد
مامن و اگراول (۱۹۷۹)	۵		آبشکن مستغرق (با ارتفاع یک سوم عمق آب)
مهندسی ارتش آمریکا، واحد لس آنجلس (۱۹۸۰)	۲ ۱/۵ ۲/۵		۱
چارلتون (۱۹۸۲)	۴/۵-۴ <۴ >۴/۵		بازه مستقیم پیچ خارجی پیچ داخلی
کوپلند (۱۹۸۳)	۳-۲		پیچ خارجی
کواکس و همکاران (۱۹۸۳)	۲-۱		رودخانه دانوب
کینوری و موراش (۱۹۸۴)	۵-۱		برای حفاظت دیواره‌ها
مهندسی ارتش آمریکا، واحد می‌سی‌سی‌پی (۱۹۸۴)	۲		رودخانه می‌سی‌سی‌پی
پترسن (۱۹۸۶)	۶-۲ ۲-۱/۵		برای حفاظت دیواره‌ها برای کشتیرانی
سوزوکی و همکاران (۱۹۸۷)	<۴		بازه مستقیم
مازا الواراز (۱۹۸۹)	۶/۳-۵/۱ ۴-۲/۵		حفاظت دیواره‌ها در بازه مستقیم، تاج شیب‌دار حفاظت دیواره‌ها در بازه منحنی، تاج شیب‌دار
آکانتیز و همکاران (۱۹۸۹)		۱-۰/۹ ۱/۱ ۱/۱-۰/۹	$\theta= 45^\circ$ -50° و R/B= 8-13.5 $\theta= 55^\circ$ و R/B= 8 $\theta= 55^\circ$ و R/B= 13.5
مرکز احیای رودخانه، انگلستان (۱۹۹۷)	۴		بازه منحنی رودخانه اوان- انگلستان
یوسف (۲۰۰۲)	۴		بازه نسبتا مستقیم رودخانه وال- هلند
یاسی (۱۳۶۷)	۶		بازه نسبتا مستقیم شریانی، رودخانه فهلیان- فارس
عباسی و همکاران (۱۳۷۵)	۳ ۴		حفاظت دیواره‌ها- بازه مستقیم، آبشکن L شکل حفاظت دیواره‌ها- بازه مستقیم، آبشکن T شکل
یاسی (۱۳۸۴)	۵/۲		بازه منحنی- بستر درشت‌دانه

S: شیب طولی بازه، R: شعاع انحنای مرکزی پیچ، B: عرض سطح آب، θ: زاویه تمایل آبشکن.

فرانکو (۱۹۶۷) معادله زیر را برای محاسبه حداکثر فاصله بین آبشکن‌ها (جهت توزیع مناسب رسوبات در میدان دو آبشکن متوالی) ارائه نموده است [۳۷].

$$S_{max} = K\frac{d^{\frac{4}{3}}}{2gn^2} \qquad (۳-۶)$$

که در این رابطه:

S_{max}: حداکثر فاصله بین آبشکن‌ها (متر)، d: عمق متوسط آب (متر)، g: شتاب ثقل، n: ضریب زبری مانینگ و k ضریب ثابت کوچک‌تر از یک، که برای شرایط گردابی شدید (K= 0.6) است.

عباسی و همکاران (۱۳۷۵) نسبت S/b را برای حفاظت دیواره‌ها در بازه مستقیم با آبشکن‌های L شکل و T شکل، به‌ترتیب معادل ۳ و ۴ توصیه نموده‌اند [۲۴].

فاصله بین دو آبشکن متوالی (S_i)، از حاصلضرب «متوسط طول موثر دو آبشکن متوالی i و i+1 ام» و «نسبت فاصله به طول آبشکن (S/b)» به‌دست می‌آید (i شماره از پایین‌دست می‌باشد) [۳۷].

$$S_i = \left[\frac{1}{2}(b_i + b_{i+1})\right](S/b) \qquad (۴-۶)$$

اثبات رابطه

- جریا ن پس از برخورد به دیواره اپی سرعت ان به صفر و انرژی جنبشی به پتانسیل و یا افزایش سطح آب تبدیل می شود. مقدار افزایش برابر است با:

$$\Delta h = V^2 / 2g$$

- اختلاف فشار ناشی از تغییر ناگهانی انرژی جنبشی باعث بوجود آمدن جریانی بر خلاف جهت جریان در محدوده بین اپی ها می شود. این جریان مطابق رابطه مانینگ به سمت بالادست حرکت می کند:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \Rightarrow S_f = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}}$$

- برای اینکه جریان تا انتهای اپی قبلی برسد، باید انرژی اولیه آن که ناشی از اختلاف تراز سطح آب است برابر افت انرژی مسیر جریان باسد:

$$S_f = \Delta h / S = \frac{V^2 / 2g}{S}$$

- که با قرار دادن روابط مورد نظر:

$$\frac{V^2 / 2g}{S} = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}} \Rightarrow S = \frac{R^{4/3}}{2gn^2}$$

- بدین ترتیب از نظر تئوری فاصله بین اپی ها S باید حداکثر برابر :

$$S = \frac{d^{4/3}}{2gn^2}$$

- در این رابطه d عمق جریان و n ضریب مانینگ ولی در عمل از رابطه زیر استفاده می شود:
-

$$S = K\frac{d^{4/3}}{2gn^2}$$

- که K ضریب کمتر از یک است. مقدار ۰.۶ توسط محققین از جمله تجربیات ایران در رودخانه قزل اوزن مقدار محافظه کارانه ای است و توصیه می شود.

۶-۲-۵- آرایش آبشکن‌ها

موقعیت استقرار اولین آبشکن براساس الگوی اصلاح مسیر در بازه مورد نظر، و با توجه به پایداری طبیعی راستا و دیواره رودخانه در محدوده بالادست انتخاب می‌گردد. ناپایداری رودخانه و احتمال حمله جریان و تخریب دیواره در بالادست منجر به آسیب دیدگی ریشه و بدنه اولین آبشکن و در نتیجه تخریب متوالی آبشکن‌های پایین‌دست خواهد شد. فاصله اولین آبشکن از ابتدای بازه فرسایشی مورد نظر نباید از یک سوم طول موثر آبشکن بیش‌تر باشد [۱۴۷].

از نظر قدرت انحراف جریان و شدت رسوب‌گذاری در پایین‌دست و تثبیت شرایط بالادست برای آبشکن‌های متوالی، آبشکن‌های دافع با زاویه تمایل ($\theta=100^{\circ}$-120°) بهتر هستند. ولی به‌دلیل آسیب‌پذیری بیش‌تر از نظر اتصال و قفل‌شدگی بدنه به دیواره، پایداری بدنه و حفاظت در برابر آبشستگی باید مقاوم‌تر از دیگر آبشکن‌ها ساخته شود.

آخرین آبشکن باید در موقعیتی قرار گیرد که فاصله آن تا محدوده پایدار راستا و دیواره پایین‌دست بازه از ۱۰ برابر طول موثر آبشکن بیش‌تر نباشد [۱۴۷]. در غیر این‌صورت، جریان چرخشی در دیواره پایین‌دست رودخانه به‌تدریج به بالادست توسعه یافته و سرانجام به ریشه آخرین آبشکن رسیده و شرایط برای تخریب متوالی آبشکن‌ها در جهت بالادست فراهم می‌گردد.

امتداد بدنه آبشکن‌ها نسبت به راستای بازه، و طول و فاصله بین آبشکن‌ها براساس ضوابط ارائه شده در بخش‌های قبلی انتخاب می‌گردد. اگر آبشکن‌ها در دو سمت رودخانه ساخته شوند، دماغه آنها تا حد امکان باید در مقابل یکدیگر قرار گیرد. در غیر این‌صورت، جریان اصلی به‌صورت زیگزاگی در حد فاصل آبشکن‌های طرفین تاب خورده و سبب شستشوی رسوبات در میدان آبشکن‌ها خواهد گردید [۶۲]. نمونه‌های آرایش و استقرار آبشکن‌های در شکل‌های (۶-۲) و (۶-۵) نشان داده شده است.

از نظر اجرایی، ابتدا اولین آبشکن و سپس آبشکن‌های دیگر به‌ترتیب از بالادست به پایین‌دست ساخته می‌شوند. اگر آبشکن‌ها در دو سمت رودخانه طرح گردیده، ساخت آبشکن‌ها به‌طور همگام از بالا به پایین‌دست و در دو سمت انجام می‌گیرد.

۶-۲-۶- تراز تاج آبشکن

آبشکن‌ها بستگی به اهداف و شرایط رودخانه ممکن است مستغرق یا غیرمستغرق طرح گردند. به‌هرحال، هر آبشکن برای یک بده طراحی معین به‌صورت غیرمستغرق عمل می‌کند. به‌طورکلی، تراز تاج آبشکن (H_G) از رابطه زیر تعیین می‌شود [۳۷ و ۷۸].

$$H_G = h_d + h_b + h_w + F.B. \quad (۸-۶)$$

که در این رابطه:

h_d: ارتفاع متوسط سطح آب در بده سیلاب طراحی در هندسه هیدرولیکی بازه اصلاح شده، h_b: افزایش ارتفاع سطح آب در دیواره خارجی پیچ، h_w: ارتفاع موج ناشی از باد و یا کشتیرانی و F.B. ارتفاع آزاد است.

رابطه تقریبی زیر نیز برای محاسبه ارتفاع آبشکن از سطح متوسط بستر رودخانه در حد فاصل دو آبشکن متوالی (H) بر حسب متر ارائه شده است [۲۷].

$$H = 0.019\frac{S^{0.6}}{S_o^{0.3}} + 1 \quad (۹-۶)$$

که در این رابطه:

S_o: شیب متوسط بازه رودخانه بر حسب درصد و S فاصله بین دو آبشکن بر حسب متر است.

برای حفاظت از دیواره، تراز تاج آبشکن باید حداقل تا ارتفاع دیواره بالای رودخانه ساخته شود. در رودخانه‌های با مشکل یخزدگی سطح آب و با جریان یخ‌های شناور، ارتفاع تاج باید بالاتر از سطح احتمالی یخ باشد [۱۵۰].

وقتی سری آبشکن‌های متوالی استفاده می‌شود بهتر است ارتفاع تاج آنها یکسان و یا در جهت پایین‌دست به تدریج کاهش یابد [۴۸]. کاهش ارتفاع تاج آبشکن‌ها در طول رودخانه می‌تواند از نیمرخ سطح آب پیروی کند [۱۰۲].

نتایج تجربی نشان داده است که، کاهش پلکانی ارتفاع تاج آبشکن‌ها در جهت پایین‌دست سبب هدایت بار رسوبی کف به‌سمت میدان آبشکن‌ها و افزایش رسوب‌گذاری در کناره‌های رودخانه گردیده و تاثیر ریخت‌شناسی حضور آبشکن‌ها را به‌تدریج در جهت پایین‌دست کاهش می‌دهد. بر عکس، افزایش پلکانی ارتفاع تاج آبشکن‌ها در جهت پایین‌دست سبب انحراف جریان سطحی به میانه رودخانه و کاهش ورود رسوبات به حدفاصل بین آبشکن‌ها شده، بنابراین توصیه نمی‌گردد [۷۵].

۶-۲-۶-۱- بده سیل طراحی

انتخاب بده سیل طراحی بستگی به نوع رودخانه، موقعیت منطقه‌ای (شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، کشاورزی،...) و نیز اهمیت اراضی و تاسیسات مورد تهاجم داشته و در طرح نهایی تابعی از تحلیل اقتصادی است [۱۲۸]. این بده ممکن است معادل سیل با دوره برگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و.... ساله باشد. برای حفاظت اراضی کشاورزی عموما سیل ۱۵ تا ۲۰ ساله و در مناطق خشک سیل ۲۰ تا ۳۰ ساله، برای حفاظت مناطق مسکونی روستایی سیل ۱۰۰ تا ۲۰۰ ساله و برای مراکز شهری و صنعتی سیل ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ ساله پیشنهاد شده است [۳۷]. در کشور ایران، معیار تعیین بستر و حریم قانونی رودخانه‌ها سیل حداکثر لحظه‌ای ۲۵ ساله می‌باشد [۶]. ولی سیل طرح لزوما از این قاعده پیروی نمی‌کند. به‌طورکلی انتخاب حداکثر سیل ۲۵ تا ۱۰۰ ساله می‌تواند مدنظر قرار گیرد [۱۰]. توصیه می‌شود که اگر به‌طور مثال سیل ۵۰ ساله سیل طرح باشد، برای کنترل ایمنی طرح از یک سیل بزرگ‌تر (مثلا ۱۰۰ ساله) نیز استفاده گردد [۴۵].

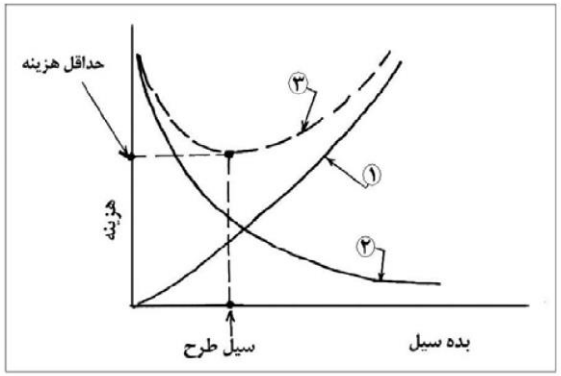
در رودخانه‌های با مواد بستری ماسه‌ای، مقطع اصلی رودخانه ظرفیتی نزدیک به بده سیل متوسط (بده مقطع پرعموما معادل سیل با دور برگشت ۱/۴ تا ۲/۳۳ ساله) دارد. ولی مقطع کبیر و سیلابی آنها در محدوده سیلابدشت گسترش داشته و به‌طور غیرمتناوب درمعرض سیلاب قرار می‌گیرد. در این نوع رودخانه‌ها، حفاظت و تثبیت رودخانه در دو سطح صورت می‌پذیرد. حفاظت مجرای اصلی و مارپیچی رودخانه در برابر تخریب‌های متناوب و دایمی براساس بده مقطع پر و حفاظت دشت ساحلی رودخانه از خطر پیشروی سیلاب براساس سیل حداکثر مورد نظر است [۷۹]. بنابراین، در مواقع سیلاب‌های بزرگ‌تر، آبشکن‌های مجرای اصلی لزوما مستغرق خواهند بود.

در رودخانه‌های کوهستانی یا نیمه کوهستانی، و در رودخانه‌های شریانی با مواد بستری درشت‌دانه، تفکیک میان مقطع اصلی با مقطع سیلابی عموما امکان‌پذیر نیست. ازاین‌رو، طرح آبشکن‌ها در رودخانه‌های شریانی و یا بستر درشت‌دانه (شنی و قلوه‌سنگی) عموما به‌صورت غیرمستغرق و براساس بده سیل حداکثر طراحی خواهد بود. [۱۰۷، ۱۱۵ و ۱۴۴].

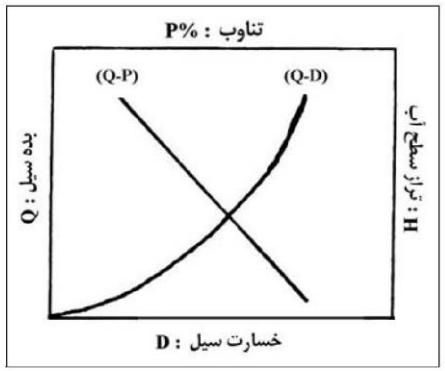
در مناطق نیمه خشک و برای رودخانه‌های فصلی یا رودخانه‌هایی که تغییرپذیری رژیم جریان سیلابی در آنها شدید است، حساسیت زیاد به تغییرات سبب می‌شود تا بده طراحی حداکثر معیار مطمئن‌تری باشد [۷۸ و ۱۱۸].

در ساماندهی رودخانه برای تامین قابلیت کشتیرانی، شدت جریان متوسط سالانه مورد نظر قرار می‌گیرد. ازاین‌رو در مواقع پرآبی و سیلابی، آبشکن‌ها لزوما مستغرق خواهند بود [۱۰۲].

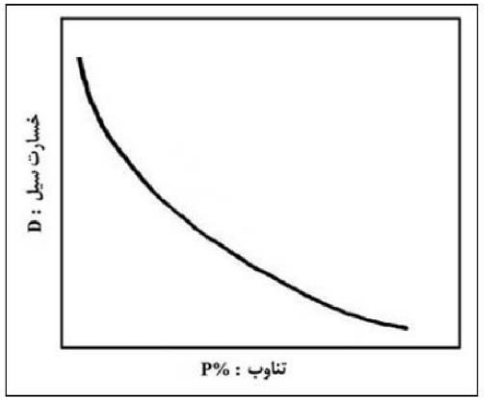
روش ساده بهینه‌سازی انتخاب سیلاب طراحی در شکل (۶-۱۰) نشان داده شده است [۱۲۸]. در این شکل، منحنی شماره ۱ هزینه معادل سالانه طرح برای حفاظت از هر سیل معین، منحنی شماره ۲ متوسط خسارات سالانه ناشی از هر سیل معین و منحنی شماره ۳ مجموع دو منحنی ۱ و ۲ است. نقطه حداقل بر روی منحنی شماره ۳ بیانگر گزینش سیل طراحی براساس حداقل هزینه متوسط سالانه طرح ساماندهی است. شکل (۶-۱۱) رابطه بده سیلاب یا ارتفاع سطح آب نظیر آن را با میزان خسارات حاصله نشان می‌دهد. از ترکیب رابطه (بده سیل- خسارت) با منحنی تناوب سیلاب (رابطه بده سیل- تناوب یا دوره برگشت سیل)، رابطه (خسارت- تناوب) مطابق شکل (۶-۱۲) به‌دست می‌آید. متوسط خسارات سالانه از سطح زیر منحنی شکل (۶-۱۲) قابل محاسبه است. با اجرای طرح ساماندهی، خسارات سالانه معادل منافع سالانه طرح محسوب می‌گردد. هزینه سالانه طرح نیز از ارزیابی اقتصادی هزینه طرح (برای هر گزینه پیشنهادی ساماندهی) در طول عمر مفید طرح محاسبه می‌گردد. ازاین‌رو با توجه به نسبت هزینه به خسارات سالانه حداقل، گزینه برتر اقتصادی و نیز سیلاب طراحی نظیر آن به‌دست خواهد آمد [۳۷].



شکل ۶-۱۰- بهینه‌سازی انتخاب سیلاب طراحی در ساماندهی رودخانه [۳۷]



شکل ۶-۱۱- رابطه بده سیلاب یا ارتفاع سطح آب نظیر آن با میزان خسارات حاصل شده [۳۷]



شکل ۶-۱۲- رابطه خسارت سیلاب با تناوب یا دوره برگشت سیل [۳۷]

مهدی قمشی- جزوه درسی مهندسی رودخانه

۶-۲-۶-۲- تراز سطح آب

تراز متوسط سطح آب در بده سیل طراحی (h_d) در رابطه (۶-۱) از محاسبه نیمرخ سطح آب در بازه اصلاح شده رودخانه مورد نظر به‌دست می‌آید. این ارتفاع مستقیما از نتایج مدل‌های یک بعدی (نظیر مدل HEC-RAS یا BRI-STARS) در هر مقطع عرضی به‌دست آمده و یا از متوسط عرضی ارتفاع سطح آب در شبکه عددی نتایج خروجی مدل‌های دو یا سه بعدی در هر مقطع عرضی محاسبه می‌گردد.

- **افزایش سطح آب در پیچ خارجی**

افزایش ارتفاع سطح آب در دیواره خارجی پیچ (h_b) در رابطه (۶-۱۰) نسبت به سطح متوسط آب در مقطع پیچ (h_d) از رابطه ساده زیر قابل محاسبه می‌باشد [۳۷].

$$h_b = \frac{V^2 B}{2 g r_c} \qquad (۶-۱۰)$$

که در این رابطه:

V: سرعت متوسط جریان در مقطع پیچ، B: عرض سطح آب، g: شتاب ثقل و r_c شعاع انحنای محور مرکزی پیچ است. با کاربرد مدل‌های ریاضی دو یا سه بعدی، ارتفاع سطح آب در دیواره خارجی پیچ (مجموعه $h_d + h_b$) مستقیما محاسبه می‌گردد.

- **ارتفاع موج**

ارتفاع موج ناشی از حرکت قایق‌ها و یا باد (h_W) از جدول (۶-۳)، و یا از رابطه (۶-۱۱) قابل محاسبه است [۱۱۰].

$$h_W = 1.3\left[0.00354\left(\frac{U_{10}^2}{g}\right)^{0.58} F^{0.42}\right] \qquad (۶-۱۱)$$

که در این رابطه:

h_W : ارتفاع موج قابل توجه، U_{10}: سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح متوسط آب، g: شتاب ثقل، F: طول مشخصه وزش موج باد (به‌طور متوسط معادل F= 2.5B) و B عرض سطح آب است. حداکثر ارتفاع موج ۳۰ درصد بیش‌تر از مقدار جدول (۶-۳) یا رابطه (۶-۱۱) است ($h_{max}=1.3\, h_W$).

جدول ۶-۳- ارتفاع موج (h_W) ناشی از کشتیرانی و یا باد [۱۱۰]

ارتفاع موج (h_W متر)	سرعت متوسط (V متر بر ثانیه)	شرایط تلاطم جریان
≤۰/۱۵	≤۱	کم
≤۰/۵	۱/۰ – ۲/۵	متوسط
≤۱	۲/۵ – ۴/۰	زیاد
≤۱	۴ - ۷	شدید

۶-۲-۶-۳- ارتفاع آزاد

ارتفاع آزاد (F.B.) برای تامین ارتفاع لازم جهت نوسانات سطح آب، امواج ناشی از سیلاب و اطمینان از عبور سیلاب‌های بزرگ‌تر از سیل طراحی منظور می‌گردد. تاثیرات موج ناشی از باد و یا کشتیرانی (h_W) نیز در ارتفاع آزاد منظور می‌گردد. به‌طور کلی، ارتفاع آزاد تابع اندازه رودخانه، بده سیلاب و شدت تغییرات سیلاب در رودخانه، شدت و دوام موج، اهمیت اراضی ساحلی و قضاوت مهندسی است. حداقل ارتفاع آزاد معادل ۰/۳ متر، برای حفاظت اراضی کشاورزی ۰/۵ متر و برای حفاظت مناطق مسکونی، شهری، صنعتی و مواضع مهم حدود ۱/۰ متر پیشنهاد شده است [۳۷ و ۴۵].

در رودخانه‌های نیمه کوهستانی با بستر درشت‌دانه و یا شریانی، ارتفاع آزاد از سطح آب سیلاب طرح تا تراز مقطع پر (در مقطع اصلی و سیلابی) در نظر گرفته می‌شود. در رودخانه‌های مارپیچی و سیلابدشتی با بستر ماسه‌ای، ارتفاع آزاد در مقطع اصلی حداقل ۰/۳ متر یا تا بالای تراز دیواره و در مقطع سیلابدشتی و برای دیواره خاکریز ساحلی از ۰/۳ تا ۰/۶ متر پیشنهاد شده است [۳۷ و ۴۵].

۶-۲-۶-۴- تراز آبشکن‌های مستغرق

در رودخانه‌های مارپیچی و سیلابدشتی، برای حفاظت دیواره‌ها در مجرای اصلی معمولا از آبشکن‌های نفوذناپذیر با ارتفاع تاج در حد تراز دیواره بالای رودخانه اصلی استفاده می‌گردد. به‌هرحال این آبشکن‌ها در مواقع سیلاب‌های بزرگ‌تر و با گسترش جریان در دشت سیلابی رودخانه، لزوما مستغرق خواهند شد. در این‌حالت، ارتفاع تاج آبشکن معادل تراز بالای دیواره مقطع اصلی یا حدود ۰/۳ متر پایین تر قرار می‌گیرد.

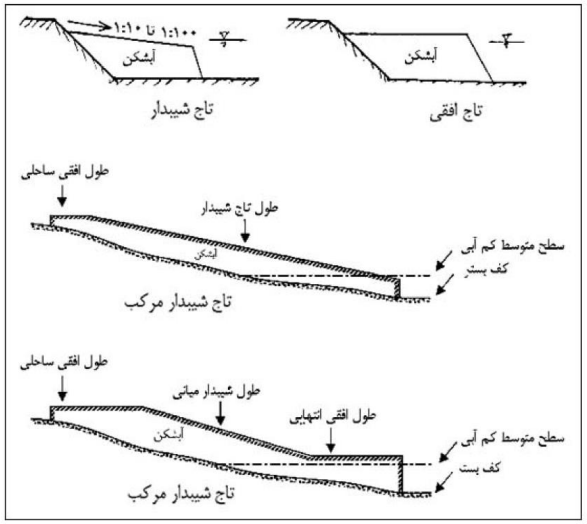
در شرایطی که در مقطع اصلی رودخانه طرح آبشکن به‌صورت مستغرق مورد نظر باشد (شکل ۳-۶)، ارتفاع تاج آبشکن حدود یک سوم عمق جریان مورد نظر (یا یک سوم عمق مقطع پر رودخانه) پیشنهاد گردیده است [۱۳۸].

۶-۲-۷- مقطع آبشکن

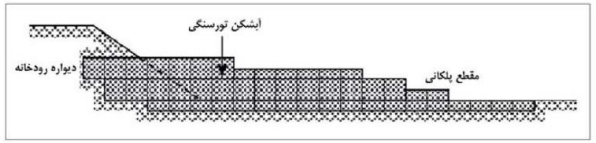
۶-۲-۷-۱- آبشکن‌ها در مقطع طولی

در مقطع طولی، تاج آبشکن ممکن است از دیواره به سمت محور رودخانه به‌صورت افقی و یا شیب‌دار باشد (شکل ۳-۱۳). در حالت شیب‌دار، سطح موثر جریان در بده‌های زیادتر بیش‌تر بوده و سرعت متوسط و توان جریان کم‌تر می‌شود [۱۰۷]. تاج شیب‌دار برای انواع آبشکن‌های عمودی یا دافع مناسب‌تر است. در رودخانه‌های با قابلیت کشتیرانی و یا در رودخانه‌هایی که تغییرات بده و سطح آب کم است، آبشکن‌های با تاج افقی از نوع عمودی یا جاذب مناسب هستند [۶۲ و ۱۵۰]. وقتی تغییرات جریان خیلی زیاد باشد، تاج شیب‌دار از نظر ظرفیت انتقال جریان مناسب‌تر بوده اما تاثیر آن در حفاظت دیواره‌ها نیز کم‌تر می‌شود. به‌هرحال برای حفاظت دیواره‌ها، تاج شیب‌دار توصیه شده است [۱۵۰]. در این‌صورت، شیب طولی تاج آبشکن‌ها در محدوده (4H:1V تا 10H:1V) پیشنهاد شده است [۹۲]، ولی ممکن است با شیب ملایم‌تر در محدوده (10H:1V تا 100H:1V) نیز ساخته شود [۶۲]. نیمرخ طولی تاج آبشکن ممکن است به‌صورت ترکیبی از سطوح افقی و شیب‌دار ساخته شود (شکل ۳-۱۲).

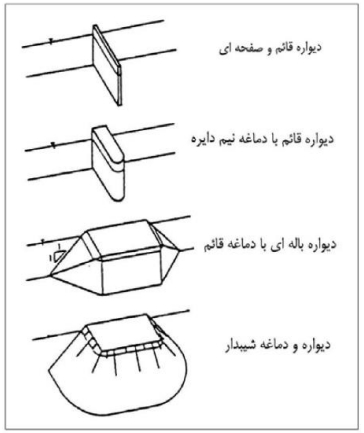
تاج آبشکن‌های تورسنگی نوع جعبه‌ای، ممکن است به‌صورت پلکانی احداث شود (شکل ۳-۱۳). این نوع نیمرخ تاج برای رودخانه‌های عریض و شریانی مناسب بوده و باعث تمرکز رشته‌های جریان کم آبی به‌سمت محور رودخانه شده، رابطه شدت جریان با عرض مجرا را تامین نموده و از نظر حجم مصالح و روش اجرایی نیز اقتصادی‌تر می‌باشد.



شکل ۳-۱۲- انواع شکل مقطع طولی و تاج آبشکن- افقی و یا شیب‌دار [۳۷، ۶۲ و ۱۰۴]



شکل ۳-۱۳- شکل پلکانی مقطع طولی آبشکن- نوع تورسنگی [۸۹]



شکل ۳-۱۴- برخی از انواع شکل آبشکن‌ها در مقطع عرضی [۹۳]

۶-۲-۷-۲- آبشکن‌ها در مقطع عرضی

مقطع عرضی آبشکن ممکن است به شکل‌های هندسی مختلف مانند عرض (صفحه‌ای یا سپری)، دیواره قائم عریض (مستطیلی)، پلکانی یا ذوزنقه‌ای باشد. برخی از انواع مقطع عرضی آبشکن‌ها قبلا در شکل (۳-۱۴) نشان داده شده است. شکل‌های (۶-۱۳) تا (۶-۱۵) تصاویر واقعی‌تری از شکل مقطع عرضی آبشکن‌ها را نمایش می‌دهد.

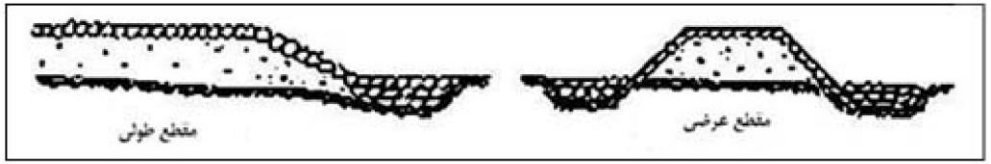
شکل عرضی آبشکن تابعی از نوع مصالح و روش ساخت می‌باشد. به‌طور مثال، آبشکن‌های سپری (فلزی یا بتنی) با مقطع مستطیلی کم عرض، آبشکن‌های تورسنگی یا کیسه‌ای با مقطع پلکانی و آبشکن‌های سنگ‌ریزه‌ای با مقطع ذوزنقه‌ای ساخته می‌شوند.

به جهت سهولت ساختمانی و پایداری طبیعی، مقطع عرضی آبشکن عموما به شکل ذوزنقه‌ای ساخته می‌شود. عرض تاج آب شکن از ۱ تا ۶ متر متغیر بوده که با توجه به عرض کار ماشین‌آلات معمولا حداقل ۳ متر مناسب است [۳۷ و ۱۵۰].

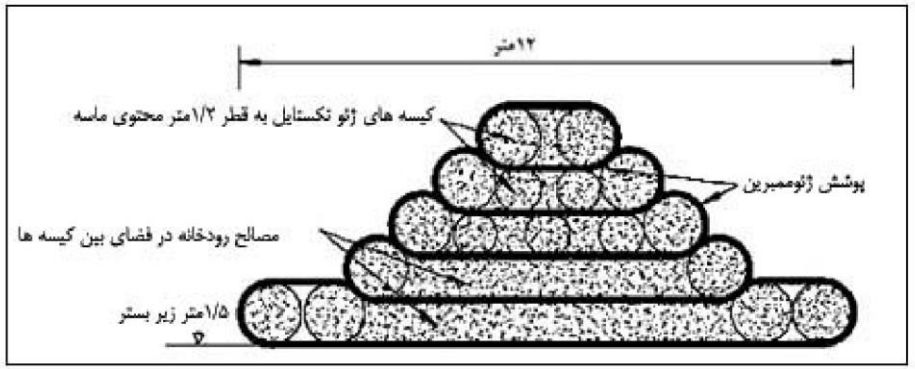
شیب جانبی آبشکن از (1.25H:1V تا 5H:1V) تا (5H:1V) ممکن است تغییر کند [۱۵۰]. ولی حداقل آن با توجه به تنوع مصالح و روش اجرا (1.5H:1V) و ترجیحا (2H:1V) توصیه شده است [۵۴ و ۱۰۷]. شیب جانبی آبشکن در وجه بالادست عموما در محدوده (2H:1V تا 3H:1V) و در وجه پایین‌دست کم‌تر و معادل (حداقل 2H:1V و ترجیحا 3H:1V تا4H:1V) پیشنهاد شده است. شیب دامنه آبشکن در زیر سطح آب (تا حد ارتفاع متوسط کم آبی) ممکن است که ملایم‌تر (حداقل2.5H:1V)، و در قسمت بالا تندتر (حداقل 1.5H:1V یا 2H:1V) باشد. همچنین در امتداد بدنه آبشکن و متناسب با سطح آب، ممکن است که شیب جانبی به‌سمت کناره رودخانه تندتر و به‌سمت دماغه آبشکن ملایم‌تر باشد [۲۲].

دماغه آبشکن اغلب در معرض حمله جریان اصلی رودخانه بوده و آسیب‌پذیر می‌باشد. پنجه آبشکن در معرض آبشستگی موضعی با قدرت گردابی زیاد قرار گرفته که عامل اصلی در تخریب دماغه آبشکن‌ها به‌شمار می‌رود. در محدوده دماغه آبشکن برای کاهش شدت آبشستگی موضعی، شیب دماغه ملایم‌تر (حداقل 2H:1V تا 4H:1V، و ترجیحا 4H:1V تا 10H:1V) و با گستره دایره‌ای در پیرامون آبشکن پیشنهاد گردیده است [۳۷ و ۶۲].

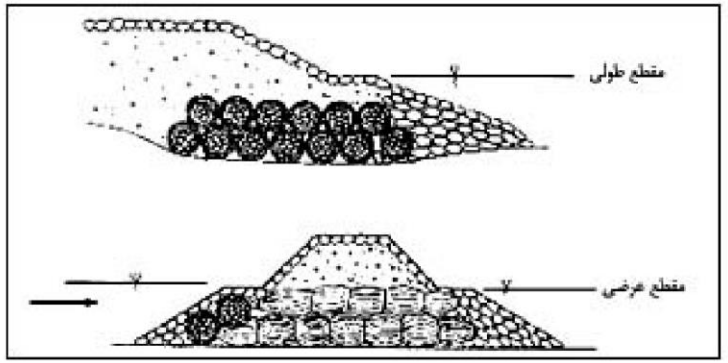
گاهی به‌منظور افزایش پایداری و سهولت اجرا از سکوبندی بر روی شیب دامنه آبشکن استفاده می‌گردد. احداث سکو[1] در شرایطی نظیر حد ارتفاع متوسط کم آبی، در سطح تغییر شیب بدنه آبشکن، در سطح انتقال از یک نوع روکش حفاظتی به نوع دیگر و در حد فاصل قسمت زیر آب و بالای آب، ممکن است ضروری تشخیص داده شود. برای نگهداری و یا بازسازی احتمالی آبشکن در رودخانه‌های بزرگ با جریان دایمی، احداث سکو در تراز سطح کم آبی تا متوسط در نظر گرفته می‌شود، به‌طوری‌که در طول چند ماه از سال خشک بوده و بتوان از گستره آن استفاده نمود. شکل (۶-۱۵) استقرار سکو را در مقطع عرضی و دماغه آبشکن نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱۳- مقطع طولی و عرضی آبشکن با مصالح رودخانه‌ای و روکش سنگ‌ریزه‌ای [۱۰۴]



شکل ۶-۱۴- شکل مقطع عرضی آبشکن با مصالح کیسه‌ای و شن و ماسه [۱۰۴]



شکل ۶-۱۵- مقطع طولی و عرضی آبشکن همراه با سکوبندی در تراز معین سطح آب [۱۰۴]

تثبیت بستر رودخانه ها
(Slope Stability)

نشریه شماره ۷۰۱

با توجه به اهمیت کف بندها و تثبیت کننده‌ها، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور نشریه شماره ۷۰۱ «ضوابط طراحی کف بندها و تثبیت کننده‌های بستر» را با هماهنگی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در سال ۱۳۹۵ تهیه و تنظیم کرد.

شکل ۱-۱- نمونه‌ای از کف‌بند توری سنگی در کنار دیواره سنگی [۱۳]

انواع سازه های تثبیت کننده بستر

1. کف بندها
2. آستانه
3. آبشار یا شیب شکن
4. سدهای اصلاحی
5. پوشش ها

کف‌بندها Sills

کف بندها، سازه‌هایی هستند در عرض بستر رودخانه، همانند یک بند اصلاحی با ارتفاع صفر از کف بستر ساخته می‌شوند. این سازه بستر آبراهه را از فرسایش حفاظت می‌کند. این سازه‌ها در حدود تراز کف طبیعی رودخانه جهت حفاظت بستر رودخانه، در مقابل تنش برشی جریان ساخته می‌شوند. در شرایطی که سرعت آب به دلیل شتاب ایجاد شده، بیش‌تر شود، این سازه از تماس آب با مواد بستر جلوگیری می‌کند. به طور کلی دو نوع کف بند افقی و شیبدار وجود دارد. از کف بندهای افقی در جایی که شیب بستر خیلی کم است، استفاده می‌شود. این در حالی است که کف بندهای شیب دار مخصوص بسترهای پرشیب هستند.

آستانه Sill

آستانه یکی دیگر از سازه‌های ثبیت کننده بستر است و به نحوی در عرض رودخانه ساخته می‌شود که تراز تاج آن با تراز بستر تقریباً یکسان یا بالاتر است. کف بستر در بالا دست و پایین دست سازه تقریباً یکسان است. این سازه با استفاده از مصالح سنگی، شمع کوبی یا سپری، بتنی، گابیون یا توری سنگی یا به صورت ترکیبی از آنها ساخته می‌شود.

آبشار یا شیب شکن

آبشارها سازه‌هایی هستند که با ارتفاع کم در عرض رودخانه ساخته می‌شوند. این سازه‌ها معمولاً به دو نوع با کف بند و آستانه انتهایی و دیگری با کف بند و بدون آستانه انتهایی تقسیم بندی می‌شوند .تعداد آنها به شیب رودخانه و ارتفاع سازه بستگی دارد. در شرایطی که از چند آبشار متوالی استفاده شود، ارتفاع آنها نسبت به حالت عادی کاهش می‌یابد. از آنجایی که این سازه‌ها را با استفاده از بتن، سنگ چین، توری سنگی، شمع‌ها ی چوبی و سپرهای فلزی می‌سازند، معمولاً عرض مجرا را پوشش می‌دهند.

برای شیب شکن‌های کوچک و کانال‌های با عرض کم، از مصالحی از جنس سنگ‌چین و شمع‌های چوبی استفاده می‌شود. توری سنگی‌ها و سازه‌های بتنی معمولاً برای شیب شکن‌های بزرگ با عرض جریان زیاد به کار می‌روند. این سازه‌ها به منظور کنترل پایین افتادگی بستر و تثبیت تراز بستر، در مجاری شیبدار استفاده می‌شوند. این سازه‌ها همچنین به عنوان استهلاک کننده انرژی نیز ساخته می‌شوند و از آب شستگی بستر در بالا دست خود جلوگیری می‌نمایند.

سدهای اصلاحی

سدهای اصلاحی یکی از روش‌های سازه‌ای برای کنترل فرسایش سطحی بستر رودخانه و تثبیت آن هستند. این سدها بر حسب نوع مصالح به کار گرفته شده به انواع مختلفی چون سدهای چپری، فلزی سبک، چوبی، خشکه چین، سنگ و سیمان و توری سنگی طبقه بندی می‌شوند.

پوشش‌ها

پوشش‌ها از جمله سازه‌هایی هستند که جهت حفاظت و تثبیت بستر و کناره رودخانه‌ها در مقابل فرسایش ناشی از جریان، بارش باران، موج و تراوش زه آب زیرزمینی ساخته می‌شوند. اصولاً پوشش‌ها برای حفاظت از هر سطحی که در معرض فرسایش رودخانه‌ای است (نظیر شیب کناره، بدنه سازه‌های رودخانه‌ای و سطوح کف)، کاربرد دارند.

به طور کلی پوشش‌ها به دو دسته نفوذپذیر و نفوذناپذیر تقسیم می‌شوند. در پوشش‌های نفوذپذیر دو لایه وجود دارد. لایه رویی که لایه سپر نام دارد و لایه زیرین که لایه فیلتر نامیده می‌شود. این در حالی است که در پوشش‌های نفوذناپذیر، معمولاً نیازی به لایه فیلتر نیست.

کاربرد کف بندها و تثبیت کننده‌های بستر در طرح‌های ساماندهی رودخانه

کف بندها، سازه‌هایی هستند در عرض بستر رودخانه، همانند یک بند اصلاحی با ارتفاع صفر از کف بستر ساخته می‌شوند. این سازه بستر آبراهه را از فرسایش حفاظت می‌کند. این سازه‌ها در حدود تراز کف طبیعی رودخانه جهت حفاظت بستر رودخانه، در مقابل تنش برشی جریان ساخته می‌شوند. در شرایطی که سرعت آب به دلیل شتاب ایجاد شده، بیش‌تر شود، این سازه از تماس آب با مواد بستر جلوگیری می‌کند. به طور کلی دو نوع کف بند افقی و شیبدار وجود دارد. از کف بندهای افقی در جایی که شیب بستر خیلی کم است، استفاده می‌شود. این در حالی است که کف بندهای شیب دار مخصوص بسترهای پرشیب هستند.

طراحی کف بندها

کف‌بندها به دو صورت قبل و بعد از سازه اجرا می‌شوند. همچنین از لحاظ جنس کف بند به دو صورت انعطاف پذیر و انعطاف ناپذیر اجرا می‌شوند. از انواع کف بندهای انعطاف ناپذیر می‌توان به کف بندهای بتنی اشاره کرد. کف بندهای بتنی شامل بلوک‌های بتنی مسطحی هستند که به صورت بتن درجا اجرا می‌شوند. در کف بندهای پایین دست سازه، بین بلوک‌های بتنی درزهای ۷۰ تا ۱۰۰ میلیمتری وجود دارد که این درزها با مصالحی نظیر سنگ‌های شکسته پر می‌شود.

ضوابط طراحی کف بندها و تثبیت کننده‌ها در نشریه شماره ۷۰۱

دوام و عملکرد کف بندها و تثبیت کننده‌های بستر رودخانه بستگی به اجرای مناسب و نگه داری آنها دارد. اجرای سازه‌های مهار فرسایش بستر در رودخانه می‌بایست در زمان کم آبی صورت گیرد تا هزینه‌ی انحراف آب در حین ساخت به حداقل برسد. در شروع اجرای سازه باید موقعیت منابع قرضه و جاده دسترسی جهت حمل مصالح تعیین شود. در کف بندها و تثبیت کننده‌ها پیشنهاد می‌شود موارد زیر در نظر گرفته شود.

کف بندها باید در مقابل سایش سنگ‌ها و مصالح حمل شده توسط جریان مقاومت کافی داشته باشند.

پایداری پی (کف و دیواره‌ها) در رابطه با مقاومت، توان باربری و فرسایش می‌بایست مد نظر قرار گیرد.

از آنجا که کف بندها اغلب همراه با سازه‌های کنترل فرسایش کناری ساخته می‌شوند، باید اتصال آنها با این سازه‌ها به خوبی صورت گیرد که این امر با تعبیه قفل در کف بندها انجام می‌شود.

مزایا و معایب استفاده از کف بندها

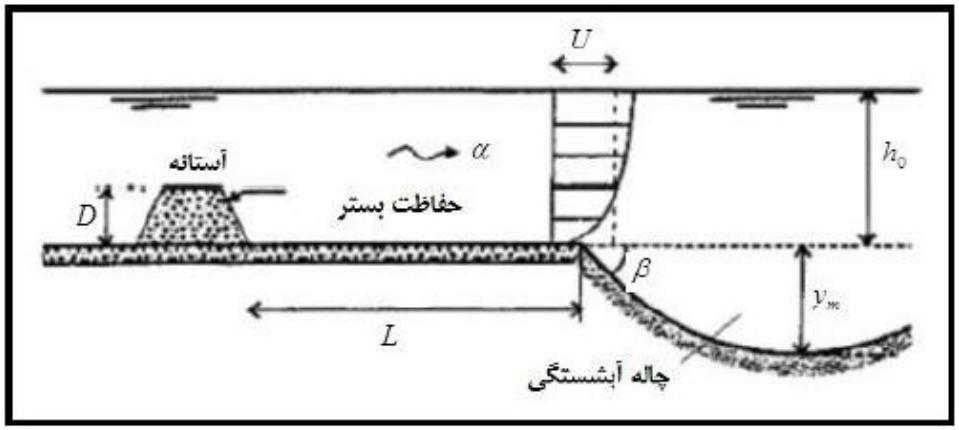
کف بندها سازه‌هایی هستند که بستر آبراهه را حفاظت می‌کنند. از جملـه پیامدهای بارز این سازه، تغییر رژیم رسوب دهی است که به نوبه خود روند رسـوب گـذاری را کـاهش داده و از وارد آمـدن خسارت به اراضی پایین دست و سدهای مخزنی جلوگیری می‌کند. بنابراین احداث کف بند در مسـیر رودخانـه در تثبیـت بستر رودخانه و کاهش فرسایش و رسوب بالا رونده در مسیر رودخانه مـوثر هستند. یکـی از معضـلات مربـوط بـه ایـن سازه‌ها، وقوع پدیده آب شستگی در پایین دست آنها هستند. به منظور جلوگیری از پدیده آب شستگی، همـواره در پایین دست آنها حوضچه آرامش احداث شود. لازم به ذکر است که کف بندهای شیبدار به دلیل عمق آب شستگی کمتـر و پایداری بهتر، بر سازه‌های شیب شکن ترجیح داده می‌شوند.

آستانه Sill

۱-۲-۲- آستانه[۲]

آستانه یکی دیگر از سازه‌های ثبیت‌کننده بستر است و به نحوی در عرض رودخانه ساخته می‌شود که تراز تاج آن با تراز بستر تقریبا یکسان یا بالاتر و کف بستر در بالادست و پایین‌دست سازه تقریبا یکسان باشد [۹۸]. این سازه با استفاده از مصالح سنگی، شمع‌کوبی یا سپری، بتنی، گابیون یا توری‌سنگی و یا به صورت ترکیبی از آن‌ها ساخته می‌شود [۹۸].

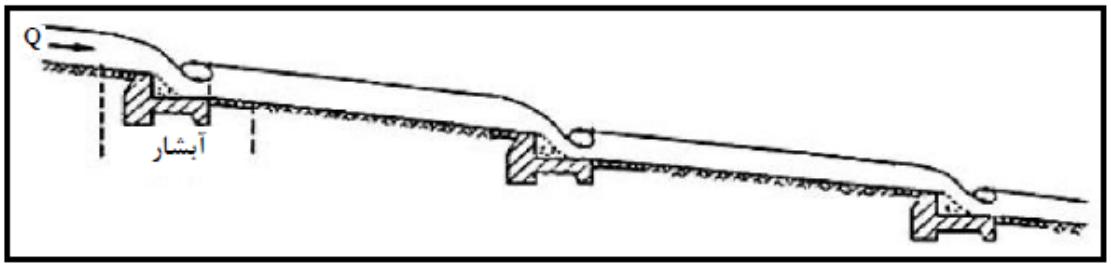
نمونه‌ای از آستانه نوع شمع‌کوبی در شکل (۱-۲) نشان داده شده است. این سازه در کنترل شیب، تراز بستر و تراز سطح آب و جلوگیری از فرسایش بستر کاربرد فراوان دارد [۲۷].



شکل ۱-۲- آستانه نوع شمع‌کوبی [۲۷]

شیب شکن یا آبشار Drop

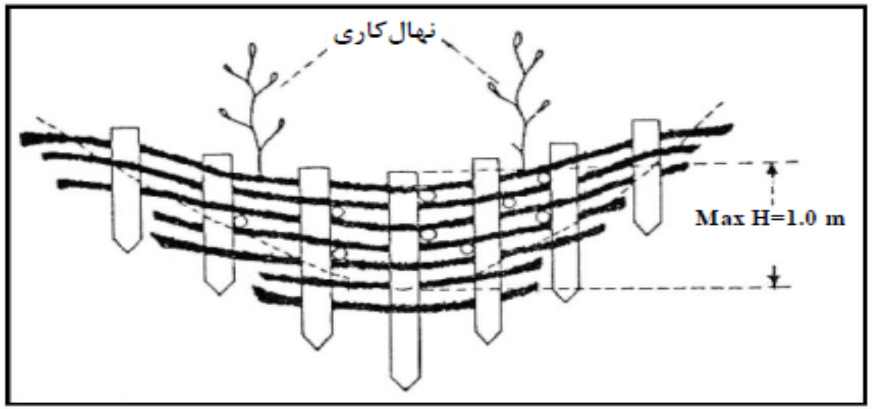
آبشارها سازه‌هایی هستند که با ارتفاع کم در عرض رودخانه ساخته می‌شوند [۱۳]. این سازه‌ها معمولا به دو نوع با کف‌بند و آستانه انتهایی و دیگری با کف‌بند و بدون آستانه انتهایی تقسیم‌بندی می‌شوند [۸۱]. تعداد آن‌ها به شیب رودخانه و ارتفاع سازه بستگی دارد [۳۴]. در شرایطی که از چند آبشار متوالی استفاده گردد، ارتفاع آن‌ها نسبت به حالت عادی کاهش می‌یابد [۸۱]. از آن‌جایی که این سازه‌ها را با استفاده از بتن، سنگ‌چین، توری‌سنگی، شمع‌های چوبی و سپرهای فلزی می‌سازند، معمولا عرض مجرا را پوشش می‌دهند. برای شیب‌شکن‌های کوچک و کانال‌ها با عرض کم، از مصالحی از جنس سنگ‌چین و شمع‌های چوبی استفاده می‌گردد. توری‌سنگی‌ها و سازه‌های بتنی معمولا برای شیب‌شکن‌های بزرگ با عرض جریان زیاد به کار می‌روند. این سازه‌ها به منظور کنترل پایین افتادگی بستر و تثبیت تراز بستر، در مجاری شیب‌دار استفاده می‌گردند. این سازه‌ها همچنین به عنوان استهلاک کننده انرژی نیز ساخته می‌شوند و از آبشستگی بستر در بالادست خود جلوگیری می‌نمایند [۸۱]. نمونه‌ای از آبشارهای متوالی برروی یک سطح شیب‌دار در شکل (۱-۳) نشان داده شده است.



شکل ۱-۳- آبشارهای متوالی بر روی سطح شیب‌دار [۱۳]

Check Dam سدهای اصلاحی

سدهای اصلاحی یکی از روش‌های سازه‌ای برای کنترل فرسایش سطحی بستر رودخانه و تثبیت آن می‌باشند. این سدها بر حسب نوع مصالح به کار گرفته شده به انواع مختلفی چون سدهای چپری، فلزی سبک، چوبی، خشکه چین، سنگ و سیمان و توری‌سنگی طبقه‌بندی می‌شوند. در شکل (۱-۴) نمونه‌ای از سد اصلاحی چپری نشان داده شده است. این سدها در آبراهه‌های نواحی کوهستانی به‌دلیل وجود فرسایش زیاد و در نتیجه تولید رسوب زیاد، کاربرد فراوان دارند. با احداث سدهای اصلاحی می توان شیب رودخانه را اصلاح نمود و فرسایش کف و جداره رودخانه را مهار کرد [۵]. گاهی اوقات نیز با برداشت شن و ماسه منجر به تغییر شیب و در نهایت کف‌کنی در بالادست می‌گردند. لذا احداث این سدها در این نواحی، در مهار فرسایش کف و جداره رودخانه و حفاظت از سازه‌هایی مثل پل، زمین‌ها و جاده‌های حاشیه رودخانه موثر می‌باشد.



شکل ۱-۴- نمای جلویی سد اصلاحی چپری [۱۳]

پوشش ها

پوشش ها از جمله سازه‌هایی هستند که جهت حفاظت و تثبیت بستر و کناره رودخانه‌ها در مقابل فرسایش ناشی از جریان، بارش باران، موج و تراوش زه‌آب زیرزمینی ساخته می‌شوند. اصولا پوشش‌ها برای حفاظت از هر سطحی که در معرض فرسایش رودخانه‌ای است (نظیر شیب کناره، بدنه سازه‌های رودخانه‌ای و سطوح کف)، می‌توانند کاربرد داشته باشند. به طور کلی پوشش‌ها به دو دسته نفوذپذیر و نفوذناپذیر تقسیم می‌شوند. در پوشش‌های نفوذپذیر دولایه وجود دارد. لایه رویی که لایه سپر نام دارد و لایه زیرین که لایه فیلتر نامیده می‌شود. این در حالی است که در پوشش‌های نفوذناپذیر، معمولا نیازی به لایه فیلتر نیست [۸۷]. برای جزییات بیش‌تر به ضابطه شماره ۳۳۲ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تحت عنوان «راهنمای طراحی، ساخت و نگه‌داری پوشش‌ها در کارهای مهندسی رودخانه» مراجعه فرمایید.

سازه های کنترل شیب یکی از سازه های هیدرولیکی می باشند که به منظور کنترل شیب رودخانه در مهندسی رودخانه و طراحی کانال ها کاربرد زیادی دارند. این سازه از مصالح مختلفی مانند؛ سنگ، گابیون و یا بتن ساخته می شود. در رودخانه هایی نظیر رودخانه های کوهستانی که شیب تندی دارند، حجم زیادی رسوب درشت دانه در مواقع سیلابی از بستر جدا شده و به پایین دست منتقل می گردد.

