به نام خدا

جزوه دست نویس:

مهندسی رودخانه

دکتر علی سلاجقه

دانشگاه تهران

۹۵ صفحه

منبع دکترای رشته آبخیزداری

تهیه جدیدترین جزوات کارشناسی ارشد و دکترای کلیه رشته های کشاورزی و منابع طبیعی

http://jozvehazar.mihanblog.com

Coasta and River Training — مهندسی رودخانه و سواحل

River Engineering — مهندسی رودخانه

مهندسی رودخانه از هیدرولیک گرفته شده و از دهه ۱۹۹۰ به بعد مطرح شده است

منابع:

۱) principle of River Engineering → درمورد Alluvial River رودخانه های آبرفتی
اصول مهندسی رودخانه بیشتر درباره رودخانه های آبرفتی است

۲) River morphology

۳) River and Floodplains ⇒ زمین شناسی رودشناسی — بخش رودخانه های آبرفتی

۴) River processes

۵) River Maragment

۶) Flood Geomorphology

۷) Sedimentation In Reseruoirs ⇒ روش رسوبگذاری در مخازن کاربرد است

سایت ← IranRiver ← سایت وزارت نیرو

سایت ← Delft hydraulic (دلفت)

مدل های هیدرولوژیکی: Hec1→2→6 (پایه هیدرولوژیک) — Hec-Ras → Hec GeoRas (پایه هیدرولیک - تک بعدی) — Mik 11, 21 (جریان های متغیر دوبعدی)

مدل های فیزیکی

« روش های آبی استفاده کردن از مدل اشباعات و جایگاه ویژه ای در مهندسی آب دارد »

Integrated watershed Management — مدیریت جامع حوزه آبخیز

Integrated water Resource Managment — مدیریت جامع و یکپارچه منابع آب (مرآبیاری)

مدیریت جامع شامل از مرحله تشکیل آب تا بعد از مصرف می گردد. مدیریت جامع حوزه آبخیز و مدیریت جامع منابع آب روش اصولی می باشد که بخش های تولید ← توزیع ← مصرف ← پایان چرخه آن را شامل می شوند.

رودخانه زهکشی اصلی حوزه آبخیز می باشد و کار اصلی تولید آب در آبخیزداری می باشد و رودخانه عامل اتصال بین تولید تا توزیع و مصرف و بازگشت آن می باشد

← مکانیزه کردن مدیریت منابع آب به عنوان اصل کار قرار گرفته است که اشباعات و نرم افزار GIS به عنوان اصل کار قرار گرفته

← مدیریت یکپارچه منابع آب بخشی از GIS است و منابع آب شبکه هیدرولوژیکی مدیریت قرار می گیرد و اطراف آبخیزداری مدیریت کار می شود

حفظ سیستم رودخانه است

شش تا از تمدن‌های بزرگ دنیا در حواشی منابع آب ظهور و افول کرده‌اند

مهندسی رودخانه پیشینه طولانی دارد - در اطراف پیل انحراف جریان کاملا مشخص است

افرادی مثل رومینکو گانگین ، مرسی و پرنس در این زمینه کار کرده‌اند.

⇐ تعریف مهندسی رودخانه : عبارت است از علم و هنری که ضمن شناخت و رفتار رودخانه (رفتار شناسی رودخانه) خسارت را کاهش و بهره برداری را افزایش می‌دهد.

« رفتار شناسی رودخانه خود مهندسی رودخانه است و ساماندهی رودخانه جزئی از آن است »

بر این اساس اهداف اساسی مهندسی رودخانه ⇓

۱) تغییر در بستر رودخانه مثل کنترل فرسایش‌های کناری و بستر

۲) تغییر در تراز آب رودخانه (گاهی تراز ↓ و در سطح مقطعی افزایش می‌یابد)

۳) تغییر در پارامترهای کیفی رودخانه ← بخش عظیمی از فعالیت مهندسی رودخانه روی این بخش است

* الانهدها رودخانه‌ها ← نقطه‌ای
گسترده

رودخانه‌ها برای کشتیرانی (کارون، می‌سی‌سی‌پی) و ... کاربرد دارند

⇐ در مورد انگیزه‌ی جریان flow pattern تاثیر را بر جریان رودخانه قرار می‌دهد و کلا علم بوجود آمده و همچنین تاثیر این کلا علم روی کناره‌های رودخانه را بررسی می‌کنند.

⇐ در مورد نیروگاه‌های برق آبی از بخش انقباط جریان (شیرین و شور) استفاده می‌کنند

از سرعت آب برای تولید انرژی استفاده می‌کنند

گاهی تراز آب پایین است باید کاری کنیم تا بالا آید و به زمین‌های اطراف سرریز شود.

از ریگ‌ها در مورد بهره برداری یک تفریح گاهی آن است که در این مورد حواشی رودخانه‌ها باید طراحی شود و بهره برداری شود

رودخانه مناسب قرصه هستند (شهر رودخانه) در حاشیه رودخانه کارخانه، صنعت شکل می‌گیرد

شناخت رودخانه: عبارت است از فرایندهایی که با بررسی رفتار رودخانه و ویژگی‌ها و خصوصیات فیزیکی آن، از قبیل زمین شناسی هیدرولوژی هیدرولیک و... می‌شود که این عوامل یا طبیعی یا انسان ساز هستند

«شناخت رودخانه نهایتا منجر به بررسی مورفولوژی یا ریخت شناسی رودخانه می‌شود»

مورفولوژی در زمین شناسی اصطلاحی است که برای بررسی شکل رودخانه مطرح می‌شود و با توجه به اینکه نقش اساسی در پارامترهای جریان و انتقال رسوب دارند در نتیجه باید به نحو مطلوبی بررسی شوند.

⇐ مورفولوژی متاثر از پارامترهای ارامتیک و دینامیک است

میان هیدرولوژی و مورفولوژی رابطه دوسویه است

تقسیم‌بندی رودخانه‌ها بر مبنای پارامترهای مختلف:

۱- بر اساس توپوگرافی ← رودخانه‌های کوهستانی Mountain Rivers
← رودخانه‌های دشتی (آبرفتی) Alluvial Rivers

۲- بر اساس زمین شناسی ← جوان Young River ← بارگ
← بالغ Maturing River
← پیر old River

۳- بر اساس شکل ظاهری ← مستقیم straight River
← شریانی Braided River
← پیچان رود Meandering River

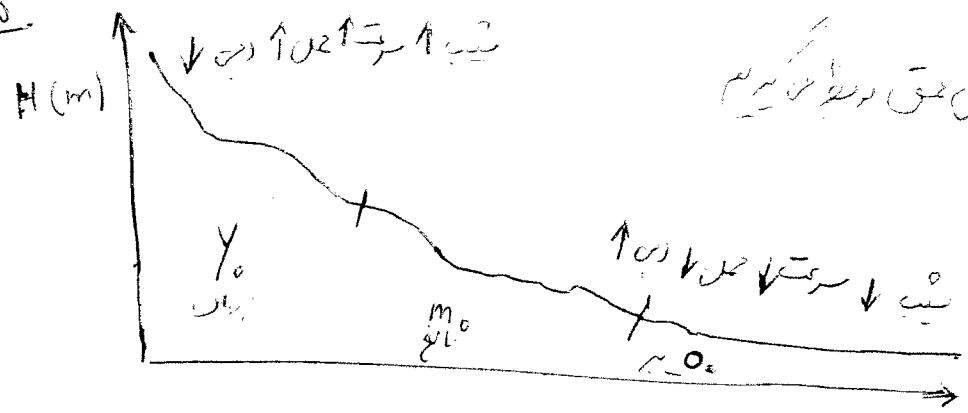
۴- بر اساس پایداری (رژیم جریان مدنظر است) ← رژیم پایدار Stable Regim River
← رژیم ناپایدار unstable Regim River

۵) بر اساس دوام هیدرولیکی ← موقت ← رودخانه‌هایی که در فصول خشک، دبی پایه ندارند
← دائمی ← در همه فصول دبی پایه دارند

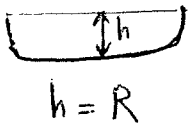
۶- بر اساس ابعاد ← بزرگ
← کوچک ← کمتر از ۱۰۰ hec را حوزه آبخیز کوچک در نظر می‌گیرند.

«اینکه کدام پارامتر را مبنا قرار بگیریم و طبق آن دسته بندی کنیم هنوز مشخص نیست»

۵.



در O_0 شعاع هیدرولیکی را معادل عمق در نظر می‌گیریم



از جوان به سمت پیر جنس سنگ‌ها جوان‌تر می‌شود. گسل و چین‌خوردگی از جوان به پیر کمتر می‌شود. آبراهه‌ها از جوان به پیر مستقیم‌تر می‌شوند.

از جوان به پیر: بارکف ← بارمعلق ← بار انحلال

۳ براساس شکل ظاهری:

مستقیم غالباً جوان است و در بستر مستقیم رودخانه رانکف کنی می‌کند

در شریان بار رسوب بالاست (رسوب بارکف و بارمعلق بالاست) به همین دلیل نیروی خالص رودخانه افت می‌کند و رسوب می‌تواند ذخیره ایجاد کند که بر این ذخایر پوشش گیاهی و جانوری مناسب است که در محیط‌زیست اصطلاحاً Vando نامیده می‌شود (که یکی از پوشش‌های این‌ها نیز ایجاد واندو است)

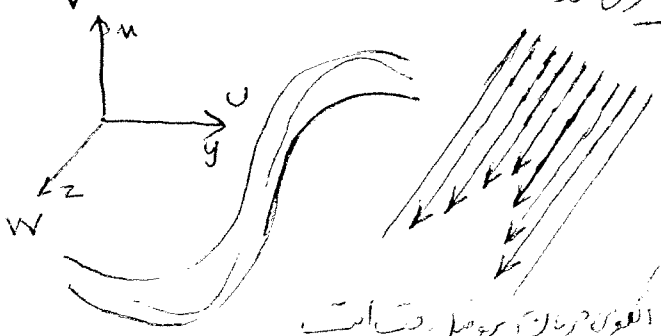
point bar ← point bar ها بارکف جریان سیلاب با سرعت جاگذاری می‌شوند اما خزایر کاملاً پایدارند بخاطر جریان این رودخانه مستقیم است که به‌دلیل بار زیاد رسوبات

• در مستقیم جریان یکنواخت است و به سمت ماندری تغییر می‌کند

در ماندری جریان توسعه یافته (spread) را داریم

این نوع رودخانه‌ها در مناطق مسکونی بسیار گسترش دارند

← جریان بعد از برخورد با دیواره از یک جهت به ۳ جهت تغییر می‌یابد



الگوی جریان پرچ‌مانند است

← مرکانال این مصنوعی جریان ۱ را داریم که در جلسه جریان را در ۳ بعد (عمق، طول و عرض) تغییر می‌کند پس در پایان رودخانه‌ها جریان ۳ بعدی است این جریان با ثبات کشش برشی در قوس خارجی بیشتر می‌شود

• در پایان رودخانه‌ها: cut off مطرح است که در آن طول مسیر کاهش سرعت افزایش و کشش افزایش می‌یابد

۱ رودخانه‌های دشت: شیب ↓ سرعت ↓ دبی ↑ ↓

رودخانه‌های کوهستان: شیب ↑ سرعت ↑ دبی ↓ ضریب زبری ↑

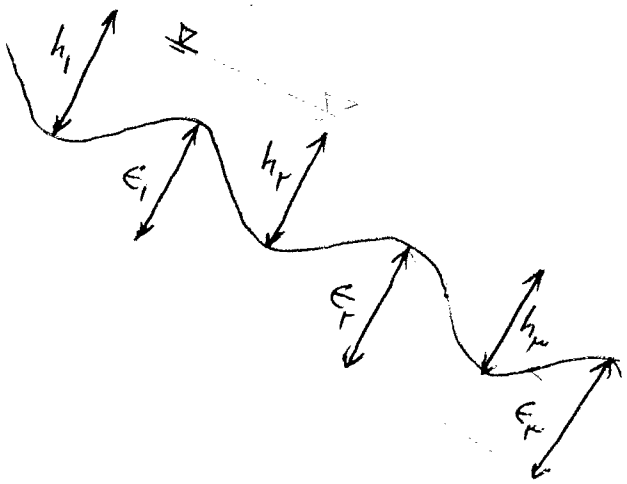
۲

ضریب زبری = ارتفاع برآمدگی / عمق جریان

Coeficient Rough = ارتفاع برآمدگی / عمق جریان

در تقسیم‌بندی توپوگرافی ارتفاع و شیب مدنظر است

$$CR = \frac{\epsilon}{h}$$ ← Elevation



$$CR = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{\epsilon_i}{n}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{h_i}{n}}$$

sedimentation
Deposition

erosion

در رودخانه‌های کوهستانی و اسید غالب Deggradation و در رودخانه‌های دشتی Aggradation مطرح است

← هرچه تراز آب کمتر باشد توربولانسی و آشفتگی جریان بیشتر است

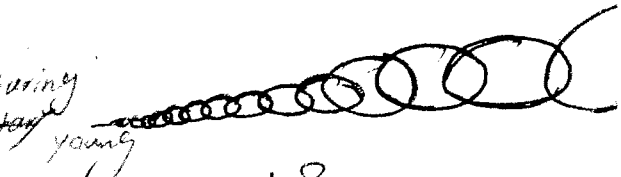
← « ضریب زبری را در رودخانه‌های آبرفتی بر اساس دانه‌بندی و در رودخانه‌های کوهستانی بر اساس شکل زمین و اعتبای رافته که متاثر از جریان است بررسی می‌کنیم »

← هرچه عمق جریان کمتر باشد تلاطم جریان بیشتر است و هرچه عمق جریان بیشتر باشد به سمت جریان لایه‌ای یکنواخت می‌رویم (این مباحث در رودخانه‌های کوهستانی مطرح است)

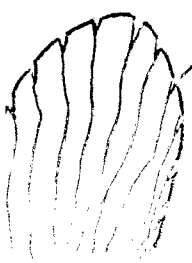
« در رودخانه‌های کوهستان Erosion و در رودخانه‌های دشتی sedimentation نقش اساسی دارد

↓
Deposition
Aggradation

بیشترین نیاز آبی را در رودخانه‌های دشتی داریم (به دلیل جمعیت)



۲ براساس زمین‌شناسی ← جوان، بالغ، پیر



رودخانه‌های جوان پرهیاهو و صدا هستند و بستر آن‌ها بارگف (Bed load) است که در حد تخته‌سنگ (Bolders) است و مرتب کف را فرسایش می‌کنند تا به تراز پایین برسند و از نزدیکی آن تمام و خطرناک تمام شود

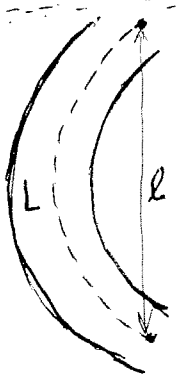
۳

۳ رژیم پیچان براساس اعداد رینولدز و فرود بطراح است.

رژیم یعنی رودخانه سه کشش دارد به رسوبگذاری از دید گاه هیدرولیک طبق اعداد فرود و رینولدز بث می شود

رودخانه های مارپیچی: بیشتر رودخانه های بزرگ دنیا مارپیچ اند

ضریب ← Sinuosity Coefficient یا Meandring Coeff... ضریب خمیدگی ضریب پیکدگی ضریب پیچش



$$S = \frac{L}{l} > 1$$

L ← طول قوس یا آبراهه اصلی یا طول تالوگ

l ← طول دره محیط بر رودخانه

$$S = \frac{S_{com}}{S_{Flood}}$$

S_{com} ← شیب بستر طول رودخانه

S_{flood} ← شیب دشت سیلابی

$$S = \frac{L}{\lambda_{/2}}$$

λ طول موج یا طول پیچان رودخانه فاصله دو نقطه عطف

ضریب پیچش عبارت است از طول عمیق ترین قسمت رودخانه یا مسیر جریان یا طول خط القعر به طول مارپیچی یا نسبت فاصله قوس یا طول خط مرکزی رودخانه در ۲ نقطه عطف از امتداد رودخانه به نصف طول پیچان

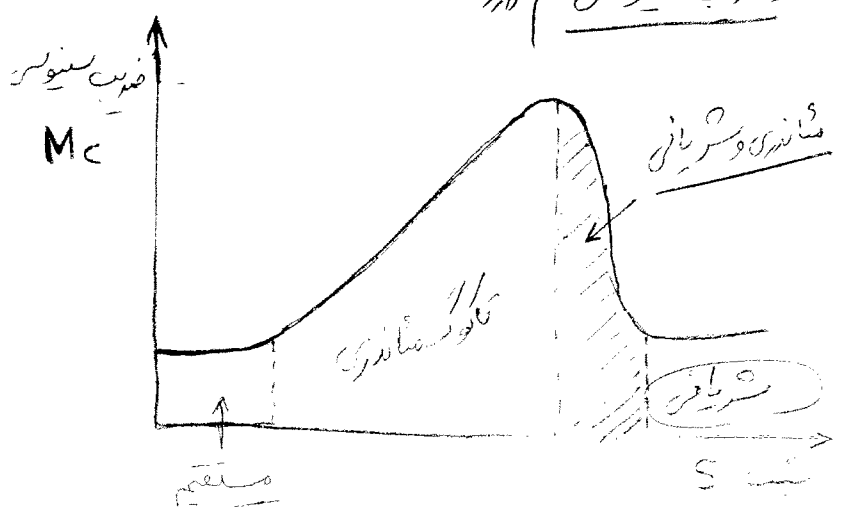
هرچه ضریب پیچش از یک بیشتر باشد رودخانه پیچان رودارتر است برای اساس شیوم رودخانه را براساس ضریب پیچش به صورت زیر تقسیم بندی می کند:

مستقیم ۱/۱ انتقالی ۱/۳ منعطف ۱/۷ نامنظم ۱/۸ مارپیچی ۲/۳

« اگر $M_c < 1/5$ رودخانه مستقیم و اگر $M_c > 1/5$ رودخانه پیچان رود است »

گرافی است که توسط شیوم ولان تعریف شده و ضریب سینوس نام دارد

براساس شکست شیب رودخانه را تقسیم بندی می کند:



در شیب تند رودخانه شریانی داریم

نتیجه‌ای که محققینی مثل Lane , Leopold , Shumm گرفته‌اند:

← واکنش رودخانه به تغییرات دبی آب و بارهای رسوبی منتج به این می‌شود که:

(۱) عمق جریان رابطه مستقیم با میزان آب و رابطه عکس با بار رسوب دارد

(۲) عرض بستر رابطه مستقیم با دبی آب و بدون رابطه با بار رسوبی است

(۳) شکل بستر (نسبت عرض به عمق $\frac{W}{h}$) مستقیما با بارهای رسوبی بستگی دارد.

(۴) طول موج پیچان رودخانه رابطه مستقیم با دبی آب و بار رسوب دارد.

(۵) گرادیان رودخانه با دبی آب رابطه عکس و با بار رسوب اندازه نزه رابطه مستقیم دارد.

(۶) ضریب پیچش با شیب رابطه عکس دارد (در بعضی منابع این رابطه به صورت مستقیم آورده شده) اما با بار رسوبی نسبت عکس دارد.

← مبتنی بر این مباحث در غالب نقاط دنیا با الهام گرفتن از روابطی که از میان پارامترهای استاتیک و دینامیک رودخانه وجود دارد برای رودخانه‌های شریانی پیچان رودی و یا کوهستانی روابط تجربی متعددی ارائه شده است:

← رودخانه شریانی:

دبی حداکثر لحظه‌ای ← $W = 1,18 \sqrt{Q_{max}}$ عرض رودخانه (عرض میانگین)

رابطه عرض با دبی حداکثر لحظه‌ای

دبی غالب (متوسط) ← $M_L = 45,8 \sqrt{Q_D}$ طول مئاندر (طول موج)

رابطه طول مئاندر با دبی غالب

Demand

$Q_D = \frac{1}{2} \sim \frac{1}{3} Q_{max}$ دبی غالب

$M_L = 53,6 \sqrt{Q_{max}}$ طول موج

$M_b = 153,5 \sqrt{Q_{max}}$ ضریب شریانی

$M_b = 2,86 M_L$ $M_b = 17,4 W$

* دبی حداکثر لحظه‌ای کارون $3000 m^3/s$ ولی دبی میانگین آن $700 m^3/s$ است

روابط برای رودخانه‌های کوهستانی یا صخره‌ای: Bed River - Bed Rock

$M_L = 11,65 W$

$M_L = 45,8 \sqrt{Q_D}$

$W = 4,53 \sqrt{Q_{max}}$

$\frac{M_L}{W} = 2,17 Q_{ave}^{0,186}$

$M_b = 73,4 \sqrt{Q_{max}}$

$M_L = 49 Q_{max}$

$M_b = 27,3 W$

$M_b = 2,2 M_L$

$M_b = 102,3 \sqrt{Q_{max}}$

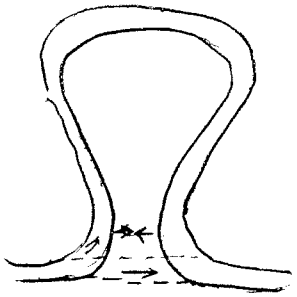
$MF = 4,93 \sqrt{Q_{max} \cdot Q_D}$

میانبر cut off — کوتاه کردن مسیر مرور خانه‌ای پیچان رودی

که بیشتر مرور خانه‌ها می‌سازند (اول در شکل مرحله انواع مرور خانه‌ها و سپس cut off را)

- طبیعی
  - گلوگاهی Neck cut off-lock ⇐ معمول‌ترین و شایع‌ترین میانبر در طبیعت
  - شوت chute cut off
- مصنوعی ← بیشتر سازمان‌ها مرور خانه از این روش استفاده می‌شود

میان بر کردن یعنی کاهش طول رودخانه و در زمان ثابت وقتی انجام می‌شود ⇐ سرعت و شیب ↑ کشش ↑

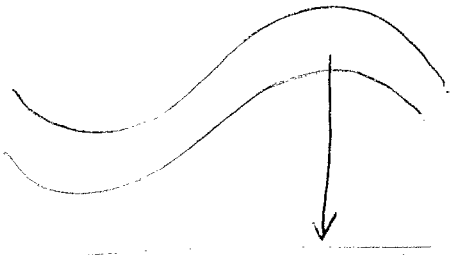


میانبر گلوگاهی ← در این حالت با افزایش دامنه پیچان رود و کاهش طول آن رفته رفته میانبر تشکیل می‌شود و بعد تا مرور خانه‌ای را آبرفتی شکل می‌گیرد

← در طبیعت بیشتر یافت می‌شوند و با افزایش دامنه پیچان رود و کاهش طول آن رفته رفته میان برتشکیل می‌شود. در این حالت معمولاً انحنای رودخانه افزایش پیدا می‌کند و عریض‌تر می‌شود

میانبر شوت: معمولاً شرایط مناسب برای ایجاد این نوع میانبرها وجود یک آبراهه کوچک می‌باشد که طغیان ناشی از مسیر قبلی رودخانه شکل گرفته‌اند

← گلوگاه رودخانه را اساساً تغییر مسیر می‌دهد



میان بر شوت معمولاً هم به صورت مصنوعی قابل اجراست هستند هم اینکه تولید گرادیان مطلقه‌ای که در رودخانه در آن جریان دارد به نحوی است که با ایجاد کوچکترین انحنا در مجاورت قوس‌های رودخانه در مواقع طغیان، رودخانه مسیر جدیدی برای خود مشخص می‌کند و به تکامل خود می‌پردازد

← معمولاً میان برهای مصنوعی جزء این دسته قرار می‌گیرند و به صورت سریع یا ناگهانی مسیر قبلی رودخانه به مسیر جدید تغییر پیدا می‌کند

• برای میان برهای مصنوعی معمولاً یک سری توصیه‌هایی انجام می‌شود:

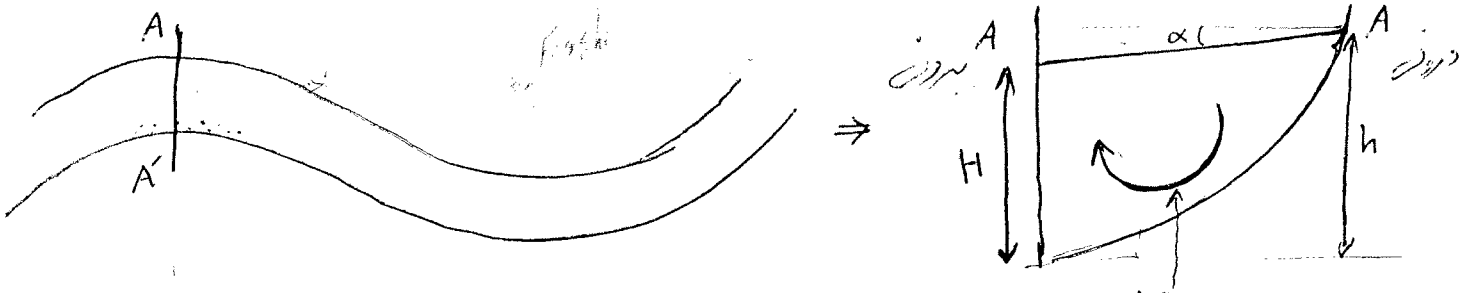
(۱) باید مسیری را انتخاب کرد که حداقل مانع را داشته باشد، در ابتدا و انتهای میان بر حتی‌الامکان مسیر جریان رودخانه در بالادست و پایین دست رودخانه باشد.

۱ توصیه می شود که شکل دهانه میان بر زنگوله ای شکل (Bell mouth) باشد

بقیه دهانه ورودی cut off شیبوری شکل و مرسید خطوط جریان باشد چون میاندر بیشتر در مناطق دشت شکل گرفته و بستر آن ها در دشت متفصل است بیشتر حالتها ورودخانه آن آبرفتی انجام شده است

۲ عرض کانال جدید احداث سنگی به امکانات دارد ول عمق جدید بایستی کمتر باشد چون هرچه تنش برشی بیشتر باشد تخریب هم بیشتر خواهد بود

$T = \gamma RS$



جریان چرخشی ← عدسی داخلی به خارجی

اختلاف فشاری که در نتیجه اختلاف ارتفاع آب و شیب سطح آب پایه کنش دیواره بیرونی می شود در سر پیچ ها مقداری از جریان به صورت گردابه عمل کرده و انرژی ایجاد می کند و سعی در کوتاه کردن مسیر دارد

← هنگامی که نیروی گریز از مرکز بر نیروی جاذبه از مرکز غلبه می کند ← شروع به کشش می کند

← در جایی cut off می زنیم که می خواهیم سرعت جریان زیاد شود با افزایش سرعت جریان میزان کشش زیادتر می شود و برای آن باید فکری اندیشید

← معمولاً در رودخانه های پیچان رود این یک راه حل افزایش سرعت جریان و جلوگیری از ایجاد مخازن موقت ایجاد cut off نامیان برهات که سنگی به شکل میاندر دارد.

اشکال مختلف که برای میاندر در نظر می گیرند (بر اساس شکل که میانبرها می گیرند به ۳ دسته تقسیم می شوند)

← ۱) میاندرهای دایره ای (میانبر دایره ای)

در عکس راه های زیاد دیده می شود و احتمال وقوع گردن بند کاو زیاد است

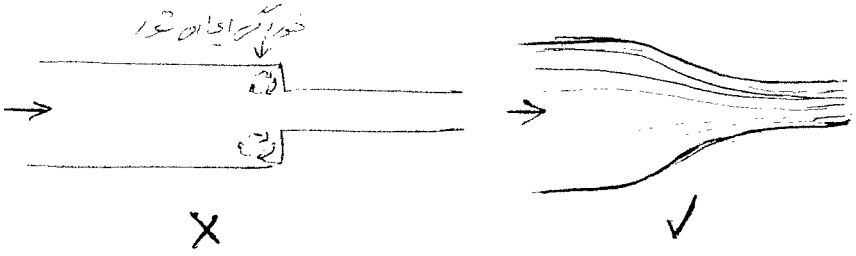
Belt cow

۲) میانبر سهمی میاندر

۳) میانبر یا بوتیک میاندر

هرچه از بالا به پایین می‌آییم (دایره‌ای یا پارابولیک) ← شعاع انحنا افزایش می‌یابد (شعاع دایره) به سمت مرکز
← ضریب سینوس کاهش می‌یابد

* برای طراحی میان برها حالت مصنوعی



⇓

خطوط جریان ⊙ هر چه کنده محاسبه می‌شود.

* سته به شکل مقاطع میان برهای مختلف معمولاً ادامه می‌شود و یا در بسیاری از مقاطع به سمت ایجاد میان بر پیش می‌روند

تجارب نشان می‌دهد اگر ضریب پیچش (Mc) بزرگتر از ۵ باشد احتمال ایجاد (میان بر) زیاد است

و اگر Mc < ۱/۲ باشد احتمال ایجاد میان بر اصلاً وجود ندارد

مکانیسم پیچان رودی شدن (میاندری شدن):

معمول‌ترین تقسیم بندی برای رودخانه تقسیم بندی بر اساس پلان ⊙ است که به رودخانه‌های مستقیم، پیچان رودی و شریانی تقسیم می‌گردند

ولیکن دیگ آب و نحل رسوب در رودخانه به خاطر تغییر و تحول در بستر و کناره‌های رودخانه باعث تنوع اشکال بر اساس لیتولوژی و توپوگرافی مناطق مختلف روی رودخانه می‌شود. بسیار به ندرت رودخانه‌ای با شکل مستقیم در پلان در طبیعت یافت می‌شود

Wolman و Leopold اولین کسانی بودند که رودخانه‌ها را به مستقیم، شریانی و پیچان رودی تقسیم بندی کردند

بررسی‌های بعدی در زمینه مهندسی رودخانه و تئوری مرفولوژی آن نشان داد با توجه به ① طیف وسیع تغییرات در جریان آب، کمیت و نوع رسوبات ② جنس مواد بستر و کناره؛ الگوهای مختلفی برای پلان رودخانه تعریف می‌شود به نحوی که بر اساس همین تغییرات تعاریف متعددی برای مقادیر ارائه شده است: از این قبیل:

لئوپولد: میزان پیچ و خم داری که می‌تواند مشخص باشد رودی در عین حال حالت مستقیم نیز در آن دیده می‌شود

Johnson

منتسب به همین نام در نظر می‌گیرند.

بر اساس معادلات لئوپولد چنانچه یک شکل تیپیک به عنوان قوس متقارن برای رودخانه در نظر بگیریم یا پارامترهایی از قبیل شعاع انحنا، عرض رودخانه، طول موج (طول مئاندر) و ادامه نوسانات قابل ارائه است ایشان با استفاده از پارامترهای ضریب پیچش و تعریف آن به عنوان یک شاخص

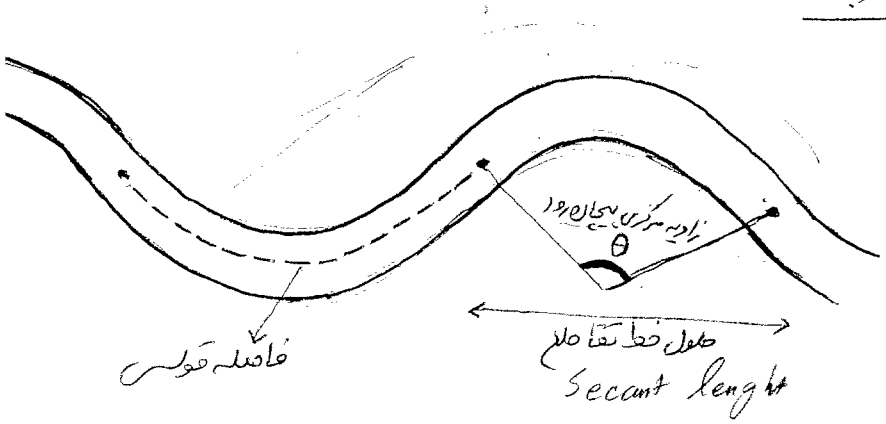
⇐ نسبت فاصله قوسی (طول خط مرکزی رودخانه در فاصله دو نقطه عطف از اغتشاش رودخانه) به نصف طول موج پیچان رود (فاصله افقی بین دو نقطه عطف از اغتشاش رودخانه)

بر این مبنا ایشان رودخانه‌ها را تقسیم بندی می‌کند و برای توصیف این رودخانه‌ها از دو پارامتر ① طول خط قاطع (secant lenght) و ② زاویه مرکزی پیچان رود استفاده می‌کند.

« به طوری که در حالت اول فاصله مستقیم بین دو نقطه عطف انحنای متوالی روی محور مرکزی رودخانه و حالت دوم زاویه بین دو شعاع متصل به نقاط عطف در قوس رودخانه قابل تعریف می‌باشد »

در این حالت برای بیان کمی توسعه و پیشرفت پیچان رودی در رودخانه‌های آبرفتی می‌توان از زاویه مرکزی پیچان رود استفاده کرد و شکل رودخانه را تعریف کنیم.

شکل رودخانه	میانگین زاویه مرکزی (درجه)
✓ مستقیم	بی نهایت
✓ شبه مئاندری	۴۱ - ۰
✓ مئاندری توسعه نیافته	۸۵ - ۴۱
✓ مئاندری توسعه یافته	۱۵۸ - ۸۵
✓ بیش از حد توسعه یافته	۲۹۶ - ۱۵۸
✓ شاخ گاوی	> ۲۹۶



⇐ گراند کانیون آمریکا مئاندرسیت بلکه از نوع اغتشاشات

← ۳ بحث در مئاندری شدن وجود دارد: ۱) جنس سنگ ۲) شرایط توپوگرافی ۳) شرایط هیدرولوژیک

سازوکار پیچان رودی شدن رودخانه توسط محققین مختلف، راهکارهای مختلفی ارائه شده است که گاهی اوقات اعتراض (یعنی یک عامل نقش دارد) و گاهی هر یک (چند عامل نقش دارد) برخورد شده است.

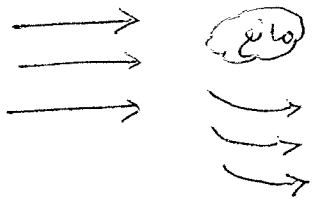
۱۲

← علل پیدایش رودخانه‌ها

۱ جریان چرخشی لیلیاوسکی Ieliavsky

جریان چرخشی رودخانه یا آب عامل اصلی پیدایش رودخانه است. چنانچه بنا به دلایل یک فرسایش جزئی در دیواره مستقیم رودخانه یا آبراهه ایجاد شود ذرات متحرک در آب که ناشی از فرسایش هستند آنچه با لادت دستند در یک وضعیت کاملا اتفاقی و تصادفی قرار می‌گیرند که منجر به تشکیل نیروی گریز از مرکز می‌شود که ناشی از اختلاف سطح طرفین است. این نیرو یک جریان چرخشی در آن قسمت از رودخانه (فرسایش یافته) ایجاد می‌کند این حرکت مارپیچی باعث ایجاد یک نیروی بالابرنده برای ذرات می‌شود و کشش اولیه ایجاده ذرات و ترکیب آن‌ها در مناطق پایین دست یا رو برو می‌گردد با استمرار عمل تدریجی دیواره فرسایش ایجاد می‌کند و همانیا شکل مقاطع به صورت مارپیچی در می‌آید

جریان اولیه Inital Flow



secondary Flow

مولفه‌ی سرعت در آبشکانه z, y, x جریان اولیه
برخورد با مانع به جریان ثانویه تبدیل می‌گردد.

VIP ← دستگاه اسکن کننده جریان یا رودخانه

Velocimeteric Imaging Processing

دستگاهی که سرعت را در تمام جهات (V_x, V_y, V_z) اندازه‌گیری می‌کند

(بعد از برخورد جریان به یک مانع جریان چرخشی شکل می‌گیرد)

۲) فرسایش و رسوبگذاری ماتز Mathhes

برپیده شدن دیواره یک رودخانه و در پی آن حمل رسوبات شیب در همان محل یا محل‌های دیگر شرایط لازم برای ماندگاری شدن را فراهم می‌کند و به نوعی کشش (فرسایش) در قوس خارجی (دیواره مقعر) و رسوب در قوس داخلی (محدب آبراهه) را فراهم می‌کند که به عنوان اصل کلی جریان رودخانه می‌دانند و اعتقاد دارند که بر اثر این فرایند (کشش و رسوبگذاری) حلقه‌های رودخانه تدریجی به سمت پایین دست حرکت می‌کنند

(۳) خصوصیات جریان — هیولستروم Hylustrom

ماندری شدن ناشی از تغییرات این دو اثرات متقابل عمق، سرعت، تلاطم جریان و ضریب اصطکاک

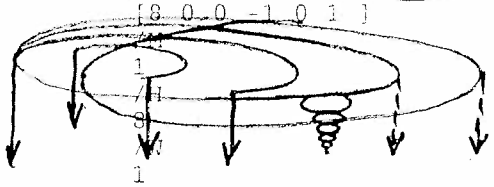
تلاطمی می باشد. شروع ماندری شدن را ناشی از درک نگاهان موضعی و تلاطمی و یا به عبارت دیگر

حرکات موجی شکل در جریان آزاد مستقیم می دانند ← وردون - اندرسون و

ایشان در کارهای آزمایشگاهی دریک تحقیق دو معادله طول موج را به صورت تابعی از

عرض، زبری، عمق و ضریب بار رسوب رودخانه می دانند

① ② ③ ④



(۴) شیب بستر — شولیتز و استرنبرگ Shulits & sternberg

چون شیب آبراهه تابعی از اندازه ذرات است که بستر آن را می سازند بنابراین چنانچه شیب رودخانه

از حدی که برای انتقال ذرات استفاده شود بیشتر گردد مکانیسمی اتفاق می افتد که مسیر رودخانه از حالت

مستقیم به صورت پیچان روانی در می آید و یا افزایش طول، شیب کاهشی پیدا می کند.