انواع شیب شکن ها که در حوضه های آبخیز به کار گرفته می شوند

- سنگی ملاتی
- سنگی گابیونی
- خشکه چین
- چوبی چپری
- فلزی

طبقه بندی شیب شکن ها از نظر کار کرد در حوزه آبخیز

- کنترل سیلاب
- کنترل فرسایش
- کنترل رسوب

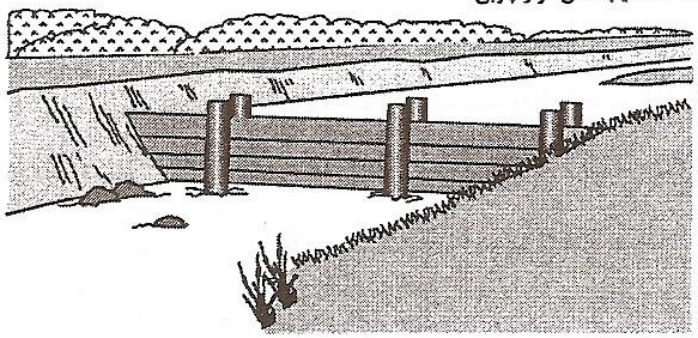
طبقه بندی شیب شکن ها از نظر شکل

- شیب شکن قائم (برای اختلاف ارتفاع تا ۱/۵ متر)
- شیب شکن مایل (برای اختلاف ارتفاع تا ۰/۵ متر)
- شیب شکن لوله ای (برای اختلاف ارتفاع تا ۰/۵ متر)

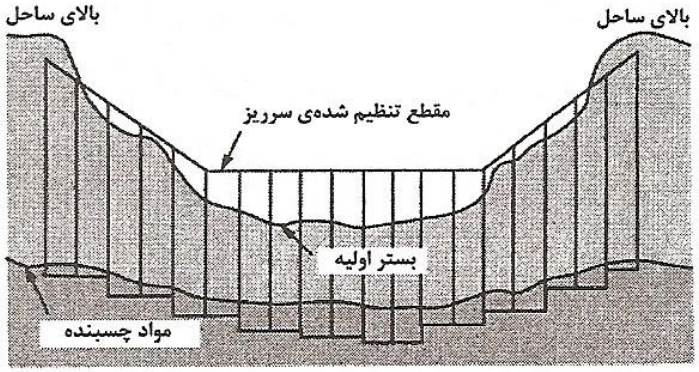
برای اختلاف ارتفاع بزرگتر از تندآب استفاده می شود

- سازه های کنترل شیب یا شیب شکن ها جهت کاهش شیب کانال احداث می شوند. هدف از سازه های کنترل شیب، پایدار کردن سواحل و بستر کانال با کاهش شیب رودخانه و سرعت جریان است. با افزایش اندازه رودخانه بازده یک سازه کنترل شیب کاهش پیدا می کند. سرریز های قائم بتنی، چوبی و سرریز های سپری فولادی، آستانه های شیب دار پاره سنگی و خاک – سیمان یا شیب شکن های توریسنگی پس از در نظر گرفتن پایداری سازه و عمق چاله آب شستگی در پنجه سازه مطابق شکل ۸-۲۷ طراحی می شوند.

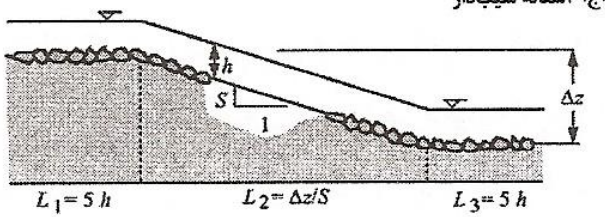
(الف) شیب‌شکن الوار چوبی



(ب) شیب‌شکن سپری



(ج) آستانه شیب‌دار



$L = L_1 + L_2 + L_3$

شکل ۸-۲۷: شیب شکن‌ها، سرریزها، و آستانه‌ها.

فرسایش بستر رودخانه بیشتر در رودخانه های جوان که بستر آنها به حالت تعادل نرسیده دیده می شود و بستر رودخانه به علت شیب تند و سرعت زیاد جریان فرسایش یافته و مواد شسته شده به پایین رودخانه منتقل می گردد.

راه حل معمولی برای تثبیت بستر رودخانه احداث شیب شکن در طول بازه مورد نظر می باشد. این شیب شکن ها می توانند از جنس بتنی یا گابیونی ساخته شوند. ارتفاع متوسط شیب شکن ها و فاصله آنها از یکدیگر پس از انجام مطالعات هیدرولیکی دقیق با توجه به شرایط و جنس خاک قابل طراحی می باشد.

شیب شکن ها را با توجه به شرایط جریان بر روی بستر رودخانه و یا در زیر بستر رودخانه می توان احداث کرد که با مرور زمان رسوبات بین این سدهای کوتاه ته نشین می شود و در نتیجه یک شیب ملایم در کف رودخانه ایجاد می گردد.

راه حل معمولی برای تثبیت بستر رودخانه احداث شیب شکن در طول بازه مورد نظر می باشد

شیب شکن های ساخته شده از قطعات و الوارهای چوبی

در طراحی شب شکن ها باید اثرات اتلاف انرژی و حفاظت از بستر و ساحل در بالا و پایین دست سازه را در نظر گرفت. معمولا حفاظت مقاطع ورودی سازه با پوشش سنگریز انجام می شود. پوشش پاره سنگی در فرونشاندن اغتشاش باقیمانده در حوضچه آرامش و حفاظت بستر و مواد ساحل از حمله مستقیم آب مؤثر است. در جاهای مناسب از فیلتر نیز استفاده می شود.

شیب شکن های ساخته شده از قطعات و الوارهای چوبی در رودخانه های خیلی کوچک و خندق های صحرایی کارساز است، (شکل ۸-۲۷- الف).

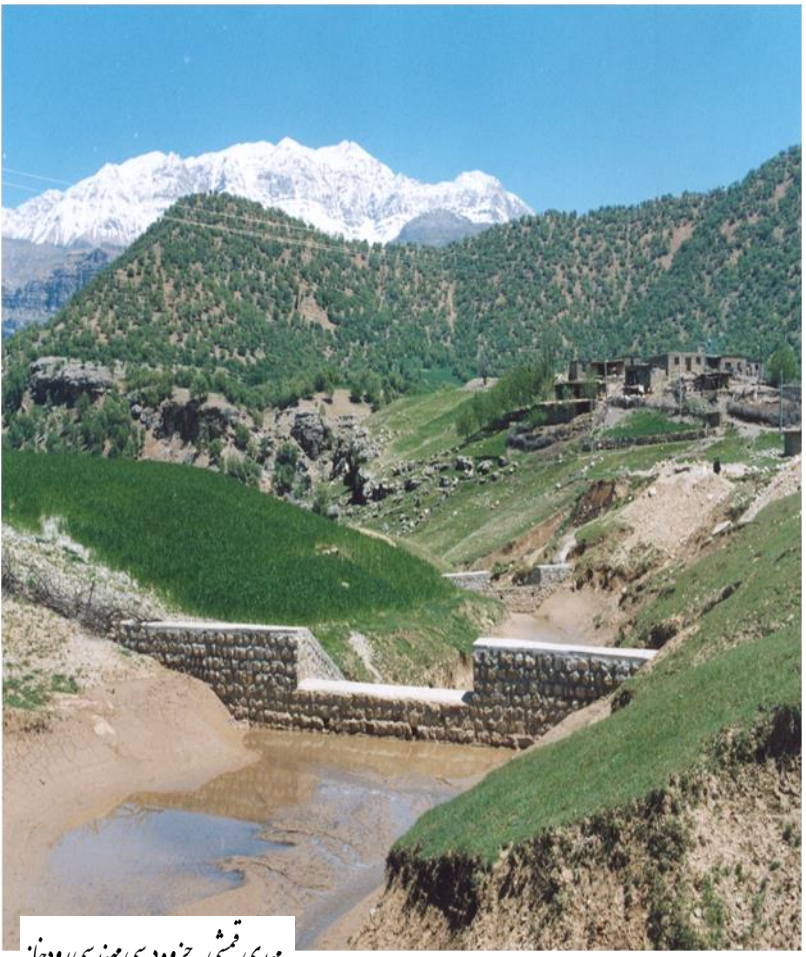
سازه های کنترل شیب لوله ای موجدار از کالورت (آبرویی) ساخته می شوند که به طور قائم در کف رودخانه، بسته به عرض بستر، رانده یا دفن می شود. داخل لوله و همچنین تا فاصله کوتاهی از پایین دست سازه، جهت جلوگیری از آب شستگی با پاره سنگ پوشش داده می شود. دیواره جانبی پایین دست مقطع آبرو همتراز با بستر تنظیم می شود. این سازه ها در شیب شکن های کوچک مؤثر هستند و از مجموعه آنها می توان جهت کنترل شیب در رودخانه های با شیب نسبتا تند در فاصله طولانی استفاده کرد.

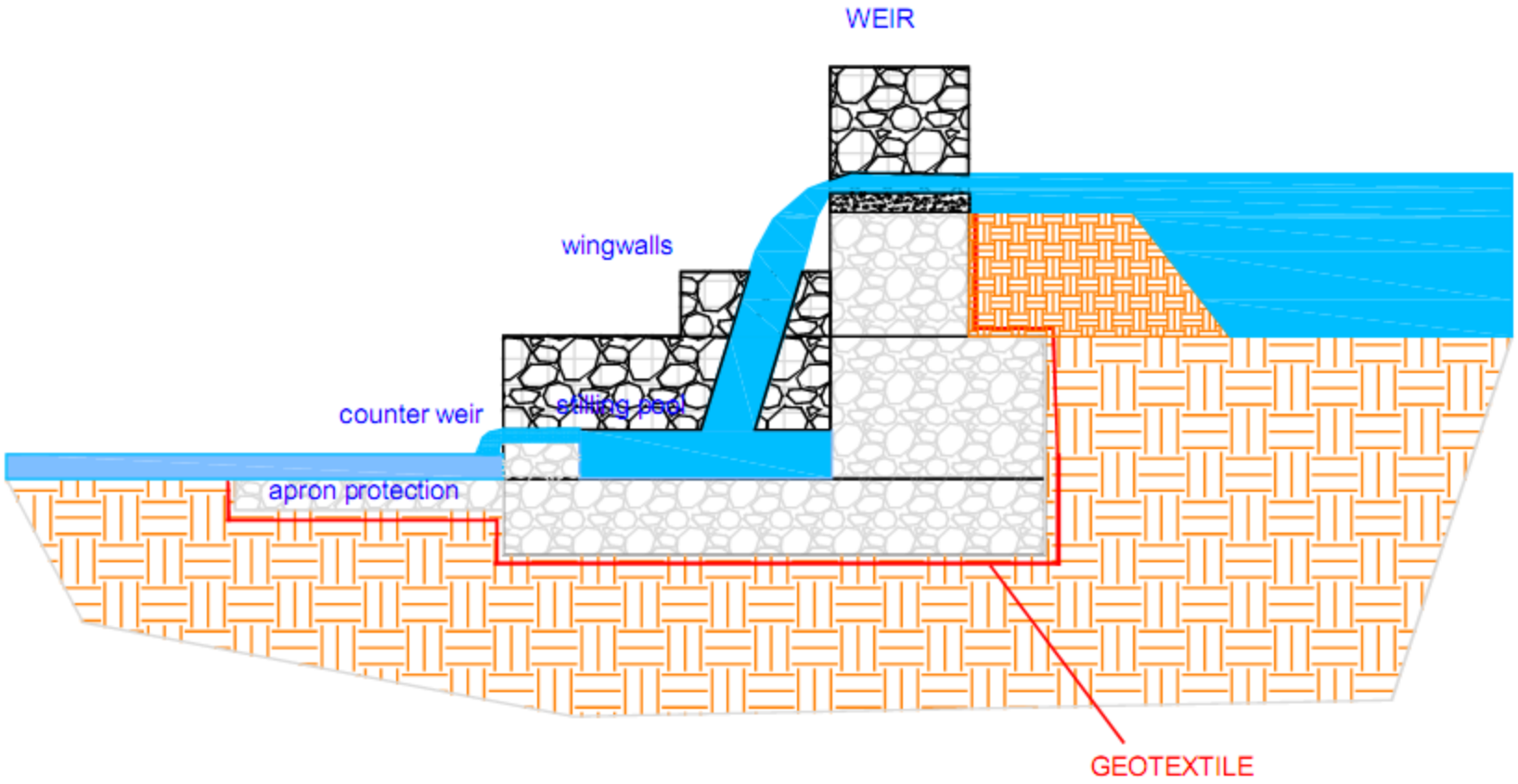
شیب شکن توری سنگی

توری سنگ ها در ساختن سرریز یا شیب شکن در مناطقی که مصالح پر کننده کافی وجود داشته باشد کارایی دارند. سبد توریسنگ شکل پذیر است زیرا که می توان از آن در یک مجموعه و یا به تنهایی برای شیب شکن های با ارتفاع های مختلف استفاده کرد. توریسنگ ها همچنین برای حفاظت سواحل ورودی به شیب شکن و یا ساخت حوضچه آرامش به کار برده می شوند. در ساخت شیب شکن های بزرگ از بتن به دلیل دوام آن استفاده می شود. طراحی حوضچه های آرامش بتنی بسیار متنوع است.

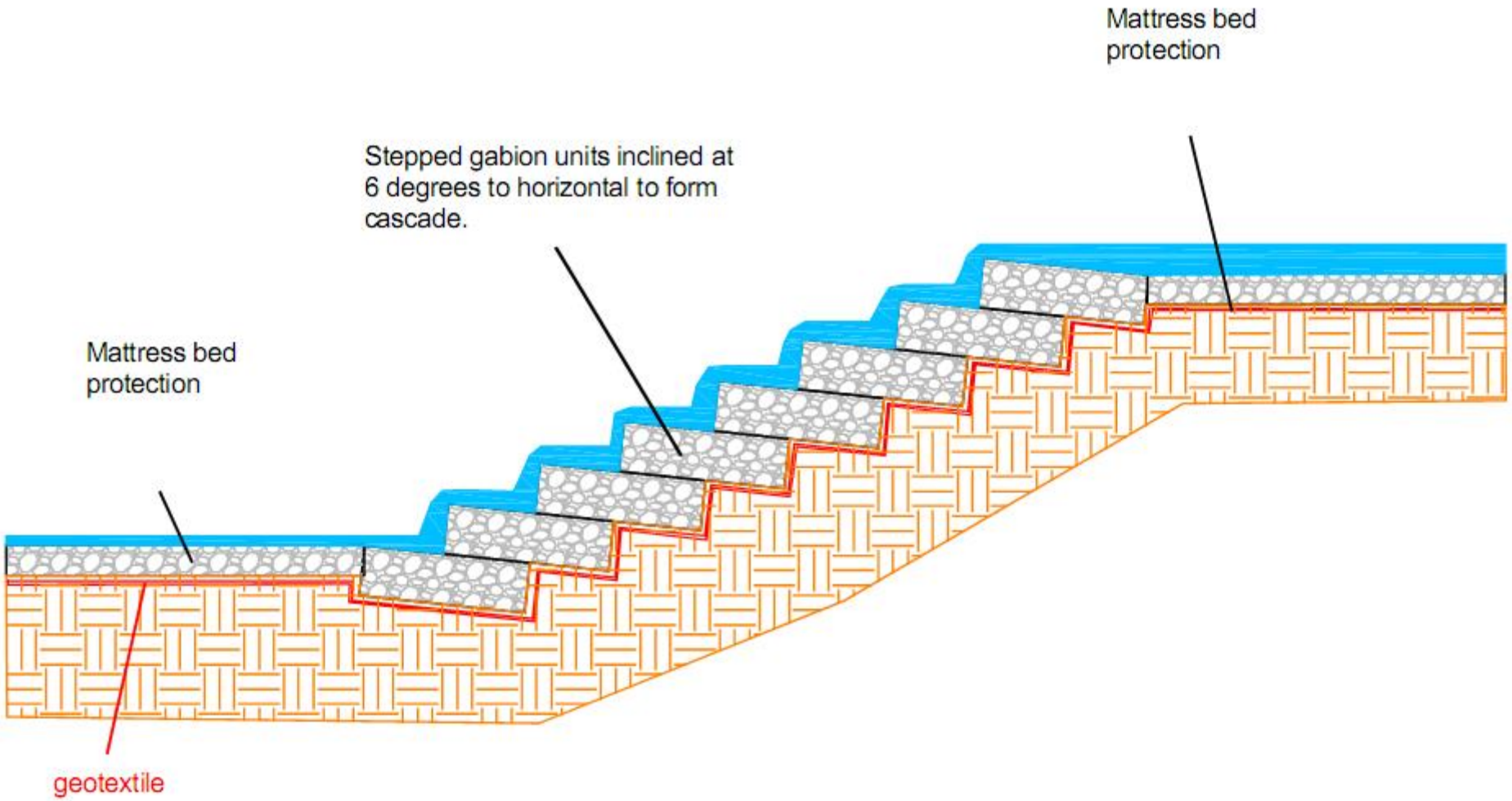
در میان سازه های کنترل شیب احتمالا بیشتر از همه از سرریزها استفاده می شود. این امر به دلیل سادگی در طراحی و ساخت، هزینه پایین در بسیاری از موارد، کاربردهای متنوع و تطابق آنها با سایر اهداف است. ساده ترین انواع سرریزها، سپری هایی است که با صفحات فلزی ساخته می شوند. در حقیقت سپر کوبی هم به عنوان مقطع کنترل و هم دیواره آب بند عمل می کند. برای ساخت این نوع سرریزها، سپری های فلزی را تا عمق دو تا سه برابر حداکثر عمق پیش بینی شده آب شستگی و یا عمق ممکن برای سپر کوبی در خاک می رانند و مقطع آن را تقریبا مطابق مقطع رودخانه در محل در می آورند، (شکل ۸-۲۷- ب). در صورتی که ارتفاع سواحل زیاد باشد سرریز سپری باید از هر دو طرف به ساحل بسته شود حفاظت به کمک پوشش سنگریز در بالا و پایین دست این نوع سرریز توصیه می شود. سرریزهای سپری بویژه در کانال های عریضی که سازه های بتنی یا پاره سنگی طویل، بسیار گران در می آید توصیه می شود. سپری ها را می توان مطابق با تراز بستر طبیعی کانال و یا کمی بالاتر تنظیم کرد. در این صورت پس از رسوب گذاری، بستر کانال در پشت سرریز بالا می آید و شیب خط انرژی (EGL) در آن محدوده کاهش پیدا می کند. در رودخانه هایی که کاهش انرژی در فواصل بیشتر ضروری است از سرریزهای متوالی استفاده می شود.

دراپ های توری سنگی

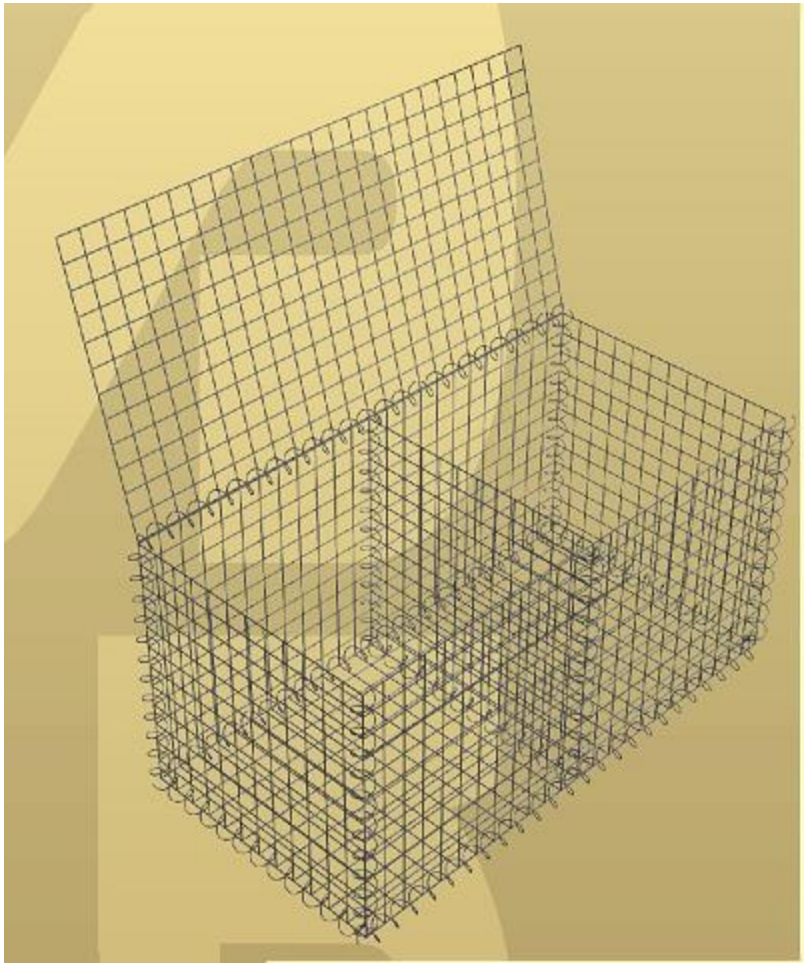


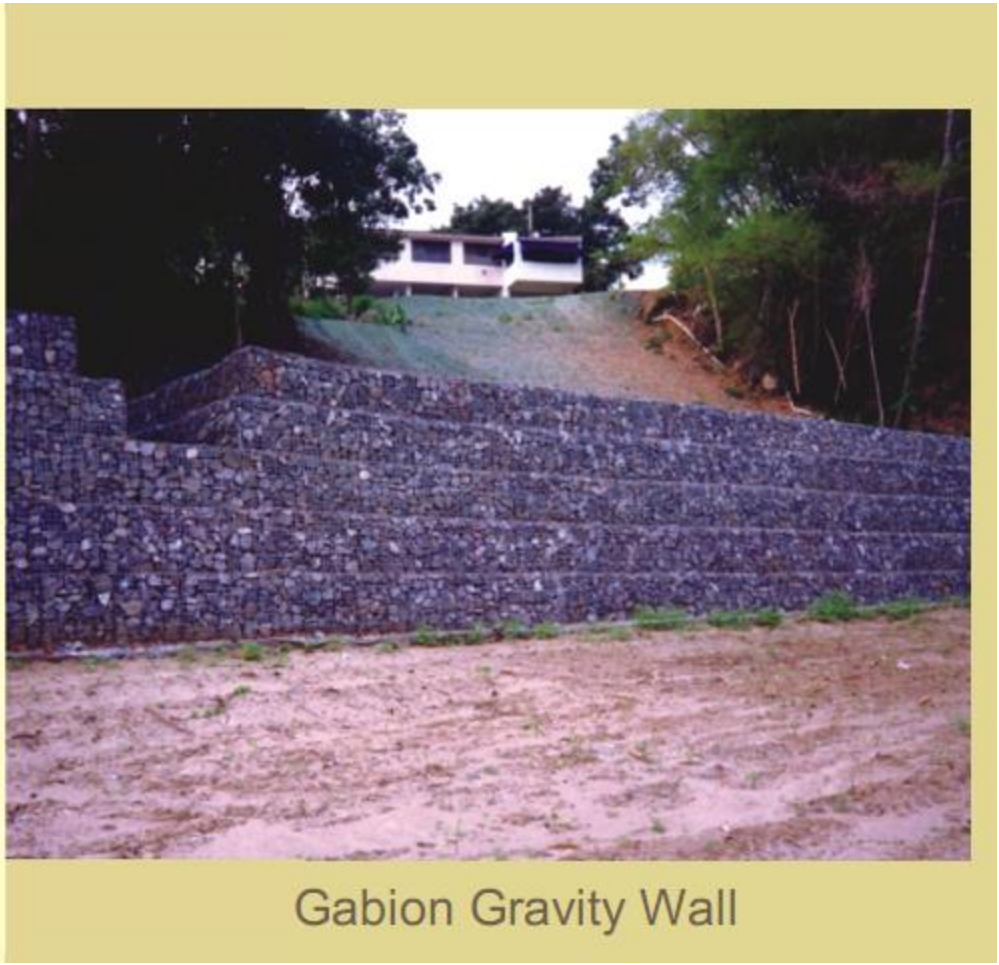


Section through weir


Mattress bed protection
Stepped gabion units inclined at 6 degrees to horizontal to form cascade.
Mattress bed protection
geotextile

دانشگاه شهید چمران اهواز



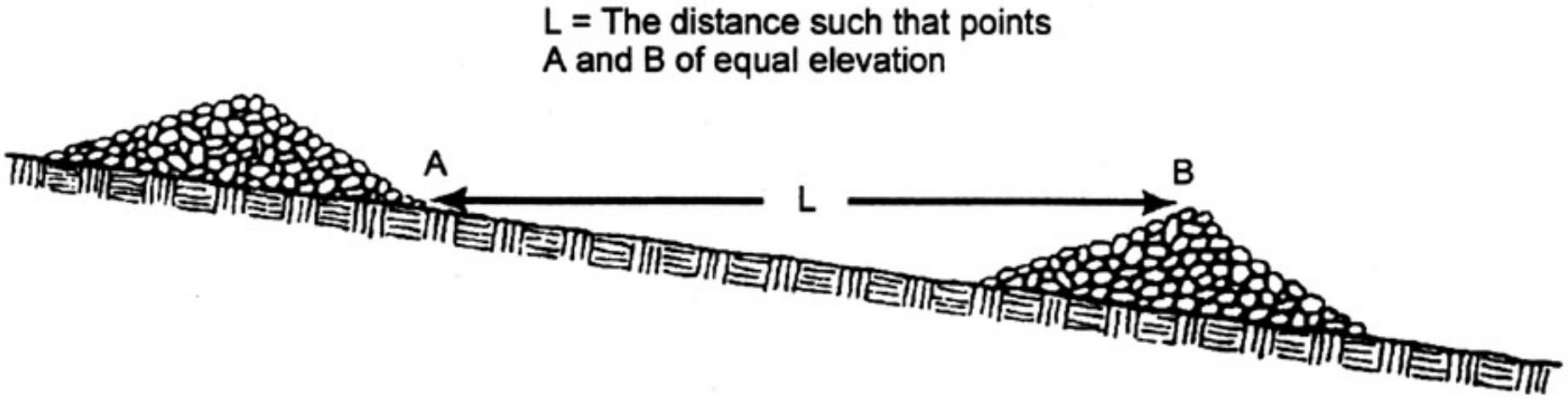


Gabion Gravity Wall

Sediment Trap

سرریزهای لبه پهن، آستانه شیبدار یا سرریز های پاره سنگی سازه هایی هستند که با جایگذاری توده ای از پاره سنگ در کف رودخانه تشکیل می شوند، (شکل ۸-۲۷- ج). حجم سنگ لازم، بسته به میزان آب شستگی مورد انتظار در پایین دست سرریز ناشی از اغتشاش یا مهاجرت پیشانی خندق، تعیین می شود. روشهای محاسبه عمق آب شستگی در فصل ۹-۲ بررسی می شوند.

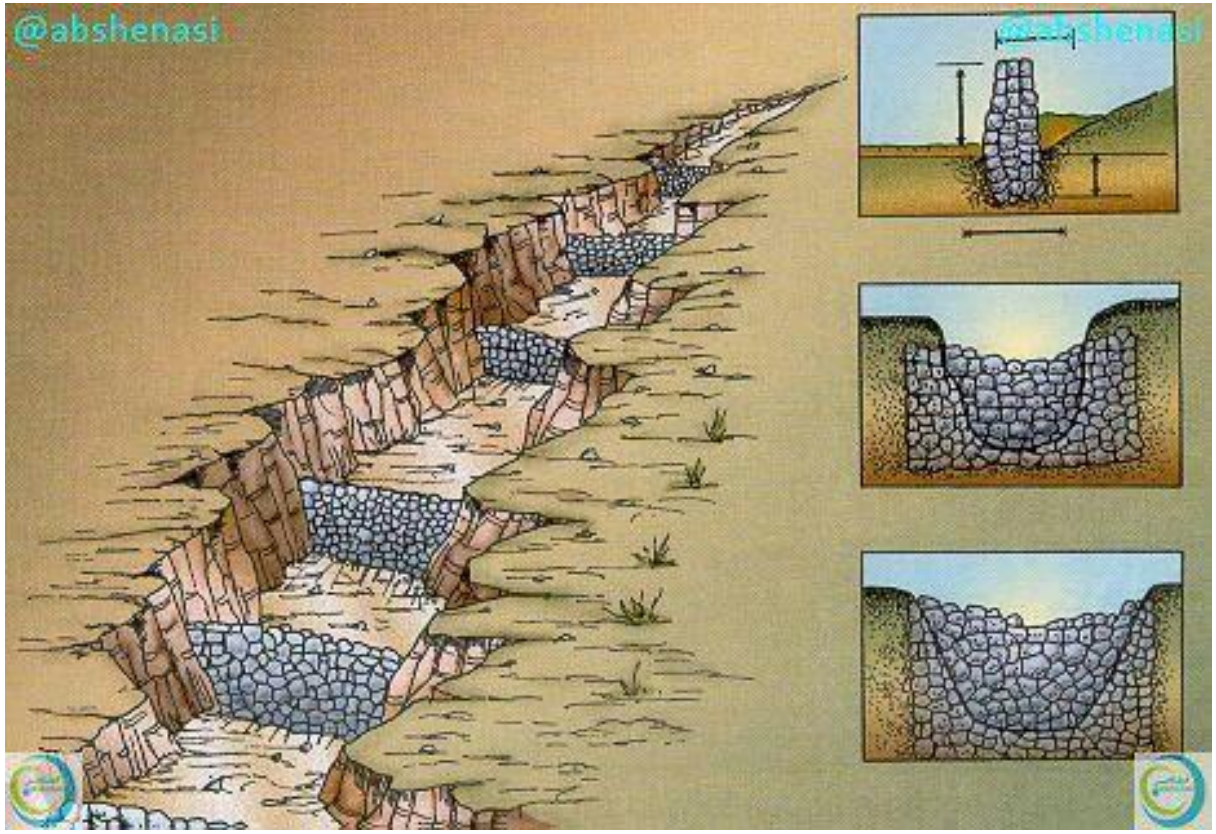
سد های اصلاحی(شیب)
CHECK DAMS



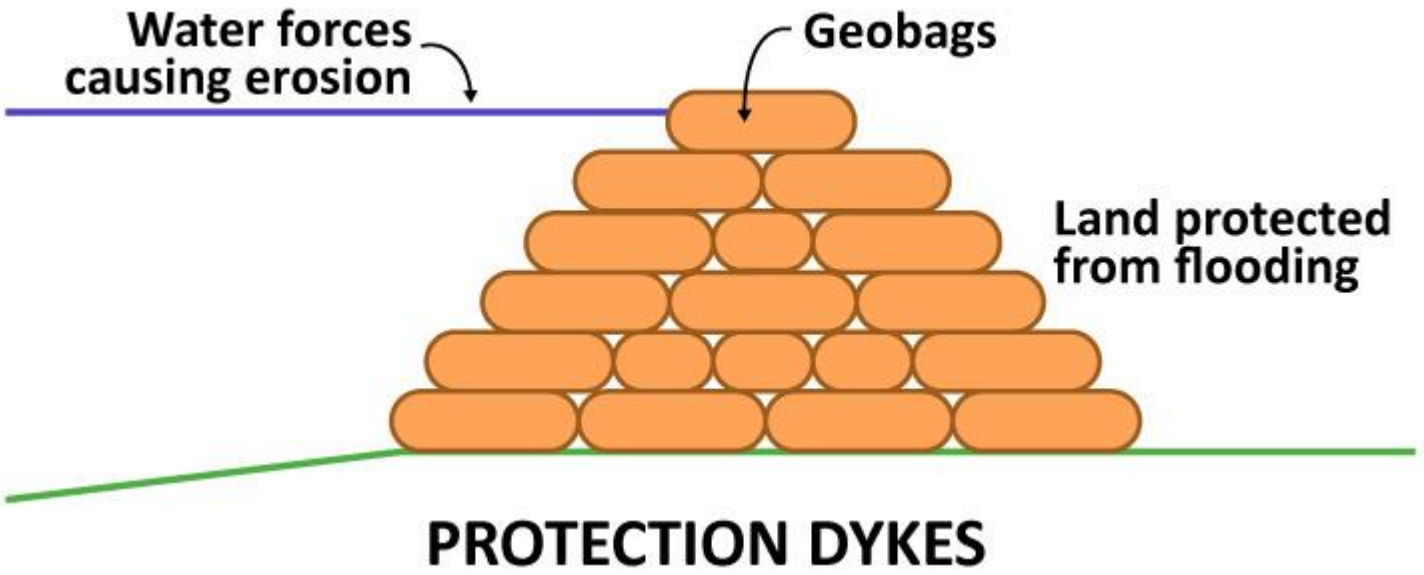
ه های کنترل فرسایش

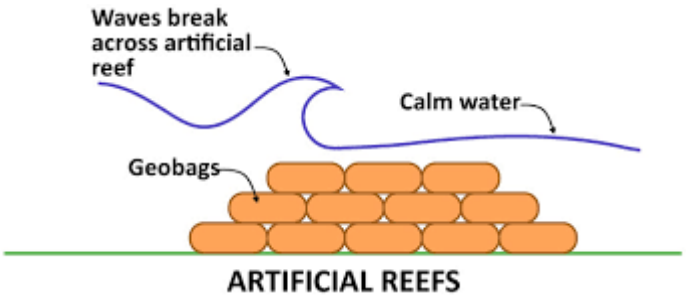
بندهای خشکه چین(Loose Rock Dam)

بندهای خشکه چین از روی هم قرار گرفتن قطعه های غیرمتصل ساخته می شود و بسته به دبی و سرعت جریان آب اندازه قطعه تغییر می کند.



Geobags


Water forces causing erosion
Geobags
Land protected from flooding
PROTECTION DYKES


Waves break across artificial reef
Calm water
Geobags
ARTIFICIAL REEFS

Flood control & sediment trap by masonry check dam

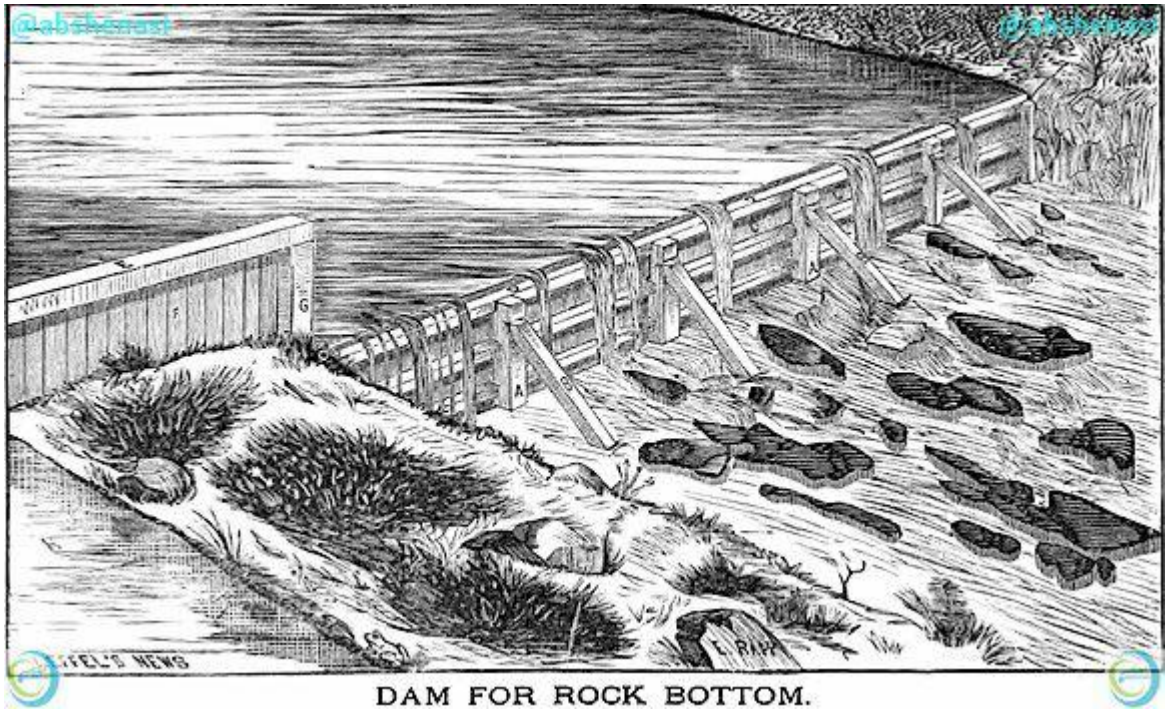
هرمزگان (رودان): بند سنگی ملاتی

مهمترین این مسائل پر شدن حجم سدهای موجود در پایین دست می باشد. هم چنین سازه های کنترل شیب سازه هایی هستند که معمولا در مناطق کوهستانی و در فواصل کوتاهی از یکدیگر ساخته می شوند. لذا برای تثبیت بستر رودخانه های کوهستانی می بایست به تعداد زیاد احداث گردد. تجربیات نشان داده که چنان چه یکی از این سازه ها در زمان سیلاب تخریب شوند، سازه های پایین دست به دلیل حرکت موج ناگهانی نیز به ترتیب تخریب خواهند شد.

سازه های کنترل فرسایش

بند چوبی(Timber)

سدهای کوتاه که از چوب و یا تنه و ساقه درختان ساخته شده باشد که برای حفاظت زمین ها و جلـوگیری از تخریـب جریـان آب بـرها، ساخته می شود .



DAM FOR ROCK BOTTOM.

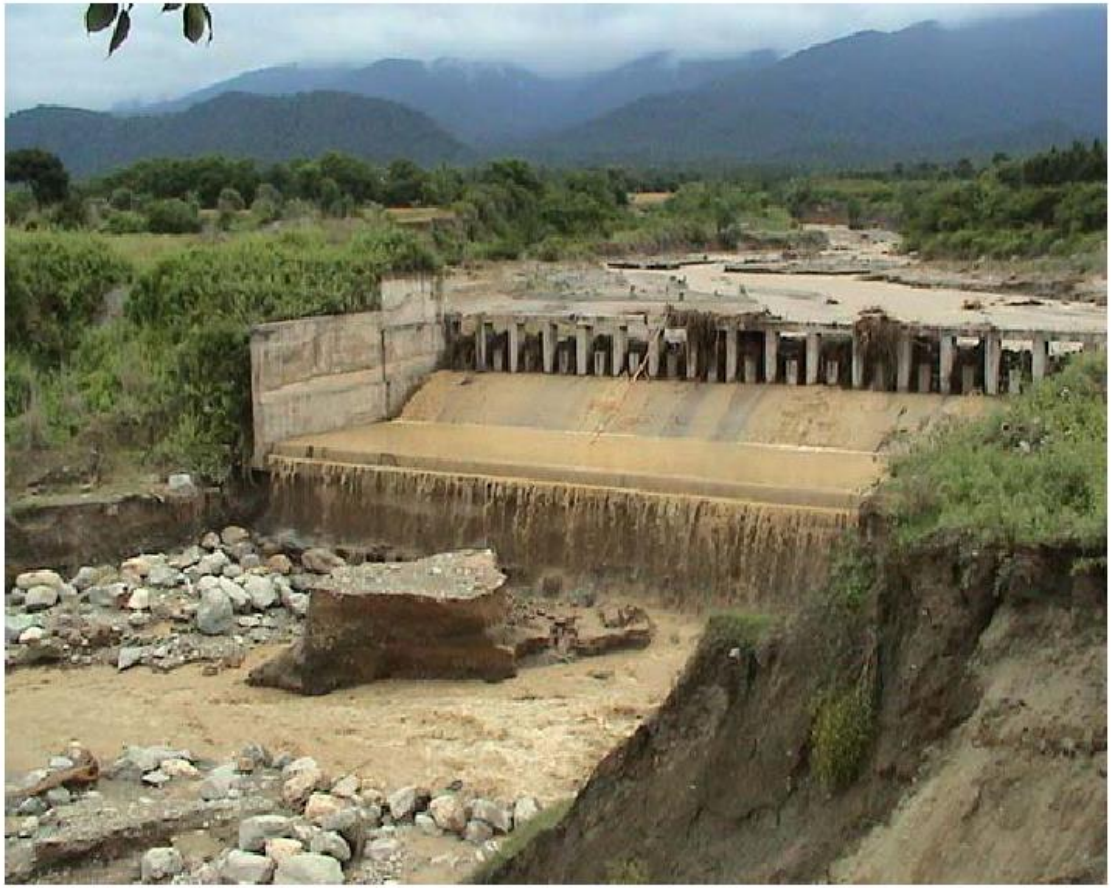
شیب شکن های چپری

دانشگاه شهید چمران اهواز

مهدی قمشی - جزوه درسی مهندسی رودخانه

Check Dams

Such check dams provide channel grade stability and help to trap sediment, but should be used only in small upland drainages and gullies, not in streambeds.



- سازه های کنترل شیب یکی از سازه های هیدرولیکی می باشند که به منظور کنترل شیب رودخانه در مهندسی رودخانه و طراحی کانال ها کاربرد زیادی دارند. این سازه از مصالح مختلفی مانند؛ سنگ، گابیون و یا بتن ساخته می شود. در رودخانه هایی نظیر رودخانه های کوهستانی که شیب تندی دارند، حجم زیادی رسوب درشت دانه در مواقع سیلابی از بستر جدا شده و به پایین دست منتقل می گردد.

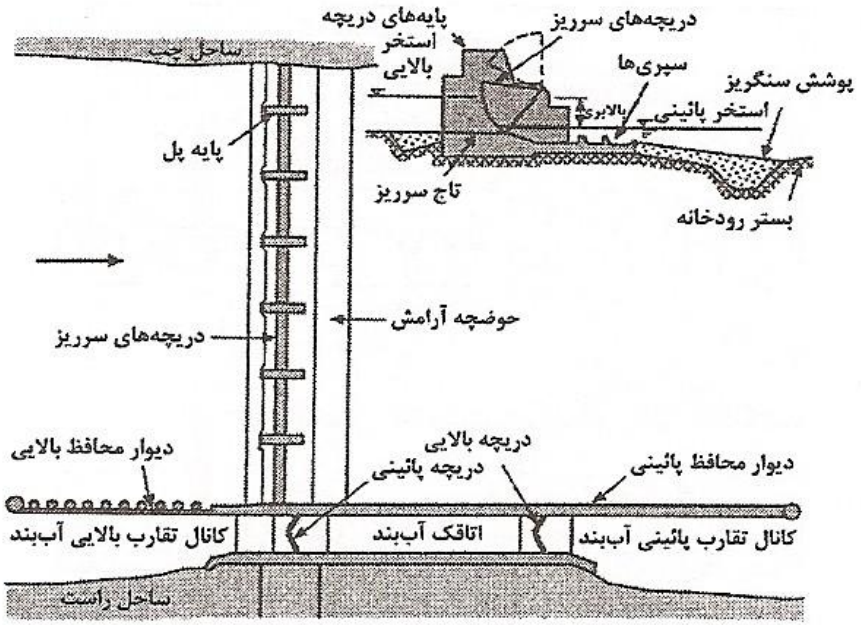
سدها و آب بندهای کشتیرانی

永久船闸三维立体图

سدها و آب بندهای کشتیرانی

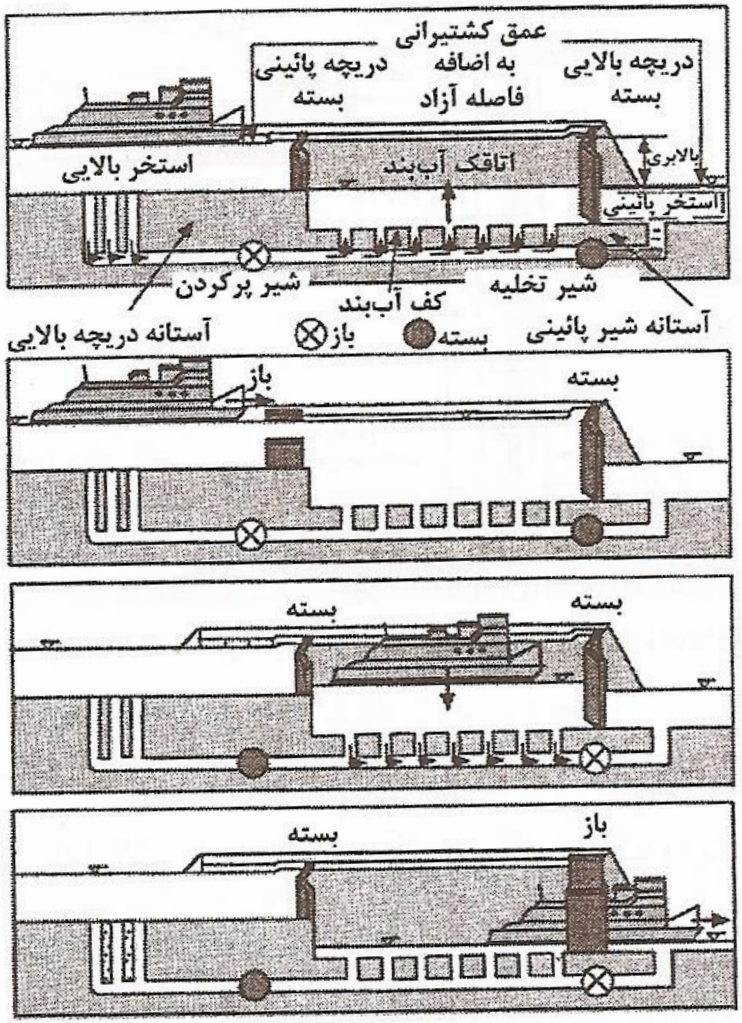
احداث سد برای حفظ عمق کافی به منظور کشتیرانی صورت می پذیرد و به کمک آب بند، کشتیرانی در رودخانه ای که توسط میانبرهای مصنوعی شیب بیشتری پیدا کرده است میسر می شود. فاصله بین سدها یا آب بند باید چنان باشد که سرتاسر مخزن پشت آنها عمق لازم جهت کشتیرانی حفظ شود. فاصله بیشتر ممکن است به حذف بعضی از سدها بینجامد و در هزینه اولیه صرفه جویی شود. لیکن این امر مستلزم حفظ لایروبی و تنگ کردن کانال با احداث خاکریز، برای نگهداشت ظرفیت انتقال رسوب رودخانه می باشند.

مناسب است که آب بندها در بازه های مستقیم احداث شوند. زیرا که کشتیرانی در آنها ساده تر از خم ها انجام می شود. اما در صورتی که عمق کانال تقارب پایین دست کافی نباشد، این مسیرها ناپایدار می شوند. مسیرهای مستقیم و عریض نیز در معرض رسوبگذاری هستند. جریان های مخالف عرضی ناشی از تخلیه آب از سرریزها ممکن است بر عبور و مرور کشتی ها در کانال های تقارب آب بند تاثیر منفی بگذارند. در طرح های کشتیرانی رودخانه ای، آب بند کشتیرانی معمولا در مجاورت ساحل در منتهی الیه یک طرف سد احداث می شود تا اثرات جریانهای مخالف حاصله از تخلیه سرریز بر ترافیک به حداقل برسد. یک طرح نمونه سرریز و آب بند کشتیرانی در شکل 9-23 نشان داده شده است.

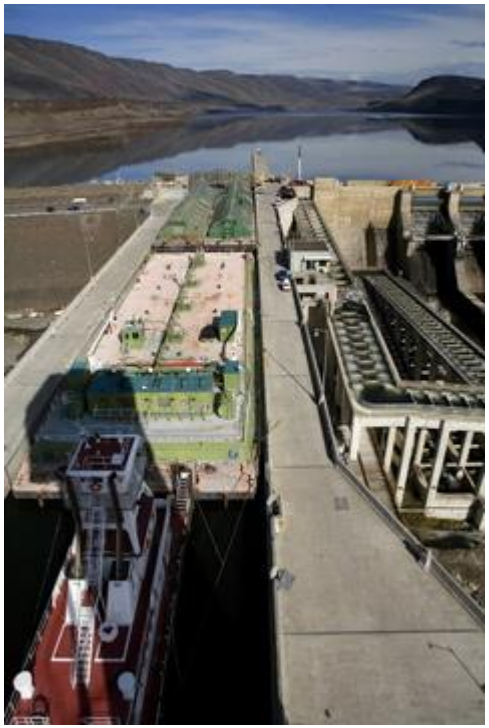


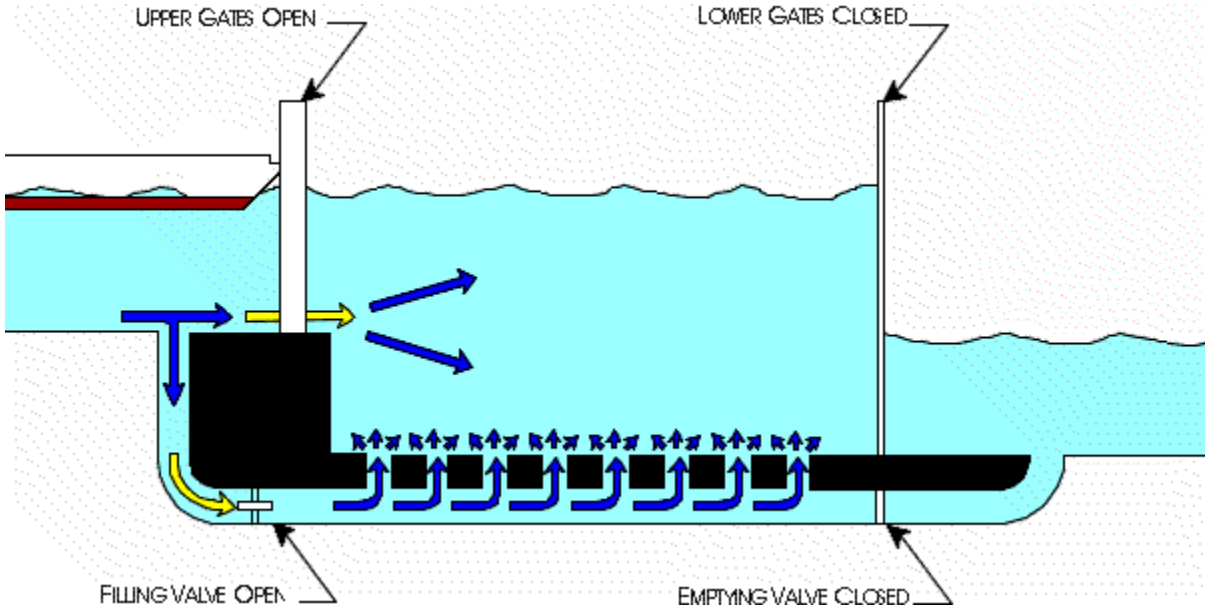
شکل ۹-۲۳: سد و آب‌بند کشتیرانی (Petersen, 1986).

آب بند کشتیرانی، سازه ای است که به کمک آن کشتی ها می توان به ترازهای پایین تر یا بالاتر در هر طرف سد دسترسی پیدا کنند. این سازه متشکل از یک اتاقک روباز است که دریچه هایی به استخر بالا و پایین دست دارد. مطابق شکل 9-24، آب بند از طریق استخر بالایی پر می شود و از طریق استخر پایینی تخلیه می گردد. هنگامی که یک یدک کش عازم پایین دست، به آب بند نزدیک می شود، شیرهای تخلیه و دریچه های پایینی آب بند بسته می شوند. آنگاه با باز کردن شیرهای پر کننده، تراز آب در اتاقک را به سطح آب استخر بالایی می رسانند. سپس دریچه های بالادست، برای حرکت یدک کش به داخل آتاقک، باز می شوند. بعد از آنکه یدک کش به اتاق رفت، دریچه ها و شیرهای بالای بسته شده، شیرهای تخلیه جهت پایین آوردن آب داخل محفظه به تراز استخر پایینی باز می شوند. سپس دریچه های پایین دست آب بند باز می شوند و یدک کش از اتاق آب بند به سوی استخر پایینی حرکت می کند. این فرایند به طور معکوس برای یدک کشی که به طرف بالادست حرکت می کند تکرار می شود. آب بندها چنان طراحی می شوند که عمق مناسب کشتیرانی را فراهم کنند. در آب بندهای کوچک تر رانندگان یدک کش های بزرگ باید در هنگام ورود به اتاقک بسیار آهسته و با احتیاط عمل کنند. آب بندهای بزرگ نه تنها بسیار گران تر هستند بلکه نیاز به زمان بیشتری جهت پر و خالی شدن دارند. زمان پر و خالی شدن آب بند باید حتی الامکان کوتاه باشد. بدون آنکه اغتشاشات زائد، امواج یا جریانهای ضربدری در اتاقک به وجود بیایند که به یدک کش و یا آب بند آسیب برسانند.



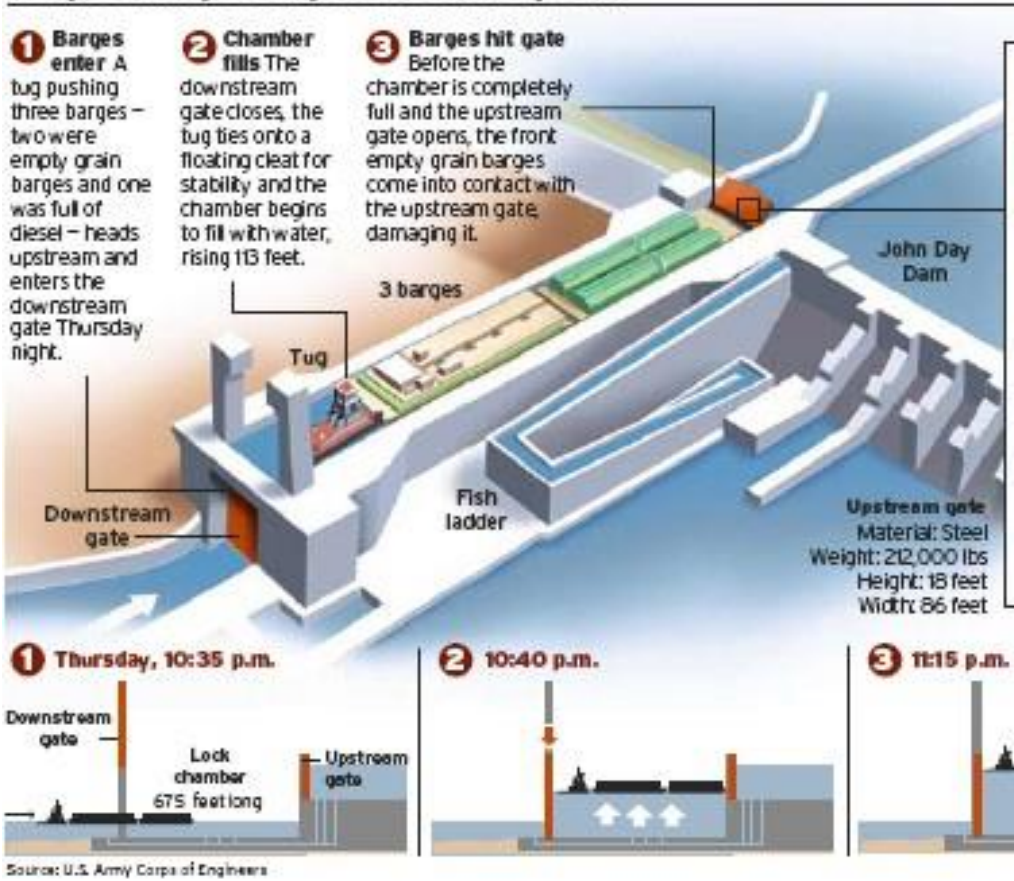
شکل ۹-۲۴: هدایت کشتی از میان یک آب‌بند (Petersen, 1986).




UPPER GATES OPEN
LOWER GATES CLOSED
FILLING VALVE OPEN
EMPTYING VALVE CLOSED

تا قبل از ساخت کانال پاناما، کشتی‌ها برای عبور از اقیانوس آرام به اطلس مجبور بودند آمریکای جنوبی را دور بزنند.
این کانال در سال ۱۹۱۴ پس از گرفتن جان ۲۱۹۰۰ کارگر به بهره برداری رسید!