(۵) اندازه ذرات — شوم Schumm

روی یک رودخانه در آمریکا به نام گریت پلینز (Great plains) کار کرده و دریافت که در رودخانه های ماندری

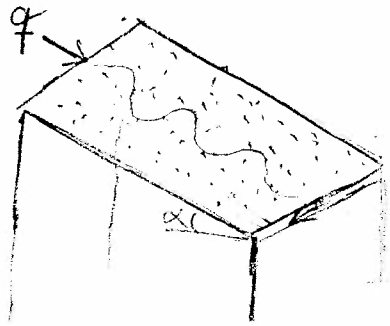
معمولاً مقداری سیلت و رس در مواد سازنده کف و دیواره وجود دارد و این گونه رودخانه ها معمولاً دارای بستر

عمیق و باریک هستند و رودخانه های کم عمق عریض تر می باشند و چون آورد و بار غالب این رودخانه ها معمولاً

بار کف می باشد حضور ذرات ریز زیاد در این رودخانه ها معمولاً نشان دهنده تاثیر اندازه ذرات در

شکل گیری پلان یک رودخانه می باشد (وجود مواد ریزدانه و بار معلق را عامل اصلی پیچان روانی عنوان کرد)

(۶) عوامل مرکب — W. F. Tanner



روی یک سطح شیشه ای شیدار مقداری از ذرات با اندازه بندی مشخص را می ریزند

و سپس یک دبی با مقدار مشخص را روی آن رها کرده و مشاهده کرد که آب

کم کم ذرات را به صورت ماربیچی در می آورد

- هیدرولیک فلوم‌های آزمایشگاهی (مخصوص رودخانه‌ها) معمولاً شیشه‌ای و یا قاب‌های پلکسی گلاس Plexi Glass استفاده می‌کنند که خاصیت‌های زیادی دارد (انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به شیشه دارد ... قابلیت انعطاف دارند)

* با استفاده از پارامترهای سرعت، شیب، تغییرات عمق و عرض مسیر آب جهت‌های مارپیچی توام با جریان ثانویه و میزان حرکت مصالح بستر نسبت به آب‌شستگی را دلیل اصلی پیدایش شن می‌دانند با توجه به ابعاد این ذرات که در رودخانه با توجه به متغیرهای آزمایش قابل محاسبات

Tanner نظریه

"ضریب زبری و شکل رودخانه عوامل اصلی ایجاد آبراهه‌ها هستند"

۷ - انگلاف انرژی Rubey روبی

با درک شرایط حاکم بر رودخانه می‌توانیم تغییرات بستر رودخانه و یا کناره را به نحو ملموس پیش‌بینی کنیم و بر این اساس فرایندهای ایجاد شن pool و فرایندهای ایجاد برجستگی Sand Dones Shoal را در مسیر رودخانه بررسی کنیم. (به جایی که متناوب تشکیل می‌شود انتقال انرژی به تنهایی صورت می‌گیرد)

فرایند تغییر بستر یا ایجاد این شن، تغییراتی در سرعت آب و شیب سطح متعادل ایجاد می‌کند که توام با هر دو انرژی (فرایندهای موثر در شرایط متعادل رودخانه) همیشه ادامه داشته و پیچان رودی شدن نیز یکی از این فرایندهاست

کاهش افزایش طول رودخانه و کاهش شیب می‌شود

۸) وجود مصالح ریشه‌های رسوبی (بقایای رسوبی موضعی) kinoshita

← با توجه به بررسی‌های آزمایشگاهی و مطالعات صحرایی، علت اولیه شروع مئاندری شدن را ایجاد و تشکیل پشته‌های موضعی (point bar) در کف آبراهه یا رودخانه‌های مستقیم و بستر هموار آبرفتی است و مراحل بعدی تشکیل پیچان رودی شدن را D.B. simons تائید می‌کند

← یک عمل رودخانه‌ها مئاندر شدن است که پوشیدگی کنار رودخانه با رودخانه بزرگ طولانی‌تر آبراهه پشته‌های رسوبی مسیر پیچان رودی جدیدی را برخود دارد که این مورد پوشیدگی بیشتری دارد

(۹) تاثیر نیروهای مختلف (از قبیل گریز از مرکز، کوریولیس و ...)

Morisova & peterson

Coriolis force

← علت اصلی کشش در قوس (و خارج شدن) اختلاف بین نیروهای گریز از مرکز و جانب به مرکز است که نیروی گریز از مرکز بیشتر از نیروی جانب به مرکز است و باعث کشش می شود

← نیروی کوریولیس (Coriolis) ناشی از دوران زمین حول محور خودش ایجاد می شود، در روی کره جغرافیایی رودخانه ای تکامل یافته با شیب کم (رودخانه های بزرگ دنیا) مخصوصاً در نیمکره شمالی، قوس خارجی رودخانه بطور میانگین بیشتر به سمت راست است که گفته می شود تحت تاثیر نیروی کوریولیس (حرکت زمین به دور خودش) است یعنی قوس خارجی اغلب رودخانه ها به یک سمت خاص است

(۱۰) توزیع سرعت و تنش برشی در قوس ها:

Vashni

محققان عالبا با روش تحلیل توزیع سرعت و تنش برشی قوس ها و با مدل سازی و کاربرد مدل ها علل پیچان رود شدن یا تغییر پذیری قوس ها را مطالعه کرده اند

← براساس نتایج حاصله، با افزایش تنش برشی در بستر (کف) بار بستر (بارکف) افزایش می یابد و کشش در کناره و نزدیک کناره ها اتفاق می افتد

← با توجه به این نتایج عوامل مهمی که روی توزیع تنش برشی قوس (تاثیر می گذارند عبارتند از:

✓ (۱) انحناء نسبی قوس $\frac{r}{w}$ نسبت شعاع به عرض رودخانه

(۲) نحوه توزیع سرعت در مقطع ورودی به قوس

✓ (۳) زاویه قوس $\frac{w}{h}$ نسبت عرض رودخانه به عمق

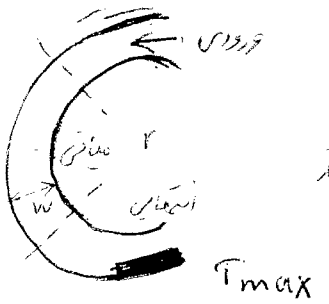
✓ (۴) اعداد بدون بعد رینولدز (R) و فرود (F)

✓ (۵) فاکتور زبری بستر

✓ (۶) نحوه تغییرات مقطع جریان در قسمت های ورودی، میانی و خروجی قوس

برطبق کارهای واشنی Washney و گرید Grade

می‌توانیم تأثیرات سنت‌هس $\frac{r}{w}$ (انحنای نسبی قوس) را به صورت زیر داشته باشیم:

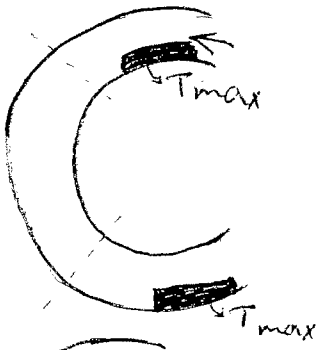


$\frac{r}{w} > 3,0$

حداکثر تنش برشی برقسمت

دیواره خارجی دیواره انتهایی اتفاق می‌افتد

دیواره بیرون خروجی

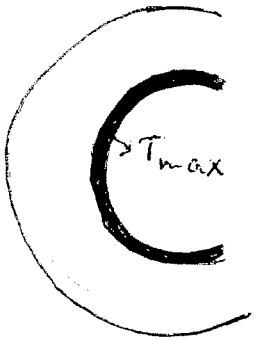


$\frac{r}{w} < 3,0$ $1,25-3,5$

حداکثر تنش برشی را در ۲ منطقه خواهیم داشت:

قوس داخلی بخش ورودی

قوس خارجی بخش خروجی



$\frac{r}{w} \simeq 1,25$

حداکثر تنش برشی در

تمام قوس داخلی

در یک دهانه ← هرچه عرض رودخانه افزایش می‌یابد معادله توزیع تنش برشی بیشتر می‌شود و توزیع تنش برشی از قوس خارجی کنده می‌شود و به قوس داخلی برده می‌شود

با توجه به نتایج بدست آمده که عالباً از مطالعات آزمایشگاهی و صرایی‌ات بدست می‌آید می‌گیریم که مشکل پیچان رودخانه شدن دارای مکانیزم بسیار پیچیده‌ای است. بعضی از محققین معتقدند راه اندازی اولیه پیچان رودخانه‌ها که عالباً از اثر جریان ① ثانویه ② در یک مسیر مستقیم ایجاد می‌شود با افزایش طول رودخانه به صورت پیچان رودخانه و کاهش شیب طولی آن صورت می‌گیرد.

← بر این اساس Richardson و Simons تعریف‌هایی که شکل هندسی بستر رودخانه را تحت تأثیر جریان ثانویه قرار می‌دهد

متغیرهای کرنش هندسی رودخانه را تحت تاثیر قرار می‌دهند:

۱) سرعت جریان V ۲) عمق دریا D ۳) شیب خط انرژی S ۴) جرم مخصوص (مخلوط آب و رسوب) ρ

۵) نرخ ته‌نشینی (کل آلودگی یا چسبندگی ذرات آب و رسوب) ۶) شتاب ثقل g

۷) اندازه قطر معرف برای منحنی‌های استاندارد d ۸) معرف توزیع اندازه ذرات مواد بستری δ

۹) جرم مخصوص ذرات رسوب ρ_s ۱۰) فاکتور شکل ذرات Sp ۱۱) فاکتور شکل مسیر رودخانه Sr

۱۲) فاکتور شکل سطح مقطع رودخانه Sc ۱۳) فاکتور میزان نشست ته رودخانه Fs ۱۴) غلظت مواد بستری Ct

آبگیری

⇐ شیب خط انرژی در جریان‌های یکنواخت و شیب بستر با هم برابرند ⇒

هیدرولیک رودخانه — River Hydrolic

روش مطالعه: ابتدا جریان مقادیر مشخصه‌های جریان از قبیل سرعت، عمق جریان، دبی و پارامترهای دیگر در رودخانه و مسیر اصلی جریان و سیلابدشت، و شناخت رفتار هیدرولیکی رودخانه در شرایط طبیعی و یا تحت تاثیر فعالیت‌های انسان اصول علم هیدرولیک رودخانه را تشکیل می‌دهد.

← پیش‌بینی رفتار جریان رودخانه و تعیین مقادیر مشخصه‌های جریان (از قبیل سرعت و...) نخاط ماهیت ۳ بعدی جریان و پیچیدگی آن، نوسانات سرعت و آشفتگی آن، تغییرات زبری، تغییرات شیب، عرض، عمق هندسه نامنظم رودخانه در پلان و مقاطع عرضی به سادگی امکان‌پذیر نیست و بسیار مشکل می‌باشد و شناخت ماهیت جریان و فرایندها و رفتار شناسی رودخانه پیش‌نیاز تحلیل رفتار جریان در رودخانه را تشکیل می‌دهد به طور کلی جریان در رودخانه‌ها معمولاً زیر بحران و مقاطع آب و در حالت سیلابی غیردائم و در شرایط عادی دائم (یا پایدار) در نظر گرفته می‌شود

فرایندهای حاکم بر رودخانه دو دسته‌اند که ارتباط تنگاتنگی با هم دارند:

(۱) حرکت و جریان آب در رودخانه که با استفاده از معادلات بقا (پیوستگی) و اندازه حرکت به صورت ریاضی بیان می‌کنند

(۲) حمل رسوب و فرسایش در رودخانه‌ها که با استفاده از تئوری‌های موجود در مبحث برش، نیروهای متقابل Tractive forces (هم‌کنش) و معادله پیوستگی جریان برای مواد جامد بیان می‌شود

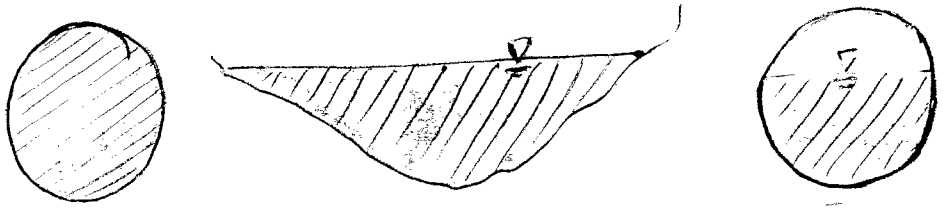
مباحث مهندسی — Sediment Transport

کلیه سلک هیدرولیکی که در آبیاری با آن سروکار داریم جریان درجه ای هستند

- در جریان تحت فشار مرزهای جریان که تماس با جدار مسیر جامد می باشد مثل انواع لوله ها آبرسانی فاضلاب

- در جریان باز سایع در حال حرکت در تمام مسیر در تماس با محیط جامد نیست یعنی حداقل یک مرز جریان در تمام طول مسیر در تماس با فشار اتمسفر است در این حالت کلیه جریان محیط مایع با فشار اطراف در تماس با این فشار به صورت ثابت عمل می کند

- یک مجاری بسته نیز بعضی اوقات می تواند به عنوان کانال باز باشد و این مستلزم این است که جریان سطح عمودی جریان باز را ارضا کند (یکی از مرزهای مایع در تماس با یک فشار ثابت قرار بگیرد)

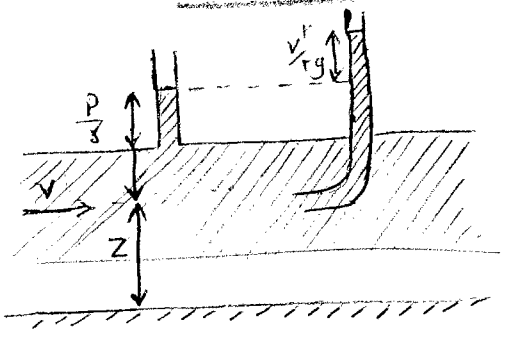


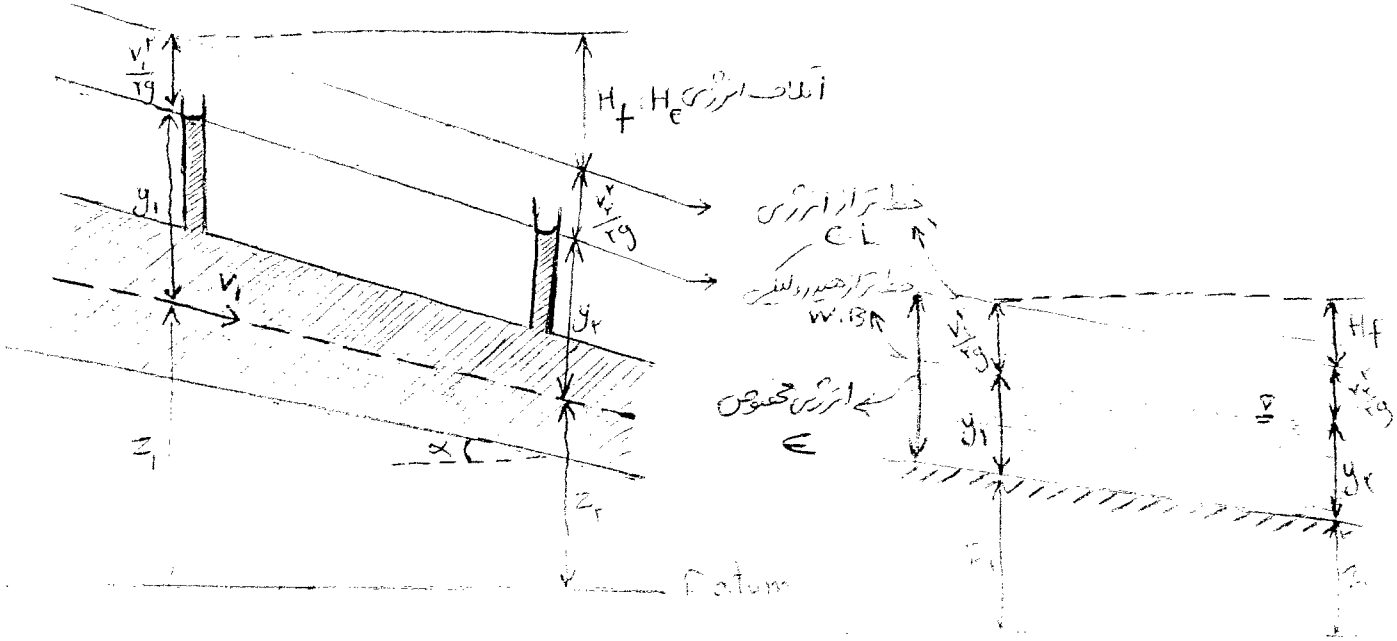
رفتار عمومی جریان در کانال های باز (جریان رودخانه ها) ← بر اساس تئوری برنولی

آب پس از عبور از دریچه کشویی با هدف فشار

حال اگر مقدار L شروع به کاهش کند دبی عبوری

مجموعه نیرو در یک نقطه روی یک خط برابر است





باوجود ارتباط نسبتاً نزدیک که این دو فرایند در یک تازه (مسیر) رودخانه دارند معمولاً رفتارشناسی (فرایند زمانی) آب و رسوب در بیشتر موارد توجه کارشناسان مهندسی هیدرولیک رودخانه قرار گرفته و از طرایق شبیه سازی در مدل های آزمایشگاهی معمولاً با روابط ارائه شده توسط محققین در زمینه رسوب تلفیق شده و تغییرات بستر رودخانه (فرایند کندروانی) مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند.

باتوجه به مطالعات متعددی که در زمینه هیدرولیک جریان در بازه ها و مقاطع مختلف انجام شده، شناخت فرایندهای رودخانه ای بر مبنای داده های مختلف انجام می پذیرد. به طور کلی نقش مدل اعم از ریاضی یا فیزیکی در رفتارشناسی و هیدرولیک جریان رودخانه نقش اساسی دارد.

براین اساس ابزار اساسی علم هیدرولیک رودخانه معمولاً به ۳ دسته اصلی تقسیم می شوند

۱) مشاهدات observation Data اندازه گیری مستقیم ارزشمندترین (داده اصلی)

۲) مدل های فیزیکی Physical Models ← داده هایی که مبتنی بر مدل فیزیکی هستند

۳) مدل های عددی Numerical Models

مدل های فیزیکی ↔ simplification ساده سازی
simulation شبیه سازی
Modeling مدل سازی

← دقیق ترین داده ای که استفاده می کنیم داده های مشاهداتی هستند سپس از مدل های فیزیکی (انواع مدل و ذوصول) سپس داده های فیزیکی را عددی می کنیم (Numerical)

← دقت مدل های فیزیکی از مدل ریاضی بیشتر است و مدل های ریاضی باید بوسیله مدل فیزیکی تائید شود

← در مهندسی رودخانه جریان را همیشه متغیر در نظر می گیریم حتی در جریان دبی پایه.

انواع جریان ←
- مجاری تحت فشار under pressure ← تمام مایع درون یک مرز جامد محصور شده است
- مجاری باز open channel ← قسمتی سطح از جریان در تماس با هوای آزاد است

به طور کلی جریان آزاد شامل اصلی رودخانه هاست که باتوجه به طبیعت پیچیده محیط شامل رودخانه هوا در تماس با سطح جریان است مثل رودخانه هوا در تماس با سطح جریان است مثل رودخانه هوا در تماس با سطح جریان است

به طور کلی ... بر اساس کشور ... است

انرژی مکانیکی (انرژی کل) در هر مقطعی از جریان بر واحد وزن سیال می‌شود و دارای چه واحدی است و رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\frac{N.m}{N}$$

$$\rightarrow H = \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + Z$$

↑ انرژی جنبشی (انرژی بعلت سرعت) ↑ انرژی فشار ↑ انرژی پتانسیل

در این رابطه $\frac{v^2}{2g}$ بیانگر انرژی جنبشی، $\frac{P}{\gamma}$ انرژی نیروی کار (فشار) و Z انرژی پتانسیل نسبت آب است

← در مسیر حرکت آب (چه رودخانه و چه در مسیرهای تحت فشار) مقداری از انرژی صرف گرم کردن مسیر می‌شود و به صورت گرما از محیط خارج می‌شود که در محاسبات آنرا در نظر نمی‌گیریم و همیشه مقداری هدر رفت انرژی داریم

$$h + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + Z = C$$

← هدر رفت ← یک مقدار ثابت

خطوط جریان که در این حالت ایجاد می‌شوند خطوط پیوسته‌ای هستند که به عنوان مثال خط انرژی مقدار انرژی را در مقاطع مختلف جریان نشان می‌دهد (E.G.L Energy Gradient line) شیب خط انرژی یا خط تراز هیدرولیکی (یا خط پیزومتری) ارتفاع بعلاوه فشار

$$H.G.L = (y+z) = (\frac{P}{\gamma} + z)$$

← در کانال‌های باز سطح پیزومتری در کانال، منطبق بر سطح آزاد آب است و اگر مقدار ارتفاع بعلاوه سرعت به فاصله سطح آزاد آب یا سطح مبنا اضافه شود خط تراز انرژی بدست می‌آید

← علاوه بر اینکه در مجاری باز حرکت جریان تحت اصل اساسی حاکم بر حرکت سیال (جریان) اصول و ... می‌باشد ولی نکات متفاوتی با ... دارد که جریان در مجاری باز از پیچیدگی‌های بیشتری برخوردار است

• پیچیدگی‌ها در جریان‌های باز:

(۱) جریان در مجاری باز محدوده وسیعی از جریان در ... را در بر گرفته و در ... یک دانه کوچک جریان ... سیال ... می‌شود لذا دامنه تغییرات ... هیدرولیکی ... سیال ... محدوده ... وسیع ... و ... افتخاص می‌دهد ... کانال‌های باز ... است

(۲) ... در مجاری باز ... بیشتری نسبت به مجاری تحت فشار حرکت می‌کند و ... در آن ...

قابلیت تغییر عمق جریان است یعنی با تغییر مرتب کانال ها، ایجاد موانع، تغییرات در مسیر رودخانه (پیدایش کانال) نیروی ثقل تغییر پیدا می کند و نهایتا موقعیت (تراز) سطح آب و به تبع آن سایر پارامترهای جریان تغییر می کند

۳) در کانال های باز واستگی بیشتری بین نیروی های هیدرولیکی مشاهده می شود به عنوان مثال در یک جریان تحت فشار سرعت هنگام تغییر پیدا می کند که سطح مقطع تغییر پیدا کند ولی در کانال های باز سرعت بستگی به شیب طولی کانال، زبری جداره کانال، مساحت سطح مقطع عرضی و شکل سطح مقطع عرضی و ... دارد.

۴) با توجه به اینکه مجاری تحت فشار دست سازمی باشند تقریبا تمامی شرایط کنترل شده ولذا تغییرات به نحو مطلوب قابل پیش بینی می باشد ولی در جریان های باز قابل مدیریت توسط انسان نیست.

⇐ متذکر می شوم که در موارد بالا، هیدرولیک جریان در مجاری باز و رودخانه ها دامنه بسیار وسیعی را در بر می گیرد و غالبا شاید بسیاری از قوانین علمی که در مراجع و منابع آورده شده است را دچار تناقض کند.

انواع کانال های باز:

بطور کلی مجاری باز از دیدگاههای مختلف قابل تقسیم بندی هستند:

۱ بر اساس مصنوعی یا طبیعی بودن ← Natural – Man made (artificial)

۲ تغییر در سطح مقطع کانال (عرضی) ← Fluvial – Rigid boundary

۳ بر مبنای پایداری مصالح ← prismatic – Non prismatic

⇐ بر مبنای تغییرات در سطح مقطع مجرا، دو دسته مجرا در نظر می گیریم:

۱) کانال های منشوری ← کانال هایی که در مسیرشان دارای سطح مقطع و شیب ثابت هستند یعنی بر اساس اضلاع طراحی شیب و سطح مقطع ثابت در کانال می دهیم

۲) کانال های غیر منشوری ← در مسیرشان شیب و سطح مقطع تغییر پیدا می کند (رودخانه)

⇐ البته می توان کانال های مصنوعی هم تغییر شیب و سطح مقطع را داریم ولی بازه بازه می باشد.

هندسی پایداری مصالح نیز به دو دسته تقسیم می شوند:

۱) مجاری با دیواره (جداره) ثابت ← Unerodible (صلب) ← دست سازهای مجاری مصنوعی

مصالح تشکیل دهنده جداره مجموعه از مصالح سخت، چون بتن یا فلز هستند. در این کانال ها، پلان عمومی مسیر و بستر مقطع تقریباً در تمام طول جریان ثابت است.

مجرا یا کانال دارای یک درجه آزادی است یعنی برای یک مقدار دبی ثابت عمق جریان است که می تواند بر اساس زمان و مکان تغییر کند

۲) مجاری با دیواره متحرک (یا جداره فرسایش پذیر) Erodible مثل رودخانه ها، مجاری آبرفتی

مصالح یا ذرات تشکیل دهنده این کانال (ذرات رسوی جداره) این قابلیت را دارند که تحت تاثیر جریان به حرکت درآیند و مورفولوژی بستر را تغییر دهند. اصطلاحاً در کورسهای مجاری با دیواره متحرک دارای ۴ درجه آزادی هستند

① عمق ② عرض مقطع جریان ③ شیب طولی ④ پلان عمومی مسیر

انواع سطح مقطع (مقاطع) در کانال های باز:

طول از صفحه سطح مقطع آزاد که با هوای آزاد در تماس است

عرض سطح آزاد T

با توجه به اهداف سطح مقطع نامنظم را به هندسی مقطع تبدیل می کنیم

← بهترین سطح مقطع، نیم دایره ای است

که در طبیعت ایجاد آن سخت است، که تبدیل آن به حالت

گوشه دار مقرض خورده شدن می باشد

پس آن را به شکل ذوزنقه ای تبدیل می کنیم زیرا در حفاظ سطح مقطع مستطیلی در گوشه ها آشفتگی و فرسایش Scaring داریم و پایداری جداره و ساختن آن را صعب تر است و از نظر اقتصادی هم صرفه است.

← با توجه به اهداف انواع سطح مقطع های مختلف داریم:

۱) ذوزنقه ای ← معمول ترین و کاربردی ترین سطح مقطع ← در کانال های آبرفتی

۲) دایره ای شکل ← انتقال فاضلاب ← در کانال های آبرفتی که حرکت ذرات داخل بروها، آبروها، زهکش ها و ...

۳) سهموی شکل ← مشکل امروز آن عدم اجرای آن در طبیعت است

۴) سطح مقطع عمود بر جریان در هر نقطه از کانال ← در کانال های باز

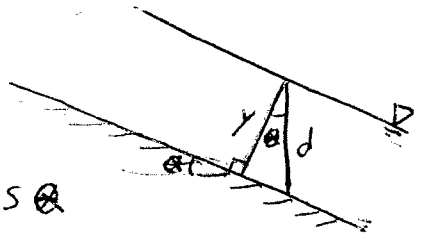
۵) مستقیل بودن از آن استفاده می شود مگر در روش هایی که توصیه شود در آنها هم استفاده شود

"حتی در حالت جریان ناپایدار هم بهترین سطح مقطع ذوزنقه ای می باشد"

مشخصات هندسی کانال های باز:

با توجه به محاسبات هیدرولیکی در طراحی کانال های باز و ساماندهی رودخانه برخی مشخصاتی که بیشتر مورد نیاز است شرح زیر است

✓ ← عمق جریان (y): در یک سطح مقطع رودخانه یا کانال فاصله قائم پایین ترین نقطه کف کانال تا سطح آزاد آب



این فاصله در جهت عمود بر کف یا در صفحه ای عمود بر جهت عمومی جریان نمایش داده می شود.

$y = d\cos\theta$

از آنجایی که این فاصله در جهت عمود بر کف در نظر گرفته می شود در مورد کانال هایی با شیب کم ($\theta < 7^\circ$) معمولاً $y = d$ است اما در کانال های با شیب تندتر $y = d\cos\theta$ می باشد

در محاسبات هیدرولیک عمق برخورد با عمق جریان با توجه به کاربرد بسیار زیاد آن در محاسبات همراه با دقت است به نحوی که سایر خصوصیات جریان ارتباط نزدیکی با عمق جریان دارند اندازه گیری آن باید مدنظر باشد

✓ ← تراز (رقوم) به صورت موضعی یا عمومی است

در حالت عمومی با دریای آزاد مقایسه می شود

در حالت موضعی فاصله قائم سطح آزاد آب نسبت به یک سطح مبنای دلخواه تراز آب گفته می شود (در یک مقطع مشخص از کانال)

✓ ← سطح مقطع جریان:

← عرض سطح آزاد (T) ← طول از مقطع جریان که با هوای آزاد در ارتباط است.

← شعاع هیدرولیکی (R) ← نسبت سطح مقطع جریان به محیط خیس شده کانال $R = \frac{A}{P}$

← عمق هیدرولیکی (D) ← نسبت سطح مقطع جریان به عرض سطح آزاد آب $D = \frac{A}{T}$

← فاکتور سطح در محاسبه عمق هیدرولیکی (Z)

در محاسبه عمق هیدرولیکی کاربرد دارد

$Z = A\sqrt{D} \Rightarrow Z = \frac{A^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{T}}$

← تفاوت واژه‌ها ← Canal ← کانال دست ساز

← channel ← کانال روباز (تمامی مجاری روباز) (جلسه‌ی ۰)

← فلوم Flume ← در شرایط آزمایشگاهی و یا حوزه‌های زهکشی کوچک بصورت تنوری جهت اندازه‌گیری دبی به صورت مدل برای انتقال آب از یک طرف دره به طرف دیگر آن با لوله یا چیز توخالی یا...

← شوت (کند راه) ← shute ← به مجاری باز می‌گویند که دارای شیب تند بوده و معمولاً اختلاف ارتفاع دو مقطع متوالی از جریان از ۴٫۵ m تجاوز کند.

← شیب شکن ← مشابه شوت ولی برای اختلاف ارتفاع‌های کمتر (۴٫۵m - ۰٫۹)

در مسیر جریان می‌تواند به صورت دائم ایجاد شود - جهان آب را با شیب کم از ΔH

← کالورت (آبرو یا آبگذر) culvert ← سازه‌هایی هستند که برای انتقال جریان آب از زیر جاده‌ها، پل‌ها یا سایر خطوط ارتباطی (ریل و...) از آن استفاده می‌شود

در آبخیزداری شهری برای خلیج‌ها و دریاچه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (مثل jetty ها)

← Tunnel تونل یا جریان آزاد ← یکی از مجاری جریان که معمولاً مطلوب است و جهت عبور آب در مناطق کوهستانی استفاده می‌شود (انحراف جریان برای احداث یک سد خاکی)

← تبدیل ← Convection ← جهت ایجاد هرگونه تغییری در جریان یا سطح مقطع جریان که در یک فاصله کوتاهی از مسیر استفاده می‌شود ← تغییر مسیر جریان، ورود یک جریان به جریان دیگر، عبور لوله آب از اندازه به اندازه دیگر

عین فرقی که با ثابت تغییر مقدار و جهت بردار جریان آب می‌شود مثل قوس و زاویه...

طبقه بندی حرکت سیالات :

ساده ترین طبقه بندی در کانال (یا رودخانه) که در بیشتر منابع وجود دارد :

جریان دائمی یا غیر دائمی

جریان تراکم ناپذیر یا غیر تراکم ناپذیر (تقریباً همه)

در تقسیم بندی جریان بستگی زمان و مکان مطرح است.

(۱) در حالت اول تغییر در مشخصات جریان بر اساس زمان معیار طبقه بندی است (در یک مکان ثابت) یعنی اینکه

☆ ← هرگاه در یک مقطع ثابت عمق جریان یا کمیت زمان تغییر نماید جریان دائمی در غیر اینصورت غیر دائمی است.

تغییرات عمق نسبت به زمان در یک مکان ثابت $\neq 0$ جریان دائمی $\frac{\Delta Y}{\Delta t} = 0 \longrightarrow n = c$ عدد ثابت

در سرعت

$\frac{\Delta Y}{\Delta t} \neq 0 \longrightarrow n = c$ عدد ثابت جریان غیر دائمی

در یک جریان دائمی دبی و در نتیجه سرعت متوسط جریان در یک مقطع مشخص (موقت خاص) با زمان ثابتند

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = 0 \qquad \frac{\Delta V}{\Delta t} = 0$$

(۲) در حالت دوم تغییر در مشخصات جریان بر اساس محل معیار طبقه بندی است (مکان متغیر و زمان ثابت)

☆ هرگاه در هر لحظه از زمان ثابت $t = c$ عمق جریان در مقاطع مختلف در راستای طولی کانال تغییر پیدا نماید

گوییم جریان تراکم ناپذیر است ولی اگر عمق جریان در راستای طولی کانال در یک زمان ثابت تغییر پیدا کند جریان غیر تراکم ناپذیر است

⇐ هرگاه مقطع جریان (آب) دارای اعنا باشد غیر تراکم ناپذیر است و در گاه بدون اعنا باشد جریان تراکم ناپذیر است.

تغییرات عمق نسبت به مکان در یک زمان ثابت $= 0$ جریان تراکم ناپذیر $\frac{\Delta Y}{\Delta n} = 0 \longrightarrow t = c$

جریان غیر تراکم ناپذیر $\frac{\Delta Y}{\Delta n} \neq 0 \longrightarrow t = c$

○ مرور خانه ها جریان همیشه از نوع متغیر (غیر تراکم ناپذیر) است

⇐ بر اساس این تقسیم بندی ها می توان نتیجه گرفت در جریان تراکم ناپذیر تغییرات این دو شرط طول کانال جریان ثابت است ولی در جریان غیر تراکم ناپذیر سرعت در مقاطع مختلف متغیر ولی دبی می تواند ثابت باشد.

☆ جریان غیر تراکم ناپذیر در همه روند های جریان تغییرات

برای تقسیم‌بندی جریان در رودخانه از نوع غیرماندا است یا تغییرات آن جریان به ۳ دسته تقسیم شده که عبارتند از:

۱) جریان تغییر تدریجی — Gradually Varied Flow — (G.V.F) ✓
۲) جریان تغییر سریع — Rapid Varied Flow — (R.V.F) ✓
۳) جریان تغییر مکانی — Space Varied Flow — (S.V.F) ✓

← در حالت اول (تدریجی) تغییرات عمق جریان در طول حرکت آن از مسیر به صورت تدریجی انجام می‌شود به‌طوری که در این گونه جریان‌ها انحنای سطح آب قابل ملاحظه نیست اصطلاحاً پروفیل سطح آب عمود بر خطوط جریان است

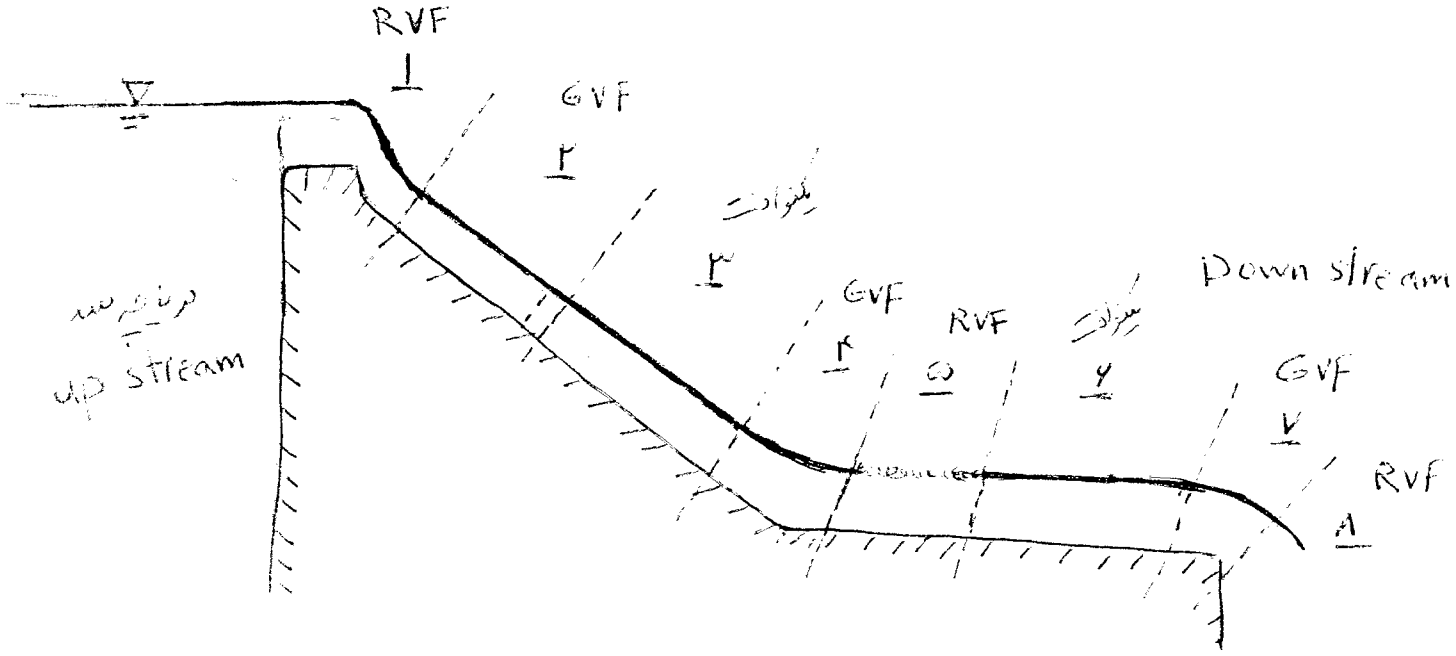
← در حالت دوم (سریع) تغییرات عمق در یک فاصله کوتاه از مسیر شدیدتر است که انحنای قابل توجه در سطح آب داریم مثل جریان در رودخانه‌ها که جریان به یک مانع (مثلاً سنگ یا دیواره‌ای) برخورد کند به صورت تغییر سریع عمق در آن رخ می‌دهد که آن را جهش jump می‌نامند و یا در شرایط سیلابی

← در این حالت فرض بر این است که جریان به رودخانه وارد نشده است →

← در حالت سوم (مکانی) در شرایطی است که جریان به رودخانه وارد و یا خارج می‌شود مثل آبگیرها که آب از رودخانه گرفته می‌شود در این شرایط عمق جریان ثابت یا تغییر می‌کند (تغییر در عمق جریان رودخانه ناشی از ورود یا خروج جریان در طول مسیر آن است)

← در رودخانه‌ها همیشه جریان متغیر تدریجی داریم به جز حالت سیلابی ← متغیر سریع

• ✓ برای تقسیم بهتر جریان‌ها از آن‌ها برای یک مسیر مثل به صورت زیر عکس گرفت:



در ناحیه 1 جریان مجبور به پریش یک انحنای شدید از نوع جریان متغیر سریع است

پریش به سمت پایین (قسمت سرریز) که آب از روی آن عبور می‌کند هرچه پرتاب‌های آب تا سطح پایین بیشتر فشار باشد

ایده‌آل‌تر است چون فشار نامطلوب کاویتاسیون

با توجه به اینکه تراز آب موجود در دریاچه در یک تراز ارتفاعی تقریباً ثابت قرار دارد به محض ورود جریان (بی‌اثر از سیلاب یا هر جریان ورودی) جریانی که داخل تخلیه از سرریز باشد بر اساس شکل صفحه، شکل خود را تغییر می‌دهد به نحوی که در ابتدا جریان مجبور به پریش یک انحنای شدید و ناچار از یک پرتاب کوتاه، جریان خود را با شرایط جدید وفق می‌دهد

عمق جریان سریعاً کاهش و سرعت جریان افزایش می‌یابد و جریان از نوع متغیر سریع است.

در ناحیه 2 جریان در جهت رسیدن به تعادل دینامیک (سرعت حد) حرکت می‌کند و قوات سیل شتاب جاذبه ناشی از تغییر سرعت در روی شکل را تجربه می‌کند و چون تغییرات سرعت و عمق کند انجام می‌شود جریان از نوع متغیر تدریجی است.