Barges damage lock gate at John Day Dam



ROSS WILLIAM HAMILTON/THE OREGONIAN

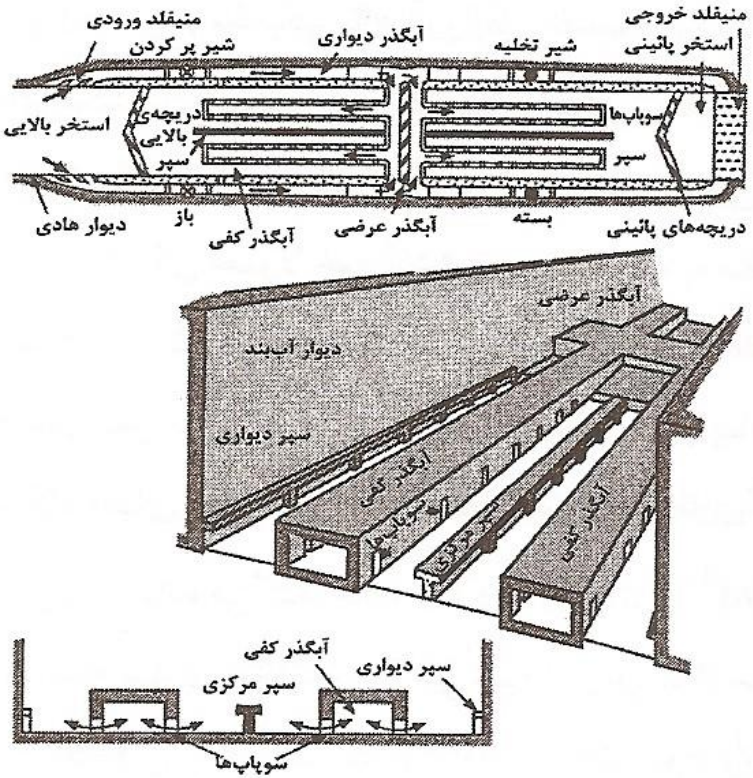
Traffic on part of the Columbia River was shut down Friday after a barge hit a gate at the navigation lock of the John Day Dam. Gate normally raises and lowers vertically.

STEVE COWDEN, MICHAEL MODE/THE OREGONIAN

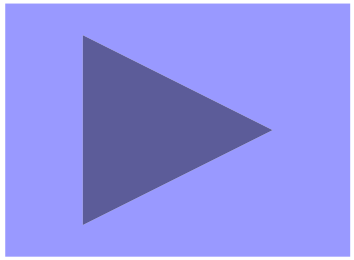
آب بندها از طریق مجاری سرپوشیده و سوپاپ هایی که در کف اتاقک یا در پایه دیوارها تعبیه شده اند، پر و خالی می شوند. آب بندهای عمیق همچون بالشتک ضربه گیری عمل می کنند و اثرات اغتشاشات را فرو می نشانند. به طوری که یدک کش ها آسیب نبینند و تنش ها در مهاربندها در محدوده قابل قبولی باقی بمانند. در اتاقک آب بند شکل ۹-۲۵، جریان از مجاری دیوار به آبگذر متقاطع عرضی دیگری، واقع در میانه اتاقک آب بند، می رسد. دیواره جداکننده در آبگذر متقاطع عرضی، جریان را به طور متساوی بین دو آبگذر طولی کفی به کمک سوپاپ هایی توزیع می کند. جریانی که در اتاق آب بند محصور شده است، از طریق سوپاپ های واقع در دیوارهای بالایی بطرف سرریز می گذرد و در نتیجه از شدت جریان های عرضی ضربدری کم می شود. مساحت مقطع کل بازشدگی سوپاپ ها در دیوار محافظ باید مساوی مساحت مقطع کانال ورودی باشد.

سوپاپ های دیوار محافظ بالایی باید به اندازه کافی پایین باشد تا سرعت های کف را افزایش داده، آبتل زایی را کاهش دهد. جریانات و سرعتهایی که در اثر خالی شدن سیستم آب بند به وجود می آید ممکن است برای یدک کش هایی که از پایین به آب بند نزدیک می شوند، خطرناک باشد. خروجی تخلیه کننده آب بند، باید بیرون از کانال تقارب پایین دست باشد و در اینصورت بعضی اوقات سطح آب در خروجی بیشتر از تراز آب کانال تقارب می شود و در نتیجه، باز کردن دریچه های پایینی اتاق آب بند مشکل می شود. مانیفلد خروجی در کانال تقارب پایینی، با اغتشاش در جریان، آبتل زایی را کاهش می دهد.

رودخانه



شکل ۹-۲۵: الگوی جریان در آب‌بند (Petersen, 1986).



آبشستگی موضعی در اطراف پایه پل ها

Local scour at bridge

آب شستگی:

به فرسایش بستر و کناره آبراهه در اثر عبور جریان آب ، وبه فرسایش بستر در پایین دست سازه هیدرولیکی به علت شدت جریان زیاد و یا فرسایش بستر در اثر بوجود آمدن جریان های متلاطم موضعی می گویند .

عمق آب شستگی:

عمق ناشی از فرسایش بستر نسبت به بستر اولیه گویند.

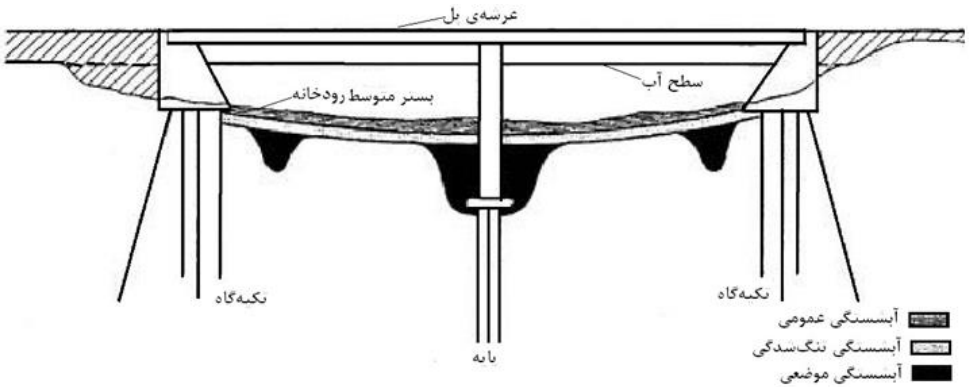
شکل های مختلف آبشستگی در محدوده پایه پل

الف- آبشستگی موضعی

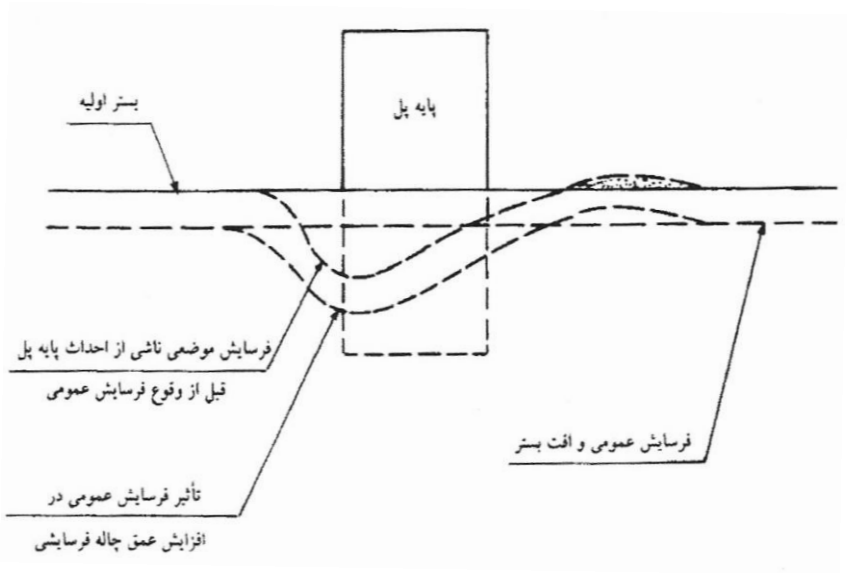
ب- آبشستگی عمومی

۱- کاهش مقطع جریان در محل پل

۲- حاصل از فرایند های مورفولوژیک



انواع آبشستگی از نظر علت به وجود آمدن در محدوده‌ی سازه‌ی پل



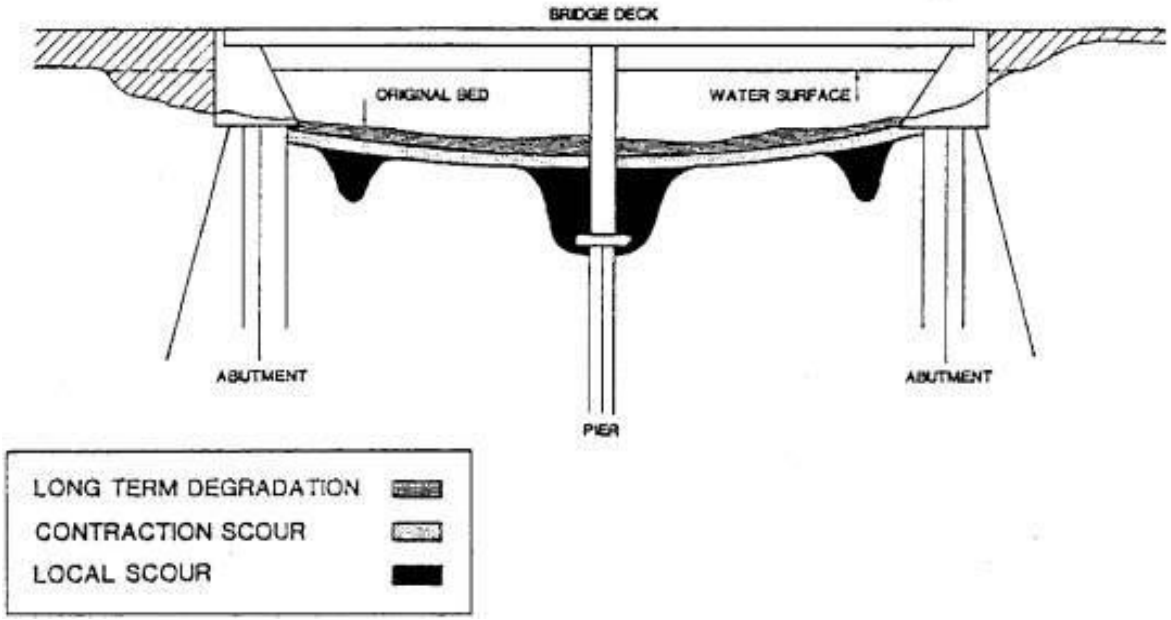
1- آب شستگی در محل تنگ شدن contraction scour

در محلهای رخ می دهد که سرعت جریان به دلایلی افزایش یابد مثل کاهش مقطع رودخانه در محل پل

2-آب شستگی موضعی local sour

آب شستگی در پایین دست سازه هیدرولیکی در محل پایه پل به طور کلی هر مکانی که شدت جریان های درهم بطور موضعی افزایش یابد.

در اثر آب شستگی بستر رودخانه ها فرسایش می یابد و این فرسایش باعث گود شدن بستر می شود که باعث می شود مخاطرات جدی برای سازه های مجاور همراه داشته باشد بخصوص در طراحی دیواره های حفاظتی رودخانه، آبگیر ها ،پایین دست حوضچه آرامش ،پایه پل، پایین دست سریز های آبشاری ،پیش بینی میزان عمق آب شستگی بسیار ضروری می باشد .


BRIDGE DECK
ORIGINAL BED
WATER SURFACE
ABUTMENT
ABUTMENT
PIER
LONG TERM DEGRADATION
CONTRACTION SCOUR
LOCAL SCOUR

❖عوامل مختلف فرسایش عمومی را می توان به صورت زیر بیان کرد:

- کاهش طبیعی مقطع رودخانه
- احداث بازوهای جانبی پل ها بر روی سیلابدشت
- عبور موج سیل
- احداث سدهای مخزنی و تله اندازی رسوب
- برداشت مصالح از بستر رودخانه ها
- کاهش مقطع ناشی از احداث پل و سایر اقدامات سازه ای
- تشکیل انباشته ها و جزایر رسوبی در محدوده دهانه پل ها

ارزیابی آثار فرسایش عمومی در محدوده پایه پل ها

- محاسبه عمق فرسایش حاصل از کاهش مقطع

فرمول لارسن :

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \left(\frac{Q_t}{Q_c}\right)^{6.7} \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{A} \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^{B}$$

فرمول استراب :

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{6.7} \left(\frac{\tau_1}{\tau_c}\right)^{3.7}$$

$$\tau_1 = \gamma Y_1 S_1$$

$$\tau_c = \gamma Y_2 S_2$$

$$dsr = Y_2 - Y_1$$

آب شستگی موضعی پایه پل : (Local scour at bridge pier)

اگر پایه به طور عمودی در بستر یک رودخانه قرار گیرد جریان آب در اطراف آن متلاطم شده و یک سلسله جریان های گردابی را ایجاد می کند این سیستم گردابی (vortex system) مکانیزم اصلی آب شستگی به حساب می آید و در دراز مدت باعث ایجاد حفره ها در محل پایه پل شده و ممکن است موجب ریزش پل شود

بسته به نوع پایه و شرایط جریان سیستم گردابی ممکن است از یک یا چند نوع سیستم باشد :

1- سیستم گردابی نعل اسبی (horseshoe vortex)

2- سیستم گردابی شیاری (wake vortex)

3- سیستم گردابی دنباله دار (trailing vortex)

4- سیستم گردابی رو پایین (down flow)

5- سیستم گردابی موج کمانی (dew wave)

الگوی جریان در پای پل (The flow pattern at bridge)

شرح جزئیات جریان در اطراف پایه پل برای درک بهتر بسیار ضروری می باشد .برای این منظور محققین زیادی در مورد جریان سه بعدی دراطراف پایه پل مطالعه نمودند.

Melville(1975) تغییرات جریان و توسعه آبشستگی در پایه پل استوانه ای را مورد مطالعه قرار دادند.

الگوی جریان ها و آبشستگی ها در اطراف پای پل استوانه ای شرح داده شده در شکل زیر

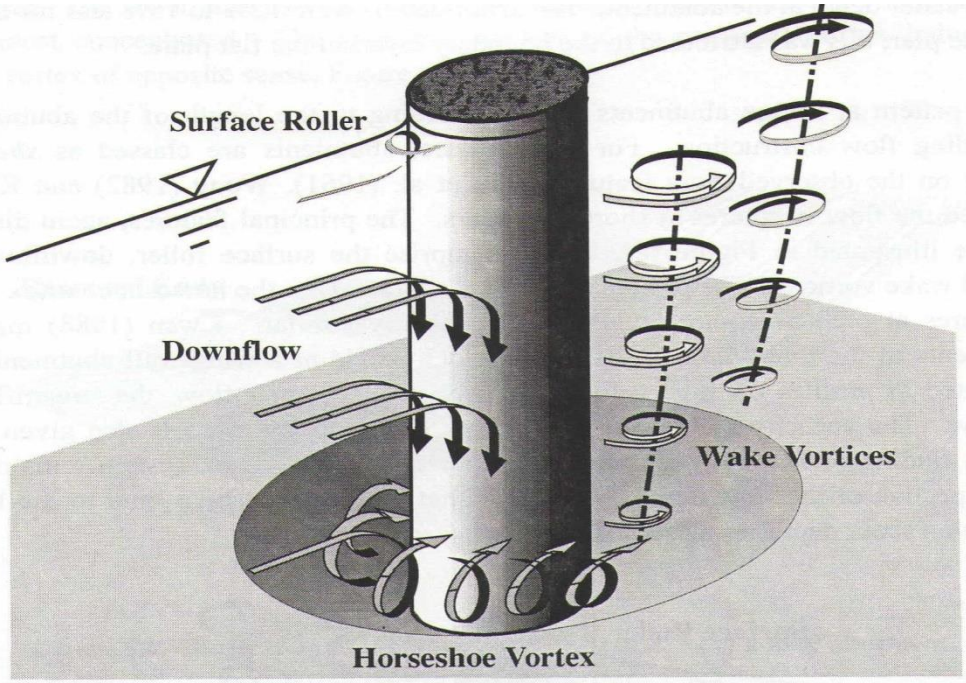
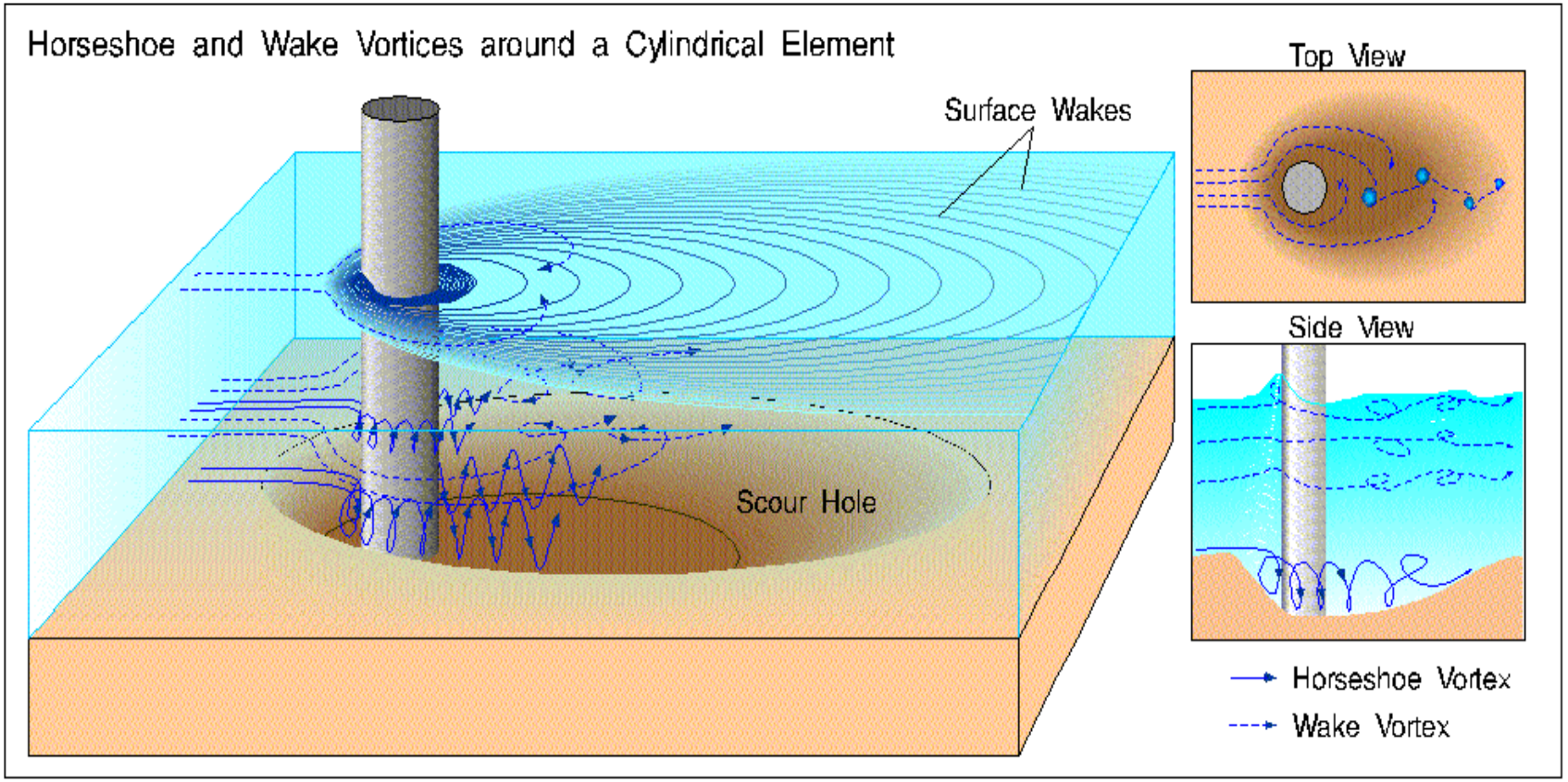


Figure 6.2. Illustration of the flow and scour patterns at a circular pier.

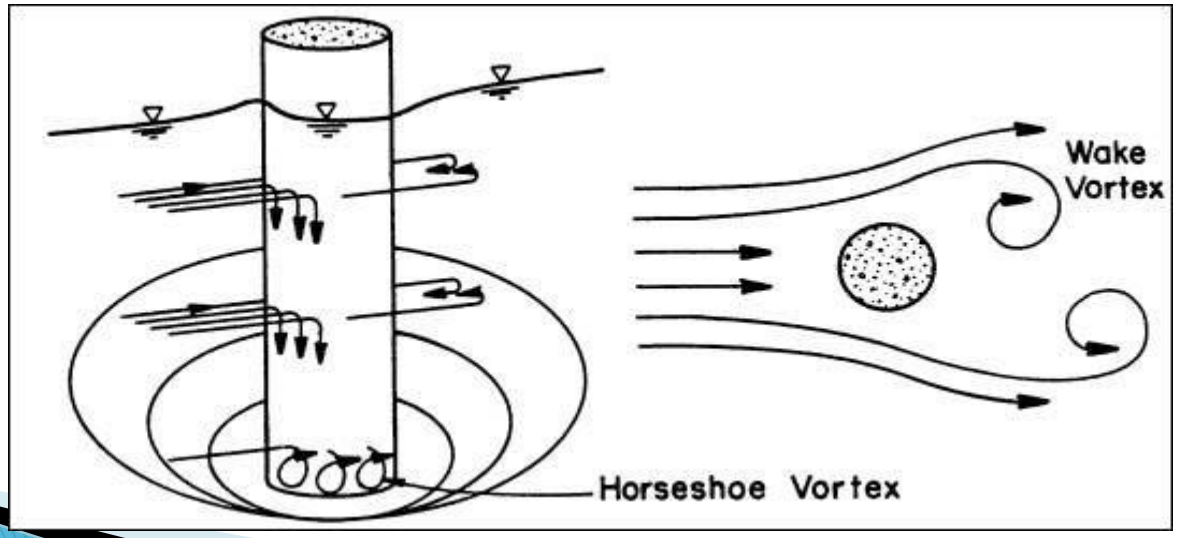
در این شکل جریان های اصلی نشان داده شده :

جریان down flow که جلوی پایه است و جریان نعل اسبی horseshoe vortex در پایه پل و surface roller جلو پایه ، جریان wake vortex که در پایین دست پایه پل ایجاد می شود.


Horseshoe and Wake Vortices around a Cylindrical Element
Surface Wakes
Scour Hole
Top View
Side View
Horseshoe Vortex
Wake Vortex

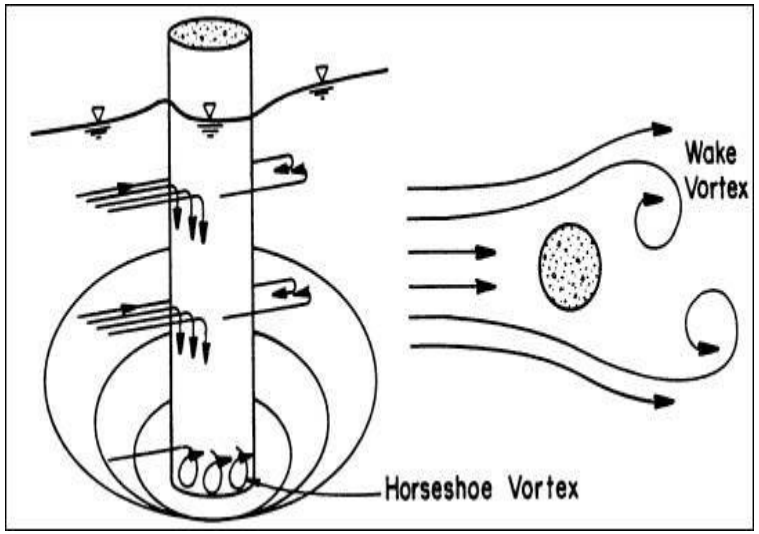
1- جریان down flow به بستر مانند یک جت عمودی ضرب می زند فرسایش شیاری در نزدیکی جلوی پایه پل ایجاد می کند . شکل شیار به صورت شیب در جلو پایه ایجاد می شود که این شیب با قرار گرفتن رسوبات نزول پیدا می کند بنابراین نگهداری شیب در محل به زاویه قرار angle repose رسوبات بستگی دارد .

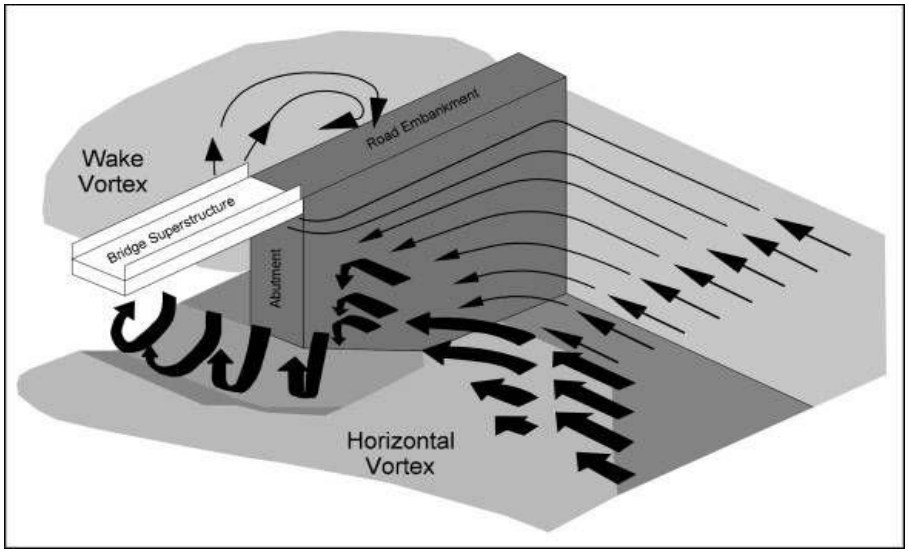
توسعه آبشستگی در اطراف پایه توسط جریان گردابه ای ساخته می شود، که به عنوان horseshoe vortex می شناسیم .و این جریان ذرات را از جای خود در آورده و انتقال می دهد .



بین دو جریان down flow و horseshoe vortex با هم از اولین عوامل برای آبشستگی هستند .

جریان wake vortex در کنار پایه در پایین دست ایجاد شده این جریان مانند جارو برقی رسوبات را از کف مکش می کند و همچنین رسوبات را که به وسیله down flow و horseshoe vortex به دنبال کشیده شده انتقال می دهد .





تاثیرم پارامترها ی آب شستگی موضعی در پایه پل

در این قسمت پارامترهای موثر در عمق آب شستگی موضعی معرفی می شود که به چهار دسته تقسیم می شود:

1-پارامترهای هیدرولیکی (hydraulic parameters)

- عمق جریان y
- سرعت متوسط جریان در بالا دست V
- شیب کانال S_0
- دبی جریان در واحد عرض q
- سطح مقطع A و شکل آبراهه G
- ضریب مانینگ n

2- پارامتر های مربوط به سیال (flood flow parameters)

- جرم واحد حجم
- شتاب ثقل g

لزجت سینماتیکی ν

3- پارامترهای هندسی (Geometry parameters)

- عرض پایه پل b
- طول پایه در جهت جریان L
- شکل پایه Sh

- ت پایه پل Al
- زاویه محور پل θ
- فاصله پل ها

- سطح پایه ها (زبری و صافی)
- سیستم حفاظتی پایه ها
- اجسام شناور که بوسیله جریان حمل می شود

4- پارامتر رسوب (Sediment parameters)

-اندازه موارد رسوبی d_{50}

-جرم واحد حجم مواد کف بستر ρ_s

- توزیع دانه بندی مواد کف بستر

$$\sigma_g = \left(\frac{d_{84}}{d_{16}}\right)^{0.5}$$

- شکل ذرات
- چسبندگی
- طبقه بندی و لایه بندی و ترکیب مواد کف بستر لایه های زیرین
- تغییرات مصنوعی یا طبیعی در رژیم رسوبات
- سرعت جریان بحرانی برای نگهداری رسوبات بستر V_c

جا که عمق آبشستگی به پارامترهای متعددی فوق بستگی دارد مطالعه تاثیر تمام آنها بسیار مشکل وغیر ممکن است لذا به منظور ایجاد رابطه کاربردی ، 15 پارامتر مهم عمق آب شستگی را در نظر می گیریم :

$$d_s=f(\rho,\upsilon,v,y,G,g,d_{50},\sigma_g,\rho_s,v_c,b,Sh,Al,t)$$

با فرض ثابت بودن نسبت جرم واحد حجم رسوبات و قابل اغماض قرار دادن اثر لزجت υ و نسبت جرم واحد حجم رسوبات ρ_s و نسبت جرم واحد حجم آب ρ براساس رابط باکینگهام می توان نوشت :

$$\frac{d_s}{b}=f\left(\frac{v}{v_c},\frac{y}{b},\frac{b}{d_{50}},\sigma_g,Sh,Al,G,\frac{vt}{b},\frac{v}{\sqrt{gb}}\right)$$

اثربرخی پارامتر های مشخص شده بر عمق آب شستگی :

1-اثر شدت جریان $\frac{v}{v_c}$:

آب شستگی موضعی در فنداسیون پل درزیر شرایط live bed و clear water در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفته می شود.

:Clear wa

در این آبشستگی رسوبات از بالادست حرکت نمی کنند .

: Live bed

رسوبات آبشستگی متناوبا ازبالا دست می آیند .آبشستگی به عمق تعادل رسیده .

:Clear water

شرایط آبشستگی برای دو نوع رسوب بررسی شده:

1- uniform

2- nonuniform

<1 $\frac{v}{v_c}$ یا $\frac{v-(v_a-v_c)}{v_c}$ رعایت شده باشد .

:Live bed

آبشستگی رسوبات nonuniform($\sigma_g > 1.3$) روی بسترلایه محافظ اتفاق می افتد .و سبب می شود که عمق آبشستگی کم شود .

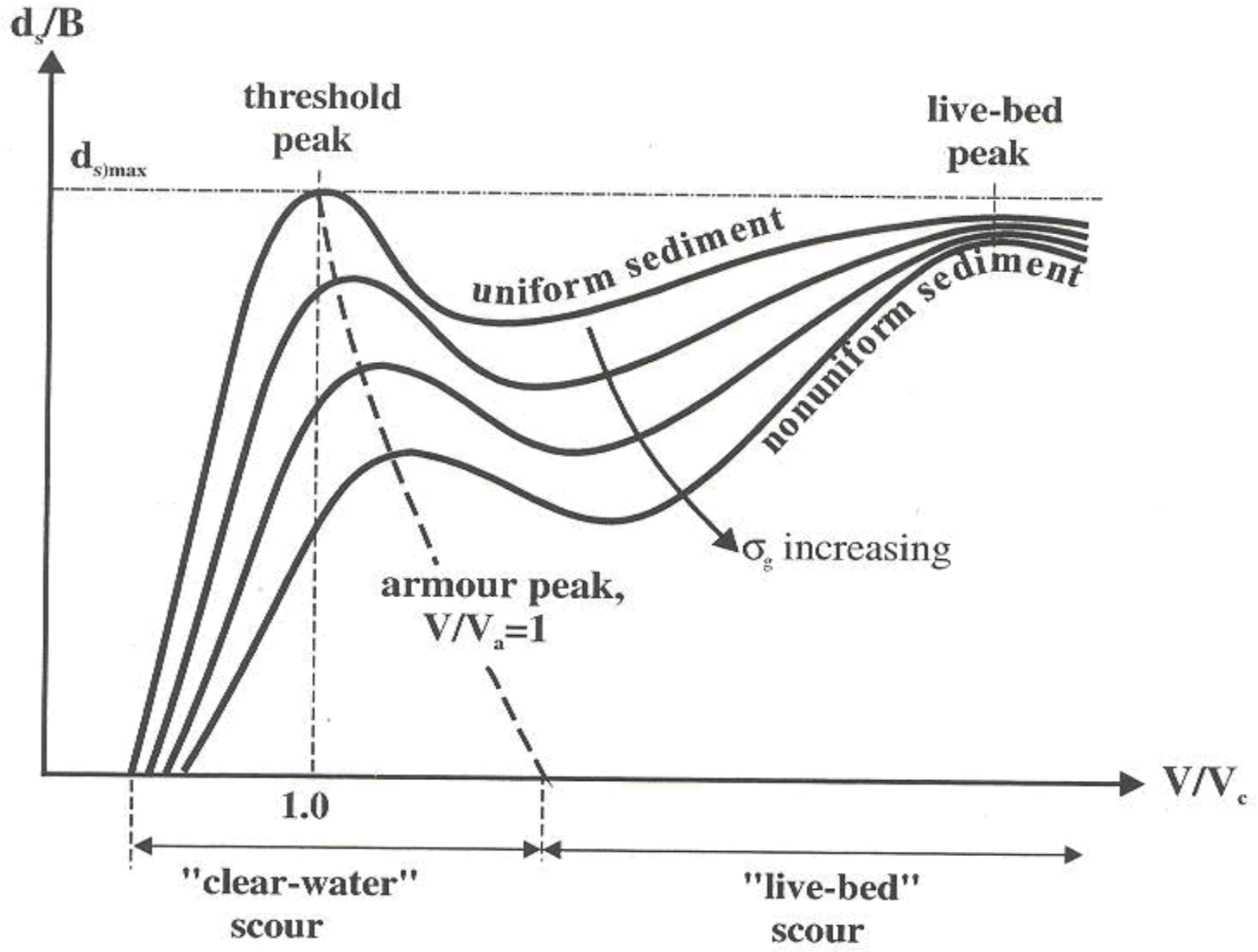


Figure 6.7. Local scour depth variation with flow intensity.

Zone I: Armour Layer Formation
Zone II: Progressive Break-up of Armour
Zone III: All Particle Sizes in Motion

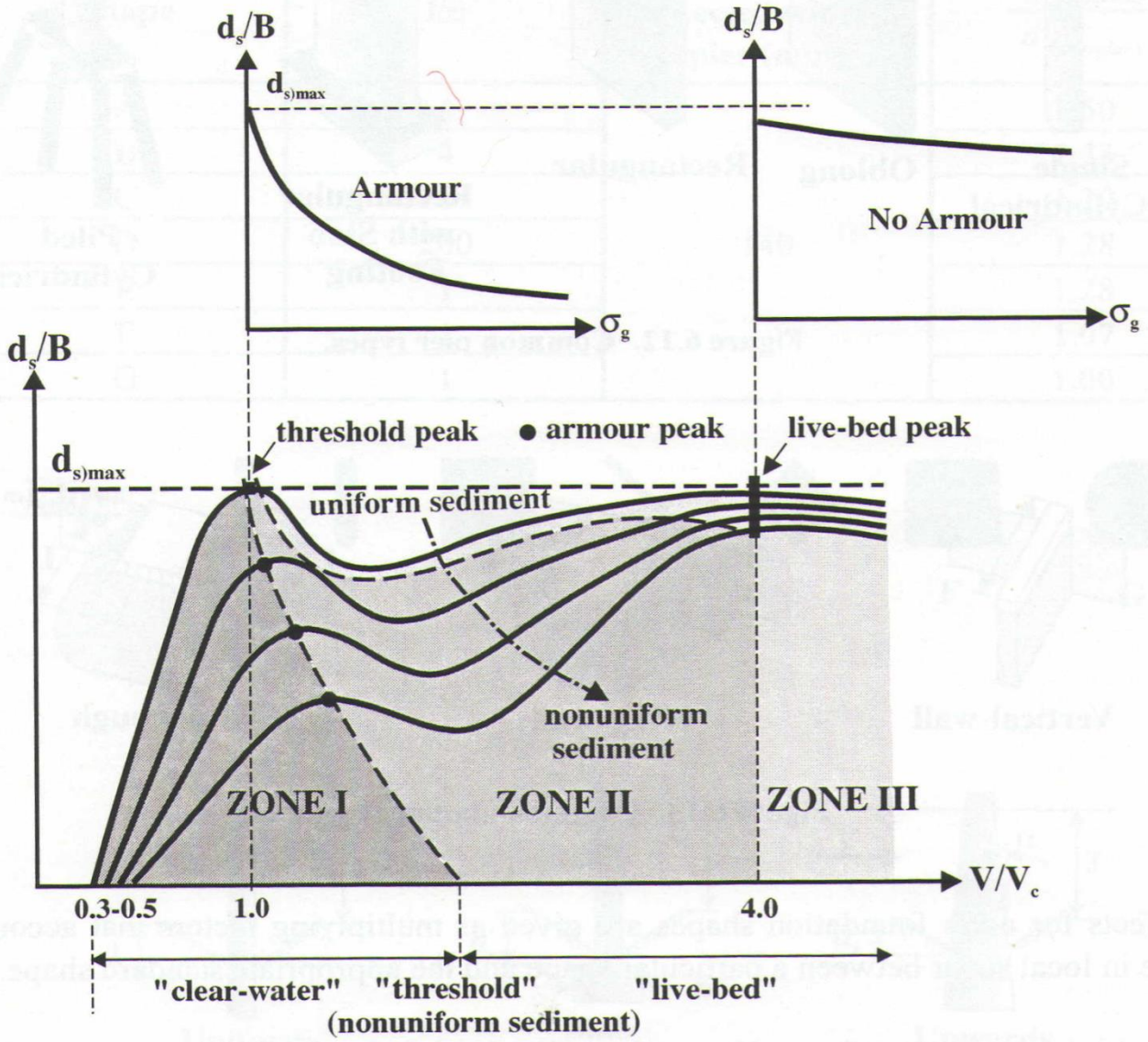


Figure 6.11. Local scour depth variation with sediment nonuniformity.

جدول زیر که براساس اطلاعات آزمایشگاه ای بدست آمده:

Foundation Type	Class	B/y	Local Scour Dependence
Pier	Narrow	b/y<0.7	$d_s \propto b$
	Intermediate width	0.7<b/y<5	$d_s \propto (by)^{0.5}$
	Wide	b/y>5	$d_s \propto y$
Abutment	Short	L/y<1	$d_s \propto L$
	Intermediate length	1<L/y<25	$d_s \propto (Ly)^{0.5}$
	Long	L/y>25	$d_s \propto y$

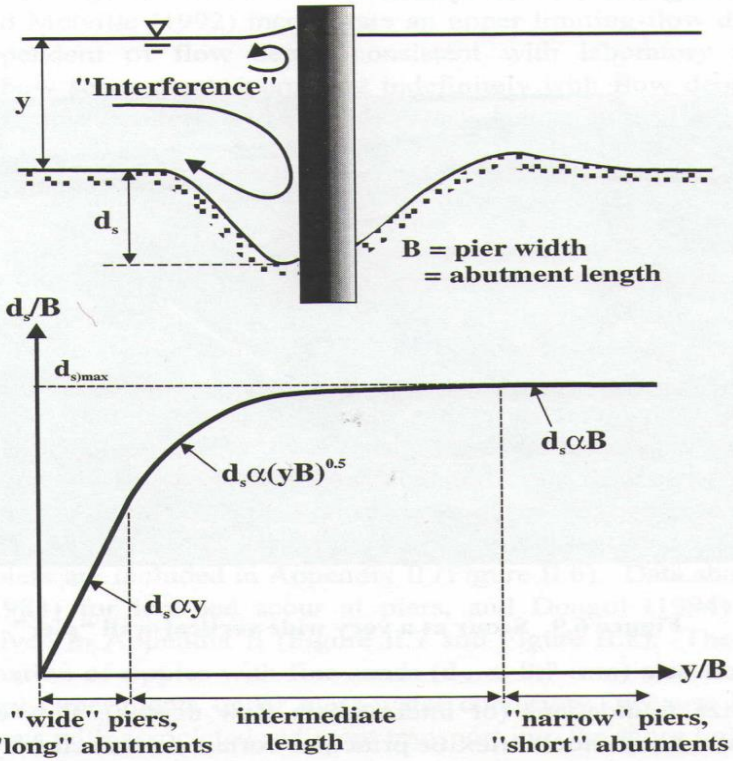


Figure 6.8. Local scour depth variation with flow shallowness.

آزمایشات نشان می دهند که اندازه رسوبات بر عمق آبشستگی وقتی اثر دارد که $b/d_{50}<50$ باشد .

همانگونه که نشان داد شده در شکل زیر

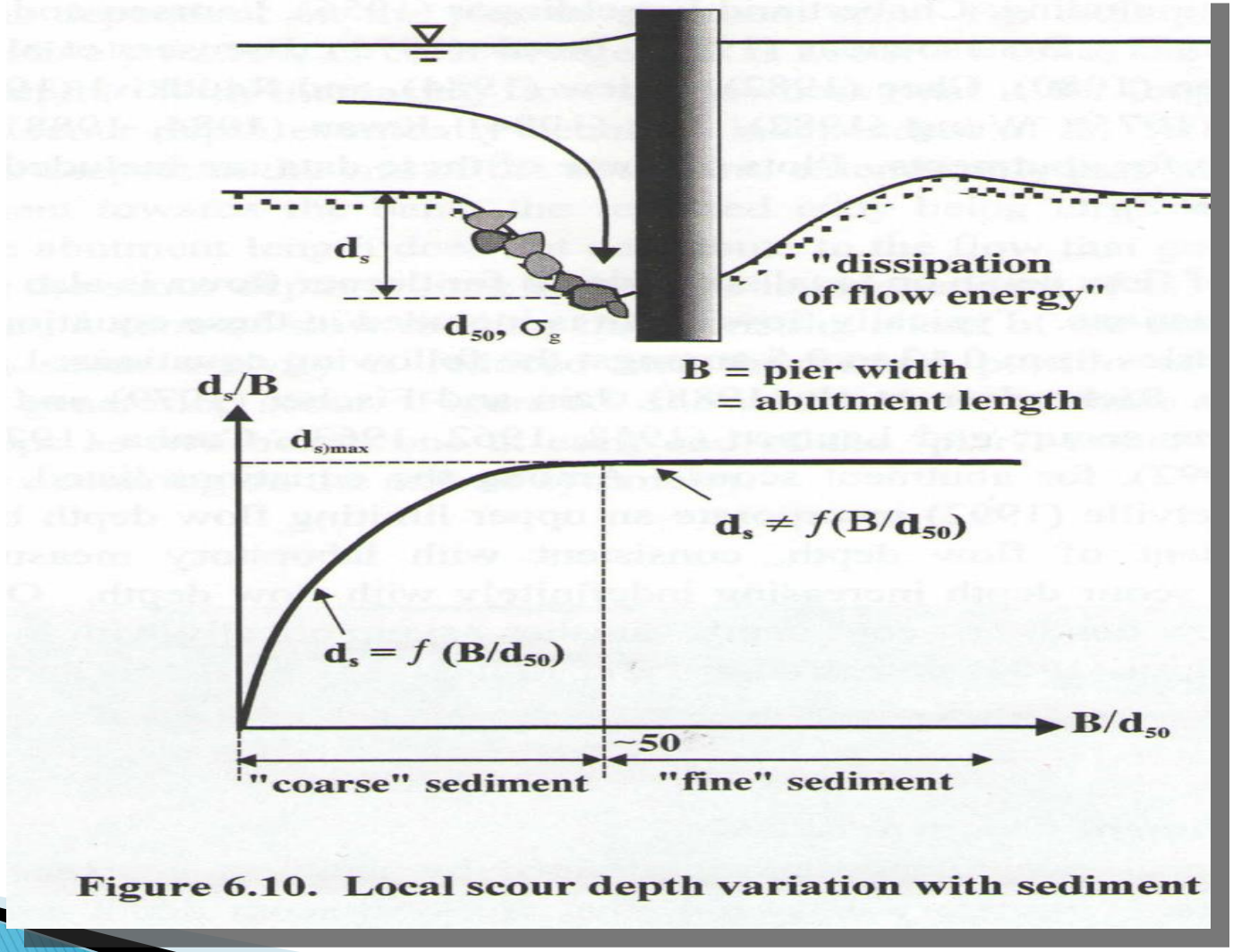


Figure 6.10. Local scour depth variation with sediment

شکل پایه (Sh)

پایه پل در شکلهای مختلف هستند .برخی از این شکل را در زیر مشاهده می کنید

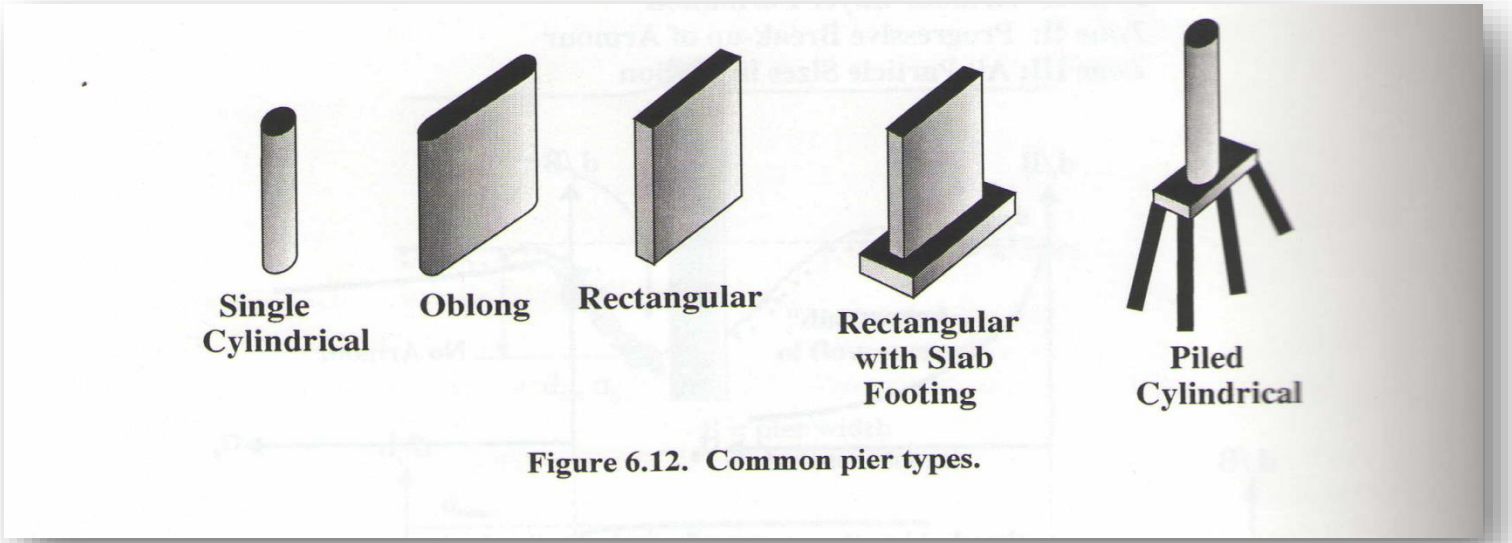


Figure 6.12. Common pier types.

عمق آبشستگی وابسته به جریانی که به وسیله پایه پل تحمیل می شود مثلاً اگر پایه به شکل پهن و کلفت(blunter) باشد آبشستگی عمیق تر می شود .در آزمایشگاه برای مقایسه اثر شکل پایه ها از شکل های استاندارد(standard foundation shapes)تعریف می کنند و عمق آبشستگی شکلهای دیگر را نسبت به آن بیان می کنند

در کتاب Melville & Coleman شکل استاندارد پایه استوانه ای تعریف کرده

Mostafa در(1994) عمق آبشستگی شکل های پایه مختلف را مقایسه کرده ، که در جدول زیر مشاهده می کنید عرض همه پایه ها را 140mm در نظر گرفته است .

Table 6.2. Comparison of local scour depths at different pier shapes, Mostafa (1994).

Shape	l/b	Projected width of pier (mm)	$\frac{d_{s(noncircular)}}{d_{s(circular)}}$
A	4	140	1.50
B	4		1.33
C	1		1.29
D	200		1.28
E	1		1.28
F	1		1.07
G	1		1.00

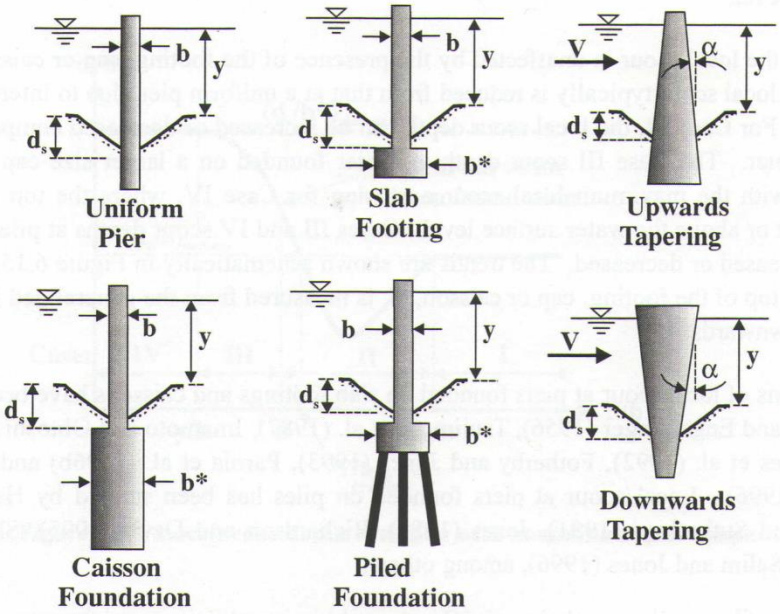


Figure 6.14. Examples of nonuniform piers.

مهدی قمشی - جزوه درسی مهندسی رودخانه

دانشگاه شهید چمران اهواز

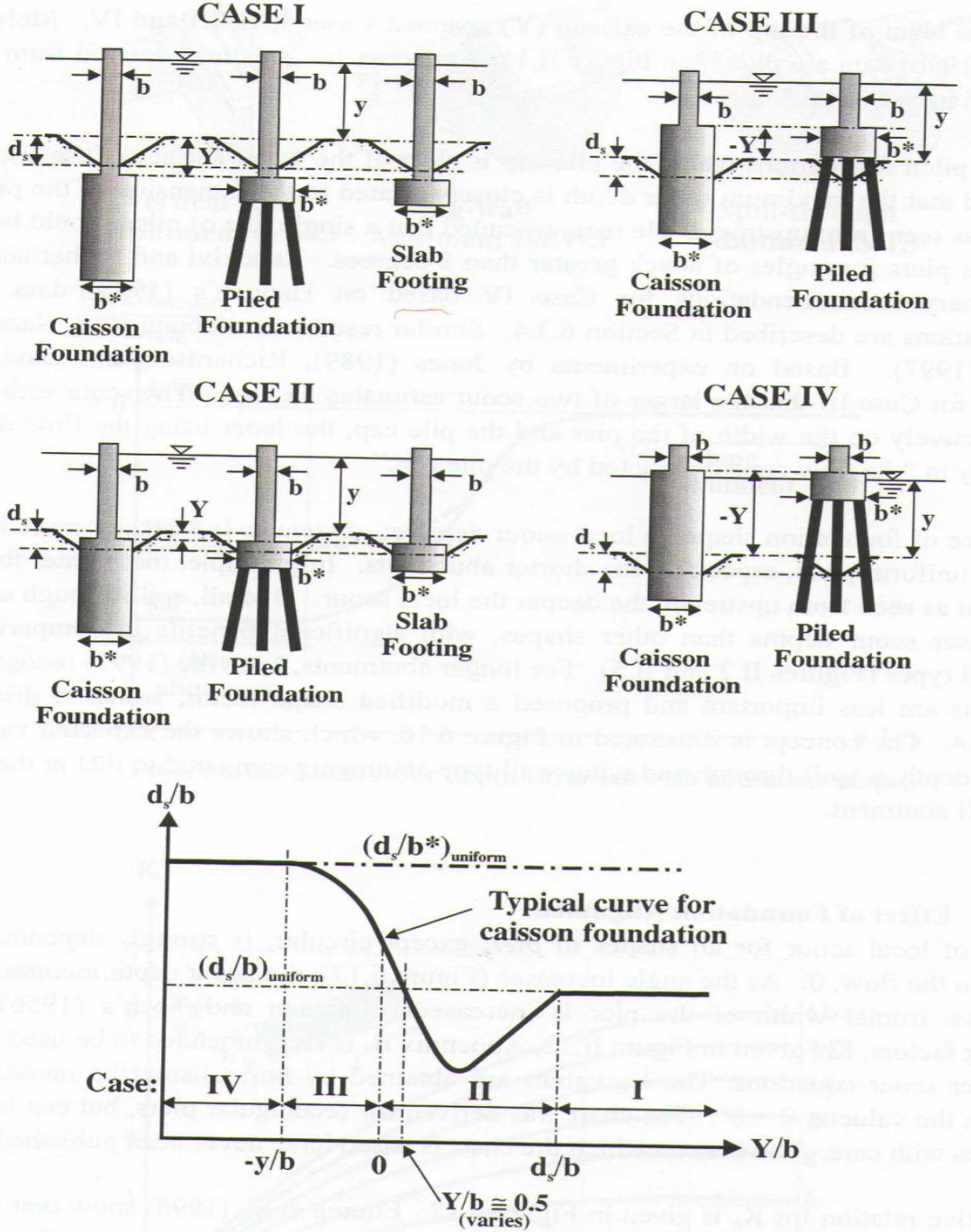


Figure 6.15. Local scour depth variation with nonuniform pier shape.

مهدی قمشی - جزوه درسی مهندسی رودخانه

5-اثر زاویه پایه (θ)

عمق آبشستگی برای همه شکل ها پایه بجز استوانه ، شدیداً وابسط به مسیر جریان نسبت به پایه پل است.
همان گونه که در شکل زیر نشان داده شده افزایش θ باعث افزایش پیشامدگی و افزایش عمق آبشستگی می شود

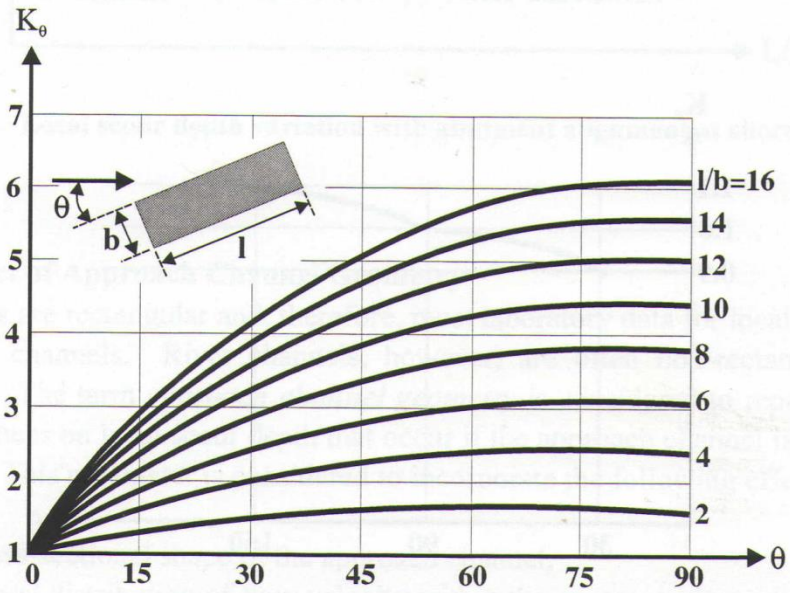


Figure 6.17. Local scour depth variation with pier alignment.

برای پایه ها مستطیلی عرض طرح شده (b_p)

$$b_p=L\sin\theta+b\cos\theta$$

مشتق نسبت به θ نتیجه می شود $(\frac{db_p}{d\theta}=0)$ به عنوان مثال برای $\theta=\text{Arctan}(\frac{l}{b})$

$$\frac{l}{b}=6\longrightarrow\theta=80.5$$

اما استفاده از پایه های استوانه ای وشمع های ردیفی ویا دیگر شکل های L/b آنها کم میباشد مناسب است .

-تخمین عمق آبشستگی :

$$d_s=k_{yb}\ k_I\ k_d\ k_s\ k_\theta\ k_G\ k_t$$

k_{yb}: اندازه عمق k_i: ضریب شدت جریان $(\frac{v}{v_c})$ k_d: ضریب زبری اندازه دانه ها رسوبی k_s: ضریب شکل k_θ: ضریب مسیر جریان k_G: ضریب هندسی مسیر k_t: ضریب زمان

مفاهیم عمق آبشستگی در پایه پل

با توجه نتایج آزمایشگاهی چون ضرایب k_i ، k_G، k_t، k_d همیشه از یک کمتر ویا مساوی یک هستند، می توان یک را قرار داد . ومعادله بالا به صورت زیر می شود.

$$d_{se)max}=k_{yb}\ k_s\ k_\theta$$

$$K_\theta = \left(\frac{b_p}{b}\right)^{0.65} = \left(\frac{l}{b}\sin\theta + \cos\theta\right)^{0.65}$$

دانشگاه شهید چمران اهواز

$$K_{yb} = 2.4b \qquad \frac{b}{y} < 0.7 \qquad \textbf{(6.4a)}$$

$$K_{yb} = 2\sqrt{yb} \qquad 0.7 < \frac{b}{y} < 5 \qquad \textbf{(6.4b)}$$

$$K_{yb} = 4.5y \qquad \frac{b}{y} > 5 \qquad \textbf{(6.4c)}$$

Foundation Type	Shape	K_s
Uniform Pier	Circular	1.0
	Round Nosed	1.0
	Square Nosed	1.1
	Sharp Nosed	0.9

دانشگاه شهید چمران اهواز

Table III.1. Shape factors for uniform piers (for piers aligned with the flow).

Shape	l/b	Tison (1940)	Laursen & Toch (1956)	Chabert & Engeldinger (1956)	Garde (1961)	Larras (1963)	Venkatadri et al. (1965)	Maza Alvarez (1968)	Dietz (1972)	Neill (1973)	Richardson and Davis (1995)
Circular	1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Oblong	4	1.0		1.03							
Round nosed			1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	0.85	1.0	1.0
Rectangular	1								1.22		
	3								1.08		
	4	1.24									
	5								0.99		
Square nosed			1.11		1.11	1.11		1.24		1.33	1.1
Streamlined or sharp nosed										0.8	0.9
Lenticular	2		0.89			0.91					
	3		0.78			0.76					
	4	0.59		0.73		0.76					
	7									0.8	
Parabolic nosed							0.56			0.8	
Triangular nosed 60°		0.77					0.75	0.73	0.65		
Triangular nosed 90°							1.25	1.0	0.76		
Elliptical	2		0.89			0.91			0.83	1.0	
	3		0.83			0.83			0.8		
	5								0.99		
Ogival	4			0.92		0.92					
Joukowski	4			0.86		0.86					
Rectangular chamfered	4								1.01		
Aerofoil	3.5								0.8		

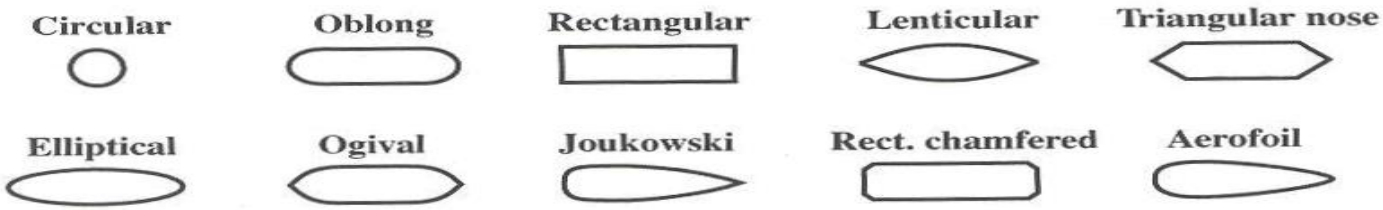


Figure III.1. Uniform pier shapes.

-دیگر معادلات عمق آبشستگی پایه پل:

CUS(colorado state university)معادله(6-55) davise & Richardson توصیه شده در HEC 18ودر آمریکا گسترش یافته و این معادله از یک طراحی آزمایشگاهی برای پایه استوانه ای تعیین شده بود

معادله (6-57)به بوسیله Gaoو همکاران که در چین بیشتراز20 سال درمهندسی راه آهن و بزرگ راه بکار می رود

Ansari&Qader معادله توسعه یافته (6-59) این معادله با توجه به 100اندازه گیری برای عمق آبشستگی واستفاده از 12 منبع مختلف در چند کشور و شامل 40 آزمایش از هند بدست آمده

Reference	Equation	Standard format (for comparison)	Notes
Laursen (1958)	$\frac{b}{y} = 5.5\frac{d_s}{y}\left[\left(\frac{d_s}{11.5y}+1\right)^{1.7} - 1\right]$ (6.25)	$\frac{d_s}{b} \approx 1.11\left(\frac{y}{b}\right)^{0.5}$ (6.26)	applies to live-bed scour
Laursen (1963)	$\frac{b}{y} = 5.5\frac{d_s}{y}\left[\frac{\left(\frac{d_s}{11.5y}+1\right)^{7/6}}{\left(\frac{\tau_1}{\tau_c}\right)^{0.5}} - 1\right]$ (6.27)	At the threshold condition, $\frac{d_s}{b} \approx 1.34\left(\frac{y}{b}\right)^{0.5}$ (6.28)	applies to clear-water scour τ_1 = grain roughness component of bed shear τ_c = critical shear stress at threshold of motion
Larras (1963)	$d_s = 1.05K_sK_\theta b^{0.75}$ (6.29)	$\frac{d_s}{b} = 1.05K_sK_\theta b^{-0.25}$ (6.30)	
Breusers (1965)	$d_s = 1.4b$ (6.31)	$\frac{d_s}{b} = 1.4$ (6.32)	derived from data for tidal flows
Blench (1969)	$\frac{d_s + y}{y_r} = 1.8\left(\frac{b}{y_r}\right)^{0.25}$ (6.33)	$\frac{d_s}{b} = 1.8\left(\frac{y_r}{b}\right)^{0.75} - \frac{y}{b}$ (6.34)	y_r=regime depth $=1.48(q^2/F_B)^{1/3}$ where $F_B=1.9(d)^{0.5}$, d in mm and q in m^2/s
Shen et al. (1969)	$d_s = 0.000223\left(\frac{Vb}{\nu}\right)^{0.619}$ (6.35)	$\frac{d_s}{b} = 2.34\left(\frac{y}{b}\right)^{0.381} Fr^{0.619}y^{-0.06}$ (6.36)	Equation 6.36 is given for kinematic viscosity of water, $\nu = 1x10^{-6}$ m^2/s
Coleman (1971)	$\frac{V}{\sqrt{2gd_s}} = 0.6\left(\frac{V}{b}\right)^{0.9}$ (6.37)	$\frac{d_s}{b} = 0.54\left(\frac{y}{b}\right)^{0.19} Fr^{1.19}y^{0.41}$ (6.38)	
Hancu (1971)	$\frac{d_s}{b} = 2.42\left(\frac{2V}{V_c} - 1\right)\left(\frac{V_c^2}{gb}\right)^{1/3}$ (6.39)	$\frac{d_s}{b} = 2.42\left(\frac{y}{b}\right)^{1/3} Fr^{2/3}$ (6.40)	$(2V/V_c-1)$ =1 for live-bed scour Equation 6.40 given at threshold condition
Neill (1973)	$d_s = K_sb$ (6.41)	$\frac{d_s}{b} = K_s$ (6.42)	K_s=1.5 for round-nosed and circular piers; K_s=2.0 for rectangular piers
Breusers et al. (1977)	$\frac{d_s}{b} = f\left(\frac{V}{V_c}\right)\left[2.0\tanh\left(\frac{y}{b}\right)\right]K_sK_\theta$ (6.43)	$\frac{d_s}{b} = 2.0\tanh\left(\frac{y}{b}\right)K_sK_\theta$ (6.44)	$f(V/V_c)$=0 $V/V_c \le 0.5$ =$(2V/V_c-1)$ $0.5<V/V_c<1$ =1 $V/V_c>1$ Equation 6.44 given at the threshold condition
Jain and Fischer (1980)	$\frac{d_s}{b} = 1.86\left(\frac{y}{b}\right)^{0.5}(Fr - Fr_c)^{0.25}$ (6.45)	$\frac{d_s}{b} = 1.86\left(\frac{y}{b}\right)^{0.5}$ (6.46)	$Fr=V/(gy)^{0.5}$ $Fr_c=V_c/(gy)^{0.5}$ Equation 6.46 given at the threshold condition

دانشگاه شهید چمران اهواز
مهدی قمشی- جزوه درسی مهندسی رودخانه

Table 6.6. (cont.) A selection of pier scour equations.

Reference	Equation	Standard format (for comparison)	Notes
Jain (1981)	$\frac{d_s}{b} = 1.84\left(\frac{y}{b}\right)^{0.3} Fr_c^{0.25}$ (6.47)	$\frac{d_s}{b} = 1.84\left(\frac{y}{b}\right)^{0.3}$ (6.48)	Equation 6.48 given at the threshold condition
Chitale (1988)	$d_s = 2.5b$ (6.49)	$\frac{d_s}{b} = 2.5$ (6.50)	
Melville and Sutherland (1988)	$\frac{d_s}{b} = K_I K_y K_d K_s K_\theta$ (6.51)	$\frac{d_s}{b} = 2.4 K_y K_d K_s K_\theta$ (6.52)	For an aligned pier, $d_{s)max}=2.4K_sK_db$ Equation 6.52 given at the threshold condition
Breusers and Raudkivi (1991)	$\frac{d_s}{b} = 2.3 K_y K_s K_d K_\sigma K_\theta$ (6.53)	$\frac{d_s}{b} = 2.3 K_y K_s K_d K_\sigma K_\theta$ (6.54)	For an aligned pier, $d_{s)max}=2.3K_sK_dK_\sigma b$
Richardson and Davis (1995)	$\frac{d_s}{b} = 2K_s K_\theta K_3 K_4 \left(\frac{y}{b}\right)^{0.35} Fr^{0.43}$ (6.55)	$\frac{d_s}{b} = 2K_s K_\theta K_3 K_4 \left(\frac{y}{b}\right)^{0.35} Fr^{0.43}$ (6.56)	K_3 = factor for mode of sediment transport K_4 = factor for armouring by bed material $d_{s)max}=2.4b$ $Fr\leq 0.8$ $d_{s)max}=3b$ $Fr>0.8$
Gao et al.(1993)	$d_s = 0.46 K_\zeta b^{0.60} y^{0.15} d^{-0.07} \left[\frac{V - V_c'}{V_c - V_c'}\right]^\eta$ (6.57) $V_c = \left(\frac{y}{d}\right)^{0.14}\left[17.6\left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho}\right)d + 6.05\times10^{-7}\left(\frac{10+y}{d^{0.72}}\right)\right]^{0.5}$ $V_c' = 0.645\left(\frac{d}{b}\right)^{0.053} V_c$ where d_s, b, y, d, V, V_c, V_c' are in S.I. units.	$\frac{d_s}{b} = 0.46 K_\zeta \left(\frac{y}{b}\right)^{0.4}\left(\frac{y}{d}\right)^{0.07} y^{-0.32}$ (6.58)	V_c'=incipient velocity for local scour at a pier K_ζ=shape and alignment factor η=1 for clear-water scour <1 for live-bed scour i.e., $\eta = \left(\frac{V_c}{V}\right)^{9.35+2.23\log d}$ where d is in S.I. units Equation 6.58 is valid for the threshold condition
Ansari and Qadar (1994)	$d_s = 0.86 b_p^{3.0}$ $b_p < 2.2$ m $d_s = 3.60 b_p^{0.4}$ $b_p > 2.2$ m (6.59)	$\frac{d_s}{b_p} = 0.86 b_p^{\ 2}$ $b_p < 2.2$ m $\frac{d_s}{b_p} = 3.60 b_p^{-0.6}$ $b_p > 2.2$ m (6.60)	b_p = projected width of pier
Melville (1997)	$d_s = K_{yb} K_I K_d K_s K_\theta$ (6.61)	$d_s = K_{yb} K_d K_s K_\theta$ (6.62)	$K_{yb}=2.4b$ $b/y<0.7$ $K_{yb}=2(yb)^{0.5}$ $0.7<b/y<5$ $K_{yb}=4.5y$ $b/y>5$ Equation 6.62 given at the threshold condition

دانشگاه شهید چمران اهواز
مهدی قمشی - جزوه درسی مهندسی رودخانه

مثال

- پل بتنی سعد آباد –نظر آقا واقع در رودخانه دالکی استان بوشهر دارای پایه هایی استوانه ای به قطر 1.2 متر و ارتفاع 9 متر می باشد. دبی سیلاب با دوره بازگشت دو ساله رودخانه 1120 متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است. با این دبی عمق آب در محل پل 7 متر و سرعت آن 0.9 متر بر ثانیه بدست آمده است.
- راه حل: رابطه Neill $d_s = k_s b$

$b=1.2$و از جدول داریم $k_s=1.5$ پس $d_s=1.8m$

از رابطه Shenمی شود

$$d_s = 0.000223\left(\frac{Vb}{\nu}\right)^{0.619} = 0.000223\left(\frac{0.9\times 1.2}{1\times 10^{-6}}\right)^{0.619} = 1.21m$$

مهار آبشستگی پایه های پل

Figure 9.16. Riprap protection at bridge piers.

روش های مهار آبشستگی پایه پل ها

۱ قرار دادن پی (فونداسیون) در تراز پایین تر از عمق گودال فرسایشی

۲ بالا بردن مقاومت بستر در برابر فرسایش

۳ کاهش قدرت عوامل فرسایش، جریان رو به پایین و گرداب نعل اسبی

۲ بالا بردن مقاومت بستر در برابر فرسایش

- بررسی پایداری سنگ چین
- تأثیر سطح قرار گیری لایه سنگ چین بر پایداری آن

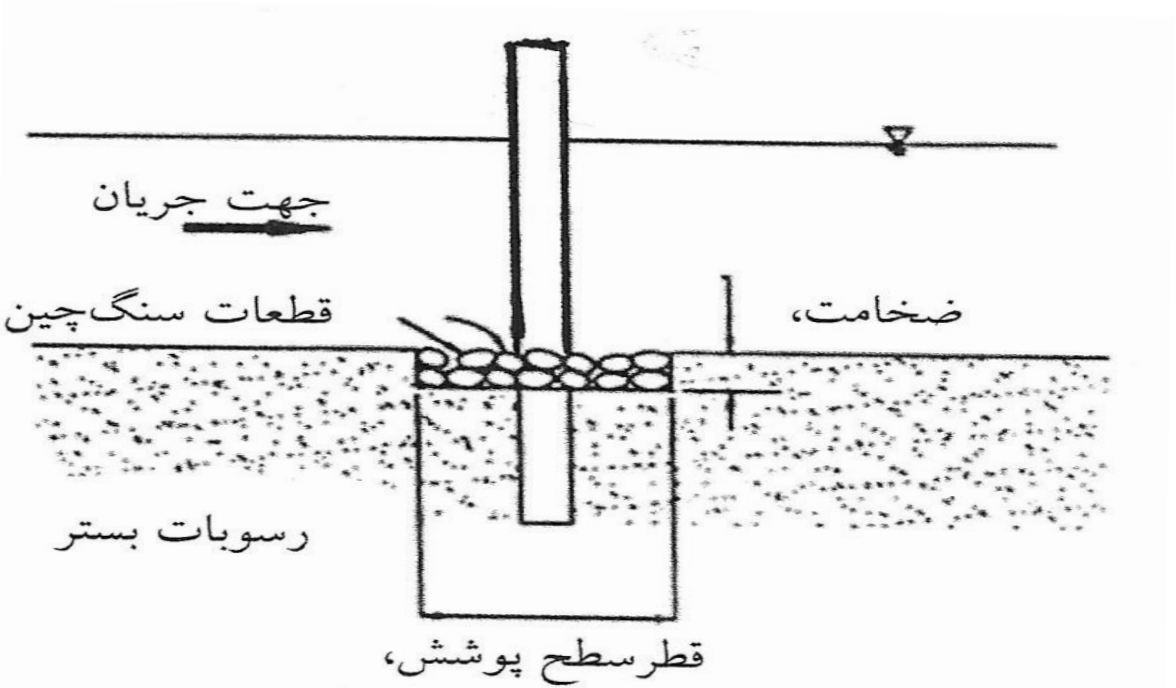
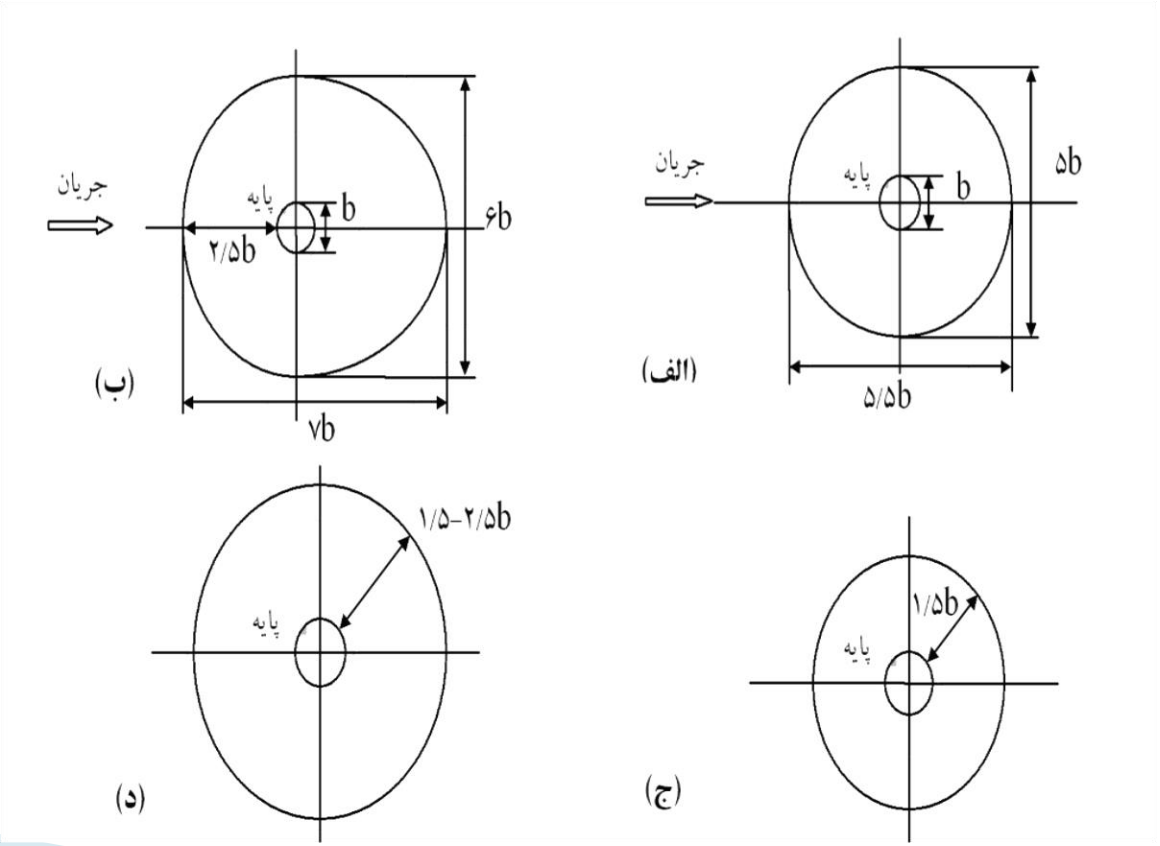


Figure 9.23. Example of the use of cable-tied blocks for scour protection. The photograph (taken as part of an NCHRP project) is courtesy of R. Voigt of The University of Minnesota, Minnesota, U.S.A.

A-jacks

۲ بالا بردن مقاومت بستر در برابر فرسایش

- تعیین حداقل ابعاد لازم برای محدوده پوشش سنگ چین دور پایه



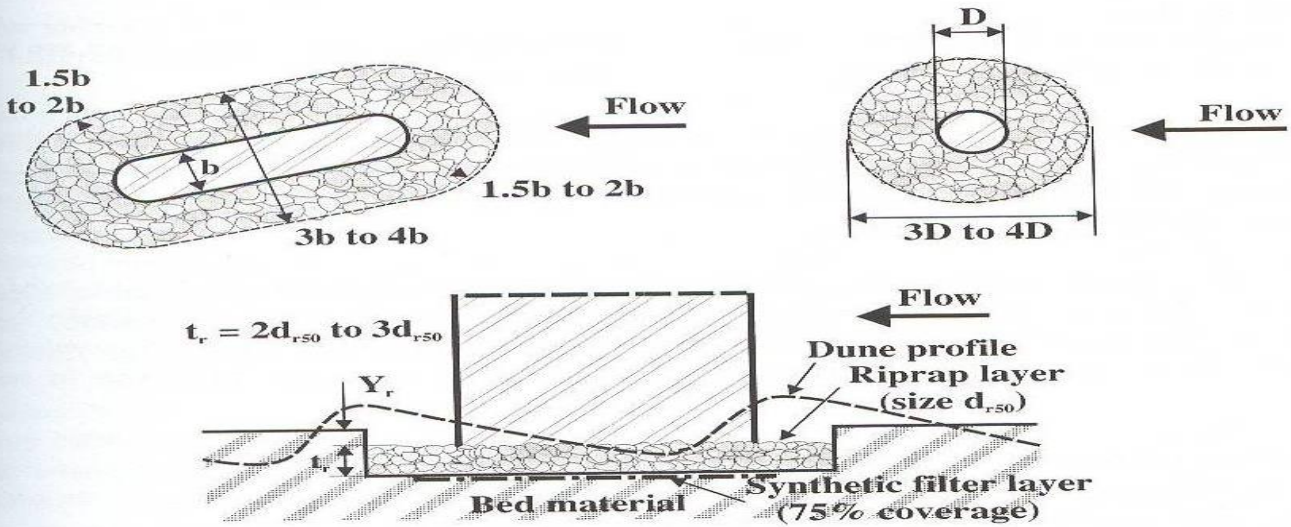


Figure 9.21. Recommendations for riprap placement at bridge piers.

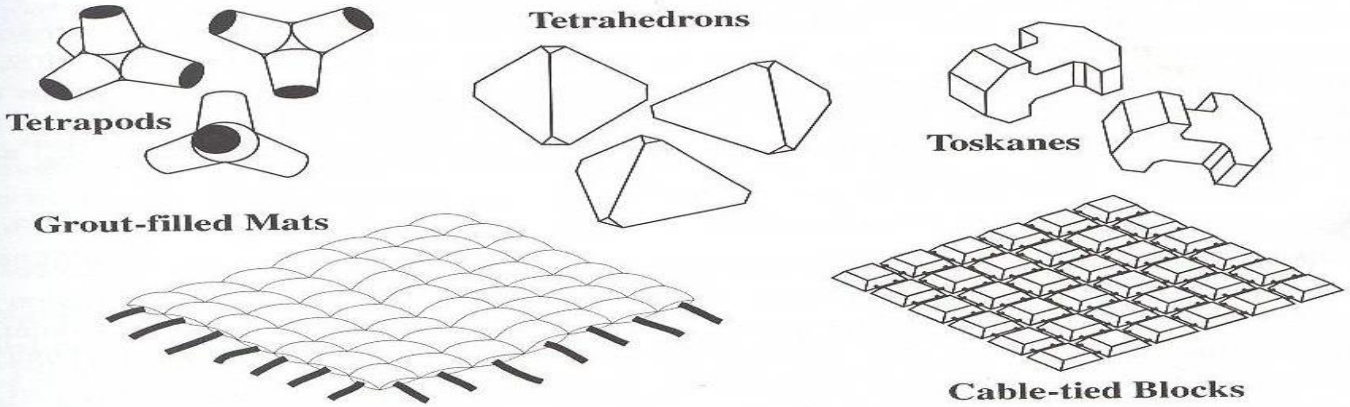
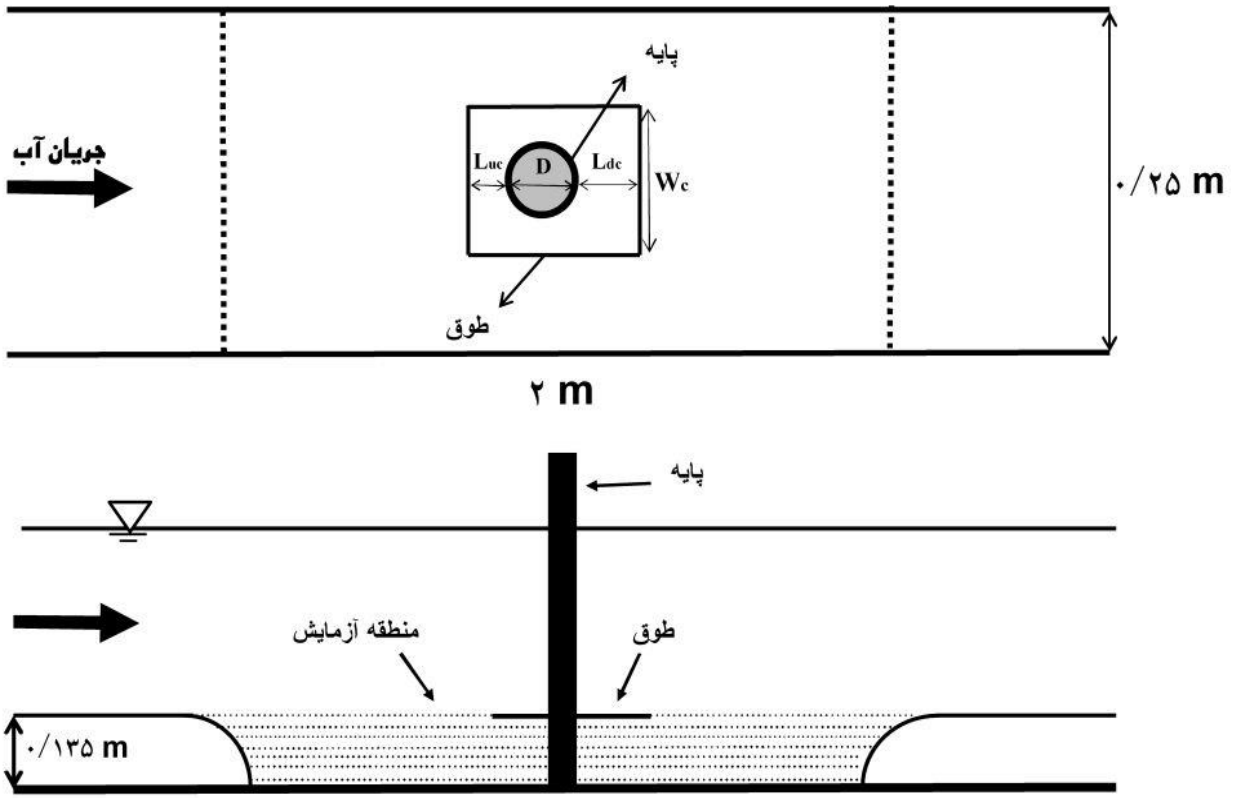


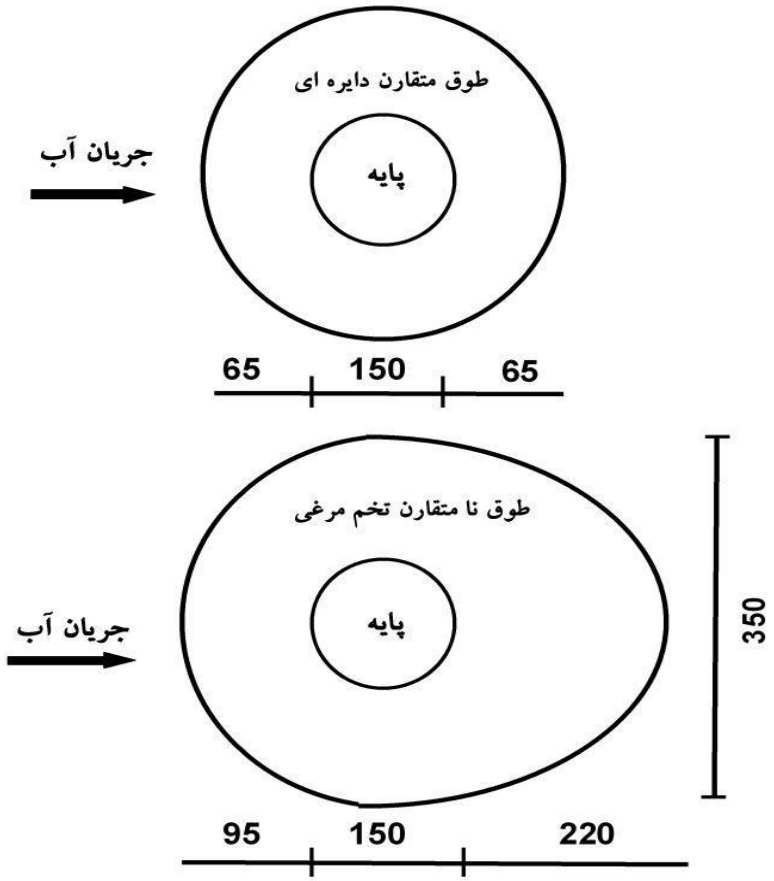
Figure 9.22. Alternative armouring devices for pier scour protection.

کاهش قدرت عوامل فرسایش، جریان رو به پایین و گرداب نعل اسبی

- استفاده از طوق در کاهش آبشستگی



❖استفاده از طوق در کاهش آبشستگی



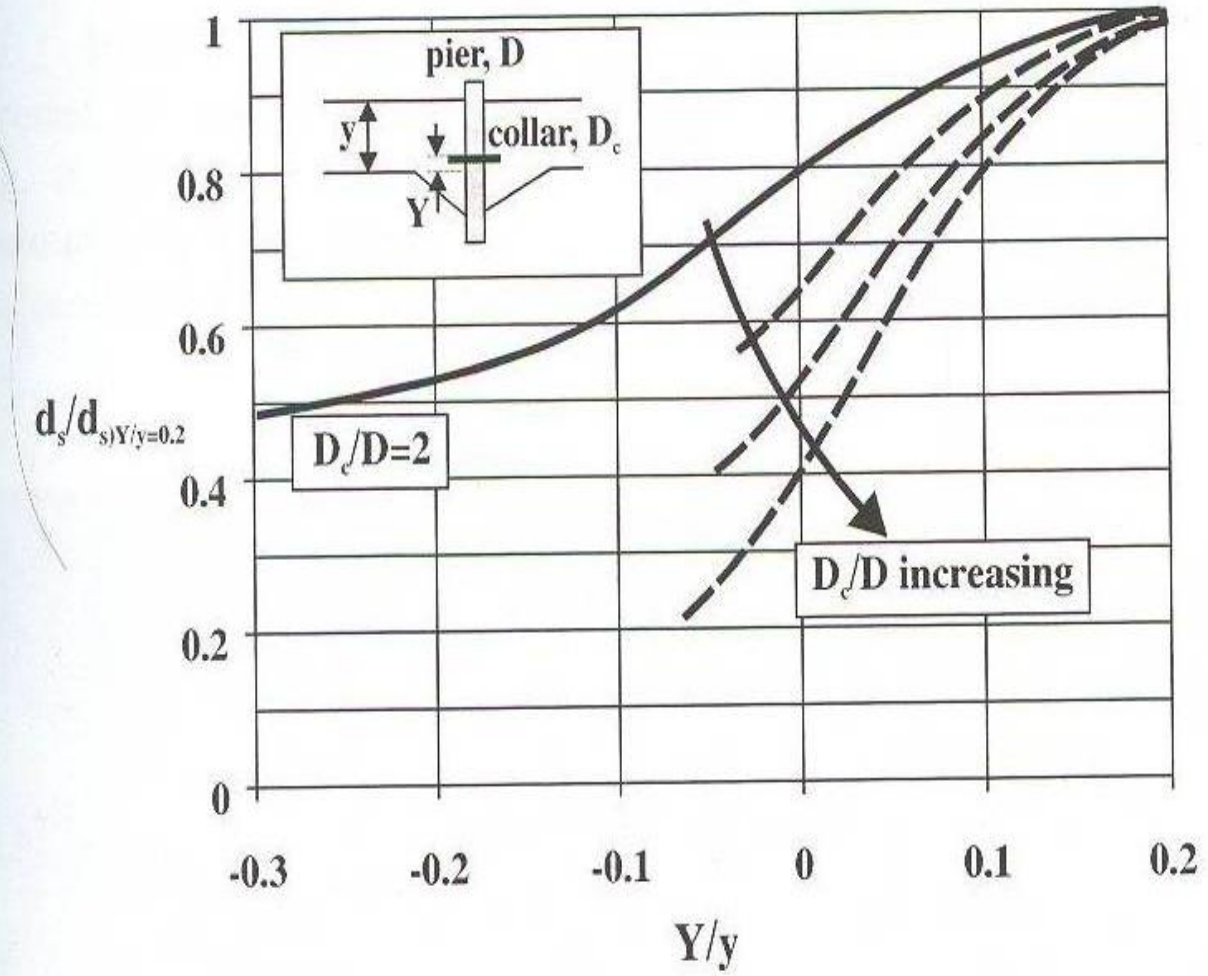
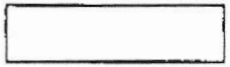
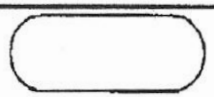
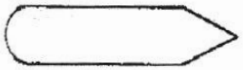
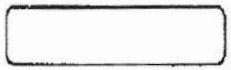
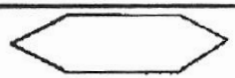
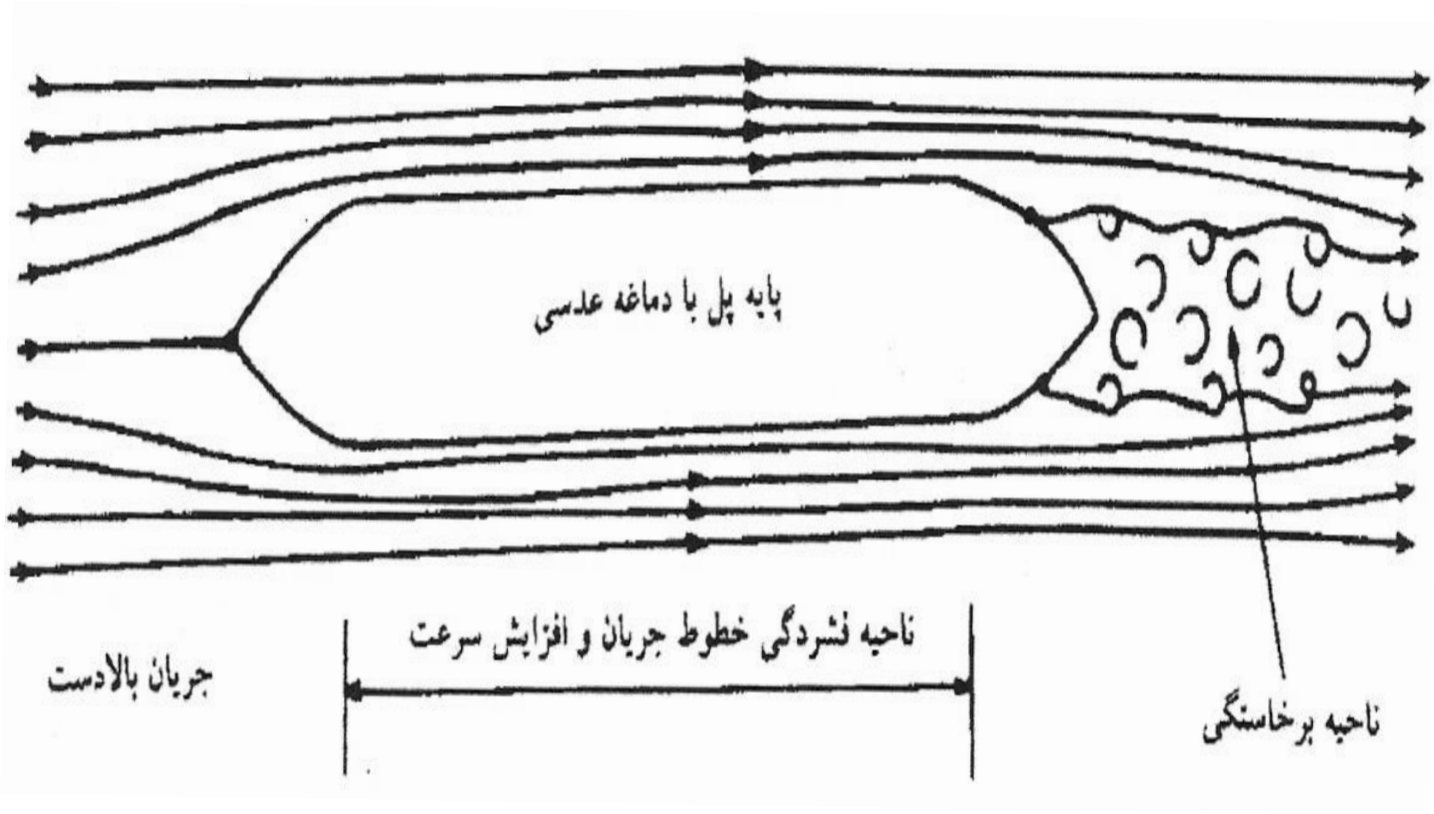


Figure 9.25. Summary plot of scour depths at cylindrical piers featuring a protective collar.

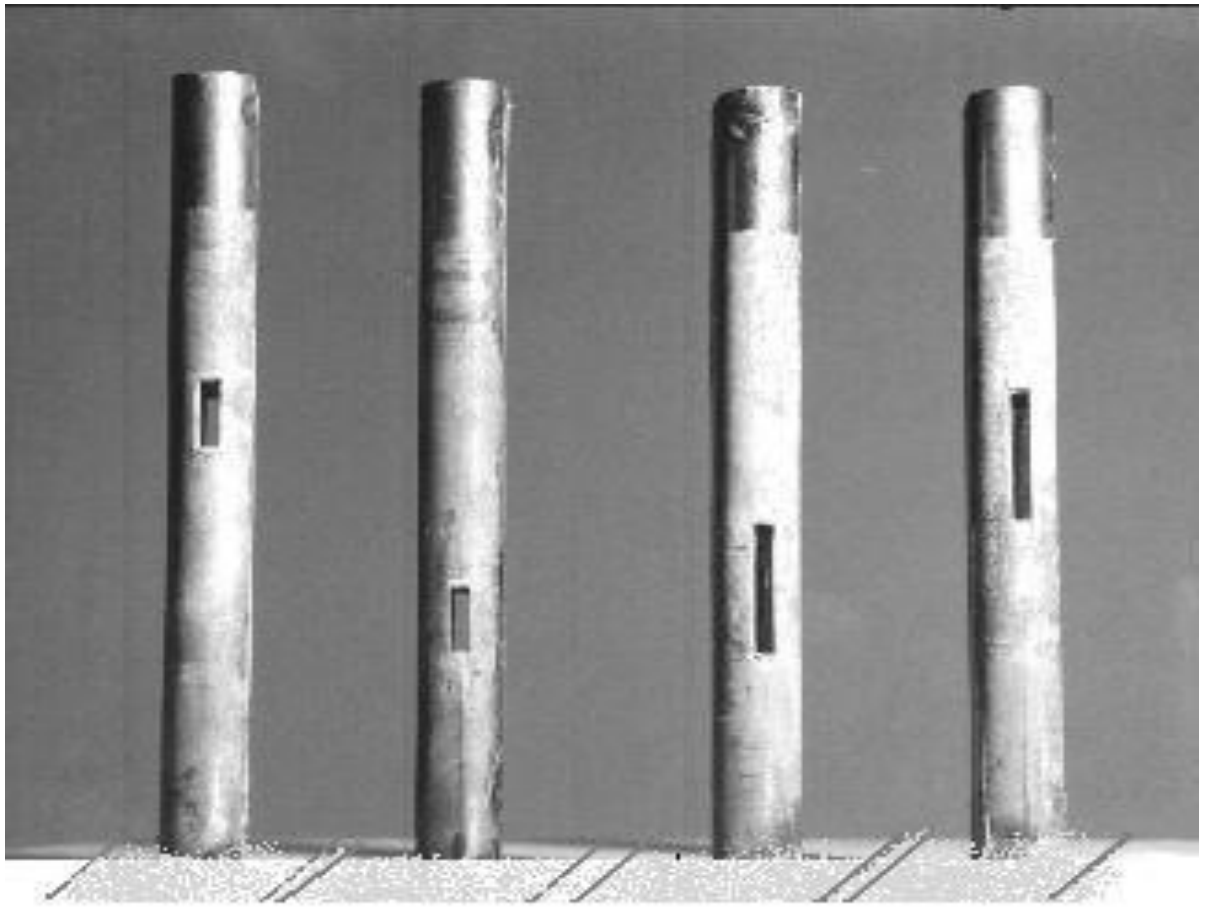
استفاده از اشکال آئرودینامیک برای پایه پل

ردیف	نوع پایه	شکل پایه
۱	استوانه‌ای	
۲	چهارگوش (مستطیلی)	
۳	چهارگوش با دماغه نیمدایره	
۴	چهارگوش با دماغه نیمدایره در بالادست و دنباله گوه‌ای (مثلثی) در پایین دست	
۵	چهارگوش با گوشه های گرد	
۶	چهارگوش با دماغه و دنباله - گوه‌ای (مثلثی)	
۷	چهارگوش با دماغه مثلثی (گوه ای)	
۸	بیضوی	
۹	عدسی	
۱۰	بال هواپیما	

❖استفاده از اشکال آئرودینامیک برای پایه پل



❖استفاده از شکاف در کاهش آبشستگی



استفاده از پایه های قربانی (sacrificial piles)

Skew angle β	V/V.		
	0.9	1.48	1.84
0°	41%	18% (26%)	15% (16%)
20°	23%	5% (13%)	1% (12%)
30°	26%	-4%	-6%

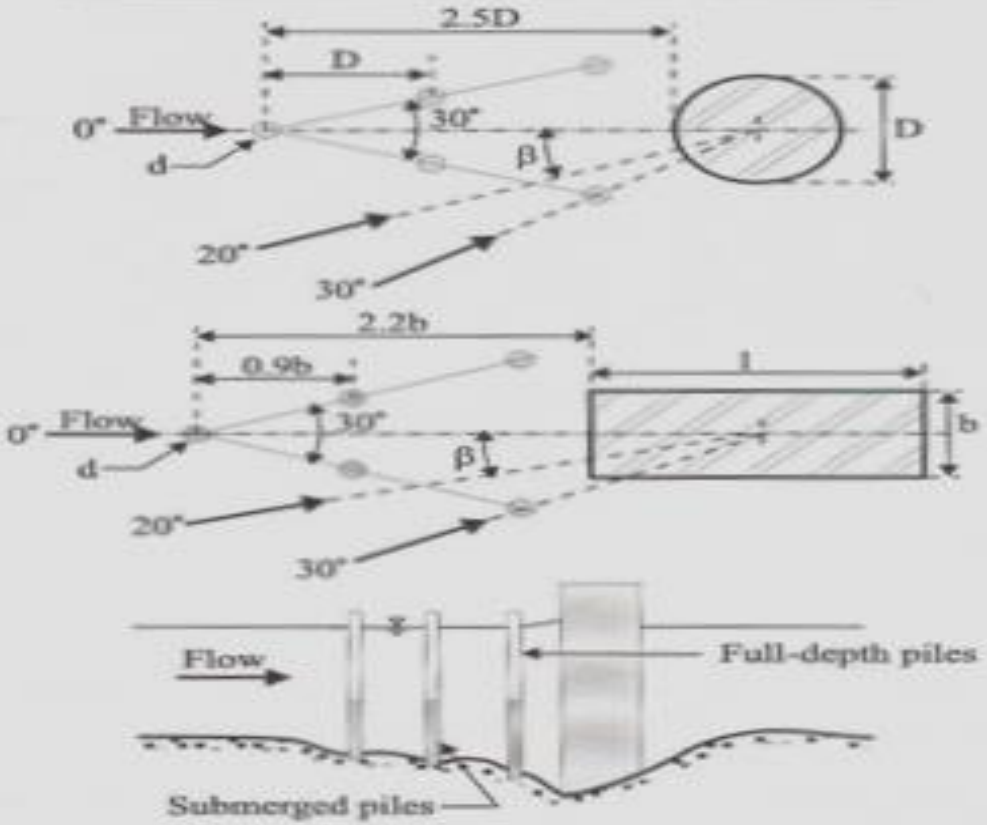
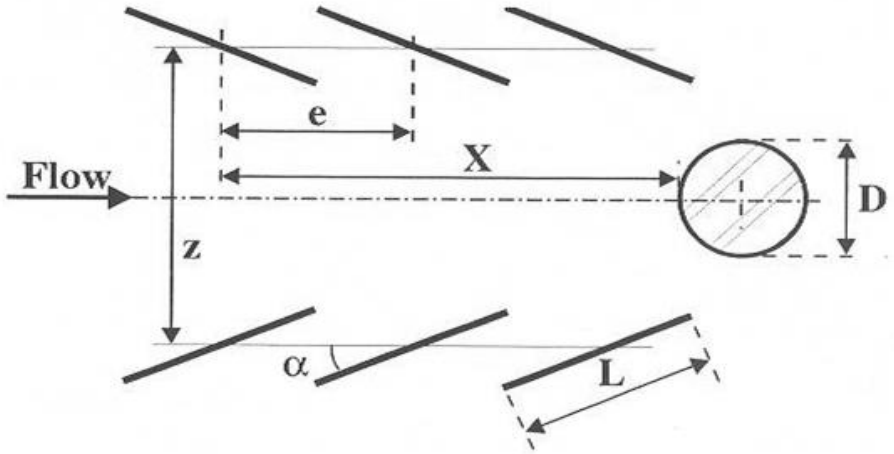


Figure 9.24. Laboratory data showing the effectiveness of sacrificial piles as a scour countermeasure.

استفاده از Iowa vane (تیغه های مستغرق)



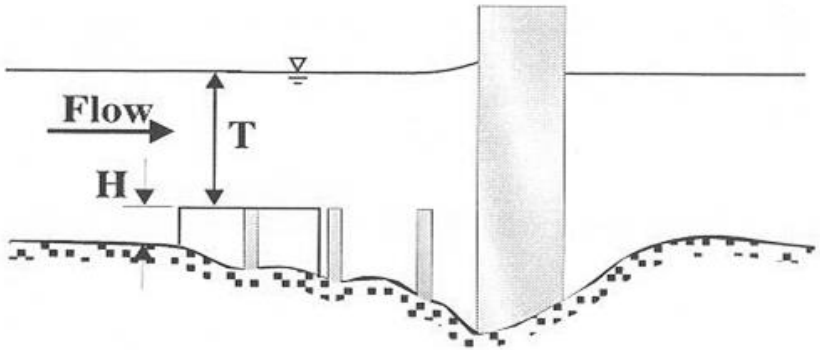


Figure 9.26. The use of Iowa vanes as a pier scour countermeasure.

Table 9.13. Scour reductions at piers due to Iowa vanes.

V/V_c	T/D	e/D	X/D	z/D	L/H	α (°)	Max. Scour Depth Reduction (%)	Ave. Scour Depth Reduction (%)
1.48	2.5	1.5	4.25	3.0	3.0	15	13.8	35.4
1.84	2.0	1.5	4.25	3.0	3.0	15	1.7	32.5
1.48	2.0	1.5	4.25	3.0	1.5	15	11.2	34.3
1.48	2.5	2.25	6.0	1.8	3.0	15	12.3	38.2
1.48	2.0	1.5	4.5	3.0	1.5	15	9.8	34.7
1.48	2.5	1.5	2.75	3.0	3.0	15	5.7	33.6
1.48	2.5	1.5	4.25	3.0	3.0	30	34.4	50.4
1.84	2.5	1.5	4.25	3.0	3.0	30	4.9	36.9
1.48	2.5	1.5	4.25	3.0	3.0	20	18.7	43.2
1.84	2.5	1.5	4.25	3.0	3.0	20	5.3	30.2
1.48	2.5	2.0	5.25	3.0	3.0	15	24.3	48.7
1.48	2.5	1.5	4.25	3.0	3.0	15	16.2	31.5

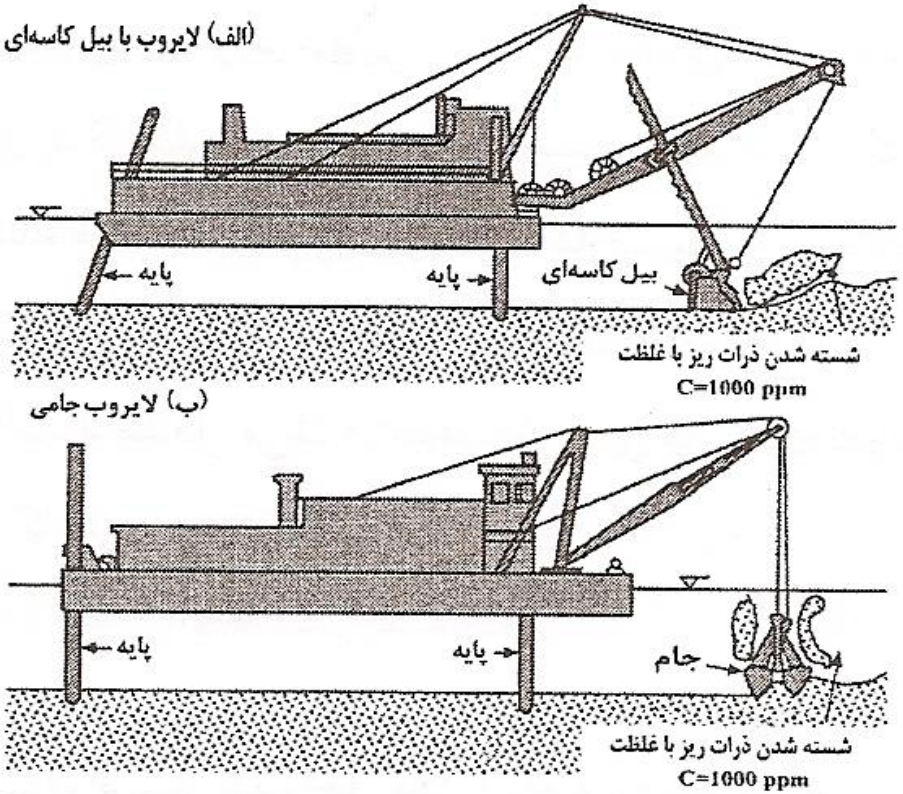
©2006 ARMORTEC, Inc.

ARMORTEC is a subsidiary of: CONTECH EARTH STABILIZATION SOLUTIONS INC

لایروبی رودخانه ها

لایروبی به فرایند برداشت مواد بستر یا سواحل یک آبراهه به منظور تعمیق و یا تعریض کانال کشتیرانی و یا به دست آوردن مصالح خاکریزی برای احیای اراضی گفته می شود. عملیات لایروبی گران است (بیشتر از یک دلار بر یارد مکعب) و مستلزم تجهیزات سنگین و خط لوله های طویل می باشد. لایروبی را می توان به انواع مکانیکی یا هیدرولیکی تقسیم کرد.

- لایروبهای هیدرولیکی، مواد را به کمک لوله های مکنده و پمپ از جا می کنند. لایروبهای مکانیکی (شکل ۹-۲۶)، مواد بستر را به کمک بیل های کاسه ای یا جامی بلند می کنند و به کشتی هایی جهت حمل و تخلیه منتقل می نمایند. لایروبهای مکانیکی معمولا خود کششی نیستند و باید به منطقه یدک کشی شوند. لایروبهای با بیل کاسه ای قدرت زیادی جهت حفر مواد سخت فشرده شده و خرده سنگ ها دارند. این لایروبها به فضای کمی برای مانور نیاز دارند و در مجاورت پلها و سازه های دیگر به دقت قابل کنترل هستند. لایروبهای جامی، از جام های قابل تعویض (منقاری، دوکفه ای، و کششی) برای اهداف مختلف حفاری استفاده می کنند. یک جام در باز (۹m^3) ۱۲yd^3 مواد کف را حفر می کند و سپس جهت برداشته شدن و تخلیه بسته می شود. در اروپا از سیستم اصلاح شده ای استفاده می شود که در آن جام ها بر یک سیم نقاله بسته می شود. مواد ریزدانه زیادی در حین بالا آمدن از عمق پنجاه فوتی (سی متری) از جام بیرون ریخته می شوند. اما حداکثر غلظت ابر معلق گلی تولید شده معمولا کمتر از 1,000 ppm است.