تعادل دینامیکی یعنی جریان نگیوافت، از نظر فیزیکی هر جریان خیر نگیوافت به سمت تعادل دینامیکی یعنی جریان نگیوافت حرکت می‌کند در این حالت نیروی وزنش (یعنی مولفه وزن در جهت شیب) و نیروی اصطکاک (یعنی مقاومت کف کانال) با هم متعادل می‌شوند و جریان به سرعت حد خود می‌رسد (تعادل دینامیکی در آبگیرداری: نه رسوبگذاری نه رسوبشویی داشته باشیم)

در ناحیه 3 تراز سطح آب با شیب کف سرریز به موازات یکدیگر قرار می‌گیرد و در ناحیه صاف عمق تغییرات کمی انجام می‌شود (جریان نگیوافت)

در ناحیه 4 جریان در جهت رسیدن به تعادل دینامیکی است که در ناحیه 6 به وجود می‌آید اگر مجبور به پذیرش انحنای تدریجی جریان متناسب با شیب کانال دوم می‌گردد و جریان از نوع متغیر تدریجی است.

در ناحیه 5 به پدیده پرش هیدرولیکی Hydraulic Jump صورت می‌گیرد یعنی جریان از نوع متغیر سریع می‌باشد

پرش هیدرولیکی پدیده‌ای است که آب ضمن حرکت در کانال در مواجهه با یک مانع در جهت رسیدن به تعادل دینامیکی جدید به صورت ناگهانی و در عمق خود را از یک حالت جریان فوق بحرانی به حالت متعادل‌تری که عنوان جریان زیر بحرانی یا رژیم (تعادل) می‌دهد

مرحله گذار از جریان فوق بحرانی به زیر بحرانی که توام با یک آشفتگی شدید در جریان می‌باشد و باعث افت انرژی می‌شود عمق زیادی می‌شود به عنوان جهش هیدرولیکی نامیده می‌شود

مقاومت

در ناحیه 6 جریان مجدداً در حالت نگیوافت را تجربه می‌کند و به دلیل کانال شما در حیث از شیب هیدرولیکی با شیب کف کانال

در ناحیه 7 جریان به شیب شکل را احساس کرده و دیگر نوسان می‌کند GVF و سرعت به RVF (ناحیه 8) تبدیل می‌شود

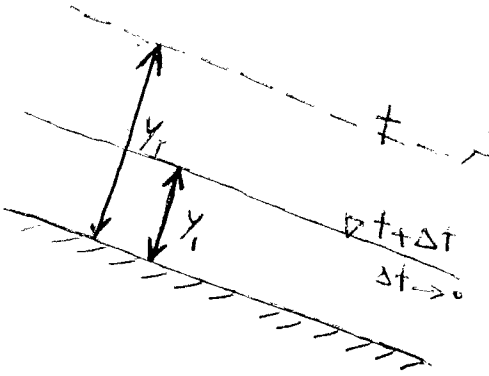
← [illegible] با [illegible] برابر [illegible]

← پرش های [illegible] در [illegible] شکست شیب تشکیل می شود

← سرریز های [illegible] از نوع سرریز های متغیر مکانی هستند.

ا- جریان های غیر دائمی :

← جریان های غیر دائمی یکنواخت :



چنین جریانی در طبیعت وجود ندارد و در شرایط مصنوعی از نظر فیزیکی قابل طرح هستند

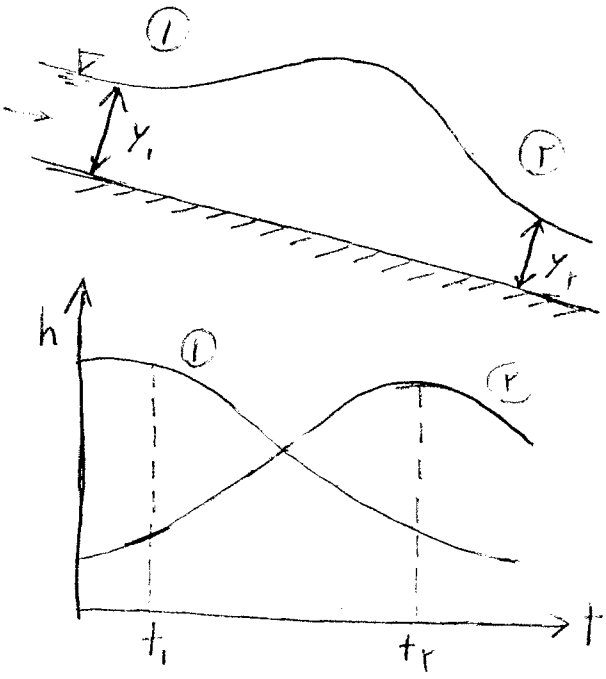
← در کارستگی که سیر جریان آن سینوسی داریم ممکن است در یک لحظه زمان

خاص این جریان را داشته باشیم

← به طور کلی وجود چنین جریانی در طبیعت مشاهده نشده و هرچند از جریان یکنواخت که در شرایط مصنوعی

جریان دائمی یکنواخت است انتهال اینکه در طبیعت چنین جریانی را تقریب کنیم بیشتر در مواردی صفر (آب زیرزمینی

که شیب کمتری دارد) ..



— جریان غیر دائمی متغیر تدریجی

مثال واضح این قسمت در طبیعت حرکت موج سیل است

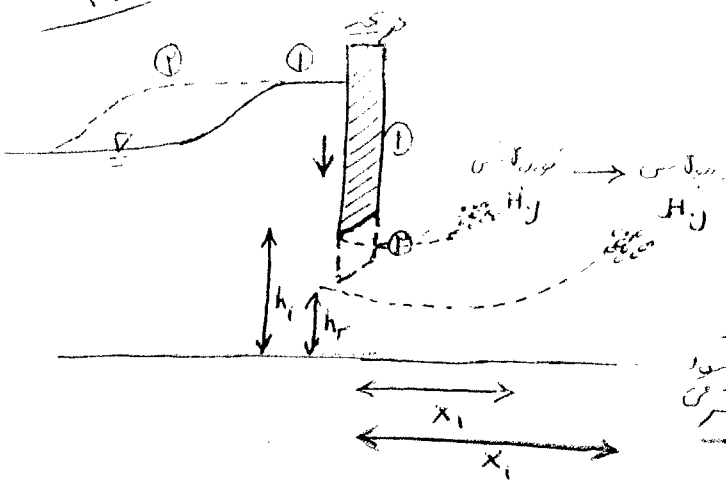
در این حالت عمق آبی که از یک مقطع از رودخانه عبور می کند با زمان

تغییر می کند (تغییرات عمق در طول مسیر هم وجود دارد

(در حقیقت با بروز سیل وقتی که آبگیری خوبی در حرکت باشد)

تغییرات عمق با گذشت زمان ←

← زمان پیمایش سیل $t_2 - t_1$



- جریان غیردائمی متغیر مکانی

سرعت در یک نقطه در طول یک کانال آب ←

← در ورودی پایین آب در مخزن ①

هر دو دریچه پایین آب را می‌باید فاصله بین ① و ② بیشتر کنیم تا سرعت کمتر شود

← نیروی وزن و فشار هم مثل یک نیرو عمل می‌کنند

← جریان غیردائمی متغیر مکانی ← در صورتی که سطح سیال در هنگام عبور از رودخانه از کناره‌ها آن آبریز شود

- جریان دائمی متغیر مکانی ← در سرریزهای با کانال جانبی در سدها (یا در ابتدا در سرریز)

وضعیت جریان در کانال‌های باز:

در جریان آب در کانال‌های باز نیروهای مختلفی از قبیل نیروی ثقل، کشش سطحی، نیروهای شتاب‌دهنده (اینرسی) و ویسکوزیته (نیروی چسبندگی، لزجت، گرانروی Viscosity) بر عناصر سیال تأثیر می‌گذارند که بعضی از این نیروها به علت کوچک بودن می‌توانند از تأثیر نیروی کشش سطحی بخاطر نادیده صرف نظر شود. با توجه به تأثیر نسبی نیروهای لزجت و ثقل نسبت به نیروهای اینرسی وضعیت‌های متفاوتی از جریان در کانال‌ها مشاهده می‌شود

① تأثیر نیروی لزجت جریان یا گرانروی Viscosity force - Accelerate force

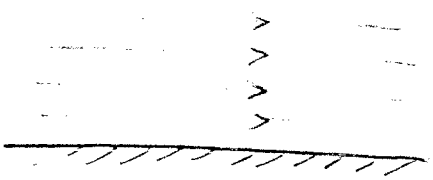
که در مقدار سرعت آن اثر گذار است (آب گرمتر گرانروی کمتری دارد)

تحت تأثیر موقعیت نیروی لزجت نسبت به نیروی شتاب‌دهنده ۳ نوع جریان قابل تفکیک است:

1. جریان آرام (لایه‌ای) Viscosity F > Accelerate Layer Flow
2. جریان آشفته (متلاطم) Viscosity F < Accelerate Turbulent Flow
3. جریان انتقالی (بینابینی) Transitional Flow

۳۰

⇐ حرکت اول (آرام) تعداد نیروی لزوجت نسبت به نیروی شتاب دهنده جریان و اثرات دیواره آب بر سرعت جریان زیاد است. ذرات آب در لایه‌های موازی حرکت می‌کنند و آشفتگی ایجاد نمی‌شود و در این حالت بیشتر نیروهای مولکولی بین سطوح لایه‌ای وجود دارد.



⇐ نیروی بین مولکولی لزوجت مقاومت جریان را در مقابل تغییر شکل می‌کند.
حرکات مربوط به ایجاد مقاومت از قبیل برادر ذرات به هم متوجه می‌شود.

⇐ حرکت دوم (آشفته) عکس حالت اول نیروی شتاب دهنده نسبت به نیروی چسبندگی (لزوجت) قدرت بیشتری دارد
و یک حالت جریان مختلط را آشفتگی در برابر آرام به وجود می‌آید

حرکات برآشفته مولکول‌ها عامل اساسی دارند و بافت شده جریان از حالت تعادل خارج می‌شود
ذرات آب از مسیر اصلی خود خارج می‌شوند و امواج حرکات نامنظم و پراکنده می‌شوند

⇐ حرکت سوم (متناسب) جریان آب در کانال‌ها بصورت یک حالت میانه بین دو حالت فوق (در واقع یک حالت تبدیلی)
که در آن جریان آشفته به جریان آرام می‌تواند تبدیل گردد یا برعکس جریان از حالت آشفته به آرام یا برعکس تبدیل می‌شود

Reynolds Number

عامل طبقه‌بندی انواع جریان‌ها عدد رینولدز (Reynolds Number) است که
نسبت نیروی شتاب‌دهنده به ویسکوزیته است

$$\rightarrow Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu}$$

ρ: دانسیته (چگالی) — V: سرعت جریان — L: طول مشخصه جریان — μ: لزوجت دینامیکی آب

L طول مشخصه جریان است که در جریان‌های تحت فشار معادل قطر لوله
و در جریان‌های باز (رودخانه‌ها) معادل شعاع هیدرولیکی در نظر گرفته می‌شود

$$\rightarrow \mu = \frac{\tau}{dv/dt}$$

τ: تنش برشی — dv/dt: تغییرات سرعت در عمق

$$\frac{N/m^2}{(m/s)/m} = \frac{N \cdot s}{m^2} \rightarrow kg/m \cdot s$$

واحد لزوجت دینامیکی

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{M L^{-1} T^{-1}}{M L^{-3}} = L^2 T^{-1}$$

لزوجت سینماتیکی

$$\frac{kg/m \cdot s}{kg/m^3} = \frac{kg \cdot m^3}{kg \cdot m \cdot s} = \frac{m^2}{s}$$

در جریان‌های باز $\Rightarrow Re = \frac{\rho \cdot V \cdot R}{\mu} \Rightarrow Re = \frac{VR}{\nu}$ ←

۷

بر اساس عدد رینولدز { جریان آرام $Re < 500$; جریان انتقالی $500 < Re < 2000$; جریان آشفته $2000 < Re$ } بیشتر مورد توجه ما (آبرسانی) است ← بیشتر مورد توجه ما در رودخانه‌ها

Froude Number

۲) تاثیر نیروی ثقل: در حالت یک پارامتر دینامیکی بنام عدد فرود (Frude Number) ظاهر می‌شود که در مطالعه جریان به صورت

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

سرعت ← V ; نیروی شتاب دهنده / نیروی ثقل = سرعت جریان / سرعت موج ; شتاب ثقل ← g ; طول مشخصه جریان ← L

در رودخانه‌ها و کانال‌ها طول مشخصه را برابر عمق هیدرولیکی در نظر می‌گیریم

عمق هیدرولیکی $D = \frac{A}{T}$

در کانال‌های با مقطع مستطیلی D را برابر با عمق جریان در نظر می‌گیرند

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} = \frac{V}{\sqrt{gy}}$$

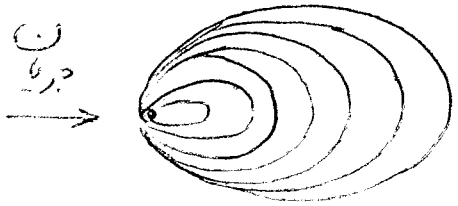
Fr = V / √gD

← مخرج کسر ($\sqrt{gL}$) بیانگر سرعت حرکت (انتقال) یک موج سطحی را نشان می‌دهد

بر اساس عدد فرود جریان به ۳ دسته اصلی تقسیم می‌شود:

۱) جریان فوق بحرانی Super Critical $Fr > 1$

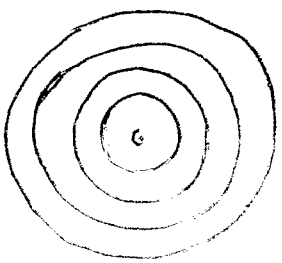
سرعت جریان از سرعت موج سطحی بیشتر است یعنی اینکه به ازای یک واحد ثابت عمق جریان کم و سرعت جریان زیاد است) ولذا اضطرابی که بیندکی بین بالادست و پایین دست جریان ارتباط ایجاد نمی‌کند مشاهده می‌شود و یا اینکه موج حاصله از اغتشاش ماهیت انتقال به بالادست جریان را ندارد



مثال: وقتی که سنگی در آب انداخته شود

۲) جریان زیر بحرانی sub Critical $Fr < 1$

به ازای یک واحد ثابت عمق جریان دارای سرعت کم است موج حاصله می‌تواند سرعت بالادست جریان را تحت تاثیر قرار دهد



مثال: یک سکون در دون استخر

۳) جریان بحرانی $Fr=1$ Critical

سوی ایجاد شده با انتقال آب به سمت پایین است می باشد

عالت جریان آب در رودخانه ها بیشتر در محدوده آشفته است و تغییر لزوجت تاثیر چندانی بر وضعیت جریان ندارد.
دلیل آنکه به ازای جریان آب در رودخانه از نوع جریان آزاد است به نیروی ثقل حساسیت بیشتری نسبت به
عدد رینولدز نشان می دهد. با تغییرات کانال وضعیت جریان مرتبط تغییر می کند فرضیه نیروی ثقل (عدد فرود)
نقش مهمی در مدل سازی و هندسی رودخانه دارد این اهمیت عدد فرود باعث می شود در مدل سازی فیزیکی در
جریان مطابق با سطح آزاد حتی الامکان به دنیای مدل جریان اصلی به پایه عدد فرود نسبت داده شود این هماهنگی
عدد فرود را در مدل سازی جریان اطمینان حاصل می سازد ← عدد فرود نقش موثرتری نسبت به عدد رینولدز در
جریان های رودخانه ها دارد

← تقسیم بندی جریان (از تاثیر نیروی ثقل و لزوجت)

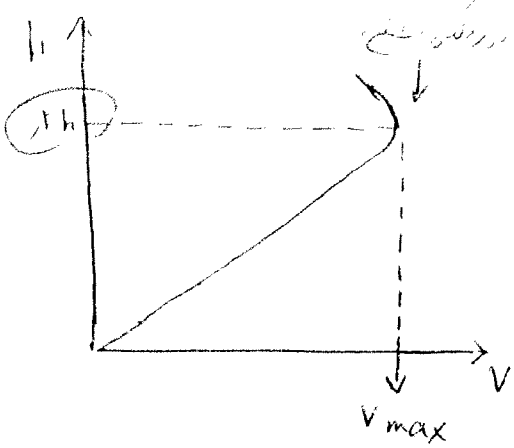
رژیم جریان	اعداد	
جریان زیر بحرانی - آرام	$Fr<1$	$Re<500$
جریان زیر بحرانی - آشفته	$Fr<1$	$Re>500$
جریان فوق بحرانی - آرام	$Fr>1$	$Re<500$
جریان فوق بحرانی - آشفته	$Fr>1$	$Re>500$

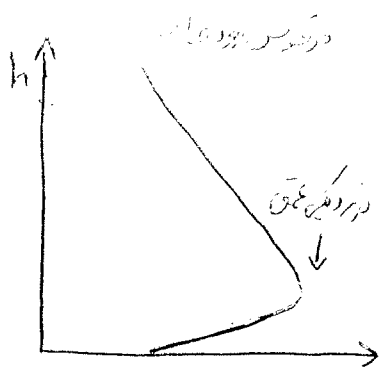
با توجه به آنکه جریان های بحرانی انتقالی حالت پایداری ندارند معمولاً در طبیعت سعی را بر آن داریم که جریان

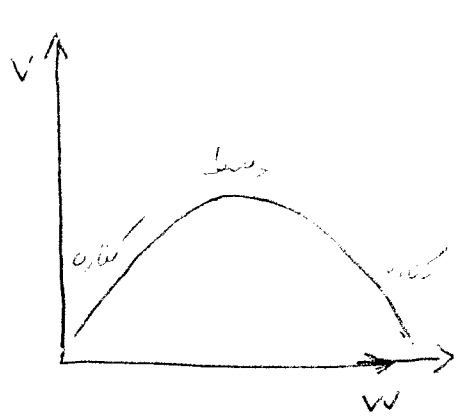
← توزیع سرعت جریان در کانال های باز

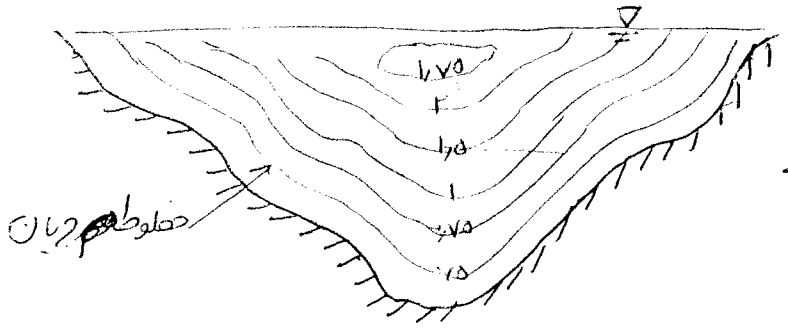
از آنجائیکه تاثیر لزوجت آب موجود کناره و بستر آن ها موجب سطح آزاد آب شده ظاهر سطح مقطع های
لیتولوژی و یا یک تقریب از رودخانه ها متفاوت می باشد بدست آوردن یک رابطه کلی که بیانگر توزیع سرعت
در رودخانه ها باشد به سادگی میسر نیست بنابراین غرض تابیت بودن سرعت در سطح مقطع رودخانه دارای نیست
لذا توصیه می شود که تنها با اندازه گیری سرعت اقدام به تعیین منحنی های هم سرعت در کانال ها نمایند.

Isovelocity





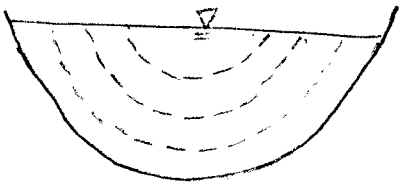




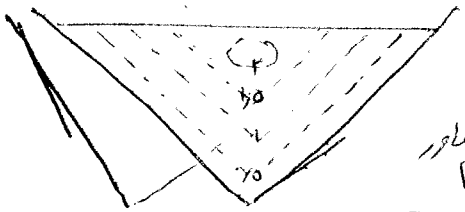
$\bar{V} = \frac{V_{0.2h} + V_{0.8h}}{2}$ روش دو نقطه‌ای

← در رودخانه‌ها برای اندازه‌گیری سرعت از مولینه و در آزمایشگاه‌ها از میکرو مولینه‌ها استفاده می‌کنیم

با استفاده از بررسی سرعت جریان می‌توانیم یک الگوی جریان (flow pattern) بدست بیاوریم



مقطع کانال کم عمق

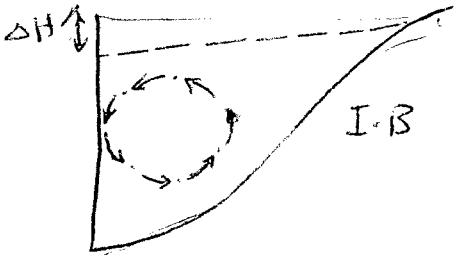


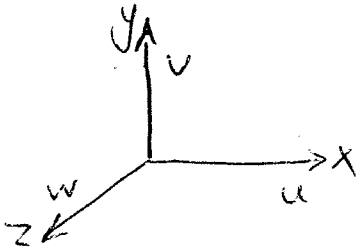
مقطع کانال مثلثی

$V_{max} = V_{0.2h}$

$\bar{V}$ روش چند نقطه‌ای $= (0.1 - 0.8) V_S$

در جریان‌های خیلی آشفته یک الگوی کاملاً چرخه‌ای (گردابه) Vortex اتفاق می‌افتد که در برخی از قوس‌ها خارج از





← در رودخانه $\bar{V} = \sqrt[3]{u^2 + v^2 + w^2}$

جریانی که بعد از یک حرکت مرکب جریان اولیه Initial flow گفته می‌شود و با جریان ثانویه (secondery flow) ایجاد می‌شود (در قوس رودخانه‌ها نیز جریان ثانویه مشاهده می‌شود)

← جهت مولینه‌ها در ۳ بعد که بر خلاف جهت جریان است از لوله pito که جهت ورود آب را نشان می‌دهد

← دستگاه VIP (Velocymetric Imaging processes) کامل، اکثر کارخانه‌ها و مراکز ابزار

Hec plot الگوی جریان (خطوط هم سرعت) را به خوبی نشان می‌دهد

VIP (سرعت سنج) سه دستگاه‌هایی که سرعت را در تمام جهات (V_x، V_y، V_z) اندازه‌گیری می‌کند

۳۵

River Training — ساماندهی رودخانه

watershed managment — مدیریت حوزه

River managment — مدیریت رودخانه

River Engineering — مهندسی رودخانه ← Alluvial fan

رودخانه جزئی از حوزه آبخیز فرض گرفته می‌شود.

واژه جامع به کل رودخانه برای این اساس که کلیه ابزار مورد استفاده در رودخانه به عنوان اجزای تشکیل دهنده رودخانه مرتبط گرفته شوند و اعمال هرگونه عملیاتی به طور مستقیم و غیرمستقیم در رودخانه به نحوی مرتبط گرفته شود که کلیه فرودی‌ها و اتهالی منبعث از اعمال عملیات یا رفتار رودخانه بعد از آن کاملا مکانیک و شناسایی شوند

براین اساس مدیریت رودخانه مجموعه اقدامات و عملیات مکانیکی و غیر مکانیکی را شامل می‌شود ولی مهندسی رودخانه از دیدگاه فقط مجموعه عملیاتی که به طور مستقیم جهت تاثیر بر جریان در بازه اصلی رودخانه انجام می‌شود را شامل می‌شود از آنجایی که اعمال مدیریت جامع در یک رودخانه مجموعه وسیعی از درگیری در رودخانه را اعم از وزارتخانه‌ها کشور راه و ترابری، شهرداری، مسکن و شهرسازی، جهاد کشاورزی و سایر دستگاه‌ها را در ارتباط با رودخانه شامل می‌شود اعمال چنین مدیریتی تنها بایستی در یک شورای عالی بر اساس طرح و مطابق یک طرح واحد صورت گیرد مدیریت با نهادهای متعدد و متفرق از هم باشد اعمال نمی‌شود این گونه مدیریت‌ها نوعی از فعالیت‌های جمعی را می‌طلبد که تنها به فرایندهای رودخانه‌ای اشراف کامل داشته باشند.

← اما مهندسی رودخانه به عنوان یک راه حل برای درک و شناخت فرایندهای رودخانه‌ای و ارائه راهکار و راه حل مناسب متعلق بر شرایط فرد، اقتضائات و اولویت‌هایی که در بازه مورد نظر می‌باشد. در انجام این مهم، مجموعه اقداماتی فرسایش‌های حاکم بر رودخانه اعم از کناری و بستر، شناسایی و متعلق بر تعلیم و بیان (Regulation) اقدام به اعمال پاره‌ای از عملیات مکانیکی و مهندسی نمایم

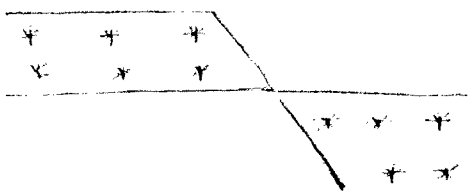
از این دیدگاه اقدام موضوع ساماندهی بستر رودخانه و یا کنترل فرسایش بستر مورد مطالعه قرار می‌گیرد:

← ساماندهی بستر رودخانه (روش‌های کنترل فرسایش در بستر رودخانه)

مورفولوژی رودخانه‌ها مانند تحت تاثیر عوامل متعددی یا دخالت‌های انسانی استخراج تغییرات مورفولوژیکی شدید کف فرسایش بستر یا کف‌کنی یا کوبیدگی بستر و مستقر از جمله آن‌هاست

عوامل متعددی باعث ایجاد تلفات کمی در رودخانه می‌شوند که شامل:

(عوامل دیگر هم هستند که در رودخانه)



1. حرکات تلفظ شکن و انواع نوسان‌های ناشی از آن
2. پایین آمدن تراز آب دریاها و دریاچه‌ها ← سطح تعادل تغییر می‌کند
3. زلزله‌های اشان ← برداشت شن و ماسه (منابع تغذیه)
4. احداث سازه روی رودخانه از قبیل سدسازی آب شکن و ... که باعث ایجاد تلفات می‌شوند

کاهش میزان رسوب ناشی از عملیات بهره‌برداری از قبیل تثبیت کناره‌ها، ایجاد میانبر حفاری در محل قوس‌ها، ... که باعث کاهش رسوب ورودی می‌شوند

اگر در حالت مدیریت رسوب آبگیر باعث رسوب‌گذاری شود در غیر این صورت باعث فرسایش بستر می‌شود

← داده‌ها باید ظرفیت انتقال رسوب رودخانه در پایین دست را افزایش دهد

۵. انجام عملیات آبگیری در نقاط خاکریزی رودخانه است و ...

باعث کاهش تغذیه رسوب و احیانا جریان‌های ثانویه نشتی و سطحی می‌شود

پایین دست سد چه پدیده فرسایشی در بستر رودخانه رخ می‌دهد؟

از دیدگاه هیدرولیک در پایین دست سد رسوب ورودی از رودخانه کمتر از حد پتانسیل انتقال یا ظرفیت حمل آن می‌باشد ایجاد می‌شود. این بستر رودخانه را می‌توان انتقال رسوب آب صاف نامید. با رابطه زیر بیان می‌کنیم:

← رابطه پیوستگی رسوب

$$\frac{\partial q_s}{\partial x} + \frac{\partial z_b}{\partial t} = 0 \qquad (1)$$

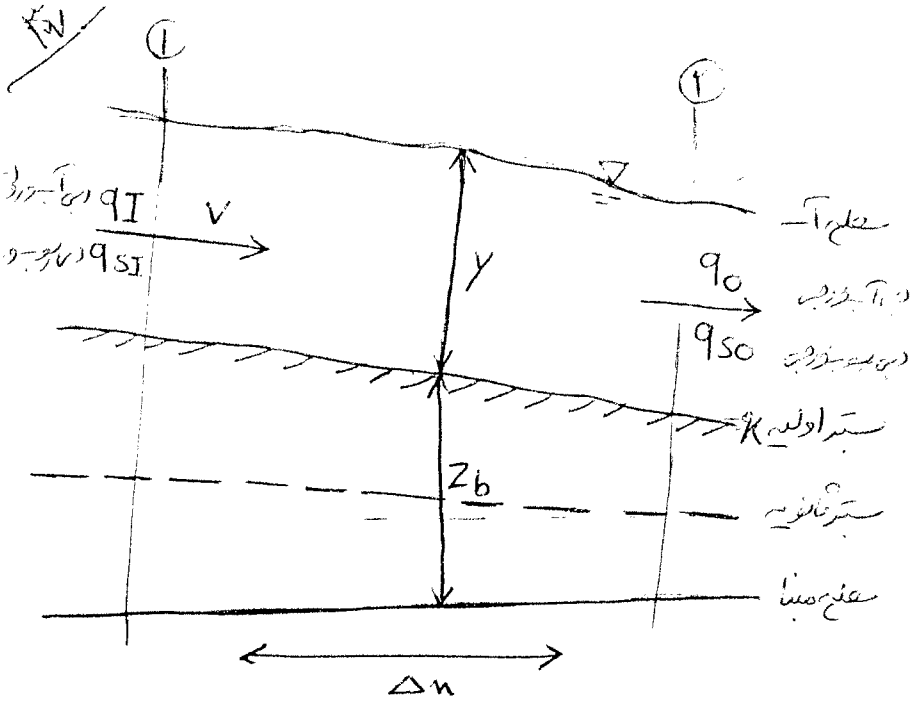
q_s ← مقدار بار رسوب حمل شده توسط رودخانه که شامل بار کف و بار معلق می‌شود (در واحد عرض)

z_b ← تراز بستر نسبت به سطح مبنا (Datum)

این رابطه بیان می‌کند که:

هرگونه تغییر در مقدار رسوب کف (بار کف) رودخانه (آب صاف) باعث تغییر در تراز بستر (فرسایش یا رسوب‌گذاری) می‌شود.

ناهمواری بستر رودخانه وجود ندارد / مشخصات هندسی و رسوبات بستر در طول رودخانه ثابت است.



تراز آب $h = z_b + y$

q_I و q_o به ترتیب دبی ورودی و خروجی از نوار به واحد عرض رودخانه (در جهت n)

q_{sI} و q_{so} به ترتیب دبی رسوب ورودی و خروجی در واحد عرض رودخانه می‌باشد

برای حل معادله ① و تعیین میزان گودافتادگی بستر رودخانه لازم است که شرایط هیدرولیک جریان مدنظر باشد به این منظور با بکارگیری معادلات پیوستگی جریان و معادله اندازه‌گیری حرکت استفاده کنیم

معادله حرکت به تغییرات سرعت نسبت به زمان و مکان

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v\frac{\partial v}{\partial n} + g\frac{\partial I_b}{\partial n} = -\frac{gv^2}{c^2 y} \quad (2)$$

Equation of motion

معادله پیوستگی جریان

$$\frac{\partial y}{\partial t} + y\frac{\partial v}{\partial n} + v\frac{\partial y}{\partial n} = 0 \quad (3)$$

v سرعت جریان ⇐ y عمق جریان g شتاب ثقل c ضریب شزی

علاوه بر این برای حل معادلات مذکور، مشخص کردن نرخ معادله انتقال رسوب ضروری است

حالت کلی معادله انتقال رسوب که بیشترین حمل رسوب در شرایط هیدرولیکی مشخص است معمولاً به صورت یک معادله غیر تعادلی

شرایط عدم تعادل حاکم بر رسوب

معادله انتقال رسوب $q_{ts} = f(V, D, S_s, n, V_c \cdots)$ (4) دبی رسوب

V سرعت جریان D اندازه دانه (بستر رودخانه) S_s چگالی ذرات n ضریب زبری مانینگ V_c سرعت آستانه حرکت

چنانچه این معادله با معادله پیوستگی رسوب ① ترکیب شوند خواهیم داشت:

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{df(v)}{dv}\frac{\partial v}{\partial n} = 0 \quad (5)$$

- بستگی به [illegible] پارامترهای dv ، dz_b به این صورت است:

$$dv = \frac{\partial v}{\partial n} dn + \frac{\partial v}{\partial t} dt \qquad (۶)$$

$$dy = \frac{\partial y}{\partial n} dn + \frac{\partial y}{\partial t} dt \qquad (۷)$$

$$dz_b = \frac{\partial z_b}{\partial n} dn + \frac{\partial z_b}{\partial t} dt \qquad (۸)$$

از حل همزمان معادلات شوق (۶ تا ۸) می‌توانیم تغییرات بستر و میزان گودافتادگی بستر یا کنش کف را برحسب پارامترهای زمان و مکان تعیین کنیم.

روشی اجزاء محدود ← limit Elements

با این مباحث مطرح شده می‌توانیم با یک تحلیل دقیق علمی میزان کنش بستر را محاسبه نمائیم

براساس این معادله = وضعیت جریان در رودخانه‌ها قابل شناسایی است و علاوه بر آن می‌توانیم در ارتباط با فرایند تقسیم‌گیری جریان در سه‌راهی رودخانه در رفتار شناسی یک رودخانه (جریان) به نحو مطلوب تصمیم‌گیری کنیم.

فرسایش بستر رودخانه به صورت کنیزی توسط معادله آنکاری Lane بیان می‌شود که:

$$Q_s S = Q_s D_{50} \quad \Rightarrow Q_s = \frac{Q \cdot S}{D_{50}}$$

در این رابطه Q دبی جریان، S شیب رودخانه، Q_s دبی رسوب و D_{50} قطر متغیر که از معادلات تشکیل دهنده بستر

= این معادله برای پیش‌بینی میزان گودافتادگی یا فرسایش بستر در سوگذاری خیلی مفید است

- براساس این معادله چنانچه به هر دلیلی میزان دبی رسوب کاهش پیدا کند و با فرض ثابت ماندن Q و D_{50} مطابق معادله لزوماً مقدار S یا شیب کانال باید به صورتی متعادل چنین کاهش پیدا می‌کند

- براین اساس می‌توان فرایندهای ناشی از گودافتادگی کف رودخانه ناشی از احداث سد و سایر موارد را تحلیل کرد

- [illegible] F. M Henderson معادله انتقال رسوب [illegible]

نرات را ثبت می‌کند) و با توجه به واحد عرض رابطه زیر را برای تحلیل رفتار فرسایش رودخانه ارائه داد.

$$q_s = \frac{q^2 s^2}{D^{\frac{3}{2}}}$$

q_s ← دبی رسوب در واحد عرض (رسوب ویژه)

q ← دبی جریان (آب) در واحد عرض

s ← شیب رودخانه

D ← قطر معرف ذرات (براساس صفحه گرانولومتری D_{50})

← براساس این رابطه شدت انتقال رسوب (q_s) با توان دوم شدت جریان (q دبی) رابطه مستقیم دارد و این پدیده در دبی‌های سیلابی تبادل انتقال رسوب را به نحو بسیار چشمگیری افزایش می‌دهد و باعث فرسایش و کنش کف (بستر) رودخانه می‌شود علاوه بر این در صورت کاهش عرض رودخانه و افزایش مقدار دبی ویژه جریان (q) مقدار شدت رسوب (q_s) افزایش پیدا می‌کند و در این شرایط برای برقراری حالت تعادل الزاماً باید مقدار s کاهش پیدا کند که ناچار را گود افتادگی بستر جریان را به همراه دارد و در اینجا شرایط برای ورود کارهای ساماندهی یا استفاده از عوامل فیزیکی برای پایدار کردن بستر فراهم می‌شود

مکانیسم فرسایش آبراهه‌ها تحت تأثیر این رسوب رودخانه‌ها متغیرترین قسمت اندازه‌گیری یا ارائه در دبی‌های سیلابی است برای این اساس با توجه به مقاومت حاکم بر جریان و رسوب می‌توانیم عوامل مقاومت فرسایش بستر را به صورت زیر با توجه به اهداف اساسی مهندسی رودخانه مرتبط گرفته و جنبش بر آن‌ها اقدام به ساماندهی رودخانه بکنیم.

← عوامل مختلف باعث ایجاد کف کنی و فرسایش بستر در رودخانه می‌شوند که براساس اهداف مهندسی رودخانه اصلی‌ترین عوامل به شرح زیر است:

1. فرسایش ناشی از تشدید کناره
2. فرسایش ناشی از کاهش عرض رودخانه — دبی ویژه ↑ شدت رسوب ↑
3. فرسایش ناشی از احداث سدهای مخزنی (ذخیره‌ای)
4. فرسایش ناشی از برداشت مصالح رودخانه‌ای (شن و ماسه)
5. فرسایش ناشی از اصلاح مسیر و حذف پیچان‌ها (میاندرها) — شیب ↑ شدت رسوب ↑

هرکدام از این عوامل ممکن است به طور انفرادی یا به صورت همزمان سیستم رودخانه را تحت تأثیر قرار دهد به همین علت استفاده از برنامه‌های نرم افزاری در تحلیل رفتار و فرایندهای رودخانه‌ای از قبیل پیش‌بینی روند گود افتادگی بستر همیشه توصیه می‌شود.

۱ در تنگه تنگ کنار ده ها بسیاری از آنها بگیرند این سوابل و کنار با کاربران قبل از تنگ به عنوان یکی از منابع تأمین کننده رسوب رودخانه تلقی می شدند پس از تنگ رودخانه برای ارضای پتانسیل انتقال خود از مواد بستری استفاده کرده و همین مسأله در مورد رودخانه های کوهستانی و نیمه کوهستانی که دارای پتانسیل انتقال رسوب بیشتری هستند بیشتر صدق پیدا می کند (ظرفیت انتقال براساس این وسیله قابل تعریف می شود)

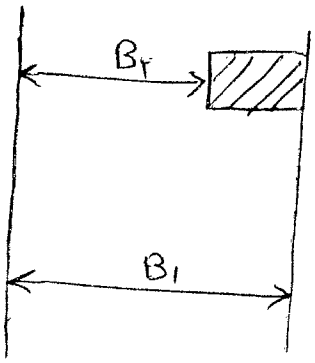
← تنگ کنار و کاهش رودخانه و ساماندهی آن به عنوان یکی از راهکارهای افزایش کشش بستر تلقی می شود و دلیل اصلی آن مبتنی برای شرایط است که رودخانه برای ارضای پتانسیل انتقال خود که در نتیجه ساماندهی کناره، کاهش پیدا کرده اقدام به برداشت از مصالح کف می کند و به مرور زمان تا رسیدن به حد ظرفیت انتقال گودافتادگی بستر را ادامه می دهد که در این زمینه کارهای تحقیقاتی بسیار زیادی انجام شده است

۲ کاهش عرض رودخانه (تنگ شدگی عرض بستر): که معمولاً به صورت مختلف از قبیل: احداث دیواره (یا آبشکن خاکریز (گوره) دیواره ای طولی و یا سایر حل سازی طراحی رودخانه ایجاد می شود به صورت مختلف باعث ایجاد شرایط جدید برای رودخانه می تواند شود

← روابط تجربی متعددی جهت برآورد میزان کنش بستر ناشی از تنگ شدگی توسط افراد مختلفی ارائه شده است:

۱ رابطه استراب straub برای تعیین شیب تعادل در شرایطی که تنگ شده

با استفاده از تعادل پارامتر دوبویز Dubooys یک رابطه برای تعیین شیب تعادل در یک بستر تنگ شده رودخانه ارائه کرد



$$\frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{B_2}{B_1}\right)^{\frac{1}{V}}$$

بر مبنای تغییر شیب و عرض

S_2 شیب ثانویه (بعد از تنگ شدگی) و S_1 شیب اولیه (قبل از تنگ شدگی) است

B_2 عرض رودخانه بعد از تغییر بستر و تنگ شدگی و B_1 عرض رودخانه قبل از تنگ شدگی است

از آنجایی که تغییر شیب موجب تغییر عمق و بالعکس هم می شود طبق رابطه استراب می توان رابطه ذیل را برای مقطع اصلی و تنگ شده بدست آورد

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{\frac{9}{14}}$$

Y_2 عمق ثانویه و Y_1 عمق اولیه است که Y_1 همیشه کمتر از Y_2 بوده چون عرض بیشتر بوده است پس کم می شود افزایش عمق ← این رابطه می شود

عیب این رابطه S_2 شیب که در بستر تنگ شده ایجاد می شود $B_1 - B_2$ طول سازه

۴ برداشت مصالح بالادست رودخانه یکی از عوامل عمده دخالت در تعادل رسوبی و در نتیجه گودافتادگی و کنش کف بستر محسوب می‌شود

با توجه به اینکه با برداشت و تخلیه رسوبات رودخانه بعلت بهم خوردن میزان تغذیه طبیعی و یا کاهش آن مرز بازه‌ی بالادست دخالت می‌شود و به تبع آن وضعیت برقراری تعادل بین خصوصیات هیدرولیکی و دینامیک انتقال رسوب رودخانه دچار کاهش می‌گردد. علاوه بر این در بازه‌ی بالادست با افزایش سرعت آب در محدوده‌ی زیر نقاط برداشت کف بستر شروع به شدت می‌شود. در این شرایط برای پیش بینی وضعیت بستر تعادل عوارض میزان افت بستر ناشی از برداشت می‌توانیم با استفاده از معادلات انتقال رسوب و حجم برداشت و میزان آورد رسوب، وضعیت بستر تعادل رودخانه را مشخص کنیم (حد مجاز برداشت مصالح را تعیین کنیم)

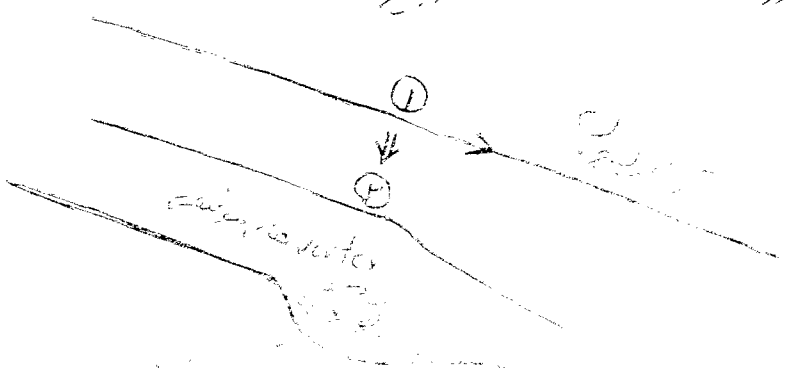
۵ در رابطه با فرسایش ناشی از احداث سد و حوضه پایین رودخانه می‌توان با توجه به ثابت بودن میزان تغذیه رسوب رودخانه و با عنایت به این موضوع که سد تحولات در جهت بازیافت شرایط اولیه (پایین) و حفظ پتانسیل انتقال خود باشد میزان گودافتادگی بستر را ارزیابی کرد

دره کف ← رسوبات جدا شده ← احداث سد ← کاهش ← کف بستر ← برگشت آب ← دریاچه رودخانه

حوضه پائین دست ← کاهش طول مسیر ← افزایش سرعت ← کنش کف

۳ فرسایش ناشی از احداث سد مخزنی در مورد رودخانه نیز میکرار بسیار اساسی می‌باشد که تغییرات اساسی در روی تراز کف رودخانه ایجاد می‌نماید به طوری که در قسمت سرآب با بالا آمدن تراز کف رودخانه ناشی از رسوبگذاری و در قسمت پایین دست با پایین افتادن کف رودخانه ناشی از کاهش ظرفیت انتقال صدمات اتفاق می‌افتد.

هر دو فرایند یعنی بالا آمدگی کف در سراب و گودافتادگی آن در پایاب تغییرات اساسی را در فرایند کلی حاکم بر جریان ایجاد می‌نماید که باید حتماً در برنامه‌ریزی سدسازی مدنظر قرار بگیرد



استفاده از پوشش گیاهی برای تثبیت رودخانه و کاهش خسارت

پوشش گیاهی ← تثبیت دیواره‌ها، کاهش سرعت جریان

← در آبراهه‌های مناطق جنگلی کاهش قابل توجه سرعت جریان کاهش یابد پس مهمترین فاکتور برای مدیریت آن کاهش سرعت آب

رعایت تخته سنگ‌ها در بستر رودخانه باعث افزایش ضریب زبری کف و کاهش سرعت جریان می‌شود

اسکلت‌بندی ← استفاده از تخته سنگ برای پایدارکردن کناره‌های رودخانه

رابطه رارسن : براساس معادله انتقال رسوب، رسوبات را بر مبنای عمق جریان و شیب ارائه می‌دهد

$$\frac{S_1}{S_2} = \left(\frac{Q_t}{Q_c}\right)^{\frac{2}{7}} \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{\frac{2}{7}} \left(\frac{3a-1}{a+3}\right)$$

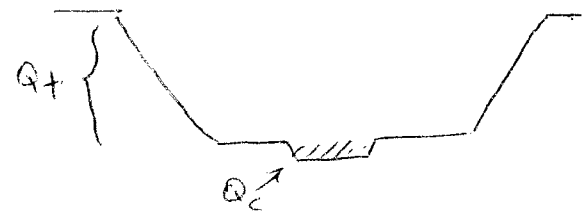
$$\frac{Y_2}{Y_1} = \left(\frac{Q_t}{Q_c}\right)^{\frac{2}{7}} \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{\frac{1}{7}} \left(\frac{a+2}{a+3}\right)$$

S_1 شیب اولیه و S_2 شیب ثانویه

Y_1 عمق اولیه و Y_2 عمق ثانویه

B_1 عرض اولیه و B_2 عرض ثانویه

Q_t کل دبی جریان و Q_c دبی اصلی کانال



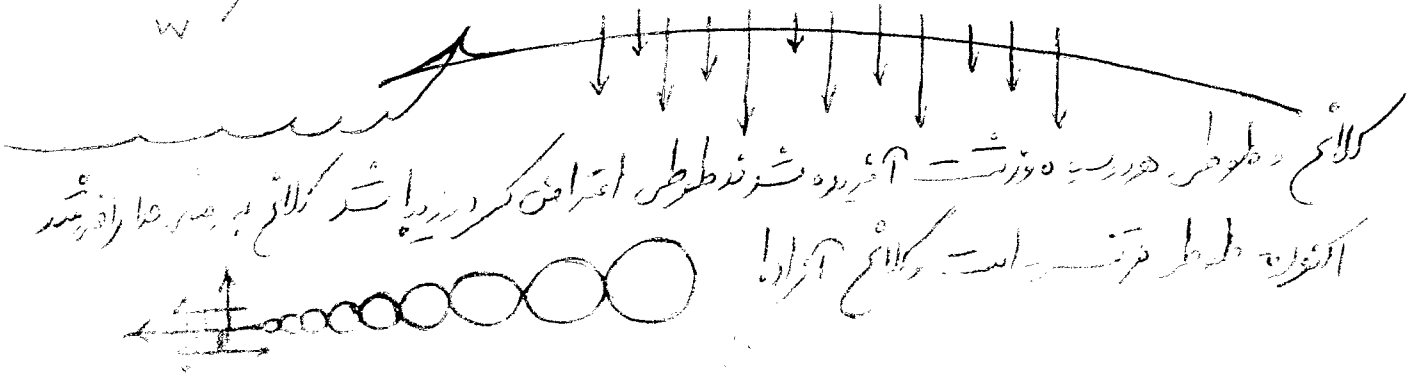
a با استفاده از روابط زیر بدست می‌آید :

V_* سرعت برشی و W عرض جریان

$$\frac{V_*}{W} < \frac{1}{2} \rightarrow a = \frac{1}{4}$$

$$\frac{V_*}{W} = 1 \rightarrow a = 1$$

$$\frac{V_*}{W} > 2 \rightarrow a = \frac{9}{4}$$



کرکانی : طوری هرزه‌آب موزائیک آفریده شده‌اند طوری اعتراض کرده‌اند باشد کرکانی به صورت ارائه شده

اکنون طوری مرتب است کرکانی آزاد!

روش‌های کنترل فرسایش در بستر : براساس دو اصل کلی کنترل فرسایش در بستر رودخانه انجام می‌شود.

۱) کنترل فرسایش با افزایش مقاومت بستر در مقابل نیروی برشی جریان یا افزایش ضریب زبری

۲) کنترل فرسایش با کاهش پتانسیل انتقال و یا افزایش سطح آب (تعریض جریان)

مرحله اول براساس افزایش نیروی مقاومت مواد تشکیل دهنده بستر استوار است.

ایجاد لایه حفاظتی (Armor) یا قشر حفاظتی با استفاده از سنگفرشه سنگ از جمله اقداماتی است که در این زمینه استفاده می‌شود برای رسیدن به مقاومت بستر باید قطر متوسط سنگ‌ها را طوری انتخاب کرد که محاسبه شود برای این منظور جهت تعیین اندازه بهینه سنگ‌ها روش‌های مختلفی ارائه شده است.

← تعیین اندازه بهینه سنگ‌ها

۱) روش یا معادله شیلدز ← قطر پایدار مصالح را در رودخانه محاسبه می‌کند (قطری که با دوره بازگشت معین قابل انتقال نیست)

$$\frac{\gamma s}{(SS-1)D} = 0.03$$

$$D = 20.2\, \gamma s$$

γ عمق جریان m s شیب رودخانه

D قطر متوسط سنگ‌های پایدار مرکف رودخانه m

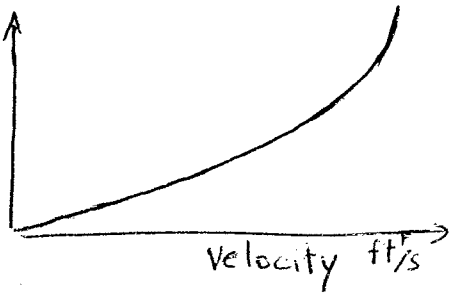
S_s چگالی سنگ‌ها $S_s = 2.65\ gr/cm^3$ یا ton/m^3

۲) روش یا رابطه ایزباش Isbash ← برای تعیین قطر پایداری (قطر سنگ‌های پایدار)

$$D = 0.0418\, V^2$$

V میانگین سرعت جریان با دوره بازگشت معین برحسب m/s

Isbash curve



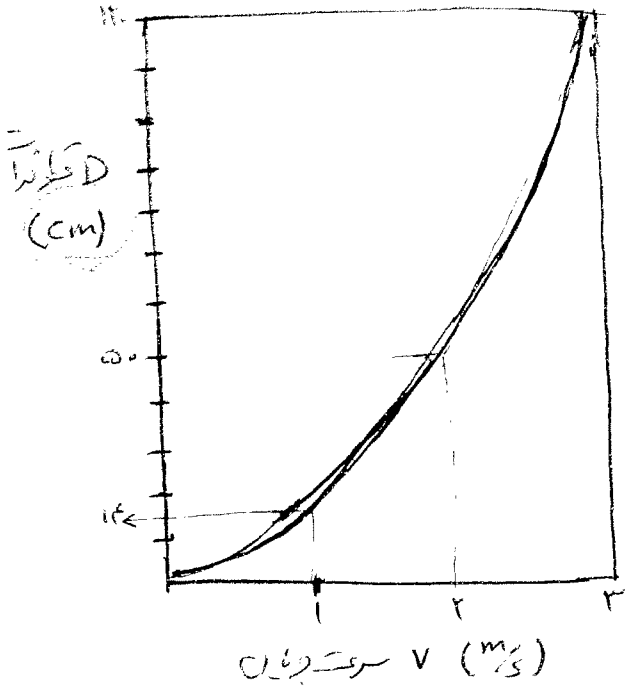
۳) روش یا رابطه میناورد Maynord ← بر مبنای سرعت و عمق جریان

$$\frac{D_{50}}{\gamma} = 0.22\, Fr^3$$

D_{50} میانگین قطرات m (قطر پایدار ذرات)

γ عمق جریان m

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g\gamma}}$$



۴) گراف U.S.B.R

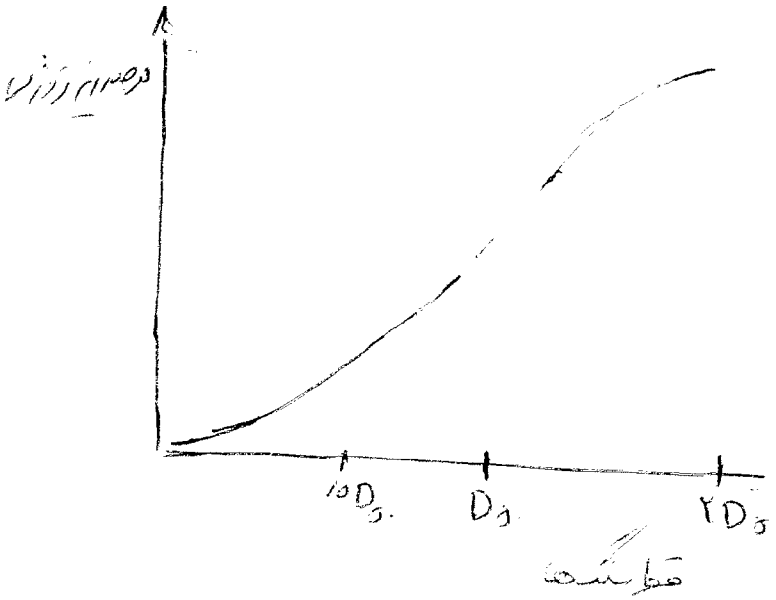
United state Bureau Reclamation

مرکز تحقیقات عمران آب آمریکا

خیلی کامل استفاده است و برمبنای سرعت جریان تواسنگ را برابر است مرا آورد.

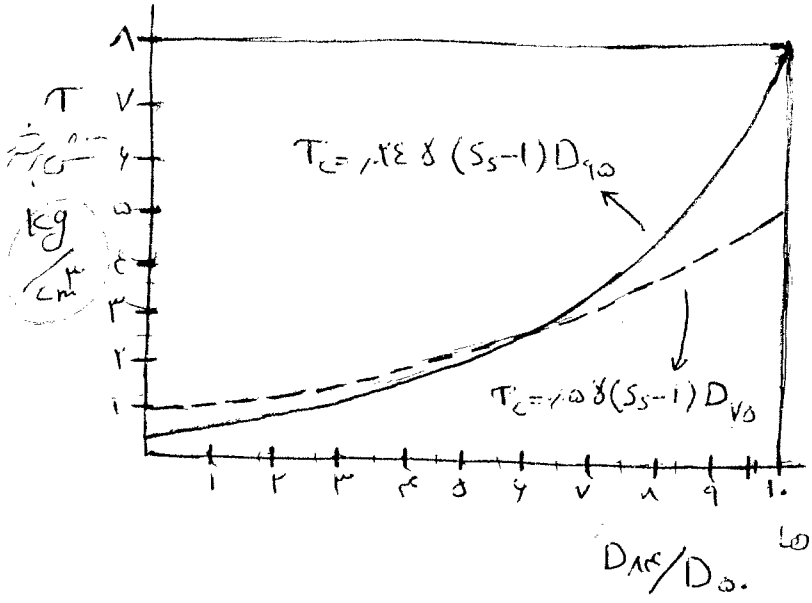
ترکیب دانه بندی مصالح:

با توجه به اینکه اغلب رنگ پیمان کننده ترجیح می دهند حتی الامکان از مصالح موجود با کمترین ترکیب دانه بندی نیز به خواستند تا در این زمینه صرفه جویی ایجاد شده که نوع رابطه بین قطر سنگ ها و درصد وزنی آن ها در شکل زیر داده شده است.



⇐ با توجه به دانه بندی یا پایداری که با استفاده از روش های مختلف بدست مرآید می توانیم جهت استفاده حداکثر از مصالح موجود ترکیب مناسبی از دانه بندی های (مصالح) را داشته باشیم که این ترکیب با توجه به شاخص های پایداری و یا اینکه با استفاده از روابط تجربی که منجر به ارائه منحنی های پایداری شده اند قابل وصول باشد. ولی به طور کلی بدست آمده شکل بهتر است که بیشتر بر آن نیز قطر پایداری محاسبه شده است درصد ترکیب سنگ های مورد استفاده از مصالح معادن مختلف بعدی که بر شرایطی که ضخامت سنگ های موجود و حجم و سطح تماس آن ها را پایدار باشد دانه بندی (گرانولومتری) مصالح موجود از استفاده می کنند بدست آمده مصالح پی دانه باشد درغیر اینصورت هرچه شکل معادل به سمت کروی بودن پیش رود محدوده تغییرات قطر ذرات نمی تواند خیلی زیاد باشد

← معیار پایداری گسلر Gessler



$$T_c = f\left(\frac{D_{84}}{D_{50}}\right)$$

T_c ← تنش برشی بحرانی

D_{84} ← قطری که ۸۴٪ ذرات از آن کمتر هستند

γ ← وزن مخصوص آب

S_s ← وزن مخصوص سنگ

آقای گسلر با استفاده از منحنی های شیلدز نسبت بین D_{84}/D_{50} ذرات یک سنگدانه مورد استفاده در بستر را بصورت تابعی از تنش برشی بحرانی نشان می دهد که به عنوان معیاری برای پایداری سنگ ها در نظر گرفته می شود.

حالت دوم: کنترل فرسایش بستر با کاهش پتانسیل انتقال یا افزایش تراز سطح آب

با توجه به اینکه کنترل فرسایش در بستر رودخانه همانند غالب موانع نیاز به در نظر گرفتن شرایط جدید برای رودخانه از قبیل انحراف جریان و یا کاهش آن می باشد لذا راه حل اول کنترل فرسایش که مبتنی به استفاده از سنگ های درحد اندازه پایداری می باشد راه حل کم هزینه تر و مقبول تری می باشد ولی در بسیاری از شرایط به علل متفاوت اعم از در دسترس نبودن مصالح مورد نیاز و یا خسارتی که ناشی از کنترل فرسایش کف ایجاد می شود ناچاریم با دخالت مستقیم در بستر رودخانه و با هزینه های گزاف ولی با استفاده از روش های فنی و منطبق بر شرایط رودخانه نسبت به جلوگیری از کف کنی اقدام کنیم.

در این حالت روش های متداول که وجود دارد استفاده از سازه هایی است که باعث افزایش تراز سطح آب، کاهش شیب انرژی یا تثبیت شیب بستر در حد معینی می شود که در جهات منجر به افت پتانسیل انتقال و برقراری حالت تعادل مورد نظر می شود (هدف نهایی رساندن شیب به شیب تعادل است)

سازه هایی که استفاده از آنها کف را مسلح می کنند

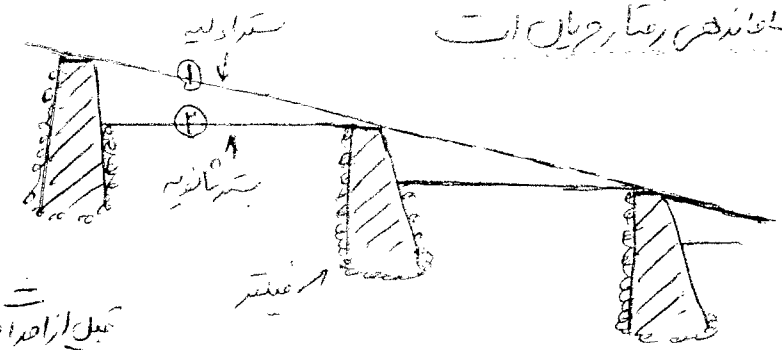
۱) سیل (آستانه) Sill

۲) شیب شکن Drop

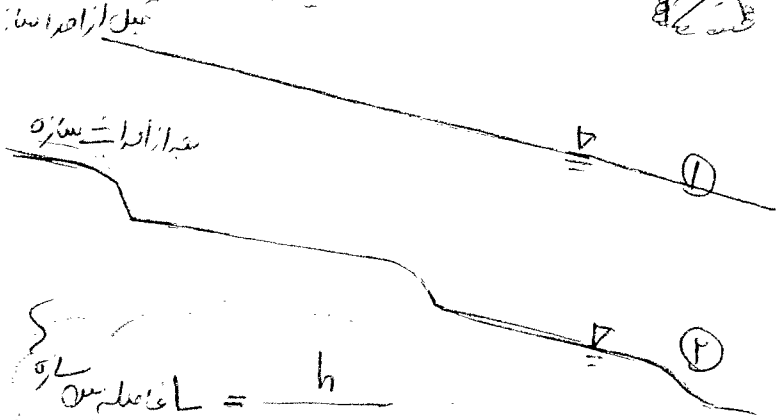
۳) سرریز Weir

۱ سیل‌ها سازه‌هایی متقاطع هستند که معمولاً هم‌راستا با محور راه و تا زیر راه ادامه می‌یابند

هدف از بکارگیری آن‌ها ترمیم بستر و ساماندهی رفتار رودخانه است



این سازه‌ها معمولاً به صورت صلب (بتن، سنگ، ملات سیمان) و یا انعطاف‌پذیر (گابیون و ...) در کف بستر رودخانه احداث می‌شوند



معیار طراحی در این قسمت همانند سازه‌های سرراه است با این تفاوت که آبراهه در آبگیرها عریض‌تر می‌باشد. در این شرایط هدف غالب از احداث سازه جلوگیری از کنش کف می‌باشد به نحوی که شیب ① به شیب ② تقلیل پیدا کند. در این شرایط جابجایی ذرات انجام نمی‌شود.

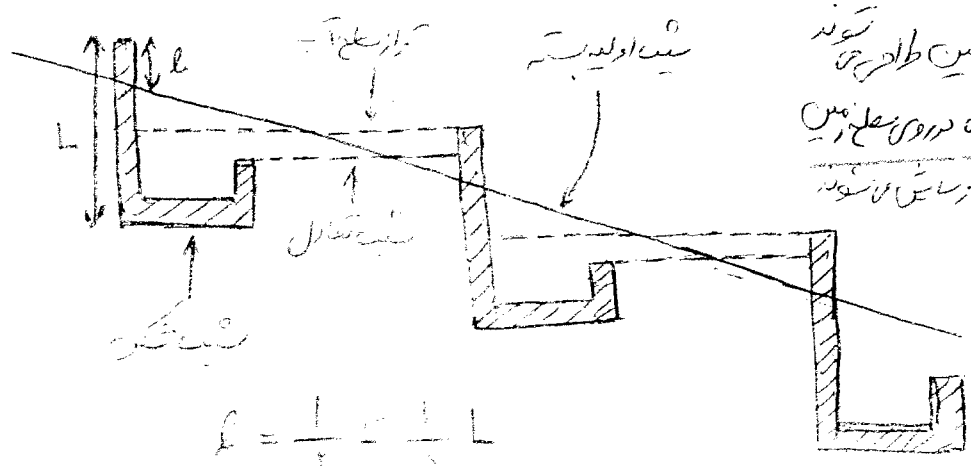
ارتفاع سازه برمبنای حداکثر عمق کنش می‌باشد

$$L = \frac{h}{P - P'}$$ عامل سیل سازه

سیل‌های سازه‌ای هستند که زیر زمین ساخته می‌شوند و سرریز آن‌ها منطبق با کف رودخانه است

استفاده از سیلبند در نقاط مختلف طرفین برای کاهش انتقال ذرات نیز موثر است (کاهش پایپینگ)

۲ شیب‌شکن: در این حالت با توجه به اینکه وضعیت رودخانه مخصوصاً در شرایط کوهستانی به نحوی می‌باشد که با شیب تند و سرعت زیاد کنش بستر انجام می‌شود و مواد جابجا می‌شود. در این شرایط سازه‌هایی همانند سیل در زیر زمین ولی با تاجی بالاتر از کف رودخانه، احداث می‌شود و در قسمت پایاب نیز با پتری دقیقاً عرضی آرایش متصل به بستر اصلی طراحی گردد.



شیب‌شکن‌ها همانند سیل‌ها در زیر زمین طراحی می‌شوند

فقط به اندازه حدود $\frac{1}{5}$ ارتفاع سازه در روی سطح زمین به عنوان مانع عمل نموده و فقط کنترل فرسایش می‌شود

(مرتفعی مانع تا $\frac{1}{2}$ نیز می‌باشد)

غالباً استفاده از سنگ‌های تخریبی سنگر اگابیون

$L = \frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$

← شیب شکن برای رودخانه هایی که کف بستر به صورت مستمر ایجاد می شود و بار انتقال زیاد است استفاده می شود

درگاه $L = \frac{1}{2}$ انتخاب شود شیب شکن نقش خود را بازی می کند و استفاده از آن (برای رودخانه هایی که کف کن مستمر است و بار رودخانه زیاد است) مناسب می باشد.

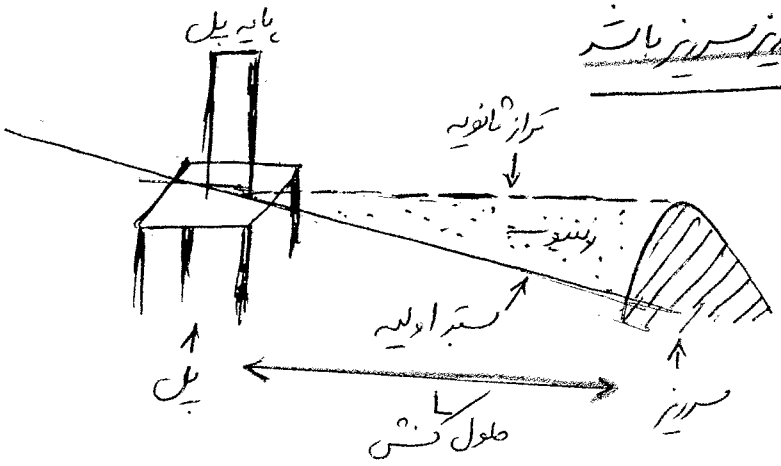
← مزایای استفاده از شیب شکن ها نسبت به سیل بند ها اطمینان بالای کامل از عدم کنش کف رودخانه می باشد ولی با توجه به هزینه و وضعیت کف بندی هزینه بالاتر دارد.

ارتفاع خاکریز دست برای عمق کنش پایاب در نظر گرفته می شود

← وزن مخصوص خاک بیشتر از حالت خاک دست خورده است

۳ سرریزها: در بسیاری از مناطق در نتیجه احداث یا دست کاری های بستر ابنیه ای از قبیل پایه های پل شرایط جریان به نحوی می گردد که با گذشت زمان، کف کن رودخانه در محل پایه های پل شروع و پل در معرض خطر قرار می گیرد. در این شرایط برای جلوگیری از انجام کف کن معمولاً در قسمت پایین دست پایه پل توصیه به ساخت سرریزهایی می گردد که تراز رقوم تاج سرریز مساوی یا تراز رقوم اولیه بستر قبل از احداث پل باشد

بایستی: کف کف بند پل همپای کف سرریز سرریز باشد



هرگاه سرریز بالاتر از حد مجاز زده شود پل غرق خواهد شد

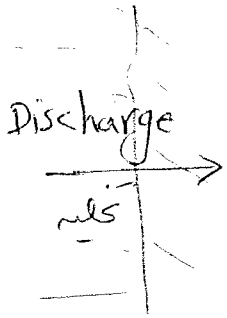
در ازای فاصله کوتاه هر نظر گرفته شده و ارتفاع هم بیشتر بود ← پل غرق شده

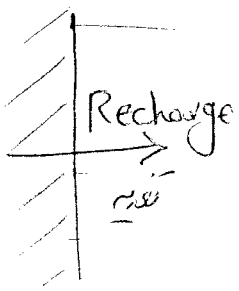
← براساس طول کنش در نظر گرفته می شود که در جهت عمق پایاب به پایه پل بیشتر است که اگر فاصله از ابتدا تا انتهای کنش ها را L بگیریم برای پایداری و ترسیب رسوب بهترین حالت است

← در حال سرریز تنها یک سازه می سازیم ولی برای سیل چند سازه که در نهایت باعث یکنواختی شدن بستر رودخانه خواهد شد احداث می گردد.

تثبیت دیواره یا کناره رودخانه

وقتی کانال‌ها مستعرق می‌شود در دبی‌های با دوره بازگشت بالا قانون ارشمیدس صدق می‌کند در جاهائیکه دانه‌بندی پیوسته باشد وقتی جریان زیاد باشد و رودخانه مستغرق شد دیواره‌ها سبک می‌شود و فرو می‌ریزند و رودخانه‌ها عریض می‌شود و حاشیه دیواره‌ها به صورت ستونی جدا می‌شود.





با بسترسازی خیلی مواقع می‌توانیم دیواره را تثبیت کرد

توصیه می‌شود در مناطق خشک در اطراف رودخانه چاه بزنیم تا در مواقع سرریز رودخانه چاه‌ها تغذیه شوند.

آقای Shew در سال ۱۹۷۳ اعلام کرد که کارهای رودخانه‌ای غیر اقتصادی است ولی الان این طور نیست.

به طور کلی تثبیت رودخانه ها و حفاظت کناره‌ها جز مسائل پیچیده مهندسی رودخانه است که از بحث‌های مختلف علمی فنی اقتصادی و زیباشناختی مورد بحث است و با توجه به وجود متغیرهای فراوان و مختلف تاکنون راه‌حل واحدی برای آنها ارائه نشده است تا همین زمان‌های اخیر مباحث مهندسی رودخانه به صورت غیراقتصادی برآورد می‌شدند و هزینه‌ها را بیشتر از درآمدها می‌دانستند اما با توجه به نیاز بیشتر استفاده از رودخانه و با ارائه روش‌هایی نوین مهندسی رودخانه، این فعالیت‌ها کاملا اقتصادی و بسیار ضروری توصیه شدند.

حفاظت دیواره و تقبیت کناره‌های رودخانه مجموعه عملیاتی است که با کاربرد عملیات ساختمانی، بیولوژیک، طبیعی و یا تلفیقی از آنها دیواره‌های جانبی رودخانه در امتداد یک راستای مشخص ساماندهی و حفظ می‌شود و براساس اهداف متفاوتی که عملیات مهندسی رودخانه انجام می‌شود روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به اینکه پروژه‌های تثبیت کناره رودخانه با مسائل بسیار پیچیده فنی، اقتصادی و اجتماعی مواجه هستند لذا برای شروع یک پروژه بایستی ابتدا خطوط اصلی پروژه را مشخص نمود ازآنجایی که اهداف اصلی تثبیت کناره شامل: ۱ـ کنترل فرسایش کناری ۲ـ زیباسازی ۳ـ مهیا نمودن شریط برای کشتیرانی ۴ـ حفظ تاسیسات و جاده‌ها (جلوگیری از خسارات ناشی از پیشروی آب به سمت تاسیسات و را ه‌ها و ساختمان‌ها) ۵ـ کنترل سیلاب و کاهش خطر سیل گرفتگی اراضی دشت سیلابی ۶ـ جلوگیری از تخریب تاسیساتی که به صورت موضعی در رودخانه ایجاد می‌شوند اهداف اصلی مهندسی رودخانه می‌باشند.

تجارب نشان می‌دهدکه در مناطقی که به صورت موضعی عملیات تثبیت انجام شده، پروژه‌ها عموماً آسیب‌پذیر هستند و خیلی زود تاثیر خود را از دست داده‌اند لذا موفقیت این‌گونه پروژه‌ها بستگی به در نظر گرفتن دو اصلی مهم است:

۱ـ **انتخاب راستای مسیر:** در اینجا توصیه می‌شود که حتماً در انتخاب راستای پروژه از الگوی حاکم بر رودخانه‌های پایدار استفاده شود و یا اینکه از الگوی حاکم همان رودخانه ولی در یک بازه طولانی‌تر استفاده شود (تبعیت شود)

۲ـ با انجام عملیات اصلاحی و با ایجاد هندسه هیدرولیکی بازه اصلاح شده از قبیل خصوصیات مارپیچی، شیب، ابعاد سطح مقطع، بیلان دبی رسوب رودخانه در طول بازه موردنظر تغییر قابل ملاحظه‌ای پیدا نکند.

با در نظر گرفتن این دو اصل، جهت اجرای یک پروژه بایستی عواملی که در طراحی سازه‌ها به منظور تثبیت دیواره‌های رودخانه موثرند تعریف یا شناخته شوند که عبارتند از:

۱ـ **راستای رودخانه:** تنظیم راستا و امتداد دیواره‌ها نسبت به یک محور مناسب جزء اولین نیازهای اجرای یک پروژه تثبیت کناره می‌باشد که به آن خط پروژه می‌گویند. به طور کلی از ایجاد بازه‌های مستقیم با انحنای کم باید پرهیز کرد چون این انحنای جزئی شرایط را برای حضور جریان‌های مخرب مهیا می‌کند.

در این صورت رودخانه در مسیری مارپیچی متشکل از سری پیچ متوالی شروع به حرکت نموده و حجم زیادی از رسوبات به اراضی کم شیب و یا اراضی کشاورزی ته‌نشست پیدا می‌کنند.

۲ـ **انحنای رودخانه:** به طور کلی شعاع انحنای مسیر جدیدی که برای رودخانه در نظر می‌گیریم بایستی در حد میانگین شعاع انحنای مختلف پیچ‌ها و قوس‌های پایدار رودخانه باشد. به طور کلی هرچه پیچ تندتر باشد عمق دیواره‌های خارجی تا قوس خارجی افزایش پیدا می‌کند و امکان تخریب سازه‌های حفاظتی بیشتر می‌شود. از جنبه اقتصادی نیز رابطه بین شعاع انحنا با حداکثر عمق (عمق ماکزیمم) دیواره یا قوس خارجی را با هزینه ساخت و نگهداری سازه‌های حفاظتی بررسی می‌کند و شعاع انحنای بهینه را بدست می‌آورند.

اجرای طرح پیچ‌های تند تنها در شرایط خاص و در شرایطی که محدودیت‌های جانبی وجود دارد نظیر کانال، جاده یا در شرایط مناسب پیچ پایدار برای رودخانه مجاز است و در این صورت نیاز به کارهای حفاظتی خیلی بیشتری خواهد بود از طرف دیگر شعاع انحنای خیلی زیاد هم مطلوب نیست.

حداکثر شعاع انحنا برای رودخانه‌های کوهستانی و نیمه کوهستانی بالادست حوزه ۴۸۰۰m برای رودخانه‌های آبرفتی (سیلاب دشتی) ۷۲۰۰m و برای کشتیرانی حداقل شعاع انحنا را حدود ۲۵۰۰m در نظر می‌گیرند.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که شعاع انحنا (R) ضریبی از عرض رودخانه (W) است بر این اساس آقای لئوپولد پیشنهاد کرد که نسبت $\frac{R}{W}$ رودخانه حدوداً بین ۳/۴-۱/۴ در رودخانه‌های مختلف است.

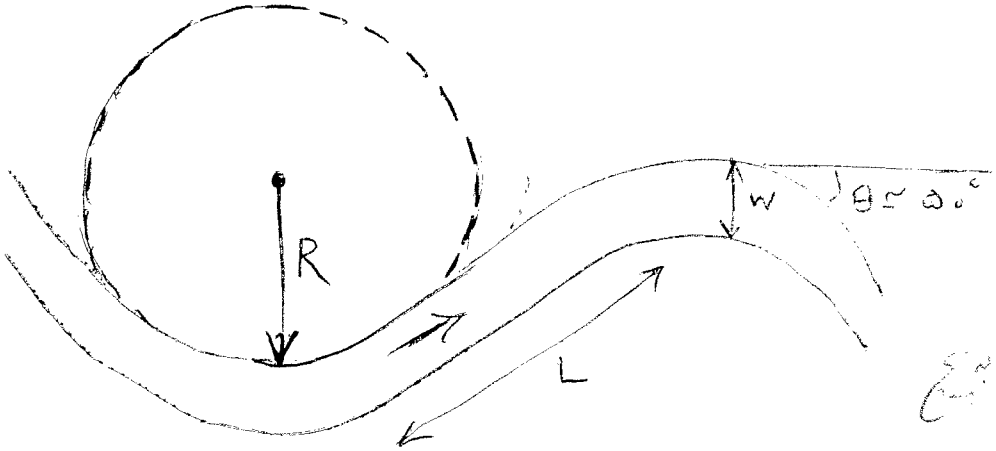
در بعضی از رودخانه‌های دنیا محدوده این نسبت از ۱۰-۱/۵ نیز پیشنهاد شده است ولی تمایل بیشتر رودخانه‌ها دستیابی به نسبت $\frac{R}{W}$ بین ۳-۱/۵ می‌باشد.

از طرفی حدفاصل بین دو قوس یا پیچ متوالی نباید به حدی باشد که یک بازه مستقیم و طولانی ایجاد شود طول مطلوب و بهینه که در این قسمت با استفاده از نتایج آزمایشگاهی بدست آمده در حدود ۴-۲ برابر عرض رودخانه پیشنهاد می‌شود.

$L \approx (2_4)W$

بر همین اساس طول موج پایدار رودخانه (λ) در حدود ۱۱-۷ برابر عرض مقطع پر رودخانه باشد .

برای وصول به این شرایط مطالعه انجام شده نشان می‌دهد $\lambda \approx (7_11)W$ که حداکثر زاویه پیچ در حدود ۵۰ درجه باشد.



زاویه ورودی به پیچ (زاویه حمله جریان آب) عبارتست از زاویه بین خطوط اصلی جریان با خط مماس بر دیواره رودخانه در محل پیچ

بر این اساس زاویه ورودی مناسب برای شرایط طبیعی کمتر از ۱۵ درجه توصیه می‌شود و زاویه مناسب است و تنها در شرایطی که دیواره‌ها با سازه‌هایی از نوع روکش های Revetment حفاظت شوند تا ۲۵ درجه نیز است.

چنانچه زاویه بیشتر از ۳۰ درجه باشد اثرات تخریبی آب روی دیواره تشدید می‌شود و بایستی از سازه‌های مقاوم‌تر استفاده کنیم که پروژه غیراقتصادی می‌شود و وقتی که زاویه به ۴۵ درجه برسد تغییرات جهت جریان شدید است و نابهنجاری‌های بسیار زیاد از نوع تلاطم جریان با قسمت‌های پایین دست ایجاد خواهد شد و قسمت‌های پایین دست در عرض خطر قرار دارد.