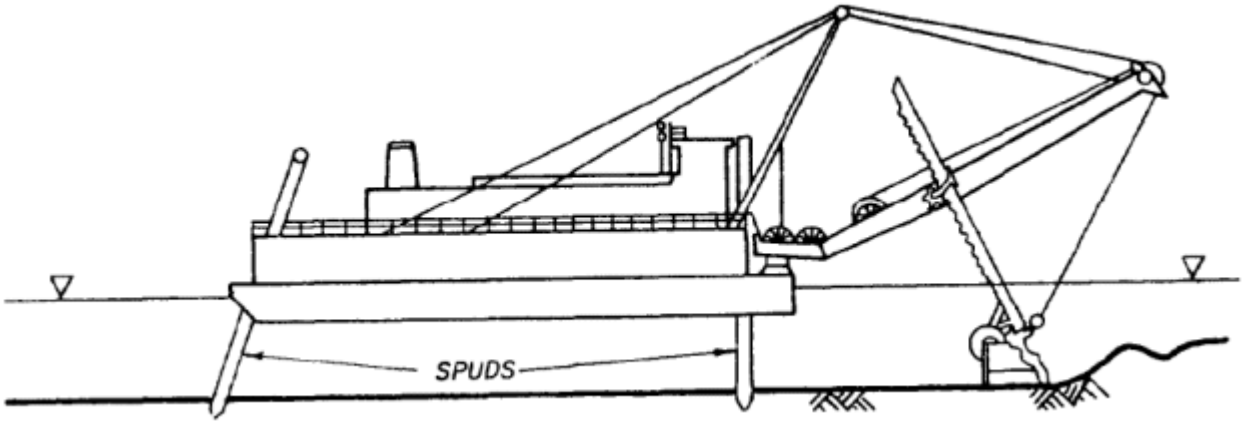
شکل ۹-۲۶: لایروب‌های مکانیکی (USACE, 1983).

لایروب با بیل کاسه ای

Dipper dredge

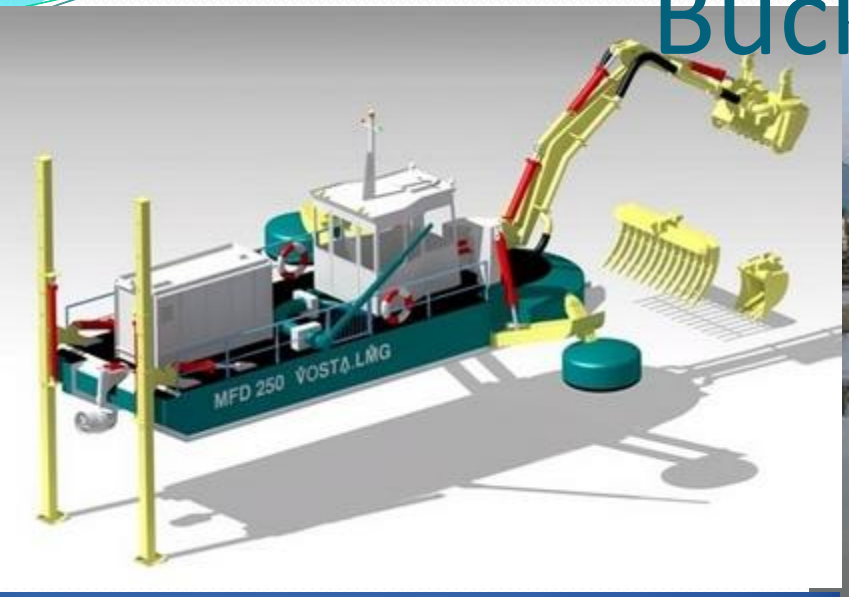
The dipper dredge is basically a barge-mounted power shovel. It is equipped with a power-driven ladder structure and operated from a barge-type hull. A bucket is firmly attached to the ladder structure and is forcibly thrust into the material to be removed. To increase digging power, the dredge barge is moored on powered spuds that transfer the weight of the forward section of the dredge to the bottom. Dipper dredges normally have a bucket capacity of 8 to 12 cu yd and a working depth of up to 50 ft. There is a great variability in production rates, but 30 to 60 cycles per hour is routinely achieved.

The dipper type of dredge is not self-propelled but can move itself during the dredging process by manipulation of the spuds and the dipper arm.



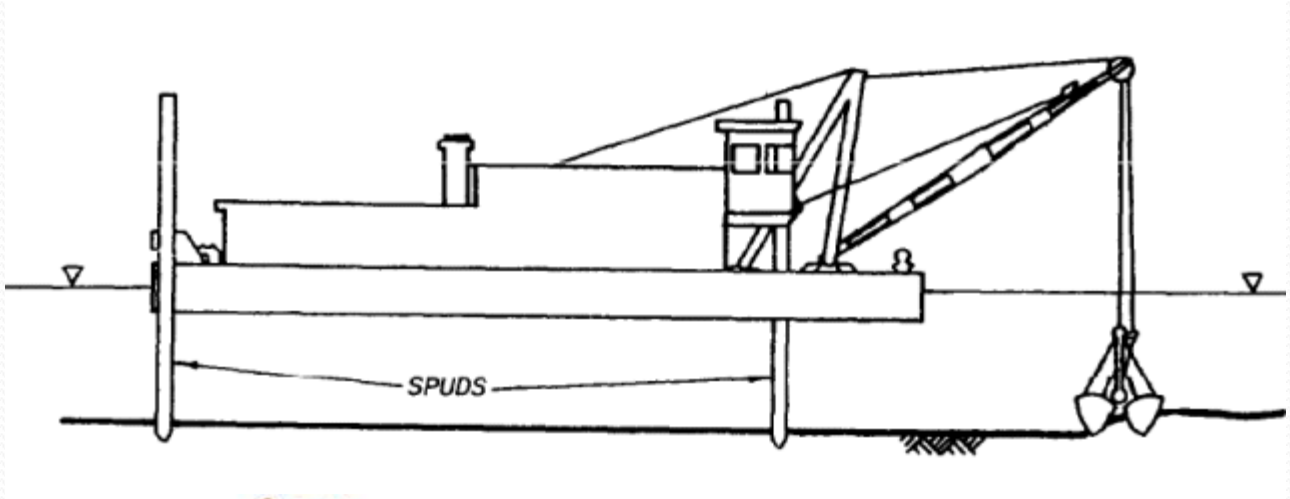
لایروب جامی

Bucket dredge



لایروب جامی
Bucket dredge

- The bucket type of dredge is so named because it utilizes a bucket to excavate the material to be dredged. Different types of buckets can fulfill various types of dredging requirements. The buckets used include the clamshell, orangepeel, and dragline types and can be quickly changed to suit the operational requirements. The vessel can be positioned and moved within a limited area using only anchors; however, in most cases anchors and spuds are used to position and move bucket dredges. The material excavated is placed in scows or hopper barges that are towed to the disposal areas. Bucket dredges range in capacity from 1 to 12 cu yd. The crane is mounted on a flat-bottomed barge, on fixed-shore installations, or on a crawler mount. Twenty to thirty cycles per hour is typical, but large variations exist in production rates because of the variability in depths and materials being excavated. The effective working depth is limited to about 100 ft.
- The bucket type of dredge is not self-propelled but can move itself over a limited area during the dredging process by the manipulation of spuds and anchors.


SPUDS

dg-jhan.alibaba.com

GSI

لایروب جامی
Bucket dredge

Bucket-Line Dredge

- Most people believe that gold mining in the Yukon and Alaska was primarily done with gold pans, or possibly sluice boxes. In fact, those methods were only used for testing streams, and in the early stages of mining in some areas such as the Klondike. Relatively little gold was recovered, and it wasn't until the arrival of huge dredges that gold production soared.
- With buckets that gouged out several cubic yards of gravel on each pass, enormous amounts of material could be processed by a dredge, so even fairly poor ground could be profitably mined.
- The bucket-line dredges that changed the character of gold mining in Alaska and the Yukon were invented in New Zealand. Many changes and additions were made to make them suitable for working frozen ground, but the technology changed little for the 80 years they were in use. Although they look complex, the basic concept is very simple - the buckets scoop up the gravel and dump it into sluice boxes inside the dredge, water is pumped in to separate the gold from the gravel, and the worthless gravel is then dumped out the back.

لایروبهای هیدرولیکی

- لایروبی مکشی هیدرولیکی، مطابق شکل ۹-۲۷، بر حسب نحوه حفر مصالح به انواع (لایروبیهای سرتیغه ای، مکشی تخت و خاک اندازی) و بر حسب نحوه تخلیه انباشت مصالح لایروبی شده به (لایروبی واگنی قیفی ، خط لوله ای و کناریز) تقسیم می شوند. لایروبهای واگنی مطابق شکل ۹-۲۷-الف، کشتی های دریا روی خود کششی هستند که عمدتا به منظور حفظ لایروبی و تعمیق تدریجی رودخانه با گذرهای متوالی مورد استفاده قرار می گیرند. لایروبی واگنی، مواد تغلیظ شده مجاور بستر کانال را از راه لوله های مکنده، کشیده و در واگنهایی در کشتی لایروب انبار می کنند. تعلیق مجدد مواد رسوبی، در مجاورت لوله های مکش با غلظت چند قسمت در هزار پیش می آید. پس از تکمیل بارگذاری، لایروب با توان خود به منطقه دفع مصالح حرکت می کند. لایروبهای واگنی ته قیفی با باز شدن دریچه های انتهایی و بیرون ریختن تمام مواد انبار شده در چند ثانیه تخلیه می شوند. در نتیجه ابری از مواد لایروبی به آب وارد شده، ته نشین می شود. بیشتر مصالح در بستر انباشته شده و مقداری هم به طور افقی پخش می شوند.

تقسیم بندی لایروبهای هیدرولیکی

بر حسب نحوه تخلیه و انباشت مصالح لایروبی شده
(Disposal of the dredged material)

1- واگنی قیفی (hopper)

2- خط لوله ای (pipeline)

3- کناررریز (side casting)

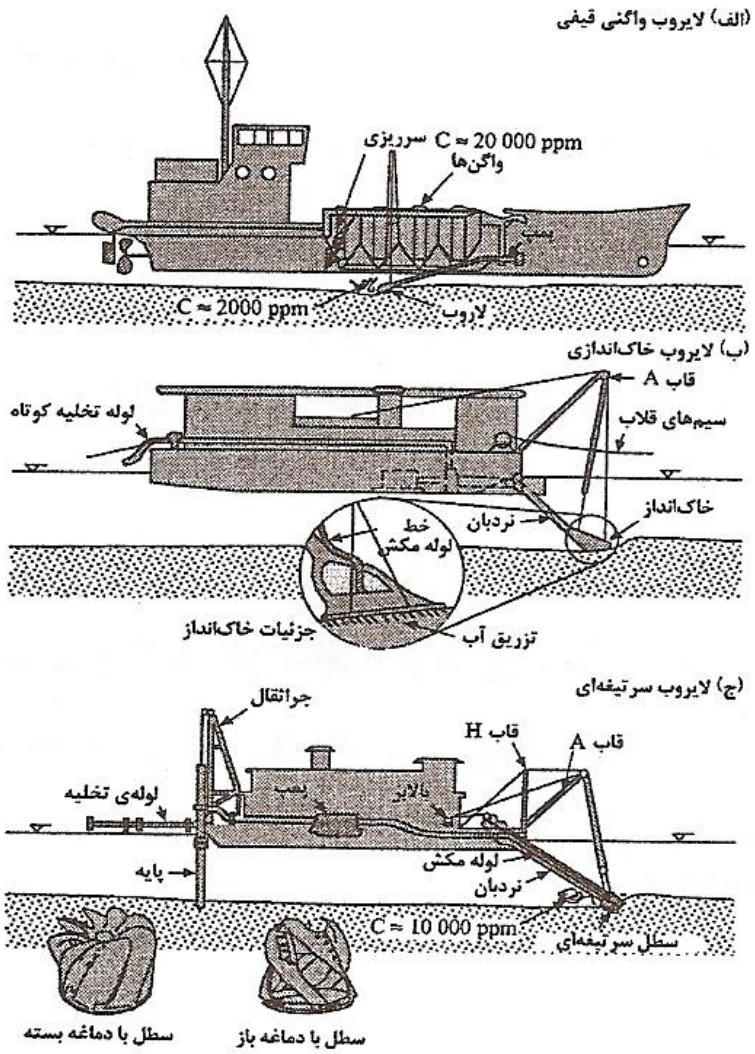
بر حسب نحوه حفر مصالح
(Picking up the dredged material)

1- سرتیغه ای (cutterhead)

2- مکشی تخت (plain suction)

3- خاک اندازی (dustpan)

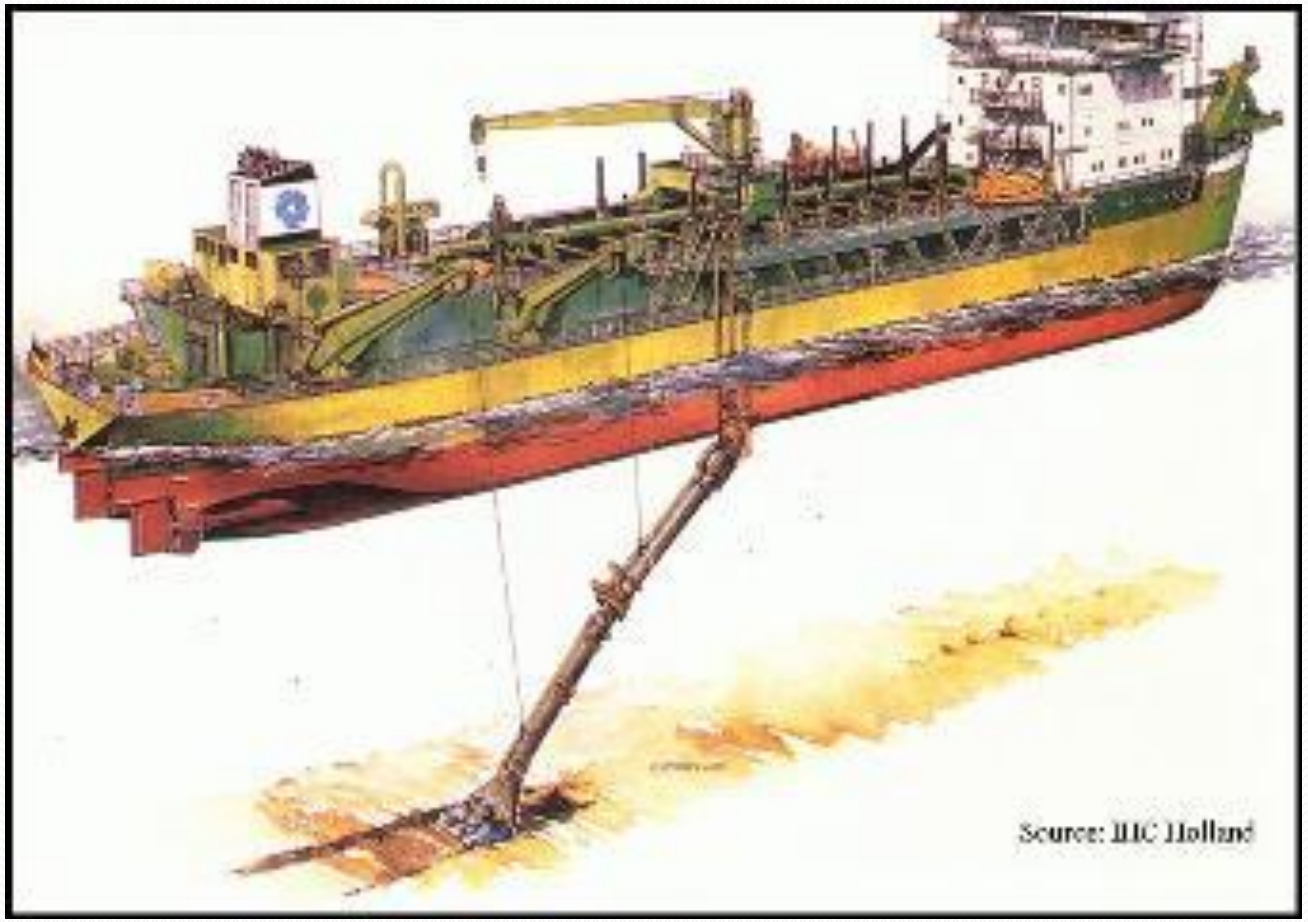
لایروبهای هیدرولیکی



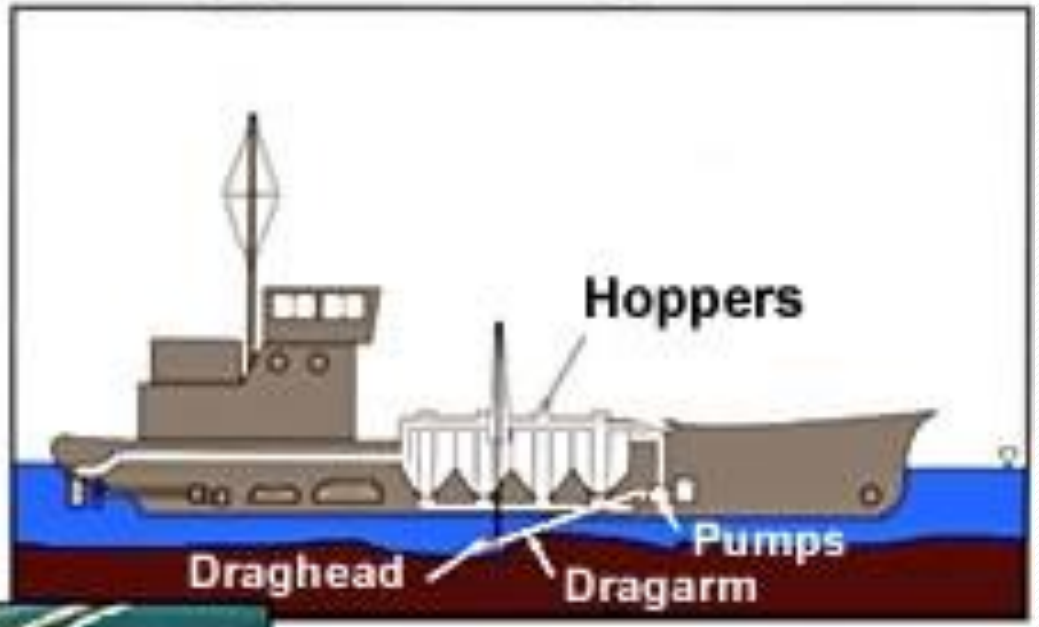
شکل ۹-۲۷: لایروب‌های مکشی (USACE, 1983).

Hopper Dredges

- A Hopper dredge is a propelled floating plant which is capable of dredging material, storing it onboard, transporting it to the disposal area, and dumping it. Hopper dredges perform the largest and most dangerous jobs – clearing channels and offshore sandbars from the mouths of major rivers. Hopper dredges move like a ship. When dredging, they move very slowly. Normally, you can tell when they are dredging by the signals on the main mast. During the day, a black ball over a black diamond over another black ball will be shown. At night, a red light over a white light over another red light means the dredge is working. These signals also indicate that the dredge is restricted in its ability to maneuver and you must stay clear of the vessel. When the dredge's hopper is loaded, the dredge maneuvers both in and out of the channel to reach the relocation site. During this time, the dredge may move much faster and may turn frequently. Direct pumpout is a common method of removing dredged material from hopper dredges. A hopper dredge fills its hoppers as it dredges the bottom. The dredge then moors to a structure, buoy, or multiple buoy berth. Hoses connected to a pipeline extending to shore are attached to the hopper dredge discharge manifold. The dredge mixes the dredged material with water to form a slurry and pumps the slurry from its discharge manifold through the hoses and pipeline to a designated discharge location.


Source: IHC Holland

Hopper Dredge

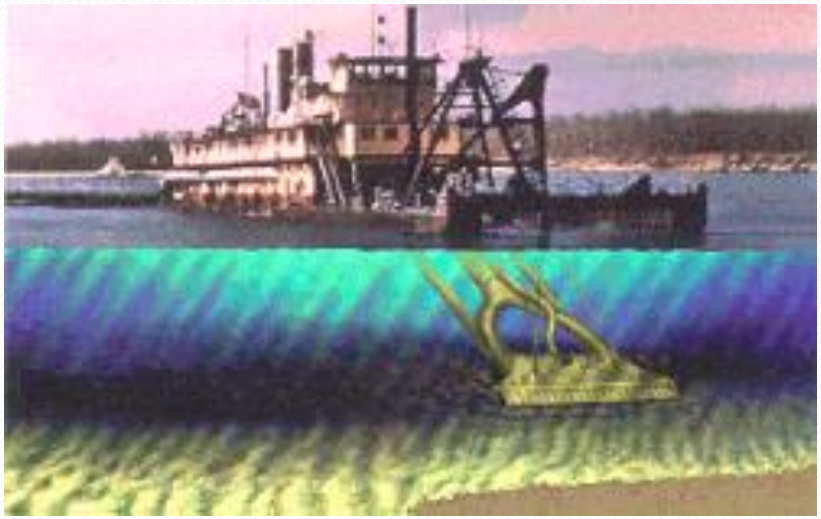


Hopper Dredge Working at a Coastal Entrance

- لایروب های خط لوله ای هیدرولیکی، مواد کف را به کمک یک سر تیغه ای یا با جت آب (در لایروب خاک انداز) سست می کنند. گل حاصله از طریق خط لوله شناور به منطقه انباشت حمل می شود. لایروب خاک انداز (شکل ۹-۲۷- ب)، نیز خودکششی و برای لایروبی در مصالح غیر چیبنده در آبهای غیر مواج مناسب است. این لایروبها به (۱) جت های فشاری آب برای سست کردن مواد بستر (۲) ورودی عریض شونده تخت مکشی برای برداشت رسوب، مجهز هستند. این لایروبها معمولا مواد را به آبهای باز از طریق یک لوله نسبتا کوتاه به طول 100 ft) (30m تخلیه می کنند. لوله های بزرگ تر به پمپ های تقویت کننده نیاز دارند.

لایروب خاک اندازی

Dustpan Dredge

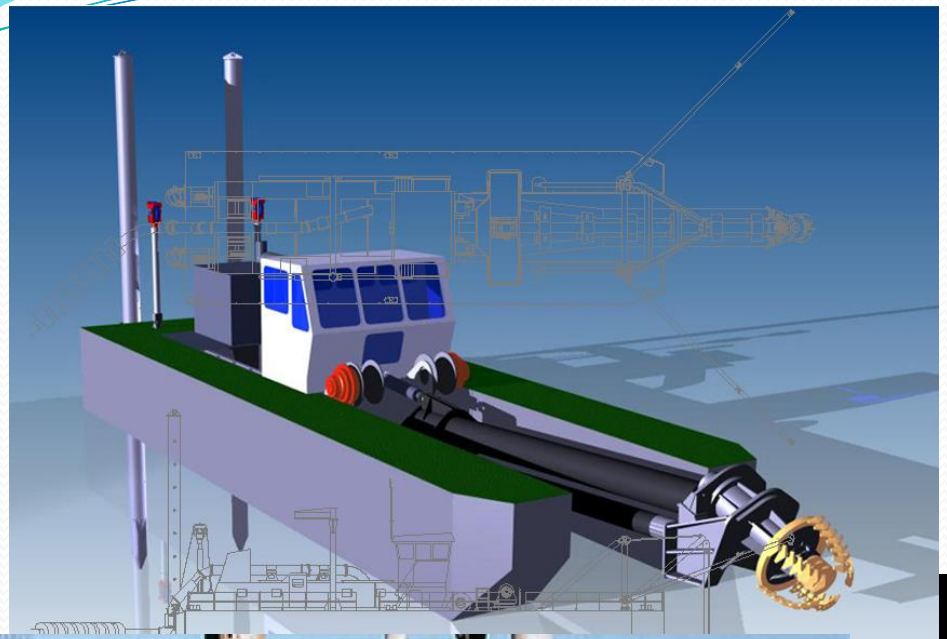


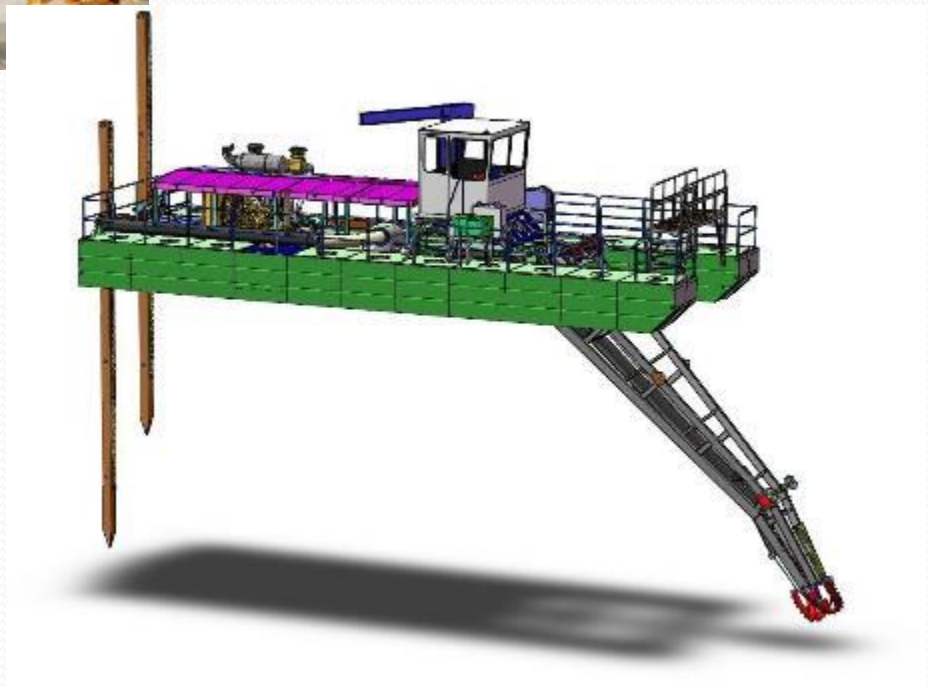
- لایروبهای سرتیغه ای، بسیار مفید و با شرایط مختلف تطبیق پذیر هستند و بنابراین کاربرد وسیعی دارند. لایروب شکل ۹-۲۷- ج، دارای یک تیغه چرخان در حول ورودی لوله مکنده است و می تواند، مواد آبرفتی شامل رس های فشرده و خاک های سفت را کنده و پمپ کند. قطر لوله مکش در حدود (۲۰-۹۰cm) .8-30 in تغییر می کند. لایروب سرتیغه ای مطابق شکل ۹-۲۷-ج معمولا از یک سر تیغه ای، سبدها، نردبان، لوله مکش، قاب A شکل، قاب Hشکل، پمپ ها، چرثقیل دروازه ای، و خط لوله ای تا قطر (۹۰ cm) .۳۰ in تشکیل شده است.
- لایروب سر تیغه ای با چرخیدن حول یک پایه مهار شده عمل می کند در این حال تیغه مسیر قوسی را ترسیم می کند. هنگامی که دور قوسی کامل شد، پایه دوم مهار شده، پایه اولی بالا برده می شود تا فرز در جهت خلاف چرخ بزند و به جلو حرکت کند، (شکل ۹-۲۸).

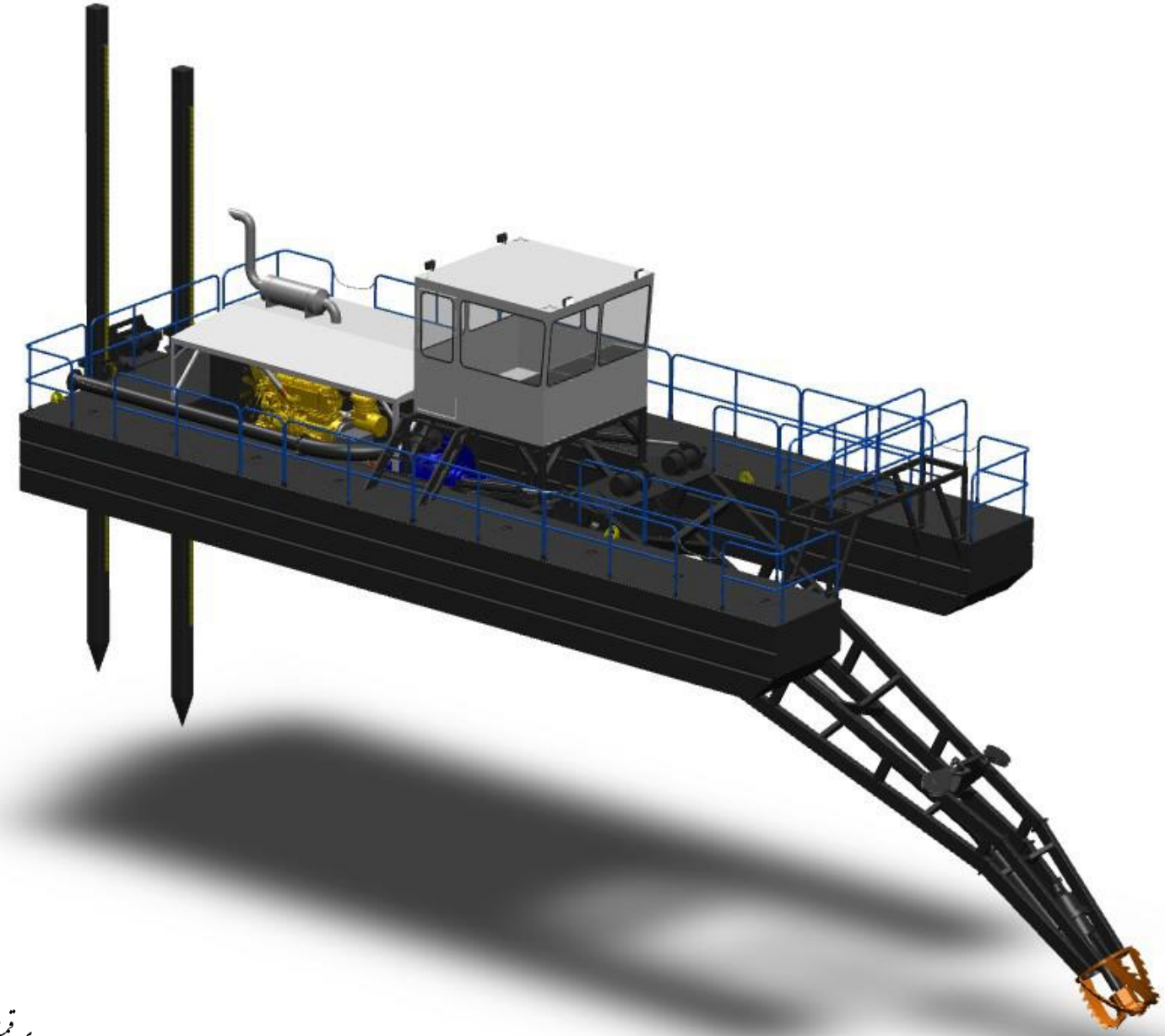
لایروب سر تیغه ای خط لوله ای
Cutterhead dredge

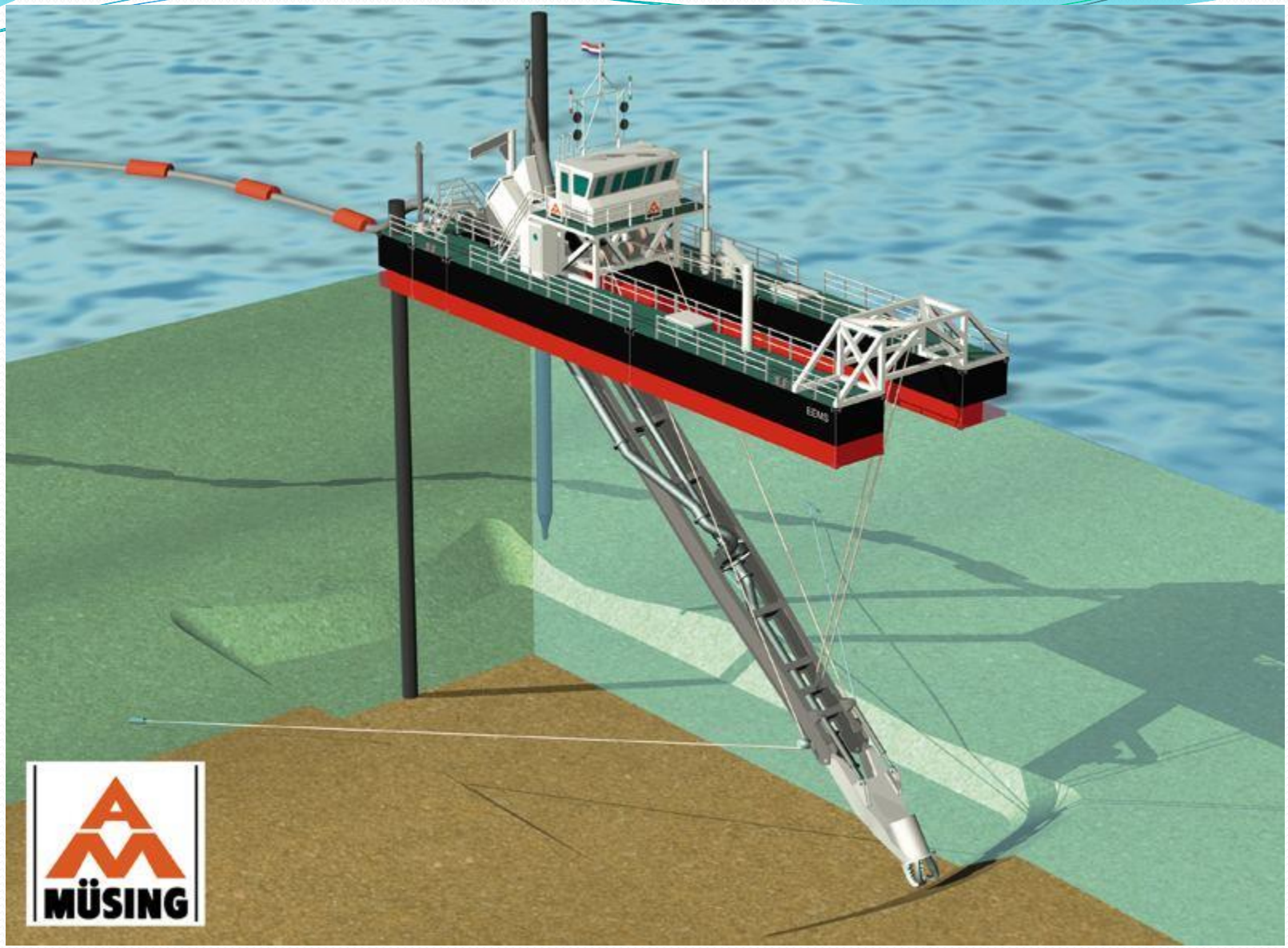
VMI Dredges

لایروب سر تیغه ای
Cutterhead dredge

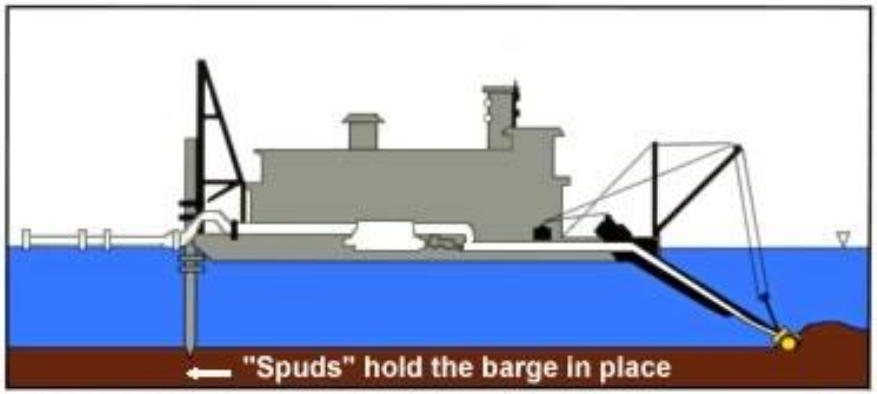






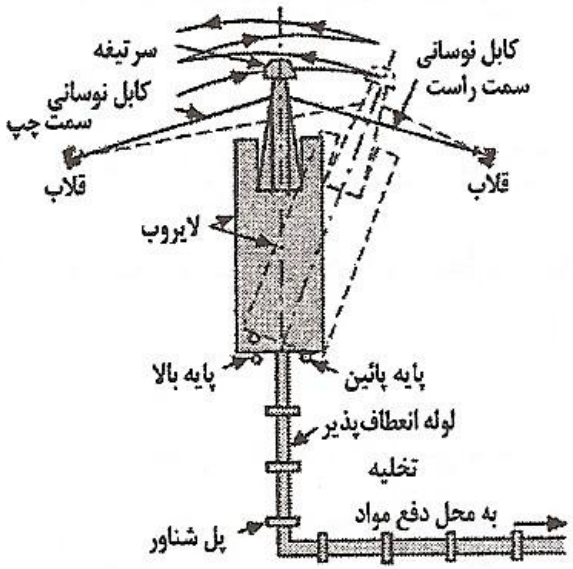

MÜSING

Hydraulic Cutterhead Dredge



Hydraulic Dredge in
Corpus Christi Ship Channel

Dredge Thompson (St. Paul District)



شکل ۹-۲۸: لایروب سرتیغه‌ای با خط لوله (USACE, 1983).

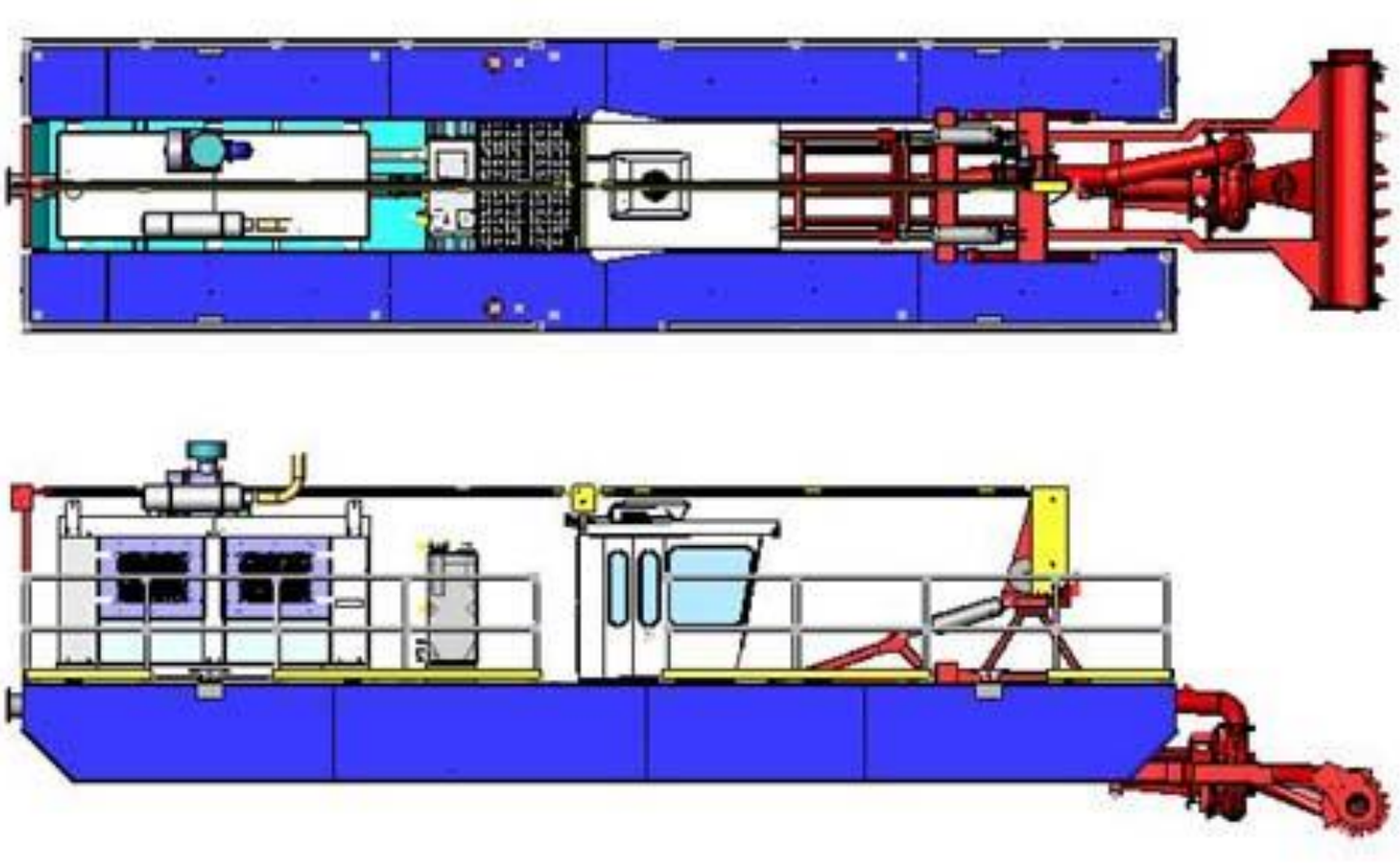
- خط لوله تخلیه شناور از قطعات لوله به طول (۹-۱۶m) ۳۰-۵۰ft تشکیل شده است، که هر کدام توسط پلهای شناور نگهدای می شود. آنها با اتصالات فلانچی، کروی یا بوشهای لاستیکی به هم وصل می شوند تا به لایروب به هنگام حرکت انعطاف بدهند. طول زمینی خط لوله دفع مواد می تواند بدون اضافه کردن قطعات اضافی لوله تا (۵km) ۳ miles برسد. در صورتی که مسیر انتقال طویل تر باشد، اضافه کردن پمپ های تقویت کننده در خط تخلیه لازم است. دوغاب با غلظت وزنی ۱۰-۲۰ % معمولا در خطوط لوله با قطر (۹۰cm) ۳۰in. و سرعت (۵-۸m/s) ۱۵-۲۰ft/s پمپ می شود.

VMI Horizontal Mini-Dredges

- VMI dredges use water as the means to transfer material from one location to another. The first step in this process is to agitate and mix the material with water. This is achieved by using a rotating agitating device usually referred to as the cutter head or auger.

The next step is to capture this mixture of material and water, known as slurry. This is done by using a vacuum suction located just behind the cutter head. This suction is created by a centrifugal dredge pump attached to the suction pipe behind the cutter head. This dredge pump has a rotating impeller which draws the slurry into the front suction of the pump and uses centrifugal force to divert the slurry out of the pump discharge. This process causes a vacuum at the suction and a positive pressure at the discharge of the pump. A pipeline is used to contain this pressure which in turn forces the slurry along through the pipeline towar

DANGER
KEEP CLEAR
OF CUTTER
HEAD
DANGER
KEEP CLEAR
OF CUTTER
HEAD



- لایروبهای کناررریز نیز دریا رو و خود کششی هستند و جهت برداشت رسوبات بندرگاههای ساحلی کم عمق طراحی شده اند. یک لایروب کناررریز مصالح کف را به کمک دو لوله مکشی بر می دارد و آن را مستقیما در دریا، پهلوی کشتی لایروب، پمپ می کند. این لایروب در سرتاسر پشته به جلو و عقب می رود و کانال را در هر عبور عمیق تر می کند. لایروب مذکور برای لایروبی مواد آلوده مناست نیست.

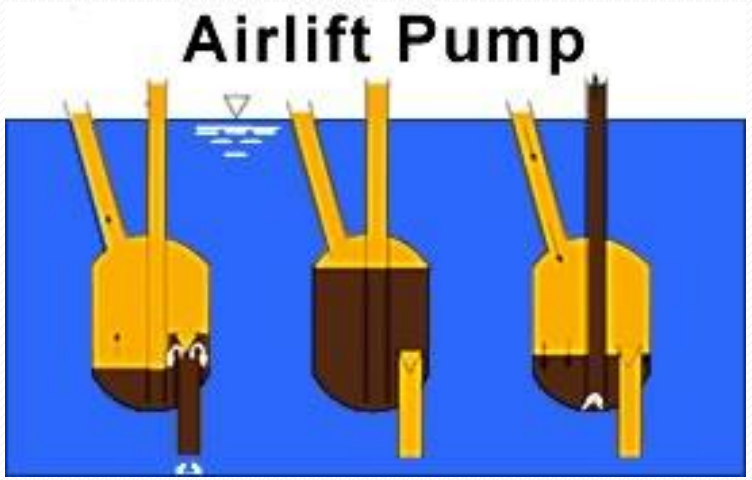
لایروبهای خاص

Airlift Dredge

Airlift dredges are special-use dredges that raise material from the bottom of the waterway by hydrostatic pressure. They have cylinders that operate like pistons. Material is drawn through the bottom of the cylinder. When it is full, the intake valve closes, trapping the material. Then, compressed air forces the material out through a discharge line to a waiting dumpscow or directly to a disposal site. Airlift dredges bring dredged material to the surface with a relatively small amount of water, which is good when environmental contamination is an issue.

Airlift pumps have not been widely used in the United States. They do not typically achieve high production rates, but are well-suited for projects where either site conditions or sediment quality concerns make other dredges inappropriate. They can be used in tight quarters around docks and piers, in rough seas, and in deep water.

Airlift Dredge Under Water
Air Hoses
Discharge Hose
Discharge Check Valve
Air Port
Discharge Outlet


Airlift Pump

- **Pump Dredge**

موضوع دفع مواد لایروبی شده از دهه های ۱۹۶۰ توجهات زیست محیطی زیادی را به خود جلب کرده است، (Petersen ۱۹۸۶). تمام مواد لایروبی شده، آلوده نیست و تنها درصد کمی از سایت ها بسیار آلوده هستند. معمولا مواد حفاری شده رسی و ارگانیک، آلاینده های زیادی را در خود نگهداری می کنند اما رسوبات ماسه ای آلاینده ها را در اختلاط، تعلیق مجدد و انتقال به آسانی رها می کنند. اغلب تاثیرات مضر بر کیفیت آب غیر محتمل است، مگر آنکه مواد لایروبی شده به مقدار زیادی آلوده شده باشند. عواقب احتمالی تاثیرات فیزیکی دفع در آب آزاد، بیشتر از اثرات شیمیایی و بیولوژیکی آن است. مضار بیولوژیکی اغلب غیر محتمل است زیرا بسیاری از ارگانیسم ها، معمولا در سایت های دفع، دوباره تشکیل مجتمع می دهند. به غیر از ایام مهاجرت و تخمگذاری ماهی ها، کدورت آب رودخانه ها بیشتر یک مشکل زیبایی است تا یک مساله بیولوژیکی.

بعضی اوقات تنها گزینه ممکن برای دفع رسوبات بسیار آلاینده، انباشت آنها در زمینهای محصور می باشد. مواد لاروبی شده، تا زمانی که ذرات معلق جامد ته نشین شوند، نگهداری می شوند.

ظرفیت انباشت دراز مدت، در سایت های خشکی، بسته به تحکیم مواد لایروب شده، تراکم پذیری خاکهای فنداسیون، تاثیر زهکشی مواد و مدیریت سایت دارد. در مطالعه موردی زیر ملاحظه می شود که چگونه مشکلات لایروبی های مکرر را می توان با سازه های کنترل جریان کاهش داد.

UEDTKE

مطالعه موردی -۹-۳- لایروبی در پشته چاکتا، رودخانه می سی سی پی، آمریکا

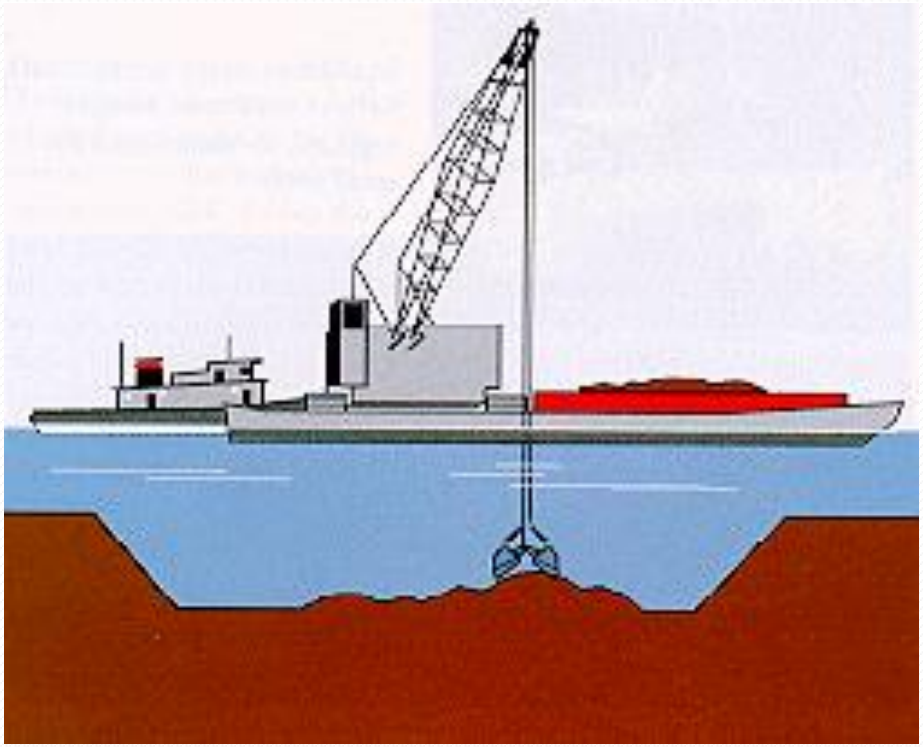
- این مطالعه موردی مهندسی رودخانه توسط فیل کامبز(USACE WES 1998) انجام شده است. پشته چاکتا منطقه مهمی در رودخانه می سی سی پی است. این منطقه درmile557-565AHP بر روی می سی سی پی قرار دارد و تقریبا 17 miles بالاتر از گرین ویل واقع شده است. شهر کوچک آرکانزاس مجاور پشته چاکتا است و توسط سیل بند اصلی می سی سی پی محافظت می شود. پشته چاکتا بر ساحل نزولی راست رودخانه و پوشش سنگریز یوتاو-ماندز بر ساحل نزولی سمت چپ قرار دارد تثبیت ساحل چپ که از سال ۱۹۴۷ شروع شده و تاکنون ادامه دارد، ده میلیون دلار هزینه برداشته است. تثبیت رودخانه در این بسیار حیاتی است زیرا در گذشته بارها سیل بند شکاف برداشته بود و خاکریز اصلی هم به رودخانه نسبتا نزدیک بود. علاوه بر تثبیت ساحل چپ، بر ساحل راست نیز خاکریزهایی ساخته شده است مثلا خاکریزهای مجاور چیکت لندینگ در سال ۱۹۶۸ به مبلغ تقریبا ۲/۱ میلیون دلار احداث شد.

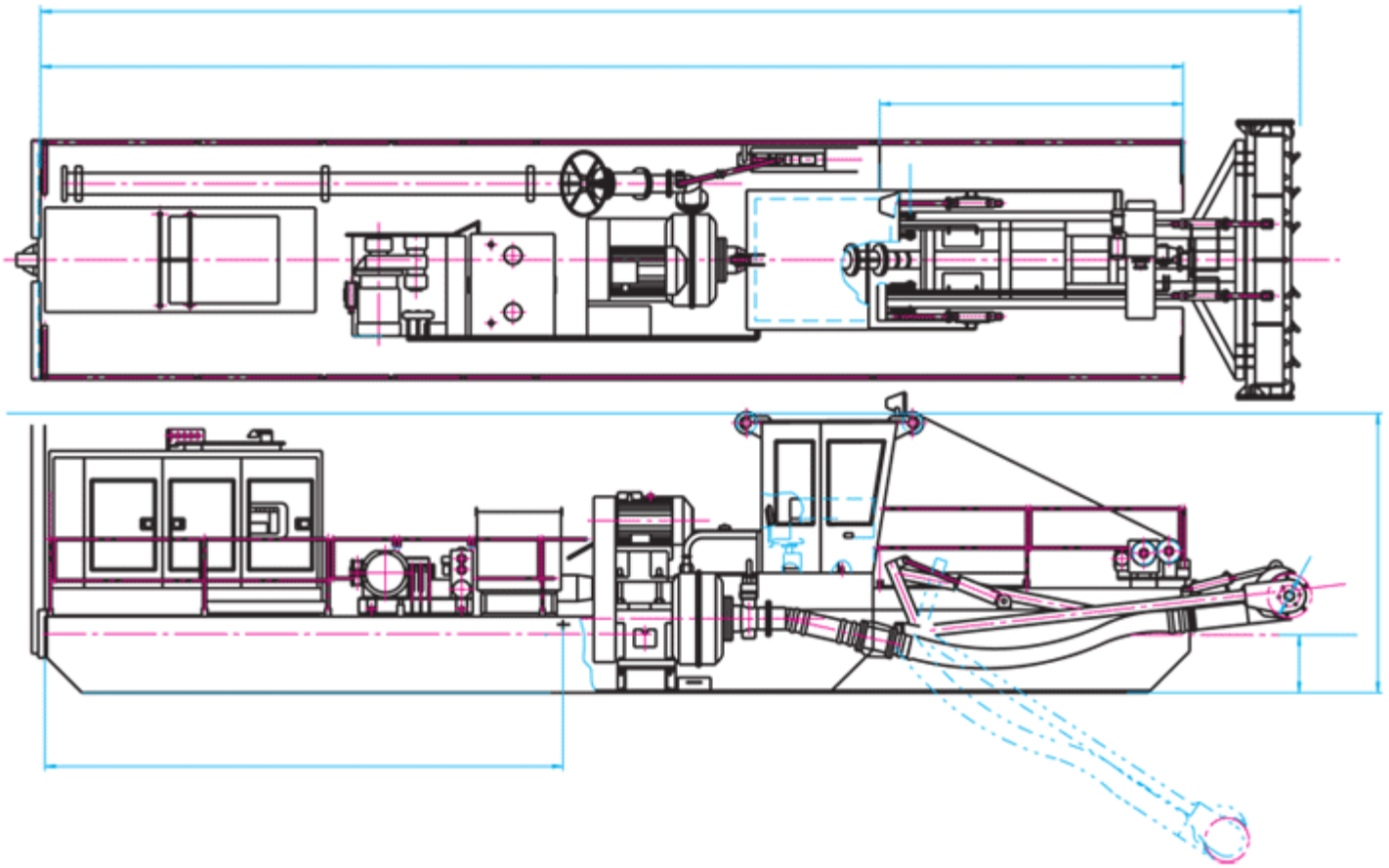
- هدف از طرح تثبیت رودخانه، حفاظت در برابر سیلاب و تامین حداقل عمق ۹ft برای کشتیرانی در کانال است. در این بازه تعمیر و نگهداری کانال کشتیرانی مساله مهمی است. در جدول م م -9-3 اطلاعات لایروبی کانال در سالهای 1971-73 آورده شده است.