آقای Shew زاویه را برای شرایط حفاظت نشده جریان ۱۰ درجه و برای حالتی که با روکش حفاظت می‌شود ۲۵ درجه می‌داند (حداکثر)

۴ـ **شیب و ضریب مارپیچی رودخانه:** به عنوان یک قاعده کلی در طرح‌های مهندسی رودخانه یا پروژه‌های تثبیت و حفاظت دیواره یا کناره رودخانه، ضریب مارپیچی و به تبع آن شیب رودخانه تغییر پیدا می‌کند ولی در هر حالت بایستی منطبق بر رابطه روبرو باشد $P_1 S_1 = P_2 S_2$

P_1 و P_2 مقدار ضریب مارپیچی قبل و بعد از اجرای علمیات اصلاحی S_1 و S_2 مقدار شیب رودخانه قبل و بعد از اجرا مبتنی بر رابطه فوق چنانچه ضریب مارپیچی بعد از اجرای پروژه حفاظت کناره کاهش پیدا کند شیب رودخانه افزایش می‌یابد و در نتیجه رودخانه تمایل به شریانی شدن پیدا می‌کند و در این حالت ناچارا بایستی در پروژه ساماندهی هر دو کناره روبروی بازه موردنظر تحت عملیات تثبیت قرار گیرد (حفاظت دیواره‌های طرفین رودخانه مدنظر قرار گیرد)

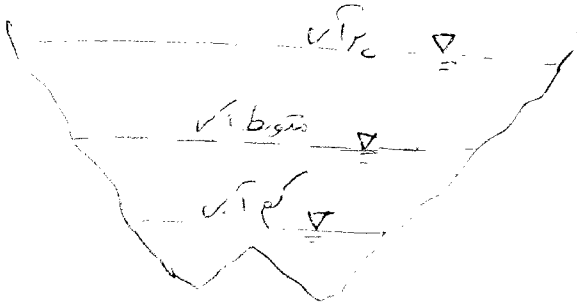
۵ـ **نقاط تثبیت:** سازه‌های حفاظت دیواره یا کناره رودخانه بایستی از یک نقطه مقاوم به فرسایش به بالادست بازه موردنظر با توجه به طول بازه عملیات شروع و در یک نقطه مشخص (مقاوم به فرسایش دیگر) در انتهای بازه موردنظر خاتمه یابد در صورت فقدان شرایط فوق (نبود نقاط مقاوم در شروع و خاتمه بازه موردنظر) سازه باید از نقطه‌ای در بالادست محلی که سرعت جریان در تماس با دیواره زیاد است شروع گردد و به خوبی در دیواره قفل گردد تا اثرات تغییرات ناشی از ایجاد جریان‌های گردابه‌ای و تلاظم جریان در بالادست سازه که باعث پدیده تخریب و غارکنی (حفره‌زایی cavitation) و تخریب کناره می‌شود جلوگیری شود به همین طریق در پایین دست محل اجرای پروژه نیز منطقه انتهایی را طوری تعریف می‌کنیم که سازه ایجاد شده تاثیر نامطلوبی را در خصوصیات جریان و مخصوصاً ایجاد جریان گردابه‌ای بوجود نیاورد.

معمولاً به اندازه ۲ برابر ارتفاع اولیه سازه را از محل اصلاح فاصله گرفته و نقطه مقاوم اول را مشخص می‌کنند.

۶- **عرض رودخانه:** تغییر در عرض رودخانه به طور کلی روی فرایند فرسایش و رسوبگذاری و یا خصوصیات و الگوی جریان تاثیر می‌گذارد به همین دلیل رودخانه بایستی به اندازه کافی عریض باشد تا آبشستگی بطور عمقی (تا عمق زیادی) گسترش پیدا نکند و ظرفیت انتقال هم کافی باشد.

از طرف دیگر رودخانه به اندازه کافی منقبض یا کم عرض باشد تا بعد از شرایط سیلابی که مواد جامد یا همراه جریان، یا ته‌نشست مواد باعث ایجاد جزایر یا نقاط رسوبی نشود (شرایط آبگرفتگی مهیا نشود)

۷- **دبی جریان و ارتفاع سطح آب:** در یک سطح مقطع عرضی رودخانه معمولاً برای عملیات تثبیت کناره رودخانه بایستی ۳ نوع دبی و ارتفاع سطح آب از یکدیگر تفکیک شوند.



۱- دبی در مواقع کم آبی (دبی پایه)

۲- دبی میانگین و متوسط آبی

۳- دبی پر آبی (سیلابی)

اهمیت تفکیک این ۳ دبی در تفاوت کاربرد روش‌ها و نحوه حفاظت دیواره‌ها می‌باشد.

به طور کلی معمولاً تا ارتفاع سطح کم آبی دیواره به طور دائم و مستمر اشباع و تحت تاثیر پدیده تنش برش جریان تا ارتفاع کم آبی است و پدیده فرسایش پنجه‌ای در رودخانه معمولاً تا یان عمق اتفاق می‌افتد لذا حفاظت این بخش الزامی است.

از این حد تا ارتفاع سطح جریان نوسانات سطح آبی به طور متناوب اتفاق می‌افتد و اثرات نوسان‌تر از سطح آب و تنش برشی پارامترهای مهمی می‌باشند که باید در نظر گرفته شوند.

اما در مرحله پرآبی (شرایط سیلابی) معمولاًدیواره‌های سطح مقطع اصلی رودخانه بندرت و فقط در مواقع سیلابی دچار آبگرفتگی و تخریب می‌شوند.

لذا بر این اساس اساسی‌ترین بخش که باید به نحو مطلوب حفاظت شوند بخش کم‌آبی، بعد از آن بخش متوسط آبی و بخش پرآبی وقتی حفاظت می‌شود که بستگی به اهمیت موضوع و تحلیل اقتصادی و اجتماعی عملیات حفاظتی انجام می‌شود (حفاظت دیواره تا ارتفاع سطح کم آبی و متوسط آبی ضرورت است و دیواره سطح پرآبی بستگی به شرایط اقتصادی دارد)

پایان نامه خانم مهندس موسویان ← برآورد خسارت سیل

وزارت نیرو دوره بازگشت ۲۵ ساله را برای تعیین خسارت سیل و تعیین حریم رودخانه مشخص کرده است.

پایان نامه خانم بخشایی ← تایید دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال در حریم رودخانه

دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال حداکثر خسارت را دارد.

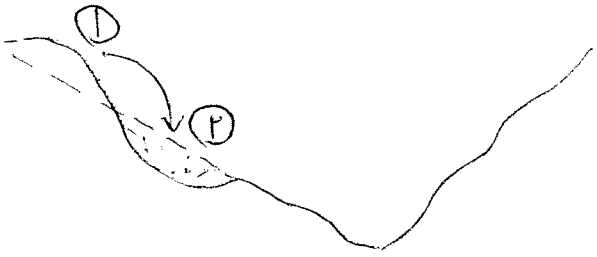
نرم‌افزارهای مربوط نیز نسبت به تراز رودخانه پهنه‌بندی‌های مختلف خط را بیان می‌کند (کم‌خطر، پرخطر و ...) و کاربری هر کدام از آنها را بیان می‌کند.

۸ـ ارتفاع سازه: به طور کلی اگر دیواره در جهت جریان باشد سعی می‌شود ارتفاع آن از سمت بالادست به پایین دست کاهش یابد (ارتفاع دپی از سازه اول در جهت جریان به سمت پایین دست کم می‌شود)

برای اینکه ا رتفاع موثر سازه تعیین شود بایستی با استفاده از اطلاعات دبی جریان در دوره بازگشت موردنظر اقدام به روندیابی سیل Flood Routing (ردیابی) در محدوده موردنظر نماییم و مبتنی بر ارتفاع بدست آمده در نقاط مختلف ارتفاع سازه تعیین شود. (روندیابی سیل تراز آب در قسمت‌های مختلف را به ما می‌دهد که دقیق‌ترین راه تعیین ارتفاع آب‌شکن و سازه است)

Shen ← بهترین ارتفاعی که می‌توان برای یک سازه در نظر گرفت استفاده از میانگین ارتفاع دیواره در نقاط مختلف است که فقط در مناطقی استفاده می‌شود که خطر کم است و برای رودخانه‌های نزدیک شهرها کاربرد ندارد)

۹ـ شیب کناره رودخانه: شیب مناسب دیواره‌ها نقش مهمی در مقاومت و پایداری کناره‌های رودخانه دارد. در بعضی موارد اصلاح شیب و یا تعدیل آن به تنهایی کفایت می‌کند ولی در موارد دیگر استفاده از پوشش گیاهی، بیولوژیک پوشش حفاظتی یا روکش‌های ساختمانی الزامی است در هر حال اصلاح شیب و پایداری دیواره درک صحیحی از مکانیک یا خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مصالح دیواره‌ها را می‌طلبد.



بخش ۲ شیب پایدار و اصلاحی

شیب کناره ← شیب عرضی

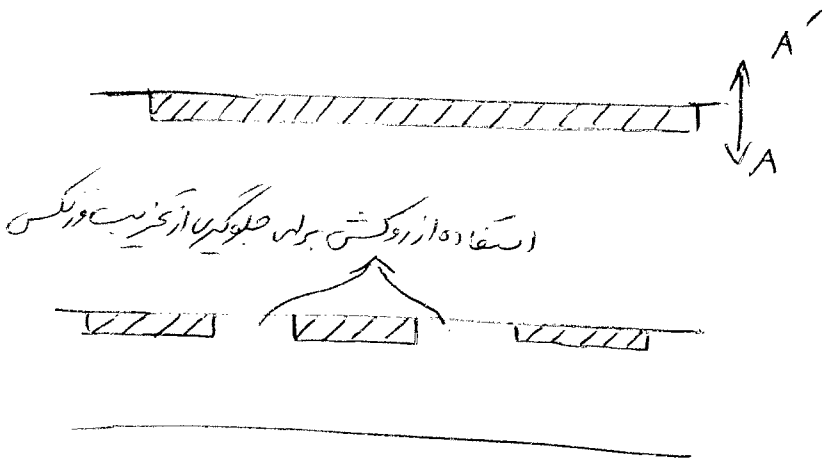
شیب کف ← شیب طولی

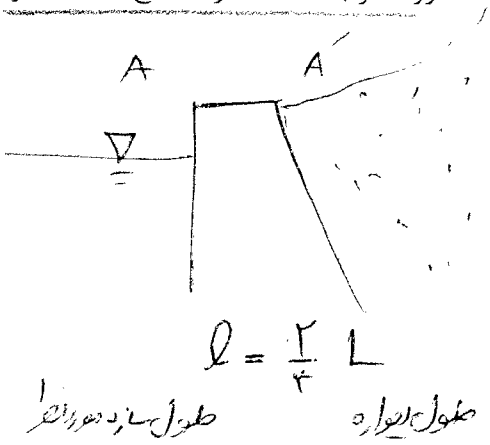
معمولاً براساس نوع هدف شیب کناره باید تعدیل شود که بستگی به محل انجام کار و ... دارد معمولاًدر کارها شیب کناره را تعدیل کرده و به شیب آستانه تبدیل می‌کنیم اما این کار همیشه صورت نمی‌گیرد.

۱۰ـ پیوستگی سازه‌ها: از آنجایی که مقاوم‌سازی دیواره‌ها در مقابل نیروی جریان هزینه‌بر می‌باشد لذا بایستی تا حخد امکان هزینه‌ها را کاهش داد در مواردی که ساخت دیواره‌های موازی با جهت جریان به عنوان تثبیت‌کننده

کناره مورد استفاده قرار می‌گیرد چنانچه تمامی مسیر پوشش داده شود و هزینه بسیار بالاست پس متناسب با شرایط رودخانه و نوع سازه‌های مورد استفاده ضرورتی برای حفظ پیوستگی سازه‌ها در طول بازه موردنظر وجود ندارد (پیوستگی سازه‌ها همه‌جا ضروری نیست)

لذا توصیه می‌شود که هر یک بازه مشخصی و موردنظر طول سازه $\frac{2}{3}$ طول دیواره باشد (حداقل $\frac{2}{3}$ طول محدوده موردنظر با استفاده از مصالح تثبیت شود)





۱۱ـ پاکسازی بهسازی مسیر: بسته به اینکه رودخانه در چه منطقه‌ای جریان دارد (جنگلی یا غیرجنگلی) آورد رسوب آن براساس رسوبات کف متفاوت می‌باشد. در مناطق جنگلی غالباً سرشاخه و تنه درختان و ... در جریان باعث مسدود نمودن مسیر و یا ایجاد جزایر رسوبی می‌شوند و یا در مناطق با بار بسته زیاد مواد محموله جریان باعث کاهش پتانسیل انتقال و در نتیجه ته‌نشست می‌گردد در این شرایط بایستی با استفاده از عملیات لایروبی، بستر یا معبر جریان را پاکسازی کنیم یعنی اینکه باعث بهبود شرایط جریان، کاهش مقاومت جریان و افزایش ظرفیت انتقال یا پایین افتادن سطح آب شویم.

نسبت بار کف به بار معلق ۳۰-۱۵ درصد (به طور متوسط ۲۰ درصد) می‌باشد.

بار کف رودخانه کرج یک سوم بار معلق آن است و بسته به شرایط رودخانه و بالادست شرایط متفاوت است.

۱۲ـ شاخه‌ها یا انشعابات فرعی رودخانه: تعریض یا تثبیت شاخه‌های ورودی یا انشعابات به رودخانه اصلی در محدوده‌ای که تحت تاثیر برگشت آب رودخانه (Back water) می‌باشد بسیار ضروری است چون علاوه بر حمله خطوط جریان به دیواره‌های مقابل باعث توسعه جریان‌های گردابه‌ای و ناپایداری کناره‌ها نیز می‌گردد.

حضور شاخه‌های فرعی (شبکه هیدروگرافی) و ورود آن به جریان اصلی رودخانه باعث تغییراتی در مسیر اصلی رودخانه اصلی می‌شود اختلاف دما باعث تغییر ویسکوزیته جریان می‌شود.

نحوه ورود جریان فرعی به اصلی باید به صورت شیپوری باشد تا در محل ورود به رودخانه اصلی انرژی آن گرفته شود و کمترین تاثیر را بر رود اصلی داشته باشد.

قبل از اجرای پروژه سازماندهی رودخانه این ۱۲ عامل باید مورد توجه باشد. با توجه به این موارد، روش‌های حفاظتی دیواره رودخانه منحصر به یک روش خاص نیستند بلکه براساس شرایط حاکم و مصالح موجود و هدف پروژه، روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند به طور کلی برای تثبیت کناره به چند صورت می‌توانیم اقدام کنیم:

اصلی و مهم:

۱- افزایش مقاومت دیواره به فرسایش

۲- انحراف جریان‌های فرسایشی از ساحل یا دیواره

۳- کاهش سرعت جریان به پایین‌تر از توان فرسایشی

۴- تاخیر در فرسایش دیواره با استفاده از مواد فرسایش‌پذیر

۵- تغییر آبراهه (رودخانه)

بر این اساس برای هر کدام از موارد فوق روش‌های تثبیت شامل:

۱- روش‌های مهندسی یا مکانیکی

۲- روش‌های طبیعی

۳- روش‌های تلفیقی (ساختمانی ـ طبیعی)

روش‌های ساختمانی با استفاده از کلیه مصالح ساختمانی و بنایی بایستی حداکثر سنخیت با مصالح موجود در طبیعت وجود داشته باشد.

۱- روکش‌ها Revetment

۲- آب‌شکن‌ها Epirspure

۳- دیواره‌های حامل دایک Dike و خاکریز Levee

روش‌های طبیعی نقش اساسی پوشش گیاهی استفاده از گونه‌هایی که از لحاظ آب کم مصرف باشند. استفاده از پوشش گیاهی زند و غیر زنده (باید از گیاهان کم مصرف و سازگار استفاده کرد) در جاهایی می‌توان استفاده کرد که سرعت جریان خیلی کم باشد.

روش‌های تلفیقی هر سازه‌ای که احداث می‌کنیم هدف گرفتن فرصتی از طبیعت برای ایجاد پوشش گیاهی است.

(اولویت اصلی همیشه روش‌های طبیعی است و در رودخانه‌های موقتی شرایط جریان اجازه نمی‌دهد که پوشش گیاهی مستقر شود و دنبال روش‌های سازه‌ای باید برویم.)

تثبیت کناره با انحراف جریان:

هرگونه روشی که خططو جریان از تماس با منطقه موردنظر محروم شود در این روش از سازه‌های زاویه‌دار نسبت به دیواره و یا مسیر اصلی جریان استفاده می‌کنیم به نحوی‌که تمامی سطح مقطع عرضی را پوشش نمی‌دهد.

در این رابطه معمولاً از سازه‌هایی بنام EPI، water break، Grogine، Groine، spure، spure dikes و Getties استفاده می‌کنیم.

طراحی و مشخصات فنی آب‌شکن‌ها یا اپی‌ها:

آقای Fei-yong-chen آب‌شکن‌ها عبارتند از سازه‌های هیدرولیکی که برای اهداف زیر احداث می‌شوند:

۱- حفاظت کناره رودخانه در برابر فرسایش

۲- تنظیم جریان رودخانه در یک مسیر مشخص (که می‌تواند توسط جذب، دفع یا آرامش کردن جریان صورت گیرد)

۳- ایجاد یک جریان آرام با هدف ایجاد یک منطقه رسوب‌گیر

۴- ایجاد پی‌سنگ (RipRap) مستغرق برای بهبود شرایط استقرارگردابه‌ها (بهبود علمیات آب‌شستگی موضعی کف بستر)

۵- ایجاد زیستگاه‌های مناسب برای فور وفون منطقه (واندو vando)

۶- زیاد کردن عمق جریان ← کاهش سطح مقطع جریان ← افزایش سرعت

۷- تثبیت راستای جدید کانال

با توجه به این اهداف این سازه‌ها به عنوان یکی از متداول‌ترین روش‌های تثبیت رودخانه در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد سازه‌های عرضی همیشه به صورت سری استفاده می‌شوند.

بخش‌های یک اپی عبارتند از:

۱- سراپی Head ۲- ساقه shank ۳- تاج crest ۴- پی Foundation

۵-کف‌بندی Bed profeetion ۶- روکش Revetment

سطح مقطع اپی‌ها مانند سرخاکی است.

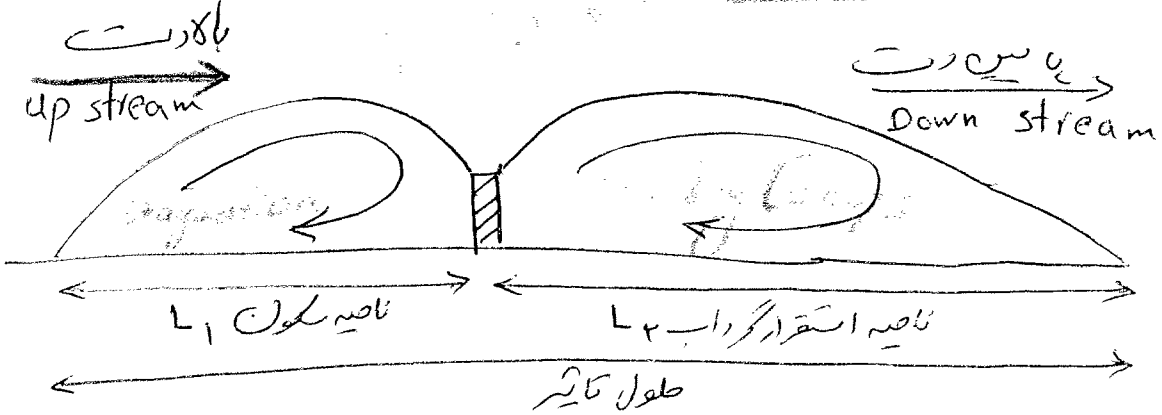
«روکش‌ها هم باری حفاظت ازکناره و هم برای حفاظت از سازه احداث می‌شوند»

به طور کلی با توجه به اینکه اپی‌ها برای سرعت‌های بیش از ۳m/s تجویز می‌شوند برای رودخانه‌های عریض و شریانی با بار رسوبی (کف) از نوع ماسه و شن باشد (آوردشان بیشتر شن و ماسه است) مناسب است.

در رودخانه های بزرگ در مباحث مربوط به کشتیرانی و شرایط مناسب برای لنگرگیری به کار می‌رود.

با توجه به اینکه اپی به عنوان یک مانع در برابر جریان قرار می‌گیرد در نتیجه برخورد جریان، شرایط جدیدی را برای جریان در بالادست و پایین دست اپی اتفاق می‌افتد که باعث می‌شود در هنگام طراحی و در غالب یک طرح جامع شرایط جدید بوجود آمده به نحو مطلوب مورد توجه قرار بگیرد.

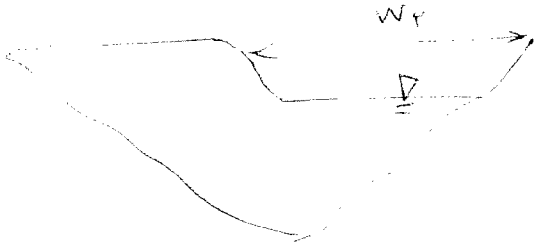
به محض برخورد (خطوط جریان مستقیم) به یک سازه عرضی (اپی) شرایط جدیدی برای جریان ایجاد می‌شود و باعث بوجود آمدن vortexها یا گردابه‌هایی می‌شود که معمولاً اثر این برخورد در بالادست جریان در فاصله کوتاه‌تر و در پایین دست جریان در فاصله طولانی‌تر مشخص می‌شود فاصله بوجود آمده در قسمت بالادست به عنوان ناحیه سکون (Stagmation Zone) و در پایین‌دست ناحیه ایستایی یا استقرار گرداب (Standing (eddy) Zone) و مجموع طول این دو قسمت ناحیه یا طول تاثیر یا اثر می‌نامند.



در هر حال با حضور یک سازه عرضی در رودخانه جریان از حالت یکنواخت به جریان ثانویه (متغیر سریع) تبدیل می‌شود.

ناحیه اثر بستگی به طول اپی (رابطه مستقیم) و زاویه قرارگیری اپی دارد.

حداکثر ناحیه تنشی برشی و همچنین آب شکستگی اپی (local scauriny) را در سراپی داریم.



در قسمت بالادست سطح (هد) آب بالا می‌اید.

که در سطح مقطع عرضی پروفیل عمقی بصورت پروبروست.

در w_2 عمق کم ولی سرعت فوق‌العاده زیاد است در نزدیک اپی و اتصال به کناره رودخانه در upstream تعداد سرعت صفر است ولی فشار هیدرولیکی ایجاد می‌شود که در بالادست تراز آب بالا می‌آید و در پاییان دست پایین است که جریان چرخشی vortex در downstream ها ایجاد می‌شوند.

یکی از پارامترهای برای تعیین فاصله بین اپی‌ها vortexهای ایجاد شده در پایین‌دست می‌باشد.

با دبی ثابت در مقطع قرارگیری اپی سرعت حداکثر و عمق کاهش یافته است.

خط جدایی جریان جایی است که جریان بهم ریخته یا سه بعدی تا بالای اپی به جریان یکنواخت عادی ایجاد می‌شود گاهی اوقات بر اثر ایجاد جریان Eddy در محل سراپی سبب می‌شود که پروژه با شکست روبرو شده و سراپی می‌شکند به عبارتی مقاومترین مصالح به سراپی است (ورتکس و گرداب) چون در نوک اپی گرداب Eddy شکل می‌گیرد)

بیشترین رسوبگذاری در پایین دست اتفاق می‌افتد (بدلیل ایجاد یک ورتکس کامل در پایین دست)

ایستایی آب (سکون آب) در بالادست صورت می‌گیرد و در قسمت پایین دست، سطح آب افت می‌کند.

انواع اپی‌ها:

اپی‌ها یا آب‌شکن‌ها براساس پارامترهای مختلفی قابل دسته‌بندی هستند:

۱ـ براساس مصالح و جنس (نفوذپذیری):در این حالت اپی‌ها به اپی‌های نفوذپذیری و نفوذناپذیر تقسیم می‌شوند.

نفوذپذیر: معمولاً با استفاده از مصالح کف جریان یا کف رودخانه ساخته می‌شوند باعث گیرا شدن جریان می‌شوند و ته نشست رسوبات را تسریع می‌کنند و بخشی از آب از بدنه سد عبور می‌کند. بر این اساس این نوع اپی‌ها برای جریان‌های پررسوب طراحی می‌شوند و تجارب هم نشان می‌دهد که این نوع اپی‌ها برای رودخانه هایی که با بار معلق زیاد استفاده می‌شوند و از طرفی با توجه به اینکه مصالح محلی هستند از نظر هزینه ساخت کم هزینه‌تر هستند و همچنین از آنجایی‌که نسبت به اپی‌های نفوذناپذیر تغییرات کمتری را در خصوصیات جریان ایجاد می‌کنند بیشتر توصیه می‌شود.

نفوذناپذیر: معمولاً برای سرعت‌های بیش از ۳m/s و جریان‌های حاوی بار کف زیاد استفاده می‌شوند اشکال اساسی این نوع اپی‌ها، هزینه زیاد و تغییرات بسیار دفعی و ناگهانی است که به خصوصیات جریان وارد می‌کنند و چون مصالح مورد استفاده صلب می‌باشند برای رودخانه‌هایی که بار رسوبی کف زیادی دارند توصیه می‌شوند و در جایی که هدف انحراف سریع و زیاد جریان از دیواره موردنظر باشد استفاده می‌شوند.

- همیشه دنبال مصالحی هستیم که بیشترین هم خانی را با طبیعت داشته باشند (نفوذپذیر) و جریان به آرامی از پیکره عبور می‌کند و باعث ایجاد جریان دفعی نمی‌شود.

- در اپی‌های غیرقابل نفوذ جریان‌های دوغی ایجاد می‌شود و تغییرات شدیدی در جریان ایجاد می‌کنند.

نفوذپذیر طول تاثیر بیشتر - شدت تاثیر کمتر بار معلق زیاد - عدم ایجاد جریان دفعی - کم هزینه‌تر

نفوذناپذیر طول تاثیر کمتر - شدت تاثیر بیشتر بار کف زیاد - ایجاد جریان‌های دفعی - هزینه‌بر

۲- براساس موقعیت تاج اپی در مقابل عمق جریان

- اپی مستغرق Submerge G: در کارهای کشتیرانی و تنظیم جریان : طراحی مشکل دارد و مصالح متصل هستند.

- اپی غیرمستغرق Unsubmerge G: در کارهای مهندسی رودخانه و آبخیزداری

۳- براساس شکل دماغه اپی (پوزه‌ایی)

آبخیزداری:

۱- اپی مستقیم (Straight)

۲- اپی سرسپری (T-head)

۳- اپی سرکج (L شکل) (L-shape)

۴- اپی سرخم (Hockey)

کشتیرانی ← اپی سرخم معکوس (Invertad Hockey)

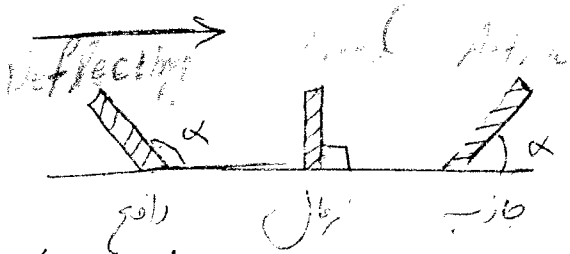
برف و بهمن ← اپی مستقیم با دماغه موج شکن (string gorine with peir Head)

۴- براساس تاثیر بر مسیر جریان

a. جاذب Attracting G

b. نرمال Normal G

c. دافع Deflecting G



آب شستگی: (Scouring)

با توجه به اینکه اپی به عنوان یک مانع در برابر جریان قرار می‌گیرد تغییراتی در جریان ایجاد می‌کند بخصوص اگر از نوع نفوذناپذیر باشد این تغییرات خیلی شدیدتر و ملموس‌تر می‌باشد. بر این اساس رودخانه برای رسیدن به شرایط تعادل جدید، شروع به جابجایی مصالح کف و دیواره می‌نماید و اگر از نوع نفوذناپذیر باشد با توجه به عدم سنخیت مصالح کف و بدنه اپی در محل تماس بدنه با کف رودخانه موارد شروع به شستشو و جابجا شدن می‌نماید یعنی اینکه پدیده آب شستگی در هر جائیکه افزایش سرعت رخ می‌دهد اتفاق می‌افتد. این افزایش سرعت ناشی از کاهش سطح مقطع جریان، بالا آمدگی کف رودخانه، افزایش دبی عبوری از مقطع، افزایش شیب و یا کاهش زبری می‌باشد.

بر این اساس معمولاً دو نوع آب شستگی در رودخانه ها مطرح است:

۱ـ آب شستگی عمومی General s

۲ـ آب شستگی موضعی local S

آبشستگی عمومی بدلیل تنگ شدگی و کاهش عرض جریان اتفاق می‌افتد و غالب سازه‌های دست‌ساز توسط انسان که در رودخانه ساخته می‌شوند باعث انقباض می‌شوند ـ تنگ‌شدگی مقطع باعث کاهش سطح مقطع جریان، افزایش سرعت و افزایش تنش برشی شده که افزایش تنش برشی سبب کنش و انتقال مواد می‌شود.

این فرایند تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که سرعت و تنش برشی وارده به کف رودخانه کمتر از سرعت و تنش برشی بحرانی شود در این حالت روند افزایش عمق ناشی از آبشستگی عمومی کاهش پیدا می‌کند و سطح مقطع به حالت تعادل جدید می‌رسد.

عدم تجانس اندازه ذرات، تغییرشکل در مورفغ جریان، کنش بسته ، کنش دیواره هر جا که جریان از حالت یک بعدی خارج می‌شود تغییرات تدریجی طولی و عرضی رودخانه را بعهده می‌گیرد. هرگونه ناهمواری که در رودخانه اتفاق افتاده باشد احتمال آب‌شستگی عمومی وجود دارد.

۲. **آب شستگی موضعی:** عامل اصلی آب‌شستگی موضعی گردابه‌ها می‌باشد. وقتی موانعی مانند اپی پایایه پل در مقابل جریان قرار می‌گیرند به علت برخورد جریان با این موانع و تغیر جهت دادن جریان و همچنین به علت ایجاد اختلاف فشار هیدرواستاتیک در پایین‌دست و بالادست مانع یک سری گردابه‌هایی در پیرامون مانع شکل می‌گیرند که علت اصلی آن آب‌شستگی موضعی تلقی می‌شوند. سرعت‌ها و تنش‌های برشی موضعی ایجاد شده ناشی از

آب‌شستگی موضعی از مهمترین عوامل تخریب سازه‌ها هستند. از جمله مهمترین کاربردهای آب‌شستگی موضعی اطراف اپی‌ها می‌توان به تعیین ارتفاع، موقعیت اپی و طول اپی اشاره کرد.

سازه‌های مصنوعی و دست‌ساز استفاده می‌شود و پدیده‌ای است که به طور خیلی ملموس دیده می‌شود پایه پل، پوزه اپی و ... هرگونه مانعی که در مسیر جریان انحراف ایجاد کند احتمال ایجاد آب شستگی موضعی خیلی زیاد است.

ضوابط و معیارهای طراحی اپی:

پارامترها و عوامل بسیار زیادی در طراحی و انتخاب اپی‌ها دخالت دارند که عبارتند از:

عمق و سرعت جریان: خصوصیات بستر، عرض رودخانه در موقعیت‌های پرآبی، متوسط آبی و کم آبی. مصالح در دسترس و هدف ایجاد اپی از جمله اصلی‌ترین پارامترها محسوب می‌شوند.

منظور اصلی از طراحی اپی تعیین ابعاد و اندازه‌های مربوط به سازه اپی: طول و فاصله آنهاست به طوری که علاوه بر رعایت نکات فنی و اقتصادی پروژه بتوانند بهترین عملکرد را با توجه به اهداف موردنظر ما از طراحی ارائه دهند. در این رابطه پارامترهای مختلفی از قبیل نقطه شروع کاشتن اپی (احداث اپی)، زاویه قرارگیری (زاویه اپی نسبت به ساحل) مصالح مورد استفاده، طول و فاصله بین اپی‌ها، عرض، مشخصات بدنه از لحاظ سطح مقطع عرضی، شیب‌های جانبی و کناره‌ها، خصوصیات سراپی، ابعاد کف‌بندی (کف‌بندها و زاویه‌ها) اصلی‌ترین بخش‌هایی است که باید در طراحی اپی مورد توجه قرار گیرند.

۱ـ تعیین محل اولین اپی (نقطه شروع کاشتن اپی)

معمولاً محل احداث اولین سازه اپی، بر مبنای الگوی اصلاح مسیر (الگوی جریان) تعیین می‌شود و از آنجاییکه در یک سری یا شبکه آب‌شکن اولین مانعی است که در مقابل جریان قرار می‌گیرد و اولین سازه نقش اساسی را در انحراف جریان ایفا می‌کند بایستی به اندازه کافی محکم و پایدار نیز باشد (مقاوم‌ترین سازه)

به طور تجربی در یک طرح جامع رودخانه، محل احداث اولین اپی جایی انتخاب می‌شود که دیواره مقاومت لازم را دارا باشد و از طرفی شرایط جدید حاکم بر جریان که ناشی از احداث اولین مانع عرضی می‌باشد توسط سری اپی‌های بعدی قابل مهار و تعدیل باشد بر این اساس حتما توصیه می‌شود که قبل از اولین سازه‌ای که در یک سری قرار است احداث شوند یک اپی مدافع طراحی شود که معمولاًحدود ۱ برابر طول اپی قبل از نقطه شروع فرسایش توصیه می‌شود اولین سازه احداث شود.

(اگر طول اپی L است به اندازه L قبل از شروع فرسایش سازه اولی احداث شود)

۲ـ تعیین فاصله سازه‌ها:

عواملی که تعیین فاصله بین اپی‌ها موثرند شامل طول قائم اپی شکل سطح مقطع عرضی رودخانه مشخصات کناره رودخانه و مصالح قابل دسترس می‌باشد.

به طور کلی راه‌حل و رابطه تئوریکی مناسبی جهت تعیین فاصله بهینه بین آب‌شکن‌ها وجود ندارد و از طرف دیگر در اکثر مواقع انتخاب و تعیین طول اپی نیز بر مبنای فاصله بین اپی‌ها تعیین می‌شود. شاید بتوان گفت که بهترین فاصله ارائه شده توسط آزمایشگاه دلفاهیدرولیک هلند است که از نظر تجربی و اقتصادی فاصله بین اپی‌ها را ۲-۱ برابر عرض جریان (رودخانه) یا ۵-۱ برابر طول قائم اپی توصیه می‌کنند.

نتایج آزمایش‌های انجام شده در Delft نشان می‌دهد که بهترین جریان هدایت شده توسط اپی‌ها وقتی است که یک گرداب قوی و کوچک بین اپی‌ها ایجاد شود. با آزمون و خطا در شرایط آزمایشگاهی

در رودخانه‌هایی با بستر شنی و پیچ‌های کوتاه و رودخانه هایی با کانال تنگ و باریک، فاصله اپی‌ها در مقایسه با رودخانه های عریض بایستی کمتر باشد. ریچادسون

از طرفی روابط تجربی نیز جهت تعیین فاصله بین آب‌شکن‌ها ارائه شده است:

$$X = \frac{K d^{\frac{4}{3}}}{2g n^2}$$

$X \hat{A} \frac{kd^{\frac{4}{3}}}{2gn^2}$

K ضریبی است که معمولاً کمتر از یک است (مربوط به گردابه ایجاد شده بین دو اپی)

وقتی که یک گردابه کوچک و قوی بین دو سازه ایجاد شود را به حدود ۰/۶ در نظر می‌گیرند.

d عمق جریان (عمق آب که معمولاً عمق مربوط به میانگین جریان در بازه زمانی طولانی در نظر گرفته می‌شود)

n ضریب مانینگ g شتاب ثقل c ضریب شزی

h ارتفاع جریان (آب) مربوط به دبی طراحی (d)

$$X = \frac{0.6 c^2 h}{2g}$$

$X \hat{A} \frac{2.5c^2h}{2g}$

در بعضی از موابع فاصله بین دو اپی به صورت ضریبی از طول قائم اپی بیان می‌شود و عبارت است از:

حاصلضرب متوسط طول دو اپی متوالی و نسبت طول به فاصله اپی

۳ـ تعیین طول اپی

همانند فاصله بین دو اپی رابطه یا قاعده خاصی که بتوان بر مبنای آن طول سازه را مشخص و فرمول کنیم وجود ندارد.

تعیین طول اپی بستگی به: شرایط خاص مسئله و پروژه دارد و توصیه جدی این است که حتماً ابعاد اصلی اپی با استفاده از شرایط آزمایشگاه و مدل‌سازی (استفاده از مدل‌های فیزیکی) انجام شود اما از آنجائیکه طول هر اپی براساس مسیر جدید کانال و فاصله دیواره ساحلی تا لبه مسیر جدید تعیین می‌شود توصیه می‌شود که این طول نبایستی از ۳ برابر عمق نرمال جریان (آب) در لبه انتهایی سازه کمتر باشد و در رابطه با اپی‌های L شکل این فاصله را حدود ۶۵-۴۵ درصد فاصله بین اپی‌ها در نظر می‌گیرند.

از نظر تجربی و اقتصادی طولی که هر اپی عمود بر مسیر جریان در داخل بستر اولیه پیدا می‌کند حداکثر برابر با فاصله بین دو اپی و حداقل برابر یک پنجم این فاصله توصیه می‌شود (احمد ـ پترسون)

براساس توصیه آزمایشگاه دلف بهترین یا مناسبترین طول برای اپی ۰/۲۵W $(\frac{1}{4}W)$ می‌باشد.

همانطور که گفته شد طول اپی بستگی به موقعیت و شرایط خاص رودخانه از قبیل عرض مقطع، انحنای رودخانه سن رودخانه و پارامترهای دیگر دارد.

تقسیم‌بندی اپی‌ها براساس طول: اپی کمتر از ۳۰ متر طولی را اپی کوتاه می‌ماند.

بلند: مناسبترند.

در حالت استفاده از اپی‌های طویل مقدار زمین‌های ایجاد شده زیاد است جریان را زیاد انحراف و کناره رودخانه را به خوبی حفظ می‌کنند ولی از نظر اقتصادی به صرفه نیست.

در مورد اپی‌های گفته شده برعکس سدها از اپی‌های طویل به جای اپی‌های کوتاه استفاده شود.

در سدها گفته می‌شود که سدهای کوتها به جای سدهای مرتفع ساخته شوند (به دلیل هزینه زیاد و گرفتن زمین‌ها از کشاورزی)

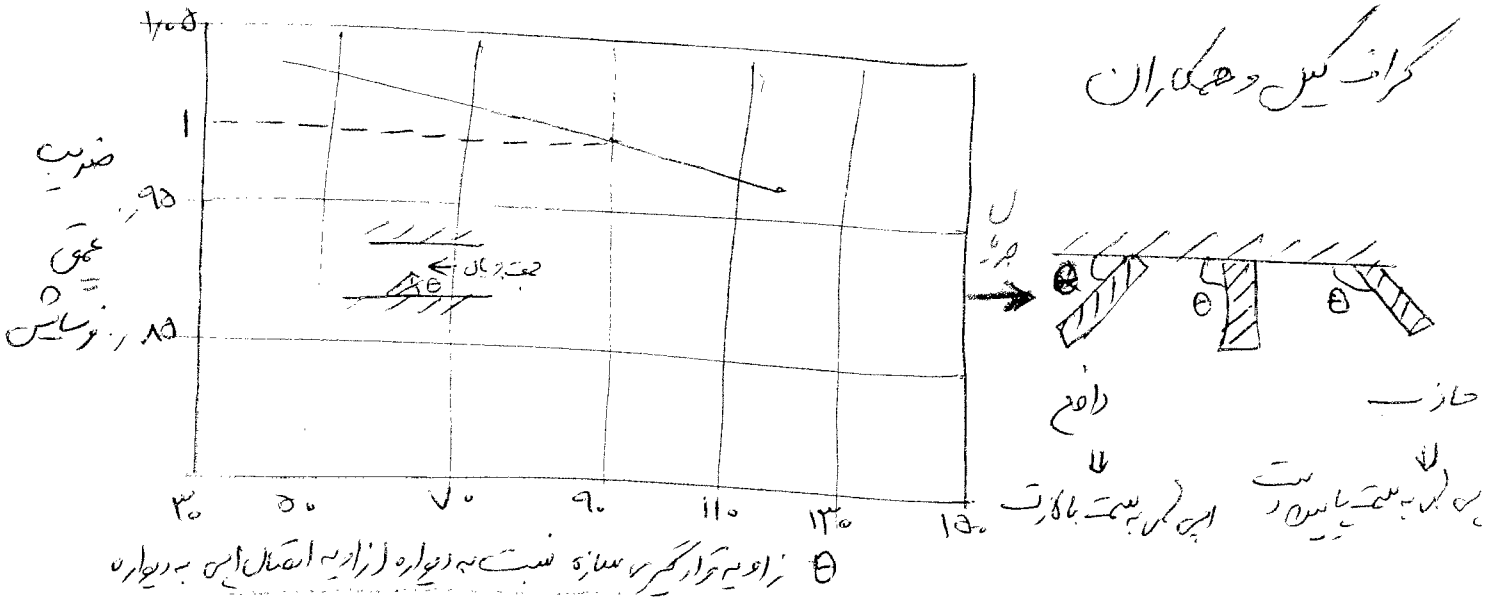
زاویه اپی نسبت به دیواره (زاویه و عمق ریشه اتصال اپی به دیواره ساحلی)

یکی از اثرات و پیامدهایی که در نتیجه احداث اپی در مسیر جریان اتفاق می‌افتد شرایط جدید جریان در قسمت انتهایی یعنی محل اتصال سازه اپی به دیواره می‌باشد که معمولاً گردابه‌هایی که ایجاد می‌شود باعث تخریب و توسعه عرض رودخانه به سمت اراضی ساحلی می‌شود.

خط آب‌شستگی و فرسایش ناشی از ایجاد این گردابه‌ها را می‌توان از طریق زاویه دادن به دیواره یا بدنه سازه از سمت بالادست (۱۵-۱۰ درجه) کاهش داد و لی با هر حال با سرریز کردن جریان از روی دیواره سازه، این زاویه دادن شرایط را بیشتر برای تخریب سازه در محل اتصال به دیواره رودخانه مهیا می‌کند.

در این رابطه نیز توافق عمومی در رابطه با زاویه بهینه بین سازه و دیواره وجود ندارد بعضی از پژوهشگران اعتقاد دارند که اپی‌های به سمت بالارفت حداقل فرسایش را ایجاد می‌کنند ـ بعضی‌ها زاویه ۹۰ درجه را بهترین حالت می‌دانند.

گیل و همکاران در هندوستان یک گراف را ارائه کردند که براساس آن اپی‌ها به سمت پایین است حداقل فرسایش را ایجاد می‌کنند.



زاویه قرارگیری سازه نسبت به دیواره هرچه کمتر باشد عمق فرسایش بیشتر است و تغییراتی که در جریان اتفاق می‌افتد خیلی شدیدتر است و احتمال کشی دیواره مقابل است. (چون اپی دافع می‌شود)

بر این اساس نحوه قرارگیری سازه‌ها نسبت به دیواره با توجه به اهداف پروژه می‌تواند متفاوت باشد و در منابع متفاوت علمی همه به یک نکته اعتقاد دارند که در یک پروژه ساماندهی رودخانه برای به حداقل رساندن نابهنجاری‌هایی ناشی از احداث موانع در عرض جریان هر سه نوع سازه دافع، نرمال و جاذب طراحی شود یعنی اینکه در یک پروژه ساماندهی با توجه به طول سازه موردنظر حتما به صورت متوالی هر ۳ نوع (شکل) قرارگیری آب‌شکن نسبت به دیواره طراحی شود تا خطرات شناخته نشده احتمالی ناشی از احداث یک نوع اپی از لحاظ زاویه قرارگیری به حداقل برسد.

بر این اساس سازه‌های متوجه به پایین دست (جاذب) باعث انقباض کمتر جریان می‌شوند و سازه‌های متوجه به بالادست (دافع) باعث انقباض بیشتر جریان و سازه‌های نرمال برای تعدیل این شرایط و رساندن نابهنجاری‌ها به حداقل بسیار موثرند.

سازه‌های دافع برای حفاظت دیواره ساحلی که تحت تاثیر جریان‌های آب با ارتفاع بیشتر است توصیه می‌شود.

در رودخانه‌های بایستگ شنی توصیه می‌شود از سازه‌های عمود بر دیواره (قائم) و یا کمی متمایل به پایین‌دست استفاده شوند و معمولاً انحراف اپی به سمت بالادست تا حدود ۱۵-۵ درجه نسبت به حالت قائمه توصیه می‌شود.

در هر حال از آنجاییکه سازه‌های دافع معمولاً به عنوان اولین سازه در یک سری اپی مورد استفاده قرار می‌گیرند و با توجه به اینکه بیشترین نابهنجاری‌ها را در شرایط جریان ایجاد می‌کند بایستی کاملاً مقاوم ساخته شوند.

(تعیین زاویه و عمق ریشه اتصال اپی به دیواره‌های طرفین رودخانه با توجه به اینکه حضور اپی باعث ایجاد گردابه‌های شدیدی در قسمت انتهایی نیز می‌شود برای جلوگیری از فرسایش و گسترش محدوده فرسایش در اپی توصیه می‌شود که زاویه مناسبی بر ای اپی‌ها در نظر گرفته شود که از این لحاظ مطابق پلان یا طرح اساسی اجرای خط پروژه و زاویه قرارگیری نسبت به جهت جریان در یک سری اپی متفاوت خواهد بود ولی معمولاً اپی‌های متوجه پایین‌دست یا جاذب باعث انقباض کمتر جریان می‌شوند ولی اپی‌های متوجه بالادست برای محافظت دیواره ساحلی تحت تاثیر جریان با ارتفاع بیشتر خیلی موثرند)

از نظر قدرت انحنا و رسوبگیری ← دافع/ از لحاظ جریان آرام‌تر ← جاذب/ بستر شنی باشد ← قائم

احمد براساس نتایج آزمایشگاهی ارتباط بین آب‌شستگی و زاویه قرارگیری نسبت به ساحل به صورت ارائه می‌دهد.

$$\frac{D_{max}}{q^{\frac{2}{3}}} = 1/616, 0/908 \left(\frac{\theta}{90}\right)^{\frac{1}{5}} \quad \frac{m^3}{s} \quad 35/315 \frac{ft^3}{s}$$

$$\frac{D_{max}}{q^{\frac{2}{3}}} = 1/416 - 0/908 \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{\theta}{15}} \quad m^3/s \times 35/315 \, ft^3/s$$

$1m = 3/28ft$

D_{max} حداکثر عمق آب شستگی q (ft) دبی در واحد عرض (شدت جریان $\frac{ft^3}{s}$) θ زاویه قرارگیری اپی نسبت به ساحل رودخانه (درجه)

براساس این رابطه: عمق آب‌شستگی با افزایش زاویه اپی نسبت به ساحل افزایش پیدا می‌کند.

«از جاذب به دافع عمق آب شستگی زیاد می‌شود»

۵- مشخصات تاج و بدنه اپی

۵- تاج و بدنه اپی

طراحی سطح مقطع، عرض تاج، شیب‌های دامنه‌های طرفین، شیب دماغه و شکل سطح مقطع براساس شدت حمله جریان رودخانه در کناره ساحلی انجام می‌شود بر این اساس قسمت‌های مختلف بدنه اپی بایستی از شرایط زیر تبعیت کند:

ـ شیب طولی تاج: در شرایطی که محدوده تغییرات دپی در حال عبور و سطح آب کم باشد تاج افقی برای اپی مناسب‌ترین حالت است ولی برعکس وقتی تغییرات زیاد (شدید) باشد بهتر است تاج اپی از سمت ساحل به سمت میانه رودخانه دارای شیب باشد (تاج شیبدار). که این شیب طولی روی تاج معمولاً در حدود ۴-۱ درصد و برای متمرکز نمودن جریان و هدایت آن به سمت میانه توصیه می‌شود هر چند میزان این شیب بستگی به طول اپی مرقوم ارتفاعی تاج (ارتفاع تاج نسبت به مبدا) ورقوم دیواره ساحلی رودخانه دارد.

بر اپی‌های طویل و متصل به دیواره رودخانه یا ساحل کوتاه و شیب ملایم و برای اپی‌های کوتاه و با دیواره مرتفع ساحلی شیب تندتر در نظر می‌گیرند.

با توجه به عدم توافق محققین در زمینه ایجاد شیب بهینه نظر غالب این است که به منظور جلوگیری از جمع شدن جریان در بخش ریشه در مواقع سیلاب‌های با دوره بازگشت بالاتر از سیلاب طراحی (جریان اضافی) توصیه می‌شودکه تاج دیواره (سازه) شیبی در حدود ۱:۱۰ به سمت داخل جریان (میانه) داشته باشد از طرفی شیب‌های ۱:۲۰ و تا محدوده ۱:۲۰۰ پیشنهاد شده است.

سطح مقطع عرضی که به اپی داده می‌شود ذوزنقه‌ای شکل که دامنه‌های سراب و پایاب دارای شیب است که سعی می‌شود از شیب‌های متعدد استفاده شود و از یک شب واحدی استفاده نشود.

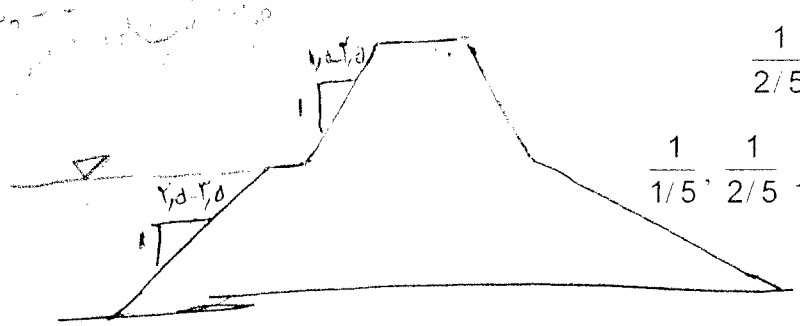
ـ شیب دامنه و دماغه (پوزه، نوک)

در رابطه با شیب دامنهٔ (عرضی) و دماغه نظرات متفاوتی وجود دارد ولی توصیه می‌شود مبنای ایجاد شیب مناسب برای دامنه‌ها دانه‌بندی مصالح مورد استفاده، وضعیت جریان آب در درون بدنه (جسم) نوع روکش و سنگ‌چینی آن مشخص می‌شود.

اصول جریان در محیط متخلخل یکسان است.

شرایط هیدرودینامیکی که در سر خاکی حاکم است در این محیط تخلخل بدنه سد حاکم است.

با توجه به اینکه بخشی از دامنه‌های طرفین مدت زمان بیشتری در زیر آب قرار می‌گیرند و بخشی بیرون آب قرار دارد لذا شیب‌های متفاوتی برای سراب و پایاب ارائه شده به نحوی که



شیب برای بخشی که در زیر آب است $\frac{1}{2/5}$ ، $\frac{1}{3/5}$

محدوده‌ای از دامنه که خشک است شیب تندتر $\frac{1}{1/5}$ ، $\frac{1}{2/5}$

هرچه شیب کمتر باشد پایداری دامنه بیشتر است و مصالح بکار برده شده باید بیشتر باشد.

وقتی شیب‌ها متفاوت باشد و باد در جهت رودخانه باشد باعث می‌شود امواج مستهلک شوند.

در صورتی که جریان آب عمود بر عرض رودخانه باشد باید از ساحل‌سازی (رایک) استفاده کنیم که در آنجا نیز توصیه می‌شود که از شیب‌های متفاوت استفاده کنیم.

شیب دامنه‌های اپی وقتی که از مصالح سنگین مثل لاشه سنگ در روی آن استفاده شود می‌توان نسبت به حالتی که مصالح ریزدانه (ماسه یا مصالح شنی) معمولاً تندتر در نظر گرفته می‌شود ولی در هر حالت:

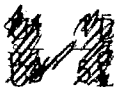
«شیب دامنه مصالح طرفین نبایستی از زاویه اصطحکاک داخلی مصالح بیشتر باشد»

با صرفنظر کردن از تنش برشی ناشی از جریان در جهت افقی در مقابل وزن مصالح درجهت قائم زاویه شیب بایستی از زاویه فی $\varnothing$ (اصطحکاک داخلی) کمتر در نظر گرفته شود یعنی اینکه حداکثر شیب دامنه می‌تواند ۴۰-۳۰ درجه (۱:۱/۵) باشد.

از طرف دیگر با توجه به اینکه شکل کلی پروفیل طولی رودخانه بصورت منشور ناقص طراحی می‌شود سطح مقطع موثر سازه از سمت دیواره به سمت داخل جریان در حال افزایش است یعنی از شیب حدود ۱:۱ به شیب حدود ۱:۳ می‌رسیم

«هرچه از کناره به سمت داخل جریان برویم شیب کناره‌ها کاهش می‌یابد»

سطح مقطع عرضی اپی‌ها به صورت ذوزنقه‌ای شکل است و معمولاً شیب‌های طرفین با استفاده از اصول مکانیک خاک و شیروانی‌های خاک‌ریز در نظر گرفته می‌شود. $(\frac{1}{3}-\frac{1}{5})$

شیب در قسمت سراپی (نوک) معمولاً بلندتر (ملایم‌تر) است  چون بیشترین نیروی وارده از طرف آب به سراپی است توصیه می‌شود با توجه به اینکه بیشترین نیروی وارد از طرف جریان به سراپی وارد می‌شود و بدنه چندان تحت تاثیر جریان‌های آشفته قرار نمی‌گیرد لذا سر (دماغه) جهت کاهش شدت فرسایش موضعی بایستی شیب کمتری داشته باشد و بصورت نیم دایره و یا دایره (به علت کاهش سطح مقطع) گسترده شود.

ـ رقوم تاچی اپی

در رابطه با محاسبه ارتفاع تاج سازه‌های تنظیمی آب به طور کلی عدم قطعیت‌هایی وجود دارد ولی بدلیل اقتصادی توصیه می‌شود: رقوم تاج اپی تا حد ممکن باید پایین نگه داشته شود در هر حال در غالب موارد تاج اپی نیاز به محافظت و ایجاد پوشش سنگی (pitching) دارد که باید بالاتر از رقوم سطح آب (ارتفاع نسبت به سط مبنا) در نظر گرفته می‌شود که سبب می‌شود رقوم تاج افزایش یابد.

به طور کلی می‌بایست ماکزیمم رقوم سازه‌هایی که با هدف هدایت جریان رودخانه ایجاد می‌شود براساس رقوم سیلاب دشت است و در ضمن بایستی برای اطمینان از توزیع پایدار نیروی ناشی از جریان، ارتفاع تاج از ارتفاع متوسط جریان (آب رودخانه) در طی یک دوره آماری چندین ساله بیشتر در نظر گرفته شود.

ارتفاع تاج اپی از رودخانه‌ای به رودخانه دیگر و در داخل یک رودخانه نیز از بازه‌ای به بازه دیگر کاملاً متفاوت است. بسته به اینکه سازه مستغرق یا غیر مستغرق باشد بایستی ارتفاع آب‌شکن برای ارتفاع‌های متفاوت محاسبه شود.

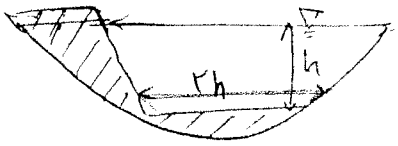
سکو Berm

غالباً برای تسهیل شرایط اجرایی پروژه و همچنین بهبود پایداری سازه، ایجاد مناطق قابل دسترسی جهت انتقال مصالح و جهت ارتباط مناسب بین دو روکش از سکو استفاده می‌کنیم.

در مواقعی که حجم بدنه سازه (خاکریزی) به اندازه‌ای باشد که تخلیه مصالح به راحتی انجام نشود معمولاً در ارتفاع‌های مختلف در طرفین سازه با شیب‌های متفاوتی که به دامنه‌های پایاب و سراب داده می‌شود معابری بصورت تقریباً افقی با عرض حدوداً ۳ متر ایجاد می‌شود که دسترسی به محدوده موردنظر تسریع می‌کند هر چند از نظر پایداری خود سازه نیز بسیار موثر می‌باشد.

عرض تاج اپی: معمولاً ۱-۶ m و معمولاً میانگین ۳m در نظر گرفته می‌شود. با توجه به آنچه که مطرح شد ساده‌ترین، رایج‌ترین و اقتصادی‌ترین نوع اپی مصالح سنگریزه‌ای هستند که هسته آن می‌تواند از مصالح سنگریزه، شن و خاک استفاده شود ولی روکش مقاوم و مناسبی آن را حفاظت می‌کند، یکی از مسائل مهم که در احداث این سازه‌ها باید لحاظ گردد قفل کردن مناسب بدنه اپی به دیواره رودخانه می‌باشد به هر صورت تجارب موجود در مناطق مختلف دنیا نشان می‌دهد که غالباً دامنه بخش پایاب این سازه‌ها دچار مشکل می‌شود در نتیجه باید به نحو مطلوبی حفاظت شود.

از طرفی وقتی اپی‌ها به صورت سری ساخته می‌شوند، باید اپی اول به نحو مطلوب مقاوم ساخته شود. در رودخانه‌های کوچک معمولاً توصیه می‌شود ا ز آب‌شکن یا اپی استفاده نشود ولی در صورتی‌که ضرورت احداث وجود دارد در این حالت مزیت اصلی این روش این است که حجم مصالح مصرفی نسبت به سازه‌های طولی احتمالی بسیار کمتر خواهد بود.



ـ ابعاد کف‌بند اطراف سراپی Apron

تمرکز جریان در محدوده سراپی (تداخل جریان تالوگ و حلزونی) باعث می‌شود که عمق کنش در این قسمت حدود ۲-۱/۵ برابر بستر معمولی رودخانه باشد (و سراپی از پیش‌بند یا کف‌بند (Apron) استفاده می‌شود تا تمرکز جریان روی آن انجام شود در یک تقریب نسبتاً قابل قبول پیشنهاد می‌شود که عرض کف‌بند برای سراپی حدود ۲ برابر ارتفاع آب و طول آن ۱/۵ برابر ارتفاع آب در نظر گرفته شود.

از طرفی طول کف‌بند (سنگفرش) برای نوک اپی در بعضی منابع با استفاده از روابطی استفاده می‌شود:

$$\Delta e = 3he + 4$$

چون امکان دارد اپی در یک بازه مستقیم یا انحنادار احداث شود (عرض کف‌بند مربوطه در طرفین اپی به صورت زیر محاسبه می‌شود)

برای دیواره پایین دست $\Delta L = 3he + 3$

برای دیواره بالادست $\Delta L = 2he + 2$

بحث تحلیل گردابه (vortex) است.

چنانچه فرسایش در جلو و اطراف نوک اپی ناشی از انقباض جریان موردنظر باشد بهترین روش برای این امر لای روبی کف کانال تا رقوم موردنظر از نظر فرسایش است و ادامه فونداسیون نوک اپی تا پایین‌تر از رقوم لای‌روبی شده است.

در پوزه اپی‌ها عمق فرسایش حدود ۲/۲۵ برابر رابطه Lacy است.

عدد Lacy $R = 0/4753\sqrt{\frac{Q}{F}}$ $F = 1/75\sqrt{D_{50}}$

Q: دبی طراحی $\frac{m^3}{s}$

F: فاکتور رسوب (بدون بعد)

$\sqrt{D_{50}}$: از منحنی دانه‌بندی ذرات

D_e Â1/25R , y

$D_e = 1,25R - y$

R: عدد لیسی

D_e: حداکثر عمق فرسایش در وسط رودخانه که به پی اپی می‌دهیم حداکثر عمق پی اپی در قسمت سر است.

y: با استفاده از رابطه شرّی ← عمق جریان (آب) در حالتی که بسترسازی شد و بستر دیگر پایین نمی‌رود.

تعیین عمق پی (تعیین عمق فرسایش جهت تعیین عمق پی پنجه و نوک آب‌شکن):

معمولاً برای پنجه و نوک اپی در نظر گرفته می‌شود در این حالت تعیین عمق تعادل فرسایش (متوسط) در پنجه خیلی مهم است چون با توجه به آن، ابعاد، فوندانسیون و پی کف بند اطراف سراپی نیز تعیین می‌شود.

برای تعیین عمق پی آب‌شکن‌ها مخصوصاً در قسمت راس آنها که بیشتر در معرض آب‌شکستگی‌های موضعی قرار دارند بایستی عمق حداکثر فرسایش در عمق جریان در محدوده استقرار آب‌شکن مشخص شود. در این رابطه، روابط تجربی مناسبی وجود ندارد و لذا از تحقیقات زیادی که در رابطه با برآورد عمق کنش و فرسایش در اطراف ستون پل‌ها انجام شده در مسائل مربوط به مهندسی رودخانه استفاده می‌شود.

بیشترین مطالعات انجام شده در رابطه با فرسایش موضعی اطراف اپی‌ها، توسط آقای گیل Gill انجام شده که بیشتر در شرایط آزمایشگاهی کار شده و نتایج تحقیقات خود را به صورت زیر ارائه می‌دهد:

(۱) عمق فرسایش بستگی به عمق جریان دارد (رابطه مستقیم) افزایش عمق باعث افزایش عمق فرسایش می‌شود.

(۲) عمق فرسایش بستگی به اندازه مصالح بستر دارد و برای مقدار مشخصی از نسبت تنش برشی بحرانی به تنش برشی بدست می‌آید.

$\frac{T_C}{T}$

$T_c = C(\rho_s - \rho)gd_s$

ρ_s دانسیته (چگالی جرم مخصوص) ذرات رسوب ρ جرم مخصوص آب kg/m^3

C مقدار ثابت که براساس عدد رینولدز، شکل، دانسیته و موقعیت ذره روی بستر بدست می‌آید.

d_s اندازه ذرات (میانگین قطر ذرات مصالح ذرات بسته و رسوب) T_0 ÂÜR.S

$T_0 = \gamma . R . S$

γ : وزن مخصوص آب R: شعاع هیدرولیکی S: شیب

به منظور انجام عملیات طراحی اپی آقای گیل رابطه‌ای را برای محاسبه عمق فرسایش بـه صـورت زیـر ارائـه داده است.

$$\frac{D}{d}_{max} = 8/4 \frac{ds_{50}}{d}^{0.25} \frac{B}{b}^{\frac{6}{7}}$$

D: حداکثر عمق فرسایش از سطح آب (m)

d: عمق جریان (m)

ds_{50}: اندازه متوسط ۵۰ درصد ذرات (mm)

B : عرض اولیه کانال (پیش از انقباض یا کاشتن اپی)

b : عرض کانال پس از احداث اپی

براساس این رابطه می‌تون به راحتی عمق پی را براساس عمق حداکثر فرسایش مشخص کرد.

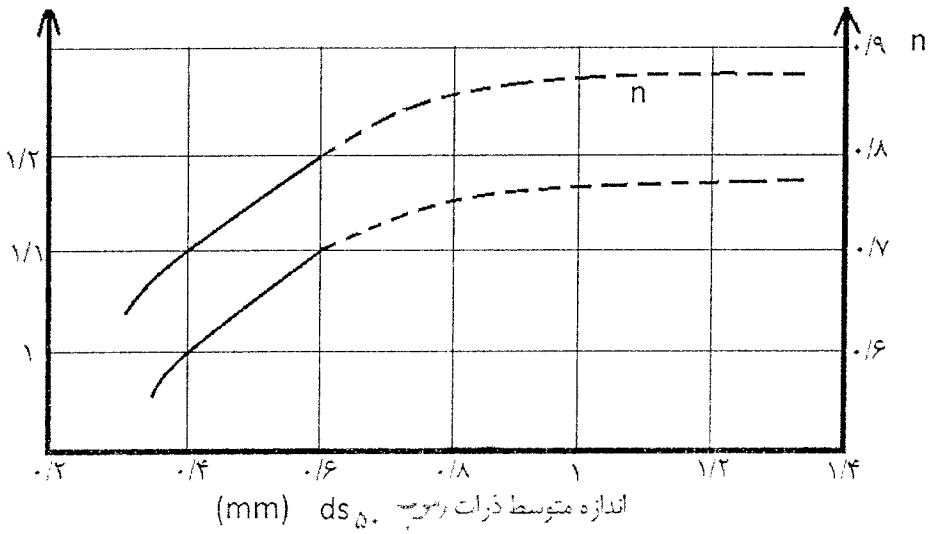
حداکثر عمق فرسایش بستگی دارد به: (۱) اندازه ذرات (D) (۲) عمق جریان (d) و (۳) ضریب انقباض $\frac{b}{B}$

از طرف دیگر آقای Grade براساس کارهای آزمایشگاهی که در آزمایشـگاه رودکـی هندوسـتان کـار کـرده اسـت رابطه‌ای مشابه برای تعیین عمق حداکثر فرسایش در بستر رودخانه ارائه داده است.

$$\frac{D}{d}_{max} = 4 \frac{1}{\alpha} b_1 b_2 b_3 b_4 (Fr)^n$$

D عمق حداکثر فرسایش (m) d عمق جریان (m) $\alpha = \frac{b}{B}$ ضریب انقباض

b_1 ضریب مربوط به تاثیر اندازه دانه‌های رسوب است که معمولاً براساس اندازه متوسطه ذرات با اسـتفاده از گـراف زیر بدست می‌آید:



b_2 ضریب مربوط به نسبت عرض به عمق پایه‌های پل است که معمولاً این ضریب برای طراحی اپی‌هـای مقـدار ۱ در نظر گرفته می‌شود.

b_3 ضریب مربوط به تاثیر زاویه تمایل و اتصال اپی به دیواره‌های ساحلی است که با استفاده از منحنی گیل (رابطه بین [illegible] و ضریب تصحیح فرسایش ص ۶۴ بدست می‌آید)

b_4 ضریب مربوط به هندسه نوک اپی است که معمولاً بین ۰/۸-۰/۹ برای شکل‌های دایره‌ای و نیم‌دایره‌ای است.

n نما یا توان تجربی است که براساس مصالح اندازه ذرات با استفاده از گراف قبلی (بالا) بدست می‌آید.

با توجه به رابطه فوق (Grade , Gill) که هر دو برای تخمین حداکثر عمق فرسایش موضعی در اطراف دیواره‌هـا و پای پل‌ها طراحی می‌شوند برای تعیین عمق کنشی در اطراف اپی‌ها نیز استفاده می‌شوند روابط دیگری هـم بـرای تعیین عمق فرسایش ارائه شده است که کمتر استفاده می‌شوند و عبارتند از:

$$\frac{s}{d} = 1.1\left(\frac{L}{d}\right)^{0.4} Fr^{\frac{1}{3}} \quad 0 < \frac{L}{d} < 25$$

$$\frac{s}{d} = 4\,Fr^{\frac{1}{3}} \quad 25 < \frac{L}{d}$$

L طول آب‌شکن برحسب متر

d عمق آب در جریان یکنواخت پس از احداث اپی

s عمق چاله فرسایش اندازه‌گیری شده زیر رقوم بستر (m)

این رابطه فقط برای اپی‌ها می‌باشد ولی رابطه Grade , Gill برای پل هم استفاده می‌شود.

براساس این روابط به راحتی عمق حداکثر آب‌شستگی یا فرسایش محاسبه شده کـه همـان عمـق فونداسـیون در راس اپی می‌باشد.

مصالح بدنه و پوشش محافظ اپی

به طور کلی هسته و بدنه اپی تا حد ممکن با استفاده ا ز مصالح بسته رودخانه ساخته می‌شوند ولی در شرایطی که جریان‌های قوی و شدید رودخانه‌ای ناشی از سیلاب‌های با دوره بازگشت بـالا در محـدوده انجـام عملیـات وجـود داشته باشد می‌توان مصالح هسته را از مصالح سنگین‌تر یا مقاوم‌تر از قبیل لوله‌ها یا شبکه‌های پـر از سـنگ‌هـای سنگین یا پر شده بوسیله سیمان استفاده کرد.

بیشترین تخریب اپی‌ها در قسمت پایاب انجام می‌شود.

عدم وجود شیب یکنواخت در اپی به نفع ماست از نظر پایداری و هزینه مصالح

برای حفاظت از بدنه آب‌شکن‌ها در مقابل نیروهای ناشی از تلاطم جریان که باعث آب‌شستگی ذرات ریز بدنه شده و همچنین در برابر نیروهای ناشی از زه درون پیکره‌ای که باعث تخلیه ذرات ریزدانه از بدنه می‌شود معمولاً از روکش‌های سنگچین استفاده می‌شود این روکش‌ها هم به عنوان لایه محافظ شیروانی‌های طرفین جسم اپی استفاده می‌شوند و هم با توجه به شرایط رودخانه، خود آنها به صورت مستقل به عنوان سازه‌های حفاظت کننده دیواره و بستر رودخانه استفاده می‌شودند (در رابطه با پوشش محافظ بدنه اپی هدف نهایی از روکش و سنگ‌چین حفاظت از لایه‌های زیرین در مقابل فرسایش است کارایی این روکش‌ها بستگی به مقاومت مصالح در روی شیب دیواره دارد ولی کلا برای سرعت‌های زیاد و فرسایش‌پذیر بسیار موثر است) و از آنجاییکه احتمال فرسایش‌های موضعی در راس اپی وجود دارد پوشش و محافظت باید به نحو مطلوب انجام شود)

مساله اصلی حفظ پایداری اپی دیواره‌های محافظ می‌باشد و با توجه به اینکه قسمت راس اپی نیز به طور مستمر در معرض جریان‌های فرسایش‌دهنده می‌باشد لذا بایستی حتما با پوشش محافظ سنگ‌چین حفاظت شود.

روکش‌ها کلا یا خود به عنوان سازه حفاظتی هستند یا به عنوان پوشش محافظت‌کننده مصالح زیرین می‌باشد بر این اساس یک روکش مناسب و نفوذپذیر بایستی همیشه تابع دو اصل کلی باشد.

(۱) نقش آن به عنوان فیلتر به نحوی که اجازه عبور و خروج آب درون جسم و بدنه سازه را بدهد ولی از خروج ذرات جلوگیری کند.

(۲) نقش آن به عنوان یک لایه محافظتی که بتواند بدنه اپی را در مقابل جریان‌ها و امواج و نیروهای ناشی از سیلاب با دوره بازگشت بالا به نحو مطلوب حفاظت کند بر همین اساس، پایداری خود روکش نیز به عنوان یک لایه حفاظتی، بایستی مدنظر قرار بگیرد. که براساس تجارب مختلف با توجه به شرایط حاکم بر مساله، در یک شرایط یا محیط همگن و مناسب شیب‌های پیشنهادی زیر می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد:

۱ ـ روکش و سنگ‌چینی زیر سطح آب (زیر دبی متوسط) $\frac{1}{3}$ ، $\frac{1}{4}$ II ۱:۳ ۱:۴

۲ ـ سنگ‌چینی بالای سطح آب (pitching) ۱:۱/۵ ۲:۱/۵

۳ ـ بالای سطح آب پوشیده از گیاه باشد رو به بالای شیب ۱:۶ ۱:۱۰

ولی بطور کلی برای مواد و مصالح چسبنده حداقل شیب $\frac{1}{1/5}$ و برای مواد و مصالح غیرچسبنده $\frac{1}{2}$ در نظر گرفته می‌شود شیب روکش در منطقه پنجه بایستی تا حداکثر عمق آب‌شستگی در نوک پنجه توسعه داده شود.

بنا به آنچه گفته شده و با استفاده از روابط تجربی بیان شده که غالباً در شرایط آزمایشگاهی بدست آمده‌اند می‌توان از آب‌شکن به عنوان سازه‌های انحراف‌دهنده جریان به نحو مطلوب در پروژه‌های مهندسی رودخانه استفاده کنیم ولی بایستی به این نکته توجه کرد که با تمام هزینه‌های بالایی که این سازه‌ها دارند نسبت به سایر روش‌های ساماندهی رودخانه از قبیل: سازه‌های مقاوم‌کننده کناره و یا روش‌های تغییر آبراهه یا رودخانه اعم از تغییر در شیب، تغییر در شکل، تغییر در مکان، سازه‌های آب‌شکن معغمول‌ترین و متداول‌ترین روش‌های تثبیت سواحل می‌باشد.

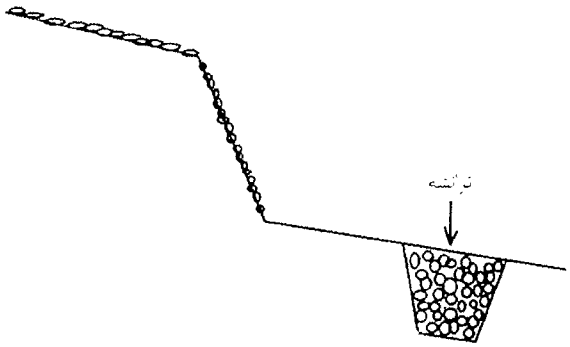
روکش‌ها Revetments

«روکش‌ها عبارتند از سازه‌های حفاظت‌کننده دیواره‌ها و بستر رودخانه که با توجه به شرایط حاکم بر جریان با استفاده از مصالح مختلف اعم از سنگ‌چینی دستی، سازه‌های توری سنگی، استفاده از کیسه‌های سیمان و یا استفاده از مخلوط کیسه‌های شن و رس و سیمان و ... استفاده می‌شوند»

بر همین اساس نقشی در تغییر مسیر جریان ندارند ولی مقاوم‌سازی دیواره‌ها و کف را بعهده دارند. باراساس نوع مصالحی که برای ساخت آنها استفاده می‌شود روکش‌ها به انواع مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- **روکش‌های سنگریزه‌ای Rock fill Revement**: این روکش‌ها عموماً در شرایطی که مصالح سنگی با اندازه‌های مختلف و مورد نیاز و با خصوصیات فیزیکی، شیمیای و مکانیکی مناسب وجود داشته باشد اقتصادی‌تر هستند مخصوصاً در قوس‌های خارجی پیچ‌ها و با توجه به اینکه خصوصیت انعطاف‌پذیری و قابلیت ترمیم و همچنین تثبیت طبیعی (توسط پوشش گیاهی) را دارند.

در این روش سنگ‌های با دانه‌بندی چین روی شیب دیواره تعدیل یافته قرار می‌گیرند و جهت جلوگیری از آب‌شستگی احتمالی در پای دیواره (سنگ‌چینی) تراشه‌هایی با عمق مناسب در پای دیواره حفر و با مصالح مناسب (سنگ‌های درشت) پوشش داده می‌شود (پر می‌شود)



در طراحی و اجرای این نوع سازه‌ها علاوه بر لزوم توزیع یکنواخت دانه‌بندی سنگها یا مصالح بایستی نکات زیر حتماً رعایت شود:

(۱) اندازه متوسط سنگ‌ها (D_{50}) براساس سرعت متوسط جریان و با روش تحلیل تنش برشی بحرانی بدست می‌آید.

(۲) ضخامت روکش بستگی به دانه‌بندی سنگ‌ها دارد، در این حالت حداقل ضخامت روکش ۳۰cm ترجیحاً از دو لایه از ابعاد متوسط سنگ‌ها با ابعاد مختلف ساخته می‌شود.

به عنوان معیار ضخامت روکش سنگریزه‌ای ۱/۵-۱ برابر اندازه ماکزیمم سنگ‌ها (از نظر قطر معادل) و یا حداقل دو برابر قطر متوسط سنگ‌ها پیشنهاد شده است.

~~$T \geq (1.5)D_{max}$ ، $T \geq 2D_{50}$~~ $(T = (1-1/5)D_{max} \;،\; T \geq 2D_{50})$

اندازه سنگ‌ها بایستی از یک توزیع یکنواخت و نرمال برخوردار باشد یعنی اینکه از بکار بردن سنگ‌های با اندازه بسیار ریز و اندازه بسیار درشت اجتناب کرد زیرا باعث به هم قفل شدن سنگ‌ها می‌شود.

در شرایطی که نیروی موج یا نیروی ناشی از مواد جامد یا شناور در جریان حضور داشته باشند ضخامت روکش $T \geq 1.5D_{max} + 15-30\ cm$

حداقل ۱/۵ برابر اندازه ماکزیمم سنگ و افزایشی در حدود ۱۵-۳۰cm خواهد داشت ~~$T \geq 1.5D_{max}$ ، 15، 30cm~~

در شرایطی که سنگ‌ریزی در زیر سطح متوسط آب انجام می‌شود ضخامت روکشی به میزان ۵ درصد افزایش پیدا می‌کند در صورتی که ناچار باشیم از سنگ‌های گرد و قلوه‌ای استفاده کنیم اندازه سنگ‌ها درشت‌تر و زاویه شیب آنها کمتر خواهد بود در این حالت توصیه می‌شود که ضخامت سنگریزه ۲۵ درصد نسبت به حالت‌های عادی افزایش پیدا کند.

شیب سنگریزی برای شرایط دست‌چینی (با نیروی انسانی) حداقل $\frac{1}{1/5}$ و برای شرایط توده‌ای (تخلیه کامیون) $\frac{1}{2}$

پیشنهاد می‌شود که حتما از فیلتر برای اتصال سازه به بدنه دیواره در هر دو حالت استفاده می‌شود.

۲ـ **روکش گابیونی (توری سنگی) Gabion Revetment**: این روکش‌ها در مناطقی که مصالح سنگی با ابعاد مختلف وجود دارد (اندازه‌های مناسب فراهم نباشد) می‌توان از سنگ‌های کوچکتر و حتی قلوه‌ای استفاده شود. در این حالت برای افزایش پایداری سازه ایجاد شده و تامین کشش لازم از سبدهای توری ـ سیمی استفاده می‌شود و لذا نهایتاً سازه کاملاً انعطاف‌پذیر و نفوذپذیر است و نیاز فیلتری آن محدودتر از روکش سنگریزه‌ای است.