سال	روز	یارد مکعب
۱۹۷۱	۱۵	۴۰۴۰۰۰
۱۹۷۲	۲۷	۱۵۳۱۰۰۰
۱۹۷۳	۷۱	۴۱۲۱۰۰۰

- از بررسی نقشه های هیدروگرافی سال ۱۹۷۲ مشخص می شود که اساسا یک پشته در AHP mile 559 کانال کشتیرانی را بسته است. میزان لایروبی سالانه کانال با روشهای ی مکانیکی در جدول م م -۹-۳ درج شده است. از مطالعات آب نگاری سال ۱۹۷۲ نیز مشخص است که یک میانبر با شیب تند بر ساحل تویعه پیدا کرده است، (شکل م م -۹-۳-الف).
- اندازه گیری منظم دبی به جهت تعیین مقدار جریان در کانال اصلی و کانال فرعی با شیب تند سمت راست نشان می دهد که در سال ۱۹۷۲ دبی جریان از کانال فرعی افزایش یافته و تقریبا در حدود ۵۰ درصد کل رودخانه را در بر می گیرد.
- اطلاعات اضافی حاکی از آن است که (۱) ساحل چپ تثبیت شده است (۲) سیل بندهای پاره سنگی به طور کلی بر ساحل دست راستی کانال قرار دارد(۳) در خطوط تراز واقع بر نقشه های پلان ارتفاع به فوت، نسبت به سطح مبنای فرود آب رودخانه سنجیده می شود، (LWRP). سطح مبنای فرود آب وابسته به جریانی است که در ۹۷ موارد، سطح آب رودخانه از آن بیشتر می شود. ارتفاع LWRP در پلان بین 97-100 ft با فاصله قائم ژئودزی محلی (NGVD) فرق دارد. ارتفاعات NGVD مساوی ارتفاعات بالاتر از میانگین تراز دریا می باشد،(MSL).

- هدف از عملیات آن بوده است که یک برنامه مهندسی قابل اطمینان جهت کشتیرانی در این بازه تهیه شود. این برنامه باید حتی الامکان از زیر ساخت های موجود نیز استفاده کند. همچنین اکوسیستم آبی در کانال با شیب تند سمت راست، باید به عنوان یک منبع ارزشمند در نظر گرفته شود. به علاوه این برنامه نباید در تضاد با ظرفیت کلی حمل رودخانه باشد. در صورتی که زیر ساخت موجود قابل استفاده نباشد، دلایل کافی مهندسی و زیست محیطی برای تغییر پلان باید مشخص گردد. شکل م م – ۹-۳-ب راه حل سازه ای ارائه شده توسط اداره مهندسی ارتش امریکا و توپوگرافی را در پشته چاکتا در سال ۱۹۹۲ نشان می دهد. به اثر عرض کانال بر عمق جریان و سهولت در کشتیرانی توجه کنید.
-
- **تمرین و مسائل**





بهره برداری از مصالح رودخانه ای

- امروزه در سرتاسر جهان و از جمله در ایران، ا نواع مصالح رودخانه ای شامل شن و ماسه ، قلوه سنگ و مصالح ریز دانه در زندگی بشر و بویژه در فعالیتهای عمرانی و صنعتی کاربردهای مختلفی پیدا کرده است و روزانه هزاران تن از انواع این مصالح از بستر و کناره های رودخانه های مختلف کشور حفاری و برداشت میگردد. زمینه های استفاده متفاوتی را میتوان برای مصالح رودخانه ای ذکر نمود که از جمله آنها تولید بتن است و میتوان گفت تقریباً ۷۵ در صد بتن را شن و ماسه تشکیل میدهد. امروزه در احداث ابنیه های ساختمانها، سدها ، پل ها و راهها بطور گسترده از بتن استفاده میگردد. در راه سازی نیز از زیرسازی آن تا آسفالت رویه جاده ها شن و ماسه بعنوان ارکان اصلی ساخت شناخته میشود.در احداث خاکریزها ، فیلترها و صنایعی همچون شیشه سازی ، موزائیک سازی و ... نیز استفاده از شن و ماسه کاربرد فراوانی دارد. شن و ماسه رودخانه ای که در معرض انتقال ممتد در آب بوده اند منابع مشخصاً مطلوبی از مصالح هستند زیرا مواد ضعیف و سست آنها توسط سایش حذف و شن و ماسه بادوام، گردشده و با دانه بندی مناسب بجا گذاشته است. همین امر باعث گردیده که این منابع نیاز به فرآگیری کمتری داشته و از طرفی سهل الوصول بودن آن و نزدیکی به جاده های حمل و نقل و محل مصرف که نهایتاً بالا بردن ارزش اقتصادی آن را رقم میزند از جمله دلایلی است که استفاده روزافزون آن را نسبت به مصالح کوهی بدنبال داشته است.

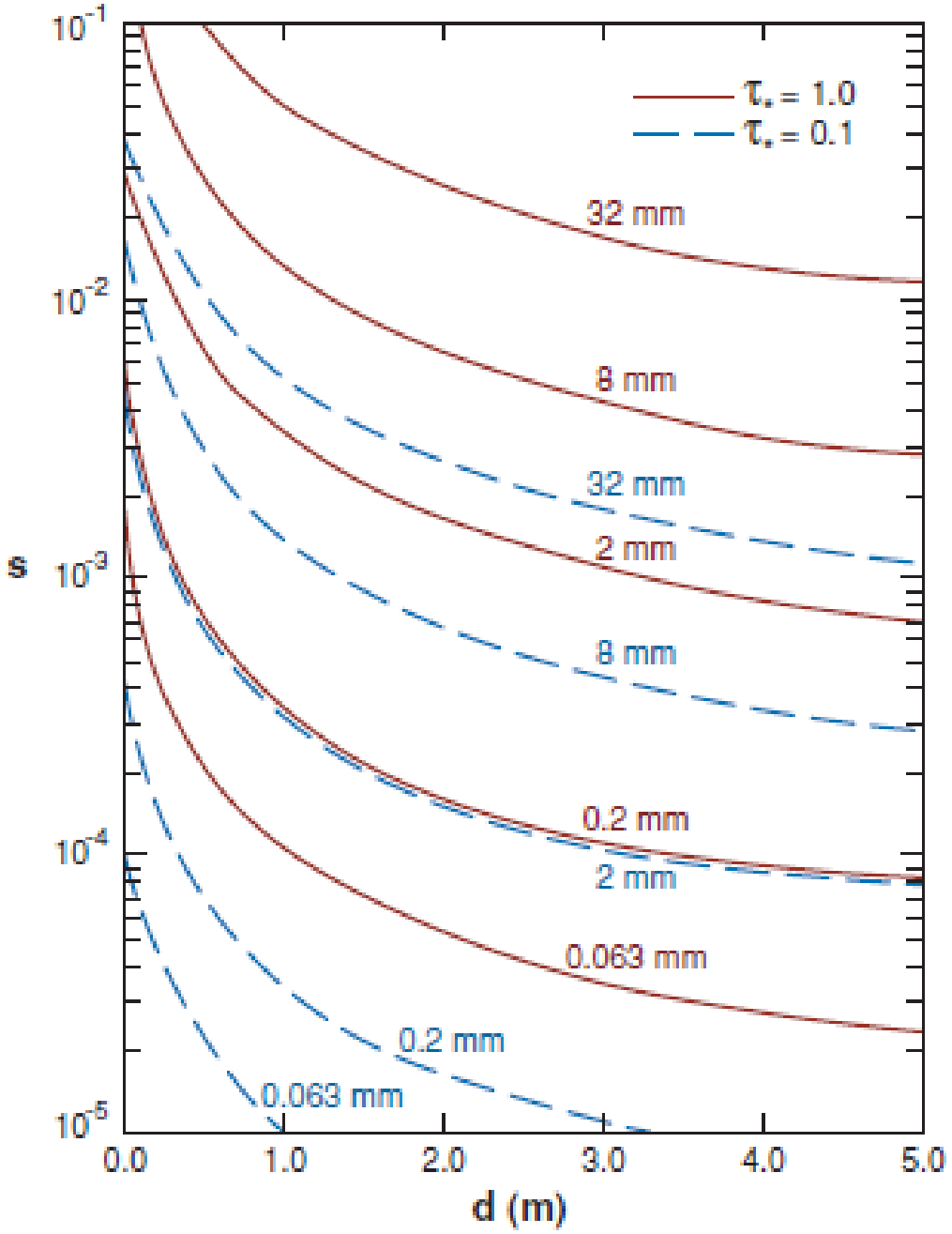
مکانهای ترسیب شن و ماسه در رودخانه ها

- پس از اینکه ذرات سنگی بر اثر هوازدگی از سنگ مادر جدا شدند توسط عوامل مختلفی که مهمترین آن آب است به پایین دست حمل میشوند افزایش مقدار آب و سرعت جریان دو عامل مهم در بالابردن ظرفیت حمل رودخانه به شمار می آیند از اینرو در هرجا انرژی رود کاهش یابد آنچه را که دیگر قادر به حملش نیست ترسیب خواهد نمود.در چنین شرایطی ابتدا ذرات درشت تر و بعد بتدریج ریزتر ته نشین میشود.
در نواحی کوهستانی حجم مواد رسوب شده توسط رودخانه کم و ذرات درشت و گوشه دارند و در قسمتهای پایانی رود به علت انرژی کم آب عمدتاً لای و رس است بنابراین معمولاً قسمتهای میانی رود مکانهای مناسبی از شن و ماسه را در خود جای میدهد.

آبرفتهای بستر رود را علاوه بر کف رودهای فعلی در شاخه های قدیمی رود که امروزه کاملاً خشک است و نیز مسیل ها میتوان یافت. در مکانهایی که رودخانه به دریاچه طبیعی یا مصنوعی مثل سدها برخورد میکند و یا در محل تقاطع رودخانه های فرعی به اصلی عموماً منابع غنی از شن و ماسه را میتوان جستجو نمود . از مکانهای مناسب دیگر مخروط افکنه ها میباشد که محل ورود رودخانه از کوهستان به دشت است. همچنین در طرف محدب قوسهای داخلی به دلیل سرعت کم آب در آنها ترسیب شن و ماسه به راحتی انجام می پذیرد.

Figure 6

Bed material grain size for various depth-slope combinations in transitional channels. Grain size contours are common textural divisions, except 0.2 mm, which is included because it represenes the approximate lower limit for unflocculated material to be found in an open channel bed.



مخروط های افکنه

دانشگاه شهید چمران اهواز

قوسهای داخلی رودخانه

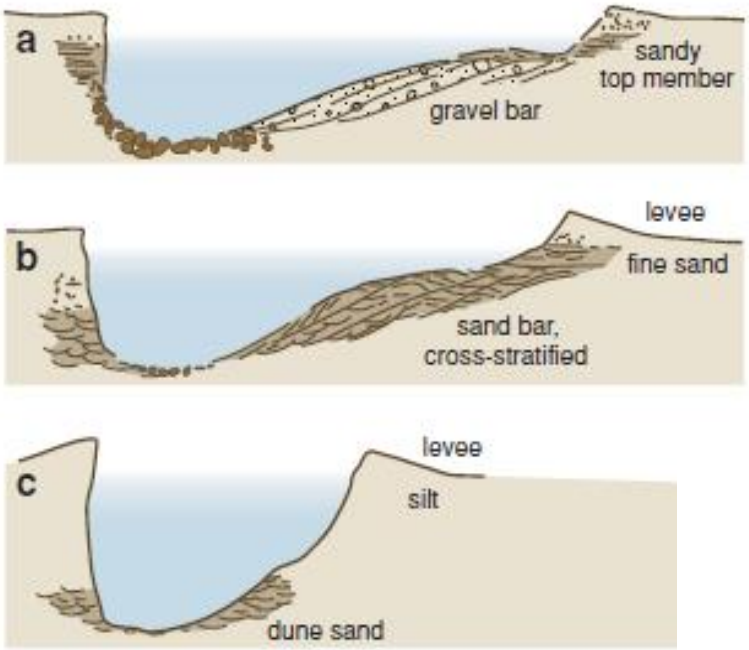


Figure 7
Cartoons for sedimentary style in transitional rivers. See text for discussion.

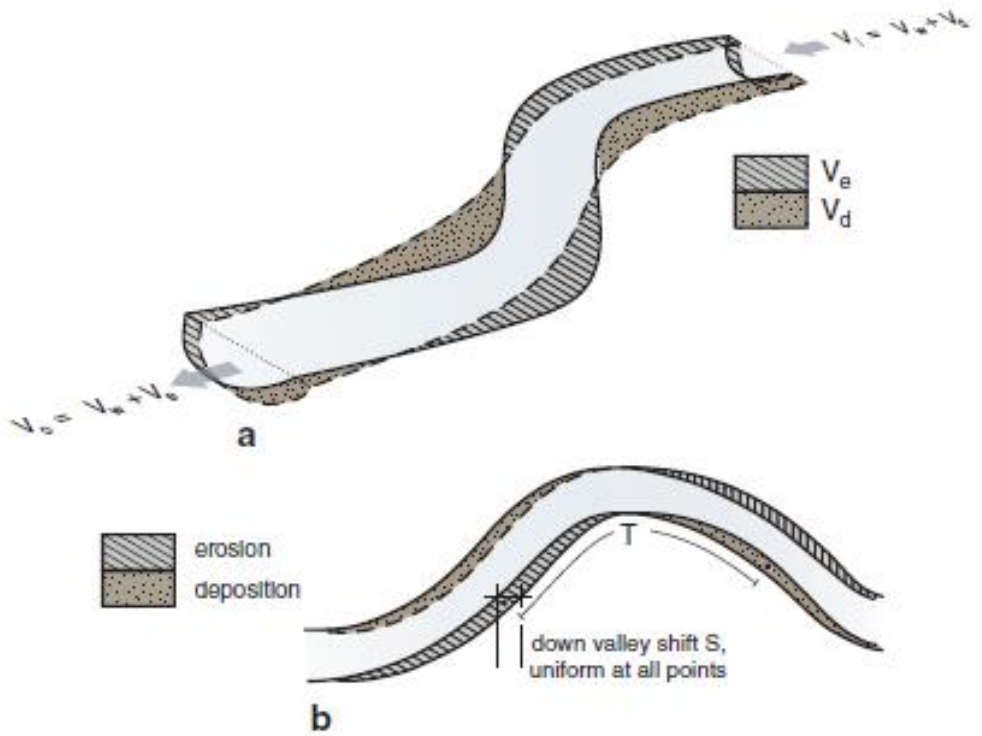


Figure 8
Definition of the sediment balance of a river channel reach, and specification for a regularly meandered channel. V_w is the volume of wash material.

اثرات برداشت صحیح شن و ماسه از رودخانه ها

- اعمال مدیریت صحیح و مناسب در برداشت شن و ماسه از رودخانه ها میتواند در احیاء رودخانه آثار مثبتی فراوانی داشته باشد که ذیلاً به مهمترین آنها اشاره میشود.
برداشت شن و ماسه از قوس داخلی رودخانه باعث میشود که جهت جریان به سمت قوس داخلی متمایل شده و از تند شدن قوس دهانه ها جلوگیری شود. ضمناً با اینکه ظرفیت عبور سیلاب افزایش یافته و عدم جابجایی عرضی و نهایتاً پایداری بستر را خواهیم داشت.
استخراج شن و ماسه از جزایر رسوبی کوچک که عمدتاً در رودخانه های شریانی و یا پشت بندهای انحرافی اتفاق می افتد در نهایت حذف این جزایر را بدنبال دارد که با این کار ضمن کاهش ضریب زبری و افزایش سطح مقطع افزایش ظرفیت عبور سیلاب را خواهیم داشت.

برداشت از محل برخورد شاخه های فرعی به اصلی در صورت انجام شدن ، از چند شاخه ای شدن رود فرعی جلوگیری خواهد کرد. برداشت مصالح از بالادست پلها و گاهاً دهانه آنها از جمله مواردی است که برای محافظت از پلها ضروری بنظر میرسد.
هنگام مدیریت برداشت مصالح ساختمانی علاوه بر ملحوظ داشتن چگونگی برداشت که کمترین تغییرات را در رودخانه و پیرامون آن وارد میکند باید جهت ساماندهی رودخانه نقاط مناسب برداشت را نیز مد نظر قرار دهیم.

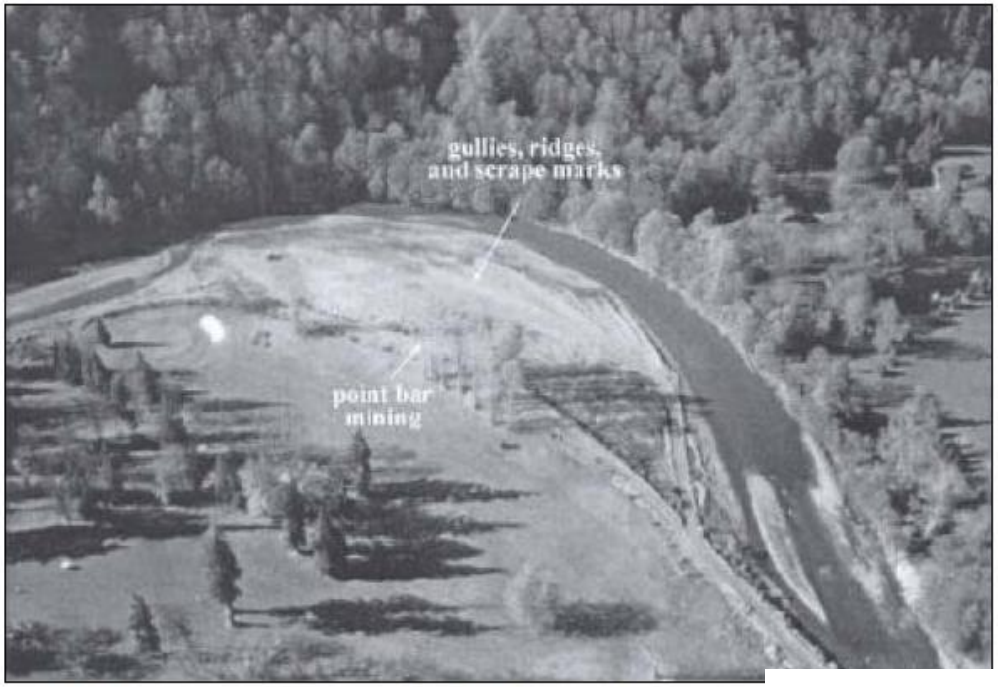


Figure 3.7: Oblique Aerial View of Freshly Scalped Point Bar in California. Appx 1965 (Kondolf et al., 2001

Figure 3.8: Aggregate being "skimmed" off the surface of a bar (Langer, 2003)

Figure 3.12: Wet-pit Mining at Sungai Kulim

Figure 3.13: Wet-pit Mining at Sungai Kelantan

Figure 3.14: Excavating Sand and Gravel from Stream Channels Using Conventional Earth Moving Equipment (Langer, 2003)

آثار منفی برداشت شن و ماسه از رودخانه

- برداشت بی رویه و غیر فنی مصالح ساختمانی از رودخانه ها که نوعی دخل وتصرف در آن به شمار می آید ، آثار منفی فراوانی را به دنبال دارد. بسته به حجم و میزان برداشت و نیز روش، زمان و مکان برداشت آنها میتواند در ابعاد هیدرولیکی، مرفولوژی، زیست محیطی و اقتصادی نمایان گردد.این تغییرات محدود به محل استخراج و برداشت نیست بلکه کیلومترها بالاتر و پایین تر از آن ظاهر میشود. برداشت مصالح رودخانه ای موجب ایجاد حفره هایی در بستر شده و با بهم خوردن تعادل رسوبات رودخانه سبب میشود که ظرفیت حمل رودخانه را در پایین دست گودال بیشتر کرده و موجبات کف کنی آن را فراهم آورد و این تغییر، پارامترهایی نظیر شیب بستر و عمق جریان را دستخوش تغییر میکند. در حالتی که عمق برداشت به گونه ای باشد که جریان آبشاری در گودال بوجود آید این فرسایش میتواند پس رونده شده و بالا دست گودال را نیز تهدید میکند. حفاری حاشیه رودخانه نیز موجب انحراف آب به این قسمت و فرسایش کناره های رودخانه شده که این تغییرات آثار سوئی بر پلها و ابنیه های احداثی برروی رودخانه خواهد گذاشت. همچنین برداشت شن و ماسه تعلیق مواد رسوبی بستر را بدنبال دارد که بر روی آبزیان رودخانه اثرات منفی شدیدی ایجاد خواهد نمود.

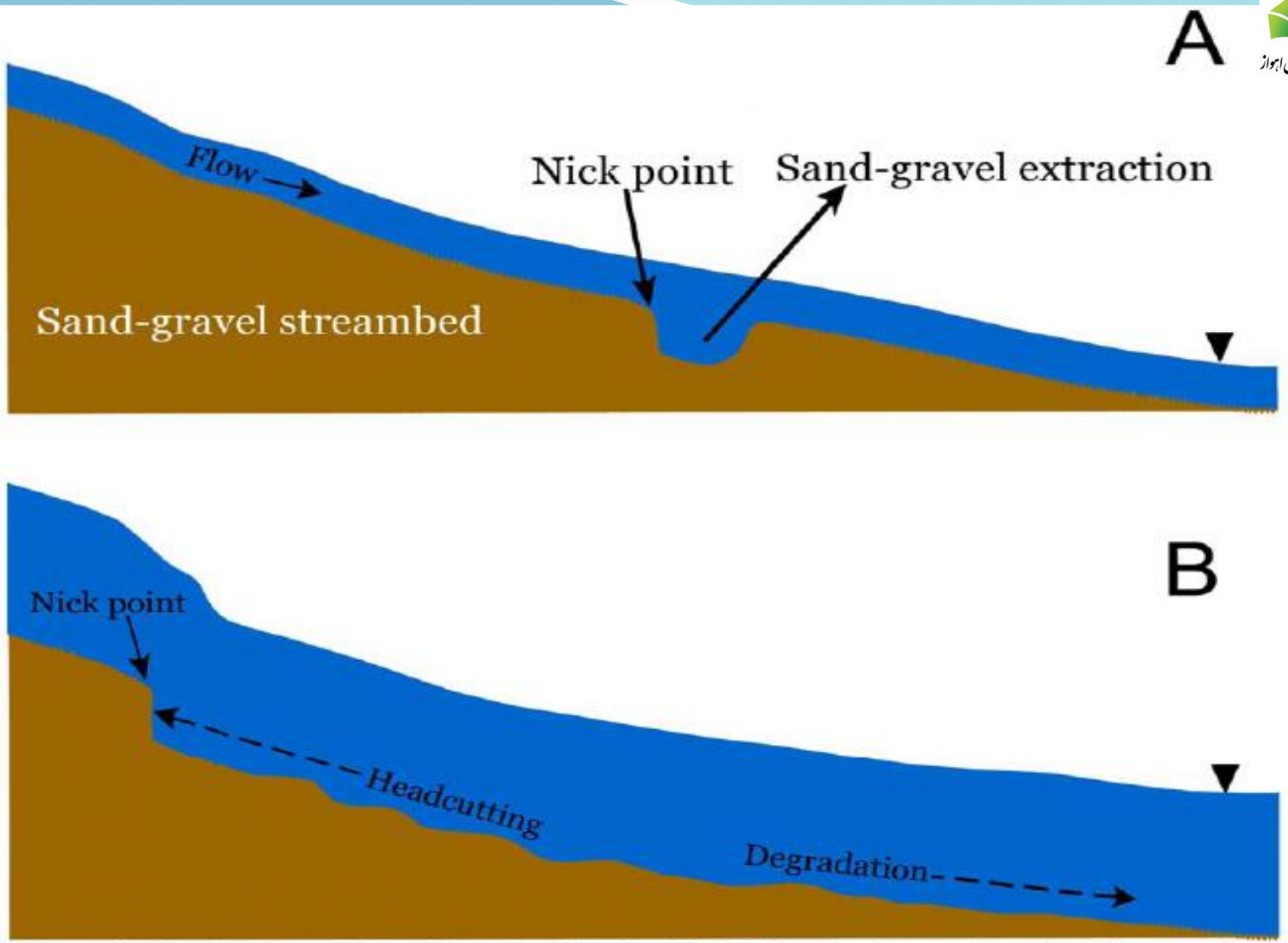
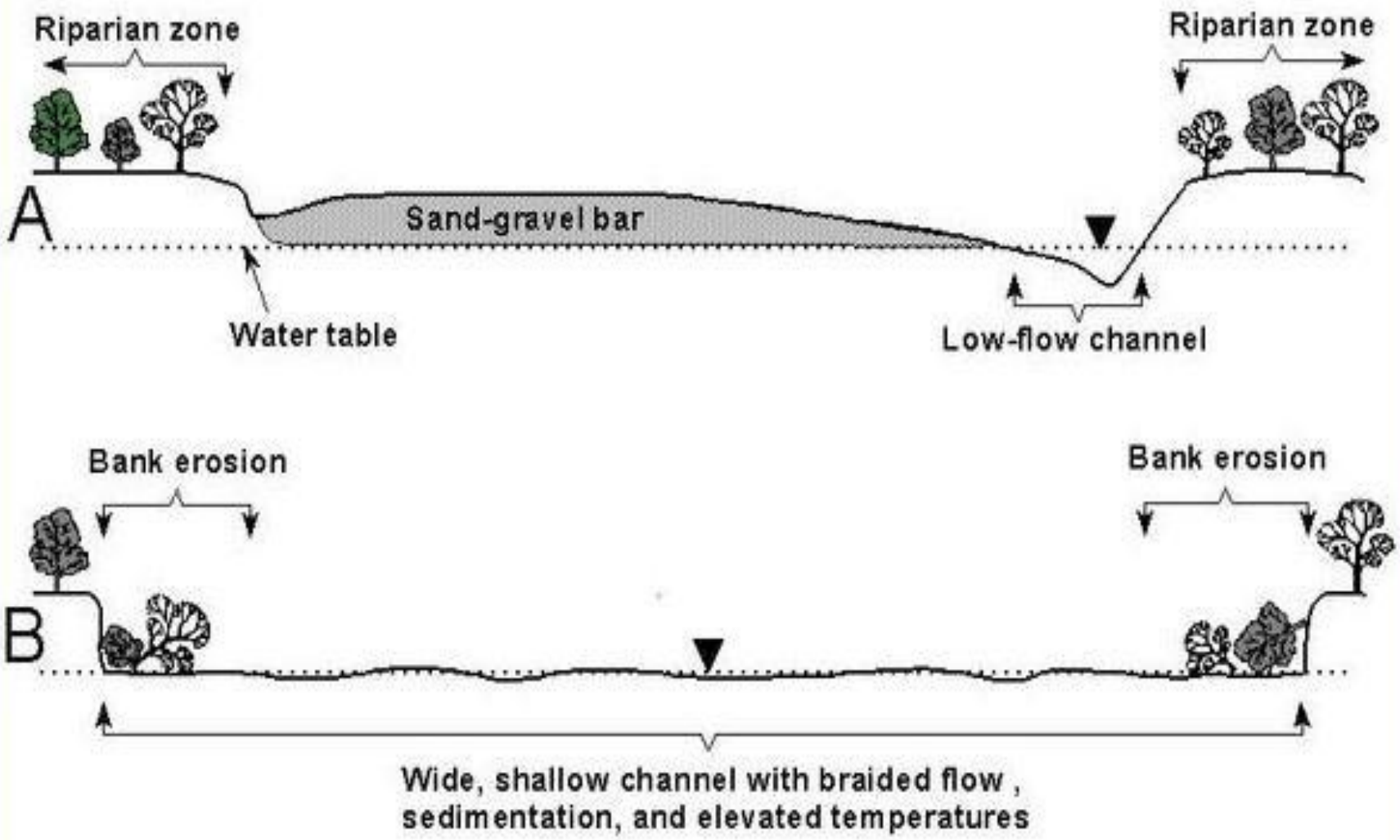
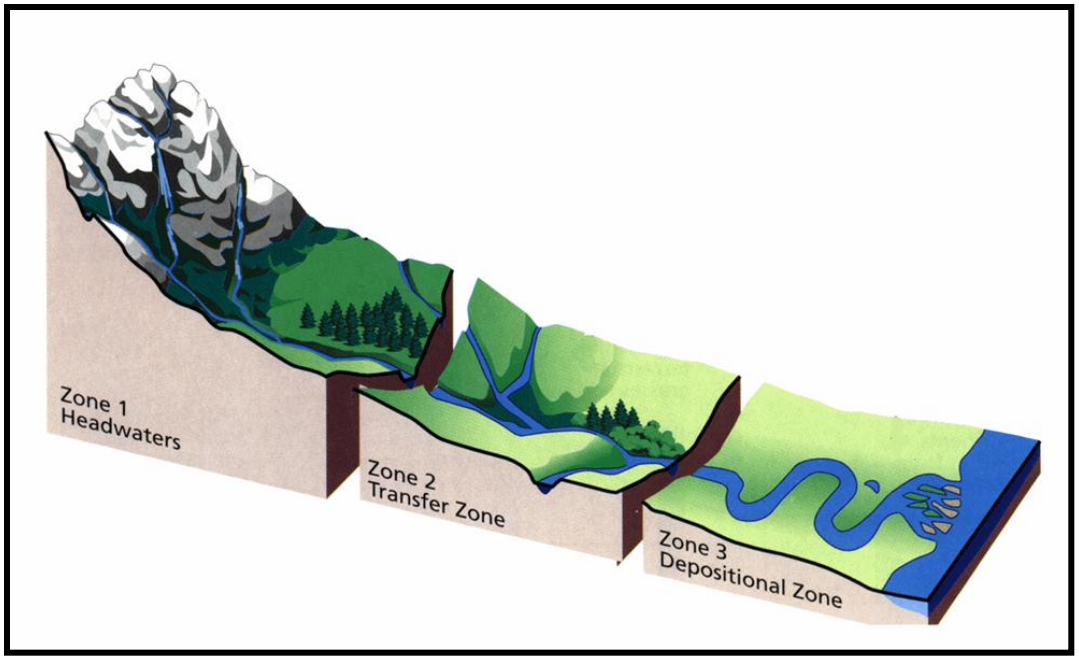


Figure 2. Diagram of a sand-gravel streambed showing (A) the nick point that develops when pit excavation is used to mine sand and gravel from the channel during low flows, and (B) the upstream headcutting and ...am bed degration that develop during high flows. Inverted triangles denotes the water surface.
(Figure courtesy of the Missouri Department of Conservation)


Riparian zone
Riparian zone
A
Sand-gravel bar
Water table
Low-flow channel
Bank erosion
Bank erosion
B
Wide, shallow channel with braided flow ,
sedimentation, and elevated temperatures

بسم الله الرحمن الرحیم

۵- تشکیل شکل های بستر و پیش بینی آنها



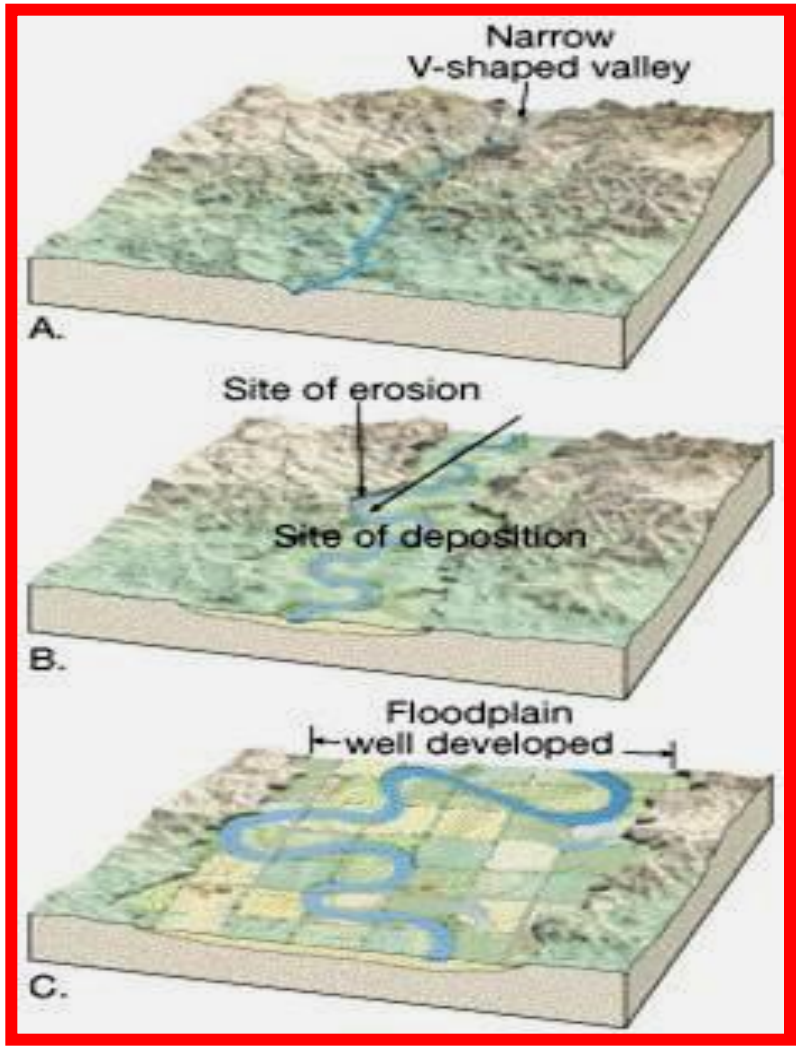
طبقه بندی رودخانه ها

دسته‌بندی رودخانه‌ها

با مراجعه به مراجع مختلف، برای تقسیم‌بندی رودخانه‌ها می‌توان به عوامل متعددی برخورد نمود که به طور کلی این مجموعه عوامل را می‌توان به شرح زیر جمع‌بندی نمود:

۱. **بر اساس توپوگرافی(کوهستانی، دشت های رسوبی)**
۲. **بر اساس شیب (کوهستانی، کوهپایه‌ای، جلگه‌ای)**
۳. **بر اساس عمر (ژئومورفولوژی)(جوان، بالغ، پیر)**
۴. **بر اساس تداوم جریان(دائمی، فصلی)**
۵. **براساس شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی (جنس مصالح بستر و کناره‌ها)(چسبنده و غیر چسبنده)**
۶. **براساس شکل پلان رودخانه(مستقیم، پیچانرود، چندشاخه)**
۷. **طبقه بندی روزن(Rossen)(با در نظر گرفتن ۸ عامل عرض، عمق، سرعت، دبی، شیب، زبری مصالح بستر، بار رسوبی و اندازه ذرات بستر)**

طبقه‌بندی بر اساس توپوگرافی



بر این اساس رودخانه‌ها به دو گروه رودخانه‌های کوهستانی (Montain Rivers) و رودخانه‌های واقع در دشت‌های رسوبی (Fluvial River) تقسیم‌بندی می‌شود.

شکل(۲-۴) طبقه بندی رودخانه ها را بر اساس شرایط توپوگرافی نشان می دهد.

شکل(۲-٤) طبقه بندي رودخانه ها بر اساس شرايط توپوگرافي A رودخانه هاي كوهستاني ، و B و C رودخانه‌هاي جاري در دشت رسوبي

رودخانه‌های مناطق کوهستانی

قسمت‌های اولیه رودها که از نقاط مرتفع حوضه سرچشمه می‌گیرند را رودخانه‌های کوهستانی می‌نامند. معمولاً بازه کوهستانی رودخانه، به محدوده‌ای اطلاق می‌شود که رودخانه قبل از ورود به دشت و از میان دره‌ها یا تپه ماهورهای نسبتاً پر شیب عبور می‌کند. بارزترین مشخصه رودخانه‌های کوهستانی عدم وجود دشت یا دشت‌های سیلابی است که غالباً توسط شیب یا ارتفاع محدود شده است. مهمترین مشخصات این رودخانه را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

- شیب تند (شیب این رودخانه ها غالباً ۴٪ درصد و گاهی از ۵ درصد بیشتر است)
- در دره‌ها دارای مقاطع مشخص و نسبتاً ثابت بازمان هستند.
- دیواره‌ها و کف آنها در مقابل فرسایش مقاوم شده‌اند.
- در شرایط رژیم پایه آبدهی، عموماً دارای آب صاف هستند و بحث فرسایش کف در این مناطق کمتر مطرح است (به دلیل اینکه جریان اینگونه رودخانه در شرایط پایه آبدهی از ذوب برف، آب زیرزمینی یا جریان بین لایه‌ای تامین می‌شود).
- رسوبات حمل شده توسط رودخانه در این محدوده بیشتر ناشی از فرایندهای فرسایش حوضه است که بیشتر تحت تاثیر بارش، شیب یا هر دو ایجاد می‌گردد.
- الگوی خم این رودخانه در پلان تابع شرایط توپوگرافی و شکل دره‌ای است که در آن جریان دارند.
- سرعت جریان غالباً در این مناطق زیاد است.
- کف آنها از مصالح سنگی درشت که گاهی حرکت آرامی به جلو دارند تشکیل شده است. (مواد بستری آن از شن درشت و قلوه سنگ و تخته سنگ تشکیل شده است).
- فاکتور زبری نسبی آن (نسبت شاخص ارتفاع زبری بستر به عمق متوسط آب) نزدیک به ۱ است.
- سرعت جریان و دبی ویژه سیل (دبی سیل در واحد سطح حوضه) زیاد است ولی مدت تداوم سیل کم است.

دخانه‌های کوهستانی خود بر اساس اینکه در چه شرایط زمین‌شناسی قرار دارند به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

الف - رودخانه‌های جاری در مناطق صخره‌ای

ب- رودخانه‌های جاری در مناطق سنگریزه‌ای

رودخانه‌های جاری در مناطق صخره‌ای

علاوه بر ویژگیهای نامبرده در بالا، مشخصه‌های خاص اینگونه رودخانه‌ها را می‌توان به شرح زیر برشمرد.

*طی فرایند فرسایش بستر شکل می‌گیرند.رسوباتی که توسط این رودخانه‌ها حمل می‌شوند اغلب با جنس مصالح بستر متفاوت است و اغلب آنها را فرایندهای فرسایش سطحی حوضه وارد رودخانه می‌نماید.

*این رودخانه‌ها بسیار پر شیب هستند. در مسیر آنها آبشارها و دراپ‌های متفاوت مشاهده می‌شود.

*به دلیل تغییرات ناگهانی پروفیل بستر، در طول مسیر مقاطعی با جریانهای بسیار شدید یافت می‌شود.

*بار بستر این رودخانه‌ها با استفاده از روابط متداول رسوب قابل محاسبه نمی‌باشد.

رودخانه‌های جاری در مناطق سنگریزه‌ای

این رودخانه‌ها نیز علاوه بر مشخصات عمومی رودخانه‌های جاری در مناطق کوهستانی دارای ویژگیهای جزئی‌تر ذیل هستند:

- بستر این رودخانه‌ها شامل مصالح تخته‌سنگ، قطعات سنگی بزرگ، قلوه سنگ، شن و ماسه است.
- در بستر این رودخانه‌ها آبراهه مشخص و عمیق وجود دارد هر چند ممکن است آبراهه کم عمق و پهن همراه با دشت سیلابی محدوده شده نیز در آنها وجود داشته باشد.
- مسیر این گونه رودخانه‌ها کاملاً مستقیم نیست و انحنای نسبتاً کم تا مسیر زیگزاگ در آنها مشاهده می‌شود.
- در مواقع سیل، مصالح بستر به حرکت درآمده و به سمت پایین حمل می‌شود اما با فروکش کردن سیل به صورت‌های مختلف بار بستر ته‌نشین شده و تپه‌ها یا فرم‌های کوچکی در بستر به وجود می‌آورد.

رودخانه‌های واقع در دشت‌های رسوبی

این رودخانه‌ها معمولاً در درون نهشته‌های آبرفتی که طی سالها انباشته شده است، حرکت می‌کنند. مهمترین ویژگیهای عمومی این رودخانه‌ها را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

*در یک طول نسبتاً طولانی، کمتر به صورت مستقیم مشاهده می‌شوند.

*مصالح رسوبی که حمل می‌کنند عموماً از جنس مصالح بستر و کناره‌ها است.

*این رودخانه‌ها عموماً دارای دشتهای سیلابی نسبتاً وسیع هستند. در جریان سیل، آب از کانال رودخانه خارج شده و دشت سیلابی را فرا می‌گیرد و غالباً خسارات سنگینی به بار می‌آورد.

*مصالح بستر و کناره‌ها در این گونه رودخانه‌ها در دامنه وسیعی از شن، ماسه، سیلت و رس تشکیل شده و فرم‌های مختلف بستر در این رودخانه‌ها قابل مشاهده است.

رودخانه‌های واقع در دشت‌های رسوبی بر اساس شرایط خاص خود به چهار دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

رودخانه‌های در حال رسوبگذاری

رودخانه‌های در حال فرسایش

رودخانه‌های پایدار

رودخانه‌های جذر و مدی

رودخانه‌های در حال رسوبگذاری (Aggrading Rivers or Accreting)

این رودخانه‌ها مصالح رسوبی را که از مناطق مختلف حمل کرده‌اند در بستر و دشت سیلابی خود بر جای می‌گذارند. ویژگیهای خاص این گونه رودخانه‌ها به شرح زیر است:

*این رودخانه با توجه به رسوبگذاری در مسیر دائماً در حال تغییر شیب یا تغییر مسیر خود می‌باشند.

*بار رسوبی، به خصوص بار بستر این رودخانه‌ها بیشتر از ظرفیت حمل جریان است.

توزیع سرعت و رسوب در عمق این گونه رودخانه‌ها از معادلات عمومی توزیع سرعت و غلظت رسوب پیروی می‌کند.

*ذرات رسوبی کناره‌ها و بستر دارای جورشدگی (Sorting) منظمی هستند.

*هر عاملی که موجب تغییر در نقطه کنترل جریان یا پروفیل عمومی سطح آب در رودخانه شود، می‌تواند بر روی ظرفیت حمل، رسوبگذاری یا تغییر شرایط رودخانه از رسوبگذاری به فرسایش تاثیر بگذارد.

۲ – رودخانه‌های در حال فرسایش (Degradaing Rivers)

در این گونه رودخانه‌ها فرسایش عمومی بستر و تا حدودی سواحل رودخانه مشاهده می‌شود. این فرسایش به طور پیوسته از سالی به سال دیگر با توجه به شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی رودخانه متغیر است. ویژگیهای مهم این رودخانه‌ها به شرح زیر است:

پتانسیل حمل رسوب توسط جریان در این رودخانه‌ها بیش از مقدار رسوبی است که حمل می‌کنند.

در شرایطی که طرح‌های ساماندهی و حفاظت کناره رودخانه‌ها اجرا شود، میزان حمل رسوب توسط رودخانه کاهش یافته و فرسایش بستر در این گونه رودخانه‌ها تشدید می‌شود.

در پایین‌دست سرریزها، سدهای انحرافی و مخزنی غالباً چنین شرایطی در رودخانه مشاهده می‌شود.

رودخانه‌های پایدار (Stable Rivers)

در این رودخانه‌ها که غالباً به آنها رودخانه‌های در حال رژیم نیز گفته می‌شود عوامل مختلف ایجاد فرسایش یا رسوبگذاری تحت کنترل در آمده و به این ترتیب در این رودخانه‌ها، مسیر عمومی جریان، شیب، سرعت تقریباً ثابت باقی می‌ماند. معمولاً در طبیعت چنین شرایطی کمتر به وقوع می‌پیوندد.

۴ ـ رودخانه‌های جذر و مدی(Tidal Rivers)

به بازه انتهایی رودخانه‌هایی که به دریاها، اقیانوس‌ها و یا دریاچه‌هایی که در معرض اثرات جذر و مد هستند، رودخانه‌های جذر و مدی گفته می‌شود. مشخصات عمومی این رودخانه‌ها عبارت است از:

❋آب دریا به هنگام مد وارد رودخانه شده و به هنگام جذر از آن خارج می‌شود. لذا سطح آب رودخانه در یک فاصله زمانی یک روزه بالا و پائین می‌رود. به این ترتیب نقطه کنترل و شرایط رژیم جریان در فواصل کوتاه زمانی تغییر قابل توجهی می‌کند.

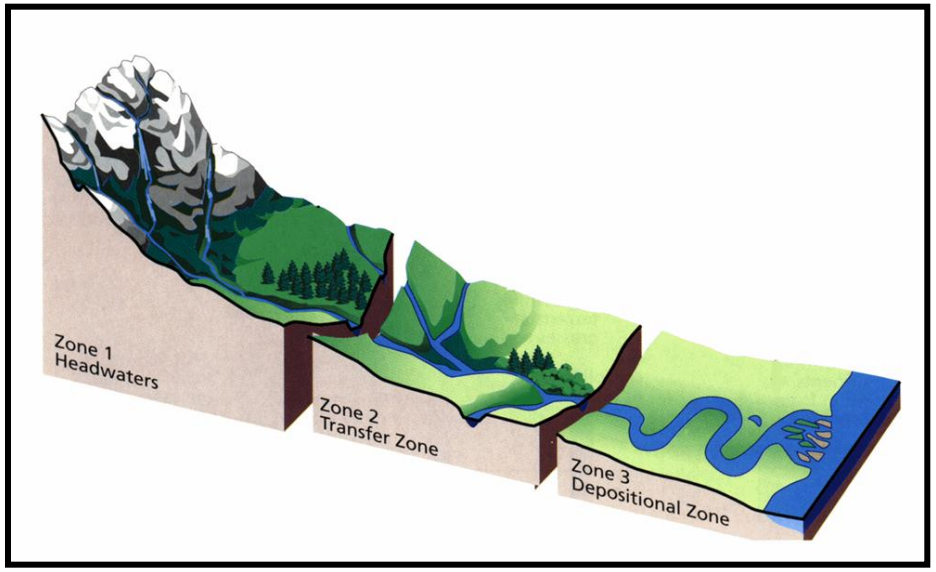
❋در موقع مد رودخانه بار رسوبی در حال حمل خود را ته‌نشین نموده و در موقع جذر آنها را به سمت مصب حرکت می‌دهد.

رسوبات این بازه رودخانه غالباً چندان درشت نیستند و در محدوده شن ریز، سیلت و رس طبقه‌بندی می‌شوند.

❋در هنگام ورود این رودخانه‌ها به دریا، قبل از تخلیه رودخانه به دریا، رودخانه چند شاخه شده و دلتا (Δ) تشکیل می‌شود.

طبقه‌بندی براساس شیب

رودخانه‌ها را با توجه به شیب طولی نرمال رودخانه (Normal Slope Line) می‌توان به شرح زیر تقسیم‌بندی کرد. نکته قابل تأمل اینکه در مطالعات رودخانه‌ها بر اساس شیب یا سایر عوامل طبقه‌بندی، یک رودخانه ممکن است به چند ناحیه تقسیم شود و طبقه‌بندی بر اساس عوامل مختلف در هر ناحیه (Zone) صورت پذیرد. بر اساس شیب، رودخانه‌ها به صورت رودخانه‌های کوهستانی، کوهپایه‌ای، جلگه‌ای و رودخانه‌های بزرگ و مصب‌ها تقسیم می‌شوند. شکل (۲-۵) تقسیم بندی رودخانه ها را بر اساس شیب نشان میدهد.



شکل(۲-۵) طبقه بندی رودخانه ها بر اساس شیب

رودخانه‌های کوهستانی

بارزترین مشخصه‌های رودخانه‌های کوهستانی را می‌توان به شرح زیر بر شمرد:

- شیب تند ـ شیب مسیر این رودخانه‌ها در هیچ نقطه‌ای از ۱ درصد کمتر نیست ($S > 0.01$)
- عمق جریان در این رودخانه‌ها نسبتاً کم است.
- تلاطم جریان در این رودخانه بسیار زیاد است.
- سرعت جریان در این رودخانه‌ها زیاد است.
- بستر از قلوه‌سنگ و صخره تشکیل شده است.
- عموماً به صورت فرسایشی عمل کرده و بار بستر در آنها زیاد است.
- در مصالح بستر و کناره‌ها جورشدگی مشاهده نمی‌شود.
- مصالح بستر تحت تاثیر فرایند فرسایش آبی گرد شده نیستند.

رودخانه‌های کوهپایه‌ای

بارزترین مشخصه‌های رودخانه‌های کوهپایه‌ای به شرح زیر است:

❊در بستر آنها دامنه وسیعی از مصالح بستر شامل قطعات پراکنده سنگی تا شن و ماسه دیده می‌شود.

❊شیب این رودخانه‌ها عموماً بین ۱ درصد تا ۰.۱ درصد متغیر است. ($0.001 < S < 0.01$)

❊در مصالح بستر و کناره‌ها جورشدگی نسبی مشاهده می‌شود (Sorting)

❊مصالح بستر تحت تاثیر فرایند فرسایش نسبتاً گرد شده‌اند.

❊در مسیر این رودخانه‌ها فرایندهای مختلف فرسایش و رسوبگذاری مشاهده می‌شود هر چند این رودخانه‌ها بیشتر تمایل به رسوبگذاری دارند.

❊مسیر و شیب این رودخانه‌ها به دلیل رسوبگذاری دائماً در حال تغییر است.

❊دشت سیلابی در این رودخانه‌ها توسط شیب کناره‌ها یا توپوگرافی محدود شده است.

رودخانه‌های جلگه‌ای

بارزترین مشخصات این رودخانه‌ها به شرح زیر است:

❊دشت سیلابی این رودخانه‌ها عموماً بر روی مخروط‌افکنه رودخانه قرار دارد و بسیار عریض است.

شیب این رودخانه‌ها بین ۰.۱ درصد تا ۰.۰۱ درصد متغیر است.

❊در شرایط عادی جریان رودخانه از مقطع کانال عبور می‌کند اما در شرایط سیلابی عمق جریان افزایش یافته و دامنه وسیعی از دشت سیلابی را در بر می‌گیرد.

❊مصالح بستر و کناره‌ها شامل ماسه نسبتاً ریز، سیلت و رس می‌باشد.

رودخانه‌های بزرگ و مصب‌ها

بارزترین مشخصات این رودخانه‌ها به شرح زیر است:

❋شیب عمومی مسیر جریان غالباً کمتر از ۰.۰۱ درصد ($S < 0.0001$) می‌باشد.

❋سرعت جریان کم و غالباً سرعت متوسط جریان کمتر از ۱ متر بر ثانیه است.

❋عمق جریان زیاد (چندین متر) است.

❋کانال اصلی جریان بزرگ و تقریباً شکل مقطع عرضی ثابت است. مقطع عرضی به فرم مستطیل یا ذوزنقه است.

❋این رودخانه‌ها بعضاً تحت تاثیر جذر و مد قرار دارند.

❋بستر و کناره‌ها از مصالح ریزدانه و اغلب چسبنده نظیر سیلت و رس تشکیل شده است.

❋فرسایش عمومی در این گونه رودخانه‌ها غالباً مربوط به فرسایش کناره‌ها می‌شود.

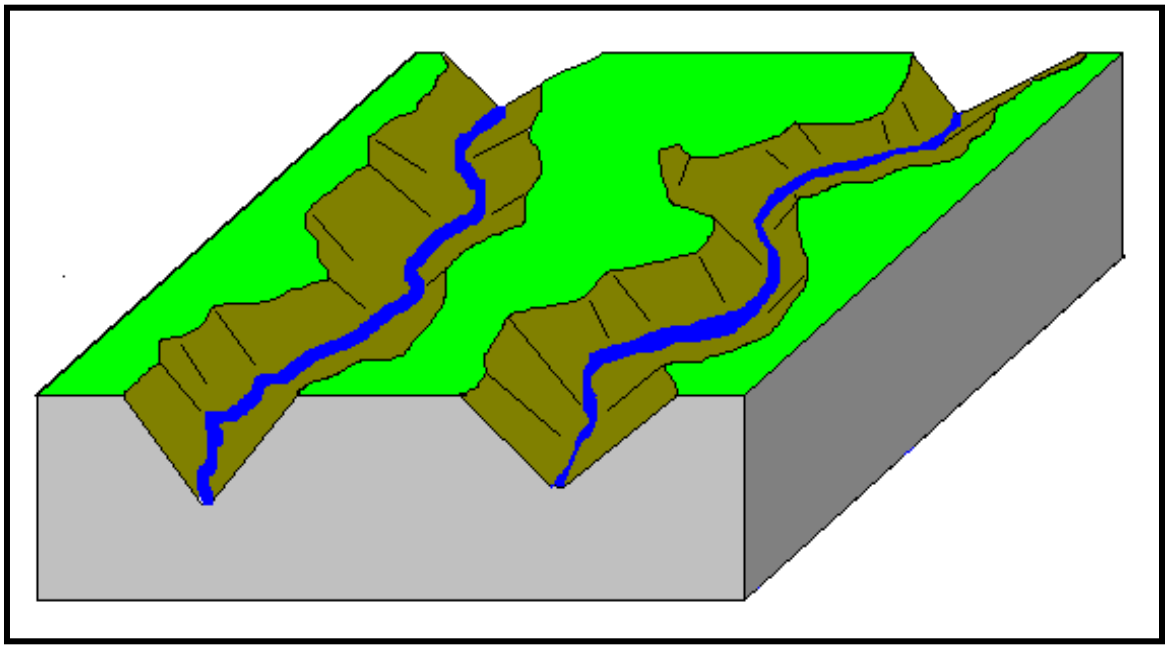
طبقه‌بندی براساس عمر رودخانه (Geomorphology)

رودخانه‌ها از نظر ژئومرفولوژی و برحسب سن و درجه تکوین و براساس مشخصاتی که از خود نشان می‌دهند به سه گروه جوان (Youth)، بالغ (Mature) و پیر (Old) تقسیم بندی می‌شوند. یک رودخانه ممکن است در بعضی از نقاط مسیر، خصوصیات رودخانه‌های جوان، بالغ یا پیر را از خود نشان دهد.

رودخانه‌های جوان

رودخانه جوان به رودخانه‌ای اطلاق می‌شود که توانایی فرسایش کف کانال را در جهت قائم داشته باشد. شیب این رودخانه‌ها زیاد و غالباً بیش از شیب لازم جهت حمل بارهای رسوبی است. از این رو پتانسیل حمل رسوب این رودخانه‌ها همواره از بار رسوبی که حمل می‌کنند بیشتر است. به دلیل اینکه این رودخانه‌ها پتانسیل حمل رسوب بیشتر از میزان رسوب بستر خود را دارند، همواره در حال فرسودن بستر بوده و به این ترتیب این رودخانه‌ها از درون دره‌های تنگ و عمیق V شکل عبور می‌کنند. این رودخانه‌ها دشت سیلابی نداشته و کل سیلاب وارد شده به رودخانه را از طریق همان دره تنگ و عمیقی که در آن جریان دارند عبور می‌دهند. در مسیر رودخانه‌های جوان آبشارها (Water falls)، استخرها یا برکه‌های طبیعی و طبیعت متغیر وجود دارد. بارزترین مشخصه‌های رودخانه‌های جوان عبارتست از:

- مقطع آن‌ها V شکل است و بستر آن‌ها در حال فرسایش قرار دارد.
- در مسیر، شکست و شیب زیاد دارند و این شیب بیش از شیب لازم جهت حمل بارهای رسوبی است.
- در مسیر دریاچه، آبشارها و دراپ دارند.
- در این بخش از رودخانه مصالح ریزدانه سیلت و رس دیده نمی‌شود.
- جداره این گونه رودخانه از مصالح فرسایش‌پذیر و فرسایش‌ناپذیر گسیخته از هم تشکیل شده است.
- فرسایش در این رودخانه‌ها در یک خط مستقیم انجام می‌گیرد و مسیل این رودخانه بیشتر تحت تأثیر شرایط توپوگرافی شکل می‌گیرد.
- این رودخانه‌ها فاقد دشت سیلابی هستند و کل جریان را از دره تنگ و عمیقی که در آن جریان دارند عبور می‌دهند.شکل(۲-۶) بطور شماتیک یک رودخانه جوان را نشان میدهد.



شكل (٢-٦) شكل شماتيك يك رودخانه جوان

رودخانه‌های بالغ

زمانی که یک رودخانه جوان فرسایش بسترش را متوقف نماید و شروع به عریض کردن بستر نماید به آن رودخانه بالغ گویند. شیب این رودخانه‌ها به گونه‌ای کاهش یافته است که شرایط هیدرولیکی لازم را جهت انتقال رسوباتی که از بالادست آورده است، فراهم می‌آورد. مکانیزم تنظیم شیب در این رودخانه‌ها به این صورت است که اگر میزان رسوب حمل شده از بالادست بیش از میزان رسوبی باشد که هربازه (Reach) رودخانه توانایی حمل آن را دارد، مسلماً رسوبات اضافی در ابتدای بازه شروع به ته‌نشین شدن می‌کنند که این خود سبب افزایش شیب کانال و در نتیجه ازدیاد ظرفیت حمل رسوب در آن بازه می‌شود. برعکس زمانی که ظرفیت حمل رسوب در یک بازه از رودخانه بیش از میزان رسوباتی باشد که از بالادست توسط جریان حمل می‌شود، جریان شروع به برداشتن رسوب از بستر رودخانه در این بازه می‌کنند که خود سبب کم شدن شیب جریان در این بازه و در نتیجه کاهش ظرفیت حمل رسوب در آن می‌شود. (شکل ۲-۳)

به طور کلی بارزترین مشخصه‌های رودخانه‌های بالغ را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

*رودخانه نسبتاً پایدار است و فرسایش بیشتر به فرسایش کناره‌ها محدود می‌شود.

*عمق آبراهه در اثر فرسایش تغییر نمی‌کند و پروفیل بستر تقریباً پیوسته و منظم است.

*عرض رودخانه نسبت به عمق نسبتاً زیاد است. چنانچه حالت پیچ و خم‌دار داشته باشند (مئاندری)، عرض دره آنها از عرض مئاندر بزرگتر یا حداکثر با آن مساوی است.

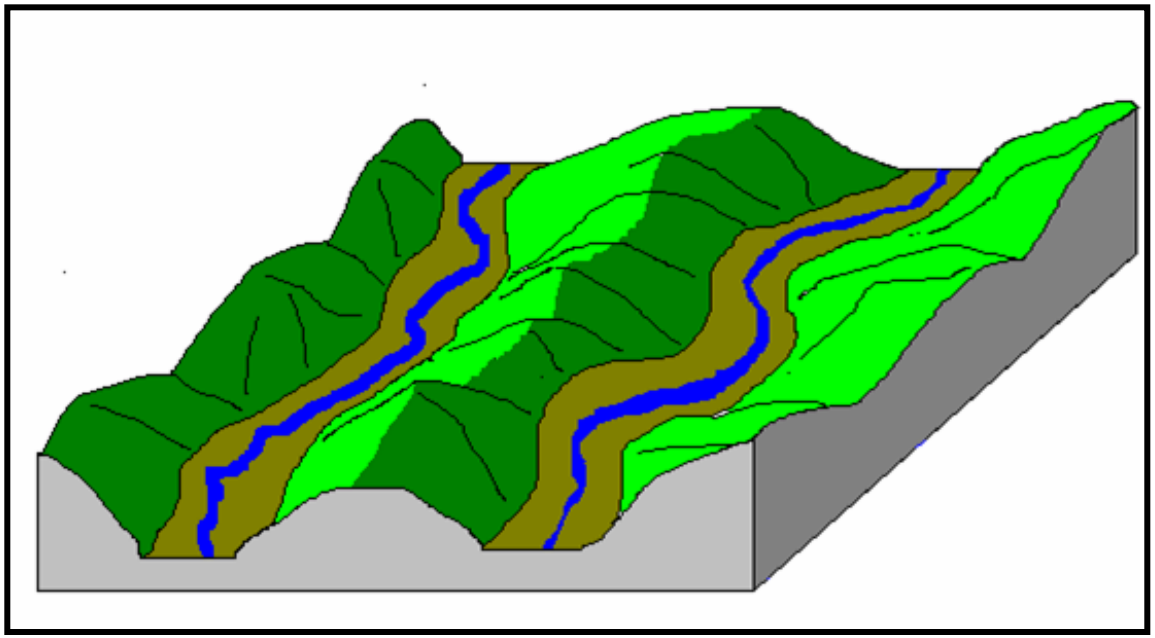
*جریان در آنها گل آلود بوده و نسبتاً آهسته حرکت می‌کند.

*دارای دشت سیلابی با گوره‌های طبیعی (Natural Levees) می‌باشند.

*در پلان دارای شکل مارپیچی بوده (Meander scrolls) و میان بر (Cut off) ندارند.

*در مسیر آنها هیچگونه استخر طبیعی به جز استخرهای طبیعی نعل اسبی (Oxbow lakes) وجود ندارد.

شکل(۲-۷) بطور شماتیک یک رودخانه بالغ را نشان میدهد.



شکل (۲-۷) شکل شماتیك يك رودخانه بالغ

رودخانه‌های پیر

از به هم پیوستن چند رودخانه بالغ یک رودخانه پیر تشکیل می‌گردد. به بیان دیگر رودخانه‌ای که شاخه‌های اصلی تشکیل دهنده آن بالغ باشند رودخانه پیر نامیده می‌شود. در رودخانه‌های پیر فرسایش و رسوبگذاری عمدتاً مربوط به سواحل جانبی رودخانه است و به همین دلیل در اینگونه رودخانه‌ها، حرکت جانبی رودخانه در دشت سیلابی و به سمت پایین دست ادامه خواهد داشت. میزان حرکت جانبی رودخانه در دشت سیلابی و به سمت پایین دست به توان رودخانه (یا توان واحد رودخانه‌ای که در بخشهای بعدی در این خصوص توضیح بیشتری ارائه خواهد شد) بستگی دارد. دره این رودخانه‌ها عریض‌تر از رودخانه‌های بالغ بوده و از مصالح بستر و کناره‌های یکنواخت‌تر و همچنین ریزتری برخوردارند. بارزترین مشخصات رودخانه‌های پیر را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

*دارای پیچ و خم‌های متوالی منظم یا غیرمنظم در مسیر هستند که می‌توانند به آرامی به سمت قوس خارجی حرکت نمایند.

*عرض اینگونه رودخانه‌ها زیاد و گرادیان هیدرولیکی رودخانه نسبتاً کم است.

*شیب عمومی این رودخانه‌ها نسبتاً کم است و با گذشت زمان تحت تأثیر حرکت متناوب مئاندرها تقریباً ثابت می‌ماند. لذا حرکت حلقه‌های مئاندر در اینگونه رودخانه‌ها بر کل مسیر تغییراتی محسوس یا غیرمحسوس می‌گذارد.

رژیم جریان در اینگونه رودخانه‌ها در حال تعادل است، بار رسوبی اینگونه رودخانه‌ها نیز به تعادل رسیده و توزیع سرعت جریان و غلظت رسوبات در عمق دارای فرم مشخص و تقریباً ثابتی است.

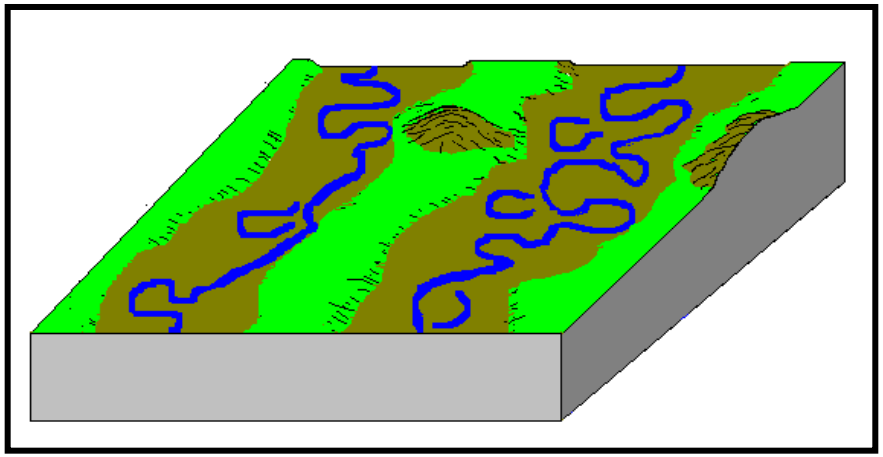
*عرض دشت سیلابی حداقل برابر عرض کمربند مئاندری است.

*دارای آبشار، تندآب و تغییرات ناگهانی در پروفیل سطح آب نیستند مگر اینکه ناشی از دخالتهای بشری باشد. در مسیر آنها دریاچه وجود ندارد. هرچند در بعضی موارد در کناره آنها دریاچه‌های نعل اسبی (Oxbowlake) مشاهده می‌شود.

*در سواحل رودخانه و در مرز مقطع رودخانه با دشت سیلابی پشته‌های طبیعی به وجود آمده که از ورود سیل در دوره برگشتهای پایین به دشت سیلابی جلوگیری می‌کند.

*در دشتهای ساحلی طغیانی، اینگونه رودخانه‌ها دلتا ایجاد می‌کنند. غالباً در این محدوده رودخانه تحت تأثیر شرایط جذر و مدی نیز قرار می‌گیرد.

*در دشتهای عریض که شیب و گرادیان هیدرولیکی رودخانه کاهش می‌یابد، رودخانه به صورت کاملاً مارپیچی مشاهده می‌شود. شکل (۲-۸) به طور شماتیک یک رودخانه پیر را نشان میدهد.



شکل(۲-۸) شکل شماتیك يك رودخانه پير

طبقه‌بندی رودخانه‌ها براساس تداوم جریان

یکی از روشهای دیگر طبقه‌بندی رودخانه، در نظر گرفتن ویژگیهایی نظیر دوام هیدرولوژیکی جریان رودخانه است. براساس تداوم، جریان رودخانه‌ها به دو گروه رودخانه‌های دائمی (Perennial) و فصلی (Ephemeral) تقسیم‌بندی می‌شوند. و طبق تعریف، رودخانه‌های فصلی، رودخانه‌هایی هستند که حداقل یک فصل از هر سال (حداقل سه ماه) در آن هیچ جریانی مشاهده نشود. در غیر این صورت رودخانه دائمی نامیده می‌شود.

در روش دیگری، از طبقه‌بندی‌ها رودخانه براساس تداوم جریان، رودخانه‌ها به سه گروه دائمی، غیر دائمی و خشک تقسیم‌بندی می‌شوند.

در رودخانه‌های دائمی، در تمامی ایام سال جریان آب وجود دارد و فقط در مواقع استثنایی بسیار خشک و یا پس از وقوع دوره‌هایِ بلندمدت خشکسالی در یک پریود زمانی کوتاه ممکن است کاملاً بدون آب شوند.

رودخانه‌های غیر دائمی، در بیشتر مواقع سال آب دارند و فقط در اواخر تابستان یا پاییز به علت تبخیر و نفوذ زیاد و کمبود جریان خشک می‌شوند. در این گونه رودخانه‌ها، با وقوع اولین بارش جریان رودخانه از سرگرفته می‌شود و در تمام طول سال بخصوص ماههای پایانی پاییز، زمستان، بهار و اوایل تابستان جریان در آنها ادامه دارد.

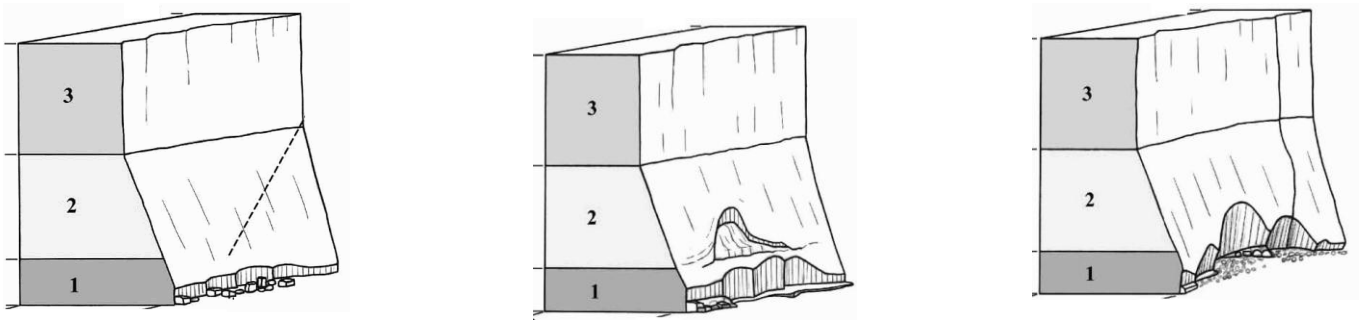
در رودخانه‌های خشک، آب فقط در هنگام وقوع بارش یا ذوب برف جریان دارد و پس از توقف بارش یا ذوب برف رودخانه خشک و بی آب می‌شود. بستر این رودخانه‌ها بالاتر از سطح آب زیرزمینی منطقه قرار دارد و لذا امکان تغذیه این رودها توسط آب زیرزمینی یا جریان بین لایه‌ای وجود ندارد و برعکس در این رودخانه‌ها امکان تغذیه سفره آب زیرزمینی از رودخانه وجود دارد. این رودخانه‌ها غالباً در مناطق خشک و کویری مشاهده می‌شوند.

تقسیم‌بندی براساس شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی

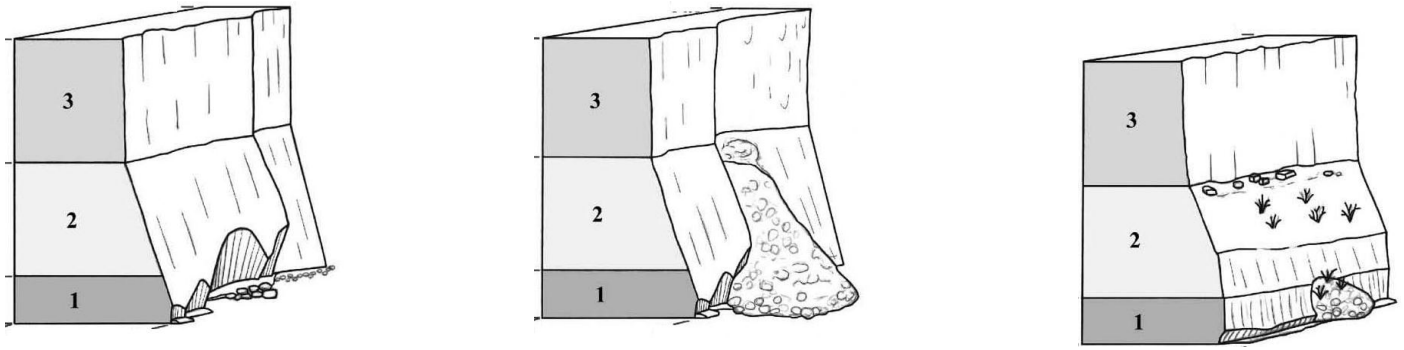
اندازه مواد کف بستر در یک رودخانه طبیعی به طور پیوسته در طول رودخانه کاهش می‌یابد. بخشی از این کاهش اندازه مواد در اثر ترتیب رسوبگذاری بارهای رسوبی و بخش دیگری از آن ناشی از ساییدگی است. همچنانکه رودخانه از مناطق کوهستانی به سمت دشت سرازیر می‌شود، به تدریج شیب آن کاهش و عرض مقطع آن افزایش می‌یابد. با کاهش شیب رودخانه میزان حمل رسوبات آن نیز کاهش یافته و در نتیجه دانه‌های درشت‌تری که از بالادست حمل شده‌اند در کف رودخانه ته نشین می‌شوند. پس ترتیب ته‌نشین شدن (Sorting) ذرات رسوبی بستگی به میزان تغییرات ظرفیت حمل رسوب در طول رودخانه دارد. ساییدگی عبارت است از کاهش اندازه ذرات در اثر مالش (Rubbing)، آسیاب کردن یا خرد شدن (Grinding) و سایش (Crushing) ذرات رسوبی بر روی یکدیگر و یا بستر رودخانه. ساییدگی در صورتی می‌تواند به عنوان عامل اصلی کاهش اندازه ذرات مطرح شود که ذرات در نزدیکی کف بستر و به صورت بار بستر حرکت کنند (Bed Load) به عبارت دیگر، در صورتی که بار رسوبات رودخانه به صورت معلق (Suspended load) باشد، ترتیب ته نشینی ذرات (Sorting) عامل مؤثر در کاهش اندازه ذرات رسوبی در طول رودخانه است.

به هر حال فرایندهای رودخانه‌ای حاکم بر انتقال، حرکت، سایش و رسوبگذاری ذرات با توجه به شرایط زمین‌شناسی خاص ذرات رسوبی، میزان استحکام ذرات و بالاخره مواد مادری تشکیل دهنده از یک طرف و سایر شرایط حاکم بر منطقه نظیر شرایط اقلیمی واکنش مواد تشکیل‌دهنده کانیها در مقابل فرایندهایی نظیر اکسیداسیون و هوازدگی، تنوع قابل ملاحظه‌ای از شرایط خاص زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی را در مسیر رودخانه‌ها بوجود می‌آورد. براین اساس دیواره، بستر و سواحل رودخانه‌ها را به دو دسته زیر تقسیم می‌کنند.

- رودخانه‌های با دیواره‌ها و بستر غیرچسبنده
- رودخانه‌های با دیواره‌های چسبنده



شکل (۲-۹) مکانیزم‌های گسیختگی سواحل و دیواره‌های کناری در رودخانه‌ها با مصالح چسبنده



شکل (۲-۱۰) عوامل موثر بر تشدید فرسایش دیواره‌ها و سواحل در رودخانه‌های با مصالح چسبنده

تقسیم‌بندی رودخانه‌ها با توجه به شکل هندسی

شکل رودخانه به عنوان یک عامل اساسی در تقسیم‌بندی‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. مهمتر از شکل رودخانه، نحوه تغییر شکل و به بیان بهتر میزان تغییر شکل یا تغییر مورفولوژیکی رودخانه است که می‌تواند نقش مهمی در طبقه‌بندی رودخانه‌ها داشته باشد. در واقع شکل رودخانه که یک عامل عینی مشاهده رودخانه است به مراتب بهتر از سایر عوامل نظیر شیب، توپوگرافی یا نوع و جنس مصالح بستر می‌تواند عامل طبقه‌بندی باشد. در طبقه‌بندی رودخانه‌ها براساس شکل هندسی، ۲ دیدگاه کلی به شرح زیر مورد توجه قرارگرفته است.

- طبقه‌بندی براساس شکل مقطع عرضی
- طبقه‌بندی براساس شکل پلان

طبقه‌بندی براساس شکل مقطع عرضی

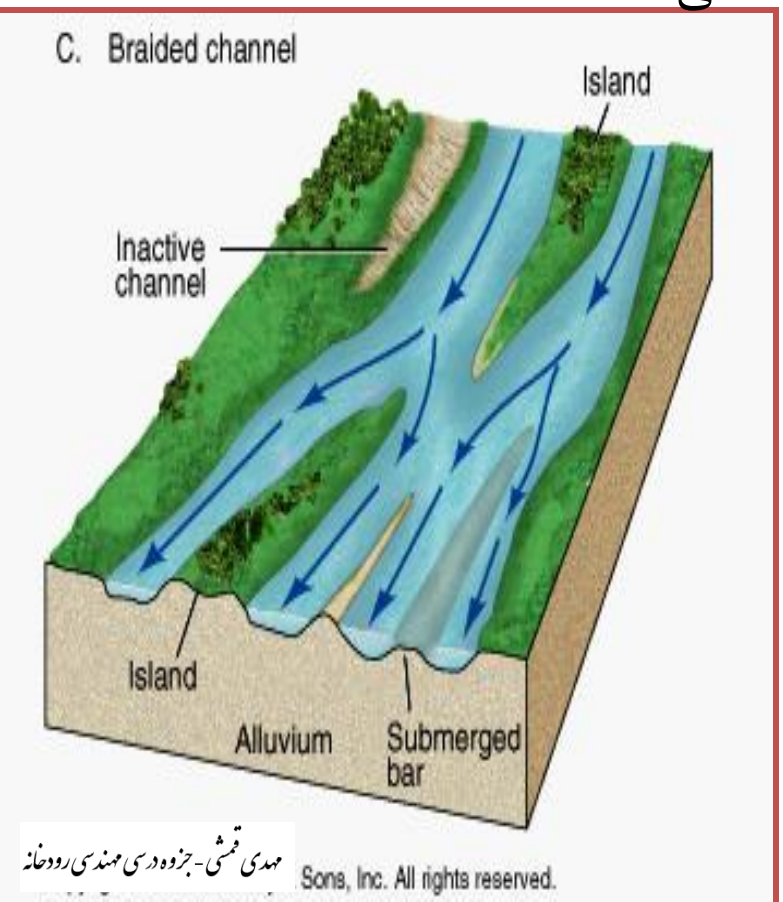
در این طبقه‌بندی رودخانه به دو قسمت بالادست و پایین دست تقسیم‌می‌شود. بازه بالادست رودخانه را می‌توان براساس مشخصاتی که از خود نشان می‌دهد به دو گروه رودخانه‌های محدود شده (Incised streams) و رودخانه‌های تخته سنگی (Boulder steams) طبقه‌بندی نمود.

رودخانه‌های محدود شده به کندی با حفر بستر (Degradation) شکل می‌گیرند. در این گونه رودخانه‌ها قسمت عمده مواد رسوبی که توسط جریان حمل می‌شود ناشی از فرسایش حوضه آبریز است. کف و کناره‌های رودخانه‌های محدود شده با گذشت زمان مقاومت کافی در مقابل فرسایش را کسب کرده (Armoring) و در نتیجه فرسایش‌های کف و کناره‌ها در این رودخانه‌ها به کندی صورت می‌گیرد.

بارزترین مشخصه رودخانه‌های تخته سنگی شیب تند این رودخانه‌هاست. کف بستر این رودخانه‌ها از ماسه، شن، قلوه‌سنگ، قطعات سنگی و تخته سنگ تشکیل شده است. این رودخانه‌ها دارای مسیرهای مستقیم با بستر عریض و کم عمق می‌باشند.

بقه‌بندی براساس شکل پلان

توجه به شکل پلان رودخانه در بسیاری از مسائل طراحی (مثلاً در تعیین محل پلها،آبگیرها، محل سدهای انحرافی، ایستگاه‌های پمپاژ و ...) مهم می‌باشد. همچنین برای درک بهتر مسائل هیدرولیکی رودخانه‌های آبرفتی داشتن دانش کافی در مورد شکل پلان رودخانه ضروری است. از طرفی در حل مسائل هیدرودینامیکی و هیدرولیکی جریان در رودخانه، اطلاعات هندسی شکل پلان و بخصوص شعاع انحنا نقش قابل توجهی ایفا می‌کند.



به طور کلي رودخانه‌ها با توجه به شکل پلان به ۳ دسته تقسيم مي‌شوند که عبارتند

- **مستقیم(Straight)**
- **پیچانرود(Meandering)**
- **شریانی یا چندشاخه(Braided)**

رودخانه‌های مستقیم (Stright rivers)

همانگونه که گفته شد، اصولاً یافتن بازه‌هایی از رودخانه که در طول زیاد مسیر رودخانه مستقیم بماند مشکل است. هر چند پلان رودخانه‌ها در شرایط مقطع پر بعضاً به صورت نسبتاً مستقیم دیده می‌شود. با این حال خط القعر رودخانه (Thalweg) دارای انحنا بوده و از یک کناره به سمت کناره دیگر جابجا می‌شود. به این ترتیب حتی در بازه‌های نسبتاً مستقیم معمولاً عمق در مقطع عرضی کانال ثابت نبوده و خط القعر رودخانه نیز خط مستقیم نمی‌باشد. در بعضی از بازه‌های نسبتاً مستقیم رودخانه‌ها، بعضی اوقات توده‌هایی از رسوبات در مجاورت یکی از کناره‌ها وجود دارد که عامل به وجود آمدن جریان‌های ثانویه در رودخانه شده و موجب انحراف خط القعر از خط مرکزی رودخانه می‌شود. به طور کلی یک رودخانه در بازه‌های نسبتاً مستقیم دارای ویژگیهای عمومی زیر است:

- شیب کم
- بار رسوبی کم
- بستر و بخصوص دیواره‌ها کمتر قابل فرسایش است.
- با وجود اینکه پلان رودخانه تقریباً مستقیم است ولی خط القعر رودخانه دارای انحنا بوده و از یک کناره به سمت دیگر می‌رود.
- پروفیل طولی بستر فرم پستی و بلندی می‌گیرد زیرا ترکیب جریان اولیه در جهت پایین دست و جریان ثانویه در جهت عرض مقطع سبب می‌شود تا خطوط جریان از حالت محوری خارج شده و با ایجاد بارهای رسوبی متناوب مسیر خط القعر جریان را در شرایط کم آبی مارپیچی نماید.

رودخانه‌های مئاندری (Meandring Rivers)

رودخانه مئاندری به رودخانه‌ای اطلاق می‌گردد که در پلان دارای شکل‌های منظم یا غیرمنظمی از انحنای سینوسی یا موجی شکل باشد. این واژه در حقیقت از نام رودخانه مائیاندروز (Maeandrose) در کشور ترکیه اخذ شده است که مشخصه خاص آن داشتن مسیری سینوسی شکل است.

با این توصیف و با تعریف رودخانه‌های مستقیم، پیدا کردن مشخصه‌هایی که بتواند رودخانه‌های مستقیم را از رودخانه‌های مئاندری جدا نماید مشکل است. از این رو محققین مختلف مرز تفکیک رودخانه‌های مئاندری را از رودخانه‌های مستقیم براساس پارامترهای مختلف تعریف می‌نماید.

معمول‌ترین روش برای بیان مئاندری بودن رودخانه استفاده از مفاهیمی نظیر ضریب سینوسیته (Sinousityindex) یا درصد انحنا (Tortuosity) است. ضریب سینوسیته یک رودخانه به صورت نسبت طول خط القعر به طول دره‌ای که رودخانه در آن جریان دارد. تعریف می‌شود.

$$\text{سینوسیته} = \frac{\text{طول خط القعر}}{\text{طول دره}} \qquad (۲-۱)$$

با توجه به اینکه اندازه‌گیری طول خط‌القعر رودخانه مشکل است، به جای آن طول خط مرکزی رودخانه در رابطه قرار می‌گیرد.

با توجه به توضیحات فوق مهمترین ویژگیهای رودخانه‌های مئاندری را می‌توان به شرح زیر برشمرد.

❋دارای ضریب سینویته بیش از ۱.۵ هستند.

❋در مسیری با دیواره‌های ساحلی پایدار و معینی (قابل تشخیص) حرکت می‌کنند.

❋در سواحل آنها فرسایش و رسوبگذاری اتفاق می‌افتد.

❋شیب طولی این رودخانه‌ها کم است و به همین دلیل سرعت جریان در آنها نیز کم است.

❋سیلابهای رودخانه‌ای به تأسیسات مجاور صدمات بسیاری وارد می‌کند.

❋رسوبات ورودی به این رودخانه‌ها به صورت توده نهشته‌های بزرگ موضعی، به پایین دست حمل می‌شود

❋مصالح متشکله سواحل و بستر آنها عموماً از جنس لای، ماسه و یا لای رس است.

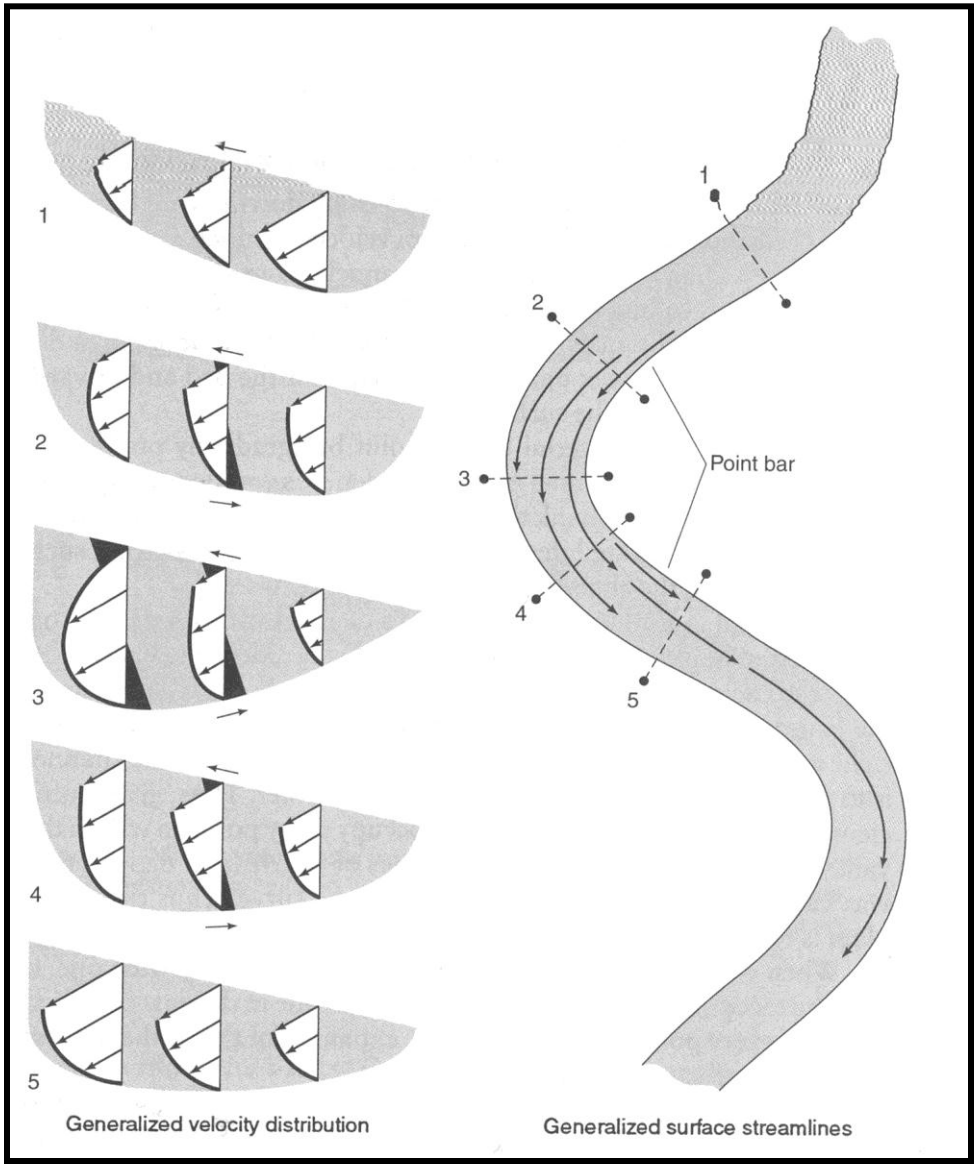
❋دارای عمق زیاد در مجاورت ساحل بیرونی و داخل خمها و عمق کم در طولهای واسط بین خمها هستند.

❋شیب طولی و سطح مقطع جریان در این رودخانه‌ها از موارد متناظر در رودخانه‌های مستقیم بزرگتر ولی سرعت جریان در آنها کمتر است. (در شرایط یکسان انتقال دبی)

❋این رودخانه‌ها رسوب حمل می‌کنند و رسوبات حمل شده موجب تغییر شکل کناره‌ها شوند.

❋جریان در این رودخانه آشفته است.

❋شیب عمومی این رودخانه از شیب در حالت رژیم کانال بیشتر است.



شكل (٢-١١) پلان و مقاطع عرضي شماتيك يك رودخانه مئاندري

رودخانه‌های چندشاخه یا شریانی (Braided River)

یک رودخانه چند شاخه رودخانه‌ای است که در آن جریان در دو یا چند کانال که توسط جزایر رسوبی از یکدیگر جدا شده‌اند جریان دارد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که شکل‌گیری فرم‌های چند شاخه ناشی از رسوبگذاری مصالح درشت دانه توسط جریان و به صورت موضعی میباشد به طوری که تحت شرایط هیدرولیکی موجود در بازه جریان قادر به حمل مواد رسوبی که حمل می‌کند نمی‌باشد.

مهمترین ویژگیهای یک رودخانه چند شاخه را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

*از چند مجرای به هم پیوسته تشکیل شده است.

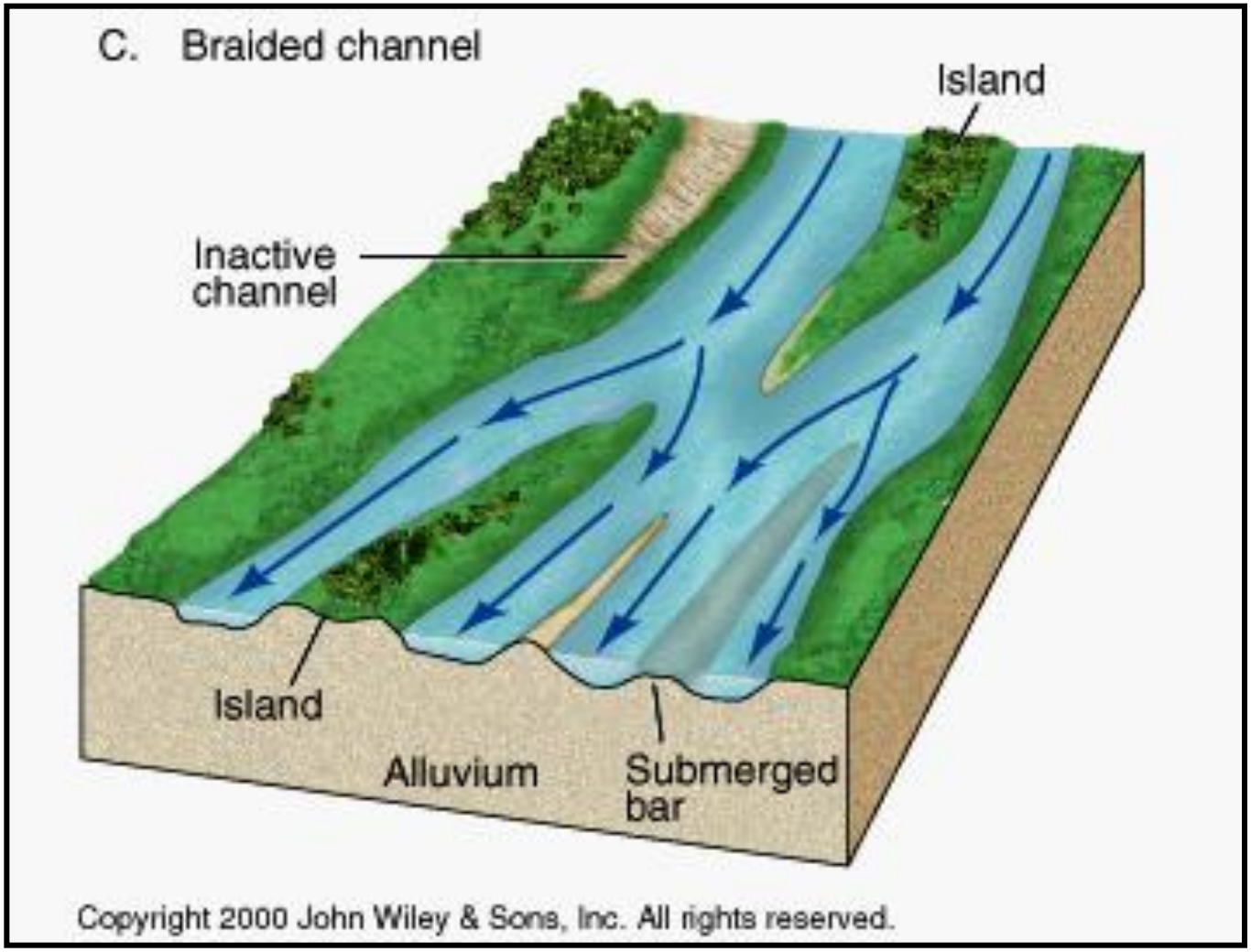
*به وسیله نهشته‌های رسوبی بزرگ از هم جدا شده‌اند.

*مسیر واحد و مشخصی ندارند.

*دیواره‌ها قابل فرسایش است و عموماً دانه درشت، غیر چسبنده و ناپایدار است.

*رسوبات بویژه بار کف درشت دانه در آنها زیاد است.

*برای اتلاف انرژی زیاد جریان در آن تمایل به گسترش دارد و این گسترش عامل ناپایداری رودخانه است. شکل (۲-۱۲) پلان شماتیک یک رودخانه چندشاخه را نشان میدهد



شکل(۲-۱۲) پلان شماتیك یك رودخانه شریانی (چندشاخه)

طبقه‌بندی پیشنهادی روزن (۱۹۹۴)

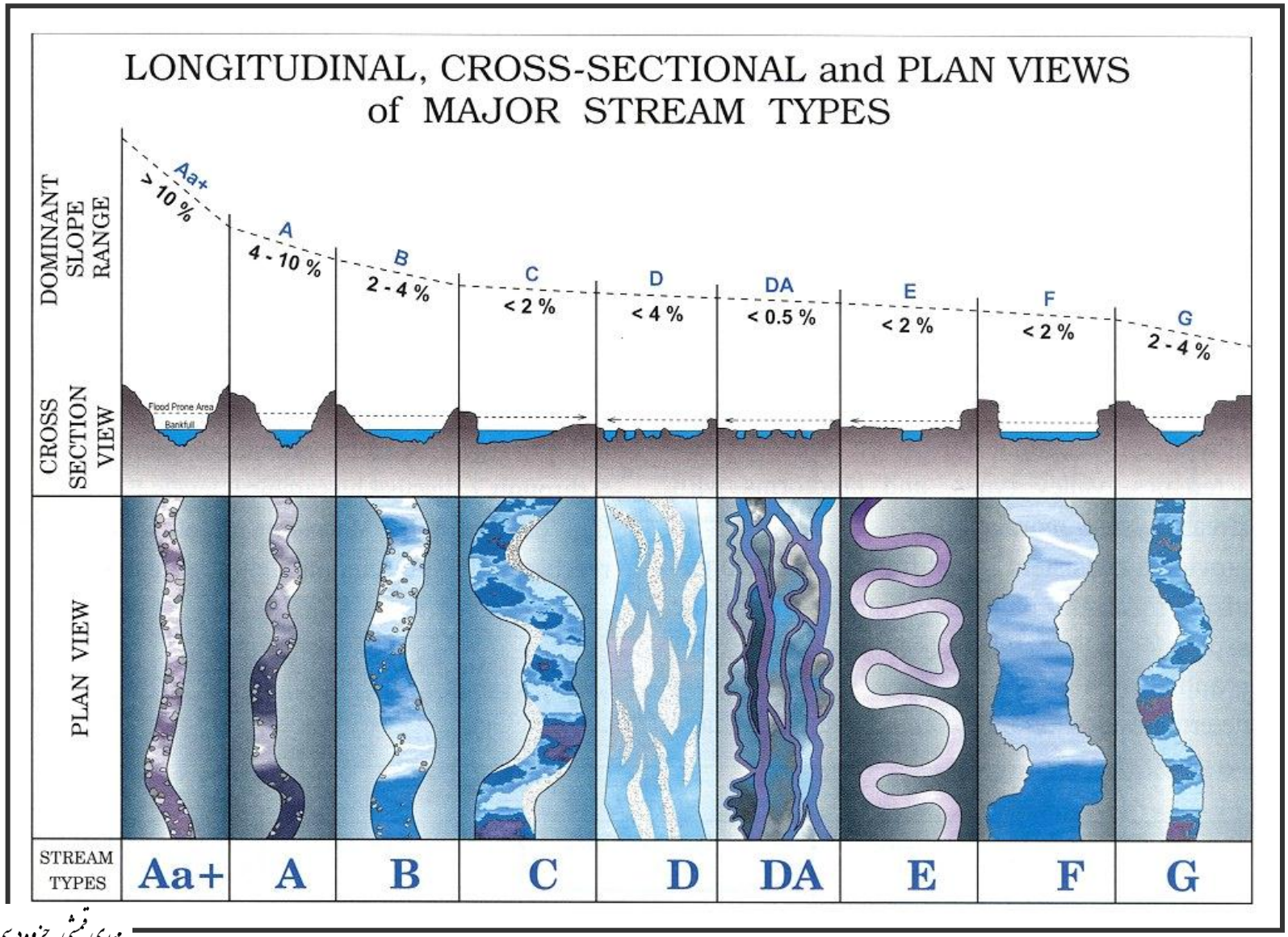
یکی از مهم ترین روش‌های طبقه‌بندی رودخانه، روش روزن (۱۹۹۴) می باشد. این طبقه بندی از آن جهت که تاثیر ۸ عامل مختلف را در طبقه بندی در بر می گیرد حائز اهمیت است.

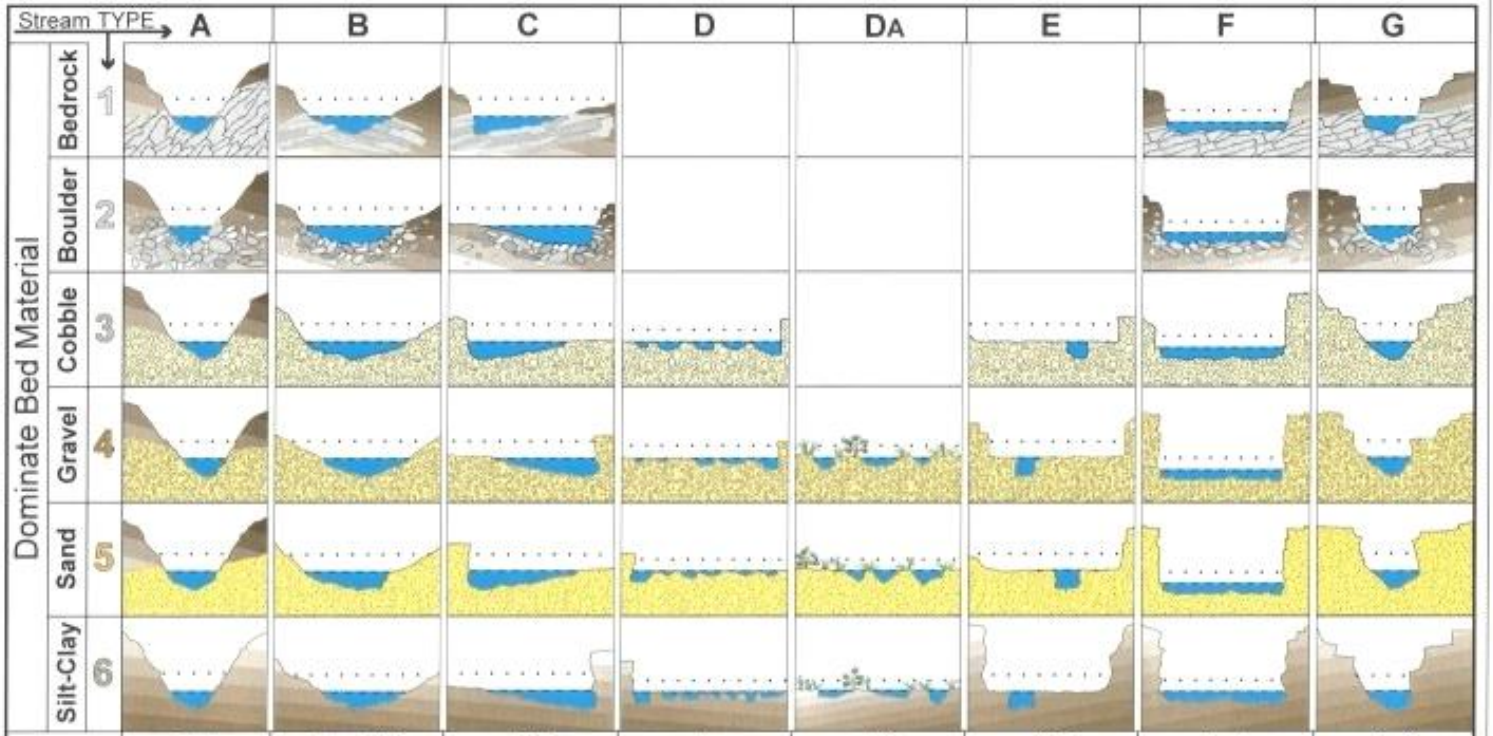
عوامل اصلی که برای طبقه بندی رودخانه ها در این روش مورد توجه قرار می گیرد، به صورت تئوری و تجربی قابل اندازه گیری هستند.این ۸ عامل عبارتند از : عرض، عمق، سرعت، دبی، شیب، زبری مصالح بستر، بار رسوبی واندازه ذرات بستر.

هرگونه تغییری در هر کدام از این عوامل می تواند موجب تغییراتی در کانال رودخانه گردد. از طرفی با توجه به اینکه مورفولوژی رودخانه تابع عوامل فوق است، پارامترهای قابل اندازه گیری فوق می تواند به عنوان مبنای طبقه بندی رودخانه مورد توجه قرار گیرد.

شیب، سینوسیته، نسبت عرض به عمق ، جنس مصالح بستر به عنوان عوامل اصلی طبقه بندی در این روش انتخاب شده اند. شکل(۲-۱۳) مراحل طبقه بندی رودخانه را بر اساس روش پیشنهادی روزن نشان می دهد.

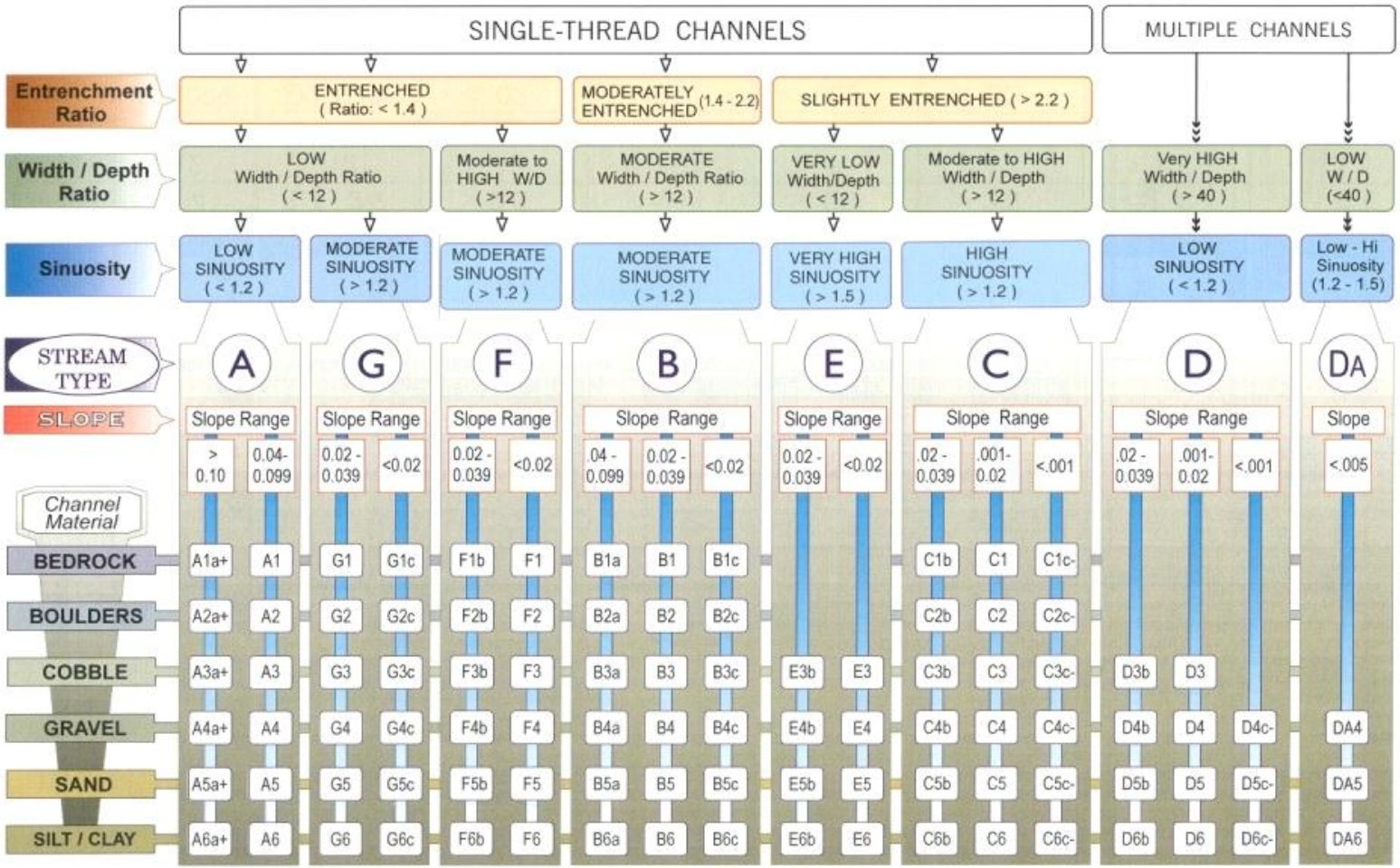
شکل(۲-۱۳) مراحل طبقه بندی رودخانه با روش روزن (راسگن)





Stream TYPE	A	B	C	D	DA	E	F	G
Entrchmnt.	< 1.4	1.4 - 2.2	> 2.2	n/a	> 4.0	> 2.2	< 1.4	< 1.4
W/D Ratio	< 12	> 12	> 12	> 40	< 40	< 12	> 12	< 12
Sinuosity	1 - 1.2	> 1.2	> 1.2	n/a	variable	>1.5	> 1.2	>1.2
Slope	.04-.099	.02-.039	< .02	< .04	< .005	< .02	< .02	.02-.039

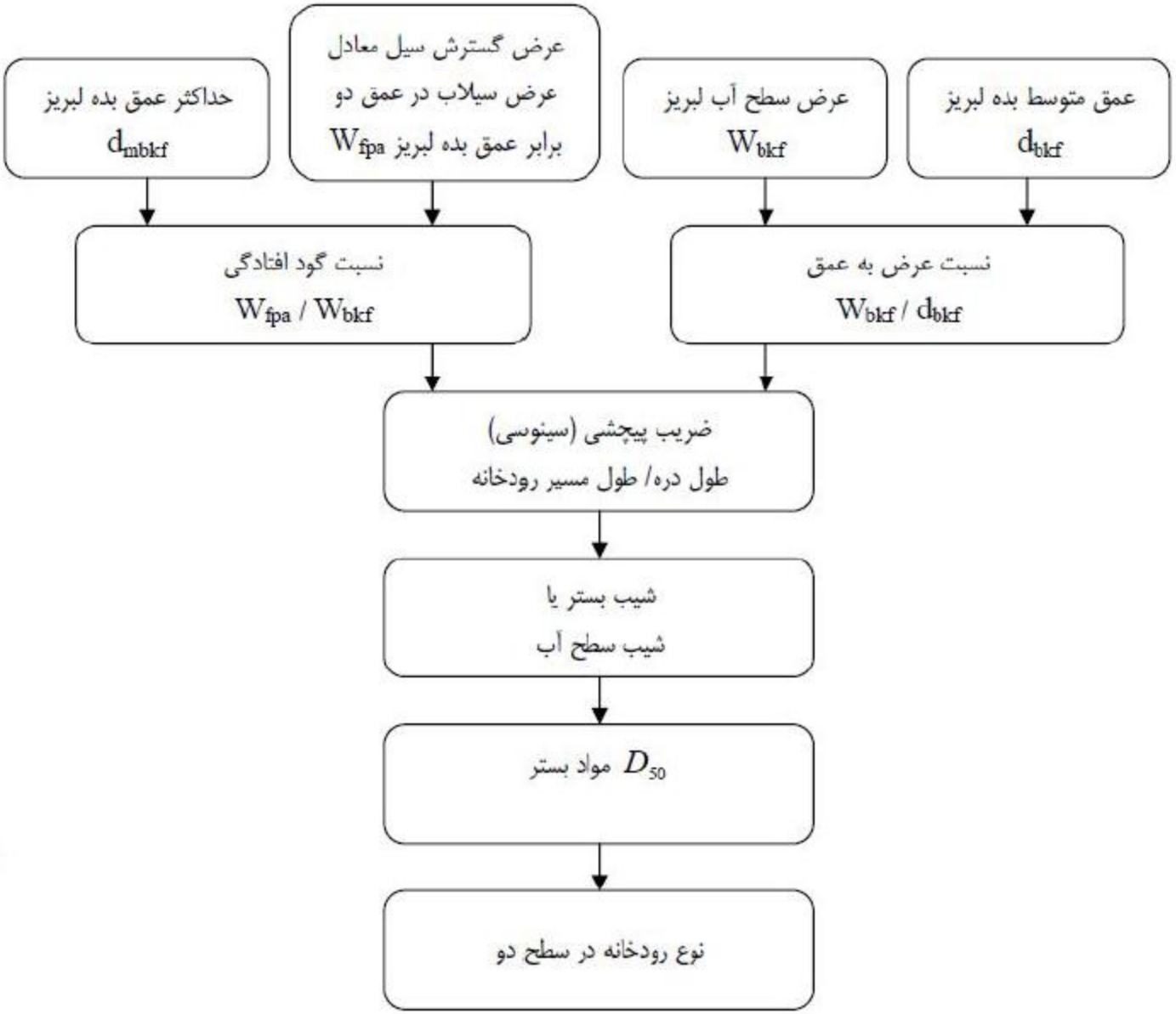
FIGURE 5-2. Primary delineative criteria for the major stream types.