سازه‌های توری سنگی نیز معمولاً به دو صورت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱) نوع پلکانی شکل که معمولاً برای ساخت دیواره‌های ساحلی، دیواره‌های حائل، آب‌شکن‌ها، کف‌بندها و سرریزها استفاده می‌شود و نوع روکش آن (با یک شیب یکنواخت و به ضخامت کم) برای حفاظت شیب‌های دیواره طرفین رودخانه استفاده می‌شود.

در نوع پلکانی، سبدهای توری سیمی با ابعاد ۱×۰/۵×۲ در کنار هم قرار می‌گیرند که بعد از ریز شدن جعبه از سنگ باید با جعبه‌های مجاور خودشان سیم‌پیچی شوند معمولاً حداکثر چشمه‌هایی که برای این تورها در نظر می‌گیرند ۱۰cm است و اندازه سنگ‌ها (قطر) حداقل ۷/۵cm و حداکثر ۴۰cm است.

ـ برای بهبود شرایط پی و انعطاف‌پذیری سازه پیشنهاد می‌شود که حتما کف‌بندی برای قسمت تحتانی با حداقل طول ۲m و ضخامتی در حدود ۲-۱/۵ برابر عمق آب شستگی احتمالی منظور گردد.

در صورتیکه از دیواره توری سنگی به عنوان دیواره حایل استفاده می‌شود بایستی پشت آنها حتما با مواد درشت دانه (شنی) و قابلیت زهکشی مناسب پر شود (حالت فیلتر)

در نوع روکشی (حالتی که از یک لایه توزی سنگی به عنوان محافظ کناره استفاده شود) ضخامت توری سنگی معمولاً کمتر از ۳۰cm و ابعاد آن (0/15, 0/3)L(1)L(2, 3) می‌باشد.

برای اجرای آن ابتدا شیب دیواره حداقل به اندازه $\frac{1}{1/5}$(1:1/5) اصلاح و تعدیل شده و یک نوار توری سیمی روی شیب قرار می‌گیرد برای اطمینان از عدم شکم‌دهی توری (سازه) در فواصل ۱۰۰cm-۸۰ سیم‌های اتصال به طول ۳۰cm-۲۰ بیرون نگه داشته می‌شود سپس سنگ‌ها را با تراکم مناسب چینش می‌کنند (می‌ریزند) بعد نوار توری سیمی (قسمت سقف) را پهن کرده و سیم‌های اتصال را بصورت دقیق و متقاطع می‌چینند.

برای جلوگیری از لغزش یا سرخوردن سازه بر روی شیب از یک میله یا میخ‌های فولادی به فواصلی به عمق حدود ۸۰cm که در دیواره فرو می‌رود استفاده می‌کنند ولی در هر حالت حضور فیلتر یا طراحی فیلتر جزء ضروری سازه است.

این روش برای سرعت‌های حدود ۴/۵-۲/۵ متر بر ثانیه مناسب است و معمولاً بر رودخانه‌هایی (قوس‌هایی) با شعاع انحنای بیش از ۲۵۰m توصیه می‌شود.

- کمپانی مک کافری راهنمای انتخاب اندازه سنگ‌ها (انتخاب ضخامت روکش) را براساس سرعت‌های بحرانی و حداکثر سرعت جریان ارائه داده است براساس نتایج ارائه توسط این شرکت در شرایط یکسان ضخامت روکش توری سنگی حدود $\frac{1}{4}$ ، $\frac{1}{3}$ روکش سنگریزه‌ای است و در نتیجه از لحاظ اقتصادی خیلی اقتصادی‌تر است.

۳- **روکش‌های کیسه‌ای Sack Revetment:** عبارتند از کیسه‌هایی از بافت کرباس یا کنف که با موادی از قبیل خاک، مخلوط خاک و سیمان یا سیمان ماسه (concert sack) بصورت آجرچین و به ترتیب خاصی بعد از تعدیل شیب روی شیب دیواره چیده می‌شوند.

ابعاد کیسه‌ها معمولاً ۹۰-۴۵cm که حجمی در حدود $۰/۰۲۷m^۳$ دارند. در هنگام چینش باید دقت شود حتما لایه کیسه‌ها حداقل ۱۵cm با هم همپوشانی داشته باشد و به صورت دیوارچین روی هم چیده می‌شود.

شیب دیواره کارگزاری کیسه‌ها $\frac{1}{1/5}$ و در حالت مطلوب یک دوم در نظر گرفته می‌شود و توصیه می‌شود کیسه‌ها تا عمق آشستگی و حداقل ۱/۵ متر زیر کف بستر چیده شوند.

هزینه زیادی دارند و تنها در صورتیکه سنگ‌های با ابعاد مناسب وجود نداشته ولی مصالح شن و ماسه وجود داشته باشد استفاده می‌شود.

حالت سنگریزه‌ای و توری سنگی می‌توان از پوشش گیاهی استفاده کرد و در حالت کیسه‌ای وقتی از خاک استفاده شود پوشش توصیف می‌شود.

«از سنگریزه‌ای به کیسه‌ای هزینه افزایش پیدا می‌کند»

تعیین ابعاد و مشخصات سنگ‌ها برای روکش (سنگ‌چین)

با توجه به اینکه نیروهای مختلفی از قبیل نیروهای مهاجم شامل: نیروی کششی جریان، نیروی uplift (زیرخسار یا تحتانی یا زیرسطحی که به تنش برشی موضعی ارتباط مستقیم دارد) و نیروهای مقاوم شامل: نیروی وزن و نیروی اتکای مصالح یا سنگ‌ها به یکدیگر (حاصل از تکیه سنگ به سنگ‌های مجاور) بر سازه‌های فوق‌الذکر اعمال می‌شود. لذا در محاسبات تعیین ابعاد مصالح بایستی مبتنی بر شیب تعدیل شده کناره و پارامترهایی از قبیل سرعت جریان و سایر موارد ابعاد و مشخصات سنگ‌های مورد استفاده را مشخص کنیم.

روش‌های مختلفی برای تعیین ابعاد سنگ‌ها پیشنهاد شده که کاربردی‌ترین آنها به صورت زیر هستند:

(۱) روش اداره راه کالیفرنیا از ضریب اطمینان بالاتری برخوردار است.

(۲) روش ریچاردسون و همکاران بر مبنای پایداری سنگها در مقابل غلطش سنگ استوار است.

(۳) روش سیسمون ولی براساس عدد رینولدز و نمودار شیلدز استفاده می‌شود.

۱ـ روش اداره راه امریکا: با استفاده از معادلات زیر انتخاب حداقل یا اندازه حداقل سنگ‌ها برای حفاظت سواحل دریاها و کناره رودخانه‌ها در شرایطی که تحت تاثیر امواج حاصل از کشتیرانی و باد هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$w = \frac{2 \times 10^{3} V^{6} \cdot S_s}{(S_s - 1)\sin^2(\theta - \alpha)}$$

$$S_s = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma}$$

$$D_s = \frac{(6w)^{\frac{1}{3}}}{\pi \gamma_{sat}}$$

w: حداقل وزن سنگ (پوند)

v: سرعت جریان ft/s

S_s: چگالی (دانسیته) ویژه سنگ ft^3/پوند

θ: زاویه قرار سنگ (برای حالتی که سنگ‌ریزی تصادفی و توده‌ای باشد برابر ۰/۷۵ در نظر می‌گیرند)

α: زاویه یا شیب دیواره (درجه)

γ_{sat}: وزن مخصوص حالت اشباع سنگ

γ: وزن مخصوص آب

D_s حداقل اندازه سنگ‌ها (قطر، بعد) ft: توصه می‌شود که حداقل دو سوم سنگ‌های مورد استفاده از D_s بزرگتر باشد.

V: سرعت جریان: این سرعت در بازه‌های مستقیم رودخانه $\frac{2}{3}$ سرعت متوسط جریان و در بازه قوس یا پیچان رود $\frac{4}{3}$ سرعت متوسط توصیه می‌شود.

۲- روش ریچاردسون و همکاران: تعیین پایداری سنگ‌ها در مقابل لغزش که در این حالت اندازه قطر متوسط سنگ‌ها با استفاده از معادلات زیر تعیین می‌شود.

$$S.F = \frac{\cos\theta \tan\phi}{b\sin\alpha \tan\phi + \sin\theta\cos\alpha}$$

$$b = \frac{V}{\frac{1}{2}\sin(A+B)\frac{D}{d}}$$

$$b = \frac{2T_S}{(S_S - 1)D_{50}}$$

$$B = \tan^{-1}\left(\frac{\cos A}{\sin A - \frac{2\sin\theta}{b\tan A}\frac{D}{d}}\right)$$

S.F: فاکتور یا ضریب اطمینان پایداری ; 1/5

α: زاویه شیب دیواره

θ: زاویه قرار سنگ (برای سنگ‌های بزرگ که بصورت تصادفی ریخته می‌شود = ۴۰ درجه)

A: زاویه شیب سطح آب (در حالتی که درست حساب شود برابر شیب کف رودخانه است)

B: زاویه انحراف جریان

S_S: دانسیته ویژه سنگ $S_S = \frac{\rho_{sat}}{\rho}$

D_{50}: قطر متوسط ۵۰ درصد سنگ‌ها

T_S: تنش برشی روی دیواره

b و b : اعداد پایداری

برای محاسبه T_S آقای ریچاردسون از معادله یا روابط سیسمون ولی استفاده کرده است که:

برای بازه‌ها و دیواره‌های مستقیم $T_S = 1/29\rho_w.d.s$

برای بازه‌ها و دیواره‌های پیچان رودی $T_S = 1/5(1/29\rho_w.d.s)$

ρ_w: وزن مخصوص آب

d: عمق متوسط جریان

s: شیب انرژی (در حالت یکنواخت برابر شیب هیدرولیکی است)

با معلوم بودن و فرض مقادیر SF، T_S، $\hat{u}$، $\emptyset$: با استفاده از روش آزمون و خطا اندازه D_{50} بدست می‌آید که قطر متوسط سنگ‌ها یا مصالح مورد استفاده در دیواره رودخانه است.

۳ـ **روش سیسمون ولی:** با استفاده از نمودار شیلدز و برای عدد رینولدز بالاتر از ۵۰۰ اندازه متوسط سنگ‌ها را با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آورند.

$$\frac{T_S}{(\ddot{U}, \ddot{U}_S)D_{50}} \hat{A} 0/06 \qquad \frac{T_S}{(\gamma_s - \gamma)D_{50}} = 0.06$$

$\ddot{U}_S$: وزن مخصوص مصالح و $\ddot{U}$ وزن مخصوص آب

دانه‌بندی مصالح از یک منحنی تبعیت می‌کند.

با توجه به اینکه دانه‌بندی یکنواخت مصالح در سازه‌های مقاوم‌کننده کناره‌ها و سواحل مگر برای زیباشناختی توصیه نمی‌شود لذا جهت استفاده حداکثر از مصالح در دسترس توصیه می‌شود که مصالح با دانه‌بندی متفاوت استفاده شود معمولاً منحنی دانه‌بندی برای مصالح و سنگ‌ها مورد استفاده تعیین می‌شود (بر این اساس اداره راه کالیفرنیا با همکاری موسسه ارتش آمریکا و ریچاردسون توزیع مناسب دانه‌بندی مصالح را به صورت زیر پیشنهاد کردند.)

$D_{75} \not\geq 7/5cm$ $\quad D_{50} \hat{A} \frac{1}{2} D_{max}$

$D_{25} \not\geq \frac{1}{3} D_{max}$ $\quad D_{20} \hat{A} \frac{1}{2} D_{50}$

از طرفی اندازه سنگ‌های پنچه دیواره‌ها برای حفاظت در مقابل فرسایش و آب‌شستگی ۲-۱/۵ برابر اندازه (قطر) سنگ‌های مورد استفاده بر روی دامنه شیب‌دار رودخانه یا کناره رودخانه خواهد بود.

توصیه می‌شود شکل سنگ‌ها غیرکروی و زاویه‌دار باشد و نسبت طول به عرض (میانگین) هر قطعه کمتر یا مساوی ۳ باشد در عین حال برای ۲۵ درصد سنگ‌های مورد استفاده این نسبت باید بیش از ۲/۵ باشد.

ارتفاع سنگریزی براساس رابطه $H = h + \Delta z + F.B + h_w$ H Âh ' åz ' F.B ' hw Î

H: ارتفاع کل سنگریزی (m)

h: ارتفاع متوسط سطح آب در دبی سیل طراحی با دوره بازگشت معین

Δz: شاخص ارتفاع سطح آب در دیواره خارجی قوس که معمولاً از روابط ثانویه‌ای به صورت زیر بدست می‌آید.

$$\Delta z = \frac{V_m^2 . B}{g . r}$$

$$\Delta z = \frac{V_m^2 \cdot B}{g \cdot r}$$

V_m: سرعت متوسط آب

B: عرض سطح آب

r: شعاع انحنا

g: شتاب ثقل

F.B: ارتفاع آزاد (Free Board): به طور میانگین حداقل ۱ m در نظر می‌گیرند بسته به کاربردی (مسکونی ۱m) و (زراعی ۰/۵m)

h_w: میزان بالاآمدگی ارتفاع جریان ناشی از باد یا قایق‌رانی (ارتفاع معادل موج)

یک سری نکات اجرایی برای سنگ‌ریزی باید مدنظر قرار گیرد:

اگر سنگ‌ها کوچک باشند و از روش‌های دستی استفاده شود که در این شرایط حجم سنگ‌های مورد استفاده کمتر و تراکم بیشتر است حداقل شیبی که توصیه می‌شود $\frac{1}{1.5}$ است.

چنانچه سنگریزی توسط ماشین انجام شود شیب $\frac{1}{2}$ مبنا قرار گیرد که توصیه می‌شود که سنگریزی از یک ارتفاع بالا انجام شود تا دانه‌بندی مناسب صورت گیرد و ذرات sort شوند (شیب کمتر شود)

در این شرایط ضخامت لایه‌بندی بایستی بیشتر از حالت معمولی در نظر گرفته شود.

ضخامت لایه سنگریزی در محل پنجه توصیه می‌شود که تا عمق آب‌شستگی افزایش پیدا کند در این حالت در رودخانه‌های موقتی و فصلی و در شرایطی که پای دیواره یا پای اپی خشک باشد لایه سنگریزه‌ای دیواره بایستی تا عمق آب‌شستگی ادامه پیدا کند یعنی حتما عمق یا ضخامت لایه سنگریزی بزرگتر مساوی عمق فرسایش باشد.

چنانچه سطح جریان کم آبی یا سطح آب زیرزمینی در نزدیک کف بستر باشد و حفاری ترانشه پنجه تا عمق آب‌شستگی و فرسایش مقدور نباشد معمولاً ترانشه‌ای به عمق ۷۰-۹۰cm حفر می‌شد به نحوی که عرض کف ترانشه معادل عمق خوشده باشد و ضخامت لایه سنگریزی کف ترانشه حداقل معادل ضخامت لایه سنگریزی روی دیواره باشد.

Filter

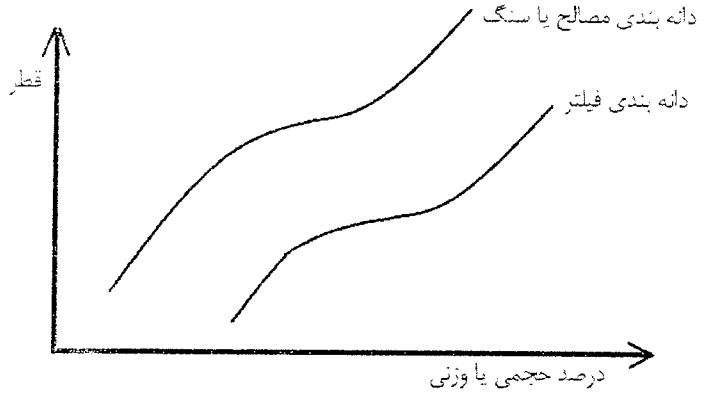
برای مصالحی که به عنوان فیلتر استفاده می‌شوند توسط منابع مختلف از قبیل مهندسی ارتش آمریکا، ریچاردسون، پترسون و ... یکسری ضوابط ارائه شده که اشاره می‌شود:

۱) اندازه حداقل مواد فیلتر حدود $\frac{3}{16}$ اینچ در نظر گرفته شود.

۲) حداکثر اندازه مواد فیلتر متناسب با اندازه سنگ‌های روکشی و حدود ۳/۵-۳ اینچ توصیه می‌شود.

۳) ضخامت لایه‌های فیلتر حداقل ۲۲/۵-۱۵ سانتی‌متر و در شرایط مطلوب نصف ضخامت سنگریز توصیه می‌شود.

۴) منحنی دانه بندی فیلتر بهتر است که موازی با منحنی دانه‌بندی مواد دیواره و سنگ‌های روکشی باشند.



در این حالت می‌توانیم از بعضی نسبت‌هایی که در طراحی فیلتر استفاده می‌شود به صورت زیر استفاده کنیم.

$$\frac{D_{15f}}{D_{85B}} \leq 5 \qquad \frac{D_{50f}}{D_{50B}} \leq 25 \qquad 5 \leq \frac{D_{15f}}{D_{15B}} \leq 40$$

f: فیلتر filter

B: دیواره Bank

در این صورت حداقل ضخامت لایه‌های فیلتر با توجه به مصالح به صورت زیر است:

برای ماسه‌های درشت ۱۰cm

برای شن ۲۰cm

برای سنگ‌های پوششی ۲-۱/۵ برابر D_{50} سنگ‌های مورد استفاده برای بدنه استفاده می‌شود.

بایستی توجه کرد که فیلترها هم انعطاف‌پذیر باشند در غیر این صورت تحت شرایط حاکم بر رودخانه تغییر شکل آنها اجتناب‌ناپذیر است و شکسته شده و به سمت پایین سر می‌خورند.

توصیه می‌شود که حتماً برای کنترل نیروهای تراوش و کاهش پدیده پایپینگ یا آب‌شویی که باعث تخلیه ذرات ریزدانه می‌شود حتماً از یک یا چند لایه فیلتر در حد فاصل مواد دیواره و بدنه استفاده شود.

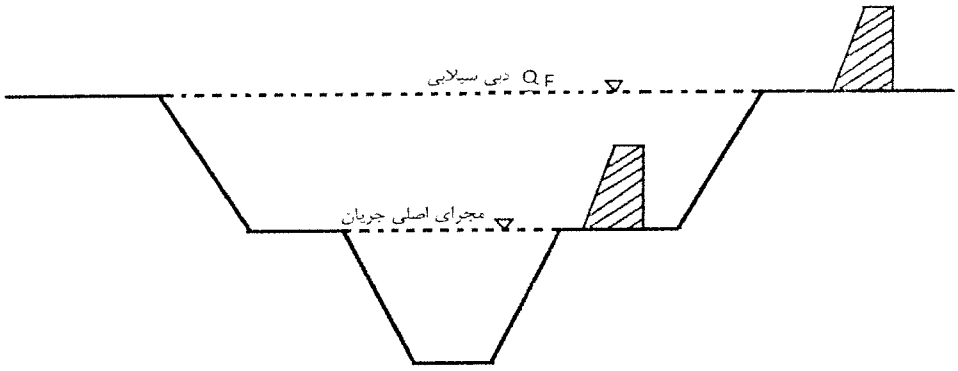
توصیه می‌شودکه فیلترهای شنی حتما دو خصوصیت پایداری و آب‌گذری لازم را داشته باشند.

در شرایطی که مواد پی ریزدانه و چسبنده باشند برای کاهش خطر فشار تحتانی (uplift) توصیه می‌شود که مواد فیلتر از ریزدانه به درشت‌دانه تغییر پیدا کنند.

گوره، خاکریز Levee

با توجه به اینکه سیلاب دشت بحث علم کناره رودخانه‌هاست و بستر حیات و اقتصاد آن را تشکیل می‌دهند برای حفاظت از سیلاب‌های رودخانه از خاکریز یا دیواره‌های سیل‌گیر یا گوره استفاده می‌شود.

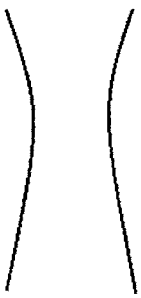
گوره‌ها یکی از سازه‌های محافظت‌کننده دیواره است که معمولاً به موازات دیواره یا بستر طراحی ساخته می‌شوند در حقیقت این کار نوعی مصالحه با طبیعت است با انجام این کار جریان منطقه سیلاب به دشت به معبر اصلی برمی‌گردد و جریان در مواقع سیلابی در حد فاصل بین خاکریزها یا گوره‌ها مهار می‌شود.



ـ سطح مقطع ذوزنقه‌ای شکل

ـ محاسبات نیروی آن دقیقاً مانند سرهای خاکی است و معمولاً در یک سطح مقطع مرکب تعیین می‌شود.

ـ بر مبنای Q سیلابی طراحی می‌شود.



گوره‌ها غالباً در قسمت فلات پلای در بالای رودخانه ساخته می‌شود برای حفاظت اراضی اطراف و اراضی واقع در دشت سیلابی در محدوده خود فلات‌ها روی رودخانه طراحی شده و امتداد می‌دهند. تاثیری که گوره‌ها روی آب می‌گذارد ابتدا آب وارد پوزه می‌شود به همین علت پوزه باید دارای انحنای مناسب باشد و در تغییرات در شرایط جریان حداقل باشد دارای شکل شیپوری باشد (آب به آرامی منقبض شود و وارد جریان شود)

برای طراحی این سازه‌ها توصیه می‌شود که حتماً بین اراضی دشت سیلابی و رودخانه در فضای مناسبی که دبی‌های مخرب به نحو مطلوب بتواند به میانه معبر اصلی جریان هدایت شوند طراحی و اجرا صورت گردد و در رابطه با حفاظت شیب‌های طرفین (شیروانی) نیز مخصوصاً پ۱نجه و پاشنه‌ی شیب سمت رودخانه بایستی با استفاده از مصالح رودخانه‌ای و یا تخته سنگ‌های مقاوم در مقابل سرعت میانگین جریان پوشش داده شود و محافظت شود.

بر این اساس روش مناسبی برای کنترل سیلاب محسوب می‌شوند چون قبل از احداث خاکریزه‌ها با جاری شدن سیلاب در منطقه سیلاب دشت سرعت جریان کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه بیشتر مواد بصورت بار معلق ته‌نشست پیدا می‌کنند پس از احداث خاکریز جر یان به معبر اصلی هدایت می‌شود و سرعت جریان افزایش می‌یابد و از ته‌نشست مواد جلوگیری می‌شود اثرات اصلی استفاده از خاکریزها به صورت زیر است.

۱- افزایش سرعت موج سیلاب به سمت پایین دست

۲- افزایش تراز آب در مواقع سیلابی

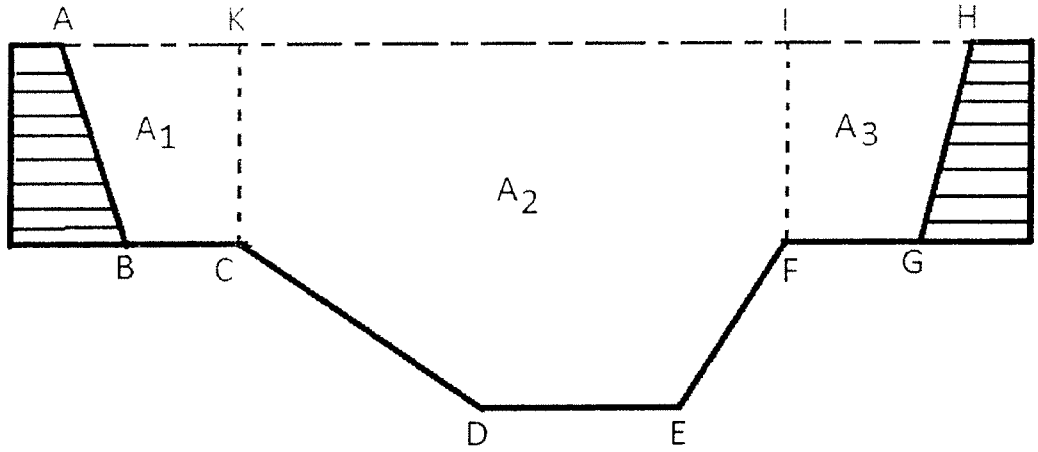
۳- افزایش شدت اوج یا دبی پیک در پایین‌دست

۴- کاهش شیب سطح آب رودخانه در بالای محل خاکریزی که به افزاشی تراز بستر و رسوبگذاری در این مناطق منجر می‌شود.

به منظور ایجاد ظرفیت آبگذری زیاد برای ارتفاع مشخصی از جریان و خاکریز بایستی فاصله خاکریزهای ایجاد شده در طرفین رودخانه زیاد باشد. معمولاً برای جلوگیری از برخورد مستقیم جریان با خاکریز حتی‌المقدور آن را باید در مسیرهای طبیعی رودخانه (در شرایطی که خاکریز به عنوان حفاظت‌کننده کناره به کار رود احداث کنیم)

«اولین پارامتری که در طراحی این خاکریزها استفاده می‌شود تعیین ظرفیت آبگذری است»

روشی که برای بدست آوردن آبگذری جریان استفاده می‌شود انطباق یک مقطع مرکب منظم بر مقطع نامنظم رودخانه می‌باشد در این شرایط با توجه به شکل زیر می‌توان با استفاده از روابط تجربی وجود ظرفیت آبگذری را محاسبه نمود.



می‌توان براساس روابط تجربی مانینگ اقدام به محاسبه ظرفیت آبگذری بنماییم با صرف نظر از توزیع یکنواخت سرعت و بخش‌های مختلف مجرا و با در نظر گرفتن سرعت‌های V_1 و V_2 و V_3 برای مقاطع A_1 و A_2 و A_3

$Q_1 = V_1 A_1 = \frac{A_1}{n_1} R_1^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \Rightarrow Q_1 = K_1 I^{\frac{1}{2}}$

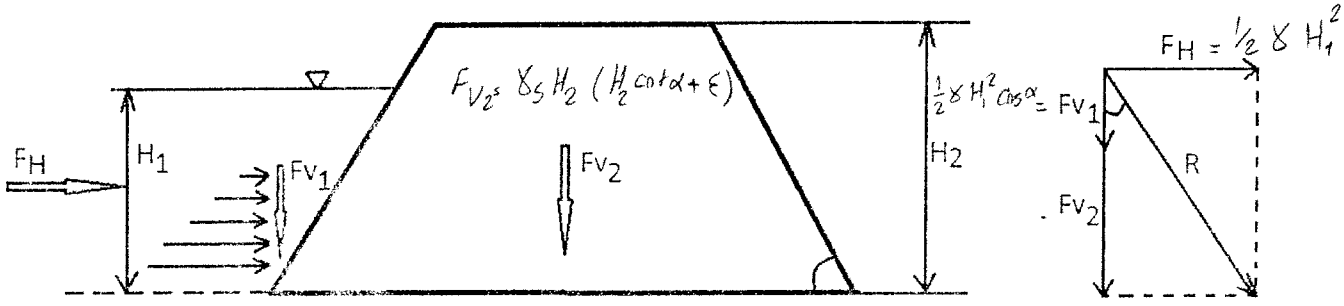
ضریب انتقال جریان $K_1 = \frac{A_1 R_1^{\frac{2}{3}}}{n_1}$

$Q_2 = K_2 I^{\frac{1}{2}} \quad Q_3 = K_3 I^{\frac{1}{2}}$

$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$ دبی کل

طراحی خاکریز: در ساخت آن باید دقت کافی شود به نحوی که خاکریز ایجاد شده سیلاب با دوره بازگشت طراحی را از خود عبور دهد چنانچه بصورت اصولی کار شود با استفاده از انجام عملیات روندیابی ارتفاع سیل را در نقاط موردنظر در امتداد بازه موردنظر بدست می‌آوریم و با در نظر گرفتن یک مقدار ارتفاع آزاد (۱-۲m) تراز تاج خاکریز را در محل مشخص می‌کنند.)

معمولاً محاسبه ارتفاع آزاد تاثیرات موج و احتمال وقوع سیلابی با دوره بازگشت را با دوره بازگشت بزرگتر از طراحی در نظر می‌گیرند همچنین مقداری را برای یک ارتفاع جزئی را برای نشست احتمالی سازه در نظر می‌گیرند. $\tan\beta < .23 \tan\phi$



$\tan\beta = \frac{FH}{F_{V_1} + F_{V_2}} < .23 \tan\phi$

با توجه به شکل مشخص است برای تحلیل پایداری خاکریز بایستی نیروهای مقاوم و مهاجم به نحوی محاسبه شوند که سازه لغزیده شود یا سر نخورد و از طرفی با توجه به نیروهای موجود و جنس مصالح موجود بتوانیم حداکثر پایداری را برای سازه داشته باشیم در این حالت به عنوان یک شرط کلی پایداری در خاکریزها داریم.

شیب طبیعی

$tg\beta < 0.23\, tg\theta$

بر این اساس داریم:

$FH = \frac{1}{2}\gamma H_1^2$

$V_1 = \frac{1}{2}\gamma H_1^2 \cos\alpha \rightarrow F_{V_1} = \frac{1}{2}\gamma . H_1^2 \cos\alpha$ به صورت اصطحکاک روی دامنه نیرو وارد می‌کند (آب روی دامنه)

$FV_2 = \gamma_s H_2 (H_2 \cot g\alpha + 4) \rightarrow F_{V_2} = \gamma_s H_2 (H_2 \cot g\alpha + 4)$

$\tan\beta = \frac{FH}{FV_1 + FV_2}$

$H_{FB} = .17\sqrt{70F} + 2.5 - \sqrt[4]{F_{(m,ft)}}$

از طرفی برای محاسبه ارتفاع موج با استفاده از رابطه $H = .17\sqrt{70F} + 2.5 - \sqrt[4]{F}$

که در آن H ارتفاع موج (فوت)، V سرعت باد (ft/s) و F حداکثر فاصله اثر باد (مایل) می‌باشد.

از طرفی با توجه به اینکه در هنگام برخورد موج با خاکریز، آب در امتداد شیب خاکریز بالا می‌رود فاصله عمودی که آب روی شیب حرکت می‌کند Wave Uprush (ارتفاع بالا روی موج) می‌گویند.

با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$u = f_H \tan\alpha \cos\beta$

که در آن f_H ضریب زبری سطح خاکریز = ۰/۱

در هر حال با استفاده از این اطلاعات تا حدودی می‌توان پایداری خاکریز را محاسبه و براساس رابطه پایداری ضریب اطمینان را مشخص کنیم. هر چند دانه‌بندی مصالح تشکیل‌دهنده نقش اساسی در تعیین شیب طرفین و وضعیت نیروهای احتمالی دارد به نحوی که بخشی از نیروها در اثر نفوذ جریان در بدنه یا در بخش سراب سازه باعث استهلاک نیروهای وارد می‌شود.

$H_{FreeBoard\ (ft)} = .17\sqrt{70F} + 2.5 - \sqrt[4]{F_{(mile)}}$

$Wave\ uprush = f_H \tan\alpha \cot\beta$

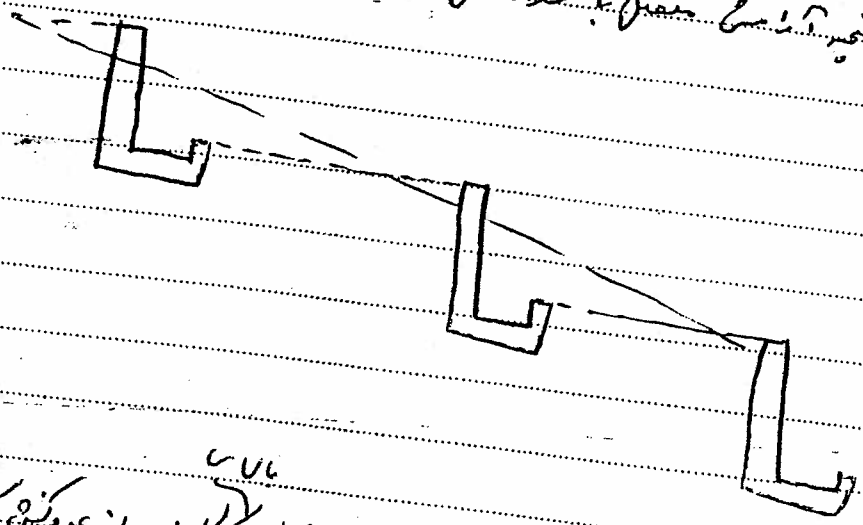
تعریض و تعمیق جریان:

با توجه به آورد رسوبی رودخانه مخصوصاً در مناطقی که بار رسوبی از نوع بار کف زیاد می‌باشد برای رهایی از کور شدن معبر جریان و پیامدهای جانبی ناشی از بالا آمدن تراز آب و آبگرفتگی اراضی اطراف در بیشتر مواقع می‌توان با استفاده از عملیات افزایش عرض و با افزایش عمق جریان مشکل را مرتفع نمود در این حالت بایستی در غالب یک طرح جامع شرایط جدیدی که برای خصوصیات جریان از قبیل شیب عمق و سرعت جریان اتفاق می‌افتد کاملاً شناخته شده باشند تا اینکه در نتیجه دخالت‌های مکانیکی باعث بسترسازی برای خطرات مصنوعی نشود.

در این شرایط حق تعمیق یا تعریض و همچنین نحوه خروج مصالح و محل دپوی مصالح استخراج شده بایستی کاملاً مشخص شوند که این عملیات بیشتر به عنوان عملیات لای روبی مطرح می‌باشد هر چند که با توجه به رعایت اصول کلی حاکم بر جریان و رودخانه بایستی حد مجاز بهره‌برداری مصالح دقیقاً مشخص شود از طرفی آورد جدیدی را که رودخانه در نتیجه سیلاب‌هایی با دوره بازگشت مختلف تجربه می‌کند را نیز بایستی در محدوده مورد عملیات مدنظر داشته باشیم و چنانچه رودخانه کاملاً شناخته شده می‌توان براساس حجم آورد مصالح و نیاز کاربری‌های مختلف به مصالح رودخانه‌ای میزان برداشت را برای فصول مختلف سال تعیین و حداکثر میزان برداشت را برای شرایط کم آبی اختصاص داد.

ارتفاع سازه‌ها به مبنای حداکثر عمق کنش می‌باشد

۲. پی شکن: در این شرایط با توجه به اینکه وضعیت رودخانه (مخصوصاً در شرایط کم‌آبی) خوب یا شکم باشد، پی‌ها تنه و سریع زده می‌شود. در این شرایط سازه‌ها ممکن است در زیر زمین ولی با تراز بالاتر از کف رودخانه ادامه پیدا کند و در تمام پایه‌ها تنها جوشیدگی آب مقابل با سد اصلی طراحی می‌گردد.



پایاب

مزایا: استفاده از پی شکن‌ها نسبت به سیل‌ها اطمینان کامل از عدم کنش کف رودخانه

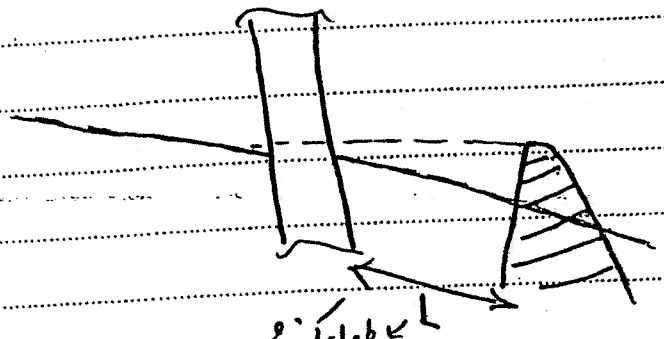
معایب: مشکل با توجه به هزینه کف بند ما هزینه بالاتری دارد.

طراحی جوشیدگی آب:

۱. ارتفاع ۵ خاکریزی دستگاه برای عمق کنش پایاب در نظر گرفته می‌شود.

۲. عدد مخصوص خاک بیشتر از جداول خاک دست خورده است.

۳. سرریز: در سیل‌ها از سناخلی در تنه ادامه ابتدای از قبل پایه‌ای پل، مرز ایجاد جریان به نحوی می‌گردد که با گذشت زمان، کف کنی رودخانه در کل پایه‌های پل شروع و در معرض خطر قرار می‌گیرد. در این شرایط بای جلوگیری از انجام کف کنی معمولاً در تمام پایین دست پایه پل تمهیداتی ساخت سرریزهایی می‌گردد که تراز روستای تاج سرریز با تراز روستای اولیه بستر قبل از احداث پل باشد.



ادامه جزوه دست نویس
دکتر مناجعی

تثبیت دیواره یا کناره رودخانه:

طرحهای تثبیت رودخانه و حفاظت کناره ها جزو مسایل مهم رودخانه ای است که از گذشته های مختلف فنی، اقتصادی، زیباشناختی مورد بحث است و با توجه به وجود متون زیاد مختلف گذشته راه حل مناسبی برای آن ارائه نشده است. تعیین اثر سازه های مهندسی رودخانه به صورت غیر اقتصادی برای مدیریت و حفاظت را بیشتر از دره ها می دانستند، اما با توجه به نیاز بیشتر استفاده از رودخانه و ارائه روش های نوین مهندسی رودخانه این عنایت کاملاً اقتصادی و بسیار ضروری تلقی می گردد.

حفاظت و تثبیت کناره ها مجموعه عملیاتی است که با استفاده از روش های مکانیکی یا بیولوژیک و یا ترکیبی از آنها دیواره رودخانه در یک راستای مشخص حفاظت می شود. اساس اجرای متفاوت عملیات مهندسی رودخانه انجام می شود. روش های مختلف ارائه شده است.

با توجه به اینکه پروژه های تثبیت کناره با مسائل بسیار پیچیده فنی، اقتصادی و اجتماعی مواجه هستند لذا برای شروع یک پروژه باید ابتدا خطوط اصلی پروژه را مشخص نمود. از آنجایی که اهداف اصلی تثبیت کناره شامل کنترل فرسایش، زیباسازی، فعال نمودن شرایط برای گذران اوقات فراغت، حفظ تاسیسات و اراضی می باشد. اهداف اصلی مهندسی رودخانه می باشد، بنابراین شاخص هایی که در مناطقی که به صورت موضعی عملیات تثبیت انجام شده پروژه ها تقریباً همیشه و خیلی زود تأثیر خود را از دست داده اند.

لذا موفقیت این گونه پروژه ها بستگی به درک درست و اصولی از:

۱- دوره انتخاب و ساخت الگوی کلی رودخانه در یک بازه طولانی تر مفید بوده
۲- هندسه هیدرولیکی بازه اصلاح شده از قبیل خصوصیات مارپیچی مناسب ایجاد
سطح متقاطع پیرامون تغییر قابل ملاحظه ای در بستر رودخانه ایجاد نکنیم.

با در نظر گرفتن این دو اصل جهت اجرای یک پروژه با بستر عواملی که به صورت مستقیم در اجرای پروژه
موثر هستند تعریف یا شناخته شوند.

۱- با سکنای رودخانه: تقلیل با سکوا مقدار دیواره ها باستی حتی الامکان به یک حد مناسب
صورت گیرد. به طور کلی از ایجاد بازه های مستقیم با اختلاف کم پرهیز کنیم.
(محدودیت های طبیعی، مالکیت (زمینها و) وجود دارد.)

۲- انحنای رودخانه: به طور کلی شعاع انحنا باستی در حد امکان شعاع انحنای بیچ های ملایم و
پایدار رودخانه باشد. به طور کلی هرچه بیچ تندتر باشد عمق دیواره خارجی افزایش پیدا می کند
و امکان تخریب سازه های حفاظتی بیشتر می شود.
از نظر اقتصادی نیز رابطه شعاع انحنا با حداکثر عمق خارجی باستی به نحوی دیده شود که با
مناسب هزینه ساخت سازه های حفاظتی عمق شعاع انحنای بهینه را به دست آوریم.

ایجاد بیچ های تند غالباً در شرایطی که محدودیت در جانبی (جاده، کانال ...) وجود دارد و نیز
ایجاد بستر پایدار نیازمند هرچند کم

از طرف دیگر شعاع انحنای زیاد نیز مطلوب نیست، رودخانه های بزرگ جهان حداکثر
شعاع انحنا برای رودخانه های کوهستانی نیم کوهستانی ۴۸۰۰ m
" " دشتی ۷۲۰۰ m
" " کشیرانی ۲۵۰۰ m

با توجه به اینکه شعاع انحنا با عرض رودخانه دارای ارتباط می باشد لذا مطالعات نشان می دهد که
بین ۱/۵ و ۳ عرض رودخانه پایدار می باشد ($\frac{r}{w} = 3$)

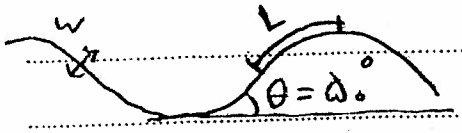
در هر حال حداصل بین دو موج متوالی نباید کمتر از یک بازه متوسط و طولانی ایجاد شود. طول بهینه دهانه مابین ۲۰ تا ۲۴ برابر عرض رودخانه پیشنهاد می‌شود.

$L = 20 - 24 (W)$

ارتفاع طول موج (یا پیچ) λ در حدود ۷ تا ۱۱ برابر عرض سطح پر رودخانه باشد.

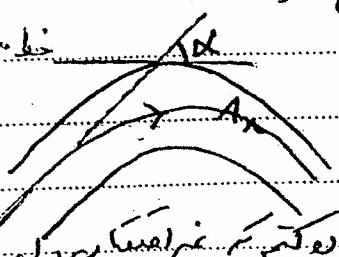
$\lambda = 7 - 11 (W)$

تقریب خوبی وجود دارد که زاویه پیچ در حدود ۵۰° باشد.



۳- زاویه ورود به پیچ (زاویه حمله جریان)

زاویه بین خط اصلی جریان با خط مماس بر دیواره در محل پیچ رودخانه



زاویه حمله $< 15°$ مناسب است.

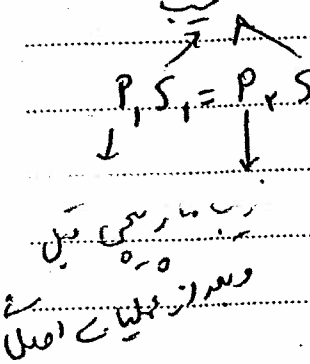
در صورتیکه دیواره با روکش محافظت شوند تا ۲۵°

اگر $\alpha > 30°$ باشد باید از سازه‌های مکوم کننده استفاده کرد که غیراقتصادی است.

اگر زاویه حمله α بین ۴۵° برسد تغییرات تراز آب به صورت تلاطم (عرضی و عمقی) در بازه‌های پایین دست به راحتی مشاهده می‌شود.

۴- شیب و ضریب مارپیچی رودخانه:

به عنوان یک تعریف کلی در پروژه‌های شیب کناره ضریب مارپیچی رودخانه تغییر می‌کند. بین این تغییرات با یک منطق برابر زیر بیان شده



شیب برابر حاصلضرب ضریب مارپیچی بین از طرح اصلی پیدا کنند شیب آبراهه پیدا کرد و رودخانه کامل به شرایط مکان

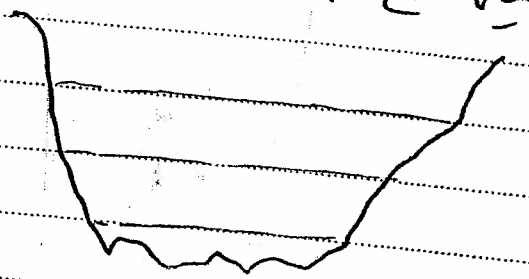
۵- نقاط تست:

سازه های حفاظتی رودخانه با بیشتر از یک نقطه مقاوم به فرسایش در بالادست بازه شروع
به نقطه مقاوم به فرسایش نیز در انتها بازه مورد نظر ختم شود.
در صورتیکه شرایط فوق موجود نباشد سازه ها با بیشتر در نقطه ای بالادست عمل کرده سبب
جدایی در کناره یا دیواره بالادست و شروع آبشستگی به خوبی در دیواره مقابل شود.
کاهش تراز آب ناشی از آبگیری شدن جریان که باعث جذب زیاد
آب تبخیر می شود جلوگیری شود. Caplitation

۶- عرض رودخانه:

تغییر در عرض رودخانه به طور کلی سبب تأثیر فرسایش و رسوب گذاری موثر است، در نتیجه رودخانه
باید به قدر کافی عریض باشد تا آب شتاب به صورت عمق گسترش پیدا کند از طرفی
ظرفیت انتقال هم کافی باشد.
از طرفی رودخانه با اندازه کافی کم عرض باشد تا در شرایط کم آبی، مواد جامد همراه جریان
با سرعت خود باعث ایجاد جزایر در میز نشوند.

۷- دبی و ارتفاع سطح آب:



رسم سطح مقاطع عرضی رودخانه برای سه دبی و ارتفاع سطح آب از یکدیگر
تفکیک شوند:
- دبی کم آبی
- دبی متوسط آبی
- دبی پر آبی

تا ارتفاع کم آبی دیواره به طور دائم و مستمر اشباع و تحت تأثیر تنش برشی جریان است
آبشستگی و فرسایش پنجه ای)
نوسانات سطح آب به طور مناسب و تقاوتی می افتد و اثرات تغییرات سطح آب و تنش برشی

پارامترهای مهم می باشند.

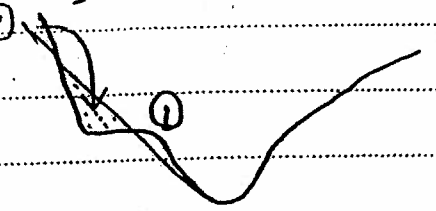
۷- دیوار حائل: دیواره ای که جهت مقابله با فشار جانبی خاک یا آبگرفتگی و تخریب می شود. لذا بدین اساس از اساسی ترین بخش های یک پروژه جهت حفاظت خواهد بود. نوع مقطع حفاظتی که آیا به صورت سپری یا دیوار حائل می باشد بستگی به اهمیت موضوع و تحلیل اقتصادی و اجرای عملیات حفاظتی انجام می شود.

۸- ارتفاع سازه: با توجه کلی ارتفاع سازه و در جهت پایین دست باید تا حد امکان کاهش پیدا کند. برای اینکه ارتفاع سازه تعیین شود باید با استفاده از اطلاعات دبی جریان در دوره بازگشت مورد نظر اقدام به مدل سازی یک Flood Routing در محدوده مورد نظر نمایم و با استفاده از اطلاعات به دست آمده در مکان مختلف ارتفاع سازه تعیین شود.

۹- شیب و زهکشی: شیب مناسب دیواره ها نقش مهمی در مکانیک و پایداری کناره رودخانه دارد. در بعضی موارد اصلاح شیب با تعدیل آن به تنهایی کفایت می کند ولی در موارد دیگر استفاده از پوشش گیاهی یا سیستم زهکشی نیز ضروری است.

پس از اصلاح شیب و پایداری دیواره یک بحثی از مکانیک و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مصالح دیواره ها را می طلبد.

(روکش) *



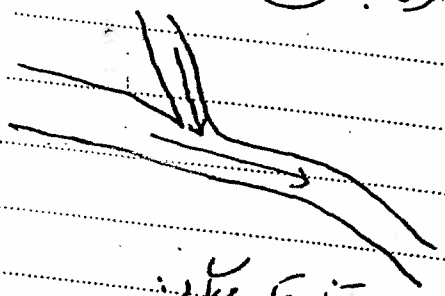
۱۰- پی سازه: از آنجایی که مقاوم سازی رودخانه ها در برابر جریان حفر پی می باشد بنابراین با افزایش عمق حفاری هزینه ها افزایش می یابد. در مواردی که بافت دیواره های مقاوم در برابر جریان (رودخانه) عمق آبشستگی کمتر باشد استفاده می شود. هزینه بسیار بالاست، لذا توصیه می شود در یک بازه مسافتی حداقل $\frac{2}{3}$ طول عمق مورد نظر با استفاده از مصالح سنگی شود.

Subject 43
Year ..... Month ..... Day ..... ( )

۱۱- پاکسازی و بهسازی مسیر:
بسته به اینکه رودخانه در چه منطقه‌ای جریان دارد با آورد و سوب آن براساس رسوبات کف
متفاوت خواهد شد. در مناطق جلگه‌ای غالباً سرعت کم و رسوبگذاری زیاد است و در جریان باعث بروز
جزایر و یا ایجاد پیچ‌های متعدد می‌شوند و یا در مناطق با بستر زیاد مواد حمل
جریان باعث کاهش پتانسیل انتقال و در نتیجه تشکیل جزایر رسوبی می‌گردد. در این شرایط با پاک
کردن مسیر از این جزایر و رسوبات کف باعث بهبود
جریان، کاهش سطح آب و افزایش ظرفیت انتقال یا به عبارتی افتادن سطح آب خواهد

شد.

۱۲- انشعابات فرعی:
تعریف: به شاخه‌های ورودی یا انشعابات به رودخانه اصلی گفته می‌شود که بر کیفیت آب
رودخانه اصلی تأثیر می‌گذارد.
پدیده Back water: عبارت است از برگشت آب رودخانه اصلی به داخل انشعاب که در
خطوط جریان به دیواره‌های مقابل برخورد کرده و باعث تقویت جریان‌های ثانویه و ناپایداری دیواره
نیز می‌گردد.



با توجه به این موارد، روش‌های حفاظتی دیواره رودخانه
منحصر به یک روش خاص نیستند بلکه بر اساس شرایط
حاکم و مصالح موجود و صرفاً با روش‌های زیر (یا ترکیبی از آنها) مورد استفاده قرار می‌گیرند:
به طور کلی برای تثبیت کناره‌ها چند صورت می‌توانیم اقدام کنیم:

۱. افزایش مقاومت دیواره
۲. انحراف جریان‌ها از فرسایش‌پذیر به کناره
۳. کاهش سرعت جریان به پایین‌تر از توان فرسایش
۴. تأخیر در فرسایش دیواره با استفاده از مواد فرسایش‌پذیر
۵. تغییر در ابعاد رودخانه

Subject 44
Year Month Day ( )

برای این اساس برای هرکدام از محدوده فوق روش های تثبیت شامل

۱- روش های مهندسی یا مکانیکی
۲- روش های مکانیکی
۳- روش های تلفیقی

تثبیت کناره با انحراف جریان:

هرگونه سازه ای که خطوط جریان را از کناس با سفلا مورد نظر محروم شود. در این روش از سازه های زاویه دار نسبت به کناره یا مسیر اصلی جریان استفاده می کنیم به نحوی که کار سطح عریض را پوشش می دهد.

از سازه های با نام Epi ، water break ، Groine ، Groyine ، Spure استفاده می کنیم Spure Dikes ، Getties

طراحی و محاسبات فنی آبشکن:

آبشکن: سازه های هیدرولیکی که برای اهداف زیر احداث می شوند:

Fei-yong-chen

حفاظت کناره ای رودخانه از فرسایش
تنظیم جریان رودخانه در یک مسیر مشخص (جذب، دفع، زمان)
ایجاد یک جریان آرام با حرف سفلا رسوبگیری
ایجاد عمق مناسب برای عبور شرایط استقرار گرداب ها
ایجاد زیستگاه های مناسب برای عبور عبور سفلا (واندو Vando)
زیاد کردن عمق جریان
تثبیت راستای جدید کانال

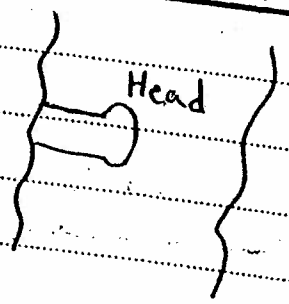
Rip Rap

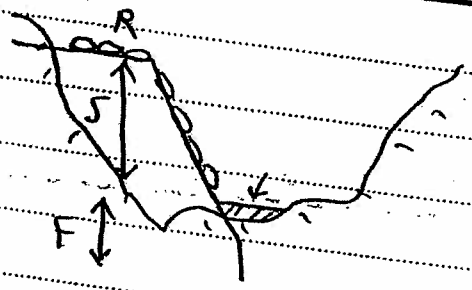
با توجه به این اهداف، این سازه ها به عنوان یکی از متداول ترین سازه های تثبیت رودخانه در جهان مورد استفاده قرار می گیرند که در کشور

این: ۱- سر این Head
۲- ساقه Shank
۳- تاج Crest

Foundation ۴- پی
Bed protection ۵- کف بند
Pars Rasam Revetment ۶- روکش

۲۴ آبان ۹۸ سه شنبه



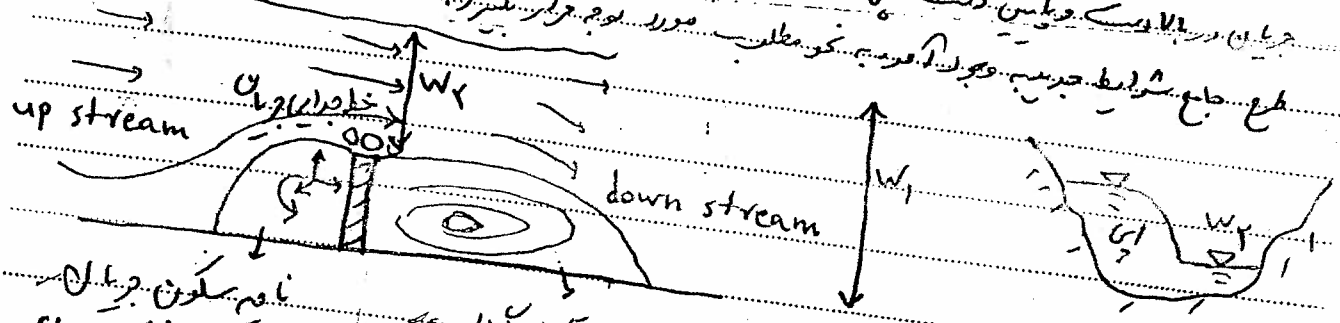


روش ها هم برای حفاظت کناره و هم برای حفاظت از سازه اجرا می شوند.

این ها برای سرعت های کمتر از ۲ $\frac{m}{s}$ بررسی می شوند و برای رودخانه های عریض و شریانی با بار رسوبی (بستر) مناسب هستند.

در مباحث مربوط به کشتیرانی

چون این پی به عنوان یک مانع در برابر جریان قرار می گیرد، در نتیجه برخورد جریان با شرایط جدید برای جریان در بالادست جریان دست این اتفاق می افتد که باعث می شود در هنگام طراحی در غالب یک طرح جامع شرایط جدید وجود آمده به نحو مطلب مورد توجه قرار بگیرد.



ناحیه سکون جریان
Stagnation zone
استقرار گرداب
standing (Eddy) zone
طول تأثیر (اثر)

در قسمت بالادست، هر آب بالا می رود.

استقرار آب و سکون آب در بالادست صورت می گیرد.

قسمت پایین دست سطح آب افت می کند.

یک ورتکس کامل در پایین دست شکل می گیرد که باعث رسوبگذاری می شود.

مکان ورتکس ها مسائل مربوط به این است. (در نوک این گرداب Eddy شکل می گیرد.)

مکان مرتبط مسائل مربوط به این است.

ورتکس گرداب

rs Rasam

Subject 46

Year ..... Month ..... Day ..... ( )

انواع آبراهه ها (آب شکن ها):

بر مبنای مصالح و جنس: ۱. نفوذ پذیر: معمولاً با استفاده از مصالح کف جریان یا کف رودخانه ساخته می شوند باعث کم شدن جریان می شوند و ته نشست رسوبات را باعث می شوند.

براین اساس با این نوع آبراهه ها برای جریان های پر رسوب طراحی می شوند و بازدهی خوبی دارند.

این نوع آبراهه ها در رودخانه های با بار معلق زیاد استفاده می شود و از نظر اقتصادی با توجه به اینکه مصالح محلی هستند از نظر هزینه ساخت کمتر هستند و نسبت به آبراهه های نفوذ ناپذیر تغییرات کمتری را در خصوصیات جریان ایجاد می کنند بیشتر توصیه می شوند.

۲. آبراهه نفوذ ناپذیر: برای سرعت های $> 4 \frac{m}{s}$ و جریان های حاوی بار کف زیاد استفاده می شوند.

اشکال اساسی این نوع آبراهه ها هزینه زیاد و تغییرات بسیار زیاد در نفوذ و ناپایداری که به خصوصیات جریان وارد می کنند و چون مصالح مورد استفاده صلب می باشند برای رودخانه هایی که بار رسوبی زیاد کف زیادی دارند توصیه می شوند و در جایی که هدف انحراف سریع و زیاد جریان از دیواره مورد نظر باشد استفاده می شوند.

طول تأثیر بیشتر، شدت تأثیر کمتر ← نفوذ پذیر ✓

طول تأثیر کمتر، شدت تأثیر بیشتر ← نفوذ ناپذیر ✓

بر مبنای موقعیت تاج آبراهه:

۱. آبراهه مستغرق ← Submerged G ← زیر آب

۲. آبراهه غیر مستغرق ← UnSubmerged G ← آبگیر دارد

براساس شکل دماغه: ۱. آبراهه مستقیم ✓ Straight

۲. آبراهه سر سپر ✓ T head

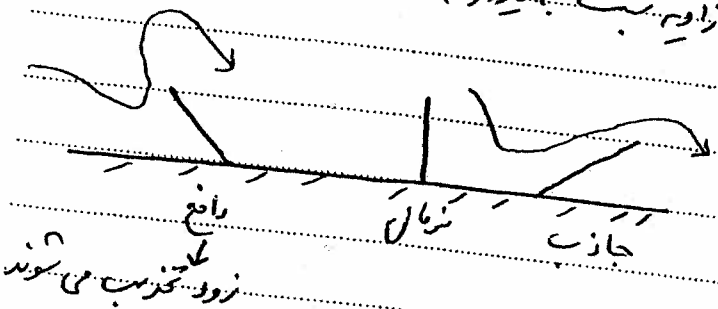
۳. آبراهه سر کج ✓ L shape

۴. آبراهه سر قلم Hockey

Pars Rasam

۵. سرخم معکوس Inverted
۶. مستقیم با دماغه موج شکن String groyne with pier Head

- تأثیر بر مسیر جریان (زاویه نسبت به جریان - زاویه نسبت به دیواره):



۱. جاذب Attracting G
۲. نرمال Normal G
۳. رافع Deflecting G

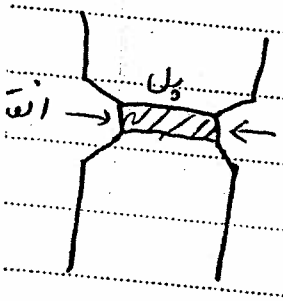
آب شستگی: Scouring

با توجه به اینکه این به عنوان یک مانع در برابر جریان قرار می گیرد باعث ایجاد تغییراتی می شود که این اثر نفوذ ناپذیر باشد، این تغییرات خیلی شدیدتر و ملموس تر می باشد.

بر این اساس رودخانه برای رسیدن به شرایط تعادل جدید شروع به جابجایی مصالح کف و اطراف می نماید و اگر این نوع نفوذ ناپذیر باشد با توجه به عدم سنخیت مصالح کف و بدنه این سازه در محل تماس بدنه با کف رودخانه مواد شروع به شستو و جابجا شدن می نماید.

پدیده آب شستگی در هر کجا که افزایش سرعت رخ می دهد اتفاق می افتد.

این افزایش سرعت ناشی از کاهش سطح مقطع جریان و بالا آمدن کف رودخانه و افزایش بی عبوری آن مقطع و افزایش شیب یا کاهش زبری می باشد.



معمولاً ۲ نوع آب شستگی در رودخانه ها مطرح می باشد:

- آب شستگی عمومی General S
- آب شستگی موضعی Local S

آب شستگی عمومی به دلیل تثبیت بستر و کاهش عمق جریان اتفاق می افتد و غالب سازه های دست ساز انسان در رودخانه باعث انتقال می شوند. که تثبیت شدگی مقطع باعث کاهش سطح مقطع جریان و افزایش سرعت و افزایش تنش برشی و سبب کنش و انتقال مواد می شود.

این فرآیند باعث ایجاد پدیده‌ای شد که سرعت و نیروی برش وارده به کف رودخانه بیشتر از سرعت و نیروی برش جریان بود. در این حالت رودخانه توانایی کمتری برای آب شستگی بستر در ادامه پیدا می‌کند و سطح متوقع به تعادل جدیدی می‌رسد.

اما در آب شستگی موضعی وقتی موانعی مانند پایه پل در برابر جریان قرار می‌گیرند با برخورد جریان و تغییر جهت آن و همچنین به علت ایجاد اختلاف فشار هیدرواستاتیک در پایین دست و بالادست مانع یک سری گرداب‌ها در پیرامون مانع تشکیل می‌گردد که عامل اصلی آب شستگی موضعی تلقی می‌شود.

سرعت‌ها و تنش‌های برشی ایجاد شده ناشی از آب شستگی موضعی از مهم‌ترین عوامل تخریب سازه‌ها هستند. از مهم‌ترین کاربردهای آب شستگی موضعی اطراف این‌ها می‌توان به تعیین ارتفاع موثر پی و طول این اشاره کرد.

بندرعباس با آب و هوای گرم و خشک خود از این (شهر) به رشته رودخانه ارتک که کمی بعد وارد خلیج فارس می‌شود برای کناره

ضوابط و معیارهای طراحی:

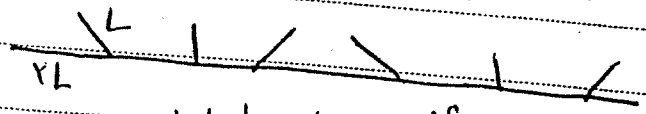
پارامترها و عوامل زیادی در طراحی این‌ها مؤثرند: عمق و ویژگی‌های جریان، سرعت سطح آب در مواقع پرآبی و مصالح ورودی بستر از جمله اصلی‌ترین پارامترها محسوب می‌شوند.

پارامترهایی چون تعیین ابعاد و اندازه‌های مربوط به سازه این، طول و فاصله‌ی این است به طوری که علاوه بر رعایت نکات فنی و اقتصادی می‌توان بهترین عملکرد را با توجه به اهداف ارائه داد. همچنین زاویه این سنبه با ساحل، طول و فاصله این شیب کناره‌ها و ابعاد دانه بندی از جمله پارامترهای مهم طراحی است.

تعیین محل اولین این:

اولین سازه براساس الگوی اصلاح مسیر تعیین می‌شود ولی در هر حالت به علت اینکه اولین سازه

نقش اساسی را در انواب جریان ایفا می‌کند باید مقاوم‌ترین سازه نیز باشد.



فاصله این‌ها بستگی به طول تاج این سازه‌ها، جنس بستر و مشخصات دیواره‌ها دارد.
به طور کلی برای تعیین طول این سازه‌ها رابطه تئوریکی مشخصی وجود ندارد. از طرفی در انتخاب و تعیین
طول این سازه‌ها بر مبنای فاصله این‌ها انجام می‌شود.
آیین‌نامه Delf توصیه شده است فاصله بین این‌ها از پارامترهای اقتصادی و تجربی
فاصله را ۱ تا ۲ برابر عرض رودخانه و یا ۵ برابر طول آن را توصیه می‌کند. (تاکید)
نتیجه آزمایش‌ها نشان می‌دهد بهترین فاصله وقتی است که یک گرداب کوچک و قوی بین دو آبشکن ایجاد شود.

منظور از ربوط به آرایش
ایجاد شده بین دو آبشکن
n فاصله
$x = \frac{K d}{2 g n^2}$ ← $\frac{4}{3}$
K ضریب ثابت ← $K = 2/4$ تقریباً $K < 1$
i شیب
d: عمق آب در ارتباط با عمق متوسط در جریان

ارتفاع آب
$x = \frac{0/6\, c\, h}{2g}$
برای دیواره‌های

در بعضی مشابع فاصله به صورت ضریبی از طول تاج بیان می‌شود و

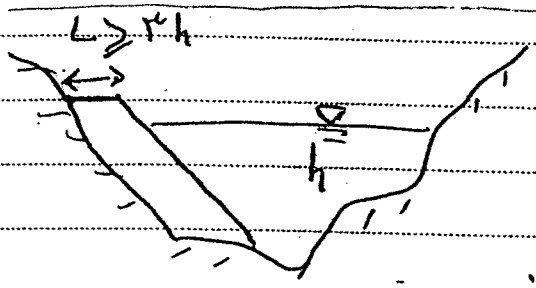
حاصلضرب متوسط طول دو آبشکن متوالی و نسبت

طول این: برای تعیین طول این نیز روابط خاصی وجود ندارد. این طول بستگی به شرایط خاص پروژه
دارد. بهترین توصیه برای طول این سازه‌ها حل‌های فیزیکی می‌باشد.

Subject: 50

Year. Month. Date. ( )

اما از آنجایی که طول هر اپی مستقیم کانال و فاصله دیوار ساحلی کانال مستقیم می شود
توصیه می شود که این طول نباید کمتر از ۳ برابر عمق نرمال آب در لبه انتهایی آن کمتر باشد.

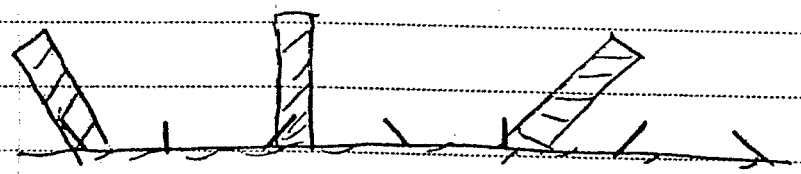


در این شکل طول اپی را ۴۵ - ۶۵٪
فاصله این ها در نظر گرفته اند.

از نظر تجربی و اقتصادی این طول هر اپی که عمود بر جهت جریان در داخل بستر ادامه پیدا می کند تا حداکثر برابر
با فاصله دو اپی و حداقل برابر $\frac{1}{5}$ این فاصله باشد. (اهوبیتسون)

براساس توصیه delf هیدرولیک بهترین طول اپی $\frac{1}{4}W$ تا W باشد.

همان طور که گفته شد طول این سازه به موقعیت و اهداف دور خانه، عرض مفید، اکناف دور خانه،
سن دور خانه و پارامترهای دیگر دارد.



اپی کوتاه $< 30\,m$
طول مناسب ترند

برعکس سازه های دراز که باید بسیار بزرگ باشند (به دلیل هزینه زیاد و گرفتن زمین از کشاورزی)
در اپی ها بهتر است از این طول استفاده کنیم چون زمین بیشتر را در دسترس قرار می دهد

زاویه اپی

برای تعیین زاویه و محل اتصال اپی به دیواره های دور خانه باید به چند عامل توجه کرد که مهمترین آن
وقت انتهایی (محل اتصال به دیواره) نیز می تواند تاثیر جالبی از فرسایش و رسوبگذاری

Subject: 51

Year. Month. Date. ( )

محدودی فرسایش در انتهای این توصیه می‌شود که زاویه مناسب جهت ایجاد برگشت موج به دریا
مطابق بیان سطح از اساس اجرای خط پیوسته زاویه قرارگیری نسبت به جهت جریان دریک سری این
سفارش خواهد بود. ولی معمولاً این ها متوجه پایین دست (جانب / باعث انتقال) کمتر
جریان می شوند و این امر متوجه بالادست (واقع) جلو بافت دیوار ساحل تحت تاثیر جریان
با ارتفاع بیشتر خیلی موثرترند.

در رودخانه ها سازه ای عمود بر دیوار و کمی مایل به پایین دست مورد استفاده قرار گیرد
و معمولاً انحراف این به سمت بالادست تا حدود ۱۵° - ۵ نسبت به حالت عادی توصیه می شود.

قدرت انحراف و سرعت آن در واقع

براساس نتایج آقای احمد برای تعیین عمق آب پشت سازه در رابطه با زاویه قرارگیری این نسبت به ساحل:

$$\frac{D_{max}}{\frac{q^{2/3}}{g}} = 1.416 - 0.908\left(\frac{\theta}{15}\right)^{\frac{2}{3}}$$

D_{max}: حداکثر عمق آب پشت سازه $\frac{ft^3/s}{ft}$

θ: زاویه قرارگیری این نسبت به ساحل (درجه)

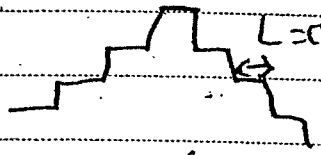
براساس این رابطه عمق آب پشت سازه با افزایش زاویه این نسبت به ساحل افزایش پیدا می کند.
(از جانب به واقع)

مشخصات بتن و بتنه:

طراحی سطح مقطع، عرض بتن، بتنه ها طرفین رودخانه و شکل سطح مقطع براساس حداکثر
و جریان رودخانه و منطقه ساحل مشخص می شود.

Berm سکو

در مواقعی که حجم بدنه سازه (خاکریزی) به اندازه‌ای بلند که تخلیه مصالح به راحتی انجام نشود معمولاً در ارتفاع‌های مختلف در طرفین سازه، بانکت‌هایی سکو مانندی که به دامنه‌ی پایاب و سراب داده می‌شود، احداث می‌کنند تا عرض حدود ۳ m ایجاد می‌شود که دسترسی را به محدوده مورد نظر تسهیل می‌کند. هرچند از نظر پایداری خود سازه نیز بسیار مؤثر می‌باشد.



عرض تاج این ؛

معمولاً ۳ m و حداقل ۱.۶ m در نظر گرفته می‌شود.

ساده‌ترین، رایج‌ترین و متقاضی‌ترین نوع این مصالح سنگریزه‌ای هستند که همه آن می‌توانند از مصالح سنگریزه، شن و خاک استفاده شود ولی روکش مقاوم و آبزا حفاظت کند.

یکی از مسائل مهم در احداث سازه‌ها، تعیین محل مناسب بدنه این سه دیواره روی خاک می‌باشد به مرور است تجارب موجود در مناطق مختلف نشان می‌دهد که غالباً دامنه بخش پایاب این سازه‌ها دچار شکل می‌شود، در نتیجه باید به نحو مطلوب حفاظت شود.

معمولاً این‌ها به صورت سدی ساخته می‌شوند باید این اول به نحو مطلوب مقاوم ساخته شود.

در روزهای کوچک توصیه می‌شود از آب شکن‌های استفاده نشود ولی ضرورت احداث مزیت اصلی این روش، حجم مصالح معرفی شده به سازه‌های فولی احتمالی بسیار کمتر خواهد بود.

تعیین عمق بن ؛

عمق این حوضچه‌ها برای پخش و نوک این در نظر گرفته می‌شود. در این حالت تعیین عمق تعادل در پنجه (برای غرسایی) خیلی مهم است که چون با توجه به ایجاد فونداسیون و پی کنی بند سر این نیز تعیین می‌شود. بیشترین مطالعات انجام شده با غرسایی موضعی اطراف این‌ها تنها سطح آبگیر گیل الانی در شرایط آزمایشگاهی انجام شده که عمق غرسایی نسبی به عمق جریان دارد و افزایش عمق باعث افزایش عمق غرسایی می‌شود.

عمق غرسایی به اندازه مصالح بستگی دارد برای مقادیر مختلف از $\frac{y}{D_{50}}$

براساس عدد رینولدز، شکل، دانسیته

براساس نتایج آزمایش بارستر می‌توان به طور محسوس در عمق فرسایش مؤثر شد.

براساس آن، این رابطه‌ای را برای محاسبه عمق فرسایش به صورت زیر ارائه داده است:

$$\frac{T_c}{T_0} \rightarrow T_c = c(\rho_s - \rho) g d_s$$

T_c: تنش برشی جریان (پیوس)
ρ_s: دانسیته (چگالی)
ρ: آب $\frac{kg}{m^3}$
d_s: اندازه متوسط ذرات
c: ضریب

$$T_0 = \gamma R I$$

γ: وزن مخصوص آب
R: شعاع هیدرولیکی
I: شیب

$$\left[\frac{D}{d}\right]_{max} = 1.84 \left[\frac{d_s}{d}\right]^{0.25} \left[\frac{B}{b}\right]^{\frac{1}{V}}$$

$\left[\frac{D}{d}\right]_{max}$: حداکثر عمق فرسایش از سطح آب / عمق جریان m
$\left[\frac{d_s}{d}\right]$: اندازه متوسط ذرات
$\left[\frac{B}{b}\right]$: عرض اولیه کانال / عرض انتهایی کانال پس از اعمال انقباض

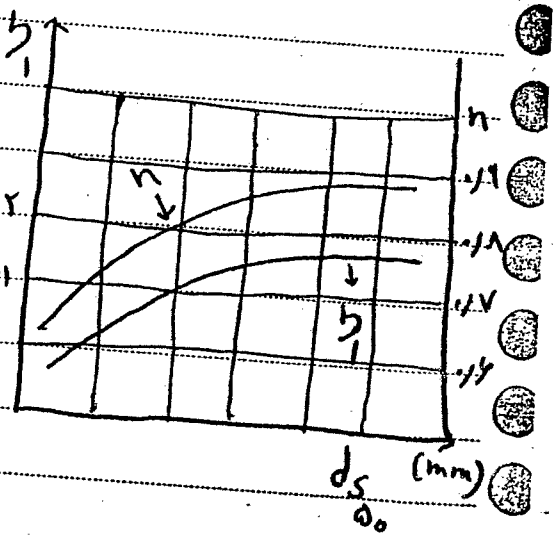
براساس این رابطه برای عمق بی‌بعد حداکثر فرسایش مشخص کرد. از طرف دیگر آکاس گراد Grade براساس کارآزمایشگاهی روی مصالح رودخانه‌ای رابطه‌ای را به صورت زیر ارائه داده است:

براساس تعیین عمق حداکثر فرسایش

$$\left[\frac{D}{d}\right]_{max} = 2.1 \frac{1}{\alpha} b_1 . b_2 . b_3 . b_4 (F_r)^n$$

$\frac{1}{\alpha}$: ضریب انقباض $\left(\frac{\text{عرض ثانویه}}{\text{عرض اولیه}}\right)$
$(F_r)^n$: عدد فرود
ضریب مربوط به تأثیر اندازه دانه‌های بستر براساس اندازه متوسط ذرات

$$\alpha = \frac{b}{B}$$

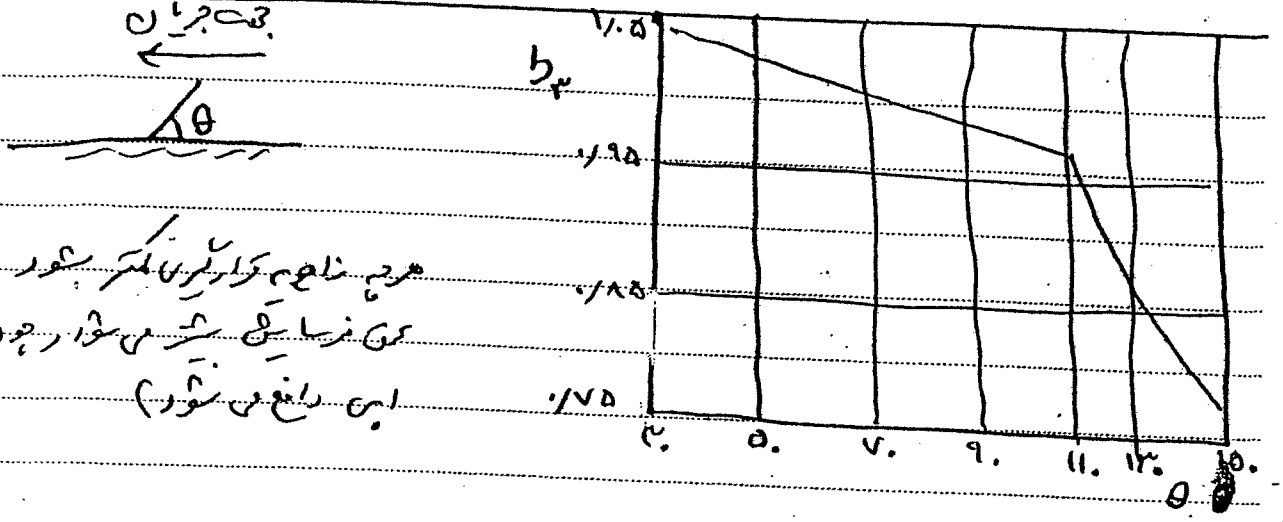


b_2: نسبت عرض به عمق پایه‌ها (پل) است که در آب شکل معمولاً 1 در نظر می‌گیریم.
b_3: زاویه تمایل و انحراف پل به جریان ساحلی که معمولاً با استفاده از ارائه صفحه مورد بحث قرار می‌گیرد.

Subject: 56

Year. Month. Date. ( )

نمودار تیل



هرچه زاویه برخورد کمتر شود
عمق فرسایش بیشتر می‌شود (چون
این راغ می‌شود)

زاویه استقبال این دیواره

b_θ ضریب مربوط به هندسه محل این است که بین ۰.۸ و ۱ برای سکل‌های دایره‌ای و بیضوی

و عایتاً n نمای تجربی است بستگی به اندازه ذرات

با توجه به روابط تیل گراد برای فرسایش موضعی دیواره‌ها و پایه پل‌ها ارائه شده‌اند و برای تعیین عمق
فرسایش در اطراف این استفاده می‌شود روابط زیر هم ارائه شده:

$$\left[\frac{S}{d}\right]_{max} = 1.1 \left[\frac{L}{d}\right]^{0.4} Fr^{\frac{1}{3}} \quad \leftarrow \quad 0 < \frac{L}{d} < 25$$

عمق آب در شرایط جریان نیکوراف $\frac{1}{3}$

عمق حداکثر فرسایش زیر رقوم متوسط بستر m

$$\left[\frac{S}{L}\right]_{max} = 2 Fr^{\frac{1}{3}} \quad \leftarrow \quad \frac{L}{1} > 25$$

طول این m

که عمق تیل از ابعاد جریان نباشد

برای محاسبه حداکثر عمق فرسایش (فرسایش) محاسبه شده که عمق فوندانسیون یا پی در آن باید باشد