KEY to the ROSGEN CLASSIFICATION of NATURAL RIVERS. As a function of the *"continuum of physical variables"* within stream reaches, values of ***Entrenchment*** and ***Sinuosity*** ratios can vary by +/- 0.2 units; while values for ***Width / Depth*** ratios can vary by +/- 2.0 units.

FIGURE 5-3. Classification key for natural rivers.

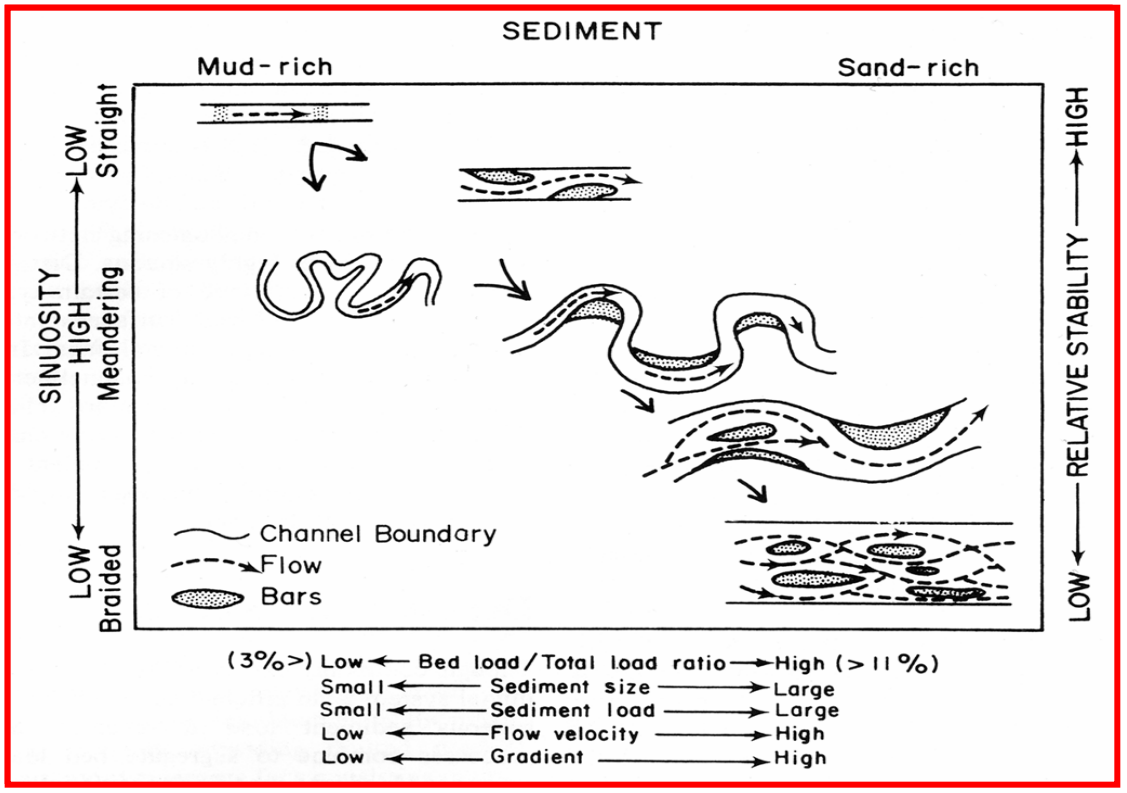
رودخانه	توصیف عمومی	نسبت گود افتادگی	نسبت عرض به عمق	ضریب پیچشی	شیب (m/m)	شکل نواحی / خاک / حالات مختلف بستر
Aa+	شیب خیلی زیاد، سیلابدشت کم، حاوی جریانات رسوبی واریزه‌ای، بستر گود افتاده	< ۱/۴	< ۱۲	۱ تا ۱/۱	> ۰/۱	فرسایش، کف صلب یا حالات رسوبی، پتانسیل جریان واریزه‌ای بستر گود افتاده، پله‌های قائم با حوضچه‌های آبشستگی، آبشارهای متعدد
A	شیب زیاد، بستر گود افتاده، آبشارهای کوتاه، حوضچه‌ها و پله‌های متعدد، جریانات واریزه‌ای همراه با خاک‌های رسوبی، مجرای پایدار در حالت کف صخره‌ای	< ۱/۴	< ۱۲	۱ تا ۱/۲	۰/۰۴ تا ۰/۱	کف رسوبی یا فرسایش‌پذیر و صلب، بستر گود افتاده و محدود شده با آبشارهای متعدد، حوضچه‌های پله‌ای عمیق
B	گود افتادگی متوسط، شیب متعادل، تلماسه‌های حاکم بر مجرا، حوضچه‌های غیر متعارف، پلان و پروفیل بسیار پایدار، کناره‌های پایدار	۱/۴ تا ۲/۲	> ۱۲	> ۱/۲	۰/۰۲ تا ۰/۰۳۹	گود افتادگی بستر با وسعت متعادل و نسبت عرض به عمق متوسط، دره‌های باریک و با شیب ملایم، حوضچه‌های اتفاقی محدود شده
C	دره‌های سیلابدشتی، خاک‌های آبرفتی سیلابدشت با گسترش ملایم به همراه مجرای پیچاروی مشخص، بستر تلماسه‌ای - حوضچه‌ای	< ۲/۲	> ۱۲	> ۱/۴	< ۰/۰۲	دره‌های سیلابدشتی، خاک‌های آبرفتی سیلابدشت با گسترش ملایم به همراه مجرای پیچاروی مشخص، بستر تلماسه‌ای - حوضچه‌ای
D	مجرای شریانی با تپه‌های رسوبی طولی با عرضی، مجرای بسیار عریض با سواحل فرسایش‌پذیر	متغیر	> ۴۰	متغیر	< ۰/۰۴	دره‌های وسیع با مخروط‌افکنه‌های آبرفتی و واریزه‌های یخچالی و حالات مختلف رسوبگذاری، تطابق درازمدت، منابع رسوبی فراوان
DA	مجاری چندگانه باریک و عمیق با سیلابدشت حاوی پوشش گیاهی توسعه یافته با شدت پیچشی بسیار متغیر، سواحل پایدار	> ۴	< ۴۰	متغیر	< ۰/۰۰۵	دره‌های با شیب کم، رسوبات نرم و یا خاک، مجاری چندگانه با کنترل زمین‌شناسی، پوشش گیاهی فراوان در سیلابدشت‌های وسیع پایدار
E	شیب کم، جریان حوضچه‌ای تلماسه‌ای پیچاروی با نسبت عرض به عمق کم و رسوبات اندک، پایدار، عرض مناسب زیاد	> ۲/۲	< ۱۲	> ۱/۵	< ۰/۰۲	دره‌های وسیع، مصالح آبرفتی، دارای شکل سینوسی وسیع، کناره‌های پایدار حاوی پوشش گیاهی، شکل بستر حوضچه‌ای - تلماسه‌ای با نسبت عرض به عمق بسیار اندک
F	مجرای حوضچه‌ای - تلماسه‌ای با سیلابدشت محدود با شیب‌های کم و نسبت عرض به عمق زیاد	< ۱/۴	< ۱۲	> ۱/۴	< ۰/۰۲	گود افتادگی وسیع در بستر به همراه مصالح هوازده، شیب ملایم با نسبت عرض به عمق بالا، پیچاروی ناپایدار درازمدت با نرخ فرسایش کناره بالا، ریخت‌شناسی حوضچه‌ای تلماسه‌ای
G	سیلابدشت‌های با عرض کم، حاوی گودال‌های متعدد و نسبت عرض به عمق کم با شیب متوسط	< ۱/۴	< ۱۲	> ۱/۴	۰/۰۲ تا ۰/۰۳۹	بستر حوضچه‌ای پله‌ای با گودال‌های متعدد شیب و نسبت عرض به عمق متوسط، دره‌های باریک، مصالح آبرفتی با دانه‌بندی‌های متفاوت، مخروط‌افکنه‌ها با دانه‌ها، ناپایدار، نرخ فرسایش کناره بالا



مراحل تعیین رودخانه در سطح دو روش راسگن

تئوري پايداري مجاري آبرفتي

- **Kennedy- 1895**
- **Lindly- 1919**
- **Lacey- 1927**
- **Blench-1952~1970**
- **Lane-1955**
- **Schume-1977**

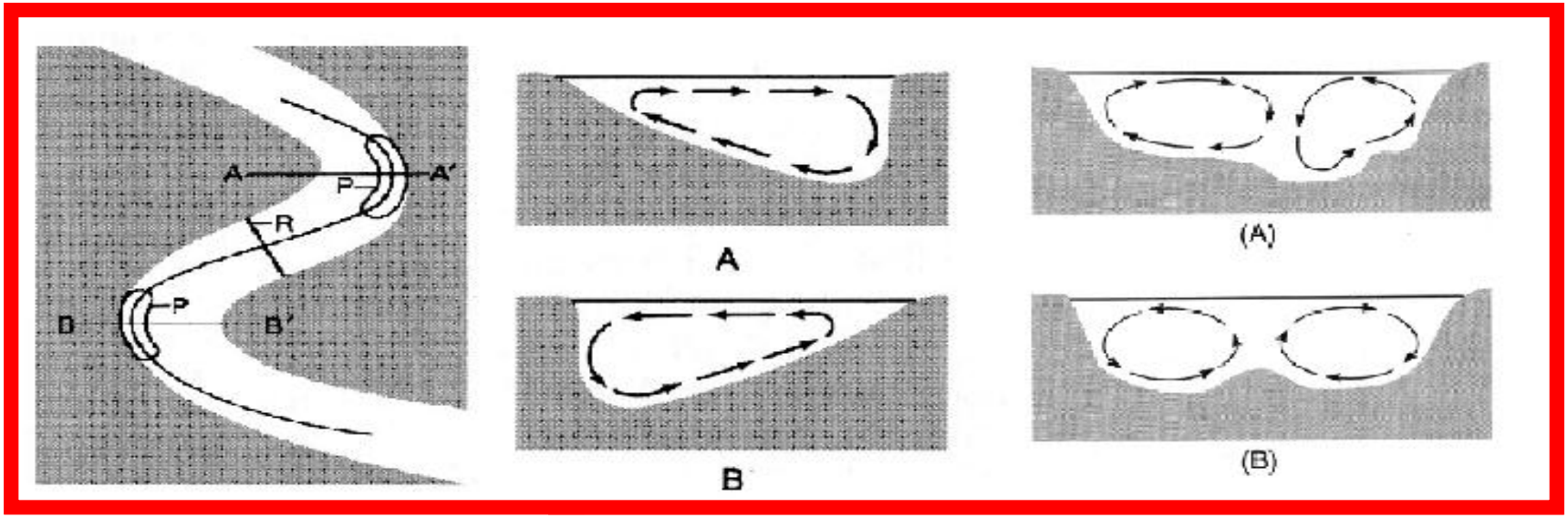


نظريه هاي ايجاد و توسعه پيچانرودها

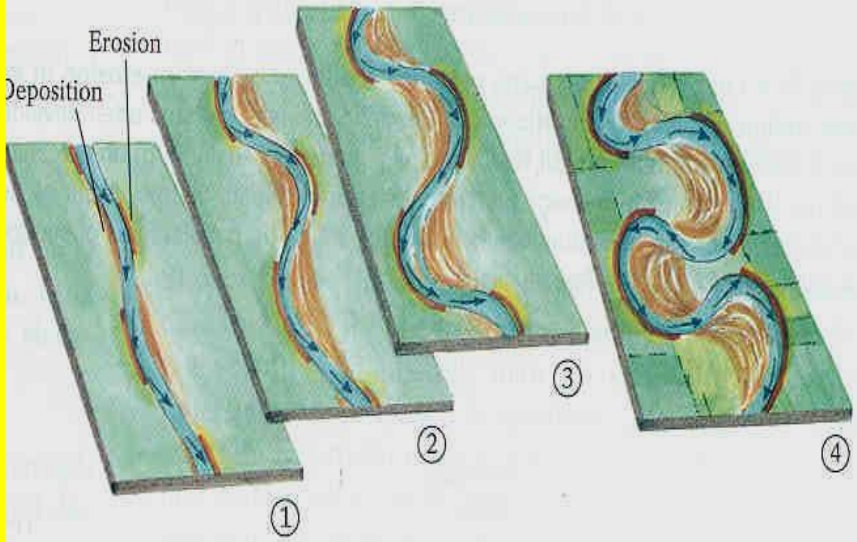
تئوري اختلال (Disturbance Theory)

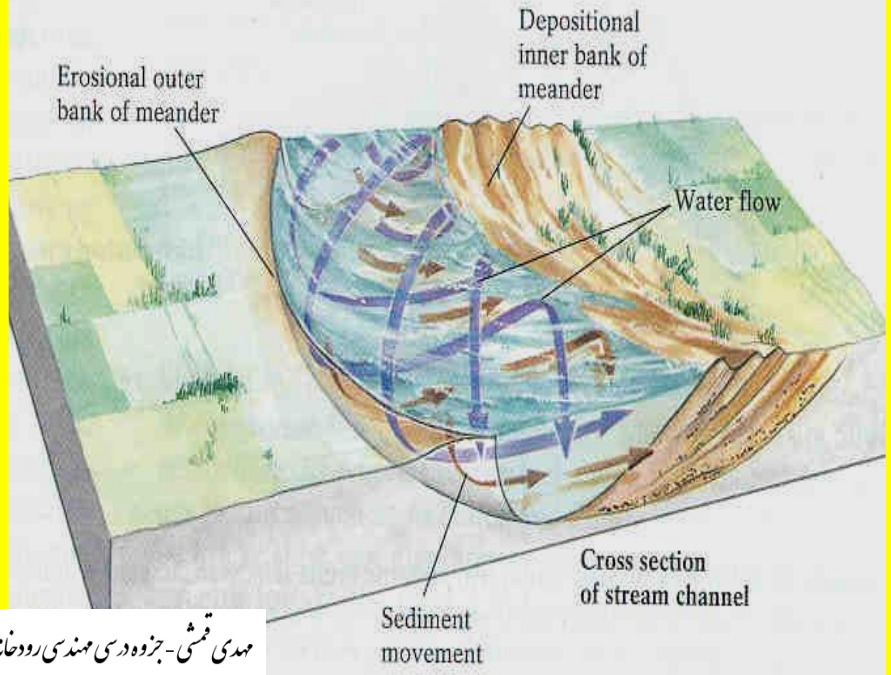
تئوري جريان حلزوني (Helicoidal flow theory)

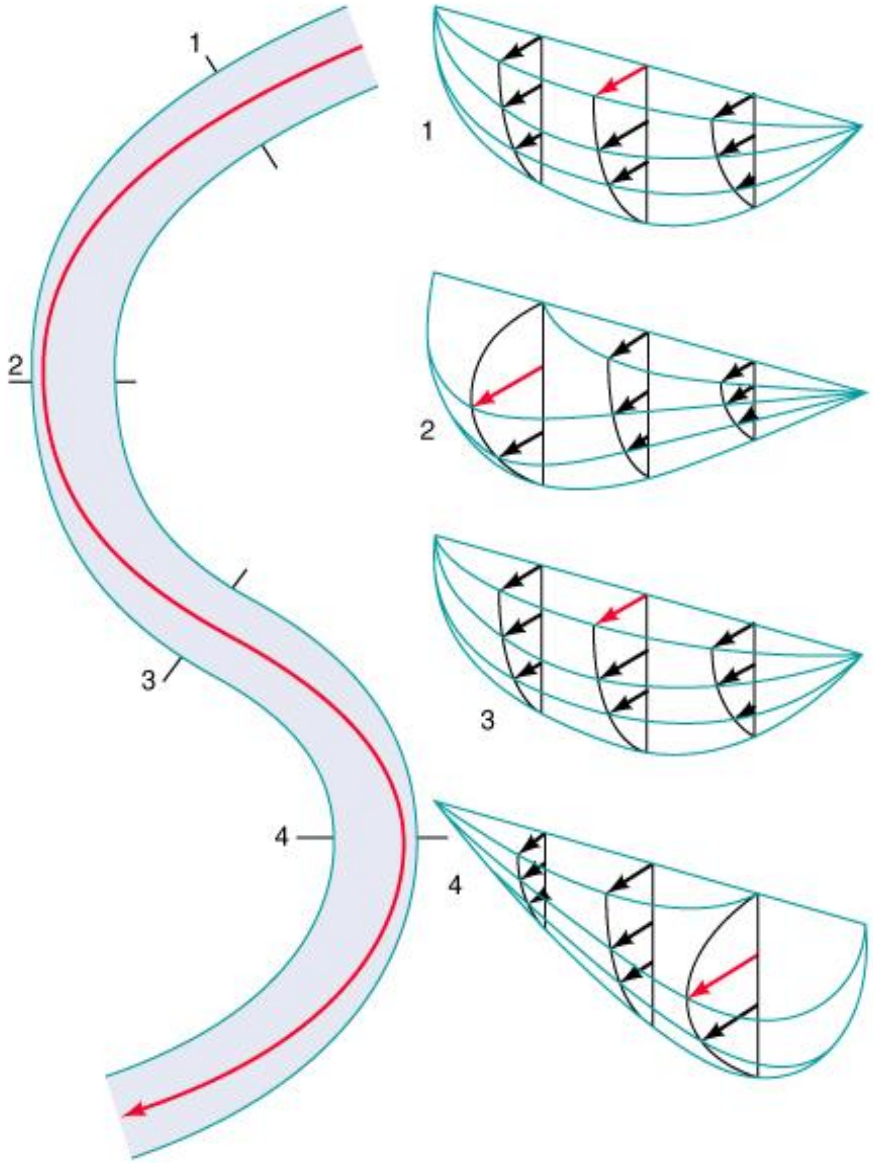
- تئوري انرژي اضافي (Excess Energy theory)



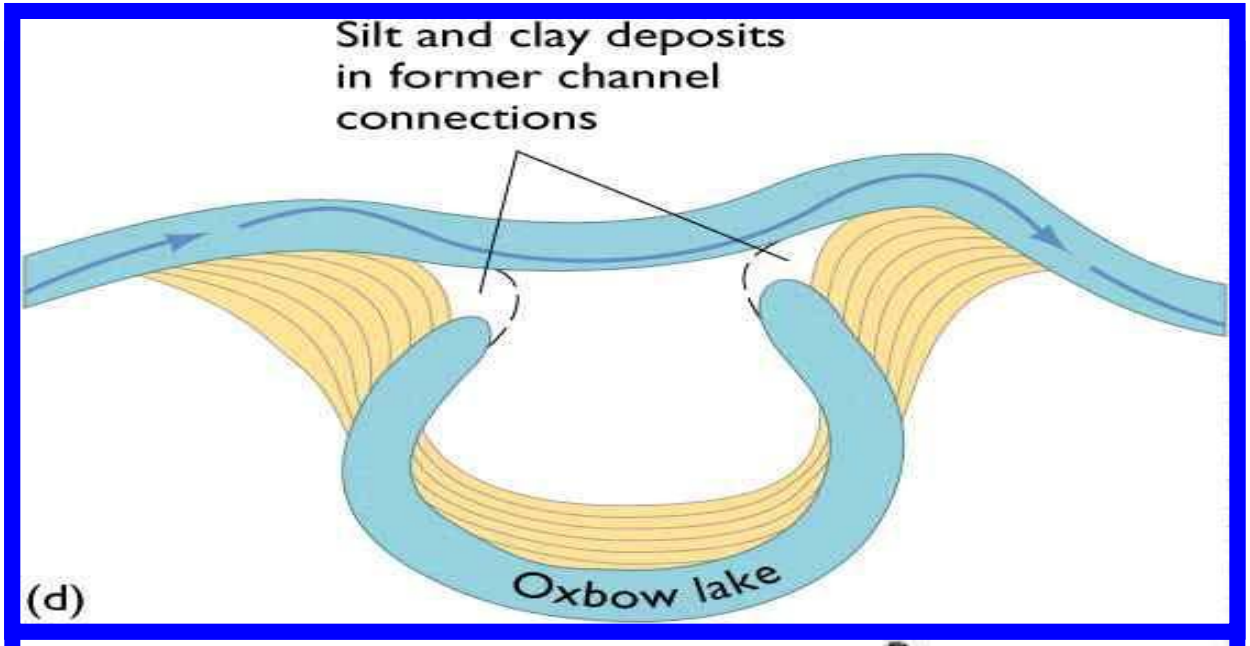
نظریه های ایجاد و توسعه پیچانرودها

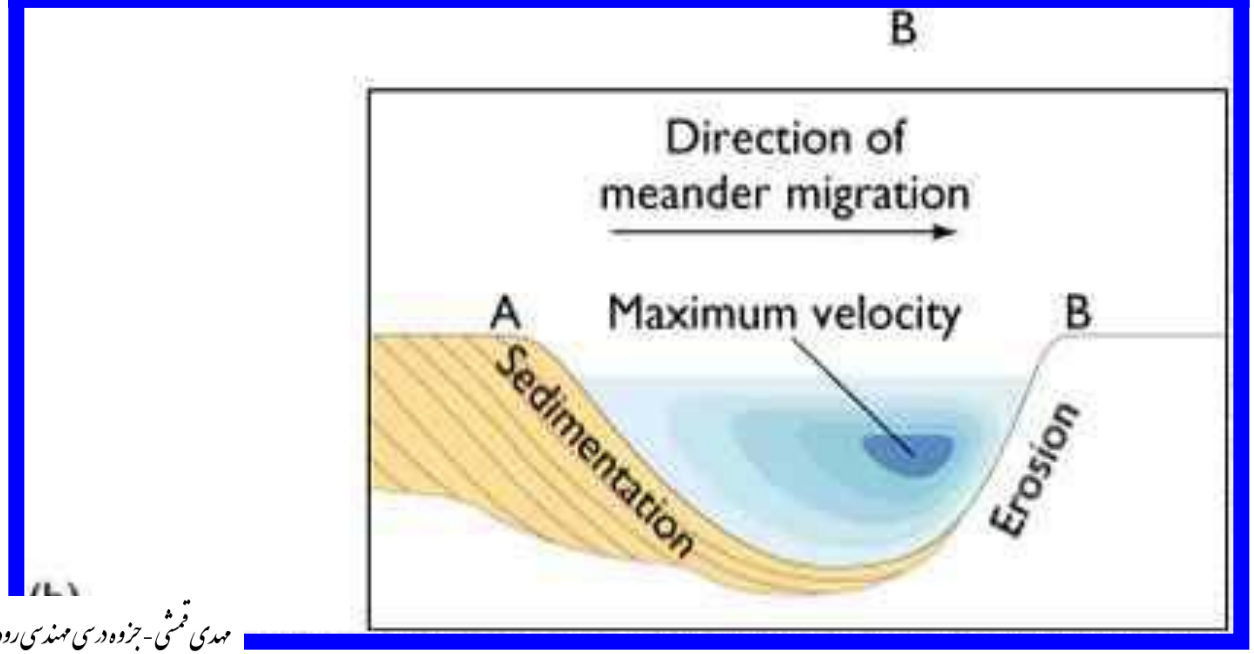




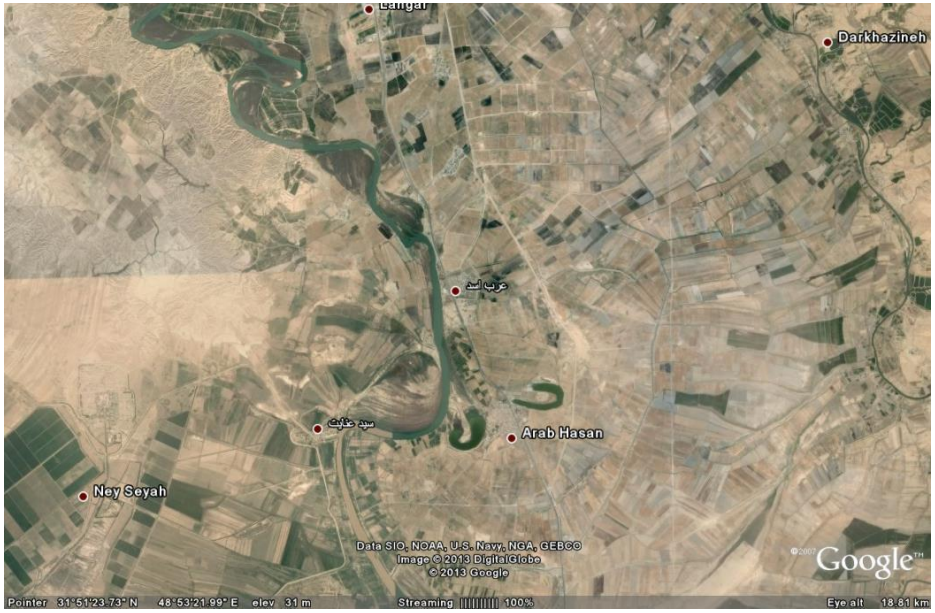


Copyright 2000 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.


Silt and clay deposits
in former channel
connections
Oxbow lake
(d)

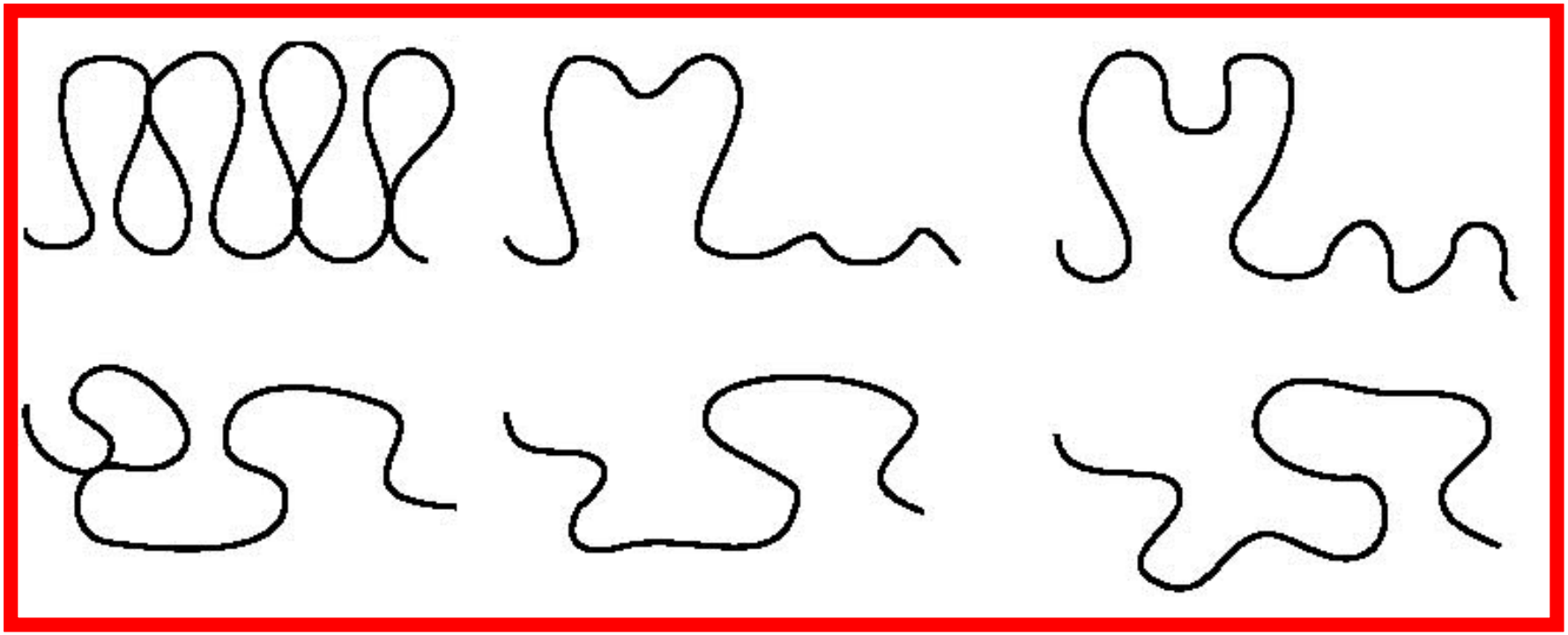

B
Direction of
meander migration
A
Maximum velocity
B
Sedimentation
Erosion

دریاچه نعل اسبی در مسیر رودخانه کرخه

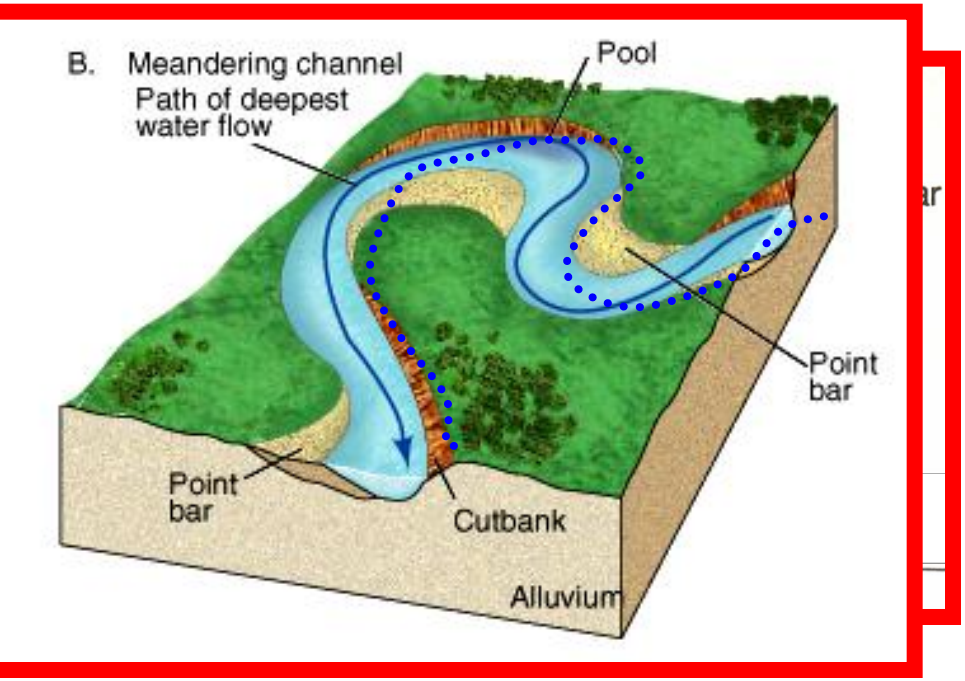


دریاچه نعل اسبی در مسیر رودخانه کارون

نظريه هاي ايجاد و توسعه پيچانرودها



تعاریف و اصطلاحات



خط القعر

خط مرکزي يا محور رودخانه

فاصلهٔ قوسي (L)

طول موج يا طول پيچانرود (λ)

شعاع متوسط انحناء (Rm)

دامنهٔ نوسانات (A)

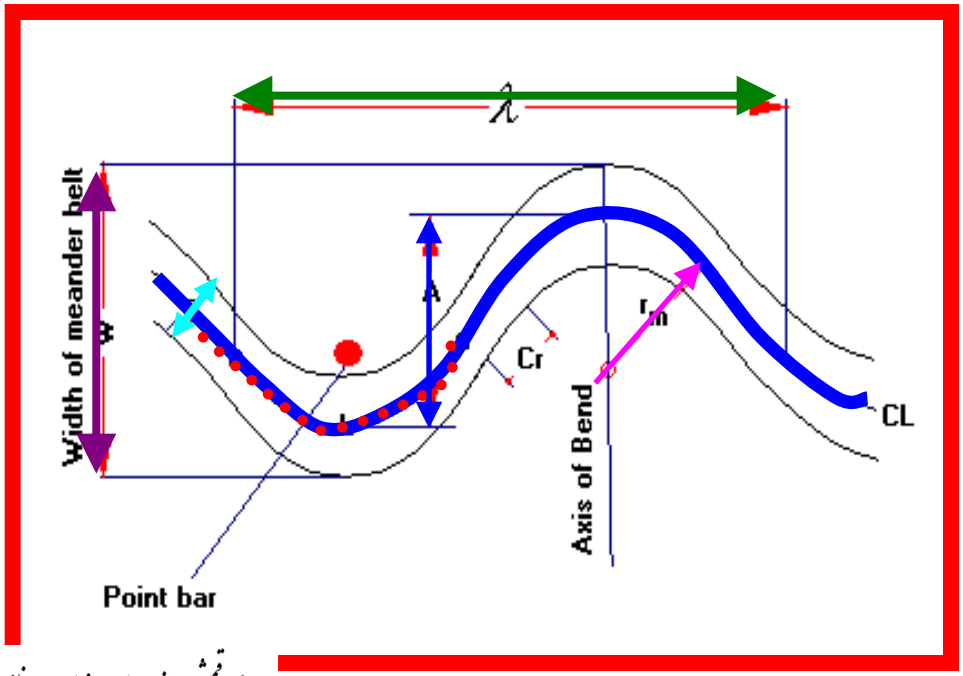
عرض کمر بند مئآندر(W)

ضريب خميدگي يا سينوسيته(Ω)

عرض رودخانه(B)

زاويه حلقه مئاندر (θm)

زاويه انحراف مسير (θ)



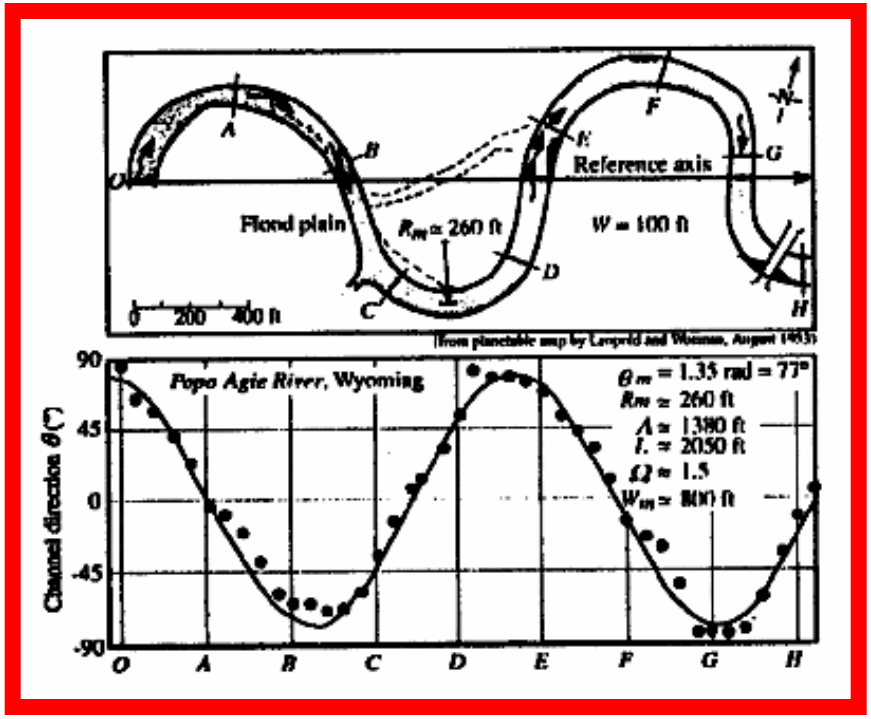
$$\Omega = \frac{L}{\lambda}$$

مدلهای تغییر مورفولوژی

مدلسازي تغيير مورفولوژي در رودخانه‌هاي مئاندري ، نحوه ارتباط بين تغيير مورفولوژي و پارامترهاي فرسايش يا رسوبگذاری توسط جريان است.

لانگبين ولئوپولد (١٩٦٦) رابطه تحليلي براي محاسبه فرم عمومي پلان يك رودخانه مئاندري متقارن (منظم) ارائه دادند.

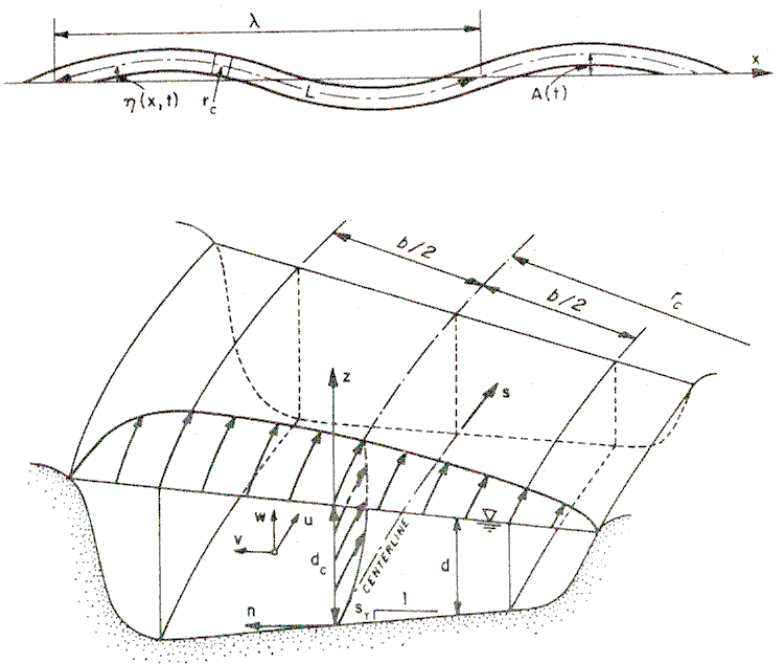
$$\theta = \theta_m Cos \frac{2\pi s}{L_m}$$



مدلهای تغییر مورفولوژی

- اودگارد (۱۹۸۹) از يك مدل موج هارمونيك – پريوديك براي شبيه‌سازي پلان مئاندرهاي با انحناي كم و به شرح زير استفاده نمود.

$$y(x,t) = A(t)Sin\left[k(x-ct)\right]$$



$$\frac{\partial A(t)}{\partial t} = V_e$$

مدلهای تغییر مورفولوژی

- اودگارد (۱۹۸۹) سرعت فرسايش كناري را تابعي خطي از عمق فرسايش فرض كرد و مدلي به شرح زير ارائه داد

$$\frac{\partial A(t)}{\partial t} = V_e$$

$$Ve = E'U\left(\frac{h_{bank}}{h} - 1\right)$$

- هيكن و نانسون (۱۹۸٤) نرخ نسبي حركت ۱۸ رودخانه را در غرب كانادا مطالعه كردند

$$V_e = 2.5V_{2.5}\, B/R_m$$

مدلهای تغییر مورفولوژی

- ایکیدا و همکاران (۱۹۸۱) فرض کردند که سرعت فرسایش کناري با اختلاف سرعت جریان در کناره و سرعت متوسط جریان رابطه دارد.

$$V_e = EU\left(\frac{Ubank}{U} - 1\right)$$

- ناپ (۱۹۹۰) سرعت فرسایش کناري را در رسوبات چسبنده به شرح زیر ارائه نمود.

$$V_e = \frac{\tau_e}{\gamma}\left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1\right)$$

$$\tau_e = 0.364\tau_c \exp(1.3\tau_c)$$

تشکیل شکل های بستر و پیش بینی آنها

شکل های بستر (Bed Forms)

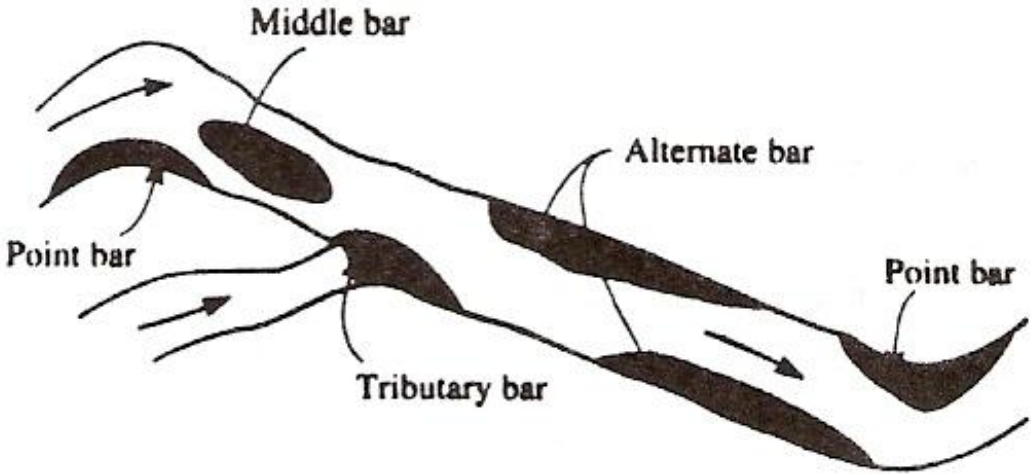
سایمونز و ریچاردسون در سال ۱۹۶۰، اصطلاحات و واژه هایی را که به منظور تقسیم بندی شکل های بستر به کار می روند، به قرار زیر ارائه دادند:

بستر صاف (Plane Bed): سطوح صاف و بدون پستی و بلندی را بستر هموار نامند. لازم به ذکر است در بستر هموار اندازه پستی و بلندی های احتمالی کوچکتر از اندازه بزرگترین قطر دانه های بستر است.

بستر موجدار (شکنج)(Ripple): بسترهای موجی شکل کوچکی که طول موج آنها کمتر از 30 cm و ارتفاعشان کمتر از 5 cm است را ریپل می نامند. ریپلها غالباً در طول رودخانه، مثلثی شکل هستند. شیب وجه بزرگتر این مثلثها نسبتاً ملایم است، این وجه از مثلث ریپل غالباً در بالادست جریان قرار دارد. بالعکس در پائین دست، طول وجه مثلث کوتاهتر ولی شیب آن بیشتر است.

بندآب (پشته های رسوبی) (Bar) : به قسمت هایی از بستر رودخانه اطلاق می شود که در اثر انباشت رسوب به وجود می آیند. طول بندآب ها بستگی به بزرگی عرض رودخانه دارد و ارتفاع آنها بر حسب عمق جریان در رودخانه و میزان رسوبات حمل شده، متغیر است. بندآب ها بر اساس وضعیت قرارگیری در رودخانه نامگذاری می شوند و از اقسام آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

بندآب های میانی، بندآب های متناوب، بندآب های قوسی، بندآب های متمرکز و بندآب های انشعابی.
شکل (۳-۱)، طرح شماتیک محل قرار گیری بندآب ها را در مسیر آبراهه نشان می دهد.


Middle bar
Alternate bar
Point bar
Point bar
Tributary bar

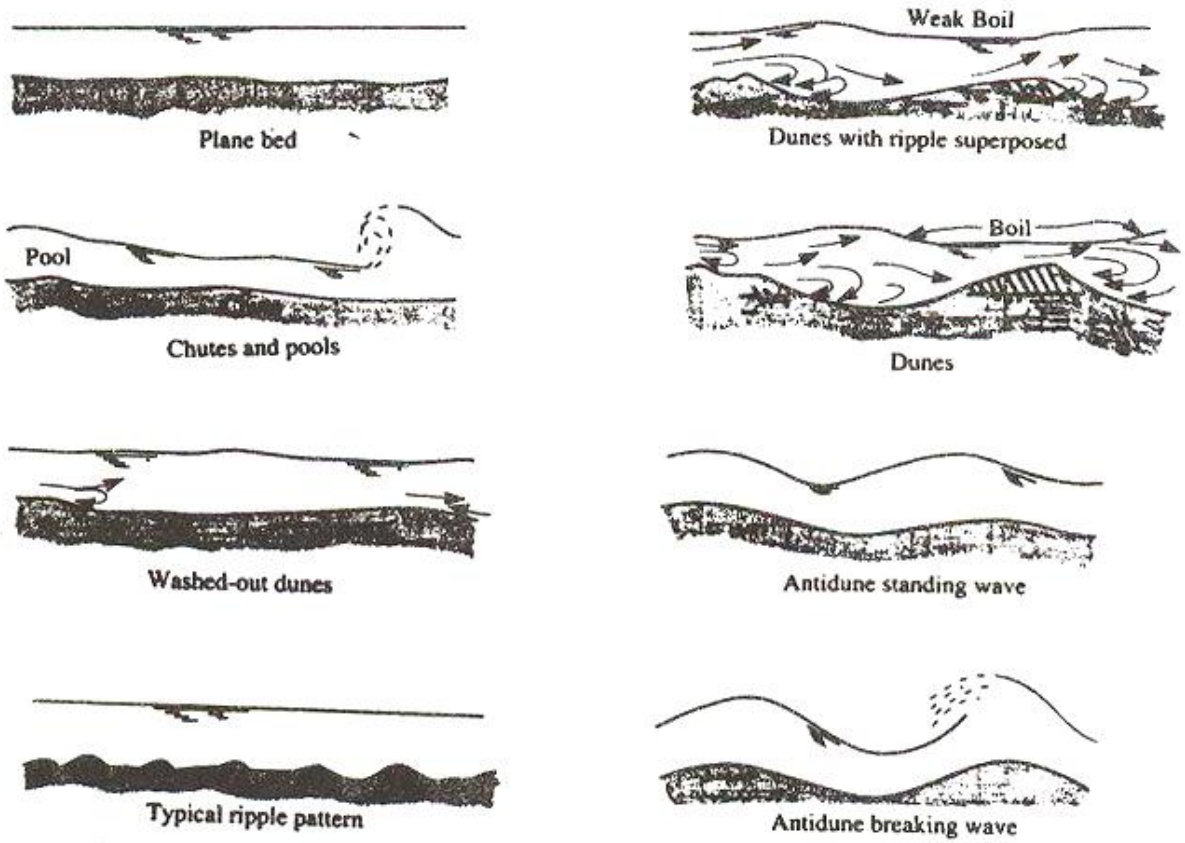
دیون ها (تلماسه)(Dunes) : این شکل بستر دارای پستی و بلندی های کوچکتری نسبت به بندآبها و بزرگتری نسبت به سطوح موجدارمی باشدوپروفیل طولی آن شباهتی به پروفیل سطح آب ندارد.

بستر بینابینی (Transition) : گاهی به دلیل شرایط خاص جریان، بستر جریان وضعیتی بین حالت دیون و بسترهمواروپیدامیکند. دراکثرموارد، در بسترهای مذکور قسمتهایی از بستر هموار و قسمتهایی دارای پستی و بلندی میباشند. بستر بینابینی هنگامی بوجود می آیدکه به علت تغییرخصوصیات جریان، بستر تمایل داردازحالت هموار به دیون ویا بالعکس تبدیل شود.

آنتی دیون ها (پادتلماسه)(Antidune) : به این شکل بستر، اسامی مانند بستر موجی پایدار، موج ایستاده (Standing Wave) یا خیزآب معکوس نیز اطلاق می گردد. نکته اینکه در ضمن حرکت آب، امواج ماسه ای بستر آنتی بودن به سمت بالادست حرکت می کنند و بدین ترتیب مقاومت زیادی در برابر جریان ایجاد می شود.

بستر تندآب و استخر (Chute and Pool): این نوع بستر در شیب های نسبتاً زیاد و در آبراهه هایی با سرعت جریانهای بالا به وجود می آید. سرعت زیاد جریان و غلظت مواد معلق بالا از خصوصیات این شکل بستر به شمار می رود.

اقسام شکل بستر در شکل (۳-۲) ارائه شده است.



شکل ۳-۲- انواع شکل بسترهای ماسه ای (Simons & Richardson)

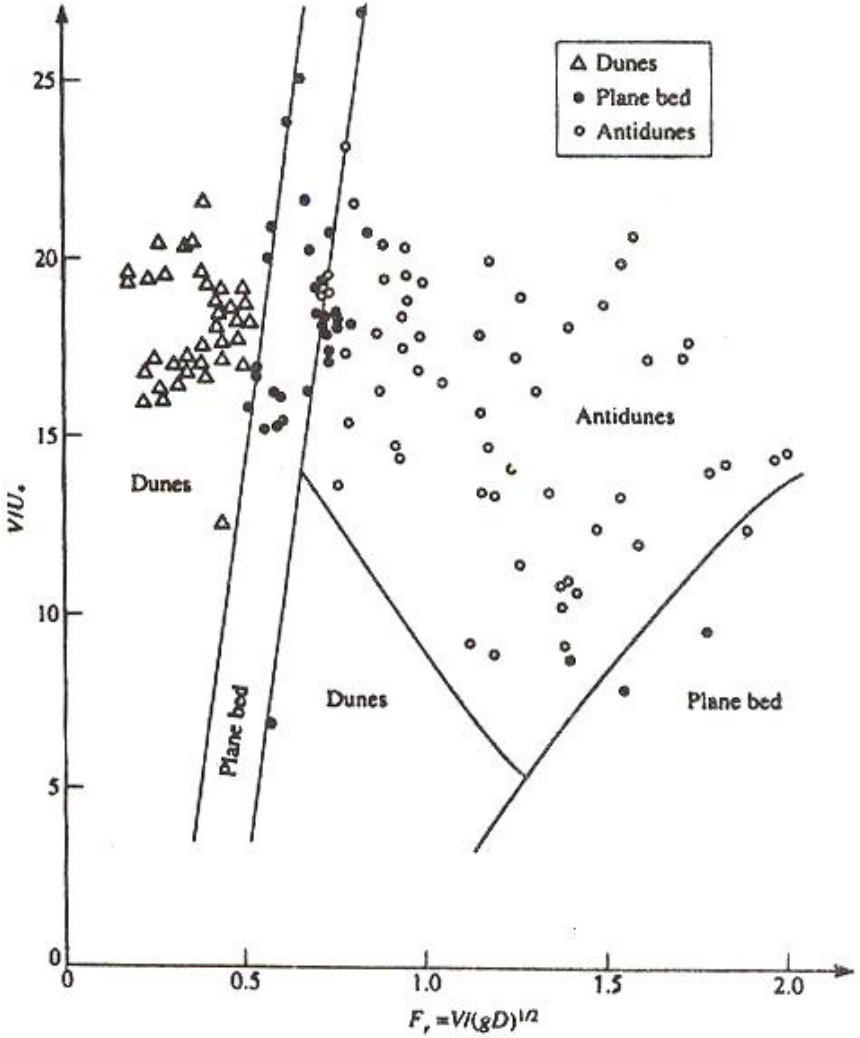
روشهای تجربی و ترسیمی (Empirical & Graphical)

راه حل تئوری که در بخش قبل بیان شد تنها درمورد جریان های ساده و در شرایط ایده آل کاربرد دارد. این گونه راه حل ها قادر به پیش بینی تغییرات شکل های بستر تحت رژیم های واقعی جریان و شرایط عینی انتقال رسوب نیستند. در نتیجه اکثر پیش بینی های قریب به یقین در مورد وضعیت بستر، بر پایه تجزیه و تحلیل های تجربی یا نیمه تجربی که بر روی مدلهای آزمایشگاهی انجام شده، صورت می گیرد.

انگلوند[۱] و هانسن [۲] در سال ۱۹۶۶ پایداری بسترهای مختلف را در فلوم های آزمایشگاهی مطالعه نموده و نتایج حاصل را در قالب نموداری که در شکل (۳-۵) گنجانده شده، ارائه کردند. با معلوم بودن خصوصیات عمده جریان از قبیل عدد فرود (Fr)، سرعت متوسط جریان (V) و سرعت برشی (U^*)، از شکل اخیر می توان به منظور تعیین نوع بستر استفاده کرد.

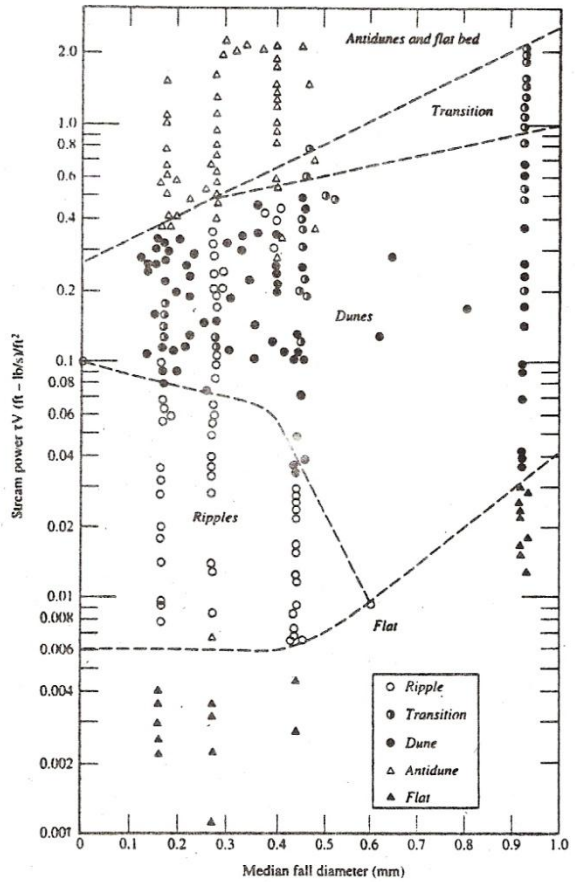
در همان سال، سایمونز و ریچاردسون با در نظر گرفتن سرعت سقوط ذرات رسوب، نمودار توان جریان بر حسب متوسط قطر ذرات در حال سقوط را بر پایه نتایج به دست آمده از مدل های آزمایشگاهی و نیز نتایج حاصل از کانال های انتقال آب رسم کردند که در شکل (۳-۶) ارائه شده است.

[1] Engelund
[2] Hansen



شکل ۳-۵- طبقه بندی شکل های بستر بر اساس تحلیل پایداری بر روی داده های آزمایشگاهی (Engelund & Hanen, 1966)

نمودار (۳-۶) به منظور تعیین شکل بستر در فلوم های آزمایشگاهی و کانال هایی که جریانهای کم عمق را عبور می دهند به کار می رود.



شکل ۳-۶- رابطه شکل بستر با توان جریان و متوسط قطر ذرات در حال سقوط (*Simons & Richardson, 1966*)

عوامل موثر بر شکل بستر

تحلیل تئوری بر روی شکل های بستر را نمی توان مستقیماً در مطالعه رودخانه های طبیعی به منظور پیش بینی شکل بستر به کار برد. دلیل آن نیز واضح است چون فرضیات و ساده انگاری های تحلیل های تئوری با واقعیت تطابق ندارند. همچنین از نتایج تحلیل های تجربی و ترسیمی که بر روی فلوم های آزمایشگاهی صورت گرفته نیز نمی توان بطور قطعی استفاده کرد زیرا شرایط حاکم تر آبراهه های حقیقی بسیار پیچیده تر و غیر قابل پیش بینی تر از شرایط آزمایشگاهی می باشد.

مهمترین عوامل مؤثر بر شکل بستر و مقاومت در برابر جریان بدین قرارند:

عمق جریان، شیب طولی، جرم حجمی سیال، اندازه مصالح کف بستر، دانه بندی لایه های مصالح کف بستر، غلظت ذرات ریز معلق در آب و سرعت سقوط آنها، شکل مقطع عرضی آبراهه و متوسط نیروی تراوش آب.